

FECHA	3 junio de 2009
-------	-----------------

NÚMERO RA	
PROGRAMA	INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORES	NARVÁEZ JARAMILLO, Ricardo Andrés; ARÉVALO CAÑÓN, Leonardo y MARTÍN MUÑOZ, Julián Alberto.
TÍTULO	<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA ALIMENTACIÓN DE UN ROBOT PULIDOR PERTENECIENTE A LA EMPRESA VEA &amp; CIA LTDA</b>

PALABRAS CLAVES	BAUDIO, BIT, BYTE, BORNE, CHAPETA, CNC, ÉMBOLO, EXTRUSION, LADDER, MOTOMAN, NIBBLE, PICK & PLACE, PLC, SEXTA CARA.
-----------------	--

DESCRIPCIÓN	<p>VEA &amp; CIA LTDA. (Vidrio Equipos y Accesorios), es una compañía que se dedica a la fabricación de accesorios para acabados finales aplicadas a fachadas, divisiones de baño y puertas de seguridad.</p> <p>Durante el proceso de fabricación de dichos accesorios se encuentra el proceso de pulido y acabado. Este proceso es de gran importancia ya que culmina con la fabricación de cada uno de estos elementos, para posteriormente ser almacenados y empacados, listos para entregar a sus distribuidores. Enfocándonos en el sistema de pulido y acabado esta compañía dispone de un brazo robótico, el cual toma las piezas que le entrega un operario para que este comience el proceso de pulido. La compañía VEA &amp; CIA LTDA requiere un sistema mecánico automático que alimente el robot con la piezas y así aprovechar al máximo las prestaciones de este robot, que como tal, es un brazo MOTOMAN UP-20 con 6 ejes y una capacidad de levantar 20 kilogramos.</p> <p>La solución a la necesidad principal es diseñar y construir algún tipo de mecanismo para alimentar el brazo robótico con los diferentes tipos de piezas, resultando en la rápida, eficiente y controlada ejecución del pulimiento de las piezas. Esta es la manera de cómo se empieza a desarrollar el proyecto como tal, dando una solución a lo que la empresa VEA &amp; CIA LTDA necesita para solucionar su problema.</p>
-------------	--

<p>FUENTES BIBLIOGRÁFICAS</p>	<p>BEER Ferdinand y E. JOHNSTON Russell. Mecánica de materiales. Mc Graw Hill. Capítulo 9. Página 529.</p> <p>BEER, Ferdinand y JOHNSTON Russell. 1999. Mecánica Vectorial para Ingenieros. Estática Editorial Mc Graw Hill. Pág. 349-369.</p> <p>BEER JOHNSTON Dewolf. Mecánica de Materiales. Mc Graw Hill. Capítulo 10. Página 607 – 618.</p> <p>BOLTON W., mecatronica, sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica. Editorial alfaomega Cap 1. Pagina 24 – 79</p> <p>CHAPMAN Stheven, maquinas eléctricas, tercera edición. Mc graw hill capitulo 7 motores de inducción pag 387 – 443.</p> <p>DEL RAZO, Hernández Adolfo, Sistemas Neumáticos e Hidráulicos: Apuntes de Teoría" Editorial: U.P.I.I.C.S.A, México D.F., 2001.</p> <p>DEPERT W. y K. Stoll. Aplicaciones de Neumática Ed. Marcombo. España, Barcelona. P.p. 54-56, 87, 104 – 105, 124 - 129</p> <p>DEPERT W. y K. Stoll. Dispositivo Neumáticos Ed. Marcombo Boixareu. España, Barcelona. Pag: 8</p> <p>GUILLÉN Salvador, Antonio. Introducción a la Neumática Editorial: Marcombo, Boixerau editores, Barcelona-México 1988, p: 31 – 40</p> <p>HIBBELER, R. C. 1992. Mecánica para Ingenieros. Estática. Editorial. Pág. 269-274.</p> <p>PALLAS Ramon Areny, sensores y acondicionadores de senal, 3ra edición Editorial alfaomega , capitulo 1 pag 6 – 49, capitulo 9 pag 382 421</p> <p>PARKER Harry, 1991. Texto simplificado de Mecánica y</p>
-----------------------------------	---

Resistencia de Materiales. Editorial Limusa S.A. de C.V, México, DF. Pág. 149-168.

POPOV, E. (1996). Introducción a la mecánica de sólidos. México D.F., México: Editorial LIMUSA, S.A. de

SVOBODA y dorf, circuitos eléctricos, 5ta edición, Editotial alfaomega capitulo 12, circuitos trifásicos pag 534 – 554.

### **Paginas WEB consultadas**

<http://www.automotionconveyors.com/spanish/productos/transportadores/index.html>, consultada en julio de 2008

[http://www.dornerconveyors.com/conveyors/belt\\_conveyors.asp](http://www.dornerconveyors.com/conveyors/belt_conveyors.asp), consultada en julio de 2008

[http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica\\_cableada](http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica_cableada), consultada en enero de 2009

<http://www.controlsprinciples.co.uk/whitepapers/spanishwp/14ProgLogicSP.pdf>, consultada en enero de 2009

<http://www.edcousa.net/vacuum-training.html>, consultada Agosto de 2008

[http://portaleso.homelinux.com/usuarios/Toni/web\\_simbolos/unidad\\_simbolos\\_electricos\\_indice.html](http://portaleso.homelinux.com/usuarios/Toni/web_simbolos/unidad_simbolos_electricos_indice.html), consultada enero de 2009

<http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/Usrn/fisica/Recursos/flash2/rele.swf>, consultada en febrero de 2009

<http://www.monografias.com/trabajos31/transductores-sensores/transductores-sensores.shtml>, consultada en enero de 2009

<http://www.directindustry.fr/prod/mepsa/polisseuse-rectifieuse-22721-55264.html>, consultada en junio de 2008

NÚMERO RA	
PROGRAMA	Ingeniería Mecatrónica

CONTENIDOS	<p><b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.</b> Este capítulo referencia el estado del arte, se describe y se formula el problema y se realiza su debida justificación. Después de formulado el problema se entra a definir el objetivo general y sus correspondientes objetivos específicos.</p> <p><b>MARCO DE REFERENCIA.</b> Aquí se realiza toda la fundamentación teórica requerida para el diseño y construcción de la máquina alimentadora de piezas.</p> <p><b>METODOLOGÍA.</b> Se le da un enfoque a la investigación con su debida línea de investigación.</p> <p><b>DESARROLLO INGENIERIL.</b> Se plantean los distintos diseños preliminares de la máquina luego se justifica y se explica el diseño seleccionado, con sus respectivos cálculos y fundamentos de ingeniería tanto para la parte eléctrica, mecánica, neumática y de control.</p> <p><b>PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.</b> Este capítulo esta dedicado a la presentación y el análisis de los experimentos y las técnicas de recolección utilizadas para el desarrollo del proyecto.</p>
------------	--

NÚMERO RA	
PROGRAMA	Ingeniería Mecatrónica

METODOLOGÍA	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>Enfoque de la investigación</b> (empírico – analítico, <b>campos de investigación:</b> automatización de procesos y robótica, <b>sub líneas de facultad:</b> instrumentación y control de procesos, <b>líneas institucionales:</b> tecnologías actuales y sociedad, <b>Nodo:</b> Mecatrónica.</li> <li>Realizar una estadística de producción de las piezas que son pulidas en un día de jornada laboral en VEA &amp; CIA LTDA, para demostrar que si se justifica la construcción de la máquina. Para definir las medidas exactas del diseño de la máquina se deben tomar medidas del cuarto donde van a ser instalados el robot, la máquina, y las pulidoras. Se recogieron muestras de las referencias que van a ser pulidas por el robot y posteriormente realizar la respectiva toma de medidas a cada una. Por medio de simulación en CATIA, realizar pruebas a la estructura de cada uno de los modelos propuestos como solución del proyecto, que coincida con los datos calculados en el diseño de cada uno, comprobando así que la estructura esta bien diseñada y tendrá buen desempeño en la máquina, Hacer un estudio de calidad de cada uno de los modelos propuestos para así tomar la decisión correcta de cual es el diseño mas adecuado, teniendo en cuenta tanto las especificaciones técnicas, como las especificaciones de VEA &amp; CIA LTDA.</li> </ol>
-------------	--

CONCLUSIONES	<ul style="list-style-type: none"> <li>En cuanto al diseño del sistema de transporte de piezas, se encontró que el proceso de selección del sistema por el método de la matriz de calidad (QFD), fue el más diciente de todos los métodos, ya que con este se incluyen, tanto los requerimientos técnicos, como los requerimientos de la empresa VEA &amp; CIA LTDA patrocinadora del proyecto.</li> <li>En lo concerniente al proceso de doblado para realizar los rieles de la pista, se tomó la decisión de utilizar como materia prima para este proceso un perfil de acero calibrado en lugar de un tubo como se había dispuesto en principio, ya que en la investigación realizada en la empresa dobladora y curvadora de tubos CERCOL se observó, que al doblar el tubo este presentaba unas irregularidades en la curva, muchas veces hundimientos o rugosidades, los cuales ocasionarían un problema para el desplazamiento de los carros.</li> <li>El diseño mecánico seleccionado, resultó ser el más adecuado para el espacio disponible en el cuarto de pulido donde se encuentra el robot, ya que los otros</li> </ul>
--------------	--

	<p>diseños propuestos ocupaban más espacio que con el que se cuenta.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• En lo referente a la teoría de control, se presentan dos posibles soluciones, así tras una discusión de grupo optar por la más conveniente de acuerdo a la lógica de control, tipos de algoritmos a utilizar y que materiales o elementos de control final utilizar, dando como resultado el manejo e implementación de un PLC ya que ofrece estabilidad y confiabilidad de control, así mismo permitiendo por medio de una etapa de desacople controlar de manera externa el brazo robótico, de esta manera generado un control centralizado y más eficiente.</li><li>• Con respecto al diseño del sistema de control para el transporte de piezas, la investigación de cual podría ser el controlador más adecuado arrojo como resultado el LOGO! de Siemens, por varias razones, entre las cuales están: el precio en el mercado, el número de entradas y salidas, existencias en bodega, dado que algunos de los otros controladores que se investigaron debían ser importados o traerlos de otra ciudad de Colombia, aumentando aun más su costo y tiempo de adquisición y finalmente el software de programación, ya que el LOGO! cuenta con un software sencillo de manejar, didáctico y cuenta con la herramienta de simulación, muy útil al momento de buscar errores en el código de programación o de verificación del proceso, sin tener la necesidad de programar el controlador para realizar las pruebas.</li><li>• En lo pertinente al sistema de pulido de la sexta cara de cada una de las piezas, se pudo identificar que para un correcto funcionamiento de la pulidora era necesario adicionar al sistema neumático encargado del movimiento de la pulidora, unas válvulas anti-retorno pilotadas en las entradas de aire del cilindro que aproxima el rodillo pulidor a las piezas, ya que en las pruebas iniciales resultó que el rodillo, aun con el bloqueo del cilindro, seguía avanzando lo que ocasionaría un pulido irregular en la sexta cara de la pieza, por este motivo se implementaron dichas válvulas que impedían el retorno del aire encerrado en el cilindro bloqueándolo por completo evitando que continúe moviéndose.</li><li>• En cuanto a la selección del tipo de lija más adecuado para la pulidora, resultó que los tipos de lijas organizadas de menor a mayor puntaje durante el experimento de pulido son las siguientes: lija tipo</li></ul>
--	--

	<p>220, tipo 180 y tipo 240, siendo esta última la más apta con una calificación de 13 puntos, valor que está por encima de las calificaciones de los otros tipos de lijas.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• En la inspección realizada al pulido de la pieza por la empresa VEA &amp; CIA LTDA, resultó que con únicamente 2 pasadas de la pulidora es suficiente para obtener un buen acabado en las piezas y así mantener y hasta mejorar la calidad del producto.</li></ul>
--	--

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA  
ALIMENTACIÓN DE UN ROBOT PULIDOR PERTENECIENTE A LA EMPRESA  
VEA & CIA LTDA**

**RICARDO ANDRÉS NARVÁEZ JARAMILLO  
LEONARDO ARÉVALO CAÑÓN  
JULIÁN ALBERTO MARTIN MUÑOZ**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BOGOTÁ  
2009**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA  
ALIMENTACIÓN DE UN ROBOT PULIDOR PERTENECIENTE A LA EMPRESA  
VEA & CIA LTDA**

**RICARDO ANDRÉS NARVÁEZ JARAMILLO  
LEONARDO ARÉVALO CAÑÓN  
JULIÁN ALBERTO MARTIN MUÑOZ**

**Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico**

**Tutor Ingeniero Carlos Héctor González Villarraga**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BOGOTÁ  
2009**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

## **Agradecimientos**

Para la realización de este trabajo de grado se ha requerido de un gran esfuerzo por parte de los integrantes del grupo, pero a su vez han habido personas que han sido parte importante en el desarrollo del mismo, por eso a continuación queremos citar a estas personas que muchas veces fueron un soporte importante:

Primero y antes que nada agradecer al patrocinador del proyecto el señor José del Carmen Martín, Gerente de la empresa VEA & CIA LTDA, por su interés y apoyo en todo momento, sus enseñanzas, gracias por todo.

A nuestras familias, por su apoyo en los momentos de flaqueza, por estar siempre pendiente de nosotros, animándonos en todo momento a seguir adelante con buen temple, sin mirar hacia atrás, a Claribel Cañón y Raúl Arévalo los padres de Leonardo, a Isabel Jaramillo la madre de Ricardo, a Magnolia Muñoz y Misael Martín padres de Julián. También queremos agradecer a los empleados de la empresa VEA, quienes han sido de gran ayuda en el desarrollo del proyecto, Jairo Andrés Hernández, Mauricio Martín, por estar al tanto de cualquier cosa que necesitáramos cuando estuvimos en la empresa y por estar pendiente de la adquisición de los materiales para construir la máquina.

Un agradecimiento especial a nuestro asesor de tesis ingeniero Carlos González Villarraga por siempre aconsejarnos y asesorarnos, por dedicarnos tiempo aun cuando más ocupado estaba o en sus descansos, gracias por la dedicación e interés de parte suya.

Igualmente agradecer a Nelson Zuica el encargado del taller de la universidad, donde hemos desarrollado gran parte del proyecto y a José Castiblanco.

## CONTENIDO

Agradecimientos.....	4
CONTENIDO .....	5
LISTA DE TABLAS.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE ANEXOS.....	13
GLOSARIO .....	14
INTRODUCCIÓN.....	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1 ANTECEDENTES.....	17
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	18
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.5.1 Objetivo General.....	19
1.5.2 Objetivos Específicos.....	19
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO.....	19
1.6.1 Alcances.....	19
1.6.2 Limitaciones.....	19
2. MARCO DE REFERENCIA.....	21
2.1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	21
2.1.1 Sistema Eléctrico.....	21
2.1.2 Sistema Neumático.....	32
2.1.3 Sistema de Control.....	41
2.1.4 Sistema de Transporte de piezas.....	55
2.2 MARCO LEGAL.....	62
3. METODOLOGÍA.....	65
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN (Empírico – analítico):.....	65
3.2 LINEA DE INVESTIGACIÓN DE LA USB.....	65

3.3	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	66
4.	DESARROLLO INGENIERIL .....	67
4.1	ESTADÍSTICA DE PRODUCCIÓN.....	67
4.2	DISEÑOS PRELIMINARES.....	68
4.2.1	Sistema propuesto # 1: .....	70
4.2.2	Sistema propuesto # 2: .....	71
4.2.3	Sistema propuesto # 3: .....	72
4.3	CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	72
4.4	SISTEMA SELECCIONADO.....	74
4.4.1	Zona de Trabajo Disponible en la Empresa.....	74
4.4.2	Sistema de transporte de piezas. ....	75
4.4.3	Sistema de pulido. ....	79
4.5	CÁLCULOS.....	80
4.5.1	Diseño mecánico pista.....	80
4.5.2	Aplicación en el diseño de la pista.....	80
4.5.3	Cálculos del perfil de los soportes de la pista.....	86
4.5.4	Diseño mecánico de tornillos, uniones y soportes de la pista.....	88
4.5.5	Diseño Mecánico estructura base (mesa) de la máquina.....	90
4.5.6	Cálculos carro.....	93
4.5.7	Soldaduras Mesa.....	97
4.5.8	Diseño mecánico prensa pulidora.....	101
4.5.9	Cálculos Pulidora .....	103
4.5.10	Diseño electrónico tablero de control.....	108
4.5.11	Cálculos Neumáticos.....	114
4.6	OPCIONES DE CONTROL.....	120
4.6.1	Programación por lógica cableada. ....	120
4.6.2	Programación en ladder (PLC). ....	121
4.7	TABLERO DE CONTROL Y CABLEADO ELÉCTRICO.....	123
4.7.1	Elementos del tablero de control. ....	123
4.7.2	Elementos de seguridad del tablero de control.....	123

4.7.3 Dimensiones LOGO! y Fuente de voltaje OMRON .....	123
4.7.4 Imágenes del proceso de ensamble y cableado de elementos en el cofre. ....	125
5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	127
5.1 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA PARA MECANIZAR LOS OVALOS DE LA PISTA.....	127
5.2 ANÁLISIS DE PULIDO Y SELECCIÓN DEL TIPO DE LIJA.....	128
5.2.1 Descripción del experimento.....	128
5.2.2 Desarrollo del experimento. ....	128
5.3 Máquina Finalizada.....	133
6. CONCLUSIONES.....	134
BIBLIOGRAFÍA.....	136
ANEXOS.....	138
ANEXO A. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS EN EL SOFTWARE CATIA	139
Análisis de la mesa:.....	140
Análisis carro .....	141
Análisis ejes del carro más críticos:.....	141
Análisis soporte pista U .....	144
Análisis unión prensa: .....	145
ANEXO B. ANÁLISIS DE LOS TORNILLOS POR EL SOFTWARE MD SOLID. .	146
ANEXO C. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO. ....	147
ANEXO D. PROGRAMA DE CONTROL EN KOP. ....	148
ANEXO E. PLANOS DE CONEXIONADO ELÉCTRICO.....	158
ANEXO F. DIAGRAMA DE CONEXIÓN NEUMATICO Y DIAGRAMA DE ESTADOS. ....	166
ANEXO G. RODAMIENTOS CARROS. ....	169
ANEXO H. YASKAWA MOTOMAN.....	172
ANEXO I. PLANOS SOLID EDGE.....	176

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificaciones de los sensores.....	21
Tabla 2. Sensores y métodos de detección ordinarios para las magnitudes más frecuentes.....	23
Tabla 3. Sensores más utilizados en automatización según su objetivo.....	25
Tabla 4. Presiones atmosféricas a diferentes alturas.....	33
Tabla 5. Tipos de ventosas .....	35
Tabla 6. Instrucciones típicas lenguaje booleano.....	52
Tabla 7. Funciones Lógicas.....	53
Tabla 8. Producción de piezas pulidas actual y a futuro. ....	68
Tabla 9. Matriz de calidad (QFD).....	73
Tabla 10. Propiedades a la flexión de soldaduras de filete .....	98
Tabla 11. Códigos de soldadura.....	99
Tabla 12. Cargas constantes permisibles y tamaños mínimos de soldadura de filete .....	100
Tabla 13. Tabla códigos NEMA .....	105
Tabla 14. Rango de regulación de los guardamotores.....	111
Tabla 15. Lista de especificaciones del tablero de control. ....	113
Tabla 16. Tabla presión versus fuerza. ....	115
Tabla 17. Calificación tipos de lija de acuerdo con su desempeño durante el experimento.....	129
Tabla 18. Escala de tipos de lijas ANSA. ....	131
Tabla 19. Criterios de selección. ....	132
Tabla 20. Evaluación lijas.....	132

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Puliprom NC36 producida por MEPSA España. ....	17
Figura 2. Principio de funcionamiento sensor capacitivo.....	29
Figura 3. Fotografía de un relé de baja potencia.....	30
Figura 4. Partes de un relé .....	30
Figura 5. Símbolo eléctrico del relé .....	31
Figura 6. Ciclo completo de máquina .....	34
Figura 7. Cilindro de simple efecto con Émbolo. ....	37
Figura 8. Cilindro de simple efecto de membrana. ....	37
Figura 9. Cilindro de simple efecto con membrana enrollable.....	37
Figura 10. Cilindro Neumático doble efecto con amortiguación. ....	38
Figura 11. Cilindro neumático de doble efecto con vástago pasante. ....	38
Figura 12. Cilindro neumático de doble efecto en tándem. ....	38
Figura 13. Cilindro de doble efecto de percusión. ....	38
Figura 14. Cilindro de doble efecto Telescópico.....	38
Figura 15. Filtro de aire .....	40
Figura 16. Regulador de presión. ....	40
Figura 17. Lubricador. ....	41
Figura 18. PLC logo Siemens.....	41
Figura 19. Estructura Básica PLC .....	44
Figura 20. Estados ON-OFF.....	47
Figura 21. Esquema de conexión lógica cableada. ....	47

Figura 22. Elementos básicos lógica cableada .....	48
Figura 23. Contactos normalmente abiertos y cerrados.....	48
Figura 24. Identificación de cableado.....	49
Figura 25. Tipos de rieles para tablero de control. ....	50
Figura 26. Montaje y cableado. ....	50
Figura 27. Señalización tableros de control.....	51
Figura 28. Bloques de tratamientos numéricos. ....	54
Figura 29. Formas Curvas bandas transportadoras. ....	56
Figura 30. Material Bandas Transportadoras. ....	56
Figura 31. Banda Transportadora Recta. ....	56
Figura 32. Banda Transportadora Curva.....	57
Figura 33. Bandas transportadoras de correa.....	57
Figura 34. Banda transportadora de cadena.....	58
Figura 35. Módulos Conveyor .....	59
Figura 36. Diseño interno conveyor.....	59
Figura 37. Banda transportadora de rodillos motorizados.....	60
Figura 38. Rodillos Motorizados .....	60
Figura 39. Pick & Place 1 .....	61
Figura 40. Pick & Place 2 .....	61
Figura 41. Pick & Place 3 .....	61
Figura 42. Modelo Alternativa #1.....	70
Figura 43. Modelo Alternativa #2.....	71
Figura 44. Modelo Alternativa #3.....	72
Figura 45. Distribución cuarto de pulido. ....	74

Figura 46. Pista Ovalada. ....	75
Figura 47. Vehículos pista. ....	75
Figura 48. Cruz Formada por un número par de carros. ....	76
Figura 49. Medidas resultantes de los óvalos para 20 carros. ....	76
Figura 50. Pista con los vehículos cargados. ....	77
Figura 51. Estructura metálica (Mesa). ....	77
Figura 52. Soporte pista. ....	78
Figura 53. Unión mesa pista con soportes. ....	78
Figura 54. Sistema de pulido. ....	79
Figura 55. Movimientos del sistema de pulido. ....	79
Figura 56. Cargas distribuidas sobre el perfil de la pista. ....	80
Figura 57. Fuerzas transversales sobre una viga. ....	81
Figura 58. Curva elástica. ....	81
Figura 59. Diagrama de cuerpo libre. ....	82
Figura 60. Dimensiones del perfil de la pista resultante. ....	84
Figura 61. Perfil del mecanismo encargado del movimiento de la pista. ....	85
Figura 62. Perfil de los soportes. ....	86
Figura 63. Fuerzas ejercidas sobre la unión pista-soportes. ....	88
Figura 64. Vista lateral unión pista-soporte. ....	90
Figura 65. Perfil pista. ....	90
Figura 66. Ejes transversales carro. ....	93
Figura 67. Ejes laterales carro. ....	94
Figura 68. Fuerza más significativa sobre los ejes en la pista. ....	94
Figura 69. Fuerza aplicada sobre el eje. ....	95

Figura 70. Perfil prensa de la pulidora.....	101
Figura 71. Perfil final prensa pulidora .....	103
Figura 72. Partes del motor de inducción.....	103
Figura 73. Ejes pulidora.....	107
Figura 74. Elementos del tablero de control.....	108
Figura 75. Conexión recomendada del guardamotor. ....	111
Figura 76. Esquema de conexión Maquina-robot.....	112
Figura 77. Módulos CN-05 y CN-12 del controlador.....	112
figura78. Conexión con relevos de activación. ....	113
Figura 79. Cilindros de la máquina.....	114
Figura 80. Programación por lógica cableada .....	120
Figura 81. Partes y dimensiones del LOGO! .....	124
Figura 82. Dimensiones de la fuente OROM.....	124
Figura 83. Ubicación de los elementos en el tablero.....	125
Figura 84. Montaje del LOGO!. ....	125
Figura 85. Cableado del tablero: .....	125
Figura 86. Pruebas de encendido y comprobación de conexiones para verificar que no hubiera problemas como cortos eléctricos y/o problemas de ruido eléctrico. .....	126
Figura 87. Tubo doblado en la empresa Cercol. ....	127
Figura 88. Perfil CR curvado. ....	127
Figura 89. Pruebas de pulido. ....	132
Figura 90. Maquina completa en Catia V5. ....	133
Figura 91. Maquina completa real. ....	133

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS EN EL SOFTWARE CATIA	139
Análisis de la mesa:.....	140
Análisis carro .....	141
Análisis ejes del carro más críticos:.....	141
Análisis soporte pista U .....	144
Análisis unión prensa: .....	145
ANEXO B. ANÁLISIS DE LOS TORNILLOS POR EL SOFTWARE MD SOLID. .	146
ANEXO C. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO. ....	147
ANEXO D. PROGRAMA DE CONTROL EN KOP. ....	148
ANEXO E. PLANOS DE CONEXIONADO ELÉCTRICO.....	158
ANEXO F. DIAGRAMA DE CONEXIÓN NEUMATICO Y DIAGRAMA DE ESTADOS. ....	166
ANEXO G. RODAMIENTOS CARROS. ....	169
ANEXO H. YASKAWA MOTOMAN.....	172
ANEXO I. PLANOS SOLID EDGE.....	176

## GLOSARIO

**BAUDIO** unidad de la velocidad de transmisión de señales, equivalente a un bit por segundo.

**BIT** unidad de medida de información equivalente a la elección entre dos posibilidades igualmente probables. Unidad más pequeña de información, puede tener solo dos estados: Activo (ON) o Inactivo (OFF), puede utilizarse para almacenar variables lógicas o números en aritmética binaria, pero también combinado con otros bits puede almacenar tipos de datos complejos.

**BYTE** octeto (unidad de información). Agrupación de ocho bits, puede almacenar un carácter (generalmente ASCII), un número entre 0 y 255, dos números BCD u ocho indicadores de 1 bit.

**BORNE** cada uno de los botones de metal en que suelen terminar ciertas máquinas y aparatos eléctricos, y a los cuales se unen los hilos conductores.

**CHAPETA** piezas metálicas utilizadas para la sujeción de laminas de vidrio, por ejemplo puertas o espejos.

**CNC** o control numérico por computadora, (en inglés *Computer Numerical Control*) (también Control Numérico Continuo *Continuous Numerical Control*) a todo dispositivo capaz de dirigir el posicionamiento de un órgano mecánico móvil mediante órdenes elaboradas de forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas en tiempo real. Para maquinar una pieza se usa un sistema de coordenadas que especificarán el movimiento de la herramienta de corte. Entre las operaciones de maquinado que se pueden realizar en una máquina CNC se encuentran las de torneado y de fresado. Sobre la base de esta combinación es posible generar la mayoría (si no son todas) las piezas de industria. Este es, sin duda, uno de los sistemas que ha revolucionado la fabricación de todo tipo de objetos, tanto en la industria metalúrgica como en muchos otros ámbitos productivos.

**EMBOLO** pieza que se mueve alternativamente en el interior de un cuerpo de bomba o del cilindro de una máquina para enrarecer o comprimir un fluido o recibir de él movimiento.

**EXTRUSIÓN** proceso de dar forma a una masa metálica, plástica, etc., haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta.

**ELECTRODO** extremo de un conductor en contacto con un medio, al que lleva o del que recibe una corriente eléctrica.

**LADDER** el lenguaje de contactos expresa las relaciones entre señales binarias como una sucesión de contactos en serie y en paralelo. Adoptado por muchos fabricantes de autómatas (norteamericanos y japoneses) como lenguaje base de programación.

**MANUFACTURA FLEXIBLE** obra hecha a mano o con auxilio de máquina, pero con la posibilidad de realizar intercambio durante el proceso interno de la obra.

**MEMBRANA** placa o lámina de pequeño espesor, generalmente flexible.

**MOTOMAN** es una franja de la compañía Yaskawa, en donde se encargan de realizar productos innovadores enfocados a la robótica industrial.

**NIBBLE** en arquitectura de computadoras, un nibble equivale a 4 bits, lo que permite 16 posibles valores ( $2$  elevado a  $4$ ). En el contexto de redes o telecomunicaciones, el nibble es a veces llamado "semiocteto" o "cuarteto". Los nibbles son importantes en la representación hexadecimal y BCD, pues ambas utilizan 4 bits para representar cantidades.

**PERNO** pieza de hierro u otro metal, larga, cilíndrica, con cabeza redonda por un extremo y asegurada con una chaveta, una tuerca o un remache por el otro, que se usa para afirmar piezas de gran volumen.

**PICK AND PLACE** es un elemento de manipulación automático de gran velocidad y precisión.

**PLC** los PLC (*Programmable Logic Controller* en sus siglas en inglés) son dispositivos electrónicos muy usados en Automatización Industrial. PLC = Es un hardware industrial, que se utiliza para la obtención de datos. Una vez obtenidos, los pasa a través de bus (por ejemplo por ethernet) en un servidor.

**SEXTA CARA** nombre o denominación que se le da a la parte o cara de la pieza por donde va a ser tomada por las pinzas del robot.

## INTRODUCCIÓN

VEA & CIA LTDA. (Vidrio Equipos y Accesorios), es una compañía que se dedica a la fabricación de accesorios para acabados finales aplicadas a fachadas, divisiones de baño y puertas de seguridad.

Durante el proceso de fabricación de dichos accesorios se encuentra el proceso de pulido y acabado. Este proceso es de gran importancia ya que culmina con la fabricación de cada uno de estos elementos, para posteriormente ser almacenados y empacados, listos para entregar a sus distribuidores. Enfocándonos en el sistema de pulido y acabado esta compañía dispone de un brazo robótico, el cual toma las piezas que le entrega un operario para que este comience el proceso de pulido. La compañía VEA & CIA LTDA. requiere un sistema mecánico automático que alimente el robot con la piezas y así aprovechar al máximo las prestaciones de este robot.

Para la empresa VEA & CIA LTDA. es importante pensar en productividad y eficacia, para maximizar la calidad de trabajo humano y su bienestar. La necesidad de la empresa radica y se enfoca en cómo maximizar la eficiencia antes y después del proceso de pulido de las piezas. Así evitando que exista un operario que interactúe directamente con el proceso. Como fue mencionado anteriormente el robot como tal, es un brazo MOTOMAN UP-20 con 6 ejes y una capacidad de levantar 20 kilogramos. Una de las ventajas de este tipo de robot es que su programación es muy sencilla.

La solución a la necesidad principal es diseñar y construir algún tipo de mecanismo para alimentar el brazo robótico con los diferentes tipos de piezas, resultando en la rápida, eficiente y controlada ejecución del pulimiento de las piezas. Esta es la manera de cómo se empieza a desarrollar el proyecto como tal, dando una solución a lo que la empresa VEA & CIA LTDA. necesita para solucionar su problema.

# 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

## 1.1 ANTECEDENTES.

Muchas empresas actualmente realizan este proceso de pulido de forma manual, este proceso es llevado a cabo por varias personas, unos se encargan del pulido y otros de brillar las piezas. Existen otras empresas que utilizan máquinas de control numérico para pulir y brillar, un muy buen ejemplo y referencia es la compañía Mepsa (maquinaria electrónica de esmerilado y pulido) de España.

Figura 1. Puliprom NC36 producida por MEPSA España.



Fuente: <http://www.directindustry.fr/prod/mepsa/polisseuse-rectifieuse-22721-55264.html>

Esta compañía diseña y construye maquinaria y equipo para pulido, enfocada al acabado de artículos metálicos y otros materiales. En pocas palabras ofrece al mercado máquinas y equipos que operan de la misma forma que el equipo aquí propuesto.

Esta máquina es una de las existencias en el mercado, esta fue diseñada para realizar acabados especiales sobre piezas de aluminio, cuenta con tres husillos porta piezas y con seis ejes de control numérico programables.

## 1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Actualmente la empresa VEA & CIA LTDA (Vidrio Equipos y Accesorios & CIA LTDA), cuenta con un robot pulidor el cual fue adquirido inicialmente para pulir las chapetas fijas centrales fabricadas en latón y debido a que no se tiene una alimentación adecuada para este proceso la empresa había decidido, disponer el robot para otra tarea diferente a la presupuestada inicialmente.

Asímismo no se tiene implementado ningún tipo de sistema automático de alimentación para el robot. La alimentación la realiza un operario colocando

manualmente una sola pieza y para ello debe detener el proceso, después de que el operario posiciona la pieza en donde el robot la sujeta, inicia el procedimiento de pulido y de esta manera se emplea más tiempo en el procesamiento de cada una de las piezas. En cuanto a las dimensiones físicas donde se va a desempeñar el robot son un poco limitadas, además de esto por el trabajo de pulido van a quedar partículas del material de las piezas en el aire siendo nocivas tanto para el robot como para el operario del mismo.

### **1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

¿Cómo diseñar y construir un sistema de alimentación de piezas automático para un robot pulidor?

### **1.4 JUSTIFICACIÓN.**

Este proyecto acortará el tiempo de fabricación de los diferentes tipos productos, así como los costos de producción de estos. El incremento de la calidad en el acabado superficial de las diferentes partes fabricadas en la empresa VEA & CIA LTDA será otra de las ventajas de la construcción del sistema de alimentación automática para el robot pulidor.

Llevar a cabo este proyecto aporta una innovación en cuanto al sistema de transporte de piezas, ya que el tipo de mecanismo utilizado en este diseño no tiene antecedente alguno, y esto se debe a que debe cumplir con unos requerimientos dados por el patrocinador (VEA & CIA LTDA) del proyecto, influyendo así en el diseño del sistema.

Los costos de investigación y fabricación del sistema de alimentación serán menores en comparación con las máquinas CNC que se ofrecen en el mercado, ya que las máquinas para realizar este tipo de trabajos tienen un costo muy elevado, además es necesario importarlas, lo cual aumenta aun más su costo. No solo el precio justifica esta decisión, ya que la infraestructura actual con la que cuenta la empresa no es suficiente para una máquina de este tipo.

## **1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **1.5.1 Objetivo General.**

Diseñar y construir un sistema automatizado para la alimentación de piezas para un robot pulidor.

### **1.5.2 Objetivos Específicos.**

- Diseñar mecánicamente un sistema de carga y descarga que sea útil para todos los tipos diferentes de piezas.
- Implementar el sistema de carga y descarga.
- Diseñar un sistema de transporte para las piezas.
- Diseñar el sistema de control para el transporte de las piezas.
- Diseñar mecánicamente el sistema de pulimento para la sexta cara de todos los tipos de piezas.
- Diseñar el sistema de control para la etapa de pulimiento de la sexta cara.

## **1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO.**

**1.6.1 Alcances.** Se entregará la máquina alimentadora completamente construida y cumpliendo con las tareas designadas.

Entregar planos de construcción de la máquina, así como esquemáticos de los diferentes circuitos necesarios en la construcción (eléctricos, neumáticos, etc.).

Presentar el manual de usuario de la máquina.

**1.6.2 Limitaciones.** Sabiendo que en el proceso de extrusión<sup>1</sup>, las piezas de latón obtienen una forma irregular, se requiere que en el proceso de pulido se haga una inspección visual frecuente para determinar que lugares necesitan más pulimento. Esta inspección es llevada a cabo por el operario encargado de pulir las piezas manualmente. Este es un limitante para la máquina, ya que un sistema de reconocimiento de imagen no es lo suficientemente rápido o preciso para

---

<sup>1</sup> Extrusión es, en general, la acción de dar forma o moldear una masa haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta. Las materias primas se someten a fusión, transporte, presión y deformación.

determinar los lugares de la pieza que necesitan más pulimento. Otro factor de esta limitación es la programación del robot, esta no puede ser cambiada para cada pieza, ya que las irregularidades presentadas en ellas no son iguales en cada caso.

## 2. MARCO DE REFERENCIA.

### 2.1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.

#### 2.1.1 Sistema Eléctrico.

**2.1.1.1 Sensores:** En un sistema la función de un sensor es la asignación objetiva y empírica de un número a una propiedad con el propósito de describir un evento. Es decir el resultado de la medida debe ser independiente del observador, se debe basar en experimentación y así mismo que corresponda a sus propiedades numéricas y descritas.

En un sistema de manufactura flexible, los instrumentos de medida y detección son de gran importancia pues son los que permiten realizar un control exitoso del sistema, además de garantizar un proceso de acuerdo a los parámetros de diseño. En este sentido resulta favorable implementar este tipo de elementos al sistema propuesto y así mismo su desarrollo. Dentro de la selección de un sensor, se deben considerar diferentes factores, tales como: la forma de la carcasa, distancia operativa, datos eléctricos y conexiones.

En primera instancia como información se recogen los criterios de clasificación y ejemplos de cada clase de sensores, los datos se encuentran en la tabla 1. Esta clasificación depende de la magnitud de medida, es decir se habla de sensores de temperatura, presión, caudal, humedad, posición, velocidad, aceleración, fuerza, par, etc. (ver tabla 2)

Tabla 1. Clasificaciones de los sensores.

Criterio	Clases	Ejemplos
Aporte de energía.	Moduladores. Generadores.	Termistor. Termopar.
Señal de salida.	Analógicos. Digitales.	Potenciómetro. Codificador de posición.
Modo de operación.	De flexión. De comparación.	Acelerómetro de flexión. Servo acelerómetro.

Fuente : <http://www.monografias.com/trabajos31/transductores-sensores/transductores-sensores.shtml>

Desde el punto de vista de la ingeniería electrónica, los parámetros de clasificación se reducen al parámetro variable es decir resistencia, capacitancia, inductancia y así mismo añadiendo los sensores generadores de tensión, carga o

corriente y otros tipos no incluidos en la tabla anterior. Esta clasificación se muestra en la tabla 2 y nos permite estudiar los métodos de detección ordinarios para las magnitudes más frecuentes.

El sistema de carga y descarga por ser un sistema de alto costo puede llegar a ser un limitante al momento de implementarlo en la máquina alimentadora.

Tabla 2. Sensores y métodos de detección ordinarios para las magnitudes más frecuentes.

Sensores	magnitudes							
	Posición Distancia desplazamiento	velocidad	Aceleración vibración	temperatura	presión	Caudal flujo	nivel	fuerza
Resistivos	Potenciómetros Galgas Magneto resistencias		Galgas + masa resorte	RTD termistores	Potenciómetros + tubo Bourdon	Anemómetros de hilo caliente Galgas + voladizo termistores	Potenciómetro + flotador Termistores LDR	Galgas
Capacitivos	Condensador diferencial				Condensador variable + diafragma		Condensador variable	Galgas capacitivas
Inductivos y electromagnéticos	LVDT Resolver Efecto hall	Ley Faraday LVT Efecto Hall	LVDT + masa resorte		LVDT + diafragma Reluctancia variable + diafragma	LVDT + rotámetro ley Faraday	LVDT + flotador	Magneto elástico LVDT + célula de carga
Generadores			Piezoeléctricos + masa resorte	Termopares piroeléctricos	Piezoeléctricos			Piezoeléctricos
Digitales	Codificadores incrementales y absolutos	Codificadores incrementales		Osciladores de cuarzo	Codificador + tubo Bourdon	Vórtices		
Uniones P-N	Fotoeléctricos			Diodo transistor convertidores T/i			Fotoeléctricos	
ultrasonidos	reflexión	Efecto Doppler					Reflexión absorción	

Fuente : [Idem](#)

**2.1.1.2 Características estáticas a tener en cuenta para seleccionar los sensores adecuados:** El comportamiento del sistema de medida viene condicionado por el sensor empleado, es por ello importante describir las características de los sensores puesto que en la mayoría de los sistemas de medida, la variable de interés, varía tan lentamente que basta con conocer las características estáticas del sensor. Estas características influyen también en el comportamiento dinámico del sensor, es decir, en el comportamiento que presenta cuando la magnitud medida varía a lo largo del tiempo. Los conceptos empleados para describir las características estáticas no son de aplicación exclusiva a los sensores sino que son comunes en todo instrumento de medida.

- **Precisión.** La precisión de la medición debe ser tan alta como fuese posible. La precisión significa que existe o no una pequeña variación aleatoria en la medición de la variable. La dispersión en los valores de una serie de mediciones será mínima.
- **Rango de funcionamiento.** El sensor debe tener un amplio rango de funcionamiento y debe ser exacto y preciso en todo el rango.
- **Exactitud.** La exactitud de la medición debe ser tan alta como fuese posible. Se entiende por exactitud que el valor verdadero de la variable se pueda detectar sin errores sistemáticos positivos o negativos en la medición. Sobre varias mediciones de la variable, el promedio de error entre el valor real y el valor detectado tenderá a ser cero.
- **Velocidad de respuesta.** El transductor debe ser capaz de responder a los cambios de la variable detectada en un tiempo mínimo. Lo ideal sería una respuesta instantánea.
- **Calibración.** El sensor debe ser fácil de calibrar. El tiempo y los procedimientos necesarios para llevar a cabo el proceso de calibración deben ser mínimos. Además, el sensor no debe necesitar una recalibración frecuente. El término desviación se aplica con frecuencia para indicar la pérdida gradual de exactitud del sensor que se produce con el tiempo y el uso, lo cual hace necesaria calibrarlo de nuevo.
- **Fiabilidad.** El sensor debe tener una alta fiabilidad. No debe estar sujeto a fallos frecuentes durante el funcionamiento.

La selección de los sensores apropiados para un sistema se basa en que tipo de material se debe detectar, en la tabla 3, se comparan los tipos de sensores más

utilizados en automatización según su capacidad de detectar diferentes materiales.

Tabla 3. Sensores más utilizados en automatización según su objetivo.

<b>OBJETIVOS</b>	<b>SENSOR</b>
Metálicos	Inductivo
Plásticos, líquidos, papel, granulados	Capacitivo
que se les pueda adaptar un imán	magnético

Fuente: [Idem](#)

### **2.1.1.3 Factores a considerar para la elección de un sensor:**

#### **1. Magnitud a medir:**

- Margen de medida
- Resolución
- Exactitud deseada estabilidad
- Ancho de banda
- Tiempo de respuesta
- Límites absolutos posibles de la magnitud a medir
- Magnitudes interferentes

#### **2. Características de alimentación:**

- Tensión
- Corriente
- Potencia disponible
- Frecuencia
- Estabilidad

#### **3. Características de salida:**

- Sensibilidad
- Tipo: tensión, corriente, frecuencia
- Forma de la señal: unipolar, flotante, diferencial
- Impedancia
- Diseño: presentación analógica, conversión digital

#### **4. Características ambientales:**

- Margen de temperaturas
- Humedad
- Vibraciones
- Agentes químicos
- ¿Atmosfera explosiva?
- Entorno electromagnético

#### **5. Otros factores:**

- Peso
- Dimensiones
- Vida media
- Coste de adquisición
- Disponibilidad
- Tiempo de instalación
- Longitud de cable necesaria
- Tipo de conector
- Situación en caso de fallo
- Costo de verificación
- Costo de mantenimiento
- Costo de sustitución

En los sistemas de manufactura flexibles se suelen utilizar sensores externos, estos sensores permiten que el sistema interactúe con su ambiente de trabajo de manera flexible, aunque muchos de los sistemas automatizados actuales trabajan de una forma pre programada, el uso de los sensores externos como apoyo en la ejecución de tareas es cada día más amplio. Este tipo de sensores dan al sistema mayor independencia en su entorno en el que se desenvuelve y esto se traduce en un mayor grado de inteligencia.

