



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA 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 CAMBIADOR
AUTOMÁTICO PARA TRES HERRAMIENTAS DEL BRAZO
ROBÓTICO KUKA KR 16-2 EN EL LABORATORIO DE
ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE-L.”**

**AUTORES: GONZÁLEZ VALLEJO JUAN CARLOS
MORALES VIZUETE ORLANDO FABRICIO**

**DIRECTOR: ING. SINGAÑA MARCO
CODIRECTOR: ING. ACUÑA FAUSTO**

LATACUNGA

2015

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

CERTIFICADO

ING. MARCO SINGAÑA (DIRECTOR)

ING. FAUSTO ACUÑA (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CAMBIADOR AUTOMÁTICO PARA TRES HERRAMIENTAS DEL BRAZO ROBÓTICO KUKA KR 16-2 EN EL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE-L.”** realizado por: Juan Carlos González Y Orlando Fabricio Morales Vizuite, 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-L.

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

Latacunga, Marzo del 2015

Ing. Marco Singaña
DIRECTOR

Ing. Fausto Acuña
CODIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE LA FUERZAS ARMADAS – ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros,

JUAN CARLOS GONZÁLEZ VALLEJO y
ORLANDO FABRICIO MORALES VIZUETE

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CAMBIADOR AUTOMÁTICO PARA TRES HERRAMIENTAS DEL BRAZO ROBÓTICO KUKA KR 16-2 EN EL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE-L.”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas constan al pie de las páginas correspondientes, 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.

JUAN CARLOS GONZÁLEZ.
C.C: 1804268983

ORLANDO FABRICIO MORALES
C.C: 1804281838

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

AUTORIZACIÓN

Nosotros,

JUAN CARLOS GONZÁLEZ VALLEJO
ORLANDO FABRICIO MORALES VIZUETE

Autorizamos a la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE, la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CAMBIADOR AUTOMÁTICO PARA TRES HERRAMIENTAS DEL BRAZO ROBÓTICO KUKA KR 16-2 EN EL LABORATORIO DE ROBÓTICA INDUSTRIAL DE LA ESPE-L.”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

JUAN CARLOS GONZÁLEZ.

C.C: 1804268983

ORLANDO FABRICIO MORALES.

C.C: 1804281838

DEDICATORIA

Quiero dedicar este sueño cristalizado, todo el esfuerzo y trabajo de mi proyecto de tesis a mis padres Juan y Marcia, quienes siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y consejos en todos los momentos difíciles, gracias por la confianza y todos los valores que depositaron en mí, por el apoyo incondicional día tras día. Esto va dedicado especialmente a los seres que me dieron la vida y confiaron en que me convertiría en un hombre de bien.

Juan C González.

DEDICATORIA

Esta tesis dedico a Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, a mi hija Doménica quien entendió el sacrificio de estar ausente en momentos importantes de su crecimiento, a mi esposa que ha estado presente este duro camino apoyándome hasta el final, a mis padres que gracias a su apoyo y su esfuerzo me facilitaron el camino para concluir mi carrera.

Fabricio Morales.

AGRADECIMIENTO

Los más sinceros agradecimientos corresponden para nuestros tutores de tesis, quienes supieron guiarnos en la elaboración de este trabajo, que representa para nosotros un logro muy importante en nuestra carrera profesional.

Juan C González y Fabricio Morales

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I.....	1
FUNDAMENTO TEÓRICO	1
1.2. Cambiador automático de herramientas	2
a. Plato “master”	2
b. Plato “tool”.....	3
c. Plato en “v”	3
d. Estante de herramientas.....	4
e. Módulo de montaje	4
1.2.3. Selección del modelo:.....	5
1.2.6. Información del brazo robótico.....	9
1.3. Alternativas de diseño.....	14
1.3.1. “qc 40q” ati.....	15
1.4. Materiales para el mecanizado	19
1.4.1. Aluminio	19
1.5. Solidcam	22
1.6.4. Posiciones a comprobar.....	24
CAPÍTULO II.....	30
FASE DE DISEÑO.....	30
2.1. Diseño y análisis del sistema mecánico.....	30
2.1.1. Parámetros de diseño mecánico.....	30
2.1.2. Diseño y análisis del “master” y “tool”	31

2.1.3. “master”.....	32
2.1.4. Mecanismo de bloqueo.....	35
2.1.5. “tool”.....	51
2.1.7. Cálculo de esfuerzos del estante de herramientas.....	55
2.1.8. Módulo de montaje.....	66
2.1.9. Plato en “v”.....	67
2.1.10. Pin de alineación.....	67
2.1.11. Análisis estático del cambiador.....	68
2.2. Diseño y análisis del sistema eléctrico-electrónico.....	69
2.2.1. Parámetros de diseño eléctrico - electrónico.....	69
2.2.2. Selección de los módulos eléctricos.....	69
2.2.4. Sensores de proximidad.....	73
2.3. Diseño y análisis del sistema neumático.....	74
2.3.1. Parámetros de diseño.....	74
2.3.2. Selección de la válvula solenoide.....	75
2.3.3. Filosofía de acople entre “master” y “tool”.....	76
2.4. Sistema de seguridad.....	77
2.4.1. Sensor de colisión “ops-100”.....	77
2.5. Parámetros de diseño del sistema de control.....	78
2.5.1. Programación del cambiador de herramientas.....	78
2.5.2. Lógica para tomar una herramienta.....	79
2.5.3. Lógica para dejar una herramienta.....	80
CAPÍTULO III.....	81
CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN.....	81
3.1. Modelado de las piezas.....	81
3.2. Selección de la máquina cnc.....	82
3.3. Mecanizado de las piezas.....	82
3.3.1. Mecanizado del plato “master”.....	82
3.4. Montaje de “master” y “tool”.....	83
3.4.1. Montaje del plato “master”.....	83
3.4.2. Montaje del plato “tool”.....	83
3.4.3. Plato interfaz del robot.....	84
3.4.4. Plato en “v”.....	85

3.5. Implementación del sistema eléctrico –electrónico	86
3.5.1. Sensor de bloqueo-desbloqueo	86
3.5.2. Módulos eléctricos	88
3.5.3. Solenoides	89
3.6. Implementación de componentes neumáticos	89
3.6.1. “o-rings” en los platos “tools”	89
3.6.2. Racores neumáticos	90
3.7. Implementación del sistema de seguridad	91
CAPÍTULO IV	93
PRUEBAS Y RESULTADOS	93
4.1. Protocolo de pruebas del sistema	93
4.2. Pruebas de tiempo de cambio	93
4.2.3. Análisis de resultados	95
4.4. Pruebas del sistema mecánico	101
4.5. Pruebas del sistema eléctrico – electrónico	102
4.6. Validación de la hipótesis.....	103
4.7. Análisis financiero	103
CAPÍTULO V	107
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
5.1. Conclusiones	107
5.2. Recomendaciones	109
BIBLIOGRAFÍA	111
LINKOGRAFÍA.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Plato “master”	2
Figura 1.2	Plato “tool”	3
Figura 1.3	Plato en "v"	3
Figura 1.4	Estante de herramientas	4
Figura 1.5	Módulo de montaje	4
Figura 1.6	Motor Jäger Chopper 1500 H	5
Figura 1.7	Pinza Paralela Schunk de 2 Garras PFH 30-60	6
Figura 1.8	Ventosa GSW-V 32	7
Figura 1.9	Robot KUKA KR 16-2	10
Figura 1.10	Distribución de cargas	11
Figura 1.11	Partes Principales del Robot	11
Figura 1.12	Articulaciones del Robot	12
Figura 1.13	Brida de acople para la muñeca central	13
Figura 1.14	Fuerzas y momentos	13
Figura 1.15	“QC 40Q” de Industrial Automation	15
Figura 1.16	Cambiador Automático de Herramientas SWS	16
Figura 1.17	Cambiador Automático de Herramientas SWS-I	17
Figura 1.18	SolidCAM	22
Figura 1.19	Cubo dentro del espacio de trabajo	24
Figura 1.20	Plano seleccionado y plano de medida	25
Figura 1.21	Plano seleccionado y plano de medida	25
Figura 2.1	Cambiador automático de herramientas “QC-40Q”	30
Figura 2.2	Centro de gravedad de la carga P	32
Figura 2.3	Dimensiones del “master”	33
Figura 2.4	Tensión de vonMises “master”	34
Figura 2.5	Diámetro del plato “master”	35
Figura 2.6	Cilindro neumático	36
Figura 2.7	Esferas del Sistema de Bloqueo	42
Figura 2.8	Diagrama de fuerzas	43
Figura 2.9	Huella de contacto “a”	44
Figura 2.10	Esfera $R1 = 5.5\text{mm}(0.2165\text{ in})$	44
Figura 2.11	Cam – Back $R2 = 17.51(0.6894\text{ in})$	45
Figura 2.12	Plato “tool”	51
Figura 2.13	Tensión de vonMises “tool”	52
Figura 2.14	Estante para las herramientas tipo “T”	53
Figura 2.15	Dimensiones del estante de herramientas tipo “T”	54
Figura 2.16	Esfuerzos cortantes y momentos	56
Figura 2.17	Vista sección del perfil	60
Figura 2.18	Perfil FISA-1398	62
Figura 2.19	Perfil Adaptado	63
Figura 2.20	Perfil Vertical del estante de herramientas	63
Figura 2.21	Resultado de los esfuerzos en la columna	64
Figura 2.22	Placa base para el Estante	66

Figura 2.23	Módulo de montaje	67
Figura 2.24	Plato en “v”	67
Figura 2.25	Pin de alineación	68
Figura 2.26	Factor de seguridad del estante de herramientas.....	68
Figura 2.27	Guías del perfil para el módulo de montaje	69
Figura 2.28	Conector Soviético eléctrico hembra y macho	71
Figura 2.29	Conector Aviación Eléctrico Hembra y Macho	72
Figura 2.30	Sensor mecanismo de bloqueo.....	73
Figura 2.31	Sensor SICK IM05-0B8NS-ZW1	73
Figura 2.32	Válvula Solenoide Direccional.....	75
Figura 2.33	Estado del mecanismo (Desbloqueado/Bloqueado).....	76
Figura 2.34	Diagrama del funcionamiento neumático	77
Figura 2.35	Sensor de Colisión “OPS-100”	77
Figura 2.36	Diagrama de flujo para tomar una herramienta.....	79
Figura 2.37	Diagrama de flujo para dejar una herramienta	80
Figura 3.1	“HAAS MINI MILL 2”	82
Figura 3.2	Montaje del plato “master”	83
Figura 3.3	Montaje del plato “tool”	84
Figura 3.4	Montaje robot-”master”	85
Figura 3.5	Montaje del plato en “v”	86
Figura 3.6	Implementación de los sensores de bloqueo/desbloqueo.....	86
Figura 3.7	Entradas digitales de los sensores celda número 2.....	87
Figura 3.8	Entradas digitales de los sensores celda número 3.....	87
Figura 3.9	Módulo eléctrico “master”	88
Figura 3.10	Módulo eléctrico “tool”	88
Figura 3.11	Salidas digitales de las válvulas solenoides	89
Figura 3.12	O-rings en el plato “tool”	90
Figura 3.13	Racores neumáticos en el plato “master”	90
Figura 3.14	Racor neumático en el plato “tool”	91
Figura 3.15	Racores neumáticos válvula solenoide	91
Figura 3.16	Sensor de colisión “OPS-100”	92
Figura 4.1	Análisis de tiempos de cambio de las herramientas	96
Figura 4.2	Planos y puntos para el ensayo	97
Figura 4.3	Ilustración de ciclos posibles	98
Figura 4.4	Resultados del error de precisión en el Eje X	99
Figura 4.5	Resultados del error de precisión en el Eje Y	99
Figura 4.6	Resultados del error de precisión en el Eje Z	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Herramientas a Implementarse al cambiador.....	7
Tabla 1.2 Valores de Masa por cada Herramienta.....	8
Tabla 1.3 Valores Centro de Gravedad de las Herramientas	8
Tabla 1.4 Momentos de Inercia de las herramientas	9
Tabla 1.5 Datos límites de cargas.....	10
Tabla 1.6 Necesidades para el cambiador automático.....	14
Tabla 1.7 Ventajas y Desventajas Cambiador de ATI	15
Tabla 1.8 Ventajas y Desventajas de SWS	17
Tabla 1.9 Ventajas y Desventajas de SWS-I.....	18
Tabla 1.10 Cambiadores automáticos ofertados en el mercado	19
Tabla 1.11 Número de ciclos.....	26
Tabla 2.1 Condiciones para el cilindro	36
Tabla 2.2 Coeficiente de rozamiento (en seco).....	37
Tabla 2.3 Dimensiones de las herramientas.....	55
Tabla 2.4 Pesos de las herramientas y las monturas de perfil	56
Tabla 2.5 Características eléctricas de las herramientas	70
Tabla 2.6 Características técnicas del conector Soviético	71
Tabla 2.7 Características Técnicas Conectores Aviación	72
Tabla 2.8 Características neumáticas de las herramientas	74
Tabla 2.9 Válvulas Direccionales Chelic	75
Tabla 2.10 Características Técnicas del Sensor Colisión “OPS-100”.....	78
Tabla 3.1 Modelado de las piezas mecánicas.....	81
Tabla 4.1 Tiempos de cambio de las herramientas en forma manual	94
Tabla 4.2 Tiempos de cambio de las herramientas con el cambiador.....	95
Tabla 4.3 Tiempos de cambio de las herramientas	96
Tabla 4.4 Posiciones para las características de posicionamiento	97
Tabla 4.5 Resultados de exactitud y repetibilidad.....	101
Tabla 4.6 Lista de chequeo del sistema mecánico	102
Tabla 4.7 Potencia consumida.....	102
Tabla 4.8 Nómina de elementos utilizados en proyecto.....	103
Tabla 4.9 Costo de mano de obra.....	105

RESUMEN

Actualmente el sector industrial del país está abriendo caminos a la automatización y optimización de procesos de manufactura, con el fin de mejorar la eficiencia en los productos y así poder entrar a un mercado competitivo nacional e internacional. Con esta filosofía, el Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE-L busca aportar con conocimientos científicos a la automatización de procesos industriales a través de la construcción de un cambiador automático de herramientas, el objetivo de este proyecto es el de diseñar y construir un cambiador automático para tres herramientas del brazo robótico KUKA KR 16-2 y así ampliar las aplicaciones del brazo robótico, para optimizar procesos, tiempo, e innovar el Laboratorio.- El presente proyecto de tesis propone el diseño y construcción de un cambiador automático de herramienta, un acople con dos partes que se adaptan entre sí normalmente llamadas “master” y “tool” que han sido diseñadas para acoplarse automáticamente y son capaces de pasar los servicios tales como señales eléctricas, neumáticos, hidráulicas, etc. El robot con cambiador de herramientas proporcionará flexibilidad para cualquier proceso automatizado con el fin de cambiar las herramientas y servicios.

Palabras Clave:

- **MECATRÓNICA**
- **LABORATORIOS ESPEL-BRAZOS ROBÓTICOS**
- **CAMBIADOR AUTOMÁTICO DE HERRAMIENTAS**
- **OPTIMIZACIÓN DE LAS APLICACIONES ROBÓTICAS**

ABSTRACT

Currently the industrial sector of the country is opening paths to automation and optimization of manufacturing processes in order to improve efficiency in products and be able to enter a competitive national and international market. With this philosophy, the Laboratory of Industrial Robotics ESPE -L seeks to contribute to the scientific process automation through the construction of an automatic “tool” changer knowledge, the objective of this project is to design and build an automatic “tool” changer three KUKA KR 16-2 robot arm and expand the applications of robotic arm, to optimize processes, time, and innovate the Laboratory.- This thesis project proposes the design and construction of a robotic “tool changer” , a coupling with two parts that fit together usually called “master” and “tool” have been designed to engage automatically and are able to pass such services as electrical, pneumatic , hydraulic , etc. . The robot “tool” changer provide flexibility for any automated process in order to change “tools” and services.

Key Words:

- **MECHATRONICS**
- **LABORATORIES ESPEL-ROBOTIC ARM**
- **AUTOMATIC TOOL CHANGER**
- **OPTIMIZATION OF ROBOTIC APPLICATIONS**

PRESENTACIÓN

El presente proyecto describe el proceso de diseño y construcción de un cambiador automático de tres herramientas para el robot KUKA KR 16-2, referente a la función que realiza para el intercambio de tres herramientas, centrándose en optimizar tiempos de cambio entre cada herramienta y clasificación de las herramientas.

El capítulo I, contiene información referente a herramientas para brazo robótico industrial, cambiador automático de herramientas, brazo robótico KUKA KR 16-2 y parámetros de selección de cambiadores para el brazo robótico, información necesaria para para el desarrollo del proyecto.

En el Capítulo II, se presenta el diseño del cambiador de herramientas; diseño y análisis del sistema mecánico, diseño y análisis del sistema eléctrico-electrónico, diseño y análisis del sistemas neumático, características que se usa para la implementación, componentes y funciones que realiza cada uno de ellos, seguridades que se implementan y que deben ser conocidas por el personal que trabajará en la celda.

El Capítulo III, describe los pasos que se siguieron para la construcción e implementación del cambiador de herramientas; mecanizado de piezas, montaje de “master” y “tool”, implementación del sistema eléctrico-electrónico, implementación de componentes neumáticos, implementación del sistema de seguridad; así como la programación del cambiador de herramientas.

En el Capítulo IV, se observa los resultados obtenidos de la aplicación de las pruebas experimentales realizadas al sistema del cambiador de herramientas, con lo cual se determinó el comportamiento del sistema mecánico, sistema eléctrico-electrónico, sistema de seguridad, operación del sistema completo, y análisis financiero, los mismos que permiten validar la hipótesis planteada.

En el Capítulo V, se presenta las conclusiones y recomendaciones que servirán de base para proyectos futuros.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES DEL CAMBIADOR AUTOMÁTICO DE HERRAMIENTAS

A nivel mundial las industrias que manejan brazos robóticos, para los diversos procesos dentro de una planta son implementadas con cambiadores automáticos de herramientas, con el fin de aumentar las aplicaciones de uso e incrementar la productividad.

El cambiador de herramientas proporciona flexibilidad para cualquier proceso automatizado con el fin de cambiar herramientas y servicios: eléctricos, neumáticos, y fluidos.

En nuestro país son pocas las industrias que manejan brazos robóticos, los mismos que realizan una sola aplicación debido a la falta de un cambiador. En el Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE-L se dispone de 6 herramientas para los dos brazos robóticos KUKA KR 16-2, dividido en dos grupos de tres herramientas para la celda número 2 y 3; por lo que es necesario diseñar y construir un cambiador de herramientas.

El cambio y montaje de una herramienta (pinza, ventosa, cabezal fresador), en el brazo robótico, es un proceso muy lento y complejo; lo cual se refleja en el tiempo de montaje y el desaprovechamiento de la utilización de todas las herramientas

La elaboración del presente proyecto responde al deseo de la Universidad conjuntamente con el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, de implementar un sistema de acople automático de herramientas, para aumentar las aplicaciones del brazo robótico, empleando recursos y medios disponibles en nuestro país.

1.2. CAMBIADOR AUTOMÁTICO DE HERRAMIENTAS

Es un efector final con dos partes que se adaptan entre sí normalmente llamadas “master” y “tool” que han sido diseñadas para acoplarse automáticamente y son capaces de pasar los servicios tales como: señales eléctricas, fluidos neumáticos e hidráulicos. La mayoría de los cambiadores de herramientas usan sistemas neumáticos para acoplarse entre sí; proporcionando flexibilidad para cualquier proceso automatizado con el fin de cambiar las herramientas. (ATI AUTOMATION, 2013).

1.2.1. COMPONENTES DE UN CAMBIADOR

Los componentes de un cambiador de herramientas son los siguientes:

a. PLATO “MASTER”

Como se muestra en la Figura 1.1, es el plato principal del sistema, en el cual tenemos el mecanismo de acople macho con las bolas de acero; para poder acoplar o desacoplar el plato “tool”, además posee pasos de aire hacia las herramientas y la versatilidad de adaptar módulos eléctricos.

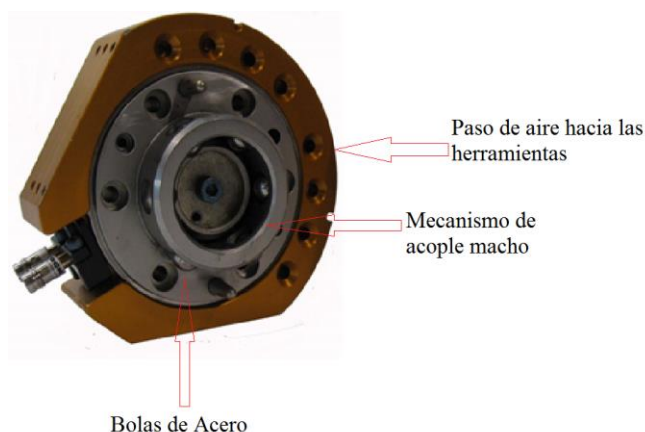


Figura 1.1 Plato “master”

Fuente: http://www.ati-ia.com/Library/documents/ati_qc_cat.pdf

b. PLATO "TOOL"

Como se muestra en la Figura 1.2, es aquel que sujeta la herramienta a cambiar y posee el disco de seguridad para que el mecanismo de bloqueo pueda realizar el acople entre "master" y "tool", además posee pasos de aire desde el "master" hacia la herramienta, y módulos eléctricos para el paso de señales.

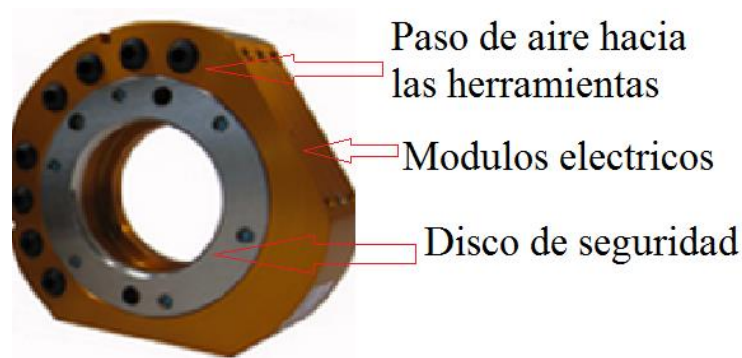


Figura 1.2 Plato "tool"

Fuente: <http://www.ati-ia.com/products/toolchanger/QC.aspx?ID=QC-40Q>

c. PLATO EN "V"

Es el plato de interfaz entre el plato "tool" y la herramienta a sujetar como se muestra en la Figura 1.3, el diseño de dicho plato depende de las características de sujeción que tenga la herramienta a implementarse.

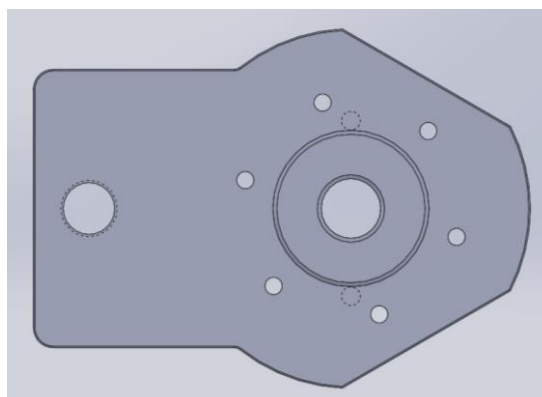


Figura 1.3 Plato en "v"

d. ESTANTE DE HERRAMIENTAS

En la Figura 1.4 se muestra el estante o soporte; es el lugar de almacenamiento de las herramientas y el diseño depende del número de herramientas, posicionamiento, orientación y disposiciones de montaje requeridos.



Figura 1.4 Estante de herramientas

Fuente: <http://www.atia.com/products/toolchanger/toolstand/small/SmallStand.aspx>

e. MÓDULO DE MONTAJE

Como se muestra en la Figura 1.5, es la sujeción entre la herramienta y el estante, el diseño depende del tamaño de la herramienta a sujetar en el estante, el módulo de montaje posee pines receptores para anclar el plato en “v”, además un pin de alineación para estabilizar a la herramienta.

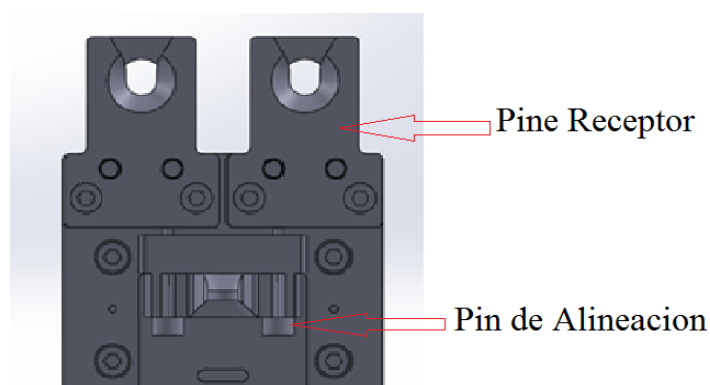


Figura 1.5 Módulo de montaje

1.2.2. PARÁMETROS PARA SELECCIONAR EL CAMBIADOR

Para la selección necesitamos considerar los siguientes ítems:

1.2.3. SELECCIÓN DEL MODELO:

- Dimensiones de las herramientas
- Pesos de las herramientas
- Momentos de inercia a los que está sometido el brazo robótico
- Centro de gravedad de las herramientas
- Momentos de inercia de las herramientas

1.2.4. HERRAMIENTAS DEL BRAZO ROBÓTICO KUKA KR 16-2

a. MOTOR JÄGER CHOPPER “1500 H”

En la Figura 1.6 se muestra el motor Jäger, es un husillo de alta frecuencia para aplicaciones de mecanizado en alta velocidad. El husillo de alta frecuencia facilita velocidades extremadamente altas de las herramientas, para los datos técnicos ver ANEXO B1.



Figura 1.6 Motor Jäger Chopper 1500 H

Fuente: <http://www.alfredjaeger.de/en/chopper/Chopper-1500-H.html>

b. PINZA PARALELA SCHUNK DE 2 GARRAS PFH 30-60

En la Figura 1.7 se muestra la pinza paralela de 2 garras con mordazas de carrera larga para piezas grandes y/o una amplia gama de piezas, su campo de aplicación son entornos limpios y de ligera contaminación, para los datos técnicos ver ANEXO B2 (SCHUNK, directindustry, 2014).



Figura 1.7 Pinza Paralela Schunk de 2 Garras PFH 30-60

Fuente:

http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/PFH_030_ES.pdf

c. GRIPPER NEUMÁTICO TIPO VENTOSA SCHUNK

El sistema de gripper de vacío GSW-V 32 como se muestra en la Figura 1.8 integra el generador de vacío, aplicando directamente el vacío a las partes a manipular siendo el tiempo de respuesta muy rápido con relación a posiciones remotas, adicionalmente la disposición discreta ayuda a la operación de manipulación segura y efectiva, para los datos técnicos ver ANEXO B5.



