



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

CAMPUS DE ALCOY

2019

Desarrollo y puesta en marcha de una herramienta de robot Delta para la colocación de sobres de chocolate

Trabajo Final de Grado en empresa para el título de Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Joaquim Doménech Guillem
TUTOR: Antonio Albert Olivencia
TUTOR UPV: Jaime Masiá Vañó

Desarrollo y puesta en marcha de una herramienta de robot Delta para la colocación de sobres de chocolate

Junio de 2019

PRESENTACIÓN

Me llamo Joaquim Doménech Guillem, soy estudiante de Ingeniería Mecánica en el campus de Alcoy de la UPV. He realizado el proyecto final de grado en la empresa IOBI Ingeniería S.L. sobre una garra triple para una aplicación "Pick&Place" de sobres de chocolate para una empresa en el sector de la alimentación.

En este proyecto he podido participar desde el desarrollo de la garra hasta la puesta en marcha de la aplicación. Los trabajos donde he tenido más participación han sido el desarrollo de la garra, elección de materiales y componentes, la programación del robot, el montaje de la garra y la puesta en marcha.

AGRADECIMIENTOS

Estas líneas se las quiero dedicar a todas las personas que me han apoyado y que han confiado en mí durante esta gran etapa que ha supuesto tanto para mí.

La realización de este proyecto no sería posible sin la ayuda de muchas personas.

No puedo olvidar mi etapa en IOBI, durante la cual he podido coger una gran experiencia que se puede ver reflejada en este trabajo. De no ser así, seguramente no hubiera cabido en mi cabeza embarcarme en un proyecto de estas características. Agradecer a todos mis compañeros de la empresa por contribuir en mi gran experiencia y formación.

También debo dar las gracias a todos los profesores y compañeros que me he cruzado durante estos maravillosos cuatro años, que influyen de una manera u otra, en cada una de las decisiones que he ido tomando en este escrito.

Y por último y más importante, a mi familia, las personas que han apostado por mí en todo momento, brindándome cada oportunidad que he podido disfrutar durante estos cuatro años de carrera.

A todos, GRACIAS.

*Joaquim Doménech Guillem
Alcoy, 2019*

RESUMEN

El aumento de las capacidades de los robots es una de las principales tendencias de la industria en la actualidad, donde jugarán un papel clave en el futuro cercano, y en concreto, el desarrollo de nuevos sistemas de agarre y manipulación, consiguiendo sistemas robóticos más flexibles y rápidos. Este uno de los retos tecnológicos planteados en este campo.

El presente trabajo, tiene como objetivo el desarrollo mecánico y la puesta en marcha de una herramienta para un robot delta M-3iA/6S de la marca Fanuc, dirigido principalmente a la industria de la alimentación. Se trata del desarrollo de una garra triple para una aplicación de colocación de sobres de chocolate sobre gofres, comúnmente llamada “Pick&Place”.

A través de la ejecución de este trabajo, se pretende evolucionar las soluciones desarrolladas en los principios de línea para conseguir un acercamiento de las tecnologías novedosas de la automatización industrial de las PYMES del sector alimentario, una industria de gran impacto en la Comunidad Valenciana, que tienen más dificultades para acceder a tecnología puntera. En concreto, este proyecto sería de gran interés para empresas agroalimentarias, donde el “Pick&Place” es indispensable dentro del proceso productivo y requiere de gran precisión, eficiencia y rapidez.

Para la consecución del objetivo planteado se ha realizado un estudio de las necesidades de la aplicación a resolver, para finalmente diseñar el sistema de agarre y estudiar sus propiedades geométricas, mecánicas y cinemáticas. En el presente documento, se enseña el diseño y desarrollo de la garra del robot, así como la programación del mismo para que trabaje correctamente en la función para la que ha sido desarrollada.

ABSTRACT

The increase in the capabilities of robots is one of the main trends in the industry, nowadays where they will play a key role in the near future, especially the development of new gripping and handling systems, obtaining more flexible and fast robotic systems.

This document aims at the mechanical development and start-up of a tool for a Delta M-3iA/6S of the Fanuc Brand, mainly directed to the food industry. It is about the development of a triple gripper for the application of placing chocolate envelopes on waffles, which are commonly called Pick & Place.

Through the execution of this document, it is intended to evolve the solutions developed in the principles of line to achieve an approach of the innovative technologies of industrial automation of SMES in the food sector, an industry of great impact on the Valencian Community, which have more difficulties in accessing leading technology. Particularly, this project would be of great interest to agro-alimentary companies, where the "Pick & Place" is indispensable in the production process and requires great precision, efficiency and speed.

In order to achieve the objective, it has been made a study of the needs of the application to be solved, to finally design the gripping system and study its geometric, mechanical and kinematic properties. In this document, the design and development of the robot's claw is shown, as well as its programming so as it works correctly in the function for which it has been developed.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Motivación y objetivos	2
1.2. Estructura del trabajo	3
2. ANTECEDENTES	4
2.1. Automatización industrial.....	4
2.2. Robótica.....	5
2.3. Aplicaciones de la robótica.....	8
2.4. Problemática planteada por el cliente	10
3. LOS ROBOTS INDUSTRIALES	12
3.1 Clasificación de los robots industriales	12
3.2 Métodos de programación de los robots industriales.....	16
3.2.1. Programación por guiado	17
3.2.2. Programación a alto nivel.....	18
4. CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DEL ROBOT SELECCIONADO	23
4.1. Cinemática de los robots Delta	24
4.1.1. Cinemática inversa	25
4.1.2. Cinemática directa.....	28
5. DESARROLLO MECÁNICO	36
5.1. Herramientas empleadas	36
5.1.1. Sistemas CAD	36
5.2. Diseño de la garra	37
5.2.1. Efector final.....	37
5.2.2. Muñeca del robot.....	37
5.2.3. Brida de la garra	40
5.2.4. Espacio de trabajo	41
5.2.5 Dimensionamiento	42
5.2.6. Datos a tener en cuenta.....	43
5.2.7. Base de la garra	44
5.2.8. Chapas laterales.....	45
5.2.9. Unión entre la brida y chapas laterales.....	46
5.2.10. Escuadra anti flexión.....	47
5.2.11. Estructura de la garra.....	48
5.2.12. Conexión actuador-ventosa	49
5.2.13. Chapa doblada.....	51

5.2.14. Sistema flexible	52
5.2.15. Conjunto 3D	53
5.3. Elementos utilizados para la unión y fijación de la garra	54
5.4. Neumática	56
5.4.1. Actuador neumático.	56
5.4.2. Ventosa.....	57
5.4.3. Bloque de válvulas	59
5.4.4. Racores	60
5.4.5. Tubos de neumática.....	61
6. CÁLCULOS	64
6.1. Garra triple	64
6.2. Dimensionamiento de los tubos de la neumática.....	66
6.2.1. Tubos de las ventosas.....	67
6.2.2. Tubos de los actuadores.	69
6.3. Deformación de la garra.....	71
6.4. Avance de la cinta.	74
7. MATERIAL Y FRABRICACIÓN DE LA GARRA	75
8. PROGRAMACIÓN DEL ROBOT	76
8.1. Programa principal (PRINCIPA).....	80
9. PUESTA EN MARCHA	88
10. PRESUPUESTO.....	94
11. SEGURIDAD DEL ROBOT.....	96
12. CONCLUSIONES.....	97
13. LÍNEAS FUTURAS.....	98
14. BIBLIOGRAFÍA	99
15. ANEXO 1: PLANOS.	1
16. ANEXO 2: VENTOSAS.	10
17. ANEXO 3: ACTUADOR.....	14
18. ANEXO 4: ROBOT.	18

Índice de Imágenes

<i>Imagen 1. Sobre de chocolate.....</i>	<i>11</i>
<i>Imagen 2. Robot humanoide.....</i>	<i>14</i>
<i>Imagen 3. Robot colaborativo.....</i>	<i>15</i>
<i>Imagen 4. Robot Delta M3 – iA 6S Fanuc.....</i>	<i>24</i>
<i>Imagen 5. Célula del robot.....</i>	<i>33</i>
<i>Imagen 6. Croquis de la garra.....</i>	<i>37</i>
<i>Imagen 7. Muñeca del robot.....</i>	<i>38</i>
<i>Imagen 8. Brida de la garra.....</i>	<i>41</i>
<i>Imagen 9. Espacio de trabajo.....</i>	<i>42</i>
<i>Imagen 10. Base de la garra.....</i>	<i>45</i>
<i>Imagen 11. Chapa lateral.....</i>	<i>46</i>
<i>Imagen 12. Unión entre la brida y chapas laterales.....</i>	<i>47</i>
<i>Imagen 13. Escuadra anti flexión.....</i>	<i>48</i>
<i>Imagen 14. Estructura de la garra.....</i>	<i>49</i>
<i>Imagen 15. Opción conexión del mercado.....</i>	<i>50</i>
<i>Imagen 16. Mecanizado conexiones ventosas.....</i>	<i>50</i>
<i>Imagen 17. Chapa doblada.....</i>	<i>52</i>
<i>Imagen 18. Sistema flexible.....</i>	<i>53</i>
<i>Imagen 19. Conjunto 3D.....</i>	<i>53</i>
<i>Imagen 20. Tornillería.....</i>	<i>54</i>
<i>Imagen 21. Fija tornillos.....</i>	<i>55</i>
<i>Imagen 22. Actuador neumático.....</i>	<i>56</i>
<i>Imagen 23. Dimensiones del actuador.....</i>	<i>57</i>
<i>Imagen 24. Ventosa.....</i>	<i>58</i>
<i>Imagen 25. Dimensiones de la ventosa.....</i>	<i>59</i>
<i>Imagen 26. Bloque de válvulas.....</i>	<i>60</i>
<i>Imagen 27. Racores.....</i>	<i>61</i>
<i>Imagen 28. Conexión entrada al bloque de válvulas.....</i>	<i>63</i>
<i>Imagen 29. Tubo diámetro 4mm.....</i>	<i>67</i>
<i>Imagen 30. Tubo diámetro 6mm.....</i>	<i>68</i>
<i>Imagen 31. Tubo diámetro 8mm.....</i>	<i>68</i>
<i>Imagen 32. Tubo diámetro 4.....</i>	<i>70</i>
<i>Imagen 33. Tubo diámetro 6.....</i>	<i>70</i>
<i>Imagen 34. Tubo diámetro 8.....</i>	<i>71</i>
<i>Imagen 35. Desplazamiento sin escuadra anti flexión.....</i>	<i>72</i>
<i>Imagen 36. Deformación sin escuadra anti flexión.....</i>	<i>72</i>
<i>Imagen 37. Dato de la deformación sin escuadra anti flexión.....</i>	<i>72</i>
<i>Imagen 38. Desplazamiento con escuadra anti flexión.....</i>	<i>73</i>
<i>Imagen 39. Deformación con escuadra anti flexión.....</i>	<i>73</i>
<i>Imagen 40. Dato de la deformación con escuadra anti flexión.....</i>	<i>73</i>
<i>Imagen 41. Avance de la cinta.....</i>	<i>74</i>
<i>Imagen 42. Plantilla calibración.....</i>	<i>76</i>

<i>Imagen 43. Salidas digitales.....</i>	<i>79</i>
<i>Imagen 43. Formato PLC/ROBOT.....</i>	<i>80</i>
<i>Imagen 45. Elección del formato.....</i>	<i>81</i>
<i>Imagen 46. Formato normal.....</i>	<i>82</i>
<i>Imagen 47. Formato pequeño.....</i>	<i>82</i>
<i>Imagen 48. PICK_IOWI 1.....</i>	<i>83</i>
<i>Imagen 49. IOWI_PICK 2.....</i>	<i>83</i>
<i>Imagen 50. IOWI_PICK 3.....</i>	<i>84</i>
<i>Imagen 51. IOWI_PICK 4.....</i>	<i>84</i>
<i>Imagen 52. Elección USER/TOOL.....</i>	<i>85</i>
<i>Imagen 53. Referencias iniciales.....</i>	<i>85</i>
<i>Imagen 54. Dejada sobre los gofres.....</i>	<i>87</i>
<i>Imagen 55. Peso de la garra.....</i>	<i>88</i>
<i>Imagen 56. Centro de masas.....</i>	<i>89</i>
<i>Imagen 57. Payload.....</i>	<i>89</i>
<i>Imagen 58. Tubos neumáticos.....</i>	<i>90</i>
<i>Imagen 59. Efecto final.....</i>	<i>91</i>

Índice de figuras

<i>Figura 1. Robot cartesiano.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2. Robot cilíndrico.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3. Robot SCARA</i>	<i>13</i>
<i>Figura 4. Robot Antropomórfico</i>	<i>13</i>
<i>Figura 5. Robot Delta.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 6. Tipos de articulaciones.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 7. Campo de acción de un Robot Antropomórfico</i>	<i>16</i>
<i>Figura 8. Parámetros de movimientos de las articulaciones de los Robots Delta.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 9. Parámetros de la geometría del robot.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 10. Esfera con centro en E1.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 11. Plano YZ.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 12.. Cálculo para la obtención de θ_1</i>	<i>27</i>
<i>Figura 13. Rotación 120°.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 14. Obtención de los puntos J1, J2 y J3</i>	<i>29</i>
<i>Figura 15. Intersección de las 3 esferas.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 16. Cálculo de los puntos J'1, J'2 y J'3.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 17. Ecuaciones de las 3 esferas</i>	<i>30</i>
<i>Figura 18. Grados de libertad.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 19. Rango de trabajo</i>	<i>32</i>
<i>Figura 20. Repetibilidad</i>	<i>32</i>
<i>Figura 21. Velocidad máxima.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 22. Peso del robot.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 23. Diagrama momentos de inercia</i>	<i>34</i>
<i>Figura 24. Número de protección.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 25. Esquema CAD</i>	<i>36</i>
<i>Figura 26. Interfaz de brida de la muñeca.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 27. Sección A-A</i>	<i>40</i>
<i>Figura 28. Esquema visión artificial.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 29. Esquema comunicación PLC/Robot.....</i>	<i>81</i>

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Esquema de la situación de las tecnologías de fabricación actuales</i>	<i>6</i>
<i>Tabla 2. Lenguajes de programación.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 3. Propiedades aluminio 7075.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 4. Lectura de formatos</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 5. Valoración neumática</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 6. Valoración mecanizado.....</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 7. Presupuesto global.....</i>	<i>95</i>

Glosario de términos

3D	Tres dimensiones
2D	Dos dimensiones
CNC	Control numérico
Mm	Milímetros
Cm	Centímetros
PLC	Controlador lógico programable
PR	Registro de posición
UD	Unidad
S	Segundos
Min.	Minutos
CPU	Unidad central de procesamiento
ROI	Valor económico generado
gr.	Gramos
GL	Grado de libertad
°	Grados angulares
Pick&Place	Cogida y dejada
%s	Grados/segundo
Kg	Kilogramos
M	Métrica
T	Tubo
H	Dureza
UNE	Una Norma Española
ISO	Organización Internacional de Normalización
Ø	Diámetro
FDA	Administración de Medicamentos y Alimentos
DO	Salida digital
N/mm ²	Newton/milímetro ²
ISO	Organización Internacional de Normalización

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, estamos asistiendo a uno de los momentos más interesantes dentro de la industria, ya que la irrupción de la digitalización está modificando las máquinas y los sistemas de automatización de los procesos productivos, haciéndose denominar esta evolución como Industria 4.0.

El mercado de la automatización industrial está por tanto en auge, y en concreto la robótica industrial, se encuentra dentro del listado de las principales tendencias experimentadas por la automatización de la industria en los últimos años. Así pues, los retos tecnológicos que se plantean en este campo se resumen a continuación:

- Desarrollo de sistemas de fabricación que integren al robot como un colaborador más en el centro de trabajo, a través de sistemas más seguros que permitan a robots y operarios trabajar en los mismos escenarios, y por tanto facilitar su cooperación.
- Desarrollo de nuevos conceptos de sistemas de almacenamiento y transporte, mediante la inclusión en los procesos de sistemas multi-robot cooperantes, el desarrollo de técnicas de sincronización entre robots y nuevos métodos de programación capaces de gestionar este tipo de sistemas.
- **Desarrollo de novedosos sistemas de agarre y manipulación, a través de la aplicación de nuevos materiales ligeros y resistentes, motores de reducido tamaño y más potentes, brazos con mayor flexibilidad y rapidez de movimientos y sistemas de agarre auto configurables.**
- Desarrollo de mejoras tecnológicas en los sensores, aumentando parámetros como resolución, velocidad y precisión, así como incorporación de inteligencia artificial, herramientas de diagnóstico y unidades de procesamiento.
- Desarrollo de programaciones más flexibles de los robots basadas en la información de los sensores y no en secuencias preestablecidas, con el objetivo de lograr una fabricación flexible que se adapte a los nuevos procesos de fabricación.
- Desarrollo de interfaces evolucionadas que permitan un manejo y programación de los robots más sencilla, incluyendo comunicación por voz y gestual.
- Desarrollo de robots con sistemas de control abierto, estandarizados, distribuidos y escalables, que faciliten su integración a través de redes de comunicación en el entorno industrial.

Teniendo en cuenta estas líneas prioritarias dentro del campo de la robótica industrial, las líneas estratégicas aplicadas a los Robots avanzados en industria serían las siguientes:

- Nuevos robots industriales ligeros, con mayor capacidad de agarre y manipulación y con mayor apoyo colaborativo a los operarios, fiables y seguros.
- Nuevos robots industriales con mejoras en su sistema de control, con un incremento en su velocidad de funcionamiento, mayor precisión y comunicación y más capacidad de integración.
- Nuevos robots industriales asequibles y fáciles de manejar, para su introducción en las pymes donde disponen todavía de tecnologías ya obsoletas.

El presente trabajo, se enmarca por tanto dentro de la línea estratégica de la robótica industrial referente al desarrollo de nuevos sistemas de agarre en brazos

robóticos, adaptados siempre a la aplicación que en cada momento sea necesaria. Es por esto que cabe destacar la importancia de un buen desarrollo e implantación para que cada aplicación cumpla con la misión establecida, y ayudar a que la industria siga evolucionando a la misma velocidad que hasta ahora.

1.1. Motivación y objetivos

Con el paso del tiempo, la industria está evolucionando, y con ello la tecnología, por eso cada vez es más común ver robots para cualquier tipo de aplicación, desde pequeñas células de trabajo hasta grandes cadenas de montaje. La robótica está claramente en un punto de auge que exige a las futuras generaciones de ingenieros que llegan al mundo laboral, obtener una buena base de conocimientos sobre la programación y adaptación de robots en sus respectivas aplicaciones, para que la evolución de la industria continúe avanzando.

Una vez realizada la mención de robótica en la Technical University of Liberec, me di cuenta de las infinitas posibilidades que nos puede brindar el mundo de la robótica. Porque, aunque no nos demos cuenta del todo, el mundo de la robótica está cada vez más en nuestro día a día, pero, sobre todo, es en el sector industrial donde se está viendo claramente este gran auge.

He tenido la gran suerte de realizar las prácticas en una empresa que se dedica a dar soluciones para la industria 4.0. IOBI INGENIERIA S.L. Durante mi estancia allí, un cliente nos planteó la búsqueda de una solución para el automatizado de la colocación de sobres de chocolate sobre gofres, y de esa solución surge el presente trabajo.

-Objetivo general.

El objetivo general del proyecto es automatizar un proceso específico del principio de línea mediante la implantación de un robot **Fanuc M-3iA/6S**, para la colocación de sobres de chocolate sobre gofres. En concreto, el presente trabajo consiste en el desarrollo de una garra triple para esta aplicación “Pick&Place”.

-Objetivos específicos.

Los objetivos específicos que se quieren conseguir mediante la ejecución del presente trabajo son los siguientes:

1. Realización de un estudio de distintas categorías del brazo robótico.
2. Elaboración de un análisis cinemático del robot.
3. Diseño y desarrollo de la garra del robot.
4. Programación del robot (con el programa que proporciona Fanuc) para que realice la aplicación correspondiente.
5. Dotar de un lugar de trabajo y unas herramientas adecuadas a la célula robótica para su debido funcionamiento.
6. Llevar a cabo un protocolo de utilización del robot en el ámbito industrial.

1.2. Estructura del trabajo

En la Escuela Politécnica Superior de Alcoy, toda titulación debe concluir según el plan de estudios, con la redacción y defensa del Trabajo Final de Grado. Dicho trabajo, debe redactarse en la parte final del plan de estudios y debe estar orientado a la evaluación de competencias asociadas al título.

El presente Trabajo Final de Grado se estructura de la siguiente manera:

En el apartado 2, Antecedentes, se ha realizado una breve exposición de los objetivos de la automatización industrial y la situación actual de la robótica, haciendo una clasificación general de las aplicaciones de la robótica y los tipos de robots industriales existentes según su configuración y métodos de programación. Asimismo, se ha comentado la problemática planteada por el cliente y los criterios de selección estudiados para dar con la solución escogida.

En el apartado 3, Robots industriales, se exponen los robots industriales del mercado y los métodos de programación que existen para estos.

En el apartado 4, Caracterización técnica del robot seleccionado, se ha llevado a cabo una descripción detallada del tipo de robot escogido: configuración, parámetros técnicos, etc.

En el apartado 5, de Desarrollo Mecánico, se han descrito las herramientas empleadas para el diseño de la garra que se ha llevado a cabo, así como la neumático y fijación empleada.

En el apartado 6, Cálculos, se justifica alguna de las decisiones tomadas en el desarrollo de la garra.

En el apartado 7, El material y la fabricación, se expone el material que se ha empleado para la construcción de la garra y el método de fabricación.

En el apartado 8. La programación, se explica cómo se ha hecho el programa de la cámara de visión y el de la aplicación de "Pick&Place".

En el apartado 9, Puesta en marcha, se expone cada una de las acciones que se realizaron en la fábrica para la implantación de la garra.

En el apartado 10, Presupuesto, explicación de las valoraciones económicas de los proveedores, para poder sacar el presupuesto total del proyecto.

En el apartado 11, Pliego de condiciones, donde se nombran las alarmas de seguridad con las que cuenta al robot junto la normativa que debe cumplir este.

En el apartado 12 de Conclusiones, se han expuesto los resultados finales del trabajo.

Por último, en el apartado 13, Líneas futuras, nuevos proyectos de mejora que están estudiándose para la aplicación.

2. ANTECEDENTES

2.1. Automatización industrial

Se habla de automatización cuando se usan sistemas para controlar máquinas y/o procesos industriales que puedan realizar diferentes tareas que anteriormente fueron efectuadas por operarios/as. Con esto se puede controlar la secuencia de operaciones en las cuales los humanos no intervienen. El simple hecho de automatizar no es solo mecanizar procesos, sino ayudar a los trabajadores y permitirles dejar de realizar esfuerzos físicos en el trabajo.

La automatización en el principio de línea no se limita solo a un sistema de control, tiene en ella muchos instrumentos industriales, entre los cuales puede haber sensores y transmisores de campo, sistemas de control y supervisión, sistemas de recopilación de datos y transmisión y aplicaciones de software en tiempo real para supervisión y control de operaciones de procesos y plantas industriales.

Un sistema automatizado consta de tres partes principales:

- Una parte es la operativa, la cual actúa sobre la máquina directamente, permitiendo que ésta se pueda mover y realizar operaciones deseadas. Sus componentes son pues los que ponen en funcionamiento las máquinas como pueden ser los motores, cilindros, compresores...
- La otra parte es la de mando, la cual suele ser efectuada por un autómata programable (PLC). Consta de un equipo electrónico programable en lenguaje no informático, el cual está estrictamente diseñado para el control en tiempo real de los procesos secuenciales y envío de información a una computadora que interpreta y da respuesta a la misma. El PLC en un sistema de fabricación automatizada está justo en el centro es este, pudiendo comunicar con el resto de componentes que conforman la estructura automatizada.
- La última parte los sensores, durante el desarrollo de los procesos industriales, los sensores son los equivalentes a los sentidos humanos, que son los encargados de identificar estímulos del entorno exterior y transmitirlos al cerebro, que equivaldría a la computadora que controla los procesos industriales en este tipo de entornos. De este modo, en un sistema automatizado, esto se lleva a cabo mediante **sensores**, que serían los encargados de captar la información del entorno y transmitirla a la computadora para que se tome la decisión correcta en cada caso.

Se puede decir que hay tres tipos de automatización industrial:

1. La automatización fija, la cual se emplea cuando se fabrica sólo un producto y el volumen de la producción es muy elevado. Todo el desarrollo de equipo está ideado para hacer el proceso del producto a un alto rendimiento y con altas tasa de productividad. Dependiendo del tiempo que esté el producto en el mercado se podrá calcular el ciclo de vida de la automatización.
2. La automatización programada se utiliza cuando hay diversidad en la producción y el volumen de fabricación no es muy elevado, más bien dicho

bajo volumen. El desarrollo del equipo está dedicado a la adaptación de la variación de producto, realizando ésta mediante la adecuación del programa informático.

3. La automatización flexible se basa en la combinación de las dos automatizaciones expuestas con anterioridad, pudiendo obtener una mejora adaptada a nivel de producción medio. Estos sistemas tienden a estar formados por una serie de puestos de trabajos interconectados entre sí por sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales, todos ellos controlados por una CPU.

Los objetivos de la automatización industrial son básicamente los siguientes:

- Mejoría de las condiciones de trabajo de las personas, eliminando trabajos peligrosos para incrementar la seguridad de las personas en los puestos de trabajo.
- Aumento de la productividad para la empresa, implicando reducción de costes a la hora de la producción y obteniendo una mejor calidad del producto.
- Realización de complejas operaciones.
- Aumento de la disposición de los productos, permitiendo suministrar el producto en el momento preciso.
- Hacer más fácil el mantenimiento de la máquina, con lo cual el operario no precisa de grandes conocimientos para realizar el proceso de producción.
- Integrar la gestión y la producción.

Solo cumpliendo con los anteriores objetivos podemos asegurar una mejora importante en la automatización industrial. Por esto, se quiere recalcar que, con la implementación de mejoras en la automatización al principio de línea, que es lo que nos concierne para el presente trabajo, se pretende mejorar la calidad de vida de los operarios.

Las mejoras de la salud y seguridad derivadas de la implantación de sistemas robotizados son entre otros, una disminución de los accidentes laborales, mejora y optimización de las condiciones de trabajo, eliminando riesgos laborales asociados a entornos peligrosos y la eliminación de trabajos rutinarios y fatigosos.

2.2. Robótica

La robótica es un área de investigación y desarrollo de aplicaciones muy diversas, por lo que nos centraremos en el estado del arte de los robots manipuladores o industriales, que son los que nos conciernen.

Los robots industriales, fueron los encargados de inaugurar la era de los robots en los años 60, con la herencia adquirida de los primeros tele operadores. No resulta fácil encontrar investigaciones que incidan en los aspectos básicos de los robots manipuladores tradicionales y, lo poco que hay se centra en la inclusión de modernos sensores o actuadores. Un ejemplo de esto es la adición de cámaras avanzadas para reconocimiento de imágenes que mejoran la efectividad de los robots.

Los robots industriales, normalmente no trabajan de forma independiente sino en conjunto con otras máquinas-herramientas formando células de trabajo, como en los ejemplos que se detallan a continuación:

- Procesos como soldadura, pintura, etc. Este tipo de robots son muy comunes en la industria de la automoción.
- Procesos de ensamblaje, donde el trabajo repetitivo facilita el uso de este tipo de robots.
- Procesos de encajado y paletización, agilizando el proceso y manejando grandes pesos.
- Otros procesos como el remachado, estampado, corte por chorro de agua, sistemas de medición, etc.

A continuación, se expone de manera esquemática la situación de las tecnologías en el escenario de fabricación, que es el que nos concierne:

Escenario	Aplicaciones principales	Tecnologías	Oportunidades
Fabricación	Manipulación	Sensores	En muchas pymes la implantación actual no tiene viabilidad por la falta de flexibilidad en muchas aplicaciones de los robots, por lo que para las empresas del sector es una oportunidad la posibilidad de obtener soluciones propias para un mercado nacional e internacional en crecimiento.
	Procesado	Calibrado	
	Ensamblado	Diseño y fabricación	
	Soldadura	Manipulación	
	Dispensado	Simulación y programación off-line	
		Integración de sistemas	

Tabla 1. Esquema de la situación de las tecnologías de fabricación actuales

La robótica ha tenido durante las tres últimas décadas una gran presencia en la industria, especialmente en la industria del automóvil y la industria electrónica, copando el 70% del parque de robots en el mundo.

Dentro de los países industrializados, la robótica industrial ha sido uno de los sectores más representativos a nivel tecnológico. En concreto, una de las primeras posiciones en cuanto a parque de robots instalados dentro de Europa e incluso a nivel

mundial, lo ocupa España, principalmente debido al gran número de fabricantes de automóviles establecidos en nuestro país, los cuales importan de otros países la tecnología. Es por esto que, España presenta una gran dependencia tecnológica en el desarrollo de robots industriales.

El constante desarrollo de las tecnologías robóticas ha incrementado indudablemente las aplicaciones potenciales para robots industriales inteligentes. Así pues, actualmente, los robots impulsados por software de vanguardia y sistemas de visión artificial, se pueden programar para realizar tareas que se ajusten perfectamente a la demanda de fabricación flexible.

Durante el pasado año 2018, se han observado importantes movimientos en este sector, la continua apuesta de Omron por la robótica, ya que al realizar la compra de Adept se ha aliado con TM para ofrecer robótica colaborativa. Asimismo, podemos destacar a nivel nacional dos acontecimientos importantes: la llegada de los robots chinos ESTUN a España (de la mano de Mecánico Moderna) y el anuncio de la nueva sede de FANUC en Sant Cugat.

Todo apunta a que durante el presente 2019 seguirán creciendo las soluciones OPEN que permiten controlar la mecánica de los robots utilizando controladores independientes a los mismos. Además, la empresa Microsoft ha anunciado un lanzamiento experimental del sistema operativo de código abierto Robot (ROS) para Windows y, por otra parte, Google prevé el lanzamiento de una plataforma robótica en la nube.

Tal y como ha ocurrido hasta el momento, la automatización y la robótica son tecnologías de rápida evolución, que continuarán transformando los procesos de fabricación. En tan sólo unas pocas décadas, los robots industriales han pasado a ser esenciales en la configuración de una fábrica en todo el mundo, y continúan aumentando su popularidad por su rentabilidad y productividad. Por esto, es importante estar pendiente de las tendencias a futuro de la robótica industrial, porque esta tecnología marca la forma en que fabricamos y distribuimos productos.

La Robotic Industries Association (RIA) ha presentado las principales tendencias de la robótica industrial que jugarán un papel clave en el futuro cercano:

1. Adopción de la Tecnología de Internet Industrial de las Cosas (IIoT): El aumento de la implementación en los robots de sensores inteligentes al final de línea para recopilar datos anteriormente inaccesibles para los fabricantes. Esta tendencia, que actualmente ya está en marcha, conducirá a nuevos niveles de eficiencia y productividad.

2. Ciberseguridad industrial: Los riesgos de ciberseguridad son mayores a medida que aumenta la conexión de los robots a los sistemas internos para la recopilación de datos. Las empresas se verán obligadas a estudiar las vulnerabilidades en sus procesos e invertir como prioridad en la ciberseguridad para garantizar una producción segura.

3. Análisis de Big Data como factor competitivo: Los robots pasarán a ser una fuente de información clave en la fábrica. No obstante, la recopilación de datos sólo es una pieza más del rompecabezas, ya que los fabricantes deberán implantar sistemas que organicen y analicen toda esta información para poder responder en consecuencia.

4. Implementación de arquitecturas abiertas de automatización: La necesidad de arquitecturas abiertas aumenta a medida que la automatización robótica se generaliza. Por esto, las organizaciones industriales tendrán que trabajar con los grandes actores de la industria, para producir estándares y abrir documentación que facilite la integración robótica, al tiempo que logran mejorar la compatibilidad del producto.

5. Invasión de soluciones virtuales en los procesos físicos: Las soluciones virtuales pasarán a formar parte la robótica industrial. Actualmente, una aplicación en auge es la representación virtual de sistemas robóticos para pruebas de concepto y programación fuera de línea.

6. Aumento de la popularidad de los robots colaborativos: Los robots colaborativos pueden trabajar de manera segura junto con los humanos y, muchas veces resultan más económicos que sus contrapartes industriales. A medida que los robots colaborativos aumenten sus capacidades en entornos industriales difíciles, se verá una mayor adquisición por parte de los fabricantes con estrictos requisitos de ROI.

Junji Tsuda, presidente de la Federación Internacional de Robótica, aseguró que “el crecimiento del mercado mundial de robots industriales continúa a un ritmo impresionante” y “las tendencias clave como la digitalización, la simplificación y la colaboración entre hombre y máquina, sin duda, moldearán el futuro e impulsarán un rápido desarrollo”.

Por tanto, la automatización robótica ha sido una tecnología revolucionaria en el sector manufacturero, pero aún queda hueco para continuar esta transformación en los próximos años, en los que las tendencias anteriormente mencionadas serán algunos de los avances más impactantes en la robótica industrial del futuro.

2.3. Aplicaciones de la robótica

Actualmente, los robots se han convertido en un elemento indispensable en una gran parte de los procesos industriales. Gracias al impulso inicial del sector del automóvil, los robots han pasado a formar parte de muchas líneas de producción.

Por su propia definición el robot industrial es multifuncional, ya que puede ser aplicado a varias funciones. Sin embargo, la práctica ha demostrado que su adaptación es óptima en determinados procesos (soldadura, paletización, etc.) en los que hoy día el robot es sin duda alguna, la solución más rentable. Junto con estas aplicaciones, ya arraigadas, hay otras novedosas en las que, si bien la utilización del robot no se realiza a gran escala, si se justifica su aplicación por las condiciones intrínsecas del medio de trabajo (ambientes contaminados, salas asépticas, construcción, etc.) o la elevada exigencia en cuanto a calidad de los resultados (medicina, etc.).

En 1998, la Federación Internacional de la Robótica (IFR) estableció una clasificación general de las aplicaciones de la Robótica en el sector manufacturero:

- Manipulación en fundición
 - ✓ Moldes

- ✓ Otros
- Manipulación en moldeo de plásticos
- Manipulación en tratamientos térmicos
- Manipulación en la forja y estampación
- Soldadura.
 - ✓ Por arco
 - ✓ Por puntos
 - ✓ Por gas
 - ✓ Por láser
 - ✓ Otros
- Aplicación de materiales
 - ✓ Pintura
 - ✓ Adhesivos y secantes
 - ✓ Otros
- Mecanización
 - ✓ Carga y descarga de máquinas
 - ✓ Corte mecánico, rectificado, desbaldado y pulido
 - ✓ Otros
- Otros procesos
 - ✓ Láser
 - ✓ Chorro de agua
 - ✓ Otros
- Montaje.
 - ✓ Montaje mecánico
 - ✓ Inserción
 - ✓ Unión por adhesivos
 - ✓ Unión por soldadura
 - ✓ Manipulación para montaje
 - ✓ Otros
- Paletización
- Medición, inspección, control de calidad
- Manipulación de materiales
- Formación, enseñanza e investigación
- Otros

En esta clasificación general se incluyen la mayoría de los procesos robotizados en la actualidad, no obstante, como ya se ha comentado anteriormente, podemos encontrar aplicaciones particulares que no aparecen de manera concreta esta clasificación. Asimismo, cada aplicación presenta sus propios retos, a la vez que oculta oportunidades aún por explotar.

En concreto, el “Pick&Place” que es el proceso que nos concierne, es un escenario muy común en los procesos de empaquetado de productos. La complejidad se presenta en cuanto la variabilidad de los productos a empaquetar, así como de los tipos de envases. Es por esto que presenta la necesidad de identificar y detectar la posición de distintas piezas en función de su forma, color y tamaño, con el objetivo de darle las coordenadas a un robot que las recoja y las coloque en un sitio y posición determinados para su envasado.

La implantación de un robot industrial en un determinado proceso exige un estudio exhaustivo previo del proceso en cuestión, examinando las ventajas e inconvenientes que conlleva la introducción del robot. Es necesario estar dispuesto a admitir modificaciones en el desarrollo del proceso (cambios de diseño en las piezas, sustitución de unos sistemas por otros, etc.) que hagan viable y faciliten la aplicación del robot.

En cuanto al tipo de robot a utilizar, habrá que considerar aspectos de diversa índole como espacio de trabajo, velocidad de carga, capacidad de control, coste, etc.

2.4. Problemática planteada por el cliente

En nuestro caso en concreto, el cliente tiene una fábrica que realiza gofres industriales a los que se les añade una dosis en sobre de chocolate, para que el cliente dosifique a su gusto. Para esto, es necesario fabricar el chocolate, envasarlo pequeños sobres y colocarlos encima de cada gofre para su embalaje final. Es decir, el cliente va a fabricar el chocolate, en pequeñas dosis de hasta 30 gr., lo introducirá en sobres de plástico y mediante el robot objeto del presente trabajo se automatizará la colocación de los sobres encima de cada gofre.

Una vez realizado el estudio de selección del robot necesario para esta aplicación y diseño de toda la celda, procedemos a diseñar la garra que ejecutará esta acción, teniendo que realizar diversos cálculos de funcionalidad, dimensionamiento e incluso intentar mejorar con este diseño las carencias que puede tener el robot para cumplir el tiempo de ciclo exigido. Esta parte es muy importante, ya que el cliente nos dio el dato de tiempo de ciclo necesario para cumplir la producción de gofres es de 180 gofres por minuto, esto quiere decir que el robot tiene que colocar 180 sobres de chocolate encima de cada gofre por minuto.

Otras de las condiciones que nos ponía la empresa, era la disposición que tenía que tener la garra para poder trabajar con dos tipos de formatos de sobre, es decir, que fuera multi formato. La empresa fabrica y distribuye gofres de tamaño normal y en tamaño disminuido, donde los sobres de chocolate son más pequeños también reduciendo a la mitad el peso (de 30 a 16 gr.).

Un importante dato a tener en cuenta, aunque sirviera para diversos formatos, tenía que haber una garra universal. Estas son las condiciones expuestas por el cliente, a las que hemos tenido que hacer frente para realizar el proyecto correctamente y que la aplicación fuera exitosa.

En la siguiente imagen podemos observar la geometría del sobre de 30 gr. que es el que más fabrican durante su producción, esta es una muestra proporcionada por el cliente para poder tomar datos de peso y de dimensiones, permitiendo poder hacer pruebas para la cogida de sobres.



Imagen 1. Sobre de chocolate

Las dimensiones del sobre de chocolate son 65mm de ancho, 90mm de largo y 11mm de espesor. Una vez obtenidos los datos, se podía empezar a diseñar, como veremos en el apartado de diseño.

3. LOS ROBOTS INDUSTRIALES

3.1 Clasificación de los robots industriales

Los robots industriales se pueden clasificar en diferentes grupos, ya que existe una gran gama de tamaños y configuraciones. Esta configuración hace referencia a la forma física que le ha sido dada a los brazos.

Los robots industriales constan la gran mayoría por cadenas cinemáticas de diversos eslabones., los cuales unidos entre ellos forman diferentes articulaciones y configuraciones. El uso de estas diferentes combinaciones puede proporcionar un gran abanico de posibilidades, para poder clasificar con las siguientes configuraciones cartesiana, cilíndrica, esférica angula, SCARA, delta, humanoide, antropomórfico y colaborativos.

Robot cartesiano

Este robot tiene diferentes carriles deslizantes perpendiculares entre sí, de forma que genera movimientos en los tres ejes cartesianos X, Y, Z.

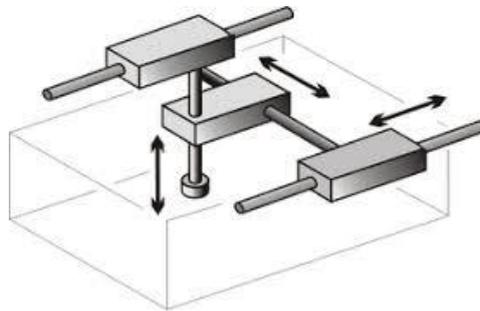


Figura 1. Robot cartesiano

Robot cilíndrico

La configuración del robot cilíndrico, se basa en un completo apoyo vertical el cual gira sobre la base misma. Cuenta con un sistema de dos dispositivos deslizantes encargados de generar los movimientos sobre los ejes Z e Y.