##### ***2.1.1.4 Tipos de sensores y aplicaciones:***

- **Sensores de contacto:** Los sensores de contacto nos indican simplemente si ha habido contacto o no con algún objeto, sin considerar la magnitud de la fuerza de contacto. Suelen ser dispositivos sencillos cuyo uso es muy variado. Se pueden situar en las pinzas de los brazos de robot para determinar cuándo

se ha cogido un objeto, pueden formar parte de sondas de inspección para determinar dimensiones de objetos, o incluso pueden situarse en el exterior de las pinzas para ir tanteando un entorno. Estos sensores suelen ser interruptores de límite o micro interruptores, que son sencillos dispositivos eléctricos que cuando se contacta con ellos cambian de estado.

- **Sensores de proximidad:** Son dispositivos que detectan señales para actuar en un determinado proceso u operación, teniendo las siguientes características:
  - Son dispositivos que actúan por inducción al acercarlos un objeto.
  - No requieren contacto directo con el material a sensar.
  - Son los más comunes y utilizados en la industria.
  - Se encuentran encapsulados en plástico para proveer una mayor facilidad de montaje y protección ante posibles golpes.

#### **Aplicaciones:**

- Control de cintas transportadoras,
- Control de alta velocidad
- Detección de movimiento
- Conteo de piezas, Sensado de aberturas en sistemas de seguridad y alarma
- Sistemas de control como finales de carrera. (PLC's)
- Sensor óptico.

#### **Características:**

- Son de confección pequeña, pero robustos.
  - Mayor distancia de operación.
  - Detectan cualquier material.
  - Larga vida útil.
- **Sensores ópticos:** Este tipo de sensores basan su funcionamiento en la variación de la intensidad de luz en un segmento óptico (entre un emisor y un receptor) que es producida por un objeto a detectar.

### **Aplicaciones:**

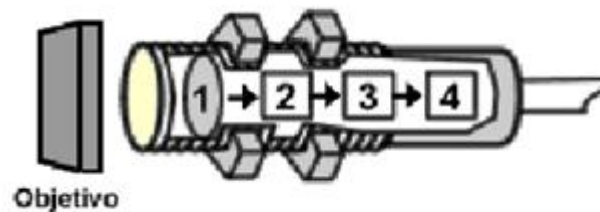
- Sistema de protección tipo barrera en rejillas de acceso en una prensa hidráulica, donde la seguridad del operario es una prioridad.
  - Detección de piezas que viajan a muy alta velocidad en una línea de producción (industria electrónica o embotelladoras).
  - Detección de piezas en el interior de pinzas, en este caso el sensor está constituido por un emisor y un receptor de infrarrojos ubicados uno frente a otro, de tal forma que la interrupción de la señal emitida, es un indicador de la presencia de un objeto en el interior de las pinzas.
- **Sensores inductivos:** Consisten en un dispositivo conformado por unos instrumentos electrónicos que en su conjunto detectan metales, estos componentes son:
    - Un oscilador.
    - Un circuito detector. (etapa de conmutación)
    - Una bobina y un núcleo de ferrita.
    - Una salida de estados sólido.

El oscilador crea un campo de alta frecuencia de oscilación por el efecto electromagnético producido por la bobina en la parte frontal del sensor centrado con respecto al eje de la bobina. Así, el oscilador consume una corriente conocida. El núcleo de ferrita concentra y dirige el campo electromagnético en la parte frontal, convirtiéndose en la superficie activa del sensor.

Cuando un objeto metálico interactúa con el campo de alta frecuencia, se inducen corrientes en la superficie activa. Esto genera una disminución de las líneas de fuerza en el circuito oscilador y, en consecuencia, desciende la amplitud de oscilación. El circuito detector reconoce un cambio específico en la amplitud y genera una señal, la cual cambia (pilotea) la salida de estado sólido a "ON" u "OFF". Cuando se retira el objeto metálico del área de sensor, el oscilador genera el campo, permitiendo al sensor regresar a su estado normal.

- **Sensor capacitivo:** Un sensor capacitivo es adecuado para el caso de querer detectar un objeto no metálico. Para objetos metálicos es más adecuado escoger un sensor inductivo. Para distancias superiores a los 40 mm es totalmente inadecuado el uso de este tipo de sensores, siendo preferible una detección con sensores ópticos o de barrera. Los sensores capacitivos funcionan de manera similar a un capacitor simple.

Figura 2. Principio de funcionamiento sensor capacitivo



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos31/transductores-sensores/transductores-sensores.shtml>

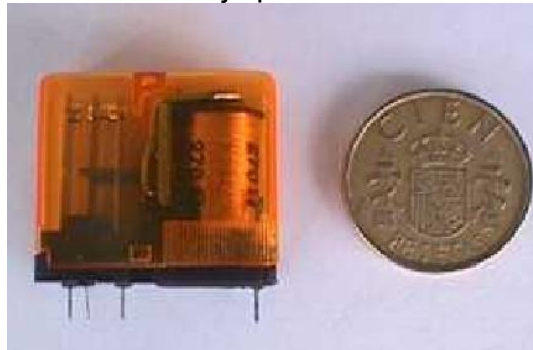
**Principio de funcionamiento:** La lámina de metal [1] en el extremo del sensor está conectada eléctricamente a un oscilador [2]. El objeto que se detecta funciona como una segunda lámina. Cuando se aplica energía al sensor el oscilador percibe la capacitancia externa entre el objetivo y la lámina interna. Los sensores capacitivos funcionan de manera opuesta a los inductivos, a medida que el objetivo se acerca al sensor capacitivo las oscilaciones aumentan hasta llegar a un nivel límite lo que activa el circuito disparador [3] que a su vez cambia el estado del switch [4].

#### **Aplicaciones:**

- Control y verificación de nivel, depósitos, tanques, cubetas.
- Medida de distancia.
- Control del bucle de entrada-salida de máquinas.
- Control de tensado-destensado, dilatación.
- Detección prácticamente de cualquier material.

**2.1.1.5 Relevos:** El relé es un interruptor automático controlado por electricidad, estos permiten abrir o cerrar circuitos sin la intervención humana.

Figura 3. Fotografía de un relé de baja potencia.



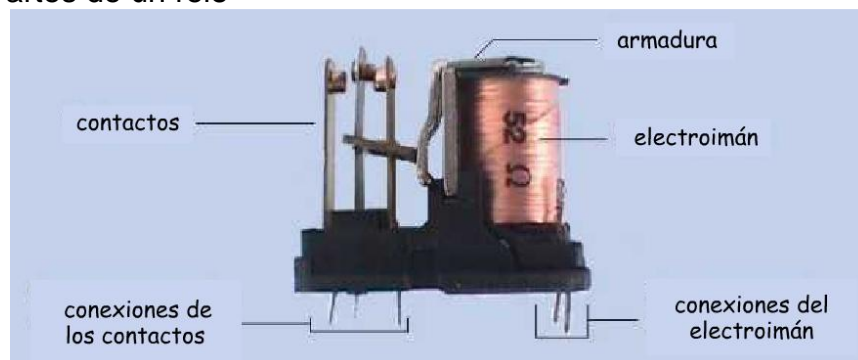
Fuente: <http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/Usrn/fisica/Recursos/flash2/rele.swf>

Las aplicaciones más importantes son las siguientes:

**Automatismos:** Los elementos que da la orden para que funcionen los motores de una puerta automática, las luces de un semáforo, un ascensor, secador de manos y demás.

**Control de motores eléctricos industriales:** Los relés se utilizan en las fábricas para encender, detener, invertir el sentido de giro y variar la velocidad de motores eléctricos que mueven las máquinas en la fabricación de productos.

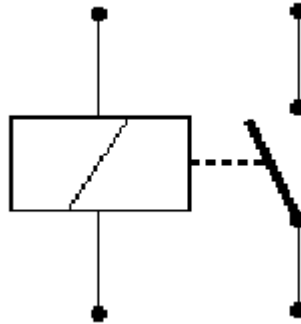
Figura 4. Partes de un relé



Fuente: <http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/Usrn/fisica/Recursos/flash2/rele.swf>

## Símbolo eléctrico

Figura 5. Símbolo eléctrico del relé



Fuente: [http://portaleso.homelinux.com/usuarios/Toni/web\\_simbolos/unidad\\_simbolos\\_electricos\\_indice.html](http://portaleso.homelinux.com/usuarios/Toni/web_simbolos/unidad_simbolos_electricos_indice.html)

El rectángulo con la línea diagonal representa el electroimán y las dos líneas que lo tienen arriba y abajo son los cables que lo alimentan. El interruptor representa los contactos del relé. Ambos elementos están unidos por una línea discontinua lo cual indica, que el electroimán cierra el interruptor al ser activado.

**2.1.1.6 Opto-acopladores:** También se denominan optoaisladores o dispositivos de acoplamiento óptico. Basan su funcionamiento en el empleo de un haz de radiación luminosa para pasar señales de un circuito a otro sin conexión eléctrica. Fundamentalmente este dispositivo está formado por una fuente emisora de luz, y un foto-sensor de silicio, que se adapta a la sensibilidad espectral del emisor luminoso.

**Tipos de opto-acopladores:** Existen varios tipos de opto-acopladores cuya diferencia entre sí depende de los dispositivos de salida que se inserten en el componente. Según esto tenemos los siguientes tipos:

**Fototransistor o lineal:** conmuta una variación de corriente de entrada en una variación de tensión de salida. Se utiliza en acoplamientos de líneas telefónicas, periféricos, audio...

**Opto-tiristor:** Diseñado para aplicaciones donde sea preciso un aislamiento entre una señal lógica y la red.

**Opto-triac:** Al igual que el opto-tiristor, se utiliza para aislar una circuitería de baja tensión a la red.

En general pueden sustituir a relés ya que tienen una velocidad de conmutación mayor, así como, la ausencia de rebotes.

## **2.1.2 Sistema Neumático.**

**2.1.2.1 Vacío:** La tierra tiene un diámetro de 7.900 millas (12.715 Km) y está envuelta por una capa de gases con un espesor de 60 millas (96.6 Km), esta capa es denominada la atmósfera. Esta capa de mezcla de gases se compone básicamente por un 21% de oxígeno y un 78% de nitrógeno y el 1% restante una mezcla de otros gases que en conjunto componen la atmósfera.

La presión atmosférica es la presión que ejerce la atmósfera o aire sobre la tierra, una manera de medir dicha presión es utilizando una barómetro de mercurio, el cual se expresa en términos de la altura de la columna de mercurio de sección transversal y 760 mm de alto. Cuando la altitud aumenta la densidad del aire disminuye y por lo tanto habrá menos moléculas, lo cual permite ver por qué la presión atmosférica disminuye al aumentar la altitud.

Como la máquina diseñada se va a desempeñar en la ciudad de Bogotá es necesario conocer la presión atmosférica. En la siguiente tabla se pueden observar diferentes valores de presión a diferentes alturas, sabiendo que la altura en Bogotá es de 2.640 metros sobre el nivel del mar se obtiene que la presión atmosférica en Bogotá es aproximadamente 10.7 Psi (73.8 KPa).

Conociendo la presión atmosférica de Bogotá, ahora se puede conocer el significado de vacío. Vacío es una presión que es inferior a la presión atmosférica, es en si una diferencia en la presión y esta presión negativa es utilizada para realizar varios trabajos como por ejemplo la manipulación de objetos por medio de ventosas y generadores de vacío.

Tabla 4. Presiones atmosféricas a diferentes alturas.

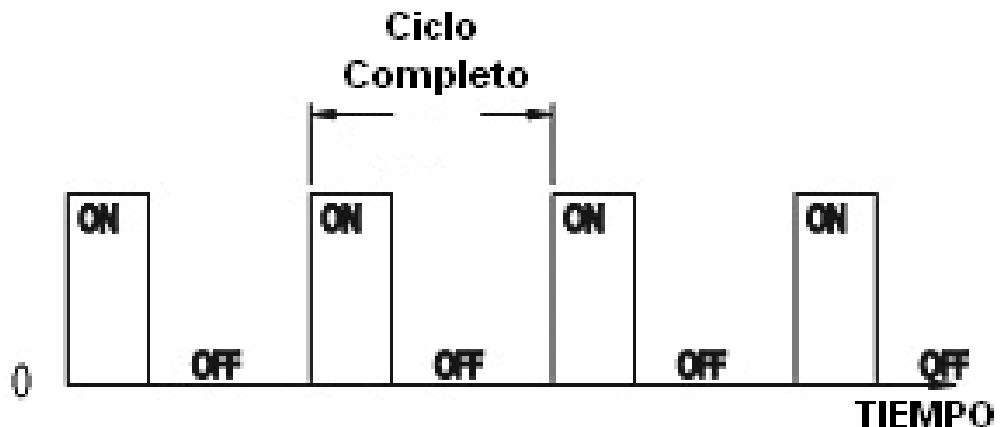
Altitud		Barómetro		Presión atmosférica		Altitud		Barómetro		Presión atmosférica	
Pies	Metros	En Hg.	mm Hg.	PSI	kPa	Pies	Metros	En Hg.	mm Hg.	PSI	kPa
-5.000	-1.526	35,58	903,7	17,48	120,5	5000	1526	24,9	632,5	12,23	84,33
-4.500	-1.373	35	889	17,19	118,5	6000	1831	23,99	609,3	11,78	81,22
-4.000	-1.220	34,42	874,3	16,9	116,5	7000	2136	23,1	586,7	11,34	78,19
-3.500	-1.068	33,84	859,5	16,62	114,6	8000	2441	22,23	564,6	10,91	75,22
-3.000	-915	33,27	845,1	16,34	112,7	9000	2746	21,39	543,3	10,5	72,4
-2.500	-763	32,7	830,6	16,06	110,7	10000	3050	20,58	522,7	10,1	69,64
-2.000	-610	32,14	816,4	15,78	108,8	15000	4577	16,89	429	8,29	57,16
-1.500	-458	31,58	802,1	15,51	106,9	20000	6102	13,76	349,5	6,76	46,61
-1.000	-305	31,02	787,9	15,23	105	25000	7628	11,12	282,4	5,46	37,65
-500	-153	30,47	773,9	14,96	103,1	30000	9153	8,9	226,1	4,37	30,13
0	0	29,92	760	14,696	101,3	35000	10697	7,06	179,3	3,47	23,93
500	153	29,38	746,3	14,43	99,49	40000	12204	5,56	141,2	2,73	18,82
1000	305	28,86	733	14,16	97,63	45000	13730	4,37	111,1	2,15	14,82
1500	458	28,33	719,6	13,91	95,91	50000	15255	3,44	87,5	1,69	11,65
2000	610	27,82	706,6	13,66	94,19	55000	16781	2,71	68,9	1,33	9,17
2500	763	27,32	693,9	13,41	92,46	60000	18306	2,14	54,2	1,05	7,24
3000	915	26,82	681,2	13,17	90,81	70000	21357	1,33	33,7	0,651	4,49
3500	1068	26,33	668,8	12,93	89,15	80000	24408	0,827	21	0,406	2,8
4000	1220	25,84	656,3	12,69	87,49	90000	27459	0,52	13,2	0,255	1,76
4500	1373	25,37	644,4	12,46	85,91	100000	30510	0,329	8,36	0,162	1,12

Fuente: <http://www.edcousa.net/vacuum-training.html>

**Bombas de vacío:** Una bomba de vacío es un dispositivo capaz de eliminar las moléculas de aire de un volumen cerrado. Estas bombas son también llamadas generadores de vacío, estas pueden ser simples de mono-etapa (Venturi) o de alto flujo Multi-etapa. Como todos los sistemas pueden tener perturbaciones, una de ellas es la altura, a diferentes alturas la presión varía entonces el desempeño de la bomba también se ve afectado, otra perturbación son las condiciones climáticas, estas también pueden reducir la presión de vacío, por ejemplo durante una tormenta, la presión atmosférica se reduce y por lo tanto la presión de vacío también.

**Consumo de Energía:** durante un ciclo de sujeción y posicionamiento (Pick & Place) la bomba de vacío es encendida para la sujeción y se mantiene durante el movimiento hasta el lugar de ubicación correspondiente y a continuación se apaga, no se requiere generar vacío para volver a la posición inicial, si el ciclo de vacío es  $\frac{1}{4}$  de todo el ciclo de máquina entonces el ciclo es un 25% del ciclo total.

Figura 6. Ciclo completo de máquina



Fuente: <http://www.edcousa.net/vacuum-training.html>

**Tasas de vacío (ventosas):** La mayoría de ventosas son redondas, esto se debe a que la forma redonda resiste la caída de presión y distribuye la carga de manera eficiente a través de las paredes de la ventosa. Los tipos de ventosas se seleccionan dependiendo de la superficie de trabajo, en la siguiente tabla se pueden observar los diferentes tipos de ventosas y en que tipos de superficies se pueden utilizar.

Tabla 5. Tipos de ventosas

	B-BELLOWS	BL-MULTIBELLOWS	BF-BELLOWS FLAT	D-DEEP	F-FLAT	FC-FLAT CONCAVE	U-UNIVERSAL	OC-OVAL CONCAVE	OF-OVAL FLAT	Superficie de trabajo
X	X	X			X		X	X	X	PISO
X		X					X			Cóncavos - ligero
X	X	X	X			X	X	X		Convexa
X	X	X					X			COMPUESTO
X			X			X				Esférica
X	X		X				X	X	X	CILINDRICO
X	X						X			FLEXIBLES
	X									Película de plástico
X		X			X	X			X	CARGAS DE CORTE

Fuente: <http://www.edcousa.net/vacuum-training.html>

El material de las ventosas pueden ser de tres tipos Nitrilo, Silicona o Vitón. El Nitrilo es un material de uso general con un desgaste muy mínimo y es ideal para trabajar en temperaturas ambiente. Las ventosas de silicona tienen una amplia gama de temperaturas, es apto para temperaturas de sub-congelación y para altas temperaturas. El Vitón puede presentar la calificación más alta en temperatura, pero a cambio de esto se sacrifica la facilidad de sellar las superficies ya que la textura de la ventosa puede verse afectada.

**2.1.2.2 Válvulas:** Una válvula es el elemento que permite orientar o detener el flujo de aire en este caso. Pero también son conocidas como válvulas distribuidoras, reciben este nombre porque son las encargadas de distribuir el aire hacia los elementos de trabajo.

La clasificación de las válvulas se debe a dos características principales, el número de vías y el número de posiciones.

**Vías:** Se denomina vías al número de bocas ó agujeros de la válvula. Pueden existir válvulas de 2, 3, 4, 5 o mas vías.

**Posiciones:** Se refiere al número de posiciones estables del elemento de distribución. Las posiciones más comunes son de 2 ó 3.

Las válvulas se denominan de acuerdo al número de vías y al número de posiciones de la siguiente forma:

- 2/2 dos vías/dos posiciones
- 3/2 tres vías/dos posiciones

Y así sucesivamente.

**Electroválvulas:** En las electroválvulas la señal que da origen a la conmutación de la válvula es de naturaleza eléctrica, esto lo realiza excitando un solenoide que por acción magnética provoca el desplazamiento de un núcleo móvil interno que habilita el pasaje de fluido.

**Dimensionamiento de las válvulas.** El caudal normal requerido para el accionamiento de un cilindro neumático, en primera estancia del caudal necesario por el accionamiento, que a su vez depende del tamaño del cilindro, la velocidad de su accionamiento y de la presión de operación, por lo tanto se obtiene que:

$$Q_r = \frac{0.0028 * d^2 * C * (p + 1,013)}{t}$$

$$Q_r = \text{caudal requerido} \left( \frac{Nm^3}{h} \right)$$

$C$  = carrera del cilindro (cm)

$t$  = tiempo de ejecución del movimiento(seg)

$d$  = diámetro del pistón del cilindro(cm)

$p$  = presión de operación (Bar)

El caudal nominal normal que debe tener la válvula, queda determinado por:

$$Q_n = \frac{40,89 * Q_r}{\sqrt{\Delta p(pe - \Delta p)}}$$

$Q_n$  = Caudal nominal de la válvula (NI/min)

$\Delta p$  = Caída de presión admitida en la válvula (bar)

$pe$  = Presión absoluta de alimentación de la válvula (bar)(presión manométrica + 1.013)

$$Q_r = \text{Caudal requerido por el accionamiento} \left( \frac{Nm^3}{h} \right)$$

**2.1.2.3 Cilindros neumáticos:** La energía del aire comprimido se transforma en trabajo mecánico por medio de los cilindros neumáticos, existen varios tipos de cilindros y están divididos en dos grandes grupos, de simple efecto y de doble efecto.

**Cilindros de simple efecto:** Estos cilindros pueden ser de Embolo, de membrana o de membrana enrollable, todos ellos tienen una sola entrada de aire y el retorno del vástago se realiza por efecto de un muelle incorporado.

Figura 7. Cilindro de simple efecto con Émbolo.

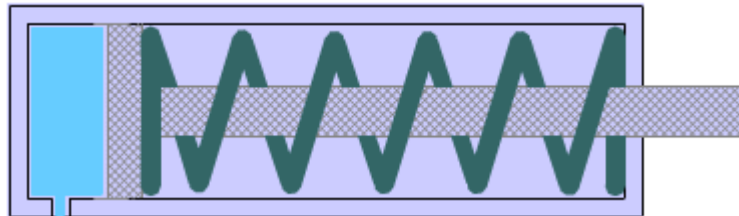


Figura 8. Cilindro de simple efecto de membrana.

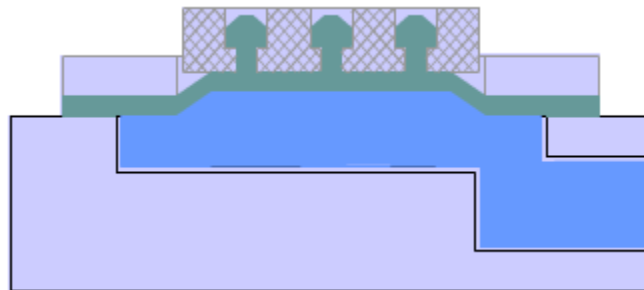
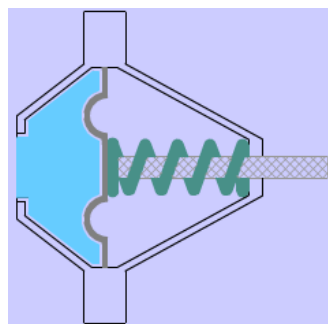


Figura 9. Cilindro de simple efecto con membrana enrollable.



**Cilindros de doble efecto:** En estos cilindros el esfuerzo neumático se realiza en ambos sentidos, pueden ser cilindros con amortiguación por aire interna, de vástago pasante, cilindros en tándem, cilindros de percusión, cilindro telescópico o cilindros sin vástago.

Figura 10. Cilindro Neumático doble efecto con amortiguación.

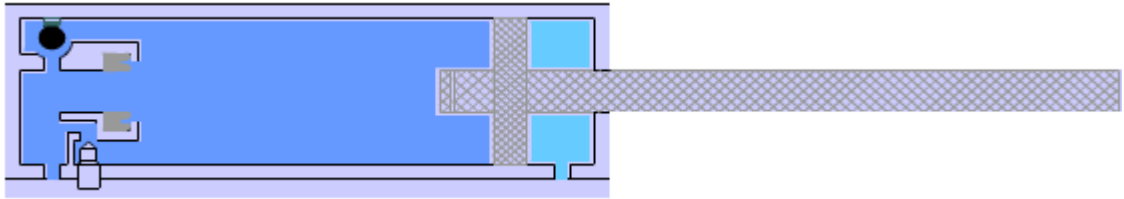


Figura 11. Cilindro neumático de doble efecto con vástago pasante.

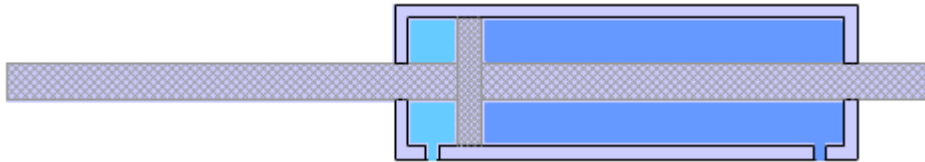


Figura 12. Cilindro neumático de doble efecto en tándem.

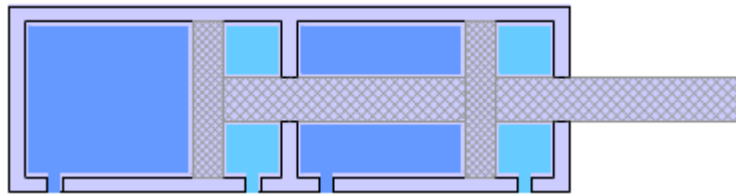


Figura 13. Cilindro de doble efecto de percusión.

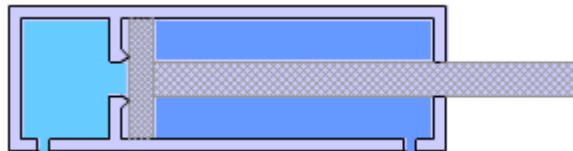
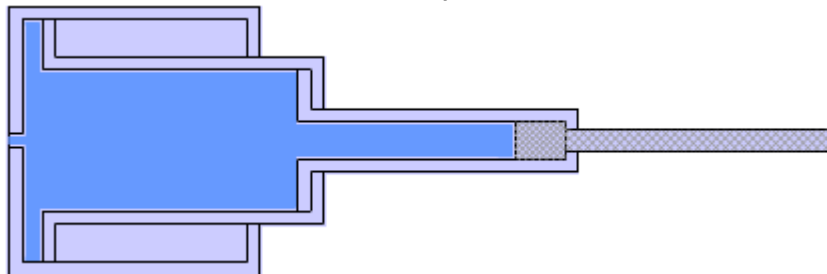


Figura 14. Cilindro de doble efecto Telescópico



**Dimensionamiento de los cilindros:** Cuando se realiza un cálculo de cilindros neumáticos hay tres factores fundamentales para realizarlos. La presión del aire, el diámetro del cilindro y el rozamiento de las juntas.

Para calcular la fuerza teórica se emplean las siguientes ecuaciones:

$$F = A * p$$

donde  $A$  = superficie Util del embolo;  $p$  = presión de trabajo

Pero cuando son aplicaciones reales es necesario tener en cuenta la fuerza de rozamiento. Por lo que la ecuación se convierte en:

$$F = A * p - (Fr + Ff)$$

donde  $Fr$  = fuerza de rozamiento,  $Ff$  = fuerza del muelle de recuperación

Para cilindros de doble efecto se emplea:

al avance:  $F = A * p - Fr$

al retroceso:  $F = A' * p - Fr$

donde  $A = \frac{D^2 * \pi}{4}$  y  $A' = 2(D^2 * d^2 * \pi)$

$D$  = diámetro del émbolo,  $d$  = diámetro del vástago

El consumo de aire de un cilindro neumático esta dado por la ecuación:

consumo de aire =  $(s * A + s * A') * n * \text{Relación de compresión}$

donde:  $s$  = Longitud de la carrera

$n$  = Ciclos por minuto

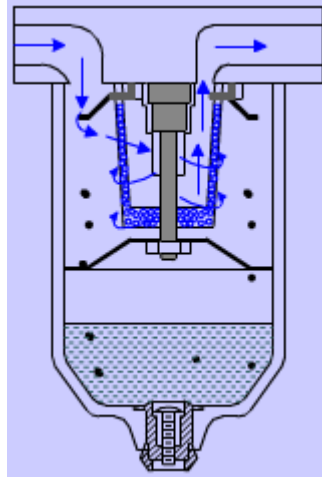
Relación de compresión =  $\frac{101.3KPa + \text{presión de trabajo}}{101.3KPa}$

**2.1.2.4 Unidades de mantenimiento FRL (Filtro Regulador Lubricador):** Estas unidades son indispensables para el buen funcionamiento de un sistema neumático, además de prolongar la vida útil de los componentes. Estos sistemas se deben instalar en la línea de alimentación del circuito neumático, con esto se suministra al sistema aire limpio, libre de humedad e impurezas, lubricado y regulado a la presión requerida, en pocas palabras un aire en las optimas condiciones para utilizarlo.

**Filtros:** estos elementos necesarios en todo sistema neumático, evitan la llegada de partículas de oxido y de pequeñas cantidades de agua a los puntos de

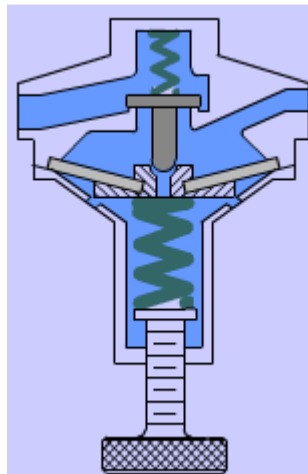
consumo. El proceso que sigue el aire dentro del filtro se visualiza de forma completa mediante la figura 15.

Figura 15. Filtro de aire



**Reguladores de presión:** Después que el aire comprimido es filtrado, pasa a ser regulado, en esta parte es donde entra en funcionamiento el regulador de presión, que evita las pulsaciones provenientes del compresor, para mantener una presión constante e independiente de la presión de la línea y del consumo, además evita un excesivo consumo por utilizar presiones de operación mayores que las necesarias para los equipos.

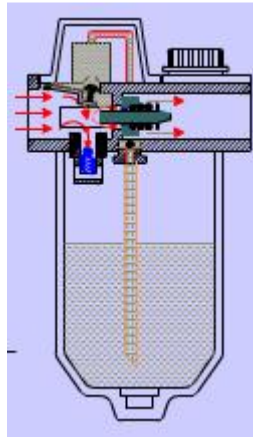
Figura 16. Regulador de presión.



**Lubricador:** la lubricación de los componentes neumáticos evita el prematuro deterioro de los mismos, provocado por la fricción y la corrosión, aumentando

notablemente su vida útil, reduciendo los costos de mantenimiento, tiempos de reparación y repuestos. El método utilizado por la mayoría de lubricadores es dosificar lubricante en el aire que acciona el sistema, atomizándolo y formando una especie de micro niebla que es arrastrada por el flujo de aire, cubriendo así las superficies internas de los componentes con una capa de aceite.

Figura 17. Lubricador.



### 2.1.3 Sistema de Control.

#### 2.1.3.1 Controlador programable PLC.

Figura 18. PLC logo Siemens



Fuente: [www.control-systems-principles.co.uk/whitepapers/spanishwp/14ProgLogicSP.pdf](http://www.control-systems-principles.co.uk/whitepapers/spanishwp/14ProgLogicSP.pdf)

## Definiciones y términos importantes:

Funciones de controladores industriales



Fuente: [www.control-systems-principles.co.uk/whitepapers/spanishwp/14ProgLogicSP.pdf](http://www.control-systems-principles.co.uk/whitepapers/spanishwp/14ProgLogicSP.pdf)

**Bits:** Unidad más pequeña de información, puede tener solo dos estados, Activo (on) o Inactivo (off), puede utilizarse para almacenar variables lógicas o números es aritmética binaria, pero también combinado con otros bits puede almacenar tipos de datos complejos.

**Nibble ó Cuarteto:** Agrupación de cuatro bits, se utiliza principalmente para almacenamiento en código BCD.

**Byte u Octeto:** Agrupación de ocho bits, puede almacenar un carácter (generalmente ASCII), un número entre 0 y 255, dos números BCD u ocho indicadores de 1 bit.

**Word ó Palabra:** Una palabra consta de un número fijo de bits, aunque este número varía de un procesador u otro.

**Baudio:** Medida de velocidad de transmisión de datos. Representa la cantidad de bits que es posible transferir por segundo.

### Ventajas y desventajas de los PLC's:

**Ventajas.** Las condiciones favorables son las siguientes:

Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:

No es necesario dibujar el esquema de contactos. No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general, la capacidad de almacenamiento

del módulo de memoria es lo suficientemente grande. La lista de materiales queda considerablemente reducida y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega, etc.

Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado y añadir aparatos.

Mínimo espacio de ocupación.

Menor costo de mano de obra de la instalación.

Economía de mantenimiento, además de aumentar la fiabilidad del sistema al eliminar contactos móviles y ellos mismos pueden detectar e indicar averías.

Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo controlador.

Menor tiempo para la puesta de funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.

### **Desventajas.**

En primer lugar, de que hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a unos de los técnicos de tal sentido, pero hoy en día ese inconveniente está solucionado porque las universidades y/o institutos superiores ya se encargan de dicho adiestramiento.

Pero hay otro factor importante como el costo inicial que puede, o no ser un inconveniente, según las características del controlador en cuestión.

Dado que el PLC cubre ventajosamente en amplio espacio entre la lógica cableada y el microprocesador es preciso que el proyectista lo conozca tanto en su actitud como en sus limitaciones. Por tanto, aunque el coste inicial debe ser tenido en cuenta a la hora de decidirse por uno u otro sistema, conviene analizar todos los demás factores para asegurarse una decisión acertada.

### **Conceptos básicos**

Un controlador lógico programable, también llamado PLC, es un aparato digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de

instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas que pueden ser:

- Lógicas
- Secuencias
- Temporizadas
- Conteos
- Aritméticos

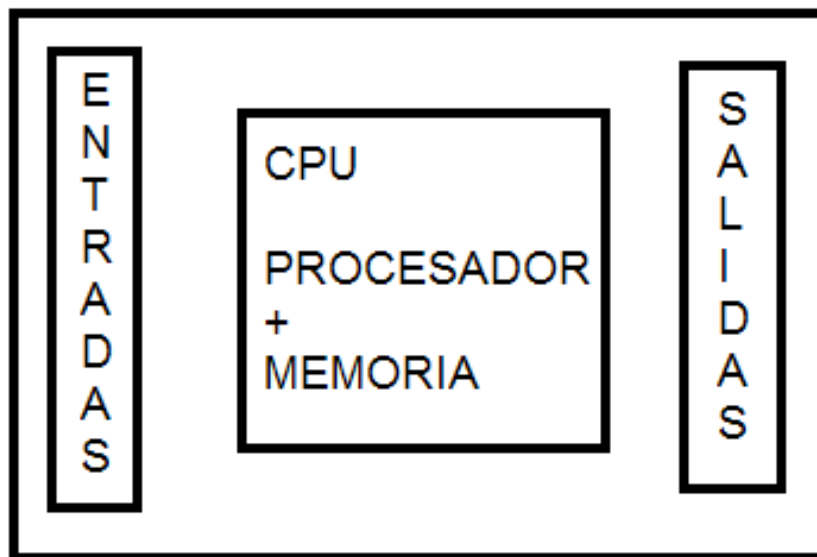
Los PLC pueden ser utilizados donde se requiera tanto de controles lógicos como secuenciales o ambos a la vez.

Su aplicación es generalizada en diferentes procesos industriales, que pueden ser tratamientos de aguas, calefacción, climatización, control de acceso, puertas automáticas, distribuidores automáticos, maquinaria de lavado de vehículos, maquinaria de acondicionamiento, embalaje e imprenta, equipos médicos, manipuladores, accionamiento de bombas, construcción mecánica, maquinaria textil, etc.

### **Estructura de un plc.**

La estructura básica de un PLC se puede ejemplificar con la figura 19:

Figura 19. Estructura Básica PLC



Fuente: [www.control-systems-principles.co.uk/whitepapers/spanishwp/14ProgLogicSP.pdf](http://www.control-systems-principles.co.uk/whitepapers/spanishwp/14ProgLogicSP.pdf)

## **CPU.**

La CPU es el cerebro del plc, es el responsable de la ejecución del programa desarrollado por el usuario. Está formado por dos partes fundamentales que son los procesadoras y las memorias. Puede contener otros elementos tales como puertos de comunicaciones, circuitos de diagnóstico, fuentes de alimentación, etc.

**Procesador.** El procesador tiene como tarea principal, ejecutar el programa realizado por el usuario, pero tiene también otras tareas como, administrar las comunicaciones y ejecutar las tareas de auto diagnósticos.

**Memoria.** El sistema operativo, el programa de aplicación, las tablas de entradas y salidas, los registros internos, están asociados a distintos tipos de memoria. La capacidad de almacenamiento de una memoria suele cuantificarse en bits, bytes, o words.

El sistema operativo viene grabado por el fabricante y como debe permanecer integrado y el usuario no tiene acceso a él, se guarda en una memoria como las ROM, EPROM o EEPROM, que son memorias cuyo contenido permanece inalterable, en ausencia de alimentación. El programa construido por el usuario debe permanecer estable durante el funcionamiento del equipo, debe ser fácil leer, escribir o borrar. Por eso es que se usa para su almacenamiento memorias tipo RAM O EEPROM. En el caso de memorias tipo RAM será necesario también el uso de baterías, puesto que este tipo de memorias borran la información con la ausencia de alimentación.

**2.1.3.2 Lógica Cableada:** En el vocabulario de los técnicos electromecánicos, la lógica cableada industrial es la técnica de diseño de pequeños a complejos autómatas utilizados en plantas industriales, básicamente con relés cableados. En el vocabulario de los técnicos en telecomunicaciones y en informática, la lógica cableada utiliza compuertas lógicas discretas (TTL, CMOS, HCMOS), para implementar circuitos digitales de comunicaciones y computadores.

La lógica cableada industrial consiste en el diseño de automatismos con circuitos cableados entre contactos auxiliares de relés electromecánicos, contactores de potencia, relés temporizados, diodos, relés de protección, válvulas óleo-hidráulicas o neumáticas y otros componentes. Los cableados incluyen funciones de comando y control, de señalización, de protección y de potencia. La potencia además de circuitos eléctricos comprende a los circuitos neumáticos (mando por aire a

presión) u óleo hidráulicos (mando por aceite a presión). Crea automatismos rígidos, capaces de realizar una serie de tareas en forma secuencial, sin posibilidad de cambiar variables y parámetros. Si se ha de realizar otra tarea será necesario realizar un nuevo diseño. En sistemas mayores, se emplea el autómata programable, entre los que se encuentran los PLC controlador lógico programable, la RTU Unidad Terminal Remota o los relés programables, o computadoras o servidores de uso industrial. Estos autómatas no se programan en lenguajes tradicionales como cualquier computador, se programan en Ladder, lenguaje en el cual las instrucciones no son otra cosa que líneas de lógica cableada. Así el conocimiento de la lógica cableada es de fundamental importancia para quien programa un autómata programable o PLC. La lógica cableada más que una técnica, hoy en día constituye una filosofía que permite estructurar circuitos en forma ordenada, prolija y segura, sea en circuitos cableados o programados. La práctica de la lógica cableada ha sido asimilada por otras ramas de la tecnología como las telecomunicaciones y la informática, con la introducción del cableado estructurado en edificios, oficinas y locales comerciales, lugares donde es poco usual el manejo de esquemas y dibujos de las instalaciones eléctricas, excepto la de potencia, la elaboración de proyectos de detalle y el cableado en forma ordenada mediante el uso de bornas y regletas, que pasaron a llamarse “patcheras” en el caso de las redes de datos y telefonía.

A continuación se describen los elementos, circuitos básicos y la filosofía comúnmente empleada en la lógica cableada. Los dibujos de los componentes presentados no siguen una normativa en particular, correspondiendo al estilo europeo de dibujo de esquemas eléctricos (normas CEI internacional, DIN de Alemania, NF de Francia).

**Estados ON – OFF:** Desde un punto de vista teórico la lógica cableada opera de igual forma que la lógica tradicional, donde las variables solamente pueden tener dos estados posibles, “verdadero” o “falso”. En la lógica cableada “verdadero” es igual a un relé energizado o en ON, en el caso de los contactos el estado “verdadero” es el contacto CERRADO. En la lógica cableada un “falso” es igual a un relé des-energizado o en OFF, para los contactos el estado “falso” es el contacto ABIERTO.

En los circuitos electrónicos digitales o compuerta lógica, se utiliza el sistema numérico binario; donde verdadero es igual a “1” y falso es igual a “0”. Si se trata de un sistema neumático u óleo-hidráulico, “verdadero” es igual a una válvula ABIERTA y “falso” es igual a una válvula CERRADA. Si se trata del mando de la

válvula, “verdadero” corresponde al mando accionado (puede ser un solenoide, una palanca de accionamiento manual o un simple volante), y “falso” corresponde al estado no accionado del mando. La figura 20 muestra las Variables lógicas empleadas en lógica cableada en comparación con la lógica, circuitos digitales, neumática y óleo-hidráulica.

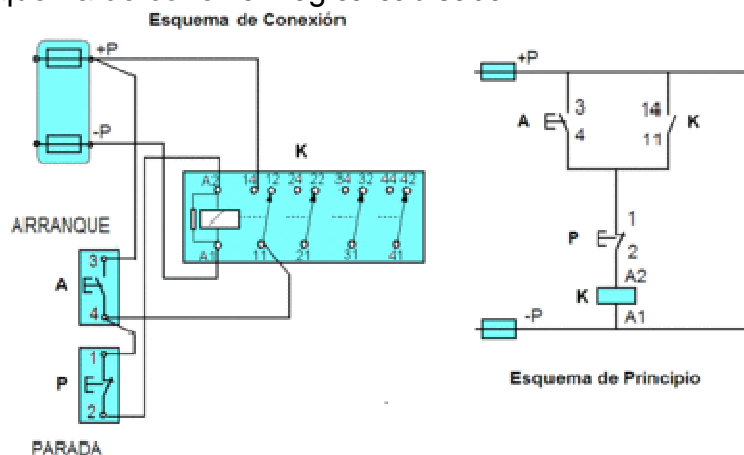
Figura 20. Estados ON-OFF

Lógica	Circuito Digital	Lógica Cableada	Neumática / Óleo-Hidráulica
<b>FALSE</b> <i>falso</i>	<b>0</b> <i>cero</i>	<b>OFF</b> contacto abierto relé desenergizado	 <i>válvula cerrada</i>
<b>TRUE</b> <i>verdadero</i>	<b>1</b> <i>uno</i>	<b>ON</b> contacto cerrado relé energizado	 <i>válvula abierta</i>

Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica\\_cableada](http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica_cableada)

**Esquemas de conexión y de principio:** Los relés y otros elementos empleados en la técnica de comando y control, pueden ser dibujados con sus bornes de conexión tal cual son físicamente, y luego conectar con conductores los distintos bornes, conformando lo que se denomina un “esquema de conexión”. El esquema de conexión debe dar los datos constructivos y la ubicación de cada elemento, pero no es la mejor forma de representar un circuito a la hora de comprender y visualizar su funcionamiento, como si lo es el esquema de principio. La figura 21 representa las diferentes formas de representar un esquema eléctrico, el esquema de conexiones y el esquema de principio.

