

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ROBOT CARTESIANO PARA TAREAS DE CLASIFICACIÓN POR PESO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**PABLO ANDRÉS CAZCO SILVA**

[pablocazco@hotmail.com](mailto:pablocazco@hotmail.com)

**JOHNN ANDRÉS GARCÍA CORAL**

[andresgarcia.85@hotmail.com](mailto:andresgarcia.85@hotmail.com)

**DIRECTOR: Ing. ÁLVARO AGUINAGA B. MSc. PhD.**

[alvaro.aguinaga@epn.edu.ec](mailto:alvaro.aguinaga@epn.edu.ec)

**Quito, Julio 2010**

## **DECLARACIÓN**

Nosotros, Pablo Cazco y Andrés García, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Pablo Cazco

Andrés García

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: Pablo Cazco y Andrés García, bajo mi supervisión.

Dr. Álvaro Aguinaga  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

## **DEDICATORIA**

A Dios quien me ha bendecido  
al darme a mis padres quienes  
han sido mis consejeros y guía.

PABLO

A mi querida familia  
y en especial a mi madre Silvia  
por su apoyo incondicional

ANDRES

## CONTENIDO

|  |            |
|--|------------|
| <b>DECLARACIÓN</b> .....                               | <b>I</b>   |
| <b>CERTIFICACIÓN</b> .....                             | <b>II</b>  |
| <b>DEDICATORIA</b> .....                               | <b>III</b> |
| <b>CONTENIDO</b> .....                                 | <b>IV</b>  |
| <b>LISTA DE ANEXOS</b> .....                           | <b>IX</b>  |
| <b>LISTA DE TABLAS</b> .....                           | <b>X</b>   |
| <b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....                         | <b>XII</b> |
| <b>RESUMEN</b> .....                                   | <b>XV</b>  |
| <b>PRESENTACIÓN</b> .....                              | <b>XVI</b> |
| <b>CAPÍTULO 1</b> .....                                | <b>1</b>   |
| <b>1. CONTROL INDUSTRIAL</b> .....                     | <b>1</b>   |
| <b>1.1 CONTROL AUTOMÁTICO</b> .....                    | <b>1</b>   |
| 1.1.1 SISTEMA FÍSICO PARA EL CONTROL .....             | <b>2</b>   |
| 1.1.2 ELEMENTOS DE CONTROL.....                        | <b>3</b>   |
| 1.1.3 SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO .....             | <b>4</b>   |
| 1.1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL .....   | <b>5</b>   |
| 1.1.4.1 Sistemas de control en lazo cerrado .....      | <b>5</b>   |
| 1.1.4.2 Sistemas de control en lazo abierto .....      | <b>6</b>   |
| 1.1.5 CONTROLADORES INDUSTRIALES.....                  | <b>7</b>   |
| 1.1.5.1 Control de dos posiciones .....                | <b>8</b>   |
| 1.1.5.2 Control proporcional .....                     | <b>8</b>   |
| 1.1.5.3 Control integral .....                         | <b>9</b>   |
| 1.1.5.4 Control proporcional integral .....            | <b>10</b>  |
| 1.1.5.5 Control proporcional derivativo.....           | <b>11</b>  |
| 1.1.5.6 Control proporcional integral derivativo ..... | <b>12</b>  |
| <b>1.2 PLC</b> .....                                   | <b>13</b>  |
| 1.2.1 CARACTERÍSTICAS.....                             | <b>13</b>  |

|           |                                       |           |
|-----------|---------------------------------------|-----------|
| 1.2.2     | FUNCIONES DEL PLC .....               | 14        |
| 1.2.3     | VENTAJAS.....                         | 14        |
| 1.2.4     | TIPOS.....                            | 15        |
| 1.2.5     | COMPONENTES .....                     | 16        |
| 1.2.5.1   | La CPU.....                           | 17        |
| 1.2.5.2   | Interfaces.....                       | 18        |
| 1.2.5.2.1 | Las entradas .....                    | 18        |
| 1.2.5.2.2 | Las salidas.....                      | 19        |
| 1.2.5.3   | Comunicaciones.....                   | 19        |
| 1.2.5.4   | Alimentación.....                     | 19        |
| 1.2.6     | ESTRUCTURA.....                       | 20        |
| 1.2.7     | LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN .....       | 21        |
| 1.2.7.1   | Lenguajes textuales .....             | 22        |
| 1.2.7.2   | Lenguajes gráficos .....              | 23        |
| 1.3       | ROBÓTICA INDUSTRIAL.....              | 25        |
| 1.3.1     | INTRODUCCIÓN.....                     | 25        |
| 1.3.2     | CLASES DE ROBOTS .....                | 26        |
| 1.3.3     | MORFOLOGÍA DE UN ROBOT .....          | 27        |
| 1.3.3.1   | Estructura Mecánica.....              | 27        |
| 1.3.3.2   | Transmisiones y Reductores.....       | 29        |
| 1.3.3.3   | Actuadores .....                      | 29        |
| 1.3.3.4   | Sensores .....                        | 30        |
| 1.3.3.5   | Control.....                          | 31        |
| 1.3.3.6   | Elementos terminales.....             | 31        |
| 1.3.3.6.1 | Garras.....                           | 32        |
| 1.3.4     | APLICACIONES.....                     | 32        |
| 1.3.5     | NUEVAS APLICACIONES .....             | 33        |
| 1.4       | CINEMÁTICA DEL ROBOT.....             | 34        |
|           | <b>CAPÍTULO 2.....</b>                | <b>38</b> |
| <b>2.</b> | <b>DISEÑO MECÁNICO DEL ROBOT.....</b> | <b>38</b> |
| 2.1       | DISEÑO DEL ROBOT .....                | 38        |
| 2.1.1     | ESPECIFICACIÓN DE LAS TAREAS .....    | 38        |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.1.2 ANÁLISIS DE INGENIERÍA.....                                | 38        |
| 2.1.2.1 Definición del problema.....                             | 38        |
| 2.1.2.2 Plan a seguir .....                                      | 38        |
| 2.1.3 CÁLCULOS .....   | 39        |
| 2.1.3.1 Cálculo de los diámetros de ejes en x.....               | 39        |
| 2.1.3.2 Longitud de los soportes eje x.....                      | 44        |
| 2.1.3.3 Sistemas de transmisión de potencia para x.....          | 48        |
| 2.1.3.3.1 Transmisión por tornillo de potencia en x .....        | 48        |
| 2.1.3.3.2 Transmisión por banda en x .....                       | 51        |
| 2.1.3.4 Cojinetes de deslizamiento en x. (sliding bearing) ..... | 53        |
| 2.1.3.5 Cálculo de los diámetros de ejes en y.....               | 53        |
| 2.1.3.6 Longitud de los soportes eje y.....                      | 54        |
| 2.1.3.7 Transmisión por banda en y.....                          | 55        |
| 2.1.3.8 Cojinete de deslizamiento lineal en y .....              | 56        |
| 2.1.3.9 Cálculo del diámetro del eje guía en z .....             | 56        |
| 2.1.3.10 Cálculo del tornillo en z .....                         | 60        |
| 2.1.3.11 Longitud de la tuerca en z.....                         | 62        |
| 2.1.3.12 Rodamiento en z .....                                   | 62        |
| 2.1.3.13 Estructura soporte.....                                 | 67        |
| 2.1.3.14 Pinza (actuador final) .....                            | 71        |
| 2.1.3.15 Banda transportadora.....                               | 76        |
| 2.1.3.16 Elemento sensor peso.....                               | 78        |
| 2.1.3.17 Selección del lubricante .....                          | 86        |
| <b>CAPÍTULO 3.....</b>   | <b>88</b> |
| <b>3. AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO.....</b>                        | <b>88</b> |
| 3.1 AUTOMATIZACIÓN DEL ROBOT.....                                | 88        |
| 3.2 COMPARACIÓN DE POTENCIAS REQUERIDAS .....                    | 88        |
| 3.2.1 POTENCIA REQUERIDA USANDO TORNILLO DE POTENCIA.....        | 88        |
| 3.2.2 POTENCIA REQUERIDA USANDO BANDA .....                      | 94        |
| 3.2.3 MOTORES PASO A PASO .....                                  | 95        |
| 3.2.3.1 Tipos de motores paso a paso. ....                       | 96        |
| 3.2.3.2 Funcionamiento.....                                      | 97        |

|                   |  |            |
|-------------------|--|------------|
| 3.2.4             | SERVOMOTOR.....                                | 98         |
| 3.3               | PROGRAMACIÓN DEL ROBOT .....                   | 101        |
| 3.3.1             | SOFTWARE RSLOGIX 500 .....                     | 101        |
| 3.3.1.1           | Entorno del software .....                     | 102        |
| 3.3.1.2           | Instrucciones de programación .....            | 104        |
| 3.3.2             | DIAGRAMA DE FLUJO .....                        | 108        |
| 3.3.3             | PROGRAMA DEL PLC.....                          | 109        |
| 3.3.3.1           | Distribución de puertos y conexión.....        | 110        |
| 3.3.3.2           | Comunicación PC-PLC .....                      | 111        |
| 3.3.3.3           | Descarga del programa al PLC .....             | 114        |
| 3.3.4             | PROGRAMA DEL PIC.....                          | 114        |
| 3.3.4.1           | Conexión del PIC .....                         | 115        |
| <b>CAPÍTULO 4</b> | <b>.....</b>                                   | <b>117</b> |
| <b>4.</b>         | <b>CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.....</b>            | <b>117</b> |
| 4.1               | DESCOMPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL ROBOT..... | 117        |
| 4.2               | CÁLCULOS PARA LA FABRICACIÓN.....              | 119        |
| 4.2.1             | Ejes .....                                     | 119        |
| 4.2.2             | Tornillo.....                                  | 124        |
| 4.2.3             | Elementos de los carros .....                  | 124        |
| 4.3               | HOJAS DE PROCESOS .....                        | 127        |
| 4.4               | COSTOS .....                                   | 127        |
| <b>CAPÍTULO 5</b> | <b>.....</b>                                   | <b>128</b> |
| <b>5.</b>         | <b>PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>   | <b>128</b> |
| 5.1               | TOMA DE DATOS.....                             | 128        |
| 5.1.1             | Velocidades de los motores .....               | 128        |
| 5.1.2             | Sensor de peso .....                           | 130        |
| 5.2               | ANÁLISIS DE RESULTADOS .....                   | 131        |
| <b>CAPÍTULO 6</b> | <b>.....</b>                                   | <b>132</b> |
| <b>6.</b>         | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>     | <b>132</b> |
|                   | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>         | <b>135</b> |

**REFERENCIAS INTERNET..... 137**  
**ANEXOS..... 138**

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A.- DIÁMETROS Y ÁREAS DE LAS ROSCAS DE TORNILLOS UNIFICADOS UNC Y UNF

ANEXO B.- RODAMIENTOS

ANEXO C. PROPIEDADES DE SECCIÓN DE TUBO CUADRADO

ANEXO D.- HOJA DE CÁLCULO PARA DETERMINAR LAS DIMENSIONES DE LOS ESLABONES DE LA PINZA Y EL TORQUE REQUERIDO PARA EL MOTOR.

ANEXO E.- HOJA DE CÁLCULO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DE LOS RESORTES.

ANEXO F.- MOTORES PASO A PASO.

ANEXO G.- CARACTERÍSTICAS DEL SERVOMOTOR (PARA LA PINZA).

ANEXO H.- CÁLCULOS DE MOTORES PASO A PASO PARA SISTEMA CON TORNILLO.

ANEXO I.- CÁLCULOS DE LOS MOTORES PARA SISTEMA CON BANDAS.

ANEXO J.- DATOS TÉCNICOS DEL PLC ALLEN-BRADLEY MICROLOGIX 1100. L16BBB

ANEXO K.- INSTALACIÓN DE RSLOGIX 500

ANEXO L.- PROGRAMA DE LOS PIC'S

ANEXO M.- CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS PICS.

ANEXO N.- PLANO DE CONEXIONES DE PLC Y PICS

ANEXO O.- PROGRAMA DEL PLC.

ANEXO P.- ÁNGULO DE CORRECCIÓN DE LA CUCHILLA

ANEXO Q.- VELOCIDAD DEL TORNO NOSOTTI

ANEXO R.- VELOCIDAD DEL TALADRO ERLO

ANEXO S.- HOJAS DE PROCESOS

ANEXO T.- MANUAL DE OPERACIÓN

ANEXO U.- FOTOGRAFÍAS

## LISTA DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| TABLA 1-1. DIFERENCIAS ENTRE CONTROL DE LAZO CERRADO Y ABIERTO. ....                      | 6   |
| TABLA 1-2. VENTAJAS DE LOS PLC VS. OTROS TIPOS DE CONTROLADORES. ....                     | 14  |
| TABLA 1-3. CARACTERÍSTICAS DE LOS TIPOS DE PLC .....                                      | 15  |
| TABLA 1-4. TIPOS DE ROBOTS SEGÚN LA ASOCIACIÓN FRANCESA DE ROBÓTICA<br>INDUSTRIAL. ....   | 26  |
| TABLA 1-5. TIPOS DE SENSORES INTERNOS DE ROBOTS. ....                                     | 30  |
| TABLA 1-6 PARÁMETROS D-H PARA ROBOT CARTESIANO .....                                      | 35  |
| TABLA 2-1. ANILLOS DE RETENCIÓN-SERIE ANSI B27.7M-1977, R1983.....                        | 43  |
| TABLA 2-2. COEFICIENTE DE FRICCIÓN ENTRE COJINETE Y EJE.....                              | 49  |
| TABLA 2-3. DIMENSIONES DEL COJINETE DE DESLIZAMIENTO LINEAL EN Y.....                     | 56  |
| TABLA 2-4. COEFICIENTE DE FRICCIÓN F DE PARES ROSCADOS.....                               | 61  |
| TABLA 2-5. MATERIAL SELECCIONADO PARA EL TORNILLO. ....                                   | 61  |
| TABLA 2-6. FACTOR $F_0$ PARA RODAMIENTOS RÍGIDOS DE BOLAS. ....                           | 64  |
| TABLA 2-7. FACTORES RADIALES Y AXIALES DE RODAMIENTOS RÍGIDOS DE BOLAS. ....              | 65  |
| TABLA 2-8. VALORES DEL FACTOR K PARA COLUMNAS. ....                                       | 68  |
| TABLA 2-9. DIMENSIONES SELECCIONADAS PARA LOS ESLABONES DE LA PINZA. ....                 | 76  |
| TABLA 2-10. COMPORTAMIENTO DEL RESORTE. ....  | 81  |
| TABLA 2-11. PROPIEDADES MECÁNICAS DE ALGUNOS MATERIALES PARA RESORTE.....                 | 83  |
| TABLA 2-12. FÓRMULAS DE CARACTERÍSTICAS DIMENSIONALES DE RESORTES DE<br>COMPRESIÓN.....   | 84  |
| TABLA 2-13. CONSTANTE $\square$ PARA EXTREMOS DE RESORTES DE COMPRESIÓN. ....             | 85  |
| TABLA 2-14. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS RESORTES.....                              | 86  |
| TABLA 2-15. CLASIFICACIÓN DE GRASA POR EL NÚMERO NLGI.....                                | 87  |
| TABLA 3-1. CARGA A SER MOVIDA POR CADA MOTOR. ....  | 88  |
| TABLA 3-2. CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DE LOS MOTORES PARA UN SISTEMA CON<br>TORNILLO.....    | 94  |
| TABLA 3-3 CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DE LOS MOTORES PARA UN SISTEMA CON BANDA-<br>POLEA..... | 94  |
| TABLA 3-4 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS MOTORES SELECCIONADOS.....                      | 95  |
| TABLA 3-5. INSTRUCCIONES MÁS COMUNES DE RSLOGIX 500. ....                                 | 105 |
| TABLA 3-6. DETALLE DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC.....                                     | 110 |

|  |     |
|--|-----|
| TABLA 3-7. DETALLE DE ENTRADAS Y SALIDAS DE LOS MÓDULOS. ....                                | 110 |
| TABLA 4-1 VELOCIDAD DE CORTE SEGÚN LA DURACIÓN DEL FILO Y AVANCE PARA ACERO.<br>.....        | 120 |
| TABLA 4-2. CORRECCIONES DE VELOCIDAD DE CORTE Y POR EFECTOS DEL ESTADO DE LA<br>MÁQUINA..... | 120 |
| TABLA 4-3 DIÁMETROS ESTÁNDAR Y DE SOPORTE DE LOS EJES.....                                   | 121 |
| TABLA 4-4 TABLA DE VELOCIDADES EJE X. ....   | 123 |
| TABLA 4-5. VELOCIDAD DE TORNEADO EN EJES Y Y EJE Z. ....                                     | 123 |
| TABLA 4-6 TABLA DE VELOCIDADES EJE Z.....  | 123 |
| TABLA 4-7. DIÁMETROS DEL TORNILLO DE POTENCIA.....   | 124 |
| TABLA 4-8. VELOCIDAD DE TORNEADO DEL TORNILLO DE POTENCIA.....                               | 124 |
| TABLA 4-9. VELOCIDAD DE CORTE RECOMENDADA PARA TALADRAR CON BROCAS<br>HELICOIDALES. ....     | 125 |
| TABLA 4-10. VELOCIDADES PARA EL PROCESO DE TALADRADO. ....                                   | 126 |
| TABLA 4-11 COSTOS DEL PROYECTO EN USD.....   | 127 |
| TABLA 5-1 PRUEBA DE VELOCIDAD. ....  | 128 |
| TABLA 5-2 VELOCIDAD EN MOTORES. ....   | 128 |
| TABLA 5-3 POSICIÓN DEL ACTUADOR.....   | 129 |
| TABLA 5-4 POSICIONES ABSOLUTA Y RELATIVA Y TIEMPO DE MOVIMIENTO DEL ACTUADOR.<br>.....       | 130 |
| TABLA 5-5 PESO DE CADA BARRA.....  | 131 |
| TABLA 5-6 RANGO DIGITAL .....  | 131 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 1-1 SISTEMA FÍSICO A SER CONTROLADO .....  | 2  |
| FIGURA 1-2 ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL GOBERNADOR CENTRÍFUGO DE WATT.....  | 4  |
| FIGURA 1-3 SISTEMA DE CONTROL EN LAZO CERRADO. ....   | 6  |
| FIGURA 1-4 SISTEMA DE CONTROL EN LAZO ABIERTO. ....   | 7  |
| FIGURA 1-5 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN CONTROLADOR PROPORCIONAL.....  | 8  |
| FIGURA 1-6 DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN CONTROLADOR INTEGRAL .....   | 9  |
| FIGURA 1-7 (A) DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN CONTROLADOR PROPORCIONAL INTEGRAL,<br>(B) ENTRADA ESCALÓN UNITARIO (C) SALIDA DEL CONTROLADOR.....   | 10 |
| FIGURA 1-8 (A) DIAGRAMA DE BLOQUES PARA UN CONTROLAR PD, (B) FUNCIÓN ERROR<br>TIPO RAMPA UNITARIA, (C) SALIDA DEL CONTROLADOR. ....           | 11 |
| FIGURA 1-9 (A) DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN CONTROLADOR PID, (B) ENTRADA AL<br>CONTROLADOR TIPO RAMPA UNITARIA, (C) SALIDA DEL CONTROLADOR. .... | 12 |
| FIGURA 1-10. FAMILIA DE CONTROLADORES MICROLOGIX™ ALLEN BRADLEY DE<br>ROCKWELL AUTOMATION.....  | 16 |
| FIGURA 1-11. PARTES Y COMPONENTES PRINCIPALES DE UN PLC. ....   | 17 |
| FIGURA 1-12. PARTES DEL CONTROLADOR MICROLOGIX™ 1100 .....  | 20 |
| FIGURA 1-13. MÓDULOS Y MEMORIA ADICIONAL PARA EL MICROLOGIX 1100.....   | 21 |
| FIGURA 1-14. EJEMPLO DE PROGRAMACIÓN CON TEXTO ESTRUCTURADO. ....   | 23 |
| FIGURA 1-15. ESQUEMA DE PROGRAMACIÓN A TRAVÉS DE DIAGRAMA DE BLOQUES DE<br>FUNCIONES. ....  | 23 |
| FIGURA 1-16. EJEMPLO DE PROGRAMA SFC.....   | 24 |
| FIGURA 1-17. ROBOT INDUSTRIAL .....   | 27 |
| FIGURA 1-18. DISTINTOS TIPOS DE ARTICULACIONES PARA ROBOTS.....   | 28 |
| FIGURA 1-19. CONFIGURACIONES MÁS USUALES DE ROBOTS INDUSTRIALES. ....   | 29 |
| FIGURA 1-20. SUJETADOR COMO EFECTOR FINAL DE UN ROBOT.....  | 31 |
| FIGURA 1-21 ESQUEMA DE ROBOT CARTESIANO Y NOTACIÓN D-H .....  | 35 |
| FIGURA 2-1. ESQUEMA GENERAL ROBOT CARTESIANO.....   | 39 |
| FIGURA 2-2. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE PARA EL ANÁLISIS DEL EJE GUÍA EN X.....  | 40 |
| FIGURA 2-3. DEFORMACIÓN DEL EJE GUÍA X PARA LA CARGA DADA.....  | 41 |
| FIGURA 2-4. ANÁLISIS DE ESFUERZOS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS .....  | 42 |
| FIGURA 2-5. UBICACIÓN DEL MAYOR ESFUERZO EN EL EJE.....   | 43 |

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 2-6. CONFIGURACIÓN DEL CANAL PARA EL ALOJAMIENTO DEL ANILLO.....                   | 44 |
| FIGURA 2-7. LONGITUD LIBRE DEL EJE PARA SOPORTARLO. ....                                  | 44 |
| FIGURA 2-8. DIAGRAMA DEL SOPORTE DE EJES, CARGA DE COMPRESIÓN.....                        | 45 |
| FIGURA 2-9. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL EJE X EN POSICIÓN EXTREMA DE LA CARGA.<br>.....  | 46 |
| FIGURA 2-10. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL CARRO X.....                                    | 48 |
| FIGURA 2-11. REPRESENTACIÓN DEL SISTEMA DE POLEAS EN X.....                               | 51 |
| FIGURA 2-12. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA POLEA DEL MOTOR. VISTA FRONTAL .              | 51 |
| FIGURA 2-13. REPRESENTACIÓN DEL COJINETE DE DESLIZAMIENTO (SLIDING BEARING).              | 53 |
| FIGURA 2-14. FLEXIÓN MÁXIMA DEL EJE GUÍA Y. ....  | 54 |
| FIGURA 2-15. DIAGRAMA SIMPLIFICADO DEL FUNCIONAMIENTO DEL EJE GUÍA EN Z. ....             | 57 |
| FIGURA 2-16. REPRESENTACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DEL CARRO EN Z. ....                      | 57 |
| FIGURA 2-17. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE PARA EL EJE GUÍA EN Z. ....                         | 58 |
| FIGURA 2-18. DEFORMACIÓN DEL EJE GUÍA EN Z, ANÁLISIS POR COMPUTADOR.....                  | 59 |
| FIGURA 2-19. DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE LA POSICIÓN DEL TORNILLO EN Z EN EL<br>SISTEMA..... | 60 |
| FIGURA 2-20. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL TORNILLO Z. ....                                | 60 |
| FIGURA 2-21. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE RODAMIENTO EN Z. ....                               | 63 |
| FIGURA 2-22. REPRESENTACIÓN DEL PÓRTICO SOPORTE DEL ROBOT .....                           | 67 |
| FIGURA 2-23. ESFUERZO DE COMPRESIÓN MÁXIMO .....  | 70 |
| FIGURA 2-24. MODELO DE ACTUADOR FINAL (SUJETADOR). ....                                   | 71 |
| FIGURA 2-25. POSICIÓN ESLABONES AL ESTAR PINZA CERRADA (MODELO).....                      | 71 |
| FIGURA 2-26. DIAGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL TORQUE DEL MOTOR DE LA PINZA. ....              | 72 |
| FIGURA 2-27. DCL ESLABÓN 3 (PINZA). ....  | 73 |
| FIGURA 2-28. DCL ESLABÓN 1C (PINZA).....  | 74 |
| FIGURA 2-29. DCL ESLABÓN 1, (PINZA). ....   | 75 |
| FIGURA 2-30. ESQUEMA DE LA BANDA .....  | 76 |
| FIGURA 2-31. REPRESENTACIÓN DEL SENSOR DE PESO. ....                                      | 78 |
| FIGURA 2-32. PLATAFORMA PARA SENSAR EL PESO (VISTA FRONTAL).....                          | 79 |
| FIGURA 2-33. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA PLATAFORMA Y LOS RESORTES.....                | 80 |
| FIGURA 2-34. CURVA DE COMPORTAMIENTO DEL RESORTE. ....                                    | 81 |
| FIGURA 2-35. REPRESENTACIÓN DEL RESORTE DE COMPRESIÓN. ....                               | 82 |
| FIGURA 2-36. TIPOS DE EXTREMOS PARA RESORTES DE COMPRESIÓN. ....                          | 84 |

|  |     |
|--|-----|
| FIGURA 3-1. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL TORNILLO PARA ANÁLISIS DE ROTACIÓN<br>ALREDEDOR DE SU EJE X-X. .... | 90  |
| FIGURA 3-2. DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE LA POSICIÓN DEL TORNILLO EN X CON SUS<br>SOPORTES. ....                 | 92  |
| FIGURA 3-3 MOTOR PASO A PASO .....   | 96  |
| FIGURA 3-4 ESTATOR DE CUATRO BOBINAS.....  | 97  |
| FIGURA 3-5 ROTOR DE UN MOTOR PASO A PASO.....  | 98  |
| FIGURA 3-6 DIAGRAMA DE CONTROL DE UN SERVOMOTOR.....   | 99  |
| FIGURA 3-7 SEÑALES DE CONTROL DEL SERVO Y SUS RESPECTIVAS POSICIONES. ....                                   | 100 |
| FIGURA 3-8 VENTANA DE INICIO DEL RSLOGIX 500.....  | 102 |
| FIGURA 3-9 VENTANA DE SELECCIÓN DEL TIPO DE PLC.....   | 103 |
| FIGURA 3-10 ENTORNO DE PROGRAMACIÓN Y ELEMENTOS PRINCIPALES DE RSLOGIX<br>500. ....                          | 103 |
| FIGURA 3-11 VENTANA DE CONFIGURACIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS.....  | 104 |
| FIGURA 3-12 VENTANA DE AYUDA DEL GRUPO DE INSTRUCCIONES DEL RSLOGIX 500. ....                                | 104 |
| FIGURA 3-13. DIAGRAMA DE FLUJO. ....   | 109 |
| FIGURA 3-14 VENTANA PRINCIPAL DE RSLINX CLASSIC. ....  | 111 |
| FIGURA 3-15 VENTANA DE CONFIGURACIÓN DE DRIVER DE COMUNICACIÓN. ....   | 112 |
| FIGURA 3-16 VENTANA DE CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS COMUNICADOS POR RS232<br>.....                           | 112 |
| FIGURA 3-17. VENTANA DE COMUNICACIONES DESDE RSLOGIX 500.....  | 113 |
| FIGURA 3-18. VENTANA DE COMUNICACIÓN DEL PLC MICROLOGIX 1100 (DIRECCIÓN).<br>.....                           | 113 |
| FIGURA 3-19. DESCARGA DEL PROGRAMA AL PLC. ....  | 114 |
| FIGURA 3-20 BOTONES PARA COMPILAR ARCHIVO Y PROYECTO.....  | 114 |
| FIGURA 3-21 USO DE OPTOACOPLADORES EN EL CIRCUITO DE POTENCIA. ....  | 116 |
| FIGURA 3-22 CIRCUITO DE ENLACE SALIDAS PLC-ENTRADAS PIC CON<br>OPTOACOPLADORES.....                          | 116 |
| FIGURA 4-1 PARTES PRINCIPALES DEL PROTOTIPO DE ROBOT SENSOR DE PESO. NIVEL 1.<br>.....                       | 117 |
| FIGURA 4-2.- ELEMENTOS DEL ROBOT CARTESIANO. NIVEL 2. ....   | 118 |
| FIGURA 4-3.- GRUPOS DE ELEMENTOS DE LOS CARROS. ....   | 118 |
| FIGURA 5-1. POSICIÓN ABSOLUTA EN PLANOS LOS PLANOS X Y Y RESPECTO A HOME. ....                               | 129 |

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se han aplicado conocimientos de las áreas de diseño de máquinas, análisis de mecanismos, electrónica, control automático y automatización industrial para lograr el control automático de un prototipo de robot cartesiano que tiene como tarea clasificar en forma autónoma objetos en función de su peso, además de servir como un elemento didáctico para el Laboratorio de Automatización Industrial de Procesos Mecánicos.

Para lograr ese objetivo se ha planificado el proceso de construcción a través del desarrollo de un modelo asistido por computador y a partir de ello desarrollar los distintos planos y hojas de procesos para su construcción.

En el proceso constructivo se han utilizado máquinas de uso común en el medio como es el caso de tornos, taladros, sierras mecánicas, soldadura entre otros.

El proceso de automatización se lo desarrolló en dos partes una etapa de potencia y una etapa de control, en donde la etapa de potencia hace referencia al control sobre los motores utilizados a través de placas electrónicas y la etapa de control por medio del PLC (controlador lógico programable) de la marca Allen Bradley, propiedad del Laboratorio de Automatización Industrial.

Al final del presente documento se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas después de haber construido y probado el prototipo.

## PRESENTACIÓN

En el Ecuador las nuevas tecnologías relacionadas con la automatización y control de procesos, se han convertido en una de las herramientas más importantes en el desarrollo productivo, ya que por medio de esto es posible agilizar los procesos de producción en las plantas industriales, eliminar tiempos muertos, reducir tiempos en bodega, reducir riesgos de accidentes, etc.

Los PLCs (controladores lógicos programables) son una de las herramientas más versátiles y seguras en el momento de automatizar un proceso, ya que su fácil programación y reducido tiempo de instalación frente a otros medios de automatización, lo han convertido en el medio más usado para lograr ese objetivo.

La programación de PLCs es una evidente necesidad para obtener un control total sobre un proceso productivo, además de la correcta instalación de ésta herramienta, que es muy útil en la vida industrial altamente competitiva.

La programación de PLCs no es la única fuente de automatización, existen otros medios como los microcontroladores que son ampliamente usados en control electrónico y en Robótica de alta exigencia, también es necesario ampliar los conocimientos en estas áreas que forman parte una ciencia llamada mecatrónica.

En vista de esta necesidad y puesto que un ingeniero mecánico requiere desarrollar éstas habilidades, se presenta éste proyecto como un medio para fortalecer estos conocimientos ya sea modificando el programa del PLC o modificando el actuador final y desarrollando otra aplicación. El prototipo desarrollado estará a disposición de los estudiantes de la facultad de ingeniería mecánica que cursen la asignatura de PLCs.

# CAPÍTULO 1

## CONTROL INDUSTRIAL

### 1.1 CONTROL AUTOMÁTICO

El control automático industrial es parte del progreso industrial desarrollado durante lo que ahora se conoce como la segunda revolución industrial. El control automático de procesos se usa fundamentalmente porque reduce el costo de los procesos industriales, lo que compensa con creces la inversión en equipo de control. Además hay muchas ganancias intangibles, como por ejemplo la eliminación de mano de obra pasiva, la cual provoca una demanda equivalente de trabajo especializado. La eliminación de errores es otra contribución positiva del uso del control automático.

Los sistemas de control automático se aplican en diversos campos, como control de procesos químicos y del petróleo, control de hornos en la fabricación del acero, control de máquinas herramientas, y en el control de misiles. El uso de las computadoras analógicas y digitales y el desarrollo de las telecomunicaciones han posibilitado la aplicación de ideas de control automático a sistemas físicos que hace apenas pocos años eran imposibles de analizar o controlar.

La aplicación de los controladores lógicos programables PLC's es uno de los mayores logros de la ciencia de control automático y control electrónico, además, los sistemas de control PID y los sistemas SCADA son ejemplos claros de los avances en la tecnología de control industrial.

La forma común de un control automático, es el lazo cerrado con retroalimentación, que se define como "una operación en la cual, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia y lo continúa haciendo con base en esta diferencia." Las teorías generales y definiciones de control automático han estado desarrollando conceptos que asisten al diseñador para encontrar las tres

especificaciones básicas del comportamiento de un sistema de control, que son conocidos como, estabilidad, precisión y velocidad de respuesta<sup>1</sup>.

El propósito del presente trabajo es desarrollar el control mediante un PLC para el proceso industrial de soldadura de perfiles de PVC.

### 1.1.1 SISTEMA FÍSICO PARA EL CONTROL

La condición necesaria para que el control de un sistema físico cumpla con su finalidad es que este sistema funcione correctamente. Para el control los componentes del sistema físico se consideran dentro de una “caja negra” y más bien se considera al sistema en forma paramétrica, siendo los parámetros funcionales desde el punto de vista del control los mostrados en la Figura 1-1:



Figura 1-1 Sistema físico a ser controlado

- **Salidas:** Son parámetros cuantificables que representan los objetivos de un sistema.
- **Entradas:** Son parámetros cuantificables sobre los que se puede actuar directamente.
- **Perturbaciones:** Son parámetros generalmente del medio ambiente en que funciona el sistema y que son muy difíciles o imposible de evitarlos. Estos parámetros se consideran perturbaciones solamente cuando estos afectan significativamente en el funcionamiento de un sistema.

<sup>1</sup> AVALLONE E., (1999), “Mark’s Standard Handbook for Mechanical Engineers”, Ed. Mc-Graw Hill, USA, pág. 16-22.

Para cuantificar estos parámetros se pueden usar valores discretos (entre los más importantes están: ON/OFF; ENCENDIDO/APAGADO; 0/1, etc.) o también rangos de valores sean discretos o continuos.

### 1.1.2 ELEMENTOS DE CONTROL

El control en sí mismo es un sistema físico y por lo tanto se define como un conjunto de elementos que interactúan con el fin de posibilitar que un sistema cumpla con sus objetivos. Para evitar confusiones con los sistemas que controla, simplemente se lo llama Control.

Los componentes principales del control son:

- **Sensores:** Son dispositivos que establecen, detectan o sensan parámetros de los sistemas físicos y envían esta información a un controlador.
- **Controlador:** Es el cerebro que además de almacenar información, recibe información de los sensores, procesa información y envía órdenes a los actuadores para que accionen sobre el sistema en vista a lograr que este logre sus objetivos.
- **Actuadores:** Son dispositivos que reciben las órdenes por parte del controlador y accionan o actúan sobre un sistema para controlarlo.

Estos componentes de un sistema de control pueden tener tecnologías muy diversas: mecánica, electromecánica, electrónica, etc.

### 1.1.3 SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO

Existe una gran variedad de sistemas de control para distintos procesos o sistemas, tales sistemas pueden ser abstractos o dinámicos. Por lo que, los controles están dirigidos tanto a sistemas físicos, biológicos, económicos, entre otros. El presente trabajo se centrará en procesos eminentemente dinámicos como procesos de control de desplazamientos, velocidades, posiciones, etc.

El control sobre mecanismos o elementos de máquinas ha estado presente desde la antigüedad. Tal es el caso del regulador de velocidad centrífugo desarrollado por James Watt en 1788, presentado en la Figura 1-2, que se desarrollo para controlar la velocidad de una máquina de vapor, este proyecto marca el punto inicio para el desarrollo del control automático y en particular el control retroalimentado como ciencia.<sup>2</sup>

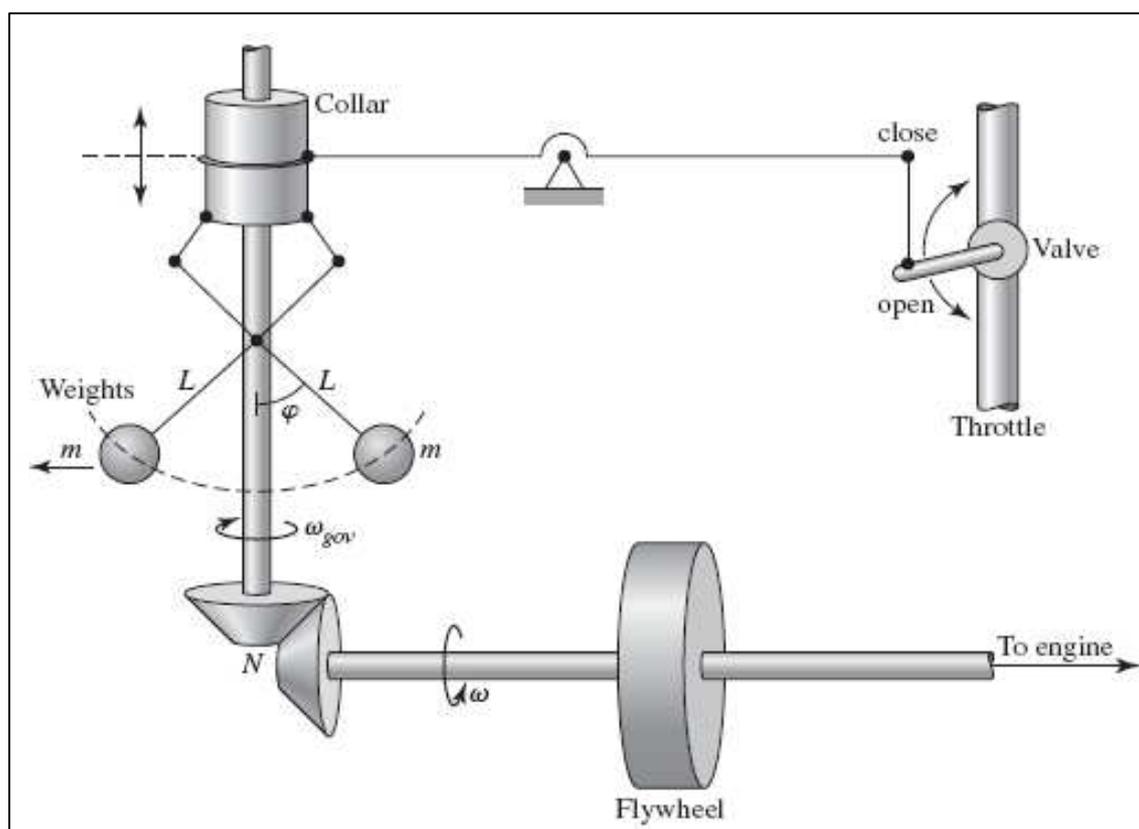


Figura 1-2 Esquema simplificado del gobernador centrífugo de Watt.

<sup>2</sup> STANISLAW H., (2003), "Systems and control", Ed. Oxford university Press, USA, pág. 5.

### 1.1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

Dependiendo del tipo de sujeto, el control se clasifica en:

- **Control manual:** Cuando un operador humano es el que efectúa el control sobre el sistema.
- **Control automático:** Cuando no interviene un operador humano, sino son elementos artificiales los que efectúan el control.
- **Control semiautomático:** Cuando parte del proceso de control es automático y otra parte es manual.

La distinción la determina la acción de control, que es la que activa al sistema para producir la salida. Se distinguen entre dos sistemas de control que son:

- Sistemas de control de lazo cerrado
- Sistemas de control de lazo abierto

#### 1.1.4.1 Sistemas de control en lazo cerrado

Los sistemas de control en lazo cerrado también son conocidos como sistemas de control realimentados. En la Figura 1-3 se muestra el diagrama de bloques de este sistema de control. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de realimentación (que puede ser la señal de salida misma o una función de la señal de salida o sus derivadas y/o integrales), a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente. El término en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema.

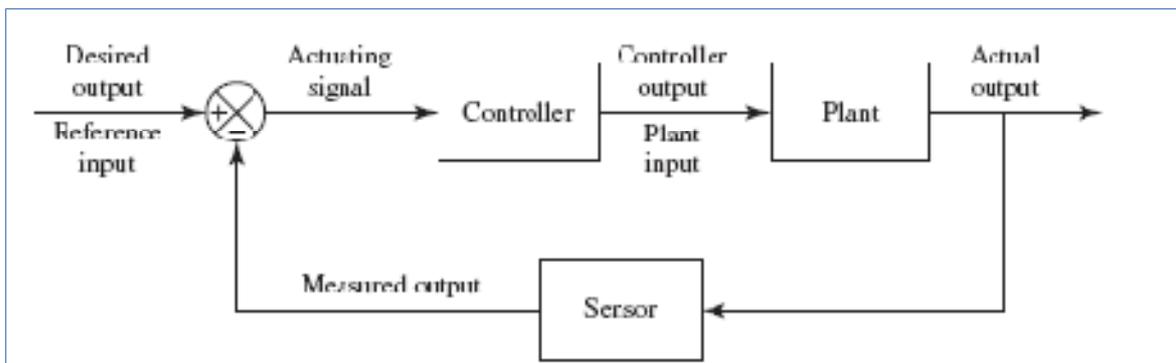


Figura 1-3 Sistema de control en lazo cerrado.

En la Tabla 1-1 se muestra las principales diferencias entre un sistema en lazo abierto y uno en lazo cerrado.

Tabla 1-1. Diferencias entre control de lazo cerrado y abierto.

| Control en lazo cerrado                        | Control en lazo abierto                          |
|--|--|
| Rechaza perturbaciones                         | No rechaza perturbaciones                        |
| Puede hacerse inestable                        | No tiene problemas de estabilidad                |
| Se puede controlar un sistema inestable        | No se puede controlar un sistema inestable       |
| Es adecuado cuando no se conoce bien la planta | Requiere un conocimiento muy exacto de la planta |
| Requiere mayor número de componentes           | Requiere un menor número de componentes          |
| Suele ser caro                                 | Suele ser más económico                          |

#### 1.1.4.2 Sistemas de control en lazo abierto

Los sistemas en los cuales la salida no afecta la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. Es decir en este tipo de sistemas de control no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. En la Figura 1-4 se muestra el diagrama de bloques del sistema de control de lazo abierto. En un sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Por tanto, a cada entrada de referencia le corresponde una condición operativa fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones el control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la

relación entre entrada y salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Cualquier sistema que opere con base en tiempo es en lazo abierto. Tal es el caso del control del tránsito mediante señales operadas con base de tiempo o una lavadora que realiza su trabajo en base de tiempo, estas máquinas no miden la señal de salida ni la comparan con la entrada.<sup>3</sup>

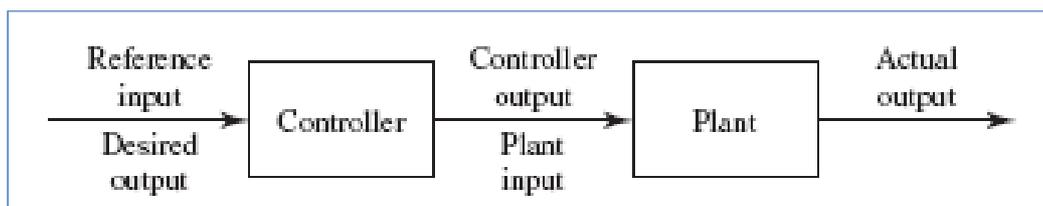


Figura 1-4 Sistema de control en lazo abierto.

### 1.1.5 CONTROLADORES INDUSTRIALES

Los controladores industriales se clasifican de acuerdo con sus acciones de control como:

1. De dos posiciones o de encendido y apagado (on/ff)
2. Proporcionales
3. Integrales
4. Proporcionales-integrales
5. Proporcionales-derivativos
6. Proporcionales-integrales-derivativos

Casi todos los controladores industriales emplean como fuente de energía la electricidad o un fluido presurizado, como el aceite o el aire. Los controladores también se clasifican de acuerdo a la fuente de energía que usan, como neumáticos, hidráulicos o electrónicos.

<sup>3</sup> OGATA K., (1998), *"Ingeniería de Control Moderna"*, Pearson Educación, México, pág. 7.

### 1.1.5.1 Control de dos posiciones

Este control se usa para elementos que tienen sólo dos posiciones fijas, que en muchos casos son: encendido o apagado. Es relativamente barato y simple, razón por la cual se usa en sistemas industriales y domésticos.

### 1.1.5.2 Control proporcional

Para un controlador proporcional, la relación entre la salida del controlador  $u(t)$  y la señal de error  $e(t)$  es:

$$u(t) = K_p e(t)$$

O bien, en cantidades transformadas por el método de Laplace,

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$

En donde  $K_p$  se considera la ganancia proporcional. Cualquiera que sea el mecanismo real y la forma de la potencia de operación, el controlador proporcional es, en esencia, un amplificador con una ganancia ajustable. En la Figura 1-5 se muestra el diagrama de bloques de este controlador.

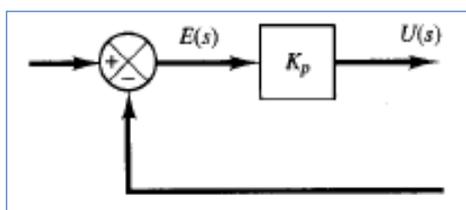


Figura 1-5 Diagrama de bloques de un controlador proporcional.

El objetivo en el control proporcional es sintonizar un valor de  $K_p$  que permita cumplir con el tiempo de subida requerido.

Cuando  $K_p$  es grande, el tiempo de subida es más corto, pero el sobrepico puede ser muy grande y hasta puede desestabilizar el sistema. Cuando  $K_p$  es pequeño, el tiempo de subida es muy largo y no se puede cumplir con los parámetros de diseño.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> AGUINAGA Álvaro, (2007), "Cátedra: Control Automático", EPN, Ecuador.

### 1.1.5.3 Control integral

En un controlador con acción de control integral, el valor de la salida del controlador  $u(t)$  cambia a una razón proporcional a la señal de error  $e(t)$ , así.

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t)$$

O bien

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

En donde  $K_i$  es una constante ajustable. La función de transferencia del controlador integral es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s}$$

Si se duplica el valor  $e(t)$ , el valor de  $u(t)$  varía dos veces más rápido. Para un error de cero, el valor de  $u(t)$  permanece estacionario. La acción de control integral se denomina control de reajuste (reset). En la Figura 1-6 se muestra el diagrama de bloques de este controlador.

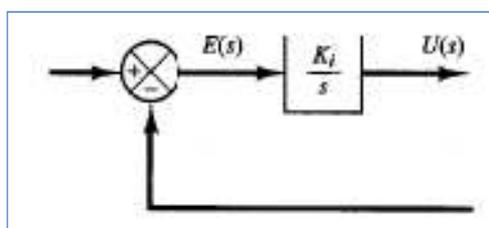


Figura 1-6 Diagrama de bloques de un controlador integral

Este control tiene como objetivo disminuir el error en estado estacionario mediante la utilización de una constante que multiplica al valor de error en la derivada de la salida. En muy pocos sistemas es adecuado utilizar sólo este tipo de control más bien se lo utiliza en conjunto con el proporcional o con el PID.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Ibíd

### 1.1.5.4 Control proporcional integral

La acción de control de un controlador proporcional integral (PI) se define mediante la siguiente expresión:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

O la función de transferencia del controlador que es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

En donde  $K_p$  es la ganancia proporcional y  $T_i$  se denomina tiempo integral. Tanto  $K_p$  como  $T_i$  son ajustables. En la Figura 1-7(a) se muestra un diagrama de bloques de un controlador proporcional integral. Si la señal de error  $e(t)$  es una función escalón unitario, como se muestra en la Figura 1-7(b), la salida del controlador  $u(t)$  se convierte en lo que se muestra en la Figura 1-7(c).

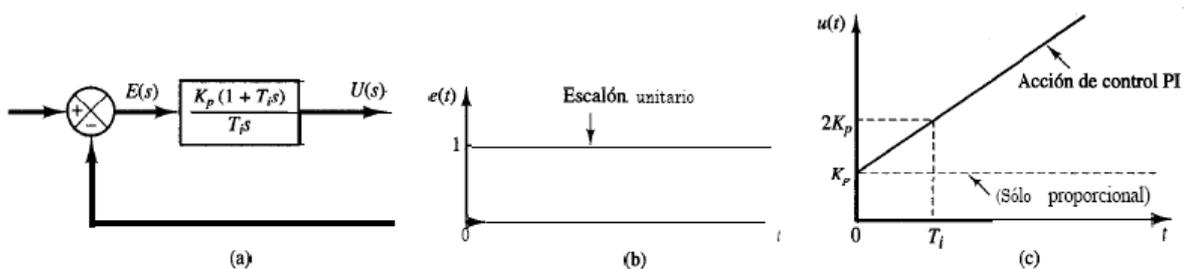


Figura 1-7 (a) Diagrama de bloques de un controlador proporcional integral, (b) Entrada escalón unitario (c) Salida del controlador.

Con este tipo de control se puede conjuntamente obtener un tiempo de subida adecuado y minimizar el error.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Ibíd

### 1.1.5.5 Control proporcional derivativo

La acción de control de un controlador proporcional-derivativo (PD) se define como sigue:

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

y la función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p(1 + T_d s)$$

En donde  $K_p$  es la ganancia proporcional y  $T_d$  es una constante denominada tiempo derivativo. Tanto  $K_p$  como  $T_d$  son ajustables. La acción de control derivativa, en ocasiones denominada control de velocidad, ocurre donde la magnitud de la salida del controlador es proporcional a la velocidad de cambio de la señal de error. El tiempo derivativo  $T_d$  es el intervalo de tiempo durante el cual la acción de la velocidad hace avanzar el efecto de la acción proporcional. La acción de control derivativa tiene un carácter de previsión. Una acción de control derivativa nunca prevé una acción que nunca ha ocurrido. Este control posibilita obtener tiempos de subida adecuados pero con el control derivativo se minimiza los sobrepicos.<sup>7</sup>

La acción de control derivativa tiene las desventajas de que amplifica las señales de ruido y puede provocar un efecto de saturación en el actuador. Por lo que la acción de control derivativa no se usa sola, debido a que sólo es eficaz durante periodos transitorios. En la Figura 1-8 (a) se muestra un diagrama de bloques un controlador PD. Con una señal de error  $e(t)$  tipo rampa unitario en la Figura 1-8(b), la salida del controlador  $u(t)$  se convierte en la que se presenta en (c).

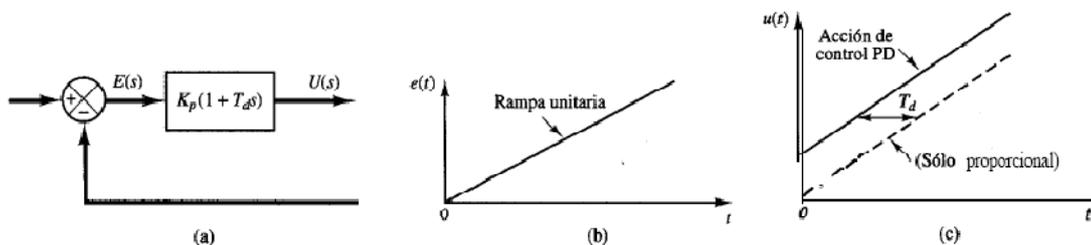


Figura 1-8 (a) Diagrama de bloques para un controlador PD, (b) Función error tipo rampa unitaria, (c) Salida del controlador.

<sup>7</sup> Ibíd

### 1.1.5.6 Control proporcional integral derivativo

Este control conocido como PID es la acción conjunta de los controles proporcional, integral y derivativo. La combinación de estas acciones de control tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individual. La ecuación de un controlador PID se presenta así:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

O la función de transferencia:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

En donde  $K_p$  es la ganancia proporcional,  $T_i$  es el tiempo integral y  $T_d$  es el tiempo derivativo. El diagrama de bloques de un controlador PID aparece en la Figura 1-9(a). Si el error  $e(t)$  es una función rampa unitaria, como la que se observa en la Figura 1-9(b), la salida del controlador  $u(t)$  se convierte en la de la Figura 1-9(c).

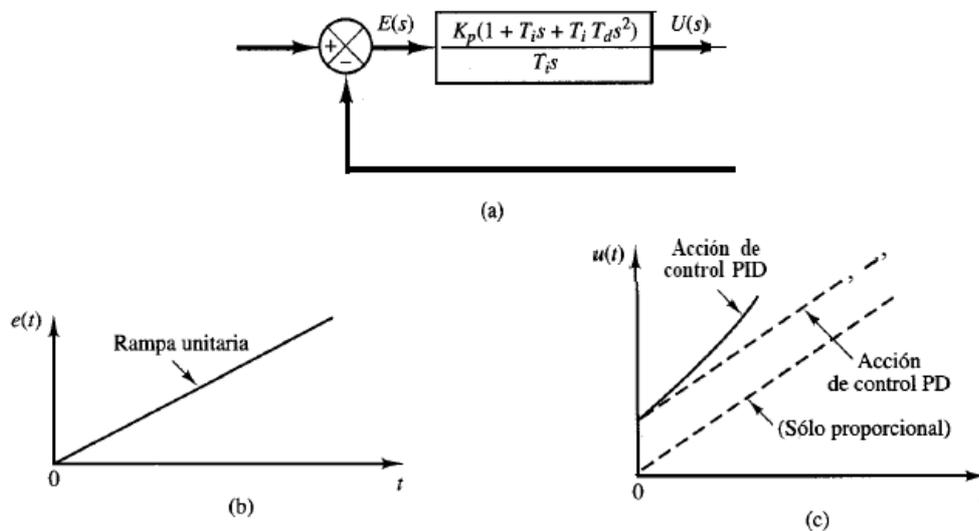


Figura 1-9 (a) Diagrama de bloques de un controlador PID, (b) Entrada al controlador tipo rampa unitaria, (c) Salida del controlador.

Este es el control que se usa para controlar máquinas, procesos industriales y sistemas en general, principalmente cuando los controladores son electrónicos.

Con este control se logra obtener un tiempo de subida requerido, minimizar el error y evitar sobrepicos.

El objetivo de la ingeniería de control es la de sintonizar los valores de los controles  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  logrando un control (eficaz) adecuado.<sup>8</sup>

## 1.2 PLC

El término PLC significa en inglés, Controlador Lógico Programable, al mismo que en Europa se lo denomina autómatas programables. El PLC es un aparato digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, que permite la implementación de funciones específicas (tales como lógica, secuencias, temporizadores, conteos, aritmética) con el objeto de controlar máquinas y procesos.<sup>9</sup> Estas instrucciones son guardadas en su memoria programable a través de un lenguaje que depende del dispositivo.

### 1.2.1 CARACTERÍSTICAS

Los PLC son similares a las computadoras, pero tienen características específicas que permiten su empleo como controladores, las características son:

- Son robustos y están diseñados para resistir vibraciones, temperatura, humedad y ruido.
- La interface para las entradas y las salidas puede estar dentro o del controlador o en módulos adicionales.
- Las operaciones consisten en operaciones de lógica y conmutación.