Figura 1.8 Ventosa GSW-V 32

Fuente:

http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/PFH_030_ES.pdf

Las herramientas a implementar son las descritas anteriormente, las mismas que se dividen en dos grupos que ocupa cada celda como se indica en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1

Herramientas a Implementarse al cambiador

CELDA 2	HERRAMIENTAS
	PINZA CARRERA CORTA
	MOTOR JÄGER
	VENTOSA
CELDA 3	PINZA CARRERA CORTA
	PINZA CARRERA LARGA
	VENTOSA

1.2.5. CÁLCULO DEL MOMENTO DE INERCIA

Para determinar los momentos de inercia a los cuales está sometido el brazo robótico cuando está colocada unas de las tres herramientas por cada celda; consideramos las propiedades físicas de las herramientas como su

masa, que se describen en la Tabla 1.2 y para determinar los centros de gravedad de cada herramienta se utilizó el software SolidWorks 2014, los valores se detallan en la Tabla 1.3.

Tabla 1.2

Valores de Masa por cada Herramienta

HERRAMIENTA	MARCA	MASA
PINZA CARRERA CORTA	SCHUNK	3.5 KG
PINZA CARRERA LARGA	SCHUNK	3.5 KG
VENTOSA	SCHUNK	0.23 KG
MOTOR FRESADOR	JÄGER	6 KG

Tabla 1.3

Valores Centro de Gravedad de las Herramientas

HERRAMIENTA	CENTRO DE GRAVEDAD (mm)		
	DX	DY	DZ
PINZA CARRERA CORTA	0.10	2.25	36.19
PINZA CARRERA LARGA	0.12	2.35	46.19
VENTOSA	0.01	3.41	26.14
MOTOR JÄGER	0.0	-6.01	54.62

Una vez calculados los centros de gravedad de cada herramienta, calculamos los momentos de inercia usando la hoja de cálculo de Excel que están en el ANEXO E2, los momentos resultantes se muestran en la Tabla 1.4

Tabla 1.4

Momentos de Inercia de las herramientas

Herramientas	PINZA C. LARGA	VENTOSA	PINZA C. CORTA	MOTOR JÄGER
Mx(Nm)=	8,835916	4,161914	8,835916	11,788
My(Nm)=	0,449543	0,542928	0,449543	-1,297
Mz(Nm)=	0,022955	0,001592	0,022955	0

1.2.6. INFORMACIÓN DEL BRAZO ROBÓTICO

- Datos límites de cargas
- Partes principales
- Ejes de rotación y sentidos de giro
- Dimensiones de la brida de acople para la muñeca central
- Fuerzas y momentos del brazo

a. DATOS TÉCNICOS DEL ROBOT KUKA KR 16-2

Es el robot más solicitado gracias a su versatilidad y flexibilidad, como se muestra en la Figura 1.9. Este brazo dispone de una capacidad de carga nominal de 16 Kg y su construcción lo convierte en idóneo para aquellas aplicaciones en las que se desea ahorrar espacio (ROBOTICS, KUKA KR 16-2, 2014, pág. 2). Demás características técnicas del brazo se muestran en el ANEXO C.



Figura 1.9 Robot KUKA KR 16-2

Fuente: http://www.kuka-robotics.com/es/products/industrial_robots/low/kr16_2/

Tabla 1.5

Datos límites de cargas

1. Tipo de robot	KR-16
2. Muñeca Central (Kg)	MC 16
3. Carga nominal (Kg)	16
4. Carga adicional brazo(Kg)	10
5. Carga adicional brazo de oscilación(kg)	Variable
6. Carga adicional columna giratoria(Kg)	20
7. Carga total máx.(Kg)	46

Fuente: file:///C:/Users/User/Downloads/spez_kr6_es.pdf

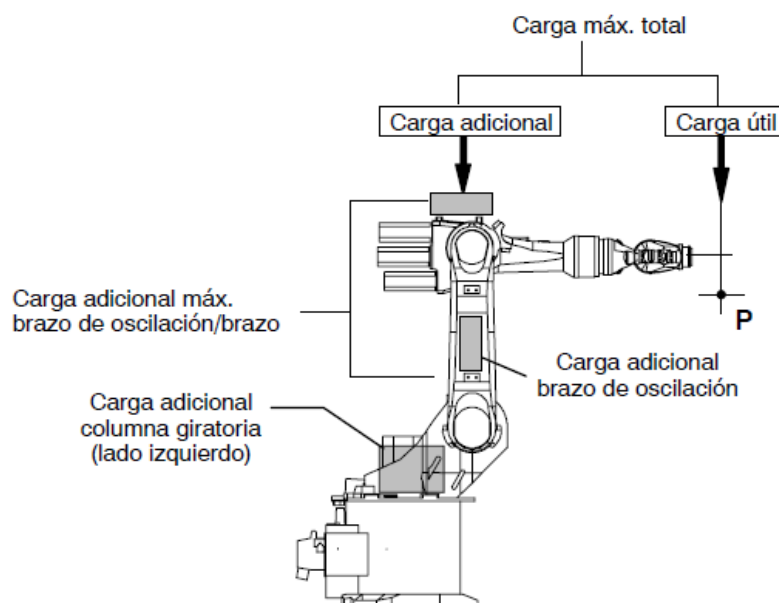


Figura 1.10 Distribución de cargas

Fuente: file:///C:/Users/User/Downloads/spez_kr6_es.pdf

b. PARTES PRINCIPALES DEL ROBOT

En la Figura 1.11 tenemos las partes principales del robot las cuales son:

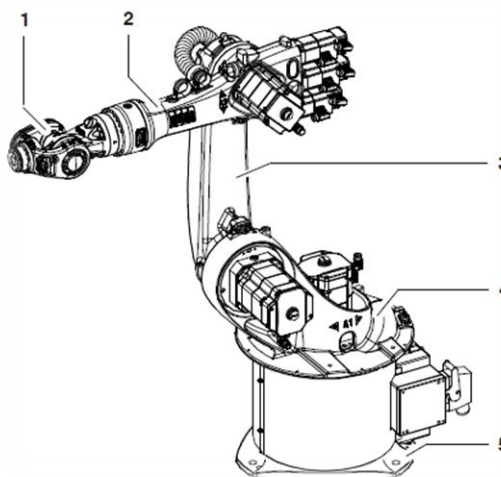


Figura 1.11 Partes Principales del Robot

Fuente: file:///C:/Users/User/Downloads/spez_kr6_es.pdf

- 1) Muñeca
- 2) Brazo
- 3) Brazo enlace
- 4) Columna rotacional
- 5) Base

c. EJES DE ROTACIÓN Y SENTIDOS DE GIRO EN EL MOVIMIENTO

En la Figura 1.12 se muestra los ejes principales que van desde el eje 1 al eje 3 y los ejes de la muñeca los cuales van del eje 4 al eje 6.

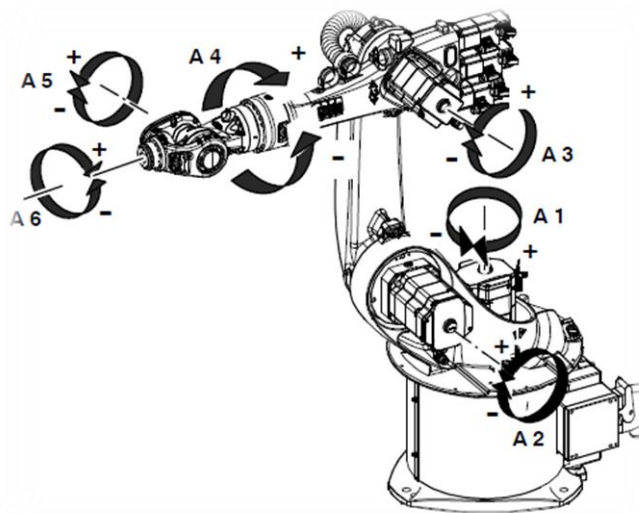


Figura 1.12 Articulaciones del Robot

Fuente: file:///C:/Users/User/Downloads/spez_kr6_es.pdf

d. DIMENSIONES DE LA BRIDA DE ACOPLE PARA LA MUÑECA

CENTRAL

En la figura 1.13 se muestra las dimensiones de la brida de acople para la muñeca.

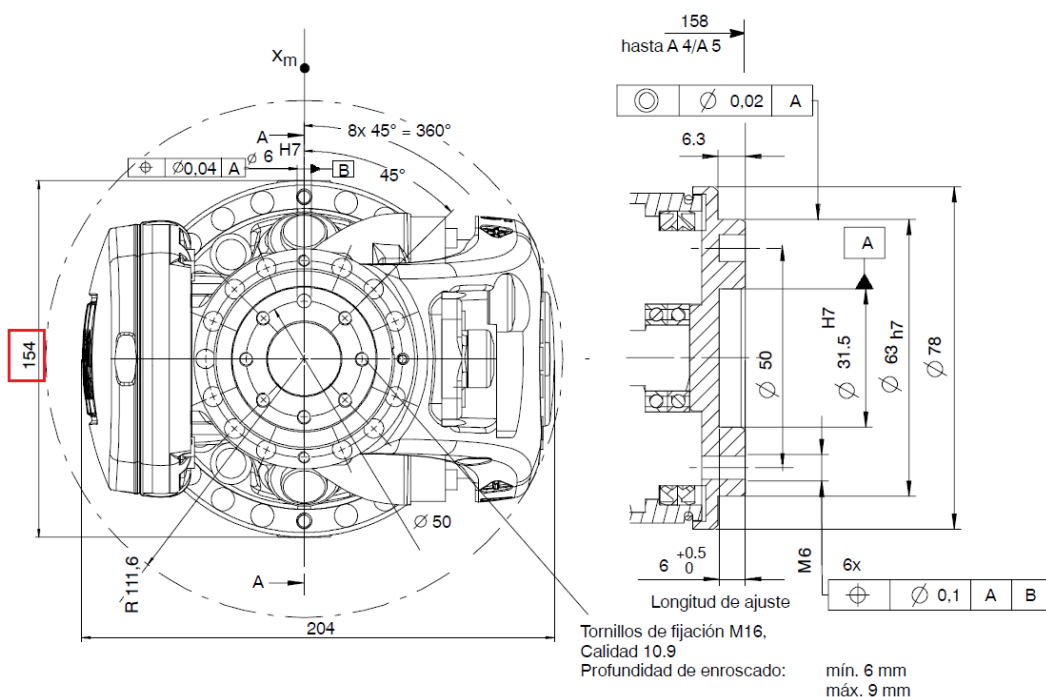


Figura 1.13 Brida de acople para la muñeca central

FUENTE: file:///C:/Users/User/Downloads/spez_kr6_es.pdf

e. MOMENTOS Y FUERZAS

Los momentos y las fuerzas como se muestra en la Figura 1.14, contienen ya la carga y la fuerza de la masa (peso) del robot.

F_v	=	Fuerza vertical	F_{vmax}	=	4.600 N
F_h	=	Fuerza horizontal	F_{hmax}	=	5.000 N
M_k	=	Momento de vuelco	M_{kmax}	=	5.200 Nm
M_r	=	Momento de giro alrededor del eje 1	M_{rmax}	=	4.200 Nm

Masa total	=	Robot	+	carga total	para tipo
		235 kg	+	36 kg	KR 6
		235 kg	+	46 kg	KR 16
		240 kg	+	36 kg	KR 16 L6

Figura 1.14 Fuerzas y momentos

Fuente: file:///C:/Users/User/Downloads/spez_kr6_es.pdf

1.2.7. NECESIDADES PLANTEADAS PARA EL CAMBIADOR DEL BRAZO KUKA KR 16-2.

El valor de carga útil sugerido para el cambiador, es tomado en consideración al valor de carga máxima del brazo robótico que es 46 Kg, como se muestra en la Tabla 1.5 en los datos de carga límite del robot.

Con los valores calculados de momentos estáticos de cada herramienta como se muestra en la Tabla 1.4, para el diseño se elige el valor más alto que este caso es para la pinza de carrera larga, con los valores de momentos estáticos calculados en el eje x, y, z, diseñamos el “master” y “tool” basándose en este parámetro mecánico, como se muestra en la Tabla 1.6.

El número de pasos neumáticos que necesita el cambiador son 6, ya que tenemos 3 herramientas y cada una de ella para funcionar necesita de 1 a 2 pasos de aire.

Para el diámetro exterior del conjunto del cambiador; el plato “master” y plato “tool”, se considera como referencia el diámetro exterior de la brida de acople para la muñeca que es 154 mm.

Tabla 1.6

Necesidades para el cambiador automático

Límite de carga útil sugerido	Capacidad de Momento Estático (X &Y)	Capacidad de Momento Estático (Z)	Paso Neumático (Cantidad) Tamaño	Diámetro del conjunto del plato “master” y plato “tool”
46 Kg	8.83 N*m o 78.15 lbf-in	0.022 N*m o 0.1947 lbf-in	(6) M5	Ø 154 mm

1.3. ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Para el diseño se analizan las siguientes alternativas de cambiadores:

1.3.1. “QC 40Q” ATI

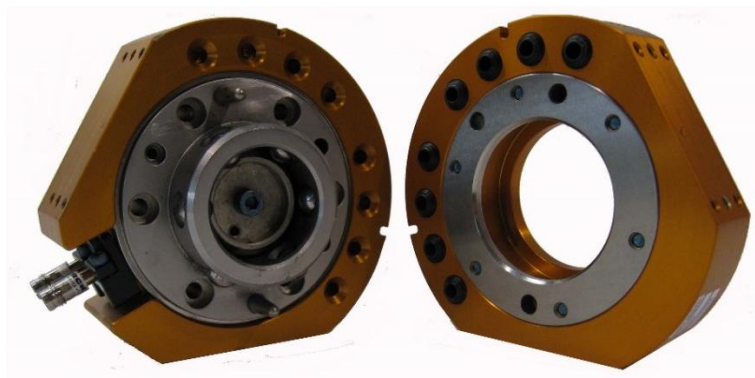


Figura 1.15 “QC 40Q” de Industrial Automation

Fuente: <http://www.ati-ia.com/products/toolchanger/QC.aspx?ID=QC-40Q>

Características técnicas:

- Dimensiones: \varnothing externo 115 mm
- Caras disponibles para módulos eléctricos: 2
- Límite de carga: 50 Kg
- Peso: 1.7 Kg
- Numero de pasos neumáticos: 8
- Momento Estático M_{XY} : 1400 lbf – in
- Momento Estático M_z : 1900 lbf – in

Tabla 1.7

Ventajas y Desventajas Cambiador de ATI

Ventajas	Desventajas
<p>Repetibilidad alta La forma cónica de los pines de alineación, permiten un acople idóneo entre “master” y “tool”.</p>	<p>Precio Alto costo de compra</p>
<p>Mecanismo de bloqueo Asegura el plato del “master” al plato del</p>	<p>Adquisición</p>

Continúa

“tool” permaneciendo bloqueado, incluso si la presión es eliminada accidentalmente.	Se necesita importar de los Estados Unidos de América, ya que el Ecuador no existen distribuidores de este producto.
De peso ligero y diseño compacto	Servicio técnico no disponible para el Ecuador

1.3.2. SWS SCHUNK



Figura 1.16 Cambiador Automático de Herramientas SWS

Fuente: http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/SWS_005_EN.pdf

Características Técnicas:

- Peso recomendado de la pieza: 1 a 45 Kg
- Momento Estático M_{XY} : 3 a 9.870 Nm
- Momento Estático M_z : 3.45 a 8.460 Nm
- Peso: 0.25 a 19.1 Kg

Tabla 1.8

Ventajas y Desventajas de SWS

Ventajas	Desventajas
Diseño compacto En la unidad de cuerpo integrado del plato "master" y "tool"	Sin sensores para el sistema de bloqueo
Pasos de aire Múltiples pasos de aire para las herramientas	Precio Alto costo de compra
Peso Bajo peso debido a la utilización de aluminio de alta resistencia a la tracción	Adquisición Se necesita importar de los Estados Unidos de América, ya que el Ecuador no existen distribuidores de este producto.

1.3.3. SWS-I SCHUNK



Figura 1.17 Cambiador Automático de Herramientas SWS-I

Fuente:

http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/SWS_I_011__EN.pdf

Características Técnicas:

- Peso recomendado de la pieza: 16 Kg
- Momento Estático M_{XY} : 25 Nm
- Momento Estático M_z : 34 Nm
- Peso: 0.59 Kg

Tabla 1.9

Ventajas y Desventajas de SWS-I

Ventajas	Desventajas
Sistema Neumático Integrado Incluye una válvula de 3 vías y 2 posiciones para controlar el sistema de bloqueo	Sin sensor para el sistema de bloqueo No tiene sensor para detectar el bloqueo y desbloqueo del pistón interno
Diseño compacto	Módulos Eléctricos Limitada adaptabilidad para módulos eléctricos
Peso Bajo peso debido a la utilización de aluminio de alta resistencia a la tracción	Versatilidad Poca versatilidad para poder instalar más módulos ya sean eléctricos o neumáticos
Pasos de aire Múltiples pasos de aire para las herramientas	No posee sistema de seguridad Si el sistema de alimentación de aire es cortado, el cambiador se desacopla.

1.4. ANÁLISIS DE LOS CAMBIADORES OFERTADOS EN EL MERCADO

Luego de haber analizado la sección 1.3, en la tabla 1.10 se muestra las características principales a considerar al momento de seleccionar el cambiador automático de herramientas más idóneo para el brazo robótico KUKA KR 16-2.

Tabla 1.10

Cambiadores automáticos ofertados en el mercado

Modelo	Dimensiones	Momentos estáticos	Límite de carga	Accionamiento	Material Base
QC 40Q	\varnothing externo 115 mm	M_{xy}: 1400 lbf – in M_z: 1900 lbf – in	50 Kg	Neumático	Aluminio
SWS SCHUNK	\varnothing externo 140 mm	M_{xy} : 3 a 9.870 Nm M_z : 3.45 a 8.460 Nm	1 a 45 Kg	Neumático	Aluminio
SWS-I SCHUNK	\varnothing externo 100 mm	M_{xy} : 25 Nm M_z : 34 Nm	16 Kg	Neumático	Aluminio

1.4. MATERIALES PARA EL MECANIZADO

1.4.1. ALUMINIO

El aluminio posee una combinación de propiedades que lo convierten en un material extremadamente útil en ingeniería, tiene una densidad baja (2.70 gr/cm^3), que le confiere una utilidad particularmente importante para el transporte de productos manufacturados. (Smith, 1998, p. 453)

a. Designaciones del grado de endurecimiento

Las designaciones del grado de endurecimiento para aleaciones de aluminio forjado figuran después de la designación de la aleación. Las subdivisiones del grado de endurecimiento básico se indican por uno o más dígitos que siguen a la letra de la designación básica (Smith, 1998, p. 455).

F: Tal como se fabricó, sin control sobre la cuantía del endurecimiento por deformación, ningún límite de propiedades mecánicas.

O: Recocido y recristalizado. Endurecimiento con mínima resistencia y máxima ductilidad.

H: Endurecimiento por deformación

T: Tratado térmicamente para producir endurecimiento estable además de F u O

b. Subdivisiones del tratamiento térmico (Smith, 1998, p. 455)

T1: envejecimiento natural

T3: Tratamiento térmico en solución, trabajado en frío y envejecimiento natural hasta una condición sustancialmente estable

T4: Tratamiento térmico en solución y envejecimiento natural hasta una condición sustancialmente estable.

T5: Enfriado desde el proceso de modelado a altas temperaturas y después envejecido artificial

T6: Tratamiento térmico en solución y envejecimiento artificial

T7: Tratamiento térmico en solución y estabilizado

T8: Tratamiento térmico en solución, trabajado en frío y envejecimiento artificial.

1.4.2. ALUMINIO 6061-T6

Es ideal para la elaboración de piezas maquinadas con calidad de excelencia y para trabajos que requieran buen acabado superficial, posee excelente resistencia a la corrosión y acabado además de facilidad de soldadura y una resistencia parecida a la del acero. Esta es una aleación de propósito general muy popular con buena facilidad de maquinado a pesar de su tratamiento de envejecimiento artificial (TecníAceros, 2014).

Ventajas

- Resistencia superior a la de las aleaciones 6063
- Elaborado mediante tratamientos térmicos
- Envejecido artificialmente
- Óptima conformación con el frío
- Excelentes características para soldadura fuerte y al arco.
- Excelente resistencia a la corrosión
- Gran resistencia a la tensión
- Excelente maquinabilidad

1.4.3. PARÁMETROS GENERALES PARA MECANIZADO

Para máquinas herramientas los parámetros generales del aluminio son (Laburu, p. 489).

Velocidad de corte:

$$V_c \quad \max = 160 \left(\frac{m}{min} \right) \rightarrow \text{Desbaste}$$

$$V_c \quad \min = 180 \left(\frac{m}{min} \right) \rightarrow \text{Acabado}$$

Avances:

$$S \quad \max = 0.75 \left(\frac{mm}{min} \right) \rightarrow \text{Desbaste}$$

$$S \quad \min = 0.6 \left(\frac{mm}{min} \right) \rightarrow \text{Acabado}$$

Esfuerzo del material:

$$\sigma = 1000 \text{ psi} \rightarrow (6.89 \text{ N/mm}^2)$$

Profundidad de corte axial (a):

$$a = 3 \text{ mm (Recomendado)} \text{ (COROMANT, 2014, p. 91)}$$

1.5. SOLIDCAM

Con la integración de SolidCAM en SolidWorks en una sola ventana, como se muestra en la Figura 1.18 todas las operaciones de maquinado pueden ser definidas, calculadas y ser verificadas sin dejar el ambiente paramétrico del programa SolidWorks. Esto reduce errores ya que cuando el modelo cambia, se actualiza el maquinado automáticamente, ya que todas las geometrías en 2D y 3D utilizadas para trabajar en máquina, son totalmente asociadas y compatibles al modelo del diseño de SolidWorks. (SolidWorks, 2014).



Figura 1.18 SolidCAM

Fuente: <http://solidservicios.com/productos/solidcam/>

1.5.1. BENEFICIOS DE SOLIDCAM:

- Es 100 % integrado dentro de la misma pantalla de SolidWorks.
- Facilidad de uso
- Capacidad para maquinar moldes y piezas con superficies o sólidos mezclados en el mismo archivo.
- Es una plataforma probada a nivel mundial, con más de 20 años en el mercado.
- Facilidad y rapidez para hacer cambios. Todas las geometrías de SolidWorks están asociadas a SolidCAM, con lo que automáticamente se actualizan los cambios.
- Simulación de las operaciones de maquinado.

- Posibilidad de hacer simulación de maquina (Proporciona ventajas importantes en 4 y 5 eje)
- SolidCAM cuenta con funciones: ver, analizar y maquinar el material restante de cada operación.
- Disminución de posibilidades de errores, ya que se manufactura exactamente lo que libera el departamento de diseño. Generación de códigos "G".
- Compatibilidad con cualquier máquina CNC Fresadoras, tornos, centros de maquinado, electroerosionadoras.

1.6. 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.

1.6.1. 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.

1.6.2. 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.

1.6.3. 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 como se muestra en la Figura 1.19. 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 tiene un eje con un alcance menor que otro, se reemplaza el cubo por un rectángulo paralelepípedo.

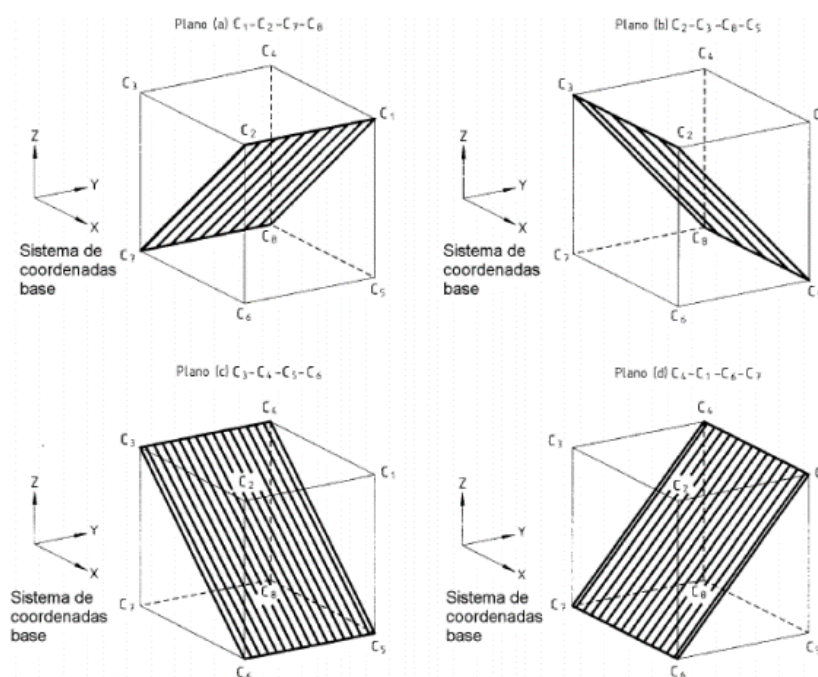


Figura 1.19 Cubo dentro del espacio de trabajo

Fuente: (Pardo, 2010)

Para los ensayos de posicionamiento se debe utilizar uno de los planos indicados en la Figura 1.19:

1.6.4. POSICIONES A COMPROBAR

Se ubican cinco puntos en las diagonales del plano de medida que corresponden a los puntos P1 a P5 en el plano seleccionado, trasladados por el punto de offset axial (XMP) y radial (ZMP). El plano de medida está paralelo al plano seleccionado como se muestra en la Figura 1.20.

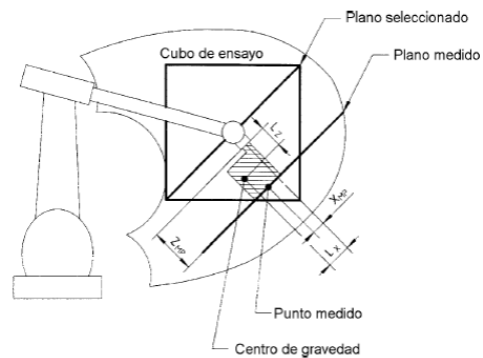


Figura 1.20 Plano seleccionado y plano de medida

Fuente: (Pardo, 2010)

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 iguales a $(10 \pm 2) \%$ la longitud de la diagonal como se muestra en la Figura 1.21.

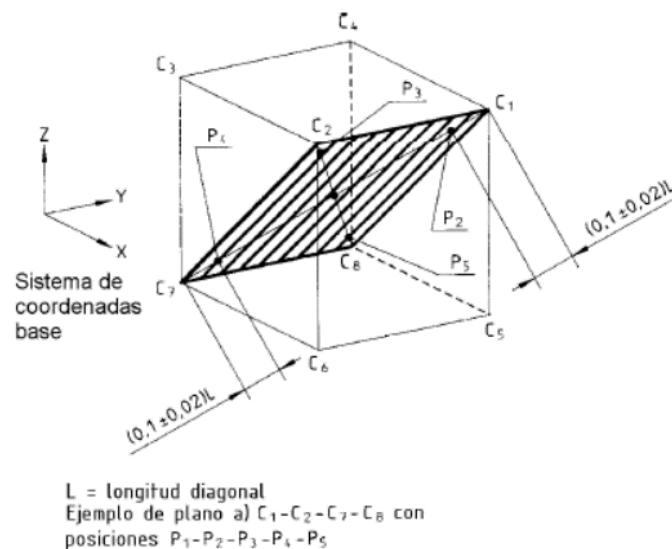


Figura 1.21 Plano seleccionado y plano de medida

Fuente: (Pardo, 2010)

1.6.5. NÚMERO DE CICLOS

El número de ciclos a realizar al ensayar cada característica se define en la Tabla 1.11.