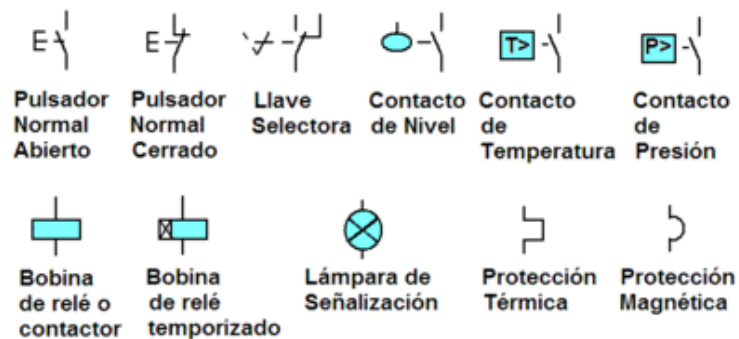
Figura 21. Esquema de conexión lógica cableada.



Fuente: [Ibid](#)

**Dibujos y planos:** Los dibujos o planos de los esquemas de conexión y esquemas de principio, antiguamente eran realizados por dibujantes técnicos en folios de papel de gran tamaño, por ejemplo; 1,50 x 2,00 metros, donde se dibujaban todos los cables del circuito en un solo folio. Actualmente los dibujos son realizados directamente por los electricistas, en programas CAD e impresos en hojas formato A4 o A3. Un circuito de automatización de lógica cableada se dibuja en varias hojas numeradas, y los cables y aparatos son referenciados de una hoja a otra, marcando el número de hoja y las coordenadas columna-fila donde se ubica el cable, borne o aparato cableado. La figura 22 muestra un esquema de Principio típico de un cableado de comando y control.

Figura 22. Elementos básicos lógica cableada



Fuente: [Ibid](#)

Una de las formas de dibujar los contactos normales abiertos, normales cerrados y la bobina de relé, y polaridad. En este caso se muestran los dibujos de acuerdo a normas europeas ítems.

Figura 23. Contactos normalmente abiertos y cerrados.



Fuente: [Ibid](#)

**Identificación del cableado y borneras:** Para que un circuito de lógica cableada pueda funcionar correctamente, es primordial contar previamente con el dibujo del mismo, donde se identifican todos los cables y borneras de conexión, para luego realizar el montaje y revisar el correcto cableado de todos los elementos. Para que esto último sea posible es necesario colocar identificadores o marcadores

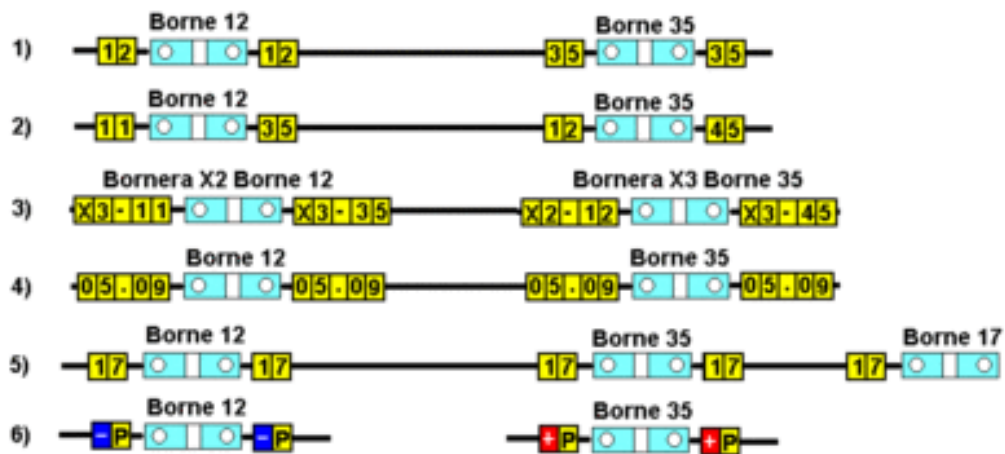
alfanuméricos en todos los cables y bornes. Existen distintos criterios para realizar la identificación de los cables, teniendo en cuenta sus ventajas y desventajas. Básicamente se pueden identificar los cables según los números de borneras o regletas de conexión, o de acuerdo a una numeración arbitraria especificado en los planos o dibujos.

Los criterios de identificación del cableado son muchos, algunos apuntan a facilitar el montaje o trabajo del electricista que realiza el cableado, otros facilitan el trabajo del personal de mantenimiento de la instalación, otros son de acuerdo a la conveniencia del autor que dibujo los planos. Algunos de ellos:

- 1) Identificar los cables con el nombre-número de la bornera o borne de conexión a donde llega el cable.
- 2) Identificar los cables con el nombre-número de la bornera o borne de conexión del extremo opuesto del cable.
- 3) Identificar los cables con un número correlativo de 00 a 99, donde ese número está marcado en el dibujo o plano como número del cable, se puede agregar el número de hoja del dibujo donde se encuentra el cable.
- 4) Los números de los cables se corresponden con la numeración de la bornera principal del circuito cuyos números no se repiten en otra bornera.

La figura 24 muestra algunos ejemplos de diferentes formas de identificar un cableado de lógica cableada.

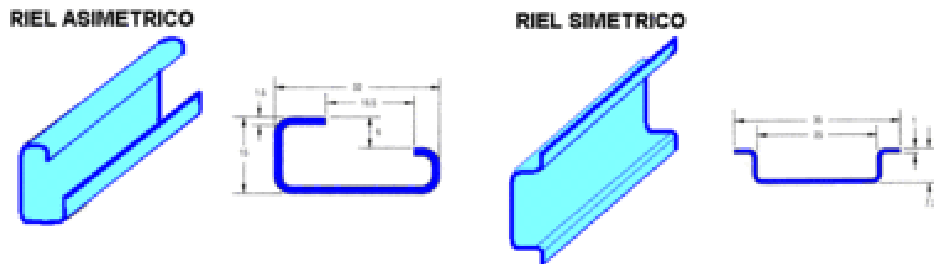
Figura 24. Identificación de cableado.



Fuente: [Ibid](#)

**Montajes:** El montaje de la lógica cableada se realiza en gabinetes o tableros de control, donde sobre un fondo muerto o sobre rieles verticales, conocidos como rack en inglés de 19", se atornillan en forma horizontal los llamados rieles asimétricos y simétricos, donde se instalan los relés, fuentes de alimentación, elementos de potencia como los contactores, y protección como porta fusibles, guardamotores, etc. Los rieles más económicos son de chapa galvanizada, los de mejor calidad son de acero con una protección superficial de cadmio.

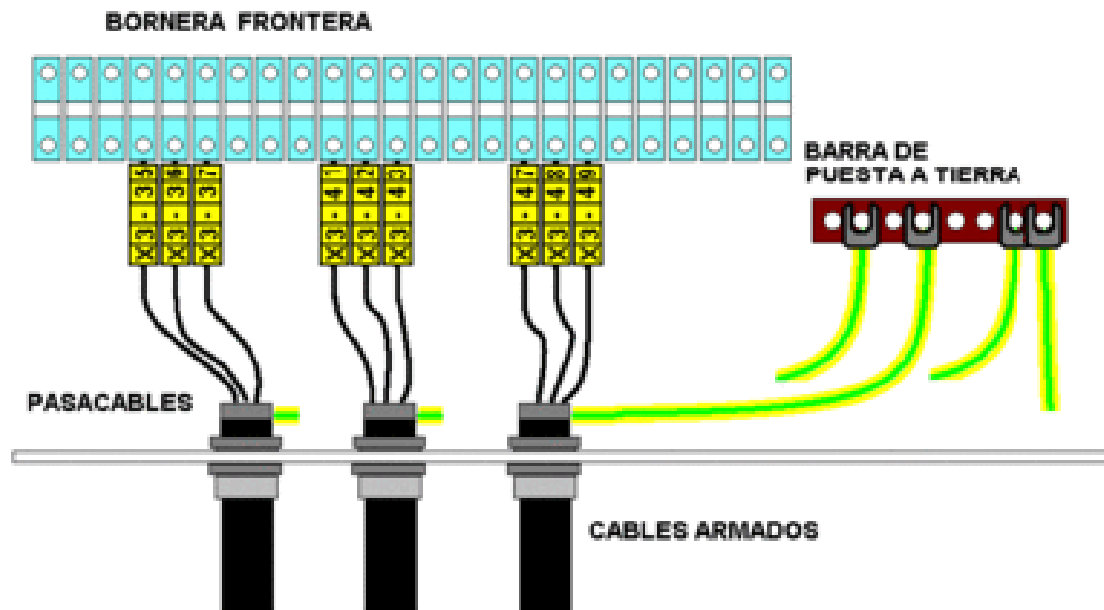
Figura 25. Tipos de rieles para tablero de control.



Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica\\_cableada](http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica_cableada)

Las borneas y relés en general, van montados sobre rieles, existiendo dos tipos básicos; el asimétrico y simétrico, también conocido como riel omega.

Figura 26. Montaje y cableado.



Fuente: [Ibid](#)

**Señalización.** La señalización comprende la indicación de los estados de marcha, parada, falla o defectos, posición de interruptores abiertos o cerrados. Para lo cual se emplea luminosos con lámpara incandescente o con LED.

Figura 27. Señalización tableros de control



Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica\\_cableada](http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica_cableada)

Los colores de los pulsadores de mando, y los luminosos de estados y alarma, son elegidos de acuerdo a normas internacionales como la CEI 73.

**Programación.** Tiene una serie de pasos:

- Determinar qué debe hacer el sistema de control y en qué orden.
- Identificar entradas y salidas al autómeta.
- Representar mediante un modelo el sistema de control, funciones, relaciones entre ellas, y secuencia que deben seguir.
- Asignar direcciones de entrada, salida o internas a cada componente que aparece en el sistema.
- Llevar la representación anterior a un lenguaje de autómeta programable.
- Depurar, simular y transferir a la memoria del autómeta el programa.

**Clasificación del modelo según los símbolos utilizados:**

- Proposicional: Descripciones literales.
- Algebraico: Funciones booleanas y algebraicas
- Gráfico: Esquemas de relés, diagramas lógicos, de flujo y técnicas de Grafcet.

Lenguajes de programación:

- Son dependientes del autómata empleado.
- Tipo de unidad o software de programación: Literal o gráfica.

Clasificación:

1. Algebraicos:

- Lenguajes Booleanos
- Lista de instrucciones
- Lenguajes de alto nivel

2. Gráficos:

- Diagrama de contactos
- Diagrama de funciones / bloques
- Intérprete GRAFCET

### Lenguajes booleanos y lista de instrucciones.

Tabla 6. Instrucciones típicas lenguaje booleano.

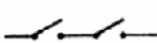
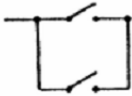


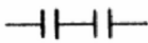
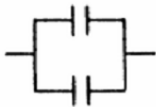

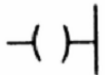
Campo operación	Operando
Instrucciones típicas básicas	
OR AND NOT	Booleanas
LD OUT SET RST	Carga y asignación
TIM CNT	Contador y temporizador
ADD SBB MUL DIV	Aritméticas
CMP SHIFT MOV	Manejo de datos
END JMP MCS	Gestión de programa

Fuente: <http://elcobach.turincon.com/contenido2.html>

## Diagramas de contactos (Ladder Diagram)

El lenguaje de contactos expresa las relaciones entre señales binarias como una sucesión de contactos en serie y en paralelo. Adoptado por muchos fabricantes de autómatas (norteamericanos y japoneses) como lenguaje base de programación.

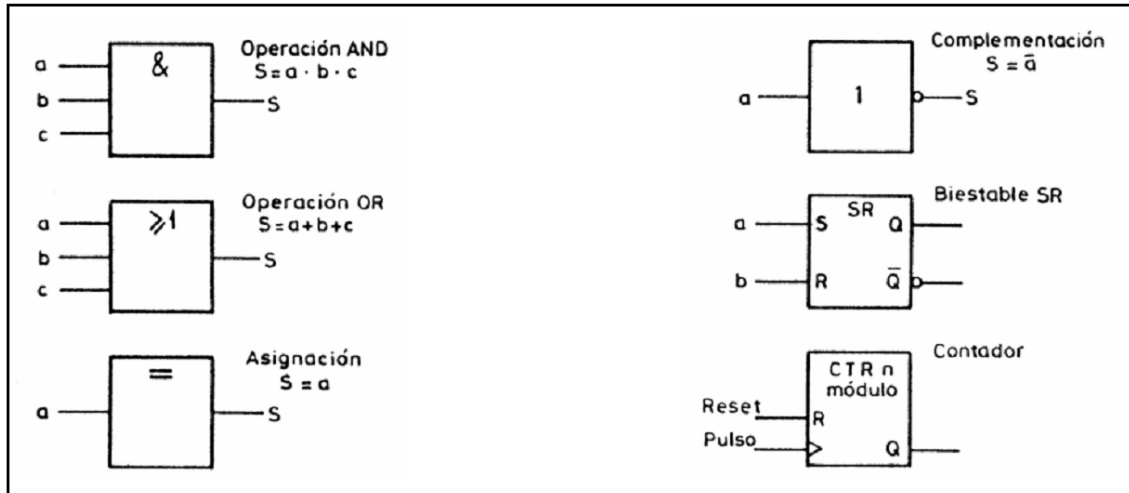
Tabla 7. Funciones Lógicas.

FUNCIÓN LÓGICA	Operación producto lógico	Operación suma lógica	Operación negación	Asignación de valor
INSTRUCCIONES BOOLEANAS	AND	OR	NOT	OUT
ESQUEMAS DE RELÉS (DIN 40713-16)				
DIAGRAMAS DE CONTACTOS (NEMA/DIN 19239)				

Fuente: [Ibid](#)

**Diagrama de funciones:** El diagrama lógico o de funciones es la representación de las tareas de automatización utilizando los símbolos contenidos en las normas DIN 40700 y DIN 40719. Incluye como bloques normalizados funciones secuenciales típicas y algunos bloques de tratamientos numéricos.

Figura 28. Bloques de tratamientos numéricos.



Fuente: <http://elcobach.turincon.com/contenido2.html>

## Ventajas e inconvenientes de los lenguajes vistos

- Listado de instrucciones:
  - Para PLC de funciones limitadas, las instrucciones son fáciles de entender.
  - La carga se realiza mediante teclados básicos que pueden estar en el PLC.
  - No requiere una interfaz gráfica.
  - Hay dificultad para interpretar la función de un listado de instrucciones.
  - Hay dificultad para realizar análisis y modificaciones.
- Diagramas de contactos:
  - Es de fácil aprendizaje para quien tiene conocimientos básicos de electricidad.
  - La interpretación y modificación del diagrama es sencilla.
  - Permite la incorporación de comentarios y referencias.
  - Requiere un recurso que pueda presentar gráficos.
  - Para la carga se requiere un software para convertir los diagramas en lenguaje de máquina.
- Diagramas de funciones.
  - La interpretación y modificación del diagrama es sencilla en programas cortos.

- Permite la incorporación de comentarios y referencias.
  - Permite la incorporación de comentarios y referencias.
  - Requiere un recurso que pueda presentar gráficos.
  - Para la carga se requiere un software para convertir los diagramas en lenguaje de máquina.
- Equipos y Software de Programación.
    - Permiten realizar la programación y proveen utilitarios y funciones como:
    - Escribir y editar un programa en los lenguajes permitidos por el autómeta
    - Simular el funcionamiento fuera del autómeta o “en línea” pudiendo incluso forzar valores de las variables.
    - Brindan utilidades como leer programas, cambio de parámetros, etc.
    - Permiten presentaciones gráficas y colocación de comentarios para una mejor interpretación.

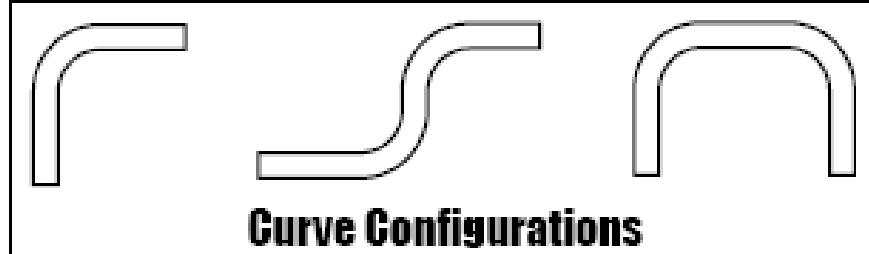
#### **2.1.4 Sistema de Transporte de piezas.**

**Cellular Manufacturing** (Celda de Manufactura): la celda de manufactura es una parte del concepto de Lean Manufacturing creado por la compañía automotriz Toyota, la cual busca incrementar ganancias y calidad con el mínimo costo y tiempo. En la celda de manufactura podemos encontrar varios tipos de máquinas, todas ellas destinadas a fabricar un producto específico, de tal forma que todo este arreglo sea fácilmente modificado para adaptarse a otro tipo de producto. El cambio de la disposición en la que se encuentran las máquinas y operarios no debe ser modificado en corto tiempo.

Este concepto de manufactura por celdas es implementado en el diseño del proceso automatizado de pulido de las piezas, comenzando inicialmente por solo el pulimento en si, que luego podría ser ampliado o se podría complementar con otra tarea en la misma celda luego de completar el proceso de pulido con el robot.

**Plastic Chain Conveyor (Banda transportadora de cadena plástica):** es un tipo de banda la cual puede tener curvas en su trayectoria, muy utilizada en la industria alimenticia. La trayectoria esta fabricada en perfiles de aluminio para su facilitar su corte.

Figura 29. Formas Curvas bandas transportadoras.



Fuente: [http://www.dornerconveyors.com/conveyors/belt\\_conveyors.asp](http://www.dornerconveyors.com/conveyors/belt_conveyors.asp)

Figura 30. Material Bandas Transportadoras.



Fuente: [Idem](#)

**Modular Conveyors (Bandas transportadoras modulares):** este tipo de banda transportadora aporta una gran facilidad de montaje debido a su característica modular, fácil desplazamiento y programación. Se pueden utilizar los módulos para crear curvas de 90° únicamente.

Figura 31. Banda Transportadora Recta.



Fuente: [Idem](#)

También existen otro tipo de módulos de los que podemos obtener curvas desde 15 hasta 180, estas tiene un círculo en el centro para ayudar en el movimiento a las piezas que por ella transitarán.

Figura 32. Banda Transportadora Curva



Fuente: [Idem](#)

**Belt Conveyor (Banda transportadora de correa):** las bandas transportadoras de correa son muy utilizadas en la industria por su versatilidad, fácil montaje, sencilla construcción y bajo costo. Proveen de una superficie suave y continua que es ideal para muchas aplicaciones de manejo de productos.

Existen varios tipos de correas para amoldarse a la necesidad del proceso, se puede cambiar el tipo de material, su forma y medidas.

Figura 33. Bandas transportadoras de correa

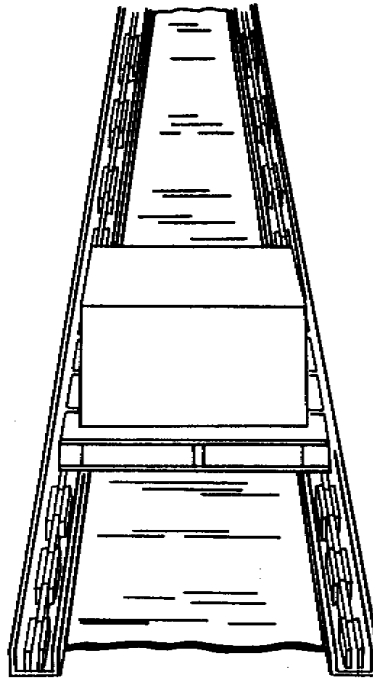


Fuente: [Idem](#)

**Chain Conveyor (Banda transportadora de cadena):** este tipo de banda transportadora es de tecnología muy sencilla, utiliza dos o más cadenas para

mover productos directamente. La calidad de las cadenas y el número de ellas en la banda transportadora puede variar dependiendo de cada aplicación. El bajo costo fabricación de este tipo de banda transportadora es una de sus virtudes, así como su versatilidad.

Figura 34. Banda transportadora de cadena.



Fuente: [Idem](#)

**Enclosed Track Conveyor (Banda transportadora de guía cerrada):** Este tipo de banda transportadora tiene un diseño tipo cadena, donde cada uno de sus eslabones está diseñado para transportar piezas de hasta 220 lbs. La forma en cruz de su pista o riel le permite tener secciones curvas en su trayecto, además de distribuir la carga en diversos lugares. El diseño de su riel cubierto le protege de polvo, pintura o cualquier otro tipo de material contaminante entrar en el y afectar la cadena, reduciendo los costos de mantenimiento y prolongando la vida útil del sistema.

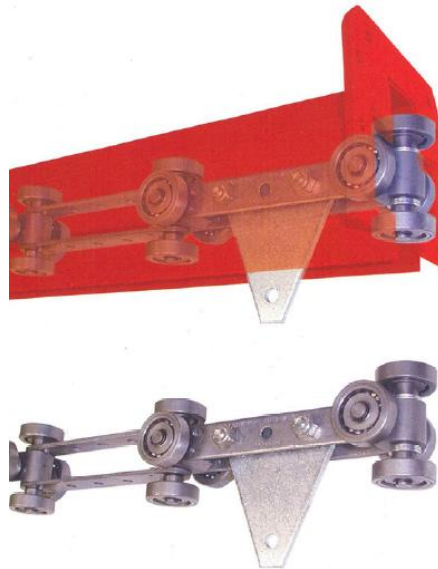
Su diseño por módulos permite un fácil ensamble ya que no es necesario soldar. Estos módulos pueden ser ensamblados de diferentes maneras para acomodarse a las necesidades de cada cliente, ya que se pueden colocar las cargas vertical u horizontalmente.

Figura 35. Módulos Conveyor



Fuente: [Idem](#)

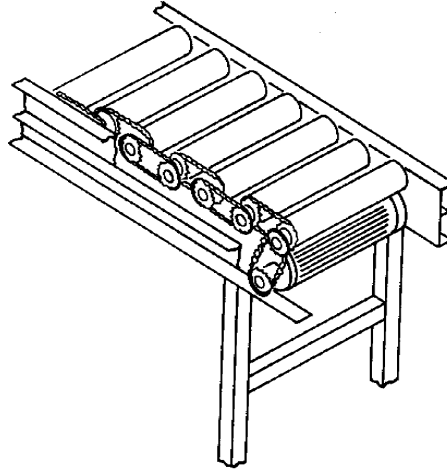
Figura 36. Diseño interno conveyor



Fuente: [Idem](#)

**Motorized Roller Conveyor (Banda transportadora de rodillos motorizados):** este tipo de banda transportadora tiene diferentes configuraciones, así como el sistema de movimiento de la banda en si. Puede ser movida por medio de motores conectados a los rodillos con cadenas o correas. La otra configuración que dispone esta banda es la de rodillos motorizados, estos rodillos tienen motores internos que proveen el movimiento de la banda, estos se pueden colocar en diferentes formas en la banda para aprovechar toda la potencia de ellos. Los otros rodillos pueden ser conectados por medio de O-Rings para proporcionar mayor movimiento.

Figura 37. Banda transportadora de rodillos motorizados



Fuente: <http://www.automotionconveyors.com/spanish/productos/transportadores/index.html>

Figura 38. Rodillos Motorizados

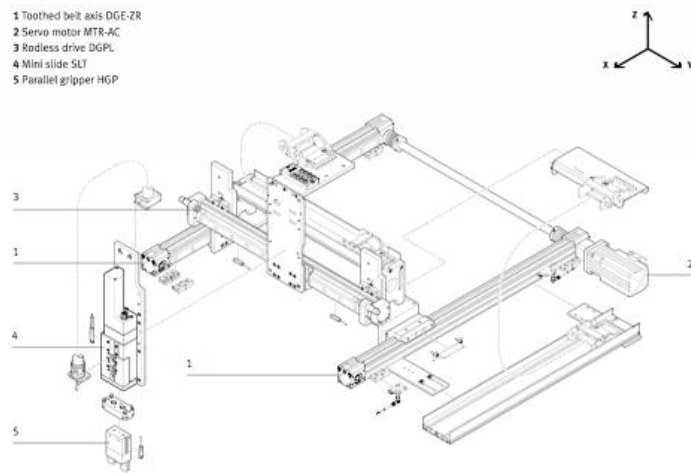


Fuente: <http://www.automotionconveyors.com/spanish/productos/transportadores/index.html>

**Pick and Place (Elementos manipuladores):** Los elementos manipuladores tienen diferentes configuraciones para adaptarse al tipo de proceso en el que se van a desempeñar, dependiendo de cada fabricante se pueden escoger entre gran variedad de accesorios para cumplir con la tarea a la perfección. Existen varios tipos de elementos manipuladores y unidades de manipulación, tenemos las ventosas, pinzas angulares, pinzas radiales, unidades magnéticas para materiales ferrosos.

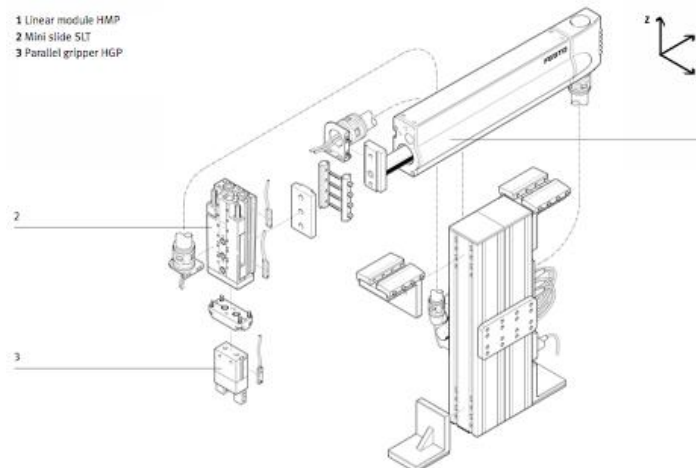
Las unidades de manipulación tienen una gran variedad de accesorios para llenar las necesidades del cliente. Existen varios modelos que cambian en los grados de libertad así como en el peso que manipularán, la velocidad de sus movimientos y la precisión de ellos.

Figura 39. Pick & Place 1



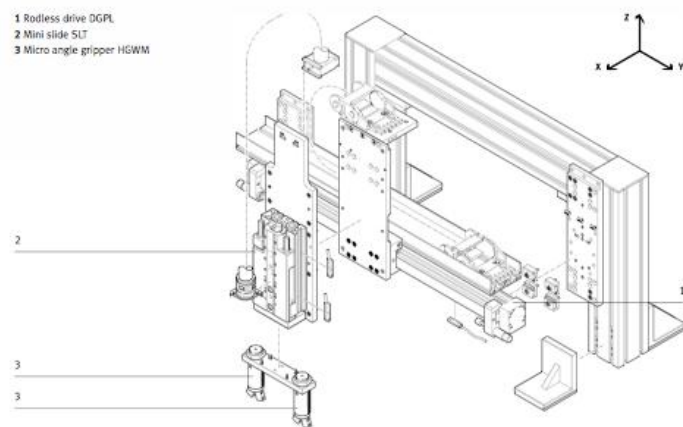
Fuente: <http://www.festo.com.co/catalogo>

Figura 40. Pick & Place 2



Fuente: <http://www.festo.com.co/catalogo>

Figura 41. Pick & Place 3



Fuente: <http://www.festo.com.co/catalogo>

## **2.2 MARCO LEGAL.**

Las normas enunciadas a continuación, son todas aquellas que corresponden al proyecto.

NTC 1486 – Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación.

Establece las reglas para la presentación de un trabajo escrito, cualquiera sea su nivel de profundidad.

NTC 2048 – Dibujo industrial. Orificios de centrado, representación simplificada y designación.

Establece representación y designación, se acompaña de ejemplos gráficos.

NTC 1964 – Dibujo técnico. Dimensionamiento y tolerancias. Conos.

Establece definiciones, símbolos, dimensionamiento de conos y tolerancias.

NTC 1960 - Dibujo técnico. Dimensionamiento. principios generales. Definiciones. Método de ejecución e indicadores especiales.

Contiene principios generales, método de dimensionamiento, arreglo e indicación de dimensiones, indicadores especiales e indicación de niveles.

NTC 1580 - Dibujo técnico. Escalas.

Contiene definiciones, condiciones y requisitos de las escalas para uso en dibujos técnicos.

NTC 1687 - Dibujo técnico. Formato y plegado de los dibujos.

Define los formatos y plegados, establece condiciones y requisitos.

NTC 2497 - Dibujo técnico. Instalaciones. Símbolos gráficos para sistemas de control automático.

Establece símbolos gráficos y conexiones en instalaciones de control automático.

NTC 1957 – Dibujo técnico. Método para indicar la textura de las superficies.

Especifica los símbolos gráficos e indicaciones adicionales que se deben emplear en los dibujos técnicos para indicar la textura de las superficies.

NTC 2498 - Dibujo técnico. Principio fundamental de tolerancia.

Contiene campo de aplicación, principios de independencia, tolerancias, dependencia mutua de tamaño y geometría, principio del material máximo y aplicación en los dibujos.

NTC 1777 - Dibujo técnico. Principios generales de representación.

Especifica los principios generales de presentación, los cuales se aplicaran a dibujos técnicos, siguiendo los métodos de proyección ortográfica.

NTC 1914 - Dibujo técnico. Rotulado de planos.

Ofrece una guía, a partir de reglas y recomendaciones adecuadas, para la ejecución y uso practico de cuadros de títulos relacionados con la identificación, administración y comprensión de planos técnicos y documentos afines.

NTC 2129 - Dibujo técnico. Representación simplificada de secciones de barras y perfiles.

Especifica reglas complementarias para la representación simplificada de secciones de barras y perfiles en dibujos de conjunto y detalle, relacionados con metal estructural trabajado en forma de placas y laminas.

NTC 2493 - Dibujo técnico. Símbolos para tolerancias geométricas. proporciones y dimensiones.

Especifica condiciones generales, proporción, dimensiones, símbolos y tolerancias.

NTC 2329 - Dibujo técnico. Soldadura. Soldadura y corte. Msoldadura fuerte y soldadura blanda de metales. Nomenclatura de procesos y números de referencia para la presentación simbólica en los dibujos.

Establece una nomenclatura con números de referencia, de soldadura, soldadura fuerte y procesos de soldadura blanda de metales.

NTC 1722 - Dibujo técnico. Tolerancias de dimensiones lineales y angulares.

Especifica la indicación de las tolerancias de dimensiones lineales y angulares en dibujos técnicos.

NTC 1993 - Dibujo técnico. Tornillos roscados y partes roscadas. Parte 1. Convenciones generales.

Establece representación, indicación y dimensionamiento de las partes roscadas.

NTC 1396 - Documentación. Bibliografía.

Establece una serie de pautas para la ordenación y presentación de bibliografías, a fin de facilitar al usuario el acceso a la información.

### **3. METODOLOGÍA.**

#### **3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN (Empírico – analítico):**

El **método empírico-analítico** o **método empírico** es un modelo de investigación científica, que se basa en la **lógica empírica** y que junto al método fenomenológico<sup>1</sup> es el más usado en el campo de las ciencias sociales y en las ciencias descriptivas. El término *empírico* deriva del griego antiguo de experiencia, en pruebas, es decir, llevando a cabo el experimento. Por lo tanto los datos empíricos son sacados de las pruebas acertadas y los errores, es decir, de experiencia. Su aporte al proceso de investigación es resultado fundamentalmente de la experiencia. Estos métodos posibilitan revelar las relaciones esenciales y las características fundamentales del objeto de estudio, a través de procedimientos prácticos con el objeto y diversos medios de estudio. Su utilidad destaca en la entrada en campos inexplorados o en aquellos en los que destaca el estudio descriptivo.

#### **3.2 LINEA DE INVESTIGACIÓN DE LA USB**

- CAMPOS DE INVESTIGACIÓN: Automatización de procesos y robótica.
- SUB LINEAS DE FACULTAD: Instrumentación y control de procesos.
- LINEAS INSTITUCIONALES: Tecnologías actuales y sociedad.
- NODO: Mecatrónica.

### **3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

Con el fin de recopilar la información necesaria para la ejecución de este proyecto se plantearon las siguientes técnicas.

- Realizar una estadística de producción de las piezas que son pulidas en un día de jornada laboral en VEA & CIA LTDA, para demostrar que si se justifica la construcción de la máquina.
- Para definir las medidas exactas del diseño de la máquina se deben tomar medidas del cuarto donde van a ser instalados el robot, la máquina, y las pulidoras.
- Se recogieron muestras de las referencias que van a ser pulidas por el robot y posteriormente realizar la respectiva toma de medidas a cada una,
- Por medio de simulación en CATIA, realizar pruebas a la estructura de cada uno de los modelos propuestos como solución del proyecto, que coincida con los datos calculados en el diseño de cada uno, comprobando así que la estructura esta bien diseñada y tendrá buen desempeño en la máquina.
- Hacer un estudio de calidad de cada uno de los modelos propuestos para así tomar la decisión correcta de cual es el diseño mas adecuado, teniendo en cuenta tanto las especificaciones técnicas, como las especificaciones de VEA & CIA LTDA.

## 4. DESARROLLO INGENIERIL.

### 4.1 ESTADÍSTICA DE PRODUCCIÓN.

Se realizó un estudio de producción, obteniendo los datos del número de piezas que son pulidas por hora de cada una de las referencias que van a ser pulidas por el robot<sup>2</sup>. Esta producción actual es comparada con la producción de piezas presupuestada por la empresa cuando el robot este en funcionamiento, siendo este uno de los requerimientos de mayor importancia para el diseño de la máquina.

La fase de pulido de las piezas que son producidas en VEA & CIA LTDA actualmente es realizada de forma manual, cuentan con un personal de 21 personas para realizar esta tarea, la cantidad de piezas producidas por hora se muestran en la tabla 8.

Claramente se puede observar un aumento considerable en la producción de piezas por hora, en donde el robot para el producto de referencia PCP tarda por unidad 1 minuto (60 segundos) aproximadamente. Este tipo de pieza es una de las que tarda más tiempo por el tamaño de la misma, para las P4S tarda por unidad 0.3 min (18 segundos) aproximadamente. Para las 16E tarda 0.8 minutos (48 segundos) aproximadamente por unidad.

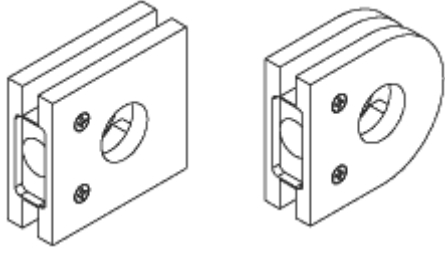
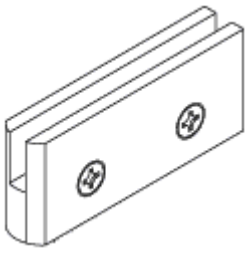
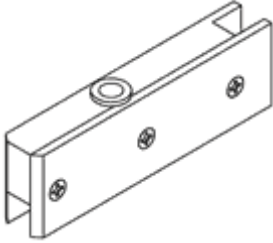
Después de realizar la estadística de producción de piezas por el robot pulidor y el número de piezas producidas por el robot sin alimentación automática, se entra entonces a definir la velocidad a la cual la máquina alimentadora debe trabajar, para satisfacer el requerimiento de la empresa del número de piezas por hora, las cuales se encuentran en la tabla 8, siendo para la PCP 40 piezas por hora, la P4S 100 piezas por hora y la 16E 60 piezas por hora. Por lo tanto el cálculo de la velocidad requerida se debe realizar con el tipo de piezas que más cantidad se producirían por hora, en este caso es la P4S con 100 unidades por hora.

Por cada unidad de P4S el robot tarda 0.3 minutos y para obtener un total de 100 piezas tardaría 30 minutos, dejando un tiempo restante de 30 minutos para el resto del proceso que son, la alimentación y pulido de la sexta cara y para cumplir con las 100 piezas/hora se debe tardar en este proceso por cada pieza 0.3 minutos, con esto la velocidad de alimentación sería entonces de 1 pieza/0.3min.

---

<sup>2</sup> Manuel Rubio ingeniero de planta de VEA & CIA LTDA suministró estos datos.

Tabla 8. Producción de piezas pulidas actual y a futuro.

	TIPO DE PIEZA	UNIDADES/HORA (Actualmente)	UNIDADES/HORA (Robot)
PCP		20	40
P4S		27	100
16E		25	60

## 4.2 DISEÑOS PRELIMINARES.

Según las exigencias y parámetros que propuso la compañía VEA & CIA LTDA se realizaron tres diseños preliminares y globales acerca de cómo se podía dar solución al problema planteado, y a continuación se presentan las ideas globales para el diseño:

Se debe diseñar:

- Un mecanismo que traslade las piezas hacia el alcance del robot.
- Un mecanismo de sujeción de las piezas para que no se muevan cuando la herramienta del robot vaya a tomar la pieza, para comenzar el proceso de pulido.
- Un mecanismo que pula las piezas de una manera parcial por el lado en el que la pieza es sujeta por la herramienta del robot.

Proceso global deseado, estas son las pautas que debe realizar el mecanismo para que cumpla con los objetivos requeridos:

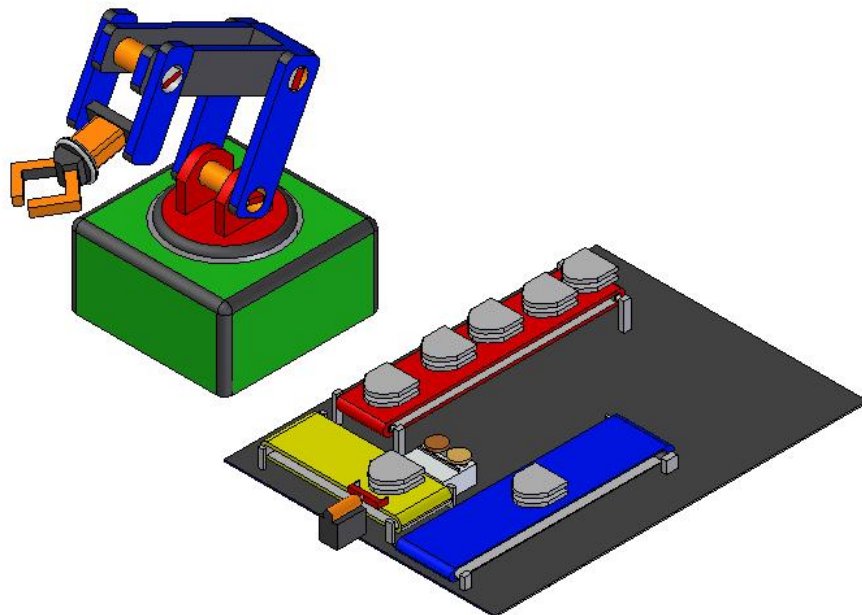
- Recoger las piezas de un depósito de entrada.
- Trasladaslas hasta una posición en donde el robot la pueda tomar.
- La pieza tiene que ser sujetaada.
- El robot toma la pieza y la pule.
- El robot después de pulir la deja otra vez en su sitio de donde la tomo.
- Se traslada hasta donde es pulido el lado faltante.
- Se traslada al final del proceso para que sea almacenada.

Diseños preliminares y alternativas: (en las tres propuestas se tomaron en los parámetros señalados anteriormente).

#### 4.2.1 Sistema propuesto # 1:

Este diseño está compuesto por tres bandas ubicadas a distintas alturas siendo la banda roja la más alta. Este sistema comprende una banda de entrada (roja), una banda de ubicación y en donde se hará el proceso de pulido parcial (amarilla) y una banda de descargue (azul). Al comienzo de la banda roja y al final de la banda azul se encuentra el sistema de carga y descarga de las piezas. En este sistema cuando las piezas llegan al final de la banda roja, quedan dispuestas para que el brazo robótico las tome. Después de haberlas tomado realiza el proceso de pulido, posteriormente deposita la pieza en la banda amarilla (mientras que la banda roja avanza para que el robot tome otra pieza). Aquí la pieza es transportada a una sección en la cual pule la pieza por el lado que la herramienta del robot tomó la pieza antes de pulirla. Después de realizar el pulido parcial de este costado, la pieza es trasladada a la banda azul la cual cumple la misión de descargarla del sistema. (ver figura 42)

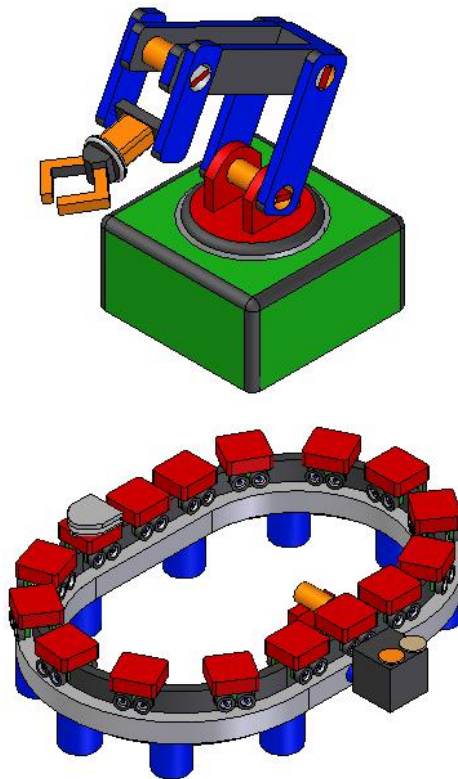
Figura 42. Modelo Alternativa #1



#### 4.2.2 Sistema propuesto # 2:

El sistema observado en la figura 43 se compone de un óvalo (gris) como estructura principal en la cual el movimiento de traslación se realiza por medio de una cadena (negro), la cual lleva o acarrea unos vehículos. Estos vehículos llevan moldes de las piezas encima de ellos (rojo). Este diseño se basa en mover moldes y así evitar que las piezas se muevan cuando el robot las vaya a tomar, también se debe tener en cuenta que el sistema será cargado por un mecanismo. Este diseño implica una solución más compleja ya que abarca la mayoría de parámetros. Y además ofrece seguridad y eficacia por que permite cargar las piezas en cantidades es decir el proceso se realizaría por ciclos. (ver figura 43).

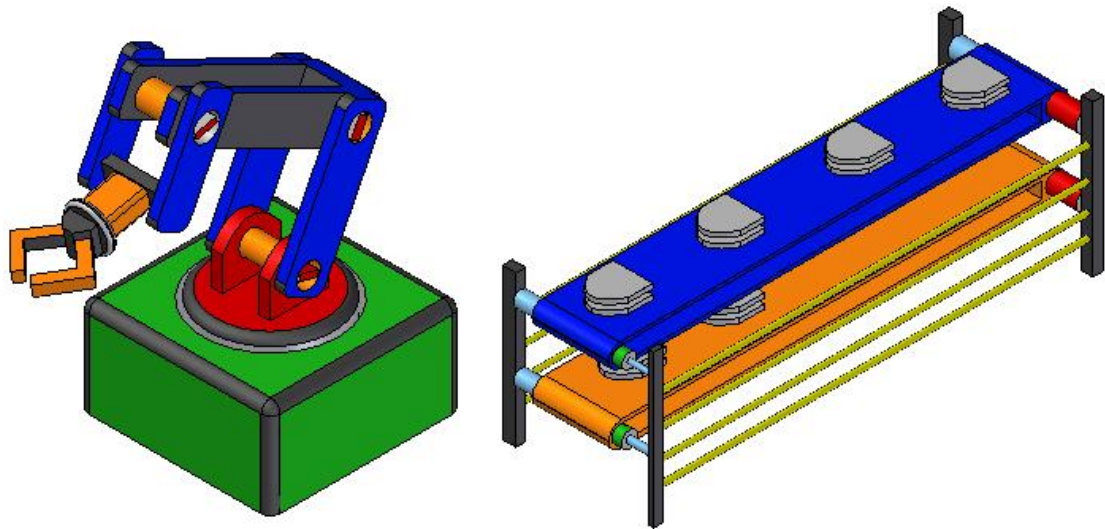
Figura 43. Modelo Alternativa #2



### 4.2.3 Sistema propuesto # 3:

Este es un sistema diseñado para ahorrar espacio ya que sólo se compone de dos bandas transportadoras una de entrada (azul) y una de salida (naranja) y están casi sobrepuestas una encima de otra. Este diseño está enfocado a aprovechar de una manera eficiente el espacio disponible que existe para soportar la maquinaria. Aquí se muestra un sistema simple de carga y descarga.