---

<sup>8</sup> AGUINAGA Álvaro, (2006), "*Cátedra: Robótica Industrial*", EPN, Ecuador.

<sup>9</sup> Definición de National Electrical Manufacturers Association (NEMA)

### 1.2.2 FUNCIONES DEL PLC

Debido al gran avance en los autómatas, las funciones han ido aumentando dependiendo del tipo de controlador. Las funciones básicas son:

- Detección: de las señales de entrada que llegan de los sensores.
- Mando: para enviar señales hacia los actuadores.
- Dialogo hombre maquina: permite mostrar al operario el estado del PLC.
- Programación: posibilita al operario variar algunas líneas del programa.

Las nuevas funciones desarrolladas en los últimos años se deben al avance en la ingeniería de control, las funciones son:

- Redes de comunicación.
- Sistemas de supervisión.
- Control de procesos continuos.
- Entradas- Salidas distribuidas.
- Buses de campo.

### 1.2.3 VENTAJAS

Las ventajas de los PLC frente a los controladores comunes como controladores neumáticos, o circuitos cableados eléctricos se exponen en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2. Ventajas de los PLC vs. otros tipos de controladores<sup>10</sup>.

|            | <b>PLC</b>  | <b>Otros</b>  |
|------------|---|---|
| Costo      | Asequibles para controles complejos, caros para aplicaciones sencillas. | Muy caros por los componentes usados y esfuerzo de fabricación. |
| Fiabilidad | Muy alta, menor cantidad de componentes y conexiones.                   | Baja, por la cantidad de componentes y conexiones.              |

<sup>10</sup> (<http://www.infopl.net/Documentacion/documentacion.htm>)

|              |   |   |
|--------------|---|---|
| Flexibilidad | Muy alta, debido a que el cambio en la estrategia de control necesita del cambio en la programación | Casi nula, un pequeño cambio en el diseño de control o del proceso originaba costosas modificaciones. |
| Volumen      | Reducido debido a la tecnología de los circuitos integrados que componen los equipos                | Se necesita de un gran espacio para albergar todos los equipos.                                       |

#### 1.2.4 TIPOS

La clasificación de los PLC depende del fabricante. Para establecer un rango general, se ha determinado los siguientes parámetros para la clasificación en tres gamas<sup>11</sup>:

Tabla 1-3. Características de los tipos de PLC

| Características    | GAMA                            |                                  |                                   |
|--------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
|                    | Baja                            | Media                            | Alta                              |
| Entradas y salidas | máximo 128                      | entre 128 y 512                  | más de 512                        |
| Memoria de usuario | hasta 4 kbytes de instrucciones | hasta 16 kbytes de instrucciones | hasta 100 kbytes de instrucciones |

Los autómatas Allen Bradley tiene la familia de controladores Micrologix™ que pertenecen a la gama baja en tanto que sus controladores Controllogix™ pertenecen a la gama alta.

<sup>11</sup> PEÑA J., (2003), "Introducción a los autómatas programables". Ed. UOC, España.



Figura 1-10. Familia de controladores Micrologix™ Allen Bradley de Rockwell Automation<sup>12</sup>

### 1.2.5 COMPONENTES

Los PLC se encuentran conformados por elementos agrupados en módulos. Estos módulos permiten gran versatilidad para la configuración del PLC dependiendo de las necesidades de control del proceso. Los componentes principales de un PLC se encuentran agrupados en las tres partes principales del autómatas, como se muestra en la Figura 1-11.

<sup>12</sup> (<http://samplecode.rockwellautomation.com>, <http://samplecode.rockwellautomation.com>)

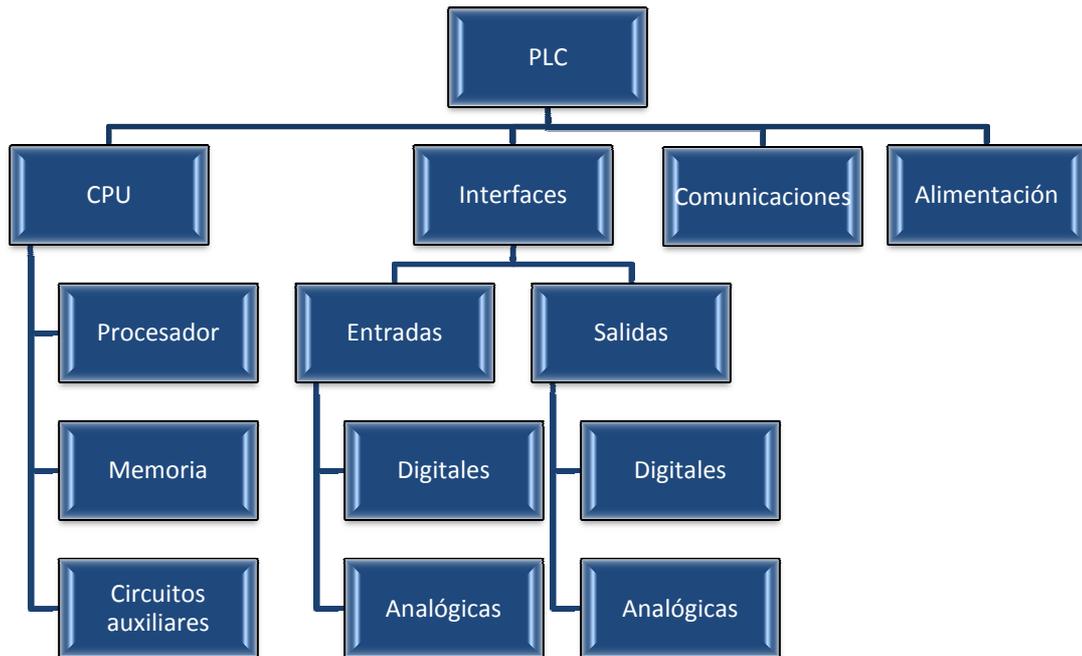


Figura 1-11. Partes y componentes principales de un PLC.

### 1.2.5.1 La CPU

CPU significa unidad central de procesamiento, es decir, es el cerebro del PLC. Tiene la función de interpretar las instrucciones del programa del usuario al mismo tiempo que consulta el estado de las entradas, con esta información ordena la activación de las salidas programadas. Pueden ser estándares como los existentes en las computadoras, o desarrollados específicamente para el PLC. Las partes de la CPU son:

- Procesador. Se encuentra conformado por el microprocesador el cual es un circuito integrado.
- Memoria. Sirve para almacenar los datos para ejecutar las tareas de control, existen algunos tipos: RAM, ROM, EPROM, EEPROM.
- La memoria RAM es una memoria de lectura y escritura. En esta memoria se guardan los datos y programas que se encuentran en ejecución. Usa una batería exterior para asegurar el mantenimiento de los datos.

- La memoria ROM es de lectura, por lo tanto no es programable. En esta se almacenan los programas de supervisión y los datos de inicialización. Estos datos se los conoce como el programa monitor del sistema.
- La memoria EPROM es de solo lectura. Se utiliza para almacenar el programa de usuario, una vez que ha sido convenientemente depurada.
- La memoria EEPROM memoria de solo lectura. Se emplea principalmente para almacenar programas transferidos de la RAM. El programa de la RAM se graba simultáneamente en la EEPROM, y si surge una falla de alimentación la información permanece en la EEPROM, al reanudar el alimentación la información de la EEPROM pasa a la RAM. De esta manera se sustituye la combinación de memoria RAM y batería.

## 1.2.5.2 Interfaces

### 1.2.5.2.1 Las entradas

- Digitales

Los módulos de entrada digitales trabajan con señales de tensión. Son las que reciben la señal de los sensores. Cuando por una vía llegan 24 voltios se interpreta como un "1" y cuando llegan cero voltios se interpreta como un "0". Las entradas se encuentran aisladas del equipo. El número de las entradas depende del equipo, es decir, se considera un factor para determinar la gama a la que pertenece el PLC.

- Analógicas

Los módulos de entrada analógicas permiten que los autómatas programables trabajen con accionadores de mando analógico y lean señales como la temperatura, la presión o el caudal. Estas señales pueden ser de dos tipos: de tensión o corriente.

Los módulos de entradas analógicas convierten una magnitud analógica en un número que se deposita en una variable interna del autómata. Éste realiza una conversión A/D, puesto que el autómata solo trabajar con señales digitales.

#### 1.2.5.2.2 *Las salidas*

- Digitales

Las salidas de este tipo pueden ser de contactos libres o de relé. En estos casos el valor binario de la salida digital indica el cierre o apertura de un relé interno del PLC. Esto facilita la alimentación externa de los actuadores. En los módulos estáticos (bornero), los elementos que conmutan son los componentes electrónico como transistores o triacs, y en los módulos electromecánicos son contactos de relés internos al módulo. Al igual que las entradas digitales, el número es variable y es un factor para determinar la gama y el precio del PLC.

- Analógicas

Los módulos de salida analógica permiten que el valor de una variable numérica interna del autómata se convierta en tensión o intensidad. Estas salidas deben ser cortocircuitables para brindar seguridad al PLC en caso de que existieran sobrecargas. El costo del PLC depende de este tipo de salidas, en cuanto a la velocidad de conversión entre señal digital a analógica.

#### 1.2.5.3 **Comunicaciones**

A través de este módulo el PLC tiene la capacidad de comunicarse con otros dispositivos, tales como equipos de programación, ordenadores personales o con otros autómatas, con el fin de realizar controles más complejos.

#### 1.2.5.4 **Alimentación**

El requerimiento de alimentación depende del tipo de PLC. La fuente proporciona el voltaje necesario para el funcionamiento del PLC. Debe eliminar las interferencias que presenta la red y de ser posible ser autónomas para prevenir fallos de la red. La alimentación de operación de la familia Micrologix™ es de 120/240 VCA / 24 VCC. En tanto que la alimentación a los módulos E/S puede realizarse en 48/110/220 V para C.A. o a 12/24/48 V para C.C.

### 1.2.6 ESTRUCTURA

La estructura externa de un PLC se relaciona con el aspecto físico. Existe tres clasificaciones para la estructura: compacta, semimodular y modular. La primera se relaciona con los autómatas de gama baja los cuales presentan en un solo bloque todos sus elementos. La estructura semimodular es aquella que presenta las E/S separadas del resto del autómata. Este tipo de estructura corresponde a los PLC de gama media. Por último, la estructura modular corresponde a los PLC de gama alta. Estos tipos de PLC tienen un módulo para cada uno de los diferentes elementos del autómata.

El autómata programable que será usado en el presente proyecto de titulación es el controlador Micrologix™ 1100 que se encuentra en la gama baja. Las partes externas del mismo se exponen en la Figura 1-12.



Figura 1-12. Partes del controlador Micrologix™ 1100<sup>13</sup>

<sup>13</sup> (<http://literature.rockwellautomation.com>)

Las entradas con las que cuenta el Micrologix™ 1100 son: 10 digitales y 2 analógicas. Tiene 6 salidas digitales. Al PLC Micrologix se lo puede adicionar módulos de entradas y salidas dependiendo de la necesidad de uso para obtener un máximo de 80 E/S digitales. Otro elemento que se puede adicionar es memoria. En la Figura 1-13 se muestran estos elementos aplicados en el Micrologix™ 1100.

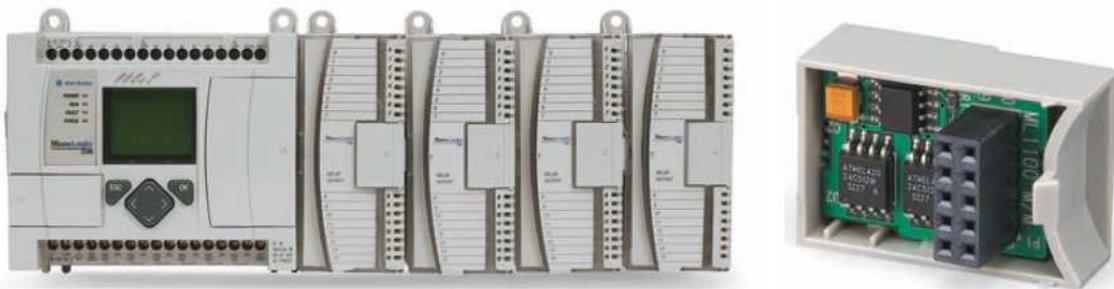


Figura 1-13. Módulos y memoria adicional para el Micrologix 1100.<sup>14</sup>

La pantalla LCD que tiene el PLC permite mostrar el estado del controlador, el estado de las E/S y mensajes de operador simple, entre otras pocas funciones básicas más. El Micrologix™ 1100 cuenta con puerto de comunicación RS-232/485 el mismo que permite conectar al autómeta con el computador para transferir la programación o para conectar con otros autómetas.

### 1.2.7 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

La programación consiste en describir en lenguaje de programa la sucesión ordenada de instrucciones disponibles en el sistema de programación y que resuelven el control sobre un proceso determinado. La programación del PLC se puede hacer mediante el uso de un ordenador compatible con software que permita al usuario generar el programa. En el caso del Micrologix™ 1100 el programa podrá ser grabado en la memoria del PLC con la ayuda de un cable de transferencia de datos, a través del puerto RS 232/485.

<sup>14</sup> (<http://literature.rockwellautomation.com>)

El lenguaje de programación usado depende del software proporcionado por el fabricante del PLC, para la programación del PLC mencionado se usa el software RsLogix 500. Para regular entre los fabricantes y los programadores los diversos lenguajes de programación se ha definido el estándar IEC 1131-3, el cual incluye cinco lenguajes distribuidos en dos categorías: lenguajes textuales y gráficos.

### **1.2.7.1 Lenguajes textuales**

Los lenguajes textuales son aquellos en que las instrucciones son expresiones literales, y son:

- Lenguaje por Lista de Instrucciones. (IL)

Consiste en elaborar una lista de instrucciones que se asocian a los símbolos y su combinación en un circuito eléctrico a contactos. A este lenguaje se lo puede considerar como la forma más rápida de programación. Su uso es frecuente en pequeñas aplicaciones y para optimizar partes de una aplicación existente.

- Texto estructurado. (ST)

Este tipo de lenguaje facilita la programación de procesos que contengan cálculos grandes e instrucciones complejas. Este lenguaje es de alto nivel ya que usa lenguaje de programación, de los cuales el lenguaje BASIC es el más usado en las aplicaciones de PLC, por lo tanto los operadores son matemáticos, lógicos y también de consecuencia. En la programación el texto estructurado no distingue entre mayúsculas y minúsculas. Además se puede usar tabulaciones para facilitar al programador al momento de la edición, las mismas que no tendrán efecto al momento de ejecutar el programa.

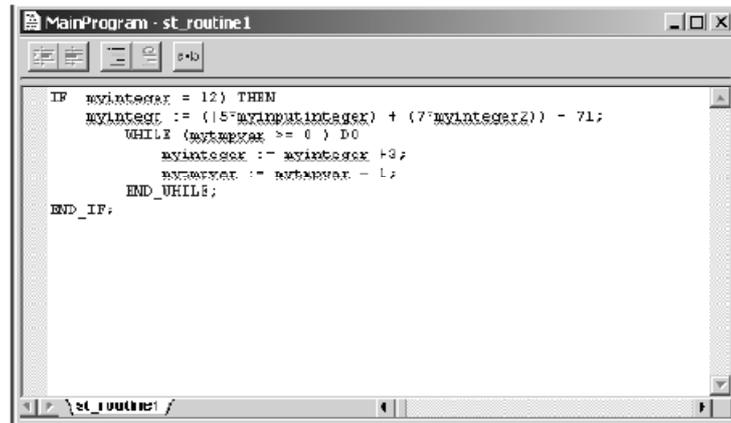


Figura 1-14. Ejemplo de programación con texto estructurado.<sup>15</sup>

### 1.2.7.2 Lenguajes gráficos

Los lenguajes gráficos son los primeros y más usados en la gran mayoría de aplicaciones, los tipos de lenguajes que pertenecen a este grupo son:

- Diagrama de bloques función. (FBD)

Es un lenguaje gráfico que permite programar mediante elementos que aparecen como bloques. Cada bloque de función es una instrucción que define una acción de control. Estos son unidos entre sí de manera similar al circuito eléctrico.

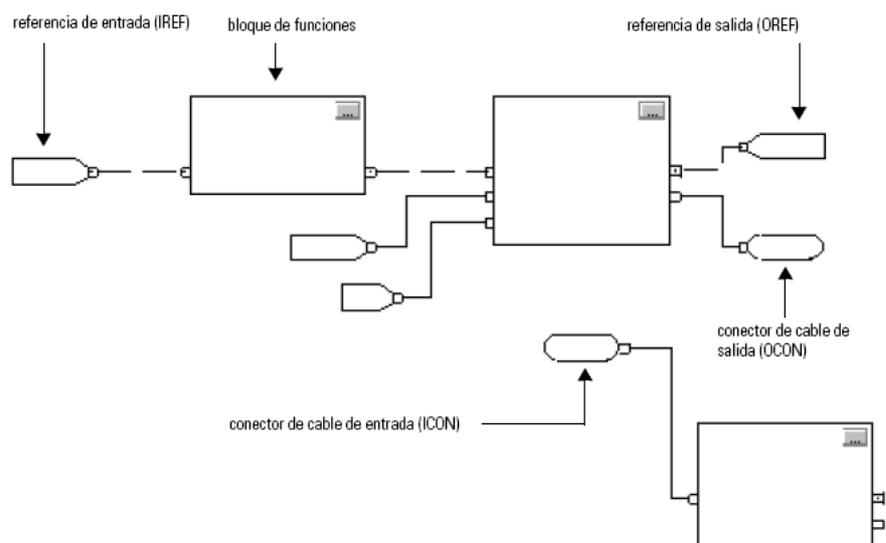


Figura 1-15. Esquema de programación a través de diagrama de bloques de funciones.<sup>16</sup>

<sup>15</sup> (<http://literature.rockwellautomation.com>)

- Carta funcional secuencial. (SFC)

También es conocido con el nombre de diagrama de funciones secuenciales. La programación es similar a un diagrama de flujo en los cuales existen pasos y transiciones para realizar operaciones o acciones específicas.

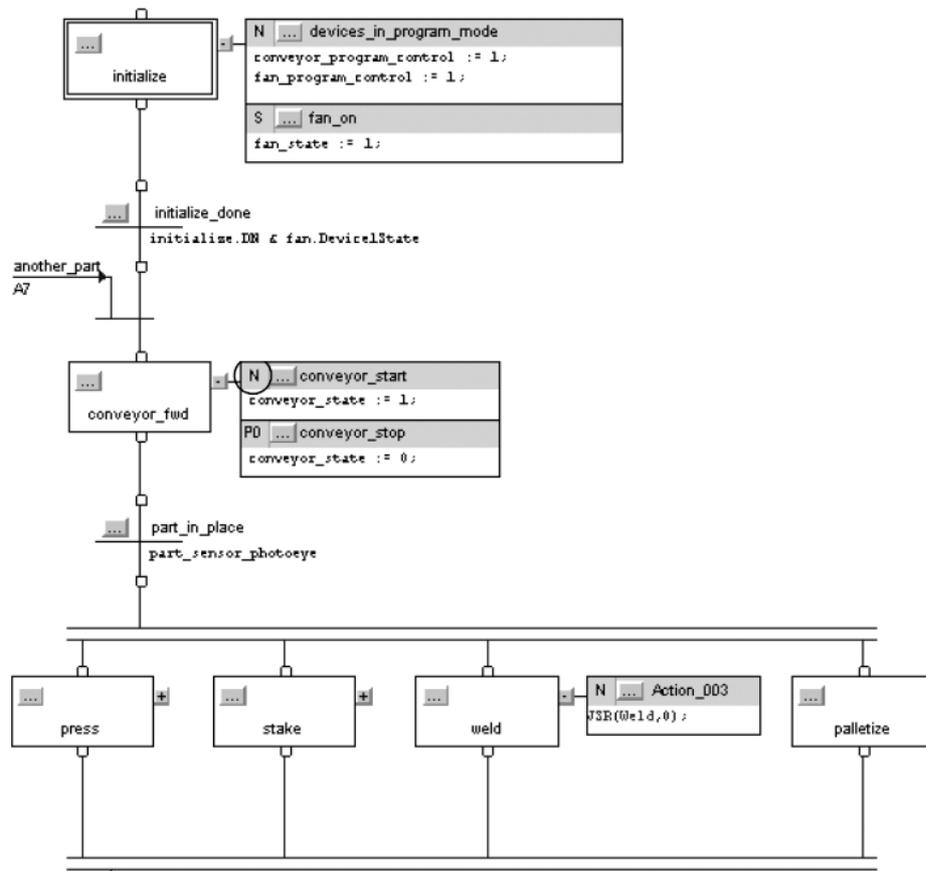


Figura 1-16. Ejemplo de programa SFC.<sup>17</sup>

- Lenguaje a contactos. (LD)

Conocido como lenguaje ladder o lógica de escalera de relé. Toma el nombre por dos líneas verticales las cuales representan los polos de alimentación, las mismas que se encuentran unidas por líneas horizontales que contienen las instrucciones de entrada y de salida las cuales forman peldaños. Este lenguaje es el que más similitudes tiene con el utilizado por un electricista al elaborar cuadros de automatismos. Muchos autómatas incluyen módulos especiales de software para poder programar gráficamente de esta forma.

<sup>16</sup> (<http://literature.rockwellautomation.com>) Publicación 1756-QR107C-ES-P, pág. 89.

<sup>17</sup> (<http://literature.rockwellautomation.com>) Publicación 1756-QR107C-ES-P, pág. 47.

## 1.3 ROBÓTICA INDUSTRIAL

### 1.3.1 INTRODUCCIÓN

La robótica nace como una necesidad del hombre por solucionar problemas relacionados con la productividad y también con influencias de la ciencia ficción de los años 1920. La palabra robot es difundida por primera vez por el dramaturgo Karel Capek en su novela *Rossum's Universal Robots*, en la que se define robot como esclavo u obrero en el lenguaje checo. Sin embargo ya se conocía de trabajos acerca de mecanismos autónomos como<sup>18</sup>:

- Hombre de hierro de Alberto Magno (1204-1282)
- Gallo de Estrasburgo (1352)
- León mecánico de Leonardo Da Vinci (1499)
- Hombre de Palo de Juanelo Turriano (1525)

Según la Organización Internacional de Estandarización ISO en su informe técnico ISO 8373 define robot como un manipulador multifuncional, reprogramable, y automáticamente controlado con tres o más ejes. El Instituto Americano del Robot ahora Asociación de Industrias Robóticas RIA define robot como un manipulador multifuncional, reprogramable diseñado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especiales a través de movimientos programados para el desempeño de una variedad de tareas.<sup>19</sup>

Ahora es fácil de imaginar un robot con forma humanoide, que camine, que mueva objetos o incluso que haga tareas especializadas como: pintar, soldar, escribir, etc. pero esto requiere de gran desarrollo tecnológico en el campo de la inteligencia artificial y sistemas de control automático. Sin embargo a eso apuntan las investigaciones y requerirá de más tiempo para lograrlo. La robótica moderna busca robots capaces de desarrollar tareas en forma autónoma, es decir capaces de tomar decisiones frente a situaciones que podrían variar en el tiempo.

---

<sup>18</sup> BARRIENTOS A., (1997), "*Fundamentos de Robótica*", Ed. McGraw-Hill, España. pág. 3.

<sup>19</sup> THOMAS R., (2005), "*Robotics and Automation Handbook*". Ed. CRC PRESS, USA, pág. 1-1.

El trabajo que se presenta aquí está orientado a lo que se conoce como robótica industrial, que es la que se encarga de desarrollar robots capaces de desempeñar trabajos que son muy comunes en la industria pero el hombre no puede desarrollar ya sea debido a su repetitividad, altos requerimientos de esfuerzo físico y/o peligro con la manipulación. El robot presenta las grandes ventajas de que no se cansa ni tampoco se distrae del trabajo y si manipula objetos peligrosos no pondrá ninguna vida humana en peligro. Entonces es una buena opción al momento de desempeñar éstas tareas, seleccionar un robot apropiado. La Figura 1-17 muestra un robot industrial usado en tareas de soldadura.

### 1.3.2 CLASES DE ROBOTS

Según la Federación Internacional del Robot IFR se distingue cuatro tipos de robots:

- Robot secuencial.
- Robot de trayectoria controlable.
- Robot adaptativo.
- Robot telemanipulado.

La Tabla 1-4 muestra la clasificación de los robots según la Asociación Francesa de Robótica Industrial.

Tabla 1-4. Tipos de robots según la Asociación Francesa de Robótica Industrial.<sup>20</sup>

| Tipo | Características   |
|------|---|
| A    | Manipulador con control manual o telemando.   |
| B    | Manipulador automático con ciclos preajustados; regulación mediante fines de carrera o topes; control por PLC; accionamiento neumático, eléctrico o hidráulico. |
| C    | Robot programable con trayectoria continua o punto a punto. Carece de conocimientos sobre su entorno.   |
| D    | Robot capaz de adquirir datos de su entorno, readaptando su tarea en función de éstos.  |

<sup>20</sup> BARRIENTOS A., (1997), “Fundamentos de Robótica”, Ed. McGraw-Hill, España.pág. 10.



Figura 1-17. Robot industrial<sup>21</sup>

### 1.3.3 MORFOLOGÍA DE UN ROBOT

Un robot está formado por los siguientes elementos: estructura mecánica, transmisiones, sistema de accionamiento, sistema sensorial, sistema de control y elementos terminales.

#### 1.3.3.1 Estructura Mecánica

Mecánicamente un robot está formado por elementos o eslabones que están unidos mediante articulaciones que permiten el movimiento relativo entre ellos, la Figura 1-18 muestra los distintos tipos de articulaciones para los robots.

<sup>21</sup> SHIRCLIFF D., (2002), “*Build a remote-controlled Robot*”, Ed. McGraw-Hill, USA, pág. xiii.

Cada uno de los movimientos independientes que realiza cada eslabón uno con respecto al otro se llama grado de libertad (GDL), en la Figura 1-18 también se muestra los grados de libertad de cada articulación.

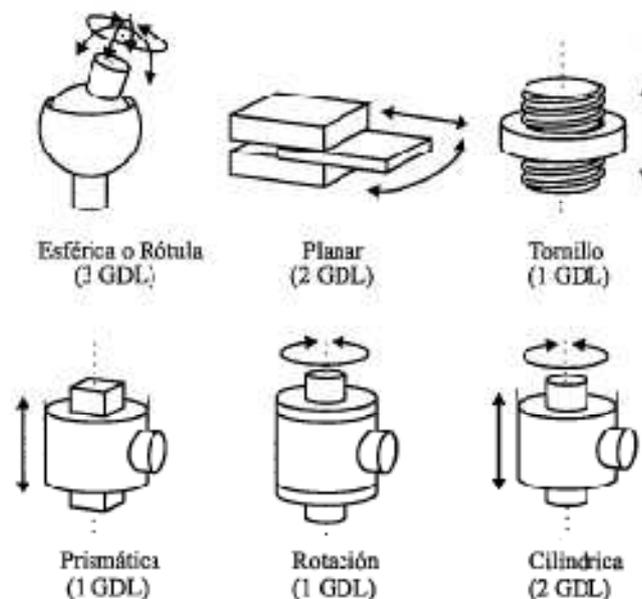


Figura 1-18. Distintos tipos de articulaciones para robots.<sup>22</sup>

El número de grados de libertad de un robot depende de las articulaciones que lo componen. El empleo de diferentes combinaciones de articulaciones en un robot, da lugar a diferentes configuraciones, con características a tener en cuenta tanto en el diseño y construcción del robot como en su aplicación. Las combinaciones más frecuentes se las presenta en la Figura 1-19 donde se atiende únicamente a las tres primeras articulaciones del robot, que son las más importantes a la hora de posicionar su extremo en un punto del espacio.

<sup>22</sup> BARRIENTOS A., (1997), "Fundamentos de Robótica", Ed. McGraw-Hill, España, pág. 17.

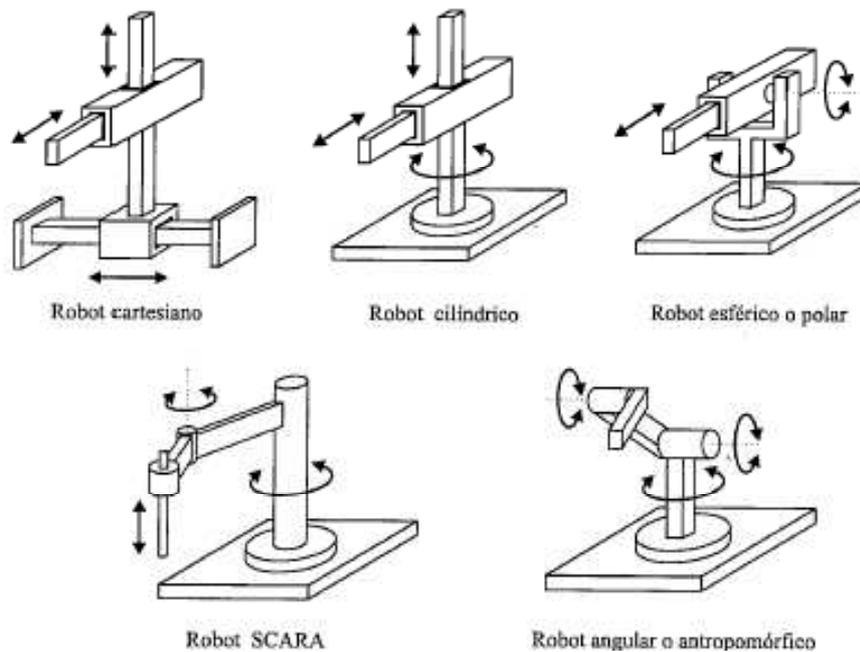


Figura 1-19. Configuraciones más usuales de robots industriales.<sup>23</sup>

### 1.3.3.2 Transmisiones y Reductores

Las transmisiones son los elementos encargados de transmitir el movimiento desde los actuadores hasta las articulaciones. Se incluirán junto con las transmisiones a los reductores, encargados de adaptar el par y la velocidad de la salida del actuador a los valores adecuados para el movimiento de los elementos del robot.

### 1.3.3.3 Actuadores

Los actuadores tienen por misión generar el movimiento de los elementos del robot según las órdenes dadas por la unidad de control. Los actuadores utilizados en robótica pueden emplear energía neumática, hidráulica o eléctrica. Cada uno de estos sistemas presenta características diferentes, siendo preciso evaluarlas a la hora de seleccionar el tipo de actuador más conveniente. Las características a considerar son entre otras:

<sup>23</sup> Ibíd. pág.18.

- Potencia
- Control
- Precisión
- Peso y volumen
- Velocidad
- Mantenimiento
- Coste

#### 1.3.3.4 Sensores

Para conseguir que un robot realice su tarea con la adecuada precisión, velocidad e inteligencia, será preciso que tenga conocimiento tanto de su propio estado como del estado de su entorno. La información relacionada con su estado (posición de sus articulaciones) la consigue con los denominados sensores internos, mientras que la que se refiere al estado de su entorno, se adquiere con los sensores externos. La Tabla 1-5 muestra los tipos de sensores internos.

Tabla 1-5. Tipos de sensores internos de robots.<sup>24</sup>

| Detección | Tipo   | Sensor  |
|-----------|--|---|
| Presencia | Inductivo<br>Capacitivo<br>Efecto Hall<br>Célula Reed<br>Óptico<br>Ultrasónico<br>Contacto |   |
| Posición  | Analógicos   | Potenciómetros<br>Resolver<br>Sincros<br>Inductosyn<br>LVDT (Transformador diferencial de variación lineal) |
|           | Digitales  | Encoders absolutos<br>Encoders incrementales<br>Regla óptica  |
| Velocidad | Tacogeneratriz   |   |

<sup>24</sup> BARRIENTOS A., (1997), "Fundamentos de Robótica", Ed. McGraw-Hill, España, pág. 36.

### 1.3.3.5 Control

Para el control de un robot moderno es necesario hacer uso de los modernos microcontroladores que existen en el mercado, microcontroladores como PICs, AVR, entre otros son usados actualmente para desarrollar aplicaciones inteligentes. Otro elemento muy usado en sistemas automáticos es el PLC (controlador lógico programable), que ofrece grandes ventajas como: facilidad de programación, más robusto y resistente, muy alta confiabilidad. Esto unido al constante avance que presentan los fabricantes de PLCs han facilitado aplicaciones en sistemas complejos como los modernos robots industriales.

### 1.3.3.6 Elementos terminales

Los elementos terminales, también llamados efectores finales (*end effector*) son los encargados de interactuar directamente con el entorno del robot. Pueden ser tanto elementos de aprehensión como herramientas. La Figura 1-20 muestra una pinza sujetadora como efector final.

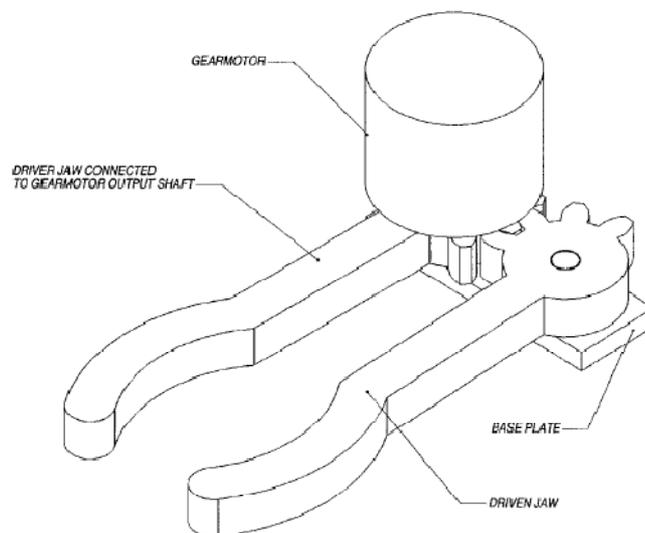


Figura 1-20. Sujetador como efector final de un robot<sup>25</sup>

También es habitual encontrar como elemento terminal un sensor, como un palpador o una cámara de visión artificial.

<sup>25</sup> SANDIN P., (2003), "Devices, Robot Mechanism and Mechanical" Ed. Mc-Graw Hill, USA, pág. 252.

#### 1.3.3.6.1 Garras

Gran parte de las tareas de los robots industriales consiste en la manipulación de piezas, es decir, recoger la pieza, trasladarla y depositarla en otro lugar. Estas operaciones se realizan mediante garras.<sup>26</sup>

- Robots de prensa
- Robots de paletizado
- Robots de empaquetado

Estas garras pueden clasificarse de acuerdo al modo de sujeción, de la siguiente manera:

- Garras mecánicas o pinzas
- Garras succionadoras o ventosas.
- Garras magnéticas o electroimanes
- Garras especiales (a medida de la aplicación)

La garra mecánica es el elemento más usual para sujeción de piezas, está formado por los siguientes elementos:

- El mecanismo de actuación
- Los dedos o elementos que entran en contacto con la pieza.

Dentro de las garras mecánicas se pueden distinguir dos tipos:

- Las que sujetan por rozamiento
- Las que sujetan por enganche

### 1.3.4 APLICACIONES

La gama de aplicaciones de robots está en constante crecimiento, pues al aparecer un nuevo tipo de industria habrá que desarrollar un robot para que haga

---

<sup>26</sup> AGUINAGA Álvaro, (2006), "Cátedra: Robótica Industrial", EPN, Ecuador.

las tareas que el hombre no está apto para ejecutar. Las aplicaciones más comunes de robots industriales se presentan a continuación.<sup>27</sup>

- Trabajos en Fundición
- Soldadura
- Aplicaciones de materiales. Pintura
- Aplicación de adhesivos y sellantes
- Alimentación de máquinas
- Procesado
- Corte
- Montaje
- Paletización
- Control de calidad
- Manipulación en salas blancas

### 1.3.5 NUEVAS APLICACIONES

Las aplicaciones enunciadas anteriormente responden a sectores que, como el del automóvil o de la manufactura, han sido desde hace 40 años usuarios habituales de los robots industriales, pero existen otro tipo de aplicaciones en las cuales las tareas no son repetitivas, no es preciso conseguir elevada productividad y no existe un conocimiento detallado del entorno.

Entre estos sectores se puede citar la industria nuclear, la construcción, la medicina o el uso doméstico. En ninguno de ellos existe la posibilidad de sistematizar y clasificar las posibles aplicaciones, pues éstas responden a soluciones aisladas a problemas concretos.

Este tipo de robots ha venido a llamarse robots de servicio y pueden ser definidos como:

---

<sup>27</sup> BARRIENTOS A., (1997), "*Fundamentos de Robótica*", Ed. McGraw-Hill, España, págs. 293-310.

- Un dispositivo electromecánico, móvil o estacionario, con uno o más brazos mecánicos, capaces de acciones independientes.<sup>28</sup>

Aplicaciones robots de servicio:

- Agricultura y silvicultura
- Ayuda a discapacitados
- Construcción
- Domésticos
- Entornos peligrosos
- Espacio
- Medicina y salud
- Minería
- Submarino
- Vigilancia y seguridad

#### **1.4 CINEMÁTICA DEL ROBOT**

La cinemática del robot permite determinar la posición final del actuador del robot. Esto se genera mediante los parámetros geométricos de los eslabones. Con la ayuda de la notación de Denavit – Hartenberg (DH) se pueden obtener matrices que permiten indicar la posición de los eslabones. La Figura 1-21 muestra en forma esquemática un corte de un robot cartesiano, además los sistemas de ejes coordenados, distancias y giros de los mismos según la nomenclatura D-H.

---

<sup>28</sup> BARRIENTOS A., (1997), “*Fundamentos de Robótica*”, Ed. McGraw-Hill, España, pág. 310.

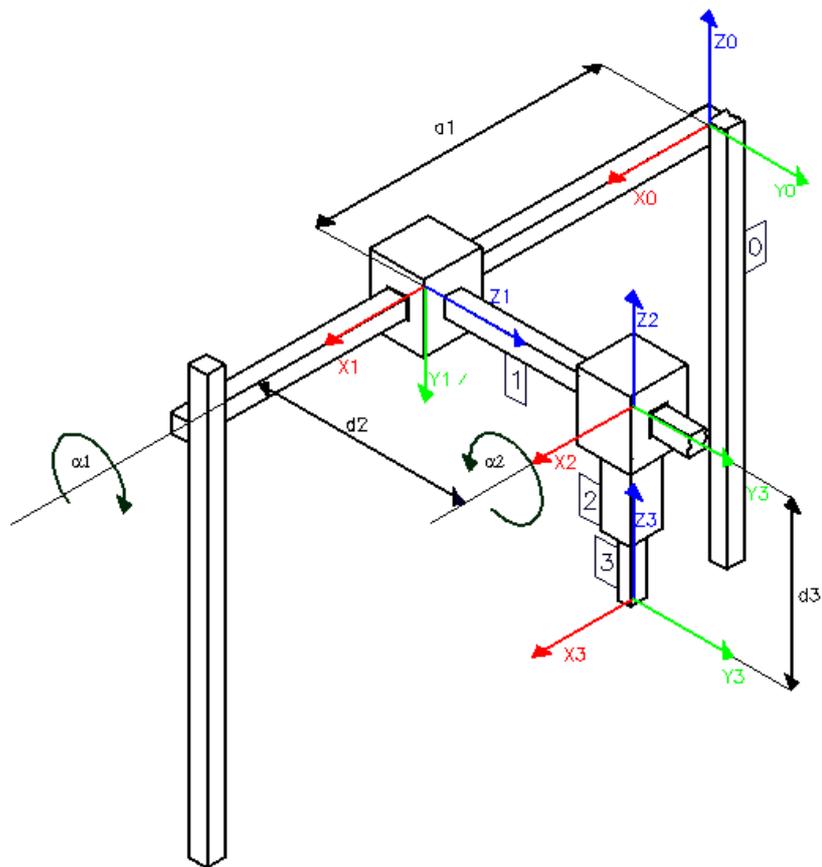


Figura 1-21 Esquema de robot cartesiano y notación D-H.

La Tabla 1-6 muestra los parámetros D-H para el robot cartesiano.

Tabla 1-6 Parámetros D-H para robot cartesiano

| Articulación | $\theta$ | $d$    | $a$   | $\alpha$    |
|--------------|----------|--------|-------|-------------|
| 1            | 0        | 0      | $a_1$ | $-90^\circ$ |
| 2            | 0        | $d_2$  | 0     | $90^\circ$  |
| 3            | 0        | $-d_3$ | 0     | 0           |

Donde:

Articulación es la ubicación del nuevo sistema coordenado.

$\theta$  es el ángulo que gira el sistema coordenado alrededor del eje z,

$d$  es la distancia que se desplaza el sistema en la dirección z,

$a$  es la distancia que se desplaza el sistema en la dirección x,

$\alpha$  es el ángulo que gira el sistema coordenado alrededor del eje x.

Una vez que se han determinado los parámetros D-H se procede a calcular las matrices A para cada una de las articulaciones. Esto se realiza reemplazando los parámetros en la matriz de transformación A que relaciona los giros y traslaciones que ha efectuado un sistema de coordenadas para desplazarse desde una articulación hacia otra. La matriz genérica desarrollada es la siguiente:

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad [1]$$

De la tabla D-H determinada se puede ver que todos los ángulos teta son  $0^\circ$ , por tanto la matriz queda simplificada como:

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & C\alpha_i & -S\alpha_i & 0 \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Para la primera articulación se tiene que:

$$\alpha = -90^\circ, \\ C(-90^\circ) = 0; S(-90) = -1$$

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La segunda articulación:

$$\alpha = 90^\circ, \\ C(90^\circ) = 0; S(90) = 1$$

$${}^1A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La tercera articulación:

$$\alpha = 0^\circ, \\ C(0^\circ) = 1; S(0^\circ) = 0$$

$${}^2A_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La matriz de transformación resultaría de la multiplicación de las matrices anteriores.

$$T = {}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3 \quad [2]$$

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -d3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a1 \\ 0 & 1 & 0 & d2 \\ 0 & 0 & 1 & -d3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

La matriz obtenida es una matriz homogénea de traslación. En la que sólo existen traslaciones y no rotaciones respecto al sistema fijo.

## **CAPÍTULO 2**

### **DISEÑO MECÁNICO DEL ROBOT**

#### **2.1 DISEÑO DEL ROBOT**

##### **2.1.1 ESPECIFICACIÓN DE LAS TAREAS**

El sistema tiene la tarea de clasificar en función del peso de los cuerpos a transportar. Para el caso del prototipo en construcción se usarán pequeñas barras metálicas de pesos variados, desde 0,2 kg a 1,2 kg. Con esto se podrá representar un problema de clasificación.

##### **2.1.2 ANÁLISIS DE INGENIERÍA**

###### **2.1.2.1 Definición del problema**

Dimensionar los distintos elementos mecánicos y estructurales para este sistema que son: sistemas de transmisión de potencia para los movimientos en los ejes X, Y, Z, ejes guía, anillos elásticos, cojinetes de deslizamiento lineal, rodamientos, entre otros elementos mecánicos y de estructura.

###### **2.1.2.2 Plan a seguir**

Para el diseño de los elementos será necesario dividir este sistema en módulos tales que permitan su fácil ensamblaje, para eso se dividirá en los siguientes módulos:

1. Ejes guía y sistema de transmisión de potencia en x
2. Carro en X (Cojinetes en X, ejes y sistema de potencia en Y)
3. Carro en Y (Cojinetes en Y)
4. Carro en Z (Eje y sistema de potencia en Z)

5. Estructura soporte
6. Pinza (actuador final)
7. Banda transportadora
8. Elemento sensor de peso
9. Selección del lubricante

### 2.1.3 CÁLCULOS

#### 2.1.3.1 Cálculo de los diámetros de ejes en x

Para el cálculo de los distintos elementos será necesario un esquema, que dará una guía clara de los elementos a diseñar, la Figura 2-1 da esa explicación.

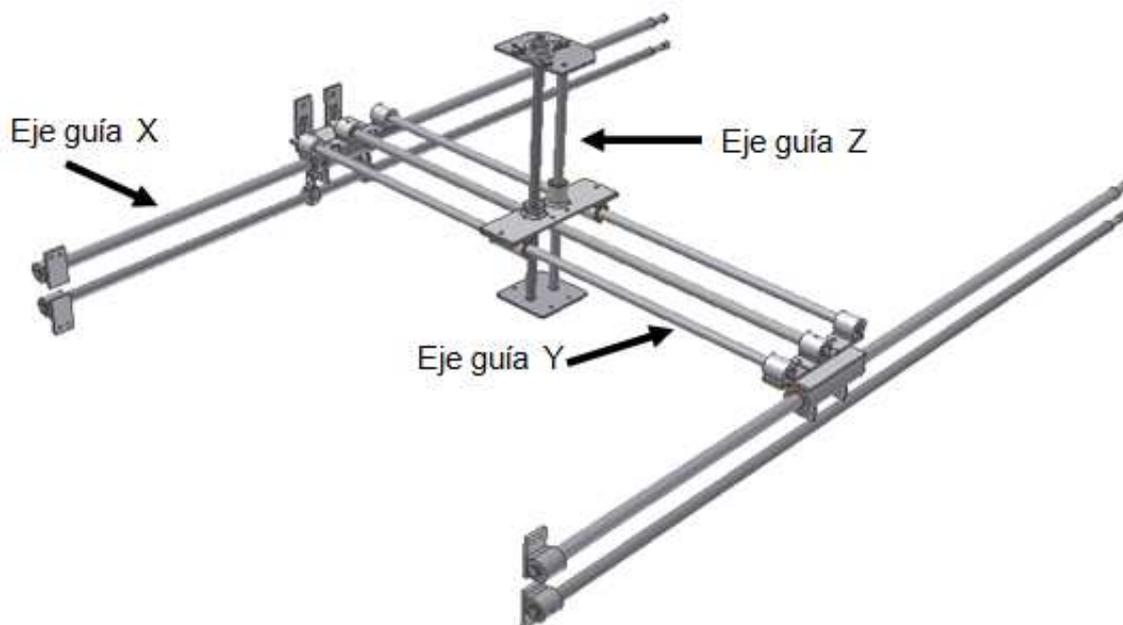


Figura 2-1. Esquema general robot cartesiano.

Para el cálculo del diámetro de los ejes en X, que serán los que soporten toda la carga del sistema se harán las siguientes suposiciones:

- No trabajarán con cargas variables (solo estática).
- El peso de todo el sistema a soportar es de 10 [Kg]. Aproximadamente, incluido el peso de estos ejes.

En la Figura 2-2 se presenta el diagrama de cuerpo libre para el diseño de los ejes en x. Se supondrá carga puntual, la carga (peso) se lo ubicará en el centro para el análisis, como se usarán dos ejes, cada uno soportará la mitad de la carga.

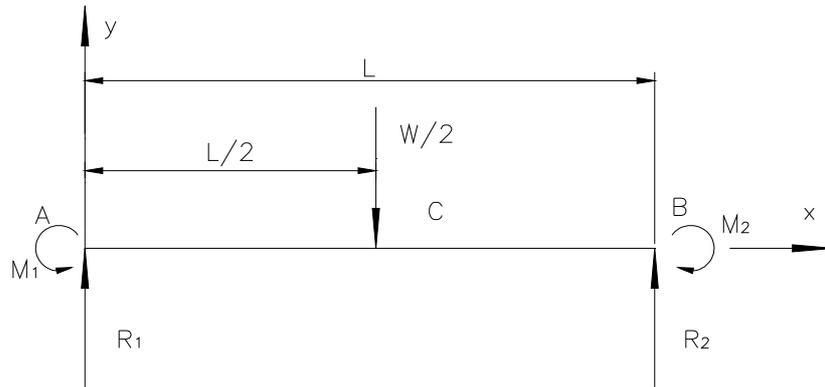


Figura 2-2. Diagrama de cuerpo libre para el análisis del eje guía en x.

Datos:

W: Peso del sistema = 10 [Kg].

L: Longitud requerida = 0,7 [m]

$R_1$  y  $R_2$  reacciones de los soportes =  $\frac{W}{4}$  (en esta configuración).

Para establecer la deflexión máxima en y (coordenadas según la Figura 2-2) se utilizará la siguiente expresión:

$${}^{29}y_{m\acute{a}x} = -\frac{Fl^3}{192EI} \quad [3]$$

Donde:

F: Carga en y, en este caso  $W/2 = 5 \text{ [Kg]} * 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} = 49,1 \text{ [N]}$

l: Longitud del eje = 0,7 [m]

E: Modulo de elasticidad del acero =  $2,06 \times 10^5 \text{ [MPa]}$

I: Momento de inercia de la sección circular =  $\frac{\pi d^4}{64}$

<sup>29</sup> SHIGLEY J., (2006), "Mechanical Engineering Design", Ed. McGraw-Hill, USA, pág. 994.

Se escoge un diámetro de 16 mm,  $I = 3,2169 \cdot 10^{-9} \text{ [m}^4\text{]}$ .

$$y_{\text{máx}} = - \frac{49,1 \text{ [N]} * 0,7^3 \text{ [m}^3\text{]}}{192 * 2,06 * 10^{11} \text{ [N/m}^2\text{]} * 3,21699 * 10^{-9} \text{ [m}^4\text{]}}$$

$$y_{\text{máx}} = -0,000132 \text{ [m]}$$

$$y_{\text{máx}} = -0,132 \text{ [mm]} \text{ (El signo indica la dirección.)}$$

Esta deflexión es aceptable para las funciones requeridas, pero un cálculo por computador con el método de elementos finitos se obtiene el resultado presentado en la Figura 2-3. En éste gráfico se aprecia que de acuerdo a la configuración dada al eje (longitud de soporte), éste flexiona sólo 0,069 mm como máximo, esto indica que el diámetro seleccionado es correcto.

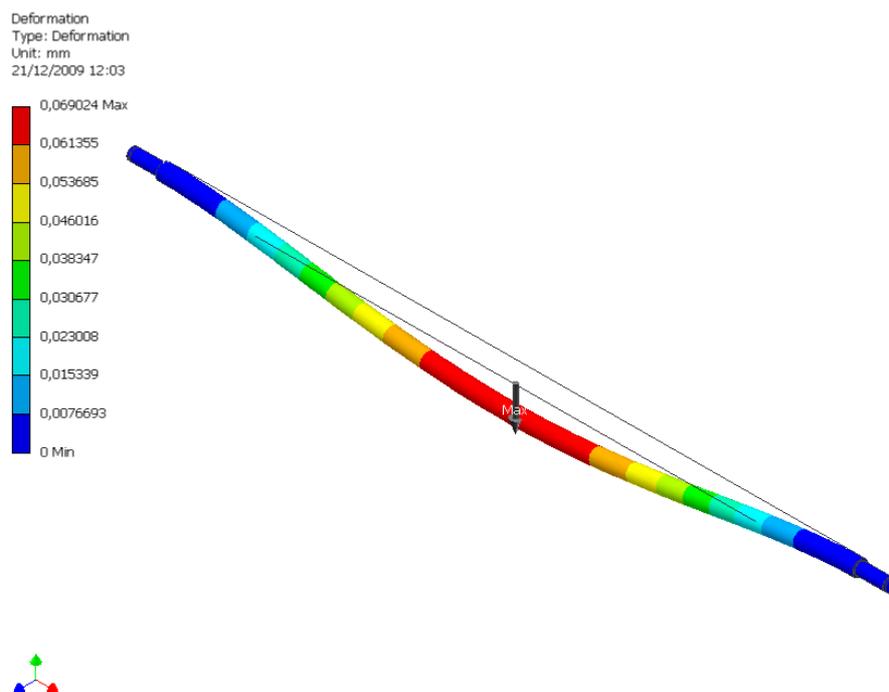


Figura 2-3. Deformación del eje guía x para la carga dada.<sup>30</sup>

El análisis de esfuerzos se lo realiza en los puntos críticos para lo cual se usará el computador, en la Figura 2-4 se muestra el resultado obtenido. Aquí se ve que el

<sup>30</sup> Obtenido del Software Inventor Profesional 2008.

esfuerzo máximo es de 44,5 MPa, si se usa un acero de AISI C1010 con un  $S_y=379 \text{ MPa}$ <sup>31</sup> el factor de seguridad mínimo es:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_{max}} \quad [4]$$

$$\eta = \frac{379}{44,5} = 8,5$$

Este factor de seguridad garantiza el correcto funcionamiento del eje, aunque con un factor de 1,5 estaría garantizado que no falle, el problema es que la deflexión no sería aceptable, porque causaría demasiado desalineamiento y por ende problemas en los movimientos, además desgastaría mucho los cojinetes de deslizamiento del carro en x.

El mayor esfuerzo se produce en una zona de cambio de sección en la Figura 2-5 se muestra el cambio de sección.

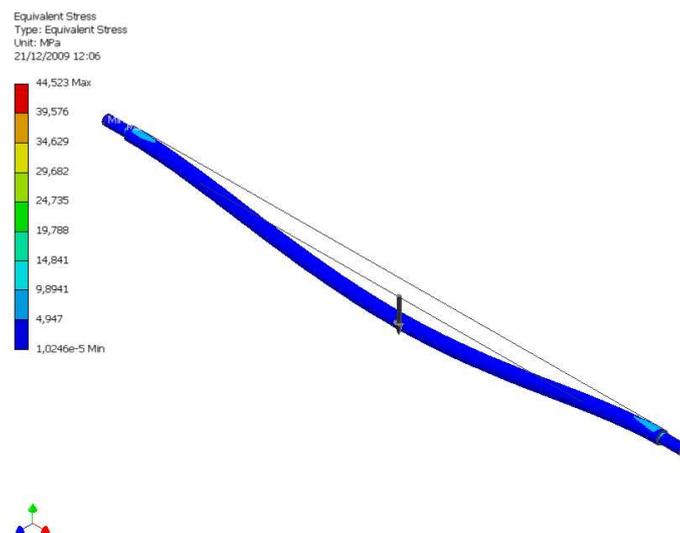


Figura 2-4. Análisis de esfuerzos por el método de elementos finitos<sup>32</sup>

<sup>31</sup> AVALLONE E., (1999), 'Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers), Ed. Mc-Graw Hill, USA., pág. 6-32.

<sup>32</sup> Obtenido del Software Inventor Profesional 2008.