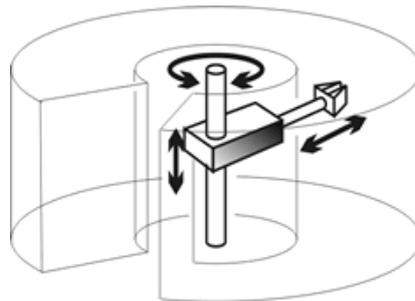


Figura 2. Robot cilíndrico

Robot de brazo articulado

Este sistema consta de una columna que gira sobre la base. El brazo cuenta con una articulación, la cual solo puede realizar movimientos en un mismo plano. Contiene en el extremo del brazo un eje deslizante situado en el eje Z. El robot más común que se puede encontrar en el mercado es el SCARA.

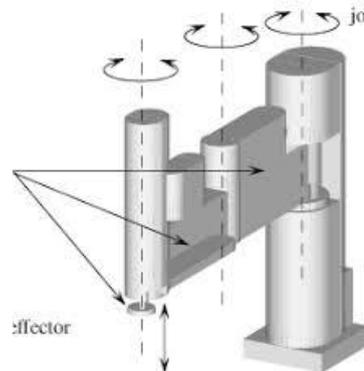


Figura 3. Robot SCARA

Robot antropomórfico

Estos robots también pueden ser conocidos como robots angulares o robots de codo. Es un robot que cuenta con una configuración similar a la del brazo humano. Sus partes harían referencia al hombro, brazo y muñeca del brazo humano.

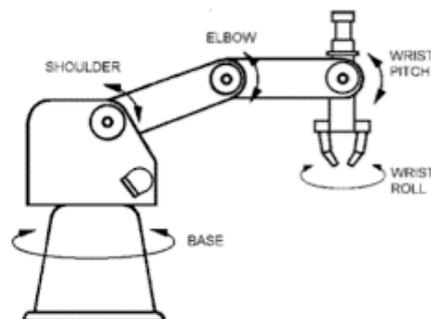


Figura 4. Robot Antropomórfico

Robot delta

Este robot es de tipo paralelo y tiene tres grados de libertad conformado por dos bases unidas por tres cadenas cinemáticas basadas en el uso de paralelogramos. La que se encuentra fija es la base superior mientras la base inferior, donde está ubicado el efector final, es móvil y siempre está paralela a la base fija. Según la aplicación en la que se vaya a usar este robot, se puede hacer la construcción, para la utilización de actuadores lineales o rotacionales.

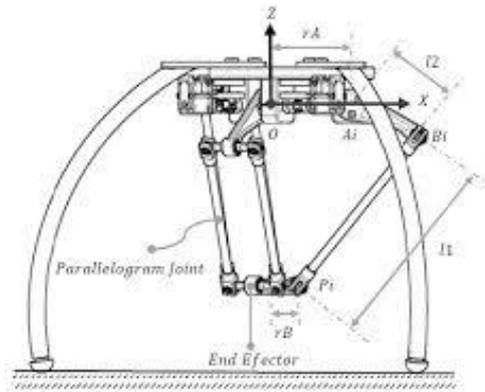


Figura 5. Robot Delta

Humanoides

Un robot humanoide es un robot con apariencia humana, y capaz de realizar los movimientos humanos. Por norma general, los robots humanoides constan de una cabeza, un torso, dos brazos y dos piernas. El diseño humanoide tiene sus fines funcionales, tales como la interacción con entornos humanos o incluso con herramientas para fines experimentales. Los robots humanoides son usados en la actualidad como herramienta en investigaciones científicas.



Imagen 2. Robot humanoide

Colaborativos

Los robots colaborativos son aquellos cuya función principal es poder trabajar en armonía con el operario humano. En un entorno **colaborativo, una persona aporta destreza, flexibilidad y la capacidad de resolver problemas**, mientras que un **robot colaborativo ofrece fuerza, resistencia y precisión en la realización de la tarea** en cuestión. Los llamados “**cobots**”, están diseñados con una serie de características técnicas que garantizan la seguridad de un **trabajador cuando entra en contacto directo con el robot**, ya sea deliberadamente o por accidente. Estas características incluyen materiales ligeros, contornos redondeados y sensores en la base del robot o en las articulaciones que miden y controlan la fuerza y la velocidad y se aseguran de que no se excedan los umbrales definidos en caso de que se produzca el contacto.

La introducción de estos tipos de robots está haciendo más fácil el trabajo de los operarios, liberándolos de tareas monótonas y repetitivas, y no lo ven como un avance en la industria que les vaya a sustituir de sus trabajos. Es como tener un compañero más.

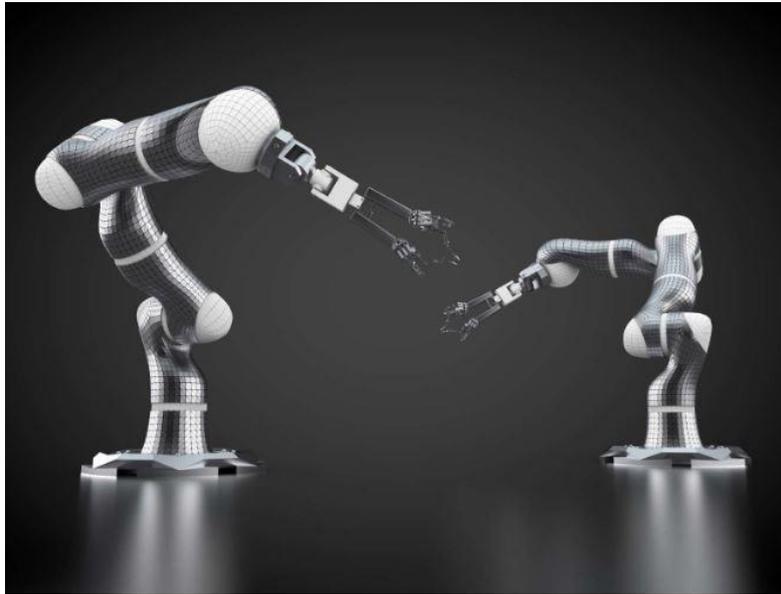


Imagen 3. Robot colaborativo

Las diferentes configuraciones comentadas, hacen uso de distintas posibles combinaciones de articulaciones, de las cuales, las más utilizadas suelen ser las que tienen como característica un solo grado de libertad, como pueden ser la de rotación o la prismática.

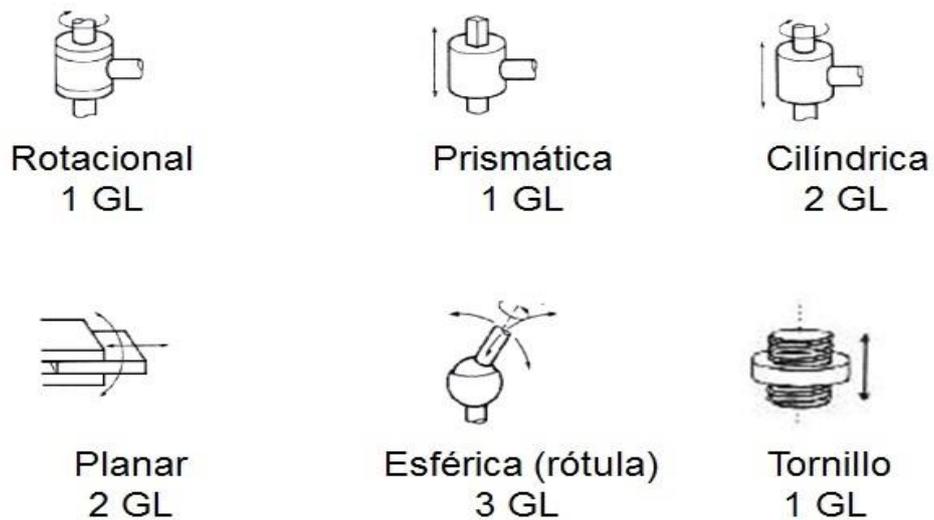


Figura 6. Tipos de articulaciones

Estas articulaciones, hacen que el robot disponga de un área de trabajo diferente. El campo de acción es el volumen espacial al que puede llegar el extremo del robot. El

volumen viene determinado por la forma, tamaño y tipo de los eslabones que integran el robot, así como por las limitaciones de movimiento impuestos por el sistema de control.

Nunca se debería utilizar el efector final posicionado en la muñeca para obtener el campo de acción, ya que es un elemento externo añadido al robot, y si el efector varía, el campo de acción se calculará de nuevo.

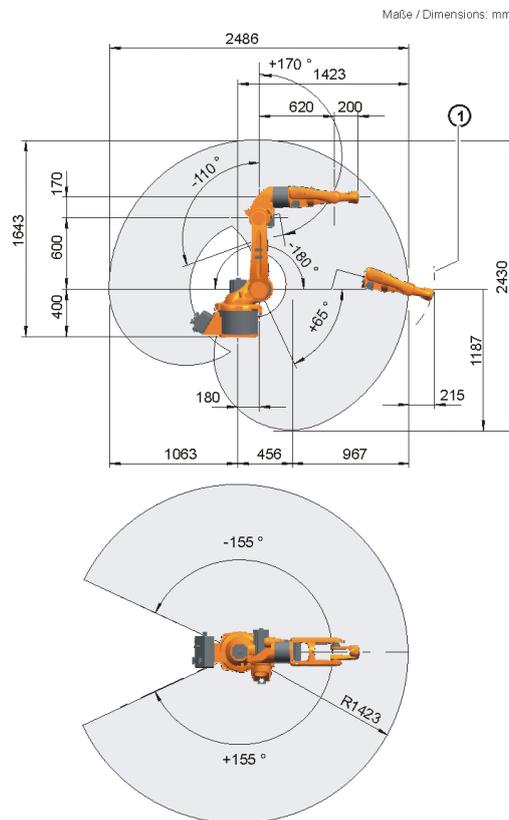


Figura 7. Campo de acción de un Robot Antropomórfico

Los fabricantes en los catálogos suelen indicar el campo de acción mediante la acotación de un dibujo. Si esta información viene dada de forma numérica, el campo de acción se indicará por medio del rango de recorrido de cada articulación.

Para la elección del robot siempre se tendrá que tener en cuenta esta área de trabajo, para permitir a este poder llegar a todos los puntos que se desea para realizar correctamente su tarea.

3.2 Métodos de programación de los robots industriales

En el mundo de los robots, estos son controlados por sistemas informáticos, y el lenguaje es el medio del cual hace uso el ser humano para poder manejar el funcionamiento de las máquinas. Así pues, su adecuada adaptación a la tarea a realizar y

la sencillez del manejo en los robots industriales, son los factores determinantes de su rendimiento.

Existen diversas maneras de comunicación entre el humano y el robot, pero estas dos son las soluciones más comunes para lograrlo: **el guiado o enseñanza y repetición, y el lenguaje de programación de alto nivel.** La programación utilizada en robótica puede ser explícita, donde el operador es responsable de las acciones de control y la implementación de instrucciones adecuadas; o estar basada en la modelación del mundo exterior, donde la tarea es descrita y el entorno y el propio sistema toma las decisiones.

Nos centraremos en la programación explícita que tiene su uso en las aplicaciones industriales y consta de dos técnicas principales:

1. Guiado/Programación Gestual o Directa.
2. Lenguaje de programación de alto nivel/Programación Textual.

3.2.1. Programación por guiado

1. Guiado o enseñanza y repetición: es una de las soluciones de comunicación más comunes adoptadas actualmente en los robots industriales. El método consiste en dirigir el robot para enseñarle los movimientos que debe realizar para cumplir con la tarea deseada. Para realizar el método del guiado se debe de seguir una serie de pasos:

- Haciendo uso del control manual que consiste en dirigir el robot con movimientos lentos grabando los ángulos del movimiento del robot en los sitios claves para realizar la tarea completa y que este pueda poder repetir los movimientos constantemente.
- Reproducir y repetir el movimiento que se quiere enseñar.
- Si el movimiento enseñado es el correcto, al robot se le hace funcionar a la velocidad óptima en modo repetitivo.

Para guiar el robot con movimientos lentos se puede hacer uso de un sistema de manipulación maestro-esclavo, mediante un con junto de botones o por mediación del joystick.

Programación gestual o directa

La programación gestual, consiste en coger el brazo y guiarlo directamente haciendo las trayectorias que se desees que realice el robot. En memoria se graban los puntos del camino para que luego se puedan repetir. En el uso de esta programación, se tiene que tener en cuenta el uso del manipulador en el momento de enseñanza, podemos decir que se estaría trabajando “Online”.

En esta programación, el mismo brazo es el que interviene directamente en la trayectoria y en las acciones que ha de desarrollar en la aplicación. Esto hace referencia como comentábamos anteriormente a la programación “OnLine”.

La programación gestual se puede subdividir en dos tipos:

- Aprendizaje directo.

- Mediante dispositivo de enseñanza.

En el aprendizaje directo, las trayectorias se pueden realizar con ayuda de un dispositivo especial situado en la muñeca del robot, que una vez memorizadas, van a ser repetidas por el manipulador constantemente. En esta técnica los operarios no precisan de ningún conocimiento de “Software”, pero con experiencia en el sector se podrían preparar sin ningún tipo de problema su propio programa. Una de las cosas a tener en cuenta en este tipo de programación es que las modificaciones son bastante complejas ya que para hacer una nueva trayectoria tiene como requisito la definición de una gran cantidad de puntos.

La programación mediante dispositivos de enseñanza, consiste en determinar las acciones y movimientos del brazo manipulador, mediante *joystick, teclas, pulsadores, botones o luces indicadoras*. Las operaciones ordenadas se sincronizan para conformar el programa de trabajo. Hay que tener una cosa en cuenta, no sólo se permite el movimiento de las articulaciones del manipulador, sino que también se generan funciones auxiliares, *generación de retardos, borrado y modificación de puntos de trabajo, selección de velocidades, señalización del estado de los sensores y funciones especiales*. En este tipo de programación el operario no necesita de ningún lenguaje para realizar la aplicación, con sólo la asimilación de los elementos que constituyen el dispositivo de enseñanza sería suficiente.

Los lenguajes de programación gestual, además de necesitar el propio robot en la confección del programa, carecen de adaptabilidad en tiempo real con el entorno y no pueden tratar, con facilidad, interacciones de emergencia.

Este es el lenguaje de programación más común empleado para los robots colaborativos.

3.2.2. Programación a alto nivel

2. Lenguaje de programación a alto nivel: esta tercera opción da la solución más generalizada para la comunicación entre el hombre y el robot. Gracias al guiado las tareas de soldadura o pintura se podían resolver con facilidad en estas últimas décadas, ya que éstas no requerían de la interacción entre el robot y el entorno que lo rodea, por eso podían ser programadas de este método. No obstante, en la línea de producción donde el robot confía en la realimentación de sensores, se requiere el uso de técnicas de programación de lenguaje a alto nivel para poder llevar a cabo estas tareas. Las interacciones únicamente se pueden mantener por métodos de programación que contengan condiciones.

Actualmente los lenguajes de la informática clásicos como el BASIC, PASCAL, FORTAN, etc., no son capaces de poder mandar instrucciones ni tienen disponibles comandos específicos que requieren los robots para poder realizar sus respectivos trabajos. Por este motivo, los fabricantes de robots se han visto obligados a diseñar lenguajes propios de la Robótica. Sin embargo, hasta el momento los lenguajes desarrollados, han sido dirigidos en concreto a un determinado modelo de manipulador y una tarea específica, lo que ha derivado a una no-aparición de un lenguaje de carácter universal transportable entre máquinas.

Dependiendo de la complejidad, el nivel del lenguaje y la base de datos que se requiere, la estructura del sistema informático del robot puede variar notablemente.

Programación textual

La programación textual, consiste en el uso de un lenguaje, mediante el cual se especifican las acciones a realizar por el brazo. En este caso se puede decir que se trabaja “Offline” porque la máquina no participa. Las trayectorias que anteriormente se calculaban a ojo con este método son calculadas matemáticamente con gran precisión.

En la programación textual, los lenguajes se pueden clasificar en distintos niveles, según se realice la descripción del trabajo del robot. Este es el orden que presentan según su complejidad, de menor a mayor:

1. Elemental, control directo sobre el movimiento de articulaciones del manipulador.
2. Dirigidos al posicionamiento del elemento terminal del manipulador.
3. Orientados al objeto sobre el cual opera el sistema.
4. Enfoque en la tarea a realizar del robot.

Como hemos explicado con anterioridad para la realización del programa se precisa de un texto con instrucciones, donde el robot no interviene directamente en ningún momento de la programación, se trabaja “OffLine”. En este caso el programador calcula matemáticamente y con exactitud las acciones a realizar, a través del uso del lenguaje de programación.

Este tipo de programación se utiliza en casos más exactos y precisos como el ensamblaje de piezas, donde el robot tiene que interactuar con el entorno. Otra cosa a tener en cuenta es que al utilizar este tipo de programación la modificación de acciones y trayectorias es total, interviniendo el robot sólo en la puesta a punto final.

La programación textual se puede subdividir en dos grupos:

- Textual explícita.
- Textual especificativa.

La ***programación textual explícita***, consiste en la programación de instrucciones específicas, que van señalizando las operaciones que se van a reproducir durante la aplicación. Ésta se basa en los movimientos punto a punto, similar a los que se usan en la programación gestual, pero con un lenguaje formal. El programador en este tipo de programación es el responsable de las situaciones anormales que se puedan presentar como colisiones, etc.

La programación textual explícita se divide en dos niveles:

1. Movimientos elementales, que se usa para el control de los movimientos del brazo manipulador donde existen dos tipos, *el articular* cuando nos referimos al movimiento de las articulaciones indicando el incremento angular de éstas, y *el cartesiano* cuando nos referimos al punto final del trabajo (TCP), haciendo uso de transformaciones homogéneas. Estos niveles elementales toman ventaja sobre los

punto a punto, teniendo posibilidad de poder hacer saltos de subrutinas y bifurcaciones simples, así como en el trato de información de los sensores.

2. Estructurado, donde se intenta hacer relaciones entre el sistema del robot y el objeto, para el desarrollo del lenguaje sobre una formal estructura. En este tipo de lenguaje se suele usar transformaciones de coordenadas, que exigen un cierto nivel de conocimientos. Este es el motivo que la poca popularidad que tienen estos lenguajes actualmente.

Por otra parte, la *programación textual especificativa*, es una programación del tipo no procesal, donde el usuario mediante una modelización describa las especificaciones de los productos, así como las tareas a realizar sobre éstos. La programación en su sistema informático requiere de una base de datos bastante compleja, dependiendo de la aplicación, pero con computadoras potentes para procesar mucha información.

El principal trabajo para la programación será el de describir las tareas que se quieren realizar, lo que permite llevar a cabo complicados trabajos. Según la orientación del modelo puede haber dos clases:

1. Si el modelo se orienta al nivel de los objetos, el lenguaje trabaja con ellos y establece las relaciones entre ellos. Se trabaja “Offline” y es posible la conexión CAM. Hay que tener el ajuste a realizar sobre el robot con el entorno debido a la imprecisión de los cálculos del ordenador y de las medidas de las piezas.
2. Si el modelo se orienta hacia los objetivos, se define el producto final. El usuario será capaz de resolver gran parte de los problemas, con la combinación de la inteligencia artificial y la automática gracias a la creación de lenguajes de muy alto nivel.

Aunque muchos son los intentos de estandarización, como hemos podido ver con anterioridad no existe un lenguaje único y cada casa de Robots ha desarrollado el suyo propio. Entre las marcas que más implantación tienen en la industria 4.0 podemos encontrar diferentes lenguajes como Karel para Fanuc, Rapid para ABB, KRL para KUKA o V+ para Staübli; aunque sin duda alguna existen muchos más cómo podemos observar a continuación:

LENGUAJE	UNIVERSIDAD /FABRICANTE	ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS	APLICACIONES
WAVE (1973)	Stanford	- Nivel actuador - Compilador asociado al robot. - Sintaxis simple: MOVE, SEARCH, CENTER. - Objetos tratados: constantes, variables, vectores, contadores	- Manipulación de piezas mecánicas. - Montaje de bomba de agua. - Ensamblaje.
AL (Assembly Language) (1974)	Stanford	- Basado en PASCAL. - Nivel actuador. - Transformador de coordenadas. - Sintaxis compleja: MOVE TO, MOVE VIA, etc., SEARCH, ACROSS SEARCH, WITHOUT ..., CENTER ON ... - Objetos tratados: los de Wave más planos, traslaciones, rotaciones. - Estructura Algol.	- Manipulación de piezas mecánicas. - Sistema de desarrollo de programas Pointy. - Robots Unimation.
RAPT (1978)	Sistemas de Toulouse (Universidad de Edimburgo)	- Interprete escrito en APT. - Nivel objeto.	- Montaje
VAL I (1979) VAL II (1983)	Unimation	- Se partió de AL, pero utilizando BASIC. - Nivel actuador. - Transformador de coordenadas. - Instrucciones de movimiento y de control (MOVE-, DEPART-). - instrucciones Aritméticas. - Estructura Algol.	- Robot Puma de Unimation
MCL	Cincinnati Milacron	- Desarrollo por ICAM y realizado en Fortran	
AML (1979) FUNKY MAPLE AUTOPASS (1977)	IBM	- Alto nivel interactivo estructurado. - Nivel objeto. - Compilador al nivel. - Sintaxis evolucionada, como colocar X sobre Y alineando Z y T.	- Corresponde al nivel de descripción de las gamas de montaje actuales.
LRP	ACMA	- Desarrollado en colaboración con la Universidad de Montpellier.	
V+ (1989)	ADEPT	- Lenguaje textual de alto nivel. - Ejecución de varios programas al mismo tiempo (multitarea). - Proceso asincrono o ejecución de rutinas de reacción ante determinados eventos.	- Usado en Adept y Staübli
RAPID (1994)	ABB	- Lenguaje textual de alto nivel altamente estructurado. - Estructura modular del programa. - Uso de estructuras predefinidas para especificar la configuración del robot y las características de la herramienta.	
KAREL	FANUC	- Basado en PASCAL. - Soporta la multitarea. - Estructura de datos asociados modificable.	
KRL	KUKA	- Basado en el estándar IRL, descrito en la norma DIN 66312, lo que aporta transportabilidad.	

Tabla 2. Lenguajes de programación

Es por esto que hay que centrarse sobre todo en el brazo que queremos y la marca de éste, porque la decisión que tomemos irá directamente ligada al tipo de programación que vamos a tener que saber para el funcionamiento del robot. Lo que realmente importa es aprender competencias generales para poder manejar cualquier robot, refiriéndonos tanto a configuraciones y componentes como de la propia programación, ya que todos estos coinciden en las principales instrucciones que permiten programar las acciones a realizar, control del elemento terminal y la comunicación y sincronización.

Las seis características principales que debe tener un lenguaje ideal son:

1. Claridad y sencillez.
2. Claridad de la estructura del programa.
3. Sencillez de la aplicación.

4. Facilidad de ampliación.
5. Facilidad de corrección y mantenimiento.
6. Eficacia.

Cumpliendo con estas características no sería suficiente para la realización del llamado lenguaje universal de programación de robots, por lo que tendríamos que tener en cuenta los siguientes requisitos:

- Posible adaptación a sensores (visión, tacto, etc.).
- Poder interactuar con otros sistemas.
- Poder transportarse sobre cualquier equipo informático o mecánico.
- Poder describir todo tipo de herramientas que se puedan acoplar al manipulador.

La programación que usaremos en nuestra aplicación, al tratarse de un robot de la marca Fanuc, es Karel basado en el lenguaje clásico Pascal. Cabe destacar que no será del todo igual, ya que no disponen de instrucciones y comando específicos que necesitan los robots, para aproximarse a su configuración y a los trabajos que han de realizar. El Karel es un lenguaje que se ha desarrollado creando primero un nuevo lenguaje de propósito general como base de programación y después agregándole una biblioteca de subrutinas específicas para robots.

La manera más habitual a la hora de programar el robot es hacer uso de una combinación de los dos grandes métodos comentados con anterioridad, “Offline” para realizar la definición de la lógica y la secuencia del programa es decir utilizando un lenguaje textual, y “Online” para localizar los puntos específicos en el espacio de trabajo es decir utilizando programación por guiado.

4. CARACTERIZACIÓN TÉCNICA DEL ROBOT SELECCIONADO

Después de haber realizado una breve clasificación de los diferentes tipos de robots existentes según su configuración, nos centramos en la explicación completa del Robot Delta, ya que va a ser el robot objeto de desarrollo en el presente trabajo. Este tipo de robot es la mejor opción tanto por el tipo de aplicación que queremos desarrollar, como por el rango de trabajo y los movimientos a efectuar.

Los robots delta están dotados de una gran rigidez, traslado de carga y exactitud de posición. Los robots tienen una alta capacidad para trabajar a altas velocidades y aceleraciones. En el presente, se puede apreciar una atención bastante grande de posibles aplicaciones industriales, como, por ejemplo: empacamiento, simulación de movimiento, manipulación, procesos de ensamble y máquinas de fresado. También se puede observar un gran crecimiento en aplicaciones relacionadas con la rama de la industria de máquinas-herramientas y la medicina robótica, donde se requiere una gran precisión para el posicionamiento. A estos nos referimos, a la repetibilidad más exacta del efector final, ya que este está relacionado directamente con la alta precisión de manufactura. Estos robots paralelos, a diferencia de los seriales, poseen una conexión directa en su muñeca a la base mediante diversas cadenas cinemáticas en paralelo.

Los inicios de la investigación en el campo del robot Delta vienen datados en el año 1942, cuando se patentó el mecanismo para la pintura de los automóviles, cuyo autor fue Pollard.

McCough en 1947 hizo una propuesta sobre una plataforma de 6 grados de libertad, esta fue utilizada más adelante por Stewart en un simulador de vuelo. Muchos son los investigadores que han presentado su interés a lo largo del tiempo en estos manipuladores que presentan un gran abanico de posibilidades en aplicaciones industriales. [Clavel, 1988; Pierrot, 1991; Badano, 1993; Arai and Tanikawa, 1996; Tsumaki et al. 1998]. Estos manipuladores tienen como un gran número de ventajas frente a los tradicionales brazos seriales. Como hemos comentado anteriormente, tienen como característica principal una mayor rigidez y movimiento en masas pequeñas con respecto a los robots seriales. Gracias a estas dos características, podemos obtener una gran precisión a la hora de manipular.

El desarrollo del Robot Delta, nace de la necesidad de los sectores de manufactura y producción de tener manipuladores que trabajaran a alta velocidad y repetibilidad, pero siempre con una alta precisión en todas las tareas realizadas. El Robot Delta se puede considerar uno de los robots más veloces, gracias a que puede alcanzar velocidades de hasta 500 m/s.



Imagen 4. Robot Delta M3 – iA 6S Fanuc

4.1. Cinemática de los robots Delta

La cinemática de los robots no es más que el estudio completo de los movimientos que este puede realizar. Para el análisis cinemático hay que tener en cuenta diferentes elementos: la posición, velocidad y aceleración, estos son calculados sin tener en cuenta las fuerzas que pueden causar el movimiento. En la dinámica del robot deben ser estudiadas la relación entre el movimiento y las fuerzas asociadas.

Este estudio cinemático de los manipuladores hace referencia a cada una de las propiedades geométricas basadas en el tiempo de movimiento. Lo que constituye el problema dinámico son las relaciones entre los movimientos y las fuerzas y movimientos de torsión que lo ocasionan. Uno de los problemas más básicos que se pueden dar en el estudio de la manipulación mecánica, es nombrado como cinemática directa, que se define como problema geométrico estático a la hora de calcular orientación y posición del efector final del manipulador.

La cinemática se puede dividir en dos problemas distintos: cinemática inversa y directa.

- La cinemática inversa se refiere a cuando se desea saber dónde desplazar el efector final y se tiene que saber en qué posición deberían estar los motores del robot para poder llegar a dicha posición.
- La cinemática directa hace referencia al uso de las ecuaciones cinemáticas con las cuales poder calcular la posición de su efector final, todos estos cálculos que se pueden realizar siempre son a partir de valores específicos denominados parámetros.

Si se observa con detalle la siguiente figura, podemos ver que los dos triángulos móviles equiláteros son dos plataformas: la primera plataforma, la más grande y de color verde hace referencia a la base fija del robot, y la plataforma más pequeña y de color rosa hace referencia a la parte que sujeta el efector final. Las articulaciones de los actuadores

tienen un ángulo θ_1 , θ_2 y θ_3 , y la posición del actuador final viene dada por el punto E_0 con las coordenadas (x_0, y_0, z_0) .

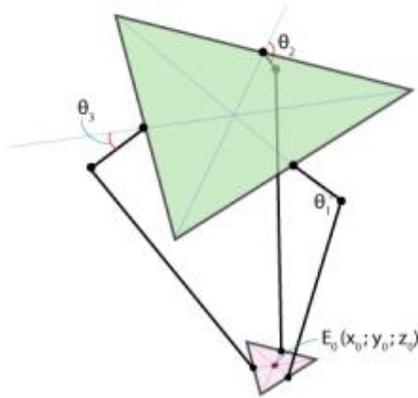


Figura 8. Parámetros de movimientos de las articulaciones de los Robots Delta

4.1.1. Cinemática inversa

Para poder calcular la cinemática inversa se necesita la creación de una función que devuelva θ_1 , θ_2 y θ_3 a partir de $E_0(x_0, y_0, z_0)$.

Para poder determinar varios parámetros que son clave en la geometría de los Delta, se debe tomar como referencia la plataforma fija o el triángulo verde como \mathbf{f} , y el lado de la plataforma móvil o el triángulo rosa como \mathbf{e} , el extenso de la línea que une las dos plataformas será nombrada como \mathbf{rf} y el extenso de la línea que está unida a la plataforma móvil será nombrada como \mathbf{re} . En la figura que tenemos en la parte inferior podemos observar estos parámetros representados, todos los parámetros siempre dependerán del diseño de robot que se realice.

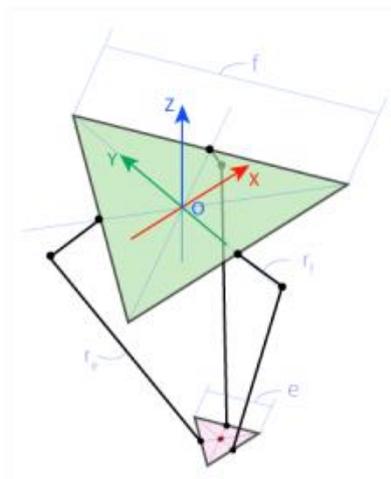


Figura 9. Parámetros de la geometría del robot

En la siguiente figura, podemos observar que por el diseño del robot **F1J1** solo tiene la posibilidad de rotación en el plano **YZ** creando un círculo con centro en **F1** y radio **rf**. Por lo contrario, **F1**, **J1** y **E1** son articulaciones universales, esto significa que **E1J1** tiene rotación libre relativa a **E1**, creando una esfera con centro en **E1** y radio **re**.

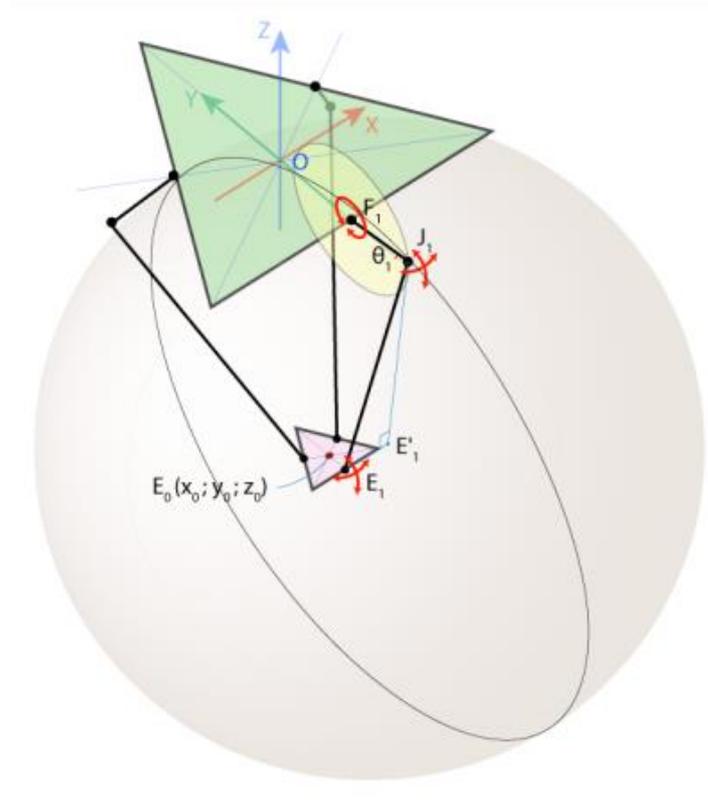


Figura 10. Esfera con centro en E_1

La intersección entre el plano **YZ** y la esfera, crea una circunferencia con centro en **E'1** y radio **E'1J1**, donde **E'1** es la proyección del punto **E1** en el plano **YZ**. Se puede encontrar el punto **J1** en el cruce de las dos circunferencias de radio que tienen el centro en **E'1** y **F1**. Una vez conocido **J1**, se puede proceder a calcular el ángulo *theta1*.

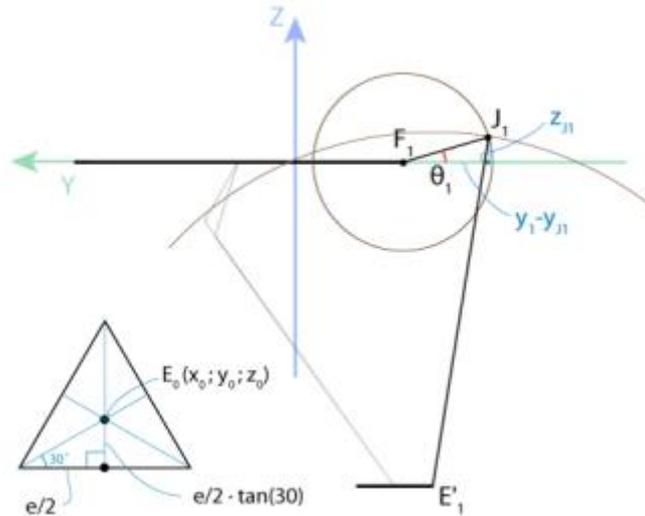


Figura 11. Plano YZ

$$\begin{aligned}
 & E(x_0, y_0, z_0) \\
 & EE_1 = \frac{e}{2} \tan 30^\circ = \frac{e}{2\sqrt{3}} \\
 & E_1(x_0, y_0 - \frac{e}{2\sqrt{3}}, z_0) \Rightarrow E'_1(0, y_0 - \frac{e}{2\sqrt{3}}, z_0) \\
 & E_1E'_1 = x_0 \Rightarrow E'_1J_1 = \sqrt{E_1J_1^2 - E_1E'_1^2} = \sqrt{r_e^2 - x_0^2} \\
 & F_1(0, -\frac{f}{2\sqrt{3}}, 0) \\
 & \begin{cases} (y_{J1} - y_{F1})^2 + (z_{J1} - z_{F1})^2 = r_f^2 \\ (y_{J1} - y_{E1})^2 + (z_{J1} - z_{E1})^2 = r_e^2 - x_0^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} (y_{J1} + \frac{f}{2\sqrt{3}})^2 + z_{J1}^2 = r_f^2 \\ (y_{J1} - y_0 + \frac{e}{2\sqrt{3}})^2 + (z_{J1} - z_0)^2 = r_e^2 - x_0^2 \end{cases} \Rightarrow J_1(0, y_{J1}, z_{J1}) \\
 & \theta_1 = \arctan\left(\frac{z_{J1}}{y_{F1} - y_{J1}}\right)
 \end{aligned}$$

Figura 12. Cálculo para la obtención de theta1

La línea **F1J1** tan solo se puede mover en el plano **YZ** por lo que **X** se puede omitir. Si se quiere usar esto en los otros ángulos **theta2** y **theta3**, se debe usar la simetría del robot paralelo. Como podemos ver a continuación, en primer lugar, se debe realizar una rotación de 120° en sentido anti horario, del sistema de coordenadas **XY**.

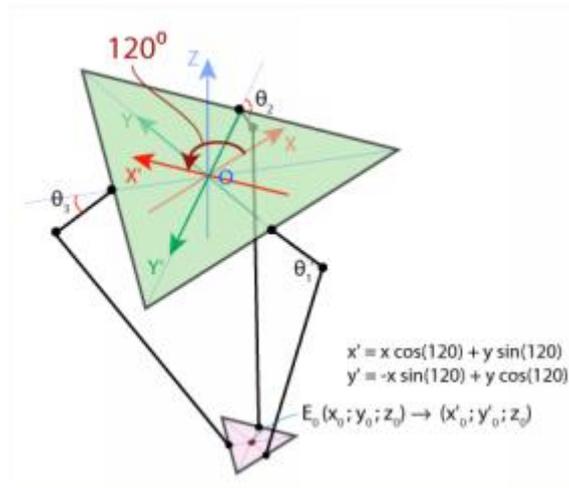


Figura 13. Rotación 120°

Se acaba de obtener X'Y'Z' el cual es un nuevo sistema de referencia, donde podemos calcular el ángulo **theta2** haciendo uso del algoritmo empleado para el cálculo de **theta1**. Lo único que hay que hacer es determinar **x'0** e **y'0** que se puede realizar usando la matriz de rotación. Si se quiere calcular el ángulo **theta3** solo se tendría que realizar una rotación de 120° pero esta vez en sentido horario.

4.1.2. Cinemática directa

Para poder calcular la cinemática inversa se necesita la creación de una función que devuelva $E_0(x_0, y_0, z_0)$ a partir de **theta1**, **theta2** y **theta3**.

Al tener conocimiento de los ángulos **Theta**, la obtención de las coordenadas de los puntos **J1**, **J2** y **J3** se puede hacer con relativa facilidad (observar imagen inferior). Las líneas **J1E1**, **J2E2** y **J3E3** tienen rotación libre alrededor de los puntos **J1**, **J2** y **J3** respectivamente, que con radio en **re** forman 3 esferas.

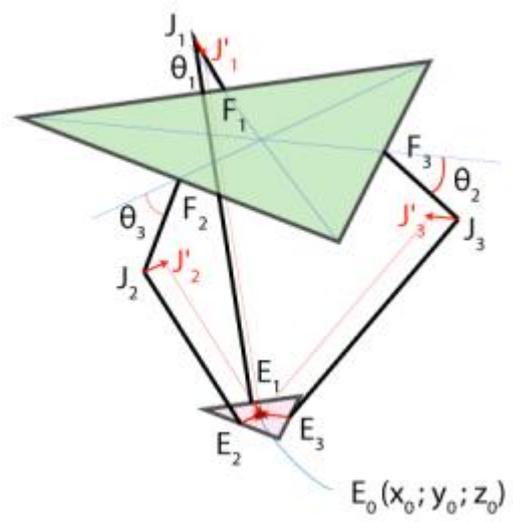


Figura 14. Obtención de los puntos J_1 , J_2 y J_3

Si los centros de las esferas son desplazados en J_1 , J_2 y J_3 a los puntos J'_1 , J'_2 y J'_3 haciendo uso de los vectores de transición E_1E_0 , E_2E_0 y E_3E_0 respectivamente, las 3 esferas van a formar una intersección en el mismo punto, E_0 , como se puede observar en la siguiente imagen.

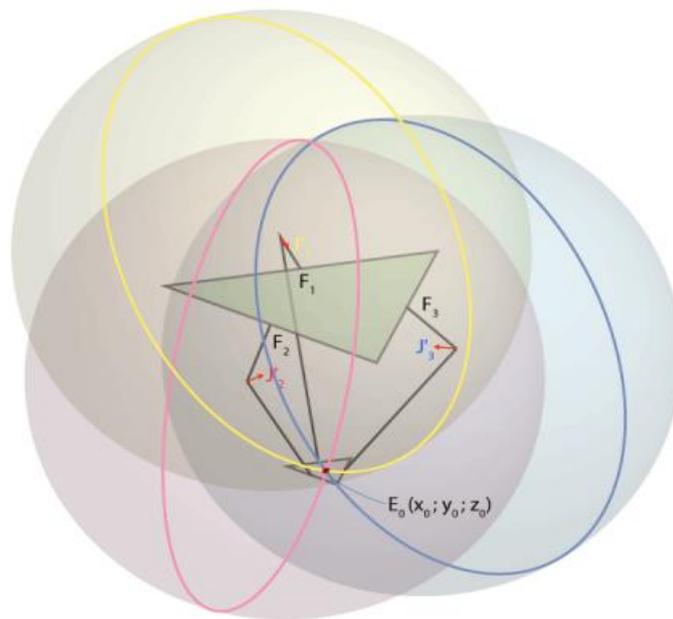


Figura 15. Intersección de las 3 esferas

Si se quiere hallar las coordenadas (x_0, y_0, z_0) , del punto E_0 se debe resolver tres tipos de ecuaciones como esta $(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 + (z - z_j)^2 = r^2$ donde los radios r y los centros de las esferas (x_j, y_j, z_j) son conocidos.