Tabla 1.11**Número de ciclos**

Características a ser probadas	Número de ciclos
Precisión y Repetibilidad de posición.	30
Precisión y Repetibilidad de distancia.	30

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.

1.6.6. 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 1.1.

$$AP_p = \sqrt{(\bar{x} - x_c)^2 + (\bar{y} - y_c)^2 + (\bar{z} - z_c)^2} \quad \text{Ec. 1.1}$$

$$AP_x = (\bar{x} - x_c) \quad \text{Ec. 1.2}$$

$$AP_y = (\bar{y} - y_c) \quad \text{Ec. 1.3}$$

$$AP_z = (\bar{z} - z_c) \quad \text{Ec. 1.4}$$

Con

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \quad \text{Ec. 1.5}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j \quad \text{Ec. 1.6}$$

$$\bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_j \quad \text{Ec. 1.7}$$

Dónde:

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 1.8, Ec 1.9 y Ec 1.10.

$$AP_a = (\bar{a} - a_c) \quad \text{Ec. 1.8}$$

$$AP_b = (\bar{b} - b_c) \quad \text{Ec. 1.9}$$

$$AP_c = (\bar{c} - c_c) \quad \text{Ec. 1.10}$$

Con

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_j \quad \text{Ec. 1.11}$$

$$\bar{b} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n b_j \quad \text{Ec. 1.12}$$

$$\bar{c} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_j \quad \text{Ec. 1.13}$$

Dónde:

\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 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 1.14.

$$RP_l = (\bar{l} - 3S_l) \quad \text{Ec. 1.14}$$

Con

$$\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n l_j \quad \text{Ec. 1.15}$$

$$l_j = \sqrt{(\bar{x} - x_j)^2 + (\bar{y} - y_j)^2 + (\bar{z} - z_j)^2} \quad \text{Ec. 1.16}$$

$$S_l = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (l_j - \bar{l})^2}{n - 1}} \quad \text{Ec. 1.17}$$

Dónde:

- \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 1.18:

$$RP_{a,b,c} = \pm 3S_{a,b,c} \qquad \text{Ec. 1.18}$$

CAPÍTULO II

FASE DE DISEÑO

2.1. DISEÑO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA MECÁNICO

En el diseño mecánico del cambiador, se consideran aspectos como las dimensiones del espacio de trabajo, dimensión de la brida de acople, capacidad de carga del brazo robótico, adaptabilidad de las herramientas al cambiador, momentos estáticos y del número de puertos de aire.

2.1.1. PARÁMETROS DE DISEÑO MECÁNICO

Una vez analizadas las características técnicas de los diferentes tipos de cambiadores automáticos de herramientas, como se menciona en la sección 1.3; se determina que el cambiador de ATI “QC-40Q” como se muestra en la Figura 2.1, es de capacidad de carga media, ideal para el brazo robótico.



Figura 2.1 Cambiador automático de herramientas “QC-40Q”

Fuente: <http://www.ati-ia.com/products/toolchanger/QC.aspx?ID=QC-40Q>

2.1.2. DISEÑO Y ANÁLISIS DEL “MASTER” Y “TOOL”

El aspecto fundamental en el diseño mecánico es el dimensionamiento del “master” y el “tool”, para lo cual debemos calcular la capacidad de carga que va a levantar el cambiador y la carga admisible que posee brazo robótico.

a. CAPACIDAD DE CARGA

Debido a que el cambiador se implementará en una celda de manufactura de robot centralizado de tipo didáctico con capacidad de carga máxima de 46 Kg como se muestra en la Tabla 1.5, las cargas a transportar serán materiales livianos como aluminio, madera, mdf, duralon, con dimensiones máximas 100 mm x 100 mm x 100 mm con un volumen de $1 * 10^{-3}m^3$.

Debido a que el Aluminio es el de mayor peso específico ($2700 \frac{Kg}{m^3}$), el peso máximo a transportar será: (Hamrock, pág. 105).

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

Dónde:

W	Peso	$[N]$
γ	Peso específico de la sustancia	$[\frac{N}{m^3}]$
V	Volumen de la sustancia	$[m^3]$

$$W = 2700 \frac{Kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 1 * 10^{-3}m^3$$

$$W = 2648 [N]$$

b. CARGA MÁXIMA ADMISIBLE

Se determina la carga a la cual va a estar sometido dicho brazo para ello se utilizó la Figura 2.2 y se obtuvo:

$L_z = 175 \text{ mm}$ (Valor tomado cuando esta puesta la pinza de carrera larga)

$L_{xy} = 120 \text{ mm}$ (Valor tomado cuando esta puesta la pinza de carrera larga)

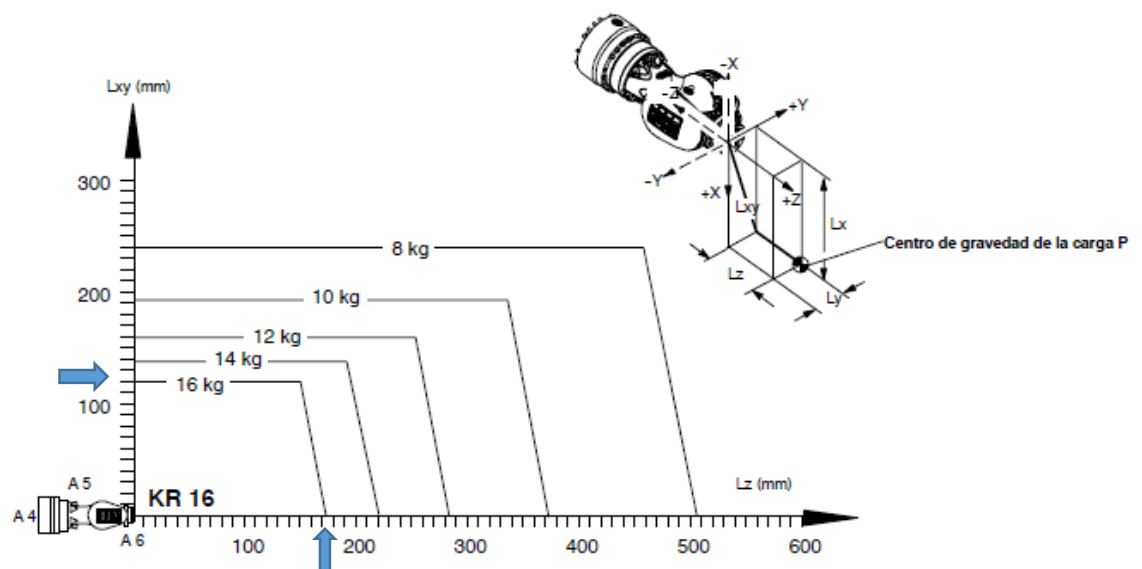


Figura 2.2 Centro de gravedad de la carga P

Fuente: file:///C:/Users/User/Downloads/spez_kr6_es.pdf

2.1.3. “MASTER”

Para el diseño del plato “master” se empleará Aluminio 6061-T6 ($S_y = 276 \text{ MPa}$) (Mott, 2006, pág. 239), por la apariencia agradable, el bajo peso, buena resistencia a la corrosión, facilidad relativa de formado y maquinado.

Basados en el diámetro de la brida de acople de la muñeca del brazo robótico, el “master” tendrá las dimensiones de la Figura 2.3, será diseñado como un plato macho que se acopla al “tool” mediante un mecanismo de acople y desacople llamado mecanismo de bloqueo. Además, tendrá 6 ranuras las cuales servirán para pasar aire hacia las herramientas, para el cierre de aire entre plato “master” y plato “tool” se colocaran “o-rings”.

Para la adaptabilidad de los módulos eléctricos se diseña dos caras planas (A y B) de 60.94 mm de largo.

Los detalles y dimensiones del plato “master” se detallan en el ANEXO F1.

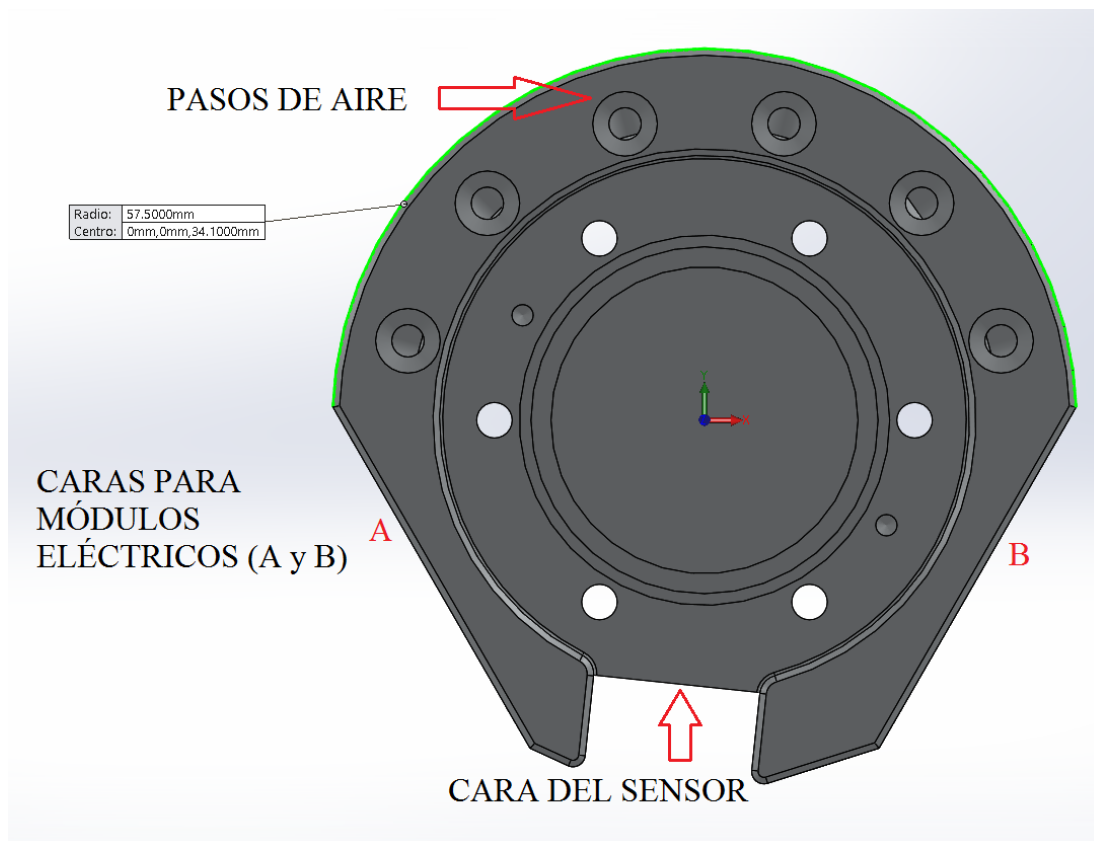


Figura 2.3 Dimensiones del “master”

a. CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD

Para calcular el factor de seguridad usando la E.c 2.2, se debe conocer la tensión de vonMises para lo cual se utiliza el Software SolidWorks 2014 dando como resultado de la simulación 145 MPa como se muestra en la Figura 2.4 y el límite de tensión a la tracción del Aluminio es 290 MPa (Aluminium, 2014).

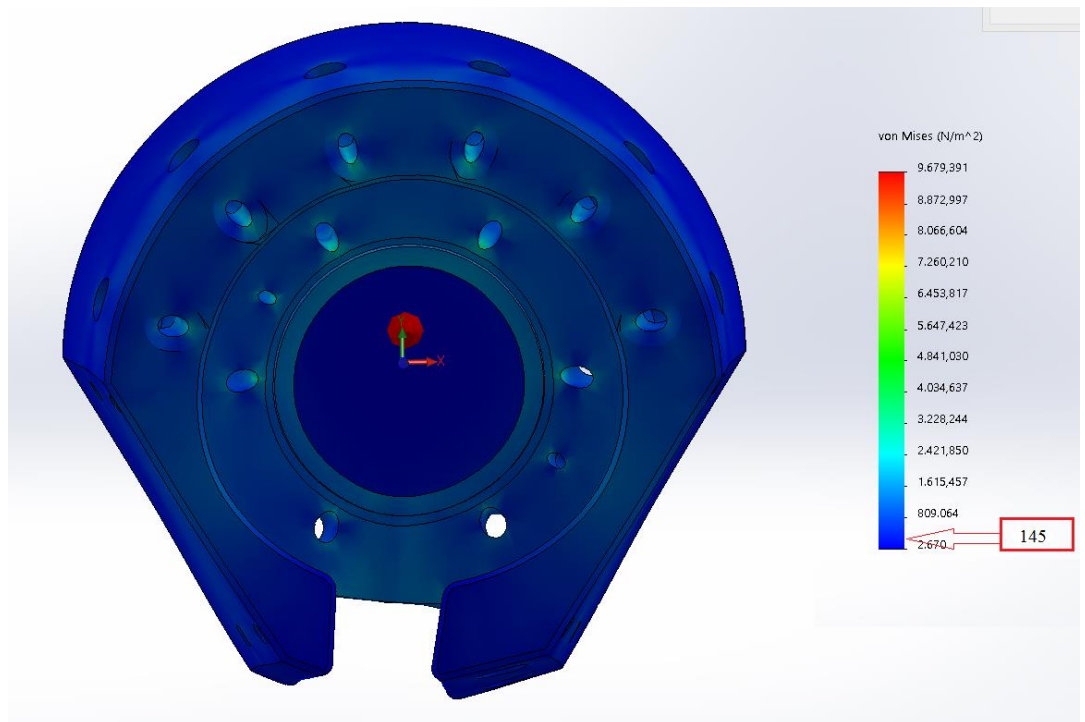


Figura 2.4 Tensión de vonMises “master”

$$FDS = \frac{\sigma_{limit}}{\sigma_{vonMises}}$$

E.c 2.2

Dónde:

FDS	Factor de seguridad	
σ_{limit}	Límite de tensión a la tracción del material	[Pa]
$\sigma_{vonMises}$	Tensión de vonMises	[Pa]

$$FDS = \frac{290 \text{ MPa}}{145 \text{ MPa}}$$

$$FDS = 2$$

Con un factor de seguridad de 2 se comprueba el diseño correcto del plato “master”.

2.1.4. MECANISMO DE BLOQUEO

El dispositivo será diseñado para ser accionado en forma neumática y así juntar a los platos “master” y “tool” logrando asegurarlos en una condición de bloqueo sin fallos hasta que el mecanismo sea desbloqueado.

El mecanismo consiste en un cilindro neumático, donde el pistón fuerza a 6 bolas que servirán como bloqueo, el material usado por los fabricantes de rodamientos de bolas es Acero JIS G 4805 (NSK, 2014), por la alta resistencia a la fatiga por contacto de rodadura, alta dureza, alta resistencia al desgaste, alta robustez mecánica.

a. PARÁMETROS PARA EL CILINDRO NEUMÁTICO

Será diseñado como un cilindro con: vástago, pistón, aro guía. Para el dimensionamiento del diámetro pistón se utiliza como referencia el diámetro interior del plato “master” el cual es 47 mm como se muestra en la Figura 2.5, para la longitud del vástago se utiliza como referencia la longitud de la carrera de la cámara interior del plato master la cual es 12.05 mm.

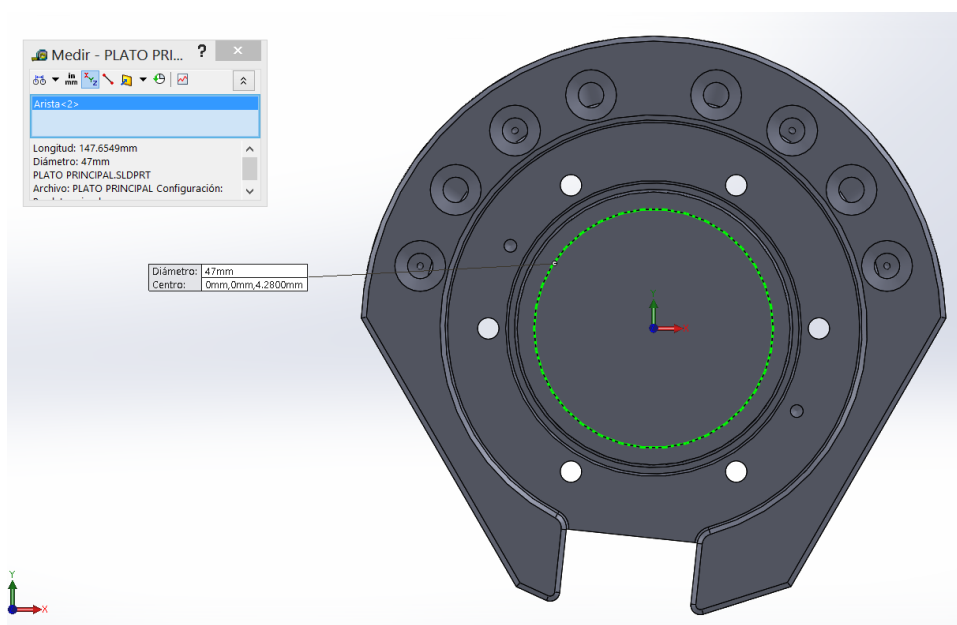


Figura 2.5 Diámetro del plato “master”

Una vez analizada los parámetros de diseño, se procede a diseñar el cilindro neumático como se muestra en la Figura 2.6 y ver ANEXO F3.

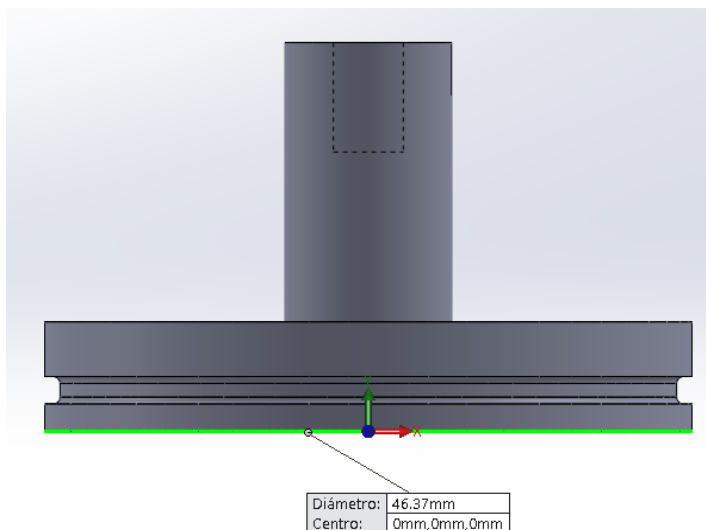


Figura 2.6 Cilindro neumático

b. SELECCIÓN DEL MATERIAL

Para la selección del material del cilindro se debe tomar en cuenta que la camisa del pistón será el cuerpo del plato “master”, el cual está diseñado en Aluminio 6061-T6, por lo tanto, para la selección del material nos basamos en la presión de trabajo, el tipo de lubricación, el material zapata y el material deslizante (Coca, 2004, pág. 116) como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1

Condiciones para el cilindro

Condiciones para cilindro neumático	
Presión de trabajo	6 bares (presión superficial baja)
Lubricación	En seco
Material zapata	Aluminio 6061-T6
Material deslizante	Aluminio 6061-T6

Una vez determinada las condiciones a las que estará sometido el cilindro, se utiliza la Tabla 2.2 y se obtiene un coeficiente de rozamiento dinámico de 0.165, que es un valor aceptable dentro del rango de 0 a 0.5 entre rozamientos de superficies y así evitar el desgaste de los componentes en contacto.

Tabla 2.2
Coeficiente de rozamiento (en seco)

Material zapata	Superficie Deslizante	Estado Superficial Zapata Superficie desliz		Coeficiente de rozamiento		Observaciones
				μ_e	μ_d	
Al99.5	Acero	Mecanizado Pulido	Mecanizado Pulido	0.264 0.151	-	Presión Superficial máxima $8 \cdot 10^{-4} N/mm^2$
Al99.5	Hierro Fundido	Mecanizado Pulido	Mecanizado Pulido	0.213 0.168	-	
Al99.5	Latón	Mecanizado	Mecanizado	0.213 0.218	-	
Al99.5	Al99.5	Mecanizado	Mecanizado	0.35	-	Según ADA, London (Bowden y Tawor)
AlMgSi	Acero	Pel. Laminac esmerilado Brillante Anodizado duro Anodizado	Pulido Pulido Pulido Pulido	0.215 0.164 0.166 0.174		Según Aluisse Neuhausen Presión Superficial máxima $8 \cdot 10^{-3} N/mm^2$
AlCuMg	AlCuMg	Mecanizado Pulido	Mecanizado Pulido	0.190 0.165	0.165 0.165	

Fuente: (Coca, 2004, pág. 117)

CÁLCULOS DE ESFUERZOS DEL SISTEMA DE BLOQUEO

• CÁLCULO DE LA FUERZA DE TRABAJO

La fuerza ejercida por un elemento de trabajo depende de la presión del aire, del diámetro del cilindro. La fuerza del émbolo de avance y retroceso se calcula con las E.c 2.3 y E.c 2.4 (Catedu, 2015), usando una presión de trabajo del compresor del Laboratorio de Robótica Industrial de 6 Bares (600000 Pa).

$$F_{real\ avance} = F_{avance} - F_r \quad \text{E.c 2.3}$$

$$F_{real\ retroceso} = F_{retroceso} - F_r \quad \text{E.c 2.4}$$

Se calcula el área de avance con la E.c 2.5 (Catedu, 2015) con el diámetro de la cámara del “master” que es de 47 mm.

$$A_{avance} = \frac{\pi \phi_c^2}{4} \quad \text{E.c 2.5}$$

Dónde:

A_{avance} Área de avance [mm²]

ϕ_c Diámetro de la cámara del plato master [mm]

$$A_{avance} = \frac{\pi(47\text{ mm})^2}{4}$$

$$A_{avance} = 1734.9\text{ mm}^2$$

Se calcula el área de retroceso utilizando el diámetro de la cámara del “master” que es de 47 mm y el diámetro del émbolo del “cam back” que es 12.90 mm, usando la E.c 2.6 (Catedu, 2015).

$$A_{retroceso} = \frac{\pi \phi_c^2}{4} - \frac{\pi \phi_v^2}{4} \quad \text{E.c 2.6}$$

Dónde:

$A_{retroceso}$ Área de avance [mm²]

\varnothing_c Diámetro de la cámara del plato master [mm]

\varnothing_v Diámetro del vástago del Cam-Back [mm]

$$A_{retroceso} = \frac{\pi(47 \text{ mm})^2}{4} - \frac{\pi(12.90 \text{ mm})^2}{4}$$

$$A_{retroceso} = 1604.20 \text{ mm}^2$$

Con el área de avance y la presión de trabajo de 6 Bar, se calcula la fuerza de avance usando la E.c 2.7 (Catedu, 2015).

$$F_{avance} = P \times A_{avance} \quad \text{E.c 2.7}$$

Dónde:

F_{avance} Fuerza teórica de avance [N]

P Presión de trabajo [Pa]

A_{avance} Área de avance [mm²]

$$F_{avance} = 600000 \text{ Pa} \times 1734.9 \text{ mm}^2 \times \frac{1 \text{ m}^2}{(1000 \text{ mm})^2}$$

$$F_{avance} = 600000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 1734.9 \text{ mm}^2 \times \frac{1 \text{ m}^2}{(1000 \text{ mm})^2}$$

$$F_{avance} = 1040.94 N$$

Se calcula la fuerza de retroceso usando la E.c 2.8, (Catedu, 2015).

$$F_{retroceso} = P \times A_{retroceso} \quad \text{E.c 2.8}$$

Dónde:

$F_{retroceso}$	Fuerza teórica de retroceso	[N]
P	Presión de trabajo	[Pa]
$A_{retroceso}$	Área de retroceso	[mm ²]

$$F_{retroceso} = 600000 Pa \times 1604.20 mm^2 \times \frac{1 m^2}{(1000 mm)^2}$$

$$F_{retroceso} = 600000 \frac{N}{m^2} \times 1604.20 mm^2 \times \frac{1 m^2}{(1000 mm)^2}$$

$$F_{retroceso} = 962.52 N$$

Para este cálculo se estima el 10 % (Catedu, 2015) de la fuerza teórica de avance y retroceso para calcular la fuerza de rozamiento de avance y retroceso tomando el dato de fricción de la Tabla 2.2, se usa la E.c 2.9 y E.c 2.10 (Catedu, 2015).

$$F_{ra} = F_{avance} \times 0.165 \quad \text{E.c 2.9}$$

$$F_{rr} = F_{retroceso} \times 0.165 \quad \text{E.c 2.10}$$

Dónde:

F_{ra}	Fuerza de rozamiento avance	[N]
F_{rr}	Fuerza de rozamiento retroceso	[N]
F_{avance}	Fuerza teórica de avance	[N]
$F_{retroceso}$	Fuerza teórica de retroceso	[N]

$$F_{ra} = 1040.94 \times 0.165$$

$$\mathbf{F_{ra} = 171.75 N}$$

$$F_{rr} = 962.52 \times 0.165$$

$$\mathbf{F_{rr} = 158.81 N}$$

Una vez calculadas las fuerzas teóricas de avance y retroceso con sus respectivas fuerzas de rozamiento se utiliza las E.c 2.11 y E.c 2.12 para calcular las fuerzas reales de avance y retroceso.

$$F_{real\ avance} = F_{avance} - F_r \quad \mathbf{E.c\ 2.11}$$

$$F_{real\ retroceso} = F_{retroceso} - F_r \quad \mathbf{E.c\ 2.12}$$

Dónde:

$F_{real\ avance}$	Fuerza real de avance	[N]
$F_{real\ retroceso}$	Fuerza real de retroceso	[N]
F_{ra}	Fuerza de rozamiento avance	[N]
F_{rr}	Fuerza de rozamiento retroceso	[N]

$$F_{real\ avance} = 1040.94\ N - 171.75\ N$$

$$F_{real\ avance} = 869.19\ N$$

$$F_{real\ retroceso} = 962.52\ N - 158.81\ N$$

$$F_{real\ retroceso} = 803.71\ N$$

Una vez calculada la fuerza real de avance y retroceso, se procede a calcular los esfuerzos estáticos en contacto esférico.

• CÁLCULO DE ESFUERZOS ESTÁTICOS EN CONTACTO ESFÉRICO

Como se indica en la sección 2.1.4 se tiene 6 bolas de Acero JIS sobre las cuales se distribuye el esfuerzo, como se muestra en la Figura 2.7, para lo cual se calcula la fuerza solamente de una esfera utilizando la E.c 2.13.