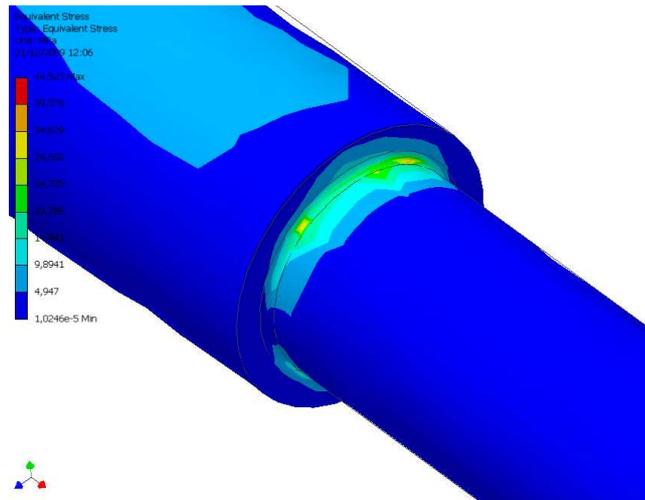


Figura 2-5. Ubicación del mayor esfuerzo en el eje.

El diámetro de los ejes guías en x serán de 16 [mm] (estándar). El diseño de los alojamientos para los anillos de retención se hace de acuerdo a normas establecidas<sup>33</sup>. El diámetro de los dos extremos del eje son reducidos para facilitar el acople con los soportes, esta sección será de 12 [mm] de diámetro. Los anillos de retención externos se los selecciona de acuerdo a la norma ANSI B27,7M-1977, R1983 tipo 3CM1<sup>34</sup>. La selección del anillo se resume en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1. Anillos de retención-Serie ANSI B27.7M-1977, R1983<sup>35</sup>.

| Shaft Diam. | Ring       |           |             |              |          |          |              | Groove       |            |           |             |              |          |          |              |              |
|-------------|------------|-----------|-------------|--------------|----------|----------|--------------|--------------|------------|-----------|-------------|--------------|----------|----------|--------------|--------------|
|             | Free Diam. | Thickness | Outer Diam. | Diam.        | Width    | Depth    | Edge Margin  | Shaft Diam.  | Free Diam. | Thickness | Outer Diam. | Diam.        | Width    | Depth    | Edge Margin  |              |
|             | <i>S</i>   | <i>D</i>  | <i>t</i>    | <i>Y</i> nom | <i>G</i> | <i>W</i> | <i>d</i> ref | <i>Z</i> min | <i>S</i>   | <i>D</i>  | <i>t</i>    | <i>Y</i> nom | <i>G</i> | <i>W</i> | <i>d</i> ref | <i>Z</i> min |
| 1           | 0.64       | 0.25      | 2.0         | 0.72         | 0.32     | 0.14     | 0.3          | 11           | 8.55       | 0.9       | 17.4        | 8.90         | 1.0      | 1.05     | 2.1          | ...          |
| 2           | 1.30       | 0.25      | 4.0         | 1.45         | 0.32     | 0.28     | 0.6          | 12           | 9.20       | 1.1       | 18.6        | 9.60         | 1.2      | 1.20     | 2.4          | ...          |
| 3           | 2.10       | 0.4       | 5.6         | 2.30         | 0.5      | 0.35     | 0.7          | 13           | 9.95       | 1.1       | 20.3        | 10.30        | 1.2      | 1.35     | 2.7          | ...          |
| 4           | 2.90       | 0.6       | 7.2         | 3.10         | 0.7      | 0.45     | 0.9          | 15           | 11.40      | 1.1       | 22.8        | 11.80        | 1.2      | 1.60     | 3.2          | ...          |
| 5           | 3.70       | 0.6       | 8.5         | 3.90         | 0.7      | 0.55     | 1.1          | 16           | 12.15      | 1.1       | 23.8        | 12.50        | 1.2      | 1.75     | 3.5          | ...          |
| 6           | 4.70       | 0.6       | 11.1        | 4.85         | 0.7      | 0.58     | 1.2          | 18           | 13.90      | 1.3       | 27.2        | 14.30        | 1.4      | 1.85     | 3.7          | ...          |
| 7           | 5.25       | 0.6       | 13.4        | 5.55         | 0.7      | 0.73     | 1.5          | 20           | 15.60      | 1.3       | 30.0        | 16.00        | 1.4      | 2.00     | 4.0          | ...          |
| 8           | 6.15       | 0.6       | 14.6        | 6.40         | 0.7      | 0.80     | 1.6          | 22           | 17.00      | 1.3       | 33.0        | 17.40        | 1.4      | 2.30     | 4.6          | ...          |
| 9           | 6.80       | 0.9       | 15.8        | 7.20         | 1.0      | 0.90     | 1.8          | 25           | 19.50      | 1.3       | 37.1        | 20.00        | 1.4      | 2.50     | 5.0          | ...          |
| 10          | 7.60       | 0.9       | 16.8        | 8.00         | 1.0      | 1.00     | 2.0          | ...          | ...        | ...       | ...         | ...          | ...      | ...      | ...          | ...          |

<sup>33</sup> McCAULEY C., "Machinery's Handbook", (2000), Ed. Industrial Press, USA.

<sup>34</sup> McCAULEY C., "Machinery's Handbook", (2000), Ed. Industrial Press, USA., pag. 1668

<sup>35</sup> McCAULEY C., "Machinery's Handbook", (2000), Ed. Industrial Press, USA., pag. 1668

La selección se hace para un diámetro de eje de 12 [mm] para lo cual se establece las dimensiones del canal (groove en inglés), la Figura 2-6 muestra la configuración del canal.

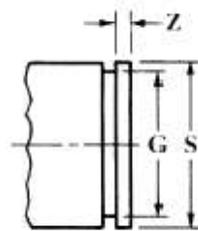


Figura 2-6. Configuración del canal para el alojamiento del anillo.  
Los valores de Z, G y S se dan en Tabla 2-1.

### 2.1.3.2 Longitud de los soportes eje x

La longitud del eje que servirá como soporte (muñón), está determinado por la longitud mínima que se requiere en la placa soporte. La distancia indicada se muestra en la Figura 2-7.

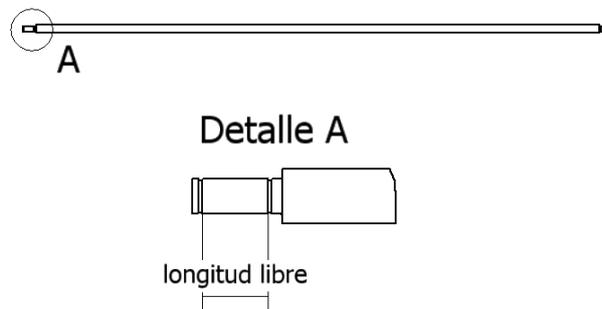


Figura 2-7. Longitud libre del eje para soportarlo.

El siguiente cálculo determina la longitud mínima libre para soportar al eje. El soporte trabajará esencialmente a compresión, la siguiente expresión se usará:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad [5]$$

$$A = l * d \quad [6]$$

Donde:

$\sigma$ : Presión ejercida en  $[\text{N}/\text{m}^2]$  por la carga  $F$   $[\text{N}]$ .

$A$ : Área de carga  $[\text{m}^2]$ .

$l$ : Longitud de soporte  $[\text{m}]$ .

$d$ : Diámetro del eje  $[\text{m}]$ .

La Figura 2-8 muestra la configuración del soporte y como será solicitado mecánicamente.

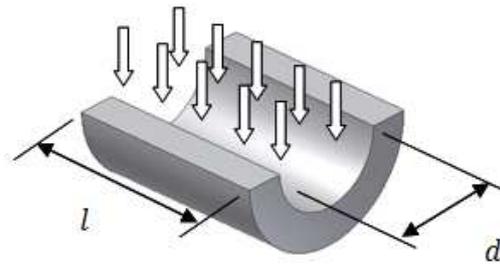


Figura 2-8. Diagrama del soporte de ejes, carga de compresión.

Se requiere que  $\sigma < S_y$  por lo que se usará acero de aproximadamente  $S_y=379$  MPa (AISI C1010).

Con factor de seguridad de 1,5 se calcula el  $\sigma_{m\acute{a}x}$ .

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_{m\acute{a}x}}$$

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{\eta}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{379}{1,5} = 252,6 \text{ MPa}$$

La carga  $F$  en los casos extremos su valor máximo se determina a continuación:

$$F = P_1 + P_2$$

Donde:

$P_1$ =Peso de la mitad del eje (DCL)=  $W_1/2$ .  $[\text{N}]$

$P_2$ =Peso de la mitad del subsistema móvil = 35 [N] =  $W/2$  en posición extrema.  
La Figura 2-9 aclara esta situación.

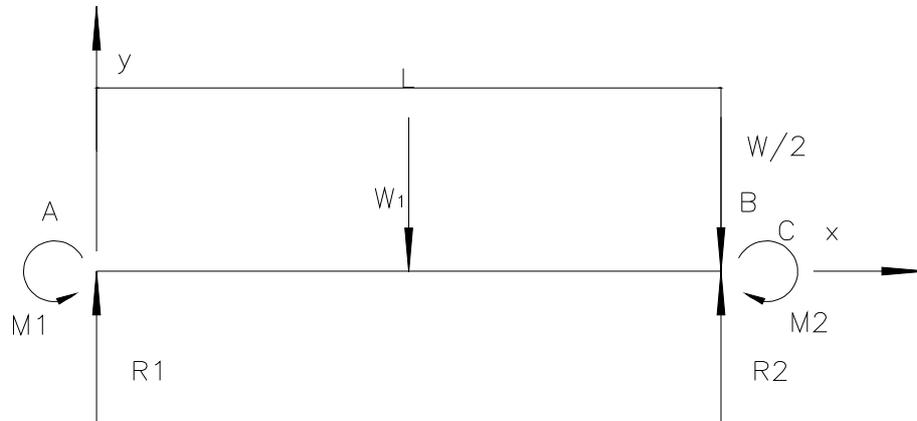


Figura 2-9. Diagrama de cuerpo libre del eje x en posición extrema de la carga.

Donde:

$W_1$ : Peso del eje [N]

$M_1$  y  $M_2$ : Son momentos de reacción [N-m]

$${}^{36}M_1 = M_2 = \frac{W_1 * l}{8} \quad [7]$$

$R_1$  y  $R_2$  : Son reacciones [N]

El caso extremo es la reacción  $R_2 = F = \frac{(W_1+W)}{2}$

Peso del eje:

$$P = \rho * g * V \quad [8]$$

$\rho$  = Densidad del acero = 7850 [Kg/m<sup>3</sup>]

$g$  = Gravedad = 9,81[m/s<sup>2</sup>]

$$P = 7850 \left[ \frac{Kg}{m^3} \right] * 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right] * \pi * \frac{(16 * 10^{-3})^2}{4} [m^2] * 1,1 [m]$$

$$P = 17,0 [N]$$

$$P_1 = 8,5 [N]$$

→

$$F = P_1 + P_2 = 8,5[N] + 35 [N]$$

$$F = 43,5 [N]$$

<sup>36</sup> SHIGLEY J., (2006), "Mechanical Engineering Design", Ed. McGraw-Hill, USA, pág. 994.

→

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \Rightarrow A = \frac{F}{\sigma_{max}}$$

$$l * d = \frac{F}{\sigma_{max}} = \frac{43,5[N]}{166.6 * 10^6 \left[ \frac{N}{m^2} \right]}$$

$$l = \frac{43,5[N]}{d * 166.6 * 10^6 \left[ \frac{N}{m^2} \right]} = \frac{43,5[N]}{0,016[m] * 166.6 * 10^6 \left[ \frac{N}{m^2} \right]}$$

$$l = 1,6 * 10^{-5} [m]$$

Ésta es la longitud mínima que debe tener el eje para soportar la carga de compresión en ésta zona. Dado que la carga es muy pequeña la longitud requerida es insignificante, ésta longitud será modificada en función de la estabilidad de la estructura y reducción de la vibración del eje.

Relación  $l/d$  para determinar la longitud  $l$  recomendada según Marck's Handbook:<sup>37</sup>

$$\frac{l}{d} = 2 \quad [9]$$

Por lo que:

$$l = 2 * d = 2 * 12$$

$$l = 24 [mm]$$

Esta longitud es recomendada para evitar efectos sobre el eje por vibración y mantener la estabilidad estructural.

---

<sup>37</sup> AVALLONE E., (1999), "Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers", Ed. Mc-Graw Hill, USA, pág. 8-118.

### 2.1.3.3 Sistemas de transmisión de potencia para x

Para la transmisión de potencia desde los motores al sistema se presentan las siguientes alternativas:

- Por tornillo de potencia
- Por banda

#### 2.1.3.3.1 Transmisión por tornillo de potencia en x

Al usar un tornillo de potencia como elemento transmisor de movimiento desde el motor al sistema móvil (carro), se tiene que la carga es mínima sobre éste ya que las cargas se encuentran dirigidas en la dirección del eje Z, este tornillo únicamente tendrá que vencer la fuerza de rozamiento causada por la fricción entre el cojinete de deslizamiento lineal en X con el eje guía X, así se elige un tornillo con rosca 9/16-12UNC para facilitar la fabricación del prototipo (ver Anexo A), a continuación se presenta el cálculo de la carga que soportará éste tornillo. La Figura 2-10 presenta el diagrama de cuerpo libre del carro.

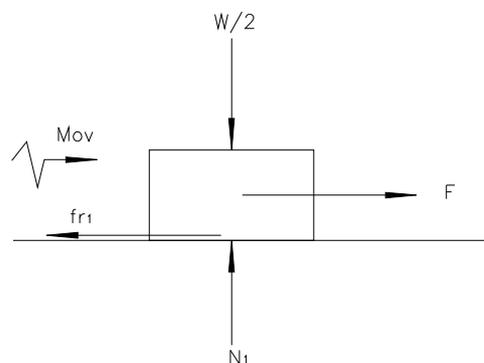


Figura 2-10. Diagrama de cuerpo libre del carro X.

Se usará la ecuación de energía:

$${}^{38}U = \frac{1}{2}m * V^2 \quad [10]$$

Donde:

m: Es la masa de la mitad del carro X y lo que este soporta, aproximado 3,5Kg.

<sup>38</sup> MERIAM J., (1976), "Dinámica", Ed. Reverté, España, pág. 350.

V: Velocidad de este carro, máximo 0,03 m/s.

U: Energía que se consume.

$$U = (F - fr) * d = \frac{1}{2}m * V^2$$

F: Fuerza requerida para el movimiento.

fr: Fuerza de rozamiento entre eje y cojinete de bronce.

d: Distancia recorrida por el carro, aproximado 1[m].

De la Figura 2-10 se establece la siguiente ecuación:

$$f_r = \mu * N$$

$$N = \frac{W}{2} = 3,5 [Kg] * 9,81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$N = 34,34[N]$$

$\mu$ : Factor de fricción entre cojinete de bronce y eje de acero, se obtiene de la siguiente tabla (Tabla 2-2).

Tabla 2-2. Coeficiente de fricción entre cojinete y eje.<sup>39</sup>

| Superficies en contacto                       | $\mu$     |
|---|-----------|
| Acero sobre acero                             | 0.18      |
| Acero sobre hielo (patines)                   | 0.02-0.03 |
| Acero sobre hierro                            | 0.19      |
| Hielo sobre hielo                             | 0.028     |
| Patines de madera sobre hielo y nieve         | 0.035     |
| Goma (neumático) sobre terreno firme          | 0.4-0.6   |
| Correa de cuero (seca) sobre metal            | 0.56      |
| Bronce sobre bronce                           | 0.2       |
| Bronce sobre acero                            | 0.18      |
| Roble sobre roble en la dirección de la fibra | 0.48      |

Bronce sobre acero se tiene:

$$\mu = 0,18$$

<sup>39</sup> KOSHKIN S, (1975), "Manual de Física Elemental", Editorial Mir, URSS.

$$f_r = 0,18 * 34,34 = 6,18[N]$$

⇒ Reemplazando  $f_r$  en la ecuación de energía:

$$(F - 6,18) * d = \frac{1}{2}m * V^2$$

Reemplazando valores:

$$(F - 6,18)[N] * 1[m] = \frac{1}{2}3,5[Kg] * 0,03^2 \left[ \frac{m^2}{s^2} \right]$$

$$(F - 6,18)[N] * 1[m] = 0,0016[Kg] \left[ \frac{m^2}{s^2} \right]$$

$$F = 6,2 [N]$$

Ésta es la fuerza requerida para mover el carro en X y dado que es muy pequeña no será necesario comprobar la resistencia de la rosca en el tornillo ni en la tuerca.

La desventaja de este sistema de transmisión es el paso del tornillo pues se requiere de altas revoluciones del motor para cumplir con los requerimientos de 3 [cm/s]. El siguiente cálculo demuestra lo expresado.

$$V = \omega * p \quad [11]$$

Donde:

$V$ : Es la velocidad de avance [cm/s]

$p$ : Es el paso del tornillo,  $1/12$  [in] = 2,11[mm]

$$\omega = \frac{V}{p} = \frac{0,03[m/s]}{0,00211[m]}$$

$$\omega = 14 \left[ \frac{rev}{s} \right]$$

Aproximada  $\omega = 840 [rpm] = 89[rad/s]$

Ésta es la velocidad requerida por el motor para cumplir con los requisitos de diseño.

### 2.1.3.3.2 Transmisión por banda en x

Al usar una banda (o cadena) como elemento transmisor de movimiento se establece el siguiente sistema (Figura 2-11):

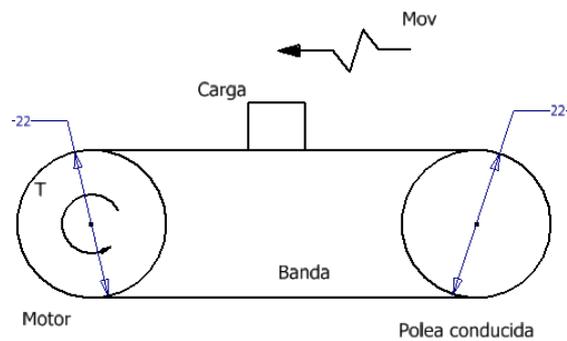


Figura 2-11. Representación del sistema de poleas en x.

Para establecer el torque requerido por el motor en este sistema se usa el diagrama de cuerpo libre de la Figura 2-12:

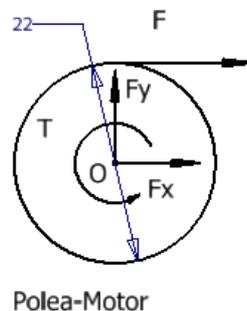


Figura 2-12. Diagrama de cuerpo libre de la polea del motor. Vista frontal

Para determinar el torque requerido por el motor se hacen las siguientes suposiciones:

- Peso de la banda despreciable
- Inercia de las poleas mínima
- No existe deslizamiento de la banda.

Y de los diagramas de las Figura 2-11 y Figura 2-12 se determina que:

$$T = F * r$$

Donde:

T: Torque requerido por el motor

r: Radio de la polea empleada que es 11 [mm]

F determinada en el numeral 2.1.3.3.1 su valor es 6,2 [N]

$$T = 6,2 * 11$$

$$T = 68,2 [mN - m]$$

La potencia requerida viene dada por la siguiente fórmula:

$$P = T * \omega \quad [12]$$

Donde:

$\omega$ : es la velocidad angular:

$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$\omega = \frac{0,03 \left[ \frac{m}{s} \right]}{0,011 [m]}$$

$$\omega = 3 \left[ \frac{rad}{s} \right] = 28,6 rpm$$

Ésta es la velocidad requerida por el motor para cumplir con los requisitos de diseño.

$$P = T * \omega$$

$$P = 0,0682 [N - m] * 3 \left[ \frac{rad}{s} \right]$$

$$P = 0,20 [w]$$

Ésta es la potencia requerida por el motor para cumplir con los requisitos del sistema.

### 2.1.3.4 Cojinetes de deslizamiento en x. (sliding bearing)

Este elemento es el que soportará la carga a ser transmitida a los ejes en x, la Figura 2-13 muestra una representación y los elementos:

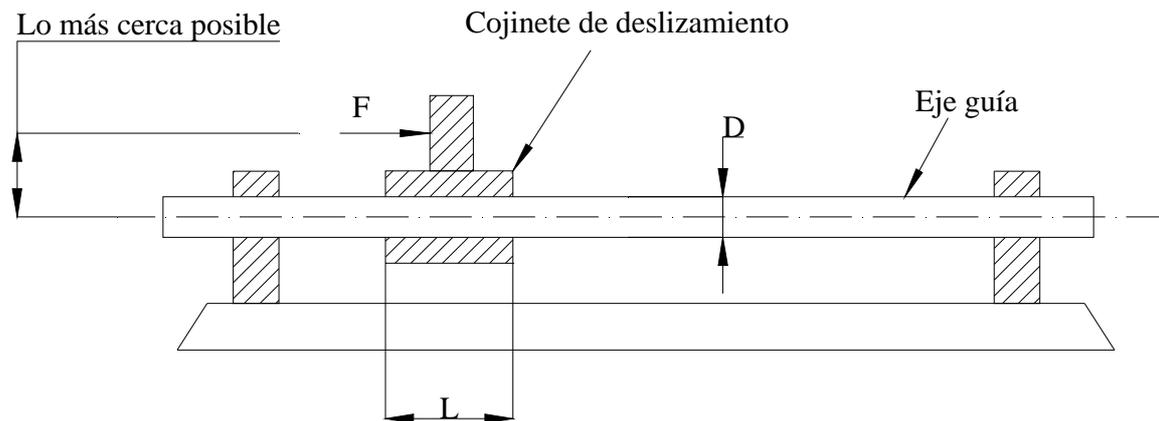


Figura 2-13. Representación del cojinete de deslizamiento (sliding bearing).

La condición se resume en la siguiente expresión:

$$\frac{L}{D} > 6 \quad 40 \quad [13]$$

Para el caso del eje x el diámetro  $D=16$  [mm]

Si usamos una longitud de  $L=100$  [mm]

$$\frac{100}{16} = 6,25$$

⇒

Se cumple la condición  $\frac{L}{D} > 6$

### 2.1.3.5 Cálculo de los diámetros de ejes en y

Para este dimensionamiento se utilizará los mismos métodos que para los ejes en x, como la flexión máxima permisible.

<sup>40</sup> McCAULEY C., "Machinery's Handbook", (2000), Ed. Industrial Press, USA, pág. 2155.

El diámetro de este eje será de 12,5 [mm], la Figura 2-14 muestra la flexión máxima por el análisis de elementos finitos. La carga sobre cada eje será 3 [Kg] aproximadamente incluido el peso del propio eje. La longitud de estos ejes será de 500 [mm].

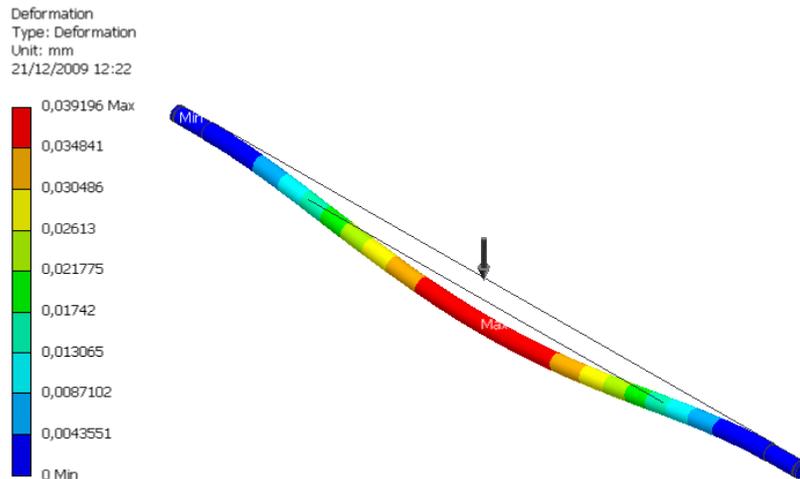


Figura 2-14. Flexión máxima del eje guía y.

Del cálculo utilizando la ecuación

$$y_{m\acute{a}x} = -\frac{Fl^3}{192EI}$$

Se tiene:

$$y_{m\acute{a}x} = -0,0375 [mm]$$

Como se puede ver los resultados obtenidos por medio de métodos analíticos son muy aproximados a los desarrollados por computador, el resultado obtenido con el método de elementos finitos es:

$$y_{m\acute{a}x} = -0,039 [mm]$$

### 2.1.3.6 Longitud de los soportes eje y

Como ya se demostró que para el eje x las cargas son muy pequeñas, las dimensiones de los soportes se hacen siguiendo criterios de estabilidad.

Relación  $l/d$  para determinar la longitud  $l$  recomendada según Marck's Handbook:<sup>41</sup>

$$\frac{l}{d} = 2$$

Por lo que:

$$l = 2 * d = 2 * 10$$

$$l = 20 [mm]$$

Esta dimensión es la mínima para garantizar estabilidad y minimizar efectos de vibraciones.

### 2.1.3.7 Transmisión por banda en y

De acuerdo con el cálculo desarrollado para el eje X en esta sección únicamente se modificará el valor de la carga a ser movida así se tiene:

$$T = F_y * r$$

Suposiciones:

Se empleará un solo motor, además el valor de la carga para este motor es aproximadamente el 70% de lo que se mueve en el eje x

$$F_y \approx 2 * 0,7 * F$$

$$r = 11[mm]$$

$$T = 2 * 0,7 * F * r$$

$$T = 2 * 0,7 * 6,2 * 11$$

$$T = 95,48[mN - m]$$

La velocidad angular es la misma requerida para el eje en x así:

$$\omega = 3 \left[ \frac{rad}{s} \right] = 28,6 rpm$$

---

<sup>41</sup> AVALLONE E., (1999), "Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers", Ed. Mc-Graw Hill, USA, pág. 8-118.

De donde la potencia queda determinada por:

$$P = T * \omega$$

$$P = 0,095 [N - m] * 3 \left[ \frac{rad}{s} \right]$$

$$P = 0,28 [w]$$

### 2.1.3.8 Cojinete de deslizamiento lineal en y

Este cojinete lineal de deslizamiento será diseñado bajo los criterios ya usados para el eje x, así los resultados se muestran en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3. Dimensiones del cojinete de deslizamiento lineal en y.

| Díámetro interno | Díámetro externo | Longitud |
|------------------|------------------|----------|
| 12,5 [mm]        | 15[mm]           | 65 [mm]  |

### 2.1.3.9 Cálculo del diámetro del eje guía en z

Este eje trabajará esencialmente a tracción, pero las carga son muy bajas por lo que no se desarrollará un cálculo matemático con esta sollicitación mecánica, pero se desarrollará un análisis por computador. La Figura 2-15 muestra el diagrama simplificado de la forma en la que estará ubicado este eje con los elementos que interactúa directamente (transmite cargas).

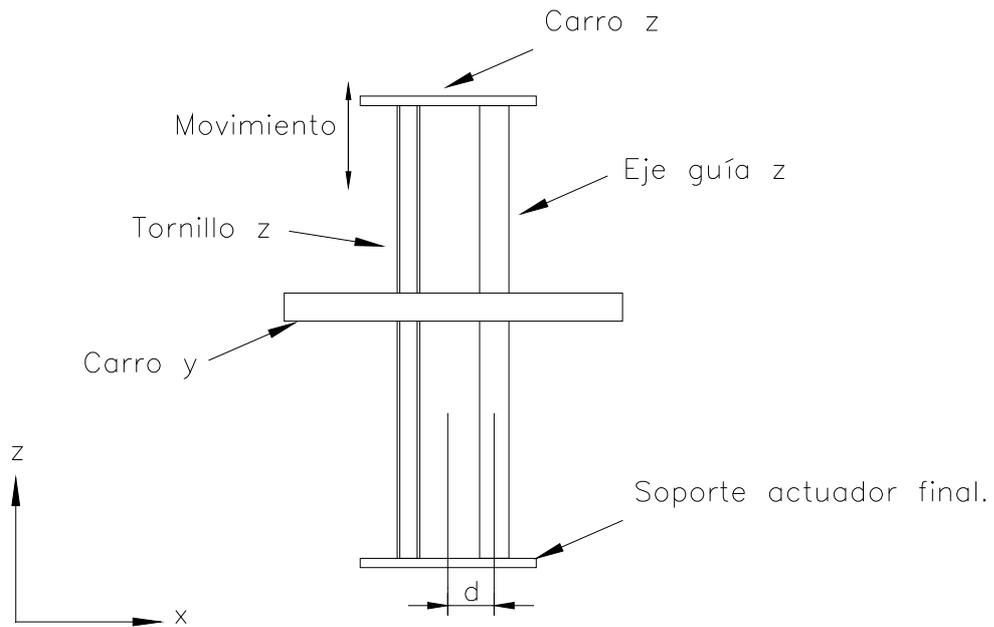


Figura 2-15. Diagrama simplificado del funcionamiento del eje guía en z.

La Figura 2-16 muestra una buena aproximación del conjunto carro z que servirá como base para el análisis por elementos finitos asistido por computador para determinar la correcta selección del diámetro del eje guía en z.

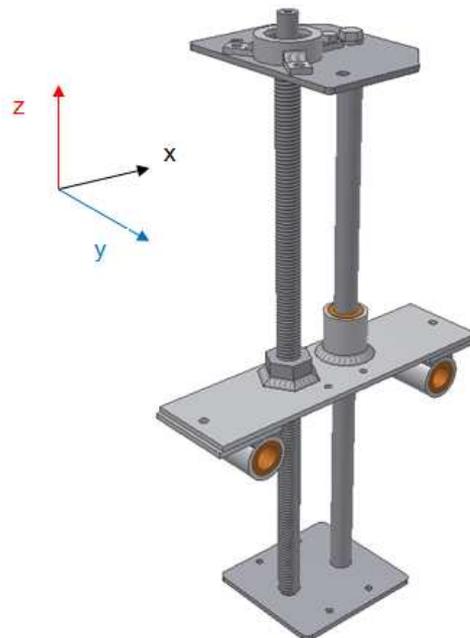


Figura 2-16. Representación de la configuración del carro en z.

A partir de la Figura 2-16 que aclara mucho la configuración del carro z se puede establecer el diagrama de cuerpo libre para el eje guía en z mostrado en la siguiente figura. (Ver Figura 2-17).

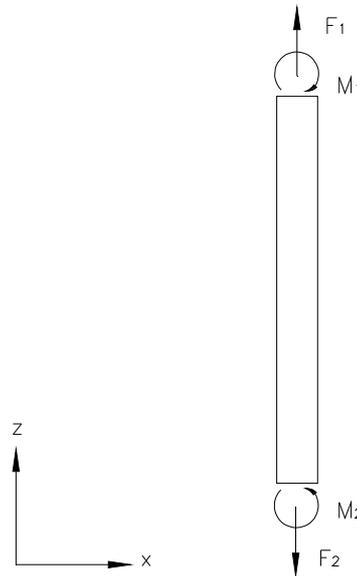


Figura 2-17. Diagrama de cuerpo libre para el eje guía en Z.

De la Figura 2-17 se puede constatar que el eje guía en z está siendo solicitado tanto a tracción como a flexión.

Las ecuaciones de equilibrio estático muestran que:

$$F_1 = F_2$$

$$M_1 = M_2$$

$$M_2 = F_2 * d$$

Donde:

$d$ : Es la distancia entre centros del eje guía en z y el centro de la plataforma soporte del actuador final. (Ver Figura 2-15 y Figura 2-16). Aproximado 20 [mm].

De la Figura 2-16 es claro notar que  $F_1$  es el peso del actuador final mas el peso de la carga a transportar, este peso se aproxima a 3 [Kg].

$$F_1 = 9,81 * 3 [N]$$

$$F_1 = 30 [N]$$

$$M_1 = 30 * 0,02 [N - m]$$

$$M_1 = 0,60 [N - m]$$

Para minimizar la carga para el motor que moverá este carro (motor en Z), se usará un tubo de hierro cromado de aproximadamente 12,7[mm] de diámetro exterior y con un espesor de pared de 0,8 [mm].

Con estos datos se desarrolla el análisis por elementos finitos en Inventor, la Figura 2-18 muestra los resultados. Como se puede apreciar en ésta figura la deformación máxima para este eje es de 0,559 [mm], deformación que no afecta al funcionamiento del equipo por lo que se acepta las dimensiones del tubo seleccionado.

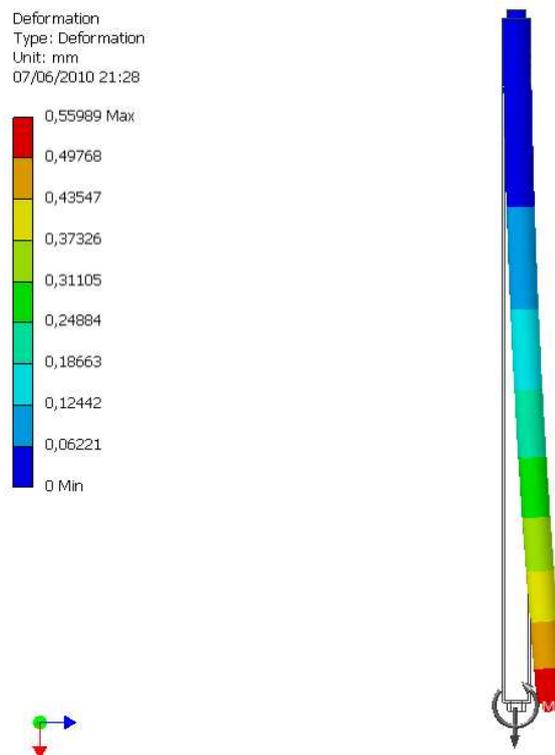


Figura 2-18. Deformación del eje guía en z, análisis por computador<sup>42</sup>.

<sup>42</sup> Obtenido del Software Inventor Profesional 2008.

### 2.1.3.10 Cálculo del tornillo en z

Este tornillo soportará toda la carga del carro z y plataforma del actuador final, de la Figura 2-19 se puede establecer la carga sobre el tornillo, así se tiene el diagrama de cuerpo libre para el tornillo (ver Figura 2-20).

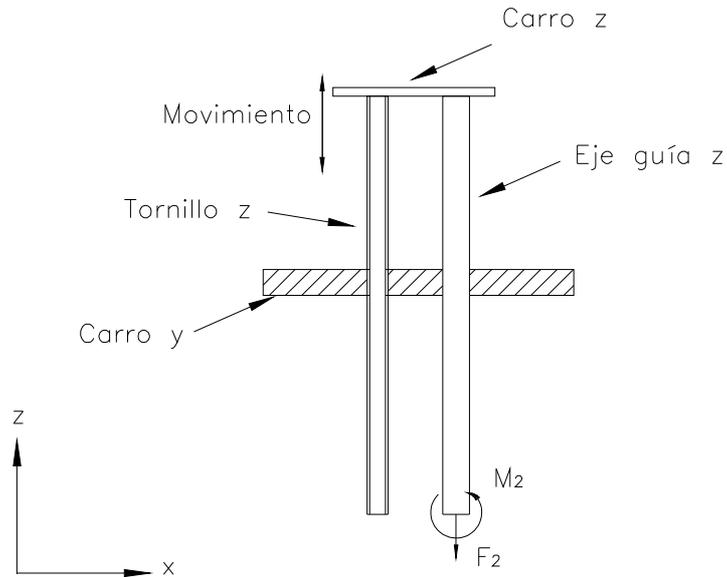


Figura 2-19. Diagrama simplificado de la posición del tornillo en z en el sistema.

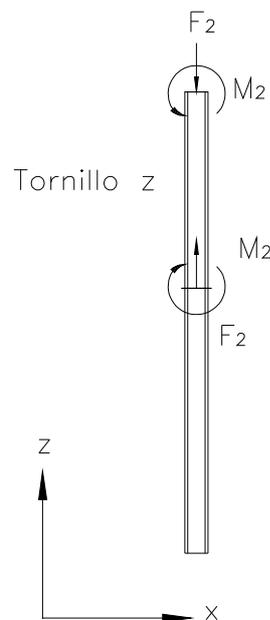


Figura 2-20. Diagrama de cuerpo libre del tornillo z.

Despreciando las fuerzas de rozamiento, las cargas que soporta el tornillo en z son:  $F_2$  y  $M_2$ .

$$F_2 = 30 [N] \quad ; \quad M_2 = 0,6 [N - m]$$

Usando estos datos y el software Inventor se puede establecer si la rosca resistirá o no a el esfuerzo solicitado. Para el cálculo será necesario identificar el coeficiente de fricción entre el tornillo y la tuerca, este dato se presenta en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4. Coeficiente de fricción  $f$  de pares roscados.<sup>43</sup>

| Screw Material     | Nut Material |           |           |           |
|--------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
|                    | Steel        | Bronze    | Brass     | Cast Iron |
| Steel, dry         | 0.15–0.25    | 0.15–0.23 | 0.15–0.19 | 0.15–0.25 |
| Steel, machine oil | 0.11–0.17    | 0.10–0.16 | 0.10–0.15 | 0.11–0.17 |
| Bronze             | 0.08–0.12    | 0.04–0.06 | —         | 0.06–0.09 |

Para este caso, se usará aceite de máquina, material acero, para tuerca y tornillo.  $f = 0,14$ ; Coeficiente de fricción entre el tornillo y la tuerca.

En el software se buscará el material que satisfaga las necesidades planteadas así:

$H = 12,5 [mm]$ ; Longitud de la tuerca. (Estándar).

$\eta = 1,5$ ; Factor de seguridad.

En la Tabla 2-5 se muestran los resultados obtenidos del software.

Tabla 2-5. Material seleccionado para el tornillo.<sup>44</sup>

| Material                       | User material |           |
|--------------------------------|---------------|-----------|
| Esfuerzo admisible en la rosca | $p_A$         | 0,332 MPa |
| Modulo de elasticidad          | E             | 207 GPa   |

<sup>43</sup> SHIGLEY J., (2006), "Mechanical Engineering Design", Ed. McGraw-Hill, USA, pág. 411.

<sup>44</sup> Obtenido del Software Inventor Profesional 2008.

Los resultados muestran que es necesario un material con resistencia a la fluencia de 12 Mpa, lo que es fácil de lograr pues el material del que está hecho el tornillo es acero de baja aleación y galvanizado de aproximadamente  $S_y=314$  Mpa lo que nos garantiza que la rosca no se va a romper. El tornillo seleccionado es 9/16-12UNC.

#### **2.1.3.11 Longitud de la tuerca en z**

Del cálculo anterior se estableció la longitud de la tuerca estándar que es de 12,5 [mm] con lo que no se tiene ningún problema de resistencia, la rosca es 9/16-12UNC.

#### **2.1.3.12 Rodamiento en z**

Este rodamiento permitirá el suave giro del tornillo en z sobre la plataforma que lo soporta. Las cargas aplicadas sobre el rodamiento son muy bajas sin embargo se presenta un cálculo para garantizar su funcionamiento:

Comprobación del rodamiento seleccionado:

Rodamiento seleccionado de acuerdo al diámetro del eje: 6000-2RSR-C3, diámetro interno 10 [mm].

Consideraciones:

- Velocidad de giro de 25 [rad/s] (238 [rpm]).
- Debe soportar carga axial. (ver Figura 2-21)

Según los fabricantes<sup>45</sup>, es necesario calcular para carga estática y carga dinámica según sea el caso.

---

<sup>45</sup> FAG, (2000), "Catálogo WL 41 520/3 SB", FAG, España, pág. 30.

Solicitado estáticamente.

Una sollicitación estática tiene lugar si el movimiento de los aros es nulo o muy lento ( $n < 10$  rpm). No es el caso.

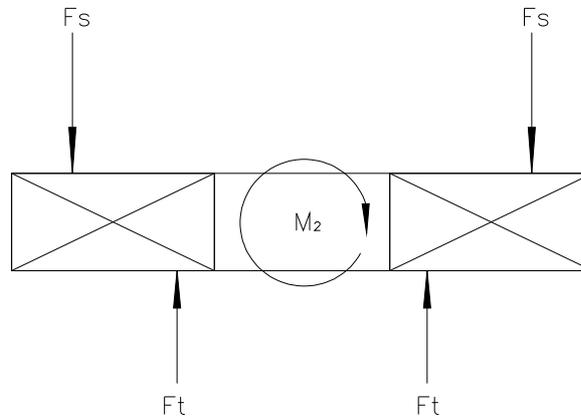


Figura 2-21. Diagrama de cuerpo libre rodamiento en z.

Del diagrama de cuerpo libre del tornillo en z (Figura 2-20) se establece que el rodamiento está siendo sometido a:

$$F_2 = 30 \text{ [N]} \quad ; \quad M_2 = 0,6 \text{ [N - m]}$$

Donde:

$$F_2 = 2 * F_s = 2 * F_t$$

El momento  $M_2$  es muy pequeño se desprecia para el cálculo de la vida útil del rodamiento. De lo explicado se concluye que el rodamiento estará solicitado dinámicamente, ya que la velocidad angular es de 238 rpm.

Solicitado dinámicamente.<sup>46</sup>

$$L_{10} = L = \left( \frac{C}{P} \right)^p \text{ [} 10^6 \text{ revoluciones]} \quad [14]$$

Donde:

$L$ : Vida nominal [ $10^6$  revoluciones].

$C$ : Capacidad de carga dinámica [kN]. Para cada rodamiento.

$P$ : Carga dinámica equivalente [kN].

$p$ : Exponente de vida.

<sup>46</sup> Ibíd pág 31.

$$P = X * F_r + Y * F_a \quad [15]$$

Donde:

$X$ : Factor radial.

$F_r$ : Carga radial [kN].

$Y$ : Factor axial.

$F_a$ : Carga axial [kN].

Dado que se tendrá carga axial se usará un rodamiento de bolas para el cual el valor de  $p$  es 3.

Para establecer los valores de  $X$ ,  $Y$  es necesario determinar la razón:<sup>47</sup>

$$\frac{f_0 * F_a}{C_0} \quad [16]$$

Tabla 2-6. Factor  $f_0$  para rodamientos rígidos de bolas.<sup>48</sup>

| Número característico del agujero | Factor $f_0$         |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                   | Serie de rodamientos |      | 161  | 60   | 62   | 622  | 63   | 623  | 64   |
|                                   | 618                  | 160  |      |      |      |      |      |      |      |
| 3                                 |                      |      |      |      | 12,9 |      |      |      |      |
| 4                                 |                      |      |      |      | 12,2 |      |      |      |      |
| 5                                 |                      |      |      |      | 13,2 |      | 13,2 |      |      |
| 6                                 |                      |      |      |      | 13   |      | 13   |      |      |
| 7                                 |                      |      |      | 13   | 12,4 |      |      |      |      |
| 8                                 |                      |      |      | 12,4 | 13   |      |      |      |      |
| 9                                 |                      |      |      | 13   | 12,4 |      |      |      |      |
| 00                                |                      |      | 12,4 | 12,4 | 12,1 | 12,1 | 11,3 |      |      |
| 01                                |                      |      | 13   | 13   | 12,3 | 12,2 | 11,1 |      |      |
| 02                                |                      | 13,9 |      | 13,9 | 13,1 | 13,1 | 12,1 | 12,1 |      |
| 03                                |                      | 14,3 |      | 14,3 | 13,1 | 13,1 | 12,3 | 12,2 | 12,4 |
| 04                                |                      | 14,9 |      | 13,9 | 13,1 | 13,1 | 12,4 | 12,1 | 11   |
| 05                                |                      | 15,4 |      | 14,5 | 13,8 | 13,8 | 12,4 | 12,4 | 12,1 |
| 06                                |                      | 15,2 |      | 14,8 | 13,8 | 13,8 | 13   | 13   | 12,2 |
| 07                                |                      | 15,6 |      | 14,8 | 13,8 | 13,8 | 13,1 | 13,1 | 12,1 |
| 08                                |                      | 16   |      | 15,3 | 14   | 14   | 13   | 13   | 12,2 |
| 09                                |                      | 15,9 |      | 15,4 | 14,3 | 14,1 | 13   | 13   | 12,1 |
| 10                                |                      | 16,1 |      | 15,6 | 14,3 | 14,3 | 13   | 13   | 13,1 |
| 11                                |                      | 16,1 |      | 15,4 | 14,3 |      | 12,9 |      | 13,2 |
| 12                                |                      | 16,3 |      | 15,5 | 14,3 |      | 13,1 |      | 13,2 |

El rodamiento seleccionado es de la serie 6000-2RSR.

Serie de rodamientos 60

Número característico del agujero 00

<sup>47</sup> Ibíd, pág. 148.

<sup>48</sup> Ibíd, pág. 149.

$f_0 = 12.4$  Obtenido de la Tabla 2-6

$F_a = 30[N]$  Obtenido del diagrama de cuerpo libre (Figura 2-21)

$C_0 = 1,96 [KN]$  Obtenido de catálogo (ver Anexo B)

$$\frac{f_0 * F_a}{C_0} = \frac{12,4 * 30[N]}{1960[N]} = 0,2$$

$$\text{aproximando a } \frac{f_0 * F_a}{C_0} \approx 0,3$$

Tabla 2-7. Factores radiales y axiales de rodamientos rígidos de bolas.<sup>49</sup>

| $\frac{f_0 \cdot F_a}{C_0}$ | Juego normal de rodamiento |   |                       |      | Juego de rodamiento C3   |      |                       |   | Juego de rodamientos C4  |      |                       |   |   |      |      |
|-----------------------------|----------------------------|---|-----------------------|------|--------------------------|------|-----------------------|---|--------------------------|------|-----------------------|---|---|------|------|
|                             | $\frac{F_a}{F_r} \leq e$   |   | $\frac{F_a}{F_r} > e$ |      | $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ |      | $\frac{F_a}{F_r} > e$ |   | $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ |      | $\frac{F_a}{F_r} > e$ |   |   |      |      |
|                             | X                          | Y | X                     | Y    | X                        | Y    | X                     | Y | X                        | Y    | X                     | Y |   |      |      |
| 0,3                         | 0,22                       | 1 | 0                     | 0,56 | 2                        | 0,32 | 1                     | 0 | 0,46                     | 1,7  | 0,4                   | 1 | 0 | 0,44 | 1,4  |
| 0,5                         | 0,24                       | 1 | 0                     | 0,56 | 1,8                      | 0,35 | 1                     | 0 | 0,46                     | 1,56 | 0,43                  | 1 | 0 | 0,44 | 1,31 |
| 0,9                         | 0,28                       | 1 | 0                     | 0,56 | 1,58                     | 0,39 | 1                     | 0 | 0,46                     | 1,41 | 0,45                  | 1 | 0 | 0,44 | 1,23 |
| 1,6                         | 0,32                       | 1 | 0                     | 0,56 | 1,4                      | 0,43 | 1                     | 0 | 0,46                     | 1,27 | 0,48                  | 1 | 0 | 0,44 | 1,16 |
| 3                           | 0,36                       | 1 | 0                     | 0,56 | 1,2                      | 0,48 | 1                     | 0 | 0,46                     | 1,14 | 0,52                  | 1 | 0 | 0,44 | 1,08 |
| 6                           | 0,43                       | 1 | 0                     | 0,56 | 1                        | 0,54 | 1                     | 0 | 0,46                     | 1    | 0,56                  | 1 | 0 | 0,44 | 1    |

Al referirnos a la Tabla 2-7, se hace necesario el cálculo de la relación:

$$\frac{F_a}{F_r}$$

Para el caso analizado

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{30[N]}{0[N]} \rightarrow \infty$$

Por lo que, con:

$$\frac{f_0 * F_a}{C_0} = 0,3$$

$$\frac{F_a}{F_r} \rightarrow \infty$$

De la Tabla 2-7;  $e = 0,22$

$$\Rightarrow \frac{F_a}{F_r} > e$$

<sup>49</sup> Ibíd, pág. 148.

$$\Rightarrow X = 0,56; Y = 2$$

Entonces:

$$P = X * F_r + Y * F_a$$

$$P = 0,56 * 0 + 2 * 30$$

$$P = 60 [N]$$

El valor de  $C$ , se lo obtiene de catálogo (ver Anexo B)

$$C = 4,55 [KN]$$

Con estos datos es posible calcular la vida del rodamiento en millones de revoluciones.

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^p [10^6 \text{ revoluciones}]$$

Reemplazando datos:

$$L = \left(\frac{4550[N]}{60[N]}\right)^3 [10^6 \text{ revoluciones}]$$

$$L = 436094 [10^6 \text{ revoluciones}]$$

Como se puede ver el resultado muestra que el rodamiento resistirá hasta  $4,3E^{+11}$  [revoluciones], un valor bastante grande. Si se supone una velocidad constante el valor puede ser expresado en horas:<sup>50</sup>

$$L_h = \frac{L * 10^6}{n * 60} [h]$$

$$L_h = \frac{436094 * 10^6}{238 * 60} [h]$$

$$L_h = 3,05 * 10^8 [h]$$

Se concluye que el rodamiento seleccionado no tendrá problemas de funcionamiento.

---

<sup>50</sup> Ibíd, pág. 31.

### 2.1.3.13 Estructura soporte

La estructura del robot cartesiano se muestra la Figura 2-22. Se trata de dos pórticos ubicados en los extremos del eje X, estos pórticos serán sujetos con tornillos a la base del sistema robótico, así se garantiza la estabilidad estructural.

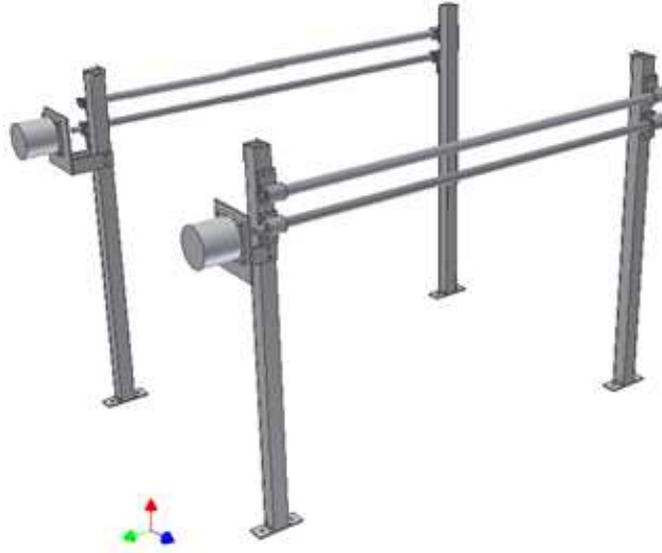


Figura 2-22. Representación del pórtico soporte del robot

Las columnas serán de tubo estructural cuadrado para que en ellas puedan ser incorporados los bujes y los soportes de los motores. Debido a que los bujes tienen una longitud mínima de 20 [mm] se selecciona el tubo cuadrado del valor inmediato superior que es de 25 [mm] (Anexo C). Se realizará el análisis de la columna para determinar la carga permisible que podrá soportar y compararla con la carga que soporta el elemento.

Las fórmulas que a continuación se presentan son resultado de estudios e investigaciones desarrolladas por la AISC y expuestas por Gere<sup>51</sup>. Primero se determina la relación de esbeltez crítica  $\lambda_c$ .

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_y}} \quad [17]$$

<sup>51</sup> GERE James, (2009), “*Mecánica de materiales*”, Cengage Learning, México, pág. 11-9.

Donde:

E: módulo de elasticidad.

$\sigma_y$ : esfuerzo de fluencia.

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 200 [GPa]}{248 [MPa]}}$$

$$\lambda_c = 126,1$$

Al valor encontrado se lo compara con la relación de esbeltez  $\lambda$  de la columna:

$$\lambda = \frac{K \cdot L}{r} \quad [18]$$

K: factor de longitud efectiva

r: radio de giro

L: longitud de la columna

El factor de longitud efectiva depende de los tipos de apoyo. Se considera que las condiciones son: empotrada y articulada como muestra el literal (b) de la Tabla 2-8. Por lo tanto el valor recomendado del factor k es 0,8.

Tabla 2-8. Valores del factor K para columnas.<sup>52</sup>

|   |  |      |     |     |      |     |
|---|--|------|-----|-----|------|-----|
| Buckled shape of column is shown by dashed line.                | (a)  | (b)  | (c) | (d) | (e)  | (f) |
|   |  |      |     |     |      |     |
| Theoretical K value   | 0.5  | 0.7  | 1.0 | 1.0 | 2.0  | 2.0 |
| Recommended design value when ideal conditions are approximated | 0.65   | 0.80 | 1.2 | 1.0 | 2.10 | 2.0 |
| End condition code  | <br>Rotation fixed and translation fixed<br>Rotation free and translation fixed<br>Rotation fixed and translation free<br>Rotation free and translation free |      |     |     |      |     |

<sup>52</sup> AISC, (1994), "Manual of Steel Resistance", Ed. AISC, USA, pág. 6-184.

La longitud de la columna es de 0,60 m. El radio de giro es una variable geométrica:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad [19]$$

La inercia de la sección del tubo cuadrado (Anexo C. Propiedades de sección de tubo cuadrado) es  $0,76 \text{ cm}^4$  y el área es  $0,77 \text{ cm}^2$ , por tanto el radio de giro resulta:

$$r = \sqrt{\frac{0,76}{0,77}} \text{ cm} = 0,99 \text{ cm}$$

Por tanto la relación de esbeltez se obtiene:

$$\lambda = \frac{0,8 \cdot 60 \text{ cm}}{0,99 \text{ cm}}$$

$$\lambda = 48,5$$

Debido a que la relación de esbeltez es menor a la relación de esbeltez crítica se usa la siguiente ecuación para determinar el esfuerzo máximo que podrá soportar la columna a compresión:

$$\sigma_{max} = \sigma_y \left( 1 - \frac{\lambda^2}{2 \cdot \lambda_c^2} \right) \quad [20]$$

$$\sigma_{max} = 248 \text{ MPa} \left( 1 - \frac{48,5^2}{2 \cdot 126,1^2} \right)$$

$$\sigma_{max} = 229,6 \text{ MPa}$$

Mediante el esfuerzo máximo se encuentra la fuerza máxima ( $P_{max}$ ) que puede ser aplicada en la columna, a través de la ecuación:

$$P_{max} = \sigma_{max} \cdot A$$

$$P_{max} = 229,6 \text{ MPa} \cdot 0,77 \text{ cm}^2$$

$$P_{max} = 17\,679 \text{ N}$$

El peso de la estructura es alrededor de 2 100 N. Este valor se distribuye en las cuatro columnas. El factor de seguridad que tiene la columna considerando el caso extremo en que todo el peso se encontrará en una sola columna es:

$$n = \frac{P_{max}}{P} \quad [21]$$

$$n = \frac{17\,679\,N}{2\,100\,N}$$

$$n = 8$$

Por tanto, las columnas que se han seleccionado por el criterio de alojar al bocín tienen un factor de seguridad de 8 y no fallarán por compresión.