Lo primero que hay que hacer es hallar las coordenadas de los puntos J'_1 , J'_2 y J'_3 :

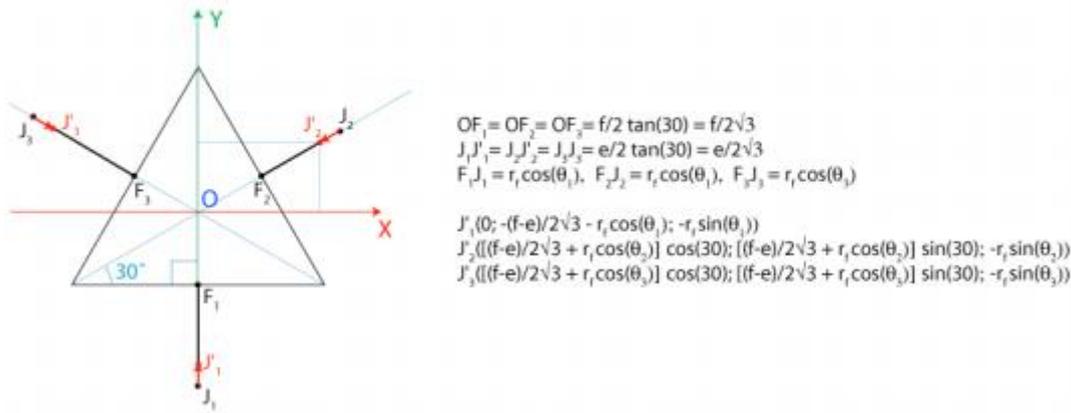


Figura 16. Cálculo de los puntos J'1, J'2 y J'3

A continuación, designamos las coordenadas de **J1**, **J2** y **J3** siendo $(x1, y1, z1)$, $(x2, y2, z2)$ y $(x3, y3, z3)$. Teniendo en cuenta que $x0=0$ las ecuaciones de las 3 esferas serían las siguientes:

$$\begin{cases} x^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = r_e^2 & (1) \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = r_e^2 & (2) \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = r_e^2 & (3) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x^2 + y^2 + z^2 - 2y_1 y - 2z_1 z = r_e^2 - y_1^2 - z_1^2 & (1) \\ x^2 + y^2 + z^2 - 2x_2 x - 2y_2 y - 2z_2 z = r_e^2 - x_2^2 - y_2^2 - z_2^2 & (2) \\ x^2 + y^2 + z^2 - 2x_3 x - 2y_3 y - 2z_3 z = r_e^2 - x_3^2 - y_3^2 - z_3^2 & (3) \end{cases}$$

$$w_1 = x_1^2 + y_1^2 + z_1^2$$

$$\begin{cases} x_2 x + (y_1 - y_2)y + (z_1 - z_2)z = (w_1 - w_2)/2 & (4) = (1) - (2) \\ x_3 x + (y_1 - y_3)y + (z_1 - z_3)z = (w_1 - w_3)/2 & (5) = (1) - (3) \\ (x_2 - x_3)x + (y_2 - y_3)y + (z_2 - z_3)z = (w_2 - w_3)/2 & (6) = (2) - (3) \end{cases}$$

From (4)-(5):

$$x = a_1 z + b_1 \quad (7) \quad y = a_2 z + b_2 \quad (8)$$

$$a_1 = \frac{1}{d} [(z_2 - z_1)(y_3 - y_1) - (z_3 - z_1)(y_2 - y_1)] \quad a_2 = -\frac{1}{d} [(z_2 - z_1)x_3 - (z_3 - z_1)x_2]$$

$$b_1 = -\frac{1}{2d} [(w_2 - w_1)(y_3 - y_1) - (w_3 - w_1)(y_2 - y_1)] \quad b_2 = \frac{1}{2d} [(w_2 - w_1)x_3 - (w_3 - w_1)x_2]$$

$$d = (y_2 - y_1)x_3 - (y_3 - y_1)x_2$$

Now we can substitute (7) and (8) in (1):

$$(a_1^2 + a_2^2 + 1)z^2 + 2(a_1 + a_2(b_2 - y_1) - z_1)z + (b_1^2 + (b_2 - y_1)^2 + z_1^2 - r_e^2) = 0$$

Figura 17. Ecuaciones de las 3 esferas

4.2. Datos técnicos del robot seleccionado

El robot tipo delta seleccionado es en concreto un M-3iA/6S de la marca Fanuc, para el que se desarrollará una garra triple para una aplicación concreta "Pick&Place": colocación de sobres de chocolate sobre gofres.

Fanuc comercializa este robot sin su efector final, sólo da la información técnica de la muñeca del robot, es decir, sus planos para la adaptación del actuador a su respectiva aplicación específica. Con esta información, se ha realizado un diseño para poder cumplir el objetivo de la aplicación, es decir, el robot mediante una programación y con la garra montada en su muñeca, tendrá la capacidad de poder funcionar para realizar una producción en el mundo industrial.

A continuación, se expone cómo hemos realizado el desarrollo del efector final y todo lo que se ha tenido que tener en cuenta para el desempeño que le da forma en el cómputo global a nuestra “Garra”.

La **carga útil** que necesita soportar el robot es de unos 4 Kg, contando el peso de la garra más el de los sobres de chocolate a coger. El robot escogido es capaz de levantar hasta 6 Kg sin influir en su funcionamiento, es el margen que hemos trabajado de los 4 Kg que calculamos, que puede pesar el efector final hasta su carga máxima nominal. Hay que tener en cuenta que la carga requerida por el robot está relacionada con la distancia en la carga final.

Los **grados de libertad** están directamente relacionados con el número de ejes, por esto, la elección de un Robot Delta que posee 4 ejes es muy clara, ya que para pasar objetos de una cinta transportadora a otra no se necesita de un Robot con mayor número de ejes que este. Sus cuatro ejes, su muñeca de un solo eje de alta velocidad, que aporta una mayor destreza, y su largo alcance, lo convierte en la opción idónea para aplicaciones de picking que abarcan varias cintas transportadoras.

Motion range (°)						
J1	J2	J3	J4	J5	J6	E1
ø 1350 x 500 *3			720	-	-	-

Figura 18. Grados de libertad

El **rango de operación máximo** consta del análisis de la máxima distancia que el robot debe alcanzar. Se necesita también calcular exactamente la distancia que queremos que alcance. Por este motivo las compañías que fabrican robots proporcionan un mapa de rango de movimiento del robot escogido, a partir del cual se verá si el robot es apto o no para nuestra aplicación en particular.

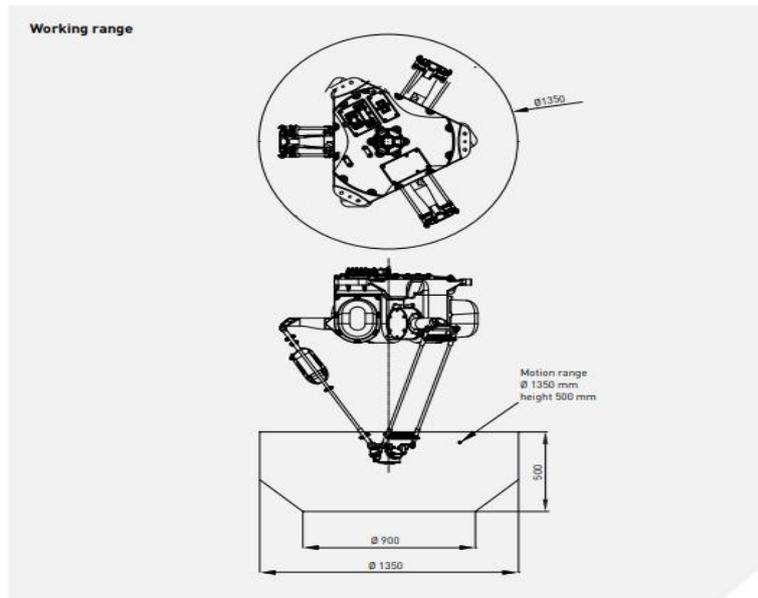


Figura 19. Rango de trabajo

La altura vertical máxima del robot se mide desde el punto más bajo que el robot puede alcanzar (generalmente debajo de la base del robot) hasta la altura máxima (Y) que la muñeca puede alcanzar. La distancia máxima de movimiento horizontal es la distancia (X) desde el centro de la base del robot hasta el centro del punto más lejano que la muñeca puede alcanzar horizontalmente.

Viendo el rango de trabajo que tiene y calculando el dato de alturas de las dos cintas transportadoras, la que pasan los gofres donde serán depositados los sobres y la que abastece los sobres de chocolate al robot, se puede realizar la altura mínima que tendrá que tener nuestro efector final para que ésta pueda llegar a los dos puntos requeridos.

La **precisión de posicionamiento repetido o repetibilidad** es un factor que también influye en gran valor a nuestra aplicación porque necesitamos que nuestro Robot tenga la capacidad de completar tareas de trabajo rutina cada vez que llegan al mismo destino o ubicación.

Repeatability
 (mm)

± 0.1

Figura 20. Repetibilidad

Normalmente se dice que una repetibilidad normal es de $\pm 0.05\text{mm}$, pero como para nuestra aplicación se precisa de una mayor repetibilidad, se ha considerado que este robot $\pm 0.01\text{mm}$ es una buena opción para el correcto funcionamiento de nuestra aplicación.

La **velocidad** es un parámetro muy importante a tener en cuenta porque va estrechamente relacionado dependiendo del usuario. Esto quiere decir que depende del tiempo de ciclo que se quiera cumplir en la aplicación habrá que tener en cuenta un robot u otro.

Maximum speed (°/s)						
J1	J2	J3	J4	J5	J6	E1
-	-	-	4000	-	-	-

Figura 21. Velocidad máxima

Con su muñeca de un solo eje capaz de trabajar a velocidades de hasta 4.000 grados por segundo, este modelo es ideal a alta velocidad. Industrias y aplicaciones de “Picking” y creación de kits. Por este motivo también cumple los requisitos que le exigimos pudiendo ir a grandes velocidades para tiempos de ciclo muy cortos, produciendo así 180 gofres por minuto.

El **peso corporal** es un factor muy importante, sobre todo a la hora de poder diseñar la célula del robot. En este caso es un robot que tiene gran peso y su célula cuenta con una gran estructura de hierro, que lo eleva y le permite trabajar en paralelo con las cintas desde el techo.

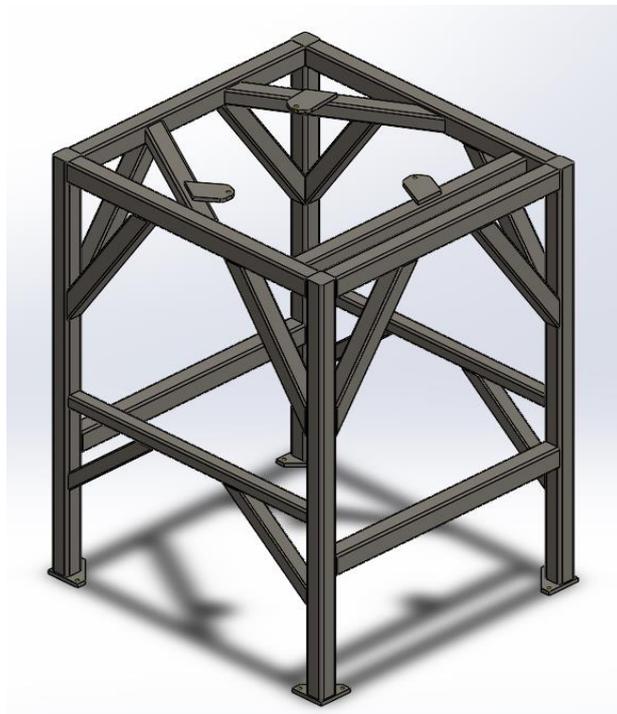


Imagen 5. Célula del robot

Una vez conocido el peso del robot más el de la garra se realiza el diseño de la estructura encargada de soportar el peso en estático y en dinámico, es decir todas las fuerzas que pueda realizar el Robot a máxima velocidad para poder realizar el Pick&Place dentro del tiempo de ciclo estimado.

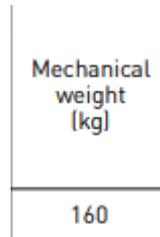


Figura 22. Peso del robot.

El **freno y el momento de inercia** suele darse en la ficha técnica del robot, algunos de ellos poseen frenos en todos los ejes mientras que otros no. Este número de frenos viene dado para garantizar una posición precisa y repetible en el área de trabajo. Hay que tener en cuenta que, si se produjera un corte de energía por algún accidente, si no tuviera frenos el eje de la carga no se bloquearía, provocando un riesgo de accidente.

También suele venir dada la información del momento de inercia con la que se facilita el diseño de la célula del robot y su seguridad. También puede notar el par aplicable en diferentes ejes. Por ejemplo, si su acción requiere una cierta cantidad de par para realizar el trabajo correctamente, debe verificar si el par máximo aplicado en el eje es correcto. Si la selección es incorrecta, el robot puede apagarse debido a una sobrecarga.

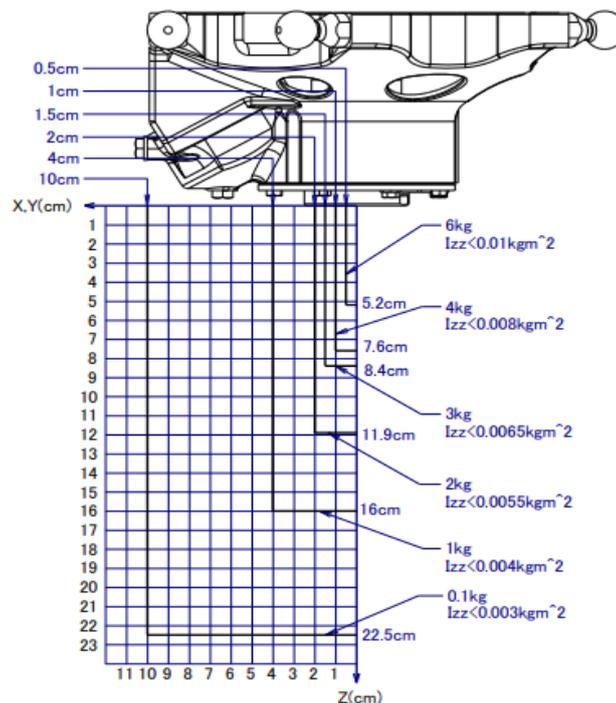


Figura 23. Diagrama momentos de inercia

El **nivel de protección** viene dado por el grado de protección que necesitemos dar dependiendo del entorno (**IP**). Si el robot va a trabajar con un producto relacionado con la industria de la alimentación requerirá de una protección IP67, ya que en el sector alimentario se suele trabajar en ambientes donde el polvo y la suciedad no deben de estar presentes, permitiendo un lavado completo.

Protection	
Body standard/optional	IP67
Wrist & J3 arm standard/optional	IP67

Figura 24. Número de protección

Una vez analizados los datos técnicos y específicos de nuestro robot, queda claro que cumple con los requisitos propuestos para la realización de la aplicación de automatización de principio de línea. Pick&Place de sobres de chocolate, donde el robot cuenta con una alta capacidad de producción.

5. DESARROLLO MECÁNICO

5.1. Herramientas empleadas

5.1.1. Sistemas CAD

El término CAD, hace referencia al software que se utiliza para diseñar y fabricar productos. Consiste en usar las tecnologías informáticas para el diseño y la documentación de diseño. El software de diseño reemplaza los dibujos a mano con procesos automatizados. El CAD atiende prioritariamente aquellas tareas exclusivas del diseño, tales como el **dibujo técnico** y la documentación del mismo, pero normalmente permite realizar otras tareas complementarias relacionadas principalmente con la presentación y el análisis del diseño realizado.

Las herramientas de uso se pueden clasificar básicamente en 2, programas de dibujo 2D y de modelado 3D. Las herramientas de dibujo en 2D son básicamente entidades geométricas vectoriales como líneas, polígonos, arcos y puntos, con las cuales se puede operar mediante una interfaz gráfica. Los modeladores en 3D introducen sólidos y superficies.

En nuestro proyecto se ha decidido hacer uso del programa CAD SolidWorks de Dassault Systèmes como herramienta de diseño asistido por computadora para el desarrollo de ensamblajes y piezas. Este programa nos permitirá hacer pruebas para saber cómo podría quedar nuestro diseño en el lugar donde se vaya a implantar. Haciendo uso de este programa, podremos comprobar con relativa facilidad si nuestro proyecto tendrá posibilidad de éxito o no, dando certeza de que todo está correcto.



Figura 25. Esquema CAD

5.2. Diseño de la garra

5.2.1. Efecto final

Como en todo proyecto primero se efectúa un croquis, esto quiere decir representación gráfica de un espacio que se hace a ojo y sin valerse de instrumentos de precisión. Con este dibujo a mano alzada podía guiarme facilitándome el diseño 3D en todo momento, este boceto es el que he seguido durante todo mi proyecto después de varios planteamientos de cómo se iba a realizar la garra, se llegó a la conclusión de que esta era la mejor opción para la aplicación funcionara de la mejor manera. En la siguiente imagen podemos observar el croquis que se hizo antes de empezar a diseñar con el SolidWorks, para seguir siempre el mismo planteamiento y tener una guía para enlazar todas las piezas de esta garra.

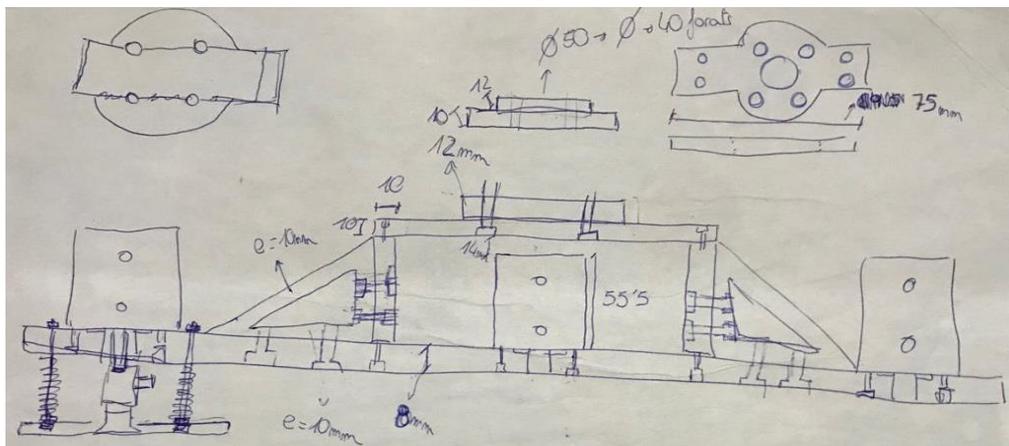


Imagen 6. Croquis de la garra

Teniendo en cuenta que el diseño la garra se ha realizado después de la elección del robot, y siempre pensando en los requisitos que el cliente ha expuesto para su debido funcionamiento, apartado se realizará el análisis completo de todo el desarrollo de la misma y la justificación de cada una de las partes que la componen.

5.2.2. Muñeca del robot

Las condiciones que se han tenido en cuenta para el diseño del efecto final son:

- Peso.
- Altura.
- Adaptabilidad a la alta producción.

Así pues, para el diseño del efecto final, se tenía que tener en cuenta el diseño que nos ofrecía Fanuc, en las características técnicas, de la muñeca del robot Delta.



Imagen 7. Muñeca del robot

Estudio del diseño del efector final del robot Delta:

1. Paso de tubos. La muñeca cuenta con un agujero en el centro para el paso de tubos de la neumática que se requieran. Si se produce un giro superior a 180° , al tener el paso interno, no produciría ningún daño al sistema neumático de la garra.
2. Sujeción del efector final, la muñeca cuenta con 4 machos roscados de 6 milímetros de diámetro (M6). Los agujeros de esta, son simétricos y están alineados a una distancia de 400mm del centro, con un ángulo de 90° entre ellos.
3. Posición del efector final, la muñeca cuenta con un orificio fijo, sin rosca, el cual se utiliza como centrador, este se mecaniza directamente sobre las piezas del sistema que vamos a construir y permite que cuando se monte la garra, esta quede en una posición fija e imposible de montar en otra orientación. El centrador está ubicado a la misma distancia que los agujeros de los tornillos, 400mm del centro, pero a una distancia de 45° de los dos machos superiores y 135° de los dos inferiores, permitiendo saber siempre cuál es la parte delantera del efector final y cuál es la trasera.

Una vez acabado el estudio de la muñeca del robot, se realiza sobre la garra un diseño, con un agujero de las mismas características que el de la muñeca, para poder permitir el paso de los tubos por el centro de nuestra garra, junto con los agujeros de los tornillos y un centrador como se ha comentado, para la sujeción y orientación de la garra.

En la siguiente figura podemos observar las partes descritas anteriormente.

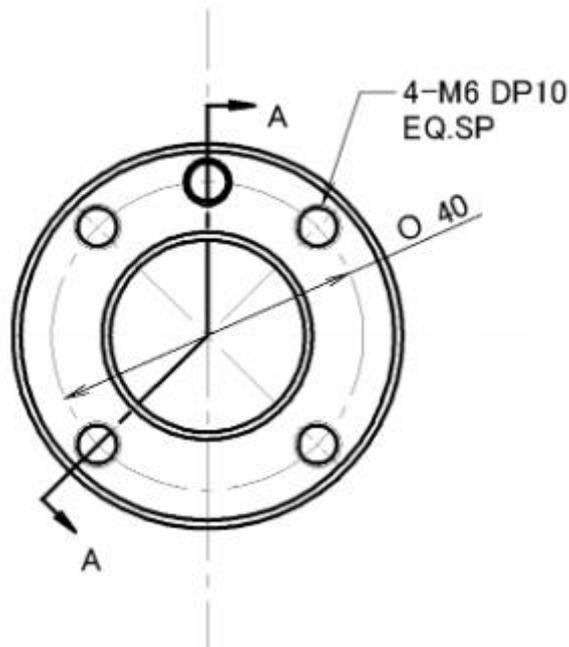
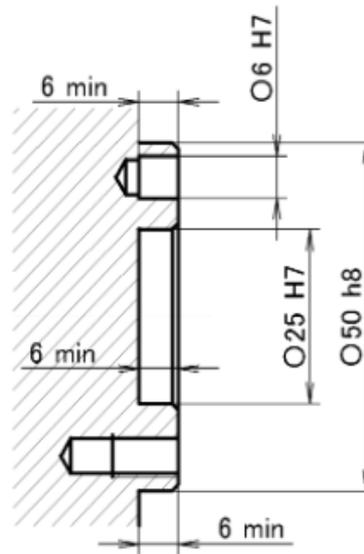


Figura 26. Interfaz de brida de la muñeca

Sección A-A

En la figura siguiente, sección (A-A), se puede observar una serie de datos a tener en cuenta para el diseño y sujeción de la garra.

1. Describe con precisión la profundidad de los machos roscados, y la distancia mínima necesaria que se requiere introducir el tornillo de M6 para garantizar que el efector final está bien sujeto a la muñeca, permitiendo al robot trabajar sin riesgo de pérdida de la garra. Dicha profundidad tiene el valor de 6mm, desde la superficie de la muñeca a su interior.
2. Otro dato a observar en la sección, es el centrador dando también el dato de la profundidad de este, pudiendo realizar en el diseño de nuestra brida de la garra el diámetro y la distancia adecuada para coincidir con este, pudiendo orientar hacia el lado deseado.
3. Observamos que la superficie de contacto que se puede tener sobre la muñeca directamente es 500mm.
4. También vemos la medida de 250mm que ha sido comentada con anterioridad, y hemos adaptado a nuestra brida para el paso de los tubos de la neumática.
Se aprecia en este paso, un redondeo en la cara inferior para evitar cualquier corte en los tubos neumáticos, que podría derivar en fugas del sistema y un mal funcionamiento de la aplicación.



SECTION A-A

Figura 27. Sección A-A

5.2.3. Brida de la garra

Una vez realizado el estudio de la muñeca encargada de sujetar nuestra garra al robot, el primer a diseño ha sido el de la brida, una vez está adaptada y fijada, el resto del efector final tendría un camino mucho más sencillo para cumplir los objetivos marcados en la problemática del cliente.

Para dicho diseño se ha tenido en cuenta:

1. Los 4 agujeros de M6, en su respectiva posición y orientación.
2. El centrador para la orientación de la garra hacia el mismo lado, de M6 y altura 6mm, sobresaliendo para poder ensamblar con la muñeca del robot.

En la siguiente imagen se puede observar la mecanización de los agujeros pasantes y el centrador de las dimensiones comentadas. El redondeo es para evitar el roce de los tubos de neumática, pudiendo dar lugar a un corte que produzca alguna fuga.

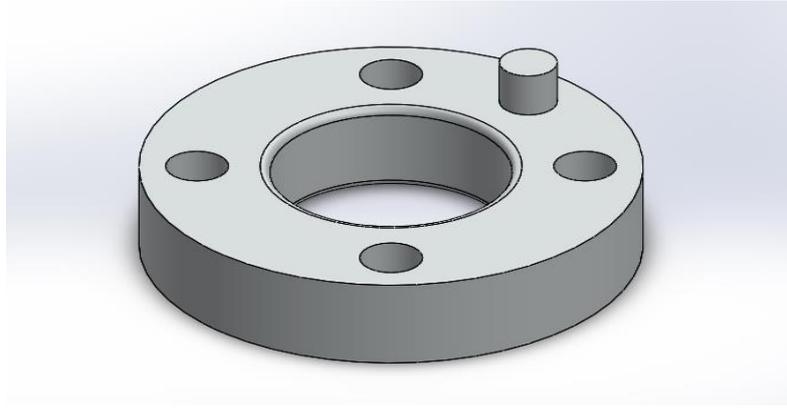


Imagen 8. Brida de la garra

5.2.4. Espacio de trabajo

El segundo paso y uno de los más importantes era cumplir el ciclo de fabricación de la empresa. Teniendo en cuenta que la producción del cliente venía siendo de 180 gofres por minuto, el objetivo era diseñar una garra que tuviera la capacidad de coger más de un sobre de chocolate cada vez que se dirige a cogerlos, desde este momento nos pusimos a calcular cuántos gofres eran necesarios colocar sobre los gofres para cumplir con la problemática del cliente.

Si las condiciones eran las siguientes:

1. Fabricación de 180 gofres por minuto.
2. la velocidad del robot es de 4000°/s.
3. La distancia que ha de recorrer desde la cinta donde están los sobres de chocolate al guiado donde están los gofres es de 1m.

Realizando los cálculos necesarios obtenemos el dato de que era necesario la integración de dos robots deltas y una garra cada uno que fuera capaz de coger como mínimo 3 sobres de chocolate para poder abastecer la producción actual. Con las pruebas realizadas con estos robots nos dimos cuenta que el robot sería capaz de esperar al abastecimiento de gofres para depositar los sobres encima de los gofres.



Imagen 9. Espacio de trabajo

Por este motivo el diseño de la garra desde este momento va en la dirección del desarrollo de una garra triple para una aplicación de “Pick&Place” de sobres de chocolate.

En el apartado de cálculos, que realizaremos a continuación, podremos observar la justificación de esta garra triple, que hemos desarrollado para la aplicación.

5.2.5 Dimensionamiento

Una vez calculado el dato de cuantos sobres había que coger para poder cumplir ciclo de tiempo, había que realizar un diseño teniendo en cuenta alto, ancho y largo. En este caso nombraremos X, Y, Z:

1. La “Z” mínima, es decir la altura mínima, de esta para que el robot pudiera llegar a coger los sobres de chocolate que pasan por la cinta transportadora, tenía que tener un valor mínimo de 165mm. Esto había que tener-lo en cuenta para poder hacer la recogida con precisión y sin tener ningún problema, porque todo dato inferior a este implicaría la no recogida de sobres de chocolate.
2. Otro dato a tener en cuenta a la hora de dimensionar la garra era la longitud de “X”, esta debía de tener, para ejecutar la aplicación de “Pick&Place” la distancia entre los gofres que viene marcada por la cinta de guiado, que los lleva hacia la envasadora. La distancia de los gofres que se tenía que tener en cuenta es de 205mm, para que los sobres queden en el centro del gofre, por este motivo el diseño de la garra dispone de una triple cogida que permite coger tres sobres de chocolate cada vez que esta se posiciona sobre la cinta, cogiendo de uno en uno siempre en el mismo orden de derecha a izquierda, en la misma dirección que van entrando los gofres.

3. Por último, la “Y” viene dada por el ancho de nuestro actuador neumático, que será explicado en los siguientes apartados, ya que la garra tenía que tener suficiente ancho para la sujeción de esta y su anclaje.

Para que el robot pudiera localizar y recoger los sobres que venían desde la tolva por la cinta en el orden requerido, instalamos un sistema de visión artificial el cual tiene la tarea de fotografiar los sobres que van saliendo de la tolva y van pasando por debajo de la cámara antes de llegar al robot.

Con los datos que hemos comentado con anterioridad se ha realizado el diseño de la garra, que consta de una estructura piramidal.

5.2.6. Datos a tener en cuenta

El dato de la cogida de sobres era muy importante, orden de cogida del robot, respetando el sistema de visión que es el que le proporciona las coordenadas y posicionamiento de los sobres, nos encontramos uno de los primeros problemas, porque el sistema de visión realiza 3 capturas mínimo cada vez que el robot dispone a coger los sobres. Si realizábamos la cogida de todos los sobres a la misma altura se corría el riesgo de que al entrar los sobres a granel, pudieran venir bastante cerca o amontonados unos encima de otros. Si se daba el caso, cuando se producía la cogida de uno de los sobres los de alrededor podían ser desplazados modificando las coordenadas e impidiendo la perfecta recogida de éste, produciendo un fallo en el sistema.

Pasos para realizar una correcta cogida de los sobres de chocolate:

1. Para evitar este error en la aplicación se ha contado con 3 actuadores de carrera 20mm, los cuales cada vez que el manipulador se dispone a hacer la recogida se accionan para bajar sin que él tenga que ir completamente a por el sobre, cogiéndolo desde la distancia. Calculando que la altura del sobre es de 11mm, con una carrera de 20mm evitábamos este error y nos permite la recogida del sobre respetando las coordenadas del sistema de visión artificial.
2. Teniendo en cuenta que la garra tenía que contar con el soporte de 3 actuadores para el debido funcionamiento de la aplicación, el diseño tenía que estar hecho pensando en un espacio reservado para ellos y su respectivo sistema de enganche, haciéndolos parte del efector final.
3. Sólo faltaba un pequeño paso para poder hacer el diseño completo de la garra, era como íbamos a coger los sobres cada vez que el robot fuera a por ellos, la opción que pensamos consistía en 3 ventosas las cuales mediante un sistema de vacío tenían la función de la recogida.

Una vez analizados los factores y obtenidos los datos necesarios para el desarrollo completo de la garra, ya nos podíamos poner a diseñar para que todos estos estuvieran unidos con armonía y tomando cada decisión con gran criterio.

5.2.7. Base de la garra

La siguiente parte del diseño a realizar después de la brida es la base que es la encargada de soportar los 3 actuadores, y todo el resto de componentes, contando las ventosas y la conexión entre la brida y la base, para que esta esté unida con el robot.

Con el dato de 205mm entre centros de gofres, se podía estimar la longitud que debía tener la base de la garra, ya que se trataba de recoger los sobres de chocolate del centro para poder dejarlos en el centro de los gofres, teniendo un punto de dejada fijo.

Este fue el primer dimensionamiento:

- Una plancha que tenía de ancho lo mismo que el actuador.
- El largo, distancia entre centros más un espacio suficiente para fijar los actuadores a la base, con sus respectivos tornillos.
- En la plancha metálica se realizó 3 agujeros de las dimensiones de una tuerca de M6, para que las tuercas con las que cuentan los actuadores para fijar pudieran pasar sin rozar con la plancha.
- Para la fijación de los actuadores a la plancha, se necesitaba realizar 2 agujeros de métrica 3 pasantes, contando con un espacio en la parte superior para que la cabeza de Allen de M3 quede interna en la misma plancha de aluminio.
- Cada una de las fijaciones de estos actuadores fue diseñada para que la salida de los racores de los actuadores contara con una orientación hacia el centro, haciendo así que la longitud de los tubos fuera lo más corta posible y proporcionando la máxima eficiencia al sistema neumático, contando con las mínimas pérdidas posibles.
- El actuador cuenta con una base, con una geometría similar a la de una circunferencia, de profundidad 2mm para el centrado de este, permitiendo así un acoplamiento perfecto a la base. Esta circunferencia cuenta con un diámetro de 21mm.

Una vez dimensionada la longitud de la plancha, el ancho de estas y los agujeros para la sujeción de los actuadores, sólo faltaba saber el espesor de esta. Salieron algunas complicaciones al principio, ya que tenía que contar con un espesor bastante considerable para poder soportar todo el peso más la inercia que el robot iba a producir en ella. El espesor con el que se iba a diseñar esta plancha finalmente fue de 8mm, por qué contaba con el espacio suficiente para que la tuerca de M6 del actuador quedara ligeramente fuera evitando cualquier roce de la conexión entre la ventosa y el actuador que comentaremos más adelante. Con este espesor cumplíamos con las características aptas para soportar el peso y garantizar el debido funcionamiento de la aplicación.

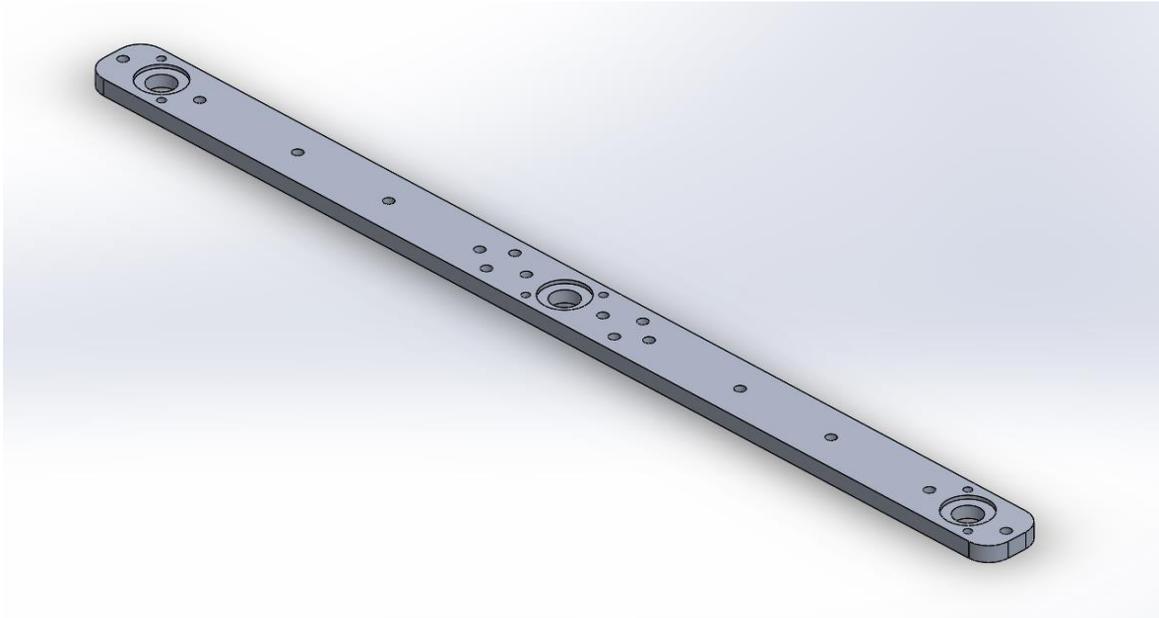


Imagen 10. Base de la garra

La realización de los redondeos al final de la pieza era necesario para no dejar los cantos vivos que podían provocar cortes al rozar con cualquier cosa o incluso durante el montaje de esta producir algún corte.

5.2.8. Chapas laterales

Una vez obtenido el diseño de las dimensiones básicas longitud, ancho y espesor, se tenía que pensar en la unión entre la brida de la garra y la base, cumpliendo siempre con el requisito principal de la altura mínima para que el robot pudiera llegar a la cinta. Como uno de los actuadores quedaba céntrico con el agujero de la brida, se tenía que respetar el espacio necesario de paso de todos los tubos de la neumática, necesarios para el funcionamiento del actuador y la ventosa. Para la realización de esta unión se siguieron unas pautas:

1. El primer paso para unir la base con la brida fue el diseño de dos chapas mecanizadas, de altura 69,50mm, para respetar un espacio en la parte superior del actuador al centro por el que pasan los tubos de la neumática, permitiendo así también la colocación del actuador neumático sin desmontar toda la garra.
2. El espesor de estas planchas iba a ser de 10mm, teniendo que realizarse dos machos en la parte inferior para poder ensamblar con la base del efector final.
3. La mecanización de los machos de M4 tiene una profundidad de 12mm, para que el tornillo de M4x16m pudiera entrar sin ningún tipo de problema. Al igual en la parte inferior para la unión con la base de la garra que en la parte superior con la brida de nuestra garra.

4. En el centro de la chapa se iban a mecanizar, dos agujeros pasantes de M4, con sus respectivas cabezas Allen quedando internas en la chapa, para la unión entre esta y el triángulo anti flexión que comentaremos en los siguientes apartados.

En la Imagen 11, se pueden observar los orificios mecanizados al lado de los del actuador, donde se unirán las chapas laterales con la base de la garra.

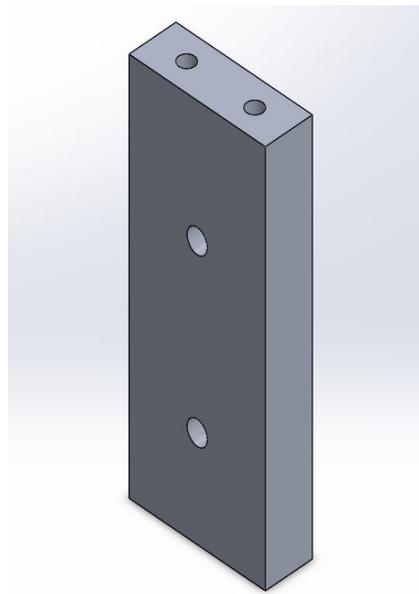


Imagen 11. Chapa lateral

El espesor de estas viene dado por la inercia que ha de soportar del robot, y al no estar en horizontal sino en vertical es mucho mayor, contando que está sujetando todo el peso de la base de la garra y los complementos neumáticos, uniéndola con la brida.

5.2.9. Unión entre la brida y chapas laterales

Una vez completado el diseño de las chapas laterales, se tenía que unir la brida con estas, como no se cumplía la altura mínima, se diseñó una chapa superior que unía las dos planchas laterales con la brida. El mecanizado de esta consistía en realizar dos agujeros de M4 que se uniría a las chapas laterales por la parte superior, ya que en estas se mecanizaría dos machos de M4x10 como se puede observar en la Imagen 12 y se ha descrito anteriormente. En esta nueva chapa se iba a mecanizar un avellanado para que la cabeza del tornillo quedara interna y realizará más presión, reflejando una mayor sujeción de la estructura. Estos orificios de M4 pasantes, con sus respectivos avellanados mecanizados están situados en cada parte superior correspondiente con la superficie de la chapa lateral.

Hecha la conexión con la chapa lateral y con lo consiguiente con el resto de la garra, quedaba unir con la brida realizando la misma forma que en la brida, es decir, un agujero grande en el centro de 250mm para el paso de todos los tubos del sistema de la neumática, con su respectivo redondeo de 1mm eliminando el canto vivo, permitiendo así que no se produzcan cortes en la instalación del aire. Realizando el agujero céntrico para terminar la unión con la brida se tenía que mecanizar los 4 agujeros de M6 pasante, permitiendo el paso de los tornillos entre esta chapa y la chapa de la brida entrando en la muñeca del robot. Para que este tornillo realizara una mayor presión y sujeción la cabeza de este se ha introducido en el interior de la pieza.

El espesor de la chapa, para que no perdiera consistencia por los agujeros de los tornillos avellanados y también así para cumplir la altura mínima, debía de ser de 10mm.

En la siguiente imagen podemos observar la descripción dada en el párrafo anterior de la pieza de unión entre la brida y las chapas laterales. Quedando reflejado el dimensionamiento de cada uno de los agujeros métricos realizados.