Figura 2.7 Esferas del Sistema de Bloqueo

$$F_{esfera} = \frac{F_{avance}}{6}$$

E.c 2.13

Dónde:

F_{esfera} Fuerza aplicada por esfera [N]

F_{avance} Fuerza teórica de avance [N]

$$F_{esfera} = \frac{869.19 \text{ N}}{6}$$

$$F_{esfera} = 144.865 \text{ N (32.56 lb)}$$

La fuerza aplicada hacia la esfera es la calculada anteriormente, $F_{esfera} = 32.56 \text{ lb}$ que forma un ángulo de 10.06° entre las superficies, como se muestra en la Figura 2.8. Usando la E.c 2.14 se calcula la fuerza en el eje x.

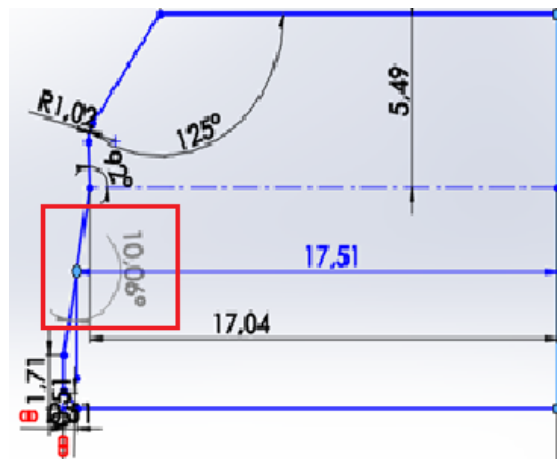


Figura 2.8 Diagrama de fuerzas

$$F_x = \sin \theta \times F_{x\ esfera}$$

E.c 2.14

Dónde:

F_x Fuerza aplicada por esfera en el eje x [N]
 F_{esfera} Fuerza aplicada por esfera [N]

$$F_x = \sin 10.06^\circ \times 32.56 \text{ lb}$$

$$F_x = 5.687 \text{ lb}$$

• **CÁLCULO DEL TAMAÑO DE LA HUELLA DE CONTACTO “a”**

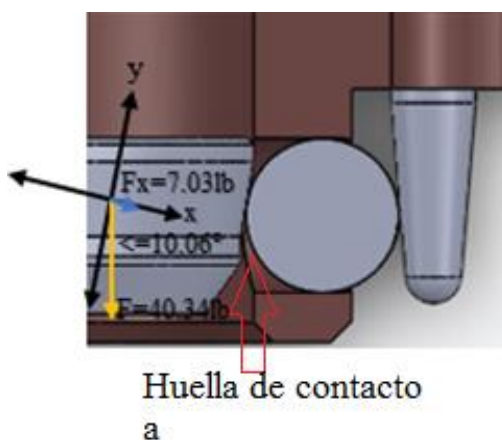


Figura 2.9 Huella de contacto “a”

Con el radio de la esfera Figura 2.10 y del “cam back” Figura 2.11 se utiliza la E.c 2.15 (Norton , 2011, pág. 370) para determinar la constante de geometría.

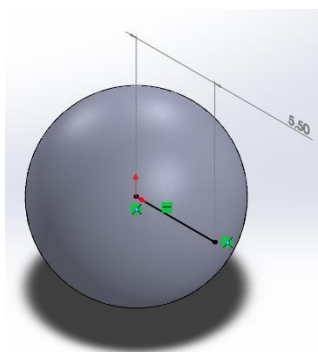


Figura 2.10 Esfera $R_1 = 5.5\text{mm}(0.2165 \text{ in})$

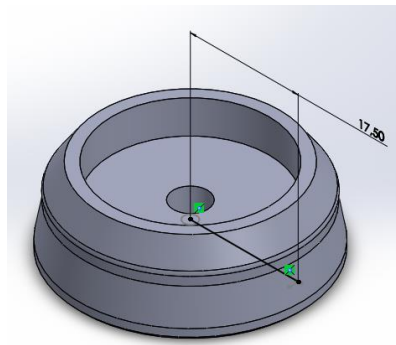


Figura 2.11 Cam – Back $R_2 = 17.51$ (0.6894 in)

$$B = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad \text{E.c 2.15}$$

Dónde:

B	Constante de geometría	[in ⁻¹]
R_1	Radio Esfera	[mm]
R_2	Radio Cam-Back	[mm]

$$B = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{0.2165} + \frac{1}{0.6894} \right)$$

$$B = 3.03 \text{ in}^{-1}$$

Se define las constantes del material para los dos elementos con la Ec. 2.16 (Norton , 2011, pág. 369), se utiliza el módulo de elasticidad del Acero JIS $E_1 = 30 \times 10^6 \text{ Psi}$ y Aluminio $E_2 = 10.4 \times 10^6 \text{ Psi}$, además la razón de Poisson $\nu_1 = 0.28$ para el Acero y $\nu_2 = 0.34$ para el Aluminio (Norton , 2011, pág. 986).

$$m = \frac{1 - \nu^2}{E} \quad \text{E.c 2.16}$$

Dónde:

- m Constante del material
 ν Razón de Poisson
 E Módulo de Elasticidad [PSI]

Acero JIS m_1 :

$$m_1 = \frac{1 - 0.28^2}{30 \times 10^6 \text{Psi}}$$

$$m_1 = 3.072 \times 10^{-8} \text{Psi}^{-1}$$

Aluminio m_2 :

$$m_2 = \frac{1 - 0.34^2}{10.4 \times 10^6}$$

$$m_2 = 8.504 \times 10^{-8} \text{Psi}^{-1}$$

Usando la E.c 2.17 (Norton , 2011, pág. 370) se calcula el radio de la huella en contacto tomando la fuerza en el eje x calculada anteriormente $F_x = 6.131 \text{ lb}$.

$$a = \sqrt[3]{0.375 \times \frac{m_1 + m_2}{B} \times F_x} \quad \text{E.c 2.17}$$

Dónde:

- a Radio de huella [in]
 m_1 Constante material Acero JIS [Psi⁻¹]
 m_2 Constante material Aluminio [Psi⁻¹]

B Constante de geometría [in⁻¹]

F_x Fuerza aplicada en la esfera [lb]

$$a = \sqrt[3]{0.375 \times \frac{3.072 \times 10^{-8} + 8.504 \times 10^{-8}}{3.03} \times 7.032 lb}$$

$$a = 4.72 \times 10^{-3} in$$

Se calcula el área de la huella en contacto con la E.c 2.18 (Norton , 2011, p. 373).

$$A = \pi \times a^2$$

E.c 2.18

Dónde:

A Área de huella en contacto [in²]

a Radio de huella [in]

$$A = \pi \times (4.72 \times 10^{-3})^2$$

$$A = 6.99 \times 10^{-5} in^2$$

• CÁLCULO DE ESFUERZOS NORMALES MÁXIMOS EN EL CENTRO DE LA HUELLA DE CONTACTO CON LAS SUPERFICIES

Las presiones de contacto promedio y máxima se calculan con la Ec. 2.19 y E.c 2.20. (Norton , 2011, p. 369).

$$P_{Prom} = \frac{F}{A} \quad \text{E.c 2.19}$$

$$P_{max} = \frac{3}{2} P_{Prom} \quad \text{E.c 2.20}$$

Dónde:

P_{Prom}	Presión Promedio	[Psi]
F_x	Fuerza aplicada a la esfera	[lb]
P_{max}	Presión máxima	[Psi]
A	Área de huella en contacto	[in ²]

$$P_{Prom} = \frac{6.131 \text{ lb}}{6.99 \times 10^{-5} \text{ in}^2}$$

$$P_{Prom} = 87.71 \text{ Ksi}$$

$$P_{max} = \frac{3}{2} \times 87.71 \text{ Ksi}$$

$$P_{max} = 131.56 \text{ Ksi}$$

Los esfuerzos normales máximos en el centro de la huella de contacto en la superficie se calculan con la E.c 2.21 y E.c 2.22 (Norton , 2011, p. 371).y son de signo negativo ya que representan compresión (Ceron, 2014).

$$\sigma_{Zm\acute{a}x} = -P_{max} \quad \text{E.c 2.21}$$

$$\sigma_{Xm\acute{a}x} = \sigma_{Ym\acute{a}x} = -\frac{1+2\nu}{2} \times P_{max} \quad \text{E.c 2.22}$$

Dónde:

$\sigma_{Zm\acute{a}x}$	Esfuerzo normal Z	[Psi]
P_{max}	Presi3n m\acute{a}xima	[Psi]
$\sigma_{Xm\acute{a}x}$	Esfuerzo normal X	[Psi]
$\sigma_{Ym\acute{a}x}$	Esfuerzo normal Y	[Psi]
ν	Razi3n de Poisson Acero	

$$\sigma_{Zm\acute{a}x} = -131.56 \text{ Ksi}$$

$$\sigma_{Xm\acute{a}x} = \sigma_{Ym\acute{a}x} = -\frac{1 + 2\nu}{2} \times P_{max}$$

$$\sigma_{Xm\acute{a}x} = \sigma_{Ym\acute{a}x} = -\frac{1 + 2 \times 0.28}{2} \times 131.56 \text{ Kpsi}$$

$$\sigma_{Xm\acute{a}x} = \sigma_{Ym\acute{a}x} = -102.62 \text{ Ksi}$$

• C\c{A}LCULO DE ESFUERZO M\c{A}XIMO CORTANTE Y SU UBICACI3N BAJO LA SUPERFICIE

El esfuerzo cortante m\c{a}ximo y su ubicaci3n debajo de la superficie se calculan con la E.c 2.23 y la E.c 2.24.

$$\tau_{yzm\acute{a}x} = \frac{P_{max}}{2} \left[\frac{(1 - 2\nu)}{2} + \frac{2}{9}(1 + \nu)\sqrt{2(1 + \nu)} \right] \quad \text{E.c 2.23}$$

$$Z_{@ \tau m\acute{a}x} = a \sqrt{\frac{2 + 2\nu}{7 - 2\nu}} \quad \text{E.c 2.24}$$

D3nde:

$\tau_{yzm\acute{a}x}$	Esfuerzo cortante m\c{a}ximo	[Psi]
P_{max}	Presi3n m\c{a}xima	[Psi]

$Z_{@ \tau_{m\acute{a}x}}$	Ubicación debajo de la superficie	[Psi]
a	Radio de huella	[in]
ν	Razón de Poisson Acero	

$$\tau_{yz_{m\acute{a}x}} = \frac{131.56 \text{ Kpsi}}{2} \left[\frac{(1 - 2 \times 0.28)}{2} + \frac{2}{9} (1 + 0.28) \sqrt{2(1 + 0.28)} \right]$$

$$\tau_{yz_{m\acute{a}x}} = 44.07 \text{ Ksi}$$

$$Z_{@ \tau_{m\acute{a}x}} = 4.72 \times 10^{-3} \sqrt{\frac{2 + 2 \times 0.28}{7 - 2 \times 0.28}}$$

$$Z_{@ \tau_{m\acute{a}x}} = 0.00298 \text{ in}$$

• CÁLCULO DE ESFUERZO CORTANTE EN EL BORDE DE LA HUELLA

Los esfuerzos obtenidos hasta aquí se encuentran sobre la línea central de la huella, en el borde de la huella existe un esfuerzo cortante que se calcula con la E.c 2.25 (Norton , 2011, p. 374).

$$\tau_{XY} = \frac{1 - 2\nu}{3} P_{max} \quad \text{E.c 2.25}$$

Dónde:

τ_{XY}	Esfuerzo cortante máximo en el borde de la huella	[Psi]
P_{max}	Presión máxima	[Psi]
ν	Razón de Poisson Acero	

$$\tau_{XY} = \frac{1 - 2 \times 0.28}{3} 131.56 \text{ Kpsi}$$

$$\tau_{XY} = 19.29 \text{ Ksi}$$

2.1.5. “TOOL”

El “tool” será diseñado de acuerdo con las dimensiones del plato “master”, como se muestra en la Figura 2.12; ya que ambos forman el sistema del cambiador y necesitan acoplarse de una manera exacta para producir la apertura y cierre del mecanismo de bloqueo. Además, posee 6 ranuras con “o-rings” como el plato “master” para el paso de aire hacia las herramientas.

Para el diseño del plato “tool” se empleará Aluminio 6061-T6 (Mott, 2006, pág. 239), por la apariencia agradable, el bajo peso, buena resistencia a la corrosión, facilidad relativa de formado y maquinado.

Los detalles y dimensiones del plato “tool” se detallan en el ANEXO F6.

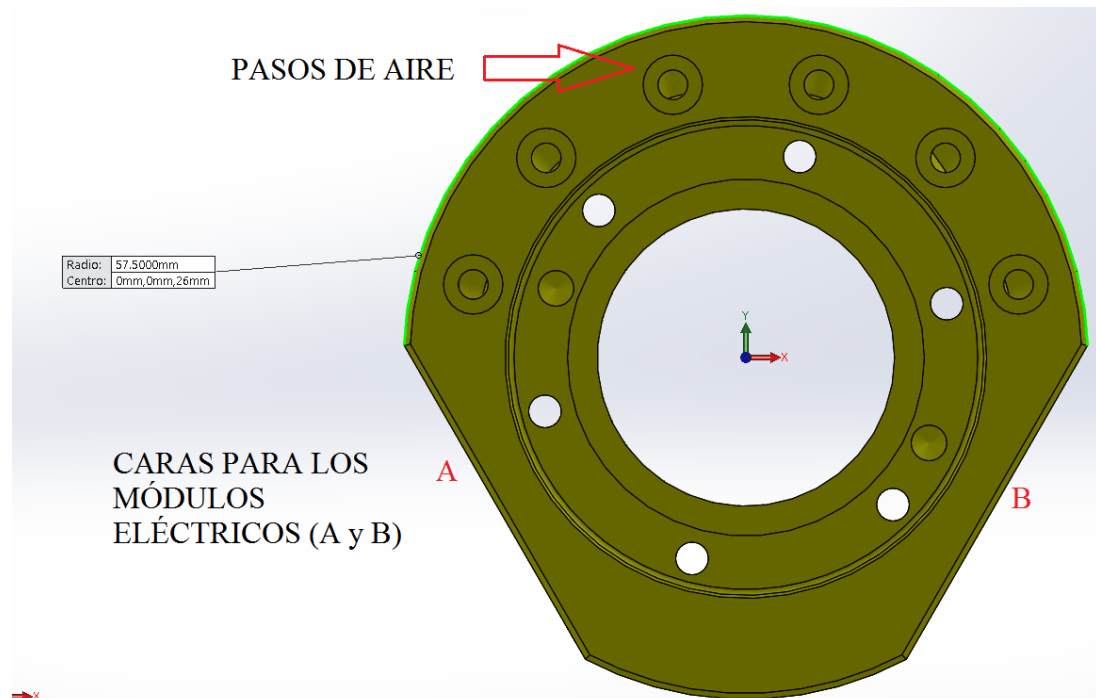


Figura 2.12 Plato “tool”

b. CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD

Para calcular el factor de seguridad usando la E.c 2.26, se debe conocer la tensión de vonMises para lo cual se utiliza el Software SolidWorks 2014 dando como resultado de la simulación 330 MPa como se muestra en la Figura 2.13 y el límite de tensión a la tracción del Aluminio es 290 MPa (Aluminium, 2014).

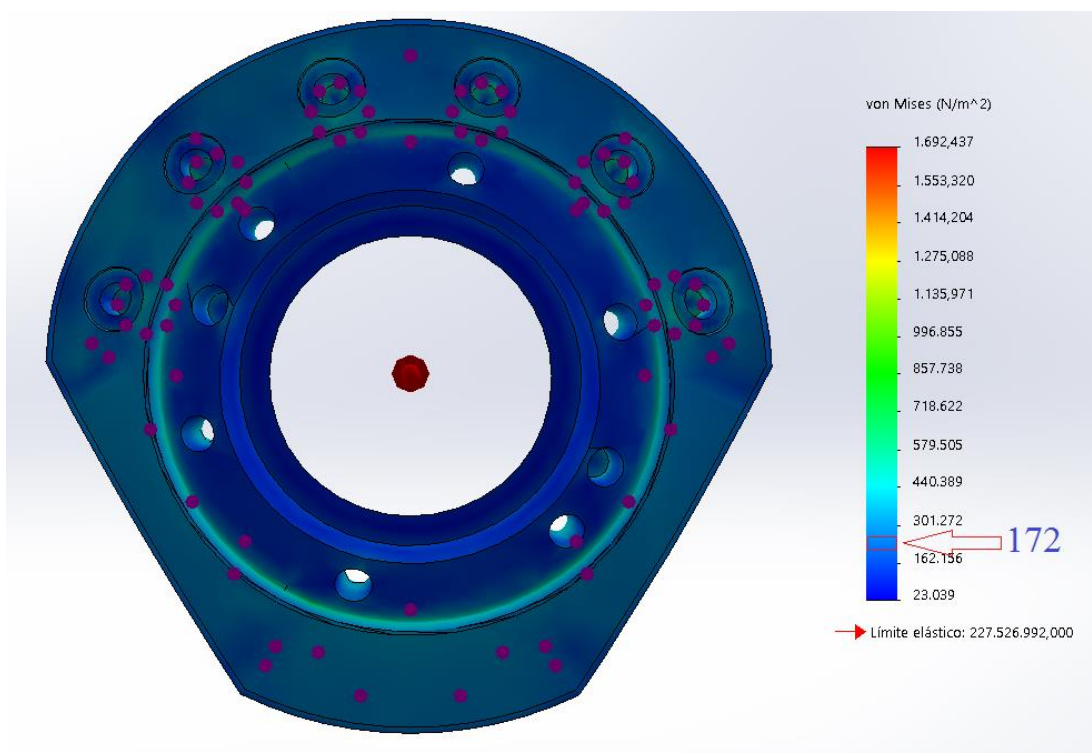


Figura 2.13 Tensión de vonMises “tool”

$$FDS = \frac{\sigma_{limit}}{\sigma_{vonMises}} \quad \text{E.c 2.26}$$

Dónde:

FDS	Factor de seguridad	
σ_{limit}	Límite de tensión a la tracción del material	[Pa]
$\sigma_{vonMises}$	Tensión de vonMises	[Pa]

$$FDS = \frac{290 \text{ MPa}}{172 \text{ MPa}}$$

$$FDS = 1.7$$

Con un factor de seguridad de 1.7 se comprueba el diseño correcto del plato "tool".

2.1.6. ESTANTE DE HERRAMIENTAS

El estante será diseñado como un soporte tipo "T" ya que se tomó como referencia el soporte mediano de herramientas de la marca "ATI" como se muestra en la sección 1.2.1 numeral d, el soporte estará dividido en 6 partes como se muestra en la Figura 2.14.

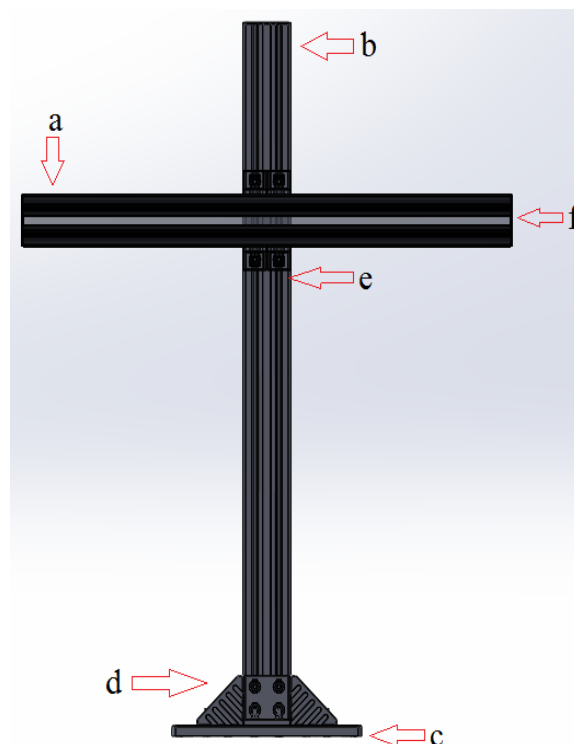


Figura 2.14 Estante para las herramientas tipo "T"

- a. Perfil Horizontal
- b. Perfil Vertical
- c. Base de Acero
- d. Sujeciones para la base
- e. Sujeciones para el perfil horizontal
- f. Tapas de Perfil

El estante tendrá las dimensiones de la Figura 2.15, una altura de 1227.56 mm para optimizar las trayectorias del brazo robótico al momento de cambiar de una herramienta a otra, un ancho de 915.46 mm ya que son tres herramientas, como se muestra en la Tabla 2.3.

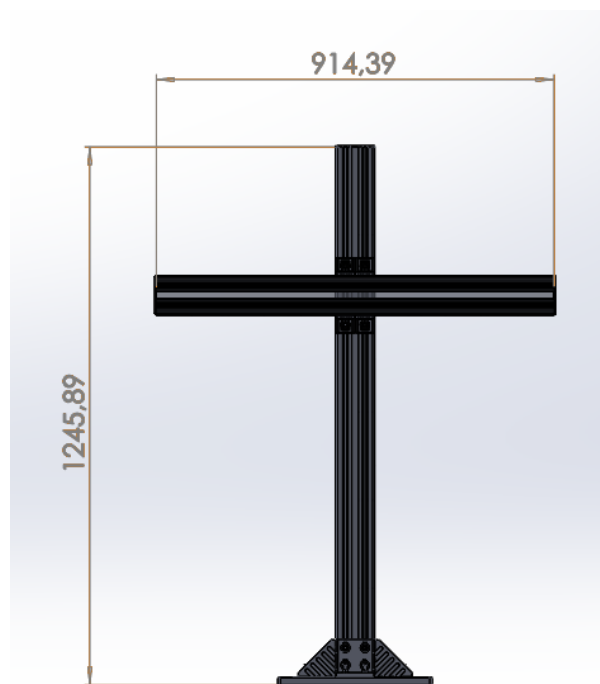


Figura 2.15 Dimensiones del estante de herramientas tipo “T”

Tabla 2.3

Dimensiones de las herramientas

CELDA	HERRAMIENTA	LARGO	ANCHO
2	PINZA CARRERA CORTA	167.82 mm	140 mm
	MOTOR JÄGER	221 mm	Ø125 mm
	VENTOSA	157.60 mm	Ø100 mm
	DISTANCIA ENTRE HERRAMIENTA		187.23 mm*2=374.46 mm
	ZONA LIBRE A CADA LADO		75 mm*2=150 mm
	TOTAL	493.24 mm	951.46 mm
	3	PINZA CARRERA CORTA	167.82 mm
PINZA CARRERA LARGA		167.82 mm	187 mm
VENTOSA		157.60 mm	Ø100 mm
DISTANCIA ENTRE HERRAMIENTA			187.23 mm*2=374.46 mm
ZONA LIBRE A CADA LADO			75 mm*2=150 mm
TOTAL		493.24 mm	951.46 mm

2.1.7. CÁLCULO DE ESFUERZOS DEL ESTANTE DE HERRAMIENTAS

a. PERFIL HORIZONTAL

Para el análisis se considera el perfil horizontal como una viga en voladizo con tres cargas puntuales como se muestra en la Figura 2.16, las cuales serán los pesos de las 3 herramientas y los pesos de los 3 módulos de montaje, como se muestra en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4

Pesos de las herramientas y las monturas de perfil

Herramienta	Módulo de montaje (Kg)	Peso (Kg)	Peso Total (Kg)	Fuerza (Newton)
PINZA DE CARRERA LARGA	1	3.5	4.5	44.14
VENTOSA V-32	1	0.23	1.23	12.06
MOTOR JÄGER	1	6	7	68.67
			Peso Total=12.73	Carga total=124.87

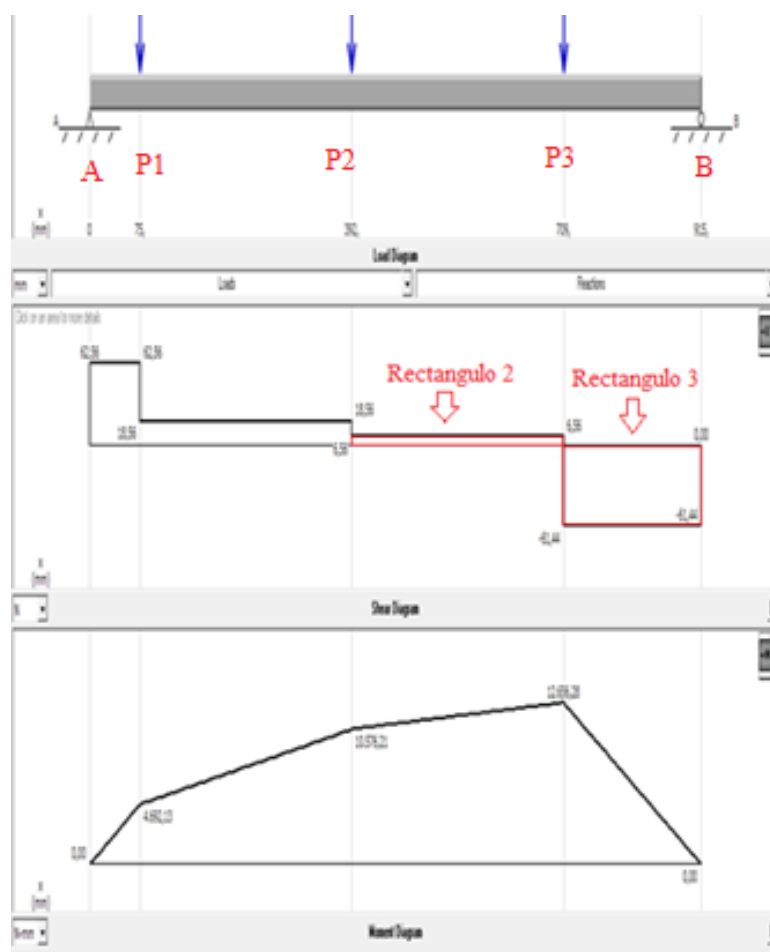


Figura 2.16 Esfuerzos cortantes y momentos

Para comprobar los resultados obtenidos mediante MDSolids, se calcula las reacciones para a su vez determinar las fuerzas cortantes y los momentos con las siguientes ecuaciones.

• **CÁLCULO DE REACCIONES**

$$\sum F = 0 \quad \text{E.c 2.27}$$

$$P1 + P2 + P3 = RA + RB$$

$$RA = RB$$

$$44.14 N + 12.06 N + 68.67 N = 2R$$

$$124.87 N = 2R$$

$$R = 62.5 \text{ Newton}$$

$$RA = RB = 62.5 \text{ Newton}$$

Con los valores determinados de las reacciones en los puntos A y B, se calcula las fuerzas cortantes.

• **CÁLCULO DE FUERZAS CORTANTES**

En el punto A

$$V = 62.5 \text{ Newton}$$

En el punto P1

$$V = R1 = 62.5 \text{ Newton}$$

En el punto P2

$$V = R1 - P1 \quad \text{E.c 2.28}$$

$$V = (62.5 - 44.14) N$$

$$V = 18.36 \text{ Newton}$$

En el punto P3

$$V = P3 - R2 \quad \text{E.c 2.29}$$

$$V = (68.67 - 62.5) \text{ N}$$

$$V = 6.18 \text{ Newton}$$

En el punto B

$$V = -62.5 \text{ Newton}$$

Una vez calculada las fuerzas cortantes, se procede a determinar los momentos en cada punto de análisis.

