



# **ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE  
SISTEMA AUTOMATIZADO DE ALMACENAMIENTO/  
RECUPERACIÓN (AS/RS), PARA SISTEMAS FLEXIBLES DE  
MANUFACTURA EN EL LABORATORIO CNC DE LA ESPE  
EXTENSIÓN LATACUNGA, UTILIZANDO PROCESAMIENTO  
DIGITAL DE IMÁGENES.**

**AUTORES:       CAPILLA FALCÓN CARLOS ALBERTO**

**PULLOQUINGA ZAPATA JOSÉ LUIS**

**DIRECTOR:     ING. ACUÑA FAUSTO**

**CODIRECTOR:  ING. GALARZA EDDIE**

**LATACUNGA, SEPTIEMBRE DE 2014**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**CERTIFICADO**

ING. FAUSTO ACUÑA (DIRECTOR)  
ING. EDDIE GALARZA (CODIRECTOR)

**CERTIFICAN:**

Que el trabajo titulado **“Diseño y construcción de un prototipo de sistema automatizado de almacenamiento/ recuperación (AS/RS), para sistemas flexibles de manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE extensión Latacunga, utilizando procesamiento digital de imágenes.”** realizado por CAPILLA FALCÓN CARLOS ALBERTO Y PULLOQUINGA ZAPATA JOSÉ LUIS, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.

Debido a que constituye un trabajo con contenido científico, que aportará al desarrollo profesional y educativo si aprobamos su publicación.

Latacunga, Septiembre del 2014.

---

ING. FAUSTO ACUÑA  
DIRECTOR

---

ING. EDDIE GALARZA  
CODIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMANDAS-ESPE  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**NOSOTROS, CAPILLA FALCÓN CARLOS ALBERTO  
PULLOQUINGA ZAPATA JOSÉ LUIS**

**DECLARAMOS QUE:**

El proyecto de grado denominado **“Diseño y construcción de un prototipo de sistema automatizado de almacenamiento/ recuperación (AS/RS), para sistemas flexibles de manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE extensión Latacunga, utilizando procesamiento digital de imágenes.”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan el pie de las páginas correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Septiembre del 2014.

---

CAPILLA FALCÓN CARLOS ALBERTO

C.C. 050335531-5

---

PULLOQUINGA ZAPATA JOSÉ LUIS

C.C. 050236272-6

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTORIZACIÓN**

**NOSOTROS, CAPILLA FALCÓN CARLOS ALBERTO  
PULLOQUINGA ZAPATA JOSÉ LUIS**

Autorizamos a la UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMANDAS-ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo **“Diseño y construcción de un prototipo de sistema automatizado de almacenamiento/ recuperación (AS/RS), para sistemas flexibles de manufactura en el Laboratorio CNC de la ESPE extensión Latacunga, utilizando procesamiento digital de imágenes.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Septiembre del 2014.

---

CAPILLA FALCÓN CARLOS ALBERTO

C.C. 050335531-5

---

PULLOQUINGA ZAPATA JOSÉ LUIS

C.C. 050236272-6

## DEDICATORIA

Primero dedico este trabajo a Dios, por haberme dado salud y vida, por haberme entregado una oportunidad de superación en mi vida profesional. Gracias Dios por haberme guiado y apoyado cuando más lo necesitaba.

A mis padres Rolando y Rosita, por haberme acompañado en el transcurso de mi etapa de estudios, por haber depositado confianza en mí y haberme brindado su apoyo cuando las cosas se pusieron difíciles, ustedes fueron uno de mis pilares fundamentales durante la culminación de este proyecto, gracias por su infinito amor y comprensión.

A el amor de mi vida Cris, gracias por sus sanos consejos y motivación, durante este proyecto. Usted más que nadie supo mantenerme firme y decidido durante la culminación de mis estudios. Gracias por convertirse en mi guía, llevándome de su mano con su gran amor. Gracias por haber creído en mí, su gran ejemplo me impulso para alcanzar este triunfo, espero poder cosechar muchos logros más a su lado. La amo con todo mí ser.

A mi familia y amigos, por haber formado parte durante la elaboración y culminación de este proyecto, siempre los llevare en mi corazón.

**Carlos Alberto Capilla Falcón**

A Dios, por darme fortaleza para seguir cuando todo parece perdido. A mis padres Sixto y Sonia, por su apoyo incondicional, confianza y amor. Gracias padres por todos los consejos que me dieron, los valores que me inculcaron y por enseñarme que “si quieres algo debes luchar hasta alcanzarlo“. A mi hermanita Mary, por tu cariño, apoyo, paciencia y por incentivar me a ser mejor cada día.

**José Luis Pulloquina Zapata**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos con profundo cariño a Dios por todas las bendiciones que nos ha brindado a lo largo de nuestras vidas y por permitirnos culminar esta etapa de nuestras vidas estudiantiles.

A nuestros padres por el esfuerzo y sacrificio que día a día realizan para que seamos personas de bien y productivas para la sociedad. Por su apoyo, confianza e infinita paciencia durante el proceso de este proyecto de grado.

A todos nuestros amigos que de una forma u otro permitieron que este logro sea posible.

A los docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE que nos dedicaron un poco de su escaso tiempo para contestar las numerosas dudas que se generaban durante la realización del proyecto de tesis.

Y de manera especial a los Ingenieros Fausto Acuña y Eddie Galarza por su apoyo académico y moral, que hicieron posible culminar de la mejor forma este proyecto de grado.

## **GRACIAS**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA .....	i
CERTIFICADO .....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT .....	xviii
PRESENTACIÓN .....	xix

### CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	2
1.4. SISTEMA FLEXIBLE DE MANUFACTURA.....	3
1.4.1. COMPONENTES DE UN FMS.....	3
1.5. SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE ALMACENAMIENTO.....	4
1.6. SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE ALMACENAJE Y RECUPERACIÓN (AS/RS).....	4
1.7. TIPOS DE SISTEMAS AS/RS.....	5
1.7.1. AS/RS DE UNIDAD DE CARGA (UNIT LOAD AS/RS).....	5
1.7.2. DEEP-LANE AS/RS.....	6
1.7.3. AS/RS DE MINICARGA (MINILOAD AS/RS).....	6
1.7.4. AS/RS DE HOMBRE A BORDO (MAN-ON-BOARD AS/RS).....	6
1.7.5. SISTEMA AUTOMATIZADO DE RECUPERACIÓN DE ARTÍCULO (AUTOMATED ITEM RETRIEVAL SYSTEM).....	6
1.8. COMPONENTES DE UN AS/RS.....	6
1.8.1. ESTRUCTURA DE ALMACENAMIENTO.....	6
1.8.2. MÁQUINA S/R.....	7

1.8.3. MÓDULOS DE ALMACENAJE.....	8
1.8.4. ESTACIONES P&D.....	8
1.8.5. SISTEMA DE CONTROL.....	8
1.9. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS AS/RS.....	9
1.10. ANÁLISIS DE SISTEMAS DE ALMACENAJE Y RECUPERACIÓN AUTOMATIZADOS (AS/RS).....	9
1.10.1. TAMAÑO DE LA ESTRUCTURA DE ALMACENAMIENTO DEL AS/RS.....	9
1.10.2. RENDIMIENTO DEL AS/RS.....	11
1.11. ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....	11
1.11.1. iCIM 3000.....	11
1.11.2. DLFA- AS/RS(A).....	12
1.11.3. ASRS-36U.....	13
1.12. TRANSMISIÓN MECÁNICA.....	14
1.12.1. TRANSMISIONES RÍGIDAS.....	14
1.12.2. TRANSMISIONES FLEXIBLES.....	14
1.12.3. SISTEMA DE TRANSMISIÓN LINEAL OMEGA (OMEGA LINEAR MOTION BELT).....	16
1.12.4. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN LINEAL OMEGA.....	17
1.13. SISTEMAS DE CONTROL.....	20
1.13.1. SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO.....	20
1.13.2. SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO.....	20
1.14. ROBOTS INDUSTRIALES.....	21
1.14.1. ESTRUCTURA DE LOS ROBOTS INDUSTRIALES.....	21
1.14.2. GRADOS DE LIBERTAD DE UN ROBOT.....	22
1.14.3. CONFIGURACIONES MORFOLÓGICAS DE LOS ROBOTS INDUSTRIALES.....	23
1.14.4. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LOS ROBOTS INDUSTRIALES.....	23
1.14.5. ACTUADORES.....	24
1.14.6. SENSORES.....	26
1.14.7. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA.....	26
1.15. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE UN ROBOT.....	27

1.15.1. CONDICIONES ANTES DE LAS PRUEBAS.....	28
1.15.2. CONDICIONES PARA LAS PRUEBAS.....	28
1.15.3. UBICACIÓN DEL CUBO EN EL ESPACIO DE TRABAJO. ....	28
1.15.4. POSICIONES A COMPROBAR. ....	29
1.15.5. NÚMERO DE CICLOS. ....	30
1.15.6. CARACTERÍSTICAS DE POSICIÓN.....	31
1.16. INTERFAZ HUMANA MÁQUINA (HMI). ....	33
1.16.1. FUNCIONES DE UN HMI.....	34

## **CAPÍTULO II**

DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA AS/RS .....	35
2.1. DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA AS/RS.....	35
2.2. PARÁMETROS DE DISEÑO MECÁNICO. ....	36
2.2.1. CARGA A TRANSPORTAR. ....	36
2.2.2. MÓDULO DE ALMACENAJE.....	38
2.2.3. MÁQUINA S/R.....	38
2.2.4. ESTRUCTURA DE ALMACENAMIENTO.....	40
2.3. DISEÑO MECÁNICO DE LA MÁQUINA S/R. ....	41
2.3.1. DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL MÓDULO DE ALMACENAJE.....	41
2.3.2. DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LAS HORQUILLAS DE TRANSPORTE.....	47
2.3.3. DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL EJE Z.....	54
2.3.4. DISEÑO DEL CARRO YZ. ....	59
2.3.5. DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL EJE Y.....	70
2.3.6. DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESFUERZOS DE LA PLACA SOPORTE DEL EJE Y.....	76
2.3.7. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS PARA EL EJE ROTACIONAL B. ....	79
2.3.8. DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESFUERZOS DEL CARRO X.....	84
2.3.9. DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL EJE X.....	88
2.3.10. SELECCIÓN DE LA SUJECIÓN DE LOS EJES CILÍNDRICOS. ....	94
2.4. SELECCIÓN DE LOS MOTORES DE LOS EJES X, Y Y Z. ....	97

2.5. SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN MECÁNICA. ....	101
2.6. DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL SISTEMA AS/RS.....	105
2.6.1. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL. ...	105
2.6.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL SISTEMA AS/RS.....	105
2.6.3. SELECCIÓN DE LAS TARJETAS DE CONTROL DE LOS EJES X, Y, Z y B.....	107
2.6.4. SELECCIÓN DE LA TARJETA PRINCIPAL. ....	108
2.6.5. DISEÑO DE LA APLICACIÓN HMI DEL SISTEMA AS/RS. ....	109
2.6.6. SELECCIÓN DEL SOFTWARE DE DISEÑO. ....	112
2.6.7. DISEÑO DEL ALGORITMO DE LA TARJETA PRINCIPAL. ....	112
2.7. CONSTRUCCIÓN DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DEL SISTEMA AS/RS.....	114
2.7.1. MECANIZADO DE LOS BOCINES PARA EL EJE X. ....	114
2.7.2. MECANIZADO DE LOS BOCINES PARA EL EJE Y Y Z. ....	115
2.7.3. MECANIZADO DE LA BASE DEL CARRO X.....	116
2.7.4. MECANIZADO DE LOS SEPARADORES DE LAS CAJAS OMEGADRIVE.....	117
<b>CAPÍTULO III</b>	
PRUEBAS E IMPLEMENTACIÓN .....	119
3.1. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DEL PROTOTIPO EN EL SISTEMA AS/RS. ....	119
3.2. PRUEBAS DE LA MÁQUINA S/R.....	121
3.2.1. CONDICIONES DEL ENSAYO .....	121
3.2.2. UBICACIÓN DEL CUBO EN EL ESPACIO DE TRABAJO Y SELECCIÓN DEL PLANO DE ENSAYO.....	121
3.2.3. POSICIONES A COMPROBAR. ....	122
3.2.4. CICLOS DEL ENSAYO. ....	123
3.2.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	123
3.3. IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO DE CONTROL PARA EL RECONOCIMIENTO DE MATERIA PRIMA. ....	129
3.4. PRUEBAS DEL RECONOCIMIENTO DE MATERIA PRIMA. ....	131
3.5. IMPLEMENTACIÓN DE LA APLICACIÓN HMI. ....	133

3.6. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO. ....	137
3.7. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	140
3.8. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO. ....	140
<b>CAPÍTULO IV</b>	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	141
4.1.CONCLUSIONES.....	141
4.2.RECOMENDACIONES.....	142
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144
GLOSARIO.....	146
ANEXOS .....	149

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Ventajas y desventajas de iCIM 3000 .....	12
Tabla 1.2: Ventajas y desventajas de ASRS-36U.....	13
Tabla 1.3: Ventajas y desventajas de ASRS-36U.....	14
Tabla 1.4: Ventajas y desventajas de las transmisiones rígidas .....	14
Tabla 1.5: Ventajas y desventajas de la transmisión por correas .....	15
Tabla 1.6: Ventajas y desventajas de la transmisión por cadenas.....	16
Tabla 1.7: Actuadores usados en robótica.....	25
Tabla 1.8: Sensores utilizados en robótica. ....	26
Tabla 1.9: Número de ciclos. ....	30
Tabla 2.1: Alternativas de motores.....	100
Tabla 2.2: Dimensiones de las correas estándar de los ejes. ....	103
Tabla 2.3: Parámetros de mecanizado de los bocines del eje X.....	115
Tabla 2.4: Parámetros de mecanizado de los bocines del eje Y y Z.....	116
Tabla 2.5: Parámetros de mecanizado para la base del carro X.....	116
Tabla 2.6: Parámetros de mecanizado para los separadores. ....	117
Tabla 3.1: Posiciones utilizadas para las características de posicionamiento. ....	122
Tabla 3.2: Resultados de exactitud y repetibilidad de posicionamiento. ....	126
Tabla 3.3: Resultados de orientación. ....	126
Tabla 3.4: Características técnicas del prototipo. ....	127
Tabla 3.5: Nómina de elementos utilizados en proyecto. ....	138
Tabla 3.6: Costo de mano de obra. ....	139

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Celda de manufactura del laboratorio de robótica.....	2
Figura 1.2: Unit Load AS/RS con componentes indicados. ....	5
Figura 1.3: Unit Load AS/RS.....	5
Figura 1.4: Almacén AS/RS iCIM A002.....	7
Figura 1.5: Pallet 1BP iCIM A004. ....	8
Figura 1.6 Tamaño de la estructura de estante del AS/RS. ....	10
Figura 1.7: iCIM 3000 de FESTO.....	11
Figura 1.8: AS/RS de Dolang Technology. ....	12
Figura 1.9: ASRS-36u de intelitek.....	13
Figura 1.10: Tren de engranes.....	14
Figura 1.11: (a) Cadena de transmisión (b) Correa de transmisión.....	15
Figura 1.12: Omega Linear Motion Belt. ....	16
Figura 1.13: Diagrama Omega Linear Motion Belt. ....	17
Figura 1.14: Diagrama de Pre-tensión. ....	19
Figura 1.15: Elementos estructurales de un robot industrial.....	21
Figura 1.16: Pinzas típicamente usadas por robots industriales. ....	22
Figura 1.17: Herramientas de un robot industrial. ....	22
Figura 1.18: Distintos grados de libertad de un brazo de robot. ....	23
Figura 1.19: Motor Paso a Paso. ....	25
Figura 1.20: Servomotor Industrial.....	26
Figura 1.21: Estructura básica de un relé térmico. ....	27
Figura 1.22: Fusible de propósito general. ....	27
Figura 1.23: Cubo dentro del espacio de trabajo. ....	29
Figura 1.24: Plano seleccionado y plano de medida. ....	29
Figura 1.25: Posiciones de prueba. ....	30
Figura 1.26: Estructura de un HMI. ....	34
Figura 2.1: Almacén ASRS-36u Intelitek.....	35
Figura 2.2: Brazo cartesiano con su volumen de trabajo. ....	36
Figura 2.3: Dimensiones de la carga a transportar.....	37
Figura 2.4: Módulo de almacenaje.....	38
Figura 2.5: Recorrido de los ejes de la máquina S/R. ....	39
Figura 2.6: Estructura de almacenamiento.....	40

Figura 2.7: Dimensiones de las estanterías. ....	40
Figura 2.8: Módulo de almacenaje con la carga a transportar.....	41
Figura 2.9: Pallet de madera.....	42
Figura 2.10: Diagrama de cuerpo libre del pallet.....	42
Figura 2.11: Diagrama de fuerzas cortantes en el pallet. ....	43
Figura 2.12: Diagrama de momentos flectores en el pallet. ....	43
Figura 2.13: Vista de sección media del pallet. ....	44
Figura 2.14: Factor de seguridad para el pallet.....	46
Figura 2.15: Horquillas ubicadas para el transporte de la carga. ....	47
Figura 2.16: Horquillas de transporte.....	47
Figura 2.17: Propiedades físicas del pallet obtenidas de SolidWorks. ....	48
Figura 2.18: Diagrama de cuerpo libre de la lámina horizontal. ....	49
Figura 2.19: Diagrama de fuerzas cortantes en la lámina horizontal. ....	49
Figura 2.20: Diagrama de momentos flectores en la lámina horizontal. ....	49
Figura 2.21: Diagrama de cuerpo libre de la lámina vertical.....	51
Figura 2.22: Factor de seguridad para las horquillas de transporte.....	53
Figura 2.23: Eje Z con carga a transportar.....	54
Figura 2.24: Componentes del eje Z.....	54
Figura 2.25: Propiedades físicas de las horquillas y la carga a transportar. .	55
Figura 2.26: Diagrama de cuerpo libre en la guía del eje Z.....	56
Figura 2.27: Diagrama de fuerzas cortantes en la guía del eje Z. ....	56
Figura 2.28: Diagrama de momentos flectores en la guía del eje Z. ....	56
Figura 2.29: Factor de seguridad para las guías del eje Z. ....	58
Figura 2.30: Carro YZ de la máquina S/R. ....	59
Figura 2.31: Momento generado sobre el canal en U. ....	59
Figura 2.32: Diagrama de cuerpo libre en el canal en U. ....	60
Figura 2.33 Diagrama de fuerzas cortantes en el canal en U.....	60
Figura 2.34: Diagrama de momentos flectores en el canal en U. ....	60
Figura 2.35: Parámetros para cálculo de esfuerzos principales. ....	64
Figura 2.36: Círculo de mohr para esfuerzos en el canal en U. ....	64
Figura 2.37: Factor de seguridad para el canal U del carro YZ. ....	65
Figura 2.38: Vista seccionada del bocín SAE 40. ....	66
Figura 2.39: Vista de corte de los prisioneros del eje Z.....	68
Figura 2.40: Eje Y y Z con la carga a transportar. ....	70

Figura 2.41: Componentes del eje Y.....	71
Figura 2.42: Propiedades físicas del eje Z con la carga a transportar. ....	71
Figura 2.43: Diagrama de cuerpo libre en las guías del eje Y. ....	72
Figura 2.44: Diagrama de fuerzas cortantes en las guías del eje Y. ....	72
Figura 2.45: Diagrama de momentos flectores en las guías del eje Y.....	73
Figura 2.46: Factor de seguridad para la guía del eje Y. ....	75
Figura 2.47: Placa superior eje Y acoplado a las guías cilíndricas. ....	76
Figura 2.48: Placa superior del eje Y. ....	76
Figura 2.49: Diagrama de cuerpo libre de la placa superior del eje Y. ....	77
Figura 2.50: Diagrama de cortantes en la placa superior del eje Y. ....	77
Figura 2.51: Diagrama de momentos en la placa superior del eje Y. ....	77
Figura 2.52: Factor de seguridad para las placas de eje Y. ....	79
Figura 2.53: Eje rotacional B de la máquina S/R.....	79
Figura 2.54: Carga sobre el rodamiento cónico superior.....	80
Figura 2.55: Montaje indirecto de rodamientos cónicos sometidos a cargas axiales.....	81
Figura 2.56: Carro X sobre guías cilíndricas. ....	84
Figura 2.57: Carro X. ....	84
Figura 2.58: Diagrama de cuerpo libre del carro X.....	84
Figura 2.59: Propiedades físicas de los sistemas Z, Y y B. ....	85
Figura 2.60: Diagrama de fuerzas cortantes sobre el carro X. ....	86
Figura 2.61: Diagrama de momentos flectores sobre el carro X.....	86
Figura 2.62: Factor de seguridad del carro X. ....	88
Figura 2.63: Ejes X, Y y Z con la carga a transportar. ....	88
Figura 2.64: Componentes del eje X.....	89
Figura 2.65: Propiedades físicas del eje Y.....	90
Figura 2.66: Diagrama de cuerpo en las guías del eje X.....	90
Figura 2.67: Diagrama de fuerzas cortantes en las guías del eje X. ....	91
Figura 2.68: Diagrama de momentos flectores en las guías del eje X.....	91
Figura 2.69: Desplazamiento estático para el eje X. ....	94
Figura 2.70: Propiedades Físicas de la Máquina S/R. ....	95
Figura 2.71: Vista isométrica del eje X.....	95
Figura 2.72: Movimiento del eje Y.....	98
Figura 2.73: Movimiento del eje X.....	99

Figura 2.74: Diagrama de bloques del sistema de control. ....	106
Figura 2.75: Tarjeta de control de motor DC Jrk 12V12. ....	107
Figura 2.76: Tarjeta de control Roboclaw 2x15A. ....	108
Figura 2.77: Arduino UNO R3. ....	109
Figura 2.78: Diagrama de flujo de la aplicación HMI. ....	111
Figura 2.79: Diagrama de flujo del algoritmo en Arduino UNO. ....	113
Figura 2.80: Proceso de mecanizado de los bocines del eje X. ....	114
Figura 2.81: Proceso de mecanizado de los bocines de los ejes Y y Z. ....	115
Figura 2.82: Proceso de mecanizado del carro longitudinal del Eje X. ....	117
Figura 2.83: Proceso de mecanizado para los separadores. ....	118
Figura 3.1: Tablero de control: exterior. ....	119
Figura 3.2: Tablero de control: interior. ....	120
Figura 3.3: Motores de la maquina S/R. ....	120
Figura 3.4: Cubo dentro del espacio de trabajo de la máquina S/R. ....	121
Figura 3.5: Plano y puntos para el ensayo. ....	122
Figura 3.6: Ilustración de ciclos posibles. ....	123
Figura 3.7: Resultados del error de precisión en el Eje X. ....	124
Figura 3.8: Resultados del error de precisión en el Eje Y. ....	124
Figura 3.9: Resultados de error en el Eje Z. ....	125
Figura 3.10: Eficiencia a la salida del sistema AS/RS. ....	128
Figura 3.11: Eficiencia al ingreso al Sistema AS/RS. ....	128
Figura 3.12: Patrón para el reconocimiento en el sistema AS/RS. ....	129
Figura 3.13: Carga de patrones a la aplicación en LabVIEW. ....	130
Figura 3.14: Adquisición de imagen para el procesamiento. ....	131
Figura 3.15: Búsqueda de patrones en la imagen adquirida y tratada. ....	131
Figura 3.16: Eficiencia en el reconocimiento de perfiles rectangulares ....	132
Figura 3.17: Eficiencia al ingreso al Sistema AS/RS. ....	132
Figura 3.18: Eficiencia al ingreso al Sistema AS/RS. ....	133
Figura 3.19: Aplicación HMI implementada. ....	134
Figura 3.20: Aplicación HMI, modo manual. ....	135
Figura 3.21: Aplicación HMI, modo automático. ....	136
Figura 3.22: Aplicación HMI, modo ingreso despacho. ....	137

## RESUMEN

Un sistema automatizado de almacenaje y recuperación (AS/RS) permite guardar artículos en condiciones favorables para su utilización, desde su producción hasta que el usuario lo solicite, reduciendo costos de mano de obra, costos de operación e infraestructura. La presente tesis consiste en el **“Diseño y construcción de un prototipo de sistema automatizado de almacenamiento/ recuperación (AS/RS), para sistemas flexibles de manufactura en el laboratorio CNC de la ESPE extensión Latacunga, utilizando procesamiento digital de imágenes”**. Dicho proyecto con fines didácticos permitirá a los estudiantes y docentes de la UFA-ESPE familiarizarse con los procesos de manufactura flexible, debido a que establece una innovadora forma de almacenaje. El prototipo estará constituido por una estructura de aluminio dividida en estanterías donde se guardarán los artículos contenidos en pallets, la manipulación de los mismos se realizará mediante un robot cartesiano de 4 ejes X, Y, Z y B. Para controlar los movimientos del robot se emplea una placa electrónica basada en un microcontrolador Atmega328, la cual ejecuta comandos enviados desde una aplicación HMI desarrollada en Labview; por otro lado la aplicación también monitorea el estado del proceso de manufactura, por medio de entradas digitales, y atiende sus necesidades en cuanto a materia prima y almacenamiento de productos terminados. Una vez terminado el proyecto se obtuvo un prototipo AS/RS que puede identificar materia prima rectangular, cilíndrica y cuadrada mediante procesamiento de imagen y que funciona satisfactoriamente en conjunto con los equipos presentes en el laboratorio CNC.

**Palabras claves:** Robótica, Almacenamiento automático, aplicación HMI, procesamiento digital de imagen, sistemas flexibles de manufactura.

## ABSTRACT

An automated storage and retrieval system (AS/RS) allow you to save items in favorable conditions for use, from production until the user requests, reducing labor costs, operating costs and infrastructure. The present research is the "Design and construction of a prototype automated storage/retrieval (AS/RS) for flexible manufacturing systems in the CNC lab from ESPE extension Latacunga, using digital images processing". The project for teaching purposes will allow students and teachers of the UFA-ESPE familiarize with flexible manufacturing processes, because it provides an innovative way of storage. The prototype will consist of an aluminum structure divided into shelves where the articles are stored in pallets, handling thereof shall consist of a 4-axis robot Cartesian X, Y, Z and B. To control the robot movements used an electronic board based on an Atmega328 microcontroller, which executes commands sent from a HMI application developed in Labview; on the other hand the application also monitors the state of the manufacturing process, through digital inputs, serving their needs for raw and finished product storage area. Once the project is completed an AS/RS prototype that can identify rectangular, cylindrical and square raw material by image processing and works well in conjunction with the equipment in the CNC laboratory.

**Keywords:** Robotics, Auto Store, HMI application, digital image processing, flexible manufacturing systems.

## PRESENTACIÓN

En el presente proyecto se desarrolla el prototipo de un sistema automatizado de almacenamiento/ recuperación (AS/RS), para sistemas flexibles de manufactura, utilizando procesamiento digital de imágenes, en el laboratorio CNC de la ESPE extensión Latacunga.

En el Capítulo I se recopila toda la información relevante sobre los sistemas automatizados de almacenamiento/recuperación (AS/RS), así también se puede ver la información necesaria para la realización de este proyecto de grado.

El Capítulo II describe el diseño y selección de los diferentes componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos del presente prototipo de sistema AS/RS, además se detalla la información necesaria para la construcción de los componentes mecánicos del prototipo.

En el Capítulo III se detalla la implementación de los componentes eléctricos y electrónicos del prototipo, así como las pruebas realizadas sobre el prototipo, el algoritmo de control de la interfaz HMI y el algoritmo desarrollado para la tarjeta Arduino Uno.

El Capítulo IV presenta las conclusiones determinadas una vez terminado el proyecto, y las recomendaciones que se debe tener en caso de usar este trabajo como base en futuros proyectos.

Finalmente, se incluyen las referencias bibliográficas empleadas para la realización de este proyecto y los anexos necesarios para las personas que quieran profundizar en el tema.

# **CAPÍTULO I**

## **FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **1.1. INTRODUCCIÓN.**

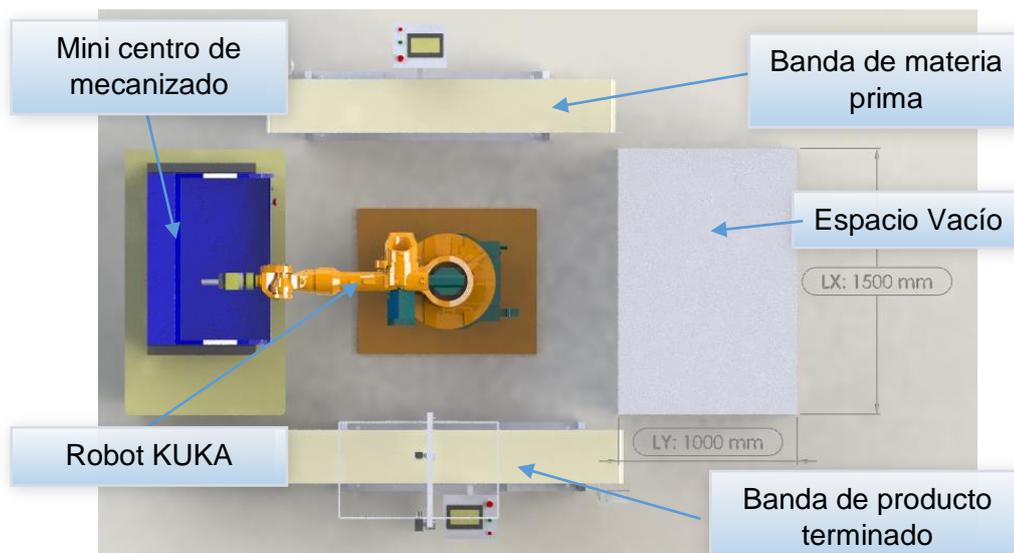
A través de la historia el almacén ha sido el lugar de la fábrica donde las mercancías esperan ser requeridas para envío o cambios de estado. Los primeros almacenes (Garavito, 2001) utilizaban en su mayoría el recurso humano para la manipulación de los productos. El primer cambio contundente en los almacenes con participación de mano de obra, fue la creación de cargas unitarias basadas en el concepto de pallet.

En los cincuenta y sesenta aparecieron sistemas mecánicos que mejoraron la circulación de los productos dentro del almacén reduciendo el empleo de mano de obra. Varios almacenes empezaron a usar máquinas elevadoras de carga y cintas transportadoras para mover los pallets, además de métodos de sujeción automática de las cargas sobre los pallets.

Los métodos de sujeción automática de cargas originaban gran peso sobre las bases de la parte inferior, volviéndose inestables y peligrosos, por ello se desarrollaron sistemas de almacenamiento automático más seguros y estables que permiten el manejo, almacenamiento y recuperación de material con precisión y velocidad.

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

Para complementar la formación técnica de los docentes y estudiantes de la ESPE Extensión Latacunga referente a sistemas flexibles de manufactura (FMS), Veronica Gallo y Fernando Saá desarrollaron como tesis de grado para el laboratorio de robótica industrial, una celda de manufactura con brazo robótico centralizado, la cual está formada por un mini centro de mecanizado ExpertMill VMC-600, un robot KUKA KR 16, dos cintas transportadoras planas y un módulo para control de calidad mediante visión artificial, véase Figura 1.1.



**Figura 1.1: Celda de manufactura del laboratorio de robótica<sup>1</sup>.**

La celda funciona de manera eficiente, pero la tarea de alimentación de materia prima y almacenamiento de productos terminados carece de un equipo especializado. Uno de los equipos ineludibles dentro de cualquier sistema de manufactura flexible, es el de almacenamiento y recuperación automático de materiales, es por ello que surge la formulación de la siguiente pregunta ¿La implementación del prototipo de sistema automatizado almacenamiento/recuperación (AS/RS) mediante procesamiento digital de imágenes, complementará el equipo tecnológico del sistema flexible de manufactura del laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga?

### 1.3. JUSTIFICACIÓN

En base a los datos de la IFR (International Federation of Robotics) en Centro América y América Latina para el 2012 se han incorporado más de 8000 robots a las industrias de todo tipo (Arriaga, 2010, pág. 2), generando la necesidad de desarrollar aplicaciones de manufactura flexible, para lo que se requieren profesionales capaces de desarrollar dichos sistemas. El presente proyecto permitirá a los estudiantes y docentes de la ESPE Extensión Latacunga simular procesos de manufactura flexible a pequeña escala, y así

<sup>1</sup> Diseño e implementación de una celda de manufactura con brazo robótico centralizado y control de calidad con visión artificial en el Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE-L. 2013. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6788>

fortalecer los conocimientos teóricos acerca de esta disciplina tecnológica, y mantener a la comunidad politécnica a la par de las nuevas tendencias de la industria manufacturera.

Por otra parte, el proyecto es importante ya que presenta una forma innovadora de almacenar y manejar producto terminado y materia prima referentes a los procesos de manufactura desarrollados en el laboratorio CNC. Finalmente, su relevancia radica en que no existe ningún equipo dentro del país, similar al que se pretende desarrollar, implicando así un proceso de investigación sobre las características de sistemas AS/RS empleados a nivel industrial.

#### **1.4. SISTEMA FLEXIBLE DE MANUFACTURA<sup>2</sup>.**

De acuerdo con Groover (1990) un sistema de manufactura flexible (FMS) consiste de un grupo de estaciones de procesamiento, generalmente máquinas herramientas CNC, interconectadas mediante un sistema automático de manejo y recuperación de material. Un FMS es capaz de procesar diferentes tipos de partes simultáneamente bajo un programa de control numérico en varias estaciones.

##### **1.4.1. COMPONENTES DE UN FMS.**

Los principales componentes de un FMS (Greenwood, 1988) son:

###### **a. Estaciones de procesamiento.**

Llamadas también estaciones de trabajo, son sistemas de control numérico computarizado diseñados con equipos de procesamiento como: estaciones de inspección, ensamble y hojas metálicas. Algunos ejemplos son, las estaciones de soldadura, máquinas herramientas con su sistema de control y las estaciones de montaje y submontaje.

---

<sup>2</sup> SISTEMAS INTEGRADOS DE MANUFACTURA. (s.f.). Itescam. Recuperado el 18 de Junio de 2014, desde <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r48944.PDF>

**b. Manejo de material y almacenamiento.**

Para transportar las partes trabajadas y acoplada, entre las estaciones de proceso se emplean equipo como: Racks, sistemas de vehículos guiados automáticamente, horquillas para levantar carros, almacenaje automático y sistemas de recuperación.

**c. Sistema de control computarizado.**

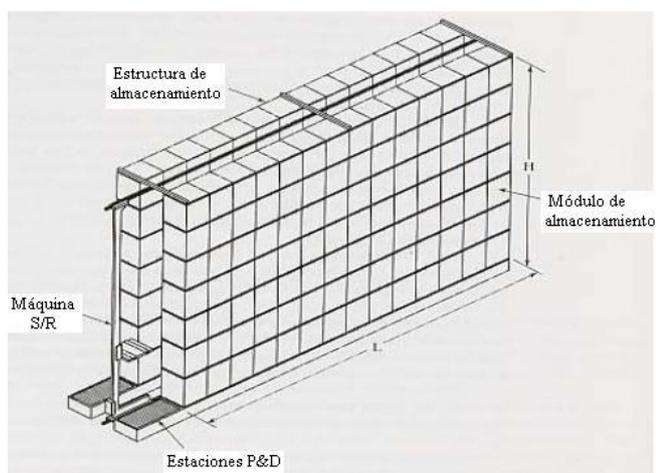
Son los sistemas encargados de administrar las actividades de las estaciones de procesamiento y el recurso humano.

**1.5. SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE ALMACENAMIENTO.**

Los sistemas automatizados de almacenamiento (Itescam, 2010) reducen o eliminan (de acuerdo al grado de automatización) la intervención humana en la manipulación de productos. Estos sistemas automatizados de almacenamiento se dividen en dos tipos: sistemas AS/RS y sistemas de carrusel.

**1.6. SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE ALMACENAJE Y RECUPERACIÓN (AS/RS).**

Un AS/RS (Automated Storage/Retrieval System) (Rodriguez & Martín, 2010), consiste en un conjunto de estanterías y pasillos, un mecanismo de almacenamiento y recuperación que se mueve entre estanterías, y un único punto donde se deposita o se recoge el material llamado Pick and Deposit (P&D). Estos componentes se pueden apreciar en la Figura 1.2 (Itescam, 2010, pág. 6).



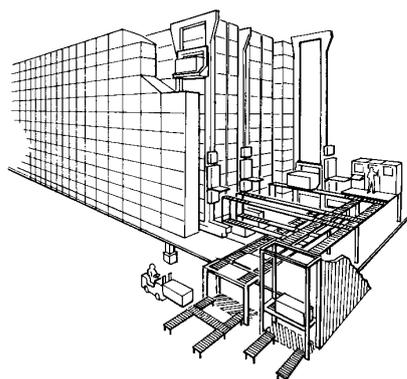
**Figura 1.2: Unit Load AS/RS con componentes indicados<sup>3</sup>.**

## 1.7. TIPOS DE SISTEMAS AS/RS.

Los tipos principales de AS/RS (Itescam, 2010) son los siguientes:

### 1.7.1. AS/RS DE UNIDAD DE CARGA (UNIT LOAD AS/RS).

El AS/RS de unidad de carga es un gran sistema automatizado controlado por computadora, diseñado para trasladar materiales sobre plataformas mediante máquinas de S/R que manejan contenedores de unidad de carga. Esto se puede apreciar en la Figura 1.3 (Itescam, 2010, pág. 2).



**Figura 1.3: Unit Load AS/RS<sup>4</sup>.**

<sup>3</sup> Bodegas Automatizadas. (2010). Recuperado de [www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r58418.DOC](http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r58418.DOC)

<sup>4</sup> Bodegas Automatizadas. (2010). Recuperado de [www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r58418.DOC](http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r58418.DOC)

### **1.7.2. DEEP-LANE AS/RS.**

Este sistema es adecuado cuando se almacenan grandes cantidades de stock con un número pequeño de productos diferentes. El sistema almacena una carga detrás de la otra por lo que las cargas se toman (recuperan) por un lado del estante mediante una máquina S/R, y por el otro lado del estante se usa otra máquina S/R para la entrada de carga.

### **1.7.3. AS/RS DE MINICARGA (MINILOAD AS/RS).**

Este AS/RS es utilizado para manejar pequeñas cargas (partes individuales o provisiones) que están contenidas en arcas o cajones dentro del sistema de almacenaje. La máquina de S/R está diseñada para recuperar el arca y entregarla a una estación P&D al final del pasillo, donde los artículos son extraídos de las arcas.

### **1.7.4. AS/RS DE HOMBRE A BORDO (MAN-ON-BOARD AS/RS).**

Este tipo de AS/RS le permite al operador viajar sobre el carro de la máquina de S/R y tomar artículos particulares directamente de sus posiciones de almacenaje.

### **1.7.5. SISTEMA AUTOMATIZADO DE RECUPERACIÓN DE ARTÍCULO (AUTOMATED ITEM RETRIEVAL SYSTEM).**

Estos sistemas acopian los productos en carriles permitiendo la recuperación de artículos únicamente de forma individual. Para recuperar un producto se empuja el carril dejando caer la mercadería en un transportador para la entrega en la estación de recogida. El sistema se rellena periódicamente por la parte trasera.

## **1.8. COMPONENTES DE UN AS/RS.**

### **1.8.1. ESTRUCTURA DE ALMACENAMIENTO.**

Es la estructura de estante con la fuerza y rigidez necesarias para soportar las cargas contenidas en el AS/RS. La estructura debe tener compartimentos

individuales diseñados para aceptar y sostener los módulos de almacenaje que contendrán los materiales. La estructura también debe dar soporte al hardware de pasillo (carriles guía, paradas finales, etc) requerido para las acciones de almacenamiento/recuperación del AS/RS.

En la Figura 1.4 se puede observar la estructura de almacenamiento de un almacén AS/RS Festo con varios de sus elementos.



**Figura 1.4: Almacén AS/RS iCIM A002<sup>5</sup>.**

### **1.8.2. MÁQUINA S/R.**

La máquina S/R (storage/retrieval) permite recoger cargas en la estación de entrada para colocarlas en los módulos de almacenamiento y recuperar cargas para entregarlas en la estación de salida. La máquina S/R, mediante movimientos horizontales y verticales, debe ser capaz de alinear su carro con los compartimento de almacenaje.

El carro incluye un mecanismo diseñado para transportar cargas entre los compartimientos de almacenaje y la estación P&D, u otro medio de manejo de material. En la Figura 1.2 se puede apreciar la máquina S/R conjuntamente con la estructura de almacenamiento.

---

<sup>5</sup> Manual iCIM A002, (2003), Recuperado de [www.scribd.com/doc/70150790/iCIM-Manual-A002](http://www.scribd.com/doc/70150790/iCIM-Manual-A002)

### 1.8.3. MÓDULOS DE ALMACENAJE.

Conocidos también como unidades de carga, son los compartimentos (plataformas, cestas, cajones especiales, etc) que contienen el material almacenado, observe la Figura 1.5 (Schober, 2003, p. 17). Generalmente, son de tamaño estándar para que puedan ser manejados por la máquina S/R y para encajar en los compartimentos individuales de la estructura de almacenamiento.



Figura 1.5: Pallet 1BP iCIM A004<sup>6</sup>.

### 1.8.4. ESTACIONES P&D.

Las estaciones P&D son lugares (generalmente localizados al final de los pasillos del sistema) donde las cargas se transfieren al interior y al exterior del AS/RS. Una estación P&D debe diseñarse para compagine con la máquina de S/R y con el sistema de manejo externo. El manejo de cargas en la estación P&D se lo realiza mediante la carga/descarga manual, carretillas elevadoras, transportadores y AGVS.

### 1.8.5. SISTEMA DE CONTROL.

El sistema de control cumple la función de dirigir la máquina S/R a un compartimento de almacenaje particular, mediante combinaciones basadas en códigos alfanuméricos, conteo de posiciones o identificación numérica de compartimento cifradas en binario, con este último método se emplean escáneres ópticos para leer la marca. Cada compartimento se identifica por

---

<sup>6</sup> Manual iCIM A002, (2003), Recuperado de [www.scribd.com/doc/70150790/iCIM-Manual-A002](http://www.scribd.com/doc/70150790/iCIM-Manual-A002)

sus posiciones horizontal y vertical, o si está en el lado derecho o izquierdo del pasillo.

Los sistemas de control pueden ser manejados por un ordenador y/o PLC's. El control por ordenador permite al AS/RS realizar transacciones de almacenaje en tiempo real, mantener registros de inventario de manera precisa, monitorear el funcionamiento del sistema y comunicarse de manera sencilla con otros sistemas.

### **1.9. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS AS/RS.**

Las principales ventajas de los AS/RS son:

- Menor recurso humano.
- Mejor control del material
- Mayor capacidad de almacenamiento.
- Mejor servicio al consumidor.
- Incremento del rendimiento.

Mientras que, las principales desventajas son:

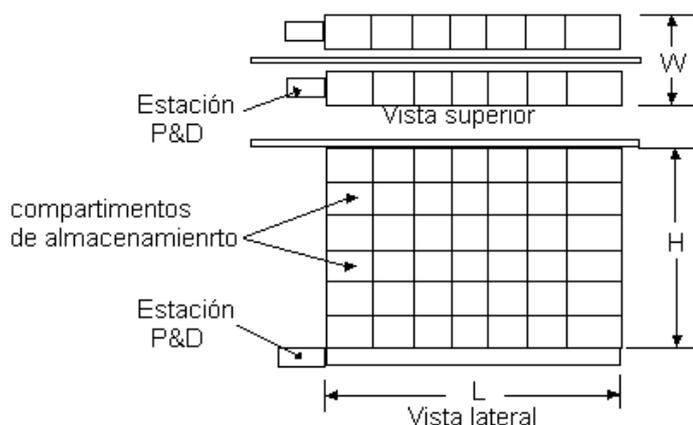
- Inversión inicial alta.
- Altos gastos de mantenimiento.
- Dificultad de modificar el sistema.

### **1.10. ANÁLISIS DE SISTEMAS DE ALMACENAJE Y RECUPERACIÓN AUTOMATIZADOS (AS/RS).**

Para el análisis de AS/RS (Itescam, 2010) se considera la capacidad y el rendimiento de funcionamiento.

#### **1.10.1. TAMAÑO DE LA ESTRUCTURA DE ALMACENAMIENTO DEL AS/RS.**

La capacidad de almacenamiento total de un pasillo depende de cuántos compartimentos de almacenaje (de forma horizontal y vertical) existen, esto se indica en la Figura 1.6 (Itescam, 2010, pág. 8).



**Figura 1.6 Tamaño de la estructura de estante del AS/RS.**

De forma matemática se tiene que:

$$\text{Capacidad del pasillo} = n_p * n_y * n_z \quad \text{Ec. 1.1}$$

Donde:

$n_y$ : Número de compartimentos de carga a lo largo del pasillo.

$n_z$ : Número de los compartimentos a lo alto del pasillo.

$n_p$ : Número de lados del pasillo con compartimientos.

El ancho, la longitud, y la altura de la estructura de estante del AS/RS dependen de las dimensiones de las unidades de carga y el número de compartimentos, matemáticamente se obtiene:

$$W = 3(x + a) \quad \text{Ec. 1.2}$$

$$L = n_y(y + b) \quad \text{Ec. 1.3}$$

$$H = n_z(z + c) \quad \text{Ec. 1.4}$$

Donde:

**W**, **L** y **H** son la longitud, ancho y altura de la estructura de estante.

**z**, **x** e **y** son las dimensiones de la unidad de carga.

**a**, **b** y **c** son el margen entre unidades de carga.

Para el caso de cargas contenidas sobre plataformas estándar, las dimensiones recomendadas son:  $a = 150 \text{ mm}$ ,  $b = 200 \text{ mm}$ , y  $c = 250 \text{ mm}$ .

### 1.10.2. RENDIMIENTO DEL AS/RS.

El rendimiento de un AS/RS es la tasa por horas de acciones de almacenamiento y recuperación (S/R, Storage/Retrieval) que puede hacer. Una acción corresponde a almacenar o recuperar una carga. En un ciclo de mando simple se ejecuta una sólo acción a la vez, mientras que, en un ciclo de mando doble se ejecutan ambas acciones.

### 1.11. ALTERNATIVAS DE DISEÑO.

Para el diseño del sistema AS/RS se analizan las siguientes alternativas.

#### 1.11.1. iCIM 3000<sup>7</sup>.

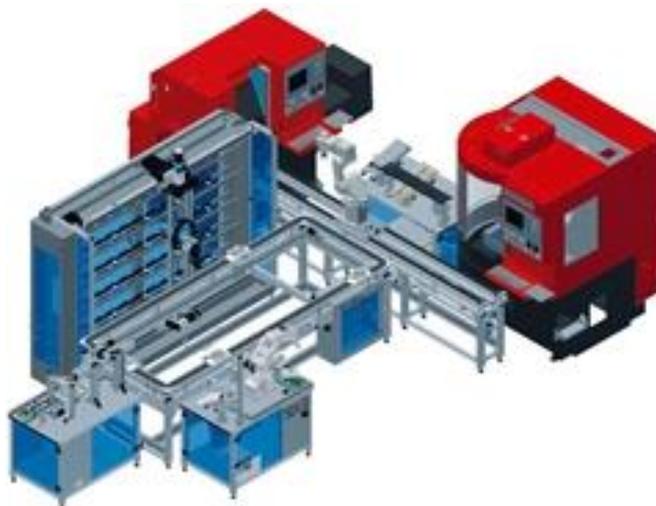


Figura 1.7: iCIM 3000 de FESTO.

#### Características técnicas:

- Dimensiones:  $L=2380 \text{ mm}$ ,  $W=1300 \text{ mm}$ ,  $H=1800\text{mm}$
- Capacidad de almacenamiento: 40 unidades
- Máquina S/R: Robot cartesiano con eje rotacional con servomotor

<sup>7</sup> THE COMPLETE TRAINING SYSTEM WITH POTENTIAL. (2013). Festo. Recuperado el 18 de Junio de 2014, desde <http://www.festo-didactic.com/int-en/learning-systems/learning-factories,cim-fms-systems/icim/icim-3000-the-complete-training-system-with-potential.htm?fbid=aW50LmVuljU1Ny4xNy4xOC42OTguNDY0Nw>

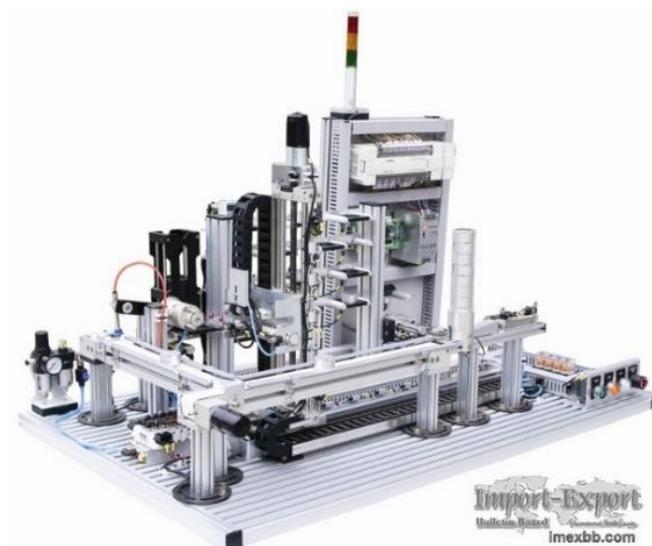
- Velocidad: No especificada
- Controlador: S7-300

**Tabla 1.1: Ventajas y desventajas de iCIM 3000**

Ventajas	Desventajas
Control eficiente	Controlador no modificable.
Amplio capacidad de almacenamiento.	Necesidad de sistema de transporte de pallets.
	Infraestructura ocupada relativamente grande.

Elaborado por: Capilla Carlos, Pulloquina José.

### 1.11.2. DLFA- AS/RS(A)<sup>8</sup>.



**Figura 1.8: AS/RS de Dolang Technology.**

#### Características técnicas:

- Dimensiones: L=1200 mm, W=750 mm, H=1800mm
- Capacidad de almacenamiento: 20 unidades
- Máquina S/R: Robot lineal con Motoreductor DC
- Velocidad: No especificada
- Controlador: Basado en PLC

<sup>8</sup> AUTO STORAGE TRAINING SET. (2010). Doiang. Recuperado el 18 de Junio de 2014, desde <http://www.imexbb.com/auto-storage-training-set-advanced-type-dlfa-as-rs-a-11306170.htm>

**Tabla 1.2: Ventajas y desventajas de ASRS-36U**

Ventajas	Desventajas
Control relativamente eficiente.	Reducida capacidad de almacenamiento.
Controlador adaptable a las necesidades del usuario.	Necesidad de sistema de transporte de pallets.
Mínimo espacio físico ocupado.	