Figura 44. Modelo Alternativa #3



### 4.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN.

En la tabla 9 se muestra una calificación de calidad QFD que determinó la alternativa que demostró ser óptima para escoger de acuerdo a las exigencias del cliente y los parámetros técnicos.



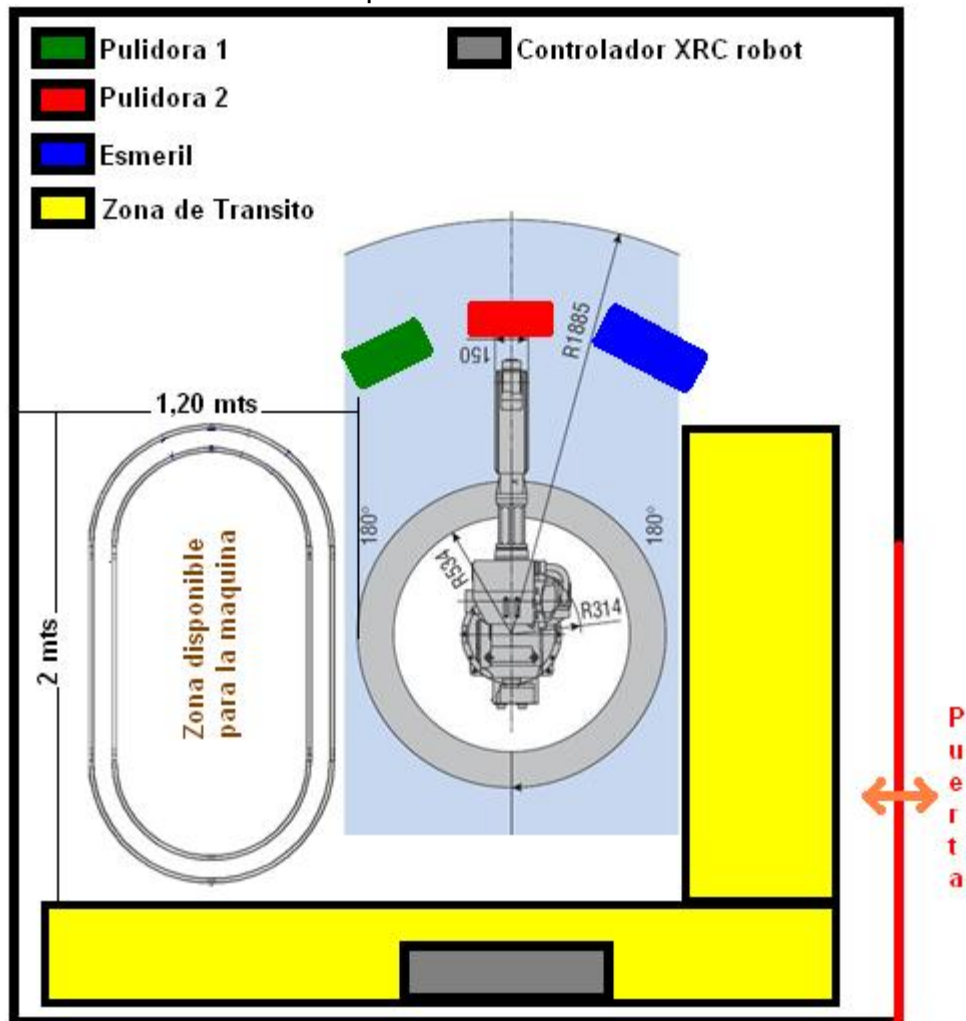
#### 4.4 SISTEMA SELECCIONADO.

Antes de explicar el sistema seleccionado, es necesario definir el espacio de trabajo con el que se cuenta en la empresa siendo este uno de los parámetros influyentes en el diseño del sistema.

##### 4.4.1 Zona de Trabajo Disponible en la Empresa.

En la figura 45 se puede observar como es la distribución del espacio en el cuarto de pulido y el espacio con el que se cuenta para posicionar la máquina alimentadora que es de 1,20 x 2 mts. También el alcance del robot es fundamental en el diseño del alimentador, ya que el robot debe llegar sin problemas a la posición donde sujeta las piezas para pulir.

Figura 45. Distribución cuarto de pulido.



**4.4.2 Sistema de transporte de piezas.** De acuerdo con los criterios de selección y los resultados obtenidos en la matriz de calidad, se optó por seleccionar el diseño del sistema propuesto #2.

Figura 46. Pista Ovalada.

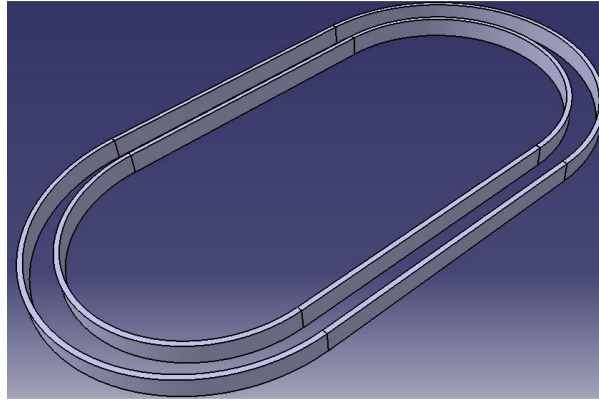
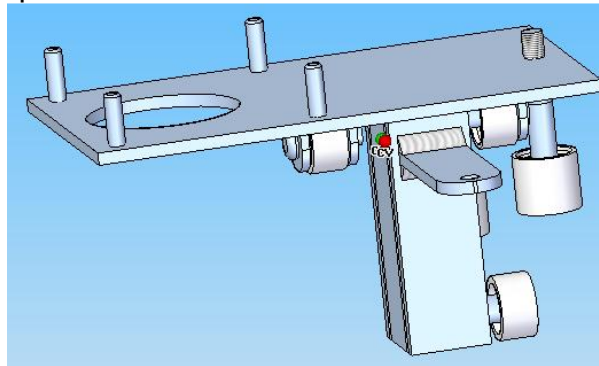


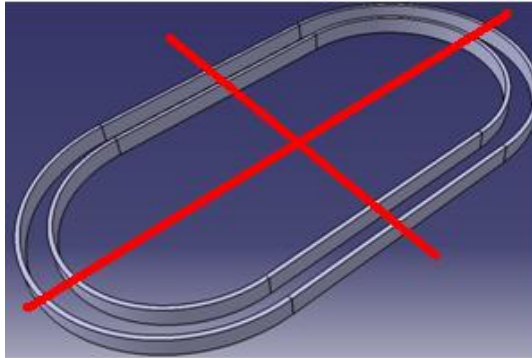
Figura 47. Vehículos pista.



Este diseño consta de una pista ovalada (ver figura 46) por la cual se desplazan unos vehículos que van encadenados entre si como en una especie de ferrocarril, cada uno de estos vehículos (ver figura 47) lleva consigo una de las piezas que requieren ser pulidas por el robot. Estos óvalos se diseñaron de acuerdo con el espacio disponible en el lugar destinados para posicionar la máquina alimentadora. Teniendo un bosquejo de las dimensiones de la pista aproximadas se pasó a definir cuantos carros deberían ir sobre la pista teniendo como parámetros:

1. Se debe obtener un número par de carros en la pista: Esto para formar una cruz entre los extremos de las curvas y la parte central de los laterales del óvalo, ver figura 48.

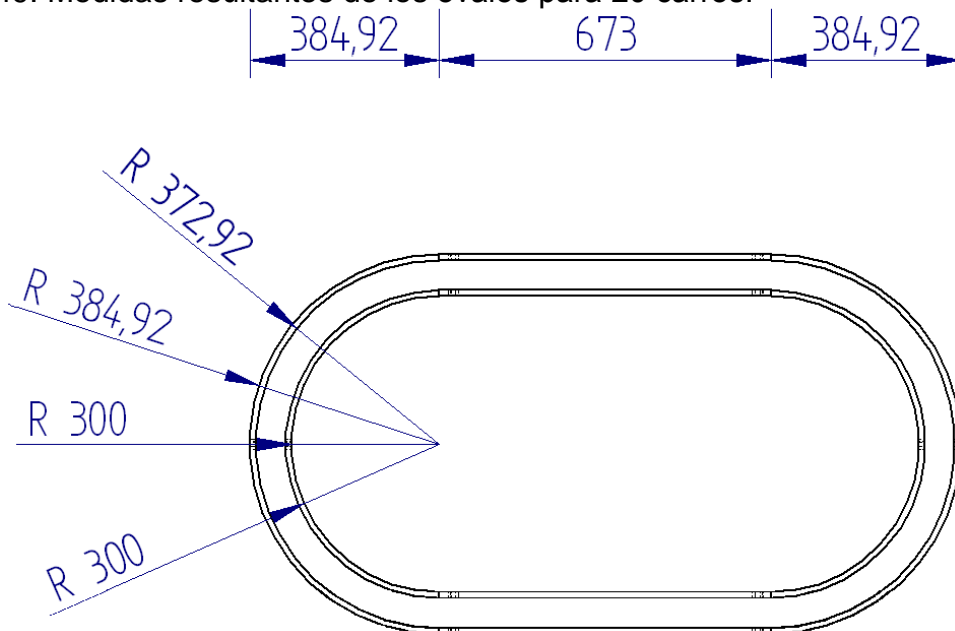
Figura 48. Cruz Formada por un número par de carros.



2. Ajustar el tamaño de los óvalos según el número de carros definitivo, sin exceder los límites máximos del espacio disponible.

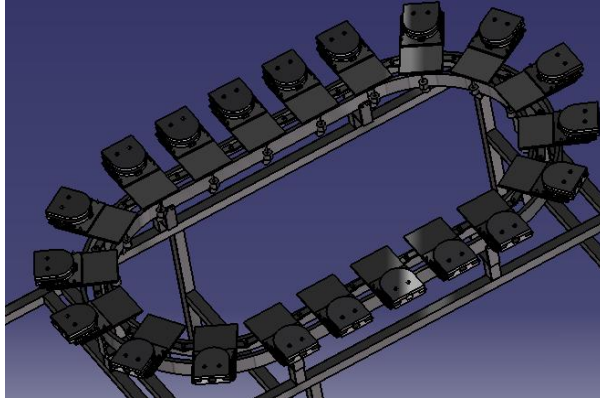
Para realizar el ensamble de la pista con los carros y definir el número total de carros, se utilizó el software CATIA V5 para simular el ensamble y esto arrojó como resultado un total de 20 carros cumpliendo con el parámetro de límites de espacio y se ajustaron las medidas de los óvalos para este total de carros, con lo cual se obtuvieron las medidas mostradas en la figura 49

Figura 49. Medidas resultantes de los óvalos para 20 carros.



Cuando el sistema completo está cargado (ver figura 50), es decir cuando cada uno de los vehículos está cargado con piezas para pulir se inicia el proceso. El movimiento de los vehículos lo realiza un cilindro neumático y como todos están unidos entre si, el movimiento se realiza en todos y cada uno de los vehículos.

Figura 50. Pista con los vehículos cargados.



Cada vez que el cilindro neumático encargado de generar el movimiento de la cadena de carros es accionado, significa que el robot ha terminado con el proceso de pulido y ha colocado de nuevo la pieza en el carro. Cuando la pieza ya es colocada de nuevo en su respectivo vehículo el cilindro es accionado y mueve todo el sistema una posición, de esta forma una nueva pieza es posicionada por un nuevo carro en el lugar de donde el robot pulidor la toma para iniciar el proceso de pulido, el ciclo se repite 20 veces hasta que complete con el lote de 20 piezas.

La pista va soportada en una estructura metálica (ver figura 50) en primera estancia para que la máquina no quede directamente el piso, y quede a una altura adecuada. Para ensamblar la pista con esta estructura se requiere de unos soportes diseñados especialmente para que ninguno de los carros choque con estos soportes.(ver figura 52)

Figura 51. Estructura metálica (Mesa).

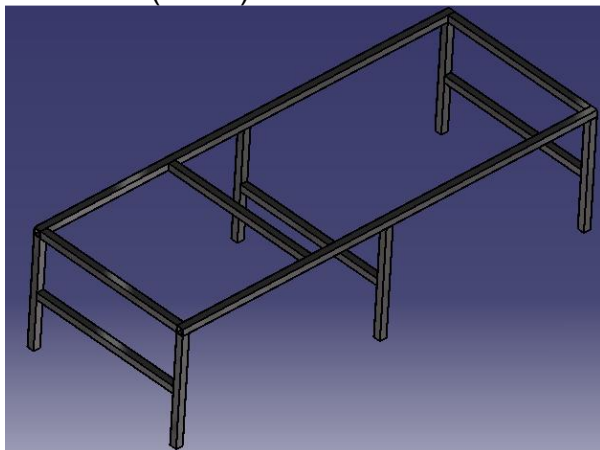


Figura 52. Soporte pista.

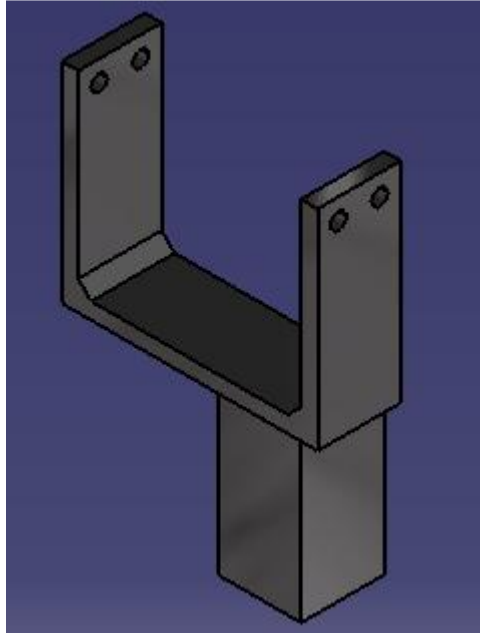
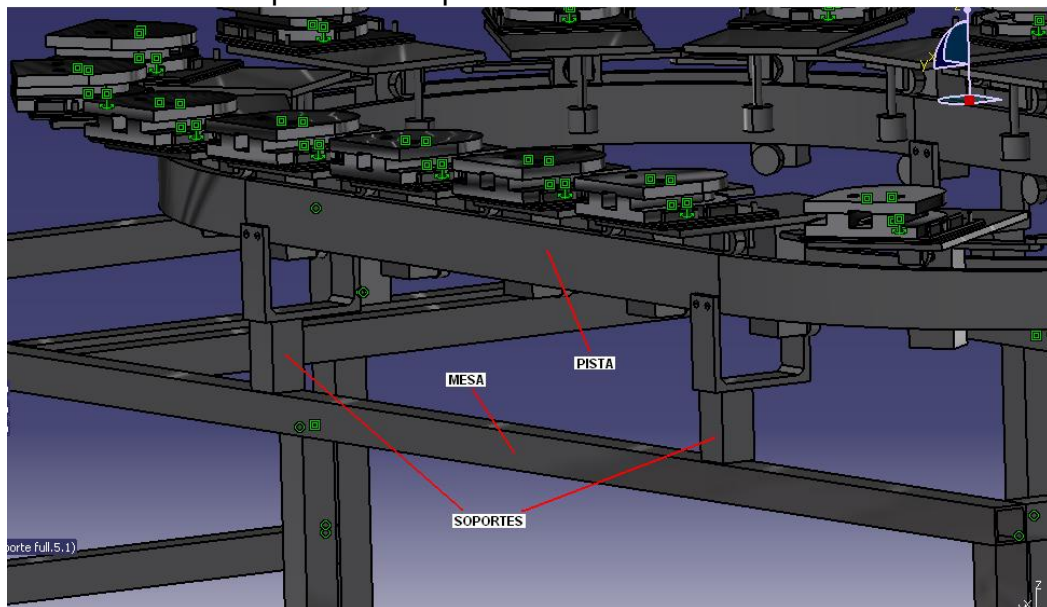


Figura 53. Unión mesa pista con soportes.



Durante el proceso de pulido que realiza el robot existe una cara de todas las piezas que no puede ser pulida, debido a que por esta cara que fue denominada la "sexta cara" es por donde la pinza del robot la sujeta. Es necesario incluir dentro del diseño una pulidora para esta cara.

**4.4.3 Sistema de pulido.** Después de seleccionar el sistema de transporte de piezas, este se complementa con un sistema de pulido que se acoplará al diseño de la máquina.

El sistema cuenta con movimiento en dos direcciones, una para el acercamiento del rodillo pulidor a la pieza y otra para realizar el barrido a la denominada sexta cara<sup>3</sup>. Cada uno de los mecanismos de movimiento cuentan con dos ejes de desplazamiento y cuatro rodamientos lineales, 2 rodamientos para cada eje, para que de esta manera el movimiento sea más suave.

Dos cilindros neumáticos son los encargados de generar el movimiento del sistema de pulido uno de carrera corta (para el acercamiento) y otro de carrera larga (para el barrido)

Figura 54. Sistema de pulido.

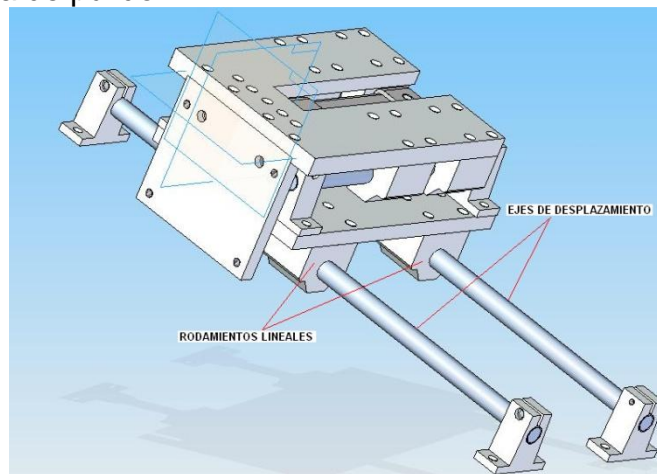
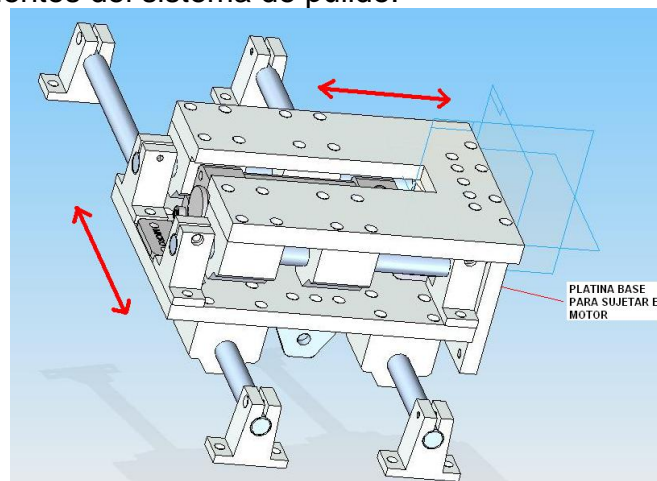


Figura 55. Movimientos del sistema de pulido.



<sup>3</sup> Para definición de la frase "sexta cara" referirse al glosario.

## 4.5 CÁLCULOS.

### 4.5.1 Diseño mecánico pista.

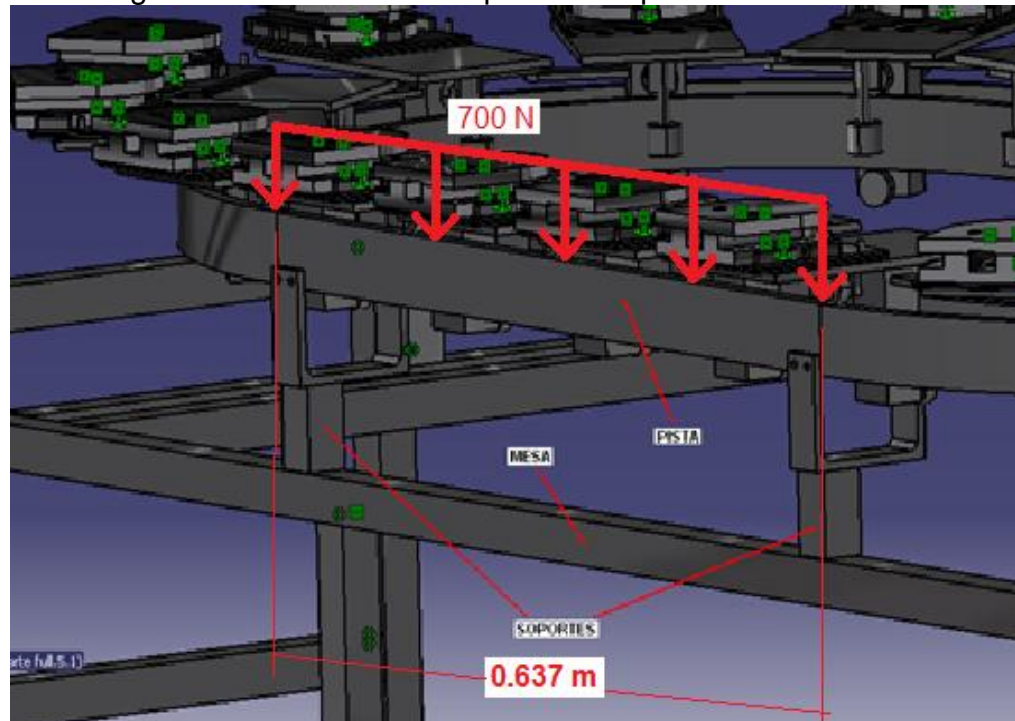
**Principio:** Deformación de una viga bajo carga transversal.

### 4.5.2 Aplicación en el diseño de la pista.

**Parámetros:**

Deflexión máxima admitida para que no sobrepase los límites necesarios y produzca un frenado de los carros que llevan las piezas.

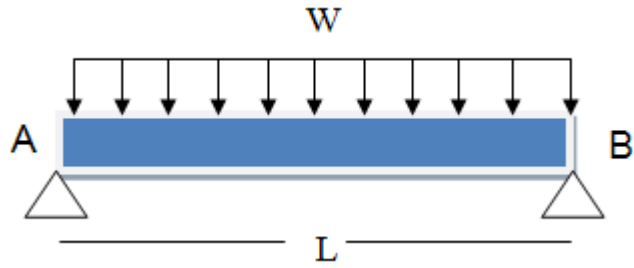
Figura 56. Cargas distribuidas sobre el perfil de la pista



La deflexión máxima admitida está definida por las especificaciones máximas del material y por razones de evitar que los vehículos se frenen o se atasquen por la deflexión de la pista.

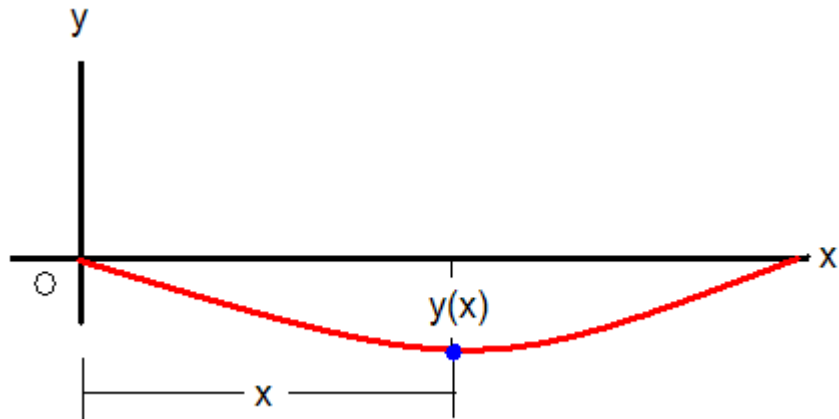
$$\begin{aligned} |y|_{max} &= 0.0005m \\ w &= 700 \text{ N}. \\ L &= 0,637 \text{ m}. \\ |y|_{max} &= 0.637/360 = 0.0017m \end{aligned}$$

Figura 57. Fuerzas transversales sobre una viga.



Ecuación de la curva elástica:

Figura 58. Curva elástica



$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI}$$

En donde el producto  $EI$  = Rigidez a la flexión.

Como la rigidez a la flexión es constante, se multiplican ambos miembros de la ecuación por  $EI$  e integramos en  $x$ :

$$EI \frac{dy}{dx} = \int_0^x M(x) dx + c1 \quad (1)$$

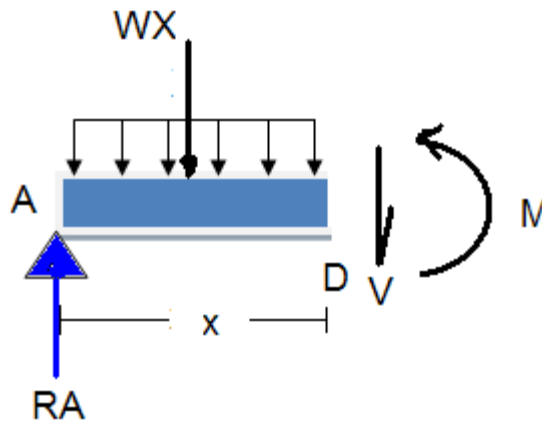
Integrando los dos miembros de la ecuación en  $x$

$$EI y = \int_0^x \left[ \int_0^x M(x) dx + c1 \right] dx + c2$$

$$EIy = \int_0^x dx \int_0^x M(x)dx + c_1x + c_2$$

Se toma una sección A-D (diagrama de cuerpo libre):

Figura 59. Diagrama de cuerpo libre



$$M = \frac{1}{2}wLx - \frac{1}{2}wx^2$$

$$M = \frac{1}{2}(700 \text{ N})(0.637)x - \frac{1}{2}(700 \text{ N})(0.637)^2$$

Se sustituye M en la ecuación # 1 y se multiplican ambos miembros de la ecuación por EI

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI} = -\frac{1}{2}(700 \text{ N})x^2 + \frac{1}{2}(700 \text{ N})(0.637)x$$

$$\iint_0^x EI \frac{d^2y}{dx^2} = -\iint_0^x \frac{1}{2}(700 \text{ N})x^2 + \frac{1}{2}(700 \text{ N})(0.637)x$$

Resolviendo la primera integral resulta la ecuación 2:

$$EI \frac{dy}{dx} = -\frac{1}{6}(700 \text{ N})x^3 + \frac{1}{4}(700 \text{ N})x^2 + c$$

La segunda integral queda la ecuación 3:

$$EI \frac{dy}{dx} = -\frac{1}{24}(700 N)x^4 + \frac{1}{12}(700 N)(0.637)x^3 + c_1x + c_2$$

Dado que  $y=0$  en ambos extremos de la viga, se hace  $x=0$  y  $y=0$  en la ecuación (3) y se obtiene  $c_2=0$ . Entonces si  $x=L$  y  $y=0$  la ecuación (3) queda

$$0 = -\frac{1}{24}wL^4 + \frac{1}{12}wL^3 + c_1L$$

$$c_1 = -\frac{1}{24}(700 N)(0.637)^3$$

Sustituyendo los valores de  $C_1$  y  $C_2$  en la ecuación (3), se obtiene la ecuación de la curva elástica para cualquier valor de  $x$

$$EIy = -\frac{1}{24}wx^4 + \frac{1}{24}wLx^3 - \frac{1}{24}wL^3x$$

O

$$y = \frac{w}{24EI}(-x^4 + 2Lx^3 - L^3x)$$

$$y = \frac{w}{24EI}(-x^4 + 2(700 N)x^3 - (700 N)^3x)$$

Sustituyendo el valor de  $C_1$  en la ecuación (2), se verifica que la pendiente de la viga es 0 para  $x = L/2$  y que la curva elástica tiene un mínimo punto en el centro de la misma, reemplazando el valor de  $x$ , se obtiene:

$$y_{max} = \frac{(700 N)}{24EI} \left( -\frac{(0.637)^4}{16} + 2L \frac{(0.637)^3}{8} - (0.637)^3 \frac{(0.637)}{2} \right)$$

$$y_{max} = -\frac{5(700 N)(0.637)^3}{384EI}$$

La deflexión máxima o más exactamente el máximo valor absoluto de la deflexión es:

$$|y|_{max} = \frac{5(700 N)(0.637)^3}{384EI}$$

**Análisis y desarrollo:** Para evitar deflexiones inesperadas que puedan ser producidas por recargamientos sobre la pista ya sea por el robot o por otro factor externo entonces:

$$|y|_{max} = 0.0005m$$

$$\text{Como } |y|_{max} = \frac{5(700 N)(0.637)^3}{384EI}$$

$$I = \frac{5wL^3}{384Ey}$$

$$I = \frac{5(700)(0.673)^3}{384(207 * 10^9)(0.0005)} = 2684 * 10^{-8} m^4$$

El momento de inercia de un rectángulo es:

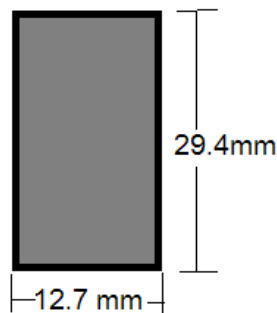
$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Para el diseño es necesario que  $b = 12,7 mm$  o  $1/2$  pulg, ya que es medida necesaria para un correcto funcionamiento de los bujes que soportan los carros sobre la pista. Dada esta condición para calcular la altura mínima necesaria del perfil rectangular es:

$$h^3 = \frac{12I}{b}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{12I}{b}} = \sqrt[3]{\frac{12(2864 * 10^{-8})}{0.0127}} = 0.0294 m = 29.4 mm$$

Figura 60. Dimensiones del perfil de la pista resultante.



Dada la necesidad de un perfil más alto para la sujeción de cada riel por medio de tornillos, además del espacio necesario para el funcionamiento de los bujes de los rodamientos y guías laterales para los carros. Se necesita un perfil de 12,7 mm de base por 50,8 mm de altura.

Analizando este tipo de perfil, por el mismo método anterior, la deflexión máxima en el centro del tramo recto esta dado por:

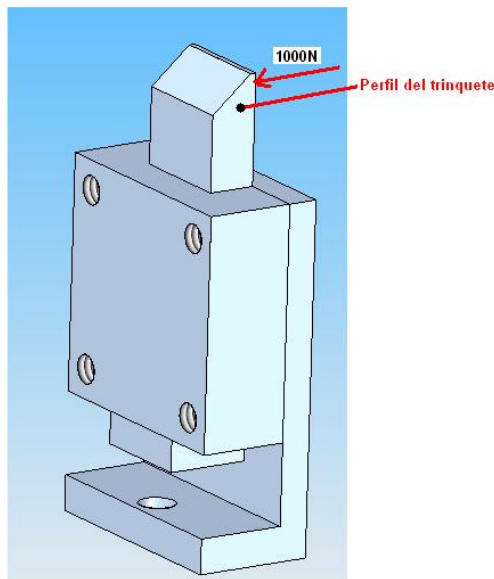
$$|y|_{max} = \frac{5wL^3}{384EI}$$

$$|y|_{max} = \frac{5(700)(0.673)^3}{384(207 * 10^9) \left( \frac{(0.0127) * (0.0508)^3}{12} \right)}$$

$$|y|_{max} = 0.00013 \text{ m} = 0.13 \text{ mm}$$

**4.5.2.1 Diseño del mecanismo para el movimiento de la pista.** En donde  $L = 0.065 \text{ m}$ ,  $P = 1000 \text{ N}$ ,  $E_{acero} = 207 \text{ Gpa}$

Figura 61. Perfil del mecanismo encargado del movimiento de la pista.



La deflexión máxima admitida es  $y_A = 0.0005 \text{ m}$ , para de esta manera obtener un perfil grueso que resista el peso total de los carros de la pista, entonces:

$$y_A = \frac{PL^3}{3EI}$$

Despejando  $I$  que hace referencia al momento de inercia de la ecuación anterior:

$$I = \frac{PL^3}{3Ey_A}$$

Reemplazando los valores iniciales del problema

$$I = \frac{(1000 \text{ N})(0.065 \text{ m})^3}{(3)(207 \text{ Gpa})(0.0005 \text{ m})}$$

$$I = 8.824 * 10^{-10} \text{ m}^4$$

Dado que la base requerida de la base del rectángulo es de 0.018m

Y tomando en cuenta la ecuación del momento de inercia de un perfil rectangular que es:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Despejando la variable necesaria para complementar la ecuación y así definir la altura H del perfil:

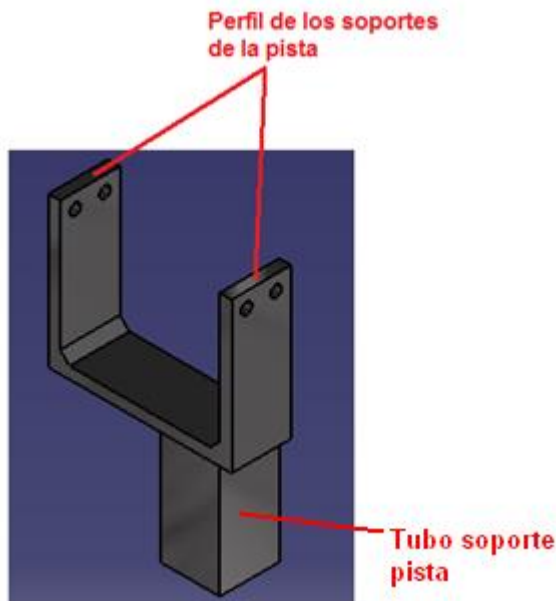
$$h^3 = \frac{12I}{b}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{(12)(8.824 * 10^{-10} \text{ m}^4)}{0.018 \text{ m}}}$$

$$h = 0.00838 \text{ m}$$

#### 4.5.3 Cálculos del perfil de los soportes de la pista.

Figura 62. Perfil de los soportes.



Como parte de los cálculos de los soportes de la pista es necesario calcular primero el grosor del tubo que soporta la pista.

Con un espesor de:

$$e = 1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m}$$

Y un modulo de Young de:

$$E_{\text{tubo}} = 200 \text{ Gpa}$$

Calculamos:

$$A = b_1 h_1 - b_2 h_2$$

$$A = 0.03175^2 - 0.02975^2$$

$$A = 1.23 * 10^{-4} m^2$$

$$I = \frac{(b_1 h_1^3) - (b_2 h_2^3)}{12}$$

$$I = \frac{0.03175^4 - 0.02975^4}{12}$$

$$I = 1.9405 * 10^{-8} m^4$$

$$K^2 = \frac{I}{A} = \frac{1.9405 * 10^{-8} m^4}{1.2300 * 10^{-4} m^2}$$

$$K^2 = 1.5776 * 10^{-4} m^2$$

$$K = \sqrt{1.5776 * 10^{-4} m^2}$$

$$K = 0.0126 m$$

Esbeltez límite para elementos cortos

$$\left(\frac{l}{K}\right)_2 = 0.282 \left(\frac{AE}{P_{cr}}\right)^{1/2}$$

$$\left(\frac{l}{K}\right)_2 = 0.282 \left(\frac{(1.2300 * 10^{-4} m^2)(200 GPa)}{2000 N}\right)^{1/2}$$

$$\left(\frac{l}{K}\right)_2 = 31.2753$$

$$l = 31.2753 K = 31.2753(0.0126 m)$$

$$l = 0.3928 m$$

$$s_c = \frac{P}{A} = \frac{2000 N}{1.2300 * 10^{-4} m^2}$$

$$s_c = 16.26 MPa$$

#### 4.5.4 Diseño mecánico de tornillos, uniones y soportes de la pista.

##### Principio de cálculo de uniones atornilladas:

Para tornillos ordinarios el esfuerzo cortante admisible es:

$$\tau_{adm} = \beta * \sigma_y$$

En donde  $\beta = 0,65$  para tornillos ordinarios

$\sigma_y = 235 \text{ MPa}$  para tornillos de acero

Dado estos datos entonces:

$$\tau_{adm} = 0,65 * 235 * 10^6$$

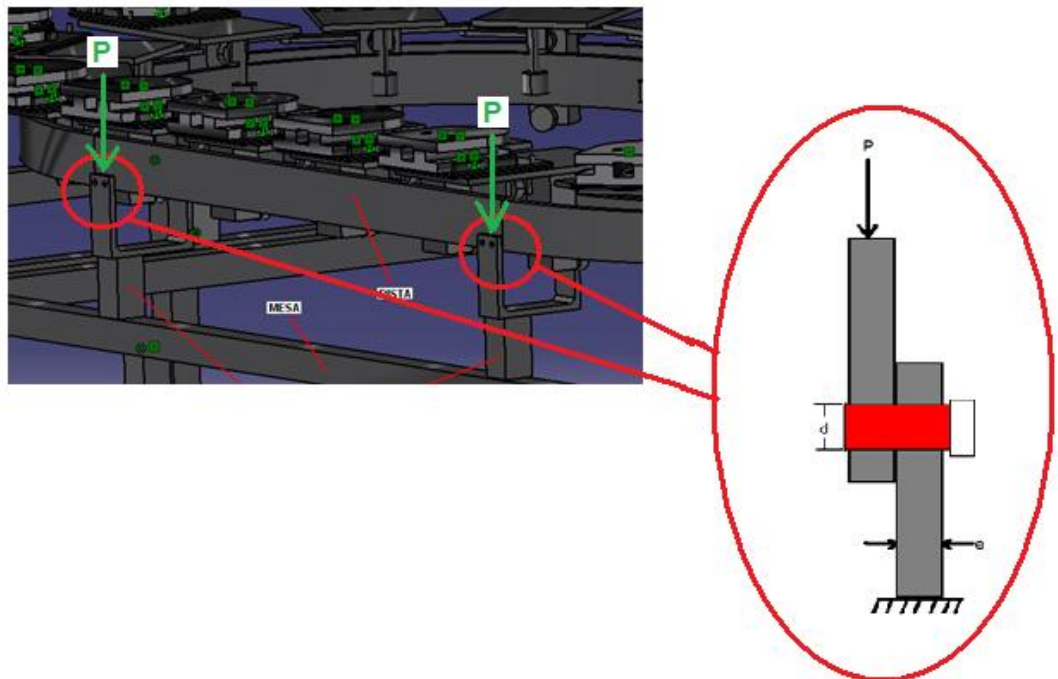
$$\tau_{adm} = 153 \text{ MPa}$$

Con estos datos se encuentra el factor de seguridad:

$$N = \frac{\sigma_y}{\tau_{adm}} = \frac{235 \text{ MPa}}{153 \text{ MPa}} = 1,53$$

Para calcular el diámetro de los tornillos necesario para soportar el peso de la pista y de los carros, la formula está definida por:

Figura 63. Fuerzas ejercidas sobre la unión pista-soportes



$$P = n_t \frac{\pi}{4} d^2 (\tau_{adm}) \quad (1)$$

En donde:

$$P = Fuerza = 1000N$$

$$n_t = \text{Número de Tornillos} = 2$$

$$e = \text{espesor de la platina mas pequeño} = 1/4 \text{ pulg}$$

$$d = \text{diámetro de los tornillos}$$

Para hallar en diámetro de los tornillos, la ecuación (1) quedaría:

$$d = \sqrt[2]{\frac{4P}{\pi * n_t * \tau_{adm}}}$$

$$d = \sqrt[2]{\frac{4(1000)}{\pi * 2 * 153 * 10^6}} = 0,00204m = 2,04mm$$

Análisis de los esfuerzos a los que están expuestos los tornillos:

Esfuerzo cortante sobre los tornillos:

$$\tau = \frac{P}{n_t A_t}$$

$$\tau = \frac{1000N}{2 * \frac{\pi}{4} * 0,00204m} = 312,069 \text{ KPa}$$

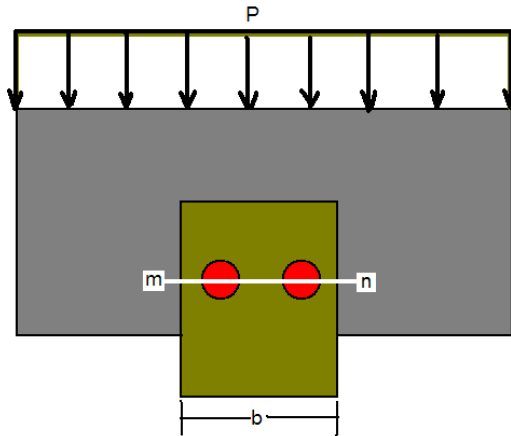
Tensión de aplastamiento que ejercen las paredes de los agujeros sobre los tornillos:

$$\sigma_c = \frac{P}{n_t e d}$$

$$\sigma_c = \frac{1000 \text{ N}}{2 * 0,00635 \text{ m} * 0,00204 \text{ m}} = 38,598 \text{ KPa}$$

Calculo del esfuerzo normal aplicado sobre el área de los tornillos:

Figura 64. Vista lateral unión pista-soporte



Área de la sección m-n:

$$A_{m-n} = (b - n_t d) e$$

$$A_{m-n} = (0,0253 - 2 * 0,00204) * 0,00637$$

$$A_{m-n} = 0,000135 \text{ m}^2$$

Esfuerzo normal aplicado en m-n:

$$\sigma_y = \frac{P}{A_{m-n}} = \frac{1000 \text{ N}}{0,000135 \text{ m}^2}$$

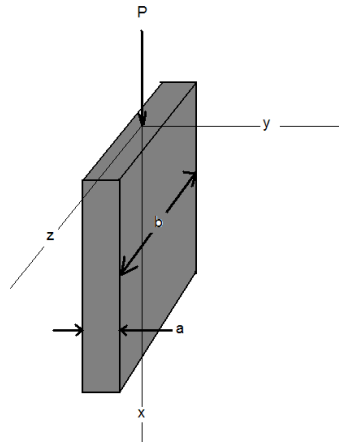
$$\sigma_y = 7,38 \text{ KPa}$$

Por motivos de fabricación, ubicación, estética, economía y facilidad de compra se han escogido tornillos de ¼ de pulgada.

#### 4.5.5 Diseño Mecánico estructura base (mesa) de la máquina.

Columnas soporte mesa, cálculo del perfil mínimo necesario para soportar la carga.

Figura 65. Perfil pista.



$$P = 2000 \text{ N} = \text{carga ejercida}$$

$$L = 0,30 \text{ m longitud máxima de la columna}$$

$$E_{\text{acero}} = 207 \text{ GPa}$$

Pandeo en el plano xy:

Longitud efectiva con respecto a este plano es:

$$L_e = 0,7L$$

El radio de giro de la sección transversal se obtiene:

$$I_x = \frac{1}{12}ba^3 ; A = ab$$

Y como  $I_z = Ar_z^2$

$$r_z^2 = \frac{I_z}{A} = \frac{\frac{1}{2}ba^3}{ab} = \frac{a^2}{12}$$

$$r_z = \frac{a}{\sqrt{12}}$$

La relación efectiva de esbeltez de la columna con respecto al pandeo en el plano xy es y resulta la ecuación 1:

$$\frac{L_e}{R_z} = \frac{0,7L}{a/\sqrt{12}}$$

Pandeo en el plano xz:

Longitud efectiva de la columna con respecto al pandeo en este plano es  $L_e = 2L$  y

su radio de giro es  $r_y = \frac{b}{\sqrt{12}}$ , entonces la ecuación 2 es:

$$\frac{L_e}{r_y} = \frac{2L}{b/\sqrt{12}}$$

Diseño más eficiente:

Es aquel para el cual los esfuerzos críticos correspondientes a los dos posibles modos de pandeo son iguales

Se obtiene que los datos obtenidos para la relación efectiva de esbeltez son iguales, entonces:

$$\frac{0,7L}{a/\sqrt{12}} = \frac{2L}{b/\sqrt{12}}$$

Despejando a y b, la relación quedaría:

$$\frac{a}{b} = \frac{0,7}{2} = 0,35$$

Aplicando la teoría a los datos del proyecto:

Se toma un factor de seguridad  $N = 2$ , ya es para una estructura de soporte.