El esfuerzo de compresión que soporta cada columna considerando los valores extremos es:

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

$$\sigma_c = \frac{2\,100\,N}{0,77\,cm^2}$$

$$\sigma_c = 27,3\,MPa$$

Estos resultados se muestran en la Figura 2-23, que ha sido tomada de inventor.

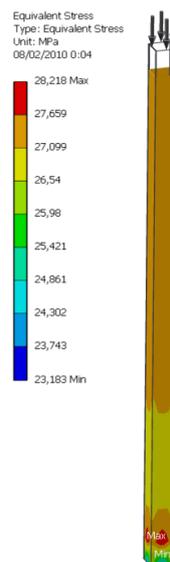


Figura 2-23. Esfuerzo de compresión máximo

### 2.1.3.14 Pinza (actuador final)

Es necesario una pinza que soporte la carga máxima establecida de 1,2 Kg y garantice una correcta sujeción, así se presenta la siguiente configuración (Figura 2-24). Las distancias fueron establecidas por medio de la simulación de los movimientos en el software inventor.

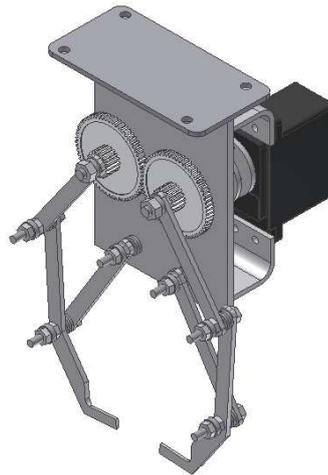


Figura 2-24. Modelo de actuador final (sujetador).

El torque que este motor requiere es muy pequeño ya que es función del peso de los eslabones que éste mueve y no de la carga que trasportará ya que de acuerdo a la configuración al estar cerrada la pinza (Figura 2-25) ésta se auto-asegura con el peso de la carga.

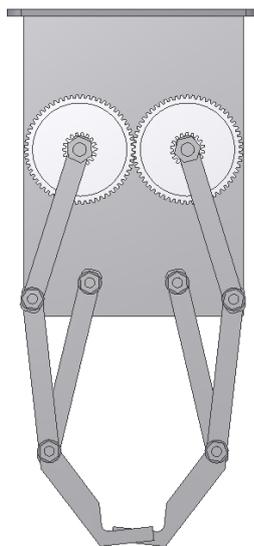


Figura 2-25. Posición eslabones al estar pinza cerrada (modelo).

El torque de este motor se lo calcula en base al diagrama mostrado en la Figura 2-26.

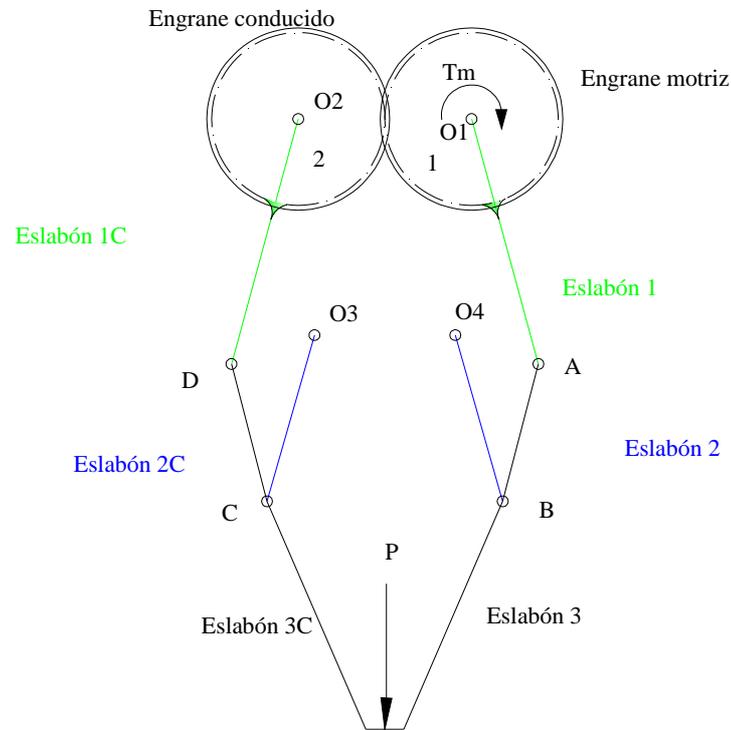


Figura 2-26. Diagrama para el cálculo del torque del motor de la pinza.

De la Figura 2-26, es necesario mencionar que los puntos O son puntos de articulación del tipo revoluta y que además son puntos fijos, los demás puntos de articulación son móviles. Para establecer las fuerzas entre los eslabones es necesario descomponer al sistema, por lo que se empieza por el eslabón 3, que se muestra en la siguiente figura (Figura 2-27).

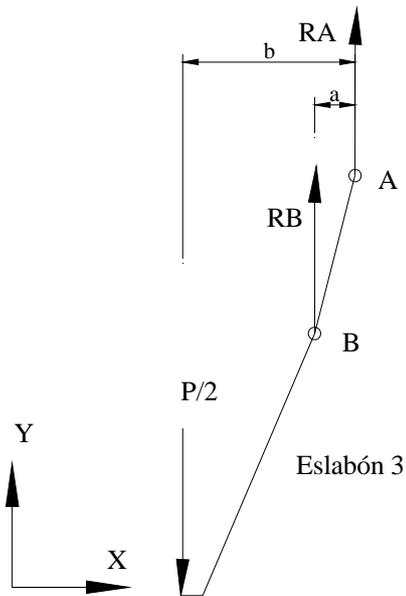


Figura 2-27. DCL Eslabón 3 (Pinza).

De este diagrama se extraen las siguientes ecuaciones:

$$\sum M_A = 0$$

$$\left(\frac{P}{2}\right) * b = RB * a$$

$$RB = \left(\frac{P}{2}\right) * b/a$$

Para el eslabón diseñado las dimensiones son:

$$a = 6,6 [mm]$$

$$b = 28 [mm]$$

Se sabe que el valor máximo para  $P = 1,2[kg] = 11,77[N]$

Reemplazando los valores:

$$RB = \left(\frac{11,77}{2}\right) * 28/6,6$$

$$RB = 24,96[N]$$

$$\sum F_y = 0$$

$$RA + RB = \left(\frac{P}{2}\right)$$

$$RA = \left(\frac{P}{2}\right) - RB$$

$$RA = \left(\frac{11,77}{2}\right) - 24,96$$

$$RA = -19 [N]$$

Ya que el sistema es simétrico la reacción  $RA = RD$ .

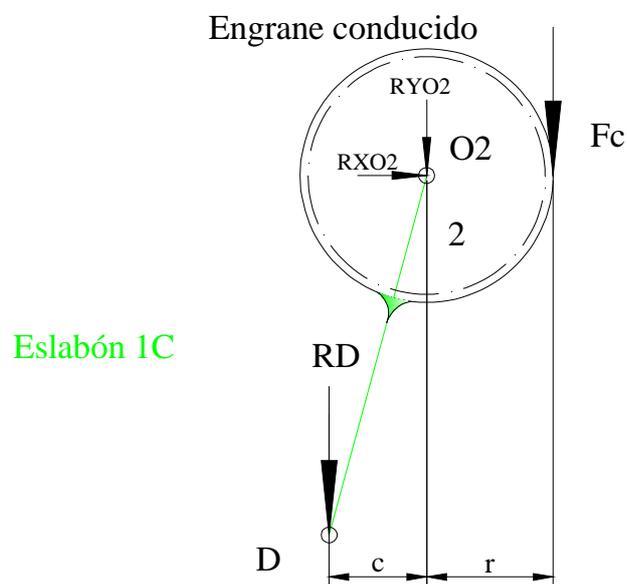


Figura 2-28. DCL Eslabón 1C (pinza).

De la Figura 2-28 se determinan las siguientes ecuaciones:

$$\sum M_{O_2} = 0$$

$$RD * c = Fc * r$$

Donde:

$F_c$ : Es la fuerza transmitida por el engrane motriz.

Los valores de distancias son los siguientes:

$$c = 12 [mm]$$

$$r = 16 [mm]; \text{ Radio del engrane}$$

$$RD = Fc * \frac{r}{c}$$

$$RD = Fc * \frac{16}{12}$$

$$Fc = 0,75 * RD = 0,75 * RA$$

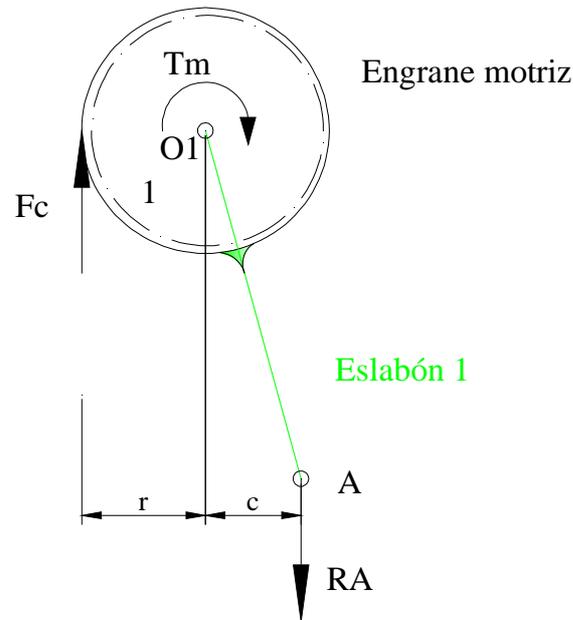


Figura 2-29. DCL Eslabón 1, (pinza).

De la Figura 2-29 se establecen las siguientes ecuaciones:

$$\sum M_{O1} = 0$$

$$T_m + Fc * r + RA * c = 0$$

$$T_m = -(Fc * r + RA * c)$$

De donde:

$$c = 12 [mm]$$

$$r = 16 [mm]; \text{ Radio del engrane}$$

$$T_m = -(Fc * r + RA * c)$$

$$T_m = -(0,75 * RA * r + RA * c)$$

$$T_m = -(0,75 * (-19)[N] * 16[mm] + (-19)[N] * 12[mm])$$

$$T_m = -(-228[N - mm] - 228[N - mm])$$

$$T_m = -(-456)[mNm]$$

$$T_m = 456 [mNm]$$

Este es el torque requerido por el servomotor para mantener cerrada la pinza. Dado que se dispone de un servomotor de 360 [mNm] será necesario una reconfiguración de la pinza, por medio de la hoja de cálculo presentada en el Anexo D, los resultados de la reconfiguración se muestran en la Tabla 2-9.

Tabla 2-9. Dimensiones seleccionadas para los eslabones de la pinza.

| Carga  |        | Engrane | Distancias Variables |        |        | Torque Requerido                      |
|--------|--------|---------|----------------------|--------|--------|---------------------------------------|
| P [kg] | P [N]  | r [mm]  | a [mm]               | b [mm] | c [mm] | $T_m = -(F_c * r + R_A * c)$<br>[mNm] |
| 1,2    | 11,772 | 16      | 8                    | 28     | 12     | 353,2                                 |

### 2.1.3.15 Banda transportadora

La banda cumple la función de transportar las barras metálicas desde el exterior hacia el interior del sistema. La potencia del motor requerida para mover la banda depende del torque que produzcan las fuerzas que se opongan al movimiento. La Figura 2-30 muestra el esquema de la banda para el cálculo de la potencia necesaria del motor.

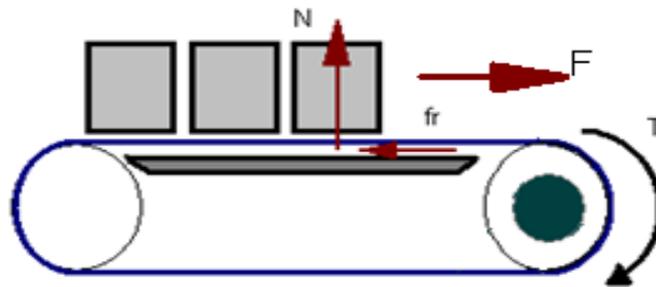


Figura 2-30. Esquema de la banda

Se usará la ecuación de energía:

$$U = \frac{1}{2} m * V^2$$

Donde:

m: es la masa de todas las barras, esto es 4,2 [kg]

V: Velocidad de este carro, máximo 0,02 [m/s]

U: Energía que se consume

De la Figura 2-30 se establece la siguiente ecuación:

$$U = (F - fr) * d = \frac{1}{2} m * V^2$$

F: Fuerza requerida para el movimiento.

fr: Fuerza de rozamiento entre eje y cojinete de bronce.

d: Distancia recorrida por el carro, aproximado 450[mm].

$$(F - fr) * d = \frac{1}{2} m * V^2$$

$$F = \frac{0,5 [m] * V^2}{d} + fr$$

$$f_r = \mu * N$$

De la Tabla 2-2 se establece que el coeficiente  $\mu$  es de 0,5 entre goma y terreno firme. La normal será la fuerza que ejerzan las barras sobre la banda.

$$f_r = \mu * m * g$$

$$F = \left( \frac{0,5 V^2}{d} + \mu * g \right) * m$$

$$F = \left( \frac{0,5 * \left( 0,02 \left[ \frac{m}{s} \right] \right)^2}{0,45 [m]} + 0,5 * 9,8 \left[ \frac{m}{s^2} \right] \right) * 4,2 [kg]$$

$$F = 20,5 [N]$$

El torque necesario será:

$$T = F * r_T \quad [22]$$

$r_T$ : Radio del tambor motriz.

$$T = 20,5 [N] * 12,5 [mm]$$

$$T = 256,5 [mNm]$$

La potencia requerida viene dada por la siguiente fórmula:

$$P = T * \omega \quad [23]$$

Donde:

$\omega$ : es la velocidad angular:

$$\omega = \frac{v}{r} \quad [24]$$

$$\omega = \frac{0,02 \left[ \frac{m}{s} \right]}{12,5 [mm]}$$

$$\omega = 96 [rpm] = 10 \left[ \frac{rad}{s} \right]$$

$$P = T * \omega$$

$$P = 0,2565 [N - m] * 10 \left[ \frac{rad}{s} \right]$$

$$P = 2,57 [w]$$

Con lo que la potencia nominal del motor será de 3 [w].

### 2.1.3.16 Elemento sensor peso

Para el elemento sensor se utilizará un potenciómetro angular que de acuerdo al ángulo girado nos dará una variación en la señal de corriente al PLC, para esto también se usará resortes que garantizan el regreso a la posición inicial del sensor cuando éste se ha vaciado. La Figura 2-31 muestra una representación de lo que se va a realizar, donde  $\theta$  es el ángulo girado por el potenciómetro.

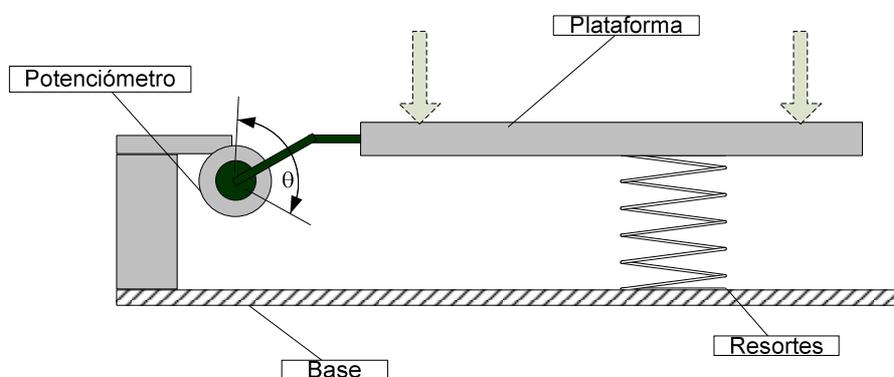


Figura 2-31. Representación del sensor de peso.

En la Figura 2-31 se muestra que cuando una carga (peso) es depositada sobre la plataforma esta bajará y al hacer este movimiento el potenciómetro cambiará su resistencia enviando así una señal al PLC, al descargar la plataforma vuelve a su lugar de inicio (Home). De este esquema se puede notar que la plataforma tendrá un lado fijo que es donde se sujetará hacia el bastidor a través de una bisagra (no se muestra en la figura).

Para el diseño de los resortes se hace las siguientes consideraciones:

- Se usará dos resortes.
- El pivote (bisagra) provoca una reacción muy pequeña, se la desprecia para simplificar el cálculo.

La Figura 2-32 muestra el diagrama frontal de la plataforma para el diseño de los resortes.

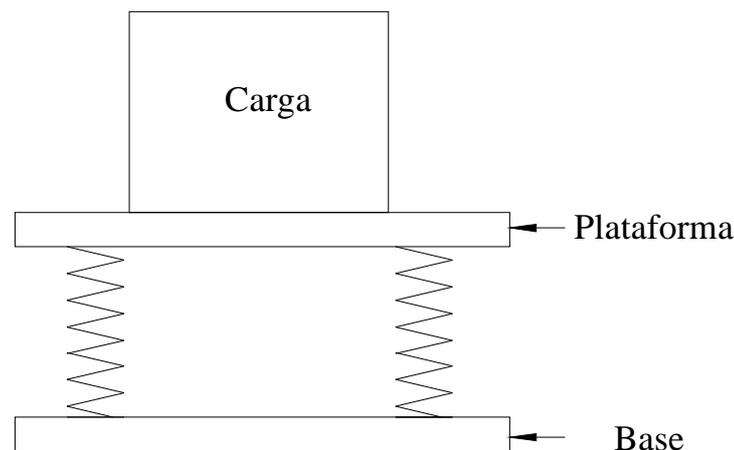


Figura 2-32. Plataforma para sensor el peso (vista frontal).

De la Figura 2-33 se desprenden las siguientes ecuaciones:

$$W = F1 + F2$$

$$W = k1 * x + k2 * x$$

Donde

$x$ : Es la deformación de los resortes por la compresión.

$k1, k2$ : Son las constantes de los resortes respectivamente.

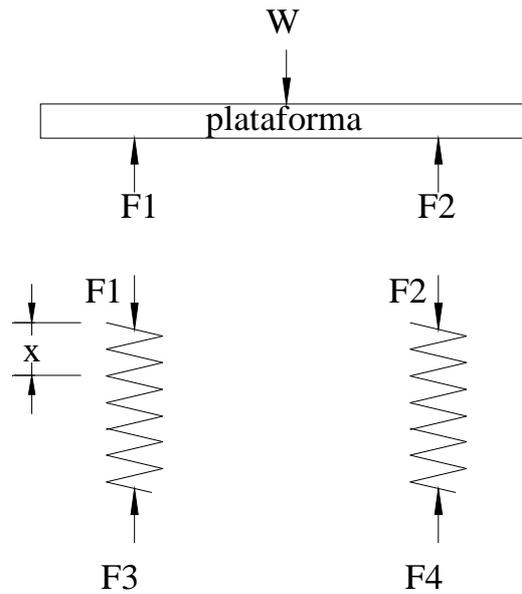


Figura 2-33. Diagrama de cuerpo libre de la plataforma y los resortes.

Si se usa el mismo tipo de resortes

$$k_1 = k_2$$

$$W = k_1 * x + k_1 * x$$

$$W = 2 * k_1 * x$$

$$k_1 = \frac{W}{2 * x}$$

$$k = 2 * k_1$$

Para determinar  $k_1$  es necesario, establecer las condiciones de deformación del resorte así se tiene:

Para una carga de 200 [g] el resorte debe comprimirse aproximadamente 3 [mm] y para 1200 [g] deberá comprimirse 18 [mm]. Lo que indica que el o los resortes deben tener una longitud libre de por lo menos 18[mm] más que la longitud sólida del resorte. La siguiente condición aclara lo explicado.

$$L_o \geq L_s + 18[mm]$$

Donde:

$L_o$ : Longitud libre del resorte.

$L_s$ : Longitud sólida del resorte.

La siguiente tabla (Tabla 2-10) y la Figura 2-34 muestran el comportamiento del resorte deseado:

Tabla 2-10. Comportamiento del resorte.

| Carga W<br>[g] | Deformación<br>[mm] | k      |       |
|----------------|---------------------|--------|-------|
|                |                     | [g/mm] | [N/m] |
| 200            | 3                   | 66,7   | 654   |
| 400            | 6                   | 66,7   | 654   |
| 600            | 9                   | 66,7   | 654   |
| 800            | 12                  | 66,7   | 654   |
| 1000           | 15                  | 66,7   | 654   |
| 1200           | 18                  | 66,7   | 654   |

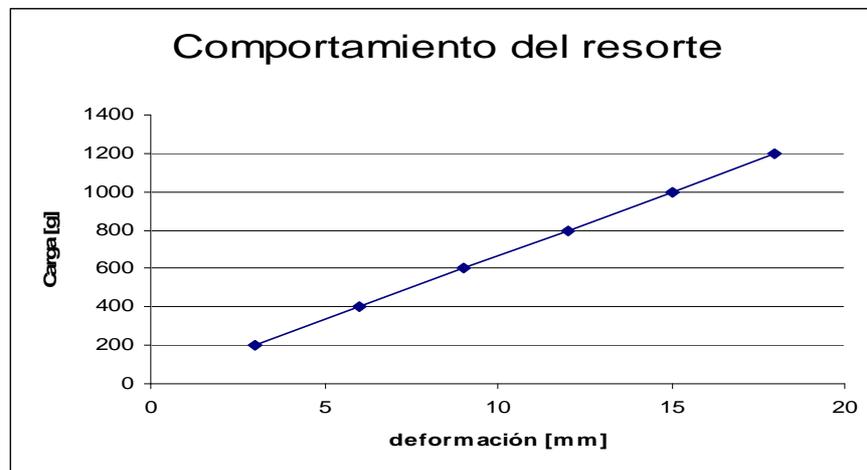


Figura 2-34. Curva de comportamiento del resorte.

Para saber que dimensiones debe tener el resorte se usará la siguiente expresión:

$$k = \frac{d^4 * G}{8 * D^3 * N} \quad 53 \quad [25]$$

Donde:

$d$ : Es el diámetro del alambre del resorte.

$D$ : Es el diámetro medio del resorte.

$G$ : Es el módulo de elasticidad torsional.

$N$ : Es el número de espiras activas.

(Ver Figura 2-35).

<sup>53</sup> SHIGLEY J., (2006), "Mechanical Engineering Design", Ed. McGraw-Hill, USA, pág. 504.

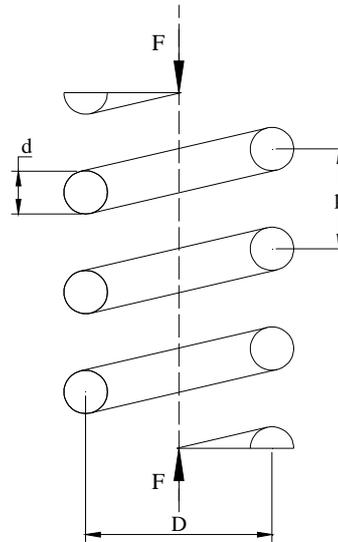


Figura 2-35. Representación del resorte de compresión.

Si se establece como datos los diámetros del alambre y del resorte y además se sabe el material del alambre se puede determinar el número de espiras que cumplan con los requerimientos de diseño. Además el resorte debe cumplir con el siguiente criterio de estabilidad:

$$L_0 < \frac{\pi D}{\alpha} \left[ \frac{2(E - G)}{2G + E} \right]^{1/2} \quad 54 \quad [26]$$

Donde:

$\alpha$ : Es la constante de condición final para resortes de compresión helicoidales.

$E$ : Es el módulo de elasticidad del material.

Para el cálculo del resorte se usa los siguientes datos:

$$k = 60 \left[ \frac{g}{mm} \right] = 600 [N/m], \text{ valor aproximado de la Tabla 2-10.}$$

El material a usar es el acero ASTM A227, en la Tabla 2-11 se presenta las propiedades mecánicas de los materiales para fabricar resortes.

<sup>54</sup> Ibíd, pág. 506.

Tabla 2-11. Propiedades mecánicas de algunos materiales para resorte.<sup>55</sup>

| Material              | Elastic Limit,<br>Percent of $S_{ur}$ |         | Diameter<br>$d$ , in | E    |       | G     |      |
|-----------------------|---------------------------------------|---------|----------------------|------|-------|-------|------|
|                       | Tension                               | Torsion |                      | Mpsi | GPa   | Mpsi  | GPa  |
| Music wire A228       | 65-75                                 | 45-60   | <0.032               | 29.5 | 203.4 | 12.0  | 82.7 |
|                       |                                       |         | 0.033-0.063          | 29.0 | 200   | 11.85 | 81.7 |
|                       |                                       |         | 0.064-0.125          | 28.5 | 196.5 | 11.75 | 81.0 |
|                       |                                       |         | >0.125               | 28.0 | 193   | 11.6  | 80.0 |
| HD spring A227        | 60-70                                 | 45-55   | <0.032               | 28.8 | 198.6 | 11.7  | 80.7 |
|                       |                                       |         | 0.033-0.063          | 28.7 | 197.9 | 11.6  | 80.0 |
|                       |                                       |         | 0.064-0.125          | 28.6 | 197.2 | 11.5  | 79.3 |
|                       |                                       |         | >0.125               | 28.5 | 196.5 | 11.4  | 78.6 |
| Oil tempered A239     | 85-90                                 | 45-50   |                      | 28.5 | 196.5 | 11.2  | 77.2 |
| Valve spring A230     | 85-90                                 | 50-60   |                      | 29.5 | 203.4 | 11.2  | 77.2 |
| Chrome-vanadium A231  | 88-93                                 | 65-75   |                      | 29.5 | 203.4 | 11.2  | 77.2 |
|                       | A232                                  | 88-93   |                      | 29.5 | 203.4 | 11.2  | 77.2 |
| Chrome-silicon A401   | 85-93                                 | 65-75   |                      | 29.5 | 203.4 | 11.2  | 77.2 |
| Stainless steel       |                                       |         |                      |      |       |       |      |
| A313*                 | 65-75                                 | 45-55   |                      | 28   | 193   | 10    | 69.0 |
| 17-7PH                | 75-80                                 | 55-60   |                      | 29.5 | 208.4 | 11    | 75.8 |
| 414                   | 65-70                                 | 42-55   |                      | 29   | 200   | 11.2  | 77.2 |
| 420                   | 65-75                                 | 45-55   |                      | 29   | 200   | 11.2  | 77.2 |
| 431                   | 72-76                                 | 50-55   |                      | 30   | 206   | 11.5  | 79.3 |
| Phosphor-bronze B159  | 75-80                                 | 45-50   |                      | 15   | 103.4 | 6     | 41.4 |
| Beryllium-copper B197 | 70                                    | 50      |                      | 17   | 117.2 | 6.5   | 44.8 |
|                       | 75                                    | 50-55   |                      | 19   | 131   | 7.3   | 50.3 |
| Inconel alloy X-750   | 65-70                                 | 40-45   |                      | 31   | 213.7 | 11.2  | 77.2 |

Si se supone el uso de un alambre de diámetro  $d$  de aproximadamente 1,5 [mm] (0,059 in).

$$\Rightarrow G = 80 \text{ [GPa]} ; E = 197,9 \text{ [GPa]}$$

Por medio de una hoja de cálculo (Anexo E) se determina las dimensiones apropiadas del resorte, a continuación se muestra un ejemplo de cálculo con los valores que cumplen con los criterios de diseño.

$$k1 = \frac{d^4 * G}{8 * D^3 * N}$$

$$N = \frac{d^4 * G}{8 * D^3 * k}$$

$$N = \frac{(0,0015[m])^4 * 8,07E^{10} \left[ \frac{N}{m^2} \right]}{8 * 0,02^3[m^3] * 300 \left[ \frac{N}{m} \right]}$$

$$N = 19,1$$

Este valor indica 19,1 espiras libres o activas. (Usando dos resortes).

<sup>55</sup> Ibíd, pág. 510.

Cálculo de la longitud sólida del resorte  $L_s$  (totalmente comprimido), este valor es obtenido de la Tabla 2-12 para un resorte que corresponde a la clase c escuadrado y esmerilado (squared and ground end) de la Figura 2-36.

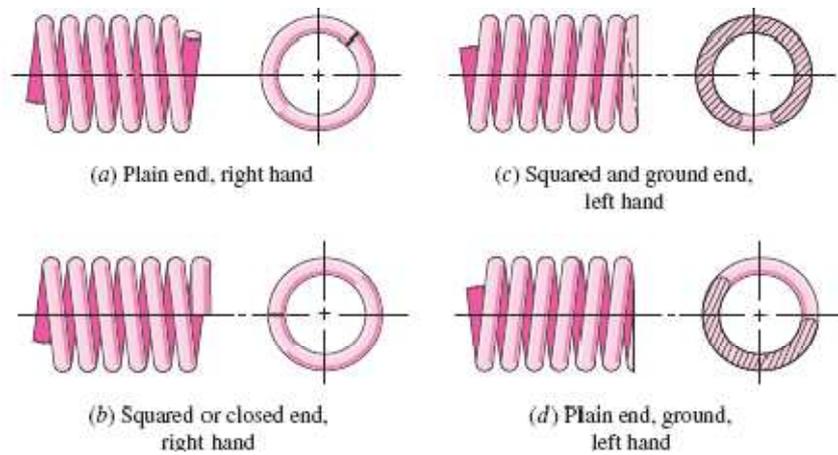


Figura 2-36. Tipos de extremos para resortes de compresión.<sup>56</sup>

$$L_s = d * N_t \quad [27]$$

$N_t$  : Es el número total de espiras

$$N_t = N_a + 2 \quad [28]$$

$N_a$ : Número de espiras activas.

$$N_t = 19,1 + 2$$

$$N_t = 21,2$$

⇒

$$L_s = 1,5[mm] * 21,2$$

$$L_s = 31,8 [mm]$$

Tabla 2-12. Fórmulas de características dimensionales de resortes de compresión.<sup>57</sup>

| Term                | Type of Spring Ends |                  |                   |                    |
|---------------------|---------------------|------------------|-------------------|--------------------|
|                     | Plain               | Plain and Ground | Squared or Closed | Squared and Ground |
| End coils, $N_g$    | 0                   | 1                | 2                 | 2                  |
| Total coils, $N_t$  | $N_a$               | $N_a + 1$        | $N_a + 2$         | $N_a + 2$          |
| Free length, $l_0$  | $pN_a + d$          | $p(N_a + 1)$     | $pN_a + 3d$       | $pN_a + 2d$        |
| Solid length, $L_s$ | $d(N_t + 1)$        | $dN_t$           | $d(N_t + 1)$      | $dN_t$             |
| Pitch, $p$          | $(l_0 - d)/N_a$     | $l_0/(N_a + 1)$  | $(l_0 - 3d)/N_a$  | $(l_0 - 2d)/N_a$   |

<sup>56</sup> Ibíd, pág. 505.

<sup>57</sup> Ibíd.

Cálculo de estabilidad del resorte con el criterio ya mencionado anteriormente será necesario calcular la longitud libre  $L_0$  del resorte.

$$L_0 = p * N_a + 2 * d \quad [29]$$

$p$ : Paso del resorte (distancia entre centros de espiras consecutivas)

Se considera una separación [claro] entre espiras de 1[mm], ver Figura 2-35.

$$p = 1[mm] + d$$

$$p = 1 + 1,5$$

$$p = 2,5[mm]$$

⇒

$$L_0 = 2,5[mm] * 19,1 + 2 * 1,5[mm]$$

$$L_0 = 50,75[mm]$$

Criterio de estabilidad:

$$L_0 < \frac{\pi D}{\alpha} \left[ \frac{2(E - G)}{2G + E} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Con  $D = 20[mm]$

$\alpha$  se obtiene de la Tabla 2-13, para el caso analizado su valor es 0,5 para resorte soportado entre superficies planas y paralelas.

Tabla 2-13. Constante  $\alpha$  para extremos de resortes de compresión.

| End Condition  | Constant $\alpha$ |
|--|-------------------|
| Spring supported between flat parallel surfaces (fixed ends)                                       | 0.5               |
| One end supported by flat surface perpendicular to spring axis (fixed); other end pivoted (hinged) | 0.707             |
| Both ends pivoted (hinged)   | 1                 |
| One end clamped; other end free  | 2                 |

\*Ends supported by flat surfaces must be squared and ground.

⇒

$$L_0 < \frac{\pi * 0,02[m]}{0,5} \left[ \frac{2(197,9E^9 - 80E^9)}{2 * 80E^9 + 197,9E^9} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$L_0 < 0,102 [m]$$

$$L_0 < 102[mm]$$

Como  $L_0 = 50,75 [mm]$

$$L_0 = 50,75[mm] < 102[mm]$$

Con estos valores se cumple la condición de estabilidad.

La siguiente tabla (Tabla 2-14) muestra los datos definitivos del resorte a ser usado en la aplicación, ya que el diámetro del alambre 1,5[mm] no hay disponible se usó 1,46[mm]. De acuerdo a los criterios establecidos la configuración con dos resortes cumple todas las condiciones, así se presenta los resultados.

Tabla 2-14. Características geométricas de los resortes

|                           |      |
|---------------------------|------|
| k [N/m]                   | 300  |
| d [mm]                    | 1,46 |
| Ls (sólido) [mm]          | 30,8 |
| Paso p [mm]               | 2,46 |
| Lo (libre) [mm]           | 49,9 |
| ¿Cumple estabilidad?      | Si   |
| $L_o \geq L_s + 18[mm]$ ? | Si   |

### 2.1.3.17 Selección del lubricante

Para la aplicación se utilizará una grasa en lugar de aceite ya que proporciona protección contra humedad e impurezas, además una vez introducido entre las superficies de los cojinetes para formar la capa de lubricación es difícil de remover. Las ventajas más importantes de una grasa frente a un aceite lubricante se presentan a continuación:<sup>58</sup>

<sup>58</sup> LANSDOWN A., (2008), "Lubrication and Lubricant selection", Ed. Professional Engineering Publishing, Inglaterra, pág.141.

- No tiene problemas de drenaje cuando se detiene el movimiento por su condición de semisólido.
- Soluciona problemas de sellado, así se previene el goteo del lubricante desde las superficies y se restringe el ingresos de impurezas.
- Proporciona lubricante excedente, debido a su condición de semisólido.
- Previene la contaminación de productos en manufactura de productos críticamente limpios como farmacéutica, alimentos y textiles.
- Uso de aditivos sólidos, permanecerán dispersos en la grasa.

Según expertos en lubricación (ver Tabla 2-15) para aplicaciones en guías de deslizamiento y cojinetes de fricción se recomienda una grasa con número NLGI 2. Las siglas NLGI hacen referencia a la National Lubricating Grease Institute de Estados Unidos.

Tabla 2-15. Clasificación de grasa por el número NLGI.<sup>59</sup>

| <i>NLGI number</i> | <i>Appearance</i> | <i>ASTM worked penetration (1/10 mm)</i> | <i>Application</i>   |
|--------------------|-------------------|--|----------------------|
| 000                |                   | 445–475                                  | Gear greases         |
| 00                 | Semi-fluid        | 400–430                                  |                      |
| 0                  |                   | 355–385                                  |                      |
| 1                  | Soft              | 310–340                                  |                      |
| 2                  | Creamy            | 265–295                                  | Greases for bearings |
| 3                  |                   | 220–250                                  |                      |
| 4                  |                   | 175–205                                  |                      |
| 5                  |                   | 130–160                                  |                      |
| 6                  | Soap-like         | 85–115                                   | Block greases        |

<sup>59</sup> THEO MANG W., (2007), "Lubricants and Lubrication", Ed. Wiley-VCH, Alemania, pág. 650.

## CAPÍTULO 3

### AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO

#### 3.1 AUTOMATIZACIÓN DEL ROBOT

Como en todo proceso robotizado es necesario determinar los distintos movimientos que será capaz de desarrollar el robot, es decir sus grados de libertad. El prototipo a controlar es un robot cartesiano de tres grados de libertad de articulaciones prismáticas perpendiculares entre sí que se los denominará ejes X, Y y Z. Además como efector final se tiene una pinza mecánica que sujetará los objetos a ser manipulados. El control se lo realizará por medio de un PLC (controlador lógico programable) y será de naturaleza secuencial.

#### 3.2 COMPARACIÓN DE POTENCIAS REQUERIDAS

A continuación se realizará el cálculo para demostrar cuál de los sistemas mecánicos de transmisión de potencia realmente pueden ser aplicados al proyecto en ejecución. Primero se presenta el cálculo de la potencia requerida en el caso que se use un tornillo de potencia y luego se presenta la alternativa dos que es el uso de una banda y polea como se analizó rápidamente en el numeral 2.1.3.3.2.

##### 3.2.1 POTENCIA REQUERIDA USANDO TORNILLO DE POTENCIA

Para calcular la potencia requerida por los motores que moverán los carros accionados en X, Y y Z será necesario determinar el torque y la velocidad angular de estos, por lo que primero se determinará la carga a ser transportada por cada uno de ellos (ver Tabla 3-1 ).

Tabla 3-1. Carga a ser movida por cada motor.

| Motor | Masa a mover [kg] |
|-------|-------------------|
| X     | 7                 |
| Y     | 5                 |
| Z     | 3                 |

La potencia de cada motor eléctrico está definida por la siguiente expresión:

$$P = T * \omega \quad 60$$

Donde:

$P$ : Potencia necesaria en [w]

$T$ : Es el torque necesario en [N-m]

$\omega$ : Es la velocidad angular en [rad/s], depende de la velocidad lineal requerida.

Para el trabajo que van a desarrollar los motores en este sistema será necesario separar en dos partes el torque necesario, el primero para vencer la inercia de los tornillos y el otro para transmitir la fuerza desde el tornillo a la tuerca y así mover la carga (carro), lo indicado se resume en la siguiente expresión:

$$T = T_1 + T_2$$

Donde:

$T_1$ : Es el torque requerido para mover la carga.

$T_2$ : Es el torque requerido para vencer la inercia del tornillo.

Para obtener los valores necesarios de fuerza que moverá a los respectivos carros en sus ejes se realiza el diagrama de cuerpo libre para el eje X (Figura 2-10). Se desarrolla el cálculo para el motor en X de ahí se proyecta los valores para los motores en Y y Z. Del cálculo previo (ver numeral 2.1.3.3.1) se determinó que la fuerza  $F$  para mover la carga en X es de 6,2 [N], esta fuerza viene dada de la suposición de que la carga será distribuida en dos ejes, por lo que se usará dos motores con el torque y potencia a continuación calculados.

Para determinar el torque para mover la carga se usará la siguiente expresión:

$$T_1 = F * \frac{d_m}{2} * \left( \frac{l + \pi * \mu * d_m}{\pi * d_m - \mu * l} \right) \quad 61 \quad [30]$$

Donde:

$T_1$ : Par de torsión para vencer el rozamiento en la rosca y mover la carga.

$F$ : Carga a ser desplazada por el tornillo.

$l$ : Paso de rosca.

<sup>60</sup> SERWAY R. & JEWETT J., (2004), "Physics for Scientists and Engineers" Ed. Brooks/Cole, USA.

<sup>61</sup> SHIGLEY J., (1989), "Manual de Diseño Mecánico", Ed. McGraw Hill, USA, pág. 386.

$\mu$ : Coeficiente de fricción entre tuerca y tornillo.

$d_m$ : Diámetro de paso del tornillo.  $d_m = d - 0,649519 * p$ ,  $d$  es el diámetro nominal y  $p$  es el paso.<sup>62</sup>

Cálculo de  $d_m$ :

$$d_m = d - 0,649519 * p \quad [31]$$

$$d_m = 0,5625 - 0,649519 * \frac{1}{12}$$

$$d_m = 0,5084[in]$$

$$d_m = 12,91 [mm]$$

Para encontrar  $\mu$  se usará valores recomendados en tablas, la Tabla 2-4 presenta esos valores. Para acero-acero con aceite de máquina como lubricante se tiene un coeficiente de  $\mu = 0,14$ .

Reemplazando valores se tiene:

$$T_1 = 6,2[N] * \frac{12,91 * 10^{-3}}{2} [m] * \left( \frac{2,11 + \pi * 0,14 * 12,91}{\pi * 12,91 - 0,14 * 2,11} \right)$$

$$T_1 = 0,0077 [N - m]$$

$$T_1 = 7,7 [mN - m]$$

Para calcular el torque requerido para vencer la inercia del tornillo se usará el diagrama presentado en la siguiente figura (ver Figura 3-1).

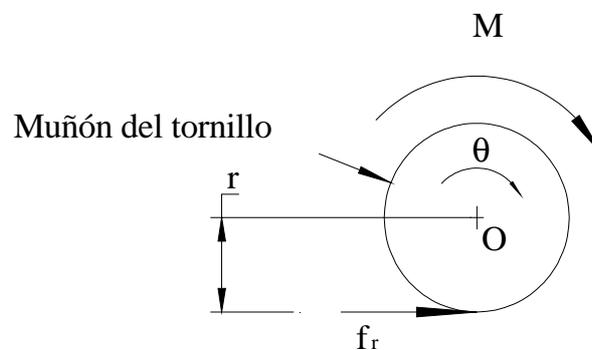


Figura 3-1. Diagrama de cuerpo libre del tornillo para análisis de rotación alrededor de su eje x-x.

<sup>62</sup> SHIGLEY J., (1989), "Manual de Diseño Mecánico", Ed. McGraw Hill, USA, pág. 383.

De la Figura 3-1 se establece la siguiente ecuación que relaciona el trabajo total desarrollado por las fuerzas activas y la variación de la energía cinética de este sistema:

$$dU = dT \quad 63$$

Donde:

$dU$ : Trabajo desarrollado por fuerzas activas o momentos en sistemas rotacionales.

$dT$ : Variación de la energía cinética del sistema.

$$dU = (M - f_r * r) * d\theta \quad [32]$$

$$dT = I_{x-x} * \alpha * d\theta \quad 64 \quad [33]$$

$d\theta$ : Diferencial del desplazamiento angular.

$\alpha$ : Aceleración angular.

Para este caso  $M = T_2$

De donde se obtiene lo siguiente:

$$(T_2 - f_r * r) * d\theta = I_{x-x} * \alpha * d\theta$$

$$(T_2 - f_r * r) = I_{x-x} * \alpha$$

Donde:

$T_2$ : Torque para vencer la inercia.

$r$ : Radio del muñón del tornillo. 5 [mm]

$I_{x-x}$ : Inercia del tornillo respecto a su eje axial en este caso x-x.

$\omega$ : Velocidad angular del tornillo en [rad/s].

Ya que se estableció que la velocidad lineal del carro en X sea de 0,03 [m/s] en el cálculo del tornillo de potencia en X, la velocidad angular depende de éste dato, la siguiente expresión relaciona las dos variables.

<sup>63</sup> MERIAM J., (1976), "Dinámica", Ed. Reverté, España, pág. 353

<sup>64</sup> Ibíd pág. 358.

$$V = \omega * p$$

Donde:

$V$ : Es la velocidad de avance [m/s]

$p$ : Es el paso del tornillo,  $1/12$  [in] = 2,11[mm]

$$\omega = \frac{V}{p} = \frac{0,03[m/s]}{0,00211[m]}$$

$$\omega = 14 \left[ \frac{rev}{s} \right]$$

Aproximada  $\omega = 840$  [rpm] = 89[rad/s]

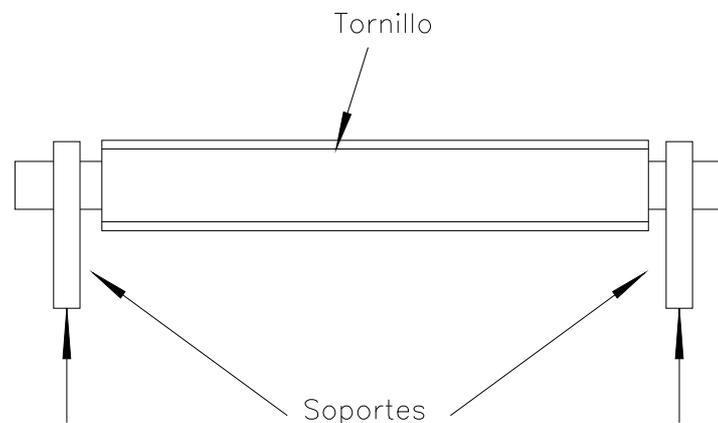


Figura 3-2. Diagrama simplificado de la posición del tornillo en x con sus soportes.

Se supondrá una aceleración angular:

$$\alpha = 2000 \text{ [rad/s}^2\text{]}$$

De la Figura 3-2 se concluye que el tornillo está soportado en los extremos y no actúan sobre él fuerzas externas que modifiquen significativamente la normal en los apoyos, de lo expuesto se determinan las siguientes ecuaciones:

$$f_r = \mu * N$$

$\mu = 0.18$  ; Obtenido de la Tabla 2-4

$$N = \text{Peso}_{(\text{tornillo})}$$

$$N = 1[\text{Kg}] * 9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$$

$$N = 9,81 [N]$$

$$f_r = 0.18 * 9,81$$

$$f_r = 1,76 [N]$$

Inercia del tornillo se aproxima a un cilindro sólido, con la siguiente ecuación se determina su valor.

$${}^{65}I_{x-x} = \frac{1}{2} * m_t * r^2 \quad [34]$$

Donde:

$m_t$ : Masa del tornillo (Kg)

$r$ : Radio del tornillo (m)

$$I_{x-x} = \frac{1}{2} * 1[Kg] * 0,0079^2[m]^2$$

$$I_{x-x} = 2,5 * 10^{-5} [Kg - m^2]$$

De la ecuación:

$$(T_2 - f_r * r) = I_{x-x} * \alpha$$

$$T_2 = f_r * r + I_{x-x} * \alpha$$

$$T_2 = 1,76[N] * 0,005[m] + 2,5 * 10^{-5}[Kg - m^2] * 2000[rad/s^2]$$

$$T_2 = 0,06 [N - m]$$

$$T_2 = 60[mN - m]$$

Del torque:

$$T = T_1 + T_2$$

$$T_1 = 7,7 [mN - m]$$

$$T = 7,7 + 60$$

$$T = 67,7[mN - m]$$

La potencia:

$$P = T * \omega$$

$$P = 0,067[N - m] * 89[rad/s]$$

$$P = 6,0 [w]$$

---

<sup>65</sup> McCAULEY C., "Machinery's Handbook", (2000), Ed. Industrial Press, USA, pág. 158.

Ésta potencia es la requerida para cada motor en X, ya que se utilizarán dos motores. Cada uno debe tener la potencia expresada anteriormente y el torque indicado.

Los motores utilizados y sus características se muestran en el Anexo F, los requerimientos mínimos que debe cumplir cada motor según este diseño se muestra en Tabla 3-2.

Tabla 3-2. Características mínimas de los motores para un sistema con tornillo.

| Motor   | Torque<br>[mN-m] | Velocidad angular |       | Potencia<br>[w] | Cantidad | Potencia<br>total [w] |
|---------|------------------|-------------------|-------|-----------------|----------|-----------------------|
|         |                  | [rad/s]           | [rpm] |                 |          |                       |
| Motor X | 67,7             | 89                | 840   | 6               | 2        | 12                    |
| Motor Y | 55,9             | 89                | 840   | 5               | 1        | 5                     |
| Motor Z | 44,9             | 89                | 840   | 4,5             | 1        | 4,5                   |

En el

Anexo H, se muestra la hoja de cálculo desarrollada para determinar las características técnicas de los motores para X, Y y Z usando tornillo de potencia para transmitir el movimiento.

### 3.2.2 POTENCIA REQUERIDA USANDO BANDA

En el numeral 2.1.3.3.2 se presento el cálculo para el motor en x, haciendo referencia a ese cálculo y de la hoja de cálculo mostrada en el Anexo I se muestran los resultados para los requerimientos de los motores usando banda y polea como sistema de transmisión de movimiento.

Tabla 3-3 Características mínimas de los motores para un sistema con banda-polea.

| Motor   | Torque<br>[mN-m] | Velocidad angular |       | Potencia<br>[w] | Cantidad | Potencia<br>total [w] |
|---------|------------------|-------------------|-------|-----------------|----------|-----------------------|
|         |                  | [rad/s]           | [rpm] |                 |          |                       |
| Motor X | 68               | 2,73              | 26    | 0,19            | 2        | 0,4                   |
| Motor Y | 97               | 2,73              | 26    | 0,27            | 1        | 0,27                  |
| Motor Z | 58               | 2,73              | 26    | 0,16            | 1        | 0,16                  |

La Tabla 3-4 muestra las características de los motores instalados, estos valores son tomados del Anexo F. Los requerimientos del motor para la pinza fueron calculados en el capítulo 2 al diseñar la pinza por lo que no se desarrolla cálculos en esta sección. Las características del motor utilizado para la pinza se muestran en el Anexo G.

Tabla 3-4 Características técnicas de los motores seleccionados.

| Motor       | Modelo      | Torque [mN-m] | Angulo/pulso | $\omega$ (max) | I [A] | V [V]           | Potencia [w] | Cant | Potencia total [w] |
|-------------|-------------|---------------|--------------|----------------|-------|-----------------|--------------|------|--------------------|
| Motor X     | CSK566-NATA | 830           | 0,72°        | 2000 rpm       | 1,4   | 24±10%<br>2.1 A | 33,5         | 2    | 66                 |
| Motor Y     | CSK566-NATA | 830           | 0,72°        | 2000 rpm       | 1,4   | 24±10%<br>2.1 A | 33,5         | 1    | 33,5               |
| Motor Z     | PM55L-048   | 166           | 7,5°         | 1125 rpm       | 0,5   | 24              | 12           | 1    | 12                 |
| Motor Pinza | HS-311      | 360           | -            | 0,15s/60°      | 0,8   | 6               | 4,8          | 1    | 4,8                |

### 3.2.3 MOTORES PASO A PASO

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8°, es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360°. En la Figura 3-3 se muestra un motor paso a paso común.

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas esta energizada, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.<sup>66</sup>

<sup>66</sup> (<http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>)



Figura 3-3 Motor paso a paso

### 3.2.3.1 Tipos de motores paso a paso.

El motor de paso de rotor de imán permanente: Permite mantener un par diferente de cero cuando el motor no está energizado. Dependiendo de la construcción del motor, es típicamente posible obtener pasos angulares de 7.5, 11.25, 15, 18, 45 o 90°. El ángulo de rotación se determina por el número de polos en el estator.

El motor de paso de reluctancia variable (VR): Tiene un rotor multipolar de hierro y un estator devanado laminado, y rota cuando los dientes del rotor son atraídos a los dientes del estator electromagnéticamente energizados. La inercia del rotor de un motor de paso de reluctancia variable es pequeña y la respuesta es muy rápida, pero la inercia permitida de la carga es pequeña. Cuando los devanados no están energizados, el par estático de este tipo de motor es cero. Generalmente, el paso angular de este motor de paso de reluctancia variable es de 15°.

El motor híbrido de paso: Se caracteriza por tener varios dientes en el estator y en el rotor, el rotor con un imán concéntrico magnetizado axialmente alrededor de su eje. Se puede ver que esta configuración es una mezcla de los tipos de reluctancia variable e imán permanente. Este tipo de motor tiene una alta precisión y alto par y se puede configurar para suministrar un paso angular tan pequeño como 1.8°.

Motores paso a paso bipolares: Estos tienen generalmente 4 cables de salida. Necesitan ciertos trucos para ser controlados debido a que requieren del cambio de dirección de flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento.

Motores paso a paso unipolares: estos motores suelen tener 5 o 6 cables de salida dependiendo de su conexionado interno. Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar.<sup>67</sup>

### 3.2.3.2 Funcionamiento

Un motor paso a paso está constituido por dos partes: una fija, llamada estator; y una móvil, llamada rotor. El estator está construido en base de una serie de cavidades en las que se ubican las bobinas. Cuando una corriente eléctrica atraviesa una de estas bobinas, se forman los polos norte-sur necesarios para impulsar el motor. (Ver Figura 3-4).



Figura 3-4 Estator de cuatro bobinas

El rotor puede basarse en un imán permanente o un inducido ferromagnético, siempre con el mismo número de pares de polos que el contenido en una sección de la bobina del estator. Todo esto se monta sobre un eje que a su vez se apoya en dos cojinetes que le permiten girar libremente. (Ver Figura 3-5)

---

<sup>67</sup> ([http://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_paso\\_a\\_paso](http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_paso_a_paso))

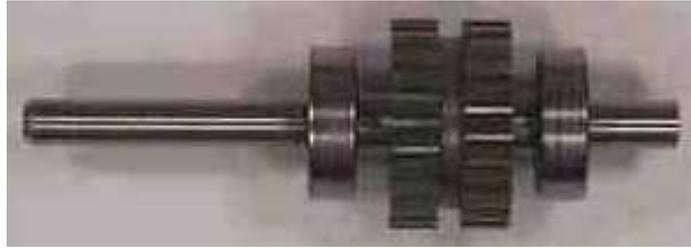


Figura 3-5 Rotor de un motor paso a paso.

Si se logra que las bobinas mencionadas se energicen en el orden y con la frecuencia adecuada, se podrá hacer que el motor avance un paso en uno u otro sentido. Para ello, se necesita de un sistema de control adecuado. Y ahí es donde nuevamente se puede hacer uso de un microcontrolador. Con el programa adecuado se logra excitar el estator, creando los polos N-S. Al variar dicha excitación, de modo que el campo magnético formado efectúe un movimiento giratorio, el motor seguirá el movimiento de dicho campo, produciéndose de este modo el giro del rotor.<sup>68</sup>

### 3.2.4 SERVOMOTOR

El dispositivo utiliza un circuito de control para realizar la ubicación del motor en un punto, consistente en un controlador proporcional.

El *punto de referencia* o *setpoint*—que es el valor de posición deseada para el motor— se indica mediante una señal de control cuadrada. El ancho de pulso de la señal indica el ángulo de posición: una señal con pulsos más anchos (es decir, de mayor duración) ubicará al motor en un ángulo mayor, y viceversa.