**Elaborado por:** Capilla Carlos, Pulloquina José.

### 1.11.3. ASRS-36U<sup>9</sup>.



**Figura 1.9: ASRS-36u de intelitek.**

#### **Características técnicas:**

- Dimensiones: L=1330 mm, W=630 mm, H=1600mm
- Capacidad de almacenamiento: 36 unidades
- Máquina S/R: Robot cartesiano con eje rotacional con servomotores
- Velocidad: 300mm/s
- Controlador: Controlador de servos mediante PWM

<sup>9</sup> ASRS36-U. (2013). Intelitek. Recuperado el 18 de Junio de 2014, desde <http://www.intelitek.com/advanced-manufacturing/cim/asrs-36u/>

**Tabla 1.3: Ventajas y desventajas de ASRS-36U**

Ventajas	Desventajas
Control eficiente y rápido.	Controlador no modificable.
Capacidad de almacenamiento amplia.	
Controlador adaptable a las necesidades del usuario.	

**Elaborado por:** Capilla Carlos, Pulloquina José.

## 1.12. TRANSMISIÓN MECÁNICA.

Se denomina transmisión (Azuaje, 2011) al mecanismo que transfiere la potencia de un motor de un punto a otro con el objetivo realizar una tarea específica. Las formas más habituales de transmisión son:

### 1.12.1. TRANSMISIONES RÍGIDAS.

Son transmisiones cuyos elementos que la conforman no modifican su tamaño o ubicación. Las más comunes son los mecanismos de engranajes, se puede ver un ejemplo en la Figura 1.10.



**Figura 1.10: Tren de engranes<sup>10</sup>.**

**Tabla 1.4: Ventajas y desventajas de las transmisiones rígidas<sup>11</sup>**

Ventajas	Desventajas
Bajo costo.	Propensa a sufrir deslizamientos.
Facilidad de construcción.	Grandes esfuerzos de contacto.
Bajo nivel de ruido.	Grandes fuerzas en soportes y ejes.
	Resbalamiento por sobrecarga.

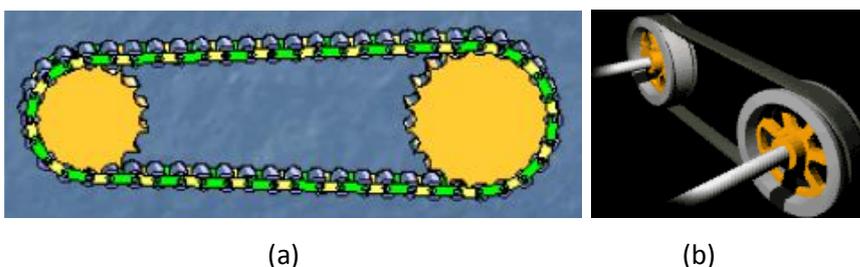
**Elaborado por:** Capilla Carlos, Pulloquina José.

<sup>10</sup> INTRODUCCIÓN A LOS ACCIONAMIENTOS DE MÁQUINAS. (2012). Recuperado desde <http://blog.utp.edu.co/ivanegas/files/2011/08/Cap-1-Int-Dis-II.pdf>

<sup>11</sup> INTRODUCCIÓN A LOS ACCIONAMIENTOS DE MÁQUINAS. (2012). Vanegas L. Recuperado el 19 de Junio de 2014, desde <http://blog.utp.edu.co/ivanegas/files/2011/08/Cap-1-Int-Dis-II.pdf>

### 1.12.2. TRANSMISIONES FLEXIBLES.

Son transmisiones cuyos elementos que lo conforman son elásticos y de gran longitud. Las más comunes de este tipo son cadenas y correas de transmisión (Véase Figura 1.11).



**Figura 1.11: (a) Cadena de transmisión (b) Correa de transmisión<sup>12</sup>.**

#### a. Transmisión por correas.

Las transmisiones por correa, en su forma más sencilla, constan de una cinta colocada con tensión en dos poleas: una motriz y otra conducida, eso se puede apreciar en la Figura 1.11 (b). Las transmisiones pueden ser por correa abierta, correa cruzada y por correa con rodillo tensor.

**Tabla 1.5: Ventajas y desventajas de la transmisión por correas<sup>13</sup>**

Ventajas	Desventajas
Amortiguan impactos.	Requiere tensado inicial.
Transmiten potencia a distancias grandes	Propenso alargamiento de correas.
Nivel de ruido bajo.	Requieren dispositivos tensores, en ocasiones.
Versatilidad de posición y movimiento	Susceptible a condiciones ambientales desfavorables.

**Elaborado por:** Capilla Carlos, Pulloquina José.

<sup>12</sup> INTRODUCCIÓN A LOS ACCIONAMIENTOS DE MÁQUINAS. (2012). Recuperado desde <http://blog.utp.edu.co/lvanegas/files/2011/08/Cap-1-Int-Dis-II.pdf>

<sup>13</sup> Ibid.

## b. Transmisión por cadenas.

Generalmente consta de una cadena y dos ruedas dentadas, una de las cuales es conductora y la otra es conducida. Las transmisiones pueden ser por cadenas de rodillos, cadenas de eslabones perfilados y por correas dentadas.

**Tabla 1.6: Ventajas y desventajas de la transmisión por cadenas<sup>14</sup>**

Ventajas	Desventajas
Transmiten potencia a distancias grandes.	Requieren lubricación y fundas.
Relación de transmisión prácticamente constante.	Costo Alto.
No requieren tensado inicial.	Funcionamiento irregular.
Resistente a las condiciones ambientales desfavorables.	Montaje y mantenimiento exigente.

**Elaborado por:** Capilla Carlos, Pulloquina José.

### 1.12.3. SISTEMA DE TRANSMISIÓN LINEAL OMEGA (OMEGA LINEAR MOTION BELT).

Es un sistema de transmisión por correas dentadas que convierte el movimiento angular en desplazamiento lineal. Se denomina omega por la forma en que se coloca la correa dentada sobre la polea conductora y los dos rodillos tensores (véase Figura 1.13).



**Figura 1.12: Omega Linear Motion Belt.**

El sistema de transmisión lineal omega, véase Figura 1.12 (Mitsuboshi, 2013), está constituido por una correa dentada abierta con placas de sujeción en sus extremos, una polea conductora y dos rodillos tensores.

<sup>14</sup> INTRODUCCIÓN A LOS ACCIONAMIENTOS DE MÁQUINAS. (2012). Vanegas L. Recuperado el 19 de Junio de 2014, desde <http://blog.utp.edu.co/ivanegas/files/2011/08/Cap-1-Int-Dis-II.pdf>.

#### 1.12.4. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN LINEAL OMEGA.

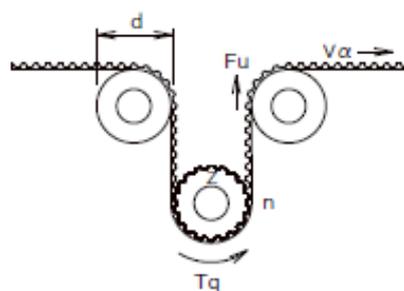
Dentro del diseño de una transmisión omega (Mitsuboshi, 2013) se debe tomar en consideración el factor de servicio de la máquina, la potencia del motor, el perfil de la correa dentada, el diámetro y paso de la polea, los rodillos tensores, pretensión sobre la correa dentada, etc. A continuación se resume los principales pasos para el diseño de un sistema omega.

##### a. Selección del perfil de correa dentada y diámetro de la polea.

El perfil de una correa dentada está ligada a la potencia que va transmitir y a la velocidad nominal a la cual va a funcionar, los principales perfiles se pueden encontrar son el MXL, XXL, XL, L, H, XH, XXH y T. El ANEXO B8 presenta una tabla para determinar el perfil de la correa dentada en base a la potencia y la velocidad nominal del impulsor.

Mediante el perfil seleccionado se determina el número de dientes mínimo y el diámetro primitivo de la polea, el ANEXO B9 muestra tablas que permiten determinar estos datos.

##### b. Cálculo de la fuerza periférica.



**Figura 1.13: Diagrama Omega Linear Motion Belt.**

La fuerza periférica generada sobre la banda dentada depende del torque del motor y el diámetro de paso de la polea, en la Figura 1.13 (Mitsuboshi, 2013) se muestra de forma gráfica dicha fuerza, su expresión matemática se la observa en la Ec. 1.5.

$$F_u = \frac{2000 * T_q}{dp} \quad \text{Ec. 1.5}$$

Donde:

F<sub>u</sub>: Fuerza periférica [N]

T<sub>q</sub>: Torque del motor [N-m]

dp: Diámetro de paso de la polea [mm]

Una forma alternativa de esta expresión es la Ec. 1.9.

$$F_u = \frac{19.1 * 1000000 * P_r}{dp * n} \quad \text{Ec. 1.6}$$

Donde:

P<sub>r</sub>: Potencia del motor [kW]

n: velocidad angular de la polea [RPM]

### c. Determinación del ancho de la correa.

Una vez obtenida la fuerza periférica, el ancho de correa (b) se determina mediante la Ec. 1.7.

$$b = \frac{F_u * C_s * 10}{F_{spec} * Z_m} \quad \text{Ec. 1.7}$$

Donde:

F<sub>u</sub>: Fuerza periférica

C<sub>s</sub>: Factor de seguridad

Z<sub>m</sub>: Número de dientes engranados en la polea conductora.

F<sub>spec</sub>: Fuerza compartida por diente [N/cm].

El factor de seguridad depende de las condiciones de operación. El ANEXO B10 detalla los factores de seguridad aplicables. Para el cálculo del número de dientes engranados en la polea conductora, se utilizará la Ec. 1.8.

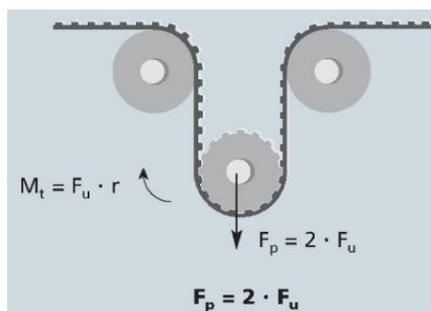
$$Z_m = Z * \frac{\text{Arco en contacto}}{360^\circ} \quad \text{Ec. 1.8}$$

Donde:

$Z_m$ : Número de dientes engranados en la polea conductora.

$Z$ : Número de dientes de la polea conductora.

#### d. Cálculo de la Pre-Tensión.



**Figura 1.14: Diagrama de Pre-tensión<sup>15</sup>.**

La pre-tensión se debe ajustar para que el sistema de transmisión lineal omega en condiciones de servicio mantenga esta tensión casi constante (Véase Figura 1.14), para el cálculo de la pre-tensión se emplea la Ec. 1.9.

$$F_p = 2 * F_u \quad \text{Ec. 1.9}$$

Para comprobar la correcta selección se determina la máxima tensión permisible de la correa mediante la expresión.

$$\text{Máxima tensión permisible} > \frac{F_p}{2} + (F_u * K_s) \quad \text{Ec. 1.10}$$

#### e. Verificación del diámetro de la polea y rodillo tensor.

Una vez terminada la selección de la correa dentada, se procede a comprobar la selección del diámetro de la polea conductora y los rodillos tensores, mediante las siguientes relaciones:

$$Z_d \geq Z_{\min} \quad \text{Ec. 1.11}$$

$$D_i \geq D_{\min} \quad \text{Ec. 1.12}$$

<sup>15</sup> Polyurethane Timing Belt. (2013). Recuperado desde <https://www.mitsuboshi.co.jp/english/catalog/pdf/freespan-belt.pdf>

Donde:

$Z_d$ : Número de dientes de la polea conductora.

$D_i$ : Diámetro de los rodillos tensores.

#### **f. Elongación.**

Un factor importante en el diseño de correas dentadas, es la máxima deformación de la banda en situación dinámica, conocida como elongación ( $\Delta l$ ), la misma que se obtiene mediante la Ec. 1.13.

$$\Delta l = \frac{F_u}{\text{Tensión Máxima Permisible}} * \left( \frac{4}{1000} \right) \quad \text{Ec. 1.13}$$

### **1.13. SISTEMAS DE CONTROL.**

Los sistemas de control (Anónimo, Wikipedia, 2013) son un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta para lograr un funcionamiento predeterminado reduciendo las posibilidad de errores y fallas.

#### **1.13.1. SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO.**

En un sistema de control a lazo abierto la señal de salida depende únicamente de la señal de entrada, es decir, no hay retroalimentación hacia el controlador por lo que no se asegura exactitud en el control.

Estos sistemas se caracterizan por:

- Implementación fácil y sencilla.
- Las señales de salida y entrada no se comparan.
- Susceptible a perturbaciones. Pueden ser tangibles o intangibles.
- La precisión del sistema depende de la previa calibración.

#### **1.13.2. SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO.**

Los sistemas de lazo cerrado ajustan la acción de control en función de la señal de entrada y a la retroalimentación desde un resultado final previo. El control en lazo cerrado es imprescindible en procesos muy complejos para ser

regulados por el hombre, producción a gran escala con grandes instalaciones y en procesos con perturbaciones constantes.

Las principales características de estos sistemas son:

- Complejidad alta, pero amplia cantidad de parámetros.
- Las señales de entrada y salida se comparan alterando el control.
- Posee retroalimentación.
- Estable ante perturbaciones y variaciones internas.

### 1.14. ROBOTS INDUSTRIALES.

De acuerdo con la Asociación de Industrias de Robótica (RIA, Robotic Industry Association): "Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas, o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas"

#### 1.14.1. ESTRUCTURA DE LOS ROBOTS INDUSTRIALES.

Un robot (González V., s.f.) está formado por una secuencia de elementos estructurales rígidos, denominados enlaces o eslabones, conectados entre sí por medio de juntas o articulaciones, esto se puede ver en la Figura 1.15.

Una articulación puede ser lineal (traslacional o prismática), si un eslabón se desliza sobre un eje unido al eslabón anterior, o rotacional cuando un eslabón gira alrededor de un eje conectado al eslabón anterior.

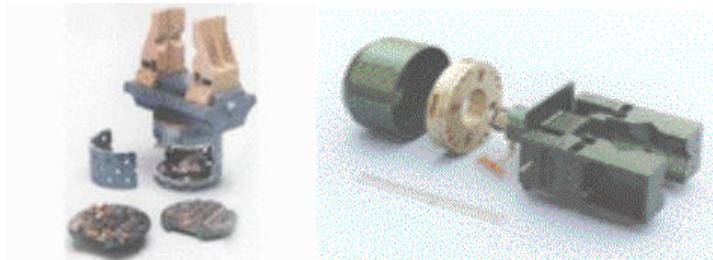


**Figura 1.15: Elementos estructurales de un robot industrial<sup>16</sup>.**

<sup>16</sup> Control y Robótica. (2005). Recuperado desde [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0708/archivos/\\_15/Tema\\_5.4.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.4.htm)

El conjunto de eslabones y articulaciones se denomina cadena cinemática. Se dice que una cadena cinemática es abierta si el primer eslabón no se conecta con el último. Al último eslabón se puede conectar un elemento terminal, como, una pinza (gripper) o una herramienta.

Las pinzas se utilizan para tomar un objeto, por lo general la pieza de trabajo, y sujetarlo durante un tiempo. Esto se puede ver en la Figura 1.16.



**Figura 1.16: Pinzas típicamente usadas por robots industriales<sup>17</sup>.**

Una herramienta se utiliza en aplicaciones donde el robot realiza alguna operación sobre la pieza de trabajo (Véase Figura 1.17).



**Figura 1.17: Herramientas de un robot industrial<sup>18</sup>.**

#### **1.14.2. GRADOS DE LIBERTAD DE UN ROBOT.**

Se denomina grado de libertad (g.d.l.) a cada una de las coordenadas que son necesarias para describir el estado del robot (posición y orientación en el espacio). Normalmente cada par eslabón-articulación tiene un solo grado de libertad, ya sea de rotación o de traslación. Observe la Figura 1.18.

<sup>17</sup> Control y Robótica. (2005). Recuperado desde [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0708/archivos/\\_15/Tema\\_5.4.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.4.htm).

<sup>18</sup> Ibíd.



Figura 1.18: Distintos grados de libertad de un brazo de robot<sup>19</sup>.

### 1.14.3. CONFIGURACIONES MORFOLÓGICAS DE LOS ROBOTS INDUSTRIALES.

Según la geometría de su estructura mecánica, un manipulador puede ser:

- **Cartesiano:** Su posicionamiento en el espacio se lleva a cabo mediante articulaciones lineales.
- **Cilíndrico:** Posee una articulación rotacional sobre una base y articulaciones lineales para el movimiento en altura y en radio.
- **Polar:** Cuenta con dos articulaciones rotacionales y una lineal.
- **Esférico (o de brazo articulado):** Robot con tres articulaciones rotacionales.
- **Mixto:** Posee varios tipos de articulaciones, combinaciones de las anteriores. Es destacable la configuración SCARA.
- **Paralelo:** Posee brazos con articulaciones prismáticas.

### 1.14.4. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LOS ROBOTS INDUSTRIALES.

Los principales parámetros que caracterizan a los robots industriales son:

- **Número de grados de libertad.**
- **Volumen de trabajo:** Es el conjunto de puntos del espacio accesibles al punto terminal (PT).

<sup>19</sup> Control y Robótica. (2005). Recuperado desde [http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0708/archivos/\\_15/Tema\\_5.4.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.4.htm).

- **Capacidad de posicionamiento del punto terminal:** Mide el grado de exactitud en la realización de los movimientos de un manipulador en una tarea programada, mediante tres magnitudes fundamentales: resolución espacial, precisión y repetibilidad.
- **Capacidad de carga:** Es el peso que puede transportar el elemento terminal del manipulador.
- **Velocidad:** Es la máxima velocidad que alcanzan el PT y las articulaciones.

#### 1.14.5. ACTUADORES.

Los actuadores (González V. , 2005) transforman en energía mecánica algún otro tipo de energía. En robótica son elementos que ejercen fuerzas y momentos, controlados con rapidez y precisión, sobre las partes de un robot dotándolas de movimiento. Los Principales tipos de actuadores son:

- **Hidráulicos:** Usan la circulación de fluidos, normalmente aceite especial para producir movimientos lineales o angulares, controlados mediante servoválvulas. Los actuadores hidráulicos son usados en manipuladores con gran capacidad de carga, y que requieren una precisa regulación de velocidad.
- **Neumáticos:** Funcionan de forma similar a los hidráulicos, pero emplean aire altamente compresible, en lugar de aceites especiales. Los actuadores neumáticos son idóneos para el control de movimientos rápidos, pero de precisión limitada.
- **Eléctricos:** Convierten la energía eléctrica en movimiento rotacional. Los motores de corriente continua (DC) y los motores paso a paso son los más utilizados actualmente en robots comerciales y experimentales.

En la Tabla 1.7 se muestran las principales características, ventajas y desventajas de los actuadores mencionados anteriormente.

**Tabla 1.7: Actuadores usados en robótica.**

	Neumáticos	Hidráulicos	Eléctricos
<b>Energía</b>	Aire a presión	Aceite mineral	Corriente eléctrica
<b>Tipos</b>	Cilindros	Cilindros	Corriente continua
	Motor de paletas	Motor de paletas	Corriente alterna
	Motor de pistón	Motor de pistones	Motor paso a paso
<b>Ventajas</b>			Servomotor
	Baratos	Rápidos	Precisos
	Rápidos	Autolubricantes	Fiables
	Sencillos	Alta capacidad de carga	Control sencillo
<b>Desventajas</b>	Robustos	Alta estabilidad estática	Sencilla instalación
	Dificultad de control continuo	Difícil mantenimiento	Potencia limitada
	Instalación compleja	Instalación especial	
	Ruidoso	Costo alto	

**Elaborado por:** Capilla Carlos, Pulloquina José.

### a. MOTORES ELÉCTRICOS.

Los principales motores eléctricos usados en robótica son:

**Motor paso a paso:** Este motor (Anónimo, 2008) se caracteriza por moverse un paso (entre  $1.8^\circ$  y  $90^\circ$ ), por cada pulso eléctrico que se le aplique. Es ideal para aplicaciones de movimientos precisos con control de velocidad complejo.



**Figura 1.19: Motor Paso a Paso<sup>20</sup>.**

**Servomotor:** Un servo (Irving, 1993) es un motor eléctrico que puede controlar y mantener estable, su posición dentro de un rango de operación. Está conformado por un motor, una caja reductora y un circuito de control, se

<sup>20</sup> Anónimo. [Tutorial sobre Motores Paso a Paso]. Recuperado de <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>

caracteriza por su fuerza, baja inercia y bajo consumo de energía. En la Figura 1.20 se puede observar un servomotor de tipo industrial.



**Figura 1.20: Servomotor Industrial<sup>21</sup>.**

#### 1.14.6. SENSORES.

Los sensores (González V. , 2005) proporcionan información sobre posición, velocidad y aceleración de los elementos de un robot, para asegurar que este siga una determinada trayectoria y alcance una posición deseada. Son llamados sensores internos aquellos que proporcionan información sobre el estado del robot, mientras que, los sensores externos proporcionan información sobre el ambiente donde se encuentra el robot, como la distancias a objetos, fuerza ejercida por objetos externos, etc. En la Tabla 1.8 se muestran los principales sensores utilizados en robótica.

**Tabla 1.8: Sensores utilizados en robótica.**

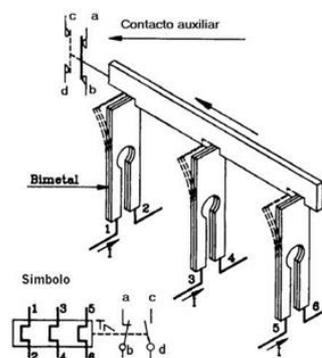
		<b>Eléctrico</b>	<b>Ópticos</b>
<b>Sensores internos</b>	De posición	Potenciómetros. Sincros. Resolvers.	Optointerruptores Encoder absoluto Encoder incremental
	De velocidad	Dínamos tacométricos.	Encoders
	Acelerómetros		
		<b>De contacto</b>	<b>Sin contacto</b>
<b>Sensores externos</b>	De proximidad	Microinterruptores.	Resistivos. De efecto Hall. De fibra óptica. Ultrasónicos.
	De fuerza	Piezoeléctrico.	
	De visión	Cámaras de tubo y cámaras CCD	

**Elaborado por:** Capilla Carlos, Pulloquina José.

<sup>21</sup> Galil. S.F. [Servo Motor]. Recuperado de <http://www.galilmc.com/products/servo-motor.php>

### 1.14.7. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA.

Según Folch, Guasp, & Porta (2000) todos los elementos eléctricos/electrónicos deben protegerse contra sobrecargas y cortocircuitos. Un dispositivo de protección contra sobrecargas debe permitir el paso de intensidades ligeramente mayores a la nominal durante un cierto tiempo y actuar con rapidez con intensidades muy elevadas. El principal dispositivo contra sobrecorrientes es el interruptor automático con relé térmico (ver Figura 1.21).



**Figura 1.21: Estructura básica de un relé térmico<sup>22</sup>.**

Mientras que los dispositivos de cortocircuito actúan al instante frente a intensidades altas. El de mayor aplicación es el fusible, véase Figura 1.22.



**Figura 1.22: Fusible de propósito general<sup>23</sup>.**

### 1.15. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE UN ROBOT.

La norma ISO 9283 (Pardo, 2010) detalla una serie de pruebas estandarizadas, que deben realizarse a un robot para determinar su capacidad para realizar tareas específicas.

<sup>22</sup>Folch, J. (2000). [Tecnología Eléctrica]

<sup>23</sup> Ibíd.

### **1.15.1. Condiciones antes de las pruebas.**

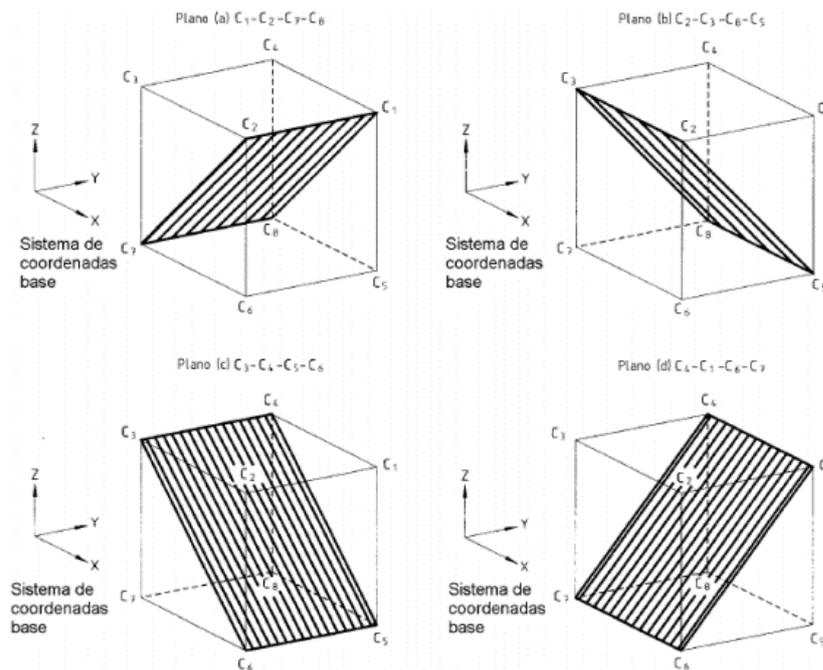
Según (Pardo, 2010), el robot debe estar montado y funcional, cumpliendo todas las operaciones de nivelado y alineación que indique el fabricante. Si el usuario puede ajustar parámetros significativos del robot, dichos ajustes deben constar en el informe de resultados y mantenerse durante cada ensayo.

### **1.15.2. Condiciones para las pruebas.**

- Todas las pruebas se ejecutan con la carga máxima.
- El TCP de la herramienta es el punto de medida (MP) durante las pruebas.
- Las características de posición deben probarse a la máxima velocidad del robot.
- Las características de trayectoria se ensayan al 100%, 50% y 10% de la velocidad.
- La velocidad de prueba debe alcanzarse al menos en el 50% de la longitud de la trayectoria del ensayo.

### **1.15.3. Ubicación del cubo en el espacio de trabajo.**

Pardo (2010) indica que, en el espacio de trabajo se ubica un único cubo, cuyas esquinas se designan por C1 a C8 (Figura 1.23). El cubo debe tener el máximo volumen posible con sus lados paralelos al sistema de coordenadas del robot y debe colocarse en la parte del espacio de trabajo donde se prevea un uso mayor. Si el robot tienen un eje con un alcance menor que otro, se reemplaza el cubo por un rectángulo paralelepípedo.

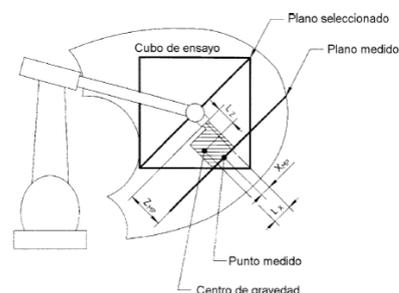


**Figura 1.23: Cubo dentro del espacio de trabajo<sup>24</sup>.**

Para los ensayos de posicionamiento se debe utilizar uno de los planos indicados en la Figura 1.23:

#### 1.15.4. Posiciones a comprobar.

Se ubican cinco puntos en las diagonales del plano de medida que corresponden a los puntos  $P_1$  a  $P_5$  en el plano seleccionado, trasladados por el punto de offset axial ( $X_{MP}$ ) y radial ( $Z_{MP}$ ). El plano de medida esta paralelo al plano seleccionado (vérr Figura 1.24).

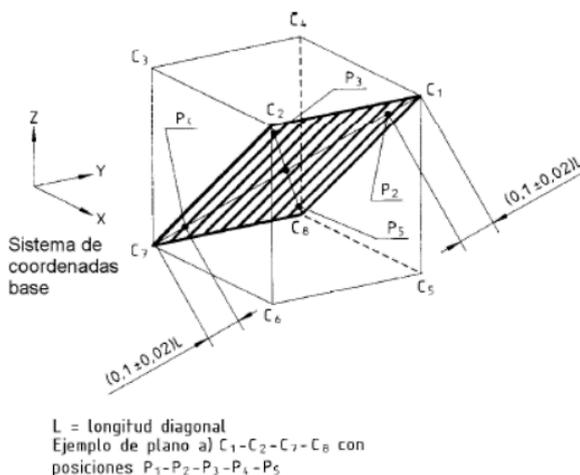


**Figura 1.24: Plano seleccionado y plano de medida<sup>25</sup>.**

<sup>24</sup> Pardo, H. (2010). [Ensayo y Análisis de las prestaciones de un robot industrial de seis ejes según la norma UNE-EN ISO 9283].

<sup>25</sup> Ibíd.

El punto  $P_1$  es el centro del cubo, mientras los puntos  $P_2$  a  $P_5$  están ubicados a una distancia del extremo de las diagonales igual a  $(10 \pm 2) \%$  la longitud de la diagonal (Figura 1.25).



**Figura 1.25: Posiciones de prueba<sup>26</sup>.**

#### 1.15.5. Número de ciclos.

El número de ciclos a realizar al ensayar cada característica se define en la Tabla 1.9.

**Tabla 1.9: Número de ciclos.**

Características a ser probadas	Número de ciclos
Precisión y Repetibilidad de posición.	30
Precisión y Repetibilidad de distancia.	30
Tiempo de estabilización de posición.	3
Rebose de posición.	3

**Elaborado por:** Capilla Carlos, Pulloquina José.

Los ensayos de rebose, precisión y repetibilidad de posición pueden realizarse de forma consecutiva, pero se recomienda realizar el de tiempo de estabilización antes del de repetibilidad de posición.

<sup>26</sup> Pardo, H. (2010). [Ensayo y Análisis de las prestaciones de un robot industrial de seis ejes según la norma UNE-EN ISO 9283].

### 1.15.6. Características de posición.

#### a. Precisión de posición (AP).

Es la desviación entre las posiciones programadas y las posiciones alcanzadas por el robot, cuando se aproxima siempre en la misma dirección, al punto programado. La precisión de posición se divide en:

**Precisión de posicionamiento:** Es la diferencia entre la posición de un punto programado y la posición alcanzada. Esto se calcula mediante la Ec. 1.14.

$$AP_P = \sqrt{(\bar{x} - x_c)^2 + (\bar{y} - y_c)^2 + (\bar{z} - z_c)^2} \quad \text{Ec. 1.14}$$

$$AP_x = (\bar{x} - x_c) \quad \text{Ec. 1.15}$$

$$AP_y = (\bar{y} - y_c) \quad \text{Ec. 1.16}$$

$$AP_z = (\bar{z} - z_c) \quad \text{Ec. 1.17}$$

con

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \quad \text{Ec. 1.18}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j \quad \text{Ec. 1.19}$$

$$\bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_j \quad \text{Ec. 1.20}$$

Donde:

$AP_P$	Exactitud en posición en el punto.
$AP_x, AP_y$ y $AP_z$	Exactitud en posición en dirección X, Y y Z.
$\bar{x}, \bar{y}$ y $\bar{z}$	Coordenadas promedio de la nube de puntos obtenidos tras repetir la misma posición n veces.
$x_c, y_c$ y $z_c$	Coordenadas de los puntos programados.

$x_j, y_j$  y  $z_j$

Coordenadas de la j-ésima posición alcanzada.

**Precisión de orientación:** Es la diferencia entre la orientación de un punto programado y el promedio de las orientaciones alcanzadas. La precisión de orientación se calcula mediante las ecuaciones Ec. 1.21, Ec. 1.22 y Ec. 1.23.

$$AP_a = (\bar{a} - a_c) \quad \text{Ec. 1.21}$$

$$AP_b = (\bar{b} - b_c) \quad \text{Ec. 1.22}$$

$$AP_c = (\bar{c} - c_c) \quad \text{Ec. 1.23}$$

con

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_j \quad \text{Ec. 1.24}$$

$$\bar{b} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_j \quad \text{Ec. 1.25}$$

$$\bar{c} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_j \quad \text{Ec. 1.26}$$

Donde:

$\bar{a}, \bar{b}$  y  $\bar{c}$

Promedio de la nube de ángulos obtenidos tras repetir la misma posición  $n$  veces.

$a_c, b_c$  y  $c_c$

Ángulos programados alrededor de los ejes X, Y y Z.

$a_j, b_j$  y  $c_j$

Ángulos alrededor de los ejes X, Y y Z de de la j-ésima posición alcanzada.

## b. Repetibilidad de posición (RP).

Expresa la dispersión de las posiciones alcanzadas después de visitar  $n$  veces una posición programada en la misma dirección. La repetibilidad de posicionamiento se calcula mediante la Ec. 1.27.

$$RP_l = (\bar{l} - 3S_l) \quad \text{Ec. 1.27}$$

con

$$\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n l_j \quad \text{Ec. 1.28}$$

$$l_j = \sqrt{(\bar{x} - x_j)^2 + (\bar{y} - y_j)^2 + (\bar{z} - z_j)^2} \quad \text{Ec. 1.29}$$

$$S_l = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (l_j - \bar{l})^2}{n - 1}} \quad \text{Ec. 1.30}$$

Donde:

- $\bar{l}$  Promedio del error medio cuadrático de cada posición.
- $l_j$  Error medio cuadrático de las posiciones alcanzadas.
- $S$  Desviación estándar.

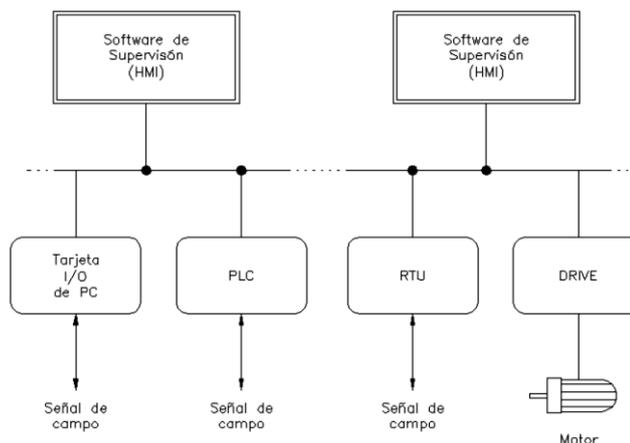
La repetibilidad de orientación se obtiene mediante la Ec. 1.31:

$$RP_{a,b,c} = \pm 3S_{a,b,c} \quad \text{Ec. 1.31}$$

## 1.16. INTERFAZ HUMANA MÁQUINA (HMI).

El sistema HMI (Saco, 2008) es una ventana de un proceso que le permite al operador ver y modificar señales del mismo. Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora.

En los sistemas HMI las señales del proceso son conducidas por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en la computadora, PLC's, RTU o DRIVER's. La estructura de un HMI se puede ver en la Figura 1.26.



**Figura 1.26: Estructura de un HMI<sup>27</sup>.**

### 1.16.1. FUNCIONES DE UN HMI.

- **Monitoreo:** Obtiene y muestra los datos de la planta en tiempo real.
- **Supervisión:** Esta función permite ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.
- **Alarmas:** Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportar estos eventos. Las alarmas son reportadas basadas en límites de control preestablecidos.
- **Control:** Permite aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso para mantener estos valores dentro de ciertos límites.
- **Históricos:** Es la capacidad de muestrear y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia.

<sup>27</sup> Saco, R. (2008). [Recuperado desde <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>]

## CAPÍTULO II

### DISEÑO, SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA AS/RS

#### 2.1. DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA AS/RS.

En el diseño mecánico del sistema AS/RS, se considerará aspectos técnicos como las dimensiones del espacio de trabajo, capacidad de almacenamiento, adaptabilidad del controlador y tipo de máquina S/R (Sección 1.8.2).



**Figura 2.1: Almacén ASRS-36u Intelitek<sup>28</sup>.**

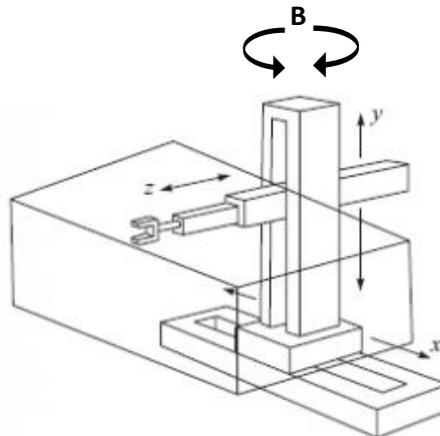
Basado en las necesidades planteadas en la Sección 1.2 y una vez analizada la Sección 1.11 el sistema AS/RS-36U (Figura 2.1) es la referencia para diseño más idónea. Las características de dicho sistema se detallan en el ANEXO B1.

Se establece como referencia de diseño al AS/RS-36U ya que sus dimensiones se adaptan adecuadamente al espacio disponible para el prototipo de sistema AS/RS (Ver Figura 1.1), el cual es de 1000mmx1500mm, la altura no se delimita ya que es muy amplia y no afecta al diseño.

---

<sup>28</sup> Intelitek. (2004). [AS/RS Storage]. Recuperado de [http://kurser.iha.dk/eit/i4prj4/Scorebot-5.3.2-build5-CD/RoboCelln5.3.2%20bulid%205-cd/Books/100393A\\_ASRS-36\\_Ctrl-USB.pdf](http://kurser.iha.dk/eit/i4prj4/Scorebot-5.3.2-build5-CD/RoboCelln5.3.2%20bulid%205-cd/Books/100393A_ASRS-36_Ctrl-USB.pdf)

Adicionalmente, la capacidad de almacenamiento del AS/RS-36U es mayor que las del ICIM 3000 (Sección 1.11.1) y del DLFA-AS/RS (Sección 1.11.2).



**Figura 2.2: Brazo cartesiano con su volumen de trabajo.**<sup>29</sup>

Una vez realizado el reconocimiento del ASRS-36u en la Universidad San Francisco de Quito (USFQ), la cual forma parte de un CIM con carga y descarga de material sobre una banda, sin usar estaciones P&D (referirse a la Sección 1.8.4), permitió establecer que la máquina S/R constara de tres ejes prismáticos como un robot tipo cartesiano, véase la Figura 2.2, y un eje rotacional alrededor del eje Y, mismo que se lo denominará eje B. Esta disposición de la máquina S/R permitirá acceder a las bandas planas (véase Figura 1.1) de la celda sin necesidad de usar estaciones P&D.

## 2.2. PARÁMETROS DE DISEÑO MECÁNICO.

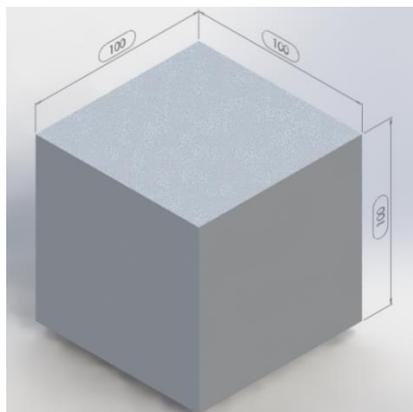
Una vez analizadas las características de los diferentes tipos de sistemas AS/RS (Sección 1.7) se determina que el AS/RS-36U es de tipo Unit Load. A continuación se especifican todos los parámetros considerados para el diseño del prototipo de sistema AS/RS.

### 2.2.1. CARGA A TRANSPORTAR.

Debido a que el prototipo de sistema AS/RS se implementará en una celda de manufactura de robot centralizado de tipo didáctico, las cargas a

<sup>29</sup> [Imagen sin descripción]. Recuperado de [http://creandoelfuturo.net/sites/default/files/styles/large/public/robot\\_cartesiano.png?itok=IU\\_2oPt\\_](http://creandoelfuturo.net/sites/default/files/styles/large/public/robot_cartesiano.png?itok=IU_2oPt_)

transportar serán materiales blandos y livianos como aluminio, madera, MDF, duralón y drilón, cuyas dimensiones máximas serán 100mmx100mmx100mm, con un volumen de  $1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ , esto se puede ver en la Figura 2.3.



**Figura 2.3: Dimensiones de la carga a transportar<sup>30</sup>.**

Debido a que el aluminio es el de mayor peso específico<sup>31</sup> ( $2700 \text{ Kg/m}^3$ ), el peso máximo<sup>32</sup> a transportar será de:

$$W = \gamma * V \quad \text{Ec. 2.1}$$

En donde:

W: Peso [N].

$\gamma$ : Peso específico de la sustancia [ $\text{N/m}^3$ ] ( $\gamma = \rho * g$ ).

V: Volumen de la sustancia [ $\text{m}^3$ ].

$$W = 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 1 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\boxed{W = 26,48 \text{ N}}$$

Para poder realizar la manipulación de la carga se establece un espacio de holgado entre el pallet y las horquillas de transporte de 3 mm, esto permitirá hacer un levantamiento y depósito de la carga de forma eficiente (véase Figura 2.9).

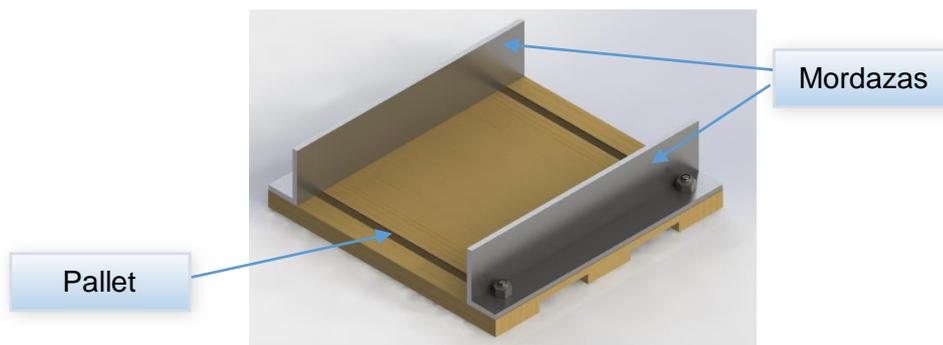
<sup>30</sup> Fuente propia.

<sup>31</sup> Hamrock B., Elementos de Máquinas, McGraw-Hill, Primera Edición, p. 105

<sup>32</sup> Mott R., Mecánica de fluidos, Prentice Hall, Sexta Edición, p. 15

### 2.2.2. MÓDULO DE ALMACENAJE.

El módulo de almacenaje (Sección 1.8.3) será diseñado como un pallet de madera con dos mordazas móviles de aluminio que permitirán adaptar el módulo a las dimensiones de la carga ingresada, el ancho máximo admitido será de 110 mm, esto se puede apreciar en la Figura 2.4.



**Figura 2.4: Módulo de almacenaje<sup>33</sup>.**

El diseño del pallet se realizará en madera de pino cuyo límite de fluencia ( $S_y$ ) es 9,6 MPa<sup>34</sup>, debido a que es un componente para el depósito de la carga a transportar y por tanto no estará sometido a esfuerzos considerables.

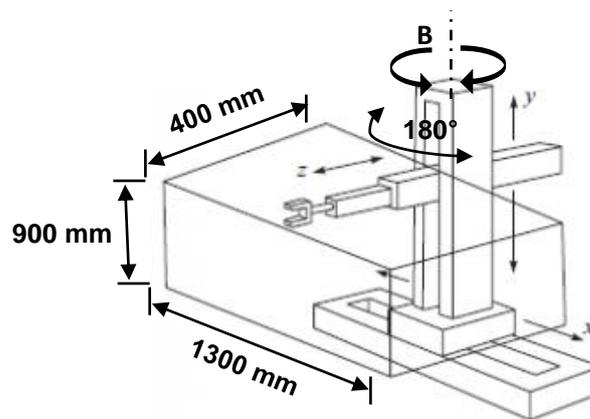
### 2.2.3. MÁQUINA S/R.

Conforme a la Sección 2.1 la máquina S/R dispondrá de 4 grados de libertad (Sección 1.14.2), tres de traslación y uno de rotación, esto se puede apreciar en la Figura 2.5. En base al espacio físico disponible para el prototipo a diseñar (véase Figura 1.1), y tomando como referencia los datos del ANEXO B1 se establecen los recorridos mostrados en la Figura 2.6 para cada uno de los ejes de la máquina S/R.

---

<sup>33</sup> Fuente propia.

<sup>34</sup> MOTT R., Resistencia de Materiales, Prentice Hall, p. A-19



**Figura 2.5: Recorrido de los ejes de la máquina S/R<sup>35</sup>.**

Para la selección del sistema de transmisión mecánica de la máquina S/R se consideran aspectos como versatilidad de posicionamiento, transmisión de potencia a grandes distancias, bajo ruido y bajo deslizamiento.

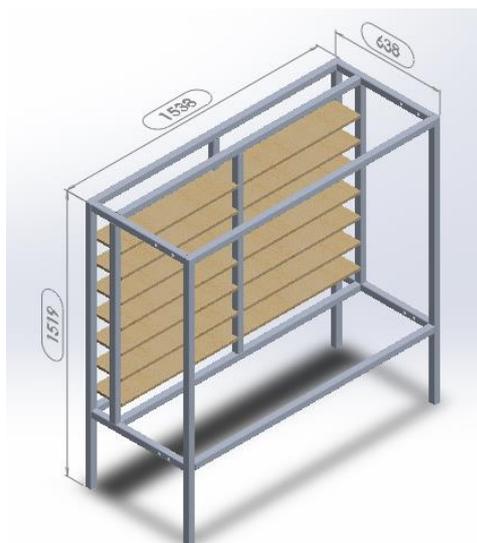
Las articulaciones (Figura 1.15) de los ejes X, Y y Z deberán permitir la traslación de cada eje de forma precisa y eficiente, por lo que deberá usar bocines que circulan sobre guías. Por otra parte, los actuadores de la máquina S/R deberán ser precisos, con capacidad de carga media, bajo consumo de corriente eléctrica y de fácil control.

Mott (2006) en el estudio del diseño de elementos afirma que el bronce fosfórico SAE 40 posee buena resistencia mecánica y alta resistencia al desgaste, por lo que se establece dicho material para el diseño de los bocines, mientras que, considerando las propiedades mecánicas de gran resistencia, gran rigidez, durabilidad y facilidad relativa de fabricación del acero se establece al acero de transmisión AISI 1018 ( $S_y=370$  MPa) como material para el diseño de los guías de los ejes X, Y y Z. Todos los soportes y elementos de acople de la máquina S/R deberán tener un espesor mínimo de 2 mm.

<sup>35</sup> [Estructura mecánica de un robot]. (s. f.). Recuperado desde <http://creandoelfuturo.net/es/morfologia-del-robot/estructura-mecanica-robot>.

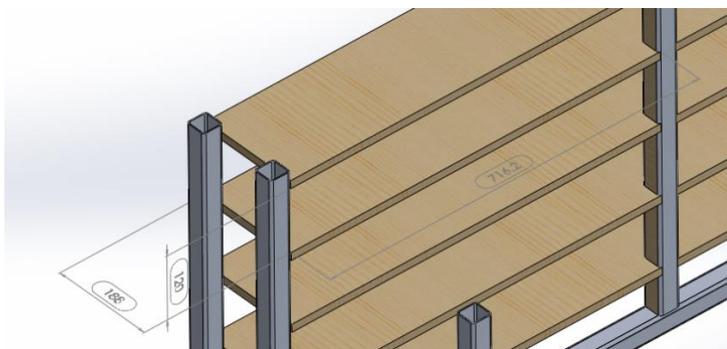
Sustentado en los datos del ANEXO B1 y considerando que el prototipo es de aplicación didáctica, para mantener estática la carga mientras es transportada, los ejes X, Y y Z se desplazarán a una velocidad lineal máxima de 200 mm/s, y una velocidad angular máxima de 15 rpm para el eje B.

#### 2.2.4. ESTRUCTURA DE ALMACENAMIENTO.



**Figura 2.6: Estructura de almacenamiento<sup>36</sup>.**

La estructura de almacenamiento (Sección 1.8.1) tendrá las dimensiones de la Figura 2.6. Las estanterías para la materia prima y el producto terminado tendrán una altura de 160mm, un largo de 716.2mm y un ancho de 188mm (véase Figura 2.7).



**Figura 2.7: Dimensiones de las estanterías<sup>37</sup>.**

---

<sup>36</sup> Fuente propia.

<sup>37</sup> Fuente propia.

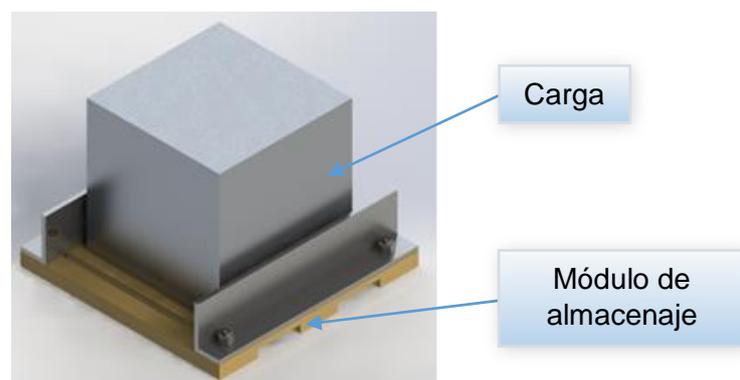
Para el diseño de la estructura de almacenamiento se empleará aluminio aleado 6061-T4 ( $S_y=145$  MPa)<sup>38</sup>, por la apariencia agradable, el bajo peso, buena resistencia a la corrosión, facilidad relativa de formado y maquinado del aluminio. Las dimensiones de la estructura de almacenamiento se detallan en el ANEXO A26.

### 2.3. DISEÑO MECÁNICO DE LA MÁQUINA S/R.

Uno de los aspectos fundamentales en el diseño de la máquina S/R, es el dimensionamiento de sus ejes, debido a que de acuerdo a su ubicación soportarán cargas generadas por su propio peso y las cargas que transporta; este hecho determina que su estructura sea fuerte, resistente, medianamente ligera, entre otros.

Conforme a la Sección 2.2.3 las articulaciones se las establece como bocines de bronce que circulan sobre dos guías cilíndricas de acero, para de esta manera asegurar un movimiento estable de la carga a transportar.

#### 2.3.1. DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL MÓDULO DE ALMACENAJE.

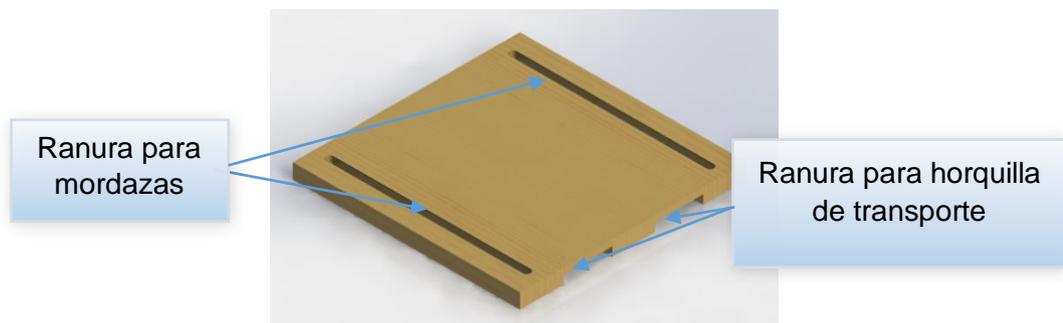


**Figura 2.8: Módulo de almacenaje con la carga a transportar.<sup>39</sup>**

La función del módulo de almacenaje es contener las cargas a transportar y permitir su manipulación mediante la máquina S/R, una vista general de la función del módulo es la Figura 2.8.