La carga crítica es:

$$P_{cr} = NP = 2 * 2000 N = 4000 N$$

Según la relación

Si  $a = 0,35$

$$A = ab$$

$$A = 0,35b^2$$

$\sigma_{cr} = \text{Esfuerzo crítico}$

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{4000 N}{0,35 b^2}$$

Como  $L = 0,30 m$ , reemplazando en la ecuación (2):

$$C = \frac{0,173}{b}$$

Sustituyendo  $E, \frac{L_e}{r_y}$ , y  $\sigma_{cr}$  en :

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_e}{r}\right)^2}$$

$$\frac{4000 N}{0,35 b^2} = \frac{\pi^2 * 207 * 10^9}{\left(\frac{0,173}{b}\right)^2}$$

Despejando b, entonces:

$$b = 0,0047m = 4,7 mm$$

$$\text{Si } a = 0,35 b$$

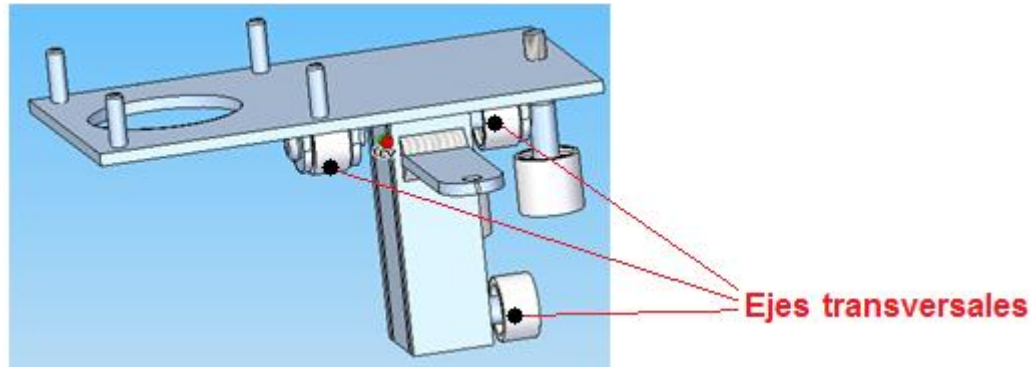
$$a = 1,645 mm$$

Como a hace referencia al espesor mínimo, se utilizara un perfil de tubo cuadrado de 1 mm de espesor, por facilidad de construcción y ubicación, dando como resultado una satisfacción según los parámetros del factor de seguridad y la carga total ejercida sobre estas.

#### 4.5.6 Cálculos carro.

##### 4.5.6.1 Cálculo de reacciones en los ejes transversales.

Figura 66. Ejes transversales carro.



$$\uparrow + \sum Fy = 0$$

$$0 = -11.7720N + By - 15.8040N + Ay$$

$$+ \sum M_A = 0$$

$$0 = (0.1291m)(-11.7720N) + (0.0674m)By + (0.0435m)(-15.8040N)$$

$$By = \frac{(0.1291m)(11.7720N) + (0.0435m)(15.8040N)}{0.0674m}$$

$$By = 32.7480N$$

$$Ay = 11.7020N + 15.8040N - 32.7480N$$

$$Ay = -5.1720N = 5.7120N$$

##### 4.5.6.2 cálculos ejes carro.

Cálculo por cortante simple.

Se asume un factor de seguridad de 1.5, esto debido a que hay fuerzas que actúan sobre este eje que se desconocen y que la carga es variable.

$$\tau = \frac{0.5S_y}{n} = \frac{0.5(206.7MPa)}{1.5}$$
$$\tau = 68.9MPa$$

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\tau} = \frac{32.748N}{68.9MPa}$$

$$A = 4.753 * 10^{-7}m$$

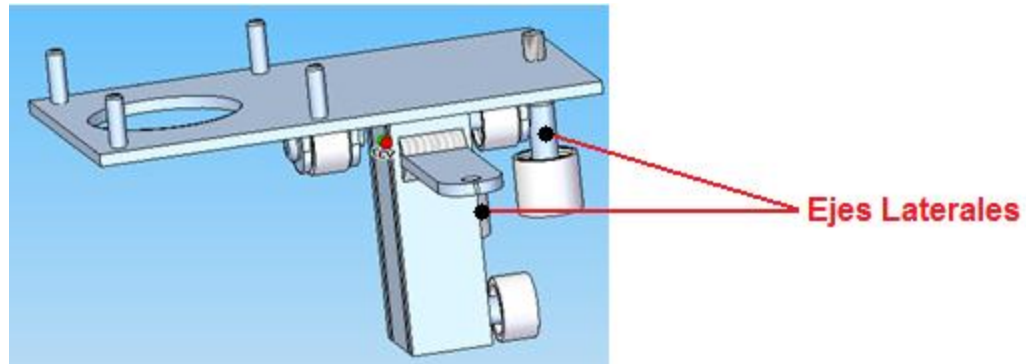
$$A = \frac{P}{4}d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4A}{p}} = \sqrt{\frac{4(4.753 * 10^{-7}m)}{p}}$$

$$d = 7.779 * 10^{-4}m = 0.7779mm$$

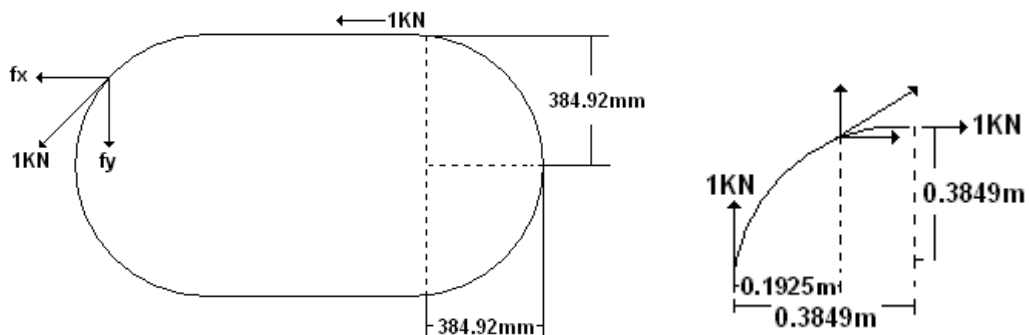
#### 4.5.6.3 Cálculo ejes laterales.

Figura 67. Ejes laterales carro.



Cuando los carros se encuentran en la curva como se muestra en la figura 68, es donde se ejerce la fuerza mas critica sobre los ejes

Figura 68. Fuerza más significativa sobre los ejes en la pista.



$$F_x = F_y = 1000N \text{sen}(45^\circ)$$

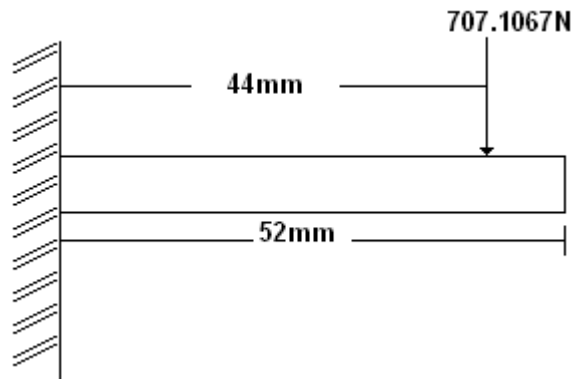
$$F_x = F_y = 707.1067N$$

$$n = \frac{S_y}{s_m}$$

$$s_m = \frac{S_y}{n} = \frac{206.7MPa}{1.5}$$

$$s_m = 137.8MPa$$

Figura 69. Fuerza aplicada sobre el eje



$$M = xF = (0.044m)(707.1067N)$$

$$M = 31.1127Nm$$

$$s_m = \frac{Mc}{I}$$

$$s_m = \frac{Mr}{\left(\frac{p}{4}\right)r^4} = \frac{M}{\left(\frac{p}{4}\right)r^3}$$

$$r^3 = \frac{M}{\left(\frac{p}{4}\right)s_m} = \frac{31.1127Nm}{\left(\frac{p}{4}\right)(137.8MPa)}$$

$$r^3 = 2.8747 \times 10^{-7}m^3$$

$$r = \sqrt[3]{2.8747 \times 10^{-7}m^3} = 0.0066m$$

$$d = 0.0132m = 13.2mm$$

Ahora se calcula el eje por deflexión, asumiéndolo como una viga en voladizo.

Ecuación 1:

$$M = Px$$

Ecuación de la curva elástica. Ecuación 2:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI} \quad (2)$$

Sustituyendo (1) en (2) y despejando M, tenemos

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -Px$$

Integrando se obtiene la ecuación de la pendiente de la viga en cualquier punto.

$$EI \frac{dy}{dx} = -\frac{1}{2} Px^2 + C_1$$

Como se tiene un extremo fijo,  $C_1 = \frac{1}{2} Pl^2$  donde l es la longitud total de la viga.

Ecuación 3:

$$EI \frac{dy}{dx} = -\frac{1}{2} Px^2 + \frac{1}{2} Pl^2$$

Al integrar la ecuación (3) se obtiene la deflexión de la viga en cualquier punto.

$$EI y = -\frac{1}{6} Px^3 + \frac{1}{2} Pl^2 x + C_2$$

Por el extremo de la viga que se encuentra empotrado, tenemos que  $x=l$  y  $y = 0$ ,

$$\text{entonces } C_2 = -\frac{1}{3} Pl^3$$

$$EI y = -\frac{1}{6} Px^3 + \frac{1}{2} Pl^2 x - \frac{1}{3} Pl^3$$

Como la viga se encuentra empotrada al lado izquierdo, resulta

$$y = \frac{P}{6EI} (x^3 - 3l^2 x + 2l^3) \quad (4) \text{ Ecuación de deflexión de la viga en cualquier punto.}$$

Ahora suponiendo que la deflexión en el extremo al aire sea la mínima posible, tenemos  $l = 0.044m$ ,  $y = 0.0001m$  y  $x = 0.052m$ .

$$0.0001m = \frac{707.1067N}{6(207GPa)} \left[ (0.052m)^3 - 3(0.044m)^2(0.052m) + 2(0.044m)^3 \right]$$

$$I = \frac{707.1067N(-8.96 \times 10^{-6})m^3}{6(207GPa)0.0001m}$$

$$I = 5.1012 \times 10^{-11}$$

$$I = \frac{p}{4} r^4$$

$$r = \sqrt[4]{\frac{4I}{p}} = \sqrt[4]{\frac{4(5.1012 \times 10^{-11})}{p}}$$

$$r = 0.0028m$$

$$d = 0.0056m = 5.6mm$$

**4.5.6.4 Cálculo rodamientos de los carros:** los cálculos realizados para determinar que tipo de rodamiento utilizar en los carros se puede ver de forma detallada en el anexo G.

#### 4.5.7 Soldaduras Mesa.

Método: Código de las soldaduras

Dado que las unidades de las tablas en las que se basa este método están en el sistema ingles, las unidades en esta parte se trabajaran de esta manera.

Parámetros:

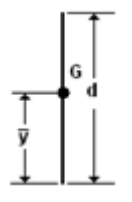

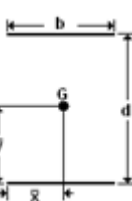
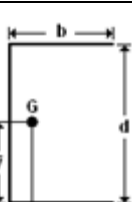
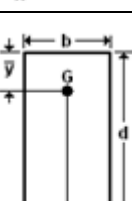
- Patrón: Filete completo de 1,25 pulgadas de longitud a ambos lados de la unión.
- Electrodo: E6011
- Tipo: Soldadura a filete común.
- Longitud:  $L = 1,25$  pulgadas a cada lado.

La variable de diseño estará dada por el tamaño del cateto o de la garganta "h" y la cifra de merito está dada por el negativo del volumen del material:

$$cdm = -h^2 \frac{L}{2} = -0,625 h^2$$

De la primera alternativa de la tabla 10

Tabla 10. Propiedades a la flexión de soldaduras de filete

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento del área unitaria
	$A = 0.707hd$	$x = 0$ $y = d/2$	$I_u = d^3/12$
	$A = 1.414hd$	$x = b/2$ $y = d/2$	$I_u = d^3/6$
	$A = 1.414hb$	$x = b/2$ $y = d/2$	$I_u = bd^2/2$
	$A = 0.707h(2b+d)$	$x = b^2/2b+d$ $y = d/2$	$I_u = d^2(6b+d)/12$
	$A = 0.707(b+2d)$	$x = b/2$ $y = d^2/b+2d$	$I_u = (2d^3/3)-2d^2y+(b+2d)y^2$

Fuente: <http://www.scribd.com/doc/6337665/Soldadura-Por-Arco-Con-Aporte>

$$A = 2 * 0,707 * 1,25h = 1,76 h \text{ pulg}^2$$

$$I_u = \frac{d^3}{6} = \frac{1,25^3}{6} = 0,208 \text{ pulg}^3$$

$$I = 0,707 I_u h = 0,707 * 0,208 h = 0,147 h$$

De la carga equivalente, el cortante primario está determinado por:

$$\tau' = \frac{F}{A} = \frac{21,26 \text{ psi}}{1,76 h} = \frac{12,07 \text{ psi}}{h}$$

El cortante secundario, esta dado por:

$$\tau'' = \frac{Mc}{I} = \frac{17,32 * 21,26 * 0,625}{0,147 h} = \frac{1565,57 \text{ psi}}{h}$$

El esfuerzo cortante equivalente está dado por la suma del cortante primario y el secundario, dando como resultado:

$$\tau_e = \tau' + \tau'' = \frac{12,07 \text{ psi}}{h} + \frac{1565,57 \text{ psi}}{h} = \frac{1577,64 \text{ psi}}{h}$$

Tabla 11. Códigos de soldadura

Numero de electrodo AWS	Resistencia de tensión (MPa)	Limite elástico kpsi (MPa)	Elongación (%)
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

\* Sistema de numeración del código de especificaciones de la American Welding Society (AWS) para electrodos. En este sistema se usa como prefijo la letra E, en un sistema de numeración de cuatro o cinco dígitos en el cual los primeros dos o tres números designan la resistencia mínima a la tensión. El último incluye variables en la técnica de soldado, como la fuente de corriente. el penúltimo dígito indica la posición del soldado, como por ejemplo, plano, vertical o sobre la cabeza. el conjunto completo de especificaciones se puede obtener solicitándolo a la AWS.

Fuente: [idem](#)

De la tabla 11 para el tipo de electrodo E60xx:

$$\tau_{perm} = 18 \text{ Kpsi}$$

$$\tau = \tau_{perm}$$

$$\frac{1577,64 \text{ psi}}{h} = 18000 \text{ psi}$$

$$h = \frac{1577,64 \text{ psi}}{18000 \text{ psi}} = 0,0876 \text{ pulg} = 2,22 \text{ mm}$$

Tabla 12. Cargas constantes permisibles y tamaños mínimos de soldadura de filete

I Cargas constantes permisibles y tamaños mínimos de soldadura de filete

Programa A: carga permisible para varios tamaños de soldadura de filete								Programa B: tamaño mínimo de soldadura de filete, $h$	
Nivel de resistencia del metal de aporte (EXX)									
	60*	70*	80	90*	100	110*	120		
Esfuerzo cortante permisible en la garganta, ksi (1 000 psi) de soldadura de filete o soldadura de muesca de penetración parcial									
$\tau =$	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0	33.0	36.0		
Fuerza unitaria permisible en soldadura de filete, kip/pulg lineal									
$^1 f =$	12.73 $h$	14.85 $h$	16.97 $h$	19.09 $h$	21.21 $h$	23.33 $h$	25.45 $h$		
Tamaño del cateto $h$ , pulg	Fuerza unitaria permisible para varios tamaños de soldaduras de filete kip/pulg lineal								
1	12.73	14.85	16.97	19.09	21.21	23.33	25.45		
7/8	11.14	12.99	14.85	16.70	18.57	20.41	22.27		
3/4	9.55	11.14	12.73	14.32	15.92	17.50	19.09		
5/8	7.96	9.28	10.61	11.93	13.27	14.58	15.91		
1/2	6.37	7.42	8.48	9.54	10.61	11.67	12.73		
7/16	5.57	6.50	7.42	8.35	9.28	10.21	11.14		
3/8	4.77	5.57	6.36	7.16	7.95	8.75	9.54		
5/16	3.98	4.64	5.30	5.97	6.63	7.29	7.95		
1/4	3.18	3.71	4.24	4.77	5.30	5.83	6.36		
3/16	2.39	2.78	3.18	3.58	3.98	4.38	4.77		
1/8	1.59	1.86	2.12	2.39	2.65	2.92	3.18		
1/16	0.795	0.930	1.06	1.19	1.33	1.46	1.59		

Espesor del material de la parte unida más gruesa, pulg		Tamaño de la soldadura, pulg
*Hasta 1/4 inclusive		1/8
Mayor que 1/4	A 1/2	3/16
Mayor que 1/2	A 3/4	1/4
<sup>†</sup> Mayor que 3/4	A 1 1/2	5/16
Mayor que 1 1/2	A 2 1/4	3/8
Mayor que 2 1/4	A 6	1/2
Mayor que 6		5/8

No se debe exceder el espesor de la parte más delgada.  
<sup>†</sup> Para tamaño mínimo del filete de soldadura, el programa no va más allá de soldadura de filete de 5/16 pulg por cada 3/4 pulg de material.  
 \* El tamaño mínimo para aplicaciones en puentes no va más allá de 3/16 pulg.

\* Las soldaduras de filete en realidad se ensayaron por el AWS-ANSI Task Committee.  
<sup>†</sup>  $f = 0.707h \tau_{perm}$

Fuente: Adaptado de Omar W. Blodgett (ed.), Stress Allowables Weldment Design, D412, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, mayo, 1991, p. 3.

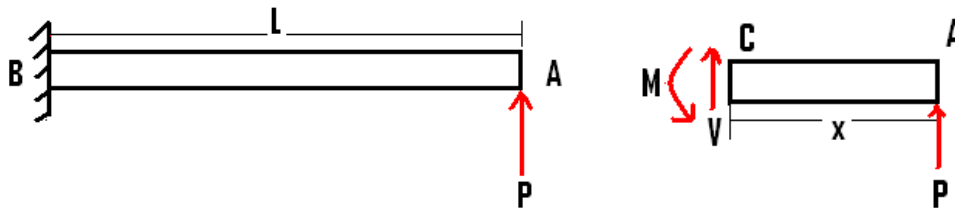
Fuente: [idem](#)

Según la tabla 12, el tamaño del cateto  $h$  admitido más cercano es  $\frac{1}{8}$  pulg = 3,175 mm.

**4.5.8 Diseño mecánico prensa pulidora.** El principio fundamental de este análisis se basa en la deflexión de vigas, el cual se basa en la ecuación de la curva elástica, aplicado en el análisis ingenieril para escoger el perfil de la pista.

En donde  $L = 0.20$  m,  $P = 600$  N,  $E_{acero} = 207$  Gpa

Figura 70. Perfil prensa de la pulidora.



Basándose en el diagrama de cuerpo libre de la porción AC de la viga, en donde C esta a una distancia  $x$  del extremo A, entonces se tiene la ecuación 1:

$$M = -Px$$

Si se sustituye  $M$  en la ecuación de la curva elástica

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI}$$

Y multiplicando por  $EI$ , se obtiene integrando en  $x$ . Ecuación 2:

$$EI \frac{dy}{dx} = \frac{1}{2} Px^2 + C_1$$

Se observa ahora que en el extremo fijo B, se tiene que  $x = L$  y  $\theta = \frac{dy}{dx} = 0$ , sustituyendo esos valores en la ecuación (2) y despejando  $C_1$ , se obtiene

$$C_1 = \frac{1}{2} PL^2$$

Y reemplazándola en la ecuación (2) queda la ecuación 3:

$$EI \frac{dy}{dx} = \frac{1}{2} Px^2 + \frac{1}{2} PL^2$$

Integrando ambos miembros de la ecuación (3) resulta la ecuación 4:

$$EIy = -\frac{1}{6} Px^3 + \frac{1}{2} PL^2x + C_2$$

Pero en B se tiene  $x = L$ ,  $y = 0$ , sustituyendo en la ecuación (4)

$$0 = -\frac{1}{6} PL^3 + \frac{1}{2} PL^3 + C_2$$

$$C_2 = -\frac{1}{3} PL^3$$

Llevando este valor de  $C_2$  a la ecuación (4), se obtiene la ecuación de la curva elástica:

$$EIy = -\frac{1}{6} Px^3 + \frac{1}{2} PL^2x - \frac{1}{3} PL^3$$

O

$$y = \frac{P}{6EI} (-x^3 + 3L^2x - 2L^3) \quad (5)$$

La deflexión y la pendiente en A se obtienen haciendo  $x=0$  en las ecuaciones (5) y (3)

$$y_A = -\frac{PL^3}{3EI} \quad \text{Y} \quad \theta = \left(\frac{dy}{dx}\right)_A = \frac{PL^2}{2EI} \quad (6)$$

Aplicando la ecuación 6 en el diseño de la prensa y con los datos de longitud fuerza y modulo de elasticidad del acero obtenemos:

La deflexión máxima admitida en A es  $y_A = 0.0005 \text{ m}$ , entonces:

$$y_A = \frac{PL^3}{3EI}$$

Despejando  $I$  que hace referencia al momento de inercia de la ecuación anterior:

$$I = \frac{PL^3}{3Ey_A}$$

Reemplazando los valores iniciales del problema

$$I = \frac{(600 \text{ N})(0.20 \text{ m})^3}{(3)(207 \text{ Gpa})(0.0005 \text{ m})}$$

$$I = 1.54589 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

Dado que la base del rectángulo es de  $0.08 \text{ m}$

Y tomando en cuenta la ecuación del momento de inercia de un perfil rectangular que es:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Despejando la variable necesaria para complementar la ecuación y así definir la altura  $H$  del perfil:

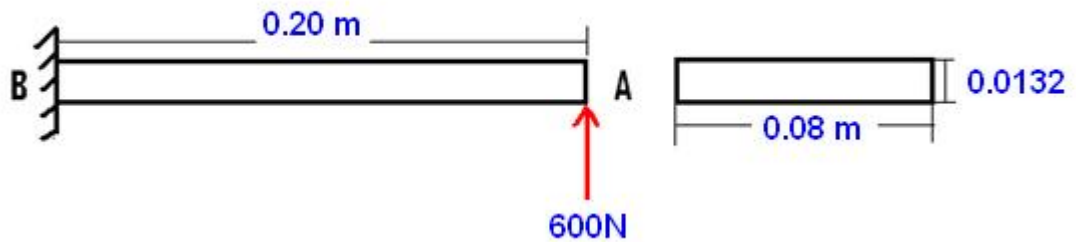
$$h^3 = \frac{12I}{b}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{(12)(1.54589 * 10^{-8} \text{ m}^4)}{0.08 \text{ m}}}$$

$$h = 0.0132 \text{ m}$$

Dando como resultado un perfil en acero de las siguientes dimensiones:

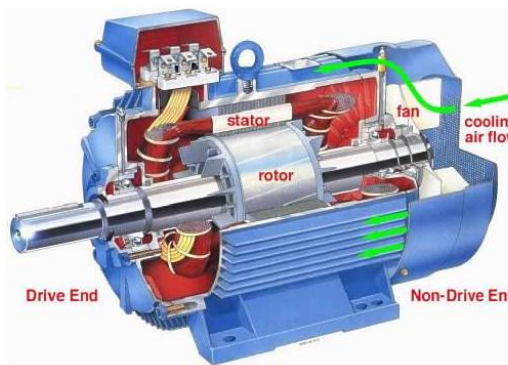
Figura 71. Perfil final prensa pulidora



#### 4.5.9 Cálculos Pulidora

##### 4.5.9.1 Cálculos de comprobación del motor de inducción de la pulidora.

Figura 72. Partes del motor de inducción.



Teniendo como referencia pulidoras de banda eléctricas que utilizan para retocar y quitar rebaba pequeña que varían de 145 W a 800 W dependiendo del tipo de trabajo para el que se requiera en este caso las de 145 W para pequeños desbastes y las de 800 W para grandes desbastes, (dependiendo del valor o tipo de lija según el trabajo a realizar) la mayoría de alimentación monofásica.

Dado que el área de pulido de la sexta cara de la pieza más grande es de  $52 \text{ cm}^2$ , y que para mayor eficiencia del circuito y seguridad se debe escoger un motor de alimentación trifásica que se acerque a un punto medio de la potencia de referencia.

Definiendo esos parámetros entonces se necesita un motor trifásico de baja tensión es decir 220 V. a 3600 RPM. Dependiendo de estas variables se necesita encontrar la potencia que requiere el motor para funcionar correctamente.

Según especificaciones de otros sistemas de pulido que los operarios de la empresa utilizan es necesario que cubran un par nominal entre 0.61 Nm y 2.6 Nm.

Dado que el proceso de pulido de la sexta cara es solamente para quitar rebaba y no para desbastar, pero dado que el aluminio es un material que entrapa y trataría de frenar el motor entonces, se optó por buscar un motor que se acerque a un punto medio entre el rango de par nominal que se enunció anteriormente.

Análisis:

Datos principales:

RPM = 3600

Hz = 60

V = 220

Debe suponerse que el par inducido en el motor al par de carga y que  $P_{conv}$  es igual a  $P_{carga}$ .

Puesto que no se asignó valor alguno por las pérdidas mecánicas, el par del motor entonces es:

$$\tau_{ind} = \frac{P_{conv}}{W_m}$$

$$1 N * m = \frac{P_{conv}}{(3600 r/min) \left(2\pi \frac{rad}{r}\right) (1 min/60 seg)}$$

$$P_{conv} = 376 W \text{ o } 0.376 Kw \text{ o } 0.504 HP$$

Con el dato de la potencia necesaria requerida para que el motor no se frene al hacer contacto con la pieza. Se procede a buscar un motor comercial que se acerque a las especificaciones necesarias. Y se encontró:

Datos de la placa del motor asignado:

Kw=0.37

Factor de potencia: 0.83

Hp=0.5

Hz=60

Rpm=3370

V=220

A=1.65

La eficiencia del motor está dada por la siguiente ecuación:

$$\eta = \left( \frac{\text{potencia mecánica}}{\text{potencia eléctrica}} \right) * 100\%$$

Reemplazando:

$$\eta = \left( \frac{0.37012}{0.37} \right) * 100\%$$
$$\eta = 100.012\%$$

Velocidad de rotación del campo magnético:

$$\gamma_{sinc} = \frac{120 f_e}{p}$$

En donde  $f_e = \text{frecuencia}$  y  $p = \text{número de polos}$

Para calcular el número de polos del motor se toman los datos nominales de la placa y se aplican a la siguiente fórmula:

$$\# \text{ polos} = \frac{120 * f_e}{rpm_{nom}} = \frac{120 * 60}{3370} = 2.13 \cong 2$$

Así la velocidad sincrónica del motor es, según la fórmula es:

$$\gamma_{sinc} = \frac{120 * 60}{2} = 3600 \text{ r/min}$$

Dado estos valores el desplazamiento del motor es:

$$S = \frac{\gamma_{sinc} - \gamma_{nom}}{\gamma_{sinc}} * 100$$
$$S = \frac{3600 - 3370}{3600} * 100 == 0.063 \text{ o } 6.38 \%$$

Determinación de la corriente de arranque:

Tabla códigos NEMA que indican los kilo-voltamperios de arranque por caballos de fuerza nominal para un motor.

Tabla 13. Tabla códigos NEMA

Letra código nominal	Rotor bloqueado KVA/hp
A	3.15
B	3.55
C	4
D	4.50
E	5
F	5.60
G	6.30
H	7.10
J	8
K	9

L	10
M	11
N	12.5
P	14
R	16
S	18
T	20
U	22.40
V	Superiores a 22.40

Fuente: [CHAPMAN Steven, maquinas eléctricas, tercera edición. Mc graw hill capitulo 7 motores de inducción pag 387 – 443](#)

La ecuación para determinar la corriente de arranque está dada por:

$$S_{start} = (\text{potencia nominal en Hp})(\text{letra de código nominal})$$

Reemplazando los valores y según la placa del motor en donde el código hace referencia a la letra N, entonces:

$$S_{start} = 0.5 * 12.50 = 6.25 \text{ KVA}$$

Entonces la corriente de arranque es:

$$I_L = \frac{S_{start}}{\sqrt{3} * V}$$

$$I_L = \frac{6.25 \text{ KVA}}{\sqrt{3} * 220} = 0.164 \text{ A o } 164 \text{ mA}$$

Este análisis ayuda a escoger el tipo de amperaje para los fusibles y para escoger el tipo de protección para el motor.

#### **4.5.9.2 Cálculos de los ejes que soportan la pulidora.**

##### **Parámetros:**

Deflexión máxima admitida para que no sobrepase los límites necesarios y produzca un frenado de los carros que llevan las piezas.

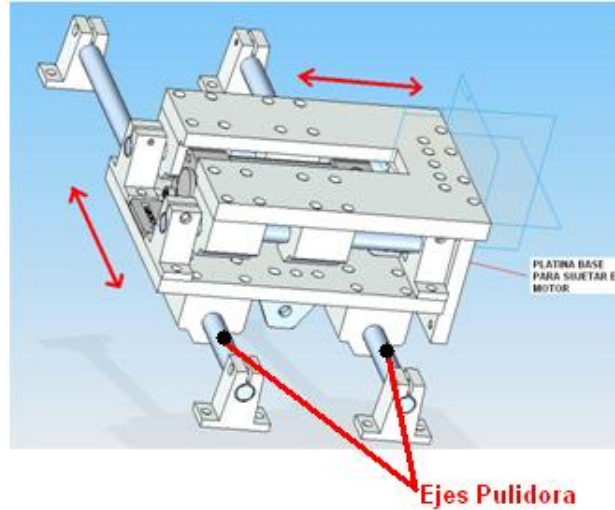
$$|y|_{max} = 0.0005m$$

$$w = 392,4 \text{ N.}$$

$$L = 0,50 \text{ m.}$$

$$E_{acero} = 207 \text{ GPa}$$

Figura 73. Ejes pulidora



Análisis y desarrollo:

$$\text{Como } |y|_{max} = \frac{5wL^3}{384EI}$$

$$I = \frac{5wL^3}{384Ey}$$

$$I = \frac{5(392,4)(0,50)^3}{384(207 * 10^9)(0,0005)} = 6,179 * 10^{-9} m^4$$

El momento de inercia de un círculo es:

$$I = \frac{\pi r^4}{4}$$

Para el diseño es necesario determinar el diámetro que soporte el peso de la pulidora completa. Dada esta condición para calcular el diámetro del eje es:

$$r^4 = \frac{4I}{\pi}$$

$$r = \sqrt[4]{\frac{4 * 6,179 * 10^{-9} m^4}{3,1416}} = 0,0094 m$$

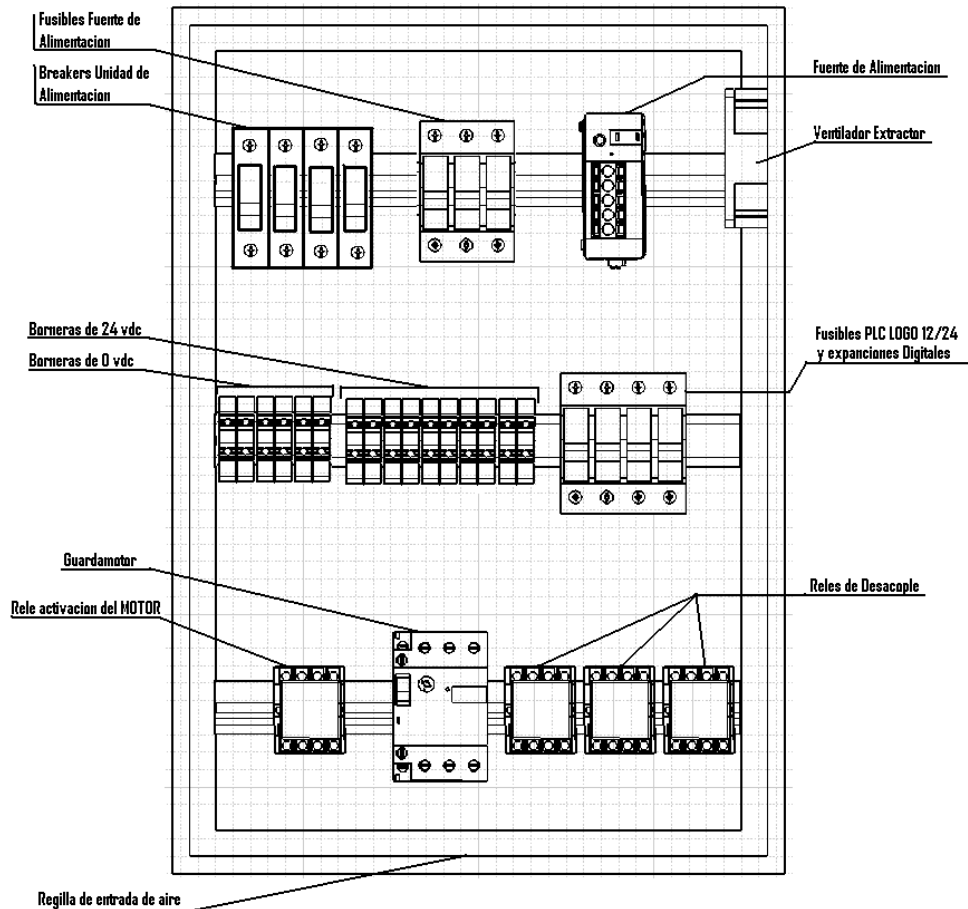
$$d = r^2 = 0,018 m = 18 mm$$

#### 4.5.10 Diseño electrónico tablero de control.

##### Parámetros de diseño:

- Dado que el sistema debe ser compatible con el controlador del robot el voltaje de alimentación directa debe ser de 24 VDC.
- El tablero de control consta de tres relés de desacople hacia el controlador del robot.
- Así mismo consta de un relé mas para la activación del motor trifásico.
- Protección del motor trifásico.
- El controlador maestro es un PLC, con tres expansiones.
- Es necesario activar las electroválvulas del control neumático.
- Se debe encontrar cual es la corriente necesaria que debe llegar a ceder la fuente de voltaje de 24 Vdc.

Figura 74. Elementos del tablero de control.



#### 4.5.10.1 Cálculo del consumo de los elementos del tablero de control.

1. Consumo de corriente de los relevos:

Por la ley de ohm  $V = I * R$

$$I_{rele} = V/R$$

Donde R hace referencia a la resistencia del embobinado y el al voltaje de conmutación de esa bobina. Por medio de mediciones la resistencia de los embobinados de los relés es de 150 ohm.

$$I_{rele} = 24 V / 150 ohm = 0.16 A = 160 mA$$

Como dentro del tablero se encuentran 4 relevos, entonces:

$$I_{reles} = 0.16 A * 4 = 0.64 A = 640 mA$$

2. Consumo de corriente de las electroválvulas del control de los cilindros neumáticos:

Son 6 electroválvulas que conmutan a 24 Vdc y por especificaciones en el manual son de 4 watts de potencia.

$$P = V * I$$

$$I_{electrovalvulas} = P/V = (6) * (4 W) / 24 V = 1 A$$

3. Consumo de corriente del PLC LOGO! Siemens, que tiene 4 salidas a relé por expansión:

Por la ley de ohm  $V = I * R$

$$I_{rele PLC} = V/R$$

$$I_{rele PLC} = 24 V / 165 ohm = 0.145 A = 145 mA$$

$$I_{PLC} = 145 mA * 4 = 580 mA$$

Dado que para el controlador son necesarios alrededor de 16 salidas, entonces se necesitaron 3 expansiones, entonces:

$$I_{total del PLC} = 580 mA * 4 = 2,320 A$$

4. Consumo de corriente de los sensores capacitivos:

Por catalogo cada sensor consume 15 mA, como son 2, entonces  $I_{capasitivos} = 30 \text{ mA}$

5. Consumo de corriente de los sensores magnéticos, que detectan la posición de los cilindros:

Por catalogo cada sensor a 24 V consume 10 mA, como son 4 cilindros los que se necesitan para la maquina, y dado que son 2 sensores por cilindro, entonces:

$$I_{magneticos} = 80 \text{ mA}$$

6. Consumo de corriente de los indicadores luminosos:

Por catalogo telemecanique estos indicadores luminosos tienen un consumo de 80 mA, como son tres indicadores, entonces:

$$I_{indicadores} = 240 \text{ mA}$$

El cálculo de la corriente máxima necesaria, asumiendo que todos los elementos anteriores se accionen al mismo tiempo, entonces seria:

$$I_{total} = I_{reles} + I_{electrovalvulas} + I_{total \text{ del PLC}} + I_{capasitivos} + I_{magneticos} + I_{indicadores}$$
$$I_{total} = 4.73 \text{ A}$$

Como hay elementos electrónicos que nos se tomaron en cuenta como los pulsadores de la puerta de control, por motivos de su bajo consumo. La fuente que se escogió debe ceder un amperaje de 5 A.

**4.5.10.2 Cálculo para escoger el guardamotor:** Dado que el motor de la pulidora es de alimentación trifásica 220 VAC, es necesario por norma internacional protegerlo contra sobre picos, falta de fase, temperatura causada por necesidad de corriente, entonces:

El cálculo para escoger el guardamotor, según los datos de la placa del motor es:

$$I = \frac{\text{Potencia aparente}}{\text{voltaje de alimentacion}}$$
$$I = \frac{370 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 1.68 \text{ A}$$

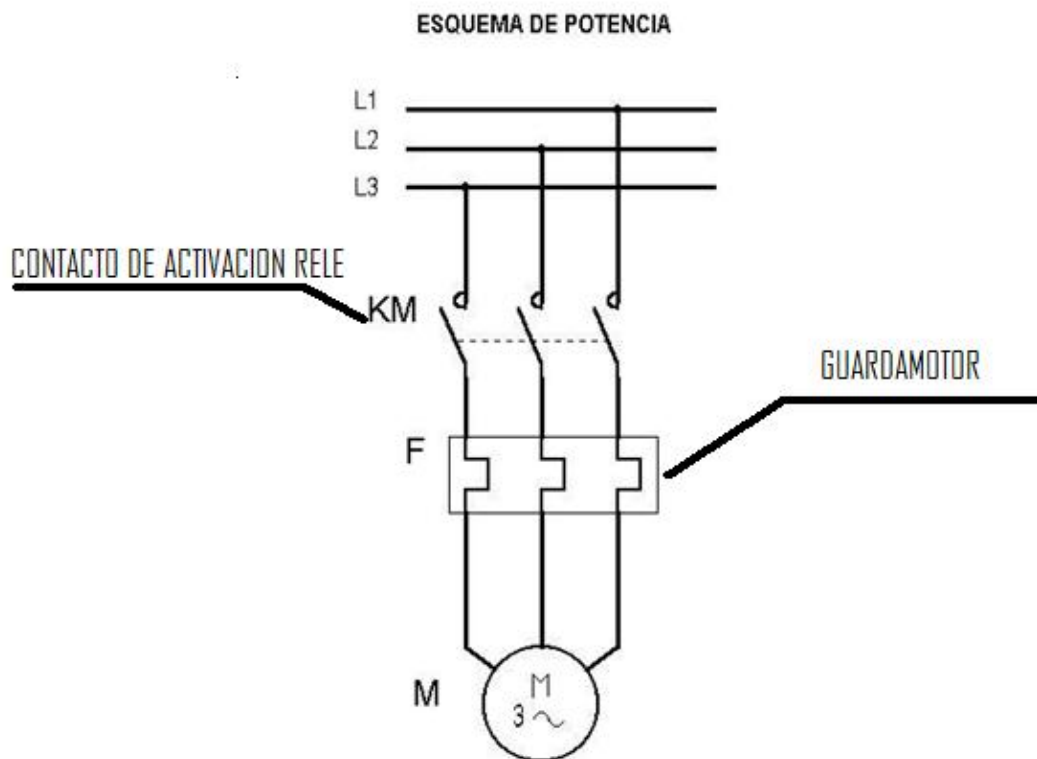
Esta corriente hace referencia a la de activación del contactor térmomagnético interno del guardamotor que se dispara y abre el circuito, apagando el motor para protegerlo y con la misma se selecciona el guardamotor dependiendo de que esta

corriente este entre el rango de regulación. Por esta razón se seleccionó el tipo **3RV10 11-1BA10**, como se observa en la tabla 14.

Tabla 14. Rango de regulación de los guardamotores.

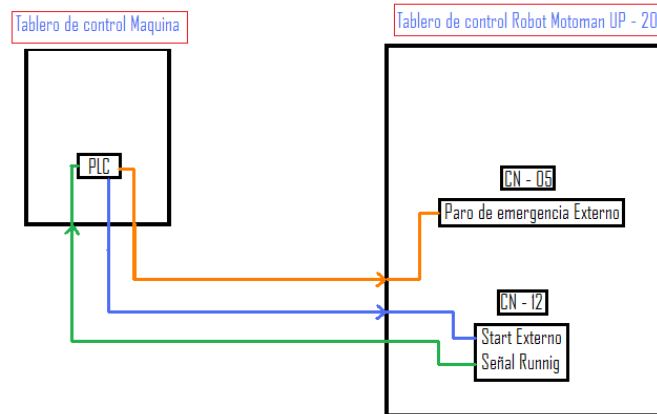
Rango de regulación [A] Clase 10	Tipo
0.18 – 0.25	3RV10 11-0CA10
0.22 – 0.32	3RV10 11-0DA10
0.35 – 0.5	3RV10 11-0FA10
0.45 – 0.63	3RV10 11-0GA10
0.7 – 1	3RV10 11-0JA10
0.9 – 1.25	3RV10 11-0KA10
1.1 – 1.6	3RV10 11-1AA10
1.4 – 2	3RV10 11-1BA10
2.2 – 3.2	3RV10 11-1DA10
2.8 – 4	3RV10 11-1EA10
4.5 – 6.3	3RV10 11-1GA10
5.5 – 8	3RV10 11-1HA10
7 – 10	3RV10 11-1JA10

Figura 75. Conexión recomendada del guardamotor.