• CÁLCULO DE MOMENTOS

En el punto A

$$M = 0 \text{ N} * \text{mm}$$

En el punto P1

$$M = R1 * a \quad \text{E.c 2.30}$$

$$3.6 M = 62.5 \text{ N} * 75 \text{mm} = 4687.5 \text{ N} * \text{mm}$$

En el punto P2

$$M = \text{Area rectangulo 2} = \text{Base} * \text{Altura} \quad \text{E.c 2.31}$$

$$M = (392.41 - 75) \text{mm} * 18.56 \text{ Newton}$$

$$M = 10583.1296 \text{ N} * \text{mm}$$

En el punto P3

$$M = \text{Area rectangulo 3} = \text{Base} * \text{Altura} \quad \text{E.c 2.32}$$

$$M = (709.82 - 392.41)mm * 6.56 \text{ Newton}$$

$$M = 2082.20 \text{ N} * mm + 10583.12$$

$$M = \mathbf{12665.32 \text{ N} * mm}$$

En el punto B

$$M = \mathbf{0 \text{ N} * mm}$$

Como se puede observar en la Figura 2.16 el momento crítico es $12.656 \text{ N} * mm$, para el diseño se usará Aluminio 6061-T6 (Mott, 2006, pág. 239), y se establece un factor de seguridad de 1.5 (Mott, 2006, pág. 185), entonces el esfuerzo de diseño se obtiene mediante la Ec. 2.33.

$$\sigma_D = \frac{s_y}{N} \quad \text{E.c 2.33}$$

Dónde:

σ_D	Esfuerzo de Diseño	[MPa]
s_y	Límite de fluencia	[MPa]
N	Factor de Seguridad	[N]

$$\sigma_D = \frac{276 \text{ MPa}}{1.5}$$

$$\sigma_D = \mathbf{184 \text{ MPa}}$$

El esfuerzo por flexión se calcula mediante la ecuación 2.34 (Mott, 2006, pág. 105):

$$\sigma = \frac{M_{max}}{S_x} \quad \text{E.c 2.34}$$

Dónde:

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 como se muestra en la Figura 2.17, se calcula mediante la ecuación 2.35.

$$S_x = \frac{bh^2}{6}$$

E.c 2.35

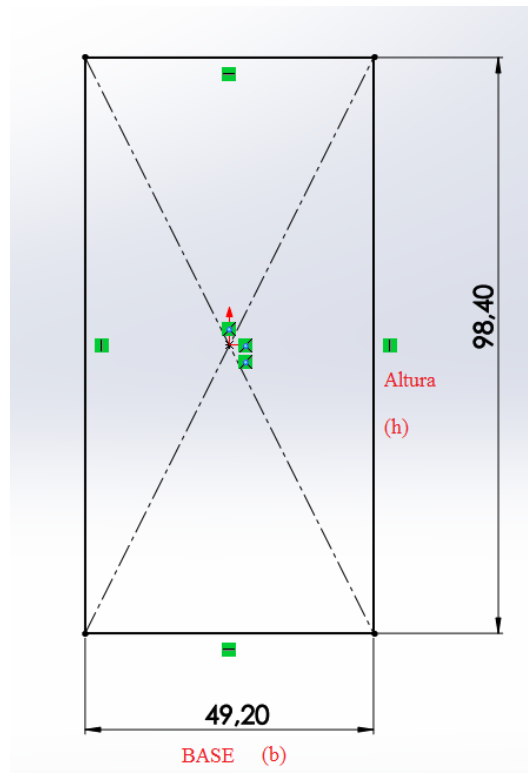


Figura 2.17 Vista sección del perfil

Mediante el esfuerzo de diseño se procede al cálculo del espesor de perfil, el cual corresponde a la altura de la sección rectangular mediante la Ec. 2.36,

la cual se obtuvo del despeje de las ecuaciones del módulo de sección E.c 2.35 y de esfuerzo normal por flexión E.c 2.34.

$$h = \sqrt{\frac{6 * M_{max}}{b * \sigma_D}} \quad \text{E.c 2.36}$$

Dónde:

El	h	Altura de la sección transversal	[mm]	resultado
del cálculo	M_{max}	Momento flector máximo	[N-mm]	de la altura
es:	b	Base de la sección	[mm]	

$$h = \sqrt{\frac{6 * 12665.32 \text{ N} * \text{mm} * \text{mm}^2}{49.2 \text{ mm} * 184 \text{ N}}}$$

$$h = 2.89 \text{ mm}$$

Considerando el resultado anterior se seleccionó un espesor de 3 mm. Para comprobar el diseño se realiza el cálculo del esfuerzo generado, en base al espesor seleccionado, el módulo de sección resultante de la E.c 2.35 es:

$$S_x = \frac{49.2 \text{ mm} * (3 \text{ mm})^2}{6}$$

$$S_x = 73.8 \text{ mm}^3$$

El esfuerzo al que estará sometido la viga horizontal basada en la E.c 2.34 será:

$$\sigma = \frac{12665.32 \text{ N} * \text{mm}}{73.8 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma = 171.61 \text{ MPa}$$

Despejando el factor de seguridad de la E.c 2.33 se obtiene:

$$N = \frac{276 \text{ MPa}}{171.61 \text{ MPa}}$$

$$N = 1.60$$

Con un factor de seguridad de 1.60 se establece un espesor del perfil dimensionado correctamente. Se adquiere el perfil de Aluminios FISA clase "N-1398" como se muestra en la Figura 2.18 ya que se toma como referencia el perfil usado en el estante de herramientas de la empresa "ATI"; por motivos de disponibilidad en el país, se une dos perfiles con pernos para usar sus destajes como guías para el módulo de montaje como se muestra en la Figura 2.19.

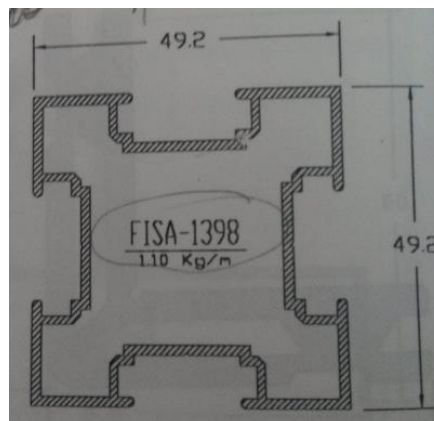


Figura 2.18 Perfil FISA-1398

Fuente: (CATALOGO_FISA, 2000, pág. 20)

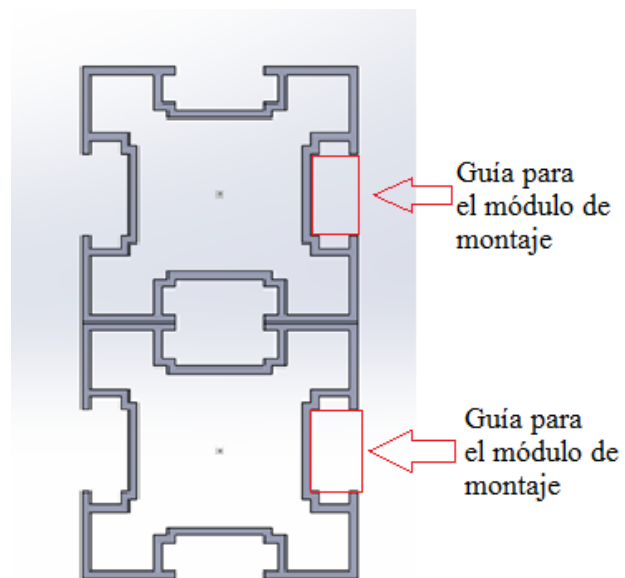


Figura 2.19 Perfil Adaptado

b. PERFIL VERTICAL

Para el análisis se considera el perfil vertical como una columna con una carga puntual como se muestra en la Figura 2.20. Basándose en esto se realiza el cálculo de los esfuerzos principales a los que estará sometido el perfil.

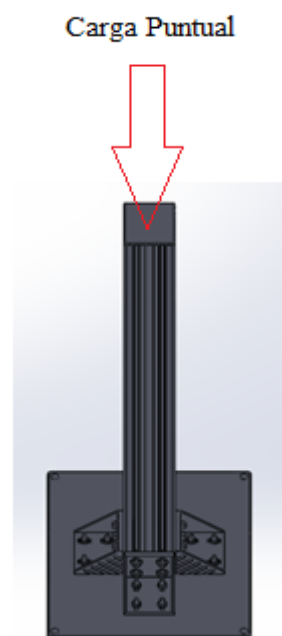


Figura 2.20 Perfil Vertical del estante de herramientas

Para el cálculo de los esfuerzos a los que estará sometido la columna se emplea el software MDSolids, mediante el cual se puede observar que se tiene una relación de esbeltez de $KL/r = 0.860$, una carga crítica resultante de $428.9E^6 N$ y un área transversal de $3.27 m^2$.

Datos:

Longitud columna = 1220 mm

Material = Aluminio 6061 – T6

Limite de tension Aluminio = 19.000 psi (Mott, 2006)

Metodo de calculo: Aluminio 6061 – T6 (MDSOLIDS)

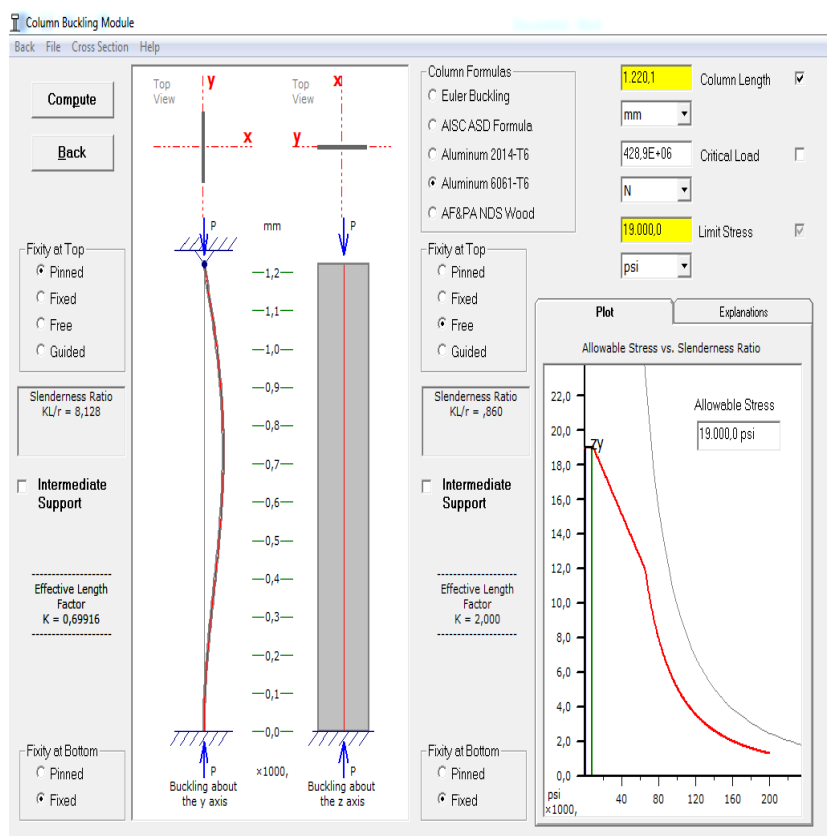


Figura 2.21 Resultado de los esfuerzos en la columna

De acuerdo con los resultados obtenidos de la Figura 2.21, se calcula la carga segura permisible, usando un factor de diseño $N=1.5$ con la E.c 2.37 (Mott, 2006, pág. 521).

$$P_a = \frac{P_{CR}}{N} \quad \text{E.c 2.37}$$

Dónde:

P_a Carga Segura Permisible [N]

P_{CR} Carga de Pandeo Crítica [N]

N Factor de Diseño

$$P_a = \frac{428E^{06} N}{1.5}$$

$$P_a = 285.3 E^6 N$$

Mediante la carga segura permisible se procede al cálculo del factor de seguridad con la E.c 2.38 (Mott, 2006, pág. 528).

$$FS = \frac{A \cdot S_y}{P_a} \quad \text{E.c 2.38}$$

Dónde:

P_a Carga Segura Permisible [N]

FS Factor de Seguridad

A Área de la sección Columna [m^2]

S_y Límite de Fluencia Aluminio [N]

$$FS = \frac{3.27 m^2 * 131E^6 N}{285.3 E^6 N * m^2}$$

$$FS = 1.501$$

Con un factor de seguridad de 1.501 dentro del límite que requiere Aluminium Association (Mott, 2006, pág. 521), se establece un perfil de Aluminio dimensionado correctamente.

c. PLACA BASE

Para el diseño de la placa base para el estante de herramientas se empleará Acero ASTM-A36 como se muestra en la Figura 2.22, por la apariencia rústica, el alto peso y el bajo costo. Las dimensiones de la placa base se detallan en el ANEXO F17.

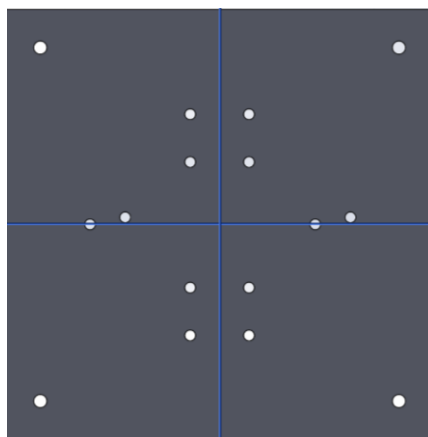


Figura 2.22 Placa base para el Estante

2.1.8. MÓDULO DE MONTAJE

El diseño del módulo de montaje como se muestra en la Figura 2.23, es la sujeción de la herramienta en el estante de herramientas mediante 4 guías en los destajes del perfil. La montura tendrá las siguientes dimensiones tomando en cuenta las dimensiones de las 6 herramientas como se muestra en la Tabla 2.3: alto de 153.16 mm y de ancho 130.18 mm, para este diseño se empleará Aluminio 6061-T6 (Mott, 2006, pág. 239), por el bajo peso, y fácil maquinado. Las dimensiones de la montura se detallan en el ANEXO F18.

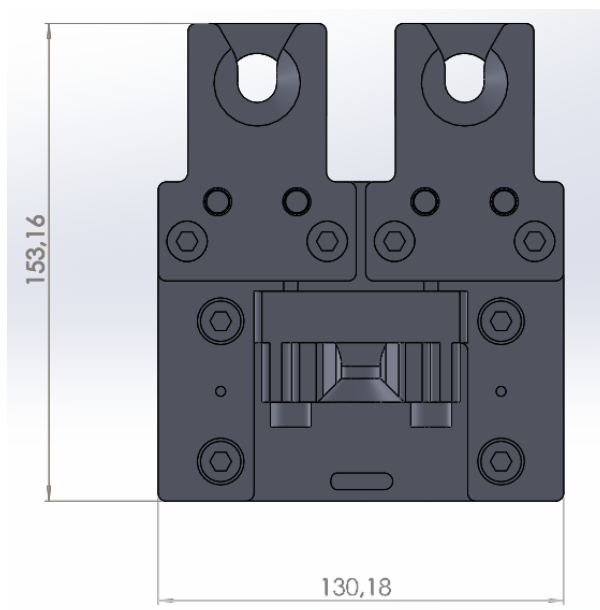


Figura 2.23 Módulo de montaje

2.1.9. PLATO EN “V”

Para el diseño del plato en “v” se considera la forma del sistema “master” y “tool” con los 6 agujeros para acoplarse con la herramienta como se muestra en la Figura 2.24; para cada herramienta se dimensiona un plato dependiendo del tamaño y la sujeción, ver ANEXO F12-F15, para el diseño se empleará Aluminio 6061-T6, por su bajo peso y facilidad para el maquinado.

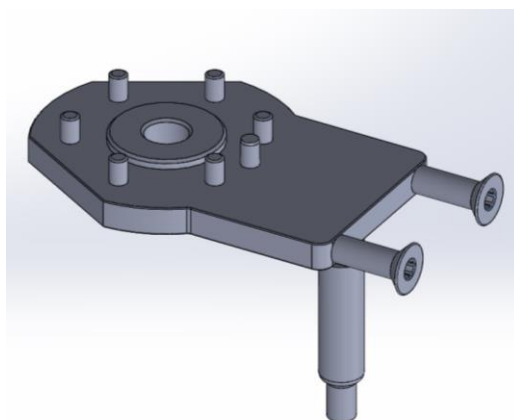


Figura 2.24 Plato en “v”

2.1.10. PIN DE ALINEACIÓN

Uno de los aspectos fundamentales para el diseño del plato en “v”, es el pin de alineación para poder estabilizar dicho plato en el módulo de montaje y

no existan tambaleos como se muestra en la Figura 2.25. Para el diseño se empleará Nylon por la resistencia a la rotura, impacto, tracción y la facilidad del maquinado. Las dimensiones del pin de apoyo se detallan en el ANEXO F16.

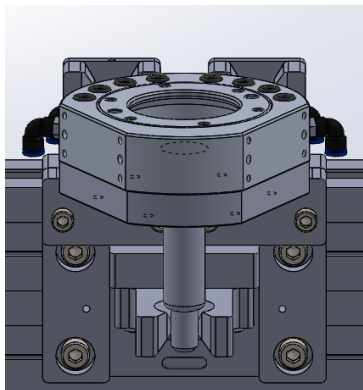


Figura 2.25 Pin de alineación

2.1.11. ANÁLISIS ESTÁTICO DEL CAMBIADOR

Para comprobar el diseño se emplea el software SolidWorks 2014 dando como factor de seguridad 4.23 como se muestra en la Figura 2.26, el valor alto es debido a que se utiliza dos perfiles por motivos de disponibilidad en el país y factibilidad para usar sus destaje del perfil como guías de sujeción para el módulo de montaje como se muestra en la Figura 2.27.

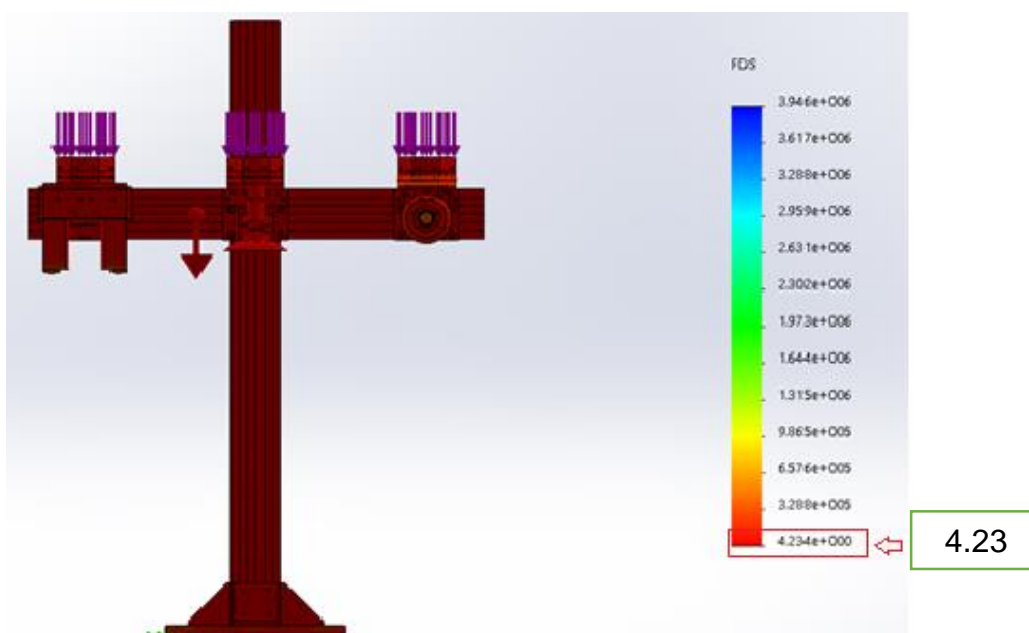


Figura 2.26 Factor de seguridad del estante de herramientas

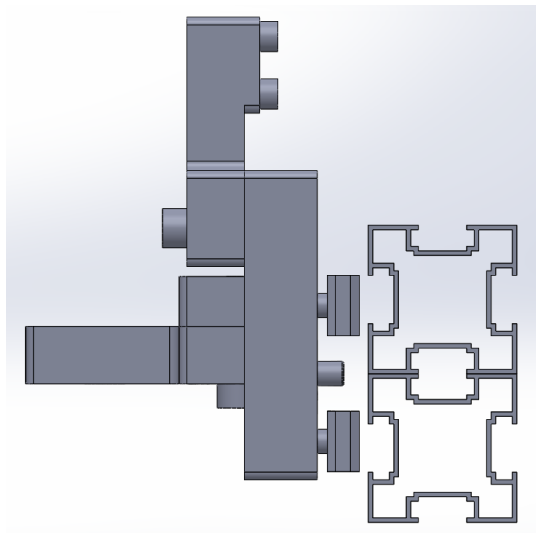


Figura 2.27 Guías del perfil para el módulo de montaje

2.2. DISEÑO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO

2.2.1. PARÁMETROS DE DISEÑO ELÉCTRICO - ELECTRÓNICO

El sistema debe ser capaz de cumplir con los siguientes requerimientos:

- Módulo eléctrico de 9 pines y 7 amperios ya que el motor Jäger tiene 7 cables para su conexión: 1 cable para tierra, 3 cables para las fases (“U”, “V”, “W”), 2 cables (PTC+, PTC-), 3 cables (protección a tierra) y la corriente es de 7 amperios.
- Módulo eléctrico de 7 pines y 6 amperios, ya que la pinza de carrera larga Schunk tiene el módulo FPS (Flexible Position Sensor) y este para su conexión tiene 7 cables (5 para las señales y 2 para tierra).
- Sensores de proximidad PNP 3 hilos DC, capaz de detectar Aluminio para sensar el estado del mecanismo de bloqueo.

2.2.2. SELECCIÓN DE LOS MÓDULOS ELÉCTRICOS

Se analiza las características eléctricas de las herramientas como: el voltaje, el amperaje y el número de cables como se muestra en la Tabla 2.5

Tabla 2.5

Características eléctricas de las herramientas

	HERRAMIENTAS	VOLTAJE	AMPERAJE	# PINES
CELDA 2	PINZA CARRERA CORTA	24 (V DC)	1 (Amp)	7
	MOTOR FRESADOR	200 (Ac)	7 (Amp)	9
	VENTOSA	N/A	N/A	N/A
CELDA 3	PINZA CARRERA CORTA	24 (V DC)	1 (Amp)	7
	PINZA CARRERA LARGA	24 (V DC)	1 (Amp)	7
	VENTOSA	N/A	N/A	N/A

2.2.3. CONECTORES OFERTADOS EN EL MERCADO

Se analizan los siguientes conectores ofertados en las tiendas web electrónicas.

a. Conector Soviético Militar

Estos conectores se pueden usar en conexiones entre equipos eléctricos, diversos instrumentos y medidores como se muestra en la Figura 2.28. En la Tabla 2.6 se muestra las características de este conector.



Figura 2.28 Conector Soviético eléctrico hembra y macho

Fuente: http://www.ebay.com/itm/19-pin-Soviet-Military-connector-Male-Female-Set-Oty-1-/251012791219?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item3a71873bb3

Tabla 2.6

Características técnicas del conector Soviético

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Tipo de Acoplamiento	Roscado
Tipo de Carcasa	Porta cables Rectos
Número de contactos	19
Corriente de Operación	7 A
Máxima Operación de Voltaje	560 V AC
Operación de frecuencia	0-3 MHz

Fuente: http://www.ebay.com/itm/19-pin-Soviet-Military-connector-Male-Female-Set-Oty-1-/251012791219?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item3a71873bb3

b. Conector de Aviación

En la Figura 2.29 se muestra el conector macho y hembra de 24 pines, roscado. Este conector se utiliza ampliamente en conexión de señales electrónicas de aviación, telecomunicaciones, informática, y los diversos tipos de instrumentos, las características se muestran en la Tabla 2.7.



Figura 2.29 Conector Aviación Eléctrico Hembra y Macho

Fuente:

http://www.ebay.com/itm/321505550810?_trksid=p2059210.m2749.l2649&ssPageName=STRK%3AMEBIDX%3AIT

Tabla 2.7

Características Técnicas Conectores Aviación

Nombre del Producto	Conector Plug de Aviación
Número de Pines	24
Diámetro de los Pines	1.5 mm
Voltaje	500 V Dc
Corriente	10 Amperios
Resistencia	2000 M Ω
Material	Metal
Peso	164 g

Fuente:

http://www.ebay.com/itm/321505550810?_trksid=p2059210.m2749.l2649&ssPageName=STRK%3AMEBIDX%3AIT

En función de los datos expuestos anteriormente se selecciona el conector soviético de 19 pines para acoplar y desacoplar eléctricamente el motor Jäger ya que cumple con las necesidades eléctricas de dicha herramienta, además se selecciona el conector de aviación de 24 pines para la Pinza de Carrera Larga marca Schunk ya que cumple con las necesidades eléctricas.

2.2.4. SENSORES DE PROXIMIDAD

En la Figura 2.30 se muestra el sensor de proximidad del mecanismo de bloqueo, el cual es el encargo de sensar la posición del pistón de Aluminio en el “master” en el estado de bloqueo o desbloqueo, para sensar se determina una distancia de referencia de 0.7 mm entre el sensor y el pistón.

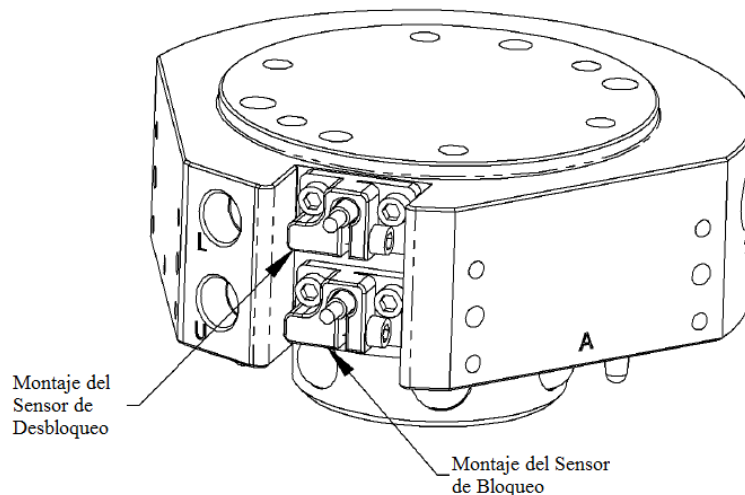


Figura 2.30 Sensor mecanismo de bloqueo

Conforme a los requerimientos mencionados anteriormente y considerando las dimensiones de los agujeros para sujetar el sensor en el “master”, se adquiere el Sensor Sick de la Figura 2.31. IM05-0B8NS-ZW1, ver ANEXO D1.