<sup>38</sup> MOTT R., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Apéndice 9, p. A-15

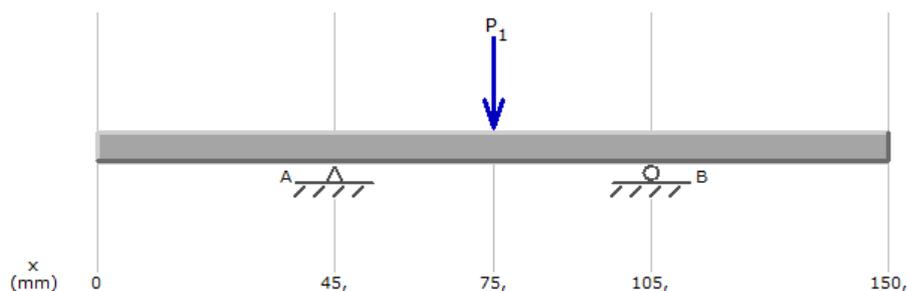
<sup>39</sup> Fuente propia.



**Figura 2.9: Pallet de madera<sup>40</sup>.**

De las dos partes que constituyen el módulo de almacenaje vistas en la Sección 2.2.2 el pallet (Figura 2.9) es el elemento que se debe diseñar ya que está sometido a la fuerza ejercida por el peso de la carga a transportar, esto se puede observar en la Figura 2.10. Las dimensiones del pallet son detalladas en el ANEXO A4 y las de la mordaza en el ANEXO A5.

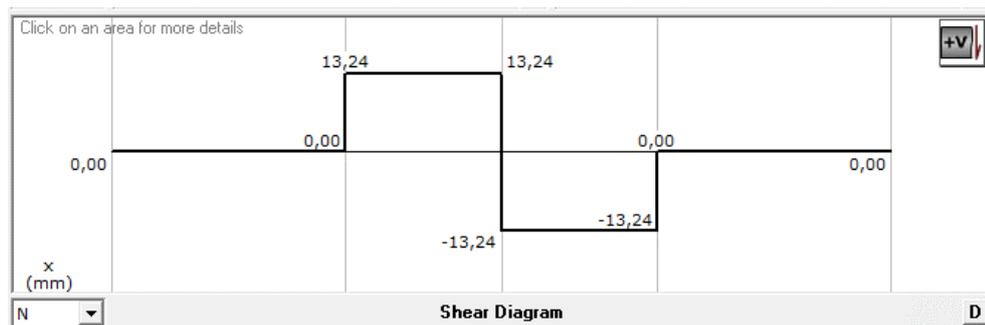
Para el análisis del pallet transportador se considera el peso de 26,48 N de la carga a transportar especificado en la Sección 2.2.1, en base a esto se realiza el cálculo del espesor adecuado considerando al pallet como una viga con dos apoyos, en la Figura 2.11 y Figura 2.12 se muestran las fuerzas cortantes y momentos flectores respectivamente, resultantes de la aplicación del peso antes mencionado.



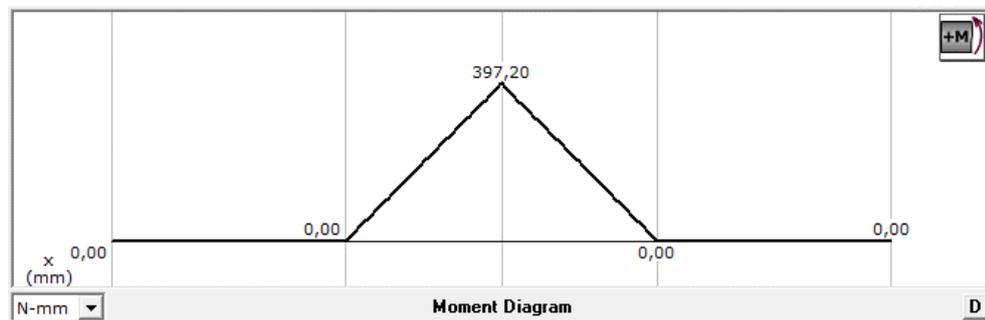
**Figura 2.10: Diagrama de cuerpo libre del pallet<sup>41</sup>.**

<sup>40</sup> Fuente propia.

<sup>41</sup> Fuente propia.



**Figura 2.11: Diagrama de fuerzas cortantes en el pallet<sup>42</sup>.**



**Figura 2.12: Diagrama de momentos flectores en el pallet<sup>43</sup>.**

Como se puede observar en la Figura 2.12 el momento crítico es de 397,20 N-mm, para el diseño se usa madera de pino ( $S_y = 9,6$  MPa) seleccionada en la Sección 2.2.2 y se establece un factor de seguridad de 1.5<sup>44</sup>. Entonces el esfuerzo normal de diseño se obtiene mediante la Ec. 2.2.

$$\sigma_D = \frac{S_y}{N} \quad \text{Ec. 2.2}$$

En donde:

$\sigma_D$ : Esfuerzo de diseño [MPa].

$S_y$ : Límite de fluencia [MPa].

N: Factor de seguridad.

<sup>42</sup> Fuente propia.

<sup>43</sup> Fuente propia.

<sup>44</sup> MOTT R., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, p. 185

El esfuerzo de diseño resultante es:

$$\sigma_D = \frac{9,6 \text{ MPa}}{1.5}$$

$$\boxed{\sigma_D = 6,4 \text{ MPa}}$$

El esfuerzo por flexión se calcula mediante la expresión<sup>45</sup>:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{S_x} \quad \text{Ec. 2.3}$$

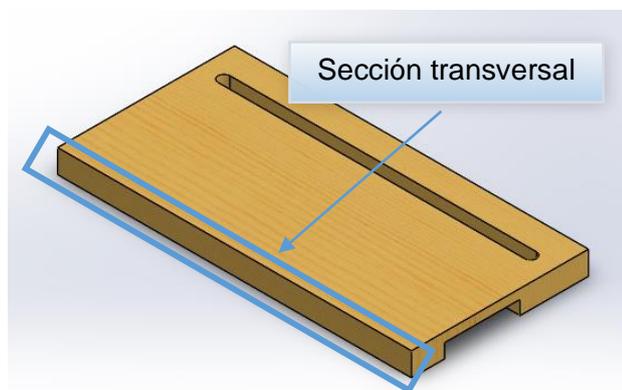
En donde:

$S_x$ : Módulo de sección en el eje x [mm].

$M_{\max}$ : Momento flector máximo [N-mm].

Por otra parte el módulo de sección en el eje x de una forma rectangular, se calcula mediante<sup>46</sup>:

$$S_x = \frac{bh^2}{6} \quad \text{Ec. 2.4}$$



**Figura 2.13: Vista de sección media del pallet<sup>47</sup>.**

Mediante el esfuerzo de diseño se procede al cálculo del espesor del pallet el cual corresponde a la altura de la sección rectangular (véase Figura 2.13) mediante la Ec. 2.5, la cual se obtuvo del despeje de las ecuaciones de módulo de sección (Ec. 2.3) y de esfuerzo normal por flexión (Ec. 2.4).

<sup>45</sup> MOTT R., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, p. 105

<sup>46</sup> *Ibíd.*, Apéndice 1, p. A-1

<sup>47</sup> Fuente propia.

Ec. 2.5

$$h = \sqrt{\frac{6 * M_{\max}}{b * \sigma_D}}$$

En donde:

h: Altura de la sección transversal [mm].

$M_{\max}$ : Momento flector máximo [N-mm].

b: Base de la sección [mm].

El resultado del cálculo de la altura es:

$$h = \sqrt{\frac{6 * 397,20 \text{ N} \cdot \text{mm} \cdot \text{mm}^2}{150 \text{ mm} * 6,4 \text{ N}}}$$

$$\boxed{h = 1,57 \text{ mm}}$$

Considerando el resultado anterior se seleccionó un espesor de 2 mm. Para comprobar el diseño se realiza el cálculo del esfuerzo generado, en base al espesor seleccionado, el módulo de sección resultante de la Ec. 2.4 es:

$$S_x = \frac{150 \text{ mm} * (2 \text{ mm})^2}{6}$$

$$\boxed{S_x = 100 \text{ mm}^3}$$

El esfuerzo al que estará sometido el pallet basado en la Ec. 2.3 será:

$$\sigma = \frac{397,20 \text{ N} \cdot \text{mm}}{100 \text{ mm}^3}$$

$$\boxed{\sigma = 3,97 \text{ MPa}}$$

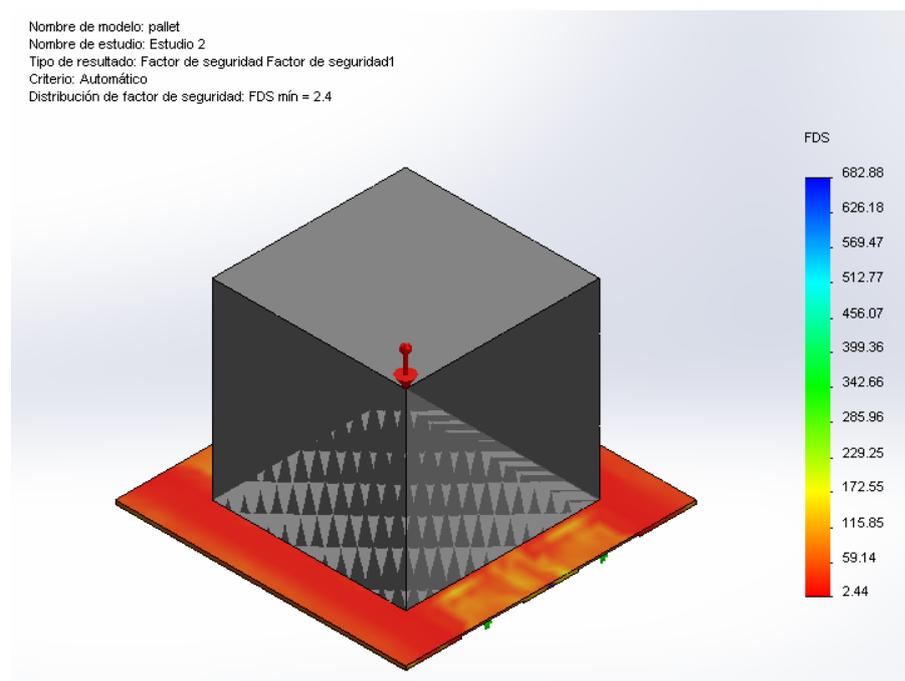
Despejando el factor de seguridad de la Ec. 2.2, se obtiene:

$$N = \frac{9,6 \text{ MPa}}{3,97 \text{ MPa}}$$

$$\boxed{N = 2,41}$$

Con un factor de seguridad de 2,41 se establece un espesor del pallet sobredimensionado, no obstante por facilidad de fabricación se conserva el espesor de 2 mm.

Para comprobar el diseño se emplea el software de diseño mecánico SolidWorks 2014, mediante el cual se puede observar en una escala de colores el factor de seguridad de cada elemento del pallet, véase Figura 2.14.



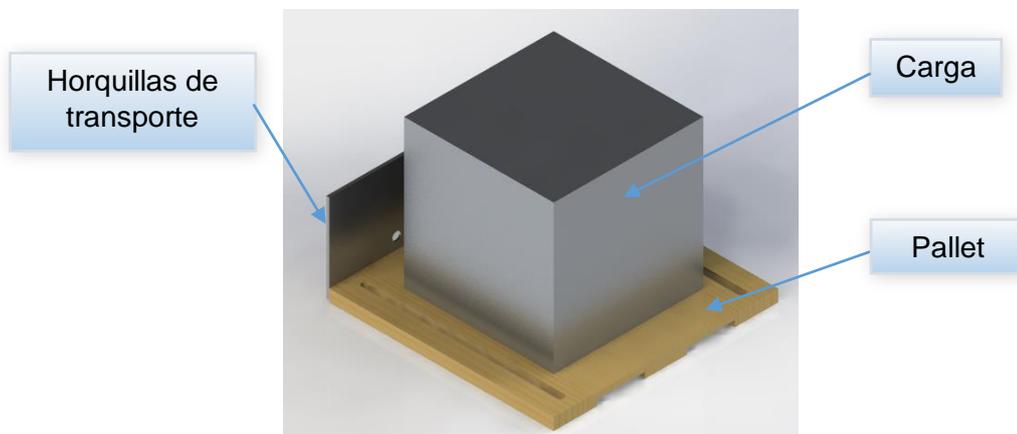
**Figura 2.14: Factor de seguridad para el pallet<sup>48</sup>.**

De acuerdo a los resultados de la Figura 2.14 el factor de seguridad mínimo es de 2,44 lo que corrobora que el diseño está sobredimensionado.

Tomando en cuenta que la holgadura entre las horquillas de transporte y el pallet es de 3 mm (Sección 2.2.1) y en base a las dimensiones obtenidas en el diseño de las horquillas de transporte (Sección 2.3.2), se selecciona un espesor de 8 mm; de los cuales 2 mm es la altura del soporte de la carga y 6 mm son la altura de las ranuras para introducir las horquillas de transporte (ver ANEXO A4).

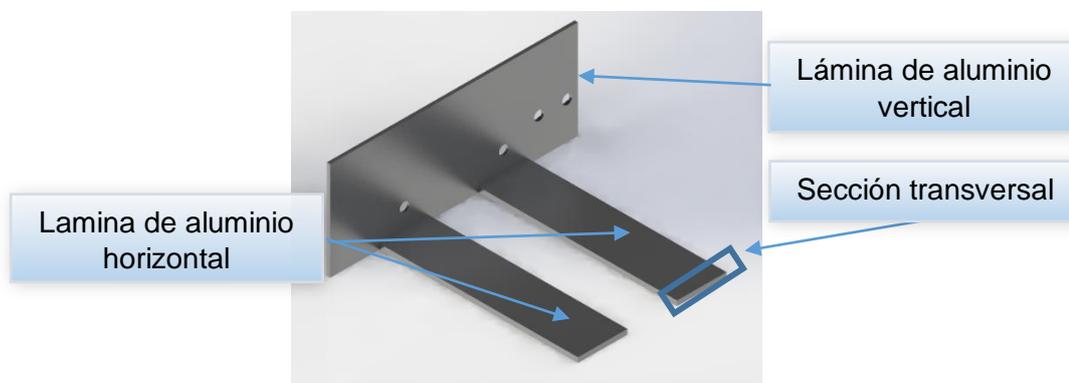
<sup>48</sup> Fuente propia.

### 2.3.2. DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LAS HORQUILLAS DE TRANSPORTE.



**Figura 2.15: Horquillas ubicadas para el transporte de la carga<sup>49</sup>.**

Las horquillas de transporte deben tomar y depositar la carga desde y hacia el sistema AS/RS, la vista general de las horquillas se puede apreciar en la Figura 2.15.

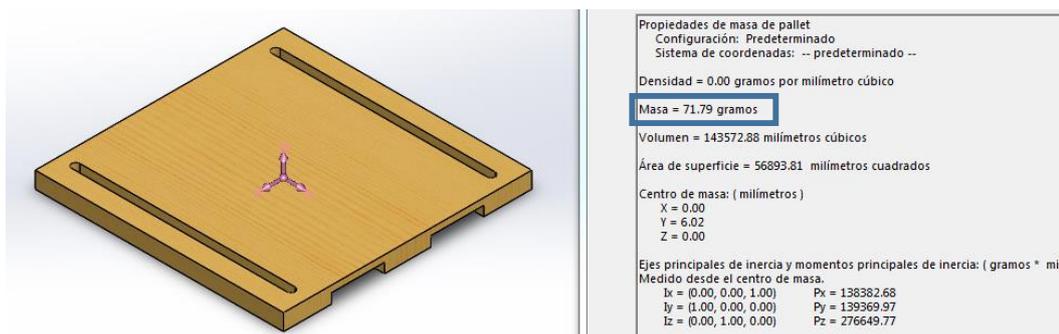


**Figura 2.16: Horquillas de transporte<sup>50</sup>.**

Para el análisis de las horquillas del transportador (ver Figura 2.16) se toma el peso del pallet cuya masa es de 71,79 gramos (ver Figura 2.17), y el peso de la carga a transportar especificado en la Sección 2.2.1.

<sup>49</sup> Fuente propia.

<sup>50</sup> Fuente propia.



**Figura 2.17: Propiedades físicas del pallet obtenidas de SolidWorks<sup>51</sup>.**

Las horquillas de transporte están constituidas por dos láminas de aluminio horizontales y una lámina de aluminio vertical, esto se puede apreciar en la Figura 2.16, las dimensiones de este elemento se detallan en el ANEXO A7. El peso que soportará las horquillas se calcula mediante la Ec. 2.6.

$$W_t = W_c + W_p \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde:

$W_t$ : Peso total [N].

$W_c$ : Peso de la carga a transportar [N].

$W_p$ : Peso del pallet [N].

El peso<sup>52</sup> del pallet se determina mediante:

$$W = m * g \quad \text{Ec. 2.7}$$

Entonces el peso se calcula de la siguiente manera:

$$W_t = 26,48 \text{ N} + 0,07179 \text{ Kg} * 9,81 \text{ m/s}$$

$$W = 27,18 \text{ N}$$

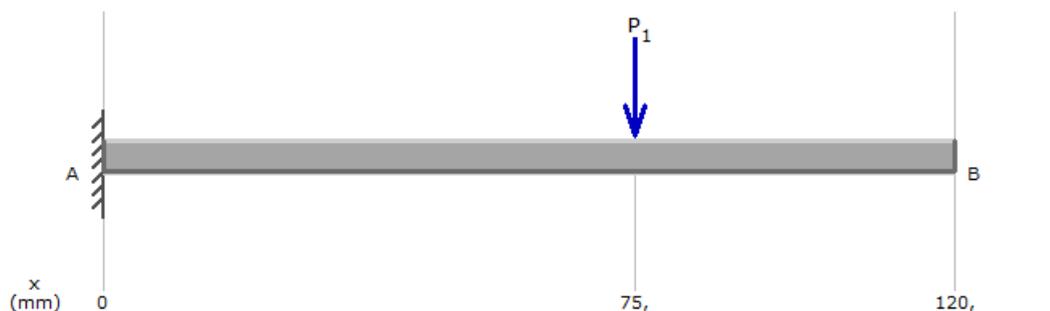
Para el cálculo del espesor de las láminas horizontales se considera el peso calculado dividido para el número de láminas. A su vez, para el análisis estático se considera a cada lámina como una viga en voladizo, sometida a

<sup>51</sup> Fuente propia.

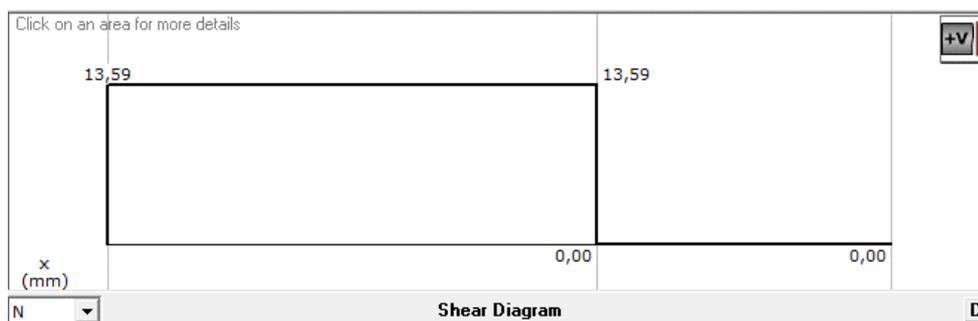
<sup>52</sup> NORTON R., Diseño de maquinaria, McGraw-Hill, Quinta Edición, p. 15

una fuerza puntual ubicada a 75 mm de la parte izquierda de las láminas (Distancia medida hasta el centro de masa de la carga) (véase Figura 2.18).

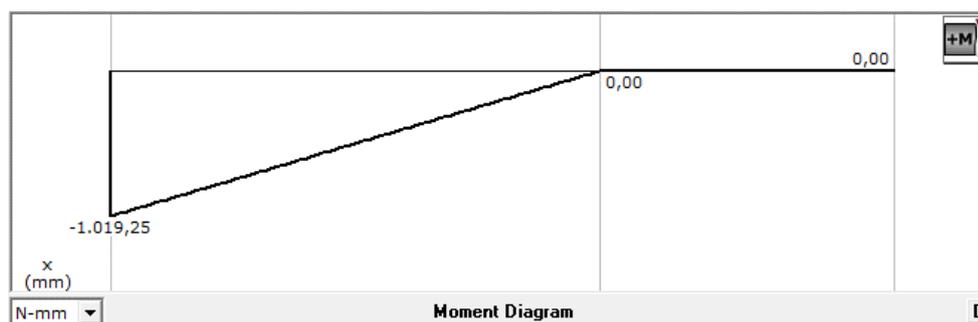
En la Figura 2.19 y Figura 2.20 se pueden observar las fuerzas cortantes y momentos flectores, respectivamente, a las que está sometida cada lámina horizontal.



**Figura 2.18: Diagrama de cuerpo libre de la lámina horizontal<sup>53</sup>.**



**Figura 2.19: Diagrama de fuerzas cortantes en la lámina horizontal<sup>54</sup>.**



**Figura 2.20: Diagrama de momentos flectores en la lámina horizontal<sup>55</sup>.**

<sup>53</sup> Fuente propia.

<sup>54</sup> Fuente propia.

<sup>55</sup> Fuente propia.

Para el diseño se considera un factor de seguridad de 1,5, el material seleccionado para su construcción es aluminio aleado 6061-T4 ( $S_y=145$  MPa.) establecido en la Sección 2.2.3, de la Figura 2.20 se determina el momento crítico de 1019,25 N-mm. Con estos datos se procede a calcular el esfuerzo normal de diseño aplicando la Ec. 2.2.

El esfuerzo de diseño resultante es:

$$\sigma_D = \frac{145 \text{ MPa}}{1,5}$$

$$\boxed{\sigma_D = 96,66 \text{ MPa}}$$

Una vez especificado el esfuerzo de diseño, se procede al cálculo de la altura de la sección transversal de la lámina horizontal (véase Figura 2.16) mediante la Ec. 2.5. El resultado del cálculo de la altura es:

$$h = \sqrt{\frac{6 \times 1019,25 \text{ N} \cdot \text{mm} \cdot \text{mm}^2}{30 \text{ mm} * 96,66 \text{ N}}}$$

$$\boxed{h = 1,45 \text{ mm}}$$

Considerando el resultado anterior se selecciona un espesor de 1,5 mm. Para comprobar este resultado se realizará el cálculo del factor de seguridad en base al espesor seleccionado. Para calcular el módulo de sección de un rectángulo se emplea la Ec. 2.4.

El módulo de sección resultante es:

$$S_x = \frac{30 \text{ mm} * (1,5 \text{ mm})^2}{6}$$

$$\boxed{S_x = 11,25 \text{ mm}^3}$$

El esfuerzo al que estarán sometido las láminas horizontales será:

$$\sigma = \frac{1019,25 \text{ N} \cdot \text{mm}}{11,25 \text{ mm}^2}$$

$$\boxed{\sigma = 90,6 \text{ MPa}}$$

Despejando el factor de seguridad de la Ec. 2.2, se obtiene:

$$N = \frac{145 \text{ MPa}}{90,6 \text{ MPa}}$$

$$\boxed{N = 1,6}$$

Con este factor de seguridad se comprueba que el diseño de la lámina de aluminio horizontal de las horquillas de transporte está sobredimensionado. Por otro lado, debido a la disponibilidad comercial, se selecciona un espesor de 2 mm para estas láminas horizontales.

Para el cálculo del espesor adecuado en la lámina de aluminio vertical para la horquillas (ver Figura 2.16) se considera como una viga sometida a una fuerza axial  $P_1$  y un momento flector  $M_1$  producidas por el peso del pallet y la carga transportada. A continuación se muestran los diagramas de cuerpo libre de la lámina de aluminio.



**Figura 2.21: Diagrama de cuerpo libre de la lámina vertical<sup>56</sup>.**

En la Figura 2.21 se puede observar que la viga está sometida a una fuerza axial  $P_1$ , cuyo valor es de 27,18 N, y un momento flector de 2038,5 N-mm. Para este caso se aplica el principio de superposición<sup>57</sup>, debido a que la

<sup>56</sup> Fuente propia.

<sup>57</sup> MOTT R., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, p. 117

lámina está sometida a esfuerzo normal por flexión, y esfuerzo normal por tensión directa. Considerando el esfuerzo de diseño de 96.66 MPa, se procede al cálculo de la altura de la sección transversal de la lámina mediante la Ec. 2.8.

$$\sigma_D * b * h^2 - F * h - 6 * M = 0 \quad \text{Ec. 2.8}$$

Donde:

$\sigma_D$ : Esfuerzo normal de diseño [N/mm<sup>2</sup>].

b: Base de la sección transversal [mm].

F: Carga axial [N].

h: Altura de la sección transversal [mm].

M: Momento flector [N-mm].

El resultado del cálculo de la altura es:

$$96,66 \text{ MPa} * 150 * h^2 - 27,18\text{N} * h - 6 * 2038.5\text{N} * \text{mm} = 0$$

$$\boxed{h = 0,91 \text{ mm.}}$$

De acuerdo a este resultado se establece un espesor de 1 mm. Para comprobar el diseño se realiza el cálculo de esfuerzos normales combinados, en base al espesor especificado anteriormente, mediante la Ec. 2.9.

$$\sigma = \pm \frac{M}{S} \pm \frac{F}{A} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Para calcular el módulo de sección de un rectángulo se emplea la Ec. 2.4.

El módulo de sección resultante es:

$$S_x = \frac{150 \text{ mm} * (1 \text{ mm})^2}{6}$$

$$\boxed{S_x = 25 \text{ mm}^3}$$

El esfuerzo al que estará sometido la lámina de aluminio vertical será:

$$\sigma = \frac{2038,5 \text{ N} \cdot \text{mm}}{25 \text{ mm}^3} + \frac{27,18 \text{ N}}{150 \text{ mm}^2}$$

$$\boxed{\sigma = 81,72 \text{ MPa}}$$

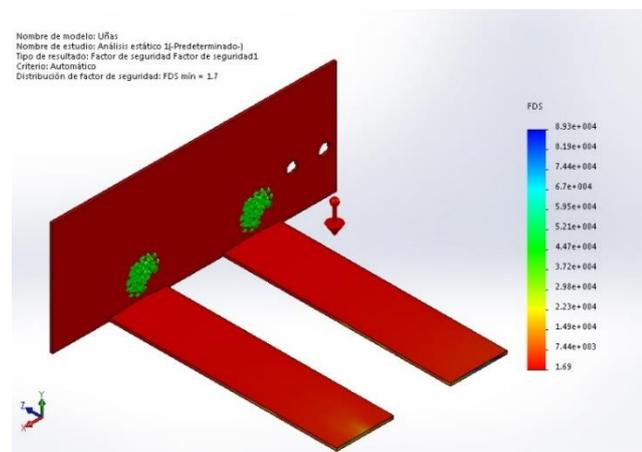
Despejando el factor de seguridad de la Ec. 2.2, se obtiene:

$$N = \frac{145 \text{ Mpa}}{81,72 \text{ Mpa}}$$

$$\boxed{N = 1,77}$$

Con este factor de seguridad se observa que el diseño se encuentra sobredimensionado, sin embargo para el acoplamiento de las guías cilíndricas se requiere un espesor de 2 mm (Sección 2.2.3) , por lo cual se selecciona este espesor para la construcción de todas las partes de las horquillas de transporte.

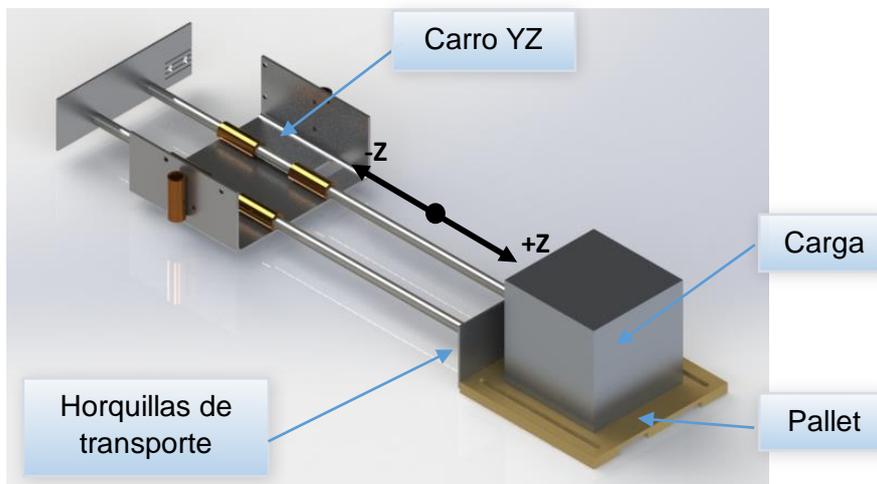
Para comprobar los resultados obtenidos, se realizó el análisis estático mediante SolidWorks, mismo que determinó un factor de seguridad mínimo de las horquillas de transporte de 1,7 (ver Figura 2.22), valor igual al obtenido mediante cálculos, comprobando de esta manera el diseño.



**Figura 2.22: Factor de seguridad para las horquillas de transporte<sup>58</sup>.**

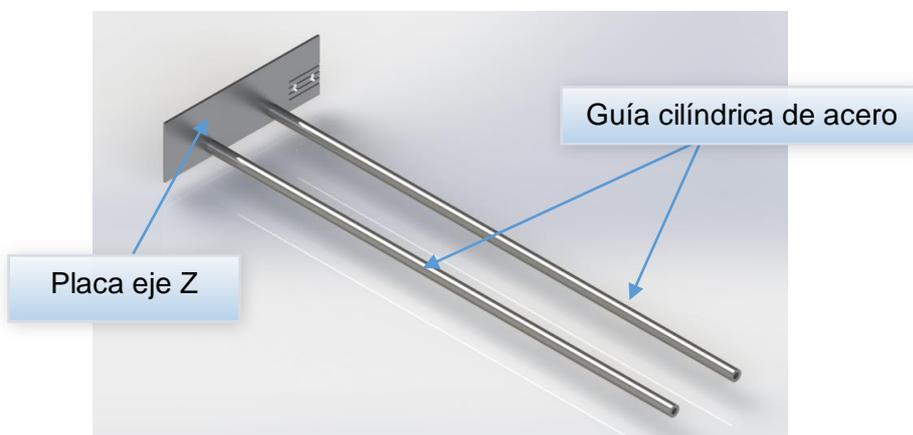
<sup>58</sup> Fuente propia.

### 2.3.3. DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL EJE Z.



**Figura 2.23: Eje Z con carga a transportar<sup>59</sup>.**

El eje Z, correspondiente al visto en la Figura 2.2, está constituido por dos guías cilíndricas paralelas unidas por una placa de aluminio y las horquillas de transporte, su función es movilizar la carga de forma horizontal sobre el carro YZ. Esto se puede apreciar en la Figura 2.23.



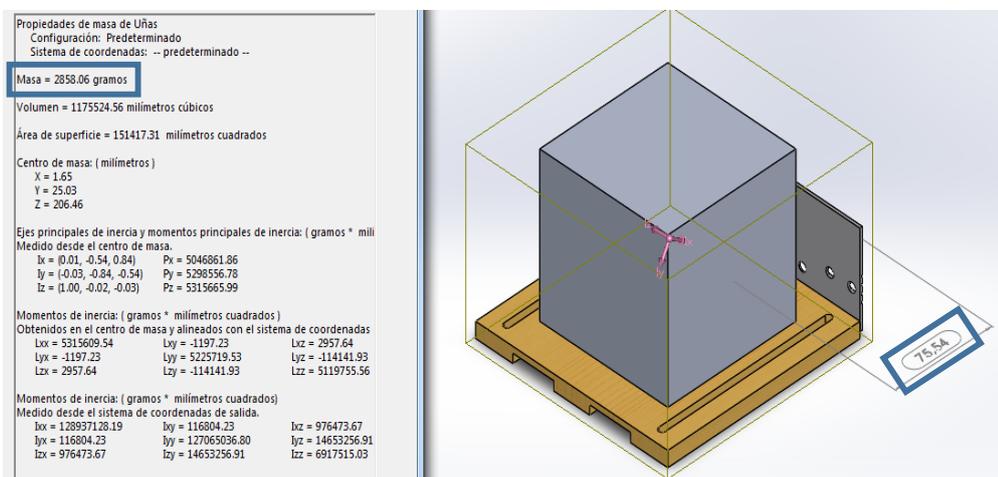
**Figura 2.24: Componentes del eje Z<sup>60</sup>.**

En la Figura 2.24 se presenta los componentes del eje Z, las dimensiones de las guías cilíndricas y de la placa eje Z se detallan en el ANEXO A8 y ANEXO A9 respectivamente.

<sup>59</sup> Fuente propia.

<sup>60</sup> Fuente propia.

Para el cálculo del diámetro adecuado en la guía cilíndrica se considera la carga a transportar dividida para el número de guías, en el análisis estático se la considera a la guía como una viga con dos soportes situados a la izquierda, esto se debe a que cada guía tiene dos bocines, sometida a una fuerza puntual, situada al extremo derecho de la viga, correspondiente al peso de la carga, el pallet y las horquillas de transporte. El momento resultante de trasladar (mediante el principio de sistema fuerza-par<sup>61</sup>) 75,54 mm dicho peso desde el centro de masa del pallet hasta el extremo del eje Z (ver Figura 2.25), dicha fuerza puntual es de 28,03 N, y un momento flector de 2117,95 N-mm.



**Figura 2.25: Propiedades físicas de las horquillas y la carga a transportar<sup>62</sup>.**

En este caso el sistema constará de dos guías, por lo tanto la fuerza puntual será de 14,01 N y un momento de 1058,97 N-mm. En la Figura 2.26, Figura 2.27 y Figura 2.28 se observan los diagramas de cuerpo libre, fuerzas cortantes y momentos flectores respectivamente.

<sup>61</sup> MERIAM J., Estática, Reverte, Tercera Edición, p.37

<sup>62</sup> Fuente propia.



Figura 2.26: Diagrama de cuerpo libre en la guía del eje Z<sup>63</sup>.

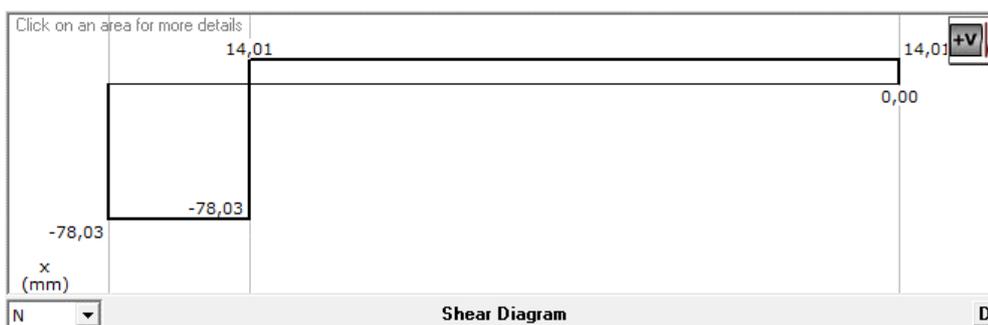


Figura 2.27: Diagrama de fuerzas cortantes en la guía del eje Z<sup>64</sup>.

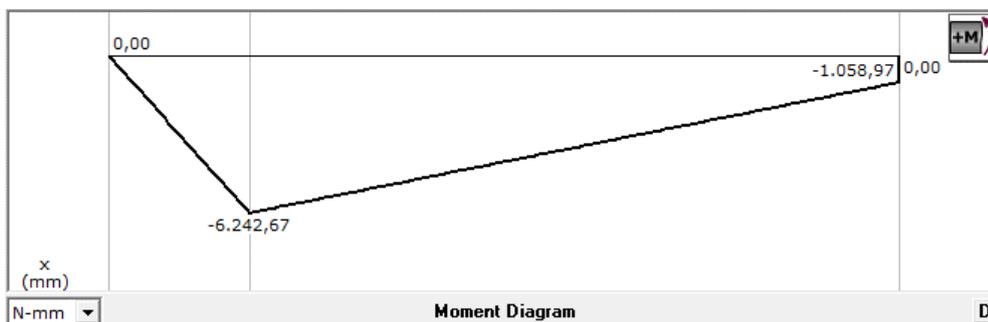


Figura 2.28: Diagrama de momentos flectores en la guía del eje Z<sup>65</sup>.

Como se observa en la Figura 2.28 el momento crítico es de 6242,67 N-mm, si se considera un factor de seguridad de 2 y el material para su construcción es acero de transmisión AISI1018, el esfuerzo normal de diseño, aplicando la Ec. 2.2 es:

$$\sigma_D = \frac{370 \text{ MPa}}{2}$$

<sup>63</sup> Fuente propia.

<sup>64</sup> Fuente propia.

<sup>65</sup> Fuente propia.

$$\sigma_D = 185 \text{ MPa}$$

Para calcular el módulo de sección de un círculo se emplea la Ec. 2.10<sup>66</sup>.

$$S_x = \frac{\pi * d^3}{32} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Para el cálculo del diámetro de la sección transversal de la guía cilíndrica se emplea la Ec. 2.11, que se obtiene despejando el diámetro de la Ec. 2.3, reemplazando el módulo de sección por la expresión de la Ec. 2.10.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * M_{\text{máx}}}{\pi * \sigma_D}} \quad \text{Ec. 2.11}$$

En donde:

$M_{\text{máx}}$ : Momento flector máximo [N-mm].

$\sigma_D$ : Esfuerzo normal de diseño [N/mm<sup>2</sup>].

d: Diámetro de la sección transversal [mm].

El resultado del cálculo del diámetro es:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 * 6242,67 \text{ N} * \text{mm}^3}{\pi * 185 \text{ N}}}$$

$$\boxed{d = 7 \text{ mm}}$$

Por el resultado se establece un diámetro de 7 mm. Para comprobar el diseño se realiza el cálculo del esfuerzo normal generado, en base al diámetro especificado anteriormente, mediante la Ec. 2.3. El módulo de sección resultante es:

$$S_x = \frac{\pi * (7 \text{ mm})^3}{32}$$

<sup>66</sup> MOTT R., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, Apéndice 1, p. A-1

$$S_x = 33,67 \text{ mm}^3$$

El esfuerzo al que estará sometida la guía cilíndrica será:

$$\sigma = \frac{6242,67 \text{ N} \cdot \text{mm}}{33,67 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma = 185,38 \text{ MPa}$$

Despejando el factor de seguridad de la Ec. 2.10, se obtuvo:

$$N = \frac{370 \text{ MPa}}{185,38 \text{ MPa}}$$

$$N = 1,99$$

Se determinó que con un eje de 7 mm el diseño se encuentra bien realizado, pero debido a los ejes disponibles en el mercado para la construcción se selecciona un eje de 8 mm.

Al realizar la comprobación de este factor de seguridad mediante el software SolidWorks, se puede apreciar que el factor de seguridad mínimo de los ejes diseñados es de 2,03 por lo que se comprueba que el diseño está realizado adecuadamente.

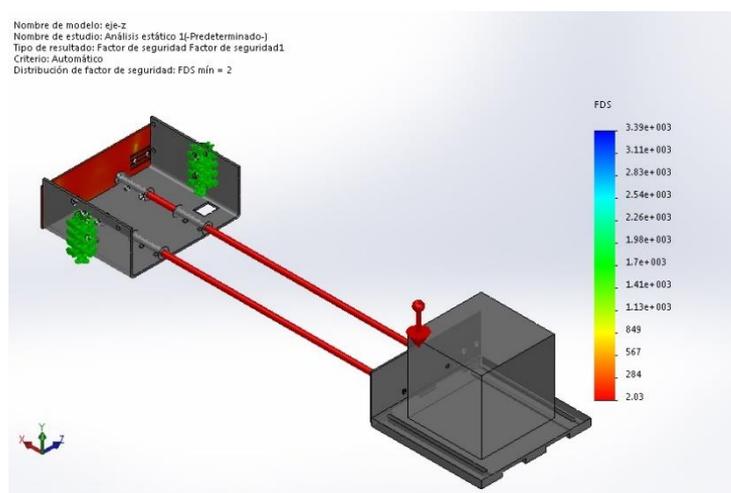


Figura 2.29: Factor de seguridad para las guías del eje Z<sup>67</sup>.

<sup>67</sup> Fuente propia.

### 2.3.4. DISEÑO DEL CARRO YZ.

#### a. Diseño y análisis de esfuerzos de la base en U.

El análisis del carro YZ (ver Figura 2.30), inicia por la base en U, la misma que soportará la carga generada por el peso del eje Z, el pallet y la carga transportada. Las dimensiones de este componente se detallan en el ANEXO A10.

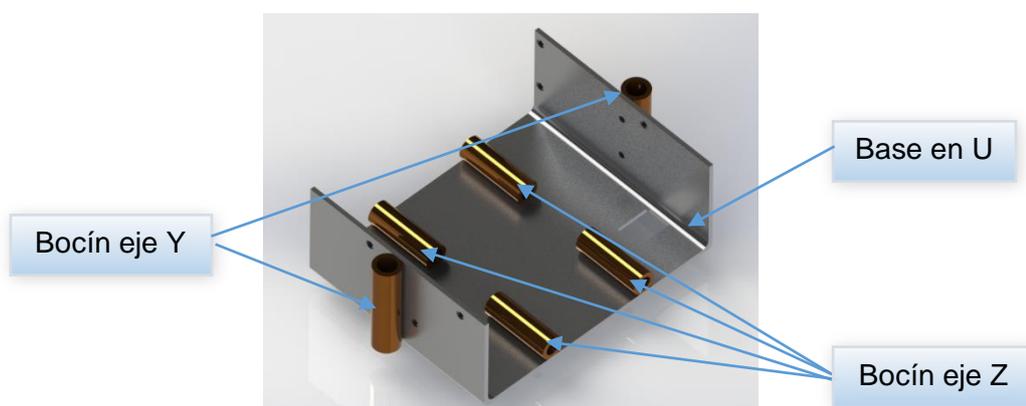


Figura 2.30: Carro YZ de la máquina S/R<sup>68</sup>.

Para el cálculo del espesor de la base en U, se la considerará como una viga biempotrada sometida a dos fuerzas equidistantes del centro (ver Figura 2.32).

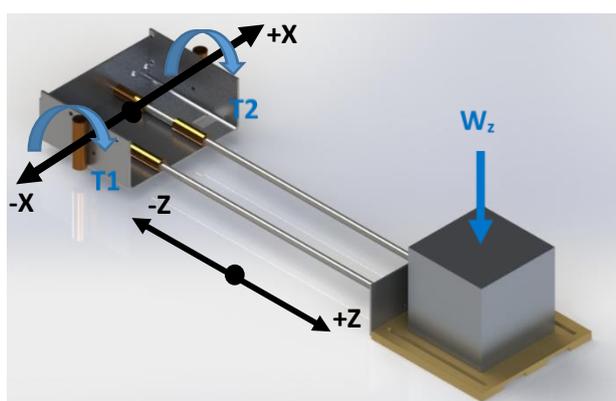


Figura 2.31: Momento generado sobre el canal en U<sup>69</sup>.

<sup>68</sup> Fuente propia.

<sup>69</sup> Fuente propia.

Debido a que existen cuatro bocines que soportan el peso del eje Z y sus componentes es necesario determinar que par de bocines soportan mayor fuerza, para ello se analiza la Figura 2.27, en donde la fuerza máxima que soportan es de 92,04N con un momento flector de 6242,67 N-mm, pero para el caso de la base en U genera torsión a alrededor del eje X (véase Figura 2.31). En la Figura 2.33 se muestra el diagrama de fuerzas cortantes y en la Figura 2.34 el de momentos flectores.



Figura 2.32: Diagrama de cuerpo libre en el canal en U<sup>70</sup>.

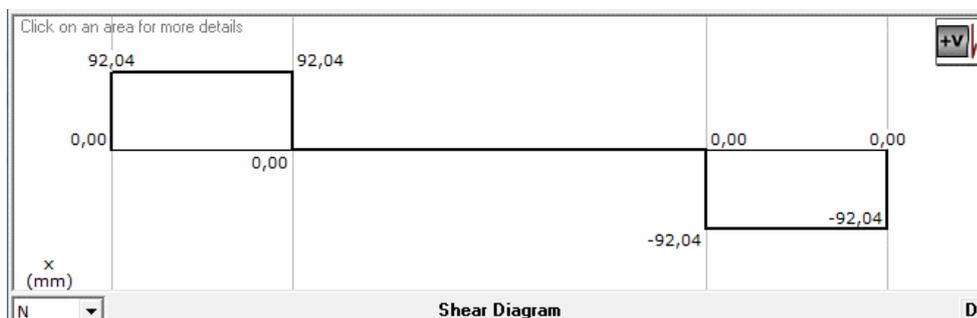


Figura 2.33 Diagrama de fuerzas cortantes en el canal en U<sup>71</sup>.

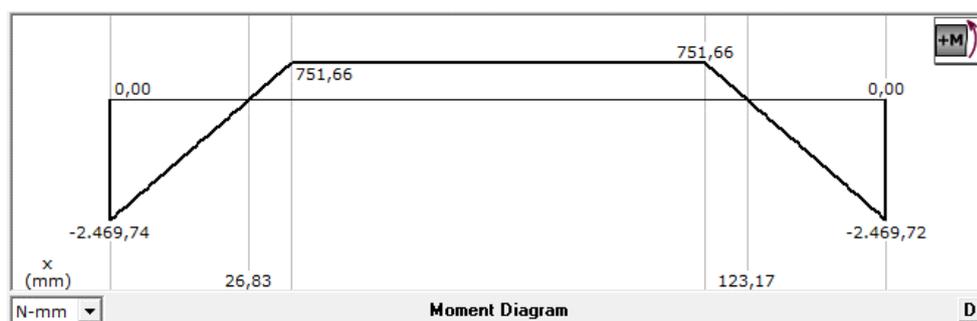


Figura 2.34: Diagrama de momentos flectores en el canal en U<sup>72</sup>.

<sup>70</sup> Fuente propia.

<sup>71</sup> Fuente propia.

<sup>72</sup> Fuente propia.

El esfuerzo cortante por torsión para miembros con sección transversal no circular<sup>73</sup> se determina mediante la Ec. 2.12.

$$\tau = \frac{T}{Q} \quad \text{Ec. 2.12}$$

Donde:

- $\tau$ : Esfuerzo cortante por torsión [MPa].  
 T: Torque máximo [N-mm].  
 Q: Módulo polar para sección no circular [mm<sup>3</sup>].

El módulo polar para una sección rectangular<sup>74</sup> se calcula mediante la Ec. 2.13.

$$Q = \frac{b * h^2}{[3 + 1,8(h/b)]} \quad \text{Ec. 2.13}$$

En donde:

- b: Base [mm].  
 h: Espesor [mm].

Para determinar el espesor de la sección transversal del canal U se empleará la Ec. 2.14, resultante a partir de la teoría de la energía de distorsión en base a la Ec. 2.12 y Ec. 2.13.

$$\begin{aligned} \sigma_D^2 * b^4 * h^4 - 9,823 * T * h^2 - 32,586 * b * T^2 * h \\ - (36 * M^2 + 27 * T^2) * b^2 = 0 \end{aligned} \quad \text{Ec. 2.14}$$

En donde:

- b: Base [mm].  
 h: Espesor [mm].  
 M: Momento flector máximo [N\*mm].  
 T: Torque cortante máximo [N\*mm].

<sup>73</sup> MOTT R., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, Sección 3.10, pág 98

<sup>74</sup> Ibíd, pag 99

$\sigma_D$ : Esfuerzo de diseño [MPa].

El material para la base en U es aluminio 6061-T4 ( $S_y=145$  MPa); el factor de seguridad es de 1,5; aplicando la Ec. 2.2 el esfuerzo de diseño es:

$$\sigma_D = \frac{145 \text{ MPa}}{1,5}$$

$$\boxed{\sigma_D = 96,66 \text{ MPa}}$$

Una vez especificado el esfuerzo de diseño se procede al cálculo del espesor de la sección transversal del canal en U aplicando la Ec. 2.14. El resultado del cálculo del espesor es:

$$(96,66)^2 * (150)^4 * h^4 - 9,823 * 6242,67 * h^2 - 32,586 * 150 * (6242,67)^2 * h - (36 * (2469,74)^2 + 27 * (6242,67)^2) * (150)^2 = 0$$

$$\boxed{h = 1,57 \text{ mm}}$$

En función a este resultado se estable un espesor de 1,6 mm, para comprobar el diseño se debe calcular el factor de seguridad<sup>75</sup> con el espesor establecido. Para ello se emplea la Ec. 2.15.

$$N = \frac{S_y}{\sigma'} \quad \text{Ec. 2.15}$$

En donde:

$\sigma'$ : Esfuerzo de von Mises [MPa].

Para determinar el esfuerzo de von Mises<sup>76</sup> se emplea la expresión de la Ec. 2.16.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 * \sigma_2} \quad \text{Ec. 2.16}$$

<sup>75</sup> MOTT R., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, p. 195

<sup>76</sup> Ibíd.

En donde:

$\sigma_1$ : Esfuerzo principal máximo [MPa].

$\sigma_2$ : Esfuerzo principal mínimo [MPa].

$\sigma'$ : Esfuerzo de von Mises [MPa].

Para determinar  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  se emplea el círculo de Mohr, para lo cual es necesario calcular el esfuerzo normal por flexión y el esfuerzo cortante por torsión. Para el cálculo del módulo de sección rectangular se emplea la Ec. 2.4, y se obtiene como resultado:

$$S_x = \frac{150 \text{ mm} * (1,6 \text{ mm})^2}{6}$$

$$\boxed{S_x = 64 \text{ mm}^3}$$

Para calcular el módulo de sección rectangular en el análisis de esfuerzo por torsión para miembros no circulares se emplea la Ec. 2.13.