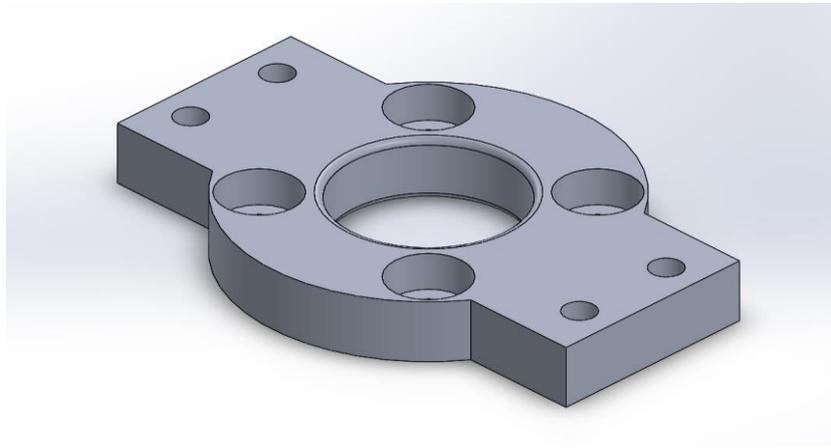


Imagen 12. Unión entre la brida y chapas laterales

5.2.10. Escuadra anti flexión

Teniendo en cuenta que la garra en cada uno de sus extremos tiene una fuerza negativa, realizada por los actuadores, las ventosas y su conexión, esta podía producir una flexión en la base de la garra. Para evitar esta flexión se hizo un diseño que uniera la base de la garra y las chapas laterales. Este diseño representa un triángulo rectángulo, haciendo de refuerzo.

Para unir el triángulo con el resto de la garra se tenía que realizar:

1. Mecanización de 3 machos de métrica 4 a lo largo de la base de profundidad 12mm para que los tornillos de M4x16 quedarán completamente en el interior de esta.
2. En la parte inferior de la base de la garra se realizarían 3 agujeros pasantes de métrica 4 con la mecanización de las cabezas de tornillos para que queden internas en la misma garra, esta mecanización la podemos observar en la Imagen 10, quedando los 3 orificios al lado de los agujeros de los actuadores.

3. Una vez realizada la mecanización para que los tornillos unan la base de la garra con el triángulo, faltaba unir con la chapa lateral, realizando la misma operación anterior, es decir, mecanización de 2 machos de M4 en el lateral del triángulo de profundidad 10mm.
4. La altura de este es igual que la chapa lateral, ya que estas están unidas por medio de la mecanización de los tornillos que se ha comentado. La longitud de este, va desde la chapa lateral hasta el comienzo de la fijación de los actuadores.
5. Esta escuadra también sirve para la sujeción de los tubos que van desde los bloques de válvulas y venturis hasta los actuadores y ventosas. Esto se podrá observar más adelante.

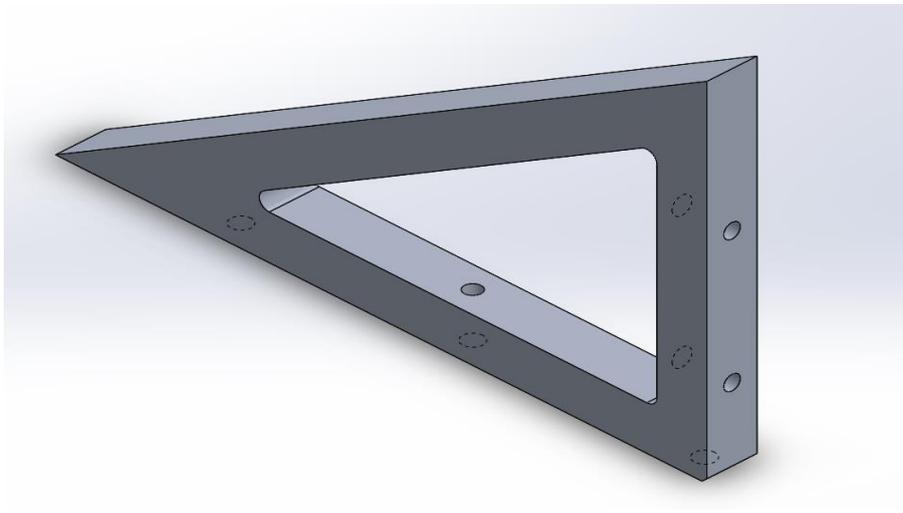


Imagen 13. Escuadra anti flexión

5.2.11. Estructura de la garra

Todas las piezas están ensambladas por medio de tornillos Allen inoxidables de métrica 4 y longitud 16mm para estandarizar, ya que en caso de que se pierda un tornillo o se rompa siempre es más fácil tener repuesto, al igual que la hora de la puesta en marcha facilita el montaje, viendo que con una misma llave Allen se podría hacer todo el apriete de los tornillos. Siendo así la dimensión de la cabeza de los tornillos comentada en todos los apartados de 8mm de diámetro.

Los únicos agujeros mecanizados que se pueden diferenciar en la garra son:

- El tornillo de sujeción entre la brida y la muñeca del robot, dando este dato por el fabricante de robots, siendo de métrica 6 y teniendo el mecanizado de la cabeza del tornillo de diámetro 10mm.

- El tornillo encargado de sujetar el actuador a la base de la garra, recordando que este es de M3 Allen de agujero pasante.

La estructura principal de la garra quedaría finalizada, con el ensamblaje de las piezas anteriores, teniendo en cuenta los agujeros ciegos y pasantes que esta requiere para poder ensamblar de manera correcta:

- Brida de la garra.
- Base de la garra.
- Chapas laterales.
- Unión entre la brida y chapas laterales.
- Escuadra anti flexión.

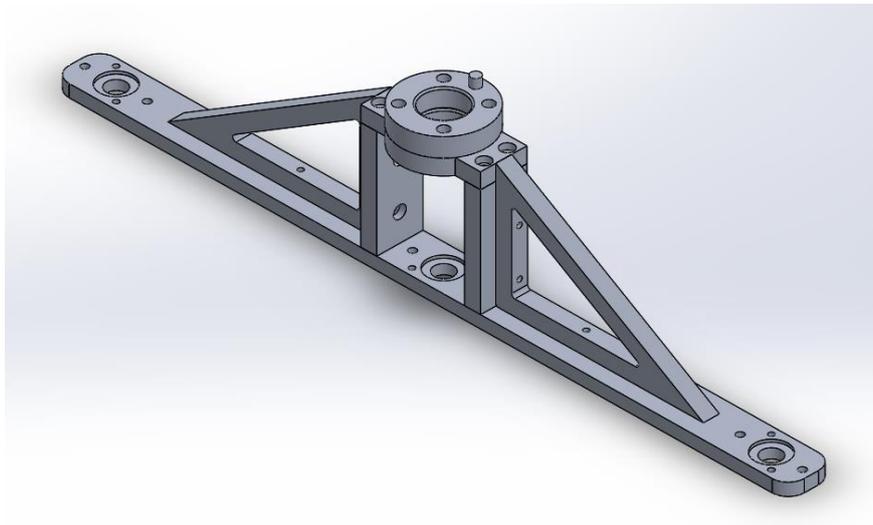


Imagen 14. Estructura de la garra

5.2.12. Conexión actuador-ventosa

Concretada la estructura de la garra el siguiente paso era encontrar la unión entre el final del actuador de métrica 6 macho con la ventosa de métrica 12 macho. Era todo un reto el poder unir estas dos partes, ya que no había nada estandarizado en el mercado que tuviera la capacidad de unir estas dos partes de uno. A parte de sujetar la ventosa, tenía que tener un paso de aire para poder hacer vacío y coger los sobres de chocolate.

Había algunas opciones que podían servir como unión mediante varias partes diferentes que nos ofrecía el mercado, pero no quedaba lo suficientemente confortable y era mucho más voluminoso de lo esperado. Como por ejemplo la siguiente imagen, la cual describe una unión de diferentes productos formando una T, obteniendo en la parte superior una M6, en la parte lateral una M5 a tubo de 6 y la de abajo una M12.

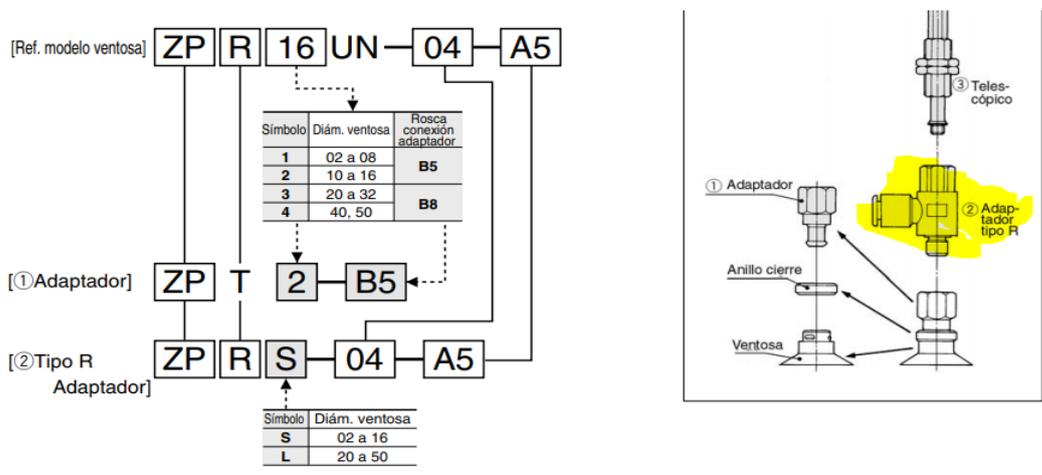


Imagen 15. Opción conexión del mercado

Gracias a la búsqueda en el mercado, tuvimos la idea de diseñar un modelo mecanizado, el cual constaría de un rectángulo mecanizado de poco peso, pero consistente. Este contaría con 3 hembras mecanizadas diferentes, como hemos comentado anteriormente, en la parte superior métrica 6 para poder unir con el final del actuador el cual estará aislado de los otros dos, mientras que en la parte lateral se realizará una hembra de métrica 5 para la entrada de un racor a tubo de 6 y en la parte inferior una hembra de métrica 12 donde la ventosa irá unida. Estas dos últimas van unidas entre ellas en el interior del mecanizado permitiendo el pase del aire del tubo de 6 a la ventosa.

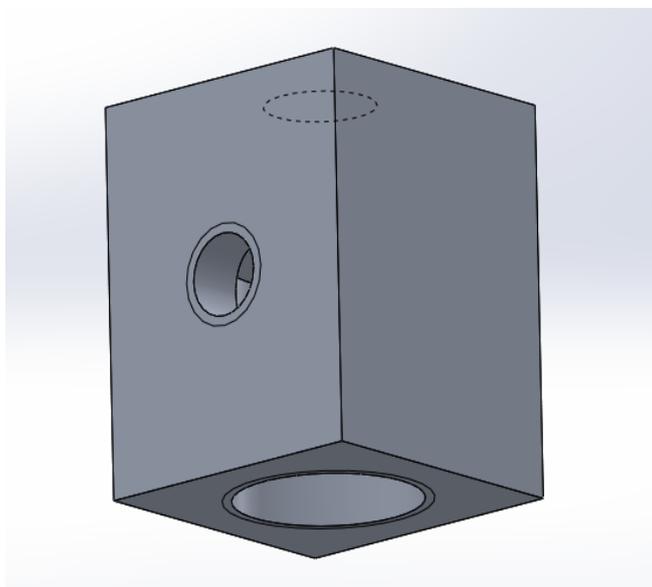


Imagen 16. Mecanizado conexiones ventosas

5.2.13. Chapa doblada

Realizado el mecanizado de la conexión entre el actuador y la ventosa, hicimos unas cuantas pruebas con un sistema parecido para ver el funcionamiento, y nos dimos cuenta que, si en alguna de las ocasiones la ventosa no lograba coger bien el sobre por no producir el vacío suficiente, el sobre de chocolate podía soltarse una vez cogido y salir despedido contra el cristal de la célula de seguridad. Para evitar esto, y tener una mayor sujeción del sobre al ser cogido con la ventosa, se diseñó una especie de chapa doblada con las dimensiones del sobre más grande para que los dos pudieran entrar en su geometría sin problema.

Estos son las pautas que se siguieron para el diseño de la chapa doblada:

1. La altura de las paredes laterales tenía que cubrir el alto del sobre para que este quedara totalmente interno, el sobre contaba con una altura de 11mm. Para que el sobre de chocolate quedara en la posición que queríamos las paredes tenían que ser de 15mm. Haciendo uso de los datos acerca de las dimensiones del sobre de chocolate, podemos obtener el ancho de la chapa siendo este de las mismas medidas que el sobre, pero contando con un margen lateral de 2 mm, teniendo en cuenta la ejecución de una mala cogida del sobre, no sería pisado por las paredes. En el caso de la longitud ocurre lo mismo, se realizó de las mismas proporciones que el sobre dejando un margen en los costados de 2mm como en el caso anterior.
2. Una vez dimensionada la chapa se tenía que realizar un agujero en el medio para que la ventosa pasara justo por el centro permitiendo la cogida del sobre, quedando dentro de la chapa doblada, facilitando su función comentada al principio de la descripción de esta. Para averiguar el diámetro del agujero para el paso de la ventosa, se midió el diámetro máximo de la ventosa escogida. El dato a tener en cuenta es de 25mm, el diámetro del orificio tenía que ser de estas dimensiones para que la ventosa pudiera subir y bajar a por el gofre sin ningún tipo de rozamiento.
3. Se tenía que tener en cuenta el paso de la conexión de la ventosa con el actuador por medio del agujero, pero al contar con unas paredes de dimensión inferior, 16mm, no habría problema alguno, porque el diámetro del agujero es mayor que el círculo que se pueda crear des de la base de la conexión hasta una de sus puntas.
4. Diseñadas las dimensiones de la chapa y las del paso de la ventosa, solo quedaba diseñar un sistema de unión con la garra para que esta quedara sujeta al conjunto de la garra. El sistema con el que se iba a realizar la unión constaba de:
 - Dos tornillos de M4x60mm por cada chapa doblada, con características de cabeza avellanada Allen de 2mm de altura, de acero inoxidable. En la chapa doblada sobre la parte inferior de la cara central, se realizaron 2 avellanados de 2mm para que la cabeza del tornillo quedara interna, realizando pruebas en el taller con un tornillo normal la cabeza se quedaba fuera, causando empujón al sobre, propiciando la caída de este al sobresalir de la chapa.

5. Para calcular la distancia entre tornillos donde se dispondrían los tornillos, se tenían en cuenta las distancias que quedaban libres en la base de la garra, ya que esta contaba con muy poco espacio. Hacer más larga la base de la garra no era de interés, suponiendo un aumento de la cantidad del material, lo cual derivaba en un aumento de peso, hecho que teniendo en cuenta los requisitos de los fabricantes no era conveniente hacer. Todo aumento de tiene una inflexión negativa sobre la garra, porque como más longeva sea esta, las inercias a soportar son mayores, no permitiendo una subida de la velocidad si es necesario.
6. La distancia entre tornillos venía dada por el espacio que restaba en la base de la garra alrededor de los actuadores, realizando la fijación con una tuerca de M4 de acero inoxidable, dicha tuerca permite la posibilidad de poder regular la altura de sujeción, quedando el sobre en el interior de la chapa doblada entorpeciendo lo mínimo la tarea de la ventosa. Los agujeros en los cuales se ha realizado el ensamble con la base, se pueden observar en la Imagen 14, quedando al lado de los agujeros de centrado de los actuadores.

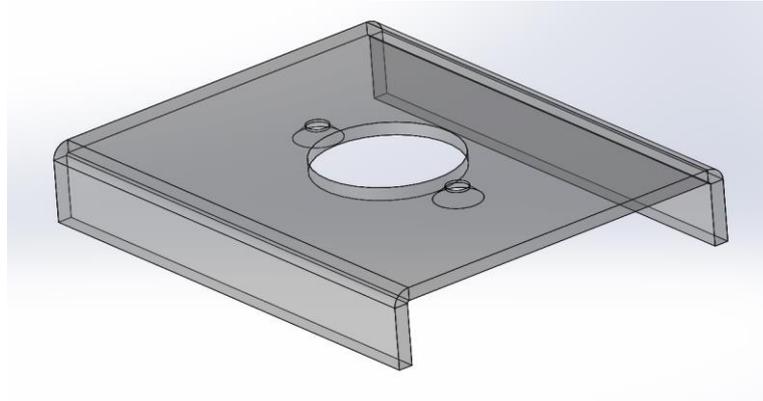


Imagen 17. Chapa doblada

5.2.14. Sistema flexible

Para obtener un sistema con una mayor flexibilidad se dispuso de un muelle en cada tornillo, permitiendo a este realizar la función de suspensión cada vez que se necesitase. Nos podíamos encontrar con casos controvertidos en la aplicación, con este sistema flexible, puede resolver con creces. Uno de los ejemplos más claros que se puede exponer es, cuando el robot va a realizar la cogida de un sobre y hay otro sobre puesto, este sistema permite la adaptación a terrenos no llanos.

En la siguiente imagen podemos observar este caso comentado, prueba que pudimos realizar en nuestro propio taller ya que el cliente nos proporcionó muestras.



Imagen 18. Sistema flexible

5.2.15. Conjunto 3D

Una vez finalizada esta parte de diseño, se podía dar por concluida la parte de diseño, dando paso al estudio de materiales que se iba a emplear para la mecanización de cada pieza, sistema de unión entre ellas, partes del sistema neumático, etc.

Siguiendo el croquis de la Imagen 6 y después de la explicación de cada una de las piezas de esta garra podemos ver el resultado final del conjunto en 3D, dando como resultado una estructura compacta y confortable. En la siguiente imagen que podemos visualizar, tenemos el ensamblaje de cada una de las piezas descritas en los apartados anteriores, unidas mediante el programa utilizado de diseño SolidWorks.

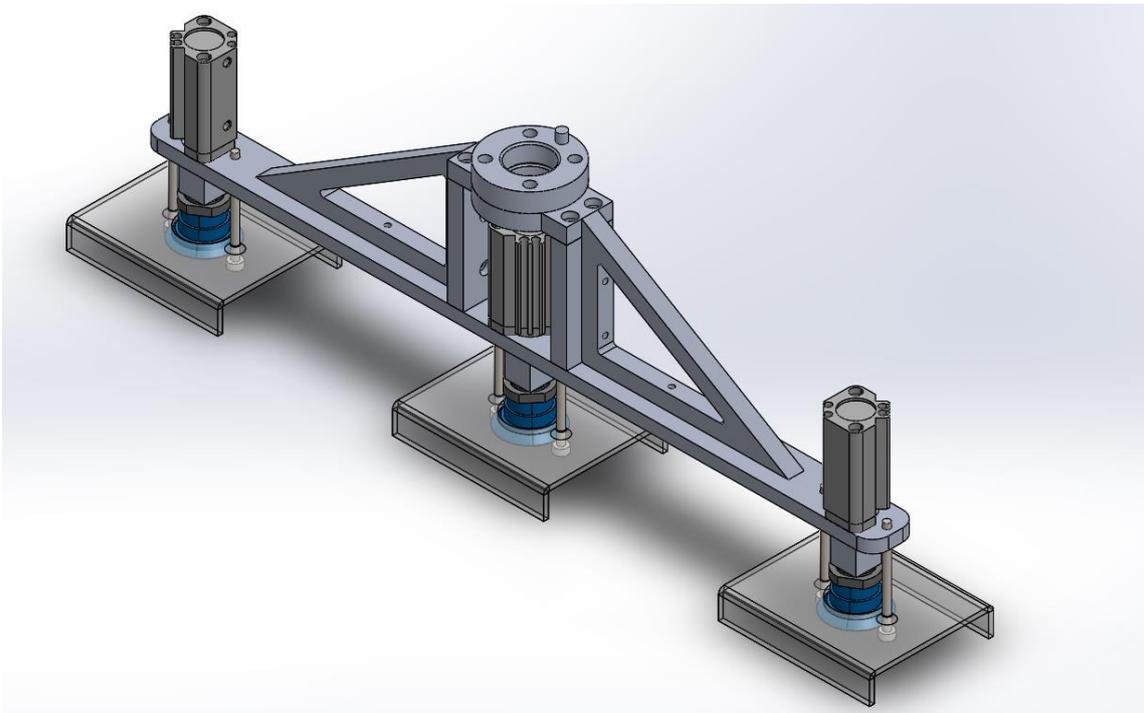


Imagen 19. Conjunto 3D

5.3. Elementos utilizados para la unión y fijación de la garra

En este apartado vamos a hablar que cada uno de los elementos de unión que se ha utilizado para unir cada una de las piezas diseñadas, en este caso todas las uniones se han realizado con tornillos ya que era mucho más fiable que soldar entre ellas o mecanizar de una toda la estructura, haciendo más endeble todo el conjunto. Por este motivo justificamos la fijación de la garra mediante tornillos, los cuales serán de acero inoxidable ya que la aplicación es para el sector de la alimentación. La norma europea que delimita el diseño higiénico, es la norma UNE-EN ISO 1672, con nombre “Maquinaria para procesado de alimentos: conceptos básicos y requisitos de higiene”. En esta se destaca las condiciones a cumplir del procesado de alimentos y las máquinas de preparación. La higiene es la clave que explica el uso de este material ya que en sus principales características podemos observar:

- Tiene una superficie compacta, sin porosidad.
- Gran resistencia a tensiones mecánicas y choques.
- Gran resistencia a la corrosión dada por diversos factores.
- Permite ser limpiado con facilidad.
- Muy resistente a las variaciones térmicas.
- No está recubierto de protecciones que se degraden con facilidad.

El principal objetivo es la no contaminación de materias primas, evitando el aumento de bacterias. Con el Acero inoxidable se puede conseguir esto, pudiéndose limpiar sin alterar su composición. Cualquier metal se oxida en contacto con el oxígeno. También lo hace el acero inoxidable, pero lo relevante en este caso son los tipos de óxidos que se crean.

En la siguiente imagen podemos ver los tipos de tornillos que han sido utilizados para la unión y fijación de la garra.



Imagen 20. Tornillería

A continuación, hacemos referencia de izquierda a derecha la métrica que es cada uno y para que parte de la garra se ha utilizado.

1. Métrica 4 x 10mm. Estos tornillos han sido utilizados para la unión de las escuadras de unión con la base de la garra, ya que una longitud de 16mm no se podía porque coincidía con los agujeros que unen las chapas laterales con las escuadras anti flexión.
2. Métrica 4 x 16mm. En la gran parte de la garra se ha utilizado este tipo de tornillos, para la unión de la base de la garra con las chapas laterales, la escuadra con las chapas laterales, y las chapas laterales con la chapa superior. Cada uno de estos agujeros ha sido mecanizado para la introducción de un tornillo acero inoxidable de M4x16.
3. Métrica 3 x 60mm. Para la sujeción de los actuadores con la base de la garra, permitiendo a estos travesar todo el actuador, introduciendo al final una tuerca para que este quede fijado.
4. Métrica 4 x 60mm, avellanado. Este tornillo se ha usado para la unión de la chapa doblada con la base de la garra, quedando insertada la cabeza de este en la chapa doblada. Al final de esta se ha dispuesto una tuerca antibloqueo para que la tuerca esté fija en su sitio, permitiendo al sistema flexible en todo momento cumplir su función.
5. Tuerca métrica 6. Esta tuerca se ha empleado para la fijación de la conexión del aire con el actuador.
6. Métrica 6 x 25mm. Es el tornillo empleado para unir la garra a la muñeca del robot, por mediación de la brida de la garra.

Para que los tornillos queden más tiempo sellados en su sitio sin salirse para nada, se le aplicó fija tornillos a cada uno de los tornillos quedando el cual permite retener, basado en una resina anaeróbica formulada a partir de ésteres poliacrílicos y exenta de disolventes, que al polimerizar rellena y sella por completo las holguras entre piezas metálicas fijándolas o reteniéndolas. Las uniones resisten golpes y vibraciones y, por su efecto sellador, impiden fugas y la corrosión sobre roscas, pudiéndose desenroscar mediante las herramientas habituales. Una vez aplicado, las piezas se ensamblan con mayor facilidad lubricadas por el mismo adhesivo antes de polimerizar.



Imagen 21. Fija tornillos

5.4. Neumática

Como se ha podido ir comentando durante los apartados anteriores, contamos con un sistema neumático que permite a nuestra garra ser mucho más eficiente o incluso poder coger los sobres, como es el caso de la función que cumple la ventosa.

5.4.1. Actuador neumático.

En este caso empezamos la descripción del actuador neumático, para el cual se había mecanizado en la base de la garra un orificio para el paso de su vástago, y para que se pueda acoplar internamente en ella.

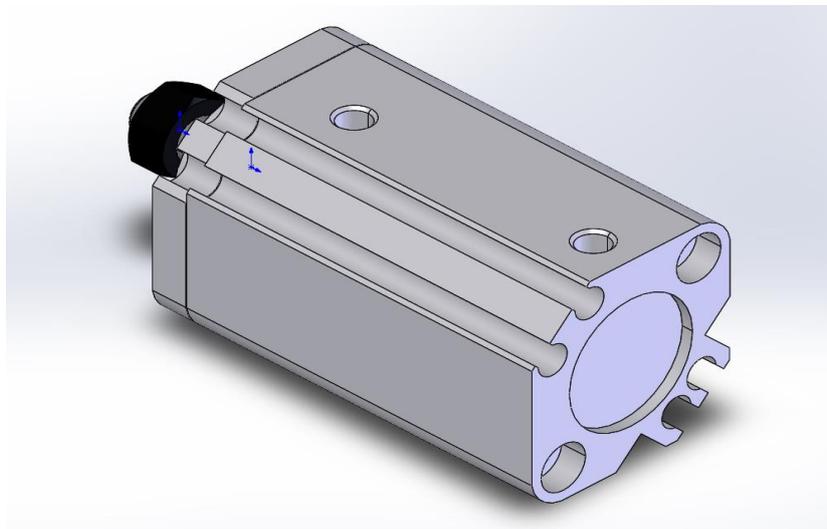


Imagen 22. Actuador neumático

El actuador neumático consta de un centrador de 1,5mm de espesor que permite la que el cilindro quede centrado y acoplado perfectamente en la base de la garra. Se ha realizado en la base del efector final un primer agujero mecanizado para este centrado de diámetro 20 y espesor 1,5mm, al haber 3 cilindro en la garra, este mecanizado se ha realizado 3 veces, con una distancia entre ellos de 205mm que equivale a la distancia entre los centros de los gofres, ya que como explicamos con anterioridad el cilindro es el que sujeta a la ventosa mediante la conexión que hemos mecanizado simulando una T.

El segundo agujero mecanizado en el caso del actuador, hace referencia al tornillo de métrica 6 que se introduce en la conexión de la ventosa, este tornillo tenía que traspasar la base de la garra para poder fijarse al mecanizado de conexión actuador-ventosa. Por eso se ha realizado un agujero de tornillo pasante de métrica 6.

Una vez mecanizados estos dos agujeros, el siguiente paso era mecanizar los agujeros para los tornillos que sujetan el actuador a la base de la garra. Estos tornillos como hemos comentado en el apartado anterior son de métrica 3 y longitud 60mm. En la parte inferior de la base se realizó un avellanado de cabeza Allen, para que la cabeza de los tornillos quede interna en la garra.

La orientación de la garra dependía mucho de la ubicación de estos tornillos por eso, cada uno está mecanizado para que el lateral de los racores esté mirando hacia el centro, permitiendo el que la conexión de los tubos de la neumática sea más corta y mucho más eficiente.

En la siguiente imagen podemos observar las dimensiones del actuador con la cuáles nos basamos para la mecanización de la garra.

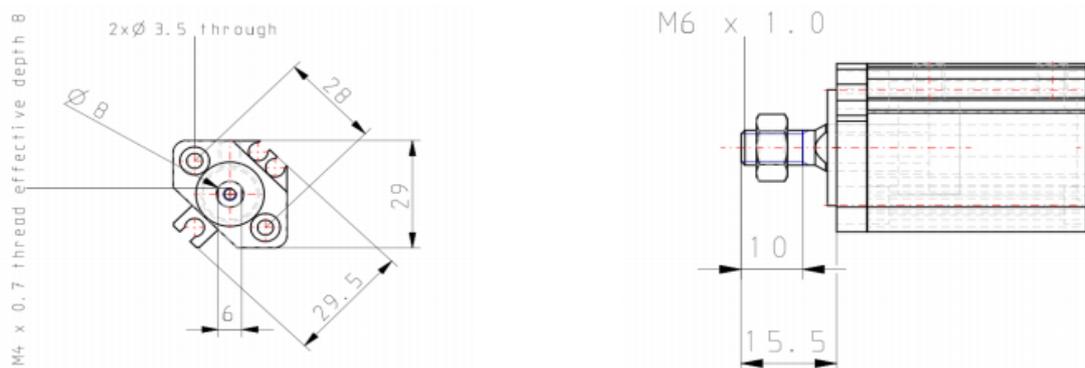


Imagen 23. Dimensiones del actuador

5.4.2. Ventosa

El segundo elemento neumático empleado es la ventosa, la encargada de hacer la recogida de sobres de chocolates para poder colocar encima de los gofres. Había que elegir qué tipo de ventosa teniendo en cuenta la aplicación que íbamos a realizar. Se precisaba de una ventosa que fuera de un diámetro similar a la anchura del sobre y que se adaptara al sobre de chocolate, ya que el envoltorio de este es de un plástico muy poco rígido que hace que pueda adoptar distintas formas.

El diámetro que se necesitaba era de 35mm para poder coger el sobre sin sobrepasar los bordes de éste y la ventosa que precisamos era de medio labio ya que necesitábamos que en la ventosa escogida se repartiera el vacío por toda su base obteniendo una mayor adaptación al sobre y una mejor recogida de ellos. Por este motivo la elección de la ventosa es la siguiente, cumpliendo con los requisitos mencionados.

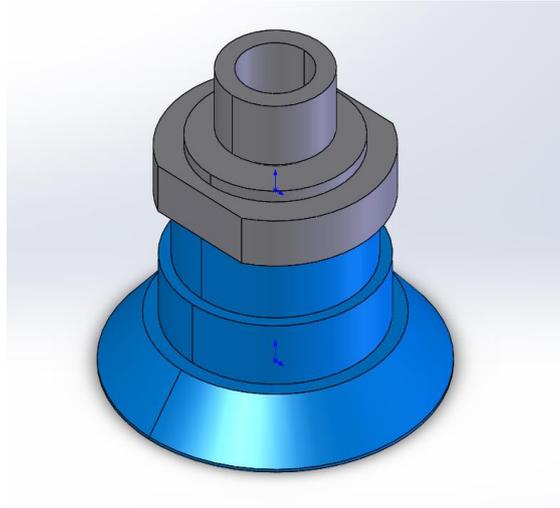


Imagen 24. Ventosa

Para este diámetro los enganches de la parte superior podrían ser métrica 8 en hembra o métrica 12 en macho, la elección del macho es porque es mucho más fácil y compacto mecanizar una roscado hembra en nuestra conexión del actuador-ventosa que mecanizar un macho de métrica 8, ya que cuenta con una inercia bastante elevando y se consideró un problema bastante importante de rotura.

La parte de contacto de la ventosa con el sobre era una de las más importantes a tener en cuenta, ya que esta es la encargada de sellar el vacío para no tener fugas de aire por eso se ha optado, por el dibujo y el número de labios como hemos explicado antes. El dibujo que se ha comentado, cuenta con una distribución de vías que permites el paso del aire para crear el vacío distribuyendo así el punto de cogida alrededor de toda la superficie de la ventosa. En las otras ventosas probadas las ventosas tenían el punto de cogida en el centro directamente realizando el vacío en el sobre, pellizcando el plástico produciendo una rotura de los sobres en algunas ocasiones, caso que el control de calidad del producto no podía permitir, ya que ensuciaba el producto de chocolate antes de ser abierto. Otro problema que sucedía en las ventosas probadas era que si rompían el sobre de plástico obstruían los tubos de la neumática haciendo bajar a gran escala el funcionamiento de la aplicación.

Esta es la base que se ha escogido con el medio labio de un material que se adapta perfectamente al plástico esté en la posición que esté, para sellar en todo momento y permitir una cogida perfecta, si se optaba por una ventosa de 1,5 labios no permitíamos la adaptación de toda la superficie de la ventosa al sobre de chocolate, creando una aspiración en el centro de la ventosa, pellizcando el plástico pudiéndolo romper, realizando una obstrucción en el sistema neumático como comentábamos.

Para la llegada de aire a la ventosa como se ha comentado en el apartado de diseño de la conexión del actuador-ventosa, se realizó una hembra de métrica 5 para la entrada del racor a tubo de 6.

En la siguiente imagen se puede observar las dimensiones de la ventosa, quedando marcado el dibujo de la base de la ventosa, el diámetro de esta y el sistema de enganche que permite sujetarse a la conexión de la ventosa que hemos mecanizado.

ZP3P-T35PTSF-A12 [Peso: 20.7 g]

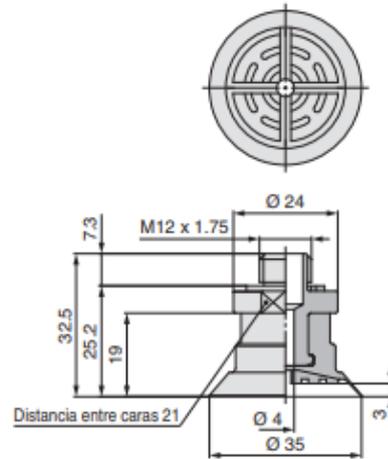


Imagen 25. Dimensiones de la ventosa

La ventosa escogida, cumple con la normativa FDA, dicha norma proviene de los EEUU, que es necesaria para el sector de la alimentación, ya que esta está hecha para plásticos en contacto con alimentos, basada en la valuación toxicológica de las sustancias dependiendo de sus intenciones de uso. Es así que la evaluación de una nueva sustancia comienza con la estimación de su migración a los alimentos con los que estaría en contacto los empaques u otros objetos que contengan dicha sustancia. Teniendo en cuenta el potencial de consumo de estos alimentos, se extrapola cuánta cantidad de esta sustancia llegaría a una persona del mercado objetivo que siga una dieta normal. A dicha cantidad se le hace una evaluación toxicológica y se determina si la sustancia es segura o “limpia” para su uso en contacto con alimentos. En este sentido, bajo el contexto de la normativa FDA, un procesador de alimentos o incluso un fabricante de empaques, debe preocuparse de utilizar las sustancias permitidas bajo las condiciones aprobadas. Cumpliendo esta normativa que implica buenas prácticas de fabricación de materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos.

5.4.3. Bloque de válvulas

En este apartado se va a comentar las partes que componen el bloque de válvulas. El bloque de válvulas consta de:

- 3 válvulas las cuales mediante las órdenes del robot son las encargadas de hacer subir y bajar el pistón.
- Para la entrada del aire precisa tubo de 8.
- Para la salida con la colocación de 6 racores de métrica 5 obtenemos salida a tubo de 4.
- El mismo bloque tiene 2 silenciadores puestos.

A continuación, se muestra la imagen del bloque de válvulas que se ha empleado, uno en cada uno de los robots.



Imagen 26. Bloque de válvulas

5.4.4. Racores

Se han empleado diferentes tipos de racores para la entrada de aire, dos tipos son los que prevalecen, acodados o rectos.

1. **Acodados**, son con salida del tubo a 90° permitiendo el giro en 360°.
2. **Rectos**, tienen la salida recta, a 0°, para salir directamente hacia el lugar que se desee.

Todos los racores usados en esta aplicación tienen una métrica 5 en el tornillo, pero con distinta salida, a tubo de 4 o a tubo de 6, entonces en este caso se han usado 3 tipos de racores.

1. Acodados con salida a tubo de 4.
2. Acodados con salida a tubo de 6.
3. Rectos con salida a tubo de 4.

El uso de tan diversos racores viene dado por la ubicación de cada actuador y de cada conexión actuador-ventosa, por eso contamos con los siguientes casos.

1. Los actuadores de las puntas de la garra tienen una salida de racores rectos de métrica 5 a tubo de 4 en dirección hacia el centro.
2. El actuador del centro tiene dos racores acodados de métrica 5 a tubo de 4 para tener la salida directamente hacia arriba.
3. En el caso de los racores de métrica 5 a tubo de 4, 6 de ellos con salida recta también se han empleado para la salida del bloque de válvulas hacia los actuadores.
4. Los racores acodados de métrica 5 a tubo de 6, son para la alimentación de aire de la ventosa, en cada una de las conexiones de actuador-ventosa se ha empleado este tipo de racor.

En la siguiente imagen podemos observar una imagen que nos muestra los tipos de racores para que todo quede más claro.



Imagen 27. Racores

5.4.5. Tubos de neumática

En este apartado se explicará los tubos de neumática que se han empleado, recalcando el por qué en los casos más importantes, ya que se han tenido que tener en cuenta varios pasos de aire según su finalidad.

1. Desde el bloque de válvulas de los actuadores hasta los mismos actuadores, se ha implementado una instalación con **tubo de 4mm**. 6 tubos son los encargados del paso de aire en la bajada y subida de los pistones. Para esta función se ha decidido poner **tubo de 4mm**, ya que no es necesario gran cantidad de aire para mover el pistón de tamaño muy pequeño y una carrera muy corta, pudiendo salir y volver a su sitio para coger los sobres de chocolate sin ningún problema. No por ser el tubo de mayor dimensión tiene que funcionar mejor, ya que con un sobredimensionamiento lo único que conseguimos es una pérdida de caudal y posibilidad de fallo en la aplicación.
2. Desde los venturis, que es el encargado de realizar el vacío mediante la alimentación de aire, hasta las ventosas, se han empleado dos tipos de tubo.
 - El primero de estos tiene el recorrido desde la salida de los venturis hasta los filtros encargados de que no pase el chocolate que pueda ser succionado por las ventosas, el tubo implementado es **tubo de 8mm**. 3 **tubos de 8mm** son los encargados de traspasar el aire.
 - El segundo de estos es el que tiene recorrido desde la salida del filtro hasta la entrada del aire de la ventosa que en este caso es el racor de métrica 5 sujeto a la conexión actuador-ventosa con salida de **tubo de 6mm**. 3 **tubos de 6mm** son los encargados del paso del aire.
3. Para alimentar el bloque de válvulas, como la instalación general salía con **tubo de 16mm** y nuestro bloque precisa de una entrada de **tubo de 8mm**, teníamos que:
 - En primera instancia, hacer un paso de **tubo de 16mm** a **tubo de 10mm**.
 - Seguido hacer el paso a **tubo de 8mm** que requería la entrada del aire del bloque de válvulas.
 - Al final de la conexión, se dispuso de una “Y” con entrada de **tubo de 10mm** salida a dos **tubos de 8mm** para poder llegar a los dos robots realizando esta conexión una única vez.

En la siguiente imagen podemos ver como se ha realizado esta conexión, como se ha hecho el paso que se ha comentado de **tubo 16mm a 8mm**, de la manera menos brusca y más sencilla incluso ahorrándonos hacer dos veces esta misma conexión gracias a la colocación de la “Y”. Los dos robots están uno al lado del otro, solo con una mínima extensión de **tubo de 8mm** de podía realizar sin problema.



Imagen 28. Conexión entrada al bloque de válvulas

Como se puede ver en la imagen anterior, se hace uso de un trozo de tubo de 10 para realizar la conexión de aire para la entrada del bloque de válvulas. Haciendo el paso de métrica 8 a dos salidas de tubo de 8mm, cada una de ellas para el bloque de válvulas de cada robot.

6. CÁLCULOS

En el siguiente apartado, se van a reflejar todos los cálculos que he ido realizado, para la justificación del diseño de la garra. El primer cálculo que vamos a realizar como hemos comentado en el apartado 5.2.5., es la justificación de porque se ha realizado un desarrollo de una garra triple en nuestra aplicación.

El segundo cálculo que se va a realizar, es el cálculo de flexión que puede sufrir la garra sin el sistema de escuadra y con el sistema de escuadras, teniendo en cuenta la fuerza que ejercen hacia abajo los actuadores, pudiendo crear una gran deformación con el paso del tiempo, aunque el material, basándonos en sus características principales es bastante rígido, con la inercia del robot y el paso del tiempo siempre se puede crear una pequeña deformación en la base de la garra, produciendo errores a la hora de la cogida del sobre, ya que el punto puede ser desplazado.