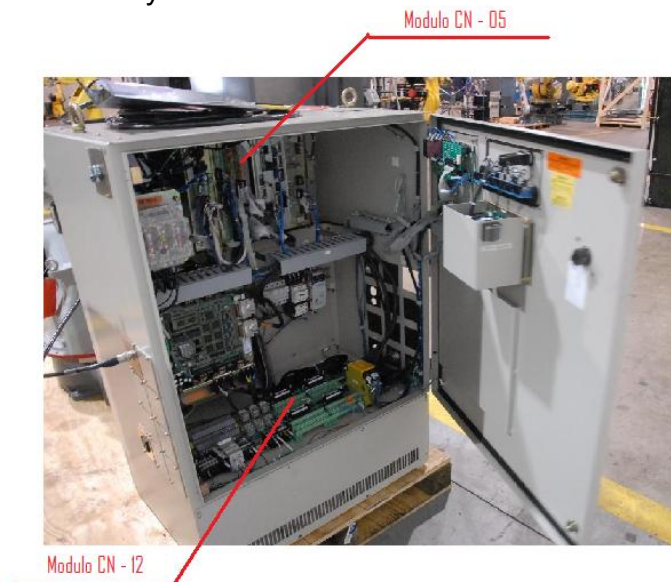
**4.5.10.3 Interfaz de comunicación entre el tablero de la máquina y el controlador XRC del robot:** Dado que es necesario controlar el robot desde el controlador de la máquina, el controlador del robot da la posibilidad de utilizarlo como esclavo por medio de un modulo de manipulación externa que lo llaman CN – 12, en donde se utilizo una entrada como el START externo (ya configurada en este modulo) y una señal de salida la cual indica que el robot se encuentra en movimiento. (También ya configurada en esa tarjeta por el fabricante).

Figura 76. Esquema de conexión Máquina-robot.



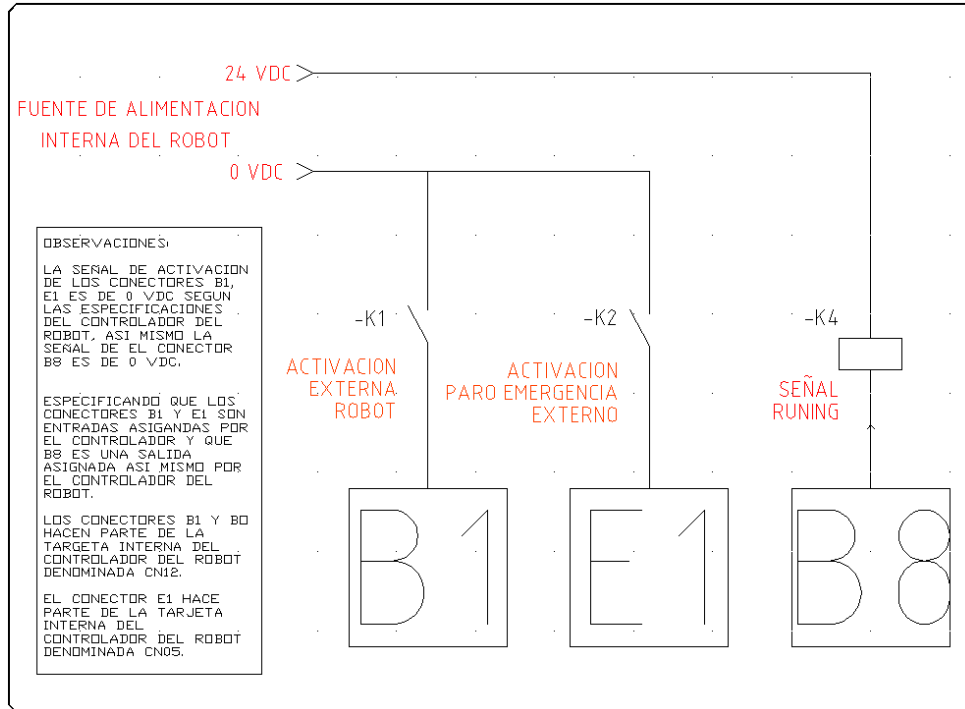
Por motivos de seguridad y dado que es necesario que los paros de emergencia de los dos tableros de control estén sincronizados, se utilizo el modulo CN – 05, el cual hace referencia a los paros de emergencia externos.

Figura 77. Módulos CN-05 y CN-12 del controlador.



Dado que estas tarjetas trabajan con un voltaje de 0 Vdc, es necesario implementar los relevos de activación, en donde el conexionado se observa en el siguiente circuito:

figura78. Conexión con relevos de activación.



## ESPECIFICACIONES FINALES DEL TABLERO DE CONTROL DE LA MÁQUINA

Tabla 15. Lista de especificaciones del tablero de control.

Dimensiones	500(w) * 350(h) * 200(d) mm
Sistema de enfriamiento	Enfriamiento directo
Temperatura Ambiente	0°C a + 35°C (en operación)
Humedad Relativa	90 % RH max. No condensada.
Alimentación Eléctrica	240 VAC (+10% a - 15%), trifásica a 50/60 Hz. Un neutro para derivación a 110 VAC.
Tierra física	Resistencia de la tierra física: 100 Ω o menos. Tierra física exclusiva para el controlador.
I/O digital	Señal general hardware 18 entradas y 16 salidas.
I/O análoga	Señal general de hardware 2 entradas.
Sistema de Posicionamiento	Sensores magnéticos y capacitivos.
Transmisión	Neumática.
Aceleración / Desaceleración	Control por reguladores de caudal.
Botones	Start, Reset, Carga y Paro de Emergencia.

#### 4.5.11 Cálculos Neumáticos.

**4.5.11.1 Cilindros neumáticos.** Según los cálculos mecánicos y de acuerdo al peso de los mecanismos que los cilindros deben mover o accionar, se tienen en cuenta los siguientes puntos de referencia.

- Peso pista =  $66,69 \text{ Kg} * 1.5$  (que equivale al factor de seguridad para evitar posibles atascamientos), esto da un peso neto de 99 Kg que deberá mover el cilindro en una sola dirección unos 200 mm.
- Peso Pulidora, sección de arrastre, equivale a un peso de de 20 Kg, que deberán ser movidos en ambas direcciones unos 500 mm.
- Peso pulidora, sección de ajuste motor, equivale a un peso de 9 Kg, que deberán ser movidos en ambas direcciones unos 50 mm.
- Ajuste necesario para la prensa que va a sujetar las piezas de aluminio, deberá primero superar un peso de 800 gr que pesa la platina que acarrea la pieza de aluminio y así mismo la pieza más pesada de aluminio que pesa 400 gr. De acuerdo a lo anterior deberá como mínimo levantar un peso de 1,2 Kg.

Figura 79. Cilindros de la máquina.

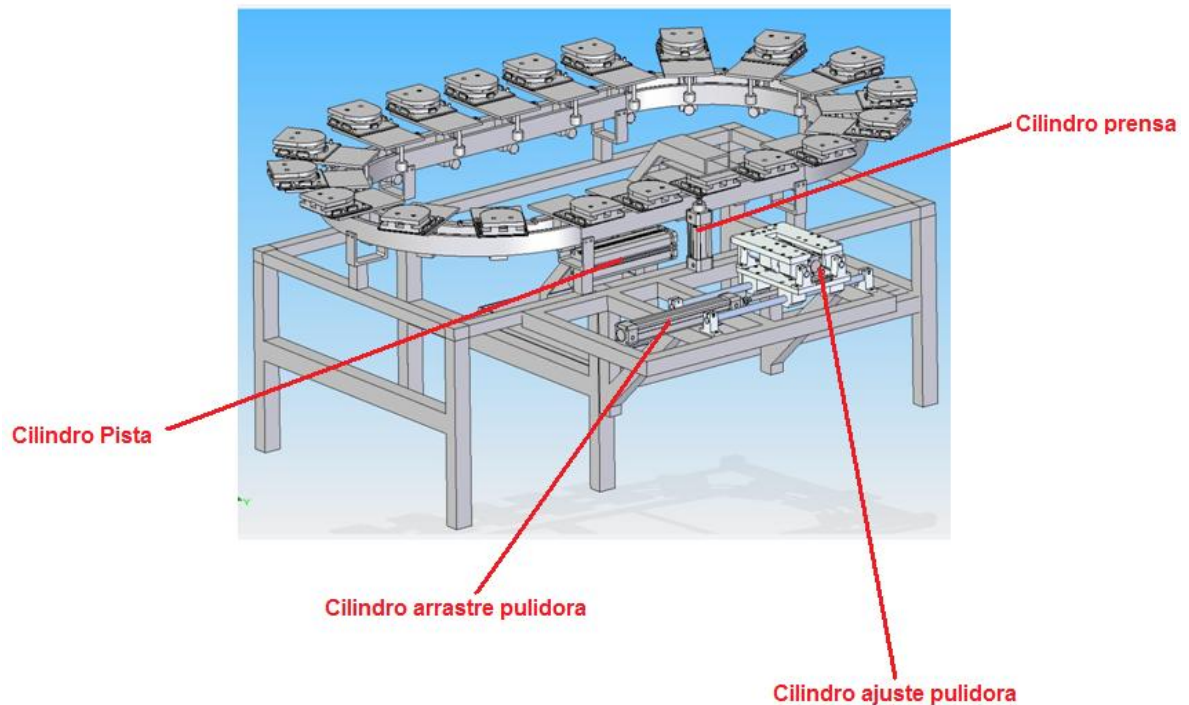
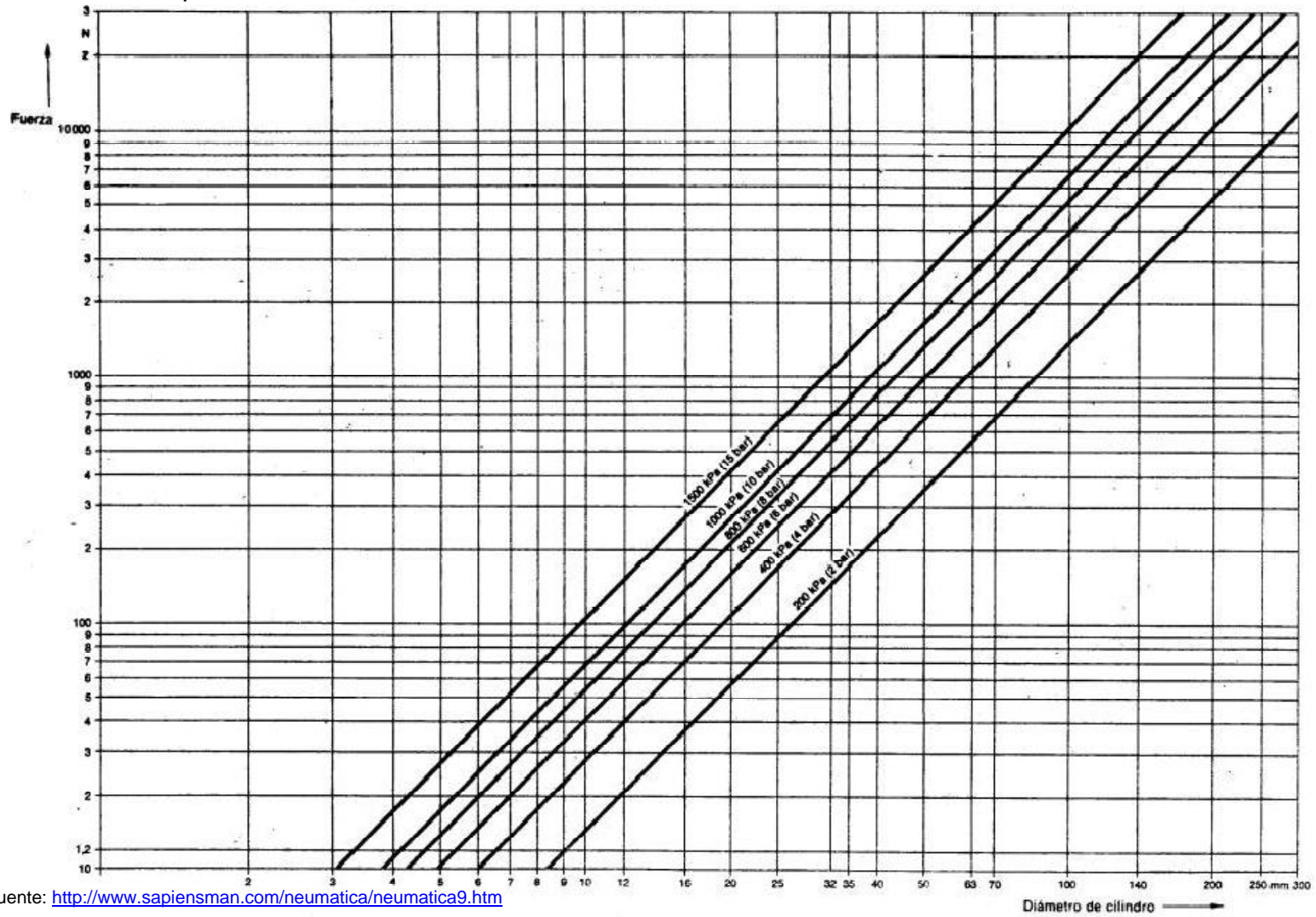


Tabla 16. Tabla presión versus fuerza.



Fuente: <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica9.htm>

De acuerdo con la tabla presión versus fuerza, se obtiene:

- **Fuerza cilindro de movimiento de la pista:**

$$F = ma = \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)(66.69 Kg)1.5$$

$$F = 981.34 N$$

Según la figura (3) el diámetro del cilindro que se acerca a este valor, con una presión de trabajo de 6 Bar y tomando un factor de seguridad de 1.5, es de 50 mm.

- **Fuerza cilindro del movimiento de arrastre de la pulidora, ajuste pulidora y prensa:**

$$F = ma = \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)(20 Kg)2$$

$$F = 392,4 N$$

Según la tabla el diámetro del cilindro que se acerca a este valor, con una presión de trabajo de 6 Bar y tomando un factor de seguridad de 2 por el proceso de pulido del aluminio y a la fuerza que ejerce el motor cuando esta encendido, es de 32 mm.

Por lo tanto con los diámetros y la presión de trabajo se obtiene:

- **Cilindro Pista:**

$$D = 50mm \quad d = 13mm \quad p = 6 Bar$$

Superficie del embolo:

$$A = \frac{D^2\pi}{4} = 19,635 \text{ cm}^2$$

Superficie anular del embolo:

$$A' = \frac{(D^2 - d^2)\pi}{4} = 18,307 \text{ cm}^2$$

Fuerza teórica del empuje en el avance:

$$F_{teor} = Ap = (19,635 * 10^{-4} m^2) * (6 * 10^5 N/m^2)$$

$$F_{teor} = 1178,1 N$$

Resistencia de rozamiento: 10%

$$F_h = 117,81 N$$

Fuerza real del empuje del émbolo:

$$F_n = Ap - F_h = 1178,1 N - 117,81 N$$
$$F_n = 1060,29 N$$

Fuerza teórica de tracción del émbolo en el retorno:

$$F_{teor} = A'p = (18,307 * 10^{-4} m^2) * (6 * 10^5 N/m^2)$$
$$F_{teor} = 1098,42 N$$

Resistencia de rozamiento: 10%

$$F_h = 109,82 N$$

Fuerza real de tracción del émbolo en el retorno:

$$F_n = Ap - F_h = 1098,42 N - 109,84 N$$
$$F_n = 988,58 N$$

- **Cilindros del movimiento de arrastre de la pulidora, ajuste pulidora y prensa:**

$$D = 32mm \quad d = 12mm \quad p = 6 Bar$$

Superficie del émbolo:

$$A = \frac{D^2 \pi}{4} = 8,04 cm^2$$

Superficie anular del émbolo:

$$A' = \frac{(D^2 - d^2) \pi}{4} = 6,91 cm^2$$

Fuerza teórica del empuje en el avance:

$$F_{teor} = Ap = (8,04 * 10^{-4} m^2) * (6 * 10^5 N/m^2)$$
$$F_{teor} = 482,4 N$$

Resistencia de rozamiento: 10%

$$F_h = 48,24 N$$

Fuerza real del empuje del émbolo:

$$F_n = Ap - F_h = 482,4 N - 48,24 N$$
$$F_n = 434,16 N$$

Fuerza teórica de tracción del émbolo en el retorno:

$$F_{teor} = A'p = (6,91 * 10^{-4} m^2) * (6 * 10^5 N/m^2)$$
$$F_{teor} = 414,6 N$$

Resistencia de rozamiento: 10%

$$F_h = 41,46 N$$

Fuerza real de tracción del émbolo en el retorno:

$$F_n = Ap - F_h = 414,6 N - 41,46 N$$
$$F_n = 373 N$$

**4.5.11.2 consumo de aire:** Para disponer de aire y conocer el gasto de energía, es importante conocer el consumo de la instalación.

Aplicando las formulas de consumo, descritas en el marco de referencia se obtiene:

- **Consumo Cilindro Pista:**

$$s = 200 mm \quad n = 2$$

Relación de compresión:

$$Rc = \frac{101,3 Kpa + 600 Kpa}{101,3 Kpa} = \frac{701,3 Kpa}{101,3 Kpa} = 6,9$$

Cantidad de aire consumido:

$$V = \left( s * \frac{D^2 \pi}{4} + s * \frac{(D^2 - d^2) \pi}{4} \right) * n * Rc$$
$$V = ( 20 * 19,635 + 20 * 18,307 ) * 2 * 6,9$$
$$V = 10472,2 \text{ cm}^3 / \text{min} = 10,47 \text{ l} / \text{min}$$

- **Consumo Cilindro pulidora arrastre:**

$$s = 500 mm \quad n = 2$$

Relación de compresión:

$$Rc = \frac{101,3 Kpa + 600 Kpa}{101,3 Kpa} = \frac{701,3 Kpa}{101,3 Kpa} = 6,9$$

Cantidad de aire consumido:

$$V = \left( s * \frac{D^2 \pi}{4} + s * \frac{(D^2 - d^2) \pi}{4} \right) * n * Rc$$

$$\begin{aligned} \forall &= (50 * 8,04 + 50 * 6,91) * 2 * 6,9 \\ \forall &= 10315,5 \text{ cm}^3/\text{min} = 10,3 \text{ l}/\text{min} \end{aligned}$$

- **Consumo Cilindro pulidora ajuste y cilindro prensa:**

$$s = 50 \text{ mm} \quad n = 2$$

Relación de compresión:

$$Rc = \frac{101,3 \text{ Kpa} + 600 \text{ Kpa}}{101,3 \text{ Kpa}} = \frac{701,3 \text{ Kpa}}{101,3 \text{ Kpa}} = 6,9$$

Cantidad de aire consumido:

$$\begin{aligned} \forall &= \left( s * \frac{D^2 \pi}{4} + s * \frac{(D^2 - d^2) \pi}{4} \right) * n * Rc \\ \forall &= (5 * 8,04 + 5 * 6,91) * 2 * 6,9 \\ \forall &= 1031,55 \text{ cm}^3/\text{min} = 1,03 \text{ l}/\text{min} \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta el consumo de aire por cada cilindro y teniendo en cuenta que el control de estos mismo es secuencial, entonces:

Consumo de aire total:

$$\forall_{total} = \sum \forall = 10,47 + 10,3 + 1,03 + 1,03 = \mathbf{22,83 \text{ l}/\text{min}}$$

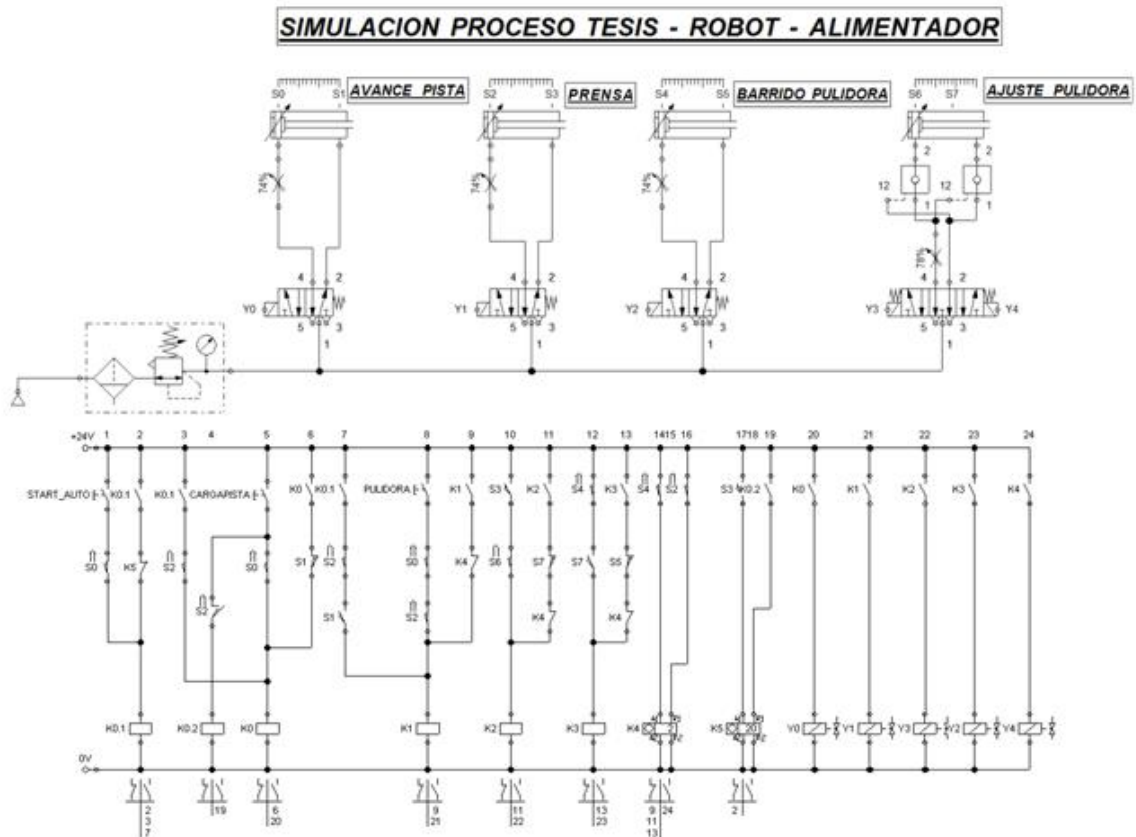
## 4.6 OPCIONES DE CONTROL.

### 4.6.1 Programación por lógica cableada.

La programación por lógica cableada es una opción sencilla y económica al momento de controlar un sistema con componentes neumáticos. Aunque no siempre es la mejor opción a tomar para controlar un sistema, por un lado la cantidad de cableado que se requiere, por otro hay que incluir una serie de elementos como contadores, temporizados, que en un PLC vienen incluidos.

El esquema de programación por lógica cableada es el siguiente:

Figura 80. Programación por lógica cableada.(para detallar mejor el diseño observar anexo F)



La secuencia es muy sencilla. Cuando el robot termina con el proceso de pulido el cilindro impulsor de la pista sale moviendo todo el sistema una posición, cuando el sensor de la pulidora de la sexta cara se activa el cilindro de la prensa es accionado sujetando la pieza firmemente para realizar el pulido de la denominada

sexta cara (la cara por donde el robot pulidor sujeta la pieza) que es la única que no es pulida por el robot. Después el cilindro de “avance pulidora” se encarga de acercar la pulidora a la pieza e inmediatamente se activa el cilindro de “barrido pulidora” que realiza el movimiento para pulir la pieza.

#### 4.6.2 Programación en ladder (PLC).

El programa para esta máquina sigue la siguiente secuencia:

Inicialmente hay un botón de carga manual de las piezas, que al presionarlo mueve el sistema y el operario manualmente carga cada uno de los carros con una pieza, internamente se realiza un conteo de 20 piezas, cuando esto ocurre la pantalla del controlador muestra un mensaje que indica que ya fue cargado el sistema y que se puede iniciar el ciclo automático.

	L	A		M	A	Q	U	I	N	A
E	S	T	A		C	A	R	G	A	D
		P	R	E	S	I	O	N	E	
			I	N	I	C	I	O		

Luego de pulsar el botón de start el controlador envía una señal de inicio al robot para que el robot empiece a ejecutar el programa de pulido, pero si por algún motivo no hay pieza en el carro de donde el robot va a sujetar la pieza se activa una alarma de pieza faltante en carro, evitando así que el robot inicie el programa hasta que no haya una pieza que sujetar, después de colocar la pieza se debe presionar el botón de reset y después inicio de nuevo.

N	o		h	a	y		p	i	e	z	a
e	n		c	a	r	r	o				
r	e	v	i	s	e		y				
p	r	e	s	i	o	n	e		R	/	I

En el caso que efectivamente hay una pieza, el robot la sujeta y realiza el pulido, la máquina espera hasta que el robot retorne la pieza que pulió a la posición inicial

y deje de enviar señal de “ejecutando programa” a la máquina, ya que mientras el robot esta trabajando envía una señal al controlador para que este no realice ninguna acción y el ciclo termina con el movimiento de la pista que es realizada por un cilindro neumático, y nuevamente se repite de nuevo todo el ciclo, estos ciclos son realizados 20 veces, que son el numero de carros existentes en la pista, cuando esto ocurre se visualiza una alarma en la pantalla de fin de proceso y se activa una alarma sonora se encarga de avisar al operario.

	E	L	P	R	O	C	E	S	O	
D	E		P	U	L	I	D	O		H
		T	E	R	M	I	N	A	D	O
		R	E	C	A	R	G	A	R	

Como toda máquina cuenta con un paro de emergencia que detiene todo el proceso de la máquina y del robot, después de presionar este paro de emergencia es necesario presionar reset e inicio para reiniciar el proceso después de revisar la falla por la que se paró el proceso.

A	C	T	I	V	O		P	A	R	O
	E	M	E	R	G	E	N	C	I	A
R	E	V	I	S	E					
P	0		C	I	L	I	N	D	R	O

Para ver en detalle el proceso que realiza la maquina observar el diagrama de flujo en el ANEXO C.

## **4.7 TABLERO DE CONTROL Y CABLEADO ELÉCTRICO.**

### **4.7.1 Elementos del tablero de control.**

- Fuente de alimentación OMRON S8VM – 100 24 VDC.
- PLC siemens LOGO Basic 12/24 serie 6ED1050-1AA00-0DE5.
- Expansión digital siemens para el LOGO serie 6ED1050-1CB00-0BA0 \* 3 unidades
- RELE de contacto de 14 pines Telemacanique de 12 amp a 24 VDC.
- RELE de contacto de 8 pines RELPOL de 8 amp a 24 VDC. \* 3 unidades
- Guardamotor Siemens de tres polos de 0.5 a 2 amp de desconexión para motores de  $\frac{3}{4}$  hp.
- Pulsadores normalmente abiertos Telemacanique de colores verde y negro.
- Pulsador normalmente cerrado Telemacanique de color rojo.
- Pulsador de enclavamiento normalmente cerrado Telemecanique para PARO DE EMERGENCIA.
- Indicadores luminosos a 24 VDC Telemecanique de color Rojo y Verde.
- Alarma auditiva a 24 VDC Telemacanique.
- Ventilador de 80mm de diámetro con balineras y de 24 VCD.

### **4.7.2 Elementos de seguridad del tablero de control.**

- Breaker de tres polos a 6 amp.
- Breaker unipolo de 6 amp.
- Portafusibles para la fuente de poder Omron fusible de 3 amp según manual, el PLC LOGO siemens y cada una de las expansiones del LOGO fusibles de 1 amperio según manual.
- Bornera de conexión a Tierra.

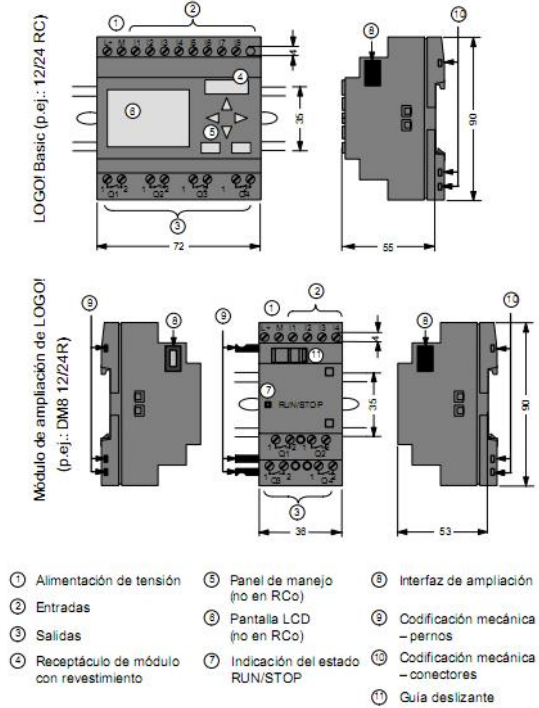
### **4.7.3 Dimensiones LOGO! y Fuente de voltaje OMRON**

Dada las dimensiones de los elementos eléctricos y de control, el cofre para mantener una buena refrigeración especialmente para la fuente de voltaje, tiene las siguientes dimensiones:

- 200 mm de fondo.
- 600 mm de altura.
- 400 mm de ancho.

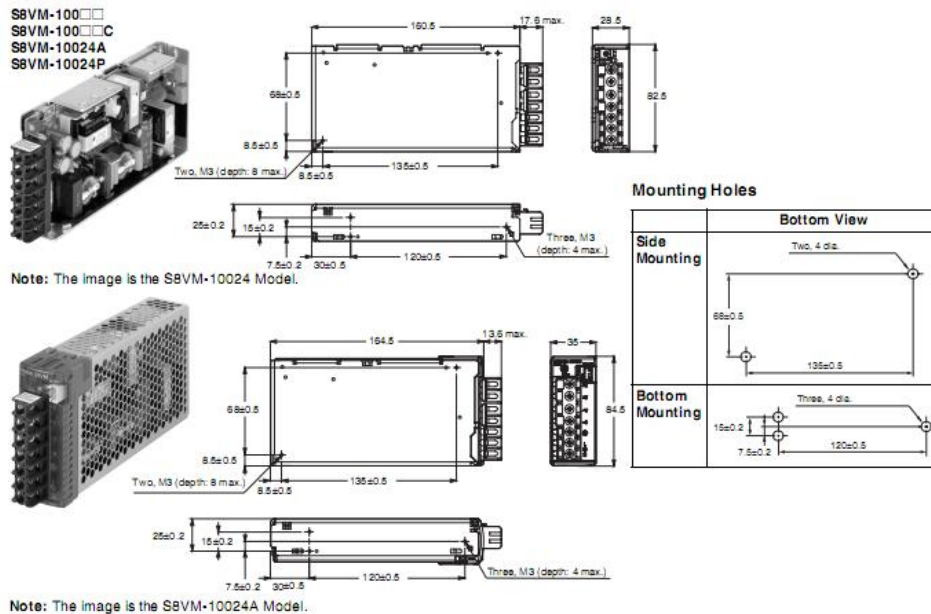
A continuación se muestran las dimensiones de los elementos más relevantes de acuerdo al montaje y a la seguridad de este:

Figura 81. Partes y dimensiones del LOGO!



Fuente: Manual del usuario de LOGO!.

Figura 82. Dimensiones de la fuente OROM



Fuente: Manual del usuario incluido con la compra.

#### 4.7.4 Imágenes del proceso de ensamble y cableado de elementos en el cofre.

Figura 83. Ubicación de los elementos en el tablero



Figura 84. Montaje del LOGO!



Figura 85. Cableado del tablero:



Figura 86. Pruebas de encendido y comprobación de conexiones para verificar que no hubiera problemas como cortos eléctricos y/o problemas de ruido eléctrico.



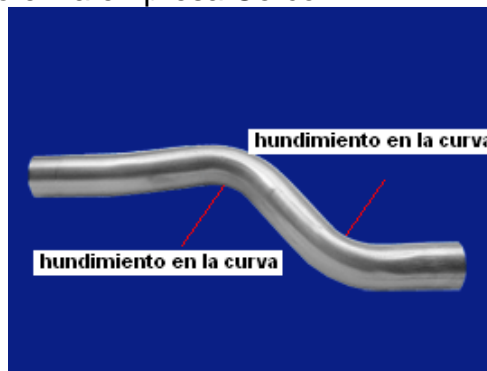
Para observar los planos de conexionado eléctrico del tablero ver anexo E.

## 5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

### 5.1 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA PARA MECANIZAR LOS OVALOS DE LA PISTA.

Para la selección de la materia prima más adecuada para el mecanizado de esta parte de la máquina, se realizó un estudio en varias empresas que cuentan con maquinaria para curvar. Inicialmente se tenía como opción un tubo metálico pero al observar algunos tubos ya doblados resultó que en la parte interna de la curva quedaban con una deformación muy importante que no hay que despreciar ya que por esa curva se desplazan todos los carros de la máquina y esto podría generar un descarrilamiento o podría frenar el movimiento de los carros.

Figura 87. Tubo doblado en la empresa Cercol.



Observando los resultados obtenidos con tubo se optó por escoger como materia prima un perfil acero calibrado 1020 con el cual se obtuvieron unos resultados muy satisfactorios con una curva adecuada para el desplazamiento de los carros.

Figura 88. Perfil CR curvado.



## 5.2 ANÁLISIS DE PULIDO Y SELECCIÓN DEL TIPO DE LIJA.

**5.2.1 Descripción del experimento.** Debido a que es necesario realizar un pulido sencillo a la cara de la pieza por la cual es tomada por el robot, se realizó una pulidora que solo realizara este trabajo. Teniendo en cuenta que se necesita escoger el tipo de lija adecuado para realizar este proceso y dada la poca información que se obtiene, se realizó el siguiente experimento:

- Objetivo del experimento:

Seleccionar el tipo de lija adecuado para pulir aluminio.

- Problemas :

1. Investigar qué tipo de abrasivos se utilizan para pulir aluminio.
2. Qué tipo de grano de lija escoger.
3. Determinar, cuál es más o menos fina.
4. Determinar la duración de cada lija.

**5.2.2 Desarrollo del experimento.** Dada la investigación y consulta se determinó que los mejores abrasivos para pulir y desbastar aluminio son:

**Carburo de silicio:** es la sustancia más abrasiva y dura que se conoce. Es un mineral negro, brillante, de gran dureza. Las lijas construidas en este material son conocidas como "lijas al agua", ya que se usan humedecidas con agua. Sirven para acabar y pulir lacas automotrices, mármoles, granitos, vidrios, plásticos duros, cerámicas, barnices imprimantes, aparejos y selladores en general. También es excelente para desgastar y pulir bronce, cobre y aluminio.

**Zirconio:** es un metal de color negro o gris acerado, refractario, mal conductor de electricidad y de gran resistencia mecánica y a la corrosión. Se usa en lijado de metales, aluminio, hierro, cobre, titanio, bronce.

Según estos tipos de abrasivos se analizaron y calificaron de 1 a 5 en la siguiente tabla, en relación con unas características importantes para el proceso de pulido:

Tabla 17. Calificación tipos de lija de acuerdo con su desempeño durante el experimento.

	<b>Carburo de Silicio</b>	<b>Zirconio</b>
<b>Dureza</b>	5	4
<b>Temperatura</b>	3	4
<b>Resistencia</b>	2	5
<b>corrosión</b>	4	5
<b>total</b>	<b>14</b>	<b>18</b>

Cual grano escoger:

- Un material se lija para otorgar suavidad a una superficie astillada o rugosa o, por el contrario, para conferir mayor aspereza a una superficie suave. La elección de la lija adecuada dependerá del objetivo y del material sobre el cual se vaya a trabajar.
- Del mismo modo que el filo de una herramienta influye en la terminación del corte de un material, la granulometría de una lija es la característica más determinante en el grado de suavidad con que quedará la superficie lijada.
- El proceso de lijado es más suave en la medida que los granos de la lija son más pequeños y rayan de manera más fina la superficie del material.
- Las lijas gruesas se usan para quitar pinturas viejas, lijar materiales con depósitos de óxido y para el lijado inicial de superficies sin cepillar.
- Las lijas intermedias se usan para un primer afinado de superficies lisas.
- Las lijas finas, se ocupan en afinados de superficies de madera o para lijar después de una mano de pintura, laca o barniz. Dan una terminación muy suave.
- El papel extra fino se usa para lijar lacados y otras superficies delicadas.

Cuál es más o menos fina:

Existen varias formas de medir el grano de las lijas, por ejemplo, según su tamaño promedio en micrones, o de acuerdo a los estándares establecidos por diferentes normas de graduación internacionales (ANSI, FEPA).

También se usa una graduación simplificada: “fina”, “mediana”, “gruesa” y “extra gruesa” y otra que considera el tipo de operación que permite cada una: “pulido”, “acabado”, “desbaste intermedio”, “desbaste pesado”.

La forma más usada es la que define la Norma B 74.18-1984 del American National Standard Institute (ANSA). Esta norma relaciona la cantidad de granos que tiene la lija con una medida de longitud lineal. Su escala va desde el 600 que corresponde al grano mas fino, hasta el 12 corresponde al grano más grueso. Los números indican la cantidad de granos que hay en una línea de una pulgada de largo. Por ejemplo: una lija “grano 120” indica que hay aproximadamente 120 granos por cada pulgada lineal.

La escala de la Norma FEPA “P” va desde el P1200 que corresponde al grano más fino, hasta el P12 que corresponde al grano más grueso.

Tabla 18. Escala de tipos de lijas ANSA.

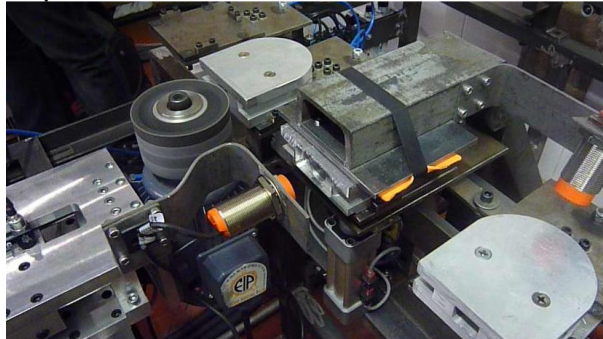
TAMAÑO PROMEDIO EN MICRONES	NORMAS DE GRADUACION		GRADUACION SIMPLIFICADA	TIPO DE OPERACION
	ANSI	FEPA "P"		
+ F I N O	15	600	P 1200	OPERACION DE PULIDO
	19	500	P 1000	
	23	400	P 800 P 600	
	28	360	P 600 P 500	
	35	320	P 500 P 400 P 360	
	43	280	P 360 P 320	
	52	240	P 280 P 240 P 220	
65	220		OPERACION DE ACABADO	
77	180	P 180		
92	150	P 150		
115	120	P 120	FINO	DESBASTE INTERMEDIO
141	100	P 100	MEDIANO	
190	80	P 80		
265	60	P 60	GRUESO	
350	50	P 50		
425	40	P 40	EXTRA GRUESO	DESBASTE PESADO
530	36	P 36		
630	30	P 30		
710	24	P 24		
+ G R U E S O	895	20	P 20	
	1310	16	P 16	
	1825	12	P 16	

Fuente: <http://sol.sodimac.cl:90/HUM.nsf/CDUNID/F4DEFD6EF6C22EBD85256C320054F4A5?OpenDocument&537QYK>

Según lo enunciado anteriormente en qué tipo de grano escoger, el tipo de graduación y basándonos en la tabla 16, entonces:

- El tipo de operación a realizar esta entre el rango de acabado y pulido.
- El tipo de grano está entre intermedio y fino.
- Según la norma ANSI y por consejos de expertos en el área, se decidió realizar el análisis con tres tipos de lijas de zirconio diferentes, las cuales son por nomenclatura 180, 220 y 240.

Figura 89. Pruebas de pulido.



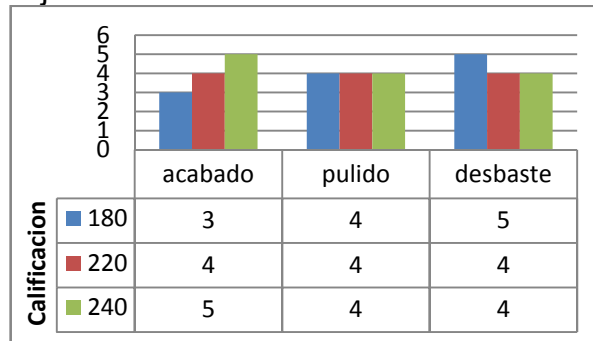
Evaluación de criterios de selección del mejor tipo de lija a utilizar, calificación de 1 a 5:

Tabla 19. Criterios de selección.

	180	220	240
<b>Acabado</b>	3	4	5
<b>Pulido</b>	4	4	4
<b>Desbaste</b>	5	4	4
<b>total</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>13</b>

Según las pruebas realizadas y según los datos obtenidos de estas, el tipo de lija más recomendado para esta operación es la de número 240. Ya que da un acabado excelente, un pulido bastante bueno y un desbaste adecuado.

Tabla 20. Evaluación lijas.



### 5.3 Máquina Finalizada.

Como conclusión al diseño ingenieril, análisis y proceso de construcción, la máquina finalizada es la siguiente.

Figura 90. Máquina completa en Catia V5.

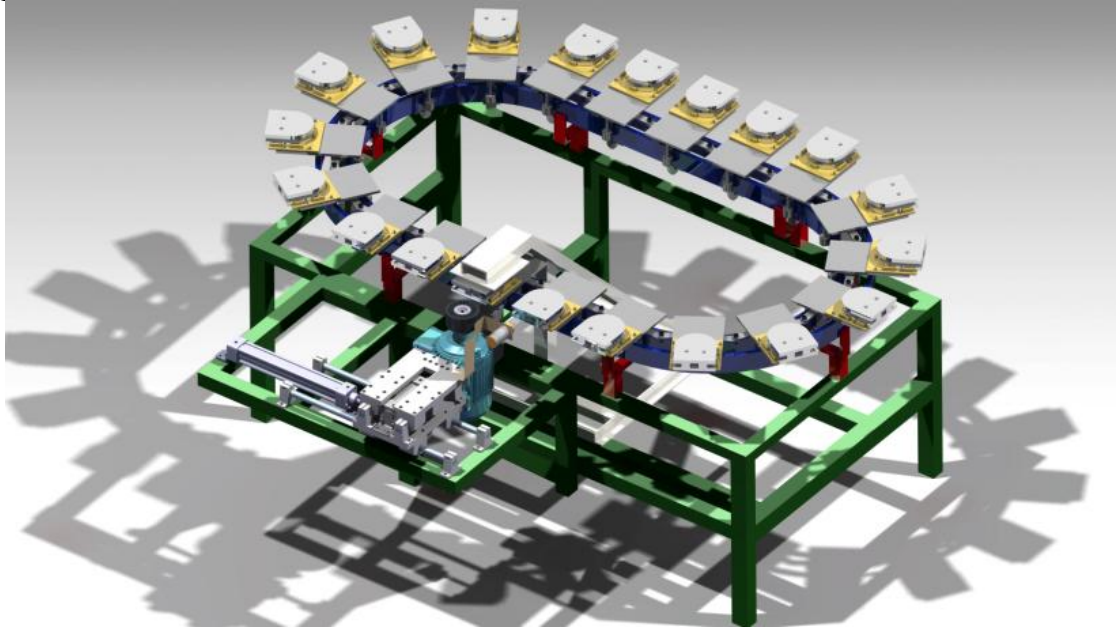


Figura 91. Máquina completa real.