El módulo de sección resultante es:

$$Q = \frac{150 \text{ mm} * (1.6 \text{ mm})^2}{[3 + 1,81(1.6/150)]}$$

$$\boxed{Q = 127,18 \text{ mm}^3}$$

El esfuerzo normal se obtiene aplicando la Ec. 2.3.

$$\sigma = \frac{2469,74 \text{ N} * \text{mm}}{64 \text{ mm}^3}$$

$$\boxed{\sigma = 38,58 \text{ Mpa}}$$

El esfuerzo cortante por torsión se obtiene aplicando la Ec. 2.12.

$$\tau = \frac{6242,67 \text{ N} * \text{mm}}{127,18 \text{ mm}^3}$$

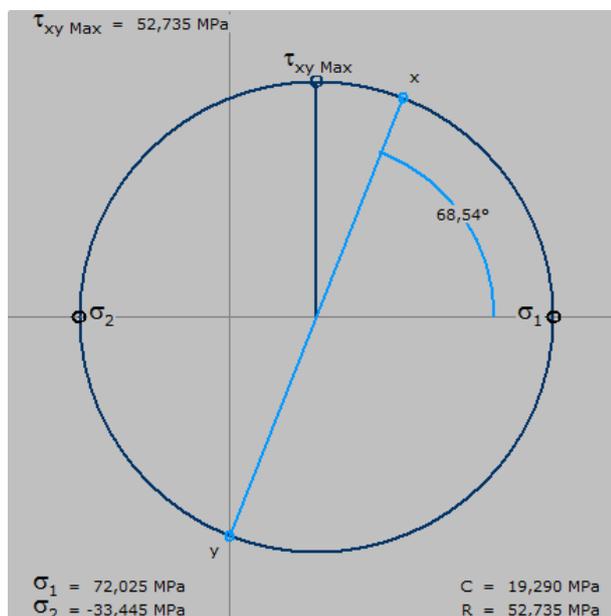
$$\boxed{\tau = 49,08 \text{ Mpa}}$$

Para determinar los esfuerzos principales se emplea el software MDSolid para lo cual es necesario especificar como esfuerzo en X al esfuerzo normal producido por el momento, y al esfuerzo cortante por torsión en sentido de las manecillas del reloj como esfuerzo cortante en el plano XY, esto se puede apreciar en la Figura 2.35.

<p>x direction</p> <p>Normal Stress</p> <p><input type="text" value="38,580"/></p> <p><input checked="" type="radio"/> Tension (+)</p> <p><input type="radio"/> Compression (-)</p>	<p>y direction</p> <p>Normal Stress</p> <p><input type="text" value="0,000"/></p> <p><input checked="" type="radio"/> Tension (+)</p> <p><input type="radio"/> Compression (-)</p>	<p>xy direction</p> <p>Shear Stress</p> <p><input type="text" value="49,080"/></p> <p><input checked="" type="radio"/> CW on x face (-)</p> <p><input type="radio"/> CCW on x face (+)</p>
---	--	--

**Figura 2.35: Parámetros para cálculo de esfuerzos principales<sup>77</sup>.**

Una vez realizado el cálculo se obtiene que el esfuerzo principal máximo es de 72,025 MPa y el mínimo es de -33,445 MPa, esto se puede observar en la Figura 2.36.



**Figura 2.36: Círculo de mohr para esfuerzos en el canal en U<sup>78</sup>.**

De acuerdo a los datos anteriores el esfuerzo de von Mises es:

<sup>77</sup> Fuente propia.

<sup>78</sup> Fuente propia.

$$\sigma' = \sqrt{(72,025 \text{ MPa})^2 + (-33,445 \text{ MPa})^2} - (72,025 \text{ MPa}) * (-33,445 \text{ MPa})$$

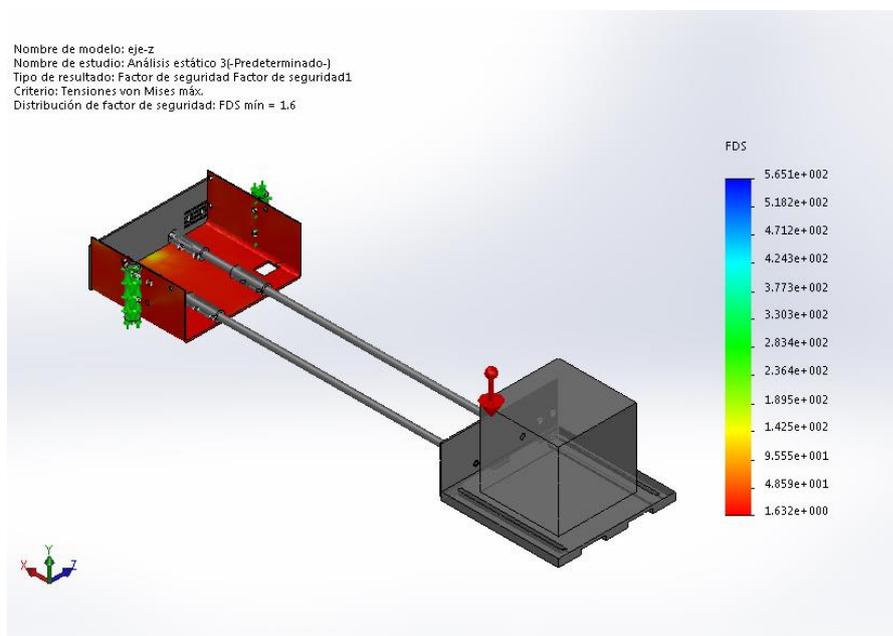
$$\sigma' = 93,35 \text{ MPa}$$

Por lo que el factor de diseño es:

$$N = \frac{145 \text{ Mpa}}{93,35 \text{ Mpa}}$$

$$N = 1,55$$

Este factor de seguridad establece que el diseño está realizado adecuadamente pero debido a la disponibilidad de material en el mercado se selecciona el espesor de 2 mm para la construcción. La comprobación se realiza mediante SolidWorks, cuyos resultados se ven la Figura 2.37 y establecen un factor de seguridad mínimo de 1,6 lo que comprueba el correcto diseño de la base en U.

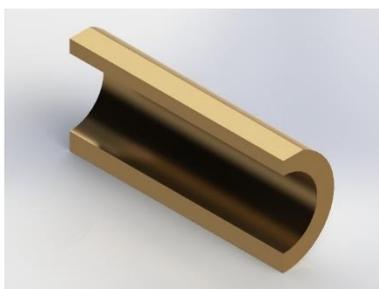


**Figura 2.37: Factor de seguridad para el canal U del carro YZ<sup>79</sup>.**

<sup>79</sup> Fuente propia.

## b. Diseño de los bocines.

Los bocines deben permitir el deslizamiento sobre las guías cilíndricas. Para el carro YZ los bocines van acoplados a la base en U mediante pernos prisioneros (ver Figura 2.30).



**Figura 2.38: Vista seccionada del bocín SAE 40<sup>80</sup>.**

El diseño de los bocines (ver Figura 2.38) se basará en su caso crítico, correspondiente al eje Z y Y (ver Figura 2.30), mismos que se encuentran sometidos a un momento flector (ver Figura 2.26). Las dimensiones de los bocines del eje Z, Y y X se muestran en el ANEXO A11, ANEXO A12 y ANEXO A19 respectivamente.

Los bocines del eje Z deben soportar un momento flector de 6242,67 N-mm especificado en la Figura 2.28, con un factor de seguridad de 2 y bronce fosfórico SAE 40 ( $S_y=93$  MPa) como material de diseño, entonces el diámetro externo del bocín se calcula mediante la Ec. 2.17, despejada de la Ec. 2.3 reemplazando el módulo de sección de un círculo hueco<sup>81</sup>.

$$\pi * D^4 - \frac{32 * M_{max} * D}{\sigma_D} - \pi * d^4 = 0 \quad \text{Ec. 2.17}$$

Donde:

D: Diámetro exterior del bocín [mm].

d: Diámetro interno del bocín [mm].

El esfuerzo de diseño será:

<sup>80</sup> Fuente propia.

<sup>81</sup> MOTT R., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, Apéndice 1, p. A-1

$$\sigma_D = \frac{93 \text{ MPa}}{2}$$

$$\boxed{\sigma_D = 46,5 \text{ MPa}}$$

Entonces aplicando la Ec. 2.17, se obtiene:

$$\pi * D^4 - \frac{32 * 6242,67 \text{ N} * \text{mm}^3 * D}{46,5 \text{ N}} - \pi * (8 \text{ mm})^4 = 0$$

$$\boxed{D = 11,95 \text{ mm}}$$

Considerando este resultado se estable un bocín con diámetro exterior de 12 mm, es decir que el bocín tendrá un espesor de 2mm. Para comprobar el diseño se realiza el cálculo del esfuerzo generado, en base al diámetro exterior seleccionado; para ello es necesario calcular el módulo de sección del círculo hueco mediante la Ec. 2.18.

$$S = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} \quad \text{Ec. 2.18}$$

$$S = \frac{\pi * ((12 \text{ mm})^4 - (8 \text{ mm})^4)}{32 * (12 \text{ mm})}$$

$$\boxed{S = 136,13 \text{ mm}^3}$$

Entonces, se obtiene el siguiente resultado:

$$\sigma = \frac{6242,67 \text{ N} * \text{mm}}{136,13 \text{ mm}^3}$$

$$\boxed{\sigma = 45,85 \text{ MPa}}$$

Despejando el factor de seguridad de la Ec. 2.2, se obtiene:

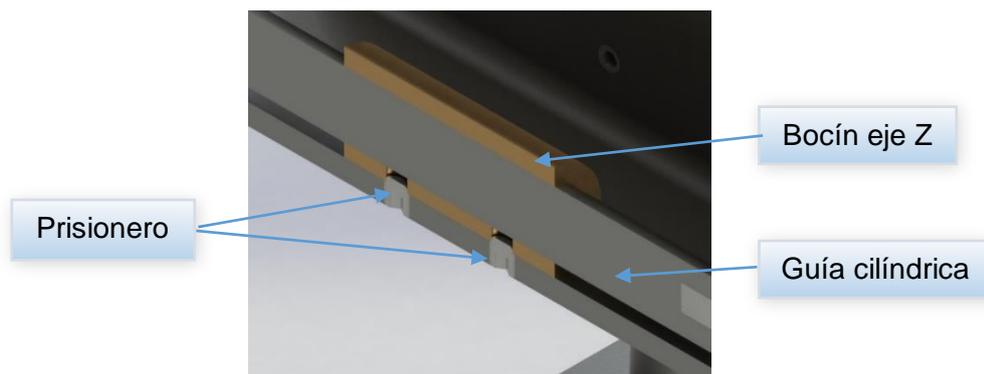
$$N = \frac{93 \text{ MPa}}{45,85 \text{ MPa}}$$

$$\boxed{N = 2,02}$$

Con este factor de seguridad se comprueba que el diseño está correctamente realizado.

Por otro lado, un espesor de 2 mm no asegura una buena sujeción entre los prisioneros de los bocines y las placas de aluminio, por lo que se selecciona un espesor de 3 mm para la construcción de los bocines.

### c. Selección de prisioneros de los bocines.



**Figura 2.39: Vista de corte de los prisioneros del eje Z<sup>82</sup>.**

Los pernos prisioneros sujetan los bocines a otro elemento mecánico, esto se puede observar en la Figura 2.39. Para el diseño de los prisioneros se empleará el caso del eje Z, debido a que se encuentra sometido a un momento flector considerable, por esta razón el prisionero seleccionado será usado en todas las uniones de los bocines.

Para este caso el perno tendrá una carga de sujeción de 92,04 N producida por el peso del sistema del eje Z sobre cada uno de los bocines (ver Sección 2.3.4.a); como todos los bocines se sujetarán por medio de dos pernos, la carga será de 46,02 N. Para este análisis se especificará un perno

<sup>82</sup> Fuente propia.

métrico de acero grado 4,6 cuya resistencia de prueba es de 225 MPa. En este caso, el esfuerzo admisible será:

$$\sigma_a = 0,75 * (225 \text{ MPa})$$

$$\boxed{\sigma_a = 168,75 \text{ MPa}}$$

El área necesaria al esfuerzo de tensión<sup>83</sup>, para el perno se calcula aplicando la Ec. 2.19.

$$A_t = \frac{P}{\sigma_a} \quad \text{Ec. 2.19}$$

Donde:

$A_t$ : Área necesaria al esfuerzo de tensión [mm<sup>2</sup>].

$P$ : Carga [N].

$\sigma_a$ : Esfuerzo admisible [MPa].

Entonces:

$$A_t = \frac{46,02 \text{ N}}{168,75 \text{ MPa}}$$

$$\boxed{A_t = 0,272 \text{ mm}^2}$$

En la tabla del ANEXO B2, se observa que la rosca M5X0.8 tiene el área necesaria de esfuerzo de tensión. A continuación se calculará el par torsional de apriete necesario mediante la Ec. 2.20, el factor  $K^{84}$  será de 0,2 ya que las roscas estarán limpias y secas.

La relación aproximada entre el par torsional y la fuerza de tensión axial del perno<sup>85</sup> es:

$$T \cong K * D * P \quad \text{Ec. 2.20}$$

<sup>83</sup> MOTT R., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, Sección 18-4, p. 719

<sup>84</sup> *Ibíd.*

<sup>85</sup> *Ibíd.*

Donde:

T: Torque [N\*mm].

D: Diámetro exterior nominal de las roscas [mm].

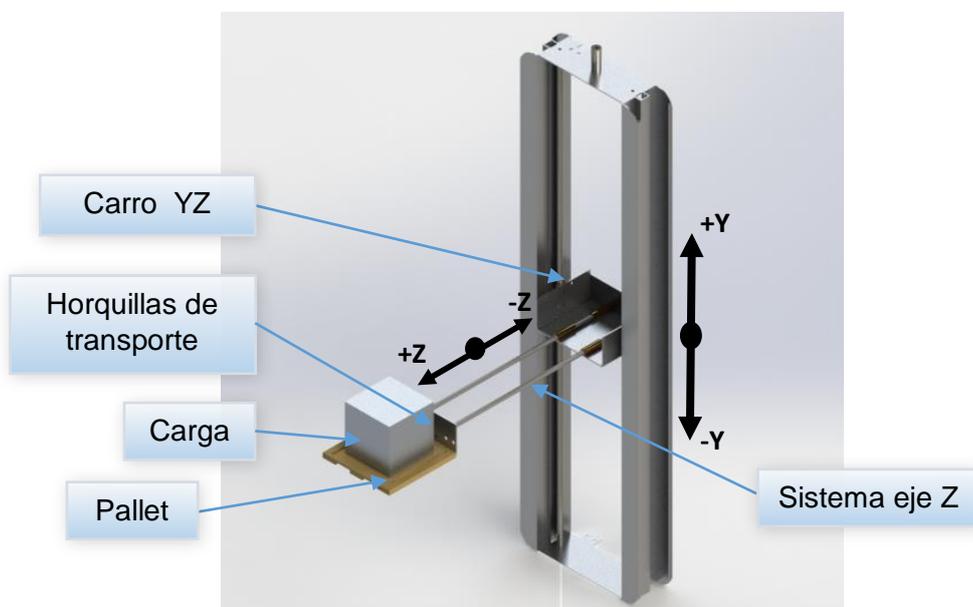
P: Carga de sujeción [N].

K: Constante que depende de la lubricación presente.

$$T \cong 0,20 * 5 \text{ mm} * 47,89 \text{ N}$$

$$T \cong 47,89 \text{ N} * \text{mm}$$

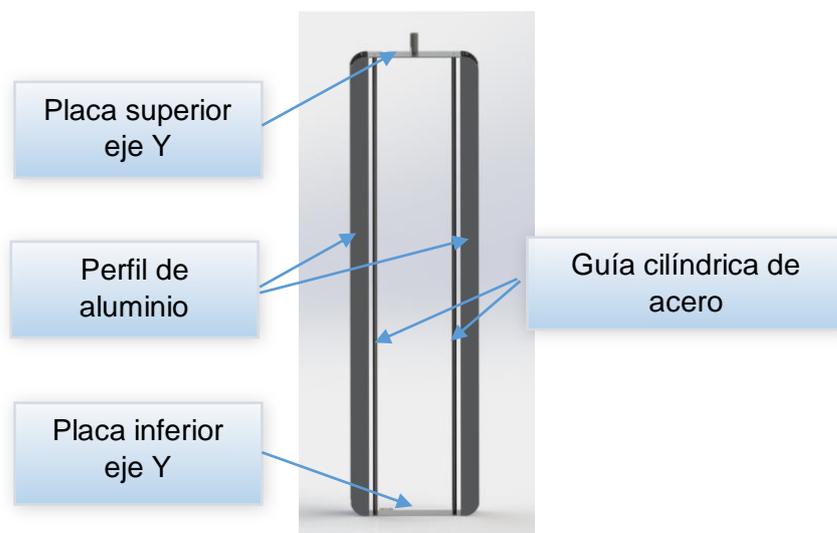
### 2.3.5. DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL EJE Y.



**Figura 2.40: Eje Y y Z con la carga a transportar<sup>86</sup>.**

El eje Y (ver Figura 2.2) permite el movimiento vertical de la máquina S/R (ver Figura 2.40), para el diseño este eje está constituido por dos guías cilíndricas de acero paralelos unidos mediante dos láminas de aluminio horizontales y dos perfiles de aluminio verticales, eso se puede observar en la Figura 2.41. Las dimensiones de las guías cilíndricas del eje Y se detallan en el ANEXO A14.

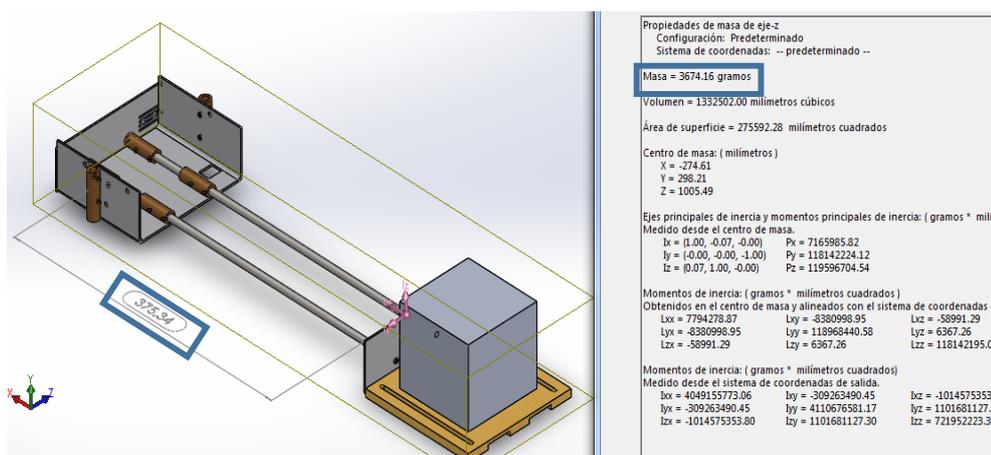
<sup>86</sup> Fuente propia.



**Figura 2.41: Componentes del eje Y<sup>87</sup>.**

Para el análisis estático de las guías cilíndricas Y (ver Figura 2.41) se considerará a dos ejes de acero colocados en forma vertical.

Para su análisis matemático será necesario girar el eje 90° en el sentido de las manecillas del reloj, con el objetivo de considerar a las guías como dos vigas empotradas en ambos lados. El caso crítico será cuando el carro se encuentre en la mitad del recorrido del eje Y, sometiéndolo a una fuerza axial y un momento resultante de la aplicación del sistema fuerza-par. Esto se puede apreciar en la Figura 2.43.



**Figura 2.42: Propiedades físicas del eje Z con la carga a transportar<sup>88</sup>.**

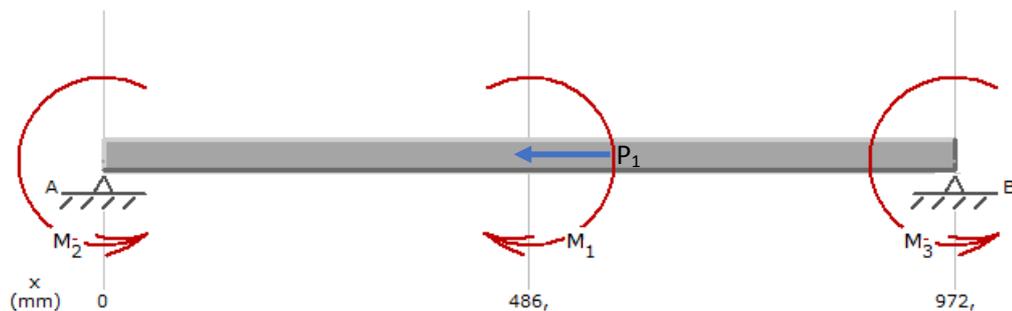
<sup>87</sup> Fuente propia.

<sup>88</sup> Fuente propia.

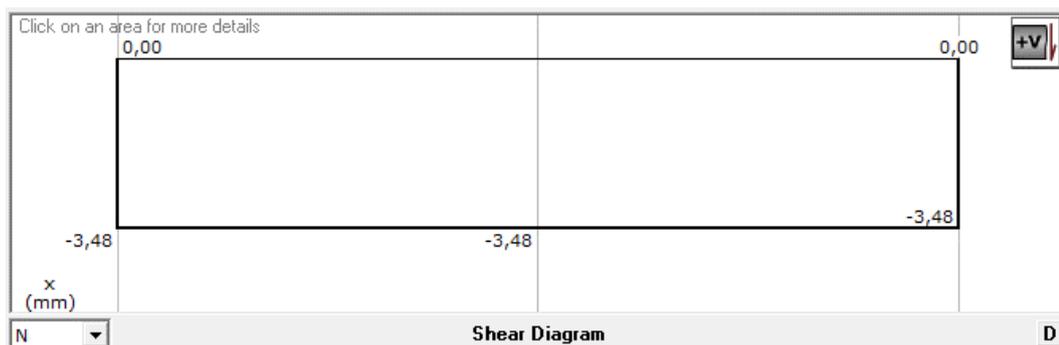
Para determinar la magnitud de la fuerza axial y el momento resultante del traslado de la carga sobre el eje Y se emplea el software SolidWorks, para determinar la masa de todos lo componente del eje Z incluida la carga y la distancia desde el centro de masa hasta el centro del eje Y.

En la Figura 2.42 se puede observar que la masa total es de 3,67 Kg cuyo centro de masa está a 375,34 mm del centro del eje Y. Conforme a estos datos el peso será de 36 N y el momento producto por esta fuerza será de 13513,25 N-mm. Debido a que se trata de dos guías cilíndricas las fuerzas que actúan sobre este sistema se divide para cada una de ellas.

En la Figura 2.44 se muestra las fuerzas cortantes y en la Figura 2.45 los momentos flectores en cada guía cilíndrica.



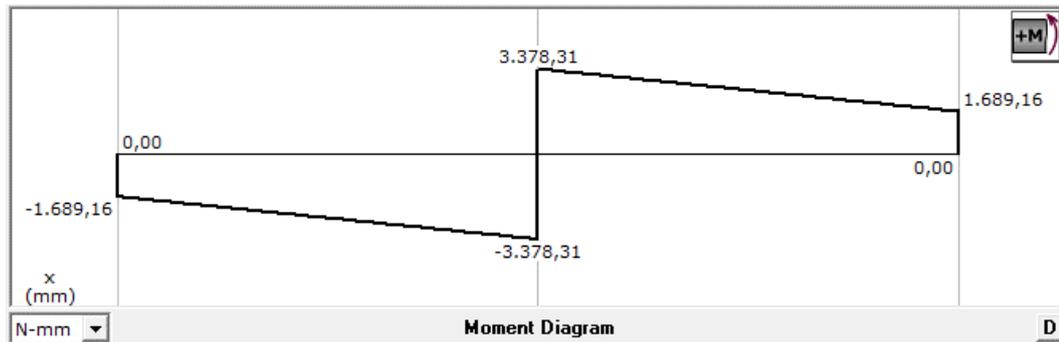
**Figura 2.43: Diagrama de cuerpo libre en las guías del eje Y<sup>89</sup>.**



**Figura 2.44: Diagrama de fuerzas cortantes en las guías del eje Y<sup>90</sup>.**

<sup>89</sup> Fuente propia.

<sup>90</sup> Fuente propia.



**Figura 2.45: Diagrama de momentos flectores en las guías del eje Y<sup>91</sup>.**

Como se puede observar en la Figura 2.45, el elemento está sometido a un esfuerzo normal de compresión de 18 N y un esfuerzo flexionante de 6756,62 N-mm, por lo que se aplica el principio de superposición<sup>92</sup>, para determinar el esfuerzo resultante a compresión de las dos cargas y de esta forma determinar el diámetro necesario para la guía.

Con un factor de seguridad de 2, material de construcción acero de transmisión AISI1018 ( $S_y=370\text{MPa}$ ), se obtiene el esfuerzo normal de diseño, aplicando la Ec. 2.2 cuyo valor corresponde a 185 MPa.

Para el cálculo del diámetro se emplea la Ec. 2.21 la cual se obtiene en base a la Ec. 2.3 y al esfuerzo de compresión<sup>93</sup>:

$$\pi * d^3 * \sigma_D - 4 * d * F - 32 * M = 0 \quad \text{Ec. 2.21}$$

En donde:

- $\sigma_D$ : Esfuerzo normal de diseño [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ].
- $d$ : Diámetro de la sección transversal [mm].
- $F$ : Fuerza normal a la sección trasversal [N]
- $M$ : Momento flector [N-mm].

Una vez solucionado la ecuación de tercer grado Ec. 2.21 se tiene como resultado.

<sup>91</sup> Fuente propia.

<sup>92</sup> MOTT R., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, p. 117

<sup>93</sup> MOTT R., Resistencia de Materiales, Prentice Hall, Quinta Edición, p. 115

$$\pi * 185 * d^3 - 4 * 18 * d - 32 * 6756,62 = 0$$

$$\boxed{d = 7,19 \text{ mm}}$$

Conforme al resultado anterior, se establece un diámetro de 7.5 mm. Para comprobar el diseño se procede a calcular el factor de seguridad con este diámetro, para ello se emplea la Ec. 2.22, para determinar el área de la sección circular<sup>94</sup>.

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \quad \text{Ec. 2.22}$$

En donde:

A: Área [mm<sup>2</sup>].

d: Diámetro de la sección transversal [mm].

F: Fuerza normal a la sección trasversal [N].

Los resultados de las expresiones anteriores son:

$$A = \frac{\pi * (7.5 \text{ mm})^2}{4}$$

$$\boxed{A = 44,17 \text{ mm}^2}$$

El módulo de sección se calcula mediante la Ec. 2.10 cuyo resultado es de 41,41 mm<sup>3</sup>, en consecuencia el esfuerzo al que estará sometido la guía cilíndrica debido al momento y fuerza mencionados anteriormente es:

$$\sigma = \frac{18 \text{ N}}{44,17 \text{ mm}^2} + \frac{6756,62 \text{ N} * \text{mm}}{41,41 \text{ mm}^3}$$

$$\boxed{\sigma = 163,54 \text{ MPa}}$$

Entonces el factor de diseño es:

---

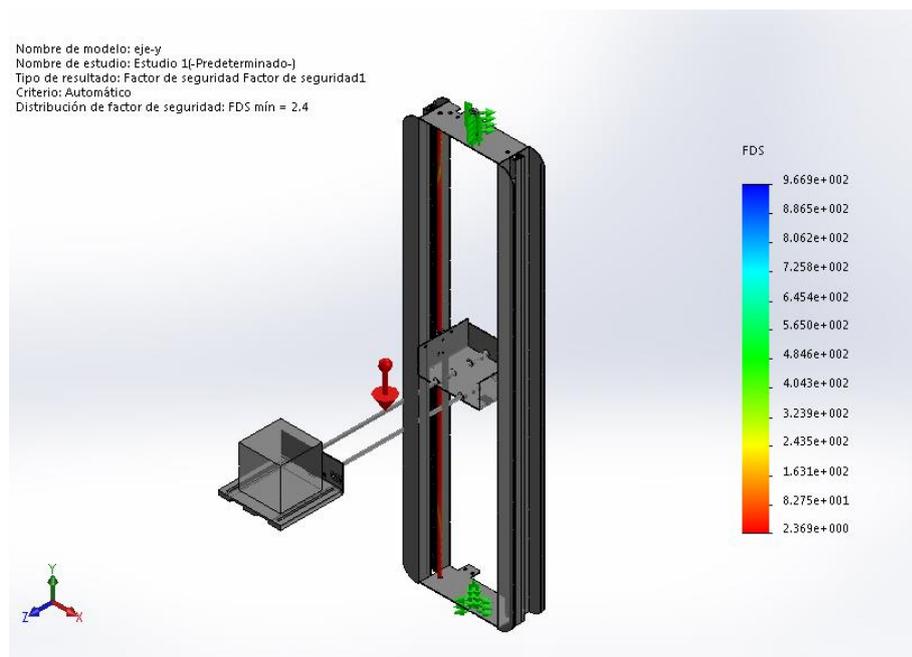
<sup>94</sup> MOTT R., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, Apéndice 1, p. A-1

$$N = \frac{370 \text{ MPa}}{163,54 \text{ MPa}}$$

$$N = 2,26$$

En base al factor de seguridad obtenido se determina que el eje está sobredimensionado. Pero por condiciones de ejes disponibles en el mercado y por la facilidad de mecanizado a medidas enteras para la construcción se selecciona un diámetro de 8 mm.

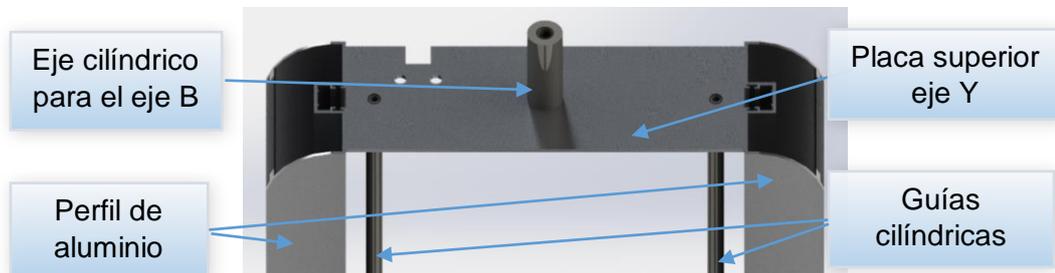
Los resultados mostrados en la Figura 2.46, obtenidos mediante el análisis en SolidWorks, se determina que el factor de seguridad mínimo es de 2,36 lo que confirma el diseño sobredimensionado.



**Figura 2.46: Factor de seguridad para las guía del eje Y<sup>95</sup>.**

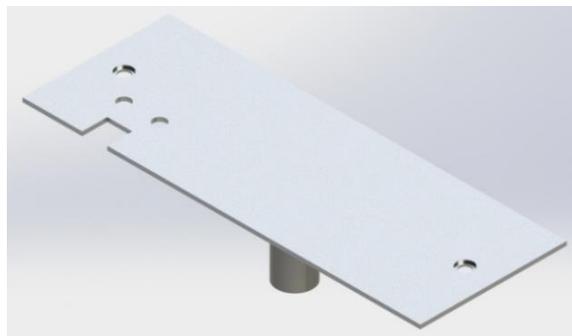
<sup>95</sup> Fuente propia.

### 2.3.6. DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESFUERZOS DE LA PLACA SOPORTE DEL EJE Y.



**Figura 2.47: Placa superior eje Y acoplado a las guías cilíndricas<sup>96</sup>.**

La función de la placa soporte es mantener a los ejes cilíndricos del eje Y ubicados de forma paralela a una distancia determinada (ver Figura 2.47). Las dimensiones de la placa soporte con todos sus componentes se especifican en el ANEXO A15, ya que la placa superior (ver Figura 2.48) debe soportar mayor fuerza que la placa inferior, el diseño se realizará en base a la misma, considerando que no existe un soporte en la parte inferior.



**Figura 2.48: Placa superior del eje Y<sup>97</sup>.**

Para realizar el diseño de este componente es necesario considerarlo como una viga con un solo empotramiento en el centro, con dos fuerzas de 18 N, equivalentes al peso del eje Y con todos sus componentes (Sección 2.3.5), aplicadas de forma simétrica a una distancia conocida, esto se puede apreciar en la Figura 2.49. Los diagramas de fuerza cortante y momento flector se muestran en la Figura 2.50 y Figura 2.51 respectivamente.

<sup>96</sup> Fuente propia.

<sup>97</sup> Fuente propia.

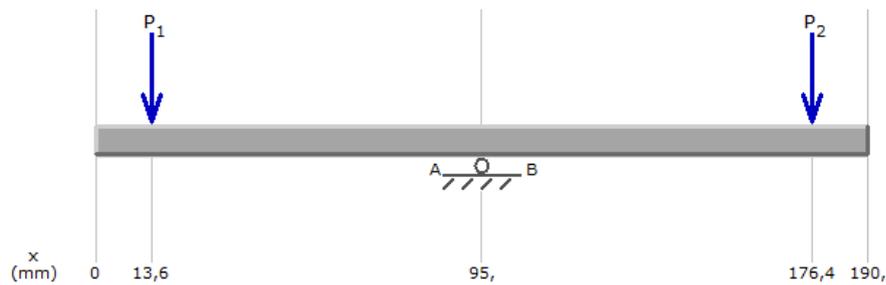


Figura 2.49: Diagrama de cuerpo libre de la placa superior del eje Y<sup>98</sup>.

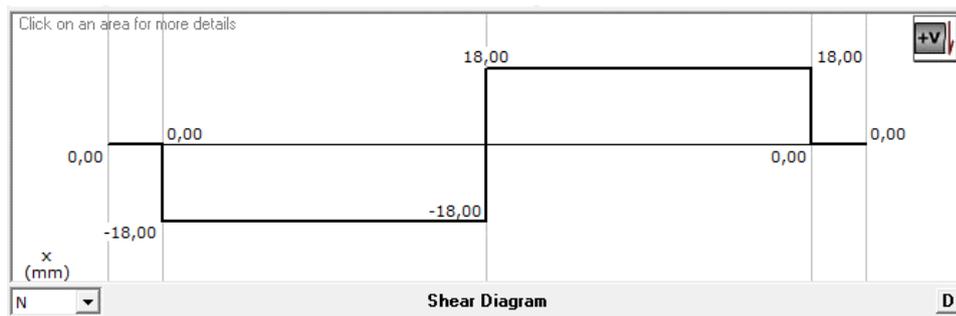


Figura 2.50: Diagrama de cortantes en la placa superior del eje Y<sup>99</sup>.

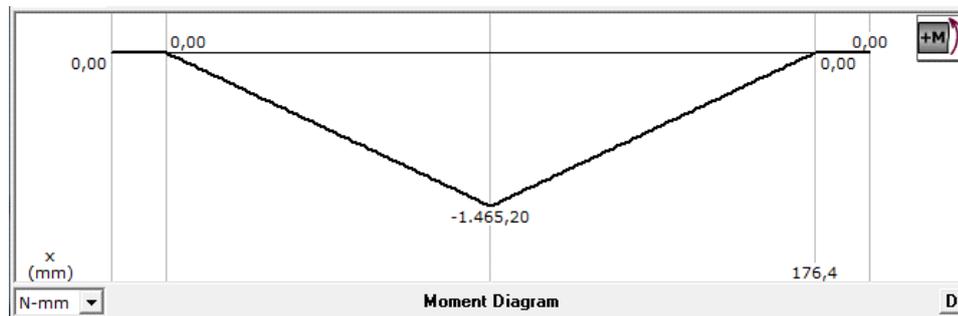


Figura 2.51: Diagrama de momentos en la placa superior del eje Y<sup>100</sup>.

De la Figura 2.51 se obtiene un momento máximo de 1465,2 N-mm por lo que se aplica la Ec. 2.5 para determinar el espesor de la placa superior. Con un factor de diseño de 1,5 y aluminio aleado 6061-T4 ( $S_y=145\text{MPa}$ ) como material, se aplica la Ec. 2.2 para obtener el esfuerzo normal de diseño cuya magnitud es de 96,66 MPa.

Debido a estos datos el espesor mínimo necesario para la placa es de:

<sup>98</sup> Fuente propia.

<sup>99</sup> Fuente propia.

<sup>100</sup> Fuente propia.

$$h = \sqrt{\frac{6 * 1465,4 \text{ N} * \text{mm}}{50 \text{ mm} * 96,66 \text{ MPa}}}$$

$$\boxed{h = 1,34 \text{ mm}}$$

Considerando este resultado se establece un espesor de 1.5 mm. Para comprobar el diseño se realiza el cálculo del factor en base al espesor antes mencionado.

Para calcular el módulo de sección de un rectángulo se emplea la Ec. 2.4.

$$S_x = \frac{50 \text{ mm} * (1.5 \text{ mm})^2}{6}$$

$$\boxed{S_x = 18,75 \text{ mm}^3}$$

El esfuerzo al que estará sometido el pallet será:

$$\sigma = \frac{1465,4 \text{ N} * \text{mm}}{18,75 \text{ mm}^3}$$

$$\boxed{\sigma = 78,15 \text{ MPa}}$$

Despejando el factor de seguridad de la Ec. 2.2 se obtiene:

$$N = \frac{145 \text{ MPa}}{78,15 \text{ MPa}}$$

$$\boxed{N = 1,85}$$

Con el factor de diseño calculado se puede observar un sobredimensionamiento del componente. Por otro lado, el espesor seleccionado para la construcción es de 2 mm, debido a su disponibilidad en el mercado y a la delimitación de espesor de la placa mencionado en la Sección 2.2.3.

El diseño de las placas inferior y superior se comprueba mediante el software SolidWorks, se observa un factor de seguridad mínimo de 1,65 comprobando el diseño de ambos componentes.

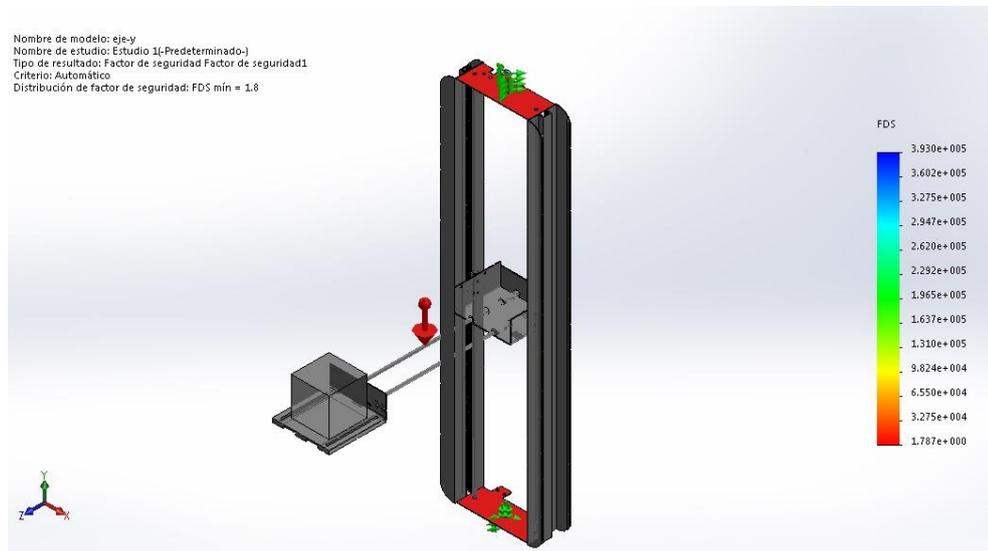


Figura 2.52: Factor de seguridad para las placas de eje Y<sup>101</sup>.

### 2.3.7. SELECCIÓN DE RODAMIENTOS PARA EL EJE ROTACIONAL B.

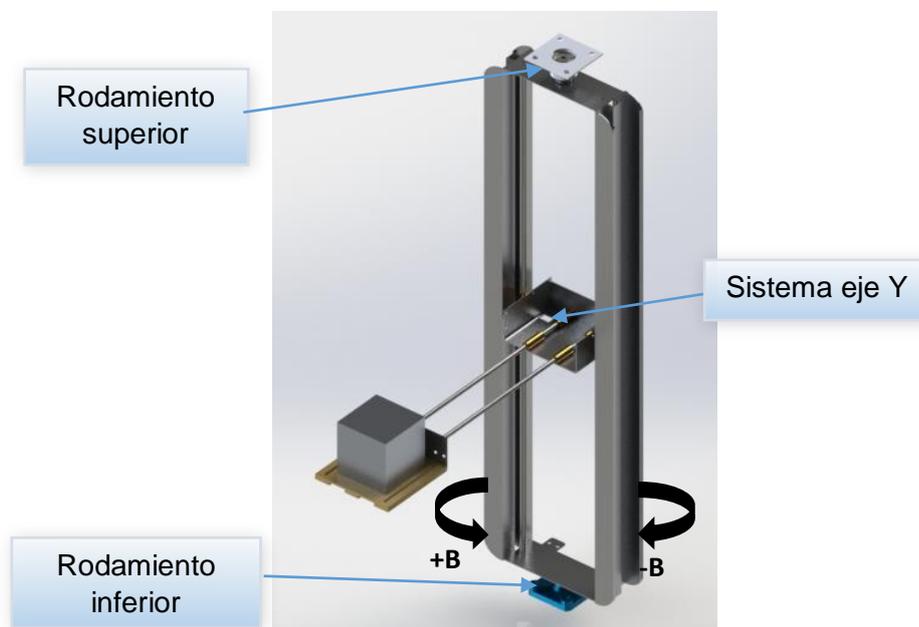


Figura 2.53: Eje rotacional B de la máquina S/R<sup>102</sup>.

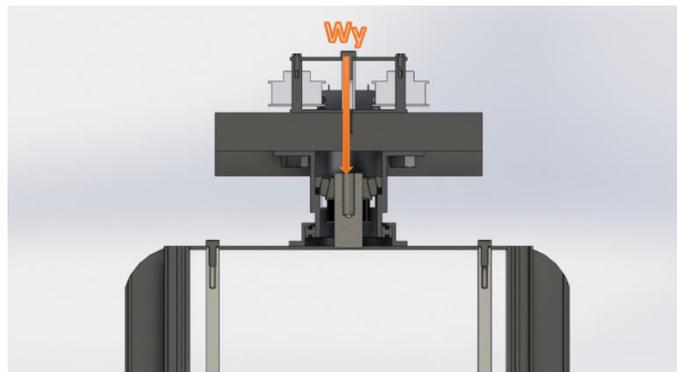
<sup>101</sup> Fuente propia.

<sup>102</sup> Fuente propia.

Para trasladar el material desde su recepción hacia su almacenamiento y viceversa; se requiere un movimiento rotacional sobre el eje Y, conseguido por un sistema de dos rodamientos de rodillos cónicos con sus respectivas bases, como se aprecia en la Figura 2.53.

Para la selección de este tipo de rodamientos se necesita como datos el tipo de montaje, la fuerza de empuje, la velocidad angular, la vida deseada, el factor de confiabilidad y el diámetro esperado.

En este caso se dispone de un montaje indirecto de rodamientos con una fuerza de empuje cuya magnitud es el peso del eje Y con sus componentes, esto se puede apreciar en la Figura 2.54.



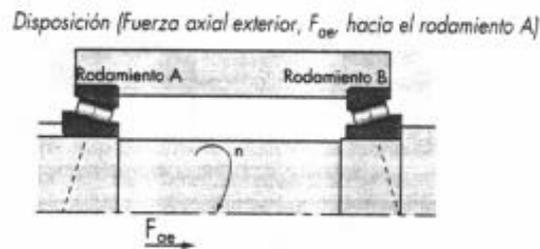
**Figura 2.54: Carga sobre el rodamiento cónico superior<sup>103</sup>.**

A partir de la fuerza de 74,85 N que se especificará en la Sección 2.3.8, una velocidad angular de 15 RPM, especificada en la Sección 2.2.3, una vida deseada de 20000 horas, con un factor de confiabilidad del 95% y un factor de aplicación igual a 1 especificados en el ANEXO B12, y un diámetro esperado de 17 mm, se procede con la selección de los rodamientos.

En este tipo de montaje (ver Figura 2.55), debido a que los rodamientos soportan únicamente cargas axiales sus reacciones radiales  $F_{rA}$  y  $F_{rB}$  son nulas, y la fuerza de empuje externo  $F_{ae}$  es igual a 74,85 N.

---

<sup>103</sup> Fuente propia.



**Figura 2.55: Montaje indirecto de rodamientos cónicos sometidos a cargas axiales<sup>104</sup>.**

En el ANEXO B4, tomando en cuenta que  $F_{ae}$  hacia la derecha es positiva, con montaje indirecto  $m = -1$ , se tiene la siguiente la Ec. 2.23.

$$\frac{0,47F_{rA}}{K_A} <? > \frac{0,47F_{rB}}{K_B} - mF_{ae} \quad \text{Ec. 2.23}$$

En base a la Ec. 2.23, con los datos de las reacciones en los rodamientos determinados, se comprueba la relación antes mencionada.

$$\frac{0,47 * 0}{K_A} <? > \frac{0,47 * 0}{K_B} - (-1 * 74,85 \text{ N})$$

$$\boxed{0 < 74,85 \text{ N}}$$

Para este caso, se empleará el conjunto superior de ecuaciones del ANEXO B4, de modo que:

$$F_{aA} = \frac{0,47 * 0}{K_B} - (-1 * 74,85 \text{ N}) \quad \text{Ec. 2.24}$$

$$\boxed{F_{aA} = 74,85 \text{ N}}$$

$$F_{aB} = \frac{0,47 * 0}{K_B} \quad \text{Ec. 2.25}$$

$$\boxed{F_{aB} = 0}$$

<sup>104</sup> Budynas, G. (s. f.). [Selección de cojinetes de rodillos cónicos]. Recuperado desde diseño en ingeniería mecánica de Shigley.

Establecido  $K_A = 1$ , se puede encontrar  $C_{10}$  en la columna de empuje. Las cargas radiales equivalentes dinámicas del montaje se obtienen mediante las Ec. 2.26 y Ec. 2.27, referirse al ANEXO B4.

$$P_A = 0,4F_{rA} + K_A F_{aA} \quad \text{Ec. 2.26}$$

$$P_B = F_{rB} \quad \text{Ec. 2.27}$$

Entonces:

$$P_A = 0,4 * 0 + (1 * 74,85 \text{ N})$$

$$\boxed{P_A = 74,85 \text{ N}}$$

$$\boxed{P_B = 0}$$

La vida requerida para el montaje se obtiene mediante la Ec. 2.28.

$$L_D = 60 * L_R * n_D \quad \text{Ec. 2.28}$$

En donde:

$L_D$ : Vida de diseño requerida (revoluciones)

$L_R$ : Vida de diseño deseada (horas)

$n_D$ : Velocidad de diseño requerida (r.p.m.)

Entonces, aplicando la Ec. 2.28 se obtiene lo siguiente:

$$L_D = 60 * 20000 * 15$$

$$\boxed{L_D = 18(10^6) \text{ rev}}$$

Para determinar la capacidad radial nominal de catálogo, se aplica la Ec. 2.29.

$$C_{10} = a_f P \left[ \frac{L_D}{4,48 f_T f_V (1 - R_D)^{\frac{2}{3}} 90(10^6)} \right]^{3/10} \quad \text{Ec. 2.29}$$

En donde:

$a_f$ : Factor de aplicación

$P$ : Carga dinámica equivalente

$L_D$ : Vida de diseño requerida

$f_T$ : Factor de temperatura

$f_V$ : Factor de viscosidad

$R_D$ : Factor de confiabilidad

Bajo las condiciones dadas para el montaje, se selecciona un factor de temperatura  $f_T$  de 1,2 del ANEXO B5, y un factor de viscosidad de 0,9 del ANEXO B6.

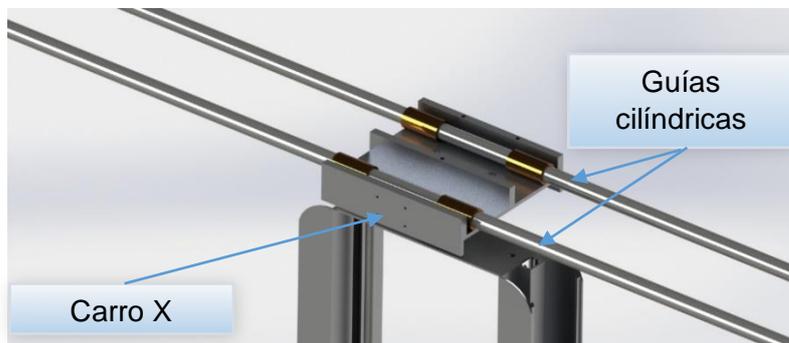
Ahora se procede al cálculo de la capacidad radial nominal de catálogo aplicando la Ec. 2.29.

$$C_{10} = (1)(74,85) \left[ \frac{18(10)^6}{4,48(1,2)(0,9)(1 - 0,95)^{\frac{2}{3}}90(10^6)} \right]^{3/10}$$

$$\boxed{C_{10} = 52,3958 N}$$

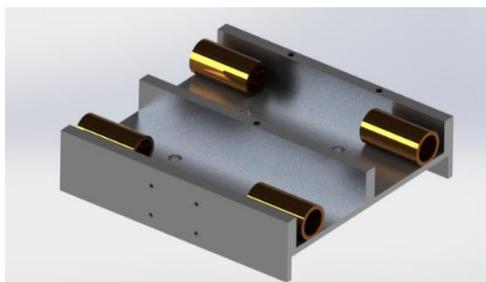
En el ANEXO B13 se presenta una posibilidad en el tamaño del diámetro interior correspondiente a 17 mm, con serie FBJ 30203 y clasificación de empuje  $(C_{10})_a$  de 18600 N, debido a que la capacidad radial nominal es superior a la calculada se selecciona el rodamiento mencionado anteriormente; sin embargo el cojinete B no experimenta carga alguna de modo que el cojinete de menor capacidad radial nominal del mismo diámetro interior resulta apropiado.

### 2.3.8. DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESFUERZOS DEL CARRO X.



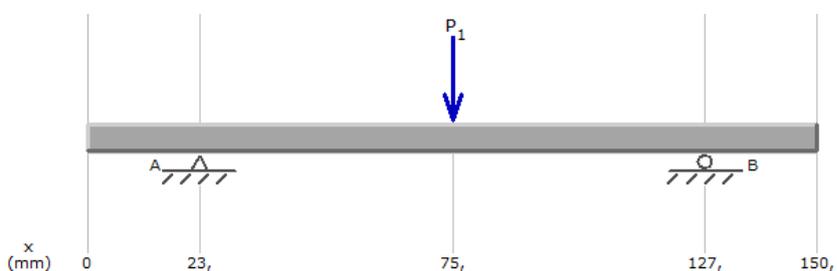
**Figura 2.56: Carro X sobre guías cilíndricas<sup>105</sup>.**

El carro X es el encargado de transportar a la máquina S/R sobre las guías cilíndricas X (véase Figura 2.56). El carro X está compuesto por una base de aluminio sujeta por medio de 4 bocines de bronce a las guías cilíndricas, esto se puede ver en la Figura 2.57.



**Figura 2.57: Carro X<sup>106</sup>.**

Las dimensiones de la base del carro X se detallan en el ANEXO A18, mientras que los detalles de los bocines se encuentran en el ANEXO A19.