Inicialmente, un *amplificador de error* calcula el valor del error de posición, que es la diferencia entre la referencia y la posición en que se encuentra el motor. Un error de posición mayor significa que hay una diferencia mayor entre el valor deseado y el existente, de modo que el motor deberá rotar más rápido para alcanzarlo; uno menor, significa que la posición del motor está cerca de la deseada por el usuario, así que el motor tendrá que rotar más lentamente. Si el

<sup>68</sup> (<http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>)

servo se encuentra en la posición deseada, el error será cero, y no habrá movimiento. (Ver Figura 3-6)

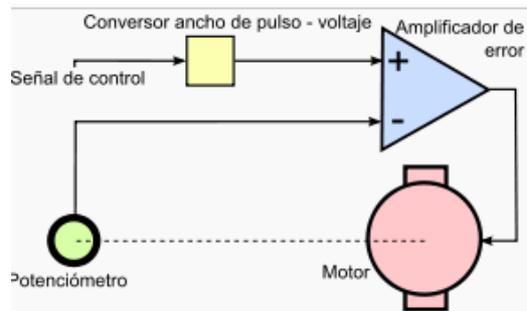


Figura 3-6 Diagrama de control de un servomotor.

Para que el amplificador de error pueda calcular el error de posición, debe restar dos valores de voltaje analógicos. La señal de control PWM (pulse width modulation) o modulación de ancho de pulso se convierte entonces en un valor analógico de voltaje, mediante un convertidor de ancho de pulso a voltaje. El valor de la posición del motor se obtiene usando un potenciómetro de realimentación acoplado mecánicamente a la caja reductora del eje del motor: cuando el motor rote, el potenciómetro también lo hará, variando el voltaje que se introduce al amplificador de error. Una vez que se ha obtenido el error de posición, éste se amplifica con una ganancia, y posteriormente se aplica a los terminales del motor.<sup>69</sup>

Dependiendo del modelo del servo, la tensión de alimentación puede estar comprendida entre los 4 y 8 voltios. El control de un servo se reduce a indicar su posición mediante una señal cuadrada de voltaje: el ángulo de ubicación del motor depende de la duración del nivel alto de la señal.

Cada servo, dependiendo de la marca y modelo utilizado, tiene sus propios márgenes de operación. Por ejemplo, para algunos servos los valores de tiempo de la señal en alto están entre 1 y 2 ms, que posicionan al motor en ambos extremos de giro (0° y 180°, respectivamente). Los valores de tiempo de alto para ubicar el motor en otras posiciones se halla mediante una relación completamente

<sup>69</sup> ([http://es.wikipedia.org/wiki/Servomotor\\_de\\_modelismo](http://es.wikipedia.org/wiki/Servomotor_de_modelismo))

lineal: el valor 1,5 ms indica la posición central, y otros valores de duración del pulso dejarían al motor en la posición proporcional a dicha duración.

Es sencillo notar que, para el caso del motor anteriormente mencionado, la duración del pulso alto para conseguir un ángulo de posición  $\theta$  estará dado por la fórmula:

$$t = 1 + \frac{\phi}{180}$$

Donde:

t: está dado en [ms]

$\phi$  : en grados [°]

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que ningún valor de ángulo o de duración de pulso puede estar fuera del rango de operación del dispositivo: en efecto, el servo tiene un límite de giro de modo que no puede girar más de cierto ángulo en un mismo sentido debido a la limitación física que impone el potenciómetro del control de posición.

Para bloquear el servomotor en una posición, es necesario enviarle continuamente la señal con la posición deseada. De esta forma, el sistema de control seguirá operando, y el servo conservará su posición y se resistirá a fuerzas externas que intenten cambiarlo de posición. Si los pulsos no se envían, el servomotor quedará liberado, y cualquier fuerza externa puede cambiarlo de posición fácilmente.<sup>70</sup>

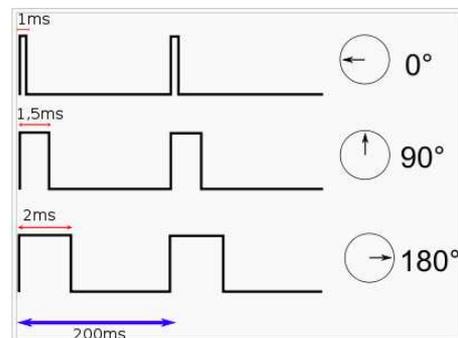


Figura 3-7 Señales de control del servo y sus respectivas posiciones.<sup>71</sup>

<sup>70</sup> ([http://es.wikipedia.org/wiki/Servomotor\\_de\\_modelismo](http://es.wikipedia.org/wiki/Servomotor_de_modelismo))

<sup>71</sup> Ibíd.

### 3.3 PROGRAMACIÓN DEL ROBOT

Como se mencionó anteriormente el robot a desarrollar será controlado por un PLC, razón por la cual es necesario conocer el lenguaje a utilizar en la programación de PLC's, que dentro del campo de electrónica industrial éste lenguaje se lo conoce como LADDER o escalera en español, que fue descrito en el capítulo I, aquí se presenta una descripción del software de programación del PLC de la familia Micrologix 1100 serie A de Allen Bradley, las características de éste PLC y los módulos a ser usados se presentan en el Anexo J.

#### 3.3.1 SOFTWARE RSLOGIX 500

El software RSLogix 500 está destinado a la programación de la familia de procesadores Micrologix y el Allen-Bradley SLC<sup>TM</sup> 500. Los requerimientos de sistema para éste software son:

- Como mínimo procesador Intel Pentium I.
- 16 MB de RAM mínimo.
- Mínimo 10 MB de espacio libre en disco.
- Un adaptador gráfico VGA de 16 colores.
- Disquetera de 3.5"
- Un mouse.
- Sistema operativo Windows 95 o posteriores.<sup>72</sup>

Se utilizó la versión del software para Windows XP. A continuación se presenta un extracto del uso del software.

---

<sup>72</sup> ([www.rockwellautomation.com/rockwellsoftware/design/rslogix500](http://www.rockwellautomation.com/rockwellsoftware/design/rslogix500))

### 3.3.1.1 Entorno del software

Una vez instalado el software en nuestro computador (ver Anexo K), el primer paso para utilizarlo es dar clic sobre el ícono del RSLogix 500 y a continuación se presenta la siguiente ventana (ver Figura 3-8), ir a file y elegir new, se presenta la ventana de selección del PLC (ver Figura 3-9), en esta ventana es necesario cerciorarse de que el PLC seleccionado sea el Micrologix 1100 series A, ya que éste es el que se usará en la aplicación se da un clic en OK. Para luego presentarse la siguiente ventana (ver Figura 3-10), que es donde se procede a la programación.

En la Figura 3-10 también se puede observar los principales elementos para desarrollar un programa para PLC.



Figura 3-8 Ventana de inicio del RSLogix 500.

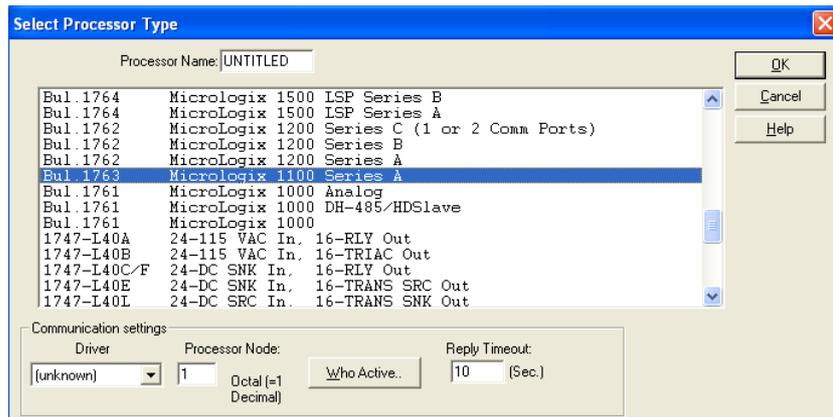


Figura 3-9 Ventana de selección del tipo de PLC.

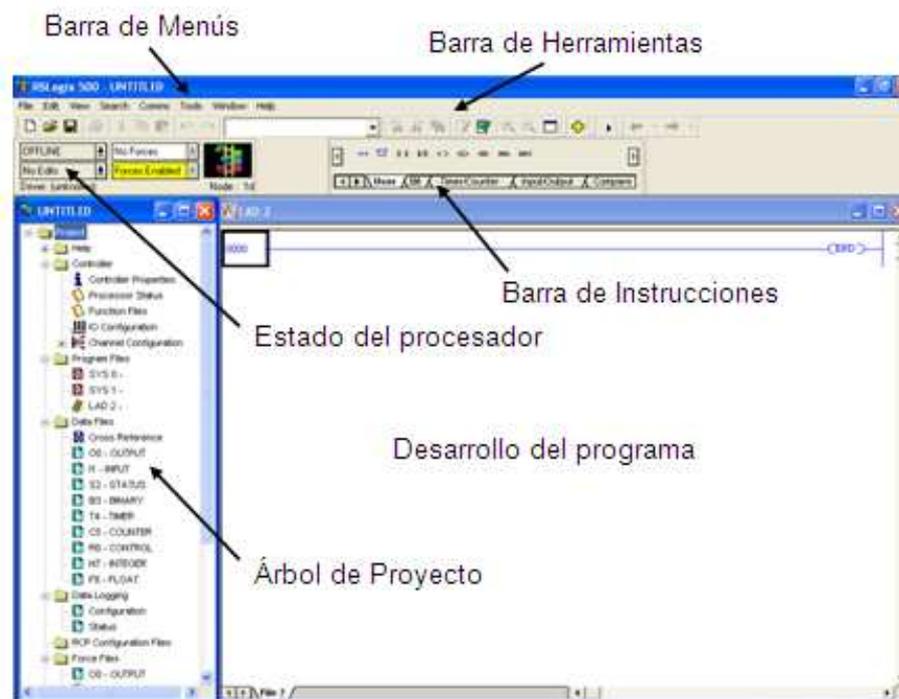


Figura 3-10 Entorno de programación y elementos principales de RSLogix 500.

Antes de programar es necesario configurar las entradas y salidas del plc, para lo cual se refiere al árbol del proyecto a la pestaña IO configuration, al dar doble clic sobre ésta pestaña se despliega la siguiente ventana (ver Figura 3-11). En ésta ventana es posible seleccionar los distintos módulos a ser utilizados por la aplicación, cabe notar que el plc usado en el presente trabajo permite únicamente la incorporación de 4 módulos como máximo.

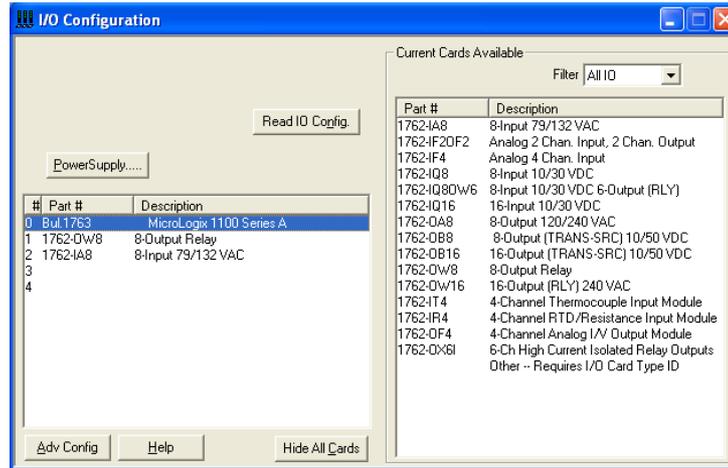


Figura 3-11 Ventana de configuración de entradas y salidas.

### 3.3.1.2 Instrucciones de programación

Para saber cuál es la función de cada instrucción es recomendable dirigirse al help (ayuda) del programa y seleccionar SLC Instruction Help (ayuda de las instrucciones del SLC), se presenta la siguiente ventana (ver Figura 3-12).

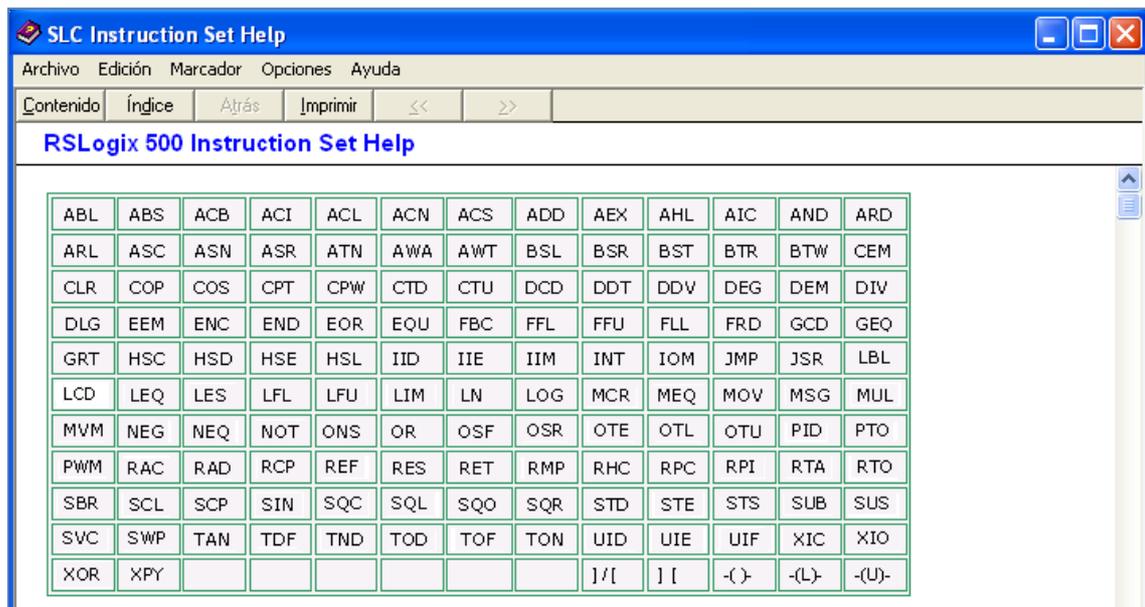


Figura 3-12 Ventana de ayuda del grupo de instrucciones del RSLogix 500.

- **Instrucciones tipo relé**

Las instrucciones tipo relé permiten monitorear y controlar el estado de bits en la tabla de datos, tales como los bits de entrada o los bits de la palabra de control del temporizador.

- **Instrucciones de temporizador**

Los temporizadores y contadores le permiten controlar operaciones según el tiempo o el número de eventos.

- **Instrucciones de comparación**

Permiten comparar los valores mediante una expresión o una instrucción de comparación específica.

- **Instrucciones de control de programas**

Las instrucciones de flujo de programas cambian el flujo de la ejecución de programas de lógica de escalera.

- **Instrucciones lógicas**

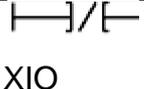
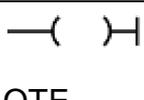
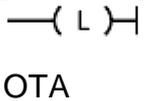
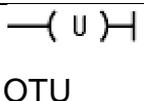
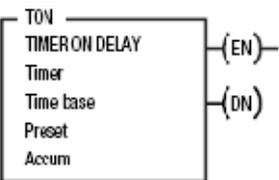
Realizan operaciones lógicas.

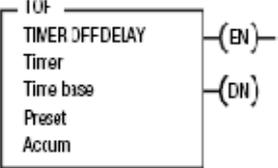
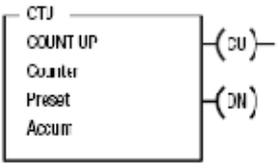
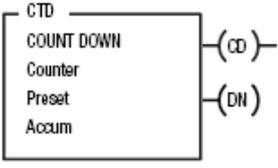
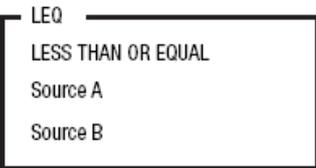
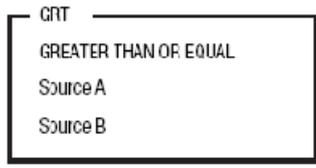
La Tabla 3-5 muestra las instrucciones que se usan con más frecuencia en la programación de PLCs y aquellas que han sido usadas en el desarrollo del programa de la presente tesis.

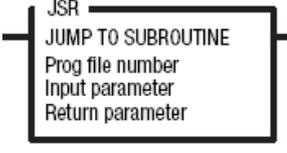
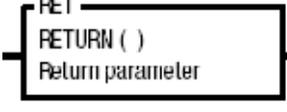
Tabla 3-5. Instrucciones más comunes de RSLogix 500<sup>73</sup>.

| Nombre instrucción                       | Símbolo  | Instrucción   |
|--|--|---|
| <i>Instrucciones tipo relé</i>           |  |   |
| Examine if closed<br>Normalmente abierto | <br>XIC | También llamada "examinar on" o "normalmente abierta", funciona como una entrada o bit de almacenamiento.<br><br>Si el bit de memoria correspondiente es un "1" (on), esta instrucción permitirá al peldaño |

<sup>73</sup> (<http://literature.rockwellautomation.com>)

|   |  |  |
|---|--|--|
|   |  | <p>continuar y la bobina será energizada.</p> <p>Si el bit de memoria correspondiente es "0" (apagado), esta instrucción no permitirá la continuidad peldaño (asume que su estado normalmente abierto) y salidas en el peldaño será libre de energía.</p>  |
| <p>Examine if open</p> <p>Normalmente cerrado</p> |  <p>XIO</p>   | <p>También llamada "examinar off" o "normalmente cerrado", funciona como una entrada o bit de almacenamiento.</p> <p>Si el bit de memoria correspondiente es un "1" (on), esta instrucción <i>no</i> permitirá la continuidad y los resultados peldaño en su peldaño será libre de energía.</p> <p>Si el bit de memoria correspondiente es "0" (apagado), esta instrucción se mantiene su estado normal y permite la continuidad de peldaño y salidas en el peldaño será activado.</p> |
| <p>Output Energize</p>                            |  <p>OTE</p> | <p>Establece el bit especificado cuando se logra la continuidad del peldaño (escalón está energizado). Si el bit corresponde a un dispositivo de salida, éste se activa cuando el escalón está energizado.</p>   |
| <p>Output Latch</p>                               |  <p>OTA</p> | <p>Funciona semejante a la función OTE, con la adición que al ser energizada esta función, permanece energizada hasta recibir otra instrucción llamada OTU. Mediante esta instrucción se enclava un bit.</p>   |
| <p>Output Unlatch</p>                             |  <p>OTU</p> | <p>Desactiva un bit que se ha enclavado mediante OTA. Mediante esta función se desactiva bit.</p>  |
| <i>Instrucciones de temporizador y de conteo</i>  |  |  |
| <p>Timer on delay</p>                             |             | <p>Sirve para activar y desactivar una salida después que el temporizador ha funcionado durante un intervalo de tiempo preseleccionado.</p>  |

|  |   |  |
|--|---|--|
| Timer off delay                              |    | Activa y desactiva una salida después que el renglón ha estado desactivado durante un intervalo de tiempo preseleccionado. La instrucción TOF comienza a acumular el tiempo cuando el renglón se hace falso. |
| Count up                                     |    | Cuenta progresivamente cada vez que el renglón cambia de falso a verdadero incrementando el valor acumulador en uno. Al llegar a tal valor, se envía una señal hacia el dispositivo de salida.               |
| Count down                                   |   | Semejante a CTU, pero este contador es regresivo.  |
| <i>Instrucciones comparación</i>             |   |  |
| Less than or equal                           |  | Para probar si un valor es menor o igual a otro valor. La fuente A y la fuente B pueden ser valores o direcciones que contienen valores.   |
| Greater than or equal                        |  | Para probar si un valor es mayor que otro.   |
| <i>Instrucciones de control de programas</i> |   |  |
| One Shot                                     |  | Instrucción de entrada que hace que el peldaño sea verdadero durante un escán del programa cuando ocurre una transición de falso a verdadero de las condiciones previas a la instrucción.                    |

|                    |   |   |
|--------------------|---|---|
| Jump to subroutine |  | Indican al procesador que vaya a un archivo de subrutina diferente dentro del programa de lógica de escalera, que se escanee dicho archivo de subrutina una sola vez y que retorne al punto original. |
| Subrotuine         |  |   |
| Return             |  |   |

### 3.3.2 DIAGRAMA DE FLUJO

El siguiente diagrama de flujo muestra los principales procesos que debe realizar el robot para cumplir con la tarea especificada que es de clasificar objetos de acuerdo al peso, en la configuración automático. (Figura 3-13).

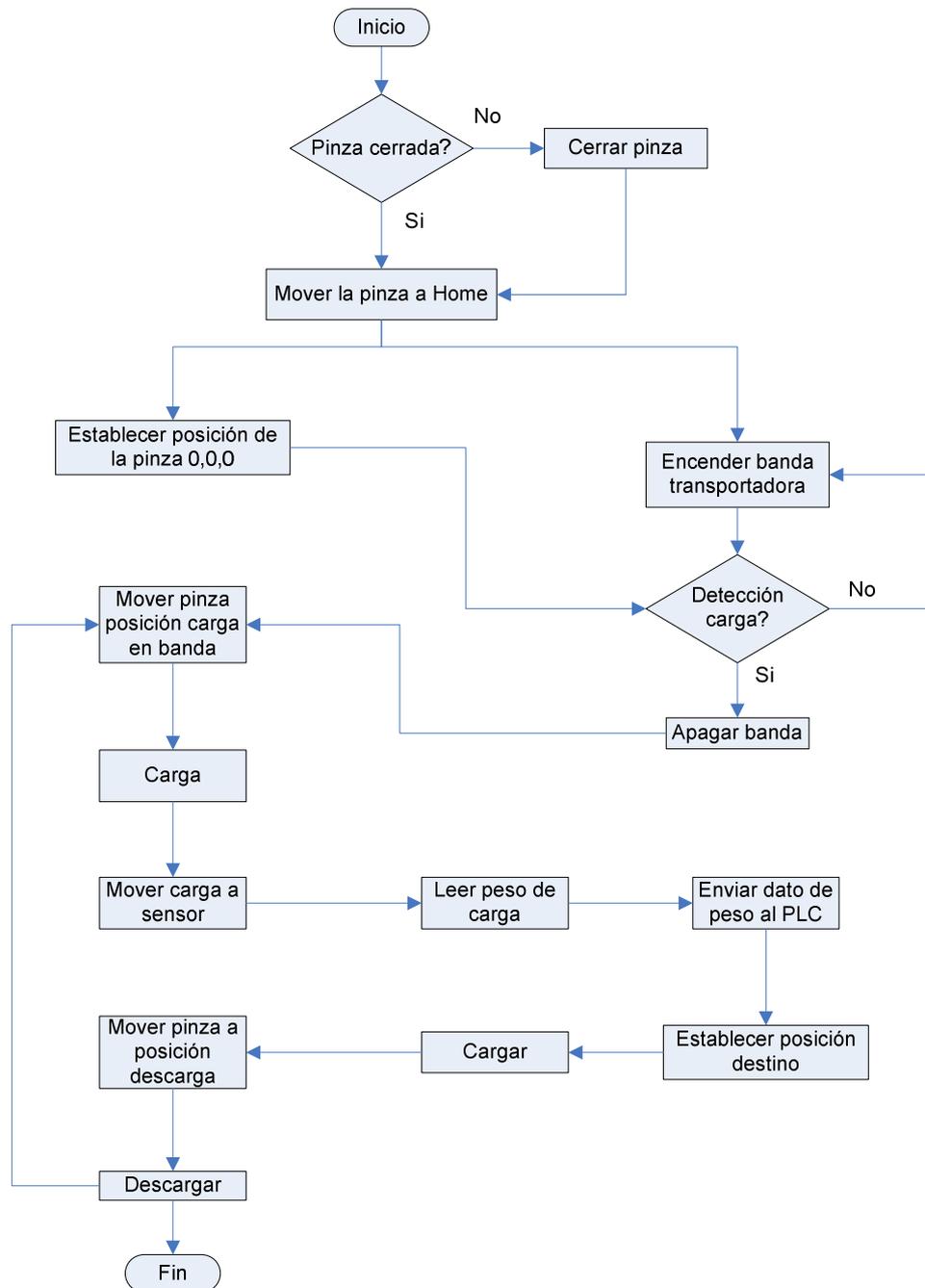


Figura 3-13. Diagrama de flujo.

### 3.3.3 PROGRAMA DEL PLC

De acuerdo a lo establecido en el diagrama de flujo mencionado anteriormente se procede con la programación del PLC. El programa detallado se muestra en el Anexo O.

### 3.3.3.1 Distribución de puertos y conexión

La siguiente asignación de entradas y salidas del PLC corresponde al programa detallado anteriormente. (Ver Tabla 3-6 y Tabla 3-7).

Tabla 3-6. Detalle de entradas y salidas del PLC.

| Entradas | Pulsadores/Microswitch) | Función                   |
|----------|-------------------------|---------------------------|
| I0.0/0   | Automático              | Ciclo automático          |
| I0.0/1   | Manual                  | Ciclo manual              |
| I0.0/2   | Master OFF              | Detiene el ciclo          |
| I0.0/3   | FC1 X                   | Final de carrera. En Home |
| I0.0/4   | FC2 X                   | Seguidor en X (opcional)  |
| I0.0/5   | FC1 Y                   | Final de carrera. En Home |
| I0.0/6   | FC2 Y                   | Seguidor en Y (opcional)  |
| I0.0/7   | FC1 Z                   | Arriba. En home           |
| I0.0/8   | FC2 Z                   | Seguidor en Z (opcional)  |
| I0.0/9   | FC Sensor Peso          | Con carga                 |
| I0.4     | Sensor analógico        | Lectura peso              |
| I0.5     | Entrada analógica       | Libre                     |

| Salidas | Indicadores            | Función                         |
|---------|------------------------|---------------------------------|
| O0.0/0  | ON. Luz Piloto (verde) | Indica activado                 |
| O0.0/1  | OFF. Luz Piloto (roja) | Indica paro. Desenergizado todo |
| O0.0/2  |                        | Libre                           |
| O0.0/3  |                        | Libre                           |
| O0.0/4  |                        | Libre                           |
| O0.0/5  |                        | Libre                           |

Tabla 3-7. Detalle de entradas y salidas de los módulos.

#### Módulo OW8 (1)

| Salidas | Actuador    | Función                           |
|---------|-------------|-----------------------------------|
| O1.0/0  | Motor pinza | 0=cerrar, 1=abrir                 |
| O1.0/1  | Motor banda | Prende/apaga el motor de la banda |
| O1.0/2  | Motor Z     | Sube la pinza                     |
| O1.0/3  | Motor Z     | Baja la pinza                     |
| O1.0/4  | Motor X     | Al pic motor X-                   |
| O1.0/5  | Motor X     | Al pic motor X+                   |
| O1.0/6  | Motor Y     | Al pic motor Y+                   |
| O1.0/7  | Motor Y     | Al pic motor Y-                   |

**Módulo IA8 (2)**

| Entradas | Pulsadores        | Función                           |
|----------|-------------------|-----------------------------------|
| I2.0/0   | Abre/cierra pinza | 0=cerrar, 1=abrir (interruptor)   |
| I2.0/1   | On Motor banda    | Prende apaga el motor de la banda |
| I2.0/2   | Subir             | Sube la pinza                     |
| I2.0/3   | Bajar             | Baja la pinza                     |
| I2.0/4   | Mov X(-)          | Mover en X(-)                     |
| I2.0/5   | Mov X(+)          | Mover en X(+)                     |
| I2.0/6   | Mov Y(+)          | Mover en Y(+)                     |
| I2.0/7   | Mov Y(-)          | Mover en Y(-)                     |

El plano eléctrico de conexiones del PLC y los módulos empleados se muestra en el Anexo N.

**3.3.3.2 Comunicación PC-PLC**

Una vez desarrollado el programa para el PLC será necesario cargarlo desde la computadora personal hasta el PLC, para esto es necesario el software de Rockwell Software denominado RSLinx el cual permite la configuración del puerto RS 232 de la PC, en la Figura 3-14 se puede apreciar la ventana principal de éste software. Para configurar, lo que hay que hacer es dar un clic en el menú Communications y seleccionar Configure Drivers y aparecerá la siguiente ventana (ver Figura 3-15) en la cual se debe seleccionar el tipo de drive disponible en la pestaña Available Drive Types.

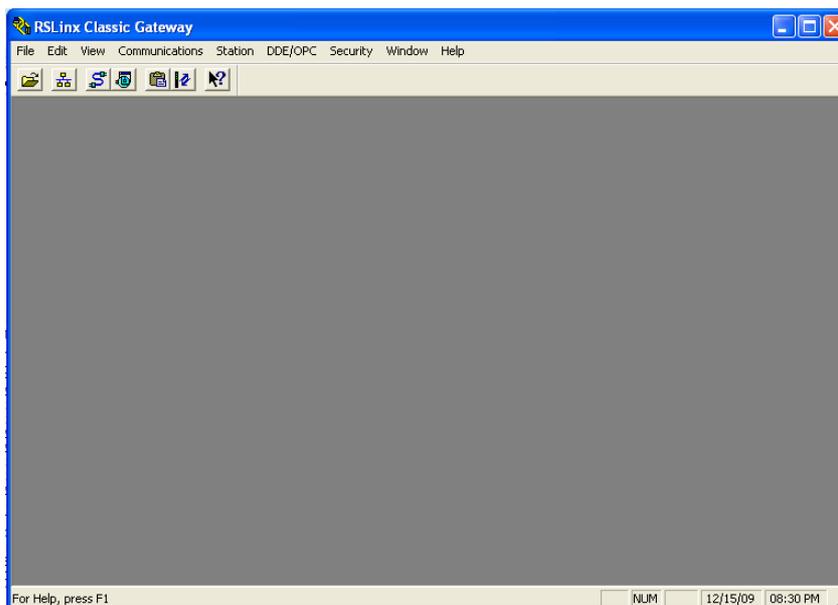


Figura 3-14 Ventana principal de RSLinx Classic.

Dar clic sobre el drive a usar en este caso el RS232 y luego clic sobre Add New, se presenta un cuadro de diálogo, que solicita seleccionar el nombre del drive, se le deja el nombre por default, pulsar OK, al presentarse la siguiente ventana (ver Figura 3-16) dejar los valores por default a excepción de Device donde se selecciona SLC-CH0/Micro/PanelView y clic sobre Auto-Configure, esperar respuesta satisfactoria. Pulsar Ok y volver a RSLogix 500.

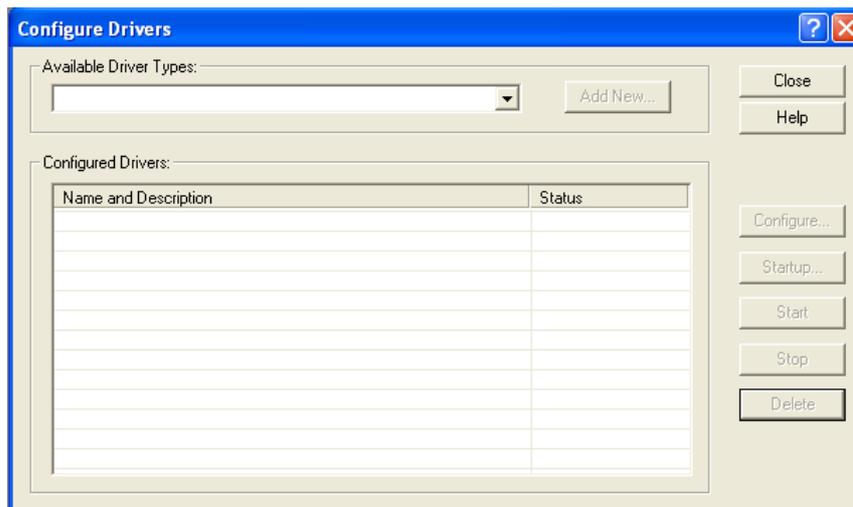


Figura 3-15 Ventana de configuración de Driver de comunicación.

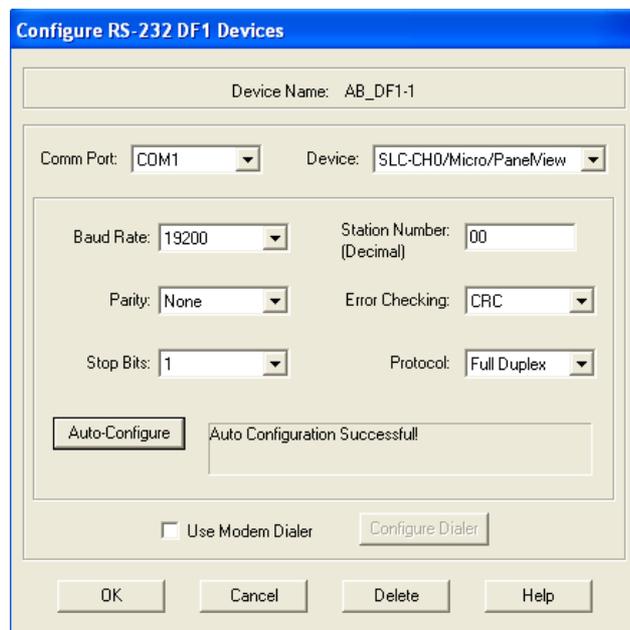


Figura 3-16 Ventana de configuración de los equipos comunicados por RS232

Desde el RSLogix 500 y con RSLinx configurado se accede al menú Comms y se elige Systems Comms, se presenta la siguiente ventana (Figura 3-17), en ésta ventana se tiene una opción de búsqueda automática (autobrowse) el cual nos facilita mucho la búsqueda de redes (networks).

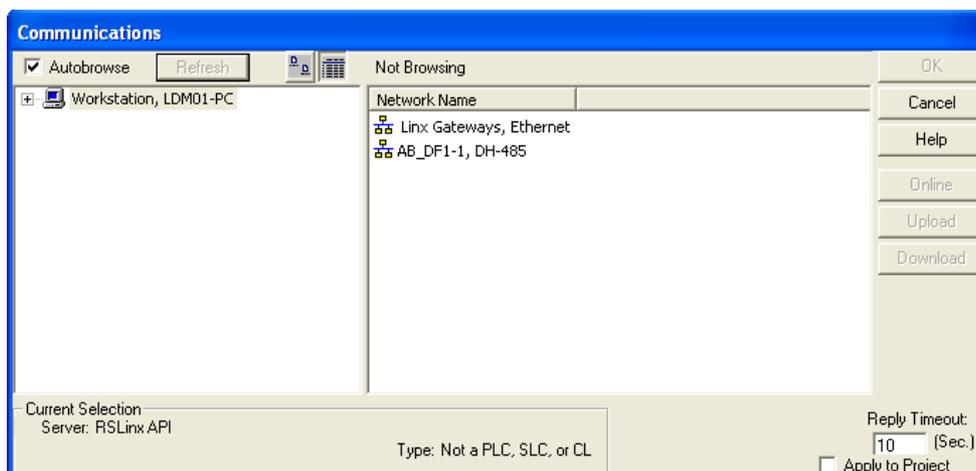


Figura 3-17. Ventana de comunicaciones desde RSLogix 500.

Si se ha hecho correctamente la selección del tipo de comunicación a realizarse desde RSLinx, al hacer clic sobre la red que por defecto se la llama AB\_DF1-1, debe presentarse la dirección a la cual se conectará el PLC (Ver Figura 3-18).

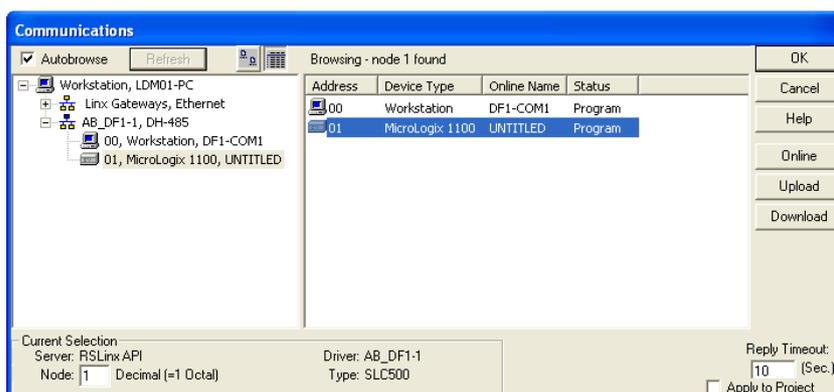


Figura 3-18. Ventana de comunicación del PLC Micrologix 1100 (Dirección).

### 3.3.3.3 Descarga del programa al PLC

El procedimiento para descargar el programa desde la PC al PLC, después de haber configurado la comunicación es muy simple, desde RSLogix 500 y hecha la conexión PLC-PC con el cable RS232, se tiene la opción descargar (download) como se muestra en la Figura 3-19, al extremo superior izquierdo en la barra de estado del procesador, antes de descargar el programa es necesario realizar una compilación del programa desarrollado para la aplicación, con esto se logra identificar los posibles errores de programación. La compilación se la realiza con los botones mostrados en la Figura 3-20 que se encuentran en la parte superior de la barra de herramientas.

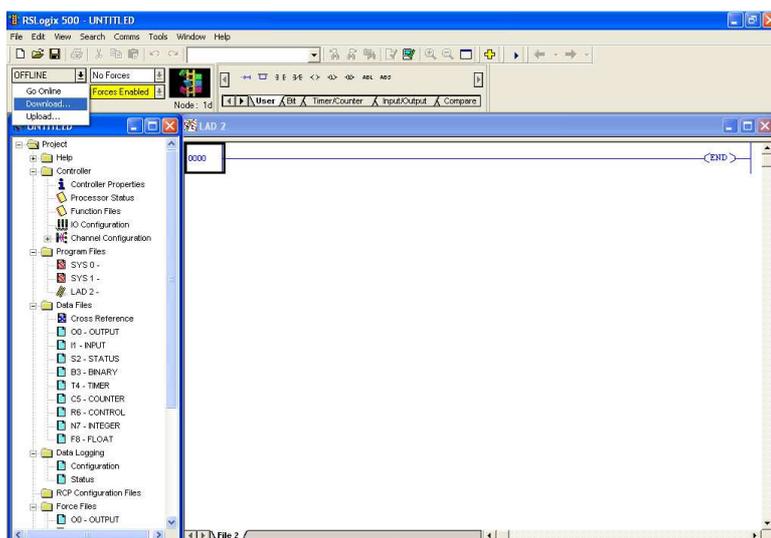


Figura 3-19. Descarga del programa al PLC.



Figura 3-20 Botones para compilar archivo y proyecto.

### 3.3.4 PROGRAMA DEL PIC

Dado que se usará motores paso a paso y a su requerimiento de cuatro salidas digitales por motor para poderlos controlar, se hace necesario usar un

microcontrolador PIC, que por su bajo costo son la mejor opción; ya que de no ser así sería necesario adquirir módulos de expansión digitales (salida a transistor) para el PLC que encarecería el proyecto.

Para la programación del microcontrolador de Microchip Pic se usó el software PBP (Pic Basic PBP (Pic Basic Pro) de mecanique. En el presente trabajo no se pretende dar un profundo análisis profundo análisis de este software razón por la cual está limitado a la presentación del programa presentación del programa en lenguaje basic. En el Anexo L se presentan la programación del Pic 16F877A y del Pic 16F628A. Es necesario mencionar que la selección de los microcontroladores se la hizo en base a la facilidad de programación de éstos y a su versatilidad para controlar los motores paso a paso utilizados en el sistema. En el

Anexo M se muestra la hoja técnica del Pic 16F877A y del 16F628A.

#### **3.3.4.1 Conexión del PIC**

El diagrama de conexiones completo de los microcontroladores se muestra en el Anexo N, es necesario mencionar que al diseñar el circuito se trató de aislar el circuito de control (PIC) del circuito de potencia (Motores) por medio de optoacopladores, lo que ayuda a mantener aislado al microcontrolador de posibles perturbaciones eléctricas que podrían desestabilizar su funcionamiento o incluso dañarlo. En la siguiente figura (Figura 3-21) se muestra el diagrama de conexión para un motor, como se ve las salidas del microcontrolador están conectadas al optoacoplador que permiten cerrar los circuitos de potencia al dar los pulsos respectivos en la base del optoacoplador.

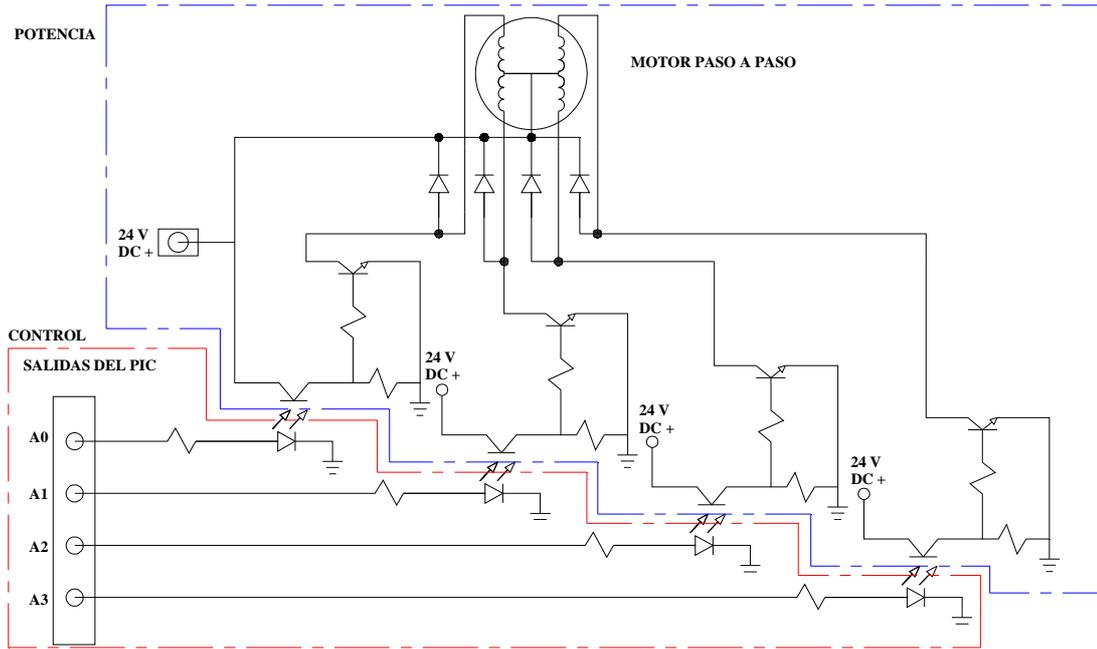


Figura 3-21 Uso de optocopladores en el circuito de potencia.

Al igual que las salidas las entradas al Pic también fueron asiladas de las salidas del PLC por medio de optocopladores ya que el voltaje de trabajo del PLC es 24 Vdc y del Pic es 5 Vdc, la siguiente figura (Ver Figura 3-22) muestra como se realizó la conexión.

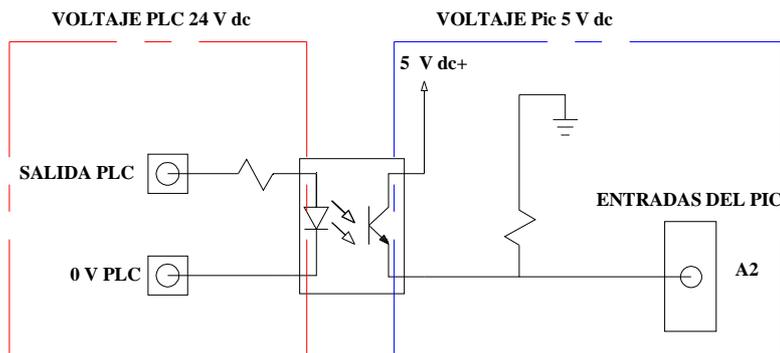


Figura 3-22 Circuito de enlace salidas PLC-entradas Pic con optocopladores.

## CAPÍTULO 4

### CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

#### 4.1 DESCOMPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL ROBOT

Para la construcción mecánica del prototipo se analizan los elementos que conforman el robot. Esta descomposición de elementos permite una mayor versatilidad al momento de la construcción del equipo. Las partes principales del prototipo que se ha diseñado se muestran en la Figura 4-1. Las partes indicadas se las denominará elementos del nivel 1.

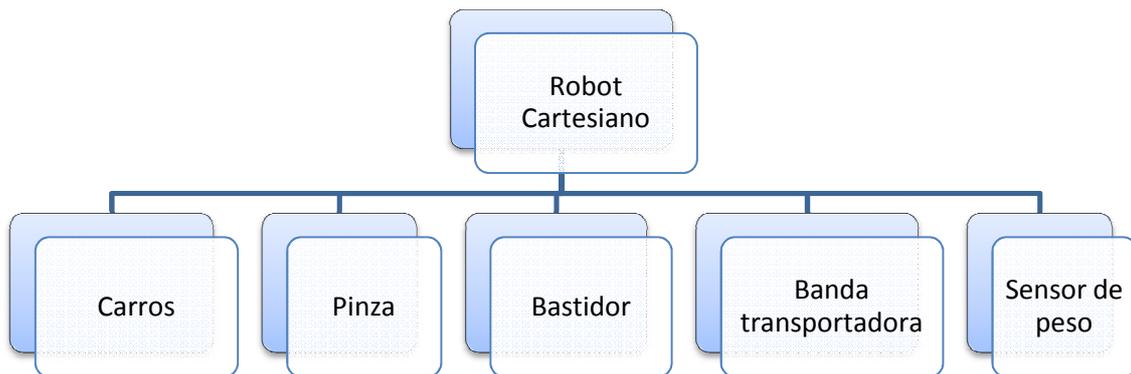


Figura 4-1 Partes principales del prototipo de robot sensor de peso. Nivel 1.

Para desarrollar la fabricación del robot se desagregan las partes del nivel 1 en elementos constitutivos, obteniéndose los componentes del nivel 2, los mismos que se muestran en la Figura 4-2

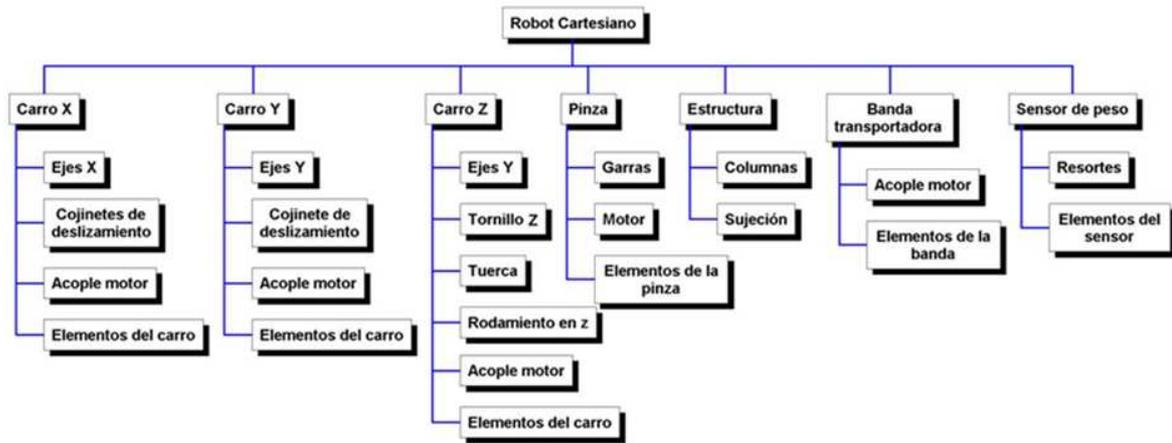


Figura 4-2.- Elementos del Robot cartesiano. Nivel 2.

Para facilitar la fabricación del prototipo se han agrupado los elementos semejantes de cada carro. Esta agrupación se muestra en la Figura 4-3.

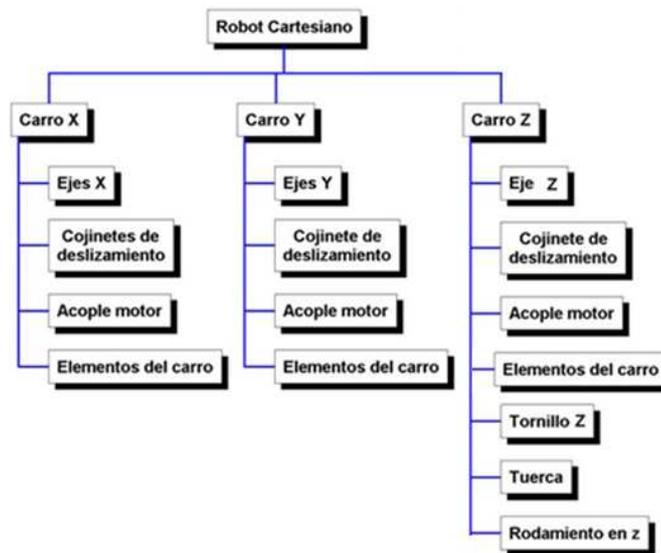


Figura 4-3.- Grupos de elementos de los carros.

## 4.2 CÁLCULOS PARA LA FABRICACIÓN

Para la fabricación de las partes del robot se procede a realizar el análisis de los principales elementos constitutivos. Los elementos a analizar son los ejes, tornillos y las partes que forman los carros.

### 4.2.1 Ejes

Los ejes para el robot fueron calculados en el capítulo 2. El material de los mismos es de acero AISI C1010 El maquinado para conseguir la geometría adecuada (Figura 2-7) de los mismos se lo realiza mediante la operación del torneado. Uno de los factores más importantes del torneado es la velocidad de giro de la máquina. Para determinar este parámetro se usa la siguiente fórmula:

$${}^{74}n = \frac{V_{ad} * 1000}{\pi * d} \quad [35]$$

Donde:

n: revoluciones del torno, [rpm]

d: diámetro del eje [mm]

V<sub>ad</sub>: velocidad admitida [m/min]

La velocidad admitida se encuentra en función del tipo de cuchilla que se usa, de la calidad de la máquina y principalmente de la velocidad de corte.

$${}^{75}V_{ad} = V * f_a * q \quad [36]$$

Donde:

V: velocidad de corte [m/min]

f<sub>a</sub>: factor que depende del ángulo

q: Calidad de la máquina

---

<sup>74</sup> VELASTEGUÍ T., (2004), “*Producción por virutaje*”, Ed. EPN. Ecuador, pág. 44.

<sup>75</sup> *Ibíd.* pág. 55.

La Tabla 4-1 permite seleccionar la velocidad de corte (V) en función de la duración del filo de la cuchilla y del avance del carro por vuelta. Se supone una duración de 60 [min], con un avance de 0,4 [mm/vuelta]

Tabla 4-1 Velocidad de corte según la duración del filo y avance para acero<sup>76</sup>.

| Resistencia a la rotura kg/mm <sup>2</sup> o Dureza Brinell | Duración del filo (t) en minutos              |     |     |     |     |     |     |      |      |     |      |     |     |     |     |
|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
|   | 60  | 120 | 180 | 240 | 480 | 60  | 120 | 180  | 240  | 480 | 60   | 120 | 180 | 240 | 480 |
|   | Avance (a) en mm por vuelta                   |     |     |     |     |     |     |      |      |     |      |     |     |     |     |
|   | 0,2   |     |     |     |     | 0,4 |     |      |      |     | 0,8  |     |     |     |     |
|   | Velocidades de corte (V) en metros por minuto |     |     |     |     |     |     |      |      |     |      |     |     |     |     |
| 50-60   | 48  | 43  | 38  | 34  | 28  | 36  | 34  | 27   | 25   | 24  | 27   | 23  | 21  | 19  | 16  |
| 60-70   | 40  | 34  | 30  | 28  | 21  | 30  | 25  | 22   | 21   | 18  | 22   | 19  | 17  | 16  | 13  |
| 70-85   | 32  | 27  | 24  | 22  | 19  | 24  | 20  | 18   | 17   | 14  | 18   | 15  | 14  | 13  | 11  |
| 85-100  | 27  | 23  | 21  | 19  | 16  | 21  | 17  | 15,5 | 14,5 | 12  | 15,5 | 13  | 12  | 11  | 9,5 |

Con lo que la velocidad de corte es:

$$V = 36 \left[ \frac{m}{min} \right]$$

El factor fa depende del ángulo de la cuchilla, se considera un ángulo de posición de 50°, según el Anexo P se selecciona el factor:

$$fa = 0,94$$

El factor de corrección por calidad de la máquina se la obtiene de la Tabla 4-2. Se considera el uso de una máquina de calidad media a mala.

$$q = 0,9$$

Tabla 4-2. Correcciones de velocidad de corte y por efectos del estado de la máquina<sup>77</sup>

| Condiciones, estado y calidad de la máquina       | Multiplicar a V por el coeficiente |
|---|------------------------------------|
| Moderna, de buena calidad y en buen estado        | 1                                  |
| Moderna con desgaste o de calidad media           | 0,95 – 0,90                        |
| Antigua o moderna de mala calidad, muy desgastada | 0,90 – 0,80                        |

<sup>76</sup> Ibíd. pág. 165.

<sup>77</sup> Ibíd. pág. 164.

Por tanto la velocidad admitida resulta:

$$V_{ad} = V * f_a * q$$

$$V_{ad} = 36 \left[ \frac{m}{min} \right] * 0,94 * 0,9$$

$$V_{ad} = 30,5 \left[ \frac{m}{min} \right]$$

Las revoluciones a ser usadas por el torno quedarán expresadas en función del diámetro requerido en los ejes:

$$n = \frac{V_{ad} * 1000}{\pi * d}$$

$$n = \frac{30,5 \left[ \frac{m}{min} \right] * 1000 \left[ \frac{mm}{m} \right]}{\pi * d}$$

$$n = 9708,5/d \text{ [rpm} \cdot \text{mm]}$$

Donde:

d: diámetro del eje [mm]

En la Tabla 4-3 se muestran los diámetros estándar de los ejes adquiridos y los diámetros a los que se llegará mediante el maquinado en las zonas de soporte con los bocines.

Tabla 4-3 Diámetros estándar y de soporte de los ejes

| Eje | Diámetro [mm] |         |
|-----|---------------|---------|
|     | eje           | soporte |
| x   | 16            | 12      |
| y   | 12,5          | 11,7    |

Para el eje x las revoluciones serán de:

$$n = 9708,5/16$$

$$n = 607 \text{ [rpm]}$$

Ahora se selecciona las revoluciones a usarse en el torno. Se determina las revoluciones inmediatas superior e inferior en función del torno a usar. A las revoluciones calculadas se las adiciona un 10% para hallar el valor límite, si este es mayor que el límite superior se selecciona éste como velocidad de trabajo, caso contrario se selecciona la velocidad del límite inferior.