El tercer cálculo a realizar, justifica por qué se han escogido los diámetros de tubos que tenemos en la instalación. Esto es fundamental para que tanto los actuadores como las ventosas sean capaces de funcionar en su punto más óptimo, ya que un sobre dimensionamiento o quedarse cortos en diámetro, podrían causar serios fallos en la aplicación.

Por último, se ha realizado un cálculo, del avance de la cinta de los sobres de chocolate, donde la cámara de visión realiza sus capturas, es una justificación que influye a la hora de realizar la cogida de sobres de chocolate, ya que es el programa de la cámara la que le dice al robot cuales son los sobres de chocolate que debe de coger y cuáles no, ya sea por su orientación o por la ubicación en la que viene. Como mayor sea la cantidad de sobres que pueda capturar la cámara en el avance de la cinta, mayor probabilidad habrá de un éxito en la cogida y de un funcionamiento mejor de la aplicación ya que el tiempo de ciclo del "Pick and Place", puede variar por este dato.

6.1. Garra triple

Para la realización del cálculo, del porque el diseño de la garra triple, se ha necesitado obtener una serie de datos de la cada de robots y otros han sido calculados con los datos de producción que nos ha proporcionado el cliente.

El cliente nos dijo, como se ha comentado en el apartado de problemática del cliente, la cantidad de gofres que se tenían que producir con la aplicación, 180 unidades /min, para poder producir a la hora 10.800 unidades. Con este dato se podía calcular cuantas unidades de sobres de chocolate tenía que colocar un robot por segundo.

$$V_p (\text{proceso}) = 180\text{ud}/60\text{s} = 3 \text{ unidades/segundo.}$$

Una vez realizado el cálculo de producción de los sobres, que puede colocar un robot por segundo, se podía realizar cuanto tiempo necesitamos para colocar cada una de

estas tres unidades, que es en lo que nos basaremos para saber el número de "Picks" que necesitamos realizar para cumplir con el ciclo de tiempo.

$$V_p(u) = 1\text{segundo} / 3\text{unidades} = 0.33 \text{ segundos/unidades}$$

Los siguientes datos a tener en cuenta, son los datos que nos proporciona la casa de robots, en este caso Fanuc. Se necesitaba saber, cuantos "Picks" por minuto podía realizar nuestro robot, 70 unidades/minuto. Con este dato ya podíamos calcular cuántos segundos necesitaba para realizar la cogida de un sobre de chocolate.

$$V_{pp} = 60\text{segundos} / 70\text{unidades} = 0.85 \text{ s/ud}$$

Para que el tiempo de ciclo cumpliera con lo establecido, el V_{pp} que vamos a calcular tiene que ser menor al V_p que hemos calculado.

$$V_{pp}(u) < V_p(u)$$

Como se puede observar (0.85 es mayor que 0.33), el dato es muy superior, por eso se optó por integrar dos robots, para reducir el esfuerzo de los robots, ya que uno solo no podía ser capaz de cumplir con el tiempo de ciclo. Entonces, a partir de este momento, todo ciclo será dividido entre dos.

$$V_{pp}(2 \text{ robots}) = 0.85/2 = 0.423 \text{ s/ud}$$

$$V_{pp}(2) > V_p(u)$$

Como sigue siendo mayor, realizando una garra simple para cada gofre, había que empezar con el estudio, de una posible garra doble para cada robot, para ver si realmente se podía cumplir con el tiempo de ciclo. Para esto se tenía que contar, cuantos "Picks" realizada en una garra doble (dos), más el "Place" de la dejada (uno). Dividir este dato entre dos, ya que es una garra doble y cuenta con dos agarres y volverla a dividir entre dos, para dividir esto entre los dos robots. A continuación, se pudo observar los cálculos que se han realizado para poder llegar a ver el tiempo que tardaría los dos robots con una garra doble:

1. Tiempo empleado por los 2 "Picks" y el "Place".

$$0.423\text{s/ud} \times 3\text{ud} = 1.269 \text{ s}$$

2. Dividimos el tiempo por el número de "Picks".

$$1.269\text{s} / 2\text{ud} = 0.6345 \text{ s/ud}$$

3. Dividimos por el número de robots que tiene la aplicación.

$$V_{pp}(\text{doble}) = 0.6345\text{s/ud} / 2 = 0.317\text{s/ud}$$

En este caso, con una garra doble para cada robot, se estaría cumpliendo la condición que hemos comentado, pero de manera muy justa, ya que en estos casos siempre hay que ir con algo de margen, para que los robots no siempre estén al 100% y por si el cliente necesita aumentar su producción en un futuro.

$$V_{pp}(\text{doble}) < V_p(u) \Rightarrow 0.317\text{s/ud} < 0.33\text{s/ud}$$

A continuación, y para asegurarnos de que una garra triple era lo más correcto, para el funcionamiento de nuestra aplicación, se realizan los cálculos. Para una garra triple, había que contar que son 3 los "Picks" que realiza y una dejada. Por eso en esta ocasión el dato se iba a multiplicar por 4, dividir entre 3 por ser una garra triple y dividir de nuevo entre 2 al ser dos robots los encargados de realizar la cogida de sobres de chocolate. A continuación, se puede observar los cálculos que se han realizado para poder llegar a ver el tiempo que tardaría los dos robots con una garra triple:

- I. Tiempo empleado por los 3 "Picks" y el "Place".

$$0.423\text{s/u} \times 4\text{ud} = 1.692 \text{ s}$$

- II. Dividimos el tiempo por el número de "Picks".

$$1.692\text{s} / 3\text{ud} = 0.564 \text{ s/ud}$$

- III. Dividimos por el número de robots que tiene la aplicación.

$$V_{pp}(\text{triple}) = 0.564\text{s/ud} / 2 = 0.282\text{s/ud}$$

- IV. Comparación entre el tiempo de la garra triple y el tiempo de ciclo.

$$V_{pp}(\text{triple}) < V_p(u) \Rightarrow 0.282\text{s/ud} < 0.33\text{s/ud}$$

Con la demostración, de que, contando con dos robots y dos garras triples, una para cada robot se cumple con el tiempo de ciclo que solicita el cliente, esta es la justificación de porque se ha diseñado como se ha podido ver en apartados anteriores el diseño de nuestra garra.

6.2. Dimensionamiento de los tubos de la neumática.

En este apartado vamos a realizar la justificación de la elección de los tubos de la neumática. Los cálculos se han realizado mediante el software de cálculo de SMC, Model Selection Software. Este software permite, sabiendo los componentes de tu sistema neumático, colocar las referencias para ver cómo actúan dependiendo del diámetro de tubo escogido, la velocidad y el consumo de caudal, como datos más importantes.

6.2.1. Tubos de las ventosas.

Se ha realizado 3 comprobaciones, que podremos observar en las siguientes imágenes:

- Tubo de diámetro 4.
- Tubo de diámetro 6.
- Tubo de diámetro 8.

A parte de poder comprobar, el tiempo de respuesta de adsorción, que es el punto que más nos interesa, para tener que esperar lo mínimo para poder coger los sobres de chocolate, podemos ver un diagrama de presión de vacío y tiempo, en el cual se puede apreciar que presión debería ejercer nuestro sistema neumático para ser muy óptimo.

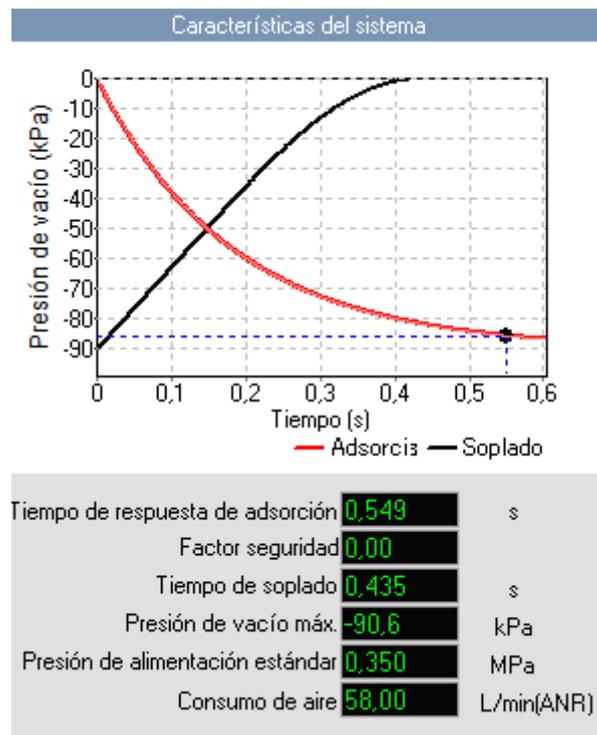


Imagen 29. Tubo diámetro 4mm

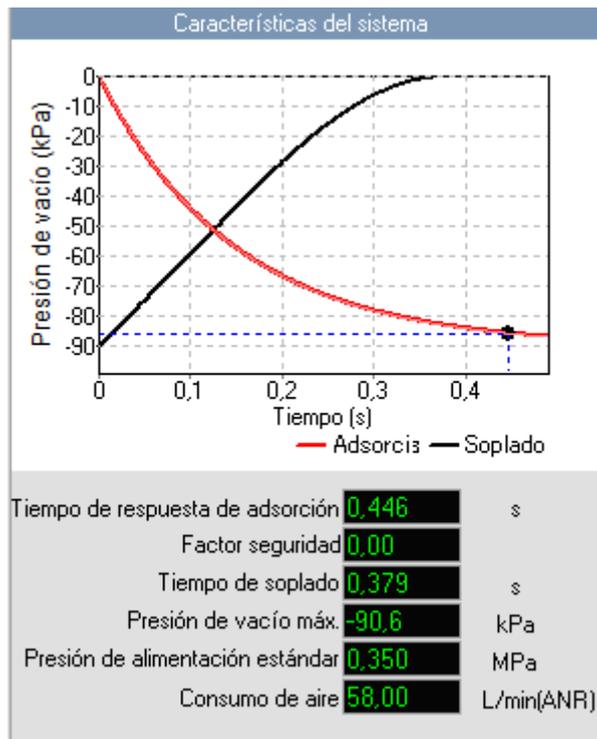


Imagen 30. Tubo diámetro 6mm

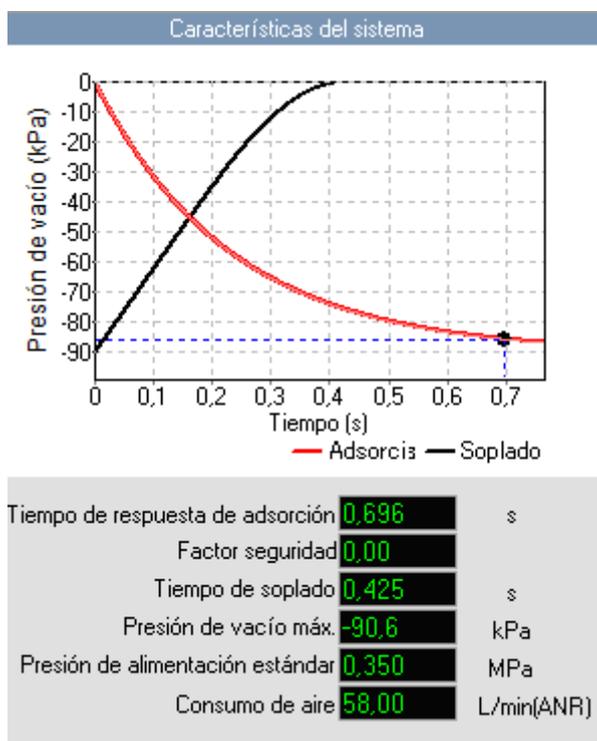


Imagen 31. Tubo diámetro 8mm

Las conclusiones que se pueden sacar después de observar las tablas, son las siguientes:

1. Con el tubo de diámetro 6 es más corto el tiempo de absorción, esto quiere decir que es más eficiente a la hora de coger el sobre de chocolate que el resto.
2. No por ser el tubo más grande, el tiempo de absorción deber ser menor.
3. La cantidad de caudal, no va directamente proporcional con la presión de vacío.
4. Las ventosas en una presión de entre 4.5 – 5.5 bares, tiene su punto más óptimo de trabajo, ya que superando este dato tendríamos una pérdida importante de caudal y por debajo de esto no aseguraríamos la cogida de los sobres de chocolate.

Estos son los motivos principales que nos han llevado a realizar la elección de la alimentación a la ventosa.

6.2.2. Tubos de los actuadores.

Esta misma comprobación se ha realizado para el dimensionamiento de los tubos del actuador:

- Tubo de diámetro 4.
- Tubo de diámetro 6.
- Tubo de diámetro 8.

Se realiza esta comparativa para poder observar la velocidad media en la carrera del actuador y el caudal que se va a consumir con cada tubo.

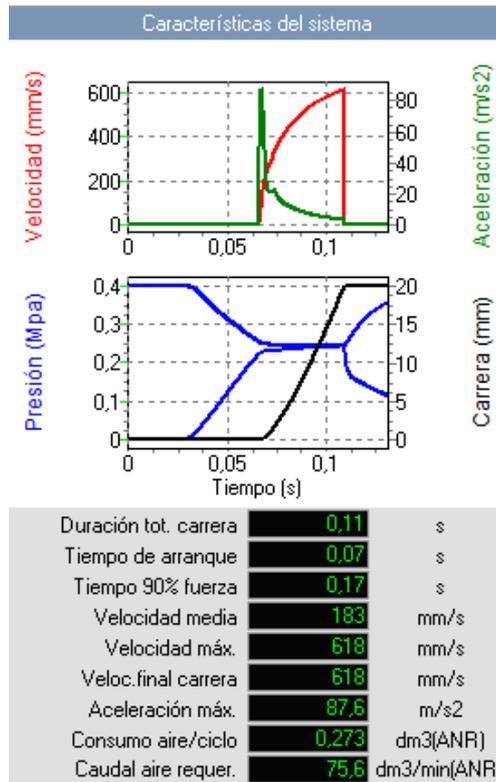


Imagen 32. Tubo diámetro 4

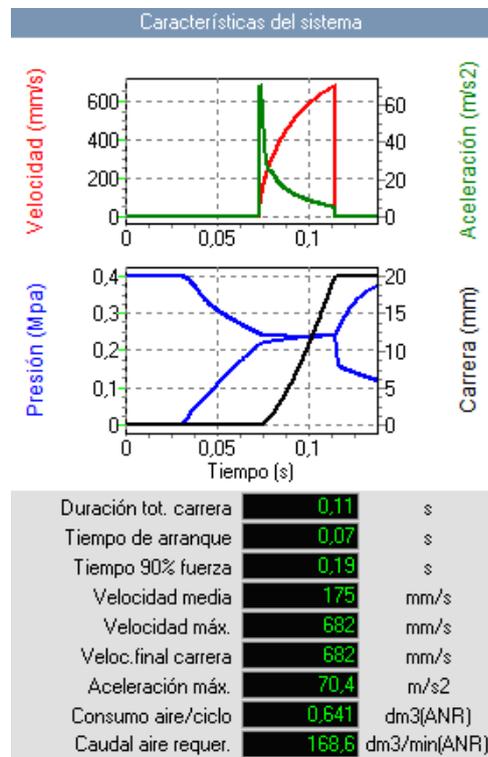


Imagen 33. Tubo diámetro 6

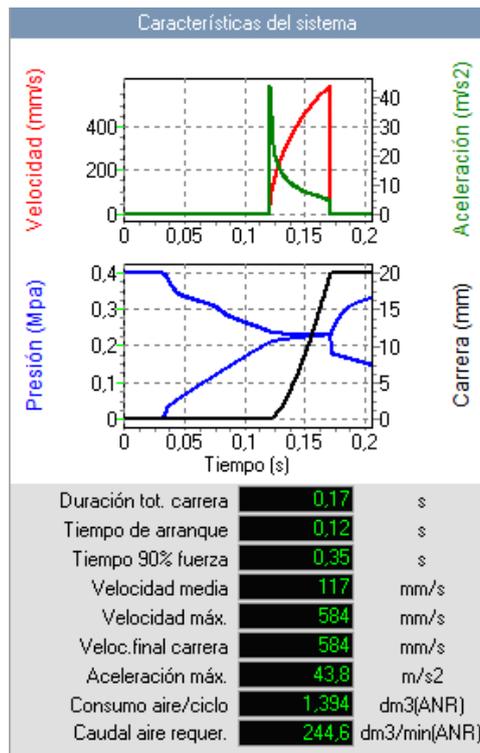


Imagen 34. Tubo diámetro 8

Para esta ocasión, hay dos datos muy importantes que nos ha decantado por la elección del tubo de 4:

1. La velocidad media del actuador es mucho más elevada cuando se hace uso de un tubo de diámetro 4mm.
2. El consumo del aire es inferior en el caso del tubo de diámetro 4mm.
3. La aceleración que en caso de carreras tan cortas es importante, es mayor en el caso del tubo de diámetro 4mm.

Son muchas las ventajas que se obtienen instalando en el sistema neumático tubo de diámetro 4mm, permitiendo optimizar al máximo el trabajo del actuador.

6.3. Deformación de la garra.

Esta sección se ha empleado para demostrar, por qué se ha diseñado la escuadra anti flexión. Dicha escuadra tiene una función clara y es la de evitar cualquier tipo de deformación que pueda sufrir la base de la garra, por el peso de los actuadores y ventosas, posicionados en sus respectivas esquinas.

Esta demostración se ha realizado mediante el Software de diseño SolidWorks el cual, nos permite mediante la colocación de cargas e indicando el punto de fijación de nuestra garra, poder estudiar qué tipo de deformaciones puede sufrir esta.

En primera instancia, se va a realizar el estudio de la garra sin las escuadras y con las cargas que puede ejercer los actuadores y ventosas en las esquinas. Y en segunda instancia, se realizará el estudio con las escuadras en su respectivo lugar, para ver la comparativa entre las dos.

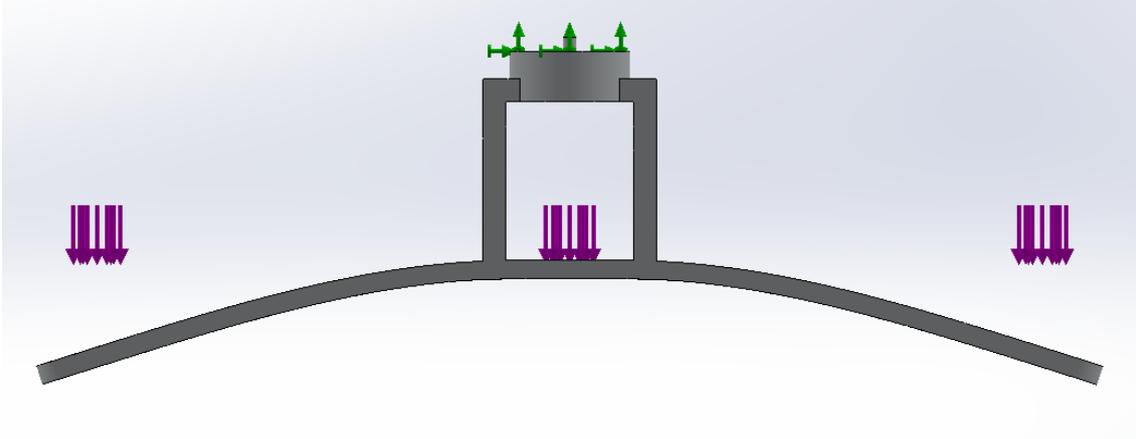


Imagen 35. Desplazamiento sin escuadra anti flexión

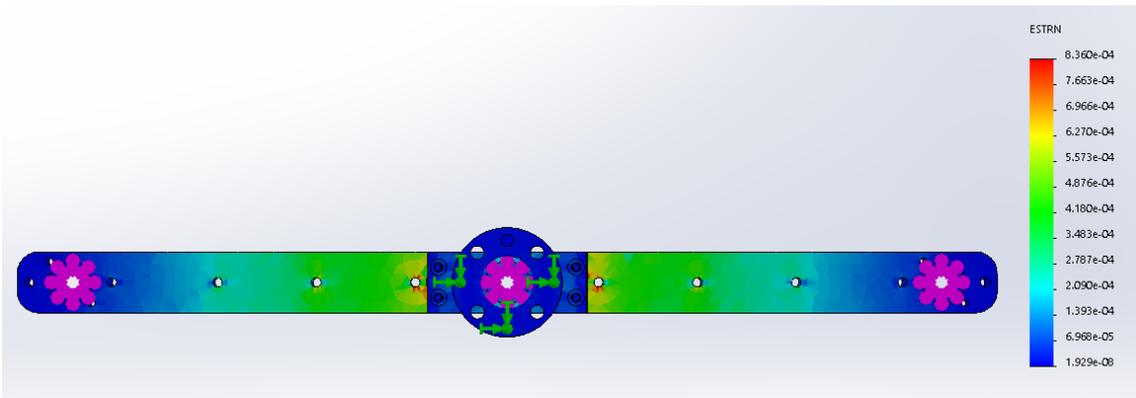


Imagen 36. Deformación sin escuadra anti flexión

Comprobar deformación

Comience comprobando la deformación para verificar si los resultados son razonables. El desplazamiento máximo del modelo entero es: **0.00281096m**.

Imagen 37. Dato de la deformación sin escuadra anti flexión

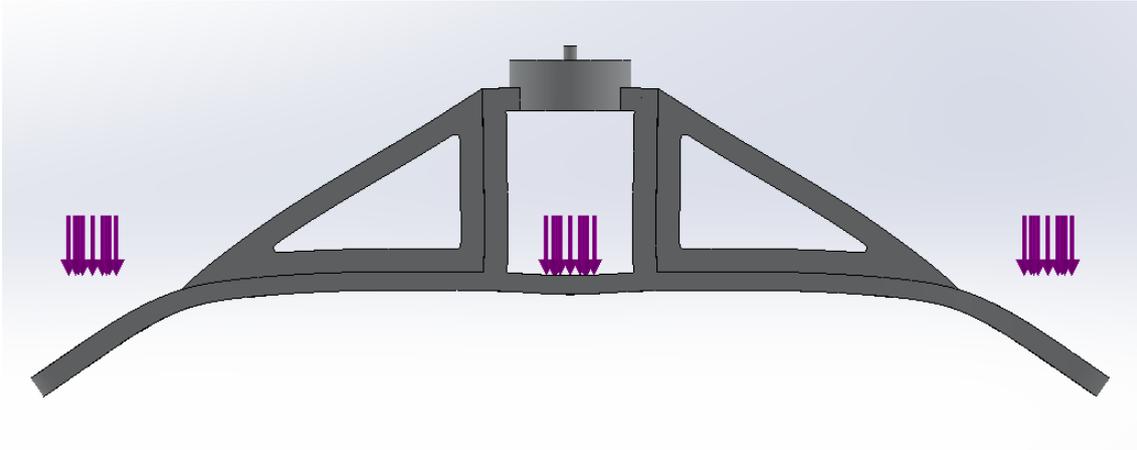


Imagen 38. Desplazamiento con escuadra anti flexión

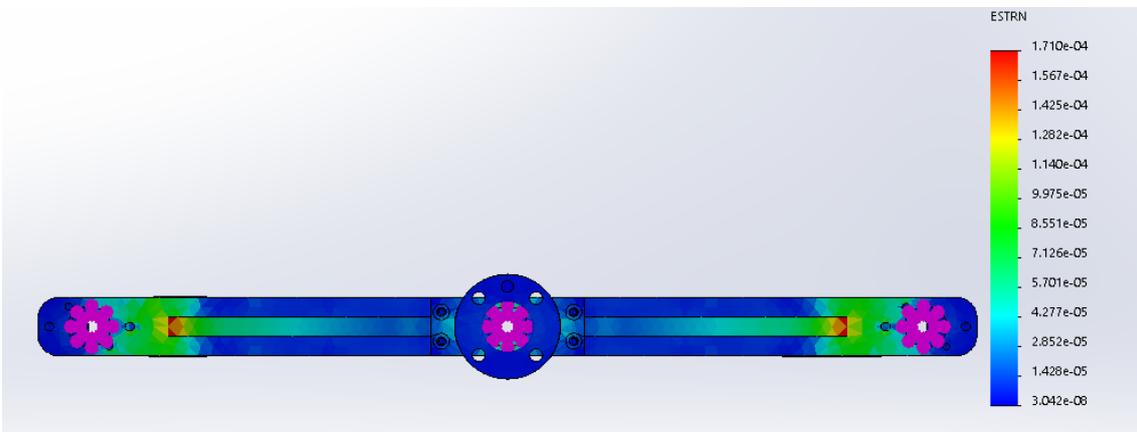


Imagen 39. Deformación con escuadra anti flexión

Comprobar deformación

Comience comprobando la deformación para verificar si los resultados son razonables. El desplazamiento máximo del modelo entero es: **0.000115954m**.

Imagen 40. Dato de la deformación con escuadra anti flexión

En las imágenes, se puede comparar los resultados de desplazamiento y deformación, junto con el dato de deformación. Se puede observar que con la escuadra la garra se deforma 25 veces menos que sin escuadra. Esto ha permitido obtener un diseño mucho más compacto y confortable, ya que sin esta se podría deformar al largo del tiempo realizando una mala cogida de los sobres de chocolate.

6.4. Avance de la cinta.

En esta parte se va a explicar con brevedad el funcionamiento de la cinta donde se están los sobres de chocolate, ya que se ha tenido que realizar el cálculo del trigger de la cámara de visión. Entendiendo esto, se podrá comprender como funciona realmente la cogida del robot.

El sobre tiene unas dimensiones como hemos comentad son 65mm de ancho, 90mm de largo y 11mm de espesor. Al ser el largo la distancia más grande se tenía que coger como referencia, por si venían de manera vertical poder capturar su imagen.

Por este motivo el trigger de la cámara se realiza cada 180mm, contando que pueden caber en una captura dos sobres en vertical, permitiendo asegurar que se realiza la captura de un sobre, evitando que la imagen quedara cortada por la mitad.

La encargada de decir al robot que sobres que coger y cuáles no, es la cámara de visión al realizar este trigger. Hay una línea de descarte, si hay algún sobre que ha sido fotografiado, pero sobrepasa dicha línea, será descartado por la cámara para que vuelva con el sistema de retroalimentación.

Esto permite que el robot coja siempre los sobre en la misma área. Ya que la cinta funciona en dinámico y solo para cuando no hay suficiente chocolate y el robot no tiene tiempo a coger los sobres de chocolate que la cámara le está ordenando.



Imagen 41. Avance de la cinta

7. MATERIAL Y FRABRICACIÓN DE LA GARRA

En el siguiente apartado vamos a hablar de cómo se fabricó la garra y el material empleado para la fabricación.

La manera en la que se ha mecanizado nuestra pieza es mediante el CNC, es un proceso mediante el cual se fabrican mecanizado de piezas con la ayuda de computadoras que controlan las maquinas herramienta. Gracias al Control Numérico por Computadora (CNC) se ha automatizado el proceso de fabricación de las piezas ya que permite utilizar un conjunto de instrucciones para controlar el mecanizado mediante un programa contando con la mínima intervención humana.

El control numérico se utiliza de manera más frecuente en los diferentes procesos de mecanizado de metales o aluminio tales como el torneado, el taladrado, o el fresado. Incluso y como consecuencia de la configuración, las operaciones de mecanizado permiten fabricar a ritmo acelerado, dando como resultado una fabricación a granel que además es mucho más económica y mucho más precisa.

El material empleado para la construcción de este efector final es el aluminio 7075, conocida comercialmente con varios nombres como *Zicral*. Es una aleación de aluminio con zinc como principal elemento de aleación. Su composición es de 5,1-6,1% zinc, 2,1-2,9% magnesio, 1,2-2,0% cobre y pequeños porcentajes de silicio, hierro, manganeso, cromo, titanio y otros metales. Normalmente se produce para distintas categorías térmicas 7075-O, 7075-T6, 7075-T651.

Es fuerte, con buena resistencia a la fatiga frente a otros metales y es fácil de mecanizar, pero no es soldable y tiene menos resistencia a la corrosión que muchas otras aleaciones. Debido a su coste relativamente contenido su uso es habitual en aplicaciones donde las características técnicas de aleaciones más baratas no son admisibles.

Este material tiene un gran uso en el mundo de la automatización y de la automoción, ya que es un gran sustituto del acero, permitiendo obtener en nuestro caso un menor peso, una mayor resistencia al desgaste que se pueda producir pero sobre todo una gran rigidez evitando la flexión de la base de la garra, ya que las escuadras rígidas de este material, permite que al ensamblar toda la garra quede una garra muy compacta alargando su vida y permitiendo trabajar durante mucho más tiempo que el aluminio convencional, el cual es menos resistente y en nuestro caso sufriría una mayor flexión ya que los actuadores y la ventosa ejercen una fuerza grande como hemos podido observar en los cálculos anteriores.

PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)

Estado	Espesor	Características a la tracción			Limite a la fatiga N/mm ²	Resistencia a la cizalladura τ N/mm ²	Dureza Brinell (HB)
		Carga de rotura Rm. N/mm ²	Limite elástico Rp 0.2, N/mm ²	Alargamiento A 5.65%			
0		225	105		230	150	60
T6	6 – 12	530	450	8	300	350	140

Tabla 3. Propiedades aluminio 7075

8. PROGRAMACIÓN DEL ROBOT

En el siguiente apartado vamos a describir la parte de programación en la cual he participado para el funcionamiento de nuestra aplicación, como he explicado en el apartado 2.2.3. la programación que usaremos en nuestra aplicación, al tratarse de un robot de la marca Fanuc, es Karel basado en el lenguaje clásico Pascal. La manera más habitual a la hora de programar el robot es hacer uso de una combinación de los dos grandes métodos comentados con anterioridad, “Offline” para realizar la definición de la lógica y la secuencia del programa es decir utilizando un lenguaje textual, y “Online” para localizar los puntos específicos en el espacio de trabajo es decir utilizando programación por guiado.

Una vez recordada esta parte que es fundamental para la comprensión de la programación nuestro robot Delta, procedemos a explicar las partes más importantes de la programación. En primera instancia hay que explicar que el robot cuenta con una cámara de visión que realiza capturas cada 180mm., donde se guarda la ubicación y orientación de los sobres de chocolate a su paso bajo ella para trasladarla dicha información al robot. Para el correcto funcionamiento del sistema, previamente se tiene que realizar la calibración de la cámara respecto al robot con unas plantillas con formas geométricas donde los centros de las mismas tienen una determinada distancia entre ellos.

Para hacer la calibración, primero se fija la plantilla debajo de la cámara para realizar una captura. La cámara reconoce los puntos en los centros de los círculos y se le indica la distancia entre ellos, en nuestro caso 30mm. Con esto, la cámara sabe cuántos píxeles ocupan 30mm para poder calcular las dimensiones de cualquier objeto.

A continuación, se avanza la cinta hasta llegar al alcance de robot para buscar los centros que nos indica la cámara con un puntero.

Finalmente, se obtiene la distancia y la orientación de la cámara respecto al robot.

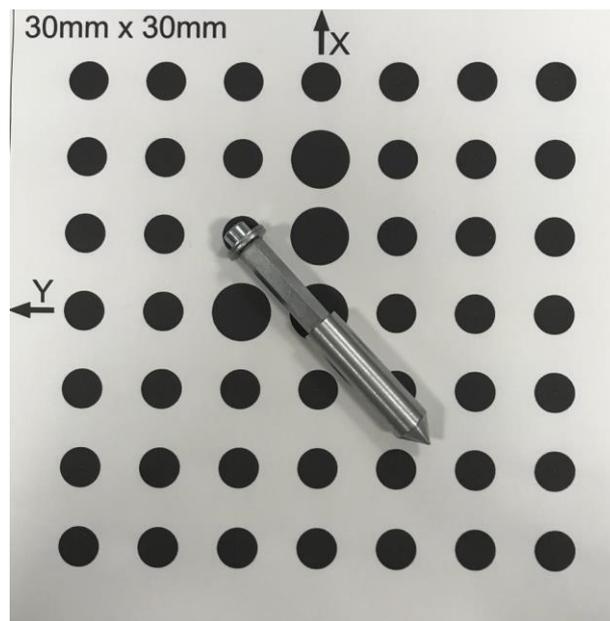


Imagen 42. Plantilla calibración

El funcionamiento de forma general de la visión artificial consta de un conjunto de subsistemas con la capacidad de realizar las dos acciones principales:

- Adquisición de imágenes, que consta en la realización de un conjunto de operaciones que al efectuarlas transforman la información luminosa de una escena en una señal digital.

En este primer paso, se trata de conseguir que la imagen sea lo más adecuada posible para que se pueda continuar con las siguientes etapas. Una correcta adquisición de la imagen supone un paso muy importante para que el proceso de reconocimiento tenga éxito. Dentro de esta etapa existen múltiples factores que atañen directamente al proceso de captura de la imagen, pudiendo resumirlos en dos grupos:

El sistema hardware de visión artificial: cámara, óptica, tarjeta de adquisición de imagen, procesamiento de imagen y software.

El entorno y posicionamiento de los elementos: la iluminación, el fondo, posición correcta de la cámara, ruido eléctrico-óptico externo, etc.

Un aspecto muy importante en este punto es obtener un perfecto calibrado de la posición de la cámara, para obtener una correcta imagen sin deformaciones. Es beneficioso utilizar una plantilla en la que se conozcan sus dimensiones mediante puntos de referencia.

Además, será necesario realizar un programa de calibrado que determine de la imagen en tiempo real, los centros de gravedad de los puntos, la dimensión de cada punto, las distancias de separación, la redondez de cada punto, el lado horizontal y vertical del cuadro, etc.

- Análisis de imágenes. El análisis o procesado de una imagen engloba a todas aquellas técnicas que permiten extraer una información explícita (posición, tamaño...) de los objetos que componen la imagen o escena.

Una vez realizado el proceso de segmentación, donde se obtienen los bordes de los objetos bien definidos, el siguiente paso consiste en obtener parámetros que definan las características de cada objeto: forma, textura, color, orientación, etc.

De entre todos los parámetros o descriptores que se puedan obtener, habrá que seleccionar aquellos que tengan las siguientes características:

Ser discriminantes. Es decir, que diferencien lo mejor posible los objetos de una familia o clase con los de las otras. Ser independientes entre sí. Los descriptores que definan cada objeto no tienen que estar relacionados, de forma que si varía uno los demás no varíen por culpa de éste.

Ser suficientes. Tienen que delimitar de forma suficiente la pertenencia de un objeto a una clase determinada.

Además, dentro de los descriptores podemos distinguir entre tres categorías básicas:

- Descriptores de frontera: pudiendo distinguir claramente el contorno de cada uno de los objetos.
- Descriptores de región: pudiendo representar a cada uno de los objetos presentes en la imagen mediante la región que ocupa en la misma.
- Descriptores adecuados para representar estructuras tridimensionales, que trataremos brevemente en el siguiente apartado.

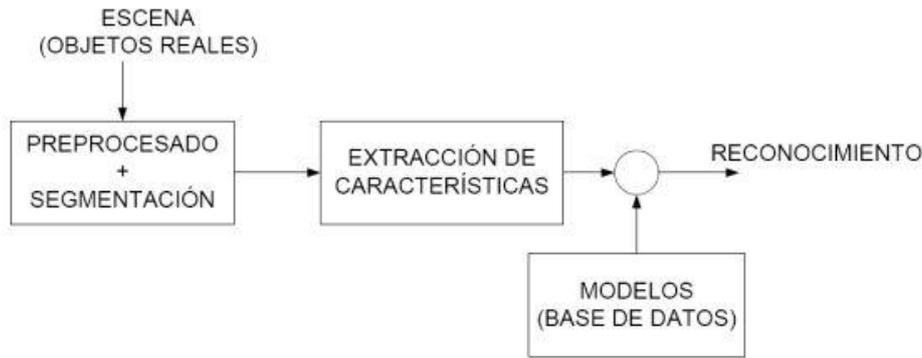


Figura 28. Esquema visión artificial

Este sistema funciona como se ha explicado, resumiendo son sistemas estándar que sirve para identificar o reconocer la posición sin realizar contacto directo por el sistema para obtener información sobre la posición, ángulo y cualquier variación geométrica que no esté reflejada en el patrón. Este sistema tiene como principal ventaja la velocidad que es muy alta a nivel subpíxel de extracción de contorno preciso. Obtienen una gran precisión a la hora de reconocer todo el espacio entre el centro hasta los bordes de la imagen, incluso la superposición de sobres para rechazar la menor cantidad. Además, se puede regular a al milisegundo el tiempo de exposición de la luz, permitiendo diferenciar perfectamente el fondo oscuro (los sobres) y el fondo blanco (la cinta).

La cámara guarda en su memoria los dos patrones, que posteriormente los operarios podrán elegir fácilmente mediante un HMI (Interacción hombre máquina), solamente pulsando encima del formato que se va a fabricar, facilitando así la labor del operario y mejorando la producción.

El **cerebro de todo el sistema es el controlador**, este elemento contiene la programación necesaria con la que poder detectar cada producto, así como controlar y calcular las trayectorias necesarias para la recogida y colocación del producto.

La programación debe incluir pautas de decisiones para minimizar el tiempo, seleccionar el producto más cercano, calcular cuántos productos hay en la zona de trabajo y actuar para recoger todos en el tiempo y la forma adecuada.

El controlador debe recibir información del sistema de visión artificial, gestionar y calcular las acciones a llevar a cabo y actuar sobre los elementos de control del brazo y garra.

Realizada la parte de visión y explicado que el controlador es el que percibe toda la información para poder comunicar todo el entorno con el robot, era hora de ponerse a programar. Como se ha comentado anteriormente, se requiere realizar dos tipos de programas uno para el sobre pequeño y otro para el sobre normal, ya que cada uno de ellos cuenta con unas dimensiones diferentes. Por lo tanto, a la hora de coger los puntos como contamos con distintos espesores y puntos céntricos diferentes para cada sobre.

Antes de ponerse a programar se deben asignar cada salida digital a su correspondiente acción, para la activación del vacío y la acción de los actuadores neumáticos, para posteriormente acceder de forma sencilla a las salidas correctas para su activación a la hora de programar, para poder realizar las acciones correctamente. En este caso, las salidas están correlativas a la acción del vacío de la ventosa con su respectivo pistón para el debido funcionamiento de la aplicación. En este caso, se usaron las salidas digitales 12, 11 y 10 para activar el vacío de las ventosas de derecha a izquierda, siendo la primera ventosa en coger la de la salida 12 y la última ventosa en coger la salida 10. La activación de los pistones está asignada a las salidas 15, 16 y 17, siendo la salida 15 la que corresponde con la primera ventosa y primera en ser activada para realizar la bajada y recogida del primer pistón y la salida 17 correspondiente a la última ventosa siendo la última en realizar su acción.

1. DO:12[VACÍO 1] => DO:15[VACÍO PISTÓN 12]
2. DO:11[VACÍO 2] => DO:16[VACÍO PISTÓN 11]
3. DO:10[VACÍO 3] => DO:17[VACÍO PISTÓN 10]

Esta sería la relación de nuestras entradas digitales para el funcionamiento de nuestra garra.

I/O Digital Out				
	#	SIM	STATUS	
DO[	1]	U	OFF	
DO[	2]	U	OFF	
DO[	3]	U	OFF	
DO[	4]	U	OFF	
DO[	5]	U	OFF	
DO[	6]	U	OFF	
DO[	7]	U	OFF	
DO[	8]	U	OFF	
DO[	9]	U	OFF	[Trigger camara
DO[	10]	U	OFF	[Vacio 10
DO[	11]	U	OFF	[Vacio 11
DO[	12]	U	OFF	[Vacio 12
DO[	13]	U	OFF	
DO[	14]	U	OFF	
DO[	15]	U	OFF	[PISTON VACIO 12
DO[	16]	U	OFF	[PISTON VACIO 11
DO[	17]	U	ON	[PISTON VACIO 10
DO[	18]	U	OFF	
DO[	19]	U	OFF	
DO[	20]	U	OFF	

Imagen 43. Salidas digitales

8.1. Programa principal (PRINCIPA).

Para poder explicar con claridad, la programación, se redactará por partes con el orden de programación que han tenido cada una de ellas. Haciendo más clara la redacción y facilitando al lector su comprensión.

Este programa es el que se está ejecutando en todo momento que el robot está en producción. Es el programa principal, el cual es el encargado, desde leer que tipo de formato es el que se va a producir hasta la llamada a subprogramas como el de la cámara de visión o el de cogida de sobres de chocolate.

1. Inicialización de variables.

Este primer apartado se programa para poder dejar todas las salidas y variables a 0, evitando cualquier error que se pueda producir al ejecutar la aplicación.