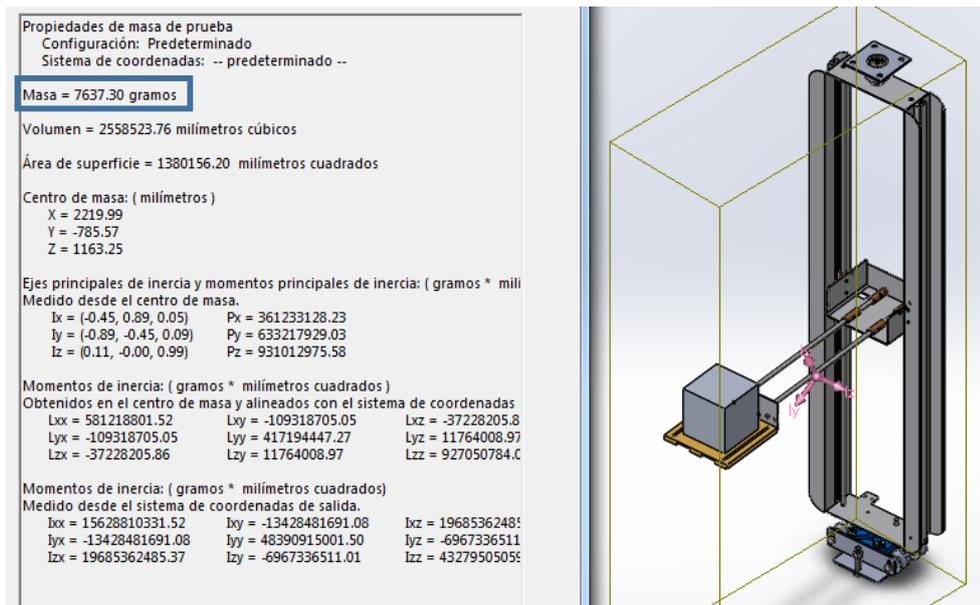
**Figura 2.58: Diagrama de cuerpo libre del carro X<sup>107</sup>.**

<sup>105</sup> Fuente propia.

<sup>106</sup> Fuente propia.

<sup>107</sup> Fuente propia.

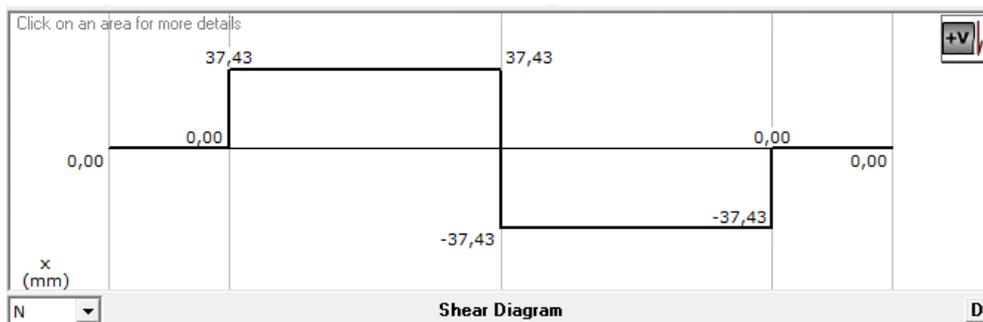
Para el análisis estático de la base del carro X se considera que está sometida a una fuerza puntual en el centro, esta fuerza equivale al peso total de la máquina S/R incluyendo los sistemas de movimiento Z, Y y B, mientras que los bocines actúan como soportes. Esto se puede apreciar en la Figura 2.58.



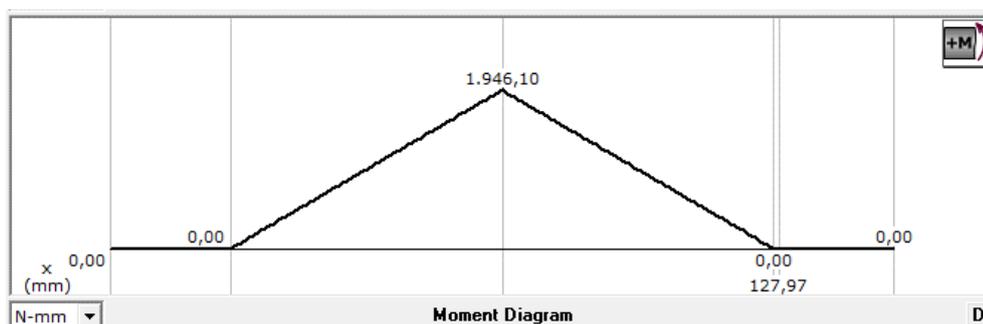
**Figura 2.59: Propiedades físicas de los sistemas Z, Y y B<sup>108</sup>.**

Para determinar el peso que soportará el carro X se usará el software SolidWorks, que conforme a la Figura 2.59 tiene una masa de 7,63 Kg, que produce un peso de 74,85 N, los diagramas de fuerza cortante y momento flector producidos se muestran en la Figura 2.60 y Figura 2.61 respectivamente.

<sup>108</sup> Fuente propia.



**Figura 2.60: Diagrama de fuerzas cortantes sobre el carro X<sup>109</sup>.**



**Figura 2.61: Diagrama de momentos flectores sobre el carro X<sup>110</sup>.**

Según la Figura 2.61 el momento máximo al que está sometida la base es de 1946,10 N-mm, considerando un factor de seguridad de 2 y el material seleccionado para su construcción es aluminio aleado 6061-T4 ( $S_y=145$  MPa.), el esfuerzo normal de diseño es de 72,5 MPa aplicando la Ec. 2.2.

El cálculo de la altura de la sección transversal de la base se lo realiza mediante la Ec. 2.5 obteniendo como resultado:

$$h = \sqrt{\frac{6 * 1946,10 \text{ N} \cdot \text{mm} \cdot \text{mm}^2}{150 \text{ mm} * 72,5 \text{ N}}}$$

$$\boxed{h = 1,03 \text{ mm}}$$

<sup>109</sup> Fuente propia.

<sup>110</sup> Fuente propia.

De acuerdo al resultado anterior se selecciona un espesor de 1 mm. Para comprobar el diseño se realiza el cálculo del esfuerzo generado, en base al espesor especificado, el módulo de sección resultante de la Ec. 2.4 es:

$$S_x = \frac{150 \text{ mm} * (1 \text{ mm})^2}{6}$$

$$\boxed{S_x = 25 \text{ mm}^3}$$

El esfuerzo al que estará sometido la base del carro X se determina mediante la Ec. 2.3.

$$\sigma = \frac{1946,10 \text{ N. mm}}{25 \text{ mm}^3}$$

$$\boxed{\sigma = 77,84 \text{ MPa}}$$

Despejando el factor de seguridad de la Ec. 2.2 se obtiene:

$$N = \frac{145 \text{ MPa}}{77,84 \text{ MPa}}$$

$$\boxed{N = 1,86}$$

Con un factor de seguridad de 1,86 se puede decir que el diseño es aceptable, pero debido a que se estableció un mínimo espesor para las placas (Sección 2.2.3) y para asegurar una buena sujeción entre los bocines y la base, esta será construida con un perfil de aluminio de 3mm.

Para comprobar el diseño se emplea el software SolidWorks 2014, dando como factor de seguridad mínimo 2,2, lo cual comprueba el diseño realizado. Esto se puede apreciar en la Figura 2.62.

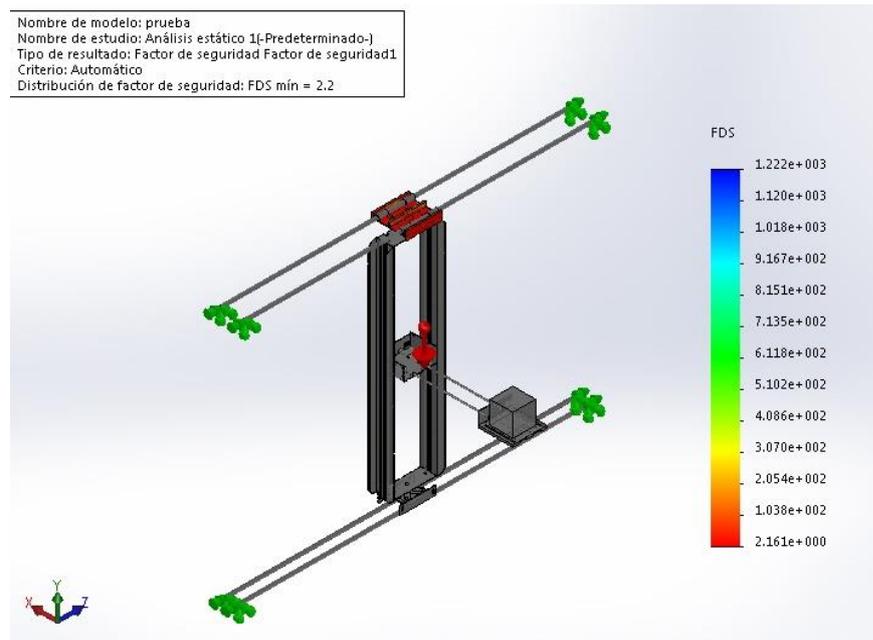


Figura 2.62: Factor de seguridad del carro X<sup>111</sup>.

### 2.3.9. DISEÑO Y ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL EJE X.

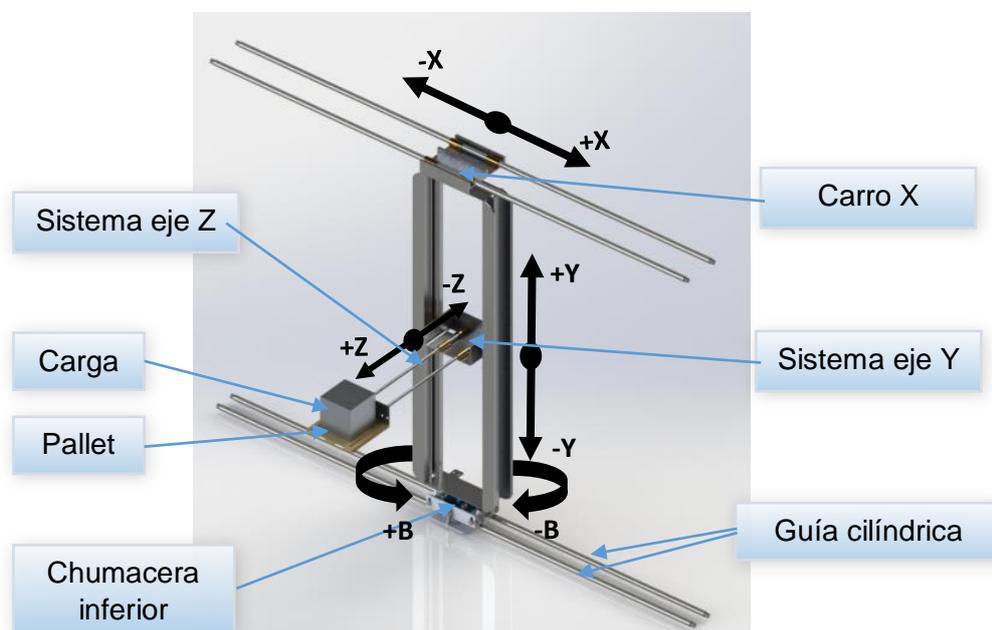


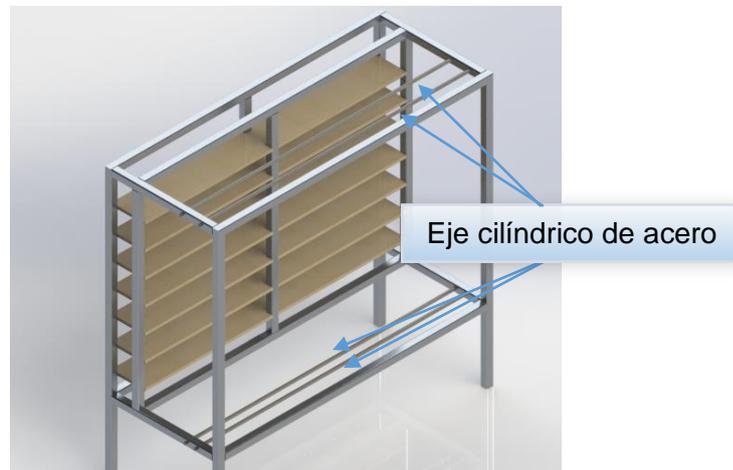
Figura 2.63: Ejes X, Y y Z con la carga a transportar<sup>112</sup>.

El eje X (ver Figura 2.2) permite el recorrido longitudinal de la máquina S/R, esto se puede observar en la Figura 2.63. Para el diseño el eje X, se

<sup>111</sup> Fuente propia.

<sup>112</sup> Fuente propia.

considerará como cuatro guías cilíndricas de acero paralelos en su parte superior e inferior, anclados a la estructura de almacenamiento (ver Figura 2.64.)



**Figura 2.64: Componentes del eje X<sup>113</sup>.**

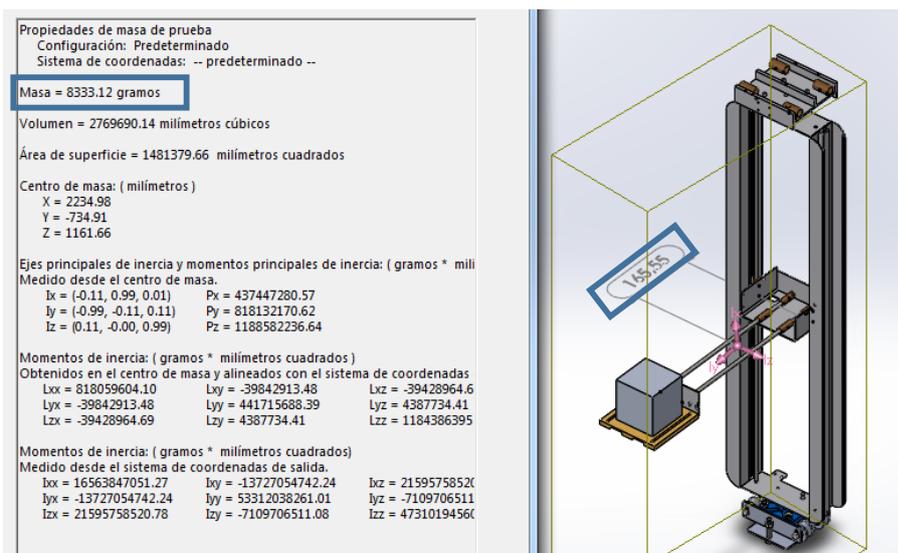
Las dimensiones de las guías cilíndricas del eje X se detallan en el ANEXO A25. Para el análisis estático, se considera que cada par de guías cilíndricas están colocadas de forma horizontal con soportes en ambos extremos, con una fuerza puntual en el centro (véase Figura 2.66).

Para poder analizar las fuerzas a la que está sometido el eje X es necesario trasladar la carga de la máquina S/R sobre el eje X, para realizar esto se emplea el principio de sistema fuerza par que permite obtener un sistema equivalente al original pero con una fuerza y momento sobre el eje X. Debido a que los ejes son ortogonales uno con respecto al otro el momento que se genera al trasladar la fuerza de la máquina S/R, genera torsión sobre el eje X, esto se puede apreciar en la Figura 2.31.

Para determinar la magnitud de la fuerza axial y el momento resultante del traslado de la carga sobre el eje X se emplea la masa total del sistema del eje Y, Z incluida la carga y el soporte la cual es de 8,33 Kg cuyo centro de masa está a 165,55 mm del centro del eje Y (véase Figura 2.65).

---

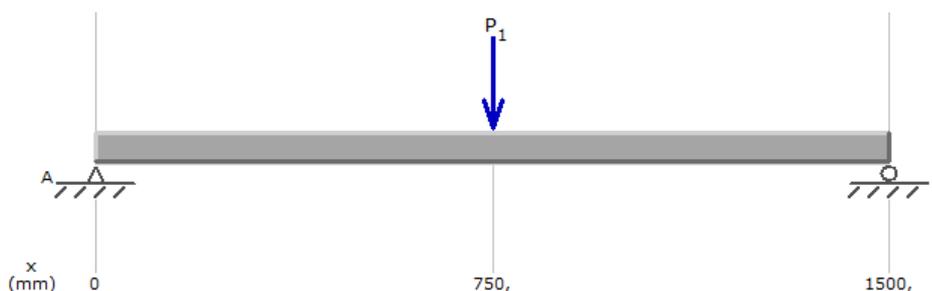
<sup>113</sup> Fuente propia.



**Figura 2.65: Propiedades físicas del eje Y<sup>114</sup>.**

Conforme a estos datos la carga axial que soportará el eje X será de 81,71 N y el momento producido por el sistema del eje Z será de 13528,29 N-mm. Como se trata de cuatro guías cilíndricas las fuerzas que actúan sobre este sistema se divide para cada una de ellas, por ello, la carga total sobre cada guía X será de 20,42 N y el torque será el valor de 3382,07 N-mm

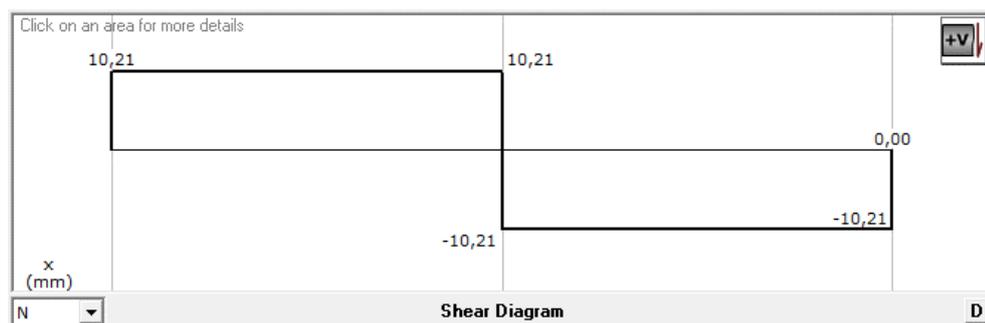
En la Figura 2.67 se muestra el diagrama de fuerzas cortantes y en la Figura 2.68 el de momentos flectores.



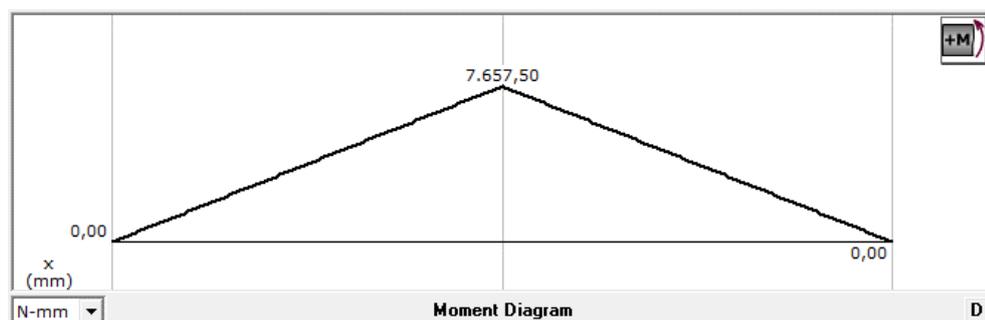
**Figura 2.66: Diagrama de cuerpo en las guías del eje X<sup>115</sup>.**

<sup>114</sup> Fuente propia.

<sup>115</sup> Fuente propia.



**Figura 2.67: Diagrama de fuerzas cortantes en las guías del eje X<sup>116</sup>.**



**Figura 2.68: Diagrama de momentos flectores en las guías del eje X<sup>117</sup>.**

Debido a que la longitud del eje X es grande la probabilidad que se pandee es mayor a una falla por esfuerzo, por lo cual, el proceso de diseño se lo realizará por flexión máxima, para ello es necesario determinar la flexión máxima en vigas biempotradas mediante la Ec. 2.30<sup>118</sup>.

$$y_{\max} = -\frac{P * L^3}{192 * E * I} \quad \text{Ec. 2.30}$$

En donde:

$Y_{\max}$ : Flexión máxima [mm].

P: Fuerza aplicada en el centro de la viga [N].

L: Longitud total de la viga [mm].

E: Módulo de elasticidad [GPa].

I: Inercia de la sección transversal [mm<sup>4</sup>].

<sup>116</sup> Fuente propia.

<sup>117</sup> Fuente propia.

<sup>118</sup> MOTT R., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, Tabla A14-3, p. A-24

La inercia de una sección circular se calcula mediante la Ec. 2.31<sup>119</sup>.

$$I = \frac{\pi * d^4}{64} \quad \text{Ec. 2.31}$$

En donde:

d: Diámetro de la sección circular [mm].

Reemplazando la Ec. 2.30 en la Ec. 2.31 y despejando el diámetro de la sección circular se tiene:

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 * P * L^3}{192 * \pi * E * y_{\max}}} \quad \text{Ec. 2.32}$$

Para determinar la flexión máxima de diseño para una máquina de precisión moderada se aplica la Ec. 2.33<sup>120</sup>.

$$y_d = 0,0005 * L \quad \text{Ec. 2.33}$$

Según la expresión anterior la flexión de diseño será de:

$$y_d = 0,0004 * 1500 \text{ mm}$$

$$\boxed{y_d = 0,6 \text{ mm}}$$

Una vez obtenida la flexión de diseño y considerando un módulo de elasticidad de 207 GPa<sup>121</sup> el diámetro resultante de aplicar la Ec. 2.32 será:

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 * 20,42 * N * (1500)^3 \text{ mm}^5}{192 * \pi * 207000 * N * 0,6 \text{ mm}}}$$

$$\boxed{d = 15,57}$$

En base al resultado anterior para el sistema de guías cilíndricas en el eje X se establece un diámetro de 15,5 mm. Para comprobar el diseño se debe

<sup>119</sup> MOTT R., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, Apéndice 1, p. A-1

<sup>120</sup> MOTT R., Resistencia de materiales, Prentice Hall, Quinta Edición, p. 459

<sup>121</sup> MOTT R., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, Apéndice 3, p. A-7

calcular la flexión máxima con el diámetro antes mencionado, para lo cual se determina el momento de inercia mediante la Ec. 2.31

$$I = \frac{\pi * (15,5)^4 \text{mm}^4}{64}$$

$$\boxed{I = 2833,32 \text{ mm}^4}$$

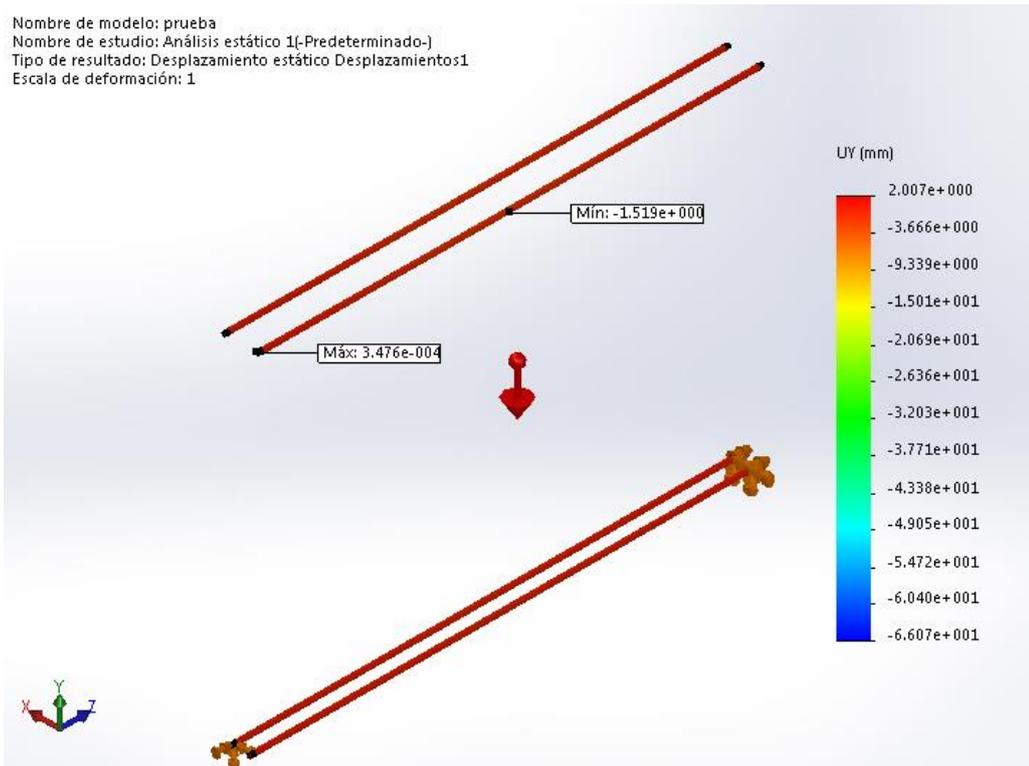
Mediante la Ec. 2.30 se determina una flexión máxima de:

$$y_{\max} = - \frac{20,42 * N * (1500)^3 \text{mm}^5}{192 * 207000 * N * 2833,32 \text{ mm}^4}$$

$$\boxed{y_{\max} = 0,61}$$

Con este resultado se determina que el diseño está bien realizado, para su construcción se selecciona un eje de 16 mm según los diámetros de ejes de acero disponibles en el mercado.

Para su comprobación se emplea el software de modelamiento mecánico SolidWorks, cuyos resultados se muestran en la Figura 2.69. En esta gráfica se puede observar que la flexión máxima es 0,00347 mm corroborando el resultado anteriormente calculado.

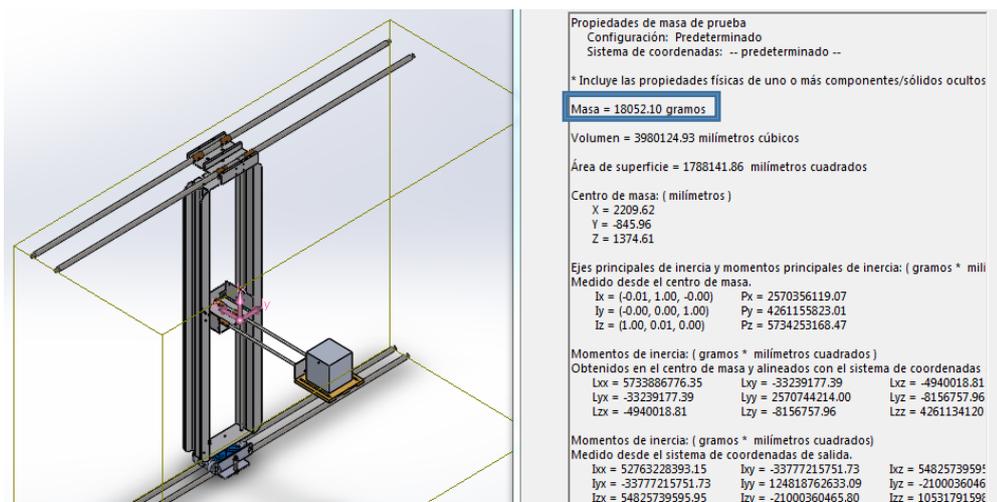


**Figura 2.69: Desplazamiento estático para el eje X<sup>122</sup>.**

### 2.3.10. SELECCIÓN DE LA SUJECIÓN DE LOS EJES CILÍNDRICOS.

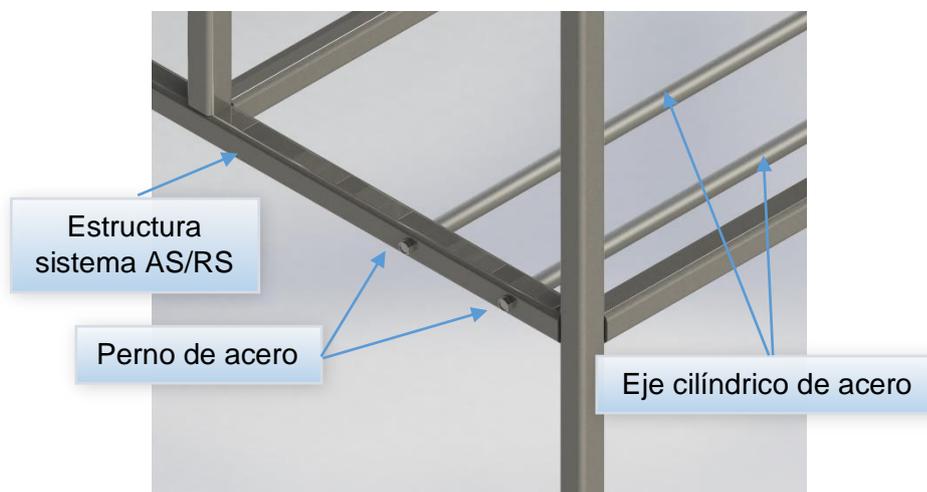
Para la selección de las sujeciones de los ejes de la máquina S/R se analizará el caso crítico, considerado para la máquina S/R como las sujeciones en las guías cilíndricas X, debido a que estos soportarán todo el peso de la máquina S/R incluido el pallet, y el material transportado. En este caso se utilizará como sujeción a los propios ejes sobre los cuales se mecanizará la rosca, mismos que soportarán la masa total de la máquina S/R cuya magnitud es de 18,05 Kg (ver Figura 2.70)

<sup>122</sup> Fuente propia.



**Figura 2.70: Propiedades Físicas de la Máquina S/R<sup>123</sup>.**

La carga del peso de la máquina S/R se obtendrá en base a la Ec. 2.7, dando como resultado un peso de 176,90 N, magnitud que soportará las sujeciones del eje X. La carga se divide para los 4 puntos de apoyo, dando como carga para el análisis un valor de 44,22 N (ver Figura 2.71).



**Figura 2.71: Vista isométrica del eje X<sup>124</sup>.**

En este caso se calculará el diámetro menor de las cabezas de los pernos en base al esfuerzo de corte permisible. La relación que permite calcular el factor de seguridad<sup>125</sup> en el diseño de los sujetadores es:

<sup>123</sup> Fuente propia.

<sup>124</sup> Fuente propia.

<sup>125</sup> Extraído de <http://www.eumed.net/libros-gratis/ciencia/2013/14/#indice>

$$N_s = \frac{S_{ys}}{S_s} = \frac{0,577 * S_y}{S_s} \quad \text{Ec. 2.34}$$

Donde:

$S_y$ : límite de fluencia [MPa].

$S_s$ : esfuerzo por cortante directo [MPa].

El cálculo del esfuerzo por cortante directo y torsión<sup>126</sup> en los sujetadores se puede realizar aplicando la Ec. 2.35.

$$S_s = \frac{16T}{\pi d_r^3} + \frac{V}{\frac{\pi}{4} d_r^2} \quad \text{Ec. 2.35}$$

Donde:

$T$ : torque [N-mm].

$V$ : fuerza cortante [N].

$d_r$ : diámetro menor de la rosca [mm].

Para el cálculo del diámetro menor de la rosca, basado en las Ec. 2.34 y Ec. 2.35 antes mencionadas, se aplica la Ec. 2.36.

$$\frac{0,577 * S_y * \pi}{N} * d_r^3 - 4 * V * d_r - 16 * T = 0 \quad \text{Ec. 2.36}$$

Entonces, para este caso se tiene fuerza cortante  $V$  de 44,22 N generado por el peso de la máquina S/R y un torque resultando del traslado del peso del eje Z sobre el eje X cuya magnitud es de 13528,29 N-mm. El factor de seguridad es 1,5 y un límite de fluencia de 415 MPa de acuerdo a las especificaciones SAE para pernos de acero grado métrico<sup>127</sup> 5,8.

$$\frac{0,577 * 415 * \pi}{1,5} * d_r^3 - 4 * 44,2274 * d_r - 16 * 13528,29 = 0$$

<sup>126</sup> Extraído de <http://www.eumed.net/libros-gratis/ciencia/2013/14/#indice>

<sup>127</sup> MOTT R., Diseño de Elementos de Máquinas, Prentice Hall, Cuarta Edición, Tabla 18-3, pág 716

$$d_r = 7,5727 \text{ mm}$$

Debido a los calibres disponibles en el mercado, se establece un perno métrico de acero M8 x 1 grado SAE 5,8.

Para comprobar el diseño se realiza el cálculo del esfuerzo generado, en base al diámetro especificado anteriormente, mediante la Ec. 2.35.

$$S_s = \frac{16 * 13528,29 \text{ N} * \text{mm}}{\pi * (8 \text{ mm})^3} + \frac{44,158 \text{ N}}{\frac{\pi}{4} * (8 \text{ mm})^2}$$

$$S_s = 135,44 \text{ Mpa}$$

Para obtener el factor de seguridad se aplica la Ec. 2.34.

$$N = \frac{0,577 * 415 \text{ Mpa}}{135,44 \text{ Mpa}}$$

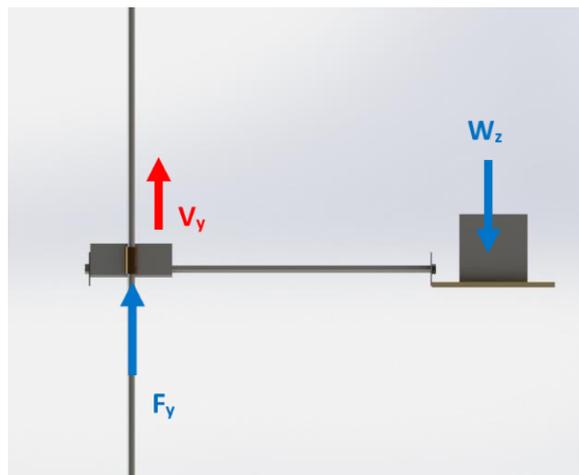
$$N = 1,70$$

Con este factor de seguridad se comprueba que el sistema soportará la carga de la máquina S/R, ya que es un factor aceptable para cargas estáticas con un alto grado de confianza, justificando de esta manera el diseño.

Por otra parte, para las sujeciones de los ejes Y, Z y otros componentes del sistema que no soportan carga significativa, se utilizarán pernos métricos M5x0,8, mismo que serán de uso general para todas las sujeciones y acoples restantes del sistema.

#### **2.4. SELECCIÓN DE LOS MOTORES DE LOS EJES X, Y Y Z.**

Para determinar la potencia de los motores se analizarán los ejes X y Y, debido a que el eje Y debe realizar el movimiento vertical, y el eje X soporta todo el peso de los ejes Y, Z y sus componentes.



**Figura 2.72: Movimiento del eje Y<sup>128</sup>.**

Para el análisis del motor en el eje Y se toma la masa del eje Z y todos sus componentes, la cual se puede observar en la Figura 2.42, el motor debe ser capaz de mover el peso de 36 N a una velocidad máxima de 200mm/s (Sección 2.2.3 ) de forma ascendente o descendente, esto se aprecia en la Figura 2.72. Entonces basado en estos datos la potencia será:

$$P_y = F * V$$

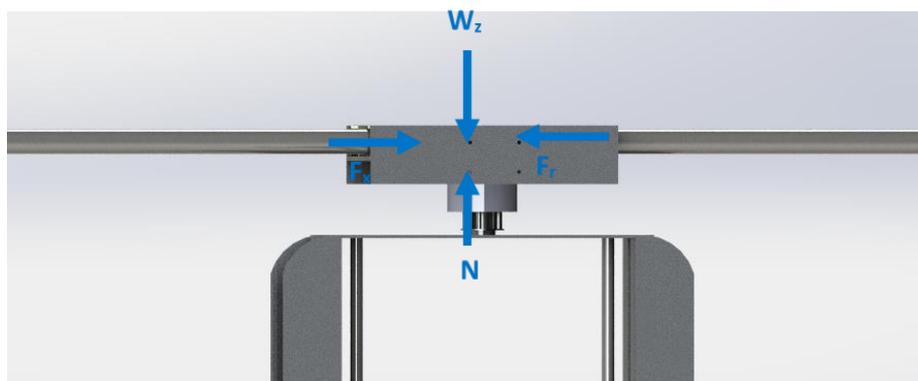
$$P_y = 36\text{N} * 0.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\boxed{P_y = 7,2 \text{ W}}$$

Según los resultados de la Sección 2.3.8, el motor del eje X debe ser capaz de mover un peso de 74,85 N de forma horizontal con la misma velocidad del eje Y, esto se aprecia en la Figura 2.73.

---

<sup>128</sup> Fuente propia.



**Figura 2.73: Movimiento del eje X<sup>129</sup>.**

Por lo tanto la potencia requerida estará dada por la fuerza de rozamiento entre los ejes de acero y los bocines cuyo coeficiente de rozamiento<sup>130</sup> es de 0,19, según estos datos la potencia será:

$$P_x = \mu * N * V$$

$$P_x = 0,19 * 74,85 \text{ N} * 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\boxed{P_x = 2,84 \text{ W}}$$

Conforme a los resultados de los ejes X, Y se determina que el más crítico es el del eje Y por tanto, se seleccionará los motores de todos los ejes en base al caso del eje Y.

Considerando la eficiencia<sup>131</sup> de 0,95 de las bandas sincrónicas, la potencia a la salida de los motores serán de:

$$P = \frac{P_y}{\epsilon}$$

$$P = \frac{7,2 \text{ W}}{0,95}$$

$$\boxed{P = 7,57 \text{ W}}$$

<sup>129</sup> Fuente propia.

<sup>130</sup> Extraído de <http://www.lamerce.com/mecanic/images/fregament.pdf>

<sup>131</sup> Extraído de <http://www.monografias.com/trabajos82/disenio-sistema-trasmision-polea-banda/disenio-sistema-trasmision-polea-banda.shtml>

Para determinar el factor de servicio se considera al prototipo como un clasificador que funcionará de 3 a 10 horas, mediante estos datos y el ANEXO B7 se establece el factor de servicio en 1,25. Por lo que la potencia de diseño de los motores será de:

$$P_D = F.S.* P$$

$$P = 1,25 * 7,57 W$$

$$P = 9,47 W$$

Conforme a los requerimientos especificados en la Sección 2.2.3 se analiza los distintos tipos de actuadores de la Sección 1.14.5, lo que permitió seleccionar los de tipo eléctrico, específicamente los servomotores por su alta capacidad de carga y bajo consumo. Después de haber analizado las diferentes opciones de motores ofrecidas por tiendas de robótica como RobotShop, Pololu Robotics&Electronics y The Robot MarketPlace, se obtuvieron las siguientes opciones de motores.

**Tabla 2.1: Alternativas de motores.**

Motor	Velocidad sin carga (RPM)	Par continuo (oz-in)	Potencia de salida (W)
Cytron IG32E-14K	430	15,57	7
Renegade Motor, High Power	180	90,26	12
131:1 Metal Gearmotor	80	250	14,78

**Elaborado por:** Capilla Carlos, Pulloquina José.

De acuerdo a las características de la Tabla 2.1 se opta por los servomotores 131:1 Metal Gearmotor ofrecidos por Pololu, por su alta potencia y alto torque y velocidad media, los datos de este motor se detallan en el ANEXO C1 .

## 2.5. SELECCIÓN DE LA TRANSMISIÓN MECÁNICA.

Según los parámetros de diseño establecidos, se analiza las Secciones 1.12.1 y 1.12.2, determinando que la transmisión flexible por correas es la opción que mejor se adapta a los requerimientos del prototipo. Para evitar el deslizamiento en la transmisión se empleará la banda sincrónica en configuración Lineal Omega (Sección 1.12.3).

La transmisión de potencia de la máquina S/R se analizará considerando como caso crítico al sistema de transmisión del eje Y, debido a que su actuador eléctrico tiene el mayor par motor del sistema. Para este sistema se ha seleccionado una transmisión por correas dentadas ancladas a los ejes, accionadas mediante una polea motriz y dos rodillos tensores fijos en los carros de movimiento de la máquina S/R (ver Figura 1.12).

### 2.5.1. Selección del perfil de correa dentada y diámetro de la polea.

Primero mediante el ANEXO B8, se determina el perfil de correa dentada en base a la potencia del motor elegido (véase Tabla 2.1), para posteriormente buscar un diámetro de paso estándar, de acuerdo al tipo de perfil seleccionado.

Para este caso se selecciona un perfil de correa T5, con el cual se procede a elegir el diámetro de paso estándar para la polea conductora, refiérase al ANEXO B9.

$$dp \geq 23,87$$

$$Z = 15$$

$$\boxed{dp = 23,87 \text{ mm}}$$

### 2.5.2. Cálculo de la fuerza periférica.

Consecutivamente, habrá que calcular la fuerza periférica generada por la polea conductora de acuerdo al torque del motor y al diámetro de paso de la polea aplicando la Ec. 1.5. Para esto se conoce que:

$$Tq: 0,18 \text{ kgf} * \text{m} = 1.765387 \text{ N} * \text{m}$$

$$dp: 23,87 \text{ mm}$$

$$F_u = \frac{2000 * 1,765197}{23,87}$$

$$\boxed{F_u = 147,90 \text{ N}}$$

### 2.5.3. Determinación del ancho de la correa.

Una vez obtenida la fuerza periférica, se procede a determinar el ancho de correa, mediante la Ec. 1.7. El factor de seguridad  $C_s$  depende de las condiciones de operación. En base al ANEXO B10 se estable un  $C_s$  de 1.0, debido a que las correas dentadas operarán bajo una carga regular.

Refiriéndose al ANEXO B9, se puede encontrar la fuerza compartida por diente, utilizando una velocidad angular de 80 RPM.

$$\boxed{F_{\text{spec}} = 22 \text{ N/cm}}$$

Para el cálculo del número de dientes engranados en la polea conductora, se utiliza la Ec. 1.8. Por lo tanto, con  $Z = 15$  para polea conductora, y un ángulo de contacto de  $180^\circ$ , se obtiene:

$$Z_m = 15 * \frac{180^\circ}{360^\circ}$$

$$\boxed{Z_m = 7,5}$$

Una vez obtenido el número de dientes engranados en la polea conductora, y los datos necesarios, se procede a determinar el ancho de la correa utilizando la Ec. 1.7.

$$b = \frac{147,90 * 1,0 * 10}{22 * 7,5}$$

$$\boxed{b = 8,96 \text{ mm}}$$

Posteriormente, se procede a buscar un ancho de correa estándar, refiérase al ANEXO B9. La aproximación a su inmediato superior determina un ancho de correa de 10 mm.

Con los datos obtenidos se selecciona las siguientes correas dentadas.

**Tabla 2.2: Dimensiones de las correas estándar de los ejes.**

Eje	Longitud (metros)	Correa
<b>x</b>	1,50 m.	10 T5 - 1500 - FT – ML
<b>y</b>	1,50 m.	10 T5 - 1500 - FT – ML
<b>z</b>	0,50 m.	10 T5 - 500 - FT – ML

**Elaborado por:** Capilla Carlos, Pulloquina José.

#### 2.5.4. Cálculo de la pre-tensión.

Para el cálculo de la pre-tensión de las correas dentadas en la configuración de movimiento lineal omega (ver Figura 1.14), se utiliza la Ec. 1.9. Para este caso, se obtiene la siguiente pre-tensión.

$$F_p = 2 * 147,90 \text{ N}$$

$$\boxed{F_p = 295,80 \text{ N}}$$

Ahora, se procede a comprobar la máxima tensión permisible de la correa seleccionada, utilizando la Ec. 1.10.

Entonces, con una máxima tensión permisible de 355 N correspondiente a la banda seleccionada conforme al ANEXO B9, se obtendrá lo siguiente:

$$355 \text{ N} > \frac{295,80 \text{ N}}{2} + (147,90 \text{ N} * 1.0)$$

$$\boxed{355 \text{ N} > 295,80 \text{ N}}$$

A través, de la relación cumplida, se comprueba la correcta selección de las correas dentadas; para el sistema de transmisión de la máquina S/R, en base a la potencia de los actuadores calculados.

### 2.5.5. Verificación del diámetro de la polea y rodillo tensor.

Luego de seleccionada la correa dentada, se procede a comprobar el diámetro de la polea conductora y los rodillos tensores, mediante la Ec. 1.11 y Ec. 1.12. Del ANEXO B9, se obtiene un número de dientes mínimo de 15 en la polea conductora y un diámetro de rodillos tensores de 30 mm. Una vez establecido los valores se procede a comprobar las relaciones antes mencionadas.

$$Z_d \geq Z_{\min}$$

$$\boxed{15 \geq 15}$$

$$D_i \geq D_{\min}$$

$$\boxed{30 \geq 30}$$

De esta manera, se comprueba la acertada elección de los diámetros de la polea conductora, como de los rodillos tensores.

Después de consultar algunos proveedores de poleas para bandas sincrónicas, como Polytech Design y Omnidrives se seleccionó la polea motriz 21T5/30-2, cuyas dimensiones se detallan en el ANEXO B11, por otra parte los rodillos tensores se fabricarán según las dimensiones del ANEXO A28.

### 2.5.6. Elongación.

Un factor importante en el diseño de las correas dentadas, es la determinación de la máxima elongación en situación dinámica, para ello se aplicará la Ec. 1.13. Para este caso, se tendría lo siguiente:

$$\Delta l = \frac{126.901 \text{ N}}{324 \text{ N}} * \left( \frac{4}{1000} \right)$$

$$\Delta l = 1.56 \text{ mm}/1000 \text{ mm}$$

## **2.6. DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DEL SISTEMA AS/RS.**

### **2.6.1. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL.**

El sistema de control debe ser capaz de cumplir con los siguientes requerimientos:

- Control de posición y velocidad de los movimientos de cada eje coordinado de la máquina S/R.
- Registro de materia prima y producto terminado contenido en la estructura de almacenamiento, así también un registro de las posiciones verticales y horizontales de cada uno de los módulos de almacenamiento.
- Reconocimiento y categorización de perfiles mediante procesamiento digital de imagen.
- Señales de entrada para la solicitud de materia prima, indicador de producto terminado de calidad y defectuoso, e ingreso de producto terminado.
- Señales de salida para indicar materia prima lista para ser movilizada.
- Limitación de recorrido de cada uno de los ejes coordinados de la máquina S/R.
- Paro de emergencia.

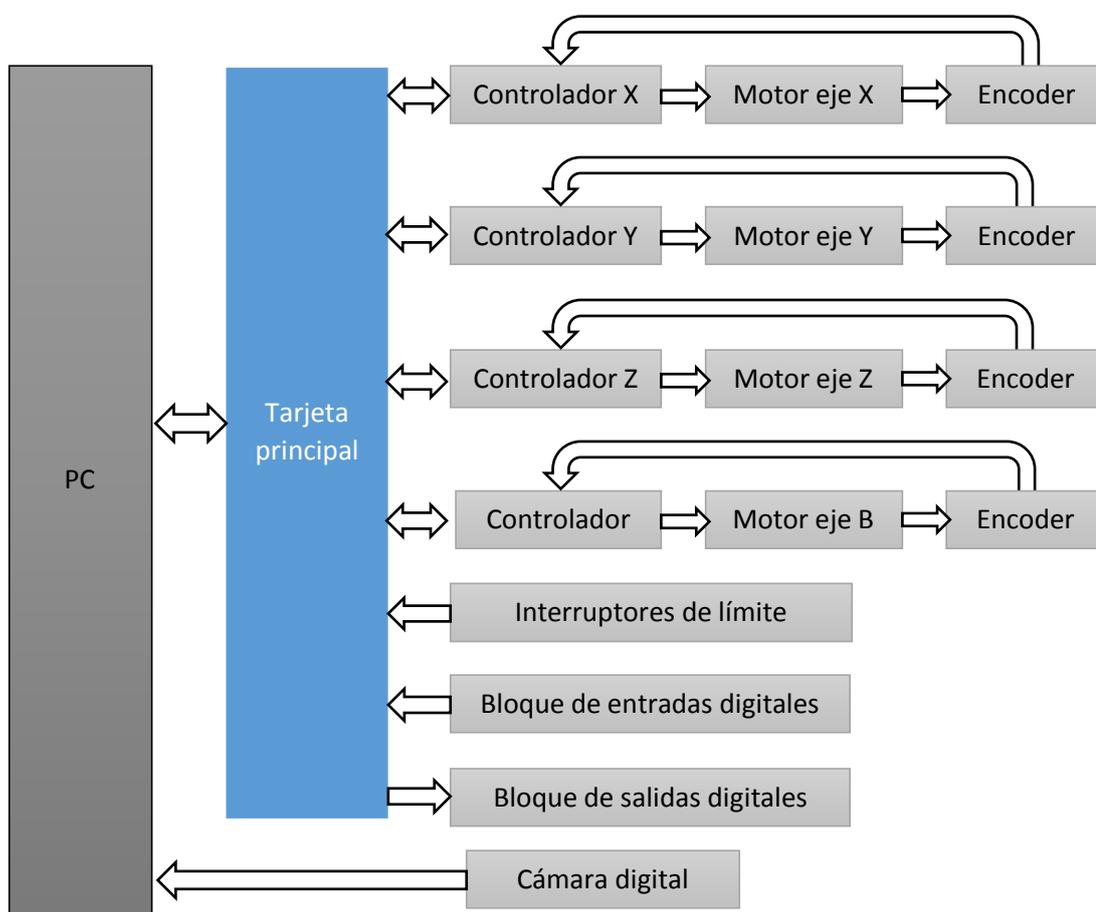
### **2.6.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL SISTEMA AS/RS.**

Conforme a la Sección 2.6.1 el sistema de control se realizará en base a un ordenador, con lo cual por medio de una aplicación HMI permitirá al usuario:

- Ver el espacio disponible dentro de la estructura de almacenamiento y los productos almacenados dentro de la misma.
- Manipular y monitorear la posición y velocidad de cada uno de los ejes de la máquina S/R.
- Realizar el reconocimiento y categorización de la sección transversal de la materia prima por medio de procesamiento de imágenes.

- Ver el estado de las entradas/salidas digitales del sistema AS/RS, así como, el estado de los finales de carrera que delimitan el recorrido de la máquina S/R.

La aplicación HMI se comunicará mediante protocolo RS-232 con una tarjeta principal que será la encargada de realizar cambios en la posición de los motores, control de entradas/salidas digitales y finales de carrera. Por otra parte el control de posición se realizará por medio de tarjetas de control (controladores) de motores DC retroalimentados mediante encoder, el diagrama de bloques del sistema de control a diseñar se puede observar en la Figura 2.74.



**Figura 2.74: Diagrama de bloques del sistema de control<sup>132</sup>.**

<sup>132</sup> Fuente propia.

### 2.6.3. SELECCIÓN DE LAS TARJETAS DE CONTROL DE LOS EJES X, Y, Z y B.

El control de los motores, en base a los requerimientos de la Sección 2.6.1, se realizará a lazo cerrado (Sección 1.13.2). Por lo que, según las características de los motores seleccionados en la Sección 2.4, se analizan las siguientes tarjetas de control ofertadas en las tiendas de robótica:

**Jrk 12v12 USB Motor Controller with Feedback:** Es una tarjeta de control para motores DC, de uso general, (véase Figura 2.75) que soporta varias interfaces de comunicación, incluyendo USB. Opera en un rango de 6V a 16V de DC con capacidad de 12A para un solo motor. Para sistemas a lazo cerrado posee retroalimentación mediante una señal analógica de 0V a 5V o mediante un encoder.