Considerando el uso del torno Nosotti existente en el Laboratorio de Máquinas Herramientas de la Facultad, para la velocidad de 607 [rpm] se tienen los límites inferior y superior de 560 [rpm] y 750 [rpm]. Se calcula el valor límite:

$$n_{lim} = n * 1.1 \quad [37]$$

$$n_{lim} = 607 * 1.1$$

$$n_{lim} = 667 \text{ [rpm]}$$

Como la velocidad límite calculada es menor al límite superior de velocidad se selecciona la valor inferior

$$\text{Velocidad } n_1 = 560 \text{ [rpm]}$$

Al realizar el maquinado por torneado el diámetro disminuye y se debe incrementar las revoluciones al llegar a un determinado diámetro. La dimensión a la cual se debe cambiar la velocidad se calcula con la velocidad inmediata superior a la seleccionada. En el caso del ejemplo se usará 750 [rpm]

$$d = 9708,5/n$$

$$d = \frac{9708,5 \text{ [rpm} \cdot \text{mm]}}{750 \text{ [rpm]}}$$

$$d = 12,9 \text{ [mm]}$$

Por tanto, al tener el diámetro de 12,9 [mm] se deberá cambiar a la velocidad de 750 [rpm]. Debido a que el diámetro final en la zona de soporte del eje es de 12 [mm] se procede a determinar hasta que diámetro se usará la velocidad calculada mediante la velocidad inmediata superior.

$$d = 9708,5/n$$

$$d = 9708,5/1125$$

$$d = 8,6 \text{ [mm]}$$

Se podrá usar la velocidad de 750 [rpm] hasta los 8,6 [mm]. La Tabla 4-4 indica las velocidades a ser usadas para los ejes en x y los diámetros inicial y final en cada pasada.

Tabla 4-4 Tabla de velocidades eje x.

| Pasada | Diámetro del maquinado [mm] |       | Velocidad |
|--------|-----------------------------|-------|-----------|
|        | inicial                     | final | [rpm]     |
| 1      | 16 (estándar)               | 14,5  | 560       |
| 2      | 14,5                        | 13    | 560       |
| 3      | 13                          | 12,5  | 750       |
| 4      | 12,5                        | 12    | 750       |

El cálculo efectuado para el eje x se lo realiza para los ejes y y eje z, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 4-5.

Tabla 4-5. Velocidad de torneado en ejes y y eje z.

| Eje | D inicial [mm] | n [rpm] | nlím [rpm] | Rango de velocidades [rpm] | n selección [rpm] | Diámetro de cambio a la siguiente de velocidad [mm] |
|-----|----------------|---------|------------|----------------------------|-------------------|---|
| y   | 12,5           | 776,6   | 854        | 750 - 1125                 | 750               | 8,6   |
| z   | 12,5           | 776,6   | 854        | 750 - 1125                 | 750               | 8,6   |

El maquinado del eje y se efectúa en una sola pasada con la velocidad 1 de la Tabla 4-6. En la mencionada tabla se indican las velocidades para el eje z.

Tabla 4-6 Tabla de velocidades eje z.

| Pasada | Diámetro del maquinado [mm] |       | Velocidad |
|--------|-----------------------------|-------|-----------|
|        | inicial                     | final | [rpm]     |
| 1      | 12,5                        | 10    | 750       |
| 2      | 10                          | 8,6   | 750       |
| 3      | 8,6                         | 8     | 1125      |

### 4.2.2 Tornillo

En el mercado existen tornillos prefabricados los cuales serán adquiridos para la fabricación del robot. Los extremos de estos tornillos de potencia deberán ser torneados para acoplarse con el motor en z. Los diámetros de los tornillos a acoplarse se muestran en la tabla Tabla 4-7.

Tabla 4-7. Diámetros del tornillo de potencia.

| Eje | Diámetro [mm] |         |
|-----|---------------|---------|
|     | Estándar      | Soporte |
| z   | 15            | 8       |

El cálculo de la velocidad es semejante al realizado en los ejes. Las velocidades se muestran en la  
se muestran en la

Tabla 4-8. El eje z tendrá 5 pasadas en el proceso de fabricación.

Tabla 4-8. Velocidad de torneado del tornillo de potencia

| Pasada | Diámetro de maquinado [mm] |       | n selección [rpm] |
|--------|----------------------------|-------|-------------------|
|        | inicial                    | final |                   |
| 1      | 15                         | 13,5  | 560               |
| 2      | 13,5                       | 11    | 750               |
| 3      | 11,5                       | 10    | 750               |
| 4      | 10                         | 8,5   | 750               |
| 5      | 8,5                        | 8     | 1125              |

### 4.2.3 Elementos de los carros

Los elementos de los carros se encuentran conformados por platinas, las mismas que contienen agujeros para acoplarse entre sí. El cálculo de la velocidad del taladro se lo realiza con la misma fórmula que se usó para determina la velocidad del torneado.

La velocidad de corte se la obtiene de la Tabla 4-9. Se selecciona la velocidad de 10 [m/min] para el acero dulce.

Tabla 4-9. Velocidad de corte recomendada para taladrar con brocas helicoidales.<sup>78</sup>

| Material                            | Velocidad de corte (m/min)     |
|-------------------------------------|--------------------------------|
|                                     | Con brocas de acero al carbono |
| Fundición                           | 8 - 12                         |
| Fundición dura                      | 6 - 8                          |
| Fundición maleable                  | 6 - 12                         |
| Acero dulce                         | 10 - 12                        |
| Acero semiduro                      | 8 - 10                         |
| Acero duro                          | 6 - 8                          |
| Bronce, latón y aluminio ordinarios | 15 - 20                        |
| Acero moldeado                      | 6 - 10                         |

Se considera que la broca a usar será del tipo N, cuyo ángulo de los filos es 59°. Del Anexo P se obtiene que factor del ángulo de 0,85.

Para el maquinado de las placas se usará el taladro Erlo existente en el Laboratorio de Máquinas Herramientas, que se considera en un estado bueno. De la Tabla 4-2 se obtiene el valor de 1 como corrección de la máquina.

$$V_{ad} = V * f_a * q$$

$$V_{ad} = 10 \left[ \frac{m}{min} \right] 0,85 * 1$$

$$V_{ad} = 8,5 \left[ \frac{m}{min} \right]$$

El cálculo de las revoluciones de la máquina es:

$$n = \frac{V_{ad} * 1000}{\pi * d}$$

$$n = \frac{8,15 \left[ \frac{m}{min} \right] * 1000 \left[ \frac{mm}{m} \right]}{\pi * d}$$

<sup>78</sup> Ibíd. pág. 170.

$$n = \frac{2594}{d} [rpm * mm]$$

Los diámetros de los agujeros a realizar en las platinas son desde 2 hasta 17 [mm]. Para el agujero de 3[mm] de diámetro se tiene el siguiente cálculo:

$$n = \frac{2594 [rpm * mm]}{3 [mm]}$$

$$n = 865 [rpm]$$

Los valores de las velocidades del taladro se muestra en el rango en que se encuentra esta velocidad son:1038 [rpm] y 680 [rpm]. Si al incrementar 10% a la velocidad calculada supera el límite máximo se usará este valor de mecanizado, caso contrario se usará el límite inferior.

$$nlim = n * 1.1$$

$$nlim = 951 [rpm]$$

Por tanto la velocidad seleccionada es de 680 [rpm]. En la Tabla 4-10 se presentan las revoluciones calculadas y las seleccionadas para el proceso de taladrado.

Tabla 4-10. Velocidades para el proceso de taladrado.

| Diámetro [mm] | Velocidad [rpm] |        |              |
|---------------|-----------------|--------|--------------|
|               | Calculada       | Límite | Seleccionada |
| 2             | 1.297           | 1.427  | 1.038        |
| 3             | 865             | 951    | 680          |
| 4             | 649             | 713    | 680          |
| 5             | 519             | 571    | 474          |
| 6             | 432             | 476    | 474          |
| 13            | 200             | 219    | 218          |
| 17            | 153             | 168    | 143          |

### 4.3 HOJAS DE PROCESOS

Las hojas de procesos permiten determinar la correcta secuencia de fabricación desde el proceso de diseño hasta la obtención de los elementos. En el Anexo S se exponen las hojas de procesos modelo para un eje, una placa taladrada y dos elementos compuestos. Estos modelos servirán para la fabricación del resto de elementos del robot.

### 4.4 COSTOS

Para el análisis de costos se divide al sistema en subsistemas así se tiene:

- Subsistema mecánico
- Subsistema estructural
- Subsistema electrónico
- Subsistema eléctrico

Los costos se muestran detallados en la siguiente tabla (Tabla 4-11)

Tabla 4-11 Costos del proyecto en USD.

| <b>Subsistema</b> | <b>Materiales-<br/>elementos</b> | <b>Mano de obra</b> | <b>Total</b>   |
|-------------------|----------------------------------|---------------------|----------------|
| Mecánico          | 203,72                           | 157,00              | 360,72         |
| Estructural       | 93,52                            | 100,00              | 193,52         |
| Electrónico       | 117,59                           | 90,00               | 207,59         |
| Eléctrico         | 183,60                           | 50,00               | 233,60         |
| Varios            | 206,25                           | -                   | 206,25         |
| PLC y módulos     | 900,00                           | -                   | 900,00         |
| <b>Total</b>      |                                  |                     | <b>2101,68</b> |

## CAPÍTULO 5

### PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 5.1 TOMA DE DATOS

Las pruebas que se desarrollan para el funcionamiento del robot son de dos tipos. Las primeras servirán para determinar la velocidad de los motores en los tres ejes con el objetivo de controlar posteriormente la posición mediante timers. El segundo tipo de pruebas tienen por finalidad calibrar el sistema sensor del robot.

##### 5.1.1 Velocidades de los motores

La velocidad en los motores paso a paso depende del tipo de programación para energizar sus bobinas. Para determinar con precisión la velocidad promedio existente en cada uno de los ejes se procede a adquirir los datos del tiempo que tarda el carro en recorrer su respectivo eje.

Tabla 5-1 Prueba de velocidad.

| EJE          | PRUEBA 1  |        |              | PRUEBA 2  |        |              |
|--------------|-----------|--------|--------------|-----------|--------|--------------|
|              | Distancia | Tiempo | Revoluciones | Distancia | Tiempo | Revoluciones |
|              | [cm]      | [s]    | [r]          | [cm]      | [s]    | [r]          |
| <b>X</b>     | 55        | 37     | 8            | 55        | 37     | 8            |
| <b>Y</b>     | 36        | 4,7    | 5,25         | 36        | 5,35   | 5,3          |
| <b>Z</b>     | 5         | 32     | 41           | 5         | 32     | 41           |
| <b>Banda</b> | 38        | 3,1    | 60           | 38        | 3,24   | 60           |

Las velocidades obtenidas para cada una de las pruebas se indica en la Tabla 5-2. Se determina una velocidad promedio con la cual se calculará el tiempo necesario para ubicar al robot en la posición requerida.

Tabla 5-2 Velocidad en motores.

| EJE          | Promedio  |              |
|--------------|-----------|--------------|
|              | Velocidad | Revoluciones |
|              | [cm/s]    | [rpm]        |
| <b>X</b>     | 2,4       | 21           |
| <b>Y</b>     | 7,2       | 63           |
| <b>Z</b>     | 0,2       | 77           |
| <b>Banda</b> | 12,0      | 60           |

La posición absoluta en los planos X y Y del actuador se indica en la Figura 5-1. H es el punto de inicio o home. El punto A corresponde a la ubicación a la cual llega la barra través de la banda. B es el punto en el cual se encuentra ubicado el sensor de peso. El robot se dirigirá a las posiciones C, D, E o F dependiendo del peso de la barra.

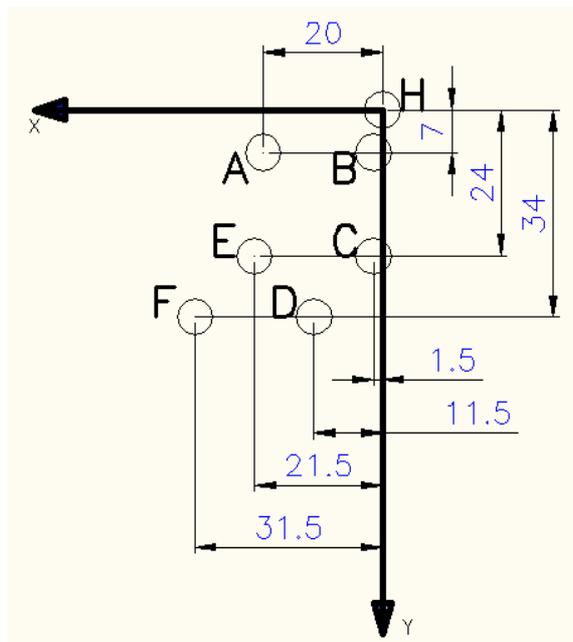


Figura 5-1. Posición absoluta en planos los planos X y Y respecto a Home.

Las posiciones en las cuales se deberá ubicar el actuador se indican en la Tabla 5-3. En la Tabla 5-4 se presenta las coordenadas absolutas y relativas del actuador, así también, se indica el tiempo que demorará el actuador en alcanzar dichas posiciones en cada uno de sus ejes.

Tabla 5-3 Posición del actuador.

| Paso             | Posición del actuador                 |
|------------------|---------------------------------------|
| 1                | Se ubica sobre la banda               |
| 2                | Desciende                             |
| 3                | Sube con la barra                     |
| 4                | Se ubica sobre el sensor              |
| 5                | Desciende para dejar la barra         |
| 6                | Sube con la barra                     |
| 7 - 10 - 13 - 16 | Se ubica sobre la posición de entrega |
| 8 - 11 - 14 - 17 | Desciende para dejar la barra         |
| 9 - 12 - 15 - 18 | Sube la pinza                         |

Tabla 5-4 Posiciones absoluta y relativa y tiempo de movimiento del actuador.

| Ubicación |         | Posición absoluta de los puntos [cm] |    |      | Posición relativa* de los puntos [cm] |    |      | Tiempo relativo* [s] |     |      |
|-----------|---------|--------------------------------------|----|------|---------------------------------------|----|------|----------------------|-----|------|
|           |         | X                                    | Y  | Z    | X                                     | Y  | Z    | X                    | Y   | Z    |
| H         | Home    | 0                                    | 0  | 0,0  | 0                                     | 0  | 0,0  | 0                    | 0   | 0,0  |
| A         | Paso 1  | 20                                   | 7  | 0,0  | 20                                    | 7  | 0,0  | 8,4                  | 1,0 | 0,0  |
|           | Paso 2  | 20                                   | 7  | -7,0 | 0                                     | 0  | -7,0 | 0,0                  | 0,0 | 44,8 |
|           | Paso 3  | 20                                   | 7  | -3,5 | 0                                     | 0  | 3,5  | 0,0                  | 0,0 | 22,4 |
| B         | Paso 4  | 1,5                                  | 7  | -3,5 | -18,5                                 | 0  | 0,0  | 7,8                  | 0,0 | 0,0  |
|           | Paso 5  | 1,5                                  | 7  | -7,0 | 0                                     | 0  | -3,5 | 0,0                  | 0,0 | 22,4 |
|           | Paso 6  | 1,5                                  | 7  | -3,5 | 0                                     | 0  | 3,5  | 0,0                  | 0,0 | 22,4 |
| C         | Paso 7  | 1,5                                  | 24 | -3,5 | 0                                     | 17 | 0,0  | 0,0                  | 2,4 | 0,0  |
|           | Paso 8  | 1,5                                  | 24 | -7,0 | 0                                     | 0  | -3,5 | 0,0                  | 0,0 | 22,4 |
|           | Paso 9  | 1,5                                  | 24 | -3,5 | 0                                     | 0  | 3,5  | 0,0                  | 0,0 | 22,4 |
| D         | Paso 10 | 11,5                                 | 34 | -3,5 | 10                                    | 27 | 0,0  | 4,2                  | 3,8 | 0,0  |
|           | Paso 11 | 11,5                                 | 34 | -7,0 | 0                                     | 0  | -3,5 | 0,0                  | 0,0 | 22,4 |
|           | Paso 12 | 11,5                                 | 34 | -3,5 | 0                                     | 0  | 3,5  | 0,0                  | 0,0 | 22,4 |
| E         | Paso 13 | 21,5                                 | 24 | -3,5 | 20                                    | 17 | 0,0  | 8,4                  | 2,4 | 0,0  |
|           | Paso 14 | 21,5                                 | 24 | -7,0 | 0                                     | 0  | -3,5 | 0,0                  | 0,0 | 22,4 |
|           | Paso 15 | 21,5                                 | 24 | -3,5 | 0                                     | 0  | 3,5  | 0,0                  | 0,0 | 22,4 |
| F         | Paso 16 | 31,5                                 | 34 | -3,5 | 30                                    | 27 | 0,0  | 12,6                 | 3,8 | 0,0  |
|           | Paso 17 | 31,5                                 | 34 | -7,0 | 0                                     | 0  | -3,5 | 0,0                  | 0,0 | 22,4 |
|           | Paso 18 | 31,5                                 | 34 | -3,5 | 0                                     | 0  | 3,5  | 0,0                  | 0,0 | 22,4 |

\* Referida al paso previo del actuador

Los tiempos indicados en la tabla anterior son aquellos con los cuales se programarán los timers en el PLC.

### 5.1.2 Sensor de peso

El sensor de peso clasificará a las barras en cuatro rangos. Para calibrar al sensor de peso se determinará el peso real de cada barra. Posterior a esto se ubicarán las barras sobre el sensor y se obtendrá el valor digital en una escala de 0 a 1024 datos correspondientes a valores digitales de 10 bits. Por cuestiones de funcionalidad se procede a modificar el diseño original retirando uno de los resortes y estableciendo el funcionamiento del sensor con uno solo.

Tabla 5-5 Peso de cada barra

| Barra | Peso real [gr] | Valor digital |
|-------|----------------|---------------|
| 1     | 300            | 680           |
| 2     | 450            | 622           |
| 3     | 600            | 569           |
| 4     | 800            | 512           |

Para generar el control de peso a través del PLC se generan rangos digitales dentro de los cuales estarán los valores de las barras prototipo. Estos rangos se muestran en la Tabla 5-6.

Tabla 5-6 Rango digital

| Barra | Valor digital promedio | Rango digital |     |
|-------|------------------------|---------------|-----|
|       |                        | Max           | Min |
| 1     | 690                    | 720           | 660 |
| 2     | 630                    | 659           | 600 |
| 3     | 570                    | 599           | 540 |
| 4     | 510                    | 539           | 480 |

## 5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El desplazamiento desarrollado por el robot en cada uno de sus ejes ha sido establecido mediante timers en la programación del PLC. El desplazamiento puede variar ante el aumento de la fricción entre los ejes y bocines de deslizamiento.

De acuerdo a la toma de datos de las revoluciones en los motores se puede concluir que la velocidad máxima a la cual estos pueden llegar es de 80 rpm, con el control desarrollado en el presente trabajo.

El sistema sensor de peso funciona correctamente para los rangos determinados y permite alcanzar el objetivo establecido de clasificar los objetos en función de su peso dentro de un rango definido.

## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- Por medio del conocido PLC (controlador lógico programable) se ha logrado implementar el moderno control electrónico a un sistema mecánico de múltiples aplicaciones a nivel industrial.
- Se han desarrollado habilidades en el proceso de programación de PLCs en el lenguaje Ladder y también en el proceso de automatización de procesos.
- Por medio del proyecto se ha diseñado y construido elementos con lo cual se ha logrado proporcionar al Laboratorio de Automatización Industrial de Procesos Mecánicos un Prototipo de Robot Cartesiano capaz de desarrollar tareas de clasificación por peso similares a las desarrolladas por robots industriales con facilidad de operar en mando manual o automático, es decir, se han cumplido los objetivos planteados para este proyecto.
- Se pudo obtener elementos mecánicos con tolerancias de acuerdo a la tecnología disponible en el Laboratorio de Máquinas Herramientas. Las tolerancias como los ajustes entre elementos dependen de la tecnología disponible y del costo para fabricarlos.
- Se trabajó con una velocidad de maquinado la cual permitió obtener elementos mecánicos de un adecuado acabado superficial y al menor tiempo posible. Además se pudo desarrollar habilidades en el manejo de máquinas herramientas y afilado de los útiles de maquinado, como son cuchillas de acero rápido para el proceso de torneado y de brocas para el proceso de taladrado.

- El sistema de transmisión de movimiento aplicado es el de banda – polea. En la superficie de contacto de la polea con la banda se aplicó caucho para elevar la fricción existente y así evitar el deslizamiento presentado ante la ausencia del caucho.
- Se recomienda mantener a las placas de control (control de motores) en un ambiente seco y libre de polvo ya que de lo contrario podrían sufrir daños e inhabilitar el sistema. De igual manera para la caja de control principal donde se encuentra PLC.
- Para aplicaciones industriales que sean necesarios el manejo de alta carga o torque se recomienda usar motores de corriente alterna o de corriente continua. Estos últimos tienen un elevado costo comercial por lo que su selección debe estar en función a la relación costo/beneficio que va a generar el motor en el proceso aplicado.
- En el diseño mecánico se debe determinar las tolerancias que se puedan fabricar con las máquinas herramientas que se tiene a disposición en nuestro medio y no tan solo de las recomendaciones que puedan existir en los manuales o prontuarios de tecnología mecánica.
- Para producción continua de un robot se recomienda realizar un estudio de tiempos y métodos previo a la construcción de cada elemento lo cual generará un mejor rendimiento de las horas/hombre trabajadas. Debido a la construcción unitaria en el presente proyecto de titulación se fabricaron las piezas de manera individual y se estableció tan solo las velocidades óptimas de las máquinas herramientas.
- Para la transmisión en equipos de alto torque y baja velocidad se recomienda usar transmisión por cadena y catalina para evitar el deslizamiento. Otro mecanismo disponible en el mercado son correas y poleas dentadas. Estos elementos asegurarán tanto el avance como el torque constante.

- Para la producción masiva de maquinarias se hace indispensable tener proveedores de los elementos constitutivos. En caso especial proveedores de motores paso a paso puesto que éstos elementos son de alto costo en nuestro mercado y además los existentes no cuentan con especificaciones técnicas completas, lo que dificulta el análisis electro – mecánico.
- Se recomienda la implementación de nuevos tipos de robots en el Laboratorio de Automatización de Procesos Mecánicos los cuales incrementarán el interés de los estudiantes en el área de la robótica y automatización. Además, al contar con un laboratorio con diversos prototipos robóticos generará mayores oportunidades para la creación de nuevas especialidades como la Mecatrónica dentro de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUINAGA Álvaro, (2007), "*Cátedra: Control Automático*", EPN, Ecuador.
2. AGUINAGA Álvaro, (2006), "*Cátedra: Robótica Industrial*", EPN, Ecuador.
3. AISC, (1994), "*Manual of Steel Resistance*", Ed. AISC, USA, pág. 6-184
4. AVALLONE E., (1999), "*Mark's Standard Handbook for Mechanical Engineers*",
5. BARRIENTOS A., (1997), "*Fundamentos de Robótica*", Ed. McGraw-Hill, España.
6. BISHOP Robert, (2006), "*Mechatronics an Introduction*", Ed. Taylor & Francis Group, USA.
7. FAG, (2000), "*Catálogo WL 41 520/3 SB*", FAG, España.
8. GERE James, (2009), "*Mecánica de materiales*", Cengage Learning, México.
9. KOSHKIN S, (1975), "*Manual de Física Elemental*", Editorial Mir, URSS.
10. LANSDOWN A., (2008), "*Lubrication and Lubricant selection*", Ed. Professional Engineering Publishing, Inglaterra.
11. McCAULEY C., "*Machinery's Handbook*", (2000), Ed. Industrial Press, USA.
12. MERIAM J., (1976), "*Dinámica*", Ed. Reverté, España.
13. OGATA K., (1998), "*Ingeniería de Control Moderna*", Pearson Educación, México.
14. PEÑA J., (2003), "*Introducción a los autómatas programables*". Ed. UOC, España.
15. SANDIN P., (2003), "*Devices, Robot Mechanism and Mechanical*" Ed. McGraw Hill, USA.
16. SERWAY R. & JEWETT J., (2004), "*Physics for Scientists and Engineers*" Ed. Brooks/Cole, USA.
17. SHIGLEY J., (1989), "*Manual de Diseño Mecánico*", Ed. Mc-Graw Hill, USA.
18. SHIGLEY J., (2006), "*Mechanical Engineering Design*", Ed. McGraw-Hill, USA.
19. SHIRCLIFF D., (2002), "*Build a remote-controlled Robot*", Ed. McGraw-Hill, USA.
20. STANISLAW H., (2003), "*Systems and control*", Ed. Oxford university Press,

USA.

21. THEO MANG W., (2007), "*Lubricants and Lubrication*", Ed. Wiley-VCH, Alemania.
22. THOMAS R., (2005), "*Robotics and Automation Handbook*". Ed. CRC PRESS, USA.
23. VELASTEGUÍ T., (2004), "*Producción por virutaje*", Ed. EPN. Ecuador.

## REFERENCIAS INTERNET

1. [http://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_paso\\_a\\_paso](http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_paso_a_paso).
2. [http://es.wikipedia.org/wiki/Servomotor\\_de\\_modelismo](http://es.wikipedia.org/wiki/Servomotor_de_modelismo).
3. [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/public/documents/webassets/browse\\_results.hcst?CategoryId=0012&FamilyId=0088&categoryTitle=Programmable%20Controllers&familyTitle=Programmable%20Logic%20Controllers&lineTitle=MicroLogix%201100%20System&p](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/public/documents/webassets/browse_results.hcst?CategoryId=0012&FamilyId=0088&categoryTitle=Programmable%20Controllers&familyTitle=Programmable%20Logic%20Controllers&lineTitle=MicroLogix%201100%20System&p).
4. [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1763-um001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1763-um001_-en-p.pdf).
5. [http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/public/documents/webassets/external\\_info.hcst?dID=55304&dDocName=1761-BR006\\_-ES-P](http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/public/documents/webassets/external_info.hcst?dID=55304&dDocName=1761-BR006_-ES-P).
6. [http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/public/documents/webassets/browse\\_results.hcst?lineTitle=SoftLogix5800%20Controller&familyTitle=Programmable%20Automation%20Controllers&categoryTitle=Programmable%20Controllers&xLanguage=All%20Languages&](http://samplecode.rockwellautomation.com/idc/groups/public/documents/webassets/browse_results.hcst?lineTitle=SoftLogix5800%20Controller&familyTitle=Programmable%20Automation%20Controllers&categoryTitle=Programmable%20Controllers&xLanguage=All%20Languages&).
7. [http://stevenengineering.com/Tech\\_Support/PDFs/50VEXTASTEP.pdf](http://stevenengineering.com/Tech_Support/PDFs/50VEXTASTEP.pdf) .
8. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf> .
9. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40044F.pdf> .
10. <http://www.infopl.net/Documentacion/documentacion.htm> .
11. [http://www.makingthings.com/resources/datasheets/acc\\_srv\\_hs311.pdf](http://www.makingthings.com/resources/datasheets/acc_srv_hs311.pdf).
12. <http://www.nmbtc.com/motors/standard-pm/>.
13. <http://www.rockwellautomation.com/rockwellsoftware/design/rslogix500>.
14. <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>.

## **ANEXOS**

## Anexo A.- Diámetros y áreas de las roscas de tornillos unificados UNC y UNF

Diameters and Area of Unified Screw Threads UNC and UNF\*

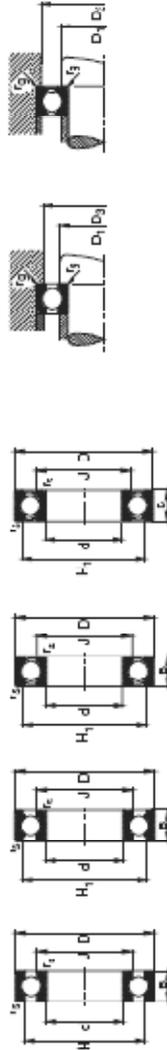
| Size Designation | Nominal Major Diameter in | Coarse Series—UNC         |  |  | Fine Series—UNF           |  |  |
|------------------|---------------------------|---------------------------|--|--|---------------------------|--|--|
|                  |                           | Threads per Inch <i>N</i> | Tensile-Stress Area <i>A<sub>t</sub></i> , in <sup>2</sup> | Minor-Diameter Area <i>A<sub>s</sub></i> , in <sup>2</sup> | Threads per Inch <i>N</i> | Tensile-Stress Area <i>A<sub>t</sub></i> , in <sup>2</sup> | Minor-Diameter Area <i>A<sub>s</sub></i> , in <sup>2</sup> |
| 0                | 0.0600                    |                           |  |  | 80                        | 0.001 80   | 0.001 51   |
| 1                | 0.0730                    | 64                        | 0.002 63   | 0.002 18   | 72                        | 0.002 78   | 0.002 37   |
| 2                | 0.0860                    | 56                        | 0.003 70   | 0.003 10   | 64                        | 0.003 94   | 0.003 39   |
| 3                | 0.0990                    | 48                        | 0.004 87   | 0.004 06   | 56                        | 0.005 23   | 0.004 51   |
| 4                | 0.1120                    | 40                        | 0.006 04   | 0.004 96   | 48                        | 0.006 61   | 0.005 66   |
| 5                | 0.1250                    | 40                        | 0.007 96   | 0.006 72   | 44                        | 0.008 80   | 0.007 16   |
| 6                | 0.1380                    | 32                        | 0.009 09   | 0.007 45   | 40                        | 0.010 15   | 0.008 74   |
| 8                | 0.1640                    | 32                        | 0.014 0  | 0.011 96   | 36                        | 0.014 74   | 0.012 85   |
| 10               | 0.1900                    | 24                        | 0.017 5  | 0.014 50   | 32                        | 0.020 0  | 0.017 5  |
| 12               | 0.2160                    | 24                        | 0.024 2  | 0.020 6  | 28                        | 0.025 8  | 0.022 6  |
| $\frac{1}{4}$    | 0.2500                    | 20                        | 0.031 8  | 0.026 9  | 28                        | 0.036 4  | 0.032 6  |
| $\frac{5}{16}$   | 0.3125                    | 18                        | 0.052 4  | 0.045 4  | 24                        | 0.058 0  | 0.052 4  |
| $\frac{3}{8}$    | 0.3750                    | 16                        | 0.077 5  | 0.067 8  | 24                        | 0.087 8  | 0.080 9  |
| $\frac{7}{16}$   | 0.4375                    | 14                        | 0.106 3  | 0.093 3  | 20                        | 0.118 7  | 0.109 0  |
| $\frac{1}{2}$    | 0.5000                    | 13                        | 0.141 9  | 0.125 7  | 20                        | 0.159 9  | 0.148 6  |
| $\frac{9}{16}$   | 0.5625                    | 12                        | 0.182  | 0.162  | 18                        | 0.203  | 0.189  |
| $\frac{5}{8}$    | 0.6250                    | 11                        | 0.226  | 0.202  | 18                        | 0.256  | 0.240  |
| $\frac{3}{4}$    | 0.7500                    | 10                        | 0.334  | 0.302  | 16                        | 0.373  | 0.351  |
| $\frac{7}{8}$    | 0.8750                    | 9                         | 0.462  | 0.419  | 14                        | 0.509  | 0.480  |
| 1                | 1.0000                    | 8                         | 0.606  | 0.551  | 12                        | 0.663  | 0.625  |
| $1\frac{1}{4}$   | 1.2500                    | 7                         | 0.969  | 0.890  | 12                        | 1.073  | 1.024  |
| $1\frac{1}{2}$   | 1.5000                    | 6                         | 1.405  | 1.294  | 12                        | 1.581  | 1.521  |

\*This table was compiled from ANSI B1.1-1974. The minor diameter was found from the equation  $d_s = d - 1.299\ 038p$ , and the pitch diameter from  $d_p = d - 0.649\ 519p$ . The mean of the pitch diameter and the minor diameter was used to compute the tensile-stress area.

79

<sup>79</sup> SHIGLEY J., (2006), "Mechanical Engineering Design", Ed. McGraw-Hill, USA.

Rodamientos FAG rígidos de bolas de una hilera



Los rodamientos pueden ser suministrados de forma estándar, o en P2, P6, P10, P15, P20, P28, ver Pág. 11.

| Eje | Dimensiones |    | Peso |    | Capacidad de carga | Velocidad límite  | Velocidad de renovación | Denominación abreviada | Medidas auxiliares        |     |                |
|-----|-------------|----|------|----|--------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|-----|----------------|
|     | u           | d  | H    | W  |                    |                   |                         |                        | lim. stat. C <sub>0</sub> | min | D <sub>1</sub> |
|     | mm          | mm | mm   | mm | kN                 | min <sup>-1</sup> | mm                      | % de hilera de         | mm                        | mm  | mm             |
| 14  | 10          | 30 | 10   | 14 | 1,25               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 12          | 32 | 12   | 16 | 1,65               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 15          | 35 | 15   | 19 | 2,25               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 17          | 37 | 17   | 21 | 2,95               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 20          | 40 | 20   | 24 | 4,15               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 25          | 50 | 25   | 30 | 6,75               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 30          | 60 | 30   | 36 | 10,8               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 35          | 70 | 35   | 42 | 15,75              | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 40          | 80 | 40   | 48 | 21,6               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 45          | 90 | 45   | 54 | 28,35              | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
| 12  | 10          | 30 | 10   | 14 | 1,25               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 12          | 32 | 12   | 16 | 1,65               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 15          | 35 | 15   | 19 | 2,25               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 17          | 37 | 17   | 21 | 2,95               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 20          | 40 | 20   | 24 | 4,15               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 25          | 50 | 25   | 30 | 6,75               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 30          | 60 | 30   | 36 | 10,8               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 35          | 70 | 35   | 42 | 15,75              | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 40          | 80 | 40   | 48 | 21,6               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 45          | 90 | 45   | 54 | 28,35              | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
| 16  | 10          | 30 | 10   | 14 | 1,25               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 12          | 32 | 12   | 16 | 1,65               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 15          | 35 | 15   | 19 | 2,25               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 17          | 37 | 17   | 21 | 2,95               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 20          | 40 | 20   | 24 | 4,15               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 25          | 50 | 25   | 30 | 6,75               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 30          | 60 | 30   | 36 | 10,8               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 35          | 70 | 35   | 42 | 15,75              | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 40          | 80 | 40   | 48 | 21,6               | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |
|     | 45          | 90 | 45   | 54 | 28,35              | 5000              | 3100                    | 300                    | 14                        | 26  | 0,3            |

Sejo dimenzii tamblai so suministrabi orai iecionari; no dikan en cunizataci.

<sup>80</sup> FAG, (2000), "Catálogo WL 41 520/3 SB", FAG, España, pág. 154.

## Anexo C. Propiedades de sección de tubo cuadrado



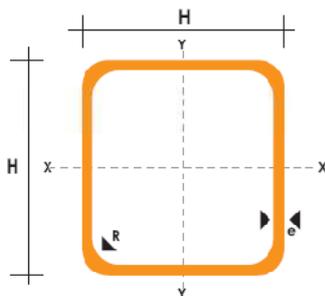
## TUBO MECANICO CUADRADO

### Especificaciones Generales

|                      |                     |
|----------------------|---------------------|
| <b>Norma</b>         | ASTM A-513          |
| <b>Recubrimiento</b> | Negro o Galvanizado |
| <b>Largo normal</b>  | 6mts                |
| <b>Otros largos</b>  | Previa consulta     |
| <b>Dimensiones</b>   | Desde 1/2" a 2"     |
| <b>Espesor</b>       | Desde 0.6 a 1.5 mm  |



| DIMENSIONES |               |              | AREA                    | EJES X-Xe Y-Y        |                      |         |
|-------------|---------------|--------------|-------------------------|----------------------|----------------------|---------|
| A<br>mm     | ESPESOR<br>mm | PESO<br>Kg/m | AREA<br>cm <sup>2</sup> | I<br>cm <sup>4</sup> | W<br>cm <sup>3</sup> | i<br>cm |
| 12          | 0,8           | 0,30         | 0,37                    | 0,09                 | 0,14                 | 0,48    |
| 12          | 1,0           | 0,37         | 0,50                    | 0,11                 | 0,18                 | 0,47    |
| 15          | 0,8           | 0,36         | 0,45                    | 0,15                 | 0,20                 | 0,58    |
| 15          | 1,0           | 0,45         | 0,61                    | 0,20                 | 0,26                 | 0,57    |
| 20          | 0,8           | 0,49         | 0,61                    | 0,38                 | 0,38                 | 0,79    |
| 20          | 1,0           | 0,60         | 0,83                    | 0,50                 | 0,50                 | 0,77    |
| 20          | 1,2           | 0,72         | 0,90                    | 0,53                 | 0,53                 | 0,77    |
| 20          | 1,5           | 0,88         | 1,05                    | 0,58                 | 0,58                 | 0,74    |
| 25          | 0,8           | 0,61         | 0,77                    | 0,76                 | 0,61                 | 0,99    |
| 25          | 1,0           | 0,76         | 1,05                    | 1,00                 | 0,80                 | 0,98    |
| 25          | 1,2           | 0,90         | 1,14                    | 1,08                 | 0,87                 | 0,97    |
| 25          | 1,5           | 1,12         | 1,35                    | 1,21                 | 0,97                 | 0,95    |
| 30          | 0,8           | 0,74         | 0,93                    | 1,33                 | 0,89                 | 1,19    |
| 30          | 1,0           | 0,92         | 1,27                    | 1,77                 | 1,18                 | 1,18    |
| 30          | 1,2           | 1,09         | 1,38                    | 1,91                 | 1,28                 | 1,18    |
| 30          | 1,5           | 1,35         | 1,65                    | 2,19                 | 1,47                 | 1,15    |
| 40          | 0,8           | 0,99         | 1,25                    | 3,21                 | 1,61                 | 1,60    |
| 40          | 1,0           | 1,23         | 1,71                    | 4,32                 | 2,16                 | 1,59    |
| 40          | 1,2           | 1,47         | 1,86                    | 4,68                 | 2,34                 | 1,59    |
| 40          | 1,5           | 1,82         | 2,25                    | 5,48                 | 2,74                 | 1,56    |
| 50          | 1,2           | 1,84         | 2,34                    | 9,30                 | 3,72                 | 1,99    |
| 50          | 1,5           | 2,29         | 2,85                    | 11,06                | 4,42                 | 1,97    |



#### NOMENCLATURA

- A= Área de la selección transversal del tubo, cm<sup>2</sup>
- I= Momento de inercia de la sección, cm<sup>4</sup>
- W= Módulo resistente de la sección, cm<sup>3</sup>
- i= Radio de giro de la sección cm

Anexo D.- Hoja de cálculo para determinar las dimensiones de los eslabones de la pinza y el torque requerido para el motor.

| Carga  |        | Engrane | Distancias Variables |        |        | RB [N]         | RA [N]        | RD [N]  | Fc [N]       | Torque Requerido [mNm] |
|--------|--------|---------|----------------------|--------|--------|----------------|---------------|---------|--------------|------------------------|
| P [kg] | P [N]  | r [mm]  | a [mm]               | b [mm] | c [mm] | $RB=(P/2)*b/a$ | $RA=(P/2)-RB$ | $RA=RD$ | $Fc=0,75*RD$ | $Tm=-(Fc*r+RA*c)$      |
| 1,2    | 11,772 | 16      | 5                    | 28     | 12     | 33             | -27,08        | -27,08  | -20,31       | 649,8                  |
| 1,2    | 11,772 | 16      | 5,5                  | 28     | 12     | 30             | -24,08        | -24,08  | -18,06       | 577,9                  |
| 1,2    | 11,772 | 16      | 6                    | 28     | 12     | 27             | -21,58        | -21,58  | -16,19       | 518,0                  |
| 1,2    | 11,772 | 16      | 6,5                  | 28     | 12     | 25             | -19,47        | -19,47  | -14,60       | 467,3                  |
| 1,2    | 11,772 | 16      | 7                    | 28     | 12     | 24             | -17,66        | -17,66  | -13,24       | 423,8                  |
| 1,2    | 11,772 | 16      | 7,5                  | 28     | 12     | 22             | -16,09        | -16,09  | -12,07       | 386,1                  |
| 1,2    | 11,772 | 16      | 8                    | 28     | 12     | 21             | -14,72        | -14,72  | -11,04       | 353,2                  |
| 1,2    | 11,772 | 16      | 8,5                  | 28     | 12     | 19             | -13,50        | -13,50  | -10,13       | 324,1                  |
| 1,2    | 11,772 | 16      | 9                    | 28     | 12     | 18             | -12,43        | -12,43  | -9,32        | 298,2                  |
| 1,2    | 11,772 | 16      | 9,5                  | 28     | 12     | 17             | -11,46        | -11,46  | -8,60        | 275,1                  |
| 1,2    | 11,772 | 16      | 10                   | 28     | 12     | 16             | -10,59        | -10,59  | -7,95        | 254,3                  |

Las distancias y nomenclatura corresponden a los diagramas de cuerpo libre desarrollados en el capítulo 2 para el cálculo del torque requerido por el motor de la pinza.

## Anexo E.- Hoja de cálculo para la determinación de las dimensiones de los resortes.

Material ASTM A227

Con dos resortes

| Diametro alambre | Módulo de elasticidad torsional | Constante del resorte | Diámetro del resorte | Espiras activas                              | Total espiras | Longitud sólido   | Paso        | Longitud libre                | Módulo de elasticidad | Estabilidad $Lo < \pi D/\alpha$<br>$[(2(E-G))/(2G+E)]^{1/2}$ |            | $Lo \geq Ls + 18[\text{mm}]$ |
|------------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------|--|---------------|-------------------|-------------|-------------------------------|-----------------------|--|------------|------------------------------|
|                  |                                 |                       |                      | $Na = (d^4 \cdot G) / (8 \cdot D^3 \cdot k)$ | $Nt = Na + 2$ | $Ls = d \cdot Nt$ | $p = 1 + d$ | $Lo = p \cdot Na + 2 \cdot d$ |                       | critero (mm)   | cumple si? |                              |
| d [m]            | G [N/m <sup>2</sup> ]           | k [N/m]               | D [m]                | Na   | Nt            | Ls [mm]           | p [mm]      | Lo [mm]                       | E [N/m <sup>2</sup> ] | critero (mm)   | cumple si? | cumple si?                   |
| 1,00E-03         | 7,93E+10                        | 3,00E+02              | 2,00E-02             | 4,13E+00                                     | 6,13E+00      | 6,13E+00          | 2,00E-03    | 1,03E+01                      | 1,972E+11             | 102,30   | cumple     | no cumple                    |
| 1,46E-03         | 8,07E+10                        | 3,00E+02              | 2,00E-02             | 1,91E+01                                     | 2,11E+01      | 3,08E+01          | 2,46E-03    | 4,99E+01                      | 1,977E+11             | 101,44   | cumple     | cumple                       |
| 2,00E-03         | 7,93E+10                        | 3,00E+02              | 2,00E-02             | 6,61E+01                                     | 6,81E+01      | 1,36E+02          | 3,00E-03    | 2,02E+02                      | 1,972E+11             | 102,30   | no cumple  | cumple                       |
| 2,50E-03         | 7,93E+10                        | 3,00E+02              | 1,00E-02             | 1,29E+03                                     | 1,29E+03      | 3,23E+03          | 3,50E-03    | 4,52E+03                      | 1,972E+11             | 51,15  | no cumple  | cumple                       |
| 3,00E-03         | 7,93E+10                        | 3,00E+02              | 1,00E-02             | 2,68E+03                                     | 2,68E+03      | 8,04E+03          | 4,00E-03    | 1,07E+04                      | 1,972E+11             | 51,15  | no cumple  | cumple                       |

Con un resorte

| Diametro alambre | Módulo de elasticidad torsional | Constante del resorte | Diámetro del resorte | Espiras activas                              | Total espiras | Longitud sólido   | Paso        | Longitud libre                | Módulo de elasticidad | Estabilidad $Lo < \pi D/\alpha$<br>$[(2(E-G))/(2G+E)]^{1/2}$ |            | $Lo \geq Ls + 18[\text{mm}]$ |
|------------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------|--|---------------|-------------------|-------------|-------------------------------|-----------------------|--|------------|------------------------------|
|                  |                                 |                       |                      | $Na = (d^4 \cdot G) / (8 \cdot D^3 \cdot k)$ | $Nt = Na + 2$ | $Ls = d \cdot Nt$ | $p = 1 + d$ | $Lo = p \cdot Na + 2 \cdot d$ |                       | critero (mm)   | cumple si? |                              |
| d [m]            | G [N/m <sup>2</sup> ]           | k [N/m]               | D [m]                | Na   | Nt            | Ls [mm]           | p [mm]      | Lo [mm]                       | E [N/m <sup>2</sup> ] | critero (mm)   | cumple si? | cumple si?                   |
| 1,00E-03         | 7,93E+10                        | 6,00E+02              | 2,00E-02             | 2,07E+00                                     | 4,07E+00      | 4,07E+00          | 2,00E-03    | 6,13E+00                      | 1,972E+11             | 102,30   | cumple     | no cumple                    |
| 1,46E-03         | 8,07E+10                        | 6,00E+02              | 2,00E-02             | 9,55E+00                                     | 1,15E+01      | 1,69E+01          | 2,46E-03    | 2,64E+01                      | 1,977E+11             | 101,44   | cumple     | no cumple                    |
| 2,00E-03         | 7,93E+10                        | 6,00E+02              | 2,00E-02             | 3,30E+01                                     | 3,50E+01      | 7,01E+01          | 3,00E-03    | 1,03E+02                      | 1,972E+11             | 102,30   | no cumple  | cumple                       |
| 2,50E-03         | 7,93E+10                        | 6,00E+02              | 1,00E-02             | 6,45E+02                                     | 6,47E+02      | 1,62E+03          | 3,50E-03    | 2,26E+03                      | 1,972E+11             | 51,15  | no cumple  | cumple                       |
| 3,00E-03         | 7,93E+10                        | 6,00E+02              | 1,00E-02             | 1,34E+03                                     | 1,34E+03      | 4,02E+03          | 4,00E-03    | 5,36E+03                      | 1,972E+11             | 51,15  | no cumple  | cumple                       |

82

Motor en X, CSK566-NATA

Stepping Motors

Standard Type

Motor Frame Size: □ 1.65 in. (□ 42 mm), □ 2.36 in. (□ 60 mm)

Specifications

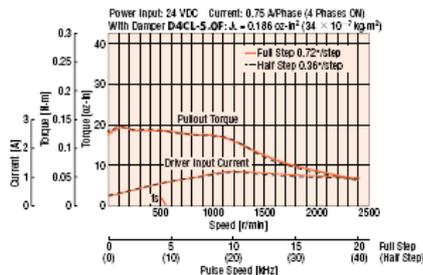


| Model                  | Single Shaft                            | CSK543-NATA  | CSK544-NATA                | CSK545-NATA                 | CSK564-NATA                  | CSK566-NATA                  | CSK569-NATA                 |
|------------------------|---|--|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
|                        | Double Shaft                            | CSK543-NBTA  | CSK544-NBTA                | CSK545-NBTA                 | CSK564-NBTA                  | CSK566-NBTA                  | CSK569-NBTA                 |
| Maximum Holding Torque | oz-in (N·m)                             | 18.4 (0.13)  | 25 (0.18)                  | 34 (0.24)                   | 59 (0.42)                    | 117 (0.83)                   | 230 (1.66)                  |
| Rotor Inertia J        | oz-in <sup>2</sup> (kg·m <sup>2</sup> ) | 0.191 (35×10 <sup>-7</sup> )   | 0.3 (54×10 <sup>-7</sup> ) | 0.37 (68×10 <sup>-7</sup> ) | 0.96 (175×10 <sup>-7</sup> ) | 1.53 (280×10 <sup>-7</sup> ) | 3.1 (560×10 <sup>-7</sup> ) |
| Rated Current          | A/phase                                 | 0.75   |                            |                             | 1.4                          |                              |                             |
| Basic Step Angle       |   | 0.72°  |                            |                             |                              |                              |                             |
| Power Source           |   | 24 VDC±10% 1.3 A   |                            |                             | 24 VDC±10% 2.1 A             |                              |                             |
| Excitation Mode        |   | ● Full Step (4 phase excitation): 0.72°/step<br>● Half Step (4-5 phase excitation): 0.36°/step |                            |                             |                              |                              |                             |
| Weight                 | Motor lb. (kg)                          | 0.46 (0.21)  | 0.59 (0.27)                | 0.77 (0.35)                 | 1.3 (0.6)                    | 1.8 (0.8)                    | 2.9 (1.3)                   |
|                        | Driver lb. (kg)                         | 0.31 (0.14)  |                            |                             |                              |                              |                             |
| Dimension No.          | Motor                                   | [1]  |                            |                             | [2]                          |                              |                             |
|                        | Driver                                  | [6]  |                            |                             |                              |                              |                             |

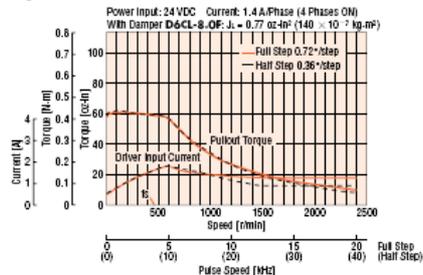
How to read specifications table →Page C-9

Speed – Torque Characteristics How to Read Speed-Torque Characteristics →Page C-10

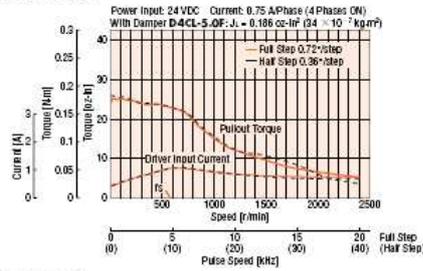
CSK543-NBTA



CSK564-NBTA



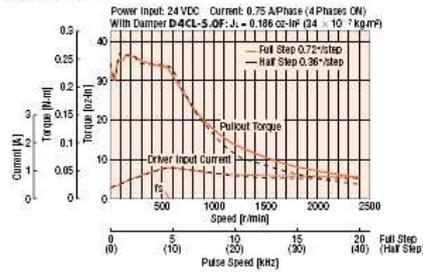
CSK544-NBTA



CSK566-NBTA



CSK545-NBTA



CSK569-NBTA



Note:  
The pulse input circuit responds up to approximately 100 kHz with a pulse duty of 50%.

## Common Specifications

|                       |   |   |
|-----------------------|---|---|
|                       | Input Signal Circuit                            | Photocoupler input, Input resistance 220 Ω, Input current 10~20 mA maximum<br>Signal voltage Photocoupler ON: +4.5~+5 V, Photocoupler OFF: 0~+1 V (voltage between terminals)   |
| Input Signals         | • Pulse Signal (CW Pulse Signal)*               | Step command pulse signal (CW step command pulse signal at 2-pulse input mode)<br>Pulse width: 5 μs minimum, Pulse rise/fall: 2 μs maximum, pulse duty: Max. 50%<br>Motor moves when the photocoupler state changes from ON to OFF.<br>Maximum input frequency: 100 kHz (when a pulse duty is 50%)                                      |
|                       | • Rotation Direction Signal (CCW Pulse Signal)* | Rotation direction signal Photocoupler ON: CW, Photocoupler OFF: CCW<br>CCW step command signal at 2-pulse input mode. Pulse width: 5 μs minimum, Pulse rise/fall: 2 μs maximum, pulse duty: Max. 50%<br>Motor moves when the photocoupler state changes from ON to OFF.<br>Maximum input frequency: 100 kHz (when a pulse duty is 50%) |
|                       | • Step Angle Signal                             | Full Step (0.72°) at "photocoupler OFF"<br>Half Step (0.36°) at "photocoupler ON"   |
|                       | • All Windings Off Signal                       | When in the "photocoupler ON" state, the current to the motor is cut off and the motor shaft can be rotated manually.<br>When in the "photocoupler OFF" state, the current level set by the RUN switch is supplied to the motor.  |
|                       | • Automatic Current Cutback Release Signal      | When in the "photocoupler ON" state, the "Automatic Current Cutback" function at motor standstill is disabled.<br>When in the "photocoupler OFF" state, the "Automatic Current Cutback" function at motor standstill is activated. (Approximately 100 ms after motor stops).  |
| Output Signals        | Output Signal Circuit                           | Photocoupler, Open-Collector Output<br>External use condition: 24 VDC maximum, 10 mA maximum  |
|                       | • Excitation Timing Signal                      | The signal is output every time the excitation sequence returns to the initial stage "0". (Photocoupler: ON)<br>Full step: signal output every 10 pulses, Half step: signal output every 20 pulses  |
|                       | • Overheat Signal *                             | The signal is output when the internal temperature of the driver rises above approximately 194°F (90°C). (Photocoupler: ON, Automatic return)<br>The motor current is shut off automatically if the automatic current off function is ON.   |
| Functions             |   | Automatic current cutback, Automatic current off, * Pulse input mode switch.*   |
| Driver Cooling Method |   | Natural ventilation   |

\* Only for CSD5828N-T (CSK59□ Package)

## General Specifications

| Specifications                   |                     | Motor  | Driver                               |
|----------------------------------|---------------------|--|--------------------------------------|
| Insulation Class                 |                     | Class B [266°F (130°C)]<br>[Recognized as Class A [221°F (105°C)] by UL and CSA standards.]  | —                                    |
| Insulation Resistance            |                     | 100 MΩ minimum under normal temperature and humidity, when measured by a 500 VDC megger between the motor coils and the motor casing.                            | —                                    |
| Dielectric Strength              |                     | Sufficient to withstand 1.5 kV (1 kV for CSK5.4 □ type), 60 Hz applied between the motor coils and casing for one minute, under normal temperature and humidity. | —                                    |
| Operating Environment            | Ambient Temperature | 14°F~122°F (−10°C~+50°C) (nonfreezing)   | 32°F~104°F (0°C~+40°C) (nonfreezing) |
|                                  | Ambient Humidity    | 85% or less (non-condensing)   |                                      |
|                                  | Atmosphere          | No corrosive gases, dust, water or oil.  |                                      |
| Temperature Rise                 |                     | Temperature rise of the coil measured by the Change Resistance Method is 144°F (80°C) or less. (at standstill, five phases energized)                            | —                                    |
| Static Angle Error <sup>#1</sup> |                     | ±3 arc minute (±0.05°)   | —                                    |
| Shaft Runout                     |                     | 0.002 inch (0.05 mm) T.I.R. at top of output shaft <sup>#4</sup>   | —                                    |
| Radial Play <sup>#2</sup>        |                     | 0.001 inch (0.025 mm) max. of 1.12 lb. (5 N)   | —                                    |
| Axial Play <sup>#3</sup>         |                     | 0.003 inch (0.075 mm) max. of 2.2 lb. (10 N)   | —                                    |
| Concentricity                    |                     | 0.003 inch (0.075 mm) T.I.R. <sup>#4</sup>   | —                                    |
| Perpendicularity                 |                     | 0.003 inch (0.075 mm) T.I.R. <sup>#4</sup>   | —                                    |

<sup>#1</sup> This value is for full step under no load. (The value changes with size of the load.)