## 6. CONCLUSIONES.

Después de recolectar todos los datos requeridos para el desarrollo del proyecto y realizar su respectivo análisis, se obtuvieron unos resultados que permiten describir las siguientes conclusiones:

- En cuanto al diseño del sistema de transporte de piezas, se encontró que el proceso de selección del sistema por el método de la matriz de calidad (QFD), fue el más eficiente de todos los métodos, ya que con este se incluyen, tanto los requerimientos técnicos, como los requerimientos de la empresa VEA & CIA LTDA patrocinadora del proyecto.
- En lo concerniente al proceso de doblado para realizar los rieles de la pista, se tomó la decisión de utilizar como materia prima para este proceso un perfil de acero calibrado en lugar de un tubo como se había dispuesto en principio, ya que en la investigación realizada en la empresa dobladora y curvadora de tubos CERCOL se observó, que al doblar el tubo este presentaba unas irregularidades en la curva, muchas veces hundimientos o rugosidades, los cuales ocasionarían un problema para el desplazamiento de los carros.
- El diseño mecánico seleccionado, resultó ser el más adecuado para el espacio disponible en el cuarto de pulido donde se encuentra el robot, ya que los otros diseños propuestos ocupaban más espacio que con el que se cuenta.
- En lo referente a la teoría de control, se presentan dos posibles soluciones, así tras una discusión de grupo optar por la más conveniente de acuerdo a la lógica de control, tipos de algoritmos a utilizar y que materiales o elementos de control final utilizar, dando como resultado el manejo e implementación de un PLC ya que ofrece estabilidad y confiabilidad de control, así mismo permitiendo por medio de una etapa de desacople controlar de manera externa el brazo robótico, de esta manera generado un control centralizado y más eficiente.
- Con respecto al diseño del sistema de control para el transporte de piezas, la investigación de cual podría ser el controlador más adecuado arrojó como resultado el LOGO! de Siemens, por varias razones, entre las cuales

están: el precio en el mercado, el número de entradas y salidas, existencias en bodega, dado que algunos de los otros controladores que se investigaron debían ser importados o traerlos de otra ciudad de Colombia, aumentando aun más su costo y tiempo de adquisición y finalmente el software de programación, ya que el LOGO! cuenta con un software sencillo de manejar, didáctico y cuenta con la herramienta de simulación, muy útil al momento de buscar errores en el código de programación o de verificación del proceso, sin tener la necesidad de programar el controlador para realizar las pruebas.

- En lo pertinente al sistema de pulido de la sexta cara de cada una de las piezas, se pudo identificar que para un correcto funcionamiento de la pulidora era necesario adicionar al sistema neumático encargado del movimiento de la pulidora, unas válvulas anti-retorno pilotadas en las entradas de aire del cilindro que aproxima el rodillo pulidor a las piezas, ya que en las pruebas iniciales resultó que el rodillo, aun con el bloqueo del cilindro, seguía avanzando lo que ocasionaría un pulido irregular en la sexta cara de la pieza, por este motivo se implementaron dichas válvulas que impedían el retorno del aire encerrado en el cilindro bloqueándolo por completo evitando que continúe moviéndose.
- En cuanto a la selección del tipo de lija más adecuado para la pulidora, resultó que los tipos de lijas organizadas de menor a mayor puntaje durante el experimento de pulido son las siguientes: lija tipo 220, tipo 180 y tipo 240, siendo esta última la más apta con una calificación de 13 puntos, valor que está por encima de las calificaciones de los otros tipos de lijas.
- En la inspección realizada al pulido de la pieza por la empresa VEA & CIA LTDA, resultó que con únicamente 2 pasadas de la pulidora es suficiente para obtener un buen acabado en las piezas y así mantener y hasta mejorar la calidad del producto.

## BIBLIOGRAFÍA

BEER Ferdinand y E. JOHNSTON Russell. Mecánica de materiales. Mc Graw Hill. Capitulo 9. Página 529.

BEER, Ferdinand y JOHNSTON Russell. 1999. Mecánica Vectorial para Ingenieros. Estática Editorial Mc Graw Hill. Pág. 349-369.

BEER JOHNSTON Dewolf. Mecánica de Materiales. Mc Graw Hill. Capitulo 10. Página 607 – 618.

BOLTON W., mecatronica, sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica. Editorial alfaomega Cap 1. Pagina 24 – 79

CHAPMAN Stheven, maquinas eléctricas, tercera edición. Mc graw hill capitulo 7 motores de inducción pag 387 – 443.

DEL RAZO, Hernández Adolfo, Sistemas Neumáticos e Hidráulicos: Apuntes de Teoría” Editorial: U.P.I.I.C.S.A, México D.F., 2001.

DEPERT W. y K. Stoll. Aplicaciones de Neumática Ed. Marcombo. España, Barcelona. P.p. 54-56, 87, 104 – 105, 124 - 129

DEPERT W. y K. Stoll. Dispositivo Neumáticos Ed. Marcombo Boixareu. España, Barcelona. Pag: 8

GUILLÉN Salvador, Antonio. Introducción a la Neumática Editorial: Marcombo, Boixerau editores, Barcelona-México 1988, p: 31 – 40

HIBBELER, R. C. 1992. Mecánica para Ingenieros. Estática. Editorial. Pág. 269-274.

PALLAS Ramon Areny, sensores y acondicionadores de señal, 3ra edición Editorial alfaomega , capitulo 1 pag 6 –49, capitulo 9 pag 382 421

PARKER Harry, 1991. Texto simplificado de Mecánica y Resistencia de Materiales. Editorial Limusa S.A. de C.V, México, DF. Pág. 149-168.

POPOV, E. (1996). Introducción a la mecánica de sólidos. México D.F., México: Editorial LIMUSA, S.A. de

SVOBODA y dorf, circuitos eléctricos, 5ta edición, Editorial alfaomega capitulo 12, circuitos trifásicos pag 534 – 554.

### **Paginas WEB consultadas**

<http://www.automotionconveyors.com/spanish/productos/transportadores/index.html>, consultada en julio de 2008

[http://www.dornerconveyors.com/conveyors/belt\\_conveyors.asp](http://www.dornerconveyors.com/conveyors/belt_conveyors.asp), consultada en julio de 2008

[http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica\\_cableada](http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica_cableada), consultada en enero de 2009

<http://www.controlsprinciples.co.uk/whitepapers/spanishwp/14ProgLogicSP.pdf>, consultada en enero de 2009

<http://www.edcousa.net/vacuum-training.html>, consultada Agosto de 2008

[http://portaleso.homelinux.com/usuarios/Toni/web\\_simbolos/unidad\\_simbolos\\_electricos\\_indice.html](http://portaleso.homelinux.com/usuarios/Toni/web_simbolos/unidad_simbolos_electricos_indice.html), consultada enero de 2009

<http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/Usrn/fisica/Recursos/flash2/rele.swf>, consultada en febrero de 2009

<http://www.monografias.com/trabajos31/transductores-sensores/transductores-sensores.shtml>, consultada en enero de 2009

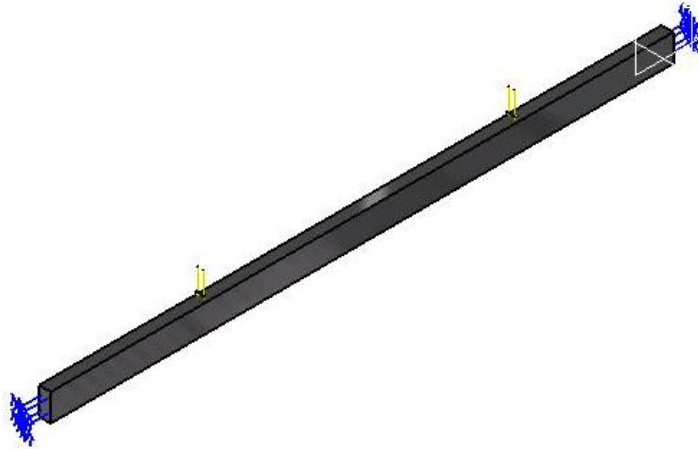
<http://www.directindustry.fr/prod/mepsa/polisseuse-rectifieuse-22721-55264.html>, consultada en junio de 2008

## **ANEXOS**

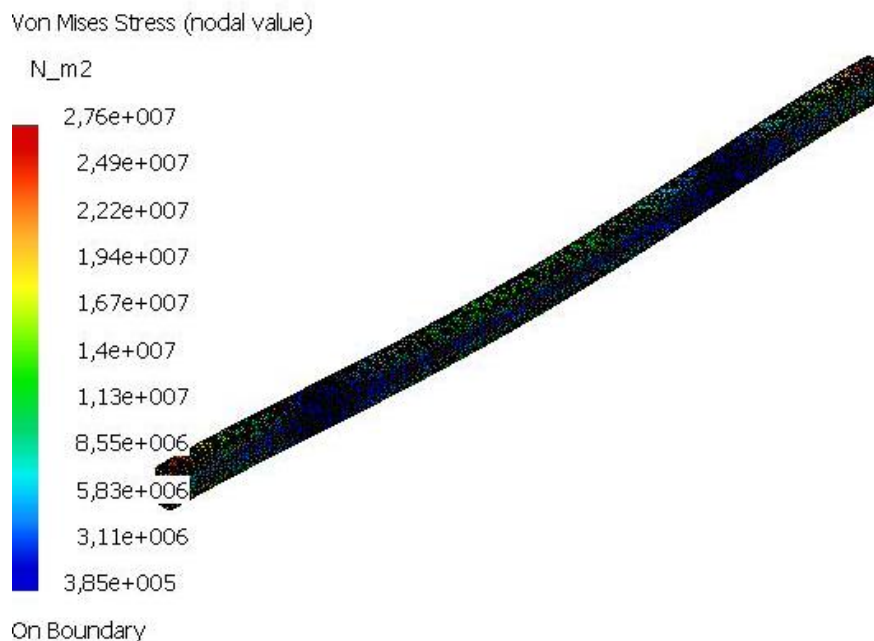
## ANEXO A. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS EN EL SOFTWARE CATIA

Con el fin de comprobar los datos calculados durante la etapa de diseño de la máquina, se realizaron simulaciones en CATIA de cada una de las partes que conforman la máquina, perfiles de la pista, de los carros con sus respectivos ejes, de los soportes de la pista y demás partes que conforman la máquina.

**Perfil de la pista:** En la siguiente figura se puede observar el perfil que va a formar la pista ovalada por donde se desplazaran los carros. Sobre este perfil recae el peso de los carros y adicionalmente el peso de cada una de las piezas que lleva consigo cada carro.

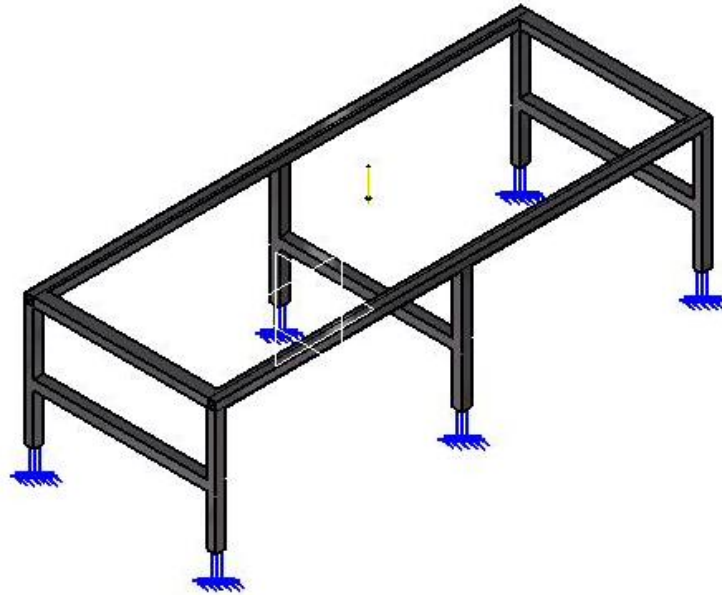


Aquí se muestra la carga distribuida sobre la viga, según los parámetros iniciales y sus dimensiones.

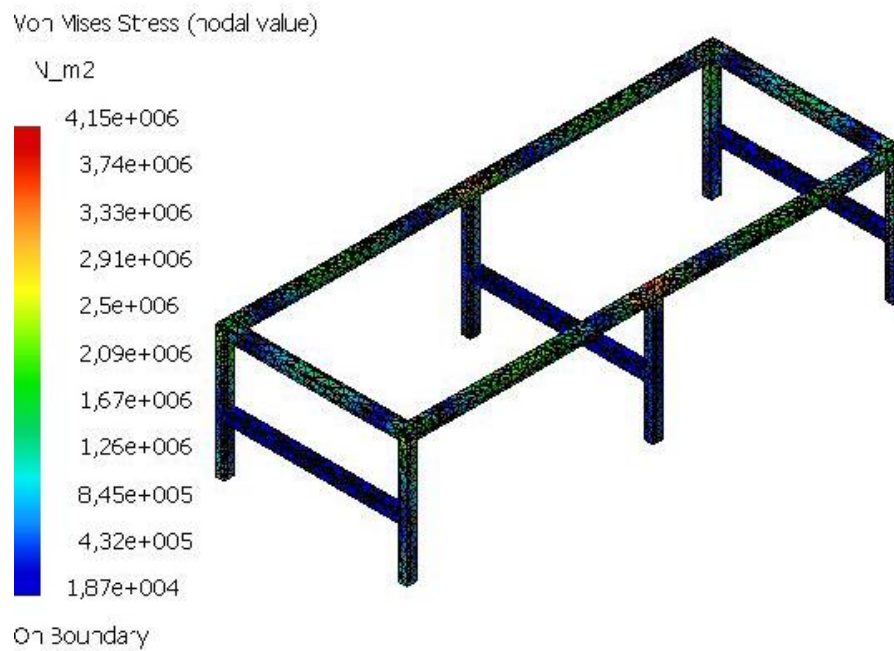


Este fue el análisis de deformación arrojado por el software, en el cual según la escala nos muestra las partes de más probabilidad de falla.

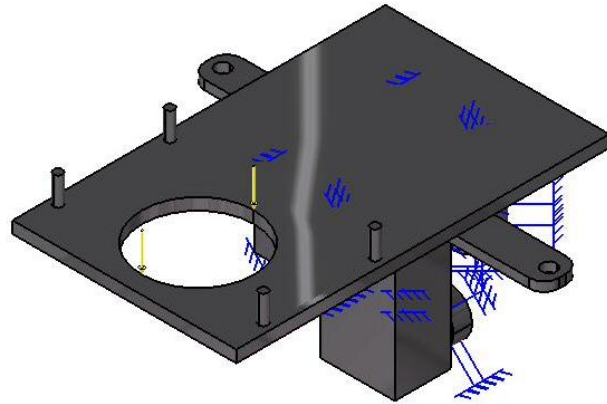
## Análisis de la mesa:



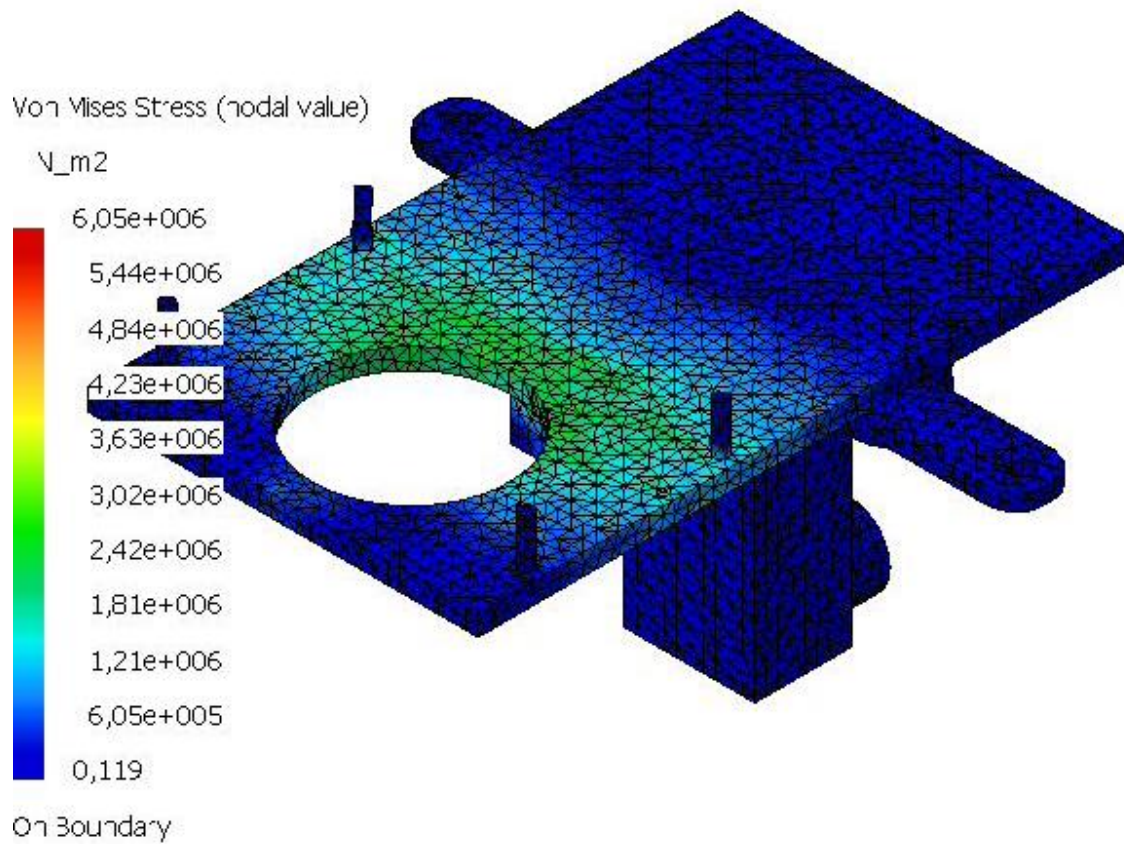
Aquí se muestra el análisis estático de la mesa, según las condiciones evaluadas en el cálculo del perfil realizado en capítulo de diseño ingenieril.



## Análisis carro

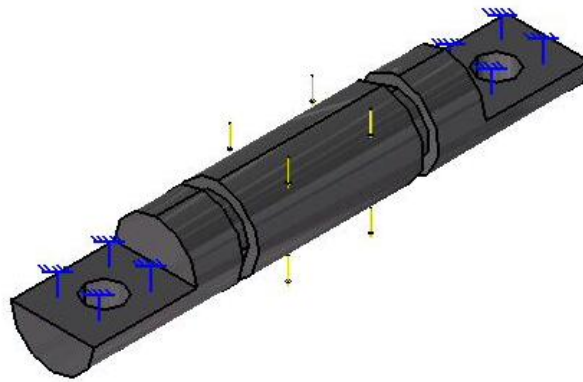


Aquí se muestra la carga distribuida sobre la viga, según los parámetros iniciales y sus dimensiones.



**Análisis ejes del carro más críticos:**

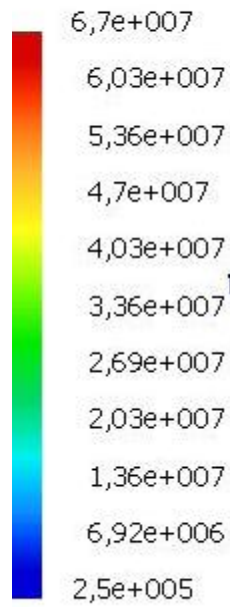
**Eje # 1:**



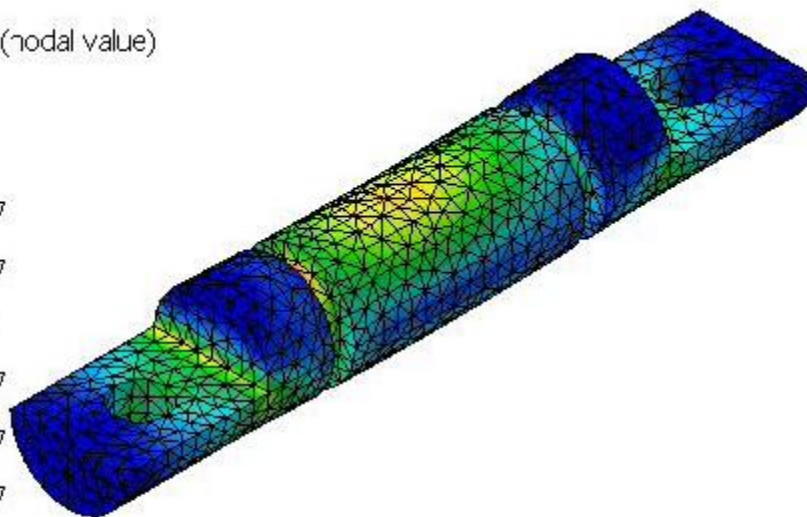
Aquí se muestra la carga distribuida sobre la viga, según los parámetros iniciales y sus dimensiones.

Von Mises Stress (nodal value)

$\sqrt{m2}$



On Boundary



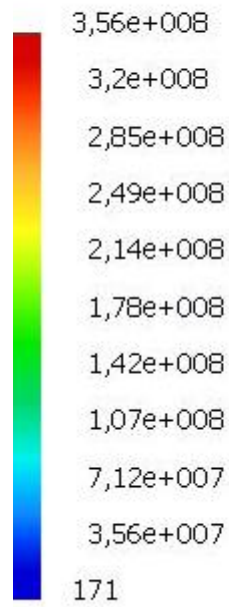
## Eje # 2



Aquí se muestra la carga distribuida sobre la viga, según los parámetros iniciales y sus dimensiones.

von Mises Stress (nodal value)

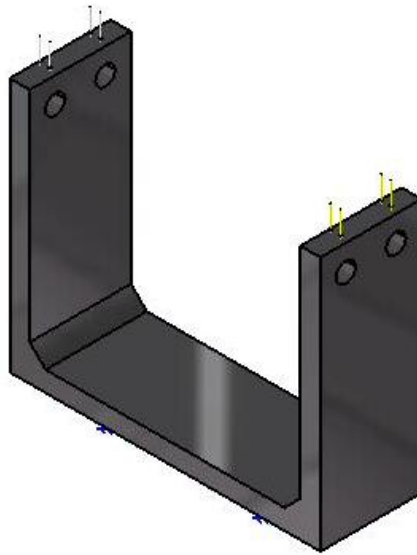
$\sqrt{m2}$



On Boundary



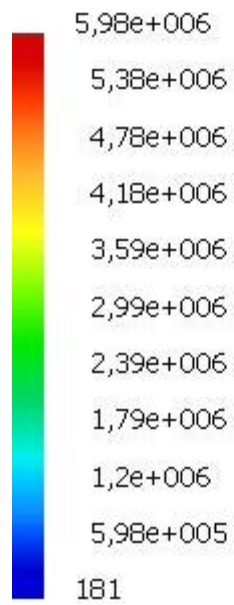
## Análisis soporte pista U



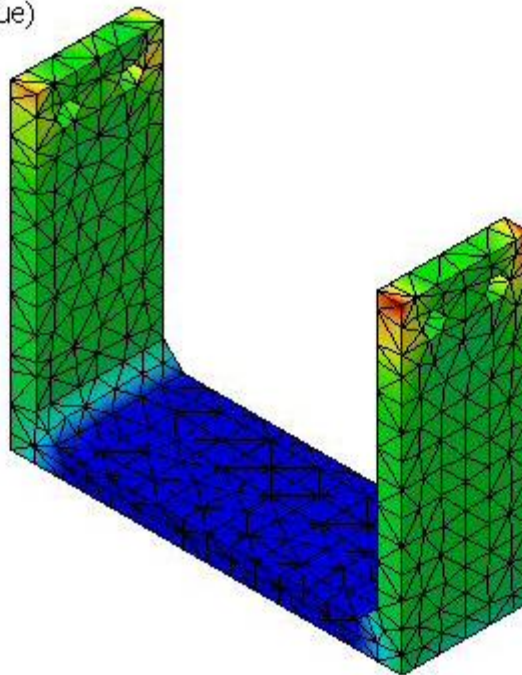
Aquí se muestra la carga distribuida sobre la viga, según los parámetros iniciales y sus dimensiones.

Von Mises Stress (nodal value)

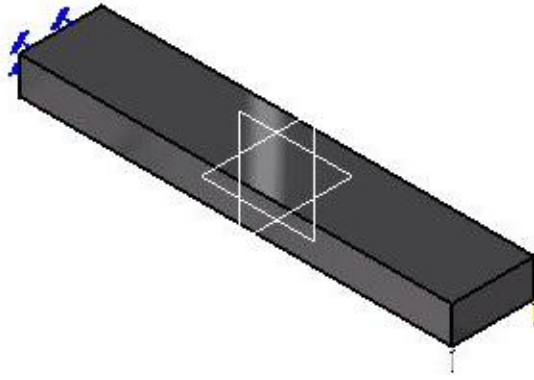
N\_m2



On Boundary



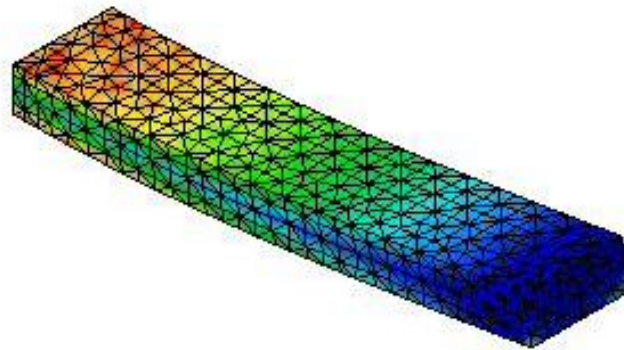
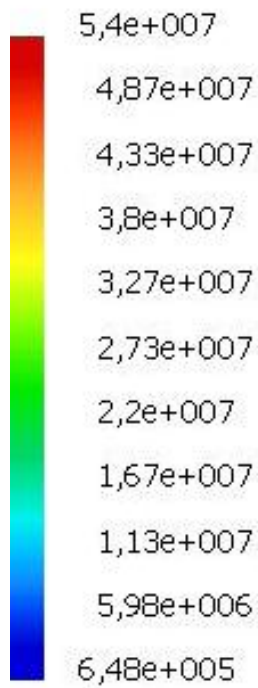
## Análisis unión prensa:



aquí se muestra la carga distribuida sobre la viga, según los parámetros iniciales y sus dimensiones.

Von Mises Stress (nodal value)

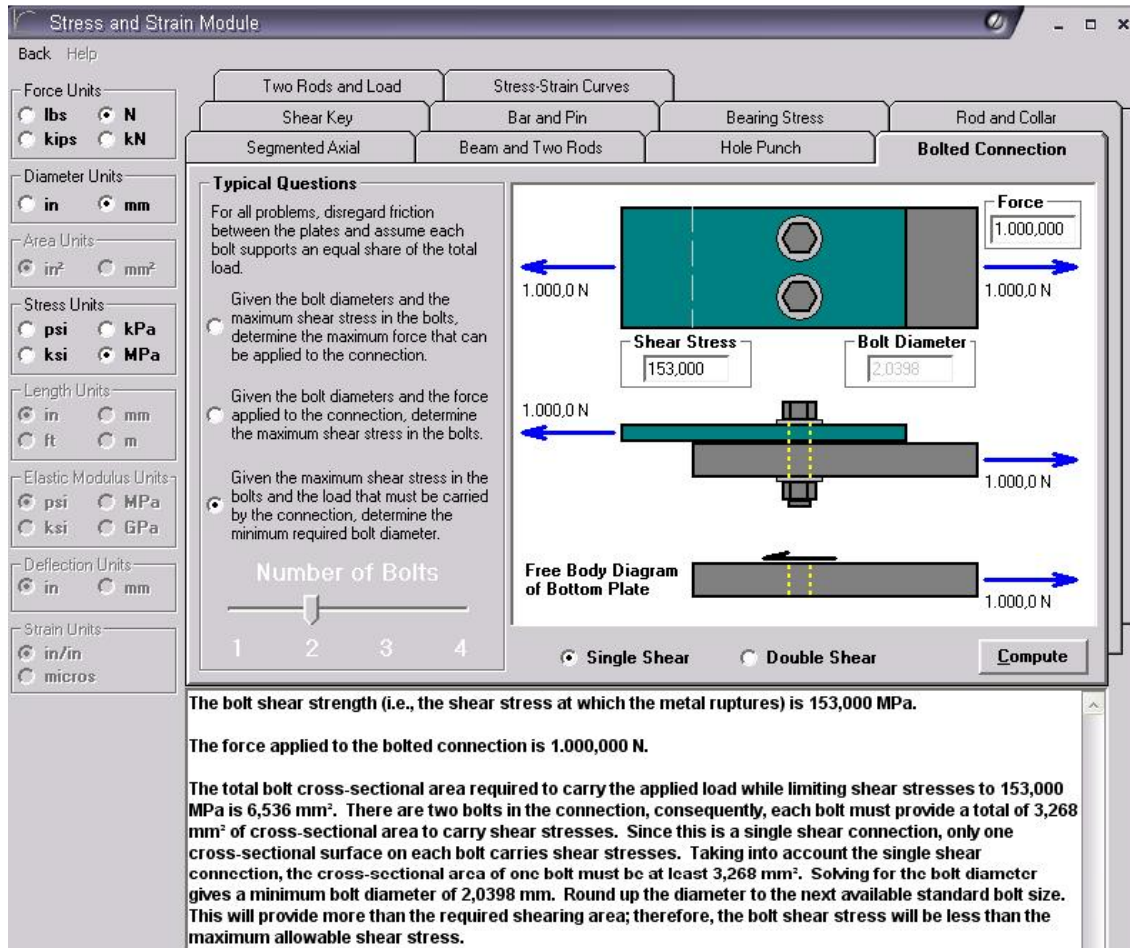
N\_m2



On Boundary

## ANEXO B. ANÁLISIS DE LOS TORNILLOS POR EL SOFTWARE MD SOLID.

En el software md solid existe un modulo que se llama stress – strain, en el cual hay una pestana que se denomina bolted connection, en esta pestana ahí tres opciones, de las cuales se escogió la número 3 la cual hace referencia a dar la deformación admisible y la fuerza aplicada según el diseño ingenieril, y así arrojar el diámetro mínimo de los tornillos. Según esta explicación en la figura 1 de este anexo se muestra el análisis de este resultado.



Stress and Strain Module

Back Help

Force Units:  lbs  N  kips  kN

Diameter Units:  in  mm

Area Units:  in<sup>2</sup>  mm<sup>2</sup>

Stress Units:  psi  kPa  ksi  MPa

Length Units:  in  mm  ft  m

Elastic Modulus Units:  psi  MPa  ksi  GPa

Deflection Units:  in  mm

Strain Units:  in/in  micros

Two Rods and Load Stress-Strain Curves

Shear Key Bar and Pin Bearing Stress Rod and Collar

Segmented Axial Beam and Two Rods Hole Punch Bolted Connection

**Typical Questions**

For all problems, disregard friction between the plates and assume each bolt supports an equal share of the total load.

Given the bolt diameters and the maximum shear stress in the bolts, determine the maximum force that can be applied to the connection.

Given the bolt diameters and the force applied to the connection, determine the maximum shear stress in the bolts.

Given the maximum shear stress in the bolts and the load that must be carried by the connection, determine the minimum required bolt diameter.

Number of Bolts: 1 2 3 4

Force: 1,000,000

1,000,0 N 1,000,0 N

Shear Stress: 153,000 Bolt Diameter: 2,0398

1,000,0 N 1,000,0 N

Free Body Diagram of Bottom Plate

1,000,0 N

Single Shear  Double Shear Compute

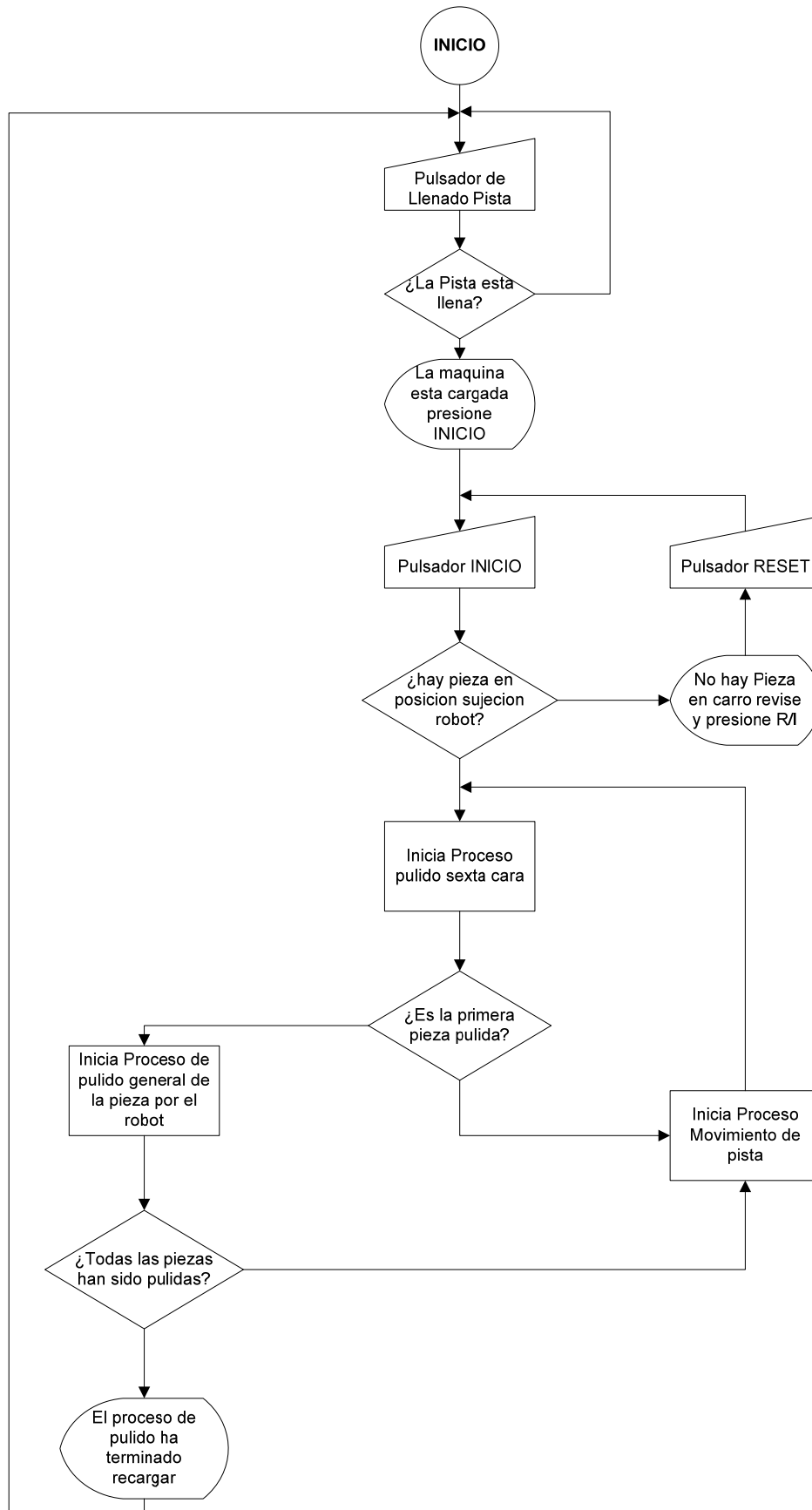
The bolt shear strength (i.e., the shear stress at which the metal ruptures) is 153,000 MPa.

The force applied to the bolted connection is 1,000,000 N.

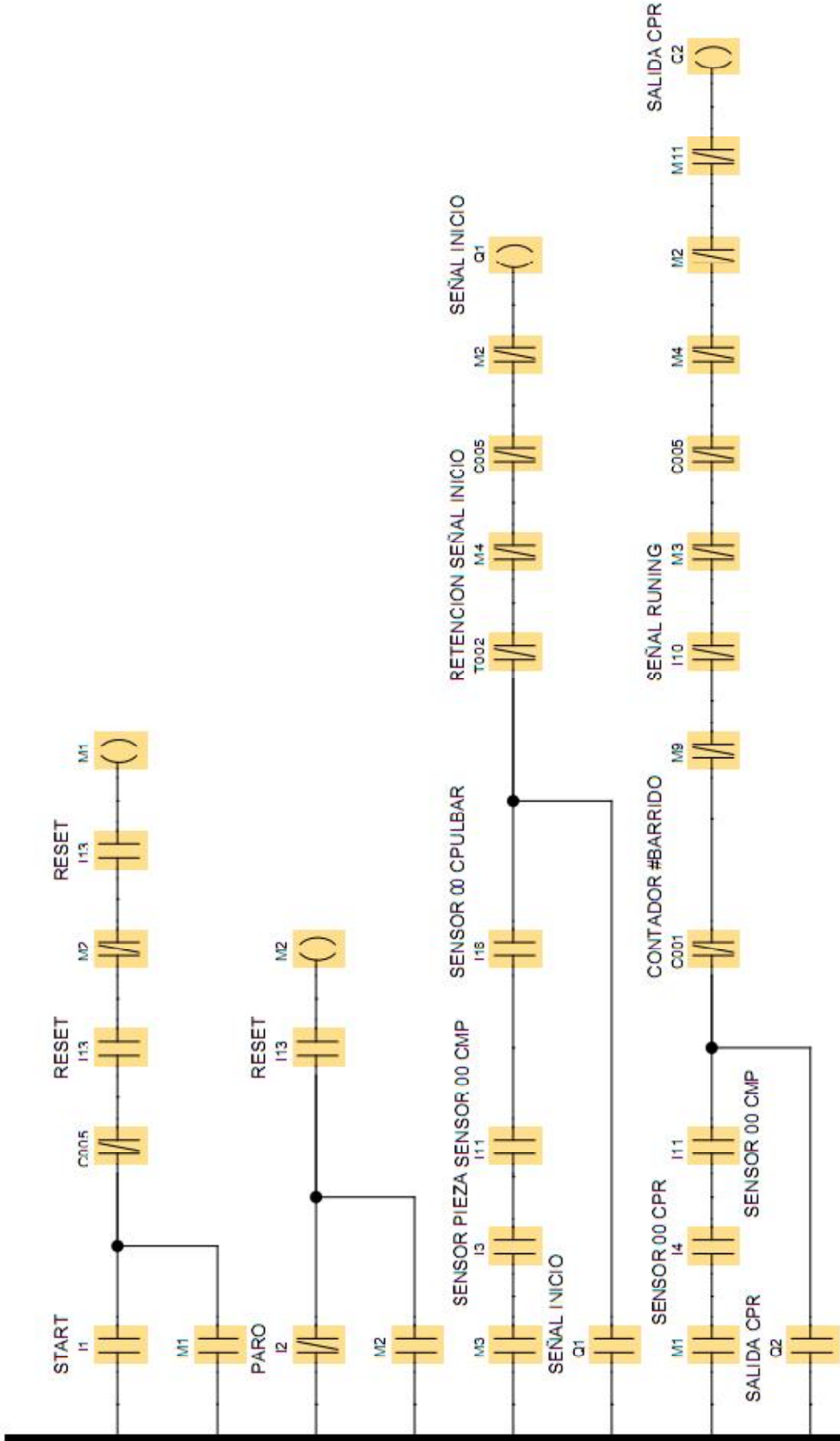
The total bolt cross-sectional area required to carry the applied load while limiting shear stresses to 153,000 MPa is 6,536 mm<sup>2</sup>. There are two bolts in the connection, consequently, each bolt must provide a total of 3,268 mm<sup>2</sup> of cross-sectional area to carry shear stresses. Since this is a single shear connection, only one cross-sectional surface on each bolt carries shear stresses. Taking into account the single shear connection, the cross-sectional area of one bolt must be at least 3,268 mm<sup>2</sup>. Solving for the bolt diameter gives a minimum bolt diameter of 2,0398 mm. Round up the diameter to the next available standard bolt size. This will provide more than the required shearing area; therefore, the bolt shear stress will be less than the maximum allowable shear stress.