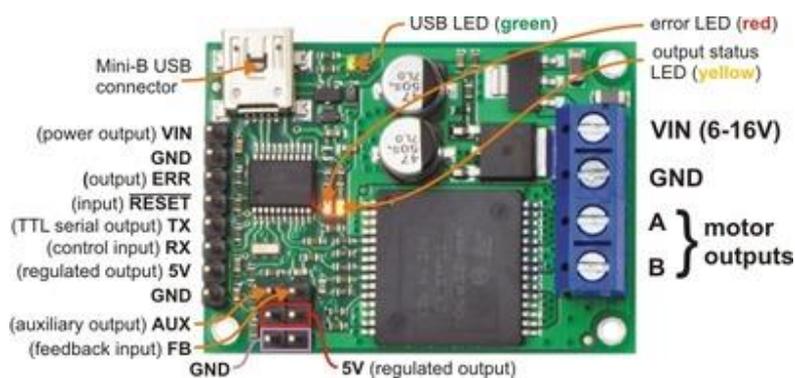
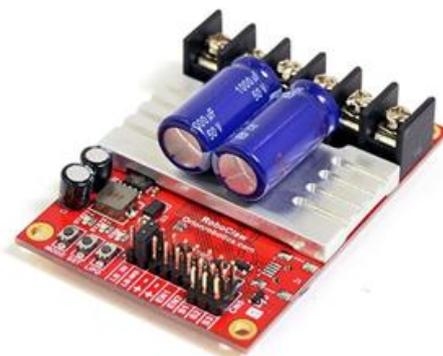


Figura 2.75: Tarjeta de control de motor DC Jrk 12V12<sup>133</sup>.

**Roboclaw 2x15A:** La Roboclaw de Orion Robotics es una tarjeta de control eficiente y versátil, de doble canal sincrónico con freno regenerativo (véase Figura 2.76). Tiene la capacidad de manejar dos motores DC con una corriente continua de 15A a tensiones de 6V a 34 V, y permite picos de corriente de hasta el doble de la potencia máxima del motor. Admite varias interfaces de comunicación como: serial TTL para usarlo con un sistema embebido o un PC con un adaptador serial, radiocontrol o mediante voltajes analógicos.

<sup>133</sup> [Controlador para motor con retroalimentación]. (s. f.). Recuperado de <http://www.pololu.com/product/1393>



**Figura 2.76: Tarjeta de control Roboclaw 2x15A<sup>134</sup>.**

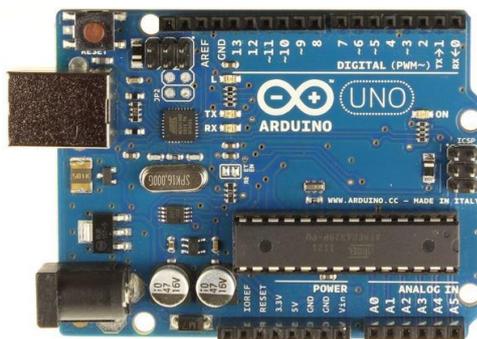
La RoboClaw incorpora una rutina PID para el control de velocidad en lazo cerrado, incluso si la carga varía. Por otro lado, permite la decodificación de señales de cuadratura entregada por encoders y la rápida lectura de pulsos y la velocidad del encoder para el uso con un sistema de control externo. Además, permite comunicación sencilla y rápida con Arduino.

En base a los datos expuestos anteriormente se determina que la tarjeta Roboclaw2x15A posee especificaciones similares a la tarjeta Jrk 12v12, con la diferencia que incluye frenado regenerativo, algoritmo PID con carga variable y permite el control de 2 motores a la vez, por lo que se selecciona la tarjeta Roboclaw 2x15A para realizar el control de los motores DC de todos los ejes y la comunicación con la tarjeta principal. Los datos de la tarjeta se detallan en el ANEXO C2.

#### **2.6.4. SELECCIÓN DE LA TARJETA PRINCIPAL.**

Según la Sección 2.6.2, la tarjeta principal es la encargada de comunicarse con los controladores de cada motor de cada uno de los ejes, monitorear la posición de la máquina S/R y detener el movimiento de la misma en caso de exceder los límites de recorrido de cualquier eje y finalmente, comunicarse con un computador para ejecutar las ordenes que se envíen desde la aplicación HMI por el usuario.

<sup>134</sup> [Controladores para motores]. (s. f.). Recuperado de [http://www.orionrobotics.com/RoboClaw-2x15A-Motor-Controller-with-USB\\_p\\_330.html](http://www.orionrobotics.com/RoboClaw-2x15A-Motor-Controller-with-USB_p_330.html)



**Figura 2.77: Arduino UNO R3<sup>135</sup>.**

Conforme a los requerimientos mencionados anteriormente y considerando las características de comunicación de las tarjetas de control seleccionadas en la Sección 2.6.3, se elige la tarjeta Arduino UNO R3 (véase Figura 2.77) como tarjeta de control principal debido a que permite una fácil comunicación tanto con los controladores de los motores, así como con el PC, además cuenta con 20 pines digitales que pueden actuar como entradas o salidas digitales, permitiendo así sustentar de manera eficaz las necesidades del sistema AS/RS. Las especificaciones de la tarjeta Arduino UNO R 3 se las detalla en el ANEXO C3.

### 2.6.5. DISEÑO DE LA APLICACIÓN HMI DEL SISTEMA AS/RS.

La aplicación HMI debe ser amigable y entendible para el usuario, además debe mantener un registro de la materia prima y el producto terminado en la estructura de almacenamiento mediante una base de datos.

La aplicación debe tener 3 modos de trabajo:

**Modo Manual:** En este modo la máquina SR es controlada por el usuario, el cual podrá localizar a la máquina SR en cualquier ubicación del espacio de trabajo mediante el control de las posiciones de los ejes X, Y, Z y B

**Modo Automático:** Este modo responde a las solicitudes de materia prima por parte del sistema FMS, si no existe materia prima detiene el proceso para que el usuario ingrese más materia prima, recoge y almacena los productos terminados enviados por el sistema FMS, supervisa que estanterías

<sup>135</sup> [Arduino Uno]. (s. f.). Recuperado de <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>.

están vacías y cuales llenas; si las estanterías están llenas muestra un mensaje para indicar que su capacidad de almacenaje está al máximo. Este modo cuenta con una matriz de posiciones, una sección contiene productos terminados que pasaron el control de calidad y otra sección contiene los que no pasaron, además se muestra la materia prima disponible por el sistema AS/RS.

**Modo de ingreso/despacho:** En este modo el usuario puede ingresar materia prima en el módulo de reconocimiento para que el sistema analice, categorice su forma y lo almacene en la sección de la estructura donde le corresponda; o el usuario puede hacer el ingreso sin reconocimiento y modificar directamente la base de datos.

En el diagrama de flujo de la Figura 2.78 se muestra el algoritmo de la aplicación HMI del sistema AS/RS.

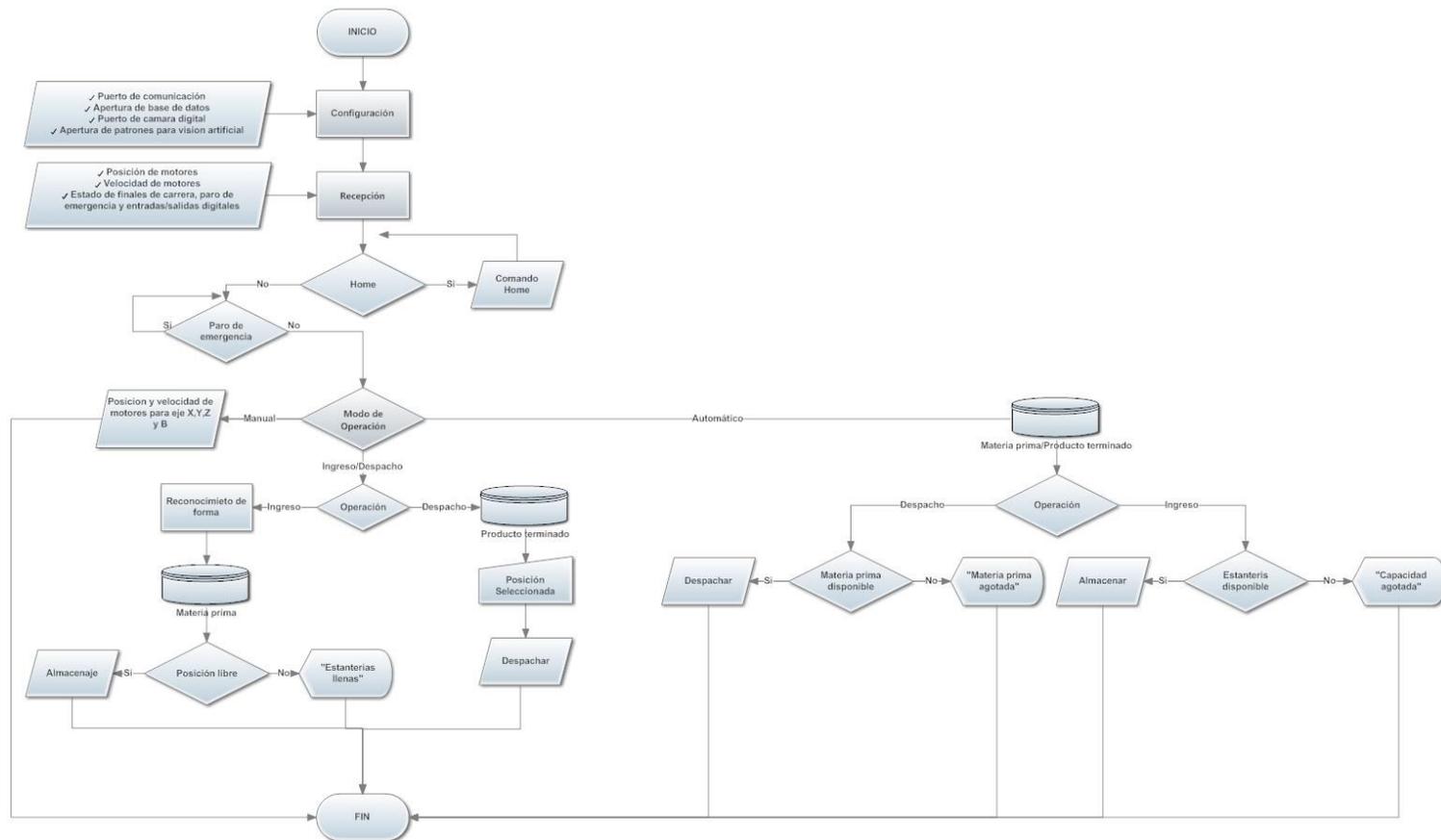


Figura 2.78: Diagrama de flujo de la aplicación HMI<sup>136</sup>.

<sup>136</sup> Fuente propia.

### **2.6.6. SELECCIÓN DEL SOFTWARE DE DISEÑO.**

Entre el software disponible para el desarrollo de aplicaciones HMI tenemos LabVIEW<sup>137</sup> de National Instruments e InTouch<sup>138</sup> de Wonderware.

LabVIEW (acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es un entorno para desarrollo de sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido. Este software se caracteriza por su lenguaje de programación gráfica, facilidad de uso, variedad de interfaces de comunicación y su naturaleza didáctica.

Por otro lado, InTouch es un software para desarrollar sistemas de control de procesos industriales en tiempo real. Sus principales características son la facilidad de uso, versatilidad, flexibilidad y compatibilidad con casi cualquier equipo electrónico tipo industrial.

Finalmente, debido a que el sistema AS/RS tiene fines didácticos y la aplicación HMI necesita un entorno amigable para el usuario se selecciona a LabVIEW como software de diseño, también, por la familiaridad de los desarrolladores con el lenguaje que maneja dicho software.

### **2.6.7. DISEÑO DEL ALGORITMO DE LA TARJETA PRINCIPAL.**

La tarjeta de principal (Arduino UNO) debe muestrear el estado de las entradas y salidas digitales, la posición y velocidad de los motores, y posteriormente enviar estos datos a la aplicación HMI, por otra parte debe recibir los cambios de posición de la máquina S/R realizados por la aplicación HMI. En la Figura 2.79 se muestra el diagrama de flujo para la tarjeta de control principal.

---

<sup>137</sup> LabVIEW. (2014). Wikipedia. Recuperado el 23 de Junio de 2014, desde <http://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>

<sup>138</sup> Wonderware InTouch 10. (2014). Lemus C. Recuperado el 23 de Junio de 2014, desde <http://es.scribd.com/doc/114652957/Wonderware-InTouch-10>

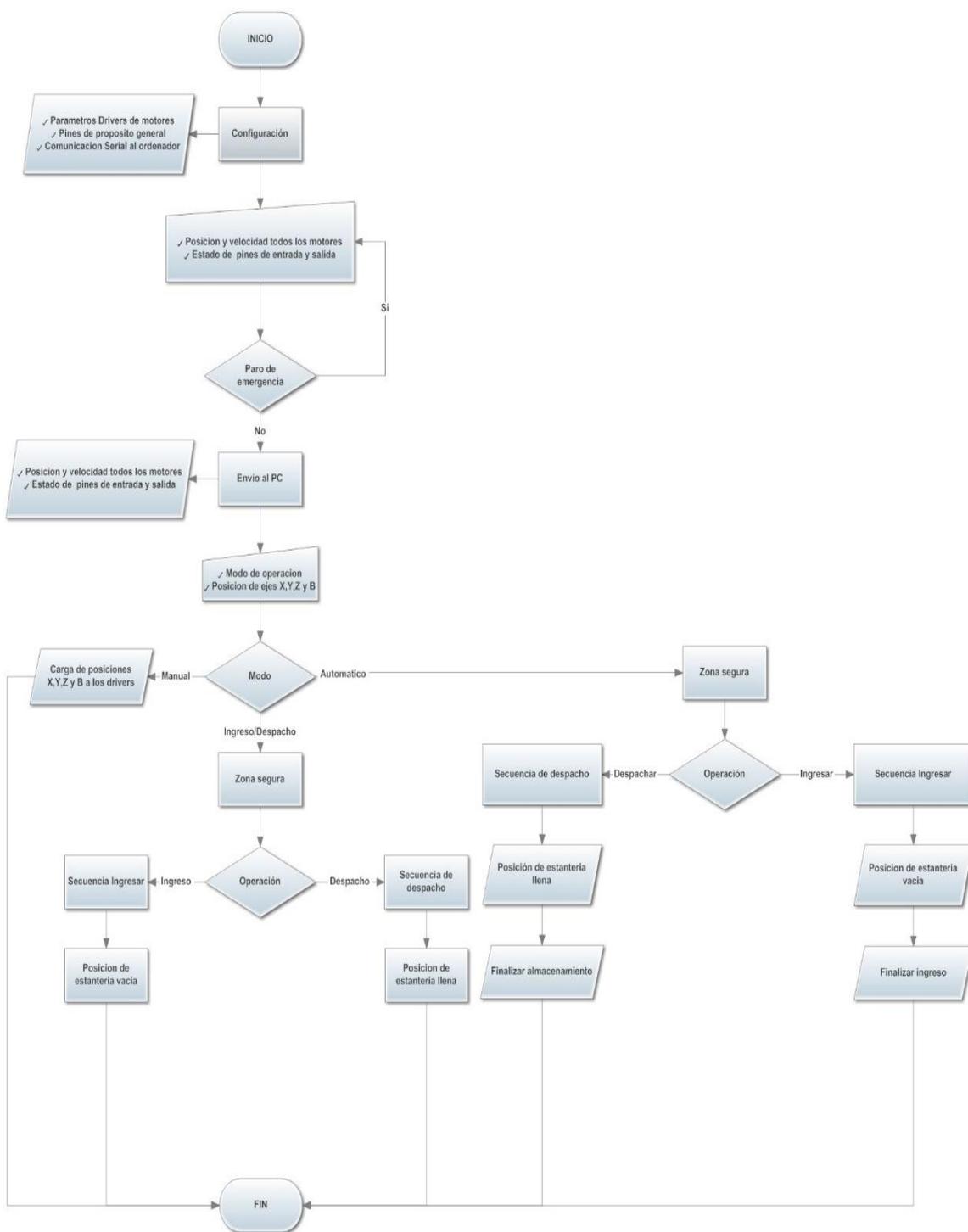


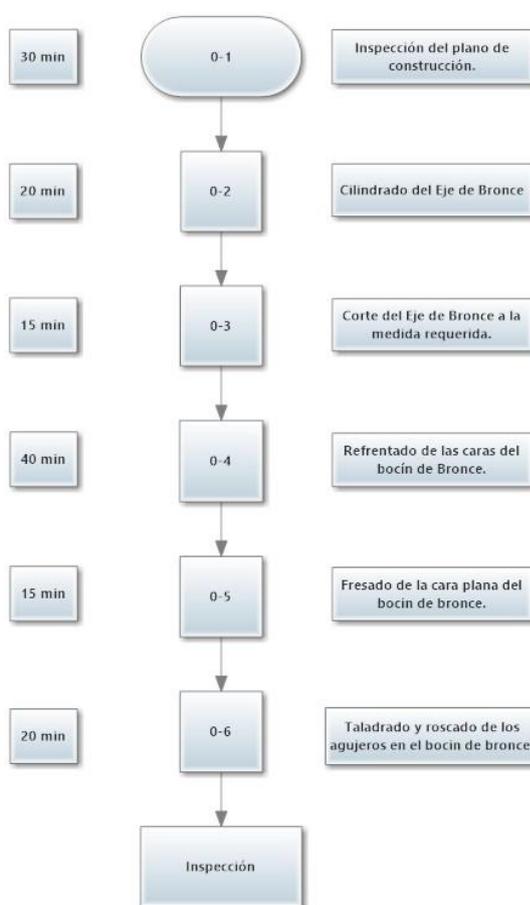
Figura 2.79: Diagrama de flujo del algoritmo en Arduino UNO<sup>139</sup>.

<sup>139</sup> Fuente propia.

## 2.7. CONSTRUCCIÓN DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS DEL SISTEMA AS/RS.

### 2.7.1. MECANIZADO DE LOS BOCINES PARA EL EJE X.

Para el mecanizado de los bocines de los ejes X, se tiene como material bruto un eje de bronce fosfórico SAE 40 de una pulgada (25,4 mm) de diámetro, el proceso de elaboración de los bocines se muestra en la Figura 2.80. Las dimensiones de este componente se detallan en el ANEXO A19.



**Figura 2.80: Proceso de mecanizado de los bocines del eje X<sup>140</sup>.**

Los parámetros de mecanizado empleados para este proceso se describen en la Tabla 2.3. El resultado de la construcción de los bocines se puede ver en el ANEXO A33.

<sup>140</sup> Fuente propia.

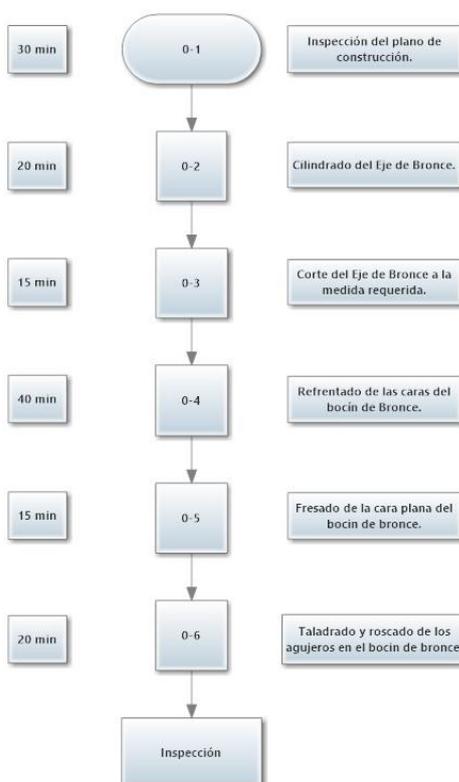
**Tabla 2.3: Parámetros de mecanizado de los bocines del eje X.**

Operación	Herramienta	N (rpm)	Vf (mm/min)	Profundidad de corte (mm)
Refrentado/Desbastado	Cuchilla HSS para refrentar	220	160	5
Acabado	Cuchilla recta HSS	600	300	0,3
Taladrado	Broca helicoidal	300	60	40

**Elaborado por:** Capilla Carlos, Pulloquina José.

**2.7.2. MECANIZADO DE LOS BOCINES PARA EL EJE Y Y Z.**

Para el mecanizado de los bocines de los ejes Y y Z, la materia prima será bronce fosfórico SAE 40 de 5/8 de pulgada (15,8 mm) de diámetro. El proceso de elaboración de los bocines del eje Y y Z se describen en la Figura 2.81, mientras que sus dimensiones se detallan en el ANEXO A12 y ANEXO A11 respectivamente.



**Figura 2.81: Proceso de mecanizado de los bocines de los ejes Y y Z<sup>141</sup>.**

<sup>141</sup> Fuente propia.

Los parámetros empleados en este proceso de mecanizado se detallan en la Tabla 2.4, mientras que los resultados de la construcción se aprecian en el ANEXO A34, ANEXO A35 respectivamente.

**Tabla 2.4: Parámetros de mecanizado de los bocines del eje Y y Z.**

Operación	Herramienta	N (rpm)	Vf (mm/min)	Profundidad de corte (mm)
Refrentado/Desbastado	Cuchilla HSS para refrentar	360	250	1.8
Acabado	Cuchilla recta HSS	600	300	0,3
Taladrado	Broca helicoidal	500	80	40

**Elaborado por:** Capilla Carlos, Pulloquina José.

### 2.7.3. MECANIZADO DE LA BASE DEL CARRO X.

Para el mecanizado del soporte del sistema del eje x, se tiene como material bruto un bloque de aluminio de 160 mm de largo, 160 mm de ancho y 50 mm de espesor. Las dimensiones de la base se muestran en el ANEXO A18, mientras que en la Tabla 2.5 se muestran los parámetros para su construcción.

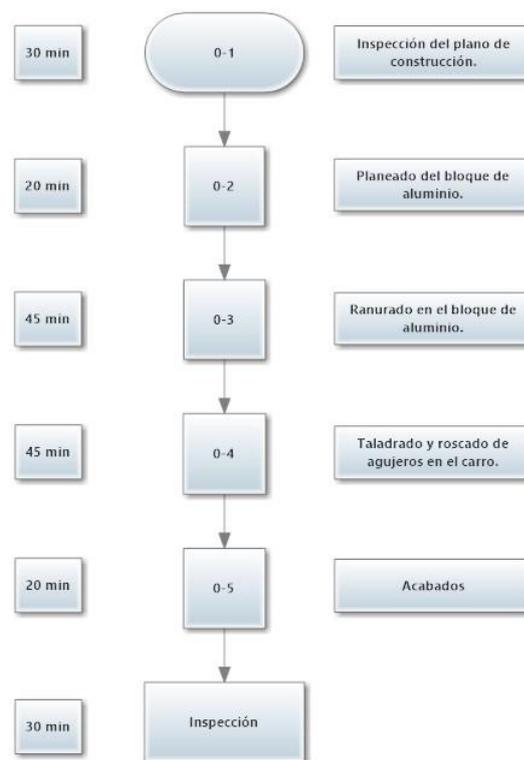
**Tabla 2.5: Parámetros de mecanizado para la base del carro X.**

Operación	Herramienta	N (rpm)	Vf (mm/min)	Profundidad de corte (mm)
Planeado/ranurado	Cuchilla HSS para refrentar	1400	600	2,5
Acabado	fresa frontal de 4 filas HSS $\varnothing 20$	1600	300	0,3
Taladrado	Broca helicoidal	500	80	40

**Elaborado por:** Capilla Carlos, Pulloquina José.

El proceso utilizado para la elaboración del carro longitudinal correspondiente al eje X se describe en la Figura 2.82.

Para el mecanizado de los demás soportes en aluminio se empleará los parámetros de la Tabla 2.5. El resultado de la construcción de la base del carro X se puede apreciar en el ANEXO A36.



**Figura 2.82: Proceso de mecanizado del carro longitudinal del Eje X<sup>142</sup>.**

#### 2.7.4. MECANIZADO DE LOS SEPARADORES DE LAS CAJAS OMEGADRIVE.

Para el mecanizado de los separadores de las cajas del sistema de movimiento, la materia prima será un eje de duralon de 1/2 pulgada (12,7 mm) de diámetro. Las dimensiones del separador están en el ANEXO A31, y los parámetros usados para el mecanizado se muestran en la Tabla 2.6.

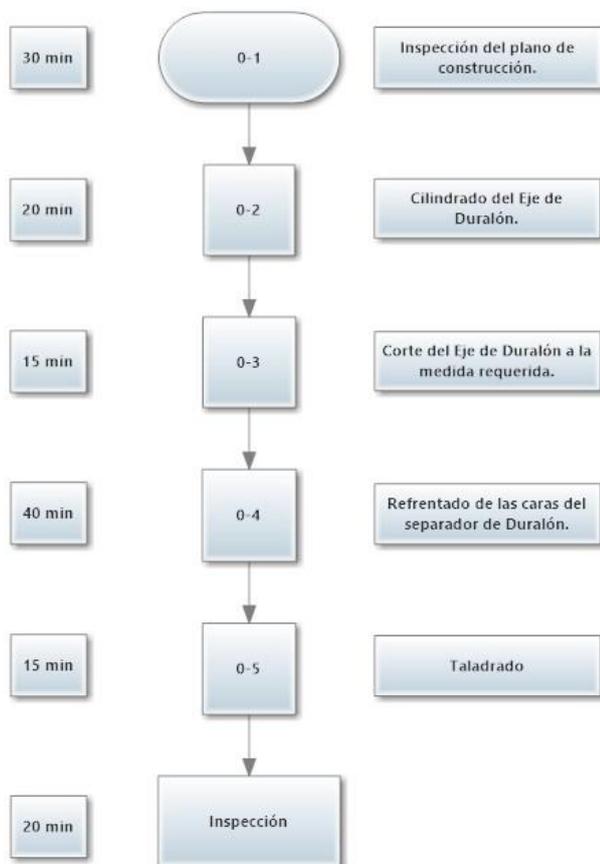
**Tabla 2.6: Parámetros de mecanizado para los separadores.**

Operación	Herramienta	N (rpm)	Vf (mm/min)	Profundidad de corte (mm)
Refrentado/Desbastado	Cuchilla HSS para refrentar	750	220	2,5
Acabado	Cuchilla recta HSS	1000	300	0,3
Taladrado	Broca helicoidal	1600	200	30

**Elaborado por:** Capilla Carlos, Pulloquina José.

<sup>142</sup> Fuente propia.

La Figura 2.83 muestra el proceso de elaboración de los separadores del sistema de transmisión omega.



**Figura 2.83: Proceso de mecanizado para los separadores<sup>143</sup>.**

Los resultados de la construcción de los separadores se pueden apreciar en el ANEXO A37; los rodillos tensores se pueden ver en el ANEXO A38.

<sup>143</sup> Fuente propia.

## CAPÍTULO III

### PRUEBAS E IMPLEMENTACIÓN

#### 3.1. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DEL PROTOTIPO EN EL SISTEMA AS/RS.



Figura 3.1: Tablero de control: exterior<sup>144</sup>.

El sistema eléctrico es el encargado de conectar todos los componentes electrónicos presentes en el prototipo, para que puedan operar conjuntamente de forma eficiente. Según el diagrama de la Figura 2.74, se implementó en el exterior del tablero de control (ver Figura 3.1) los siguientes componentes:

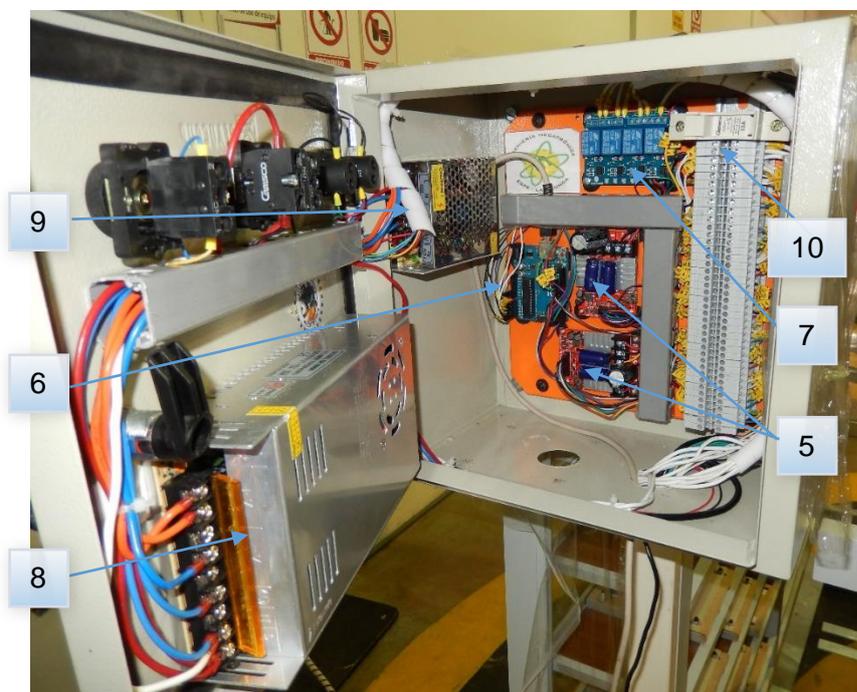
1. **Luz piloto verde:** Indica que la máquina esta lista para funcionar.
2. **Luz piloto roja:** Indica colisión o paro de emergencia activado.
3. **Selector principal:** Controla el encendido de la máquina.
4. **Paro de emergencia:** Detiene la máquina instantáneamente.

En el interior del tablero, véase Figura 3.2, se tiene:

5. **Tarjetas de control:** Controla el movimiento sobre los ejes X, Y, Z y B.
6. **Tarjeta principal:** Monitorea la posición de cada motor y actualiza la posición que deben mantener los mismos.
7. **Módulo de salidas digitales:** Señales de comunicación con los demás equipos de la celda de manufactura.
8. **Fuente 12V:** Alimentación para los motores y las tarjetas de control.
9. **Fuente 5V:** Alimentación para fines de carrera y sensores ópticos.

<sup>144</sup> Fuente propia.

### 10. Portafusible: Protección contra cortocircuitos.



**Figura 3.2: Tablero de control: interior<sup>145</sup>.**

En la Figura 3.3 se indican los motores X, Y, Z y B sobre la máquina S/R, por otro lado en el ANEXO C5 se detalla el diagrama eléctrico implementado.



**Figura 3.3: Motores de la máquina S/R<sup>146</sup>.**

<sup>145</sup> Fuente propia.

<sup>146</sup> Fuente propia.

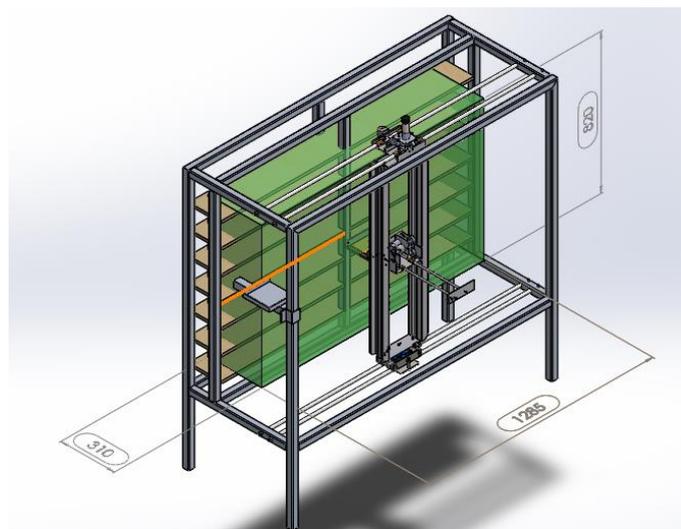
## 3.2. PRUEBAS DE LA MÁQUINA S/R.

### 3.2.1. CONDICIONES DEL ENSAYO

Las pruebas en la máquina S/R del presente proyecto, se realizó con una carga de 26,48 N y a una velocidad de 200 mm/s, especificadas en la Sección 2.2.3.

### 3.2.2. UBICACIÓN DEL CUBO EN EL ESPACIO DE TRABAJO Y SELECCIÓN DEL PLANO DE ENSAYO.

Según los recorridos de los ejes establecidos en la Sección 2.2.3, y reduciendo a cada recorrido el espacio ocupado por los fines de carrera y sensores ópticos (30mm), el cubo debe ser de 1285mm de largo x 820mm de alto x 310mm de ancho, esto se puede apreciar en la Figura 3.4.



**Figura 3.4: Cubo dentro del espacio de trabajo de la máquina S/R<sup>147</sup>.**

En función a los ejes de la máquina S/R (ver Figura 2.2), el plano para los ensayos será C<sub>4</sub>-C<sub>1</sub>-C<sub>6</sub>-C<sub>7</sub> el cual se observa en la Figura 1.23.

---

<sup>147</sup> Fuente propia.

### 3.2.3. POSICIONES A COMPROBAR.

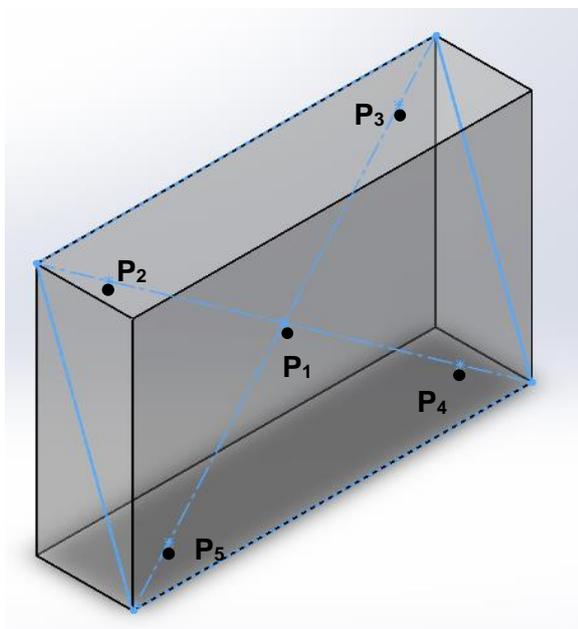
Basado en la Sección 1.15.4 y conforme al cubo especificado en la Figura 3.4 las posiciones a comprobar se especifican en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1: Posiciones utilizadas para las características de posicionamiento.**

Punto	Coordenadas			
	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	B(°)
P <sub>1</sub>	642,5	410	83	90
P <sub>2</sub>	155,5	720,7	272,4	180
P <sub>3</sub>	1156,5	738	279	0
P <sub>4</sub>	1129,4	99,2	37,5	0
P <sub>5</sub>	128,5	82	31	180

**Elaborado por:** Capilla Carlos, Pulloquina José.

En la Figura 3.5 se muestra cada uno de las posiciones de ensayo sobre el rectángulo de ensayo.

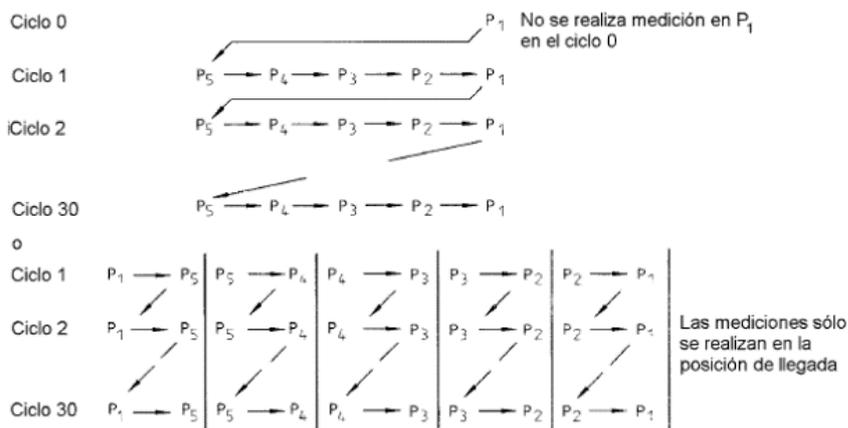


**Figura 3.5: Plano y puntos para el ensayo<sup>148</sup>.**

<sup>148</sup> Fuente propia.

### 3.2.4. CICLOS DEL ENSAYO.

De acuerdo a Pardo (2010), el robot inicia el ciclo de ensayo por P1 y se mueve sucesivamente a las posiciones P5, P4, P3, P2, P1. Cada una de estas posiciones debe visitarse con una aproximación unidireccional como se muestra en cada ciclo de la Figura 3.6.



**Figura 3.6: Ilustración de ciclos posibles.**

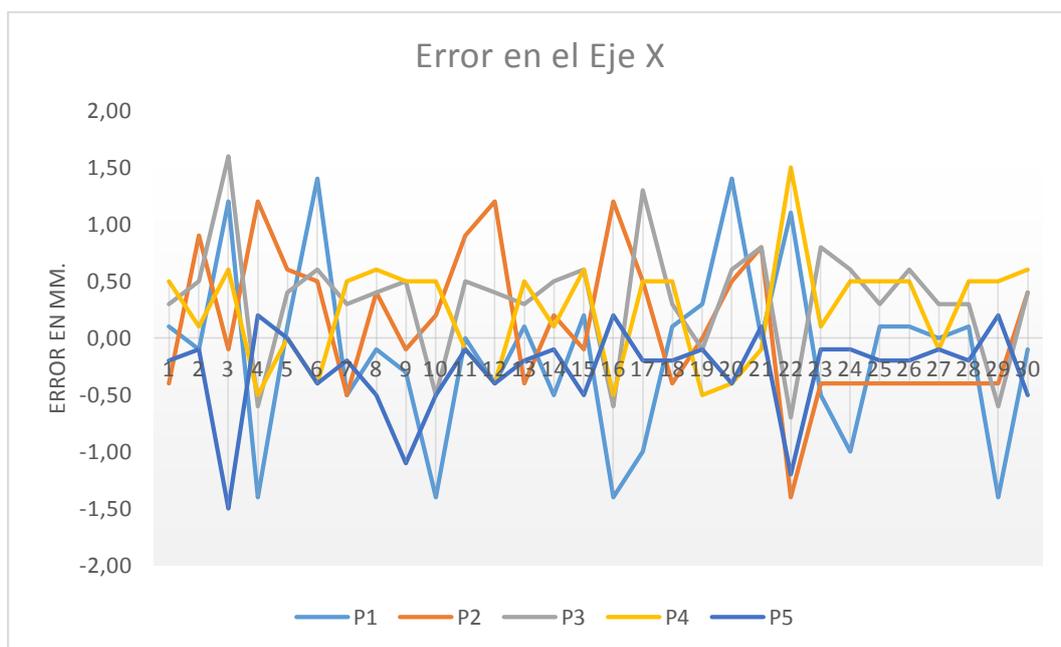
### 3.2.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### a. Precisión y repetibilidad de posicionamiento.

De los datos obtenidos de la máquina S/R en un ciclo de 30 repeticiones establecido en la norma ISO 9283, se pudo observar el error obtenido en cada uno de los puntos programados, presentados en la Tabla 3.1.

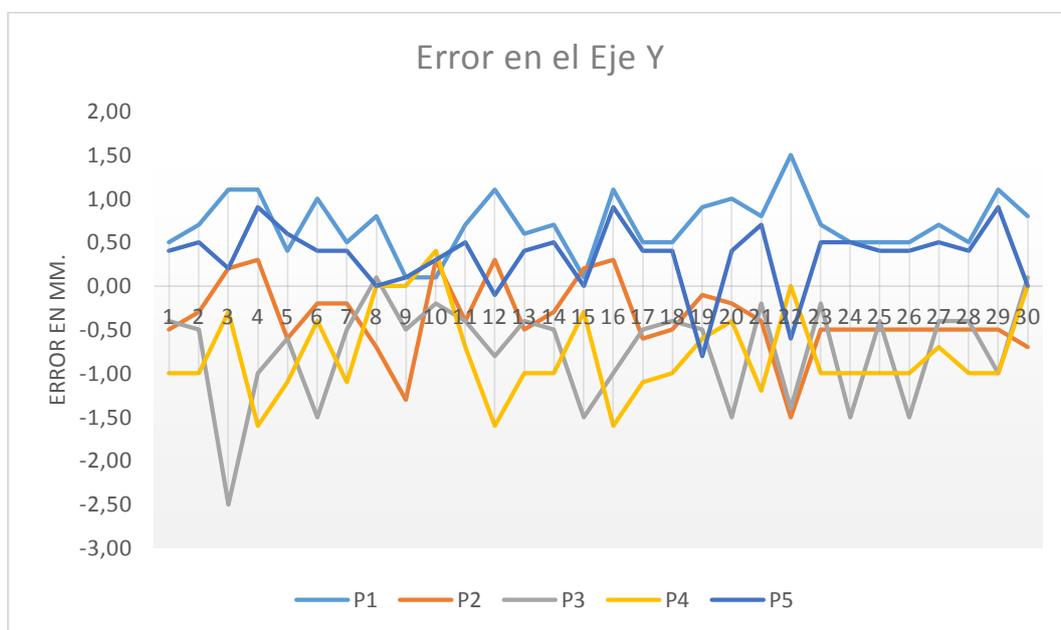
Para el análisis se utilizó la dispersión como herramienta para mostrar en forma gráfica los valores representados, en este caso el error en posicionamiento de la máquina S/R en cada uno de sus ejes coordenados en los puntos programados.

En la Figura 3.7 se exhibe el comportamiento del error en el eje x; tomando en cuenta la baja frecuencia de los valores de 1,60 y -1,50 se descartan del análisis. El error en el eje X está comprendido entre -1,40 mm y 1,50 mm.



**Figura 3.7: Resultados del error de precisión en el Eje X<sup>149</sup>.**

En la Figura 3.8 se muestra el comportamiento del error en el eje y; debido a la escasa repetición de los datos de -2,50 y 1,50 se los excluyen para el análisis. El error en el eje Y está limitado entre -1,60 mm y 1,10 mm.

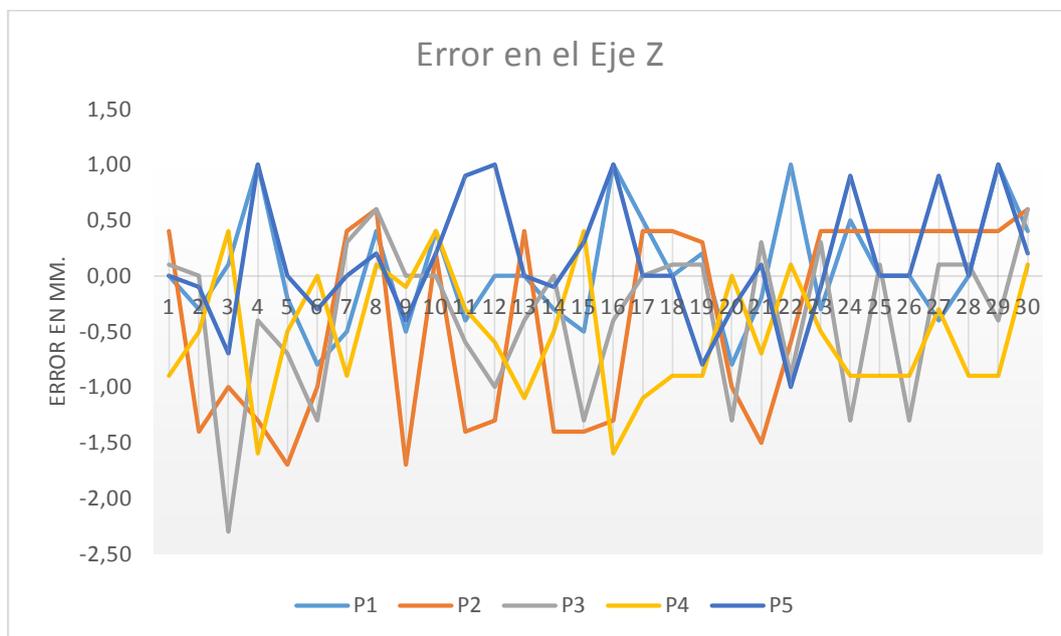


**Figura 3.8: Resultados del error de precisión en el Eje Y<sup>150</sup>.**

<sup>149</sup> Fuente propia.

<sup>150</sup> Fuente propia.

En la Figura 3.9 se exhibe el comportamiento del error en el eje z; considerando la poca frecuencia en el error de -2,40 son obviados del análisis. Los límites de error en el eje Z están entre -1,60 mm y 1,00 mm.



**Figura 3.9: Resultados de error en el Eje Z<sup>151</sup>.**

Según los datos obtenidos y aplicando las ecuaciones vistas en la Sección 1.15.6.a y 1.15.6.b, se determina los resultados de exactitud y repetibilidad en posicionamiento y orientación de la máquina S/R.

La Tabla 3.2 presenta los resultados, en formato especificado por norma ISO 9283, de exactitud en posicionamiento para cada punto de ensayo. Los resultados de cada punto se expresan en función de la desviación promedio que tiene en cada eje de coordenadas. La repetibilidad se expresa en promedio a cada uno de los puntos evaluados.

<sup>151</sup> Fuente propia.

**Tabla 3.2: Resultados de exactitud y repetibilidad de posicionamiento.**

Posicionamiento (mm)					
Posición	Precisión				Repetibilidad
	APx	APy	APz	App	
P1	-0,1267	0,7033	0,0433	0,7160	2,4558
P2	0,1100	-0,3633	-0,3833	0,5395	2,0054
P3	0,3367	-0,7333	-0,3633	0,8849	2,4121
P4	0,2400	-0,7767	-0,5333	0,9722	1,9889
P5	-0,2867	0,3367	0,1300	0,4609	1,9899
			<b>Promedio</b>	0,7147	2,1704

**Elaborado por:** Capilla Carlos, Pulloquina José.

Los datos de precisión de cada punto en los tres ejes coordenados, establecieron un valor promedio de 0,7147 mm, tomando en cuenta que se trata de un prototipo desarrollado y construido con componentes nacionales, se determina una precisión aceptable frente al valor de 0,5 mm del AS-RS-36u desarrollado por la empresa Intelitek. Por otro lado los resultados de repetibilidad establecieron un valor de 2,1704 mm, debido al gran recorrido del eje X y por la carga suspendida que debe mantener el eje Y, provocando un distanciamiento del valor 0,5 mm en repetibilidad del AS-RS-36u de Intelitek.

**Tabla 3.3: Resultados de orientación.**

Orientación (°)		
Posición	Precisión	Repetibilidad
	Apb	RPb
P1	0,0833	1,2258
P2	-0,0133	1,6983
P3	-0,3133	1,4131
P4	-0,1033	0,6277
P5	0,2033	0,8502

**Elaborado por:** Capilla Carlos, Pulloquina José.

En la Tabla 3.3 detallan los valores de precisión y repetibilidad en orientación para el eje B, cuyos límites están entre -0,3133° y 0,2033°.

En orientación el eje B se desempeña con una repetibilidad promedio de  $1,0336^\circ$ , basado el desplazamiento de la banda sincrónica del eje B al estar conectado directamente al motor, se justifica el valor lejano a  $0,5^\circ$  del AS/RS-36u de Intelitek.

En la Tabla 3.4 se resumen las características técnicas del prototipo de sistema AS/RS obtenidas luego de realizadas las pruebas.

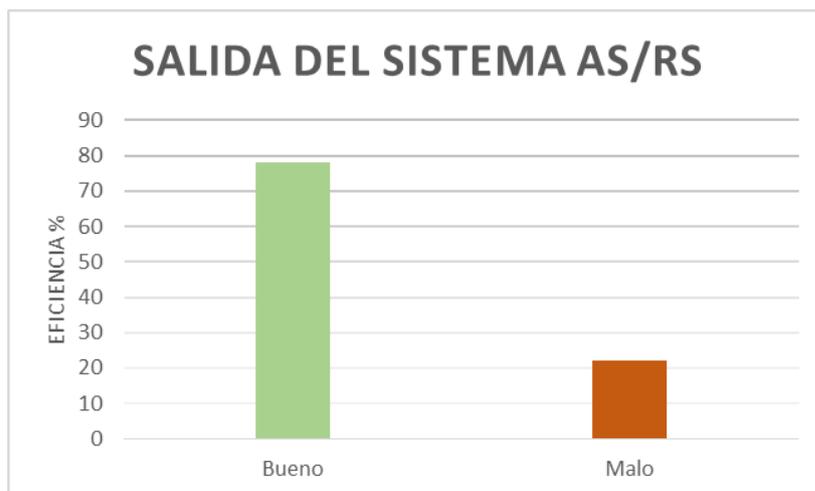
**Tabla 3.4: Características técnicas del prototipo.**

Posicionamiento	
Precisión	0,7147 mm
Repetibilidad	2,1704 mm
Orientación	
Precisión	$-0,3133^\circ$ a $+0,2033^\circ$
Repetibilidad	$1,0336^\circ$

Elaborado por: Capilla Carlos, Pulloquina José.

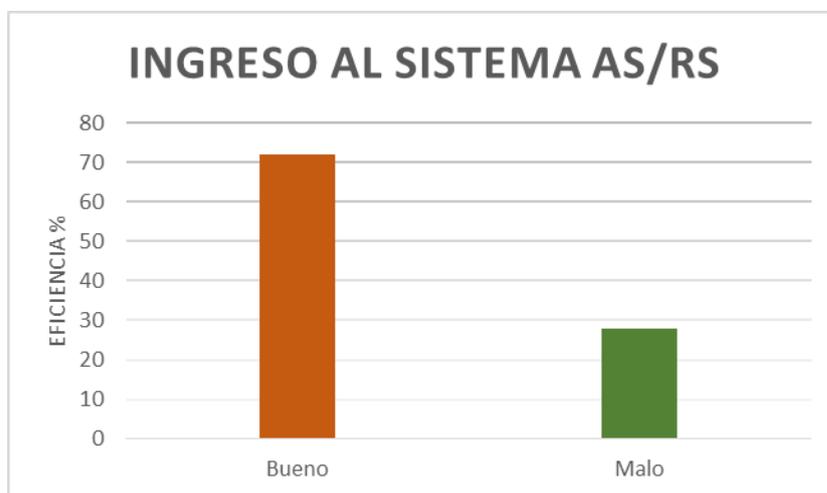
#### **b. Eficiencia del Sistema AS/RS.**

La eficiencia del sistema AS/RS, permite determinar el grado de confiabilidad en el manejo automatizado de las unidades de almacenamiento durante el ingreso y la recepción hacia o desde la celda de manufactura flexible. La Figura 3.10 presenta el resultado del análisis de una muestra mensual de producción equivalente a 50 despachos del sistema AS/RS, para establecer el grado de eficiencia en el ingreso de la materia prima hacia la celda de manufactura flexible.



**Figura 3.10: Eficiencia a la salida del sistema AS/RS.**

Los datos presentados anteriormente indican una eficiencia del 78% en la entrega de materia prima, sin embargo existen ciertos factores como pérdidas producidas por el rozamiento entre elementos mecánicos y carga inductiva procedente de los motores, mismo que afectan el posicionamiento correcto de la máquina S/R dentro de la estación de almacenamiento, provocando una recuperación fallida (22%) de la unidad de carga.