2. Obtención de formato des de PLC.

El primer paso es hacer referencia del formato del autómeta con el formato del robot en este caso el autómeta nos envía la información a través del registro 563 del grupo de entradas 1 del robot, por eso para que reconozca el robot pondremos R [563:FORMATO]=GI [1:FORMATO]. El PLC tiene 3 bits 1 2 4, los cuales creando combinaciones sabemos qué tipo de formato es el que queremos producir para el robot, a continuación, vemos una tabla la cual nos explica la relación entre el PLC y el robot para saber que formato se va a producir.

PLC	Robot
Sobre normal = 0	Sobre normal = 1
Sobre pequeño = 1	Sobre pequeño = 2

Tabla 4. Lectura de formatos

```
4: LBL[200] ;CRLE
5: !Obtencion tipo sobre ;CRLE
6: R[563:FORMATO]=GI[1:FORMATO] ;I
```

Imagen 44. Formato PLC/ROBOT

El formato viene dado, por la información que le da el PLC al robot, cuando el operario mediante el HMI escoge el sobre que quiere producir. El PLC trasmite en código binario, y se lo indica al robot, que interpreta el grupo de bits de entrada de modo decimal. De este modo, en el registro 563 el robot tiene los formatos y en el Group Input están los del PLC.

A continuación, podemos ver un pequeño esquema de cómo se produce esta comunicación desde que el operario pulsa el HMI hasta que le llega al robot para ejecutar la aplicación.

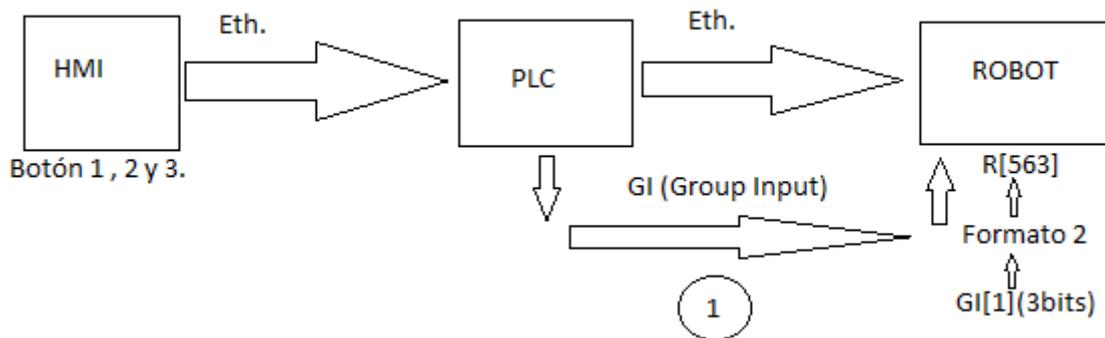


Figura 29. Esquema comunicación PLC/Robot

3. Llamada de Sub programa dependiendo del formato elegido.

En el siguiente apartado, se va a explicar los subprogramas de cogida de sobres de chocolate que tenemos, dependiendo del tamaño que se va a producir. Hablamos de distintas programaciones, aunque realmente sea la misma programación, porque varía los puntos de cogida de los sobres de chocolate, ya que cuenta con espesores distintos al tener la mitad de peso. Otra cosa que varía es la llamada al subprograma de la cámara de visión, ya que como hemos explicado hay distintos programas dependiendo del patrón de dimensiones.

Una vez programada la primera línea del programa principal, procedemos a hacer el reconocimiento de los sobres de chocolate mediante la visión, siempre respecto al sobre tendremos un programa u otro, en este caso hacemos una llamada a la visión del robot el cual reconoce que sobre tiene que producir porque el operario ha hecho uso del selector indicando que sobres de chocolate se van a poner sobre los gofres, en este caso si el operario activa la entrada del sobre normal el PLC dará un 0 y el robot reconocerá que es un 1, este hará uso del programa de visión que hace referencia al sobre de chocolate normal.

```

8: !Reset Señales ;CRLF
9: CALL VSTKCLRQ('ROBOT_1') ;CRLF
10: ;CRLF
11: !Vision diferente por sobre ;CRLF
12: IF R[563:FORMATO]=2,JMP LBL[20] ;
13: IF R[563:FORMATO]=3,JMP LBL[25] ;

```

Imagen 45. Elección del formato

Sabiendo el producto que va a producir hacemos un salto a la línea de programa que nos indica la producción, ubicados en la línea del sobre que queremos se ejecuta el programa que hemos explicado antes. Pero antes de la ejecución del programa, indicamos la lectura del programa para la elección del sobre. 2 son los programas de visión, en primera instancia empieza la lectura y si detecta que el primer formato es el que se va a producir directamente se salta las líneas siguientes de la opción de producción de los otros formatos y se pone a ejecutar el programa del sobre deseado. En este caso se hace el uso del comando JUMP LBL [número de formato que queremos producir], salta directamente

a la línea del [número de formato que queremos producir] para poder ejecutar el programa completo programado con anterioridad.

```
24: LBL[20] ;CRLE
25: !Sobre gran ;CRLE
26: $VISENS[2].$ENABLED=0 ;CRLE
27: $VISENS[3].$ENABLED=1 ;CRLE
28: $VISENS[4].$ENABLED=0 ;CRLE
29: CALL VSTKSTVN(3,'SOBRE_GRANDE') ;
30: CALL VSTKSTRT ;CRLE
31: JMP LBL[21] ;CRLE
```

Imagen 46. Formato normal

```
33: LBL[25] ;CRLE
34: !Sobre menut ;CRLE
35: $VISENS[2].$ENABLED=0 ;CRLE
36: $VISENS[3].$ENABLED=0 ;CRLE
37: $VISENS[4].$ENABLED=1 ;CRLE
38: CALL VSTKSTVN(3,'SOBRE_PEQ') ;
39: CALL VSTKSTRT ;CRLE
40: ;CRLE
41: LBL[21] ;CRLE
```

Imagen 47. Formato pequeño

Tres son los subprogramas que hemos hecho con respecto a la producción:

- Sub Programa PICK_IOBI para el sobre estándar.
- Sub Programa PICK_PEQ_IOBI para el sobre pequeño.
- Sub Programa PICK para futura integración.

El primer sobre a identificar es el sobre normal y estándar que la fábrica produce, en el programa con nombre PICK_IOBI, lo primero que se programa es la llamada a la búsqueda del sobre, que viene a ser cuando el operario hace uso del HMI y escoge el sobre que se desea producir, este detecta que tipo de sobre es y hace llamada a la cámara donde lee el patrón que nosotros con anterioridad le hemos asignado a la visión artificial. La cámara le indica al robot cual es la posición a la que debe ir para la recogida del primer sobre. Una vez conocida la posición a la que el robot irá, antes de ir hacia el punto conocido de recogida se activa DO:12[VACÍO 1] DO:15[VACÍO PISTÓN 12], se realiza una aproximación de 100mm para que la recogida no sea directa y siempre sea céntrica, del punto que nosotros hemos cogido manualmente con anterioridad como explicaremos en la puesta en marcha. Se realiza una aproximación de salida también de 100mm y posteriormente se desactiva la entrada digital que hace referencia al pistón.

Esta acción se produce sucesivamente y con el mismo orden explicado con cada una de las ventosas y pistones, siendo la segunda DO:11[VACÍO 2] DO:16[VACÍO PISTÓN 11] y la tercera y última DO:10[VACÍO 3] DO:17[VACÍO PISTÓN 10]. En la recogida, justo en el punto cuando está sobre el sobre de chocolate tiene una parada mínima de 0.05 segundo para asegurarse la recogida una vez está el vacío encendido y el pistón bajado.

A continuación, se puede observar las imágenes que corroboran lo explicado en la página anterior, haciendo uso del mando del robot para esta explicación.

```

4: ! Buscar primer sobre ;CRLE
5: LBL[100] ;CRLE
6: DO[15:PISTON VACIO 12]=ON ;CRLE
7: ;CRLE
8: STOP_TRACKING ;CRLE
9: CALL VSTKGETQ('ROBOT_1',1,(-100),1,580) ;CRLE
10: IF R[580:status pick]=0,JMP LBL[200] ;CRLE
11: JMP LBL[100] ;CRLE
12: ;CRLE
13: LBL[200] ;CRLE
14: UTOOL_NUM=2 ;CRLE
15:L P[1] R[600:AccAprox]mm/sec CNT100 VOFFSET,VR[1] Tool_Offset,PR[30] ;CRLE
16: //WAIT 0.00(sec) ;CRLE
17:L P[1] R[601:AccCoge]mm/sec CNT1 VOFFSET,VR[1] TB 1.00sec,DO[12:Vacio 12]=ON ;CRLE
18:L P[1] R[600:AccAprox]mm/sec CNT100 VOFFSET,VR[1] Tool_Offset,PR[30] ;CRLE
19: DO[15:PISTON VACIO 12]=OFF ;CRLE
20: CALL VSTKACKQ('ROBOT_1',1,1) ;CRLE
21: ;CRLE
22: ;CRLE
23: ;CRLE
24: LBL[101] ;CRLE
25: DO[16:PISTON VACIO 11]=ON ;CRLE
26: STOP_TRACKING ;CRLE
27: CALL VSTKGETQ('ROBOT_1',1,(-100),1,580) ;CRLE
28: IF R[580:status pick]=0,JMP LBL[201] ;CRLE
29: JMP LBL[101] ;CRLE

```

Imagen 48. PICK_IOWI 1

```

LBL[201] ;CRLE
UTOOL_NUM=2 ;CRLE
. P[2] R[600:AccAprox]mm/sec CNT100 VOFFSET,VR[1] Tool_Offset,PR[30] ;CRLE
. P[2] R[601:AccCoge]mm/sec CNT1 VOFFSET,VR[1] TB 1.00sec,DO[11:Vacio 11]=ON
. P[2] R[600:AccAprox]mm/sec CNT100 VOFFSET,VR[1] Tool_Offset,PR[30] ;CRLE
DO[16:PISTON VACIO 11]=OFF ;CRLE
CALL VSTKACKQ('ROBOT_1',1,1) ;CRLE
;CRLE
;CRLE
;CRLE
LBL[102] ;CRLE
DO[17:PISTON VACIO 10]=ON ;CRLE
STOP_TRACKING ;CRLE
CALL VSTKGETQ('ROBOT_1',1,(-100),1,580) ;CRLE
IF R[580:status pick]=0,JMP LBL[202] ;CRLE
JMP LBL[102] ;CRLE

```

Imagen 49. IOWI_PICK 2

```

52: LBL[202] ;CRLF
53: UTOOL_NUM=2 ;CRLF
54:L P[3] R[600:AccAprox]mm/sec CNT100 VOFFSET,VR[1] Tool_Offset,PR[30] ;CRLF
55:L P[3] R[601:AccCoge]mm/sec CNT1 VOFFSET,VR[1] TB 1.00sec,DO[10:Vacio 10]=ON
56:L P[3] R[600:AccAprox]mm/sec CNT100 VOFFSET,VR[1] Tool_Offset,PR[30] ;CRLF
57: DO[17:PISTON VACIO 10]=OFF ;CRLF
58: CALL VSTKACKQ('ROBOT_1',1,1) ;CRLF
59: ;CRLF
60: ;CRLF
61: R[35:Robot pide dejar]=1 ;CRLF
62: STOP_TRACKING ;CRLF
63: UTOOL_NUM=2 ;CRLF
64: ;CRLF
/POSCRLF
P[1]{CRLF
  GP1:CRLF
    UF : 0, UT : 2, CONFIG : ', , 0',CRLF
    X = -375.311 mm, Y = -588.805 mm, Z = 172.721 mm,CRLF
    W = -180.000 deg, P = -.000 deg, R = -65.518 degCRLF
};CRLF
P[2]{CRLF
  GP1:CRLF
    UF : 0, UT : 2, CONFIG : ', , 0',CRLF
    X = -382.455 mm, Y = -383.495 mm, Z = 174.021 mm,CRLF
    W = -180.000 deg, P = -.000 deg, R = -66.135 degCRLF
};CRLF
P[3]{CRLF
  GP1:CRLF
    UF : 0, UT : 2, CONFIG : ', , 0',CRLF
    X = -389.894 mm, Y = -178.301 mm, Z = 172.520 mm,CRLF
    W = -180.000 deg, P = -.000 deg, R = -66.135 degCRLF
};CRLF
/ENDCRLF

```

Imagen 50. IOBI_PICK 3

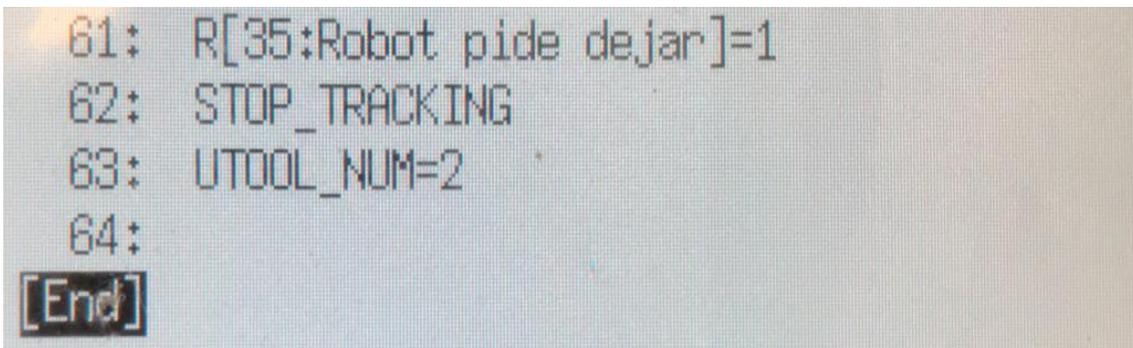


Imagen 51. IOBI_PICK 4

Esta misma programación de la visión artificial y del robot, se realiza para las dimensiones del sobre pequeño, es decir se ajusta el patrón para la cámara de visión de la geometría del sobre de chocolate pequeño y se realiza la misma programación para la recogida de este sobre, para que cuando el operario seleccione en el HMI el sobre pequeño, el robot trabaje con los ajustes para la recogida de este sobre. Este programa llevará el nombre de PICK_PEQ_IOBI.

4. Elección de variables.

Antes de la ejecución del programa, se hace una referencia de puntos respecto al USER (usuario) y a la TOOL (herramienta) por seguridad, ya que siempre tiene que estar haciendo referencia para el correcto funcionamiento de la aplicación, en nuestro caso el USER utilizado es el número 0, y la TOOL que haremos referencia es la número 2.

```
47: !Asignamos USER, TOOL por seguridad ;!  
48: UFRAME_NUM=0 ;CRLF  
49: UTOOL_NUM=2 ;CRLF
```

Imagen 52. Elección USER/TOOL

El siguiente paso en la línea de programación es hacer una espera para que el robot antes de ejecutar el programa vaya a su posición inicial, es decir, nosotros en otro programa hemos programado una posición inicial y de seguridad en medio de la cinta para que los operarios cuando paren el robot y quieran hacer limpieza no les moleste y puedan acceder a todas las partes. En este caso va a la posición inicial porque es la de partida y está en el centro de la cinta así la primera recogida que tiene que realizar siempre será más rápida al comienzo de la producción. POSINI es el nombre que llevará esta programación y para que se ejecute en el programa escribiremos un WAIT DO, que es una espera que se realice el movimiento antes de continuar con la siguiente línea, entonces explicado esto, el comando a utilizar es WAIT DO [113: POSINI]=ON. La siguiente línea de programación hace referencia al peso que tiene que soportar la garra que como explicaremos más detenidamente en la puesta en marcha es el peso que tiene nuestra garra para que el robot haga su cálculo de inercia, el nombre que recibe es PAYLOAD [1]. La primera velocidad a la que se mueve el robot será muy lenta, esto se hace por seguridad, permitiendo rectificar a tiempo si algo va mal, por eso la siguiente línea de programación hace referencia a esta velocidad con el comando OVERRIDE=5%. Y finalmente para terminar con las referencias de inicio se realiza una llamada a la posición de inicial POSINI para empezar a ejecutar la producción de los sobres de chocolates.

```
51: !Esperar robot en posini ;CRLF  
52: WAIT DO[113:POSINI]=ON ;CRLF  
53: PAYLOAD[1] ;CRLF  
54: !Velocidad Lenta antes de mover ;!  
55: OVERRIDE=5% ;CRLF  
56: ;CRLF  
57: !Robot en Posini ;CRLF  
58: CALL POSINI ;CRLF
```

Imagen 53. Referencias iniciales

5. Llamada a Sub Programa de dejada (DEJA).

Dependiendo del formato que se ha escogido, al igual que en el caso de la cogida de sobres de chocolate, para la dejada también se realiza dos sub programas uno para cada

formato, ya que el espesor de los sobres de chocolate como hemos comentado es distinto en cada formato.

Estos son los dos sub programas para la dejada:

- Llamada deja_LT1, para la dejada del sobre normal.
- Llamada deja_LT2, para la dejada del sobre pequeño.

Una vez recogido todos los sobres de chocolate, se dispone a realizar la dejada sobre los gofres, sabiendo la posición de estos por una fotocélula que detecta el paso y un encoder en esta misma cinta, que transmite el desplazamiento de los gofres al robot. Con esta combinación de fotocélula y encoder, el robot tiene la capacidad de poder saber dónde realizar la dejada.

Con un programa externo que se llama DEJA_LT1 se realiza una llamada que permite en nuestro programa PICK_IOBI poder realizar esta dejada, que consiste en hacer una aproximación de la altura con respecto al gofre y coger el punto manualmente de la dejada sobre el gofre. Una vez realizada la dejada sobre el gofre se vuelve a empezar el ciclo de la misma manera.

Una vez realizada la recogida de los sobres de chocolate, se tiene que realizar una dejada sobre los gofres, para realizar la dejada en programación se ha creado un programa para poder realizar una aproximación antes de llegar al punto de dejada y una aproximación de salida para no producir ningún arrastre y hacer una correcta dejada. También se ha hecho una programación especial sobre la velocidad a la hora de hacer la dejada ya que es un punto bastante crítico porque tienen que estar bien ubicados antes de ser envasados en el plástico, un exceso de velocidad en este punto podría producir una mala dejada haciendo resbalar el sobre de chocolate contra el gofre, produciendo un mal envasado. Una vez realizada la dejada el robot vuelve a la posición inicial para poder ejecutar de nuevo el programa principal desde el principio, haciendo todo el programa en bucle para cumplir con el ciclo de producción.

En la siguiente imagen se puede observar las líneas de programación que hacen referencia a la última parte del programa que hace referencia a la dejada con especial atención y la lectura de nuevo del programa para poder ejecutar en bucle siempre el programa logrando el objetivo del cliente de fabricar 180 gofres por minuto.

```

98:L P[2] 9500mm/sec CNT100 ;CRLE
99: ;CRLE
100: CALL VELDEJA ;CRLE
101: CALL DEJA ;CRLE
102: ;CRLE
103:L P[1] 9500mm/sec CNT10 Wjnt ;CRLE
104: JMP LBL[1] ;CRLE
105: ;CRLE
106: LBL[100] ;CRLE
107: !Reiniciar ;CRLE
108: STOP_TRACKING ;CRLE
109: CALL ABORT2P ;CRLE
110: WAIT .10(sec) ;CRLE
111: CALL IRPOSINI ;CRLE
112: JMP LBL[200] ;CRLE
/POS;CRLE
P[1]{;CRLE
GP1:;CRLE
UF : 0, UT : 2, CONFIG : ', , 0',;CRLE
X = -14.671 mm, Y = -90.000 mm, Z = -730.084 mm,(
W = -180.000 deg, P = 0.000 deg, R = 0.000 deg;
};CRLE
P[2]{;CRLE
GP1:;CRLE
UF : 0, UT : 2, CONFIG : ', , 0',;CRLE
X = -14.671 mm, Y = 230.000 mm, Z = -730.084 mm,(
W = -180.000 deg, P = 0.000 deg, R = 0.000 deg;
};CRLE
/END;CRLE

```

Imagen 54. Dejada sobre los gofres

6. Vuelta a la cinta para cogida de sobres.

Una vez realizada la dejada de sobres de chocolate sobre los gofres, el robot, vuelve al su lugar de origen, POSINI, para poder volver a realizar la cogida de sobres de chocolate. Se puede observar en la imagen 42, la llamada a la posición inicial, CALL POSINI, para la vuelta al principio y estar preparado para volver a coger más sobres.

7. Programación en bucle.

El END que se puede observar en la imagen 42, permite realizar la programación en bucle, hasta que el operario realice una parada de la producción. Si este END no estuviera, la programación se realizaría solo una vez y pararía, de este modo permitimos una reproducción constante.

Esta es la parte de programación donde la empresa me ha dejado participar en esta aplicación industrial de Pick and Places de sobres de chocolate en gofres. En este caso se ha hecho uso del sistema de programación de Fanuc como hemos comentado en los primeros apartados del TFG, programa que solo hace uso esta marca fabricante de robots.

9. PUESTA EN MARCHA

En este apartado vamos a explicar cómo se llevó a cabo la puesta en marcha de la garra y las partes de programación en las que colaboré. Con la ayuda y soporte de mis compañeros, realice la cogida de puntos exactos para que el robot pudiera hacer la recogida de sobres de chocolate correctamente y el ajuste de los sobres bajo la cámara de visión para obtener el centro de gravedad, ubicación y orientación, tanto para el sobre grande como para el pequeño.

El primer paso a realizar antes de desplazarse a hacer el montaje de la garra, era saber con exactitud cuál era el peso exacto de la garra y calcular el centro de gravedad, datos que el robot exige para optimizar al máximo el cálculo de las trayectorias porque sabe exactamente las inercias que se producirán durante el movimiento. De esta forma, se minimizan las posteriores rectificaciones durante el movimiento y se obtiene un movimiento mucho más limpio y rápido.

El peso que se obtuvo al pesar la garra al completo, con todas sus partes obviando los tubos de la neumática, los filtros y una plaqueta mecanizada para la sujeción de los filtros era de 1224gr. En la siguiente imagen podemos observar el siguiente dato, donde se muestra el efector final sobre la báscula utilizada para obtener el dato que hemos dado.

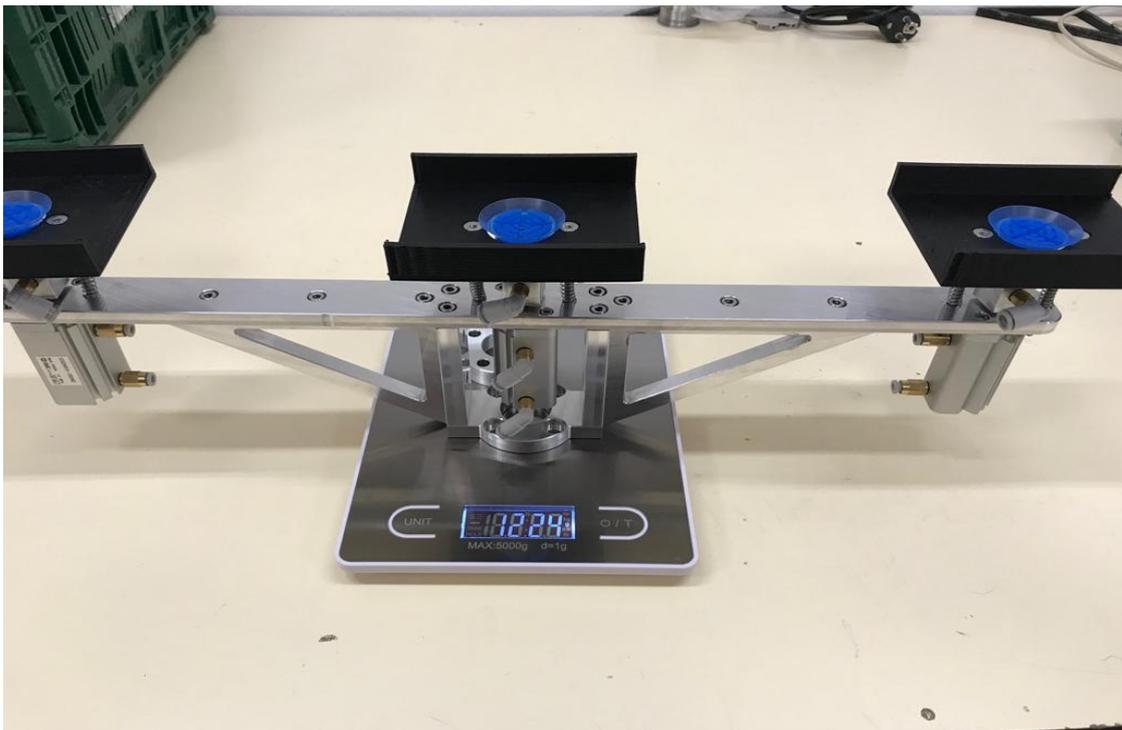


Imagen 55. Peso de la garra

El otro dato que era necesario sacar para la programación era del centro de masas de la garra para poder indicarlo al robot, al prácticamente simétrica la garra, el desplazamiento principal estaba en Z, la cual registraba un valor de 920mm, mientras que en $X=-4,03\text{mm}$ y en $Y=6,3\text{mm}$, en la siguiente imagen podemos ver el dato obtenido con el programa de SolidWorks una vez introducidos los valores reales de todas las masas.

```

Centro de masa: ( milímetros )
X = -4.03
Y = 6.30
Z = 920.00

```

Imagen 56. Centro de masas

Una vez obtenidos los dos resultados anteriores, la primera parte de la puesta en marcha, que hace referencia a la programación, constará de la anotación de estos valores en el robot, el PAYLOAD será de 1500gr, ya que tenemos que tener en cuenta el peso de los tubos de la neumática, la chapa metálica que sujeta los filtros y los propios filtros. Para decretar el centro de masas se anotará en PAYLOAD CENTER X, Y, Z los valores comentados con anterioridad. Estos valores son necesarios, ya que el robot en la programación que realiza el fabricante, puede hacer sus propios cambios para evitar parones en los motores por exceso de velocidad o a la hora de realizar las frenadas.

The image shows a screen with the title 'PAYLOAD SET' and a list of parameters for 'Group 1'. The parameters are as follows:

Group	Parameter	Value	Unit
1	Schedule No	1	[*****]
2	PAYLOAD		[kg]
3	PAYLOAD CENTER X		[cm]
4	PAYLOAD CENTER Y		[cm]
5	PAYLOAD CENTER Z		[cm]
6	PAYLOAD INERTIA X		[kgfcm ²]
7	PAYLOAD INERTIA Y		[kgfcm ²]
8	PAYLOAD INERTIA Z		[kgfcm ²]

Imagen 57. Payload

El primer paso de la parte mecánica era atornillar la garra a la muñeca del robot, ya que la garra había sido montada con previamente en nuestro taller para agilizar el proceso de montaje. Para la fijación de la garra en la muñeca se usaron los tornillos de métrica 6 y longitud 25mm, 4 de éstos son los encargados de unir el efector final con la muñeca de la garra, quedando cogida por la parte superior y estando todo el resto del cuerpo en el aire.

Una vez ubicada la garra en su debido lugar, se conectó todo el sistema neumático. En primer lugar, era necesario medir la longitud de los tubos de cada tamaño que se necesitaba:

-Tubo de 8, para la bajada de los venturis a los filtros, en este caso hay 3 venturis y 3 filtros, entonces 3 tubos son los encargados de pasar el aire.

-Tubo de 6, para la baja de los filtros hasta los racores con salida a tubo de 6 que alimentan las ventosas, 3 filtros y 3 racores de las características nombradas, entonces 3 tubos son los encargados del paso del aire.

-Tubo de 4, para la bajada desde el bloque de válvulas hasta los actuadores neumáticos, 6 son los tubos encargados de este paso del aire ya que los actuadores son de

doble efecto. Estos son los tubos con mayor longitud ya que tienen que recorrer toda la distancia desde arriba del robot hasta la garra, basando por la brida mecánica de la muñeca.

En la siguiente imagen podemos observar cómo ha quedado la disposición de los tubos neumáticos con su debida sujeción para evitar cualquier posible enganche y formar un conjunto de tubos único. También se puede observar que la distancia de los tubos se obtuvo sabiendo el lugar más desfavorable del robot, en el cual una vez comprobado se colocó el robot manualmente para poder comprobar que la distancia era correcta, este punto, es el que más lejos puede llegar el robot en las coordenadas X, Y, Z, para poder dejar los sobres de chocolate en los gofres, respecto al transportador donde pasan los gofres para colocar de 3 en 3.

También se puede observar, la realización de una pequeña daga antes de llegar a los filtros, estos robots tienen gran inercia, pudiendo producir pequeños tirones en los tubos. Esta daga, al estar cogida con una brida en la parte inferior de la plancha que sujeta los filtros, poder absorber cualquier fuerza producida por los tirones, que puede hacer el robot, sin originar ningún tipo de daño en el sistema neumático.



Imagen 58. Tubos neumáticos

Completada la implantación de la garra y los tubos en su debido lugar, el bloque de válvulas y los venturis en la parte superior del robot, conectados a la alimentación del aire para poder realizar su función debidamente, la parte mecánica podía darse por finalizada. El resultado que se obtuvo al finalizar todo el montaje y antes de empezar con la puesta en marcha de programación es el que se puede observar en la siguiente imagen, con los tubos por la parte trasera, ya que los racores se ubicaron así para un diseño más completo y que permitiera ser visualmente mejor.

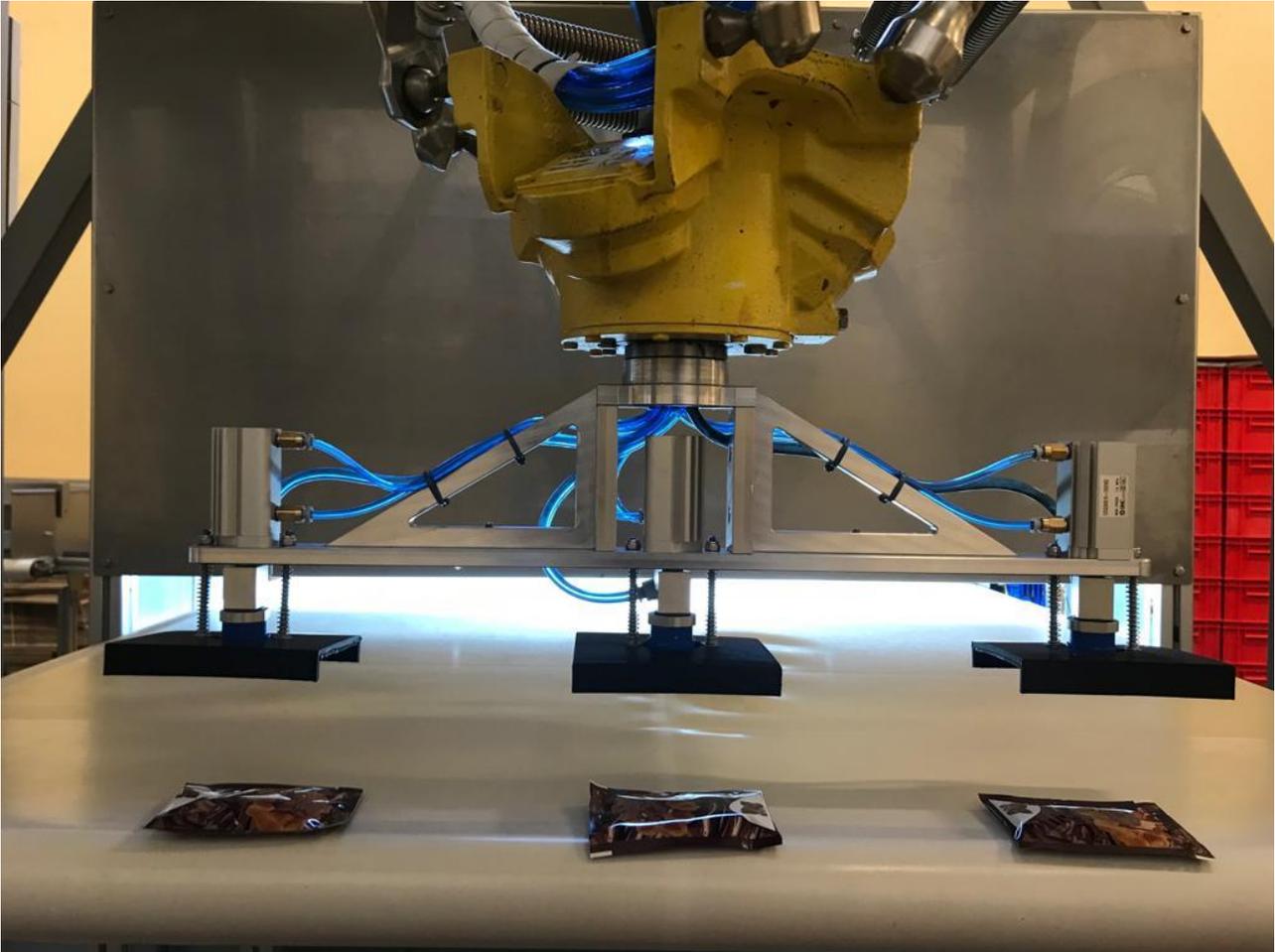


Imagen 59. Efector final

En la parte de programación lo primero que se debía configurar es el peso de la garra en Kg y el centro de masas para que el robot pueda realizar su propio cálculo de inercia como hemos indicado al principio de este apartado. Una vez escritos estos datos en el mando del robot, tocaba realizar la toma de los puntos de recogida y los puntos de dejada, para la cogida de estos puntos se tenía que seguir una serie de pautas que explicamos a continuación.

La primera pauta era tener un sobre de chocolate para obtener el patrón de programación de la cámara de visión del sobre normal. Para ello, se ubica el sobre debajo de la cámara, se ajusta la obturación y exposición para dicho sobre para finalmente realizar una captura del patrón.

A continuación, como se ha comentado con anterioridad, se realiza la programación “offline” del sub programa PICK_IOBI, donde posteriormente se cogerán los puntos de pick.

El siguiente paso es ejecutar de forma manual la programación del robot para que quede esperando a la llegada de un sobre con el patrón programado con anterioridad. Para ello, se fuerza el avance de la cinta de los sobres de chocolate y se deja pasar solamente un sobre por la cámara.

Cuando la cámara le indica al robot que tiene un sobre para su cogida, el robot nos indica que no puede llegar a cogerlo porque está en manual. En este momento, paramos el avance de la cinta de chocolate para poder coger los puntos de forma manual con el mando.

En cada cogida de puntos, se subtrae la información de la visión y de esta forma el robot realiza una transformada de la posición que nos indica la cámara respecto a la posición de cogida para cada punto. De esta manera, cada vez que la cámara nos indica un centro de gravedad, el robot realiza el cálculo de la transformada y sabe, de forma dinámica, donde tiene que ir a recoger cada sobre.

Para la cogida de los puntos nombrados anteriormente, se activa el primer pistón con el que vamos a recoger el sobre de chocolate, ya que todas las recogidas se harán con el pistón bajado y una vez recogido se subirá de nuevo. Había que hacer esta recogida del sobre con cada una de las ventosas, situando las mismas en el centro del sobre de chocolate para que se produzca en todo momento un correcto funcionamiento del vacío. Cada punto cogido con la ventosa tiene que hacer referencia a su línea de programación, para que cuando el robot haga la recogida de sobre no coja las coordenadas de la ventosa de al lado, entonces se tendrá que hacer la cogida de puntos en el mismo orden que se ha programa, empezando por la ventosa de VACÍO 12 y terminando por la ventosa de VACÍO 10. Todas estas cogidas de puntos se realizaron con la opción MANUAL del mando y en el modo de movimiento la opción FRAME para poder moverse en X,Y y Z respecto a nuestra herramienta de trabajo.

Terminada la cogida de los puntos para la recogida de los sobres de chocolate, había que ajustar la dejada sobre los gofres, para esto con los sobres de chocolate en las ventosas y los pistones desactivados había que ir a buscar la proximidad en la que queríamos dejar sobre los gofres los sobres de chocolate. Para poder guardar este punto, debemos de proceder de la misma forma que en pick, pero guardando los puntos en el programa DEJA_LT1 y en la línea de programación que hace referencia al punto. Para este caso, nuestro trigger es la fotocélula que nos indica que tenemos tres gofres seguidos y podemos proceder a la dejada. Como se ha descrito con anterioridad, se debe forzar la parada de la cinta por la que pasan los gofres cuando nos lo indique el trigger, coger los puntos con el mando de forma MANUAL y el modo de movimiento en FRAME, para ir con el robot al lugar donde están los gofres y dejar los sobres de chocolate lo más céntrico posible. La fotocélula y el encoder deben ser calibrados con anterioridad, ya que el encoder es el responsable de decir al robot donde están los 3 gofres que cuenta la fotocélula al hacer el trigger.

Estas dos cogidas de puntos se realizan dos veces y de la misma manera una para cada uno de los robots, ya que toda esta puesta en marcha se tiene que hacer dos veces porque como hemos podido observar en los cálculos se necesitaban dos robots con la

garra triple para poder cumplir con el tiempo de ciclo que el cliente había expuesto en la problemática.

10. PRESUPUESTO

En este apartado, se realizará una valoración económica del precio total del efector final y de su implantación en el lugar de trabajo. A continuación, se puede apreciar de forma esquemática las partes de este proyecto, con las cuáles a partir de esta se ha sacado un precio, para que el cliente pudiera ver de cuanto trataba la inversión.

Material y trabajos para 2 garras completas.

- Diseño mecánico de piezas para montaje de garra.
- Mecanizado de piezas en aluminio.
- Actuadores neumáticos SMC 20mm de carrera con bloqueo de giro.
- Ventosas especiales alimentario objetos blandos SMC 35mm.
- Grupo de válvulas 5/2 para cada robot.
- Instalación en planta.
- Programación de nuevo sistema de cogida.
- Pruebas en producción.

En segunda instancia, veremos una tabla que refleja los precios de las partes de la neumática, ya que SMC nos hizo su valoración propia del material.

Línea	Material petición	Referencia SMC	Plazo	P.V.P	Cantidad	Imp.neto.
1	Electroválv.5/2 monoestable tamaño 3000, 24VCC conector M8.	SY3120-5WAOU-M5-Q	3-4 días	60.54€	6	363.24
2	Placa base aluminio para 3 electroválvulas.	SS5Y3-20-03-00F-Q	3-4 días	45.69€	2	91.38
3	Racor salida válvulas, M5 a tubo de 6 mm	KQ2S04-M5A	2 días	2.84€	12	34.08
4	Racor entrada bloque, 1/8 tubo de 8 mm	KQ2H08-01AS	2 días	2.84€	2	5.68
5	Silenciadores bloque, 1/8"	AN10-01	2 días	3.55€	4	14.2
6	Tapones 1/8 para bloque	KME-TPM-C-18	2 días	0.69€	6	4.14
7	Cilindro compacto, antigiro, diam. 16 mm carrera 20 mm	CDQ2KB16-20DMZ	7-8 días	59.67€	6	358.02
8	Ventosa plana, especial film. Diam 35, con adaptador vertical macho M12	ZP3P-T35PTSF-A12	13-14 días	32.89€	6	197.34
9	Racor recto macho M5 a tubo de 6 mm	KQ2H06-M5A	2 días	2.64€	6	15.84
10	Racor codo, M5 a tubo de 4 mm	KQ2L04-M5A	2 días	4.98€	12	59.76
11	Raco T para tubo de 16 mm	KQ2T16-00A	2 días	10.24€	1	10.24
12	Racor Reductor de 16 a tubo de 10 mm	KQ2R10-16A	2 días	5.24€	1	5.24
13	Racor Y entrada 10 a dos salidas tubo 8 mm	KQ2U08-10A	2 días	6.52€	1	6.52

Tabla 5. Valoración neumática

Este es el resultado de la valoración de los componentes neumáticos, 1165.68€

En tercer lugar, se refleja la valoración del mecanizado de las piezas, incluyendo las horas de CNC y el material (Aluminio 7075).

Descripción	Cantidad	Precio Unidad	Total
Mecanizado y material ref. chapa lateral	4	55.89€	223.56
Mecanizado y material ref. base de la garra	2	110.71€	442.84
Mecanizado y material ref. chapa superior	2	92.98€	185.96
Mecanizado y material ref. conexión ventosa	6	51.21€	307.26
Mecanizado y material ref. escuadra	4	94.55€	378.2
Mecanizado y material ref. enganche brida	2	69.31€	138.62

Tabla 6. Valoración del mecanizado

El precio total de la mecanización de las piezas es de 1676.44€.

Por último, en la siguiente tabla de Excel, podemos observar la valoración global del proyecto y el coste de cada una de sus partes.