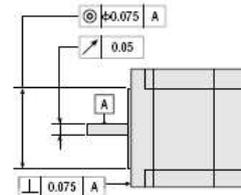
<sup>#2</sup> Radial Play: Refers to the displacement in shaft position in the radial direction, when a 1.12 lb. (5 N) load is applied in the vertical direction to the tip of the motor's shaft.

<sup>#3</sup> Axial Play: Refers to the displacement in shaft position in the axial direction, when a 2.2 lb. (10 N) load is applied to the motor's shaft in the axial direction.

<sup>#4</sup> T.I.R. (Total Indicator Reading): Refers to the total dial gauge reading when the measured section is rotated one revolution centered on a reference axis.

Note:

• Do not measure insulation resistance or perform the dielectric strength test while the motor and driver are connected.



**Permissible Overhung Load and Permissible Thrust Load**

Unit = Upper values: lb./Lower values: N

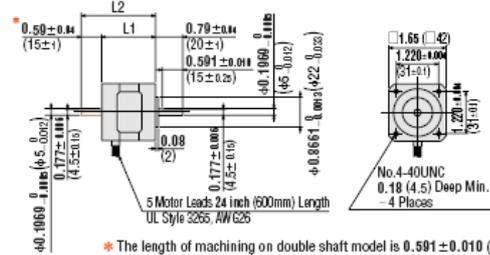
| Model            | Overhung Load<br>Distance from Shaft End [Inch (mm)] |            |           |            |            | Thrust Load  |
|------------------|--|------------|-----------|------------|------------|--|
|                  | 0 (0)  | 0.2 (5)    | 0.39 (10) | 0.59 (15)  | 0.79 (20)  |  |
| <b>CSK54</b> □   | 4.5<br>20  | 5.6<br>25  | 7.6<br>34 | 11.7<br>52 | —          | The permissible thrust load [lb. (N)] shall be no greater than the motor mass. |
| <b>CSK56</b> □   | 14.1<br>63   | 16.8<br>75 | 21<br>95  | 29<br>130  | 42<br>190  |  |
| <b>CSK59</b> □   | 58<br>260  | 65<br>290  | 76<br>340 | 87<br>390  | 108<br>480 |  |
| <b>CSK543-TG</b> | 2.2<br>10  | 3.1<br>14  | 4.5<br>20 | 6.7<br>30  | —          | 3.3<br>15  |
| <b>CSK564-TG</b> | 15.7<br>70   | 18<br>80   | 22<br>100 | 27<br>120  | 33<br>150  | 9<br>40  |

**Dimensions** Scale 1/4, Unit = inch (mm)

● Motor

◆ Standard Type

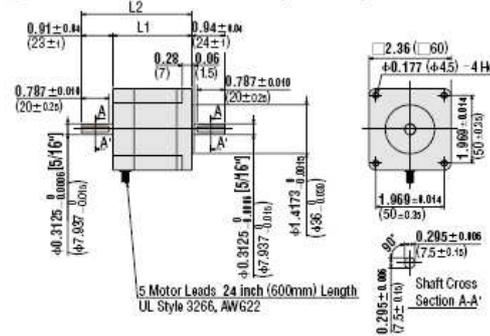
1 Motor Frame Size: □1.65 in. (□42 mm)



\* The length of machining on double shaft model is 0.591 ± 0.011 (15 ± 0.25).

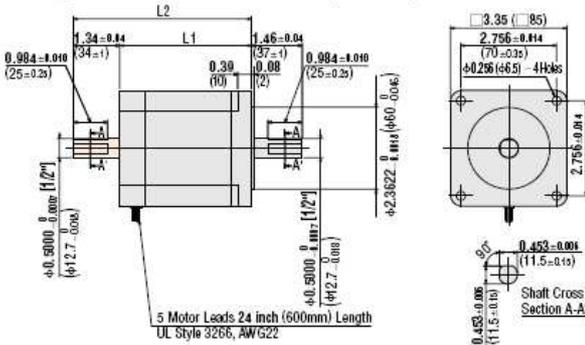
| Model              | Motor Model | L1<br>inch (mm) | L2<br>inch (mm) | Weight<br>lb. (kg) | DXF   |
|--------------------|-------------|-----------------|-----------------|--------------------|-------|
| <b>CSK543-NATA</b> | PK543NAWA   | —               | —               | —                  | B068U |
| <b>CSK543-NBTA</b> | PK543NBWA   | 1.3 (33)        | 1.89 (48)       | 0.46 (0.21)        | B068U |
| <b>CSK544-NATA</b> | PK544NAWA   | —               | —               | 0.50 (0.27)        | B069U |
| <b>CSK544-NBTA</b> | PK544NBWA   | 1.54 (39)       | 2.13 (54)       | —                  | B070U |
| <b>CSK545-NATA</b> | PK545NAWA   | —               | —               | 0.77 (0.35)        | B070U |
| <b>CSK545-NBTA</b> | PK545NBWA   | 1.85 (47)       | 2.44 (62)       | —                  | B070U |

2 Motor Frame Size: □2.36 in. (□60 mm)



| Model              | Motor Model | L1<br>inch (mm) | L2<br>inch (mm) | Weight<br>lb. (kg) | DXF   |
|--------------------|-------------|-----------------|-----------------|--------------------|-------|
| <b>CSK564-NATA</b> | PK564NAWA   | —               | —               | —                  | B071U |
| <b>CSK564-NBTA</b> | PK564NBWA   | 1.83 (46.5)     | 2.74 (69.5)     | 1.3 (0.6)          | B071U |
| <b>CSK566-NATA</b> | PK566NAWA   | —               | —               | 1.8 (0.8)          | B072U |
| <b>CSK566-NBTA</b> | PK566NBWA   | 2.26 (57.5)     | 3.17 (80.5)     | —                  | B073U |
| <b>CSK569-NATA</b> | PK569NAWA   | —               | —               | 2.9 (1.3)          | B073U |
| <b>CSK569-NBTA</b> | PK569NBWA   | 3.43 (87)       | 4.33 (110)      | —                  | B073U |

3 Motor Frame Size: □3.35 in. (□85 mm)



| Model               | Motor Model | L1<br>inch (mm) | L2<br>inch (mm) | Weight<br>lb. (kg) | DXF   |
|---------------------|-------------|-----------------|-----------------|--------------------|-------|
| <b>CSK596-NATA</b>  | PK596-NAA   | —               | —               | —                  | B155U |
| <b>CSK596-NBTA</b>  | PK596-NBA   | 2.6 (66)        | 3.94 (100)      | 3.7 (1.7)          | B155U |
| <b>CSK599-NATA</b>  | PK599-NAA   | —               | —               | 6.2 (2.8)          | B156U |
| <b>CSK599-NBTA</b>  | PK599-NBA   | 3.78 (96)       | 5.12 (130)      | —                  | B157U |
| <b>CSK5913-NATA</b> | PK5913-NAA  | —               | —               | 8.4 (3.8)          | B157U |
| <b>CSK5913-NBTA</b> | PK5913-NBA  | 4.06 (102)      | 6.3 (160)       | —                  | B157U |

\* These dimensions are for double shaft models. For single shaft models, ignore the shaded areas.

**Stepping Motors**

Introduction

AS AS PLUS ASC

Motor & Driver Packages

5-Phase Microstep 5-Phase Full/1/2 Step

2-Phase Full/Half without Encoder

2-Phase Stepping Motors with motor

Driver

EMP401 SC8800

EMP402 SC8800E SG8030J

Controllers

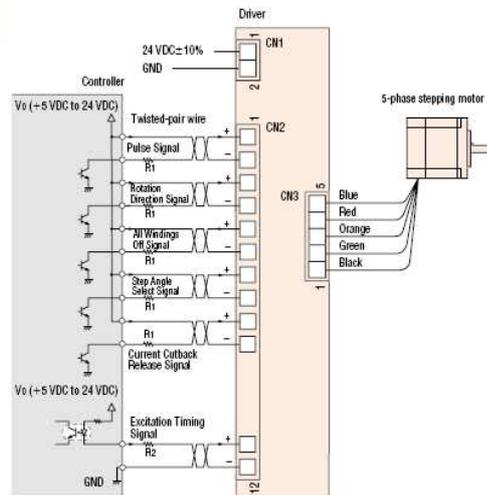
Low-Speed Synchronous Motors

SMK Accuspeed Motor

High-Speed Stepping Motor

## ● Connection Diagrams

### ◆ CSK54□, CSK56□ CSK543-TG, CSK564-TG



### ◆ Power Supply

Use an input power voltage of 24 VDC  $\pm$  10%. Use a power supply that can supply sufficient input current.

#### Notes:

- Keep the voltage  $V_o$  between 5 VDC and 24 VDC. When  $V_o$  is equal to 5 VDC, the external resistance  $R_1$  is not necessary. When  $V_o$  is above 5 VDC, connect  $R_1$  to keep the current between 10 mA and 20 mA, and connect  $R_2$  to keep the current below 10 mA.
- Use twisted-pair wire of AWG 24 or thicker and 6.6 feet (2 m) or less in length for the signal line.
- Note that as the length of the pulse signal line increases, the maximum transmission frequency decrease. (→ Technical Reference Page F-36)
- Suitable wire size for the CN1, CN2 and CN3 connector is between AWG 20 and AWG 26. Use AWG 20 or thicker for motor lines (when extended) and power supply line.
- Signal lines should be kept at least 3.9 inches (10 cm) away from power lines (power supply lines and motor lines). Do not bind the signal line and power line together.
- Use spot grounding to ground the driver and external controller.
- If noise generated by the motor lead wire causes a problem, try shielding the motor lead wires with conductive tape or wire mesh.
- Incorrect connection of DC power input will lead to driver damage. Make sure that the polarity is correct before turning the power on.

### ◆ Description of Input/Output Signals

#### Pulse Input Signal

"Pulse" signal is input to the PULSE—terminal. When the photocoupler state changes from "ON" to "OFF", the motor rotates one step. The direction of rotation is determined by the rotation direction signal.

#### Rotation Direction Input Signal

The "Rotation Direction" signal is input to the DIRECTION—terminal. A "photocoupler ON" signal input commands a clockwise direction rotation. A "photocoupler OFF" signal input commands a counterclockwise direction rotation.

#### All Windings Off Input Signal

When the "All Windings Off" (A.W. OFF) signal is in the "photocoupler ON" state, the current to the motor is cut off and motor torque is reduced to zero. The motor output shaft can then be rotated freely by hand. This signal is used when moving the motor by external force or to the manual home position.

#### Step Angle Select Input Signal

When the "Step Angle Select" (FULL/HALF) signal is in the "photocoupler ON" state, half step mode has been selected; when the FULL/HALF signal is in the "photocoupler OFF" state, full step mode has been selected.

#### Current Cutback Release Input Signal

When the "Current Cutback Release" (C.D.INH) signal is in the "photocoupler ON" state, the "Automatic Current Cutback" function is not activated.

#### Excitation Timing Output Signal

The Excitation Timing signal is output once each time the excitation sequence returns to step "0" in synchronization with input pulses.

The excitation sequence is designed to complete one cycle as the motor shaft rotates  $7.2^\circ$ . A signal is output every 10 pulses in full step mode and every 20 pulses in half step mode. (When the "Excitation Timing" signal is output, the transistor turns ON.)

## Motor en y PM55L-048



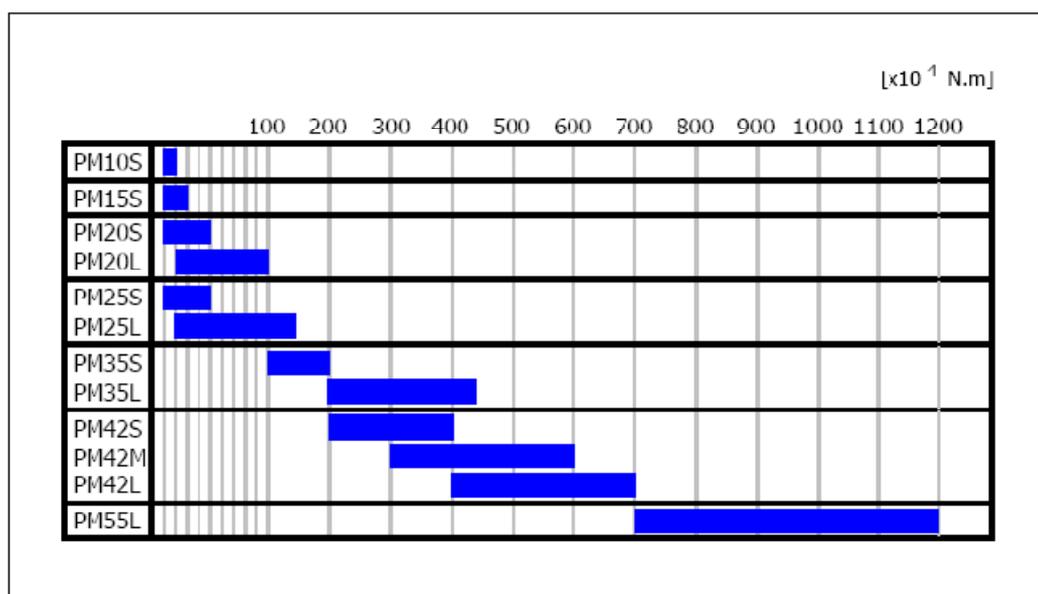
Minebea Motor Manufacturing Corporation  
eMINEBEA.COM

## Selection of PM Motors

### ■ Selection in view of Torque Requirements (1)

The torque generated by a motor is determined by the size of the motor. Also, the heat resistance temperature of the magnet wires used in the motor limits the maximum torque for each motor size. UL and other safety standards impose further limitations. These specify that the motor surface should normally be at 105°C. In addition, when UEW (polyurethane wire: class E) is used the magnet wire heat resistance temperature is a maximum 120°C. We cannot guarantee reliability if the coil is used at temperatures exceeding this.

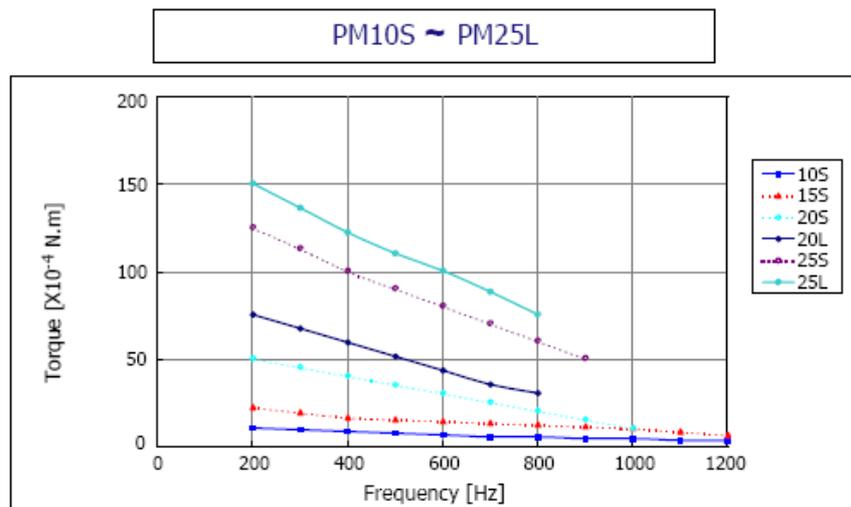
#### Torque Range According to Motor Size



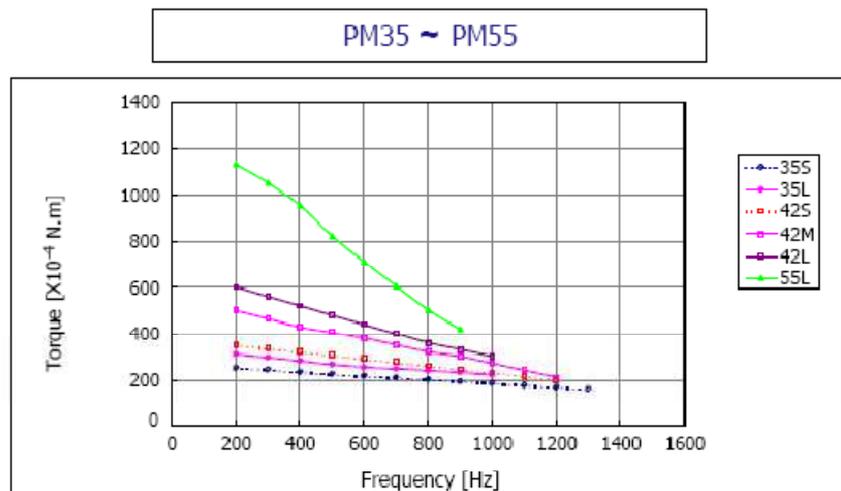
The above graph shows output torque range by motor size. Within this range, coil resistance and magnet materials can be tailored for optimum motor settings. For Nd-Fe-B bonded magnets only, it is possible to control magnetization, and it is therefore possible to make adjustments to rotor flux.

■ Selection in view of Torque Requirements (2)

The output torque of a motor varies according to the drive speed. Even if the motor is driven at the same voltage, the rise in revolution speed leads to increased occurrence of electrical motive force, and to higher coil impedance. This in turn makes it harder for current to flow through the coil, thus lowering torque. The following graphs list the average torque for each size of motor. Please refer to this information in making your selection.



Magnets for sizes PM15 to PM25 mainly display MS70 characteristics.



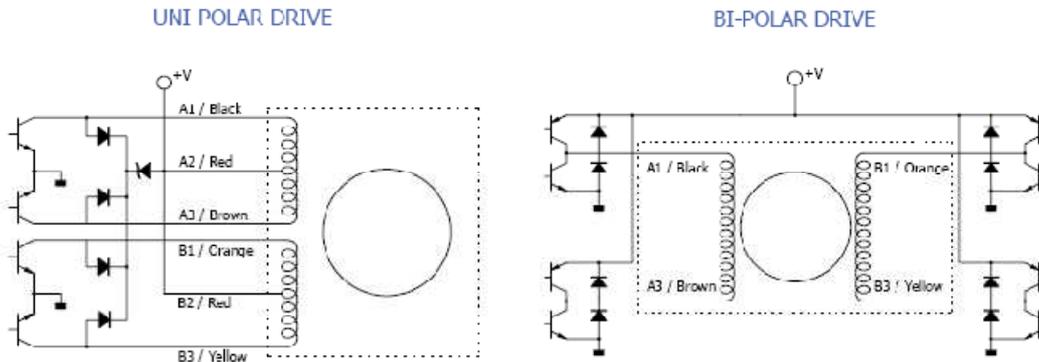
Magnets for sizes PM35 to PM42 mainly display MS50 characteristics, While magnets for size PM55 display MSPL characteristics.

<sup>88</sup> (<http://www.nmbtc.com/motors/standard-pm/>)

■ Drive Circuitry and Wiring Diagram

Show the drive circuitry and standard color of lead wire.

1) Drive Circuitry



2) Switching Sequence ( Using the Drive Circuit Indicated Above )

UNI-POLAR DRIVE

|                | A1<br>Black | A3<br>Brown | B1<br>Orange | B3<br>Yellow | A2/B2<br>Red/Red |
|----------------|-------------|-------------|--------------|--------------|------------------|
| ↑ CCW Rotation |             |             |              |              |                  |
| ↓ CW Rotation  | 1           | -           |              | -            | +                |
|                | 2           | -           |              | -            | +                |
|                | 3           |             | -            | -            | +                |
|                | 4           |             | -            | -            | +                |

BI-POLAR DRIVE

|                | A1<br>Black | A3<br>Brown | B1<br>Orange | B3<br>Yellow |
|----------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| ↑ CCW Rotation |             |             |              |              |
| ↓ CW Rotation  | 1           | -           | +            | +            |
|                | 2           | -           | +            | -            |
|                | 3           | +           | -            | -            |
|                | 4           | +           | -            | +            |

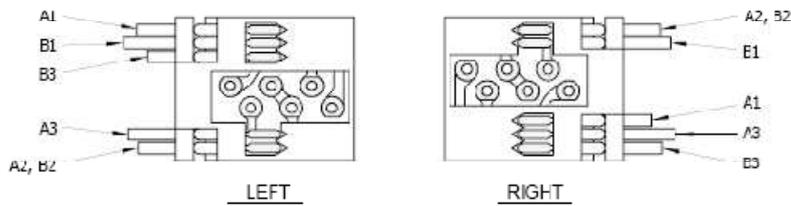
The rotation direction is as viewed from the front end.

<sup>89</sup> (<http://www.nmbtc.com/motors/standard-pm/>)

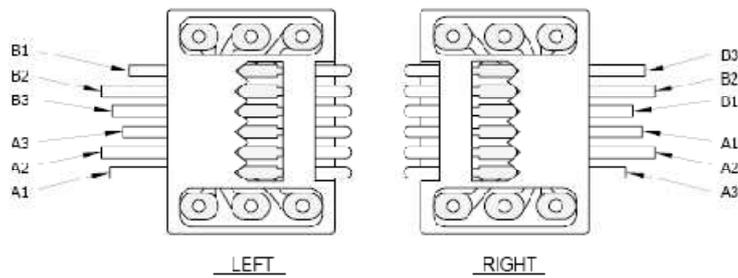
■ Drive Circuitry and Wiring Diagram

3) Wiring Diagram ( WIRE HOLDER Method )

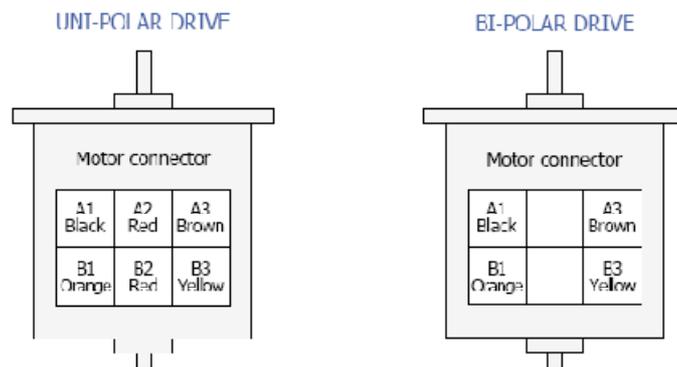
PM35, PM42, PM55



PM42M



4) Motor Unit Wiring Diagram ( IDC Method - standard Wiring color )



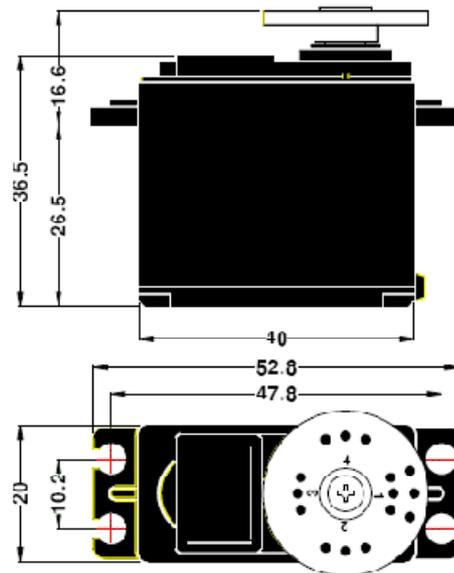
<sup>90</sup> (<http://www.nmbtc.com/motors/standard-pm/>)

Anexo G.- Características del servomotor (para la pinza).

PREPARED BY JUN HEE, LEE  
UPDATE: APR 01, 2002

## ANNOUNCED SPECIFICATION OF HS-311 STANDARD SERVO

|                               |   |                        |
|-------------------------------|---|------------------------|
| <b>1. TECHNICAL VALUE</b>     |   |                        |
| CONTROL SYSTEM                | : +PULSE WIDTH CONTROL 1500usec NEUTRAL       |                        |
| OPERATING VOLTAGE RANGE       | : 4.8V TO 6.0V                                |                        |
| TEST VOLTAGE                  | : AT 4.8V                                     | AT 6.0V                |
| OPERATING SPEED               | : 0.19sec/60° AT NO LOAD                      | 0.15sec/60° AT NO LOAD |
| STALL TORQUE                  | : 3.0kg.cm(42oz.in)                           | 3.5kg.cm(48.60oz.in)   |
| IDLE CURRENT                  | : 7.4mA AT STOPPED                            | 7.7mA AT STOPPED       |
| RUNNING CURRENT               | : 160mA/60° AT NO LOAD                        | 180mA/60° AT NO LOAD   |
| STALL CURRENT                 | : 700mA                                       | 800mA                  |
| DEAD BAND WIDTH               | : 5usec                                       | 5usec                  |
| OPERATING TRAVEL              | : 40°/ONE SIDE PULSE TRAVELING 400usec        |                        |
| DIRECTION                     | : CLOCK WISE/PULSE TRAVELING 1500 TO 1900usec |                        |
| MOTOR TYPE                    | : CORED METAL BRUSH                           |                        |
| POTENTIOMETER TYPE            | : 4 SLIDER/DIRECT DRIVE                       |                        |
| AMPLIFIER TYPE                | : ANALOG CONTROLLER & TRANSISTOR DRIVER       |                        |
| DIMENSIONS                    | : 40x20x36.5mm(1.57x0.78x1.43in)              |                        |
| WEIGHT                        | : 43g(1.51oz)                                 |                        |
| BALL BEARING                  | : TOP/RESIN BUSHING                           |                        |
| GEAR MATERIAL                 | : RESIN                                       |                        |
| HORN GEAR SPLINE              | : 24 SEGMENTS/□5.76                           |                        |
| SPLINED HORNS                 | : SUPER/R-XA                                  |                        |
| CONNECTOR WIRE LENGTH         | : 300mm(11.81in)                              |                        |
| CONNECTOR WIRE STRAND COUNTER | : 40EA  |                        |
| CONNECTOR WIRE GAUGE          |   |                        |



### 2. FEATURES

LONG LIFE POTENTIOMETER, TOP RESIN BUSHING

### 3. APPLICATIONS

AIRCRAFT 20-40 SIZE, STEERING AND THROTTLE SERVO FOR CARS, TRUCK AND BOATS

### 4. ACCESSORY & OPTION

| CASE SET/           | GEAR SET/    | HORN SET/ |
|---------------------|--------------|-----------|
| HS322T: 1EA         | HS322G1: 1EA | R-XA: 1EA |
| HS322M: 1EA         | HS322G2: 1EA |           |
| HS322L: 1EA         | HS322G3: 1EA |           |
| PH/T-2 2x30 NI: 4EA | HS322G4: 1EA |           |
|                     | HS300RB: 1EA |           |

# HITEC RCD KOREA INC.

91

<sup>91</sup> ([http://www.makingthings.com/resources/datasheets/acc\\_srv\\_hs311.pdf](http://www.makingthings.com/resources/datasheets/acc_srv_hs311.pdf))

Anexo H.- Cálculos de motores paso a paso para sistema con tornillo.

92

| Calculo para X |                  |                      |  | Características tornillo |                  |        |                     |         | Dato                      |  |  | Características del motor |          |          |                   |          |
|----------------|------------------|----------------------|--|--------------------------|------------------|--------|---------------------|---------|---------------------------|--|--|---------------------------|----------|----------|-------------------|----------|
| Masa a mover   | Velocidad lineal | distancia a recorrer | Coefficiente de fricción eje guía-cojinete | Fuerza de empuje         | Diámetro nominal | Paso   | Diámetro medio      | Masa    | Inercia                   | Coefficiente de fricción tornillo-cojinete | Coefficiente de fricción tornillo-tuerca | T1                        | T2       | Torque   | Velocidad angular | Potencia |
| m [Kg]         | V [m/s]          | d [m]                | $\mu$                                      | FIN                      | D [in]           | p [in] | d <sub>m</sub> [in] | mt [Kg] | Ix-x [Kg-m <sup>2</sup> ] | $\mu$                                      | $\mu$                                    | T [mN-m]                  | T [mN-m] | T [mN-m] | $\omega$ [rad/s]  | P [W]    |
| 3,50           | 0,03             | 1,00                 | 0,18                                       | 6,18                     | 0,56             | 0,08   | 0,01                | 1,00    | 0,000026                  | 0,18                                       | 0,14                                     | 7,73                      | 59,89    | 67,61    | 89,05             | 6,02     |
| Calculo para Y |                  |                      |  | Características tornillo |                  |        |                     |         | Dato                      |  |  | Características del motor |          |          |                   |          |
| Masa a mover   | Velocidad lineal | distancia a recorrer | Coefficiente de fricción eje guía-cojinete | Fuerza de empuje         | Diámetro nominal | Paso   | Diámetro medio      | Masa    | Inercia                   | Coefficiente de fricción tornillo-cojinete | Coefficiente de fricción tornillo-tuerca | T1                        | T2       | Torque   | Velocidad angular | Potencia |
| m [Kg]         | V [m/s]          | d [m]                | $\mu$                                      | FIN                      | D [in]           | p [in] | d <sub>m</sub> [in] | mt [Kg] | Ix-x [Kg-m <sup>2</sup> ] | $\mu$                                      | $\mu$                                    | T [mN-m]                  | T [mN-m] | T [mN-m] | $\omega$ [rad/s]  | P [W]    |
| 5,00           | 0,03             | 0,50                 | 0,18                                       | 8,83                     | 0,56             | 0,08   | 0,01                | 0,75    | 0,000019                  | 0,18                                       | 0,14                                     | 11,04                     | 44,92    | 55,96    | 89,05             | 4,98     |
| Calculo para Z |                  |                      |  | Características tornillo |                  |        |                     |         | Dato                      |  |  | Características del motor |          |          |                   |          |
| Masa a mover   | Velocidad lineal | distancia a recorrer | Coefficiente de fricción eje guía-cojinete | Fuerza de empuje         | Diámetro nominal | Paso   | Diámetro medio      | Masa    | Inercia                   | Coefficiente de fricción tornillo-cojinete | Coefficiente de fricción tornillo-tuerca | T1                        | T2       | Torque   | Velocidad angular | Potencia |
| m [Kg]         | V [m/s]          | d [m]                | $\mu$                                      | FIN                      | D [in]           | p [in] | d <sub>m</sub> [in] | mt [Kg] | Ix-x [Kg-m <sup>2</sup> ] | $\mu$                                      | $\mu$                                    | T [mN-m]                  | T [mN-m] | T [mN-m] | $\omega$ [rad/s]  | P [W]    |
| 3,00           | 0,03             | 0,40                 | 0,18                                       | 5,30                     | 0,56             | 0,08   | 0,01                | 0,75    | 0,000019                  | 0,18                                       | 0,14                                     | 6,63                      | 44,92    | 51,54    | 89,05             | 4,59     |

Las ecuaciones usadas para esta tabla fueron tomadas del capítulo 3 a excepción de la fuerza de empuje que es del capítulo 2.

## Anexo I.- Cálculos de los motores para sistema con bandas.

| Calculo para X |                  |                      |  | Características del motor |                  |          |          |                   |          |
|----------------|------------------|----------------------|--|---------------------------|------------------|----------|----------|-------------------|----------|
| Masa a mover   | Velocidad lineal | distancia a recorrer | Coefficiente de fricción eje guía-cojinete | diametro polea            | Fuerza de empuje | T1       | Torque   | Velocidad angular | Potencia |
| m [Kg]         | V [m/s]          | d [m]                | $\mu$                                      | $\phi$ [m]                | F[N]             | T [mN-m] | T [mN-m] | $\omega$ [rad/s]  | P [w]    |
| 3,50           | 0,03             | 1,00                 | 0,18                                       | 0,022                     | 6,18             | 68,00    | 68,00    | 2,73              | 0,19     |

| Calculo para Y |                  |                      |  | Características del motor |                  |          |          |                   |          |
|----------------|------------------|----------------------|--|---------------------------|------------------|----------|----------|-------------------|----------|
| Masa a mover   | Velocidad lineal | distancia a recorrer | Coefficiente de fricción eje guía-cojinete | diametro polea            | Fuerza de empuje | T1       | Torque   | Velocidad angular | Potencia |
| m [Kg]         | V [m/s]          | d [m]                | $\mu$                                      | $\phi$ [m]                | F[N]             | T [mN-m] | T [mN-m] | $\omega$ [rad/s]  | P [w]    |
| 5,00           | 0,03             | 0,50                 | 0,18                                       | 0,022                     | 8,83             | 97,17    | 97,17    | 2,73              | 0,27     |

| Calculo para Z |                  |                      |  | Características del motor |                  |          |          |                   |          |
|----------------|------------------|----------------------|--|---------------------------|------------------|----------|----------|-------------------|----------|
| Masa a mover   | Velocidad lineal | distancia a recorrer | Coefficiente de fricción eje guía-cojinete | diametro polea            | Fuerza de empuje | T1       | Torque   | Velocidad angular | Potencia |
| m [Kg]         | V [m/s]          | d [m]                | $\mu$                                      | $\phi$ [m]                | F[N]             | T [mN-m] | T [mN-m] | $\omega$ [rad/s]  | P [w]    |
| 3,00           | 0,03             | 0,40                 | 0,18                                       | 0,022                     | 5,30             | 58,31    | 58,31    | 2,73              | 0,16     |

Las ecuaciones usadas para esta tabla fueron tomadas del capítulo 2.

## Anexo J.- Datos técnicos del PLC Allen-Bradley Micrologix 1100. L16BBB

## General Specifications

| Description                        | 1763-   |   |  |  |
|------------------------------------|---|---|--|--|
|                                    | L16AWA  | L16BWA  | L16BBB   | L16DWD                                     |
| Dimensions                         | Height: 90 mm (3.5 in.), 104 mm (4.09 in.) (with DIN latch open)<br>Width: 110 mm (4.33 in.), Depth: 87 mm (3.43 in.)   |   |  |  |
| Shipping weight                    | 0.9 kg (2.0 lbs)  |   |  |  |
| Number of I/O                      | 12 inputs (10 digital and 2 analog) and 6 outputs   |   |  |  |
| Power supply voltage               | 100...240V AC (-15%, +10%)<br>at 47...63 Hz   |   | 24V DC (-15%, +10%)<br>Class 2 SELV  | 12V to 24V DC (-15%,<br>+10%) Class 2 SELV |
| Heat dissipation                   | See <a href="#">Appendix G</a> .  |   |  |  |
| Power supply inrush current (max.) | 120V AC: 25 A for 8 ms<br>240V AC: 40 A for 4 ms  |   | 24V DC: 15 A for 20 ms   |  |
| Maximum power consumption          | 46 VA   | 52 VA   | 35 W<br>See <a href="#">MicroLogix 1100 DC Input Power Requirements for 1763-L16BBB Unit on page 156</a> . |  |
| 24V DC sensor power                | None  | 250 mA at 24V DC<br>AC Ripple < 500 mV<br>peak-to-peak<br>400 µF max.                 | None   |  |
| Input circuit type                 | Digital: 120V AC<br><br>Analog: 0...10V DC  | Digital: 24V DC<br>sink/source<br>(standard and high-speed)<br><br>Analog: 0...10V DC | Digital: 24V DC<br>sink/source<br>(standard and high-speed)<br><br>Analog: 0...10V DC                      |  |
| Output circuit type                | Relay   | Relay   | Relay/FET  | Relay                                      |
| Temperature, operating             | -20...65 °C (-4...149 °F) ambient   |   |  |  |
| Temperature, storage               | -40...85 °C (-40...185 °F) ambient  |   |  |  |
| Relative humidity                  | 5%...95% non-condensing   |   |  |  |
| Vibration                          | Operating: 10...500 Hz, 5 g, 0.015 in. max. peak-to-peak, 2 hours each axis<br>Relay Operation: 1.5 g   |   |  |  |
| Shock, operating                   | 30 g; 3 pulses each direction, each axis<br>Relay Operation: 10 g   |   |  |  |
| Shock, non-operating               | 50 g panel mounted (40 g DIN Rail mounted); 3 pulses each direction, each axis  |   |  |  |
| Terminal screw torque              | 0.56 Nm (5.0 in-lb) rated   |   |  |  |
| Agency certification               | UL Listed Industrial Control Equipment for use in Class 1, Division 2, Hazardous Locations, Groups A, B, C, D<br>C-UL Listed Industrial Control Equipment for use in Canada<br>CE marked for all applicable directives<br>C-Tick marked for all applicable acts |   |  |  |
| Electrical/EMC                     | The controller has passed testing at the following levels:  |   |  |  |

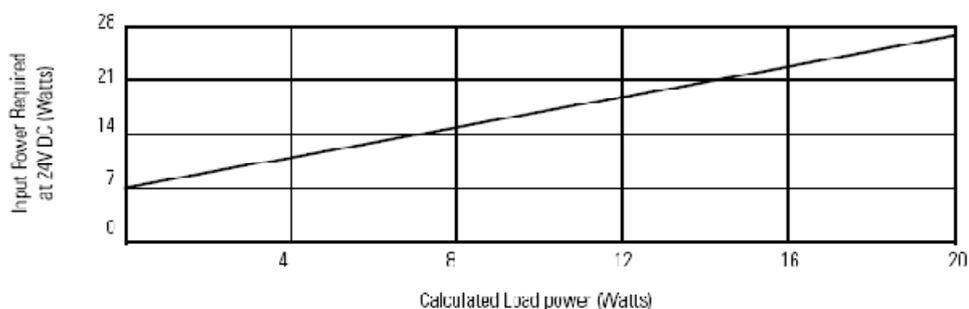
Publication 1763-UM001C-EN-P - January 2010

### General Specifications

| Description              | 1763-  |        |        |        |
|--------------------------|--|--------|--------|--------|
|                          | L16AWA   | L16BWA | L16BBB | L16DWD |
| ESD immunity             | EN 61000-4-2<br>4 kV contact, 3 kV air, 4 kV indirect  |        |        |        |
| Radiated RF immunity     | EN 61000-4-3<br>10V/m, 26...1000 MHz (alternatively, 80...1000 MHz),<br>80% amplitude modulation, +900 MHz keyed carrier   |        |        |        |
| Fast transient immunity  | EN 61000-4-4<br>2 kV, 5 kHz<br>communications cable such as EtherNet, RS-232, and RS-485: 1 kV, 5 kHz  |        |        |        |
| Surge transient immunity | EN 61000-4-5<br>Unshielded communications cable: 2 kV CM (common mode), 1 kV DM (differential mode)<br>Shielded communications cable: 1 kV galvanic gun<br>I/O: 2 kV CM (common mode), 1 kV DM (differential mode)<br>AC Power Supply Input: 4 kV CM (common mode), 2 kV DM (differential mode)<br>DC Power Supply Input: 500V CM (common mode), 500V DM (differential mode)<br>AC/DC Auxiliary Output: 500V CM (common mode), 500V DM (differential mode) |        |        |        |
| Conducted RF immunity    | EN 61000-4-6<br>10V, 150 kHz...30 MHz  |        |        |        |
| Conducted emissions      | EN 55011<br>AC Power Supply Input: 150 kHz...30 MHz  |        |        |        |
| Radiated emissions       | EN 55011<br>30...1000 MHz  |        |        |        |
| Line related tests       | EN 61000-4-11<br>AC Power Supply Input:<br>voltage drop: -30% for 10 ms, -60% for 100 ms<br>voltage interrupt: at voltage greater than -95% for 5 sec.<br>voltage fluctuation: -10% for 15 minutes, -10% for 15 minutes<br>DC Power Supply Input:<br>voltage fluctuation: -20% for 15 minutes, -20% for 15 minutes   |        |        |        |

### MicroLogix 1100 DC Input Power Requirements for 1763-L16BBB Unit

#### 1763-L16BBB and 1763-L16DWD Typical Power Requirements



### Digital Input Specifications

| Description                      | 1763-L16AWA                                      | 1763-L16BWA, -L16BBB   |  |
|----------------------------------|--|--|--|
|                                  |  | Inputs 0 through 3<br>(4 high-speed DC inputs)   | Inputs 4 and higher<br>(6 standard DC inputs)  |
| On-state voltage range           | 79...132V AC                                     | 14...24V DC<br><br>(14...26.4V DC (+10%) at 65 °C/149 °F)<br>(14...30V DC (+25%) at 30 °C/86 °F) | 10...24V DC<br><br>(10...26.4V DC (+10%) at 65 °C/149 °F)<br>(10...30V DC (+25%) at 30 °C/86 °F) |
| Off-State voltage range          | 0...20V AC                                       | 0...5V DC  |  |
| Operating frequency              | 47 Hz... 63 Hz                                   | 0 Hz...20 kHz<br><br>0 Hz...40 kHz <sup>(1)</sup>  | 0 Hz...1 kHz<br><br>(scan time dependent)  |
| On-state current:                |  |  |  |
| • minimum                        | • 5.0 mA at 79V AC                               | • 2.5 mA at 14V DC   | • 2.0 mA at 10V DC   |
| • nominal                        | • 12 mA at 120V AC                               | • 9.8 mA at 24V DC   | • 8.5 mA at 24V DC   |
| • maximum                        | • 16.0 mA at 132V AC                             | • 12.0 mA at 30V DC  | • 12.0 mA at 30V DC  |
| Off-state leakage current, max.  | 2.5 mA   | 1.5 mA   |  |
| Nominal impedance                | 12 k $\Omega$ at 50 Hz<br>10 k $\Omega$ at 60 Hz | 3.1 k $\Omega$   | 3.1 k $\Omega$   |
| Inrush current (max.) at 120V AC | 250 mA   | Not applicable   |  |

(1) OS Series B FRN 4 or later

### Digital Input Specifications for 1763-L16DWD

| Description               | 1763-L16DWD   |   |
|---------------------------|---|---|
|                           | Inputs 0 through 3<br>(4 high-speed DC inputs)              | Inputs 4 and higher<br>(6 standard DC inputs) |
| On-state voltage range    | 10...24V DC at 65 °C/149 °F<br>(10...30V DC at 30 °C/86 °F) |   |
| Off-state voltage range   | 0...5V DC   |   |
| Operating frequency       | 0 Hz...40 kHz <sup>(1)</sup>                                | 0 Hz...1 kHz                                  |
| On-state current:         |   |   |
| • minimum                 | • 2.0 mA at 10V DC  |   |
| • nominal                 | • 8.5 mA at 24V DC  |   |
| • maximum                 | • 12.0 mA at 30V DC   |   |
| Off-state leakage current | 1.5 mA max.   |   |
| Nominal impedance         | 2.61 k $\Omega$   | 3.1 k $\Omega$                                |
| Maximum inrush current    | Not applicable  |   |

(1) OS Series B FRN 4 or later

**Analog Input Specifications**

| Description                                     | 1763-L16AWA, -L16BWA, -L16BBB, -L16DWD |
|---|--|
| Voltage input range                             | 0...10.0V DC - 1 LSB                   |
| Type of data                                    | 10-bit unsigned integer                |
| Input coding (0...10.0V DC - 1 LSB)             | 0...+1,023                             |
| Voltage input impedance                         | 210 kΩ                                 |
| Input resolution                                | 10 bit                                 |
| Non-linearity                                   | ±1.0% of full scale                    |
| Overall accuracy<br>(-20...65 °C / +4...149 °F) | ±1.0% of full scale                    |
| Voltage input overvoltage protection            | 10.5V DC                               |
| Field wiring to logic isolation                 | Non-isolated with logic                |

**Output Specifications - General**

| Description                             | 1763-   |   |
|---|---|---|
|   | L16AWA, L16BWA, L16DWD  | L16BBB  |
| <b>Relay and FET Outputs</b>            |   |   |
| Maximum controlled load                 | 1,440 VA  | 1,440 VA  |
| Maximum continuous current              |   |   |
| Current per group common <sup>(1)</sup> | 5 A/3 A   | 5 A/3 A   |
| Current per controller                  | at 150V max   | For UL 508, 30 A or total of per-point loads, whichever is less<br>For UL 1504, 18 A or total of per-point loads, whichever is less |
|   | at 240V max   | For UL 508, 20 A or total of per-point loads, whichever is less<br>For UL 1504, 18 A or total of per-point loads, whichever is less |
| <b>Relay Outputs</b>                    |   |   |
| Turn on time/Turn off time              | 10 ms (minimum) <sup>(2)</sup>  |   |
| Relay life - Electrical                 | For Hazardous Locations Applications (Class I, Division 2, Groups A, B, C, D):<br>150 x 10 <sup>3</sup> operations min. (at 3 A, 30V DC);<br>370 x 10 <sup>3</sup> operations min. (at 3 A, 250V AC);<br><br>For Ordinary (Non-Hazardous) Locations only:<br>50 x 10 <sup>3</sup> operations min. (at 5 A, 30V DC);<br>170 x 10 <sup>3</sup> operations min. (at 5 A, 250V AC); |   |
| Load current                            | 10 mA (min.)  |   |

(1) 5A for UL 508  
3A for UL 1604, Class 1, Division 2, Hazardous Locations, Groups A, B, C, D

(2) scan time dependent

## Especificaciones de los módulos:

**Input Specifications**

| Specification                          | 1762-IA8                                | 1762-IO8  | 1762-IO16   | 1762-IO32T  | 1762-IO80W6  |
|--|---|---|---|---|--|
| Shipping weight, approx. (with carton) | 209 g (0.46 lbs.)                       | 200 g (0.44 lbs.)   | 230 g (0.51 lbs.)   | 200g (0.44 lbs.)  | 280g (0.62 lbs.)   |
| Voltage category                       | 100/120V AC                             | 24V DC (sink/source) <sup>(1)</sup>                             | 24V DC (sink/source) <sup>(1)</sup>                             | 24V DC (sink/source) <sup>(1)</sup>   | 24V DC (sink/source) <sup>(1)</sup>  |
| Operating voltage range                | 79V AC... 132V AC at 47 Hz...63 Hz      | 10...30V DC at 30 °C (86 °F)<br>10...26.4V DC at 55 °C (131 °F) | 10...30V DC at 30 °C (86 °F)<br>10...26.4V DC at 55 °C (131 °F) | 10...30V DC (24 points) at 30 °C (86 °F)<br>10...26.4V DC (23 points) at 60 °C (140 °F) | 10...30V DC at 30 °C (86 °F)<br>10...26.4V DC at 65 °C (149 °F)  |
| Number of inputs                       | 8                                       | 8   | 16  | 32  | 8  |
| Bus current draw, max.                 | 50 mA at 5V DC (0.25W)                  | 50 mA at 5V DC (0.25W)  | 60 mA at 5V DC (0.3W)   | 170 mA at 5V DC<br>0 mA at 24V DC   | 110 mA at 5V DC<br>80 mA at 24V DC   |
| Heat dissipation, max.                 | 2.0 W                                   | 3.7 W   | 4.2 W at 26.4V<br>5.3 W at 30V                                  | 5.4 W at 26.4V DC<br>5.8 W at 30V DC  | 5.0 W at 30V DC<br>4.4 W at 26.4V DC (The Watts per point, plus the minimum W, with all points energized.) |
| Signal delay, max.                     | On delay: 20.0 ms<br>Off delay: 20.0 ms | On delay: 8.0 ms<br>Off delay: 8.0 ms                           | On delay: 8.0 ms<br>Off delay: 8.0 ms                           | On delay: 8.0 ms<br>Off delay: 8.0 ms   | On delay: 8.0 ms<br>Off delay: 8.0 ms  |
| Off-state voltage, max.                | 20V AC                                  | 5V DC   | 5V DC   | 5V DC   | 5V DC  |
| Off-state current, max.                | 2.5 mA                                  | 1.5 mA  | 1.5 mA  | 1.0 mA  | 1.5 mA   |

<sup>97</sup> ([http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1763-um001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1763-um001_-en-p.pdf))

**Output Specifications**

| <b>Specification</b>                   | <b>1762-0W8</b>                                   | <b>1762-0W16</b>                                    | <b>1762-0X6I</b>                                    | <b>1762-1Q80W6</b>  |
|--|---|---|---|---|
| Shipping weight, approx. (with carton) | 228 g (0.50 lbs.)                                 | 285 g (0.63 lbs.)                                   | 220 g (0.485 lbs)                                   | 280 g (0.62 lbs.)   |
| Voltage category                       | AC/DC normally open relay                         | AC/DC normally open relay                           | AC/DC Type C Relay                                  | AC/DC normally open relay   |
| Operating voltage range                | 5...265V AC<br>5...125V DC                        | 5...265V AC<br>5...125V DC                          | 5...265V AC<br>5...125V DC                          | 5...265V AC<br>5...125V DC  |
| Number of outputs                      | 8   | 16  | 6   | 6   |
| Bus current draw, max.                 | 80 mA at 5V DC (0.40W)<br>90 mA at 24V DC (2.16W) | 120 mA at 5V DC (0.60W)<br>140 mA at 24V DC (3.36W) | 110 mA at 5V DC (0.55W)<br>110 mA at 24V DC (2.64W) | 110 mA at 5V DC<br>80 mA at 24V DC  |
| Heat dissipation, max.                 | 2.9 W   | 5.6 W   | 2.8 W   | 5.0 W at 30V DC<br>4.4 W at 26.4V DC<br>(The Watts per point, plus the minimum W, with all points energized.) |

**Output Specifications**

| <b>Specification</b>                   | <b>1762-0W8</b>   | <b>1762-0W16</b>                                    | <b>1762-0X6I</b>   | <b>1762-IQ80W6</b>                                    |
|--|---|---|--|---|
| Signal delay, max. – resistive load    | On Delay: 10 ms<br>Off Delay: 10 ms   | On Delay: 10 ms<br>Off Delay: 10 ms                 | On Delay: 10 ms (max) 6 ms (typical)<br>Off Delay: 20 ms (max) 12 ms (typical) | On-delay: 10 ms (max)<br>Off-delay: 10 ms (max)       |
| Off-state leakage, max.                | 0 mA  | 0 mA  | 0 mA   | 0 mA  |
| On-state current, min.                 | 10 mA   | 10 mA   | 100 mA   | 10 mA   |
| On-state voltage drop, max.            | Not Applicable  |   |  |   |
| Continuous current per point, max.     | 2.5 A (Also see "Relay Contact Ratings" on page 169.)   |   | 7 A (Also see "Relay Contact Ratings" on page 169.)                            | 2.5 A (Also see "Relay Contact Ratings" on page 169.) |
| Continuous current per common, max.    | 8 A   | 8 A   | 7 A (Also see "Relay Contact Ratings" on page 161.)                            | 8 A   |
| Continuous current per module, max.    | 16 A  | 16 A  | 30A (Also see <a href="#">Module Load Ratings 1762-0X6I on page 170.</a> )     | 8A  |
| Surge current, max.                    | See "Relay Contact Ratings" on page 169.  |   | See "Relay Contact Ratings" on page 169.                                       | See "Relay Contact Ratings" on page 169.              |
| Power supply distance rating           | 6 (The module may not be more than 6 modules away from the power supply.)   |   |  |   |
| Isolated groups                        | Group 1: Outputs 0 to 3<br>Group 2: Outputs 4 to 7  | Group 1: Outputs 0 to 7<br>Group 2: Outputs 8 to 15 | All 6 Outputs Individually Isolated.   | Group 3: Outputs 0 to 5                               |
| Output group to backplane isolation    | Verified by one of the following dielectric tests: 1836V AC for 1 s or 2596V DC for 1 s.<br>265V AC working voltage (IEC Class 2 reinforced insulation)   |   |  |   |
| Output group to output group isolation | Verified by one of the following dielectric tests: 1836V AC for 1 s or 2596V DC for 1 s.<br>265V AC working voltage (basic insulation)<br>150V AC working voltage (IEC Class 2 reinforced insulation) |   |  |   |
| Vendor I.D. code                       | 1   |   |  |   |
| Product type code                      | 7   |   |  |   |
| Product code                           | 120   | 121   | 124  | 98  |

99

<sup>99</sup> ([http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1763-um001\\_en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1763-um001_en-p.pdf))

**Relay Contact Ratings (1762-OW8, 1762-OW16, and 1762-IQ80W6)**

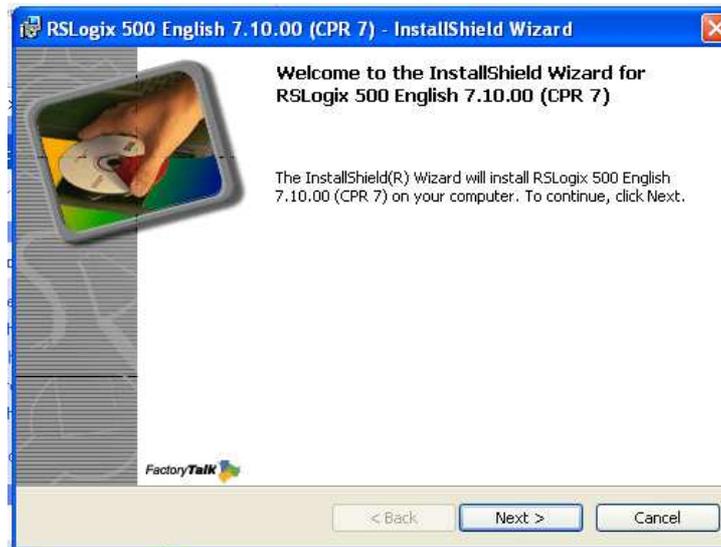
| Maximum Volts | Amperes               |        | Amperes Continuous   | Volt-Amperes |        |
|---------------|-----------------------|--------|----------------------|--------------|--------|
|               | Make                  | Break  |                      | Make         | Break  |
| 240V AC       | 7.5 A                 | 0.75 A | 2.5 A <sup>(2)</sup> | 1800 VA      | 180 VA |
| 120V AC       | 15 A                  | 1.5 A  | 2.5 A <sup>(2)</sup> | 1800 VA      | 180 VA |
| 125V DC       | 0.22 A <sup>(1)</sup> |        | 1.0 A                | 28 VA        |        |
| 24V DC        | 1.2 A <sup>(3)</sup>  |        | 2.0 A                |              |        |

(1) For DC voltage applications, the make/break ampere rating for relay contacts can be determined by dividing 28 VA by the applied DC voltage. For example, 28 VA/48V DC = 0.58A. For DC voltage applications less than 14V, the make/break ratings for relay contacts cannot exceed 2A.

(2) 1.5A above 40 °C (104 °F).