**Figura 3.11: Eficiencia al ingreso al Sistema AS/RS.**

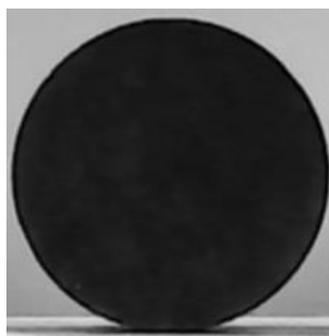
La Figura 3.11 presenta el resultado del análisis de 50 ingresos desde la celda de manufactura flexible hacia el sistema AS/RS, para determinar el grado de eficiencia en el ingreso del producto terminado hacia la estructura de almacenamiento.

Los datos presentados anteriormente indican una eficiencia del 72% en la almacenamiento de producto terminado, sin embargo el 28% de fallo se debe a factores como la pérdida de precisión en la posición durante la circulación de los módulos de almacenamiento a través de las cintas transportadoras instaladas en la celda y la mala fijación de la materia prima en el sistema de sujeción de la estación de mecanizado.

### **3.3. IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO DE CONTROL PARA EL RECONOCIMIENTO DE MATERIA PRIMA.**

El algoritmo de control implementado en el sistema AS/RS, se basa en reconocimiento de patrones, conseguido a través de la herramienta IMAQ de LabVIEW, misma que permite reconocer patrones correctamente ante diversos factores (ej. rotación, escalamiento, oclusión, número de ejemplares, etc.), satisfaciendo los requerimientos para el reconocimiento de perfiles de materia prima en el prototipo.

La primera etapa del control consiste en definir los patrones a reconocer, adquirida por la cámara instalada en el sistema. Uno de estos patrones se puede apreciar en la Figura 3.12.

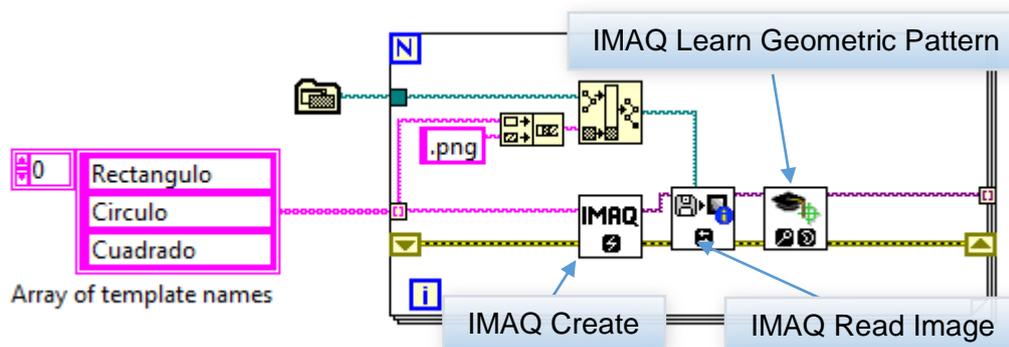


**Figura 3.12: Patrón para el reconocimiento en el sistema AS/RS.**

Los patrones a reconocer en el sistema son perfiles comunes de materia prima (ej. rectangular, circular), debido a las condiciones necesarias en la imagen para un procesamiento satisfactorio, se requiere un material con propiedades de luminosidad y reflectividad idóneas, en este caso se seleccionó madera.

La siguiente etapa del reconocimiento consiste en la carga de los patrones en la aplicación, a través de las herramientas de LabVIEW detalladas a continuación.

En la Figura 3.13 se puede observar el algoritmo de carga de patrones en la aplicación.

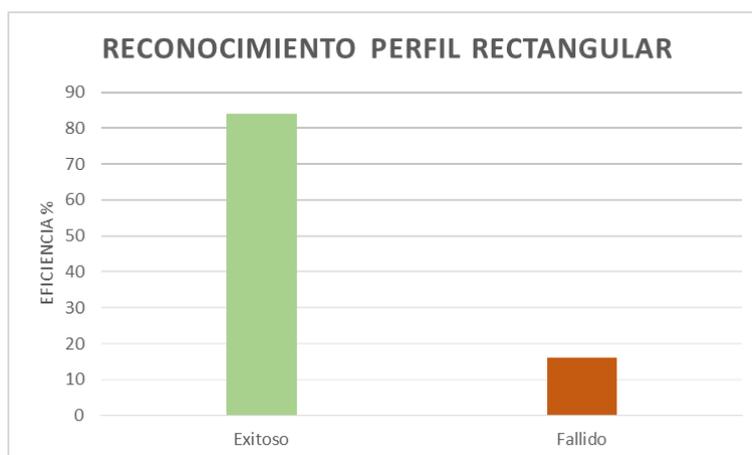


**Figura 3.13: Carga de patrones a la aplicación en LabVIEW.**

La función IMAQ Create, se encarga de crear un espacio de memoria temporal para almacenar una imagen, en este caso, las imágenes a almacenar son los patrones a reconocer. La función IMAQ Read Image And Vision Info, permiten leer un archivo de imagen incluyendo información extra. Por otra parte la función IMAQ Learn Geometric Pattern, crea una descripción de la imagen de la plantilla, que desea buscar durante la fase de adaptación en función de patrón geométrico coincidente.

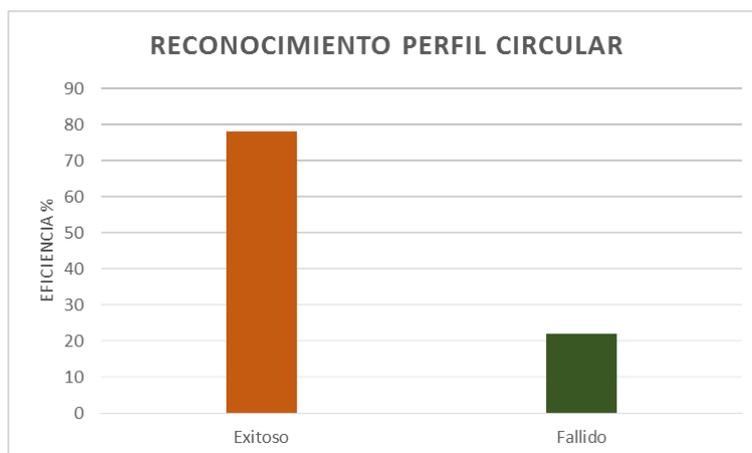
Con los patrones correctamente cargados, se procede con la etapa de adquisición de imagen (ver Figura 3.14). Esta etapa se desarrolló en base a herramientas del software National Instruments, las cuales permiten realizar una correcta adquisición del área necesaria para su posterior reconocimiento. Para esto se realizó ciertas variaciones con respecto a la imagen original como la orientación, la sección de la imagen adquirida, y la utilización de filtros para facilitar el reconocimiento de los perfiles.





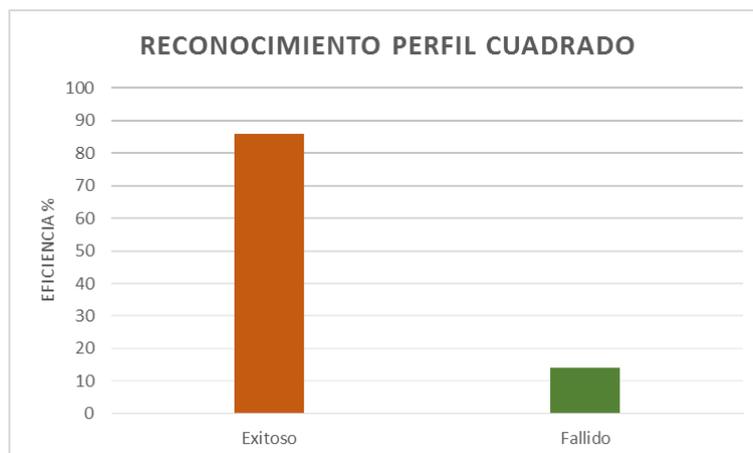
**Figura 3.16: Eficiencia en el reconocimiento de perfiles rectangulares**

La Figura 3.16 muestra una eficiencia del 84% en el reconocimiento de perfiles rectangulares, sin embargo la luz ambiental, la calidad del perfil, la orientación de la cámara y la posición del módulo de reconocimiento, son factores que producen el 16% de perfiles no reconocidos.



**Figura 3.17: Eficiencia al ingreso al Sistema AS/RS.**

La Figura 3.17 presenta el resultado del reconocimiento de perfiles circulares, con una eficiencia del 78%, el fallo del 22% se debe a los factores como la calidad del patrón de reconocimiento, complejidad de la forma, iluminación y resolución de la cámara.



**Figura 3.18: Eficiencia al ingreso al Sistema AS/RS.**

La Figura 3.18 presenta el resultado del reconocimiento de perfiles cuadrados, con una alta eficiencia del 86%, el error del 14% se debe a los factores de luminosidad, calidad del perfil y ubicación del módulo de reconocimiento.

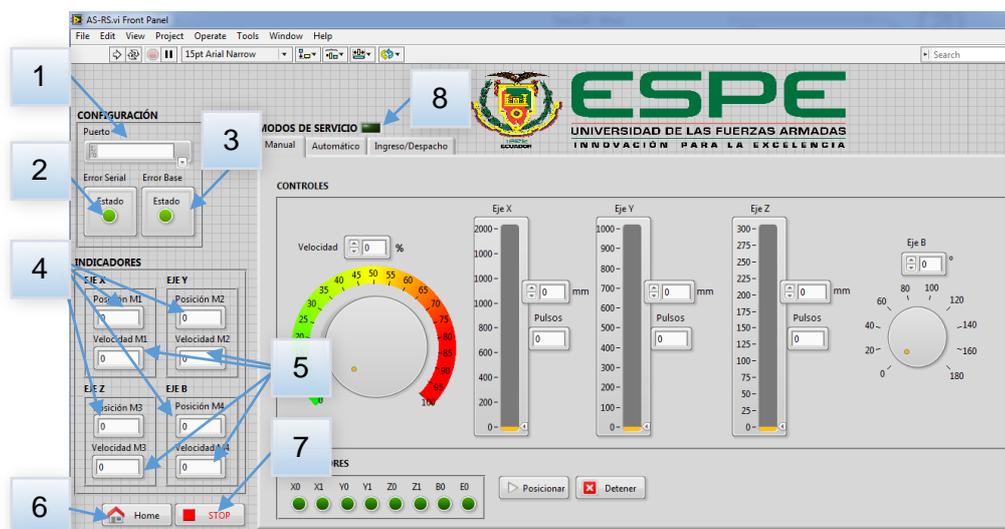
Una vez analizados los resultados anteriores se determina que el prototipo tiene una eficiencia del 78% en reconocimiento de perfiles, ya que es el correspondiente a los perfiles circulares donde mayor error se produce. Por otro lado, debido a que el ingreso de materia prima por este método requiere mayor tiempo que el ingreso de forma manual, se establece una baja utilidad en este método de ingreso para esta aplicación en concreto.

### 3.5. IMPLEMENTACIÓN DE LA APLICACIÓN HMI.

La interfaz HMI del sistema AS/RS, permite al usuario supervisar y administrar los recursos a través de un diseño estructurado e intuitivo, La Figura 3.19 muestra los componentes generales de la aplicación como:

1. **Puerto serial:** Asigna un puerto serial de comunicación.
2. **Estado Serial:** Exhibe error en la configuración del puerto serial asignado.
3. **Estado Base:** Indica fallo en la conexión con la base de datos.
4. **Posición actual:** Muestra el número de pulsos contados por los encoders de cada motor de la máquina de S/R.
5. **Velocidad actual:** Muestra la velocidad de cada motor en RPM.

6. **Botón Home:** Lleva a la máquina de S/R a su posición inicial y reinicia los indicadores de posición.
7. **Botón de paro general:** Detiene la aplicación HMI, posterior al cierre del puerto de comunicación y finalización en las acciones de escritura/lectura sobre la base de datos.
8. **Modo de servicio:** Indica cuando se encuentra preparada la interface de cada modo.

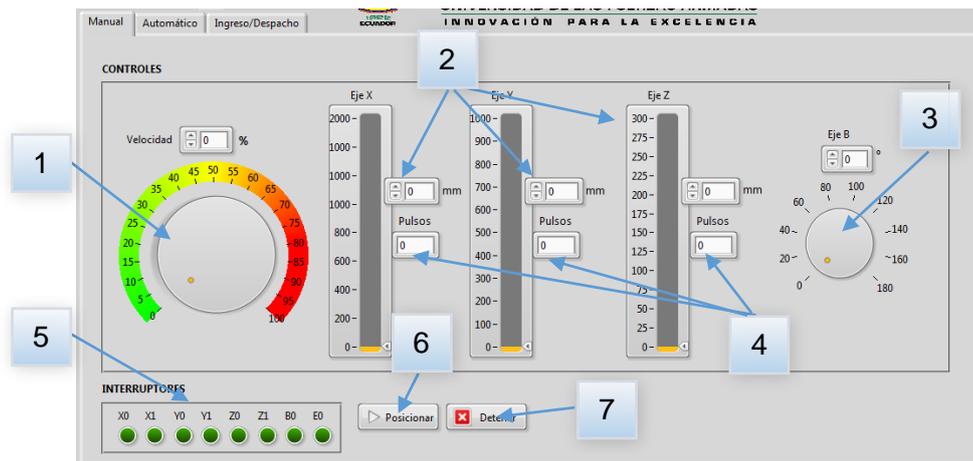


**Figura 3.19: Aplicación HMI implementada.**

La aplicación HMI está constituido por tres modos. El modo manual (ver Figura 3.20), permite al usuario manipular la máquina S/R sin ningún grado de automatismo, los principales elementos implementados en este modo son:

1. **Regulador de velocidad:** Elije la velocidad en porcentaje de todos los motores desde 30% hasta 100%.
2. **Sliders de posición:** Controla las coordenadas X, Y y Z en milímetros, a las cuales se desea posicionar la máquina S/R.
3. **Selector de Angulo B:** Selecciona el ángulo del eje rotacional B en la máquina S/R, comprendida por los valores 0°, 90° y 180°.
4. **Indicador de pulsos:** Indica las coordenadas fijadas en pulsos de encoder.
5. **Interruptores:** Muestra el estado de los sensores ópticos ( $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$ ,  $B_0$ ), finales de carrera ( $X_1$ ,  $Y_1$ ,  $Z_1$ ) y paro de emergencia ( $E_0$ ).

6. **Botón posicionar:** Desplaza la máquina S/R a las nuevas coordenadas.
7. **Botón detener:** Detiene el desplazamiento de la máquina S/R, se utiliza como medida de seguridad en caso de que el usuario detecte algún inconveniente con la nueva posición.



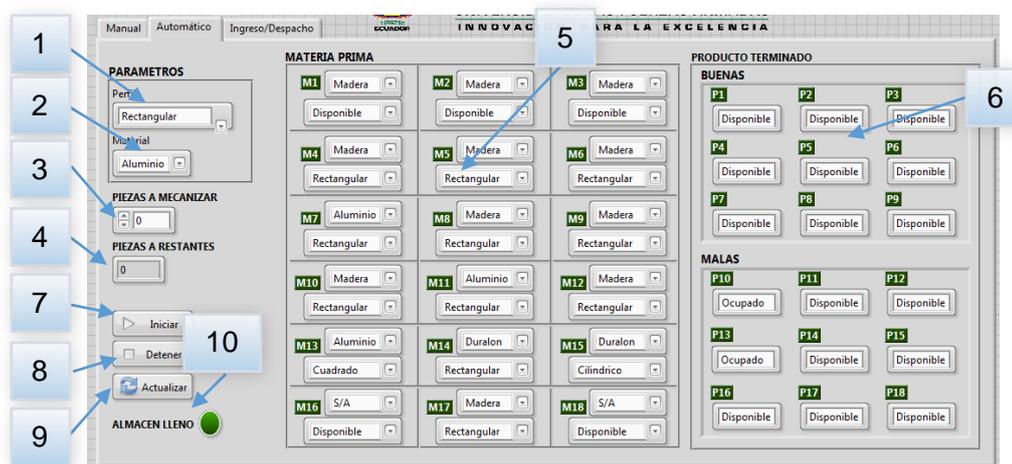
**Figura 3.20: Aplicación HMI, modo manual.**

El modo automático (Figura 3.21) permite al usuario ejecutar un proceso de manufactura flexible, las principales partes de este modo son:

1. **Perfil de despacho:** Selecciona entre perfiles rectangulares, circulares y cuadrados disponibles dentro de la estructura de almacenamiento.
2. **Material de despacho:** Elige el material correspondiente a la materia prima a despachar, se tiene al aluminio, drilon, duralon, madera, otros y S/A (sin asignar) como opciones de material.
3. **Piezas a mecanizar:** Fija el número de pedazos de materia prima que se van a ingresar en la celda de manufactura para el posterior mecanizado.
4. **Piezas restantes:** Indica el número de pedazos de materia prima que el sistema aun no ingresa a la celda de manufactura.
5. **Estado de materia prima:** Muestra y modifica la materia prima, con su tipo de perfil y material, disponible en la estructura de almacenamiento.
6. **Estado de producto terminado:** Exhibe el estado de las estanterías de producto terminado, puede ser ocupado o disponible. Las primeras

9 posiciones se destinan a producto bueno mientras que las restantes al producto malo.

7. **Botón iniciar:** Inicia el proceso de despacho de materia prima.
8. **Botón Detener:** Detiene el proceso de despacho de materia prima mas no el almacenamiento de producto terminado, este último se mantiene activo mientras se encuentre en el modo automático.
9. **Botón Actualizar:** Permite actualizar el estado de materia prima en la estructura de almacenamiento luego de un ingreso manual, o después de una corrección en el estado de materia prima.
10. **Almacén lleno:** Señala que la sección de producto terminado ya sea bueno o malo no posee posiciones disponibles para almacenamiento.

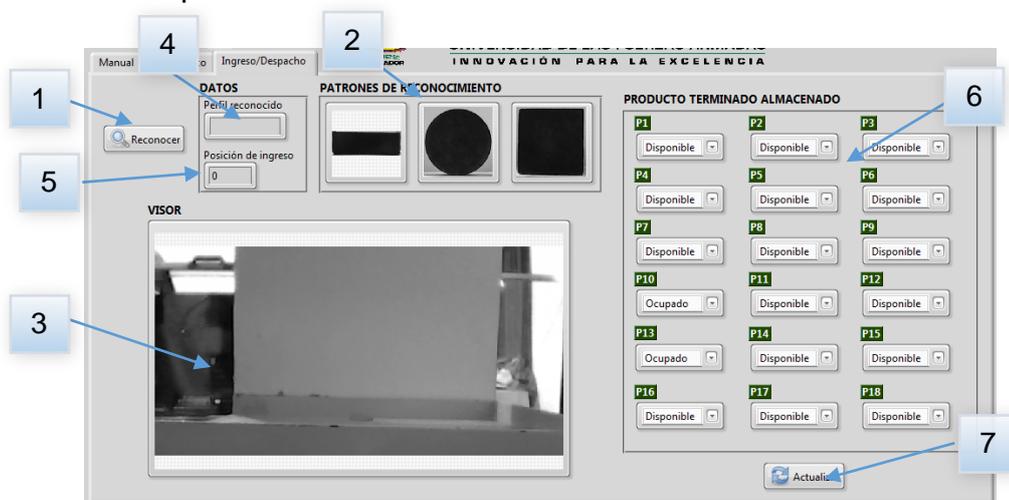


**Figura 3.21: Aplicación HMI, modo automático.**

El modo de ingreso de materia y despacho de producto terminado, veasé Figura 3.22, permite al usuario ingresar materia prima para una posterior clasificación mediante procesamiento de imagen, y la actualización del estado del producto terminado en una posición definida por el usuario. Los principales componentes implementados en este modo son:

1. **Botón reconocer:** Inicia el procesamiento digital de imagen para determinar el tipo de materia prima colocado.
2. **Patrones de reconocimiento:** Presenta los patrones de búsqueda con los que se realiza el procesamiento digital de materia prima.
3. **Visor:** Indica la materia prima colocada para su reconocimiento.

4. **Perfil reconocido:** Indica si el perfil reconocido es de tipo rectangular, cilíndrico o cuadrado.
5. **Posición de ingreso:** Señala la posición donde se almacenará el perfil de materia prima reconocida.
6. **Estado de producto terminado:** Muestra/ modifica el estado de las estanterías destinadas para almacenamiento de producto terminado.
7. **Botón Actualizar:** Permite actualizar el estado de producto terminado en la estructura de almacenamiento, para luego proceder con el retiro de las piezas almacenadas.



**Figura 3.22: Aplicación HMI, modo ingreso despacho.**

### 3.6. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO.

Una vez implementado el sistema automatizado de almacenamiento y recuperación en el sistema flexible de manufactura, se requiere de un análisis técnico – económico para valorar su funcionalidad.

En la Tabla 3.5, se detallan los elementos utilizados con sus respectivos costos para la construcción del sistema.

**Tabla 3.5: N6mina de elementos utilizados en proyecto.**

<b>Item</b>	<b>Descripci3n</b>	<b>Cant.</b>	<b>P. Unit. \$</b>	<b>P.Total \$</b>
1	Ejes de transmisi3n de 3/4"	4	20,00	80,00
2	Ejes de transmisi3n de 1/2"	4	18,00	72,00
3	L3mina de aluminio 6061 T6, espesor 5mm.	1	60,00	60,00
4	L3mina de aluminio 6061 T6, espesor 8mm.	1	80,00	80,00
5	Ejes de bronce fosf3rico SAE 40 de 1".	1	60,00	60,00
6	Ejes de bronce fosf3rico SAE 40 de 3/4".	1	40,00	40,00
7	Eje de duralon de 2".	1	100,00	100,00
8	Tubo cuadrado de aluminio de 1 1/2".	4	25,00	100,00
9	Perfiles de aluminio de 1/2" x 1".	4	20,00	80,00
10	Perfil de aluminio de 1/2" x 1/2".	4	25,00	100,00
11	Poleas sincr3nicas T5.	4	50,00	200,00
12	Banda sincr3nica T5.	1	140,00	140,00
11	Pernos y otros.	1	100,00	100,00
12	Placa Electr3nica Arduino Uno R3.	1	40,00	40,00
10	Tarjeta de Rel3s 5 Vdc.	1	30,00	40,00
11	Controladores para motores DC con retroalimentaci3n RoboCLAW de 15 A.	2	200,00	400,00
12	Motores DC con enconder de 8400 ppr.	3	80,00	240,00
13	Motor DC con enconder de 700 ppr.	1	100,00	100,00
14	Fuente electr3nica de 12V a 30 A.	1	80,00	80,00
15	Fuente electr3nica de 5V a 5 A.	1	50,00	50,00
16	C3mara digital.	1	20,00	20,00
17	Sensores 3pticos.	4	15,00	60,00
18	Resistencias.	10	0,10	1,00

Continua 

19	Capacitores Electrolíticos 2200uF a 25V.	2	0,50	1,00
20	Luces piloto.	2	3,00	6,00
21	Selectores.	2	10,00	20,00
22	Rollo cable flexible AWG 24	10	20,00	200,00
23	Porta fusibles para riel DIN.	1	10,00	10,00
24	Paquete terminales Crimp.	1	40,00	40,00
25	Paquete terminales espiga AWG 20.	1	20,00	20,00
26	Riel DIN.	1	10,00	10,00
27	Borneras para riel DIN.	40	1,00	40,00
28	Canaleta ranurada.	1	15,00	15,00
29	Canaleta.	1	10,00	10,00
30	Tablero Eléctrico.	1	40,00	40,00
31	Otros.	1	200,00	200,00
<b>SUMATORIA</b>				<b>2855,00</b>

Por otra parte en la Tabla 3.6 se detalla la mano de obra empleada durante la realización del presente proyecto.

**Tabla 3.6: Costo de mano de obra.**

Item	Descripción	Salario	Tiempo (Meses)	P.Total \$
1	Ingeniero en mecánica	380,00	10	3800,00
2	Ingeniero en mecánica	380,00	10	3800,00
<b>SUMATORIA</b>				<b>7600,00</b>

**Elaborado por: Capilla Carlos, Pulloquina José.**

La inversión total del proyecto es de 10.455 USD; un sistema automatizado de almacenamiento y recuperación de marca Intelitek se encuentra avaluado a un costo de 50.000 USD, con lo que se obtuvo un costo beneficio de 39.545 USD.

Las características y la amplia aplicabilidad del sistema AS/RS, permitirá realizar proyectos técnicos en la celda de manufactura flexible complementada con el mismo. Además permitirá capacitar a alumnos de

ingeniería en la universidad de las fuerzas armadas en el campo de sistemas flexibles de manufactura.

### **3.7. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS.**

La hipótesis planteada para el proyecto es:

¿La implementación del prototipo de sistema automatizado almacenamiento/recuperación (AS/RS) mediante procesamiento digital de imágenes, complementará el equipo tecnológico del sistema flexible de manufactura del laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga?

En base a los resultados (Sección 3.2.5.b) del 78% de eficiencia en la recuperación de materia prima y al 72% en almacenamiento de producto terminado, se comprueba que el prototipo de sistema automatizado de almacenamiento y recuperación, complementa el funcionamiento conjunto de las estaciones de trabajo del sistema flexible de manufactura, alcanzado un nivel de eficiencia aceptable.

### **3.8. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.**

El manual de operación del prototipo de sistema automatizado de almacenamiento/ recuperación (AS/RS) se detalla en el ANEXO D.

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1. CONCLUSIONES.**

- Se diseñó y construyó de manera exitosa un prototipo de sistema automatizado de almacenamiento/recuperación (AS/RS), cuya máquina S/R es un robot cartesiano de 4 ejes para el manejo de materia prima y producto terminado, controlada por un microcontrolador Atmega328 desde una aplicación HMI en Labview, dicho prototipo está implementado en el laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPEL para intervenir en sistemas flexibles de manufactura.
- La información técnica sobre sistemas AS/RS adquirida, permitió solventar la necesidad de requerimientos y bases sólidas para el diseño y construcción del prototipo, consiguiendo de esta manera desarrollar un proyecto con calidad cumpliendo las funciones y capacidades de los sistemas existentes en el mercado.
- Los parámetros de diseño establecidos, permitieron desarrollar el prototipo de manera idónea, cumpliendo los requerimientos y expectativas, alcanzando de esta manera un sistema de automatizado de almacenamiento y recuperación con alta eficiencia.
- El diseño mecánico y electrónico, se realizó de manera secuencial, debido a los requerimientos que fueron previamente establecidos, sin embargo se realizaron ciertos ajustes durante el desarrollo en los parámetros para alcanzar un funcionamiento en toda su capacidad del sistema.
- Los materiales para la construcción del prototipo fueron seleccionados exitosamente en base a parámetros mecánicos, como resistencia a la fluencia, resistencia a la corrosión, durabilidad, peso y buena apariencia, establecidos durante el diseño.

- La construcción del sistema mecánico y electrónico, se desarrolló basado en el diseño previamente establecido, comprobando de manera exitosa los parámetros y el desarrollo durante la etapa de diseño.
- La aplicación HMI para el control del prototipo de AS/RS, permitió entablar una interfaz amigable con el usuario, misma que dispone de diferentes modos de operación, los cuales ayudan a entender y a mejorar la capacidad de manejo en estos sistemas.
- Las pruebas de funcionamiento del prototipo se realizaron de manera adecuada mediante la aplicación de normas ISO 9283, dedicada al análisis de robos de varios tipos. Por otro, lado las pruebas sobre el software se realizó con una muestra de la capacidad mensual de producción de la celda de manufactura centralizada en brazo robótico implementada en el Laboratorio de robótica.
- El prototipo de sistema AS/RS fue implementado exitosamente en el laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas Extensión Latacunga, permitiendo a los docentes y alumnos realizar aplicaciones de manufactura flexible a pequeña escala y consecuentemente mejorar el compendio de esta disciplina tecnológica.

#### **4.2. RECOMENDACIONES.**

- En la etapa de diseño se sugiere realizarlo con cargas dinámicas con el objetivo de obtener un prototipo más robusto y con baja presencia de vibraciones.
- Para el presente proyecto se recomienda cambiar la unidad efectora final por un griper, para obtener mayor precisión en relación a la manipulación de objetos por medio de las horquillas de transporte implementadas.
- Luego de analizado las desventajas que presentan las unidades de almacenamiento, se aconseja utilizar clavijas para mejorar la sujeción

de las piezas a las mismas, permitiendo mantener el posicionamiento durante su circulación por la celda de manufactura flexible.

- Después de haber analizado la baja utilidad de la unidad de reconocimiento para el presente proyecto, se recomienda establecer mejoras para aprovechar su máxima capacidad, debido a que presenta buenos resultados con respecto al reconocimiento de perfiles, y además como futura mejora sería la implementación del reconocimiento de dimensiones y materiales.
- Debido al deslizamiento visto sobre las bandas transportadoras planas, se aconseja reemplazar dichas bandas por transportadores de tablillas, y así aseguran un transporte eficaz reduciendo errores en el almacenamiento de producto terminado.
- Una vez analizado al prototipo funcionando dentro de una celda de manufactura, se propone la implementación de un sistema de reciclado de producto terminado malo, y de esta manera aumentar la capacidad de almacenamiento de prototipo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anónimo. (28 de Marzo de 2008). *Tutorial sobre Motores Paso a Paso (Stepper motors)*.  
Obtenido el 20 de Julio de 2013 de  
<http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>
- Anónimo. (12 de Diciembre de 2013). *Wikipedia*. Obtenido el 5 de Mayo del 2013 de  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_control](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_control)
- Anonimo. (s.f.). *Célula de Fabricación Flexible ETI*. Obtenido el 7 de Agosto del 2013 de Centro Integrado Politécnico "ETI":  
<http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>
- Arriaga, A. (26 de Enero de 2010). *Sistemas Flexibles de Manufactura, un elemento en el piso de produccion latinoamericana*. Obtenido el 10 de Agosto del 2013 de Universidad Anáhuac:  
<http://ols.uas.mx/escuela/ingenieria/files/Antonio%20Arriaga%20Sistemas%20Flexibles%20de%20Manufactura.pdf?id=401&apart=Cursos%20y%20Diplomados>
- Azuaje, A. (19 de Junio de 2011). *Scrib*. Obtenido el 1 de Septiembre de Scrib:  
<http://es.scribd.com/doc/58235393/Transmisiones-Mecanicas>
- Bolaños, D. (s.f.). *APUNTES DE ELECTRONICA - INFORMATICA - TECNOLOGIA*. Obtenido el 8 de Septiembre del 2013 de  
<http://www.bolanosdj.com.ar/MOTORES/MOTORES.PDF>
- Folch, J. R., Guasp, M. R., & Porta, C. R. (2000). *Tecnología Eléctrica*. Síntesis.
- Garavito, E. (8 de Noviembre de 2001). *Sistemas de almacenamiento*. Obtenido el 8 de Octubre del 2013 de Escuela de Estudios Industriales y Empresariales:  
<http://gavilan.uis.edu.co/~garavito/docencia/asignatura1/pdfs/Sistemas%20de%20Almacenamiento.pdf>
- Gomez, E. (2010). *AUTOMATIZANDO S.A.S*. Obtenido el 13 de Septiembre del 2013 de  
<http://www.automatizando.com.co/sensoresdeproximidad.htm>
- Gonzales, R., & Wintz, P. (1996). *Procesamiento digital de imagenes*. Obtenido el 20 de Agosto del 2013 de Wikipedia.
- González, V. (Junio de 2005). *El sistema robotico*. Obtenido el 6 de Noviembre del 2013 de Control y Robotica:  
[http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0708/archivos/\\_15/Tema\\_5.3.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.3.htm)
- González, V. (s.f.). *Robots Industriales*. Obtenido el 13 de Noviembre del 2013 de Control y robotica:  
[http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr\\_0708/archivos/\\_15/Tema\\_5.4.htm](http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0708/archivos/_15/Tema_5.4.htm)

- Greenwood, N. (1988). *Implementing Flexible Manufacturing*. Palgrave Macmillan.
- Irving, L. (1993). *Maquinas eléctricas y transformadores*. Mexico: Prentice Hall.
- Itescam. (11 de Enero de 2010). Obtenido el 6 de Noviembre del 2013 de <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r58418.DOC>
- Koren, Y. (1983 ). *Computer Control of Manufacturing Systems*. New York: Mcgraw-Hill.
- Mitsuboshi, B. (11 de Noviembre de 2013). *Mitsuboshi Belting*. Obtenido el 8 de Diciembre del 2013 de Mitsuboshi Belting: <https://www.mitsuboshi.co.jp/english/catalog/pdf/freespan-belt.pdf>
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Nisbett, R. G. (2000). *Diseño de ingeniería mecánica de Shigley*. México: Mc Graw Hill.
- Pardo, H. (2010). *Ensayo y Análisis de las prestaciones de un robot industrial de seis ejes según la norma UNE-EN ISO 9283*.
- Platero, C. (s.f.). *Electrónica, Automática e Informática Industrial* . Obtenido el 17 de Enero del 2014 de [http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/MIP\\_VisionArtificial/ApunteVA/cap1IntroVA.pdf](http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/MIP_VisionArtificial/ApunteVA/cap1IntroVA.pdf)
- Polanía, J. (5 de Marzo de 2011). *Control de motores eléctricos*. Obtenido el 10 de Febrero del 2014 de <http://es.scribd.com/doc/50089575/11/EL-MOTOR-DE-IMAN-PERMANENTE>
- Rodriguez, R., & Martín, J. (2010). *Simulación de un sistema AS/RS* . Obtenido el 10 de Febrero del 2014 de [http://ibdigital.uib.es/greenstone/collect/enginey/import/Enginy\\_2010/Enginy\\_2010v02p055.pdf](http://ibdigital.uib.es/greenstone/collect/enginey/import/Enginy_2010/Enginy_2010v02p055.pdf)
- Saco, R. (2 de Agosto de 2008). *Laboratorio de automatización 2*. Obtenido el 5 de Mayo del 2014 de Ingeniería en automatización y control industrial U.N.Q.: <http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>
- Schober. (2003). *i\_CIM\_Manual\_A002*. Dekendorf.
- Urgiles, P. (2003). *"TESIS" Prototipo de medición de superficies mediante un computador utilizando una cámara digital*. Obtenido el 18 de Enero del 2014 de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/220/2/Capitulo%201.pdf>

## GLOSARIO

### A

**AGV** (Automatic Guided Vehicle): Vehículo que se mueve de manera automática, para transportar materiales en tareas repetitivas.

**Algoritmo:** Conjunto de instrucciones que permiten realizar una actividad mediante pasos sucesivos.

### B

**Bocin:** Pieza redonda de espesor variado, que se coloca como guías sobre superficies circulares.

### C

**Carga:** Peso sobre una persona, animal o vehículo, generalmente para transportarlo.

**CIM** (Manufactura Integrada por Computador): Método de manufactura en el cual el proceso de producción es controlado por una computadora.

**CNC** (Control Numérico por computador): Sistema de automatización de máquinas herramienta que son operadas mediante comandos programados en un computador.

**Corriente eléctrica:** Flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un material.

### E

**Encoder:** Dispositivo electromecánico que convierte la posición angular en código digital.

**Estantería:** Mueble con divisiones horizontales que sirve para almacenar cosas.

### F

**Factor de seguridad:** Cociente, superior a uno, entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor al que se verá sometido.

**Factor de servicio:** Representa la capacidad en la que un motor puede funcionar sin sobrecargar o dañar sus componentes.

## H

**Horquillas:** Pieza u objeto que tiene forma variada y sirve generalmente para sujetar o sostener.

## I

**ISO** (Organización Internacional de Normalización): Organismo encargado de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación (tanto de productos como de servicios), comercio y comunicación para todas las ramas industriales a excepción de la eléctrica y la electrónica.

## M

**Módulo de sección:** Magnitud geométrica que caracteriza la resistencia de un prisma mecánico sometido a flexión.

**Materia prima:** Materia extraída de la naturaleza, usada para elaborar bienes de consumo.

## O

**Ortogonal:** Que está en ángulo recto.

**Oclusión:** Resultado de cerrar u obstruir algo.

## P

**PLC** (Controlador lógico programable): Computadora utilizada en automatización industrial, para automatizar procesos electromecánicos.

**Patrón:** Modelo que sirve de muestra para obtener otra forma igual:

**Potencia eléctrica:** Cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado.

**PT** (Punto Terminal): El punto más significativo del elemento terminal de un robot.

**Pallet:** Armazón de madera o plástico usado para mover carga.

**R**

**Rack:** Soporte metálico que aloja equipamiento electrónico y/o informático.

**RTU** (Unidad de Terminal Remota): Equipo electrónico destinado a supervisar las entradas/salidas de un sistema SCADA.

**T**

**TCP** (Punto de Centro de Herramienta): Punto focal de la pinza o herramienta de un robot industrial.

**TTL** (Lógica Transistor a Transistor): Tecnología de construcción de circuitos electrónicos digitales.

**V**

**Voltaje:** Magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

## ANEXOS

### Índice de anexos:

#### ANEXO A

ANEXO A1: Sistema prototipo AS/RS.

ANEXO A2: Despiece sistema prototipo AS/RS.

ANEXO A3: Módulo de almacenaje.

ANEXO A4: Pallet.

ANEXO A5: Mordaza módulo de almacenaje.

ANEXO A6: Carro transversal eje Y/Z.

ANEXO A7: Horquillas de transporte.

ANEXO A8: Guía cilíndrica del eje Z.

ANEXO A9: Soporte lateral del eje Z.

ANEXO A10: Soporte transversal eje Y/Z.

ANEXO A11: Bocín eje Z.

ANEXO A12: Bocín eje Y.

ANEXO A13: Sistema de Guías eje Y/B.

ANEXO A14: Guía cilíndrica del eje Y.

ANEXO A15: Soporte lateral del eje Y.

ANEXO A16: Base rodamiento eje B.

ANEXO A17: Carro eje X.

ANEXO A18: Base carro longitudinal del eje X .

ANEXO A19: Bocín eje X.

ANEXO A20: Carro guía eje X.

ANEXO A21: Soporte inferior del eje X.

ANEXO A22: Rodachin.

ANEXO A23: Separador rodachines.

ANEXO A24: Placa guía.

ANEXO A25: Guía cilíndrica X.

ANEXO A26: Estructura de almacenamiento.

ANEXO A27: Omegadrive.

ANEXO A28: Rodillo tensor.

ANEXO A29: Soporte frontal Omegadrive.

ANEXO A30: Soporte posterior Omegadrive.

ANEXO A31: Separador.

ANEXO A32: Sujetador de Banda.

ANEXO A33: Bocín del Eje X.

ANEXO A34: Bocín del Eje Y.

ANEXO A35: Bocín del Eje Z.

ANEXO A36: Base del Carro X.

## ANEXO B

ANEXO B1: Características técnicas del sistema Intelitek ASRS-36u.

ANEXO B2: Dimensiones de rosca métrica.

ANEXO B3: Perfiles de aluminio.

ANEXO B4: Configuración de cojinetes radiales.

ANEXO B5: Factor de temperatura.

ANEXO B6: Factor de viscosidad.

ANEXO B7: Tabla de factor de servicio.

ANEXO B8: Tabla de selección de perfil de correa dentada.

ANEXO B9: Características técnicas de la correa T5.

ANEXO B10: Factor de seguridad para correas dentadas.

ANEXO B11: Tabla de poleas conductoras para correa dentada T5.

ANEXO B12: Vida útil y factor de carga para cojinetes.

ANEXO B13: Tabla de rodillos cónicos FBJ.

ANEXO B14: Tabla de velocidad de corte para diversos materiales.

## ANEXO C

ANEXO C1: Características técnicas de los motores 37D seleccionados.

ANEXO C2: Características técnicas de las tarjetas de control

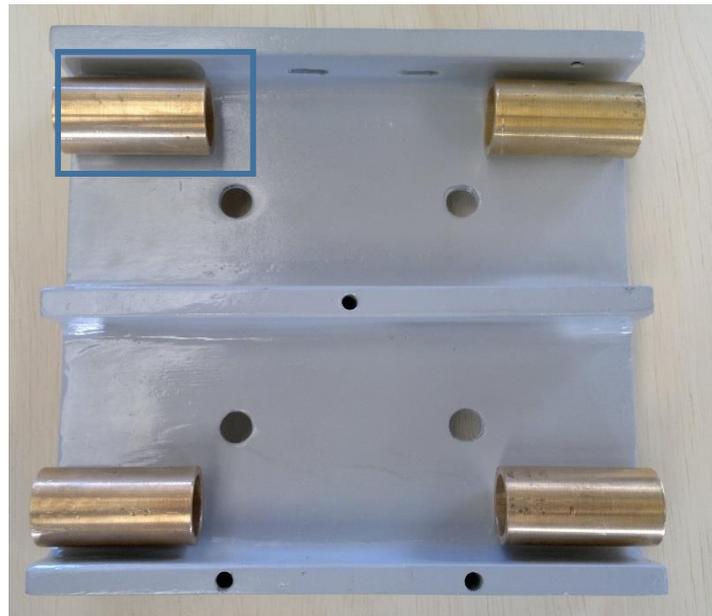
ANEXO C3: Características técnicas de la tarjeta principal (Arduino Uno)

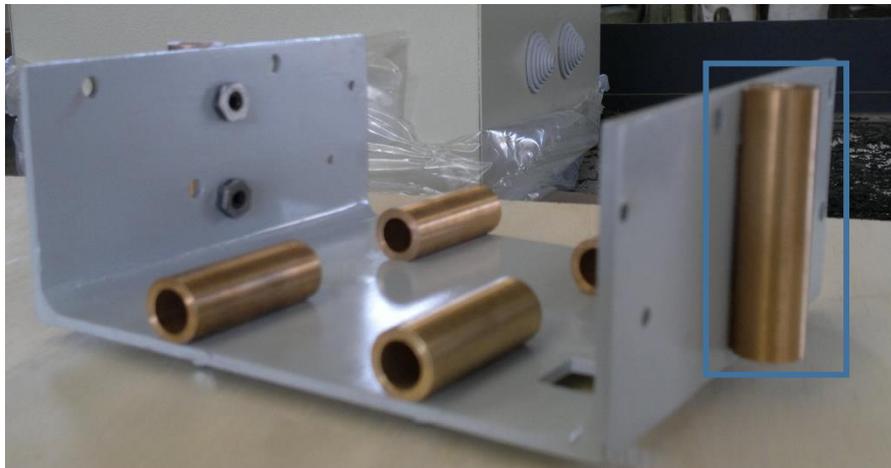
ANEXO C4: Características técnicas del soporte de aluminio en L.

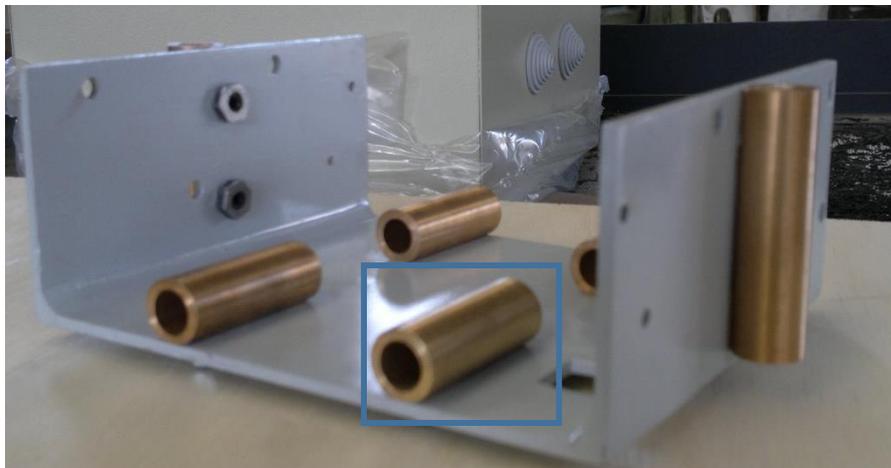
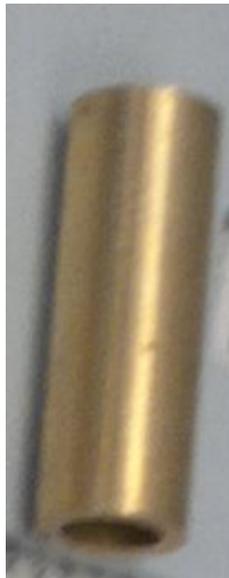
ANEXO C5: Diagrama eléctrico del tablero de control.

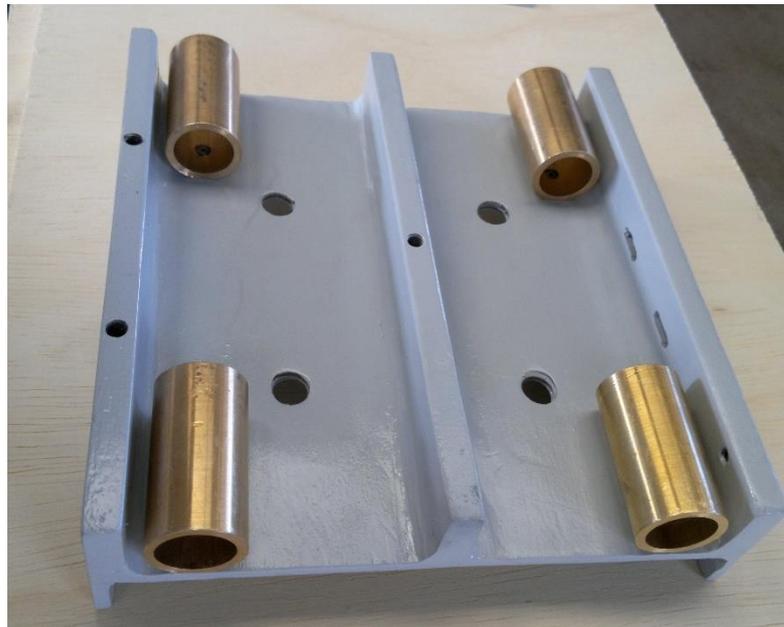
## ANEXO D Manual de operación

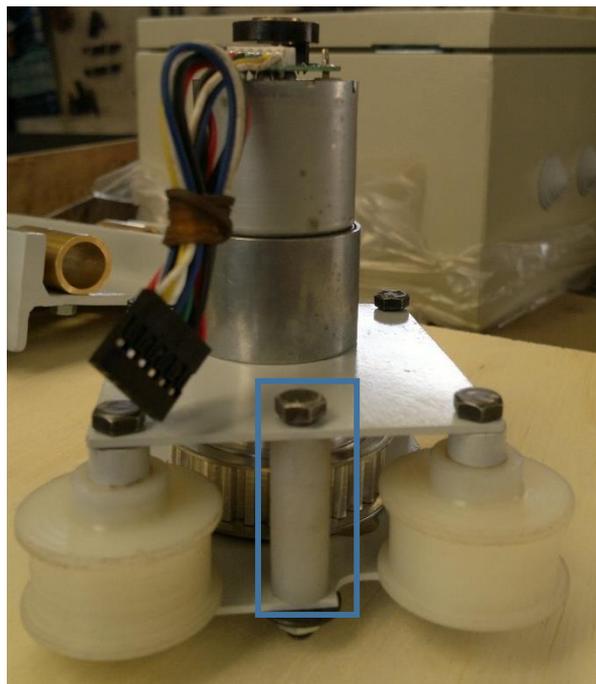
# **ANEXO A**













# **ANEXO B**

## Specifications

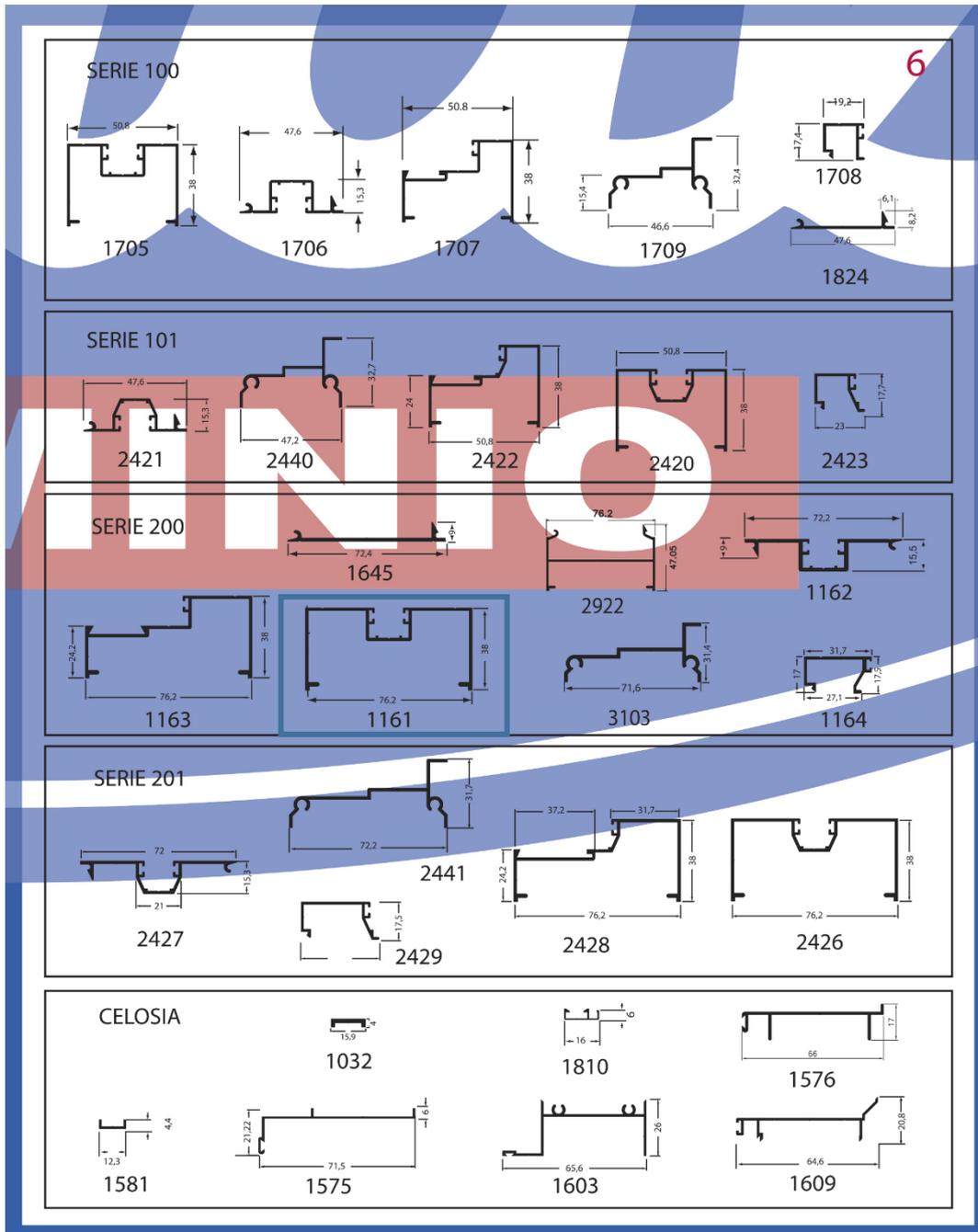
<b>Mechanical structure</b> Floor-mounted storage unit 36 cells in a 6 x 6 array Transparent plexiglas enclosure Cartesian robot with rotational axis movement of end effector Dimensions: L=1330 mm, W=630 mm, H=1600 mm (L=52.4", W=24.8", H=49.2")	<b>Power requirements</b> 110/220 VAC, 50/60Hz, 180W max.
<b>Degrees of freedom/ Axis travel</b> Axis 1 (X): Horizontal translation: 1100 mm (43.3") Axis 2 (Y): Horizontal translation: 160 mm (6.3") Axis 3 (Z): Vertical translation: 700 mm (27.6") Axis 4: Horizontal rotation: 110°	<b>Internal power supplies</b> Servo: 24V (depending on input voltage and load) Digital: 5V, +15V, -12V
<b>Speed</b> 300 mm/sec. (11.8"/sec) Defined as percentage of range (in increments of 1%) or by travel time	<b>Microcontroller</b> Full featured, NEC V853 RISC 32-bit microcontroller
<b>End effector</b> Fork-lift type gripper	<b>Communication</b> USB type A cable connection to PC Plug and play without rebooting 2 integrated RS232 channels: one for teach pendant; one for controller I/O card
<b>Payload capacity</b> 1.5 kg (3.3 lbs.)	<b>Inputs</b> 8 digital inputs: 24V max., high/low configurable 4 analog inputs: 8-bit; input voltage 0-10V
<b>Repeatability</b> ±0.5 mm (0.02") at TCP (tip of gripper)	<b>Outputs</b> 8 digital outputs: 24V max.; 4 relays; 4 open collectors, sink/source configurable 2 analog outputs: 8-bit; output voltage 0-10V
<b>Home</b> Hard-home position on each axis	<b>User power supply</b> Two +12VDC terminals, for connection of remote switches, sensors, etc.
<b>Feedback</b> Optical encoder on each axis	<b>Programming</b> SCORBASE for Controller-USB software RoboCell for Controller-USB 3D simulation software (optional) Teach pendant for Controller-USB (optional)
<b>Actuators</b> 24 VDC and 30 VDC servo motors	<b>Position definition</b> XYZ coordinates; Joint coordinates (degrees); Encoder counts; Absolute and relative positions
<b>Transmission</b> Timing-belt drive	<b>LED indicators</b> Main power, alternating colors: power on and communicating with PC (green); power on and not communicating with PC (orange) Digital Inputs / Digital Outputs Emergency
<b>Safety features</b> Emergency switches; can be connected to safety mats, warning lights, etc.	<b>Weight</b> 7 kg (15.4 lbs.)
<b>Controller-USB</b>	<b>Dimensions</b> L=315 mm; W=223.5 mm; H=117 mm; (L=12.4"; W=8.8"; H=4.6")
<b>Type of control</b> Real-time; PID; PWM	<b>Operating temperature</b> 2° - 40°C (36° - 104°F)
<b>Servo axis drivers</b> 6 for robot 2 for peripherals	<b>Safety features</b> Certified for CE safety compliance Emergency switch on controller front panel Short-circuit protection Automatic shut-down upon detection of overheating, PC failure, communication error, impact
<b>Path control</b> Joint; Linear; Circular	<b>OPTIONAL ACCESSORIES: RFID Reader System, 110-240 VAC Cat no. 021198</b>
<b>Speed control</b> 10 speed settings Travel time definitions	
<b>Control parameters</b> 160 user-accessible parameters Servo control; PID, speed, velocity profile, smoothing; axis position error; gripper operation; thermic, impact, limit protection; homing; Cartesian calculations.	