Presupuesto			
	Cantidad	Precio	Total
Materiales		3715.28€	3715.28€
Mecanizado garra	2	950.82€	1901.64€
Material SMC	2	681.75€	1363.5€
Montaje de la garra en taller (horas)	15	30€	450€
Instalación en campo		1710€	1710€
Montaje eléctrico y mecánico en planta (horas)	45	38€	1710€
Ingeniería, programación y puesta en marcha		6750€	6750€
Diseño mecánico	70	55€	3850€
Programación del sistema	50	58€	2900€
Total costes (I.V.A. no incluido)			12.175,28€

Tabla 7. Presupuesto global

Esta es la valoración económica que se le envió al cliente, para que pudiera hacer un balance de amortización. En estos casos es muy importante que el cliente firme las condiciones de la valoración, ya que estas marcan las formas de pago y el tiempo que tardará en efectuarse el proyecto. Los precios son para la venta al público, en este caso al ser una empresa, los proveedores aplican un descuento para poder ajustar los precios.

11. SEGURIDAD DEL ROBOT

- Paro del robot.

-La seguridad denominada hombre muerto consiste en un dispositivo de activación. Cuando se activa la consola de programación, este interruptor permite sólo el movimiento del robot mientras se sujeta el interruptor. Si se libera este interruptor, el robot se para por emergencia.

-Hay un vallado de seguridad el cual va conectado al robot, si por algún casual la valla de seguridad se abre mientras el robot está trabajando salta el fallo de emergencia y este se detiene.

-El robot dispone de botón de emergencia. Ante la situación de “fault” provocada por cualquier tipo de fallo o paro de emergencia, el armario de control del robot no permite entrada de potencia al servoamplificador con lo que el robot nunca se moverá.

- Normas de seguridad.

- UNE-EN ISO 10218-1:2012 Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 1: Robots

- En reconocimiento de la naturaleza variable de los riesgos en los diferentes usos de los robots industriales, la Norma ISO 10218 se divide en dos partes. Esta parte de la Norma ISO 10218 proporciona directrices para garantizar la seguridad en el diseño y la construcción del robot. Dado que la seguridad en el uso de los robots industriales está influenciada por el diseño y la integración particular del robot, la Norma ISO 10218-2 proporciona directrices para la seguridad del personal durante la integración del robot, su instalación, ensayos, programación, funcionamiento, mantenimiento y reparación.

- EN ISO 10218-2:2011 Robots y dispositivos robóticos. Requisitos de seguridad para robots industriales. Parte 2: Sistemas robot e integración.

- Frecuentemente los peligros son únicos para un sistema robótico particular. El número y tipo de peligros están directamente relacionados con la naturaleza del proceso de automatización y la complejidad de la instalación. Los riesgos asociados con estos peligros varían con el tipo de robot utilizado, su propósito y la manera como está instalado, programado, operado y mantenido. A fin de entender los requisitos de esta parte de la Norma ISO 10218 se utiliza una sintaxis para distinguir los requisitos absolutos de las recomendaciones o las acciones sugeridas. La palabra “debe” se utiliza para identificar los requisitos necesarios para estar en conformidad con esta parte de la Norma ISO 10218. Se tienen que lograr estos requisitos a menos que se proporcione una instrucción alternativa o se determina una alternativa adecuada mediante un asesoramiento de riesgos. La palabra “debería” se utiliza para identificar sugerencias, acciones recomendadas o posibles soluciones para los requisitos, pero son posibles alternativas y las acciones sugeridas no son absolutas.

12. CONCLUSIONES

Una vez cumplidos todos los objetivos establecidos por el cliente para la realización de este proyecto, hemos llegado a la conclusión de que el diseño y elección de componentes de la garra o efector final con el que va a trabajar un robot industrial, es una parte fundamental en el éxito de la aplicación.

La garra de un robot es la que convierte a un robot de propósito general, incapaz de realizar ninguna acción útil, en un robot específico para cada aplicación.

El mal dimensionamiento de esta garra triple para la aplicación de pick and place, hubiese tenido importantes consecuencias en el tiempo de ciclo de nuestro proceso. Un buen diseño de esta, puede suplir las carencias propias del robot, como es en este caso, la velocidad.

Además de todo eso, el uso de software y herramientas para la realización del diseño o cálculos, ha permitido desde el principio, poder definir los elementos del montaje con gran claridad y acotar las pruebas realizadas para la elección final de componentes.

Otro de los puntos a destacar, es la importancia de entender cómo funciona la programación de un robot, ya que, gracias a esta, hacemos actuar nuestro sistema mecánico, pudiendo elegir cuando activamos cada actuador y cada ventosa para que el resultado final sea el esperado.

También es importante, realizar un diseño pensando en facilitar el montaje y mantenimiento del sistema, así en caso de avería, el tiempo de parada de planta será el mínimo. Parte fundamental de esto ha sido gracias al uso de medidas estandarizadas en el mercado para tubos, tornillos y materiales.

Para la implantación final de la garra de un robot, se ha requerido de un gran estudio previo y horas de investigación, que son las que marcan el valor final de la aplicación.

13. LÍNEAS FUTURAS

Este apartado queda reservado para la explicación de futuros proyectos en la misma fábrica, para poder mejorar el funcionamiento de la producción. Para mejorar esta producción hay que hacer distintas mejoras automatizadas, dos de las líneas futuras que ya están en pie, **son diseño de un sistema de alimentación para dosificar los sobres de chocolate y diseño de un sistema para reponer los sobres que se pueden perder en el proceso.**

El primero de estos dos, se estudia ya que la manera en la que se alimenta actualmente el sistema, no permite el funcionamiento correcto de la aplicación, que los sobres vienen muy juntos unos sobre otros o incluso unos junto a los otros, pero en gran cantidad. Esto no permite que la cámara haga su función correctamente, porque realiza demasiadas capturas a los mismos sobres, y no le envía la debida información al robot. Dicha acción de no reconocimiento de los sobres, provoca un retraso en la cogida de los sobres de chocolate, ya que descarta varios sobres que podrían ser cogidos por el robot.

En resumen, se debería alimentar de manera más espaciada pero con una cantidad considerada, para que los sobres no pasaran por la cinta sobrepuestos unos sobre los otros y para que el robot tenga los suficientes sobres de chocolate que coger sin tener que esperar, ya que esto produciría una bajada del tiempo de ciclo o incluso si no llegara a poner los sobres sobre los gofres, la persona que ahora está colocando los sobres de chocolate que no pone el robot no se podría eliminar.

En el segundo de estos, se pretende estudiar un sistema que pueda reponer los sobres que durante el proceso se puedan perder, ya que no siempre el robot es capaz de colocar de los tres sobres de chocolate.

Por motivos externos a la garra, como la mala alimentación o porque cuando falla algún gofre, es decir, en el transportador de gofres hay un hueco vacío porque la dosificación previa no es capaz de dosificarlos como toca, la fotocélula no cuenta los 3 gofres juntos y entonces el robot los deja pasar sin chocolate. En esta ocasión se precisa de un operario para colocar todos esos sobres de chocolate que el robot no es capaz de poner.

El objetivo que nos ha indicado el cliente, para estas líneas futuras, es que esta aplicación funcione sin la necesidad de tener un operario cada vez que se produce chocolate. Ya que este operario podría realizar otros trabajos dentro de la fábrica, sin necesidad de estar pendiente de la colocación de chocolate, que perfectamente puede funcionar sin la ayuda humana.

Ya se ha empezado el estudio de estas dos líneas futuras que hemos comentado, con la intención de ponerlo en marcha cuanto antes.

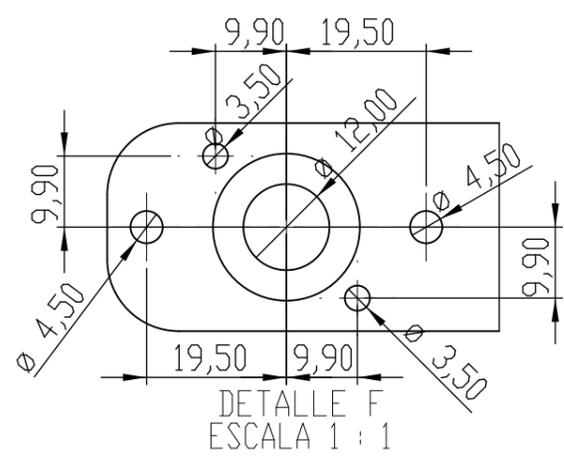
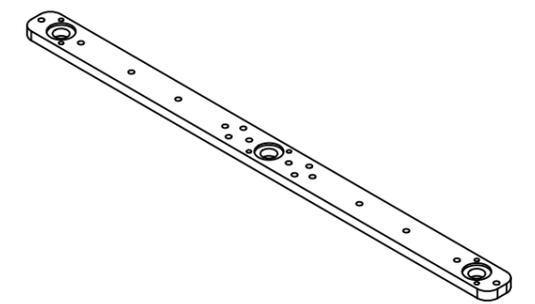
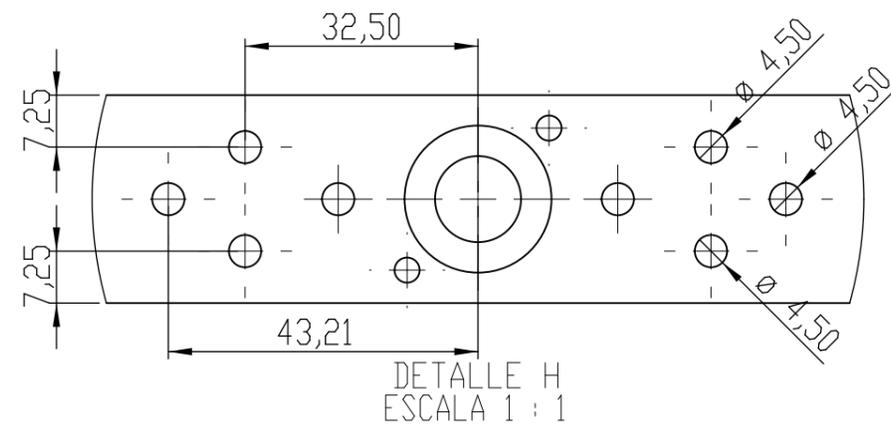
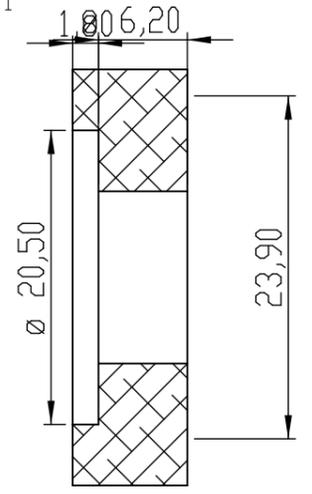
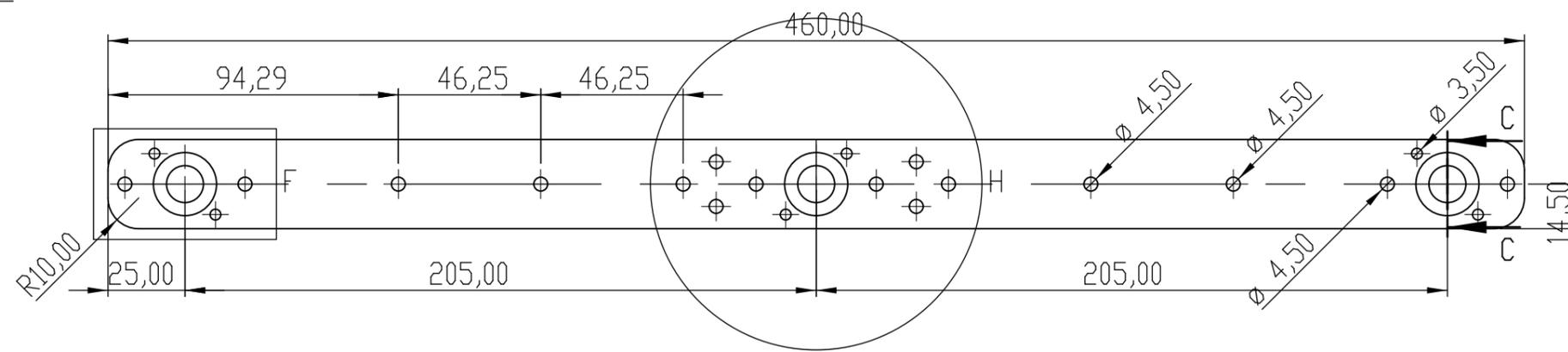
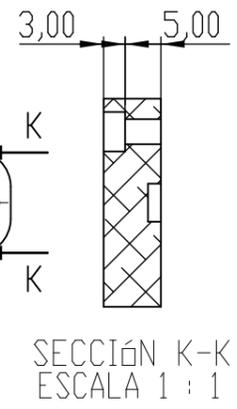
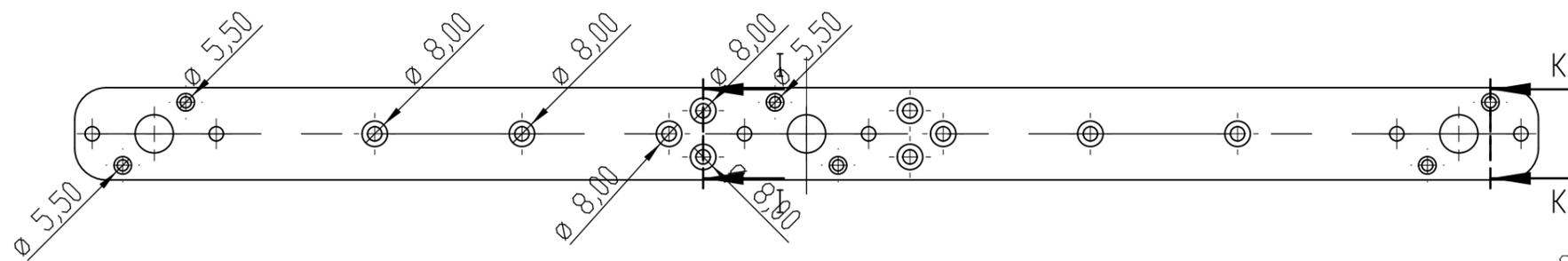
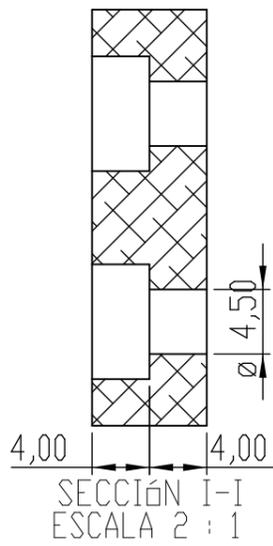
14. BIBLIOGRAFÍA

- <http://www.esa.int/TEC/Robotics/>
- <http://www.robotics-platform.eu>
- <http://www.hisparob.es>
- [SPARC \(The Partnership for Robotics in Europe\) \(2015\). Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap For Robotics in Europe, Call 2 ICT24 \(2015\) – Horizon 2020](#)
- [UK Intellectual Property Office \(2014\). Eight Great Technologies - Robotics and Autonomous Systems](#)
- [GTRob, Comité Español de Automática, y Ministerio de Ciencia e Innovación \(2011\). El libro blanco de la robótica en España: Investigación, tecnologías y formación.](#)
- [Grupo Temático de Robótica del Comité Español de Automática. Boletín de Robótica. Ediciones de 2013, 2014 y 2015.](#)
- <https://www.smc.eu>
- <https://www.fanuc.eu/es/es>
- <http://www.alacermas.com>
- <http://alsimet.es>
- http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/737_ca.pdf
- <https://sites.google.com/site/proyectosroboticos/cinematica-brazo-delta>

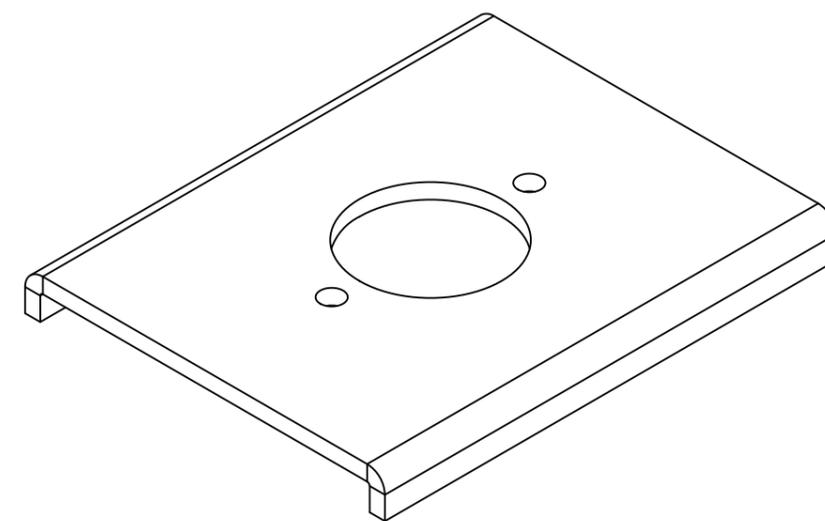
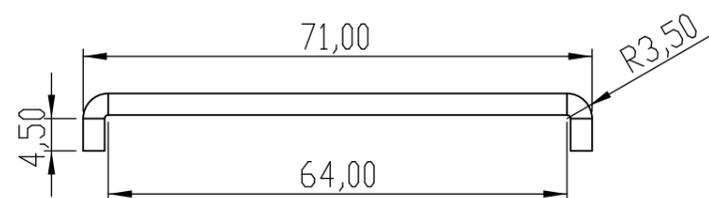
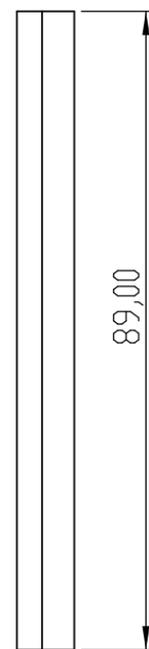
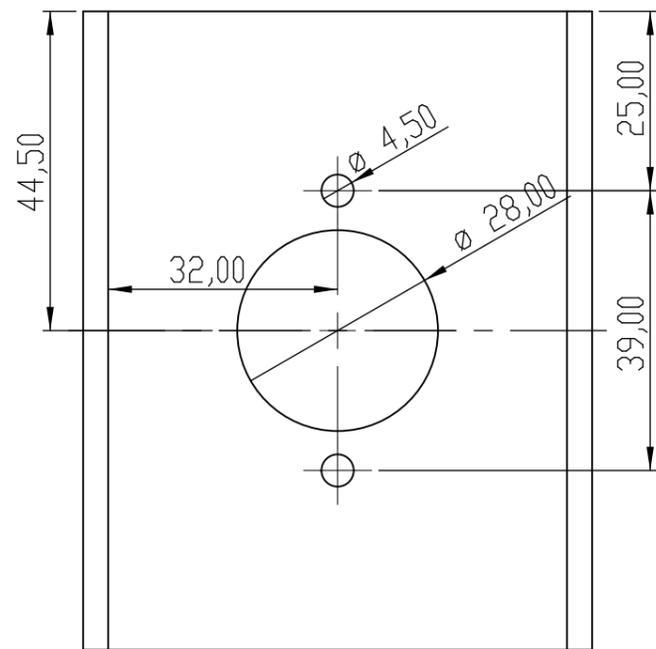
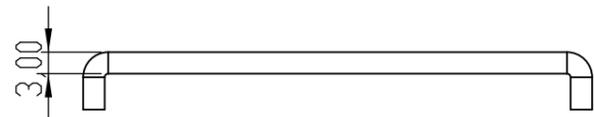
15. ANEXO 1: PLANOS.

Índice de planos

- 1. Base de la garra.*
- 2. Chapa Doblada.*
- 3. Chapa Lateral.*
- 4. Conexión Vent-Act.*
- 5. Enganche Brida.*
- 6. Escuadra Antiflex.*
- 7. Chapa Superior.*

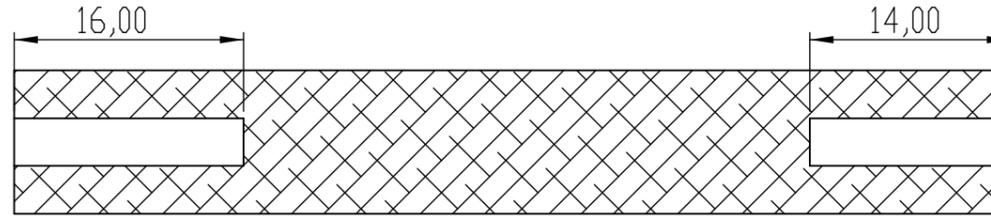
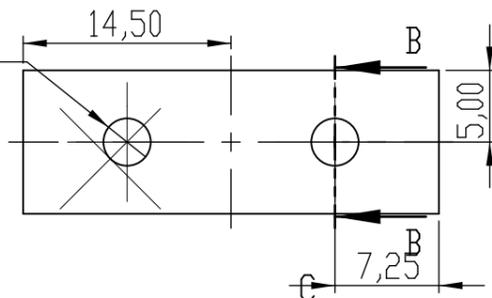


	Nombre	Fecha	Escala	Formato	IOBI INGENIERIA S.L. Avd. Alacant, 62 ,03760 Ondara (Alacant) TEL. 96 505 56 80 www.iobies			
Proyectado	JDG	2019/03/25	1:2	A3			Cliente: IOBI	Peso (kg): -
Dibujado	JDG	2018/12/26						N° Proyecto: -	Rev: -
Comprobado	TAD	-						
Máquina/Instalación:								
Pieza/Conjunto:	Base de la garra							

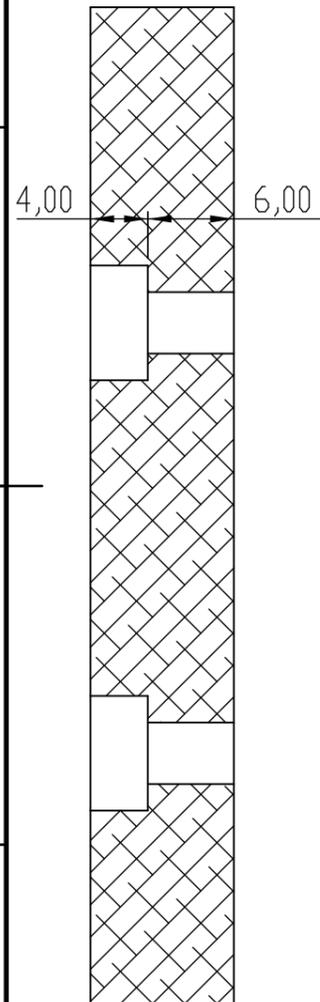


	Nombre	Fecha	Escala	Formato	IOBI INGENIERIA S.L. Avd. Alacant, 62 ,03760 Ondara (Alacant) TEL. 96 505 56 80 www.iobies			
Proyectado	JDG	2019/03/25	1:1	A3				
Dibujado	JDG	2019/03/30						
Comprobado	TAD	-						
Máquina/Instalación:					Cliente:	IOBI	Peso (kg):	-
Pieza/Conjunto:	Chapa doblada				Nº Proyecto:	-	Rev:	-

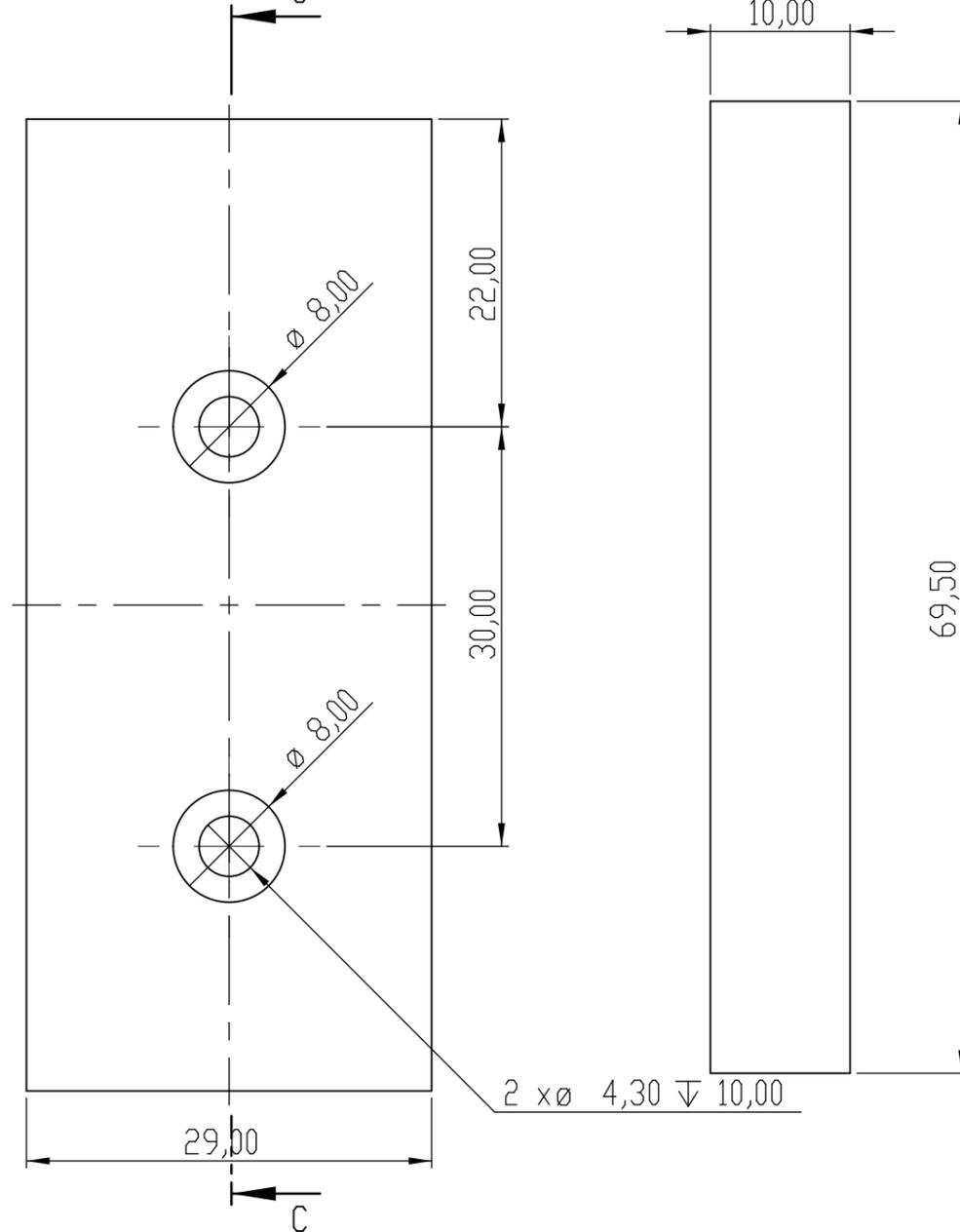
2 x \emptyset 3,30 ∇ 16,00
M4 - 6H ∇ 16,00



SECCIÓN B-B

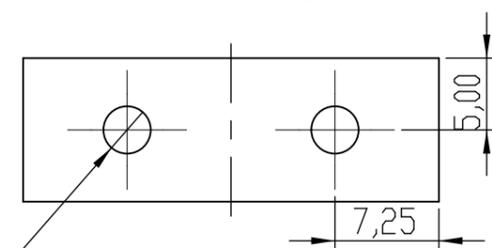


SECCIÓN C-C

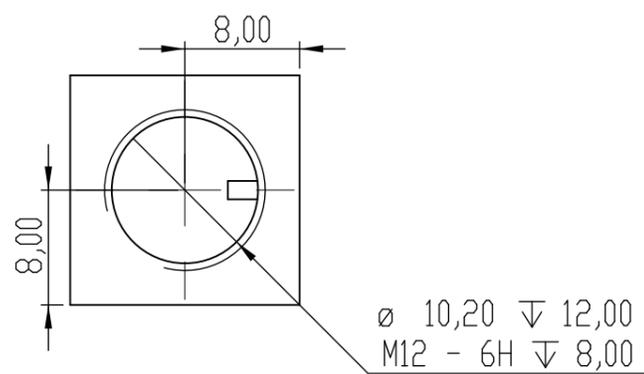
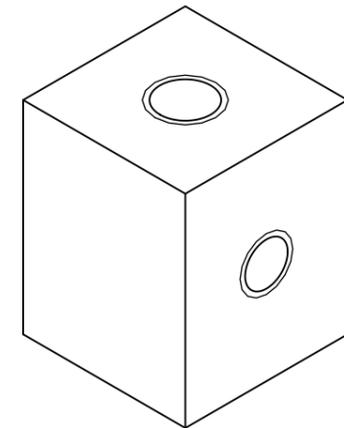
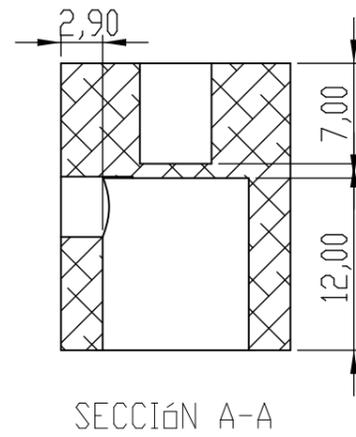
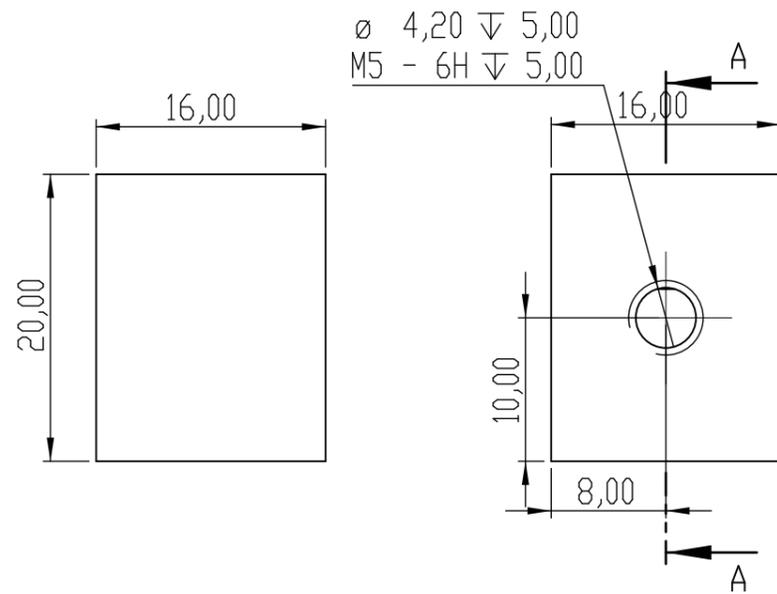
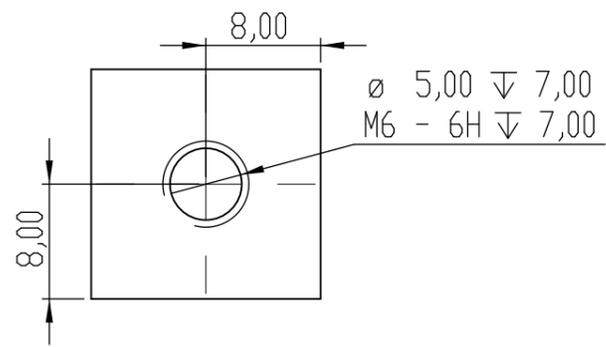


2 x \emptyset 4,30 ∇ 10,00

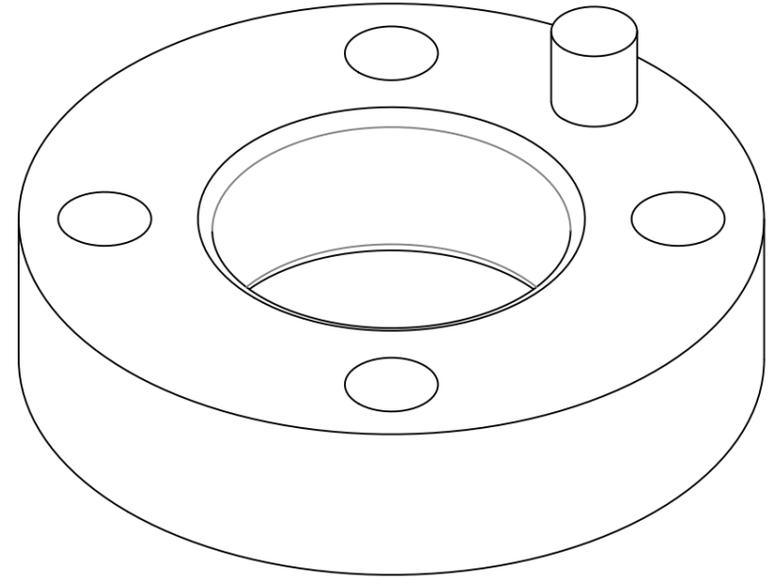
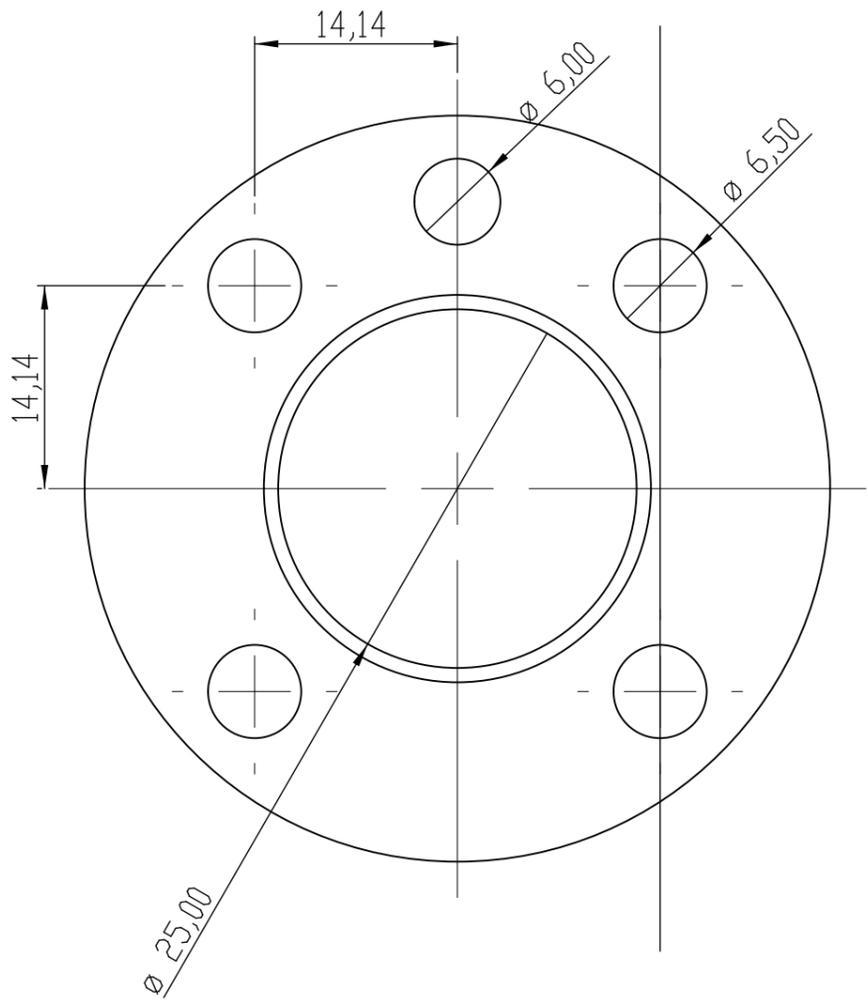
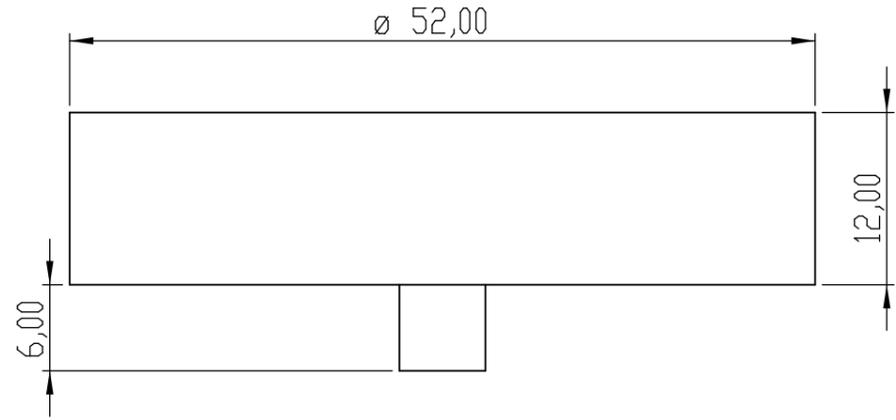
2 x \emptyset 3,30 ∇ 14,00
M4 - 6H ∇ 14,00