Figura (1)

## ANEXO C. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.



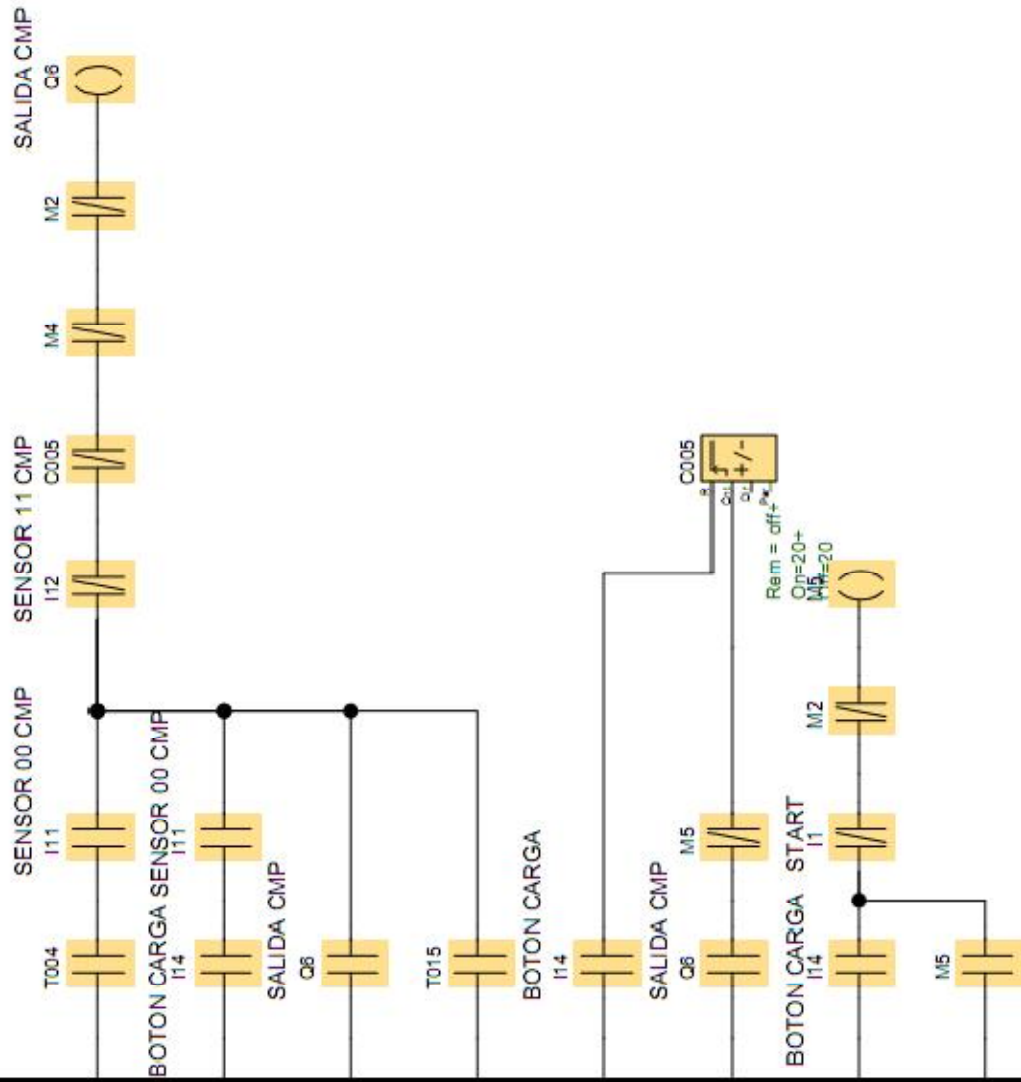
**ANEXO D. PROGRAMA DE CONTROL EN KOP.**



Autor:	Julian Martin	VEA & CIA Ltda	Cliente:	VEA & CIA Ltda
Comprobado:	Julian Martin		Nº diagrama:	1
Creado/Modificado:	8/01/03 18:08:30/04/09 18:28		Página:	11/9
Proyecto:	Sistema de carga de piezas			
Instalación:	Tesis			
archivo:	TESIS4 FINAL.D			

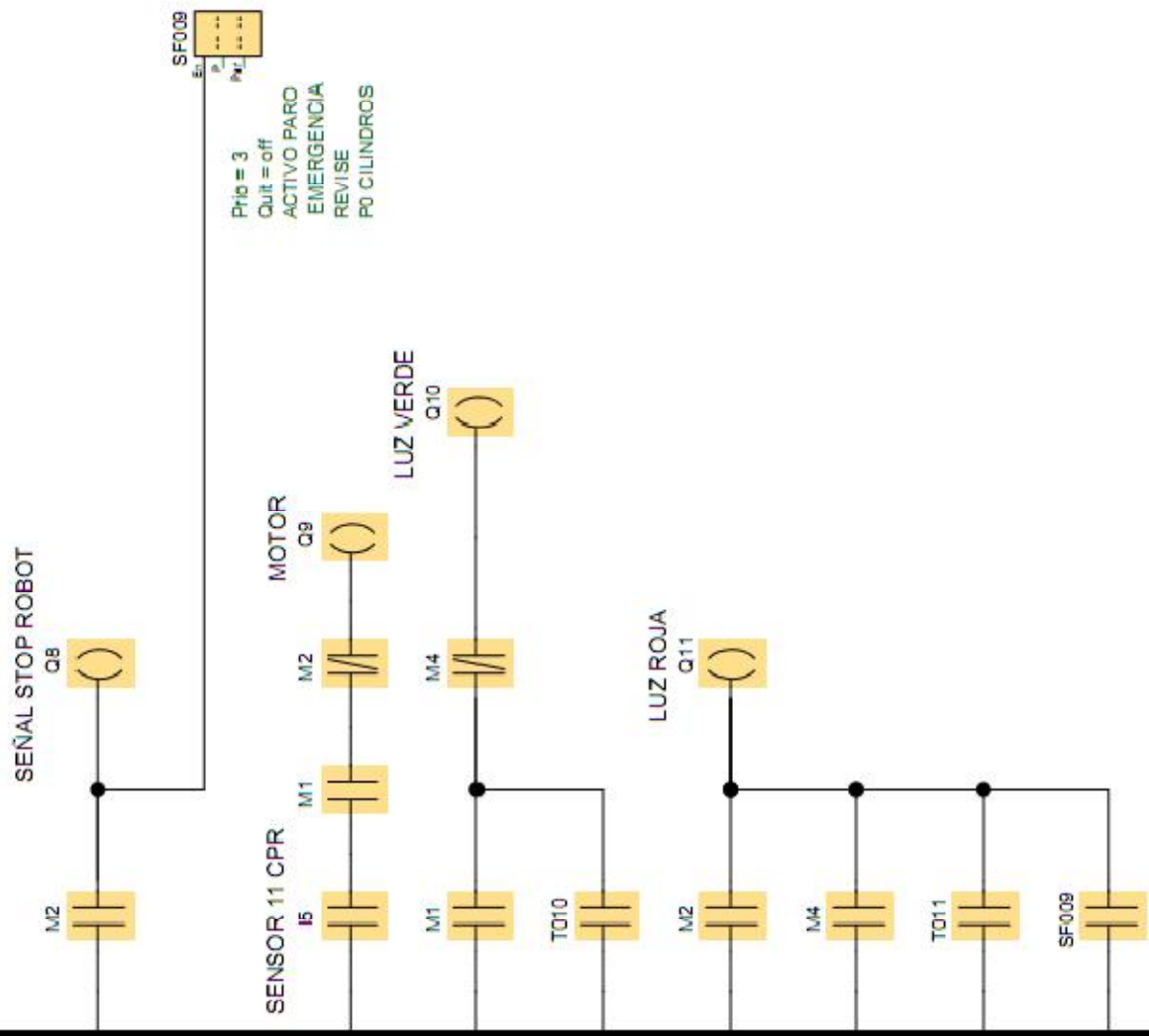






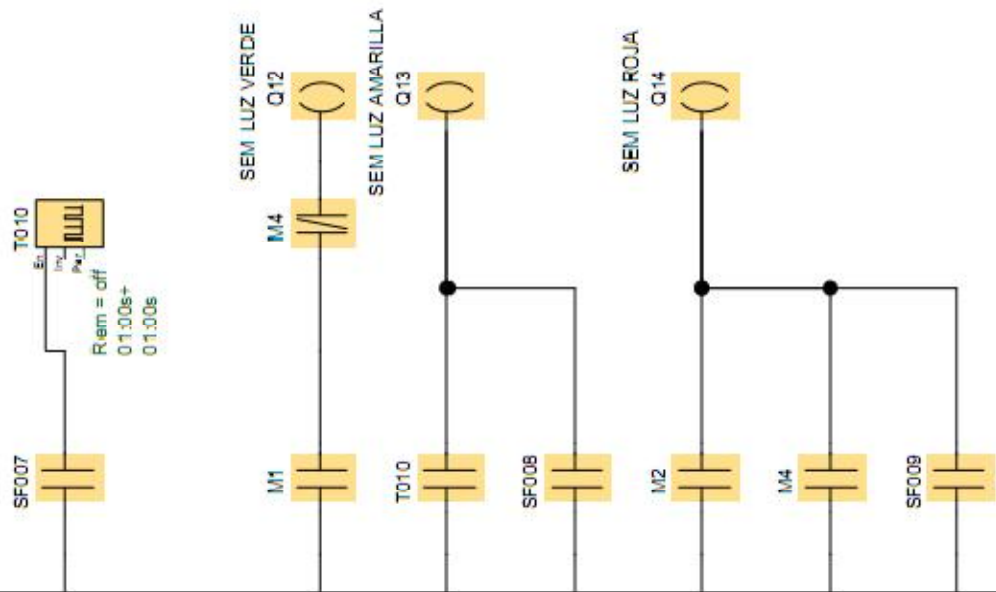
Autor:	Julian Martin	Proyecto:	Sistema de carga de piezas	Ciente:	VEA & CIA Ltda
Comprobado:	Julian Martin	Instalación:	Teiss	Nº diagrama:	1
Creado/Modificado:	8/01/09 18:08/30/04/09 16:28	archivo:	TEISS4.FINAL.Ltd	Página:	4 / 9



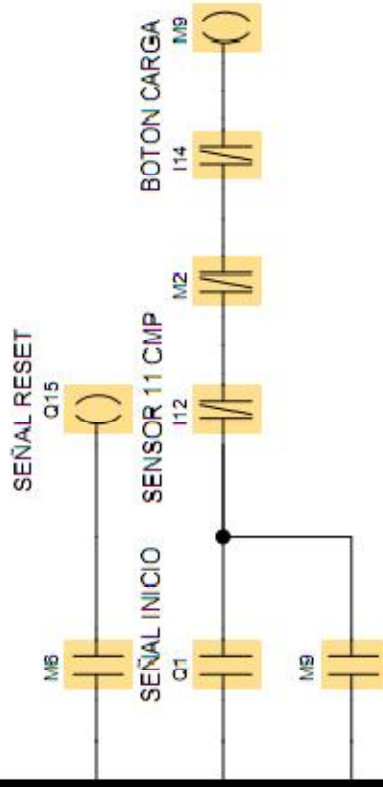
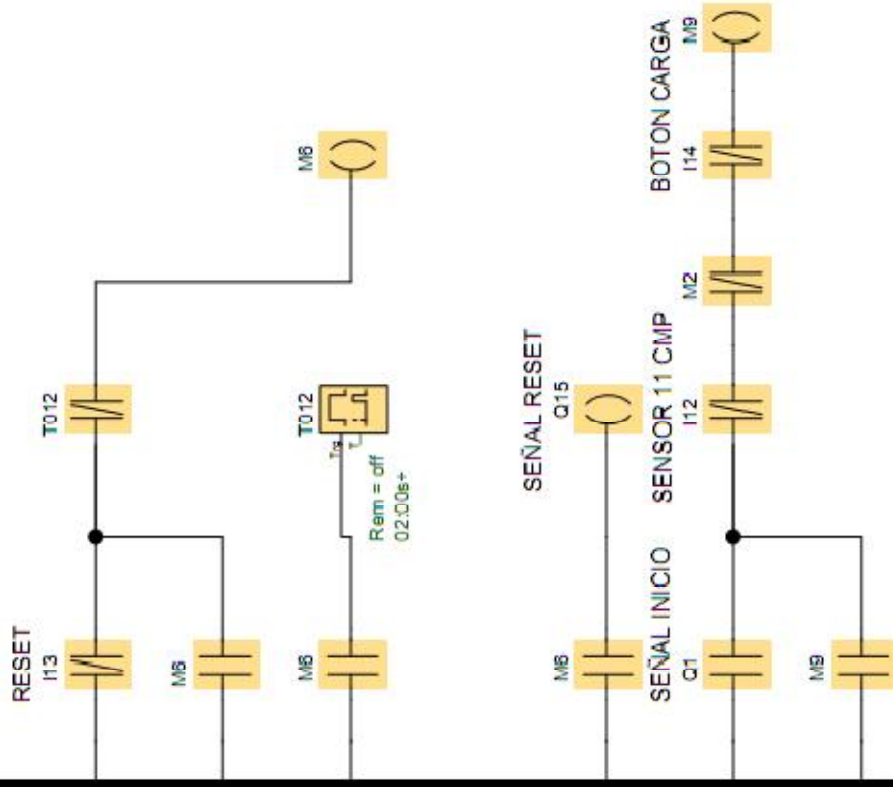
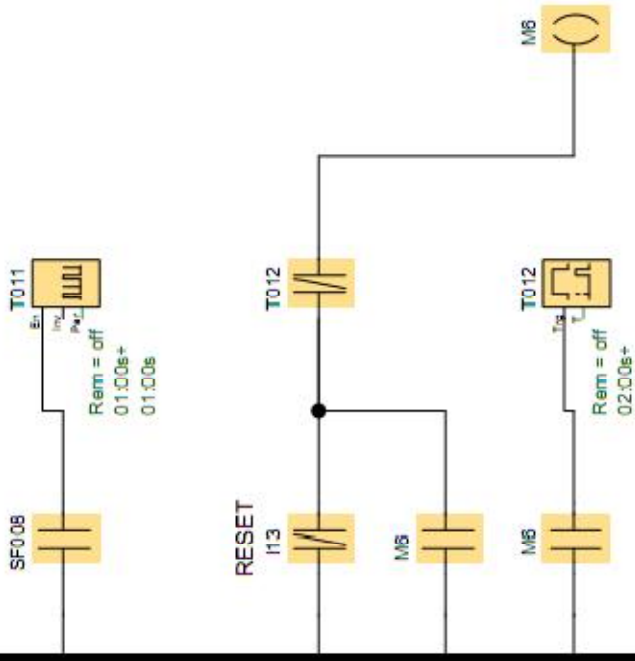


Prio = 3  
 Quit = off  
 ACTIVO PARO  
 EMERGENCIA  
 REVISE  
 P0 CILINDROS

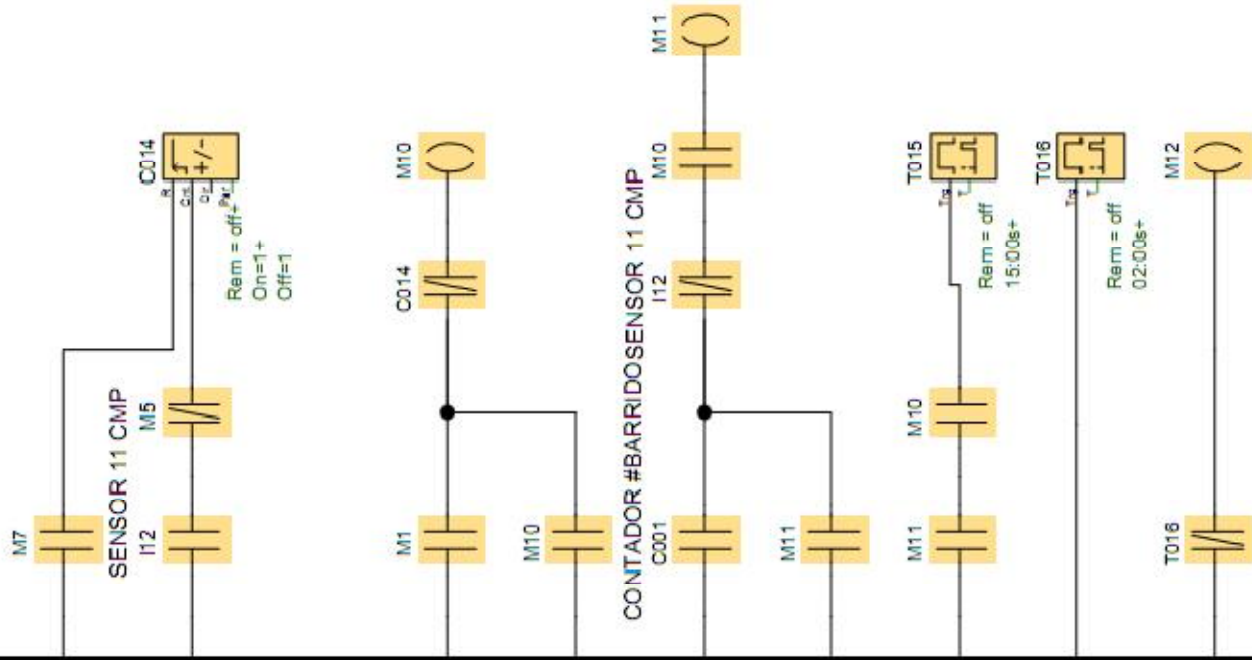
Autor:	Julian Martin	Proyecto:	Sistema de carga de piezas	Ciente:	VEA & CIA Lda
Comprobado:	Julian Martin	Instalación:	Tesis	Nº diagrama:	1
Creado/Modificado:	8/01/09 18:08:00/04/09 18:28	Archivo:	TESIS4 FINAL.rtd	Página:	8 / 9



Autor:	Julian Marin	VEA & CIA Lda	Proyecto:	Sistema de carga de piezas	Ciudad:	VEA & CIA Lda
Comprobado:	Julian Marin	VEA & CIA Lda	Instalación:	Tesis	Nº de página:	1
Creado/Modificado:	8/01/09 15:08:30/04/09 18:28	VEA & CIA Lda	archivo:	TESIS4.FINAL.LID	Página:	7 / 9



Autor:	Julian Martin	Proyector:	Sistema de carga de piezas	Ciente:	VEA & CIA Lda
Comprobado:	Julian Martin	Instalación:	Tesis	Nº diagrama:	1
Creado/Modificado:	8/0 10/9 18:08:30:04/09 18:28	Archivo:	TESIS-FINAL.Ltd	Página:	8 / 9

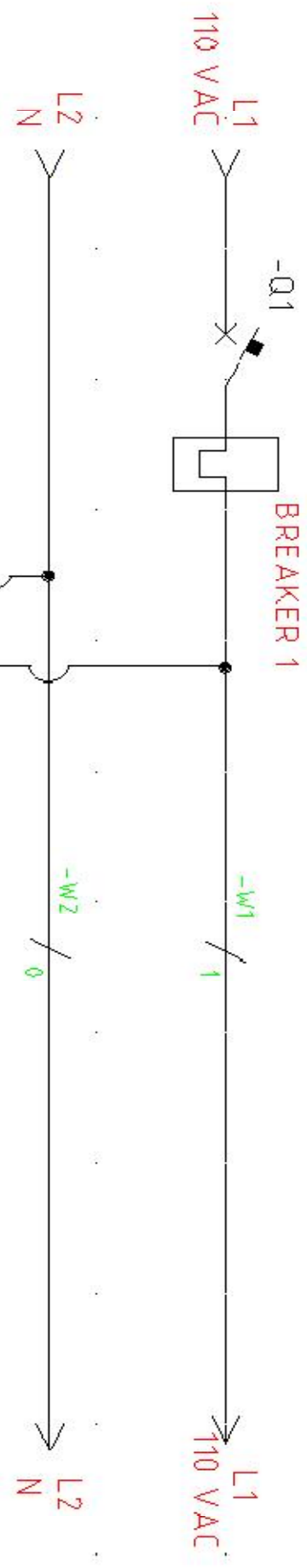
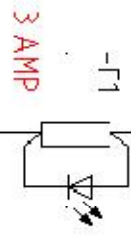
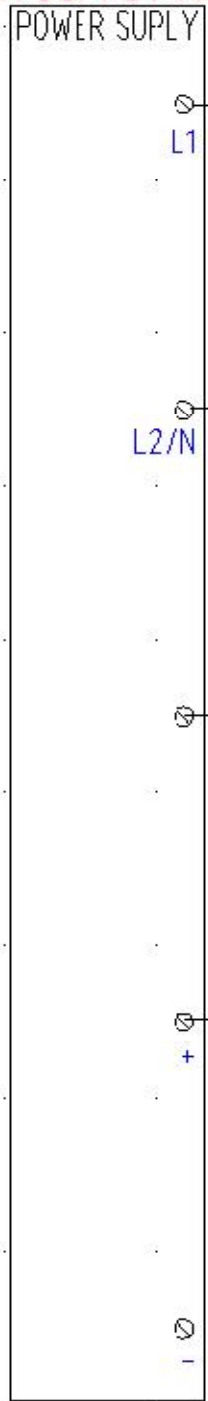


Autz:	Julian Martin	Proyecto:	Sistema de carga de piezas	Ciente:	VEA & CIA Ltda
Comprobado:	Julian Martin	Instalación:	Tesis	Nº diagrama:	1
Creado/Modificado:	8/01/09 16:08:00/04/09 16:28	archivo:	TESIS4_FINAL.rtd	Página:	9 / 9

**ANEXO E. PLANOS DE CONEXIONADO ELÉCTRICO.**

OMRON  
CPM2C-PA201  
MODULE 1

POWER SUPPLY MODULE



1	1037
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	

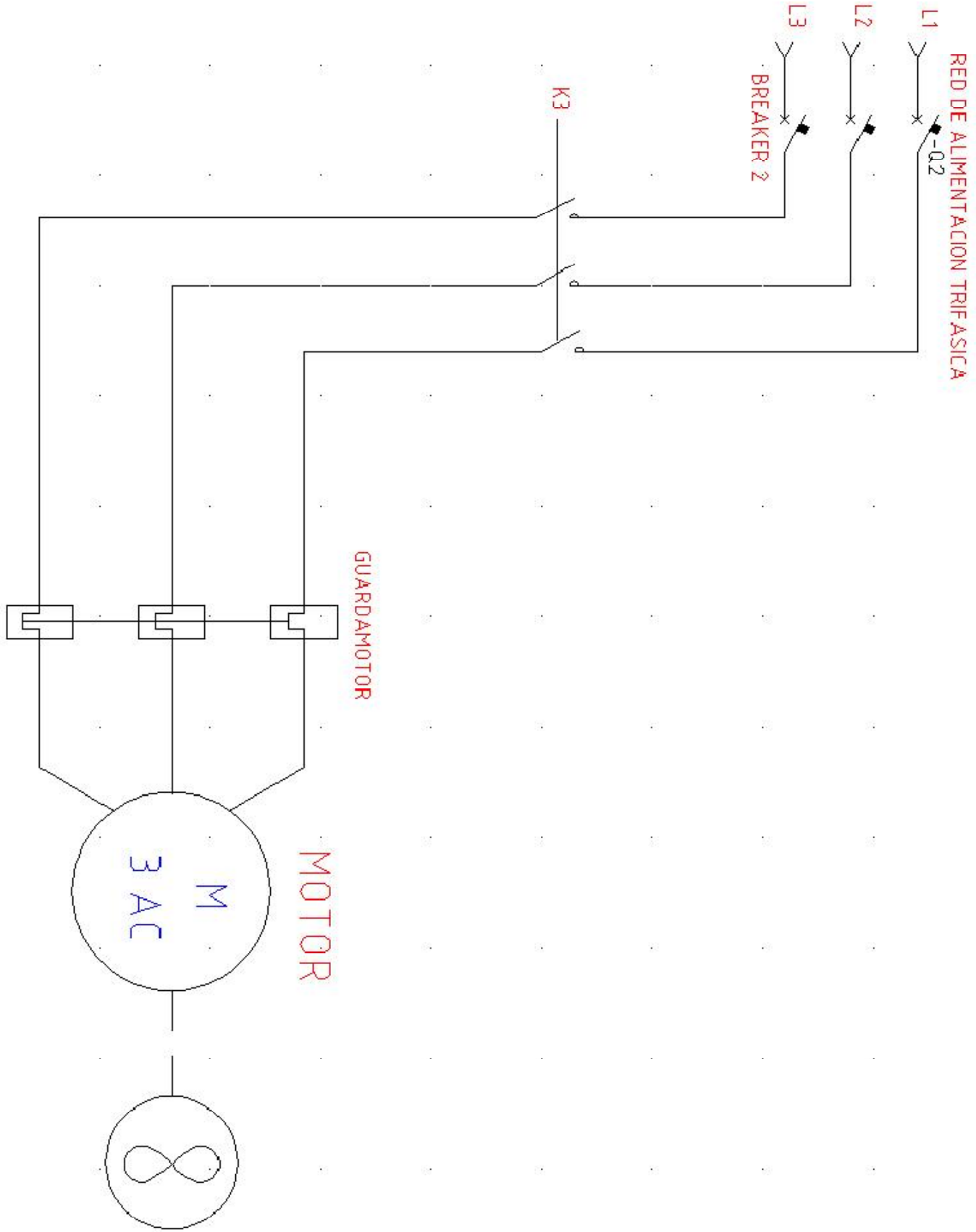










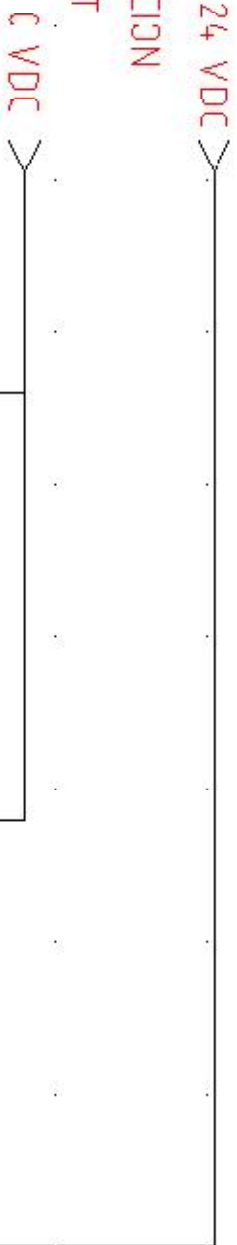


PLANO DE CONEXION MOTOR

NO. DE DISEÑO	8
FECHA	6 DE 7
PROYECTADO POR	
REVISADO POR	
APROBADO POR	
OTROS DATOS	



**FUENTE DE ALIMENTACION  
INTERNA DEL ROBOT**



**OBSERVACIONES:**

LA SERIAL DE ACTIVACION DE LOS CONECTORES B1, E1 ES DE 0 VDC SEGUN LAS ESPECIFICACIONES DEL CONTROLADOR DEL ROBOT, ASI MISMO LA SERIAL DE EL CONECTOR B8 ES DE 0 VDC.

ESPECIFICANDO QUE LOS CONECTORES B1 Y E1 SON ENTRACAS ASIGANDAS PFR EL CONTROLADOR Y QUE B8 ES UNA SALIDA ASIGNADA ASI MISMO POR EL CONTROLADOR DEL ROBOT.

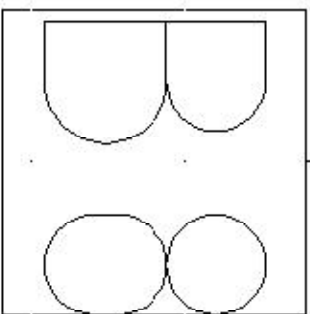
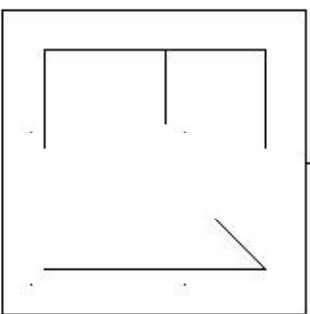
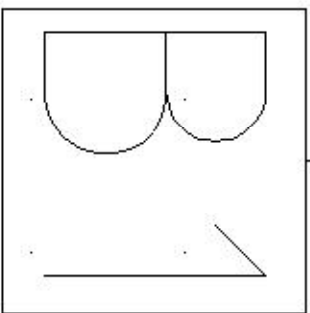
LOS CONECTORES B1 Y E1 HACEN PARTE DE LA TARGETA INTERNA DEL CONTROLADOR DEL ROBO- DENDIMNADA UN12.

EL CONECTOR E1 HACE PARTE DE LA TARJETA INTERNA DEL CONTROLADOR DEL ROBO- DENDIMNADA CN05.

ACTIVACION  
EXTERNA  
ROBOT

ACTIVACION  
PARO EMERGENCIA  
EXTERNO

SEÑAL  
RUNING



14 00 04 001204 ROBOT

CONTROLES DEL  
CONTROLADOR  
DEL ROBO-  
DENDIMNADA  
CN05

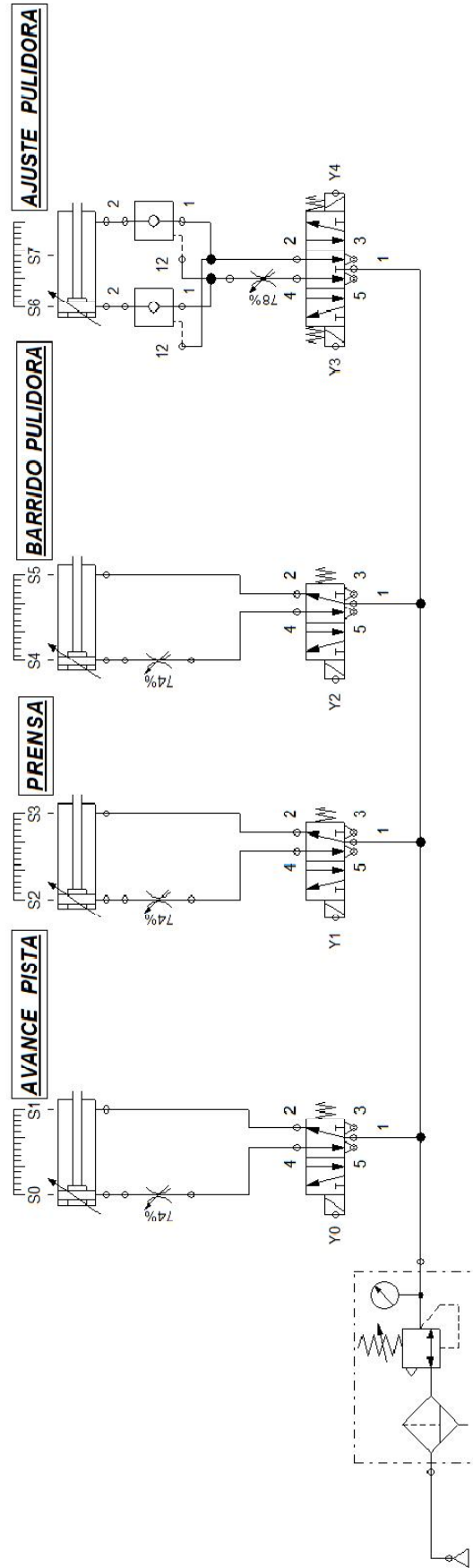
NO.	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD
1	PLACA DE CONTROL	1	PCB
2	PLACA DE CONTROL	1	PCB
3	PLACA DE CONTROL	1	PCB
4	PLACA DE CONTROL	1	PCB
5	PLACA DE CONTROL	1	PCB
6	PLACA DE CONTROL	1	PCB
7	PLACA DE CONTROL	1	PCB
8	PLACA DE CONTROL	1	PCB
9	PLACA DE CONTROL	1	PCB
10	PLACA DE CONTROL	1	PCB
11	PLACA DE CONTROL	1	PCB
12	PLACA DE CONTROL	1	PCB
13	PLACA DE CONTROL	1	PCB
14	PLACA DE CONTROL	1	PCB
15	PLACA DE CONTROL	1	PCB
16	PLACA DE CONTROL	1	PCB
17	PLACA DE CONTROL	1	PCB
18	PLACA DE CONTROL	1	PCB
19	PLACA DE CONTROL	1	PCB
20	PLACA DE CONTROL	1	PCB
21	PLACA DE CONTROL	1	PCB
22	PLACA DE CONTROL	1	PCB
23	PLACA DE CONTROL	1	PCB
24	PLACA DE CONTROL	1	PCB
25	PLACA DE CONTROL	1	PCB
26	PLACA DE CONTROL	1	PCB
27	PLACA DE CONTROL	1	PCB
28	PLACA DE CONTROL	1	PCB
29	PLACA DE CONTROL	1	PCB
30	PLACA DE CONTROL	1	PCB
31	PLACA DE CONTROL	1	PCB
32	PLACA DE CONTROL	1	PCB
33	PLACA DE CONTROL	1	PCB
34	PLACA DE CONTROL	1	PCB
35	PLACA DE CONTROL	1	PCB
36	PLACA DE CONTROL	1	PCB
37	PLACA DE CONTROL	1	PCB
38	PLACA DE CONTROL	1	PCB
39	PLACA DE CONTROL	1	PCB
40	PLACA DE CONTROL	1	PCB
41	PLACA DE CONTROL	1	PCB
42	PLACA DE CONTROL	1	PCB
43	PLACA DE CONTROL	1	PCB
44	PLACA DE CONTROL	1	PCB
45	PLACA DE CONTROL	1	PCB
46	PLACA DE CONTROL	1	PCB
47	PLACA DE CONTROL	1	PCB
48	PLACA DE CONTROL	1	PCB
49	PLACA DE CONTROL	1	PCB
50	PLACA DE CONTROL	1	PCB
51	PLACA DE CONTROL	1	PCB
52	PLACA DE CONTROL	1	PCB
53	PLACA DE CONTROL	1	PCB
54	PLACA DE CONTROL	1	PCB
55	PLACA DE CONTROL	1	PCB
56	PLACA DE CONTROL	1	PCB
57	PLACA DE CONTROL	1	PCB
58	PLACA DE CONTROL	1	PCB
59	PLACA DE CONTROL	1	PCB
60	PLACA DE CONTROL	1	PCB
61	PLACA DE CONTROL	1	PCB
62	PLACA DE CONTROL	1	PCB
63	PLACA DE CONTROL	1	PCB
64	PLACA DE CONTROL	1	PCB
65	PLACA DE CONTROL	1	PCB
66	PLACA DE CONTROL	1	PCB
67	PLACA DE CONTROL	1	PCB
68	PLACA DE CONTROL	1	PCB
69	PLACA DE CONTROL	1	PCB
70	PLACA DE CONTROL	1	PCB
71	PLACA DE CONTROL	1	PCB
72	PLACA DE CONTROL	1	PCB
73	PLACA DE CONTROL	1	PCB
74	PLACA DE CONTROL	1	PCB
75	PLACA DE CONTROL	1	PCB
76	PLACA DE CONTROL	1	PCB
77	PLACA DE CONTROL	1	PCB
78	PLACA DE CONTROL	1	PCB
79	PLACA DE CONTROL	1	PCB
80	PLACA DE CONTROL	1	PCB
81	PLACA DE CONTROL	1	PCB
82	PLACA DE CONTROL	1	PCB
83	PLACA DE CONTROL	1	PCB
84	PLACA DE CONTROL	1	PCB
85	PLACA DE CONTROL	1	PCB
86	PLACA DE CONTROL	1	PCB
87	PLACA DE CONTROL	1	PCB
88	PLACA DE CONTROL	1	PCB
89	PLACA DE CONTROL	1	PCB
90	PLACA DE CONTROL	1	PCB
91	PLACA DE CONTROL	1	PCB
92	PLACA DE CONTROL	1	PCB
93	PLACA DE CONTROL	1	PCB
94	PLACA DE CONTROL	1	PCB
95	PLACA DE CONTROL	1	PCB
96	PLACA DE CONTROL	1	PCB
97	PLACA DE CONTROL	1	PCB
98	PLACA DE CONTROL	1	PCB
99	PLACA DE CONTROL	1	PCB
100	PLACA DE CONTROL	1	PCB

Autodesk



**ANEXO F. DIAGRAMA DE CONEXIÓN NEUMÁTICO Y DIAGRAMA DE ESTADOS.**

# SIMULACION PROCESO TESIS - ROBOT - ALIMENTADOR



# DIAGRAMA DE ESTADOS

Denominación del componente	Marca	0 5 10 15 20 25 30 35
Cilindro doble efecto	AVANCE PISTA	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 5px;">200</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 5px;"> <div style="margin-right: 5px;">100</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 5px;"> <div style="margin-right: 5px;">mm</div> </div>
Cilindro doble efecto	PRENSA	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 5px;">50</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 5px;"> <div style="margin-right: 5px;">25</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 5px;"> <div style="margin-right: 5px;">mm</div> </div>
Cilindro doble efecto	BARRIDO PULIDORA	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 5px;">250</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 5px;"> <div style="margin-right: 5px;">125</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 5px;"> <div style="margin-right: 5px;">mm</div> </div>
Cilindro doble efecto	AJUSTE PULIDORA	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="margin-right: 5px;">50</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 5px;"> <div style="margin-right: 5px;">25</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 5px;"> <div style="margin-right: 5px;">mm</div> </div>

## **ANEXO G. RODAMIENTOS CARROS.**

## Cargas equivalentes y vida nominal

Se ha tenido el máximo cuidado para garantizar la exactitud de este cálculo, pero no se acepta ninguna responsabilidad por pérdidas o daños, ya sean directos, indirectos o consecuentes, que se produzcan como resultado del uso de dicho cálculo.

Véase la sección "Carga dinámica equivalente del rodamiento"

Véase la sección "Carga estática equivalente"

Rodamiento 608

$C_r$ , kN 3.45

$C_0$ , kN 1.37

$f_0$  12

$F_{rr}$ , kN 0.153

$F_{Br}$ , kN 0

Calcular

e 0.19

X 1

Y 0

P, kN 0.153

$L_{10}$ , Mrev 11500

$X_0$  0.6

$Y_0$  0.5

$P_0$ , kN 0.153

Rodamiento individual

Dos rodamientos dispuestos en tandem

Dos rodamientos dispuestos espalda con espalda o cara a cara

Juego Normal

Juego C3

Juego C4

## Viscosidad

## Viscosidad a la temperatura de funcionamiento para un lubricante determinado

Inserte la viscosidad del lubricante a utilizar

para un índice de viscosidad VI=95

cuando se conocen dos puntos de viscosidad / temperatura

Temperatura, °C

Viscosidad, mm<sup>2</sup>/s

40

358

Se ha tenido el máximo cuidado para garantizar la exactitud de este cálculo, pero no se acepta ninguna responsabilidad por pérdidas o daños, ya sean directos, indirectos o consecuentes, que se produzcan como resultado del uso de dicho cálculo.

Véase la sección "Condiciones de lubricación - relación de viscosidad  $\kappa$ "

## Viscosidad requerida

Rodamiento 608

d, mm 8

$D$ , mm 22

n, rpm 60

Temperatura de funcionamiento, °C 20

Temperatura de referencia para la viscosidad, °C 40

Calcular

## Especificaciones de la grasa

Grasas SKF

Grasas SKF para rodamientos obturados

Rodamientos rígidos de bolas

Rodamientos rígidos de bolas de acero inoxidable

Rodamientos Y, rodamientos de bolas

Rodamientos de dos hileras de bolas con contacto angular

Rodamientos de bolas a rótula

Rodamientos de dos hileras completamente llenos de rodillos cilíndricos

Rodamientos de rodillos a rótula

Rodamientos de rodillos

Temperatura de funcionamiento, °C

20

Calcular

Viscosidad requerida a la temperatura de funcionamiento  $v_1$ , mm<sup>2</sup>/s

358

Viscosidad requerida a la temperatura de referencia para un lubricante con VI=95 para obtener  $\kappa=1$  a la temperatura de funcionamiento

106

Viscosidad de funcionamiento  $v$ , mm<sup>2</sup>/s

1489

$\kappa$  ( $v/v_1$ )

4.15

**Vida del rodamiento**

Se ha tenido el máximo cuidado para garantizar la exactitud de este cálculo, pero no se acepta ninguna responsabilidad por pérdidas o daños, ya sean directos, indirectos o consecuentes, que se produzcan como resultado del uso de dicho cálculo.

Véase la sección "Vida nominal SKF"

Seleccionar $\eta_c$ <input type="text" value="0.5"/>	Rodamiento <b>608</b> d, mm <input type="text" value="8"/> D, mm <input type="text" value="22"/> C, kN <input type="text" value="3.45"/> P <sub>u</sub> , kN <input type="text" value="0.057"/> P, kN <input type="text" value="0.153"/> n, rpm <input type="text" value="60"/> v, mm <sup>2</sup> /s <input type="text" value="1489"/> <input type="button" value="Calcular"/>
--	---

$\kappa$ <input type="text" value="4.15"/> $v_1$ <input type="text" value="358"/> $a_{SKF}$ <input type="text" value="45.1"/>	$L_{10}$ <input type="text" value="11500"/> $L_{10m}$ <input type="text" value="517300"/>	$L_{10h}$ <input type="text" value="&gt; 1000000"/> $L_{10mh}$ <input type="text" value="&gt; 1000000"/>
---	--	---

Método antiguo  $a_{23}$  para una comparación

$a_{23}$ <input type="text" value="2.5"/>	$L_{10a}$ <input type="text" value="28700"/>	$L_{10ah}$ <input type="text" value="&gt; 1000000"/>
---	--	--

Para los rodamientos lubricados con grasa, compruebe la vida de la grasa. Ver la sección "Lubricación con grasa"

Para el cálculo de dos rodamientos en un eje, consulte el programa "SKF Bearing Select"

Para calcular el factor de contaminación  $\eta_c$ , consulte el programa "SKF Bearing Select"

## **ANEXO H. YASKAWA MOTOMAN**

# Motoman up 20

Especificaciones técnicas:

- Ejes de movimiento: 6.
- Carga útil: 20 Kg.
- Repetitividad:  $\pm 0.06$  mm.
- Peso del robot: 280 Kg.
- Estructura: conjunto de brazo vertical.



<http://www.robots.com/showimages.php?type=robots&tag=190&index=1>

El Motoman UP20 es un robot de alta velocidad diseñado para la automatización flexible. Requiriendo un espacio de instalación mínimo, el UP20 puede ser montado en el suelo, el techo, o la pared, y destaca sus 1,658 mm (65.7") de alcance en usos de manejo como en la soldadura.

Tabla de rangos de movimiento de los 6 ejes :

S-Axis	$\pm 180^\circ$
L-Axis	+155°, -110°
U-Axis	+210°, -80°
R-Axis	$\pm 190^\circ$
B-Axis	+230°, -50°
T-Axis	$\pm 360^\circ$

<http://www.robots.com/motoman.php?robot=UP20>

Tabla de rangos de velocidades de movimiento por eje:

S-Axis	165 °/s (2.88 rad/s)
L-Axis	165 °/s (2.88 rad/s)
U-Axis	165 °/s (2.88 rad/s)
R-Axis	335 °/s (5.85 rad/s)
B-Axis	335 °/s (5.85 rad/s)
T-Axis	510 °/s (8.9 rad/s)

<http://www.robots.com/motoman.php?robot=UP20>

Controlador del robot:

El controlador de tipo independiente es una plataforma manual para controlar todos los movimientos y la velocidad del robot, así mismo permite visualizar por medio de la pantalla LDC el estado del robot y la función que está realizando en tiempo real dándole al operario la información necesaria de operación del robot.

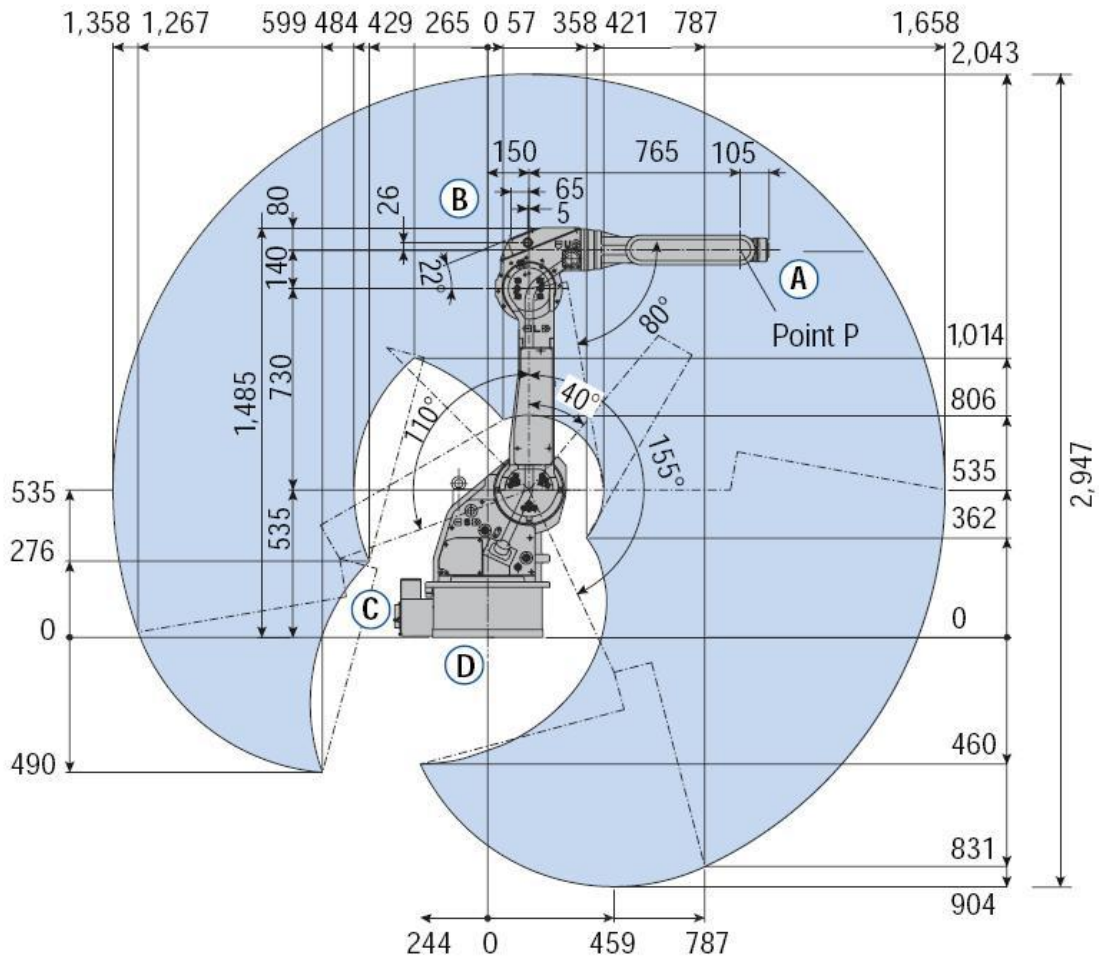


<http://www.robots.com/motoman.php?controller=xrc>

Especificaciones técnicas del controlador:

- Arquitectura de 32 bits tipo RISC y drivers digitales para los servos.
- Control patentado de movimiento sincrónico del robot.
- la capacidad Incomparable del control de hasta cuatro robots.
- INFORMAN II lenguaje con el interfaz conducido por icono.

Dimensiones de movimiento del robot MOTOMAN UP 20: (unidades en mm)



<http://www.robots.com/showimages.php?type=robots&tag=190&index=1>

**ANEXO I. PLANOS SOLID EDGE.**