Con# 100729 rev. A Specifications subject to change without prior notice

**intelitek** 
  
 444 East Industrial Park Dr. • Manchester, NH 03109  
 Phone: 800-221-2763 • info@intelitek.com  
[www.intelitek.com](http://www.intelitek.com)

Datos extraídos de [http://intelitek.com/pdf/ASRS-36u\\_RFID\\_100729\\_A.pdf](http://intelitek.com/pdf/ASRS-36u_RFID_100729_A.pdf)

Diámetro mayor básico (mm)	Roscas gruesas		Roscas finas	
	Paso (mm)	Área de esfuerzo de tensión (mm <sup>2</sup> )	Paso (mm)	Área de esfuerzo de tensión (mm <sup>2</sup> )
1	0.25	0.460		
1.6	0.35	1.27	0.20	1.57
2	0.4	2.07	0.25	2.45
2.5	0.45	3.39	0.35	3.70
3	0.5	5.03	0.35	5.61
4	0.7	8.78	0.5	9.79
5	0.8	14.2	0.5	16.1
6	1	20.1	0.75	22.0
8	1.25	36.6	1	39.2
10	1.5	58.0	1.25	61.2
12	1.75	84.3	1.25	92.1
16	2	157	1.5	167
20	2.5	245	1.5	272
24	3	353	2	384
30	3.5	561	2	621
36	4	817	3	865
42	4.5	1121		
48	5	1473		



Datos extraídos de: [http://cedal.com.ec/cedal\\_arquitecto.php](http://cedal.com.ec/cedal_arquitecto.php)

## 1. Montaje de una fila

Diseño	Condición de empuje	Carga de empuje	Carga radial equivalente dinámica
	$\frac{0.47F_{rA}}{K_A} \leq \frac{0.47F_{rB}}{K_B} - mF_{oe}$	$F_{aA} = \frac{0.47F_{rB}}{K_B} - mF_{oe}$ $F_{aB} = \frac{0.47F_{rB}}{K_B}$	$P_A = 0.4F_{rA} + K_A F_{aA}$ $P_B = F_{rB}$
	$\frac{0.47F_{rA}}{K_A} > \frac{0.47F_{rB}}{K_B} - mF_{oe}$	$F_{aA} = \frac{0.47F_{rA}}{K_A}$ $F_{aB} = \frac{0.47F_{rAB}}{K_A} + mF_{oe}$	$P_A = F_{rA}$ $P_B = 0.4F_{rB} + K_B F_{aB}$

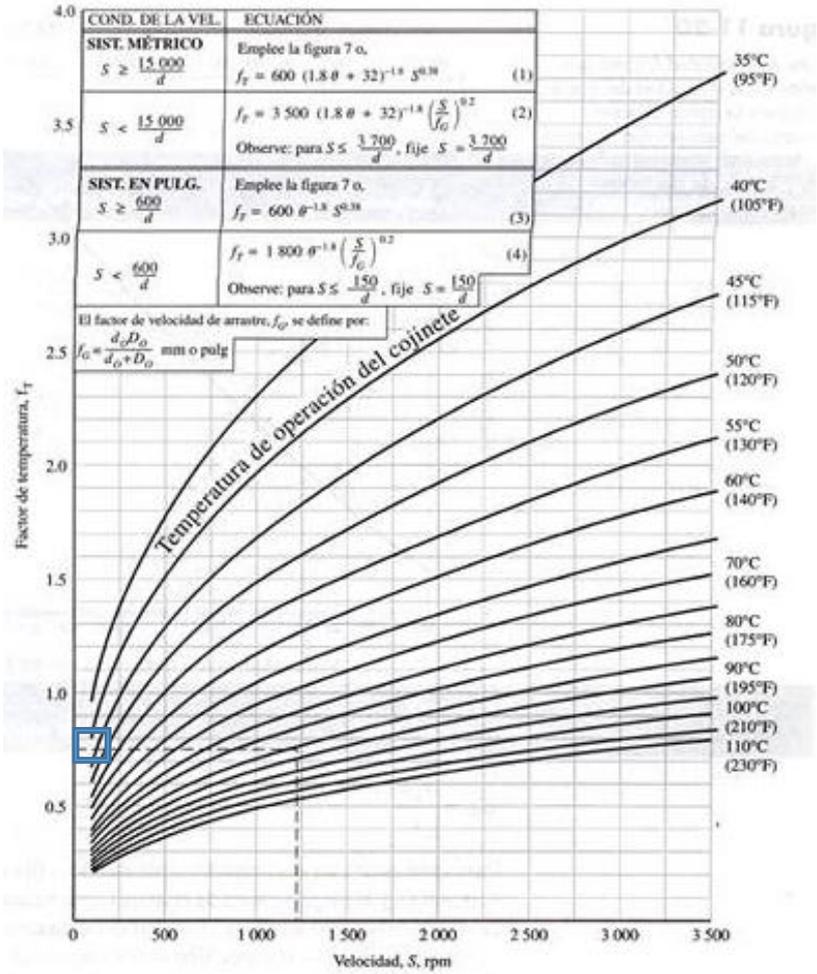
Nota: Si  $P_A < F_{rA}$ , utilice  $P_A = F_{rA}$  o si  $P_B < F_{rB}$ , use  $P_B = F_{rB}$

2. Montaje con dos filas: fije un cojinete con empuje externo,  $F_{oe}$ 

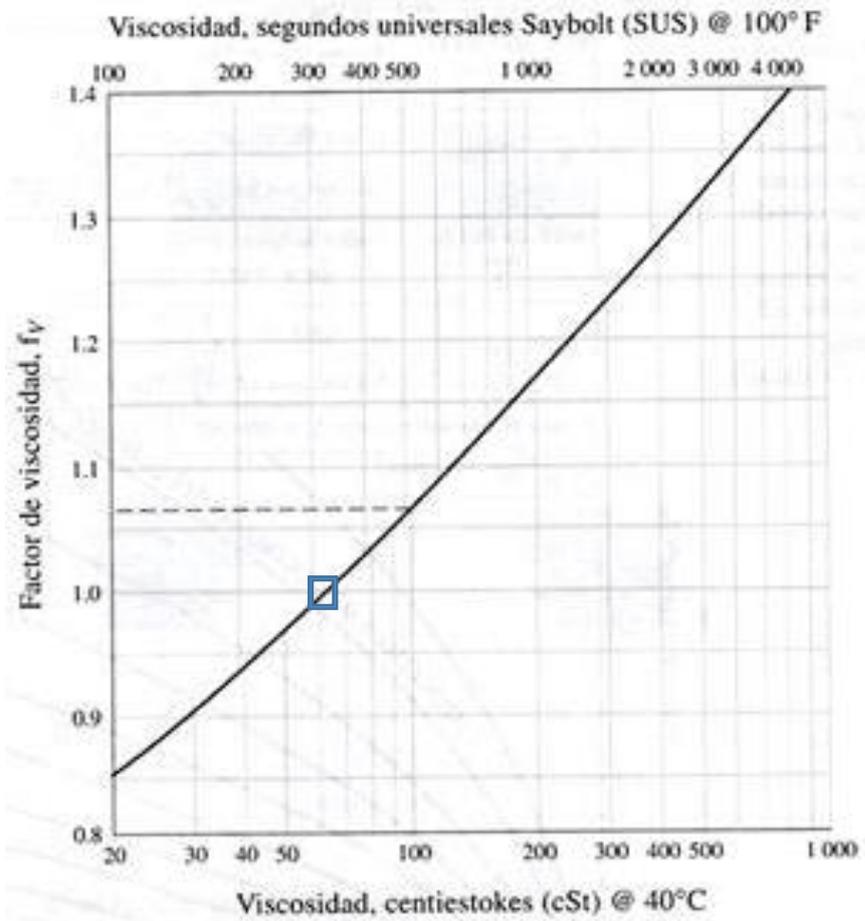
(Serie similar o diferente)

Diseño	Condición de empuje	Carga radial equivalente dinámica
	$F_{oe} \leq \frac{0.6F_{rAB}}{K^*}$	$P_A = \frac{K_A}{K_A + K_B} (F_{rAB} - 1.67mK_B F_{oe})$ $P_B = \frac{K_B}{K_A + K_B} (F_{rAB} + 1.67mK_A F_{oe})$
	$F_{oe} > \frac{0.6F_{rAB}}{K^*}$	$P_A = 0.4F_{rAB} - mK_A F_{oe}$ $P_B = 0.4F_{rAB} - mK_B F_{oe}$

Datos extraídos de: (Nisbett, 2000)



Datos extraídos de: (Nisbett, 2000)

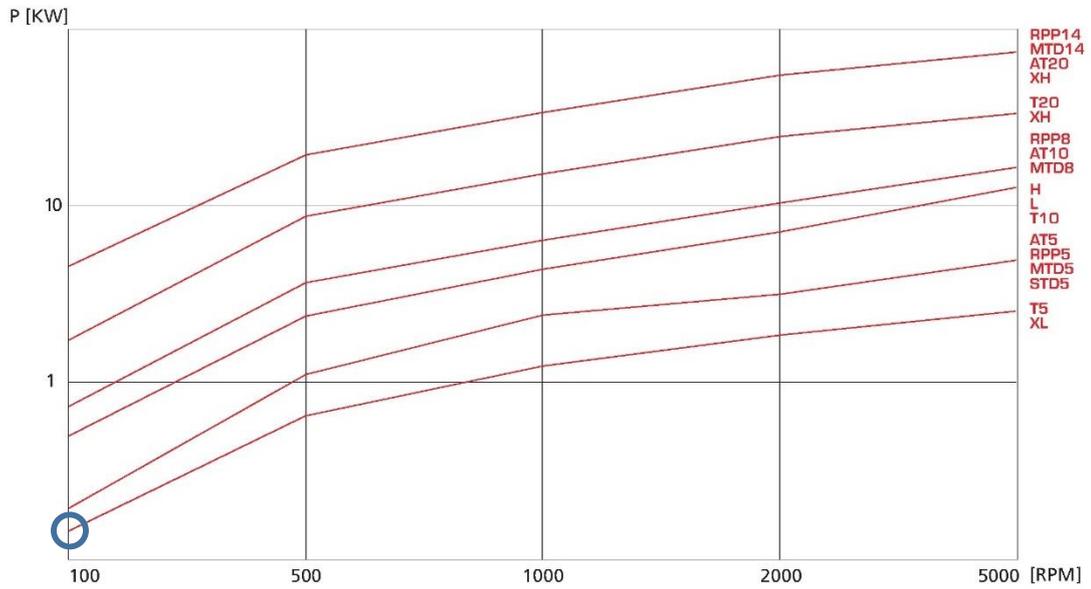


Datos extraídos de: (Nisbett, 2000).

APPLICATION	SERVICE FACTORS		
	UP TO 3 HRS. DAY	3-10 HRS. DAY	OVER 10 HRS. DAY
<b>AGITATORS (Mixers)</b>			
Pure Liquids	-	1.00	1.25
Liquids and Solids	1.00	1.25	1.50
Liquids-Variable Density	1.00	1.25	1.50
<b>BLOWERS</b>			
Centrifugal	1.00	1.00	-
Lobe	1.00	1.25	1.50
Vane	-	1.00	1.25
<b>BREWING AND DISTILLING</b>			
Bottling Machinery	-	1.00	1.25
Brew Kettles, Continuous Duty	-	1.00	1.25
Cookers-Continuous Duty	-	1.00	1.25
Mash Tubs-Continuous Duty	-	1.00	1.25
Scale Hopper, Frequent Starts	1.00	1.25	1.50
<b>CAN FILLING MACHINES</b>	-	1.00	1.25
<b>CAR DUMPERS</b>	1.25	1.50	1.75
<b>CAR PULLERS</b>	1.00	1.25	1.50
<b>CLARIFIERS</b>	-	1.00	1.25
<b>CLASSIFIERS</b>	1.00	1.25	1.50
<b>CLAY WORKING MACHINERY</b>			
Brick Press	1.25	1.50	1.75
Briquette Machine	1.25	1.50	1.75
Pug Mill	1.00	1.25	1.50
<b>COMPACTORS</b>	1.50	1.75	2.00
<b>COMPRESSORS</b>			
Centrifugal	-	1.00	1.25
Lobe	1.00	1.25	1.50
Reciprocating, Multi-Cylinder	1.00	1.25	1.50
Reciprocating, Single-Cylinder	1.25	1.50	1.75

Datos extraídos de

[http://www.winsmith.com/se\\_encore/Appendix/Service\\_Factors.pdf](http://www.winsmith.com/se_encore/Appendix/Service_Factors.pdf)

**BELT PITCH SELECTION**

Datos extraídos de [http://www.megadyne.ru/.../06\\_MEGALINEAR.pdf](http://www.megadyne.ru/.../06_MEGALINEAR.pdf)

## MEGALINEAR T5 OPEN-END

## BELT CHARACTERISTICS

STANDARD WIDTHS (mm)	6	10	16	25	32	50	75	100
Weight (gr/m)	15	20	35	55	70	105	160	220

Standard compound: **white Polyurethane thermoplastic 92 ShA**

Standard back cover: **none**

Standard tooth cover: **none**

Standard cords: **S and Z torsion zinked steel**

Standard width tolerance: **+/- 0,5 mm**

Standard thickness: **2,2 +/- 0,15 mm**

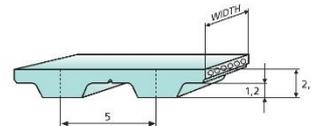
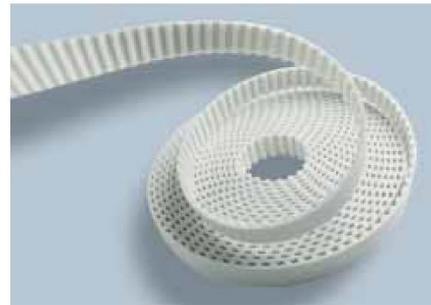
Standard length tolerance: **+/- 0,8 mm/m**

Standard roll length: **100 m**

Belt options on request with minimum quantity:

- Nylon fabric back
- Nylon fabric teeth
- Antistatic nylon fabric
- FDA compound
- AVAFC 60/70/85 ShA
- APL
- Fishbone
- Ribbed
- Cleats

Different back coating materials see page 86



## TOOTH RESISTANCE

RPM (1/min)	0	20	40	60	80	100	200	300	400	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	5000	8000
F <sub>p spec</sub> (N/cm)	24	23	23	22	22	20	19	19	18	17	16	15	14	12	11	11	9	

## TRACTION RESISTANCE

	Belt width (mm)	6	10	16	25	32	50	75	100
Steel	Max Traction Load (N)	175	355	475	800	1005	1660	2280	3060
	Breaking Strength (N)	710	1425	1900	3205	4035	6650	8665	11635
	Elongation at MTL (mm/m)	4	4	4	4	4	4	4	4
Kevlar	Max Traction Load (N)	395	795	1060	1795	2260	3720	5110	6860
	Breaking Strength (N)	1595	3190	4255	7180	9040	14895	19415	26065
	Elongation at MTL (mm/m)	8	8	8	8	8	8	8	8
HP	Max Traction Load (N)	-	555	740	1250	1570	2590	3555	4775
	Breaking Strength (N)	-	2220	2960	5000	6295	10370	13520	18150
	Elongation at MTL (mm/m)	-	5	5	5	5	5	5	5
HF	Max Traction Load (N)	-	465	620	1050	1320	2180	2990	4015
	Breaking Strength (N)	-	1865	2490	4205	5295	8720	11370	15265
	Elongation at MTL (mm/m)	-	5	5	5	5	5	5	5
Stainless	Max Traction Load (N)	105	210	285	480	-	-	-	-
	Breaking Strength (N)	425	855	1140	1920	-	-	-	-
	Elongation at MTL (mm/m)	3,8	3,8	3,8	3,8	-	-	-	-

Average values

MEGALINEAR  
T5

## FLEXION RESISTANCE



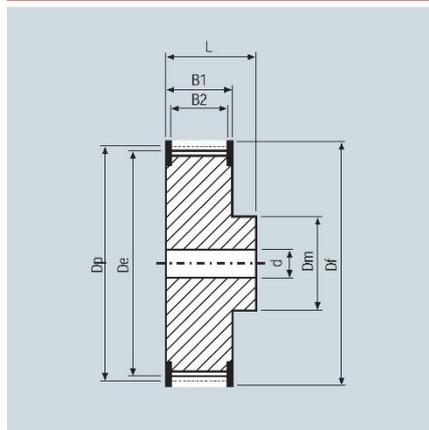
	Z min	Z min	Idler min dia (mm)	Z min	Idler min dia (mm)
Standard steel cords	10	15	30	10	30
Kevlar cords	12	15	30	12	30
High Power cords	15	15	40	15	60
High Flexibility cords	10	12	30	10	30
Stainless steel cords	15	18	40	15	40

## JOINED BELT INFORMATIONS

- Minimum splice length 900 mm
- Traction and tooth resistances = 50% less than open-end
- Joined belt can be used only in conveyor systems
- Rolls with NFT, NFB, AVAFC and APL can be joined too
- Minimum diameters according above table
- For coated belts, minimum diameters on page 86



## PULLEYS (for more details please see our pulleys catalogue)



N° Teeth	Dp	De	N° Teeth	Dp	De
10	15,92	15,09	25	39,79	38,96
12	19,10	18,27	28	44,56	43,73
14	22,28	21,45	30	47,75	46,92
15	23,87	23,04	32	50,93	50,10
16	25,46	24,64	36	57,30	56,47
18	28,65	27,82	40	63,66	62,93
19	30,24	29,41	42	66,85	66,02
20	31,83	31,00	44	70,03	69,20
22	35,01	34,19	48	76,39	75,57
24	38,20	37,37	60	95,49	94,67

Datos extraídos de [http://www.megadyne.ru/.../06\\_MEGALINEAR.pdf](http://www.megadyne.ru/.../06_MEGALINEAR.pdf)

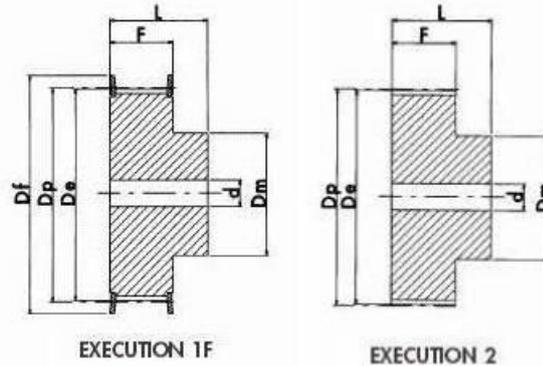
ANEXO B10	Factor de seguridad para correas dentadas	Hoja 1 de 1																																																																																																	
<p>The choice of the <b>Safety factor's</b>, depends on the operating conditions. The following table shows the value to be used:</p>																																																																																																			
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Steady Load</td> <td></td> <td>1</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Shock Load</td> <td>Low</td> <td>1.4</td> </tr> <tr> <td>Average</td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td>High</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td><b>Elevators, hoists</b></td> <td></td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td><b>Line shafts</b></td> <td></td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td colspan="3"><b>Paper machines:</b></td> </tr> <tr> <td>agitators, calenders, driers, winding frames,</td> <td></td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>willows, Jordan machines, pumps, slicers, grinders</td> <td></td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td colspan="3"><b>Machines for pottery and earthenware:</b></td> </tr> <tr> <td>cutters, granulators,</td> <td></td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td>pulping machines</td> <td></td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td colspan="3"><b>Laundry machines: general</b></td> </tr> <tr> <td>extractors, washers</td> <td></td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td colspan="3"><b>Machines for rubber processing</b></td> </tr> <tr> <td colspan="3"><b>Woodworking machines:</b></td> </tr> <tr> <td>lathes, band saws, cutters,</td> <td></td> <td>1,7</td> </tr> <tr> <td>circular saws, planers, jointer</td> <td></td> <td>1,7</td> </tr> <tr> <td colspan="3"><b>Printing machinery:</b></td> </tr> <tr> <td>rotary, newspaper, linotype, cutters, folders, magazine</td> <td></td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td colspan="3"><b>Textile machines:</b></td> </tr> <tr> <td>warping machines, winders,</td> <td></td> <td>1,7</td> </tr> <tr> <td>spinners, twisting frames, looms</td> <td></td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td colspan="3"><b>Machines tools: drilling machines, lathes,</b></td> </tr> <tr> <td>tread cutting machines, gears cutters, boring machines</td> <td></td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>millers, planers,</td> <td></td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td>grinding machines</td> <td></td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td colspan="3"><b>Conveyors:</b></td> </tr> <tr> <td>horsts, light backage, over</td> <td></td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td>screw fleight</td> <td></td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>apron bucket, elevator</td> <td></td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>screw</td> <td></td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td><b>Brick machinery</b></td> <td></td> <td>1.8</td> </tr> </tbody> </table>			Steady Load		1	Shock Load	Low	1.4	Average	1.7	High	2	<b>Elevators, hoists</b>		1.8	<b>Line shafts</b>		1.6	<b>Paper machines:</b>			agitators, calenders, driers, winding frames,		1.6	willows, Jordan machines, pumps, slicers, grinders		1.8	<b>Machines for pottery and earthenware:</b>			cutters, granulators,		1.7	pulping machines		2.0	<b>Laundry machines: general</b>			extractors, washers		1.8	<b>Machines for rubber processing</b>			<b>Woodworking machines:</b>			lathes, band saws, cutters,		1,7	circular saws, planers, jointer		1,7	<b>Printing machinery:</b>			rotary, newspaper, linotype, cutters, folders, magazine		1.6	<b>Textile machines:</b>			warping machines, winders,		1,7	spinners, twisting frames, looms		1.8	<b>Machines tools: drilling machines, lathes,</b>			tread cutting machines, gears cutters, boring machines		1.6	millers, planers,		1.7	grinding machines		1.7	<b>Conveyors:</b>			horsts, light backage, over		1.3	screw fleight		1.8	apron bucket, elevator		1.8	screw		1.8	<b>Brick machinery</b>		1.8
Steady Load		1																																																																																																	
Shock Load	Low	1.4																																																																																																	
	Average	1.7																																																																																																	
	High	2																																																																																																	
<b>Elevators, hoists</b>		1.8																																																																																																	
<b>Line shafts</b>		1.6																																																																																																	
<b>Paper machines:</b>																																																																																																			
agitators, calenders, driers, winding frames,		1.6																																																																																																	
willows, Jordan machines, pumps, slicers, grinders		1.8																																																																																																	
<b>Machines for pottery and earthenware:</b>																																																																																																			
cutters, granulators,		1.7																																																																																																	
pulping machines		2.0																																																																																																	
<b>Laundry machines: general</b>																																																																																																			
extractors, washers		1.8																																																																																																	
<b>Machines for rubber processing</b>																																																																																																			
<b>Woodworking machines:</b>																																																																																																			
lathes, band saws, cutters,		1,7																																																																																																	
circular saws, planers, jointer		1,7																																																																																																	
<b>Printing machinery:</b>																																																																																																			
rotary, newspaper, linotype, cutters, folders, magazine		1.6																																																																																																	
<b>Textile machines:</b>																																																																																																			
warping machines, winders,		1,7																																																																																																	
spinners, twisting frames, looms		1.8																																																																																																	
<b>Machines tools: drilling machines, lathes,</b>																																																																																																			
tread cutting machines, gears cutters, boring machines		1.6																																																																																																	
millers, planers,		1.7																																																																																																	
grinding machines		1.7																																																																																																	
<b>Conveyors:</b>																																																																																																			
horsts, light backage, over		1.3																																																																																																	
screw fleight		1.8																																																																																																	
apron bucket, elevator		1.8																																																																																																	
screw		1.8																																																																																																	
<b>Brick machinery</b>		1.8																																																																																																	
<p>Datos extraídos de <a href="http://www.megadyne.ru/.../06_MEGALINEAR.pdf">http://www.megadyne.ru/.../06_MEGALINEAR.pdf</a></p>																																																																																																			

**Synchroflex® Timing Pulleys T5**

for 10mm wide belt

Centre drilled or Pilot Bore

in Aluminium with Zinc plated Steel Flanges

**Dimensions**

Pulleys may be Bored or Unbored.

If a dimension is critical to your application please contact our sales department for confirmation.  
for special pulleys or reworked pulleys

Code	Type	No. Teeth	Dp	De	Df	Dm	F	L	Pilot Bore	No. Flanges
21T5/10-2	1F	10	16.05	15.05	19.5	8	15	21	-	2
21T5/12-2	1F	12	19.25	18.25	23	11	15	21	-	2
21T5/14-2	1F	14	22.45	21.45	25	13	15	21	-	2
21T5/15-2	1F	15	24.05	23.05	28	16	15	21	6	2
21T5/16-2	1F	16	25.06	24.60	32	18	15	21	6	2
21T5/18-2	1F	18	28.80	27.80	32	20	15	21	6	2
21T5/19-2	1F	19	30.40	29.40	36	22	15	21	6	2
21T5/20-2	1F	20	32.00	31.00	36	23	15	21	6	2
21T5/22-2	1F	22	35.15	34.15	38	24	15	21	6	2
21T5/24-2	1F	24	38.40	37.40	42	26	15	21	6	2
21T5/25-2	1F	25	39.95	38.95	44	26	15	21	6	2
21T5/26-2	1F	26	41.60	40.60	44	26	15	21	6	2
21T5/27-2	1F	27	43.20	42.20	48	30	15	21	8	2
21T5/28-2	1F	28	44.75	43.75	48	32	15	21	8	2
21T5/30-2	1F	30	47.95	46.95	51	34	15	21	8	2
21T5/32-2	1F	32	51.10	50.10	54	38	15	21	8	2
21T5/36-2	1F	36	57.45	56.45	64	38	15	21	8	2
21T5/40-2	1F	40	63.85	62.85	66.5	40	15	21	8	2
21T5/42-2	1F	42	67.00	66.00	70	40	15	21	8	2
21T5/44-0	2	44	70.20	69.20	-	45	15	21	8	0
21T5/48-0	2	48	76.55	75.55	-	50	15	21	8	0
21T5/60-0	2	60	95.65	94.65	-	65	15	21	8	0

Tipo de aplicación	Vida, kh
Instrumentos y aparatos para uso poco frecuente	Hasta 0.5
Motores de aeronaves	0.5-2
Máquinas para operación corta o intermitente, donde la interrupción del servicio resulta de poca importancia	4-8
Máquinas para servicio intermitente donde una operación confiable es de mucha importancia	8-14
Máquinas para servicio de 8 h, que no siempre se usan del todo	14-20
Máquinas para servicio de 8 h, que se utilizan por completo	20-30
Máquinas para servicio continuo de 24 h	50-60
Máquinas para servicio continuo de 24 h, donde la confiabilidad sea de extrema importancia	100-200

Tipo de aplicación	Factor de carga
Engranajes de precisión	1.0-1.1
Engranajes comerciales	1.1-1.3
Aplicaciones con sellos deficientes en los cojinetes	1.2
Maquinaria sin impactos	1.0-1.2
Maquinaria con impactos ligeros	1.2-1.5
Maquinaria con impactos moderados	1.5-3.0

Datos extraídos de: (Nisbett, 2000).

**FBJ**

## Tapered Roller Bearings Series 30200 Metric



Bearing Number	Dimensions (mm)							Basic Load Ratings (N)		Weight kg
	d	D	t	B	C	r	R	Cr	Cor	
30203	17	40	13.25	12	11	1	1	19000	18600	0.08
30204	20	47	15.25	14	12	1	1	27500	28000	0.12
30205	25	52	16.25	15	13	1	1	30800	33500	0.15
30206	30	62	17.25	16	14	1	1	40200	44000	0.23
30207	35	72	18.25	17	15	1.5	1.5	51200	56000	0.32
30208	40	80	19.75	18	16	1.5	1.5	61600	68000	0.42
30209	45	85	20.75	19	16	1.5	1.5	66000	76500	0.48
30210	50	90	21.75	20	17	1.5	1.5	76500	91500	0.54
30211	55	100	22.75	21	18	1.5	2.0	89700	106000	0.70
30212	60	110	23.75	22	19	1.5	2.0	99000	114000	0.88
30213	65	120	24.75	23	20	1.5	2.0	114000	134000	1.15
30214	70	125	26.25	24	21	1.5	2.0	125000	156000	1.25
30215	75	130	27.25	25	22	1.5	2.0	140000	176000	1.40
30216	80	140	28.25	26	22	2.0	2.5	157000	183000	1.60
30217	85	150	30.50	28	24	2.5	2.0	184000	233000	2.12
30218	90	160	32.50	30	26	2.5	2.0	201000	256000	2.60
30219	95	170	34.50	32	27	3.0	2.5	223000	286000	3.13
30220	100	180	37.00	34	29	3.0	2.5	255000	330000	3.78
30221	105	190	39.00	36	30	3.0	2.5	280000	365000	4.51
30222	110	200	41.00	38	32	3.0	2.5	315000	420000	5.28
30224	120	215	43.50	40	34	3.0	2.5	335000	450000	6.28
30226	130	230	43.75	40	34	4.0	3.0	375000	505000	7.25
30228	140	250	45.75	42	36	4.0	3.0	390000	515000	8.74

**VELOCIDADES DE CORTE EN METROS MINUTO PARA TRABAJAR DIVERSOS MATERIALES EN LAS MAQUINAS - HERRAMIENTAS • VALORES MEDIOS UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE ACERO RAPIDO 18-20 % W**

MATERIAL A TRABAJAR	CLASE DE TRABAJO							
	Tornear	Taladrar	Fresar	Acepillar **	Roscar a Torno *	Escariar	Brochar	Fresado de Lagranajes
Acero 40-50..... Kg/mm <sup>2</sup> .....	D 28 A 40	24	D 20 A 30	18	16	14	10	D 18 A 26
Acero 50-60..... Kg/mm <sup>2</sup> .....	D 22 A 30	20	D 18 A 24	16	12	10	9	D 16 A 22
Acero 60-85..... Kg/mm <sup>2</sup> .....	D 18 A 24	16	D 16 A 22	14	9	8	8	D 14 A 20
Acero 85-110..... Kg/mm <sup>2</sup> .....	D 16 A 18	14	D 14 A 16	12	7	6	7	D 12 A 14
Acero 110-140..... Kg/mm <sup>2</sup> .....	D 10 A 12	8	D 8 A 10	6	5	4	—	D 6 A 8
Acero 140-180..... Kg/mm <sup>2</sup> .....	D 8 A 10	6	D 6 A 8	4	3	2	—	D 5 A 7
Acero Moldeado 38. Kg/mm <sup>2</sup> .....	D 20 A 24	18	D 16 A 20	14	12	10	10	D 15 A 18
Acero Moldeado 45. Kg/mm <sup>2</sup> .....	D 18 A 20	16	D 14 A 16	12	10	8	9	D 13 A 15
Acero Moldeado 52. Kg/mm <sup>2</sup> .....	D 14 A 16	12	D 12 A 14	10	8	7	8	D 11 A 13
Acero al Manganeso 12 %...	D 3 A 4	3	—	2	—	—	—	—
Acero INOXIDABLE.....	D 8 A 14	6	D 6 A 10	6	5	4	3	D 5 A 9
METAL MONEL.....	D 15 A 18	12	D 12 A 14	10	8	7	4	—

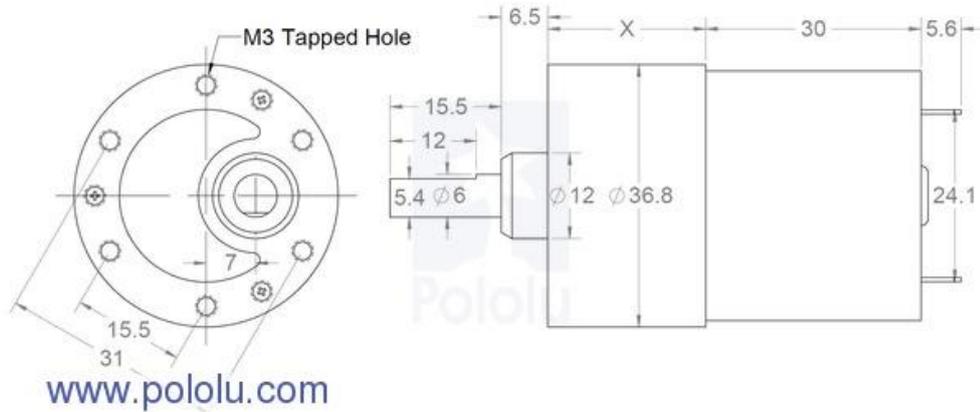
D = Desbaste. A = Afinado. \* Con cuchilla o macho. \*\* En limadoras y acepilladoras.

**VELOCIDADES DE CORTE EN METROS MINUTO PARA TRABAJAR DIVERSOS MATERIALES EN LAS MAQUINAS - HERRAMIENTAS • VALORES MEDIOS UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE ACERO RAPIDO 18-20 % W**

MATERIAL A TRABAJAR	CLASE DE TRABAJO							
	Tornear	Taladrar	Fresar	Acepillar **	Roscar a Torno *	Escariar	Brochar	Fresado de Engranajes
Aluminio Magnesio. Latón dulce.....	D 140 A 170	125	D 114 A 160	100	—	70	Máximo de la máquina	—
Aleaciones de Alu- minio. Latón duro..	D 90 A 120	80	D 70 A 98	60	—	44	Máximo de la máquina	—
Cupro-Aluminio....	D 20 A 24	18	D 16 A 22	14	12	10	4	—
Cobre para Colectores.....	D 36 A 46	32	D 28 A 40	26	—	—	—	—
Carbón de Electrodos.....	D 10 A 12	9	—	6	—	—	—	—
Materiales Plásticos.	D 30 A 50	26	D 24 A 30	26	16	20	—	D 22 A 30
Bronce Corriente...	D 42 A 56	38	D 34 A 46	32	26	20	10	D 30 A 40
Bronce Fosforoso...	D 18 A 30	16	D 14 A 20	12	10	10	8	D 12 A 18
Hierro fundido 15 Kg/mm <sup>2</sup> .....	D 22 A 26	20	D 18 A 24	16	12	12	4	D 16 A 22
Hierro fundido 18 Kg/mm <sup>2</sup> .....	D 20 A 24	18	D 16 A 22	15	12	10	4	D 14 A 20
Hierro fundido 22 Kg/mm <sup>2</sup> .....	D 16 A 20	14	D 14 A 20	12	9	9	4	D 12 A 18
Hierro fundido 26 Kg/mm <sup>2</sup> .....	D 12 A 14	11	D 10 A 14	9	7	8	3	D 8 A 12

D = Desbaste. A = Afinado. \* Con cuchilla o macho. \*\* En limadoras y acepilladoras.

# **ANEXO C**



[www.pololu.com](http://www.pololu.com)

### Dimensiones

Tamaño	37D x 69L mm
Peso	8,1 oz
Diámetro del eje	6 mm

### Datos Generales

Relación de engranajes	131:1
Velocidad sin carga a 6 V	40 rpm <sup>1</sup>
Corriente sin carga a 6 V	250 mA <sup>1</sup>
Corriente de rotor bloqueado a 6 V	2500 mA <sup>1</sup>
Torque de rotor bloqueado a 6V	125 oz-in <sup>1</sup>
Velocidad sin carga a 12 V	80 rpm
Libre del motor de corriente a 12 V	300 mA
Corriente de rotor bloqueado a 12 V	5000 mA
Torque de rotor bloqueado a 12 V	250 oz-in
Longitud del cable:	11 in

<sup>1</sup> El motor funcionará a 6 V, pero está pensada para funcionar a 12 V.

**RoboClaw 2x15A Motor Controller****Data Sheet****Feature Overview:**

- 2 Channels at 15Amp each, Peak 30Amp
- 3.3V Compliant Outputs
- 5V Tolerant Inputs
- Battery Elimination Circuit (BEC)
- Switching Mode BEC
- Hobby RC Radio Compatible
- Serial Modes
- TTL Input
- Analog Mode
- 2 Channel Quadrature Decoding
- Thermal Protection
- Lithium Cut Off
- Packet Serial with Error Detection
- High Speed Direction Switching
- Flip Over Switch
- Over Current Protection
- Regenerative Braking
- USB Capable(Optional)

**Basic Description**

The RoboClaw 2X15 Amp is an extremely efficient, versatile, dual channel synchronous regenerative motor controller. It supports dual quadrature encoders and can supply two brushed DC motors with 15 amps per channel continuous and 30 amp peak.

With support for dual quadrature decoding you get greater control over speed and velocity. Automatically maintain a speed even if load increases. RoboClaw uses PID calculations with feed forward in combination with external quadrature encoders to make an accurate control solution.

RoboClaw is easy to control with several built in modes. It can be controlled from a standard RC receiver/transmitter, serial device, microcontroller or an analog source, such as a potentiometer based joystick. RoboClaw is equipped with screw terminal for fast connect and disconnect. All modes are set by the onboard mode buttons making setup a snap!

**Optical Encoders**

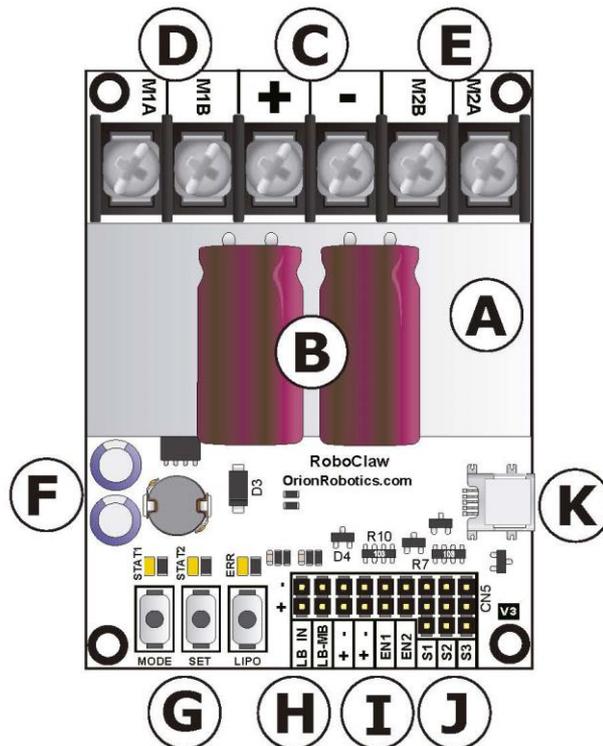
RoboClaw features dual channel quadrature decoding. RoboClaw gives you the ability to create a closed loop motion system. Now you can know a motors speed and direction giving you greater control over DC motors systems.

**Power System**

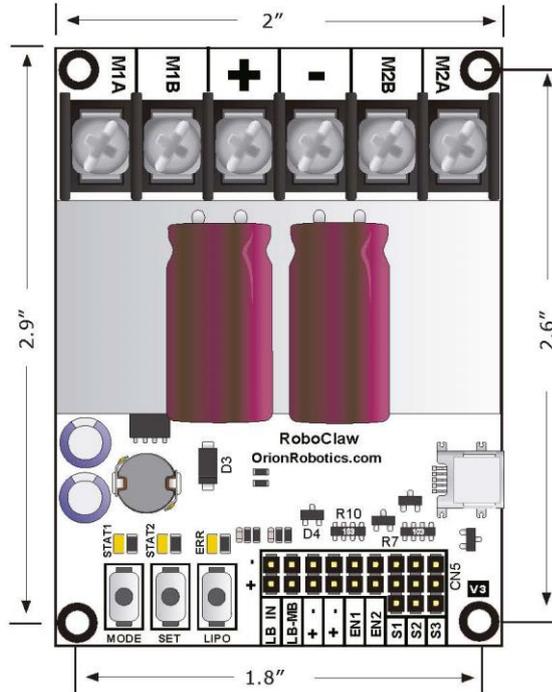
The RoboClaw is equipped with synchronous regenerative motor drivers. This means your battery is recharged when slowing down, braking or reversing. In addition a switching mode BEC is included. It can supply a useful current of up to 3Amps at 5v. The BEC is meant to provide power to a microcontroller or RC receiver.

**RoboClaw 2x15A Motor Controller****Data Sheet**

## Hardware Overview:



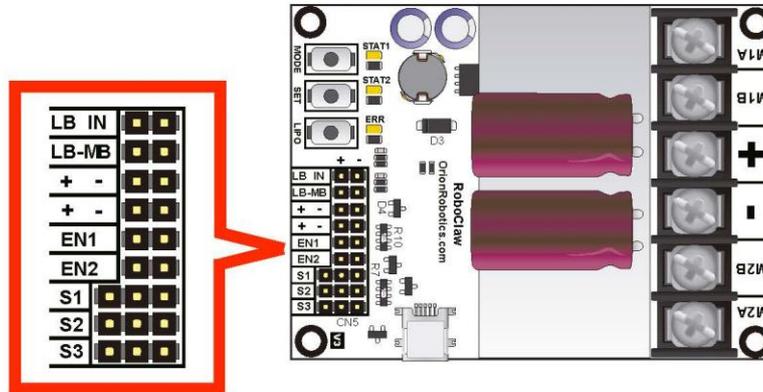
- A:** Heat Sink
- B:** Power Stabilizers
- C:** Main Battery Input
- D:** Motor Channel 1
- E:** Motor Channel 2
- F:** BEC 3A Circuit
- G:** Setup Buttons
- H:** Logic Voltage Source Selection Header
- I:** Encoder Inputs
- J:** Controller Inputs
- K:** USB Connector - MiniB (Optional)

**RoboClaw 2x15A Motor Controller****Data Sheet****Dimensions:**

**Board Edge:** 2"W X 2.9"L  
**Hole Pattern:** 0.125D, 1.8"W x 2.6"H

(c) 2013 Orion Robotics. All Rights Reserved.

Header Overview



**Logic Battery (LB IN)**

The logic circuits can be powered from the main battery or a secondary battery wired LB IN. The positive (+) terminal is located at the board edge and ground (-) is the inside pin near the heatsink. Remove LB-MB jumper if power is applied to LB IN.

**BEC Source (LB-MB)**

RoboClaw logic requires 5VDC which is provided from the on board BEC circuit. The BEC source input is set with the LB-MB jumper. Install a jumper on the 2 pins labeled LB-MB to use the main battery as the BEC power source. Remove this jumper if using a separate logic battery.

**Encoder Power (+ -)**

The pins labeled + and - are the source power pins for encoders. The positive (+) is located at the board edge and supplies +5VDC. The ground (-) pin is near the heatsink.

**Encoder Inputs (EN1 / EN2)**

EN1 and EN2 are the inputs from the encoders. Channel A of both EN1 and EN2 are located at the board edge. Channel B pins are located near the heatsink. When connecting the encoder make sure the leading channel for the direction of rotation is connected to A. If one encoder is backwards to the other you will have one internal counter counting up and the other counting down. Which can affect how RoboClaw operates. Refer to the data sheet of the encoder you are using for channel direction.

**Control Inputs (S1 / S2 / S3)**

S1, S2 and S3 are setup for standard servo style headers I/O, +5V and GND. S1 and S2 are the control inputs for serial, analog and RC modes. S3 can be used as a flip switch input when in RC or Analog modes. In serial mode S3 becomes an emergency stop. S3 is active when pulled low. It is internally pull up so it will not accidentally trip when left floating. The pins closest to the board edge are the I/Os, center pin is the +5V and the inside pins are ground. Some RC receivers have their own supply and will conflict with the RoboClaw's logic supply. It may be necessary to remove the +5V pin from the RC receivers cable in those cases.

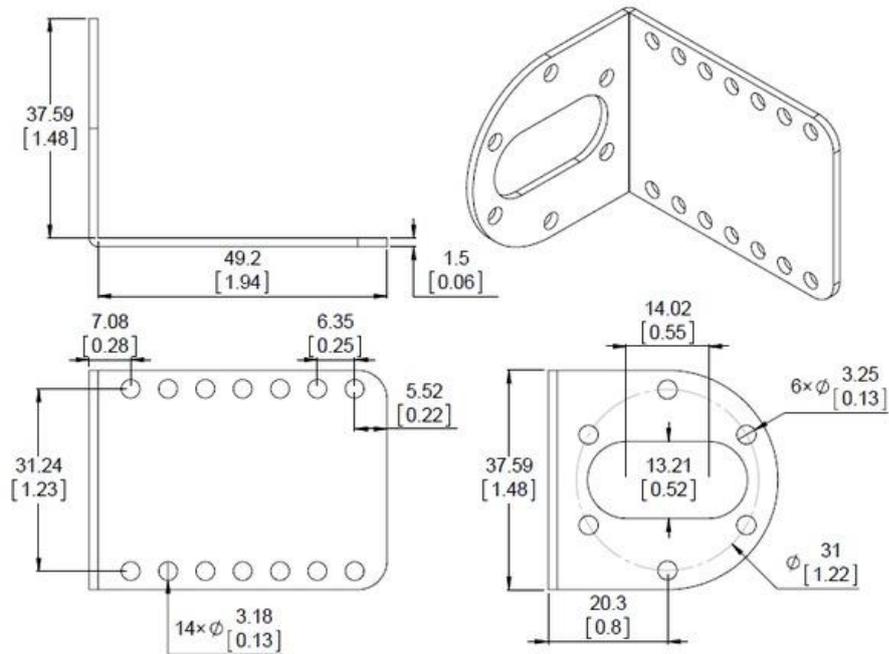
<b>ANEXO C3</b>	<b>Características técnicas de la tarjetas principal (Arduino Uno)</b>	<b>Hoja 1 de 1</b>
-----------------	--	--------------------

<b>Dimensiones</b>	
Tamaño	2,95" x 2.1"
Peso	28g
<b>Datos Generales</b>	
Procesador:	ATmega328 @ 16 MHz
Memoria RAM:	2048 bytes
Memoria de programación:	31.5 Kbytes
Canales de motor:	0
Líneas de usuario de E/S:	20 <sup>1</sup>
Máxima corriente en las señales de E/S:	40 mA
Voltaje mínimo de operación:	7 V
Voltaje máximo de operación:	12 V
Protección contra voltaje inverso:	N
Requerimiento de programador externo:	N <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Los 20 pines pueden ser usadas como E/S digitales y 6 pueden ser usadas como entradas análogas.

<sup>2</sup> Se requiere de un programador externo para configurar los fuses o para actualizar el firmware de la tarjeta.

ANEXO C4	Características técnicas del soporte de aluminio en L	Hoja 1 de 1
----------	---	-------------



Datos extraídos de <http://www.pololu.com/product/1084>

# **ANEXO D**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**AUTORES:       CAPILLA FALCÓN, CARLOS ALBERTO  
                      PULLOQUINGA ZAPATA, JOSÉ LUIS**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE  
SISTEMA AUTOMATIZADO DE ALMACENAMIENTO/  
RECUPERACIÓN (AS/RS), PARA SISTEMAS FLEXIBLES DE  
MANUFACTURA EN EL LABORATORIO CNC DE LA ESPE  
EXTENSIÓN LATACUNGA, UTILIZANDO PROCESAMIENTO  
DIGITAL DE IMÁGENES.**

**DIRECTOR: ING. ACUÑA, FAUSTO**

**CODIRECTOR: ING. GALARZA, EDDIE**

**LATACUNGA, SEPTIEMBRE 2014**