Figura 2.31 Sensor SICK IM05-0B8NS-ZW1

Fuente: <http://www.tme.eu/es/details/im05-ob8ns-zw1/sensores-de-induccion-cilindricos-dc/sick/im05-0b8ns-zw1/>

2.3. DISEÑO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA NEUMÁTICO

2.3.1. PARÁMETROS DE DISEÑO

El sistema neumático debe ser capaz de cumplir con los siguientes requerimientos:

- Suministrar la fuerza neumática necesaria al mecanismo de bloqueo para mantener fija la herramienta al momento que es acoplada.
- Controlar en modo manual y automático el mecanismo de bloqueo y desbloqueo del Plato “master” mediante una válvula neumática doble solenoide con conexión de ¼ NPT.
- Suministrar aire del plato “master” al plato “tool” y por ende a la herramienta acoplada.
- Funcionar con una fuente de aire comprimido de 6 Bar.
- Poseer 6 entradas de aire de 1/8 NPT, tanto el plato “master” como el plato “tool” para el paso de aire hacia las herramientas, como se muestra en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8

Características neumáticas de las herramientas

	Herramientas	Paso neumático	Número de puertos
CELDA 2	PINZA CARRERA CORTA	1/8 NPT	2
	MOTOR FRESADOR	1/8/ NPT	1
	VENTOSA	1/8 NPT	1
	OPS 100	1/8 NPT	1
	TOTAL	(5) 1/8 NPT	(5)
CELDA 3	PINZA CARRERA CORTA	1/8 NPT	2
	PINZA CARRERA LARGA	1/8 NPT	2
	VENTOSA	1/8 NPT	1
	OPS 100	1/8 NPT	1
	TOTAL	(5) 1/8 NPT	(6)

2.3.2. SELECCIÓN DE LA VÁLVULA SOLENOIDE

La selección de la válvula solenoide, basándose en la Tabla 2.8, se realiza dependiendo del número de vías, el voltaje, el tipo de accionamiento, conexión NPT. Se analizan las siguientes válvulas solenoides disponibles en el mercado nacional como se muestra en la Tabla 2.9.

a. VÁLVULAS BIDIRECCIONALES OPERADAS POR SOLENOIDE

Tabla 2.9

Válvulas Bidireccionales Chelic

Catalogo	Tipo	Accionamiento	Vuelta	Conexión NPT
SV-6201	5/2	2 solenoides	biestable	1/8
SV-6102	5/2	1 solenoide	resorte	1/4
SV-6202	5/2	2 solenoides	biestable	1/8

Fuente: <http://www.chelic.com/eng/products/SV/SV.php>

En relación con los datos expuestos anteriormente se selecciona la válvula bidireccional operada por solenoide SV-6202, como se muestra en la Figura 2.32 ya que cumple con las necesidades requeridas.



Figura 2.32 Válvula Solenoide Direccional

Fuente: <http://chuang678.qyhl.net/sell/itemid-62106.shtml>

2.3.3. FILOSOFÍA DE ACOPLÉ ENTRE “MASTER” Y “TOOL”

El sistema indica dos estados bloqueo/desbloqueo, como se muestra en la Figura 2.33, estos dos estados son captados por dos sensores inductivos que indican la posición del pistón.

El primer estado no permite activar las señales de aire que necesitan las diferentes herramientas (ventosa, pinzas, motor Jäger) que se envían del “master” hacia el “tool”.

Una vez que el sistema se encuentre correctamente acoplado, el segundo estado nos indicara que se encuentra bloqueado, en este estado se permite el mando de señales de aire hacia las herramientas, como se muestra en la Figura 2.34 y el ANEXO G1.

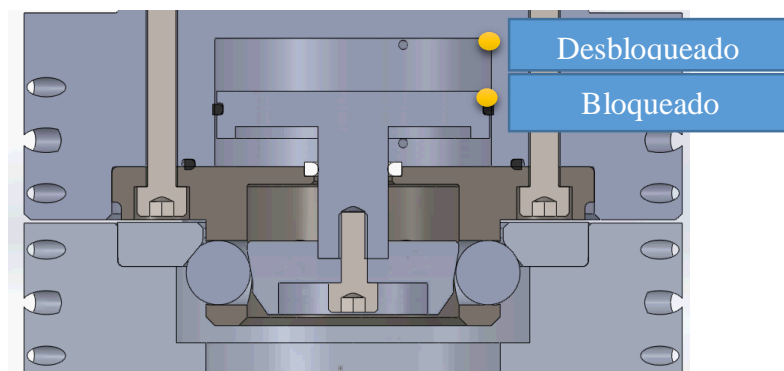


Figura 2.33 Estado del mecanismo (Desbloqueado/Bloqueado)

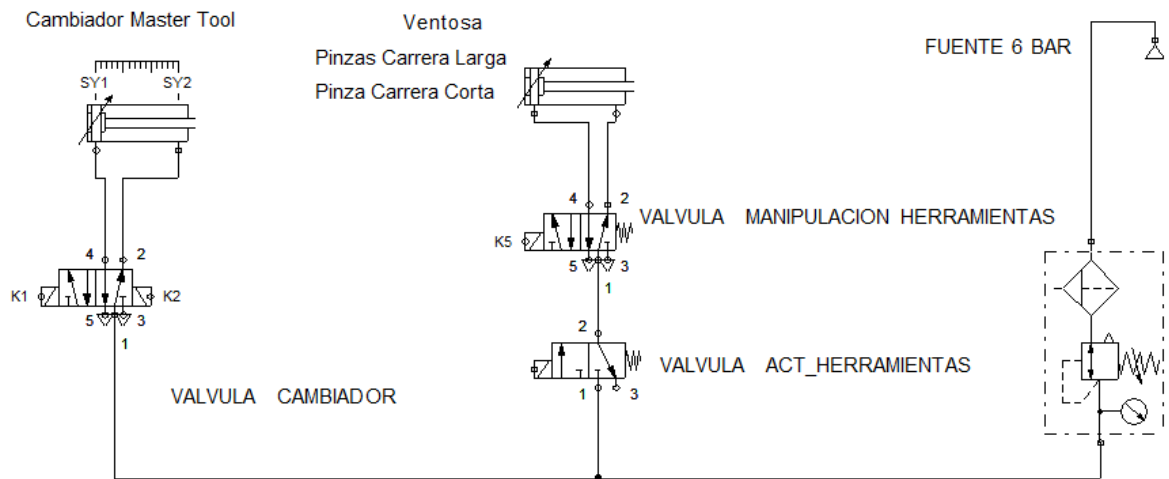


Figura 2.34 Diagrama del funcionamiento neumático

2.4. SISTEMA DE SEGURIDAD

2.4.1. SENSOR DE COLISIÓN “OPS-100”

El brazo robótico de la celda 2 y 3, cuenta con el sensor de colisión “OPS-100” Schunk, como se muestra en la Figura 2.35 y las características técnicas se muestran en la Tabla 2.10, el cual está diseñado para evitar daños en los efectores finales cuando choca con una superficie y ese instante detiene al robot de inmediato. Luego del choque, el sensor se restablecerá automáticamente cuando el robot se mueva del lugar del choque.



Figura 2.35 Sensor de Colisión “OPS-100”

Fuente:

http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/OM_AU_OPS80-100__EN.pdf

Tabla 2.10**Características Técnicas del Sensor Colisión “OPS-100”**

Tamaño	“OPS-100”
Presión de Operación (bar)	0.5 - 6
Deflexión Axial (mm)	14
Deflexión Angular (°)	12
Deflexión Rotacional (°)	360

Fuente:

http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/OM_AU_OPS80-100__EN.pdf

El sistema de seguridad para el cambiador es el sensor de colisión “OPS-100” Schunk, el mismo que se encarga de sensar cualquier colisión que pueda ocurrir: angular, axial o torsional en la trayectoria del brazo robótico, ver ANEXO B4.

2.5. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control se realizará en base al ordenador del KUKA, mediante programación con lo cual por medio del KCP permitirá al usuario:

- Manipular y monitorear la posición y velocidad del brazo robótico
- Seleccionar la herramienta a cambiar mediante una subrutina
- Manipular manualmente y automáticamente el cambiador de herramientas

2.5.1. PROGRAMACIÓN DEL CAMBIADOR DE HERRAMIENTAS

Para la programación del algoritmo de control para el cambiador se lo realiza en modo “experto” en el KCP del brazo, se programa creando dos lógicas una para tomar y otra para dejar la herramienta seleccionada por el usuario.

2.5.2. LÓGICA PARA TOMAR UNA HERRAMIENTA

En el diagrama de flujo de la Figura 2.36 se muestra el algoritmo de programación para tomar una herramienta del estante de herramientas con el cambiador.

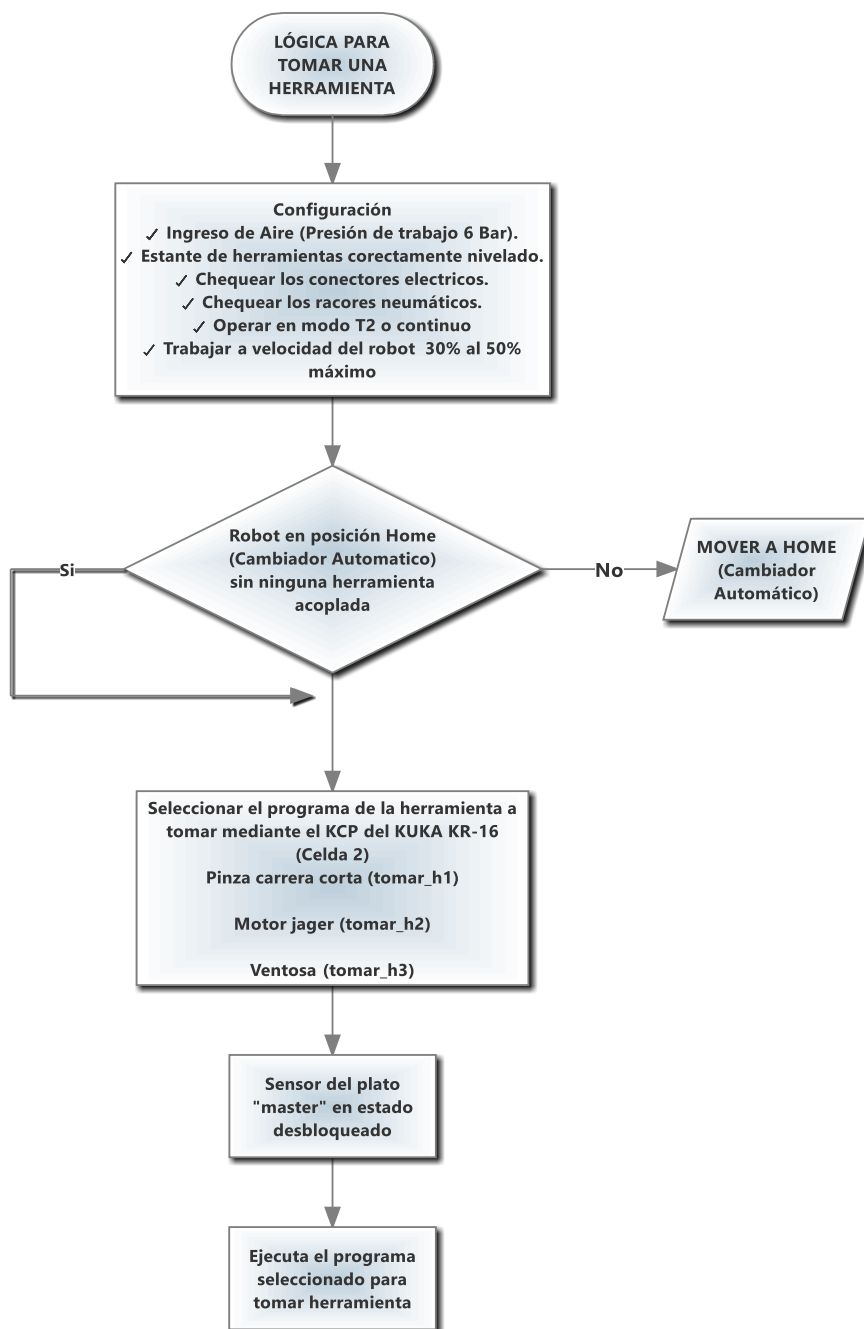


Figura 2.36 Diagrama de flujo para tomar una herramienta

2.5.3. LÓGICA PARA DEJAR UNA HERRAMIENTA

En el diagrama de flujo de la Figura 2.37 se muestra el algoritmo de programación para dejar una herramienta en el estante de herramientas con el cambiador automático.

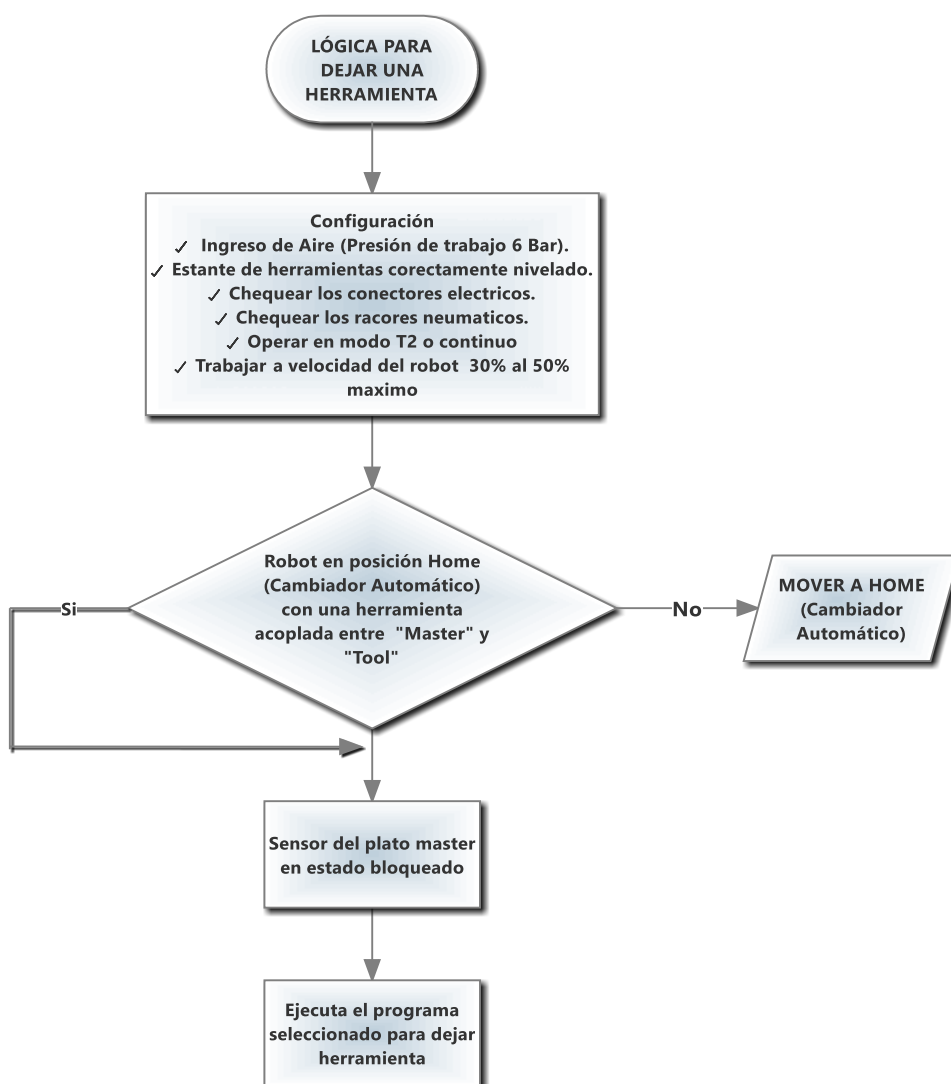


Figura 2.37 Diagrama de flujo para dejar una herramienta

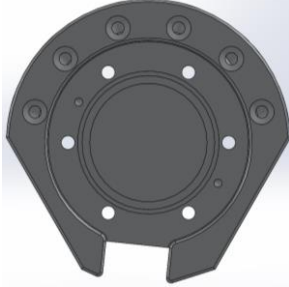
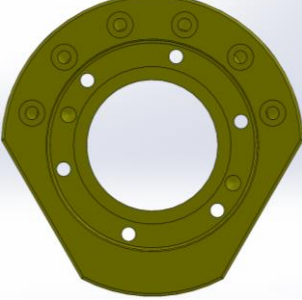
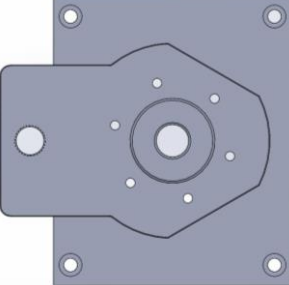
CAPÍTULO III CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

3.1. MODELADO DE LAS PIEZAS

Como se muestra en la Tabla 3.1, para el modelado 3D y la generación de los planos mecánicos se utilizó el Software SolidWorks 2014.

Tabla 3.1

Modelado de las piezas mecánicas

Nombre de la pieza	Modelado 3D	Plano
Plato "master"		F1
Plato "Tool"		F6
Plato en "v"		F12

3.2. SELECCIÓN DE LA MÁQUINA CNC

Por la geometría, dificultad y precisión de las piezas a mecanizar se utilizó el centro de mecanizado de 4 ejes “HAAS MINI MILL 2”, como se muestra en la Figura 3.1, para las especificaciones técnicas de la CNC ver ANEXO A2.



Figura 3.1 “HAAS MINI MILL 2”

3.3. MECANIZADO DE LAS PIEZAS

Como estrategia de mecanizado se utilizará la hoja de procesos.

3.3.1. MECANIZADO DEL PLATO “MASTER”

Para el mecanizado del plato “master”, se tiene como material bruto una platina de Aluminio 6061-T6 de 2” x 125 mm x 125 mm, la hoja de procesos del plato “master” se muestra en el ANEXO I1.

3.3.2. MECANIZADO DEL PLATO “TOOL”

Para el mecanizado del plato “tool”, se tiene como material bruto una platina de Aluminio 6061-T6 de 1-1/2” x 125 x 125 mm, la hoja de procesos del plato “tool” se muestra en el ANEXO I2.

3.3.3. MECANIZADO DEL PLATO EN “V”

Para el mecanizado del plato de interfaz del motor Jäger, se tiene como material bruto una platina de Aluminio 6061-T6 de 200 mm x 200 mm x 1”, la hoja de procesos del plato de interfaz del motor Jäger se muestra en el ANEXO I3

3.4. MONTAJE DE “MASTER” Y “TOOL”

3.4.1. MONTAJE DEL PLATO “MASTER”

El “master” está conformado por un mecanismo de bloqueo, dos pines de alineación, como se muestra en la Figura 3.2. Además, el “master” tiene 2 lados planos para el montaje de los módulos eléctricos.

El mecanismo de bloqueo consta de una leva, acople macho, y 6 bolas de Acero JIS. Pines de alineación situados en el cuerpo principal del “master” con agujeros en el cuerpo del “tool” para garantizar la alineación durante el proceso de acoplamiento.

El montaje se detalla en el ANEXO F8.

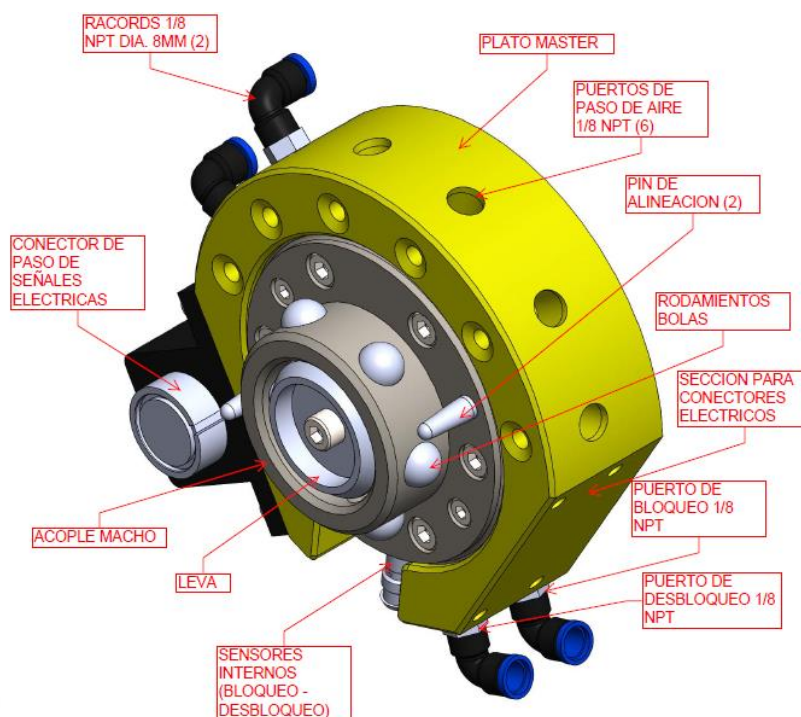


Figura 3.2 Montaje del plato “master”

3.4.2. MONTAJE DEL PLATO “TOOL”

Como se muestra en la Figura 3.3, el “tool” incluye un cuerpo de Aluminio 6061-T6, y la pista de rodamiento con los respectivos agujeros para el ingreso de los pines de alineación del plato “master”.

El montaje se detalla en el ANEXO F9.

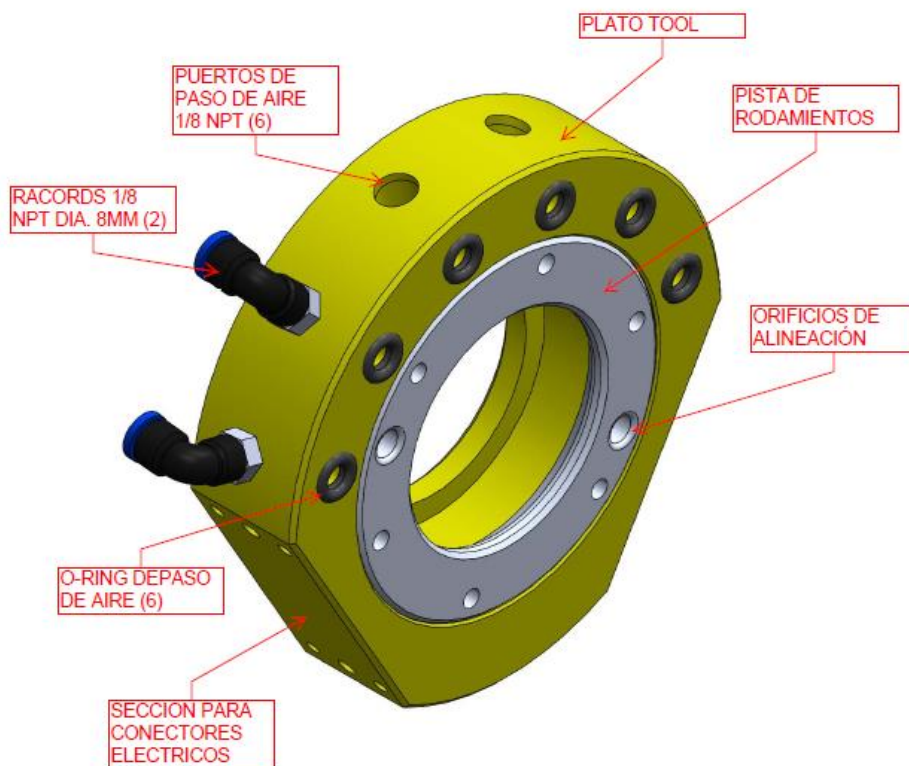


Figura 3.3 Montaje del plato "tool"

3.4.3. PLATO INTERFAZ DEL ROBOT

El Plato "master" está fijado al brazo robótico por medio de un plato de interfaz "master"-brida de la muñeca del robot como se muestra en la Figura 3.4; ya que el plato "master" directamente no es compatible con la brida de la muñeca del robot.

El montaje se detalla en el ANEXO F10.

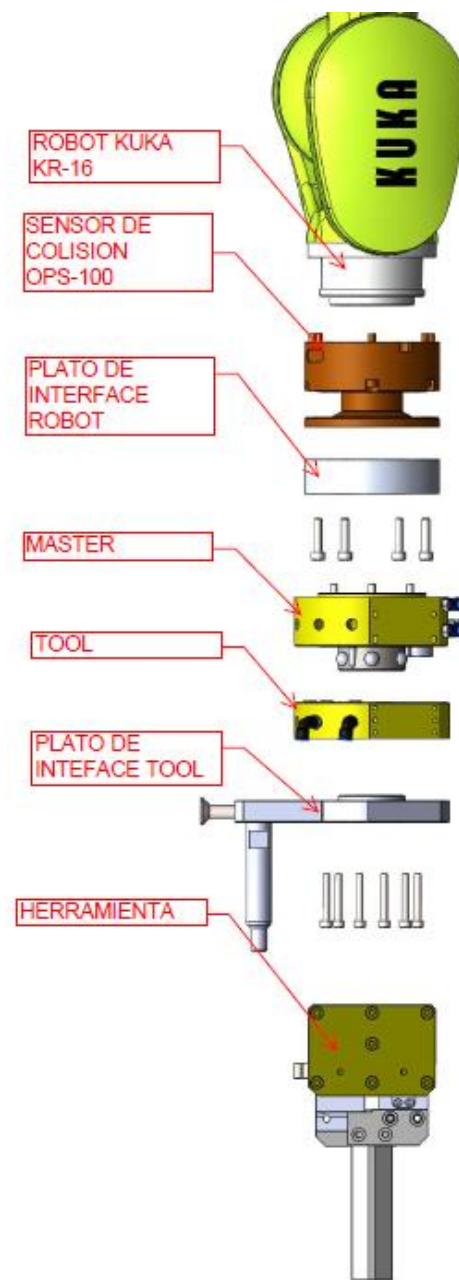


Figura 3.4 Montaje robot-"master"

3.4.4. PLATO EN "V"

Para cada herramienta se ha construido un plato en "v", el cual se encarga de unir la herramienta hacia el plato "tool" como se muestra en la Figura 3.5.

El montaje se detalla en el ANEXO F10.

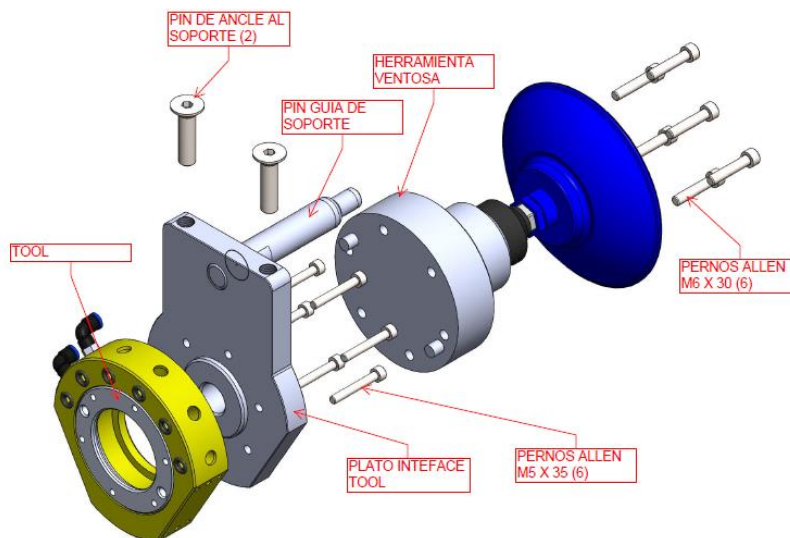


Figura 3.5 Montaje del plato en "v"

3.5. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO –ELECTRÓNICO

3.5.1. SENSOR DE BLOQUEO-DESBLOQUEO

El sistema eléctrico es el encargado de conectar todos los componentes electrónicos presentes en el cambiador, para que puedan operar conjuntamente de forma correcta, se implementó dos sensores de proximidad para detectar la posición de bloqueo o desbloqueo en el interior de plato "master", como se muestra en la Figura 3.6 y proporcionar las señales al módulo wago las cuales son las entradas digitales 7,13 de la celda número 2 como se muestra en la Figura 3.7.