## Anexo K.- Instalación de RSLogix 500

Al iniciar la instalación se presentará la siguiente ventana:



Dar clic en Next se presenta la siguiente ventana:



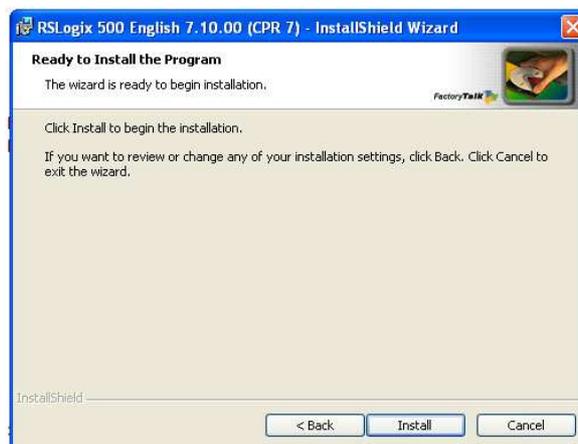
En esta ventana aceptar el acuerdo de licencia y continuar (next), la siguiente ventana:



En esta ventana ingresar el código de 10 dígitos que ese encuentra en la parte posterior del disquete de activación. En la siguiente ventana:



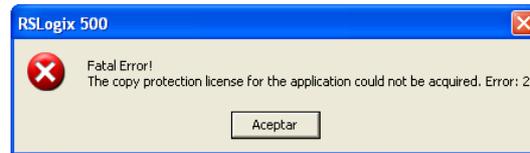
Seleccionar complete y siguiente (next), en la siguiente ventana:



Seleccionar Install. Al finalizar se muestra la siguiente ventana:



Al intentar acceder al software sin haber activado se presenta el siguiente error.



Para activar el software es necesario transferir las licencias desde el disquete de activación hacia la PC por medio de la aplicación Move Activation.

Ubicación de Move Activation:

Inicio → Programas → Rockwell Software → Utilities → Move Activation

Insertar el disquete que contiene las licencias

Y transferirlas a disco local C donde se instaló el programa como se muestra en la siguiente figura:



Pulsar ok.

RSLogix ha sido activado.

## Anexo L.- Programa de los PIC's

```
define osc 20
trisd=0
trisa=0
trisc=0
t var byte
t=15
L var byte
l=5
n var byte
m var byte
L1 var byte
L2 var byte
inicio1:
    pause 10
    if portb.7=1 then goto Derecha
goto inicio2
Derecha:
portd=%00010001
portc=%00000000
pause l
portd=%00110011
portc=%00000000
pause l
portd=%00100010
portc=%00000000
pause l
portd=%01100110
portc=%00000000
pause l
portd=%01000100
portc=%00000000
pause l
portd=%11001100
portc=%00000000
pause l
portd=%10001000
portc=%00000000
pause l
portd=%10001000
portc=%10010000
pause l
portd=%00000000
portc=%10010000
pause l
portd=%00010001
portc=%10010000
pause l
if portb.7=1 then goto Derecha
if portb.7=0 then goto inicio2
```

```

inicio2:
portd=%00000000
portc=%00000000
  pause 10
  if portb.6=1 then goto lzquierda
goto inicio3
lzquierda:
portd=%00000000
portc=%10010000
  pause l
portd=%10001000
portc=%10010000
  pause l
portd=%10001000
portc=%00000000
  pause l
portd=%11001100
portc=%00000000
  pause l
portd=%01000100
portc=%00000000
  pause l
portd=%01100110
portc=%00000000
  pause l
portd=%00100010
portc=%00000000
  pause l
portd=%00110011
portc=%00000000
  pause l
portd=%00010001
portc=%00000000
  pause l
portd=%00010001
portc=%10010000
  pause l
  if portb.6=1 then goto lzquierda
  if portb.6=0 then goto inicio3
inicio3:
portd=%00000000
portc=%00000000
  pause 10
  if portb.5=1 then goto subir
goto inicio4
subir:
porta=%0001
  pause t
porta=%0011
  pause t
porta=%0010
  pause t

```

```
porta=%0110
pause t
porta=%0100
pause t
porta=%1100
pause t
porta=%1000
pause t
porta=%1001
pause t
if portb.5=1 then goto subir
if portb.5=0 then goto inicio4
inicio4:
porta=%0000
pause 10
if portb.4=1 then goto bajar
goto inicio5
bajar:
porta=%1000
pause t
porta=%1100
pause t
porta=%0100
pause t
porta=%0110
pause t
porta=%0010
pause t
porta=%0011
pause t
porta=%0001
pause t
porta=%1001
pause t
if portb.4=1 then goto bajar
if portb.4=0 then goto inicio5
inicio5:
porta=%0000
pause 10
if portb.3=1 then goto pinza
cerrar:
trise=0
porte=0
for m=0 to 10 step 1
high porte.0
pauseus 800
low porte.0
pause 20
next
goto inicio1
pinza:
define osc 20
```

```

inicio6:
trise=0
porte=0
for n=0 to 10 step 1
    high porte.0
    pauseus 1800
    low porte.0
    pause 20
next
goto salir
Salir:
goto inicio1
end

```

Programa del Pic 16F877A

```

cmcon=7
trise=0
t var byte
t=8
inicio1:
    portb=%00000000
    pause 10
    if porta.2=1 then goto Derecha
goto inicio2
Derecha:
    portb=%11000000
    pause t
    portb=%01000000
    pause t
    portb=%01100000
    pause t
    portb=%00100000
    pause t
    portb=%00110000
    pause t
    portb=%00010000
    pause t
    portb=%10010000
    pause t
    portb=%10000000
    pause t
    if porta.2=1 then goto Derecha
    if porta.3=1 then goto inicio2
goto inicio1
inicio2:
    portb=%00000000
    pause 10
    if porta.3=1 then goto Izquierda

```

```
goto inicio1
  Izquierda:
  portb=%00110000
  pause t
  portb=%0010000
  pause t
  portb=%01100000
  pause t
  portb=%01000000
  pause t
  portb=%11000000
  pause t
  portb=%10000000
  pause t
  portb=%10010000
  pause t
  portb=%00010000
  pause t
  if porta.3=1 then goto Izquierda
goto inicio2
end
```

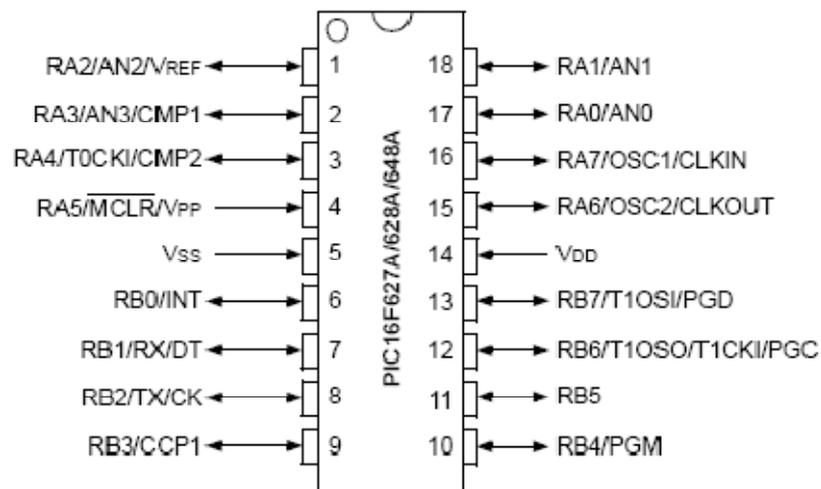
Programa del Pic 16F628A

## Anexo M.- Características técnicas de los Pícs.

Características de la familia de microcontroladores PIC16F27A/628A/648A<sup>101</sup>

|             |                                      | PIC16F627A                                | PIC16F628A                                | PIC16F648A                                | PIC16LF627A                               | PIC16LF628A                               | PIC16LF648A                               |
|-------------|--------------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Clock       | Maximum Frequency of Operation (MHz) | 20  | 20  | 20  | 20  | 20  | 20  |
|             | Flash Program Memory (words)         | 1024                                      | 2048                                      | 4096                                      | 1024                                      | 2048                                      | 4096                                      |
| Memory      | RAM Data Memory (bytes)              | 224                                       | 224                                       | 256                                       | 224                                       | 224                                       | 256                                       |
|             | EEPROM Data Memory (bytes)           | 128                                       | 128                                       | 256                                       | 128                                       | 128                                       | 256                                       |
| Peripherals | Timer module(s)                      | TMR0, TMR1, TMR2                          |
|             | Comparator(s)                        | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   |
|             | Capture/Compare/PWM modules          | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|             | Serial Communications                | USART                                     | USART                                     | USART                                     | USART                                     | USART                                     | USART                                     |
| Features    | Internal Voltage Reference           | Yes                                       | Yes                                       | Yes                                       | Yes                                       | Yes                                       | Yes                                       |
|             | Interrupt Sources                    | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  |
|             | I/O Pins                             | 16  | 16  | 16  | 16  | 16  | 16  |
|             | Voltage Range (Volts)                | 3.0-5.5                                   | 3.0-5.5                                   | 3.0-5.5                                   | 2.0-5.5                                   | 2.0-5.5                                   | 2.0-5.5                                   |
|             | Brown-out Reset                      | Yes                                       | Yes                                       | Yes                                       | Yes                                       | Yes                                       | Yes                                       |
|             | Packages                             | 18-pin DIP, SOIC, 20-pin SSOP, 28-pin QFN |

All PIC® family devices have Power on Reset, selectable Watchdog Timer, selectable code protect and high I/O current capability. All PIC16F627A/628A/648A family devices use serial programming with clock pin RB6 and data pin RB7.



<sup>101</sup> (<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40044F.pdf>)

## Funciones Puerto A

| Name            | Function | Input Type | Output Type | Description   |
|-----------------|----------|------------|-------------|---|
| RA0/AN0         | RA0      | ST         | CMOS        | Bidirectional I/O port  |
|                 | AN0      | AN         | —           | Analog comparator input   |
| RA1/AN1         | RA1      | ST         | CMOS        | Bidirectional I/O port  |
|                 | AN1      | AN         | —           | Analog comparator input   |
| RA2/AN2/VREF    | RA2      | ST         | CMOS        | Bidirectional I/O port  |
|                 | AN2      | AN         | —           | Analog comparator input   |
|                 | VREF     | —          | AN          | VREF output   |
| RA3/AN3/CMP1    | RA3      | ST         | CMOS        | Bidirectional I/O port  |
|                 | AN3      | AN         | —           | Analog comparator input   |
|                 | CMP1     | —          | CMOS        | Comparator 1 output   |
| RA4/T0CKI/CMP2  | RA4      | ST         | OD          | Bidirectional I/O port. Output is open drain type.  |
|                 | T0CKI    | ST         | —           | External clock input for TMR0 or comparator output  |
|                 | CMP2     | —          | OD          | Comparator 2 output   |
| RA5/MCLR/VPP    | RA5      | ST         | —           | Input port  |
|                 | MCLR     | ST         | —           | Master clear. When configured as MCLR, this pin is an active low Reset to the device. Voltage on MCLR/VPP must not exceed VDD during normal device operation. |
|                 | VPP      | HV         | —           | Programming voltage input   |
| RA6/OSC2/CLKOUT | RA6      | ST         | CMOS        | Bidirectional I/O port  |
|                 | OSC2     | —          | XTAL        | Oscillator crystal output. Connects to crystal resonator in Crystal Oscillator mode.  |
|                 | CLKOUT   | —          | CMOS        | In RC or INTOSC mode. OSC2 pin can output CLKOUT, which has 1/4 the frequency of OSC1.  |
| RA7/OSC1/CLKIN  | RA7      | ST         | CMOS        | Bidirectional I/O port  |
|                 | OSC1     | XTAL       | —           | Oscillator crystal input. Connects to crystal resonator in Crystal Oscillator mode.   |
|                 | CLKIN    | ST         | —           | External clock source input. RC biasing pin.  |

Legend: O = Output                      CMOS = CMOS Output                      P = Power  
 — = Not used                      I = Input                      ST = Schmitt Trigger Input  
 TTL = TTL Input                      OD = Open Drain Output                      AN = Analog

## Funciones Puerto B

| Name                | Function | Input Type | Output Type | Description   |
|---------------------|----------|------------|-------------|---|
| RB0/INT             | RB0      | TTL        | CMOS        | Bidirectional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.   |
|                     | INT      | ST         | —           | External interrupt  |
| RB1/RX/DT           | RB1      | TTL        | CMOS        | Bidirectional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.   |
|                     | RX       | ST         | —           | USART Receive Pin   |
|                     | DT       | ST         | CMOS        | Synchronous data I/O  |
| RB2/TX/CK           | RB2      | TTL        | CMOS        | Bidirectional I/O port  |
|                     | TX       | —          | CMOS        | USART Transmit Pin  |
|                     | CK       | ST         | CMOS        | Synchronous Clock I/O. Can be software programmed for internal weak pull-up.  |
| RB3/CCP1            | RB3      | TTL        | CMOS        | Bidirectional I/O port. Can be software programmed for internal weak pull-up.   |
|                     | CCP1     | ST         | CMOS        | Capture/Compare/PWM I/O   |
| RB4/PGM             | RB4      | TTL        | CMOS        | Bidirectional I/O port. Interrupt-on-pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.  |
|                     | PGM      | ST         | —           | Low-voltage programming input pin. When low-voltage programming is enabled, the interrupt-on-pin change and weak pull-up resistor are disabled. |
| RB5                 | RB5      | TTL        | CMOS        | Bidirectional I/O port. Interrupt-on-pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.  |
| RB6/T1OSO/T1CKI/PGC | RB6      | TTL        | CMOS        | Bidirectional I/O port. Interrupt-on-pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.  |
|                     | T1OSO    | —          | XTAL        | Timer1 Oscillator Output  |
|                     | T1CKI    | ST         | —           | Timer1 Clock Input  |
|                     | PGC      | ST         | —           | ICSP™ Programming Clock   |
| RB7/T1OSI/PGD       | RB7      | TTL        | CMOS        | Bidirectional I/O port. Interrupt-on-pin change. Can be software programmed for internal weak pull-up.  |
|                     | T1OSI    | XTAL       | —           | Timer1 Oscillator Input   |
|                     | PGD      | ST         | CMOS        | ICSP I/O  |

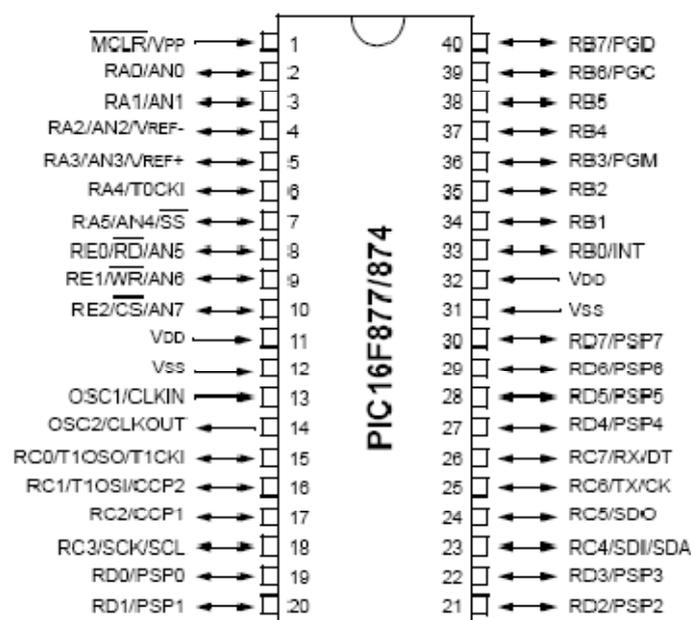
Legend: O = Output                      CMOS = CMOS Output                      P = Power  
 — = Not used                            I = Input    ST = Schmitt Trigger Input  
 TTL = TTL Input                            OD = Open Drain Output                      AN = Analog

Características de la familia de microcontroladores PIC16F873A/874A/876A/877A<sup>102</sup>

| Device     | Program Memory |                            | Data SRAM (Bytes) | EEPROM (Bytes) | I/O | 10-bit A/D (ch) | CCP (PWM) | MSSP |                         | USART | Timers 8/16-bit | Comparators |
|------------|----------------|----------------------------|-------------------|----------------|-----|-----------------|-----------|------|-------------------------|-------|-----------------|-------------|
|            | Bytes          | # Single Word Instructions |                   |                |     |                 |           | SPI  | Master I <sup>2</sup> C |       |                 |             |
| PIC16F873A | 7.2K           | 4096                       | 192               | 128            | 22  | 5               | 2         | Yes  | Yes                     | Yes   | 2/1             | 2           |
| PIC16F874A | 7.2K           | 4096                       | 192               | 128            | 33  | 8               | 2         | Yes  | Yes                     | Yes   | 2/1             | 2           |
| PIC16F876A | 14.3K          | 8192                       | 368               | 256            | 22  | 5               | 2         | Yes  | Yes                     | Yes   | 2/1             | 2           |
| PIC16F877A | 14.3K          | 8192                       | 368               | 256            | 33  | 8               | 2         | Yes  | Yes                     | Yes   | 2/1             | 2           |

## Diagrama de pines

## PDIP



## Funciones puerto A

| Name                | Bit#  | Buffer | Function   |
|---------------------|-------|--------|--|
| RA0/AN0             | bit 0 | TTL    | Input/output or analog input.  |
| RA1/AN1             | bit 1 | TTL    | Input/output or analog input.  |
| RA2/AN2/VREF-/CVREF | bit 2 | TTL    | Input/output or analog input or VREF- or CVREF.  |
| RA3/AN3/VREF+       | bit 3 | TTL    | Input/output or analog input or VREF+.   |
| RA4/T0CKI/C1OUT     | bit 4 | ST     | Input/output or external clock input for Timer0 or comparator output. Output is open-drain type.     |
| RA5/AN4/SS/C2OUT    | bit 5 | TTL    | Input/output or analog input or slave select input for synchronous serial port or comparator output. |

Legend: TTL = TTL input, ST = Schmitt Trigger input

<sup>102</sup> (<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf>)

## Funciones puerto B

| Name                   | Bit#  | Buffer                | Function   |
|------------------------|-------|-----------------------|--|
| RB0/INT                | bit 0 | TTL/ST <sup>(1)</sup> | Input/output pin or external interrupt input. Internal software programmable weak pull-up.   |
| RB1                    | bit 1 | TTL                   | Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.   |
| RB2                    | bit 2 | TTL                   | Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.   |
| RB3/PGM <sup>(3)</sup> | bit 3 | TTL                   | Input/output pin or programming pin in LVP mode. Internal software programmable weak pull-up.  |
| RB4                    | bit 4 | TTL                   | Input/output pin (with interrupt-on-change). Internal software programmable weak pull-up.  |
| RB5                    | bit 5 | TTL                   | Input/output pin (with interrupt-on-change). Internal software programmable weak pull-up.  |
| RB6/PGC                | bit 6 | TTL/ST <sup>(2)</sup> | Input/output pin (with interrupt-on-change) or in-circuit debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming clock. |
| RB7/PGD                | bit 7 | TTL/ST <sup>(2)</sup> | Input/output pin (with interrupt-on-change) or in-circuit debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming data.  |

**Legend:** TTL = TTL input, ST = Schmitt Trigger input

**Note 1:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.

**2:** This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode or in-circuit debugger.

**3:** Low-Voltage ICSP Programming (LVP) is enabled by default which disables the RB3 I/O function. LVP must be disabled to enable RB3 as an I/O pin and allow maximum compatibility to the other 28-pin and 40-pin mid-range devices.

## Funciones puerto C

| Name            | Bit#  | Buffer Type | Function  |
|-----------------|-------|-------------|---|
| RC0/T1OSO/T1CKI | bit 0 | ST          | Input/output port pin or Timer1 oscillator output/Timer1 clock input.                           |
| RC1/T1O3I/CCP2  | bit 1 | ST          | Input/output port pin or Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output. |
| RC2/CCP1        | bit 2 | ST          | Input/output port pin or Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.                            |
| RC3/SCK/SCL     | bit 3 | ST          | RC3 can also be the synchronous serial clock for both SPI and I <sup>2</sup> C modes.           |
| RC4/SDI/SDA     | bit 4 | ST          | RC4 can also be the SPI data in (SPI mode) or data I/O (I <sup>2</sup> C mode).                 |
| RC5/SDO         | bit 5 | ST          | Input/output port pin or Synchronous Serial Port data output.                                   |
| RC6/TX/CK       | bit 6 | ST          | Input/output port pin or USART asynchronous transmit or synchronous clock.                      |
| RC7/RX/DT       | bit 7 | ST          | Input/output port pin or USART asynchronous receive or synchronous data                         |

**Legend:** ST – Schmitt Trigger input

## Funciones puerto D

| Name     | Bit#  | Buffer Type           | Function  |
|----------|-------|-----------------------|---|
| RD0/PSP0 | bit 0 | ST/TTL <sup>(1)</sup> | Input/output port pin or Parallel Slave Port bit 0. |
| RD1/PSP1 | bit 1 | ST/TTL <sup>(1)</sup> | Input/output port pin or Parallel Slave Port bit 1. |
| RD2/PSP2 | bit 2 | ST/TTL <sup>(1)</sup> | Input/output port pin or Parallel Slave Port bit 2. |
| RD3/PSP3 | bit 3 | ST/TTL <sup>(1)</sup> | Input/output port pin or Parallel Slave Port bit 3. |
| RD4/PSP4 | bit 4 | ST/TTL <sup>(1)</sup> | Input/output port pin or Parallel Slave Port bit 4. |
| RD5/PSP5 | bit 5 | ST/TTL <sup>(1)</sup> | Input/output port pin or Parallel Slave Port bit 5. |
| RD6/PSP6 | bit 6 | ST/TTL <sup>(1)</sup> | Input/output port pin or Parallel Slave Port bit 6. |
| RD7/PSP7 | bit 7 | ST/TTL <sup>(1)</sup> | Input/output port pin or Parallel Slave Port bit 7. |

**Legend:** ST = Schmitt Trigger input, TTL = TTL input

**Note 1:** Input buffers are Schmitt Triggers when in I/O mode and TTL buffers when in Parallel Slave Port mode.

## Funciones puerto E

| Name                      | Bit#  | Buffer Type           | Function  |
|---------------------------|-------|-----------------------|---|
| RE3/ $\overline{RD}$ /AN5 | bit 0 | ST/TTL <sup>(1)</sup> | /O port pin or read control input in Parallel Slave Port mode or analog input:<br>$\overline{RD}$<br>1 = Idle<br>0 = Read operation. Contents of PORTD register are output to PORTD I/O pins (if chip selected)   |
| RE1/ $\overline{WR}$ /AN6 | bit 1 | ST/TTL <sup>(1)</sup> | /O port pin or write control input in Parallel Slave Port mode or analog input:<br>$\overline{WR}$<br>1 = Idle<br>0 = Write operation. Value of PORTD I/O pins is latched into PORTD register (if chip selected). |
| RE2/ $\overline{CS}$ /AN7 | bit 2 | ST/TTL <sup>(1)</sup> | /O port pin or chip select control input in Parallel Slave Port mode or analog input:<br>$\overline{CS}$<br>1 = Device is not selected<br>0 = Device is selected  |

**Legend:** ST = Schmitt Trigger input, TTL = TTL input

**Note 1:** Input buffers are Schmitt Triggers when in I/O mode and TTL buffers when in Parallel Slave Port mode.

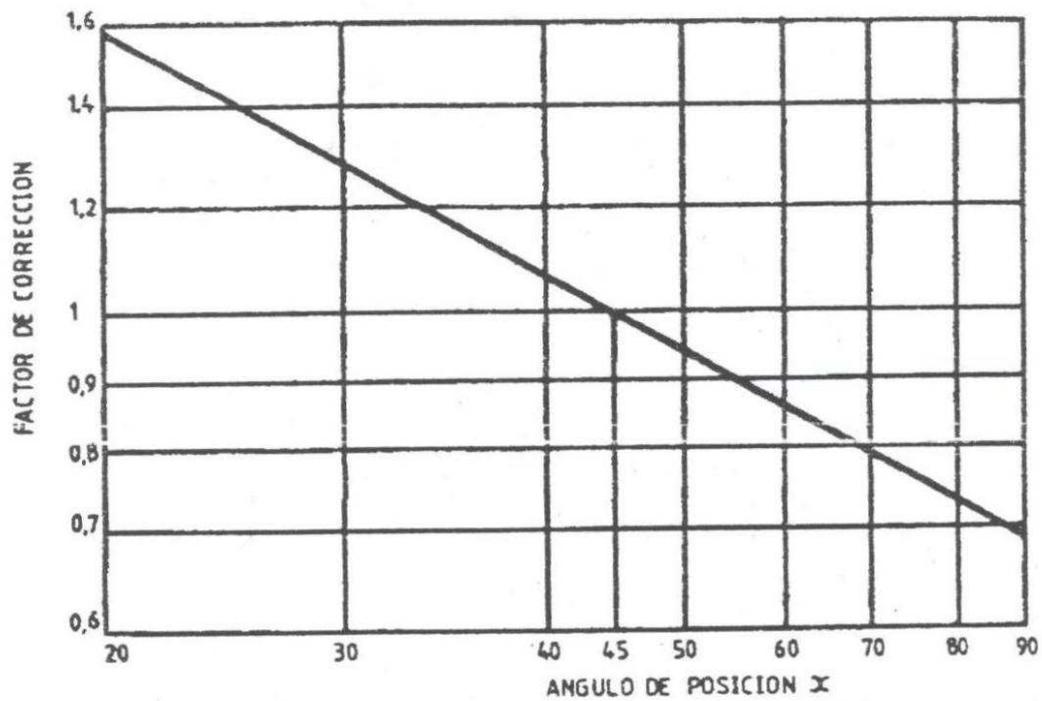
Anexo N.- Plano de conexiones de PLC y Pics

## **PLANO DE CONEXIONES DE PLC Y Pics**

Anexo O.- Programa del PLC.

# **PROGRAMA DEL PLC.**

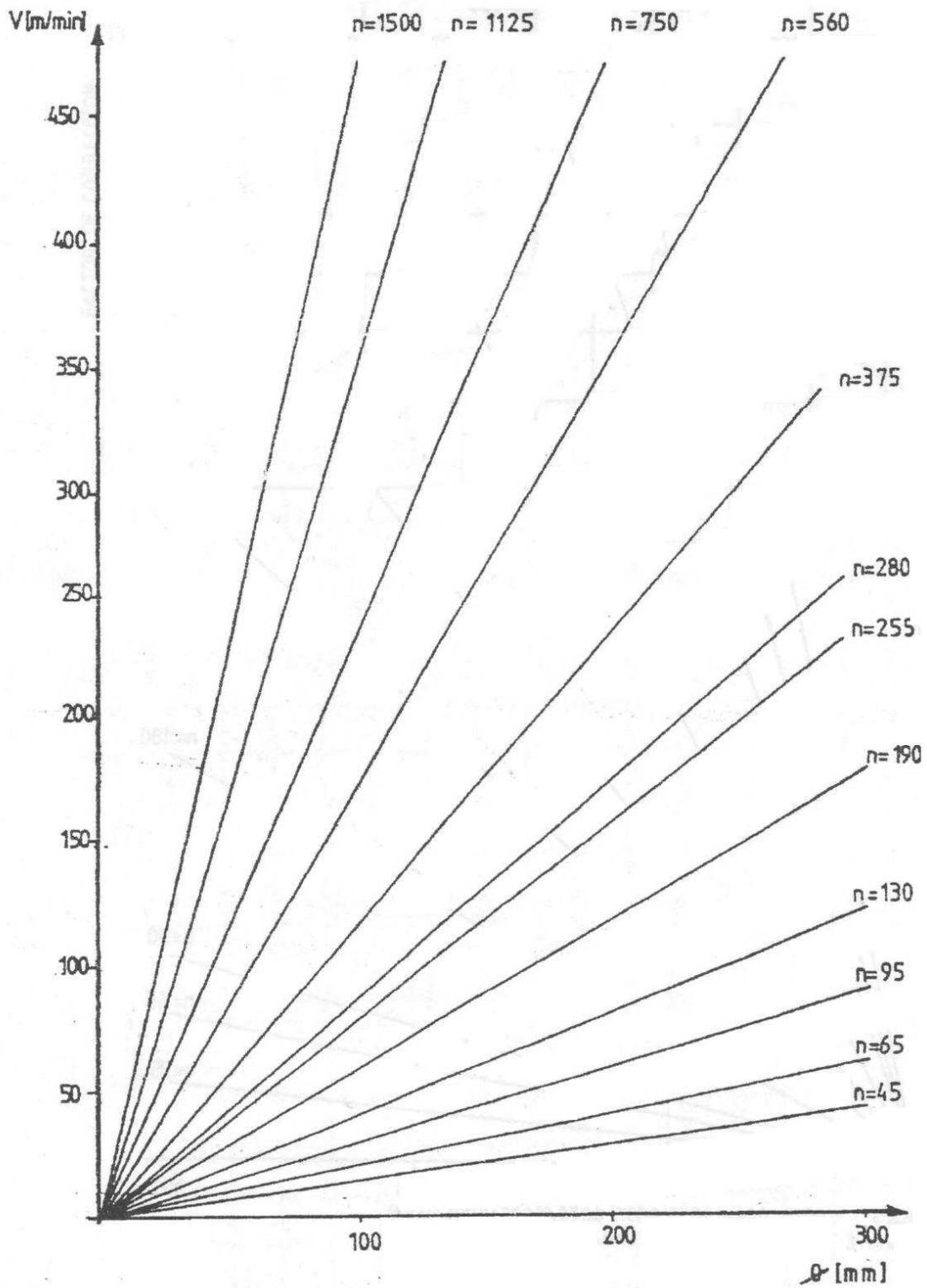
## Anexo P.- Ángulo de corrección de la cuchilla



103

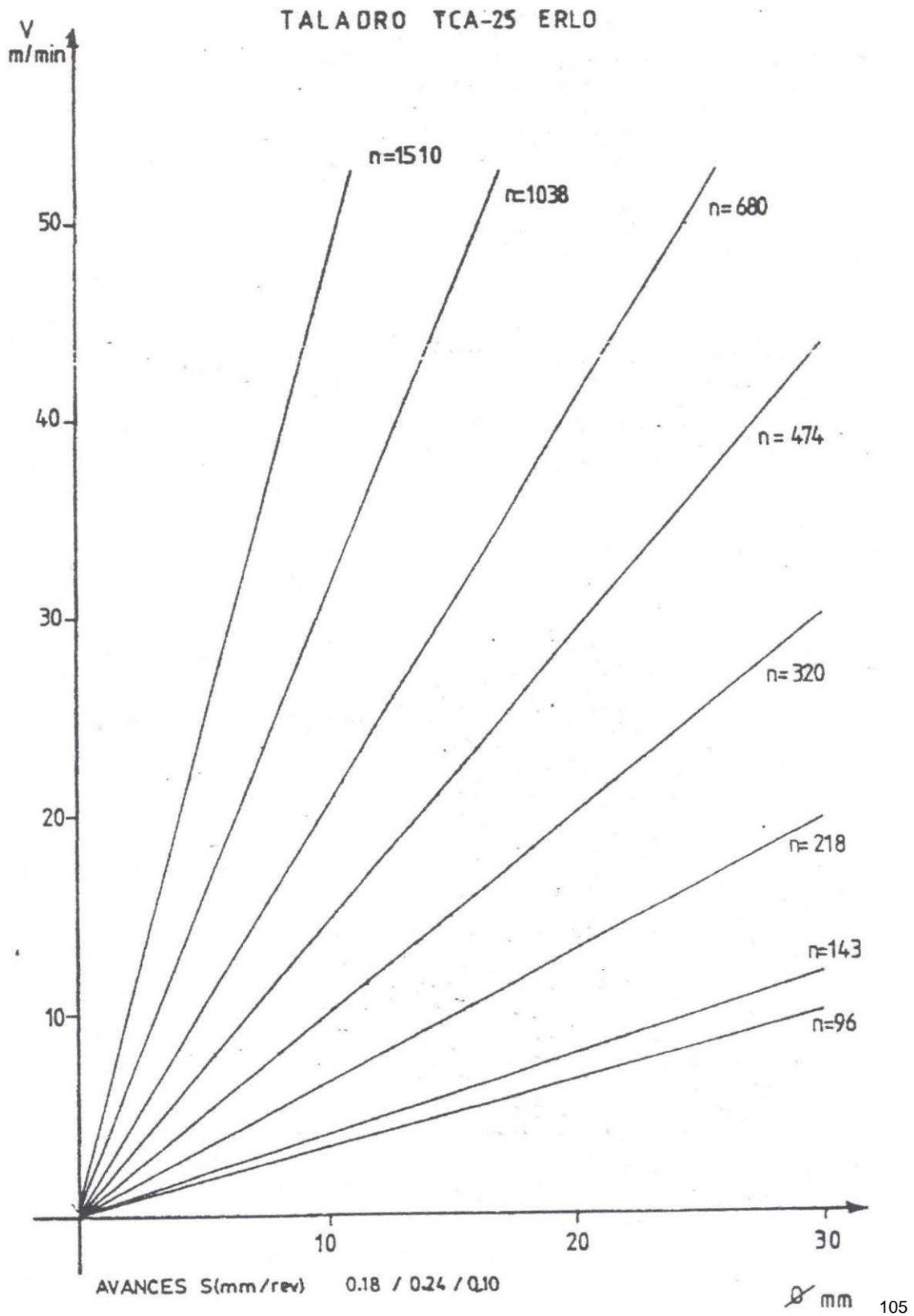
<sup>103</sup> VELASTEGUÍ T., (2004), "Producción por virutaje", Ed. EPN. Ecuador.

## Anexo Q.- Velocidad del torno Nosotti



104

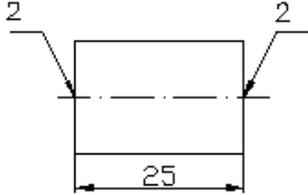
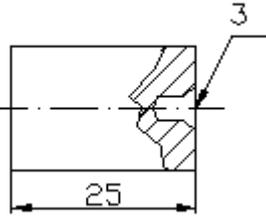
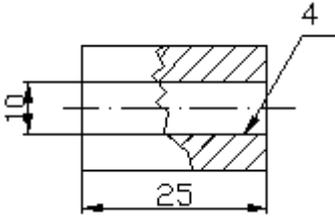
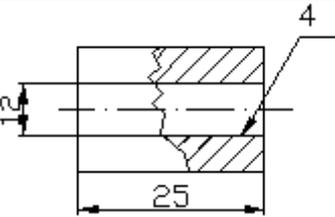
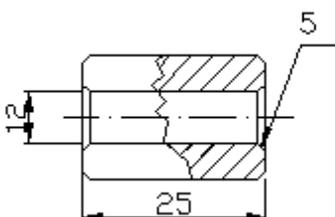
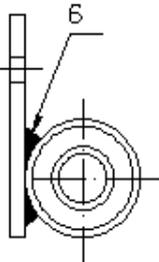
## Anexo R.- Velocidad del taladro Erlo



## Anexo S.- Hojas de procesos

| <b>FIM</b> |          | <b>Hoja de procesos 1</b> |                 |                        | Nombre:                       | P. CAZCO, A. GARCÍA |          |            |            |             |         |          |
|------------|----------|---------------------------|-----------------|------------------------|-------------------------------|---------------------|----------|------------|------------|-------------|---------|----------|
| Escala     | Material | Dimensiones en bruto      |                 | Medidas sin tolerancia |                               | Eje x               |          |            |            |             |         |          |
| 1:2        | Acero    | 770 mm Ø32                |                 | 762 mm Ø32             |                               |                     |          |            |            |             |         |          |
|            |          |                           |                 |                        |                               |                     |          |            |            |             |         |          |
| Fase       | Subfase  | Operación                 | Denominación    | Croquis                | Herramienta utilizada         | Comprobación        | Nº pasos | V<br>m/min | n<br>r.p.m | s<br>mm/rev | P<br>mm | T<br>min |
| 1          | 1.1      | 1.1.1                     | Cortar a medida |                        | Sierra vaivén                 | Calibrador          | 1        |            |            |             |         |          |
| 2          | 2.1      | 2.1.1                     | Refrentar       |                        | Torno<br>Cuchilla             | Calibrador          | 1        |            | 560        |             |         |          |
| 2          | 2.2      | 2.2.1                     | Tomar centros   |                        | Torno<br>Broca de centros     | Calibrador          | 1        |            | 560        |             |         |          |
| 2          | 2.2      | 2.2.2                     | Tornear         |                        | Torno<br>Cuchilla             | Calibrador          | 2        |            | 560        |             |         |          |
| 2          | 2.2      | 2.2.3                     | Acanalar        |                        | Torno<br>Cuchilla de acanalar | Calibrador          | 1        |            | 750        |             |         |          |

| FIM   |          | Hoja de procesos 2   |                 | Nombre:                | P. CAZCO, A. GARCÍA         |                |          |       |       |        |    |     |
|---|----------|----------------------|-----------------|------------------------|-----------------------------|----------------|----------|-------|-------|--------|----|-----|
| Escala  | Material | Dimensiones en bruto |                 | Medidas sin tolerancia |                             | Soporte de eje |          |       |       |        |    |     |
| 1:1   | Acero    | 50x25 mm             |                 | 25x45mm                |                             |                |          |       |       |        |    |     |
| <p>The drawing shows a technical drawing of a part. The front view shows a rectangular part with a total width of 25 mm and a total height of 45 mm. There are two holes, each with a diameter of 6.5 mm, spaced 8.5 mm apart from the center. The distance from the top edge to the center of the holes is 6.5 mm. The bottom edge has a chamfered finish with a radius of R 24. The side view shows a cylindrical part with a diameter of 12 mm and a length of 29 mm. The chamfered edge has a radius of R 24.</p> |          |                      |                 |                        |                             |                |          |       |       |        |    |     |
| Fase  | Subfase  | Operación            | Denominación    | Croquis                | Herramienta utilizada       | Comprobación   | Nº pasos | V     | n     | s      | P  | T   |
|   |          |                      |                 |                        |                             |                |          | m/min | r.p.m | mm/rev | mm | min |
| 1   | 1.1      | 1.1.1                | Cortar a medida |                        | Amoladora<br>Disco de corte | Calibrador     |          |       |       |        |    |     |
| 2   | 2.1      | 2.1.1                | Taladrar        |                        | Taladro<br>Broca de 5 mm Ø  | Calibrador     |          |       |       |        |    |     |
| 3   | 3.1      | 3.1.1                | Cortar ejes     |                        | Sierra vai vén              | Calibrador     |          |       |       |        |    |     |

| Fase | Subfase | Operación | Denominación    | Croquis  | Herramienta utilizada           | Comprobación | Nº pasos | V     | n     | s      | P  | T   |
|------|---------|-----------|-----------------|--|---------------------------------|--------------|----------|-------|-------|--------|----|-----|
|      |         |           |                 |  |                                 |              |          | m/min | r.p.m | mm/rev | mm | min |
| 3    | 3.1     | 3.1.1     | Refrentar caras |    | Torno<br>Cuchilla               | Calibrador   | 1        |       | 560   |        |    |     |
| 3    | 3.2     | 3.2.1     | Tomar centros   |    | Torno<br>Broca de centros       | Calibrador   | 1        |       | 560   |        |    |     |
| 4    | 4.1     | 4.1.1     | Taladrar        |   | Torno<br>Broca                  |              |          |       |       |        |    |     |
| 5    | 5.1     | 5.1.1     | Tornear         |  | Torno<br>Cuchilla de interiores | Calibrador   | 1        |       | 750   |        |    |     |
| 5    | 5.2     | 5.2.1     | Chaflanar       |  | Torno<br>Cuchilla               | Calibrador   | 1        |       | 750   |        |    |     |
| 6    | 6.1     | 6.1.1     | Soldar          |   | Soldadora<br>Electrodo          | Calibrador   | 1        |       |       |        |    |     |

| FIM    |          | Hoja de procesos 3   |                       | Nombre:                |                             | P. CAZCO, A. GARCÍA |          |       |       |        |    |     |
|--------|----------|----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------|----------|-------|-------|--------|----|-----|
| Escala | Material | Dimensiones en bruto |                       | Medidas sin tolerancia |                             | Columna y base      |          |       |       |        |    |     |
| 1:2    | Acero    | 6000mm ; 25x100 mm   |                       | 600mm; 25x75mm         |                             |                     |          |       |       |        |    |     |
|        |          |                      |                       |                        |                             |                     |          |       |       |        |    |     |
| Fase   | Subfase  | Operación            | Denominación          | Croquis                | Herramienta utilizada       | Comprobación        | N° pasos | V     | n     | s      | P  | T   |
|        |          |                      |                       |                        |                             |                     |          | m/min | r.p.m | mm/rev | mm | min |
| 1      | 1.1      | 1.1.1                | Cortar tubo a medida  |                        | Sierra vaivén               | Calibrador          | 1        |       |       |        |    |     |
| 2      | 2.1      | 2.1.1                | Cortar placa a medida |                        | Amoladora<br>Disco de corte | Calibrador          |          |       |       |        |    |     |

| Fase | Subfase | Operación | Denominación | Croquis | Herramienta utilizada    | Comprobación | N° pasos |       |        |   |   |  |  |
|------|---------|-----------|--------------|---------|--------------------------|--------------|----------|-------|--------|---|---|--|--|
|      |         |           |              |         |                          |              | m/min    | r.p.m | mm/rev | P | T |  |  |
| 2    | 2.2     | 2.2.1     | Taladrar     |         | Tomo<br>Broca de centros | Calibrador   | 1        |       | 750    |   |   |  |  |
| 2    | 2.2     | 2.2.2     | Soldar       |         | Soldadora<br>Electrodo   | Calibrador   | 1        |       |        |   |   |  |  |

| FIM    |          | Hoja de procesos 4   |                            |         | Nombre:                        | P. CAZCO, A. GARCÍA |          |   |     |   |   |   |
|--------|----------|----------------------|----------------------------|---------|--------------------------------|---------------------|----------|---|-----|---|---|---|
| Escala | Material | Dimensiones en bruto |                            |         | Medidas sin tolerancia         |                     | Buje     |   |     |   |   |   |
| 1:2    | Acero    | mm                   |                            |         | mm                             |                     |          |   |     |   |   |   |
|        |          |                      |                            |         |                                |                     |          |   |     |   |   |   |
| Fase   | Subfase  | Operación            | Denominación               | Croquis | Herramienta utilizada          | Comprobación        | Nº pasos | V | n   | s | P | T |
| 1      | 1.1      | 1.1.1                | Cortar a medida            |         | Sierra vaivén                  | Calibrador          | 1        |   |     |   |   |   |
| 2      | 2.1      | 2.1.1                | Taladrar agujeros de 4mm   |         | Taladro Broca                  | Calibrador          | 1        |   | 680 |   |   |   |
| 2      | 2.2      | 2.2.2                | Taladrar agujeros de 13 mm |         | Taladro Broca $\varnothing 13$ | Calibrador          | 1        |   | 680 |   |   |   |

## MANUAL DE OPERACIÓN

### Objetivo:

- Exponer las partes del prototipo de robot cartesiano.
- Explicar los controles existentes en el robot cartesiano.
- Establecer los pasos básicos para la operación.

### PARTES

El robot cartesiano consta de las siguientes partes

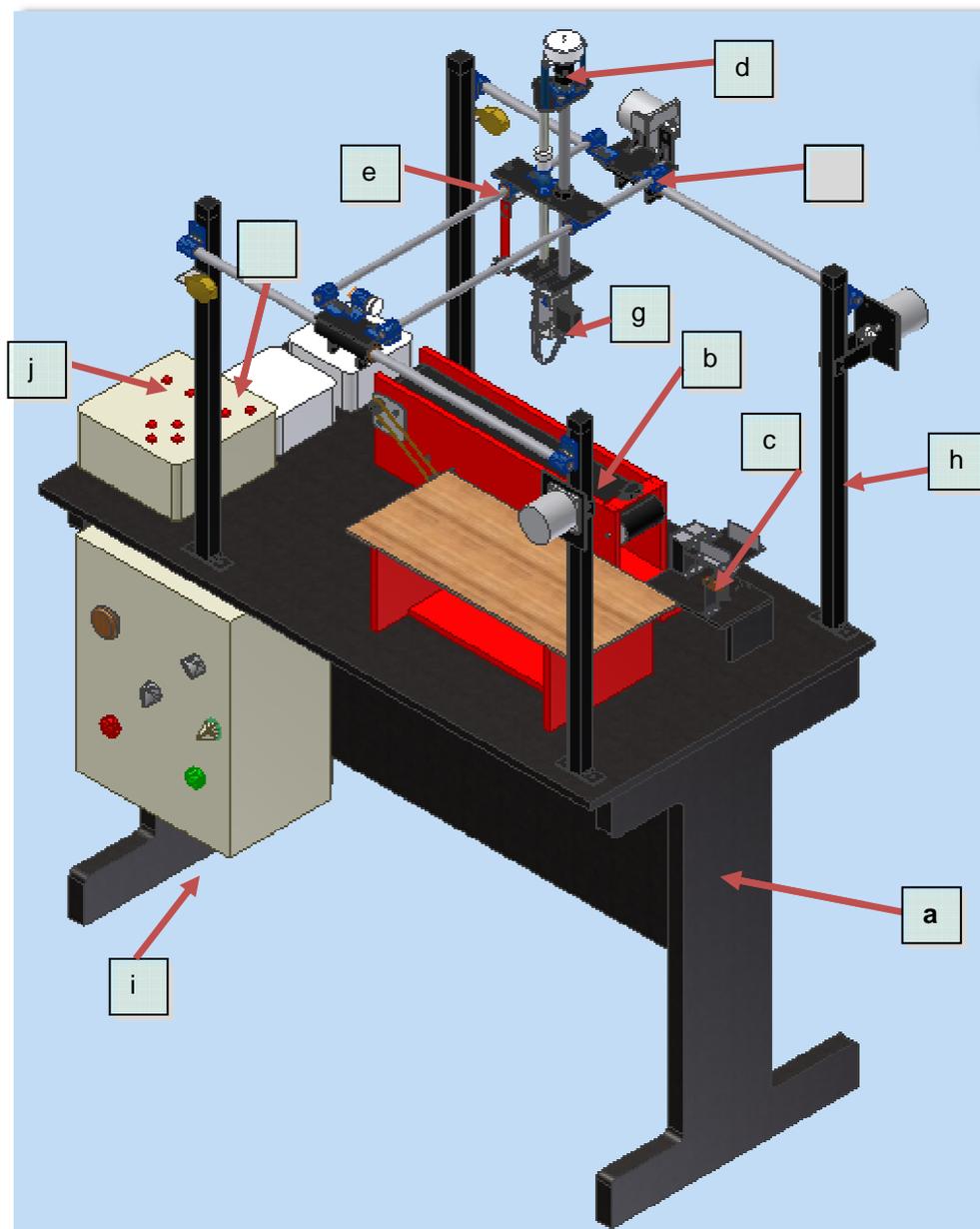


Figura 1. Robot cartesiano

- |                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| a) Bancada              | g) Pinza                 |
| b) Banda transportadora | h) Bastidor              |
| c) Sensor de peso       | i) Control central – PLC |
| d) Carro en z           | j) Control manual        |
| e) Carro en y           | k) PIC's                 |
| f) Carro en x           |                          |

## CONTROL MANUAL Y AUTOMÁTICO

Los botones del control central se indican en la siguiente figura:

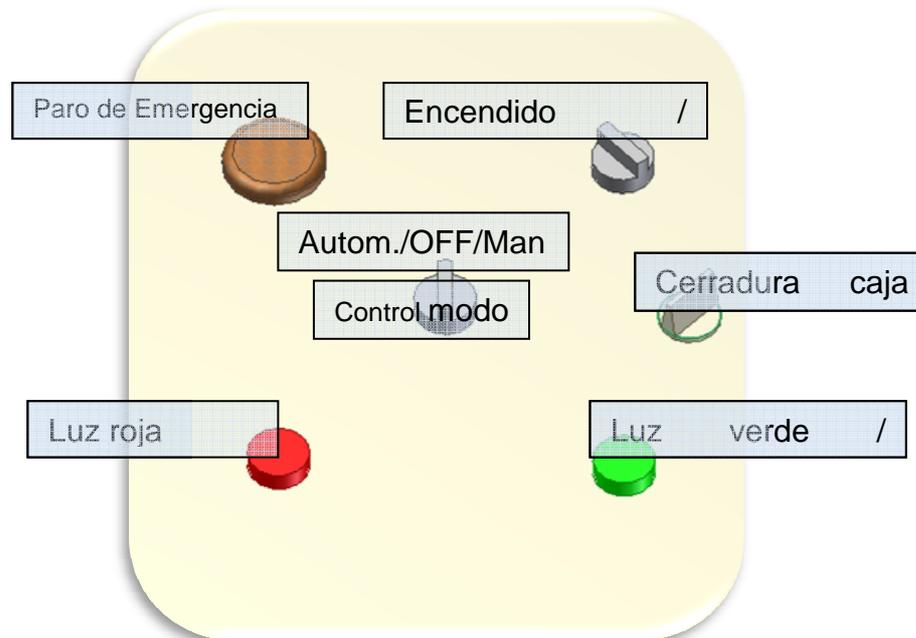


Figura 2. Elementos del control central

La perilla encendido/apagado es el control general de energía de todo el robot. Solo se lo puede ubicar en dos posiciones.

La perilla de control de modo es el selector que se encuentra en la parte central del panel. Este selector tiene tres posiciones: control automático a la izquierda, off en la mitad y control manual a la derecha.

Existe el pulsador paro de emergencia ubicado en la parte superior izquierda

La luz piloto verde indica que el robot se encuentra encendido y además en alguna de las posiciones automático o manual.

La luz piloto roja indica que se encuentra presionado el botón paro de emergencia.

Los botones del control manual se indican en la siguiente figura:

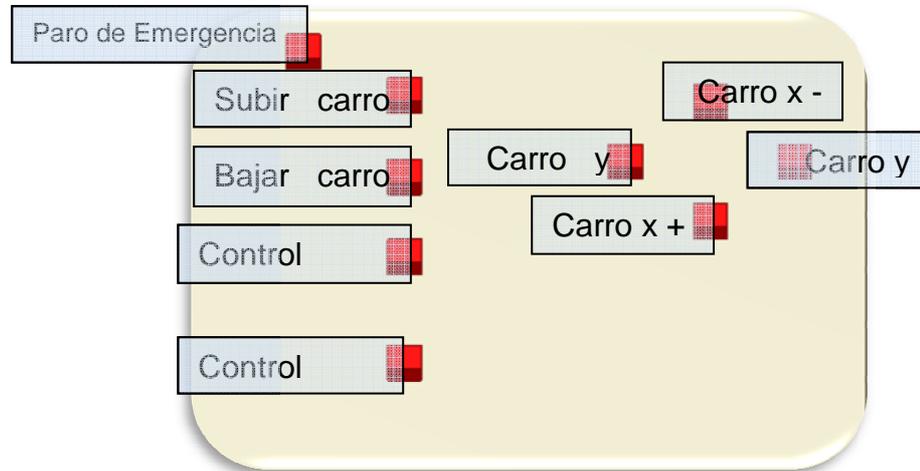


Figura 3. Elementos del control manual

### ***Botones tipo interruptor***

Estos tipos de botones sólo necesitan ser pulsados una vez para que se produzca la acción. Estos botones son los del control de la pinza y el paro de emergencia

### ***Botones pulsadores***

Con estos botones se necesita mantenerlos presionados para que se produzca la acción. Estos botones se encuentran colocados para el control de la banda y para el control de los carros en x, y y en z.

### **FUNCIONAMIENTO:**

El funcionamiento depende de los dos modos existentes en el robot. Sin embargo se establecen los siguientes pasos previos para cualquiera de los modos seleccionados.

#### **- Pasos preliminares**

1. Limpiar los ejes guía
2. Poner aceite sobre los ejes
3. Asegurar que no existan elementos extraños en las zonas de desplazamiento del robot
4. Conectar el cable de la fuente
5. Girar la perilla de encendido hacia la derecha

- **Modo manual**

El control en el modo manual se lo realiza a través de la caja control manual.

1. Girar la perilla de control de modo hacia la derecha.
2. Para mover los carros se utilizan los botones anteriormente explicados.
3. Dependiendo del tipo de botón, si es pulsador se deberá mantenerlo presionado o si es interruptor solo se deberá presionarlo una vez.

- **Modo automático**

El control en el modo automático es realizado mediante el PLC.

1. Verificar que los carros no se encuentren ubicados en los límites de sus carreras.
  - a. Si se encuentran en los límites.
    - Ingresar al modo manual.
    - Mediante los controles ubicar a los carros distantes de los límites de sus carreras.
    - Ir al paso 2.
  - b. Si no se encuentran en los límites.
    - Ir al paso 2.
2. Girar la perilla de control de modo hacia la izquierda.
3. Ubicar una probeta en la banda transportadora.
4. El robot automáticamente se dirigirá hacia la posición home.
5. El robot procederá a clasificar las probetas que se sigan ubicando en la banda transportadora.

- **Apagar**

1. Girar la perilla de control de modo hacia el centro.
2. Girar la perilla de encendido hacia la izquierda.

Anexo U.- Fotografías

# FOTOGRAFÍAS



Figura Nº 1 Conexión de circuitos

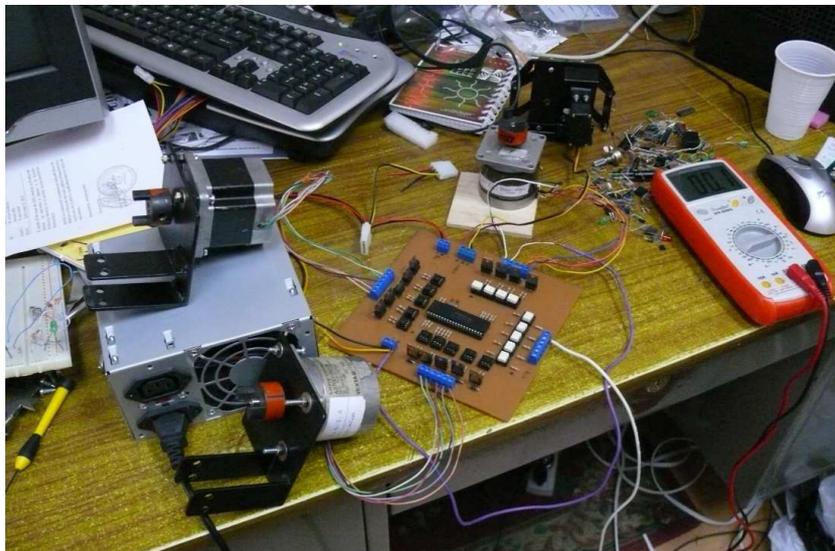


Figura Nº 2 Placa para motores x



Figura N° 3 Proceso de armar el robot



Figura N° 4 Proceso de conexión de circuitos



Figura N° 5 Cableado caja PLC



Figura N° 6 Cableado caja PIC motor x