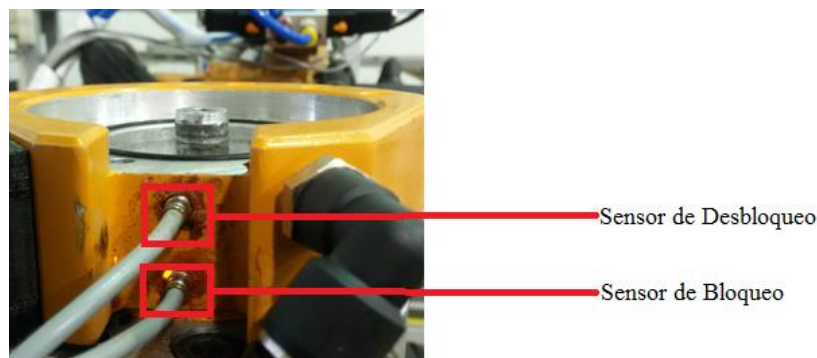


Figura 3.6 Implementación de los sensores de bloqueo/desbloqueo

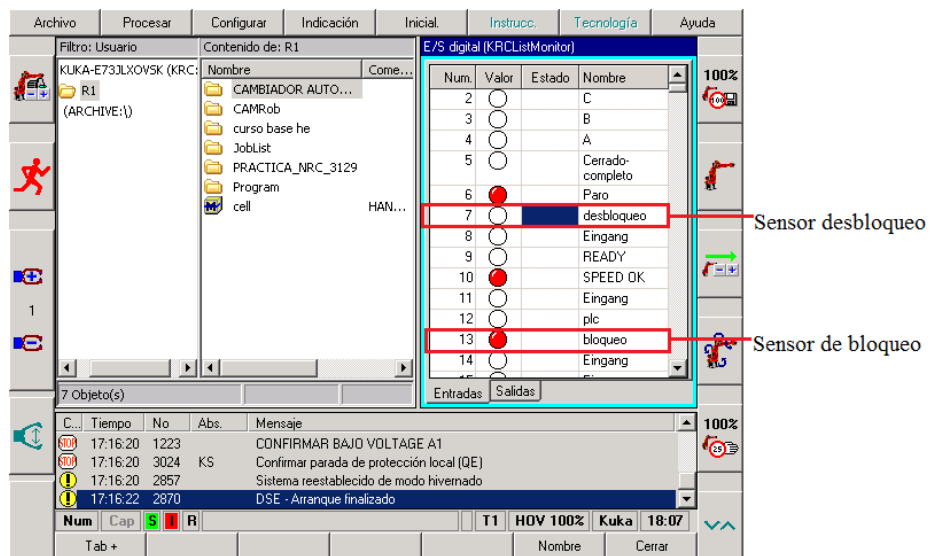


Figura 3.7 Entradas digitales de los sensores celda número 2

Las entradas digitales de los sensores de la celda número 3 son las 7, 14 como se muestra en la Figura 3.8.

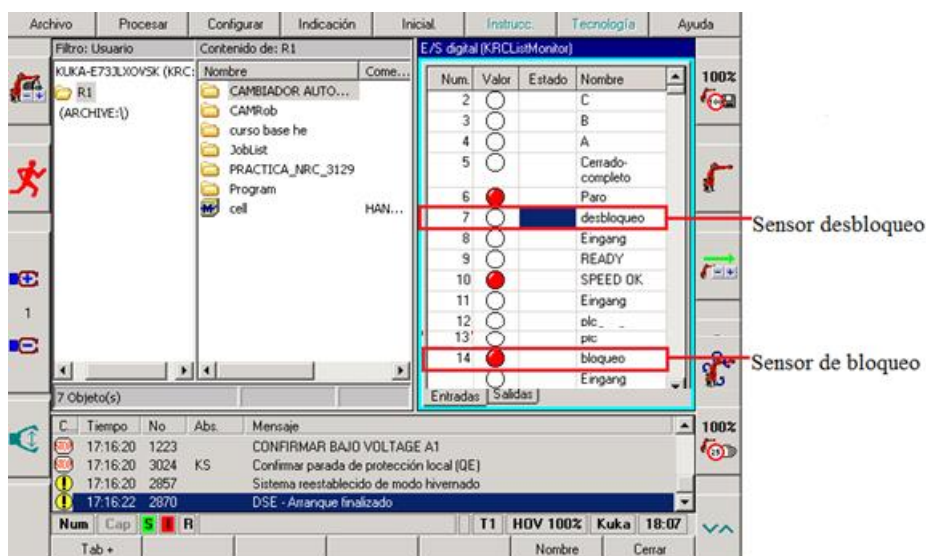


Figura 3.8 Entradas digitales de los sensores celda número 3

3.5.2. MÓDULOS ELÉCTRICOS

Se implementó los módulos eléctricos tanto el plato “master”, como se muestra en la Figura 3.9 y en el plato “tool” como se muestra en la Figura 3.10; para conectar y desconectar eléctricamente el motor Jäger y las pinzas neumáticas ya que poseen un módulo FPS (Flexible Position Sensor), ver ANEXO B3.



Figura 3.9 Módulo eléctrico “master”



Figura 3.10 Módulo eléctrico “tool”

3.5.3. SOLENOIDES

Se implementó tres solenoides como se muestra en la Figura 3.11, la salida digital 9 es la señal de la válvula solenoide la cual permite el ingreso de aire para bloquear el mecanismo, la salida digital 10 es la señal de la solenoide la cual habilita el desbloqueo del mecanismo y la salida digital 12 es la señal de la solenoide la cual se utiliza para el paso de aire hacia la herramienta actual.

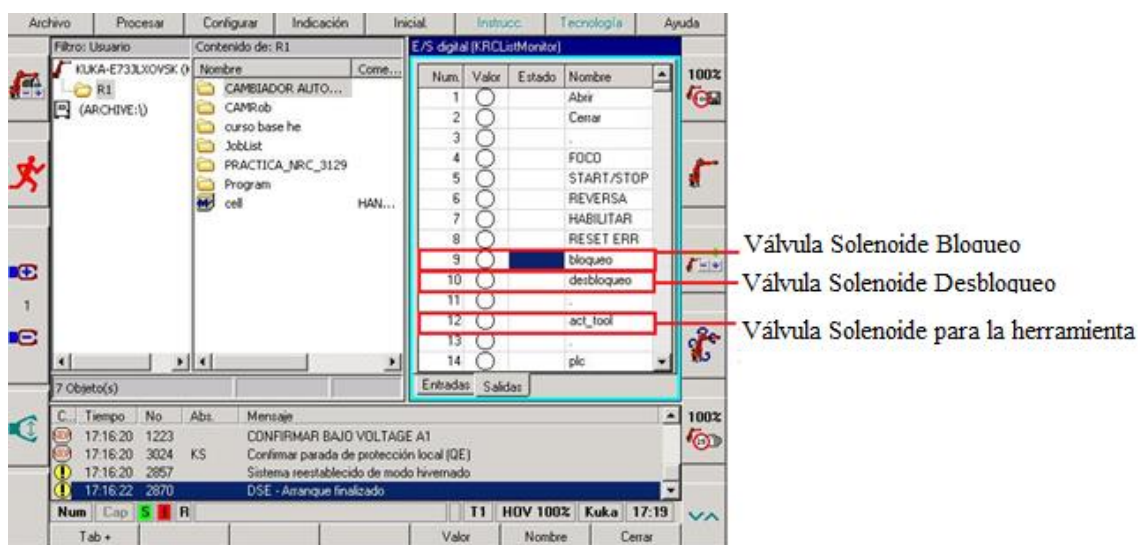


Figura 3.11 Salidas digitales de las válvulas solenoides

3.6. IMPLEMENTACIÓN DE COMPONENTES NEUMÁTICOS

El sistema neumático es el encargado del conectar todos los componentes neumáticos presentes en el cambiador automático de herramientas, para que pueda operar conjuntamente con el sistema eléctrico-electrónico de forma eficiente. A continuación se detallan los componentes implementados.

3.6.1. “O-RINGS” EN LOS PLATOS “TOOLS”

Se implementó “o-rings” ver el ANEXO A1 en las 6 ranuras diseñadas en los platos “tools” como se muestra en la Figura 3.12, para producir un efecto de cierre al momento de acoplarse con el plato “master” y evitar que escape aire.



Figura 3.12 O-rings en el plato “tool”

3.6.2. RACORES NEUMÁTICOS

Se implementó racores neumáticos en plato “master”, “tool” como se muestra en la Figura 3.13 y 3.14 y en las válvulas solenoides como se muestra en la Figura 3.15 para poder unir las mangueras neumáticas a sus distintos puntos de entras y salidas de aire.

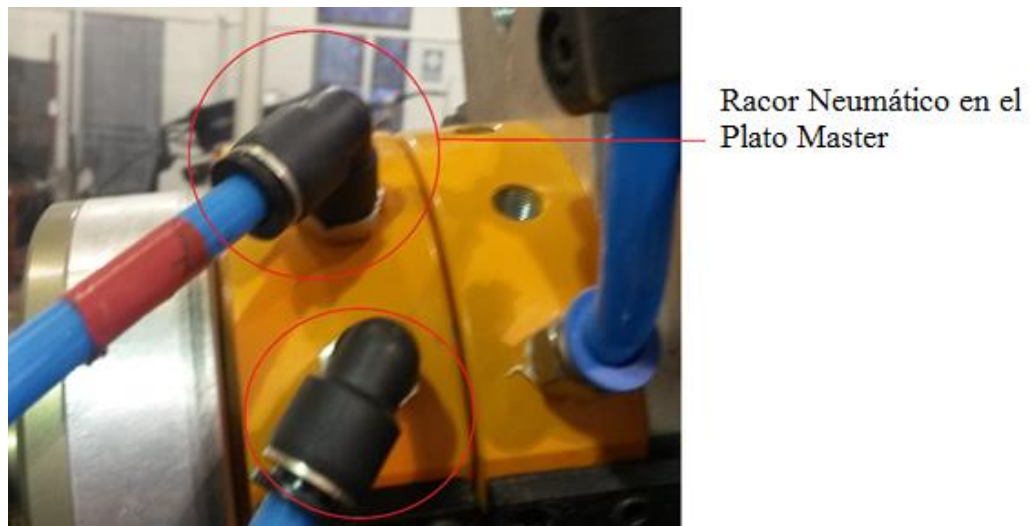


Figura 3.13 Racores neumáticos en el plato “master”

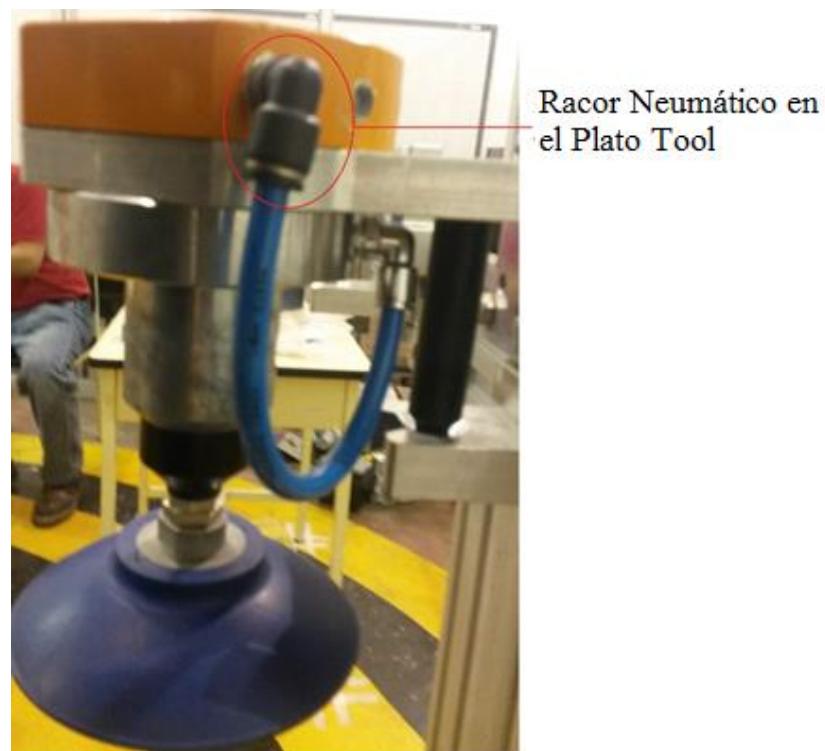


Figura 3.14 Racor neumático en el plato “tool”



Figura 3.15 Racores neumáticos válvula solenoide

3.7. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE SEGURIDAD

El sistema de seguridad es el sensor de colisión “OPS-100” como se muestra en la Figura 3.16, el cual es el encargado de detectar choque y sobrecarga es rápido y ligero, por lo tanto, se acopló mencionado sensor al

cambiador automático para así evitar colisiones del brazo con su campo de trabajo.

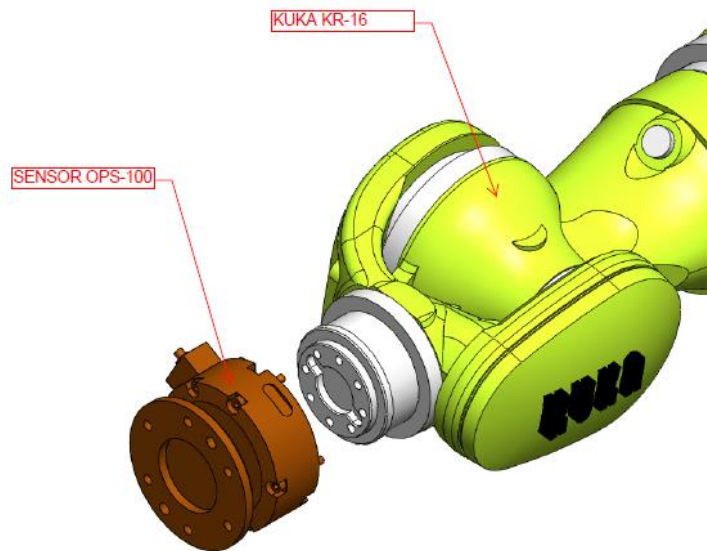


Figura 3.16 Sensor de colisión “OPS-100”

CAPÍTULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. PROTOCOLO DE PRUEBAS DEL SISTEMA

El proceso a seguir para realizar las pruebas es el siguiente:

- Verificar la alimentación neumática en el cambiador automático de herramientas.
- Verificar en modo manual el funcionamiento correcto del mecanismo de bloqueo en el plato “master”.
- Verificar que el estante de herramientas se encuentre en la posición marcada en el piso y este a nivel tanto el perfil horizontal como el vertical.
- Verificar que las 3 herramientas se encuentren correctamente posicionadas en el módulo de montaje del estante de herramientas.
- Verificar que los módulos eléctricos se encuentren en la posición correcta tanto el plato “master” como en el plato “tool”.
- Verificar que estén conectadas las entradas y salidas digitales del módulo wago hacia las 3 electroválvulas y a los sensores del plato “master”.
- Usar la configuración de las bases cargadas para las herramientas con el cambiador automático de herramientas antes de correr un programa tanto de tomar o dejar dicha herramienta seleccionada.

4.2. PRUEBAS DE TIEMPO DE CAMBIO

4.2.1. MODO MANUAL

Las pruebas de tiempo de cambio de las 3 herramientas en forma manual se lo realizó sin el cambiador automático de herramientas implementado y se determinó los tiempos que implica acoplar una herramienta al brazo robótico como se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1

Tiempos de cambio de las herramientas en forma manual

TIEMPO DE CAMBIO DE UNA HERRAMIENTA (FORMA MANUAL)					
CELDA NÚMERO 2					
Herramienta	Tiempo de acople de la herramienta en la muñeca del brazo robótico (min)	Tiempo de conexión eléctrica (min)	Tiempo de conexión neumática (min)	Tiempo de medición de la herramienta (min)	Tiempo Total (h:min':s'')
Pinza de Carrera Corta	30	-	10	30	1:10:00"
Motor Jäger	35	50	10	35	2:10:00"
Ventosa V-32	30	-	10	30	1:10:00"
Promedio					1:07:30"
CELDA NÚMERO 3					
Pinza de Carrera Corta	30	-	10	30	1:10:00"
Pinza de Carrera Larga	35	40	10	30	1:55:00"
Ventosa V-32	30	-	10	30	1:10:00"
Promedio					1:03:45"

4.2.2. MODO AUTOMÁTICO

Las pruebas de tiempo, como se muestra en la Tabla 4.2 con el cambiador del presente proyecto, se realizó el cambio con cada una de las tres herramientas a una velocidad del 50 % y en modo "T2" tanto en la celda número 2 y 3.

Tabla 4.2

Tiempos de cambio de las herramientas con el cambiador

TIEMPO DE CAMBIO DE UNA HERRAMIENTA (FORMA AUTOMÁTICA)			
CELDA NÚMERO 2			
Herramienta	Tiempo para tomar la herramienta (s".ms)	Tiempo para dejar la herramienta (s".ms)	Tiempo Total (s".ms)
Pinza de Carrera Corta	14":53	15":25	29".78
Motor Jäger	20":14	20":34	40".48
Ventosa V-32	15":21	15":25	30".46
Promedio			33".95
CELDA NÚMERO 3			
Pinza de Carrera Corta	14":53	15":25	29".78
Pinza de Carrera Larga	19":20	20":15	39".35
Ventosa V-32	15":21	15":25	30".46
Promedio			33".55

4.2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De los datos de tiempo de cambio de las herramientas, como se muestra en la Tabla 4.3 obtenidos en forma manual sin la implementación del cambiador y con la implementación se puede determinar que se redujo el tiempo de cambio de una herramienta de **1:36':15"** a **35".55** como se muestra en la Figura 4.1 representando una reducción de tiempo del 99.28 %.

Tabla 4.3

Tiempos de cambio de las herramientas

Herramientas	Tiempo de cambio (Manual)	Tiempo de cambio (Cambiador)
Pinza de carrera corta	1:10:00"	29".78
Motor Jäger	2:10:00"	40".48
Ventosa V-32	1:10:00"	30".46
Pinza de carrera larga	1:55:00"	39".35
Promedio	1:36:15"	35".22

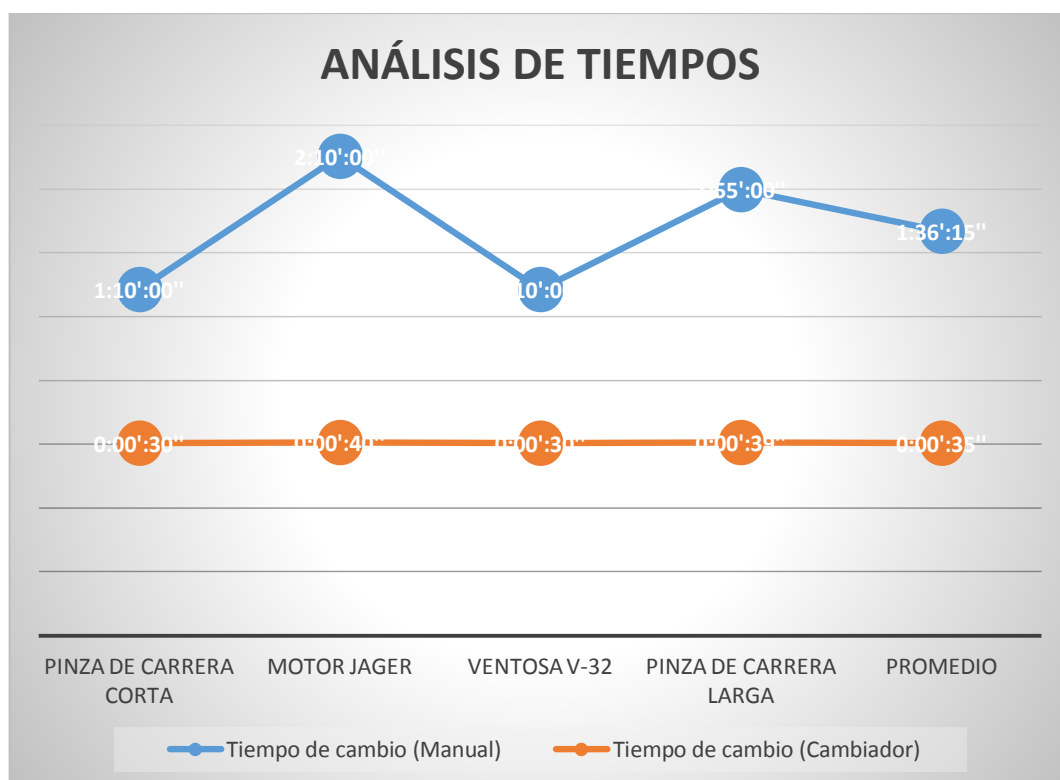


Figura 4.1 Análisis de tiempos de cambio de las herramientas

4.3. CONDICIONES DE ENSAYO PARA PRUEBAS DE REPETIBILIDAD

Según (Pardo Fuentelsaz, 2014) las pruebas con el cambiador del presente proyecto, se realizó el motor Jäger debido a que es la herramienta más pesada y a una velocidad del 50% del brazo robótico.

4.3.1. UBICACIÓN DEL CUBO EN EL ESPACIO DE TRABAJO Y SELECCIÓN DEL PLANO DE ENSAYO.

El cubo debe ser de 1500 mm de largo x 1500 mm alto x 1500 de ancho.

4.3.2. POSICIONES A COMPROBAR

Las posiciones a comprobar se especifican en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4

Posiciones utilizadas para las características de posicionamiento

Puntos	Coordenadas					
	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	A(°)	B(°)	C(°)
P ₁	620,97	-402,02	-326,75	-9,06	-0,35	84,76
P ₂	568,73	-391,82	-426,72	-9,03	4,12	84,86
P ₃	416,73	-195,28	30,62	11,76	-40,64	76,7
P ₄	319,54	-628,59	27,14	-7,52	-40,53	76,94
P ₅	407,76	-847,64	-383,77	-26,53	0	84,95

En la Figura 4.2 se muestra cada uno de las posiciones de ensayo sobre el rectángulo de ensayo.

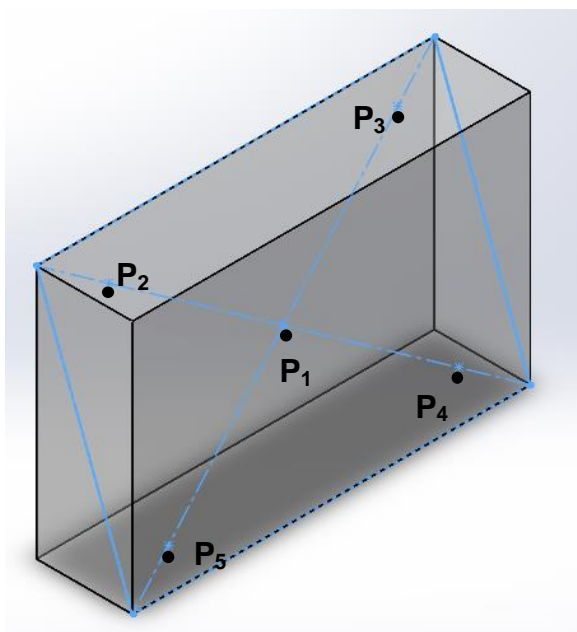


Figura 4.2 Planos y puntos para el ensayo

4.3.3. CICLOS DE ENSAYO

De acuerdo con (Pardo Fuentesaz, 2014), 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 4.3.

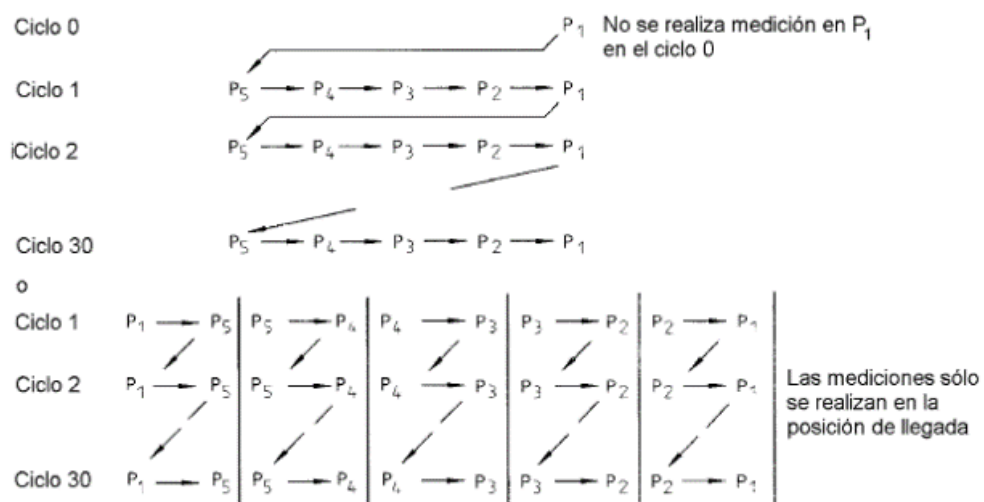


Figura 4.3 Ilustración de ciclos posibles

Fuente: (Pardo, 2010)

4.3.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

a. Precisión y repetibilidad de posicionamiento

De los datos obtenidos del cambiador 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 4.4.

Para el análisis se utilizó la dispersión como herramienta para mostrar en forma gráfica los valores representados, en este caso el error en posicionamiento del cambiador en cada uno de sus ejes coordenados en los puntos programados.

En la Figura 4.4 se exhibe el comportamiento del error en el eje x. El error más alto se puede apreciar en el punto P3 (color gris) y se encuentra en el rango de -0.04 y 0.04.

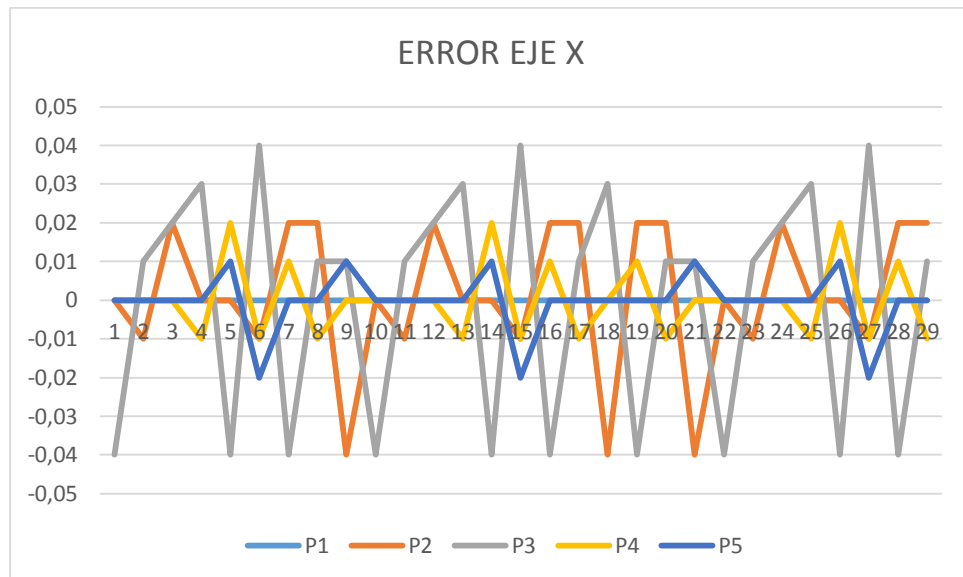


Figura 4.4 Resultados del error de precisión en el Eje X

En la Figura 4.5 se muestra el comportamiento del error en el eje y. El error más se puede apreciar en el punto P3 (color gris) y está en el rango entre -0.09 mm y 0,09 mm.

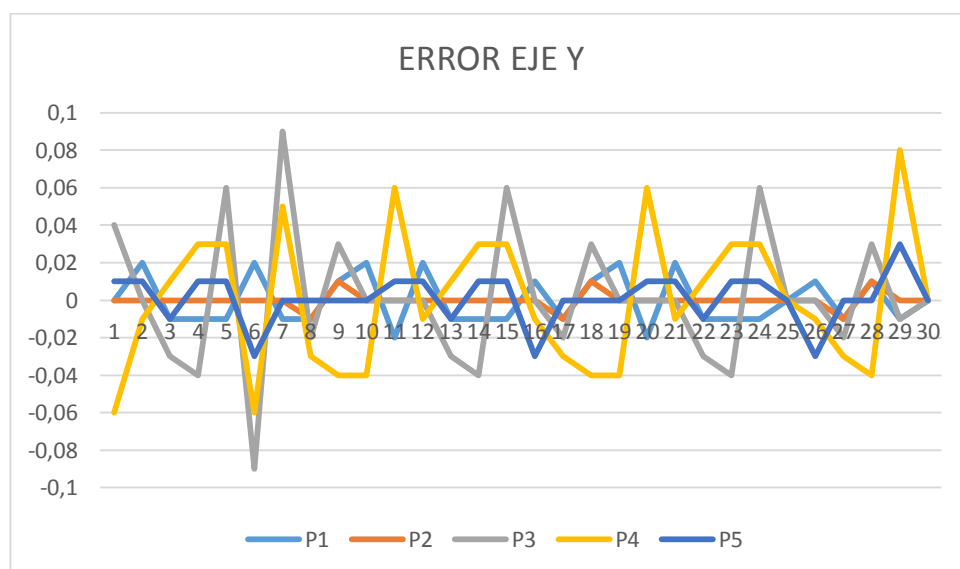


Figura 4.5 Resultados del error de precisión en el Eje Y

En la Figura 4.6 se exhibe el comportamiento del error en el eje z. El error más alto se aprecia en el punto P2 (color naranja) y está en el rango entre -0.3 mm y 0,25 mm.

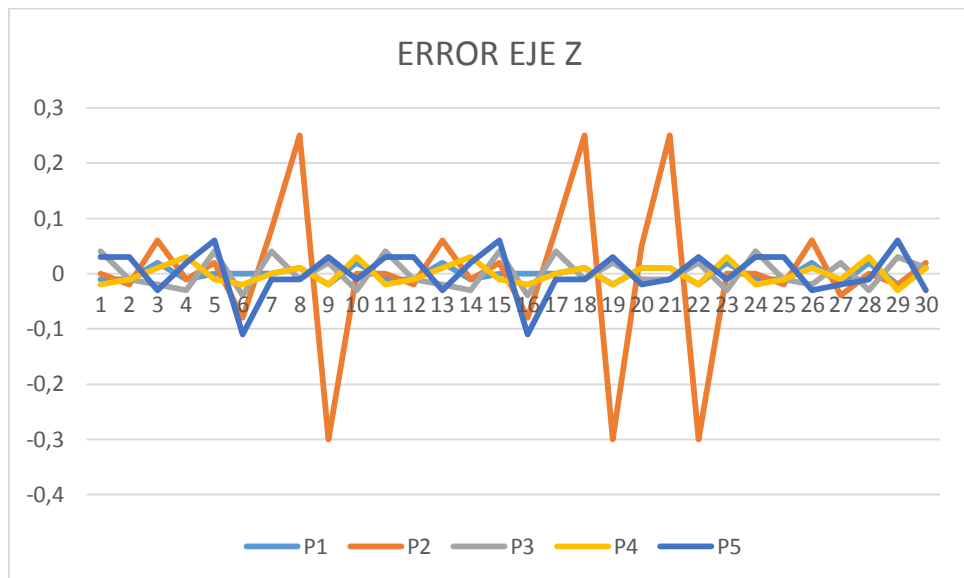


Figura 4.6 Resultados del error de precisión en el Eje Z

Según los datos obtenidos y aplicando las ecuaciones vistas en la sección 1.6.6.a y 1.6.6.b, se determina los resultados de exactitud y repetibilidad en posicionamiento y orientación del cambiador.

La Tabla 4.5 presenta los resultados, en formato especificado por la 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.

Tabla 4.5

Resultados de exactitud y repetibilidad de posicionamiento

Posicionamiento (mm)					
Posición	Precisión				Repetibilidad
	APx	APy	APz	App	
P1	0	0	0,00935484	0,00935484	0,008387097
P2	-0,01	0,00096774	-0,0383871	0,03968004	0,03557521
P3	0,00933333	-0,02	-0,01548387	0,02696037	0,024171363
P4	-0,00133333	0,04354839	0,01580645	0,04634742	0,041552863
P5	0,003	-0,0116129	-0,02322581	0,02613996	0,008387097
Promedio				0,14848263	0,109686533

Los datos de precisión de cada punto en los tres ejes coordenados, establecieron un valor promedio de 0,1484 mm, tomando en cuenta que el cambiador está acoplado a la brida del brazo robótico y dicho brazo de fábrica tiene una precisión $\pm 0.10 \text{ mm}$ (KUKA Datos técnicos Mecánica del robot, 2007, pág. 26).

Por otro lado, los resultados de repetibilidad establecieron un valor de 0.1096, reflejando que la implementación del cambiador no afecta en nada a la repetibilidad de fábrica del brazo robótico.

4.4. PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO

Para las pruebas mecánicas del cambiador automático de herramientas se realizó 180 cambios con las 3 herramientas, tomando como referencia que un cambio consiste en “tomar” y “dejar” la herramienta en el estante de herramientas, esta prueba se lo realizó durante 2 horas. En esta prueba se verificó si existe variación del nivel del estante de herramientas, el correcto funcionamiento del mecanismo de bloqueo en el plato “master”, el acople entre plato “master” con plato “tool”, el nivel del módulo de montaje, pines receptores como se muestra en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6

Lista de chequeo del sistema mecánico

LISTA DE CHEQUEO DEL SISTEMA MECÁNICO			
DESCRIPCIÓN	SI	NO	N/A
El estante de herramientas mantiene su nivel y su posición	X		
El mecanismo de bloqueo del plato "master" expulsa y contrae el pistón correctamente	X		
Los pines de alineación del plato "master" presentan desgaste		X	
Existe desgaste entre el pistón y el plato "master"		X	
Presenta desgaste el plato "tool"		X	
El módulo de montaje se mantiene a nivel	X		
Presentan desgaste los pines receptores		X	
Los pines de alineación se encuentran a la misma altura según el diagrama	X		

4.5. PRUEBAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO – ELECTRÓNICO

En la Tabla 4.7 se muestran las pruebas de consumo de potencia de los tres solenoides y los dos sensores implementados en el cambiador de la celda 2 y 3, las pruebas se lo hicieron a potencia de operación (50%).

Tabla 4.7

Potencia consumida total

Equipo	Voltaje (v)	Corriente (I)	Potencia Unitaria (P)	Potencia total (Pt)
Solenoides S1	24 VDC	104 mA	2.5 W	2.5 W
Solenoides S2	24 VDC	104 mA	2.5 W	2.5 W
Sensor Bloqueo	24 VDC	200 mA	4.8 W	4.8 W
Sensor Desbloqueo	24 VDC	200 mA	4.8 W	4.8 W
				14.6 W

Una vez realizadas las pruebas de consumo de potencia total por cada celda (2 y 3) se determina que los elementos consumen 14.6 W representando un valor correcto debido a que las corrientes continuas son bajas.

4.6. VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La hipótesis planteada para el proyecto es:

¿La implementación de un cambiador de herramientas permitirá reducir tiempos de cambio y potenciar el uso de las diferentes aplicaciones?

Basándose en los resultados de la sección 4.2 de la reducción de tiempos de cambio de **1:36':15" a 35".55** representando una reducción de tiempo del 99.28 %, se comprueba que el cambiador automático de herramientas reduce tiempos de cambio y potencia el uso para distintas aplicaciones acoplado cualquiera de las tres herramientas en minutos al brazo robótico de la celda número 2 y 3 del laboratorio de Robótica de las Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L.

4.7. ANÁLISIS FINANCIERO


Una vez implementado el sistema en la celda 2 y 3, se requiere de un análisis técnico – económico para valorar su funcionalidad.

En la Tabla 4.8, se detallan los elementos utilizados con sus respectivos costos para la construcción del sistema.


Tabla 4.8

Nómina de elementos utilizados en proyecto

Ítem	Descripción	Cantidad	P. Unit. \$	P. Unit. \$
1	Platina Aluminio 2"x125x125	1	42.00	42.00
2	Aluminio 1-1/2x6 Platina	0.384	281.170	107.97
3	Aluminio 3-1/2" Barra Redonda	0.178	297.560	52.97
4	Aluminio 1-3/4" Barra Redonda	0.049	79.400	3.89
5	Transmisión SAE 1018 2" Barra Redonda	0.048	38.00	1.82
6	Aluminio 1/2" Barra Redonda	0.082	10.200	0.84

Continúa 

7	Aluminio 2" Barra Cuadrada	0.114	133.330	15.20
8	Aluminio 1x12 Platina	0.305	374.250	114.15
9	Platina Aluminio 2"x120x150	3.00	48.130	114.39
10	Aluminio 3/8 x 2 Platina	0.120	31.240	3.75
11	Aluminio 1 x12 Platina	0.088	375.00	33.00
12	Transmisión SAE 1018 1" Barra Redonda			
13	Aluminio 2" Barra Cuadrada	0.140	133.270	18.66
14	Aluminio 3/8" x 2 Platina	0.240	31.270	7.49
15	Aluminio 1 x 8 Platina	0.091	249.910	22.74
16	Aluminio 1 x 12 Platina	0.176	374.860	65.98
17	Aluminio 2" x 50 mm	9.00	1.154	10.386
18	Platina 1 x 3/16	1	5.54	5.54
19	Oxicortes 20 mm	14.48 Kg	1.7	24.62
20	Oxicortes 10 mm	3.82 kg	1.60	6.11
21	Oxicortes 4 mm	1.06 Kg	1.60	1.70
22	Cuadrado FISA	2	65	130
23	O-rings	32	0.40	12.8
24	Pernos 8 mm x 16	18	0.35	6.30
25	Loctite	1	4.9107	4.9107
26	Pernos N1050	4	0.4821	1.92
27	Pernos N540	6	0.1714	1.03
28	Pernos P1040	10	0.5464	5.48
29	Tuerca COA8	4	0.0446	0.18
30	Rodela Pr GE12	4	0.0536	0.21
31	Perno EC 12334	4	3.88	15.54
32	Rodela Plana Acero SAE 5/16	15	0.089	1.339
33	Perno Allen C/C UNC 8 x16	16	0.150	2.400
34	Perno Allen AC 5x0.80x40	8	0.070	0.56
35	Perno Allen AC 5x0.80x30	8	0.060	0.48
36	Broca Recubierta Titanium 2.50 mm	1	0.200	0.20
37	Broca Recubierta Titanium 2.00 mm	1	0.150	0.15
38	Teflón Rollo	1	1.620	1.62
39	Perno HEX 5x0.80x10	4	0.030	0.12
40	Perno Allen 5x0.80x60	6	0.170	1.02
41	Tapones Caucho	12	1.66	20
42	Juego Machuelos M5x0.5	1	16.500	16.500
43	Sensores M8 y M18	10	372	372

Continúa 

44	Codo Quick 8mmx1/8 NPT	2	1.46	2.92
45	Conectores Eléctricos	4	19.005	76.02
46	Rodamientos de Acero	7	0.30	2.10
47	Pernos Al P10	2	0.5893	1.30
48	O-rings	4	0.35	1.40
49	O-ring B IGB343	6	0.1429	0.96
50	O-ring A IGA106	1	0.1339	0.15
51	Válvula Sole ¼ 5-2 DS 24 VDC	1	53.10	50.45
52	Acople Recto 8 mmx1/4 NPT	3	2.70	7.70
53	Reg Caudal UNID 8x1/8 NPT	2	5.14	9.77
54	Manguera 8ODx5ID BLUE	5	1.12	5.29
55	Cilindradas de Placas Taladros de Placas Pulidos	1	55.08	55.08
56	Pintura	1	13.53	13.53
57	Servicios de Torno y Suelta	1	20.00	20.00
58	Pega Epoxica	1	6.40	6.40
59	Mano de Obra Pintura	1	15.00	15.00
60	Impresora 3D (Porta O-rings)	4	2.50	10.00
61	Impresora 3D (Porta Acoples Eléctricos)	4	7.50	7.50
62	Material Eléctrico	1	92.45	92.45
63	Sumaq Electroválvulas	3	51.22	153.66
54	Servicio Mecanizado	1	925.48	1850.96
SUMATORIA				3630.6057

Por otra parte, en la Tabla 4.9 se detalla la mano de obra empleada durante la realización del presente proyecto.

Tabla 4.9

Costo de mano de obra

Ítem	Descripción	Salario	Tiempo (Meses)	P. Total \$
1	Ingeniero en Mecatrónica	380,00	12	4560,00
2	Ingeniero en Mecatrónica	380,00	12	4560,00
SUMATORIA				9120,00

La inversión total del proyecto que consta de dos cambiadores automáticos en la celda 2 y 3 es de 12750,60 USD; el sistema para dos brazos robóticos se encuentra avaluado a un costo de 36000,00 USD, con lo que se obtuvo un costo beneficio de 23249,40 USD.

Las características y la amplia flexibilidad del sistema, permitirá realizar proyectos técnicos en la celda 2 y 3. Además, permitirá capacitar a alumnos de ingeniería en la Universidad de las Fuerzas Armadas en el campo de sistemas flexibles de manufactura.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó de manera exitosa un cambiador automático de herramientas para el brazo robótico de la celda número 2 y 3 del Laboratorio de Robótica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L, cumpliendo con los parámetros de diseño establecidos; permitiendo desarrollar el sistema de manera idónea obteniendo una repetibilidad del 0.1096 que está dentro del rango establecido por el fabricante KUKA para la serie KR 16.

- Para el diseño del plato “master”, “tool” se utilizó Aluminio 6061-T6 y como software de modelación 3D, simulación de esfuerzos SolidWorks 2014, del cual se obtuvo que la mayor parte de concentraciones se encuentra en el “master” arrojando un factor de seguridad 2 demostrando así la selección idónea del material.

- Se diseñó, construyó un plato “master” para la brida de la muñeca del brazo robótico y tres “tools” para la pinza de carrera corta, motor Jäger y la ventosa de la celda número 2; además un plato “master” con tres “tools” para la pinza de carrera corta, larga y la ventosa de la celda número 3.

- Se diseñó, construyó un mecanismo de bloqueo/desbloqueo con un pistón neumático y 6 bolas de Acero para juntar a los platos “master” con “tool” en una condición de seguridad sin fallos hasta que el mecanismo sea desbloqueado.

- Los perfiles de Aluminio de la serie “N-1398” para el estante de herramientas fueron importados y certificados por el proveedor ya que se necesita tener una apariencia agradable, bajo peso, alta durabilidad, resistencia a la corrosión.

- Para los módulos eléctricos de conexión y desconexión rápida, se importó conectores de alta precisión desde los Estados Unidos y de Rumanía, y para construcción de la carcasa de los conectores se utilizó una impresora

3D para obtener un producto de alta calidad y precisión al momento de conectar las señales eléctricas del motor Jäger y de los módulos FPS (Flexible Position Sensor) de las pinzas neumáticas.

- Al ser el plato “master”, el mecanismo de bloqueo, el plato “tool”, los platos en “v”, los módulos de montaje; piezas que para ser mecanizadas necesitan alta precisión, se mecanizó en la máquina CNC “HAAS MINI MILL 2” de 4 ejes.

- Para el montaje se utilizó instrumentos de medición como el calibrador pie de rey, flexómetro y de nivelación el nivel de burbuja y para la parte eléctrica multímetro digital.

- Se realizó las pruebas de tiempo de cambio con la implementación del sistema; y se obtuvo una reducción de **1:36':15" a 35".55**, representando una disminución del 99.28 % el tiempo.

- Se realizó las pruebas de repetibilidad del cambiador con el motor Jäger siendo esta la herramienta la más pesada y a velocidad del 50% ya que a esta velocidad funciona correctamente el sensor de colisión “OPS-100” y se obtuvo una repetibilidad del 0.10968 considerando que el sistema depende de la repetibilidad del brazo robótico la cual es 0.10.

- Al momento de requerir “tomar” o “dejar” una herramienta en modo de operación “T1” se la puede hacer sin ningún inconveniente al 100 % de la velocidad; en modo “T2” o “AUT” se la puede hacer máximo al 50 %.

- El cambiador automático de herramientas para la celda número 2 y 3 construida con una inversión de 12750,60 USD incluyendo la mano de obra, representa un ahorro considerable con respecto a los cambiadores que se encuentran en el mercado entre precios que oscilan desde los 18000,00 USD hasta los 36000,00 USD

- El cambiador automático de herramientas fue implementado exitosamente en el laboratorio de las Universidad de las Fuerzas Armadas Extensión Latacunga, permitiendo a los docentes y alumnos realizar distintas aplicaciones utilizando las 3 herramientas en un mismo proceso.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para obtener una mejor repetibilidad a 0.1096 en el cambiador se recomienda usar un material de menor peso como es el duralon en la elaboración de los platos en “v” ya que a menor peso en la brida del robot se mantiene la repetibilidad de fábrica del brazo robótico.

- Se recomienda utilizar el software de modelación y simulación SolidWorks 2014 ya que contiene todos los complementos para un análisis completo desde el diseño hasta una simulación real para así obtener los parámetros necesarios para saber si el diseño es idóneo o no.

- Para la elaboración de las piezas maquinadas: plato “master”, “tool”, mecanismo de bloqueo, platos en “v” se recomienda usar Aluminio 6061-T6, debido a que este material tiene excelentes características de acabado, facilidad de maquinado y excelente resistencia a la corrosión.

- Para el mecanizado de las piezas se recomienda utilizar un centro de mecanizado CNC de 4 ejes ya que son piezas que requieren alta precisión.

- Una vez mecanizadas las piezas del cambiador, se recomienda usar el complemento de SolidWorks que es SolidCAM ya que optimiza los tiempos de operación en la CNC y posee una extensa librería para elegir el controlador de la máquina a usar.

- Para el paso de las señales eléctricas de las herramientas se recomienda usar conectores de alta confiabilidad ya que estos permiten conectar y desconectar las señales del motor Jäger, los módulos FPS (Flexible Position Sensor) de las pinzas neumáticas por lo tanto así asegurar una conexión eléctrica sin fallos.

- Al momento de requerir “tomar” o “dejar” una herramienta se recomienda hacerlo en una velocidad máxima del 50% y en modo de operación “T2” para evitar colisiones del brazo robótico con el estante de herramientas y asegurar un acople correcto entre el “master” y “tool”.

- Como método de seguridad al momento de realizar un cambio, se recomienda implementar sensores para detectar la presencia de las herramientas en el estante.

- Para mantener las herramientas libres de elementos externos; como protección se recomienda implementar una cubierta automática dando la apertura y cierre cuando se realiza un cambio.
- Se recomienda en la celda número 2 solo utilizar la aplicación CamRob ya que la RAM del KCR del brazo robótico KUKA KR 16-2 solo tiene una capacidad de 512 MB y el proceso se vuelve lento y el robot tiende a colgarse.
- Se recomienda adquirir un sensor de colisión con mayor deflexión axial y angular para poder maniobrar a más del 50% de la velocidad del brazo robótico.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrientos, A. (2006). *Fundamentos de Robótica*. Madrid: McGraw-Hill. .
- Flores, H. (2011). *Tecnología de los materiales en la construcción*. Acero. Chiclayo.
- Hamrock. (s.f.). *Elementos de maquinas*. McGraw-Hill Primera Edición.
- Laburu, N. (s.f.). *Máquinas Prontuarios Técnicas Máquinas Herramientas*. Madrid: Paraninfo S. A.,.
- Mott, R. (2006). *Diseno de Elementos de Maquinas*. Mexico D.F: Pearson.
- Smith, En W. F. Smith, *Fundamentos de la Ciencia e Ingenieria de Materiales* (págs. 439-440). Madrid: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA.

LINKOGRAFÍA

- ARO. (08 de 07 de 2014). *DirectIndustry*. Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/aro/pinzas-soldadura-por-puntos-robot-8013-1229069.html>
- ASD, A. (22 de 12 de 2014). *Arch 631*. Obtenido de http://www.google.com.ec/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fimg.docstoccdn.com%2Fthumb%2Forig%2F5615600.png&imgrefurl=http%3A%2F%2Fimages.frompo.com%2Fi%2Fmoment-diagrams-for-beams&h=1275&w=1650&tbnid=2cej4KFBD797M%3A&zoom=1&docid=owfeOfQUd8b_7M&ei=yTuYVLLrJaHs
- ASTERION. (12 de 12 de 2014). Obtenido de <http://asterion.almadark.com/wp-content/uploads/2010/05/awgamp.jpg>
- ATI AUTOMATION. (12 de Julio de 2013). *Cambiador automatico de herramientas*. Obtenido de http://www.ati-ia.com/Products/”tool”changer/robot_”tool”_changer.aspx

- AUTOMATION, I. (10 de 11 de 2014). *Descripcion del Producto y Caracteristicas de los Cambiadores*. Obtenido de "tool"changer/"tool"_changer_features.aspx
- CONSTANTINI. (05 de 05 de 2014). *Robot Kr 16*. Obtenido de http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=26&cad=rja&uact=8&ved=0CDkQFjAFOBQ&url=http%3A%2F%2Fconstantinisa.com.ar%2Fdownload.php%3Fid%3D9&ei=2WmYVOuvOY-_sQTivYLQDg&usg=AFQjCNFvdg5JqkNUeNU0Ng2wAEAu7sqCg
- COROMANT, S. (18 de 05 de 2014). *SANDVIK COROMANT*. Obtenido de http://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/milling/getting_started/machines_for_milling/pages/default.aspx
- EBAY. (11 de 11 de 2014). *Conector Sovietico*. Obtenido de http://www.ebay.com/itm/19-pin-Soviet-Military-connector-Male-Female-Set-Oty-1-/251012791219?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item3a71873bb3
- ELECTRIC, A. (08 de 11 de 2014). *EBAY*. Obtenido de http://www.ebay.com/itm/321505550810?_trksid=p2059210.m2749.l2649&ssPageName=STRK%3AMEBIDX%3AIT
- FREUDENBERG-NOIC. (10 de 10 de 2014). Obtenido de <http://www.darcoid.com/images/Image/Tab/simriz/Simrit%20Oring%20Sizes%20-%20JIS%20Semiconductor.pdf>
- grippers, V. (05 de 05 de 2014). Obtenido de http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/OM_AU_GSW-V__EN.pdf
- HAAS. (02 de 12 de 2014). Obtenido de http://www.haascnc.com/mt_spec1.asp?id=MINIMILL2&webID=MINI_MILL_VMC&id1=SMINIMILL#comparespec

- INT TECHNICS*. (10 de 10 de 2014). Obtenido de <http://sensorstrade.com/mpn/im18-12nps-zw1/>
- JÄGER* . (05 de 02 de 2014). *JÄGER HIGH PERFORMANCE SPINDLES*. Obtenido de <http://www.alfredjaeger.de/es/>
- krautzberger*. (08 de 07 de 2014). *DirectIndustry*. Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/krautzberger/pistolas-pulverizacion-pintura-automaticas-111057-1027559.html>
- KUKA* Datos técnicos Mecánica del robot. (21 de 02 de 2007). *KUKA Roboter GmbH*.
- ROBOTICS, K.* (07 de 08 de 2010). *ESPECIFICACIONES ROBOT KUKA KR-16*. Obtenido de file:///C:/Users/User/Downloads/spez_kr6_es.pdf
- SCHUNK*. (04 de 11 de 2014). *directindustry*. Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/schunk/pinzas-prension-cinematica-paralela-neumaticas-largo-recorrido-12463-551795.html>
- SCHUNK*. (05 de 11 de 2014). *GSW*. Obtenido de http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/GWS_064_EN.pdf
- SCHUNK*. (06 de 02 de 2014). *SCHUNK*. Obtenido de http://www.schunk.com/index_select_your_country2.html?IngCode=ES&continent=0&js=1
- Sensor de Colision* . (15 de 12 de 2014). Obtenido de http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/OM_AU_OPS80-100__EN.pdf
- SolidWorks*. (14 de Mayo de 2014). *SolidServicios*. Obtenido de *SolidCam*: <http://solidservicios.com/productos/solidcam/>
- SWS-I*. (06 de 11 de 2014). *SCHUNK*. Obtenido de http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/SWS_I_011__EN.pdf

TECNIACEROS. (12 de 22 de 2014). Obtenido de <http://www.tecniaceros.com/pdfs/aluminio.pdf>

TEM. (10 de 10 de 2014). Obtenido de <http://www.tme.eu/es/details/im05-ob8ns-zw1/sensores-de-induccion-cilindricos-dc/sick/im05-0b8ns-zw1/>

Übersicht, Z. z. (02 de 08 de 2010). *OEL CHECK*. Obtenido de <https://www.oelcheck.de/wissen-von-a-z/schmierstoffe-im-einsatz/industrie/kuka-alles-was-sich-in-der-automatisierung-bewegt.html>

WAGO. (06 de 05 de 2014). Obtenido de <http://www.farnell.com/datasheets/1671970.pdf>

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Juan Carlos González Vallejo y Orlando Fabricio Morales Vizuite bajo mi supervisión.

ING. MARCO SINGAÑA
DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. FAUSTO ACUÑA
CODIRECTOR DEL PROYECTO

ING. VICENTE HALLO
DIRECTOR DE CARRERA

DR. FREDDY JARAMILLO CHECA
SECRETARIO ACADÉMICO