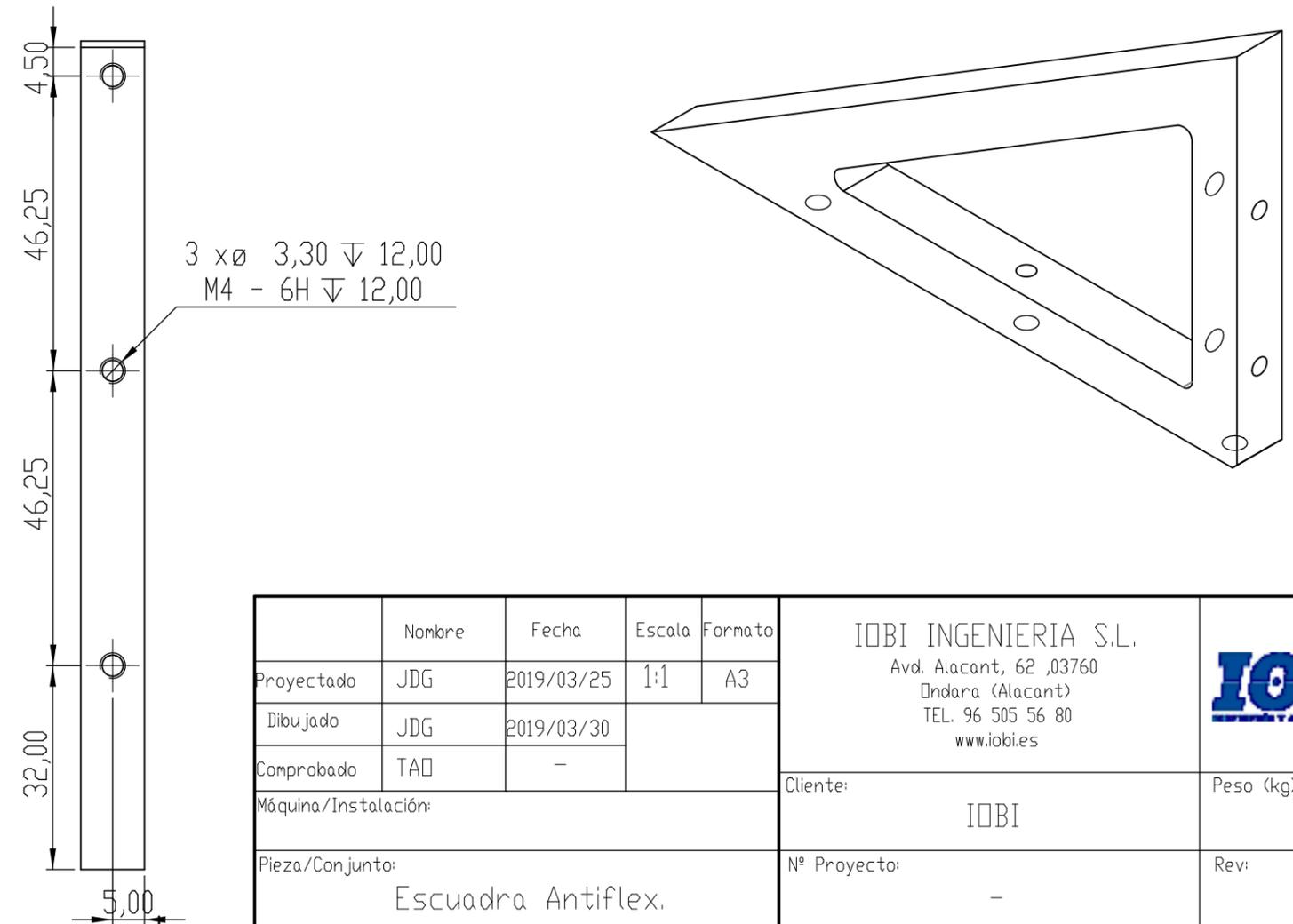
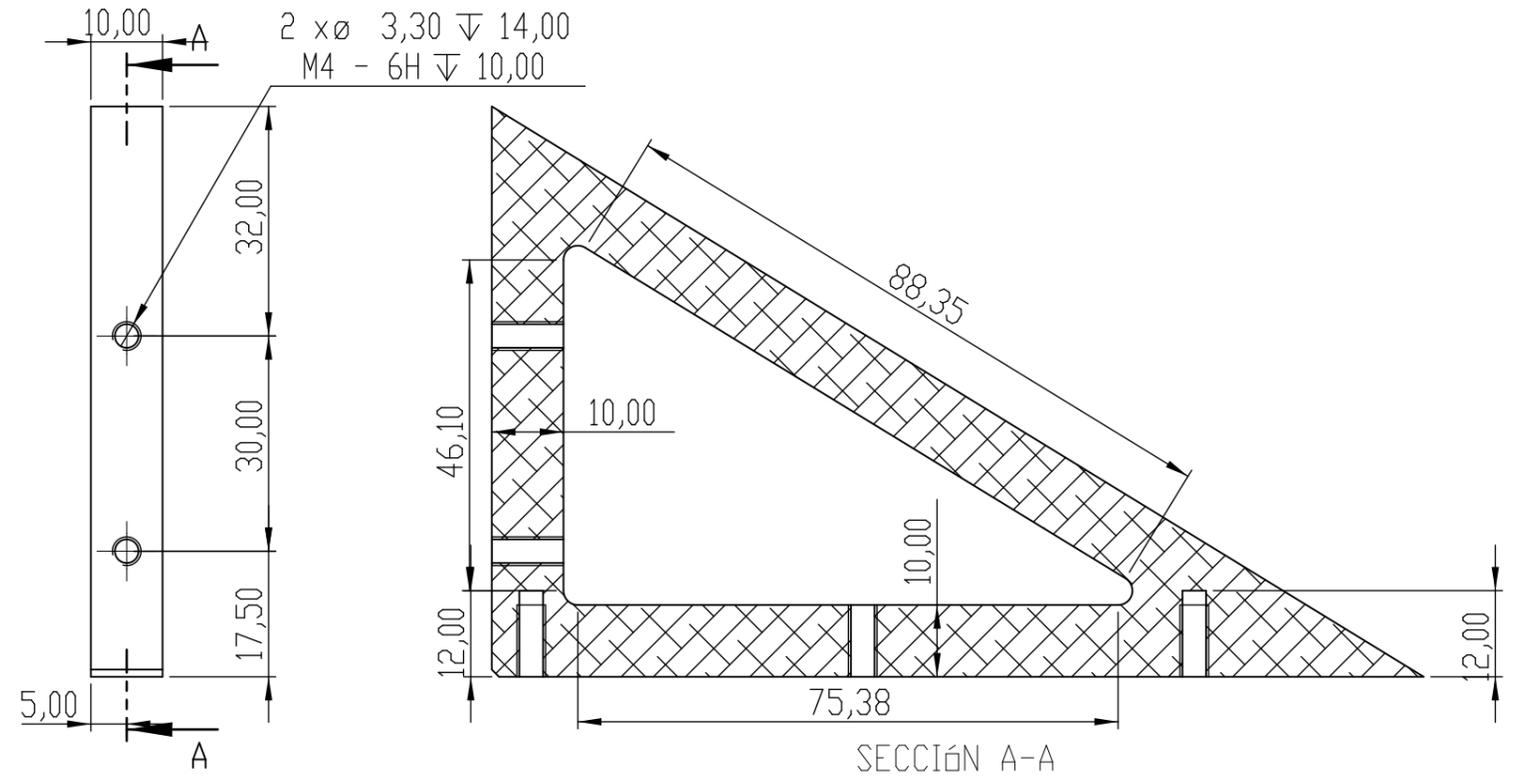
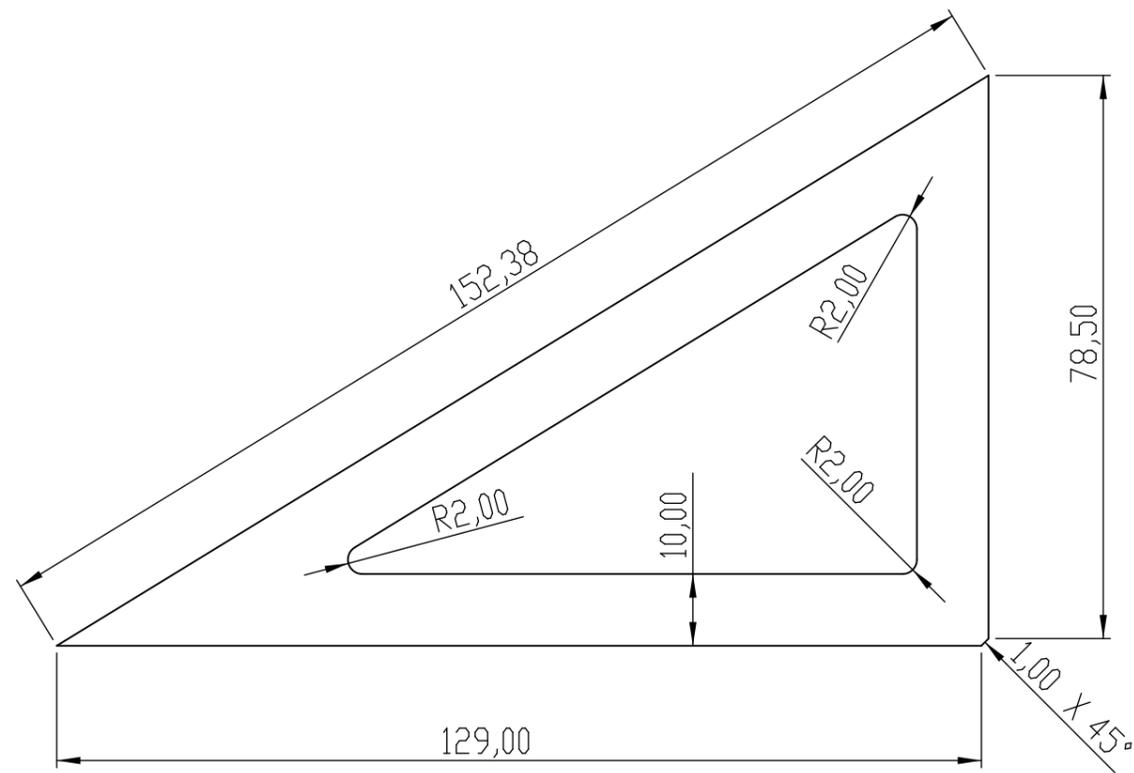
	Nombre	Fecha	Escala	Formato	IOBI INGENIERIA S.L. Avd. Alacant, 62 ,03760 Ondara (Alacant) TEL. 96 505 56 80 www.iobies				
Proyectado	JDG	2019/03/25	1:2	A3					
Dibujado	JDG	2019/03/30							
Comprobado	TAD	-			Cliente:	IOBI	Peso (kg):	-	
Máquina/Instalación:						Nº Proyecto:	-	Rev:	-
Pieza/Conjunto:	Chapa lateral								



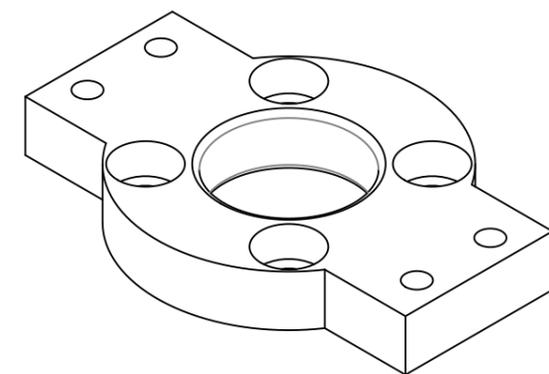
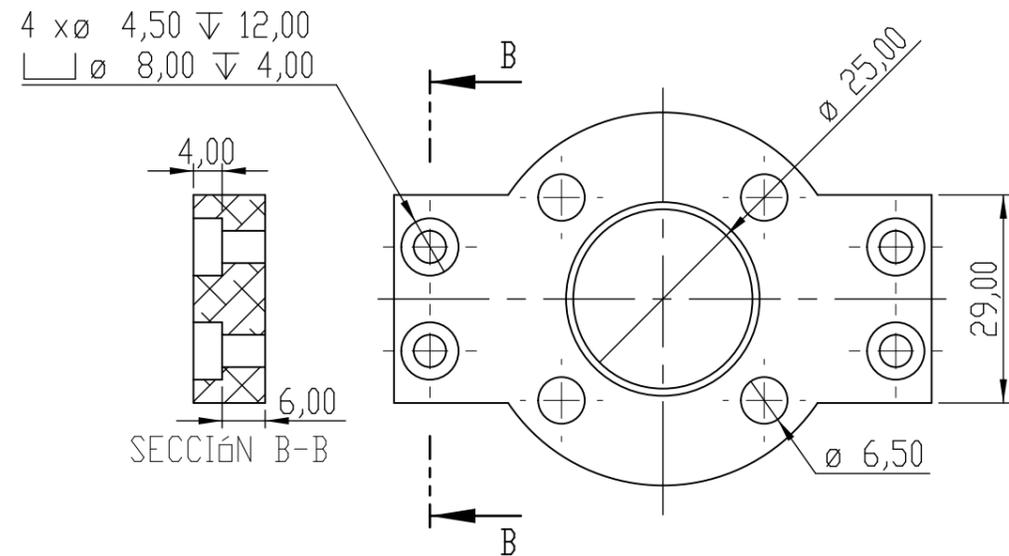
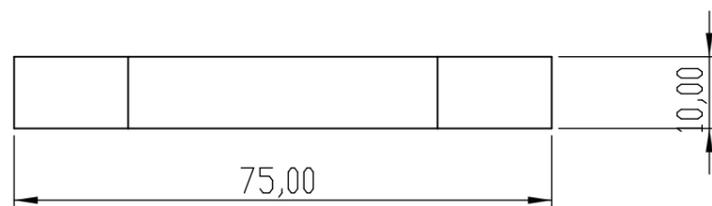
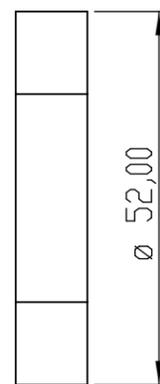
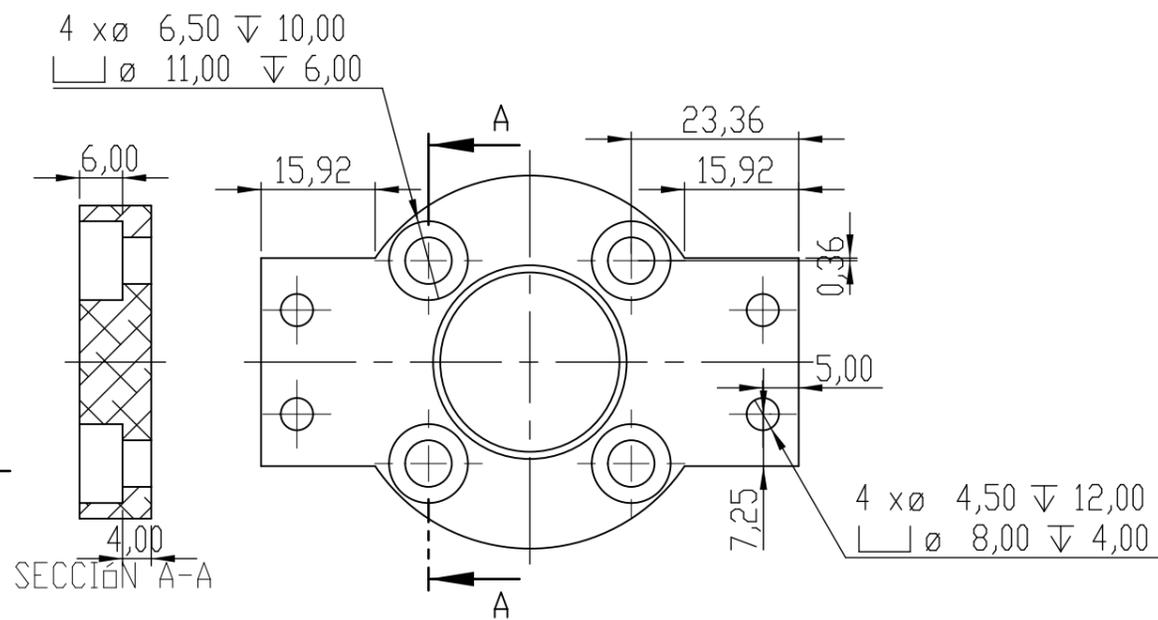
	Nombre	Fecha	Escala	Formato	IOBI INGENIERIA S.L. Avd. Alacant, 62 ,03760 Ondara (Alacant) TEL. 96 505 56 80 www.iobies			
Proyectado	JDG	2019/03/25	2:1	A3			Cliente: IOBI	Peso (kg): -
Dibujado	JDG	2019/03/30						
Comprobado	TAD	-			N° Proyecto: -	Rev: -		
Máquina/Instalación:								
Pieza/Conjunto: Conexión Vent-Act.								



	Nombre	Fecha	Escala	Formato	IOBI INGENIERIA S.L. Avd. Alacant, 62 ,03760 Ondara (Alacant) TEL. 96 505 56 80 www.iobies			
Proyectado	JDG	2019/03/25	1:2	A3	Cliente: IOBI	Peso (kg):		-
Dibujado	JDG	2019/03/30				Nº Proyecto: -	Rev:	-
Comprobado	TAD	-						
Máquina/Instalación:								
Pieza/Conjunto: Enganche brida								



	Nombre	Fecha	Escala	Formato	IOBI INGENIERIA S.L. Avd. Alacant, 62 ,03760 Ondara (Alacant) TEL. 96 505 56 80 www.iobies		IOBI
Proyectado	JDG	2019/03/25	1:1	A3	Cliente:	IOBI		Peso (kg):
Dibujado	JDG	2019/03/30					-
Comprobado	TAQ	-			Nº Proyecto:	-	Rev:
Máquina/Instalación:							-
Pieza/Conjunto:	Escuadra Antiflex.						-



	Nombre	Fecha	Escala	Formato	IOBI INGENIERIA S.L.	
Proyectado	JDG	2019/03/25	1:1	A3	Avd. Alacant, 62 ,03760 Ondara (Alacant) TEL. 96 505 56 80 www.iobies	
Dibujado	JDG	2019/03/30			Cliente: IOBI	Peso (kg): -
Comprobado	TAD	-				
Máquina/Instalación:					Nº Proyecto: -	Rev: -
Pieza/Conjunto:	Chapa superior					



16. ANEXO 2: VENTOSAS.

CATÁLOGO DE VENTOSAS

Ventosa para vacío

Ø 20, Ø 25, Ø 35, Ø 50

Nuevo

RoHS

Adecuada para aplicaciones de embalaje con film en las que la forma de la pieza cambia fácilmente al elevarla.

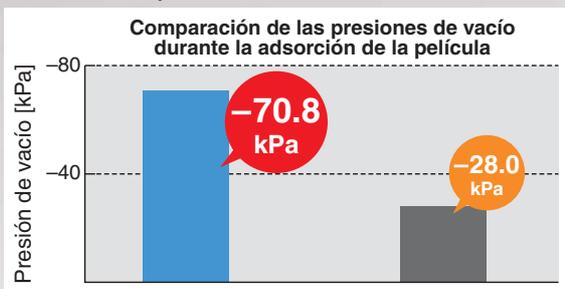
Goma de silicona conforme con el test de elución 21CFR§177.2600 de la FDA (Agencia Federal de Alimentación y Medicamentos de Estados Unidos).

Ventosa de color azul

La ventosa se distingue fácilmente por su color durante una inspección visual.

Reducidas fugas

Diseño con labio de sellado para un mejor rendimiento de sellado, incluso con películas finas.



Ventosa para aplicaciones de embalaje con película



Ventosa plana / Ventosa plana con nervios

Menor cantidad de arrugas durante la adsorción en las piezas finas (film, vinilo, etc.)

Prevención de deformaciones gracias a la superficie plana central



Serie ZP3P

SMC

CAT.EUS100-122A-ES



Ventosa para vacío

Diámetro de ventosa

Ø 20, Ø 25, Ø 35, Ø 50

Forma de pedido



Unidad de ventosa

ZP3P-20PTSF

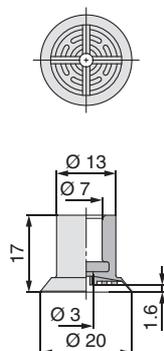
Diámetro de ventosa	
Símbolo	Diámetro de ventosa
20	Ø 20
25	Ø 25
35	Ø 35
50	Ø 50

Material ventosa:

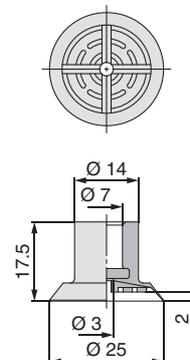
Símbolo	Material
SF	Silicona Conforme con el test de elución 21CFR§177.2600 de la FDA (Agencia Federal de Alimentación y Medicamentos de Estados Unidos)

Dimensiones: Unidad de ventosa

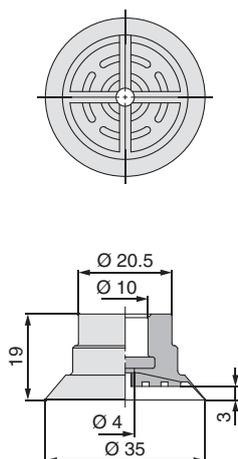
ZP3P-20PTSF [Peso: 1.8 g]



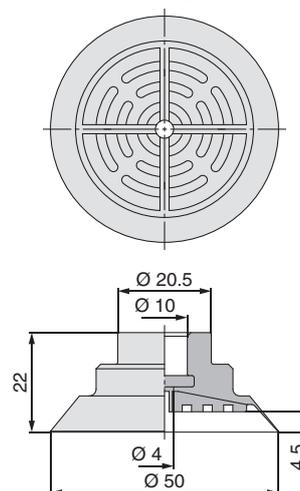
ZP3P-25PTSF [Peso: 2.2 g]



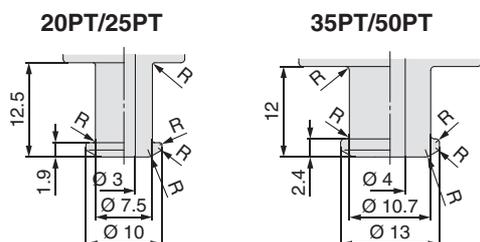
ZP3P-35PTSF [Peso: 4.7 g]



ZP3P-50PTSF [Peso: 12.4 g]



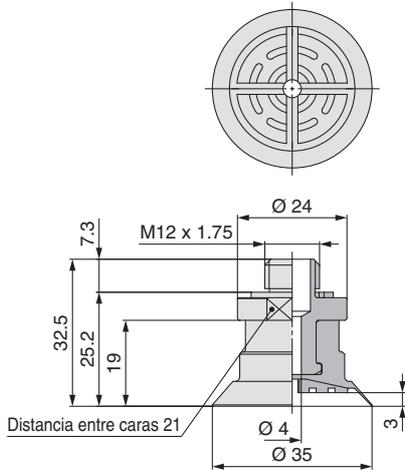
Dimensiones de montaje de la ventosa



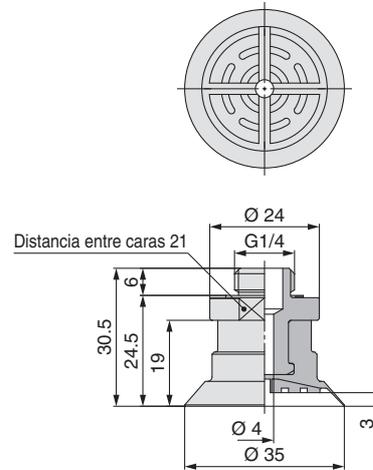
* La parte R debe ser uniforme, sin bordes.

Dimensiones: Con adaptador con rosca macho

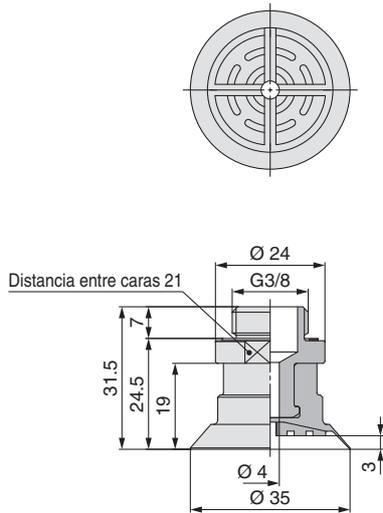
ZP3P-T35PTSF-A12 [Peso: 20.7 g]



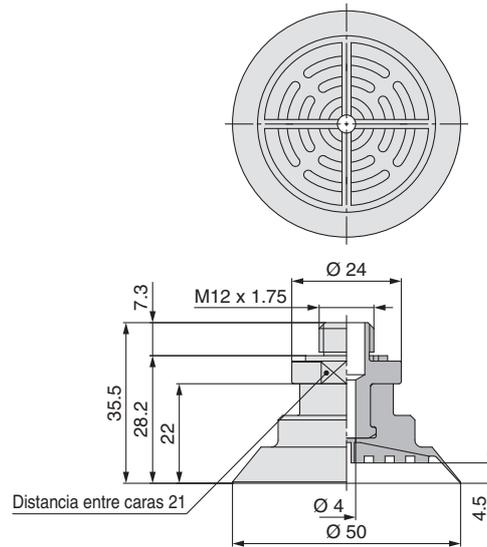
ZP3P-T35PTSF-AG2 [Peso: 14.5 g]



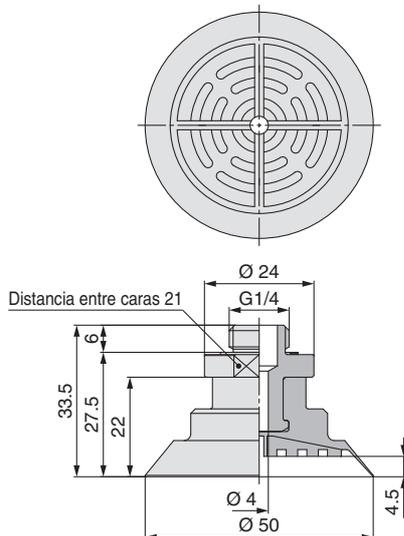
ZP3P-T35PTSF-AG3 [Peso: 21.1 g]



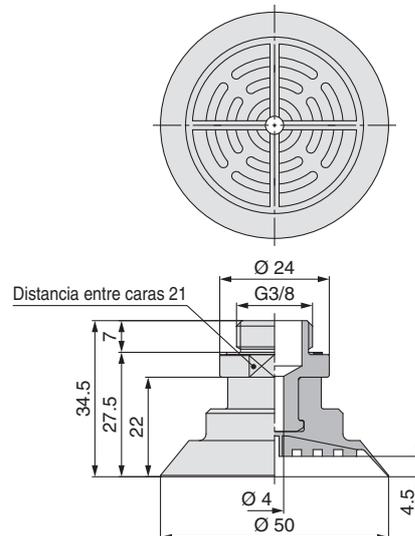
ZP3P-T50PTSF-A12 [Peso: 28.4 g]



ZP3P-T50PTSF-AG2 [Peso: 22.2 g]



ZP3P-T50PTSF-AG3 [Peso: 28.8 g]



17. ANEXO 3: ACTUADOR.

CATÁLOGO DE ACTUADORES

Vástago antigiro: Doble efecto con vástago simple

Serie **CDQ2K**

Con detección magnética



Consulte más información acerca de los detectores magnéticos en las págs. siguientes.

Posición y altura adecuadas de montaje del detector magnético	Págs. 193 a 199
Carrera mínima para el montaje de detectores magnéticos	
Rango de trabajo	
Referencias de las fijaciones de montaje de los detectores magnéticos	

Peso

Peso (g)

Diámetro (mm)	Carrera del cilindro (mm)											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	75	100
12	71	77	83	89	96	102	—	—	—	—	—	—
16	74	82	89	97	105	113	—	—	—	—	—	—
20	119	132	144	156	168	180	192	204	217	229	—	—
25	162	177	192	208	223	238	254	269	284	300	—	—
32	227	247	266	286	306	326	345	365	385	404	504	604
40	240	261	283	305	326	348	369	391	413	434	546	658
50	—	433	466	499	532	565	598	630	663	697	869	1041
63	—	622	660	698	736	774	812	850	888	926	1124	1321

Peso adicional (g)

Diámetro (mm)	12	16	20	25	32	40	50	63
Taladros roscados en ambos extremos	—	—	—	—	—	6	6	19
Terminación vástago rosca macho	Rosca macho	1.5	3	6	12	26	27	53
	Tuerca	1	2	4	8	17	17	32
Con muñón posterior de centrado	0.7	1.3	2	3	5	7	13	25
Conexiones instantáneas incorporadas	—	—	—	—	12	12	21	21
Escuadra (incluye tornillos de montaje)	—	—	—	—	—	153	242	316
Escuadra compacta (incluye tornillos de montaje)	32	40	97	116	99	114	177	241
Brida delantera (incluye tornillos de montaje)	—	—	—	—	—	213	372	558
Brida trasera (incluye tornillos de montaje)	—	—	—	—	—	198	348	534
Fijación oscilante hembra (incluye eje, anillos de retención y tornillos)	—	—	—	—	—	196	393	554

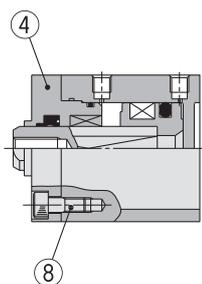
Cálculo: (Ejemplo) **CDQ2KD40-25DMZ**

• Peso básico:	CDQ2KB40-25DZ	326 g
• Peso adicional:	Taladros roscados en ambos extremos	6 g
	Terminación vástago rosca macho	44 g
	Fijación oscilante hembra	196 g
		572 g

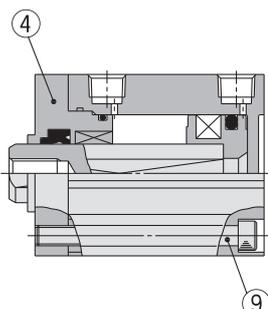
Añada el peso de los detectores magnéticos cuando éstos estén montados.

Diseño

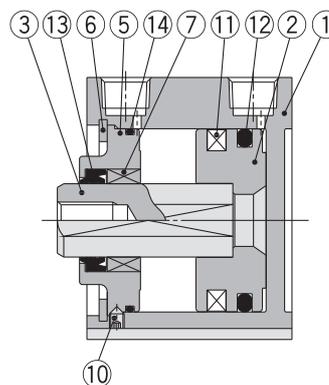
Ø12 a Ø25



Ø32



Ø40 a Ø63



Lista de componentes

Nº	Descripción	Material	Nota
1	Camisa del cilindro	Aleación de aluminio	Anodizado duro
2	Émbolo	Aleación de aluminio	Cromado
3	Vástago	Acero inoxidable	Ø12 a Ø25
		Acero al carbono	Ø32 a Ø63, Cromado duro
4	Culata anterior	Latón	Ø12, Niquelado electrolítico
		Aleación de aluminio	Ø16 a Ø32, Anodizado
5	Culata	Aleación de aluminio	Ø40 a Ø63, Anodizado
6	Anillo de retención	Acero al carbono	Fosfatado
7	Casquillo	Aleación aglutinada sinterizada en aceite	Ø16 a Ø63
8	Tornillo Allen	Acero aleado	Ø12 a Ø25, Niquelado
9	Tornillo Allen	Acero aleado	Ø32, Niquelado
10	Tornillo de cabeza hueca hexagonal	Acero aleado	Ø40 a Ø63, Niquelado
11	Imán	—	—
12	Junta del émbolo	NBR	—
13	Junta del vástago	NBR	—
14	Junta de estanqueidad	NBR	—

Recambios / juego de juntas (modelo neumático (sin lubricación))

Diámetro (mm)	Referencia juego	Contenido
12	CQ2KB12-PS	Los juegos incluyen los elementos 12, 13, 14 de la tabla.
16	CQ2KB16-PS	
20	CQ2KB20-PS	
25	CQ2KB25-PS	
32	CQ2KB32-PS	
40	CQ2KB40-PS	
50	CQ2KB50-PS	
63	CQ2KB63-PS	

* El juego de juntas incluye 12, 13, 14. Pida el juego de juntas en función del diámetro de cada tubo.

* El juego de juntas no incluye un tubo de grasa, pídale por separado.

Ref. tubo de grasa: GR-S-010 (10 g)

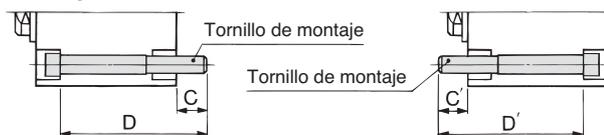
Tornillo de montaje para CDQ2KB / con detección magnética

Método de montaje: El perno de montaje para montaje con taladros pasantes del modelo CDQ2KB está disponible como opción. Consulte a continuación la forma de pedido. Pida el número real de tornillos que vaya a utilizar.

Ejemplo) CQ-M3 x 35L 2 uds.

Material: Acero al cromo molibdeno
Tratamiento de superficie: Zinc cromado

Montaje en el lado anterior Montaje en el lado del vástago



Modelo de cilindro	C	D	Tornillo de montaje	C'	D'	Tornillo de montaje
CDQ2KB12-5DCZ	5.5	35	CQ-M3 x 35L	5.5	40	CQ-M3 x 40L
-10DCZ		40	x 40L		45	x 45L
-15DCZ		45	x 45L		50	x 50L
-20DCZ		50	x 50L		55	x 55L
-25DCZ		55	x 55L		60	x 60L
-30DCZ		60	x 60L		65	x 65L
CDQ2KB16-5DZ	8	40	CQ-M3 x 40L	8	45	CQ-M3 x 45L
-10DZ		45	x 45L		50	x 50L
-15DZ		50	x 50L		55	x 55L
-20DZ		55	x 55L		60	x 60L
-25DZ		60	x 60L		65	x 65L
-30DZ		65	x 65L		70	x 70L
CDQ2KB20-5DZ	10.5	40	CQ-M5 x 40L	7.5	45	CQ-M5 x 45L
-10DZ		45	x 45L		50	x 50L
-15DZ		50	x 50L		55	x 55L
-20DZ		55	x 55L		60	x 60L
-25DZ		60	x 60L		65	x 65L
-30DZ		65	x 65L		70	x 70L
-35DZ		70	x 70L		75	x 75L
-40DZ		75	x 75L		80	x 80L
-45DZ		80	x 80L		85	x 85L
-50DZ		85	x 85L		90	x 90L
CDQ2KB25-5DZ	9.5	40	CQ-M5 x 40L	6.5	45	CQ-M5 x 45L
-10DZ		45	x 45L		50	x 50L
-15DZ		50	x 50L		55	x 55L
-20DZ		55	x 55L		60	x 60L
-25DZ		60	x 60L		65	x 65L
-30DZ		65	x 65L		70	x 70L
-35DZ		70	x 70L		75	x 75L
-40DZ		75	x 75L		80	x 80L
-45DZ		80	x 80L		85	x 85L
-50DZ		85	x 85L		90	x 90L
CDQ2KB32-5DZ	8.5	50	CQ-M5 x 50L	10	50	CQ-M5 x 50L
-10DZ		55	x 55L		55	x 55L
-15DZ		60	x 60L		60	x 60L
-20DZ		65	x 65L		65	x 65L
-25DZ		70	x 70L		70	x 70L
-30DZ		75	x 75L		75	x 75L
-35DZ	80	x 80L	80	x 80L		

Modelo de cilindro	C	D	Tornillo de montaje	C'	D'	Tornillo de montaje
CDQ2KB32-40DZ	8.5	85	CQ-M5 x 85L	10	85	CQ-M5 x 85L
-45DZ		90	x 90L		90	x 90L
-50DZ		95	x 95L		95	x 95L
-75DZ		120	x 120L		120	x 120L
-100DZ		145	x 145L		145	x 145L
CDQ2KB40-5DZ	7.5	45	CQ-M5 x 45L	7.5	45	CQ-M5 x 45L
-10DZ		50	x 50L		50	x 50L
-15DZ		55	x 55L		55	x 55L
-20DZ		60	x 60L		60	x 60L
-25DZ		65	x 65L		65	x 65L
-30DZ		70	x 70L		70	x 70L
-35DZ		75	x 75L		75	x 75L
-40DZ		80	x 80L		80	x 80L
-45DZ		85	x 85L		85	x 85L
-50DZ		90	x 90L		90	x 90L
CDQ2KB50-10DZ	12.5	55	CQ-M6 x 55L	12.5	55	CQ-M6 x 55L
-15DZ		60	x 60L		60	x 60L
-20DZ		65	x 65L		65	x 65L
-25DZ		70	x 70L		70	x 70L
-30DZ		75	x 75L		75	x 75L
-35DZ		80	x 80L		80	x 80L
-40DZ		85	x 85L		85	x 85L
-45DZ		90	x 90L		90	x 90L
-50DZ		95	x 95L		95	x 95L
-75DZ		120	x 120L		120	x 120L
-100DZ	145	x 145L	145	x 145L		
CDQ2KB63-10DZ	14.5	60	CQ-M8 x 60L	14.5	60	CQ-M8 x 60L
-15DZ		65	x 65L		65	x 65L
-20DZ		70	x 70L		70	x 70L
-25DZ		75	x 75L		75	x 75L
-30DZ		80	x 80L		80	x 80L
-35DZ		85	x 85L		85	x 85L
-40DZ		90	x 90L		90	x 90L
-45DZ		95	x 95L		95	x 95L
-50DZ		100	x 100L		100	x 100L
-75DZ		125	x 125L		125	x 125L
-100DZ	150	x 150L	150	x 150L		

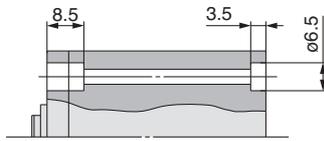
- Estándar
- Gran diámetro
- Carrera larga
- Vástago antigiro
- Conexión axial
- Resistente a cargas laterales
- Con bloqueo en final de carrera
- Resistente a salpicaduras
- Con detector magnético
- Detector magnético
- Ejecuciones especiales

Dimensiones

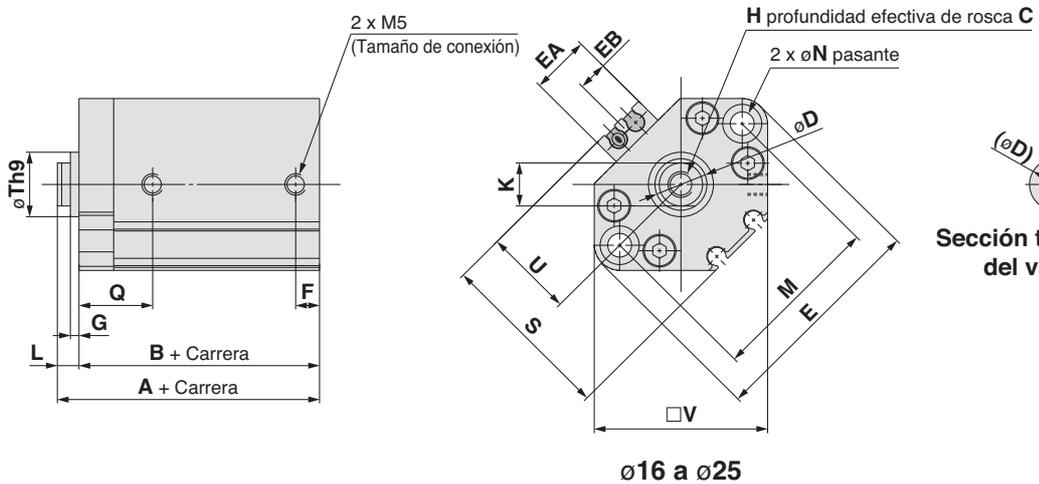
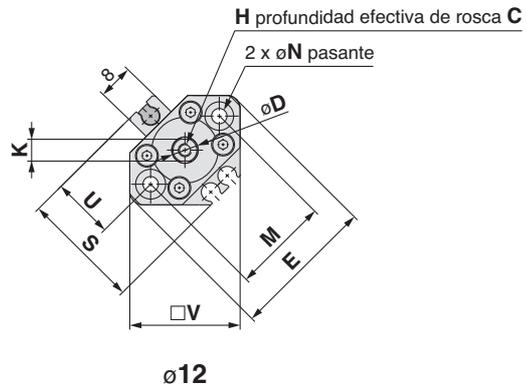
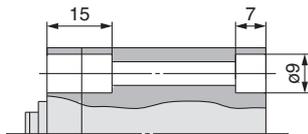
Ø12 a Ø25 / con detección magnética

Estándar (taladro pasante): CDQ2KB

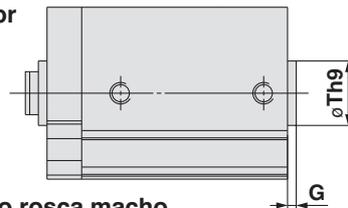
Ø12, Ø16



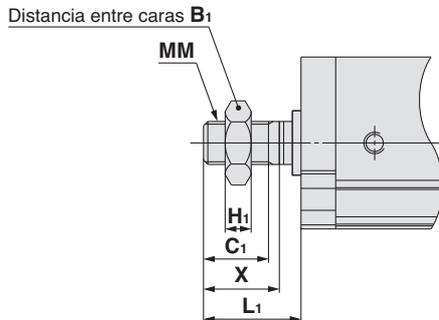
Ø20, Ø25



Con muñón posterior de centrado



Terminación vástago rosca macho



Terminación vástago rosca macho (mm)

Diámetro (mm)	B ₁	C ₁	H ₁	L ₁	MM	X
12	8	9	4	14	M5 x 0.8	10.5
16	10	10	5	15.5	M6 x 1.0	12
20	13	12	5	18.5	M8 x 1.25	14
25	17	15	6	22.5	M10 x 1.25	17.5

Estándar Consulte las páginas 193 a 199 para ver la posición y altura adecuadas de montaje del detector. (mm)

Diámetro (mm)	Rango de carrera (mm)	A	B	C	D	E	EA	EB	F	G	H	K	L	M	N	Q	S	Th9	U	V
12	5 a 30	36.5	33	6	6	33	—	—	6.5	1.5	M3 x 0.5	5.2	3.5	22	3.5	16	27.5	15 ⁰ _{-0.043}	14	25
16	5 a 30	39	35.5	8	8	37	13.2	6.6	5.5	1.5	M4 x 0.7	6	3.5	28	3.5	15	29.5	20 ⁰ _{-0.052}	15	29
20	5 a 50	44	39.5	7	10	47	13.6	6.8	5.5	2	M5 x 0.8	8	4.5	36	5.5	16	35.5	13 ⁰ _{-0.043}	18	36
25	5 a 50	45.5	40.5	12	12	52	13.6	6.8	5.5	2	M6 x 1.0	10	5	40	5.5	17	40.5	15 ⁰ _{-0.043}	21	40

* Para obtener más detalles acerca de la tuerca del extremo del vástago y de las fijaciones accesorias, consulte la página 23.

Estándar

Gran diámetro

Carrera larga

Vástago antigiro

Conexión axial

Resistente a cargas laterales

Con bloqueo en final de carrera

Resistente a salpicaduras

Con detector magnético

Detector magnético

Ejecuciones especiales

18. ANEXO 4: ROBOT.

CATÁLOGO DE ROBOT

Specification

Item	Specifications		
	M-3iA/6S	M-3iA/6A	M-3iA/12H
Type	Parallel link mechanism		
Controlled axes	4 axes (J1,J2,J3,J4)	6 axes (J1,J2,J3,J4,J5,J6)	3 axes (J1,J2,J3)
Installation	Ceiling mount		
Motion range (Maximum speed) (Note1)	J1-J3	Diameter 1350mm, height 500mm (Note 2)	
	J4	720° (4000°/sec) 12.57 rad (69.81rad/sec)	720° (2000°/sec) 12.57 rad (34.90 rad/sec)
	J5	-	300° (2000°/sec) 5.24 rad (34.90 rad/sec)
	J6	-	720° (2000°/sec) 12.57 rad (34.90 rad/sec)
Max.payload at wrist	6kg (8kg with an option)	6kg	12kg
Repeatability	+/- 0.1mm		
Drive method	Electric servo drive by AC servo motor		
Mass	160kg	175kg	155kg
Noise	79.2 dB		
Installation environment	Ambient temperature : 0~45°C Ambient humidity Normally : 75%RH or less (No dew, nor frost allowed) Short term : Max. 95%RH or less (within one month) Vibration : 0.5G or less		

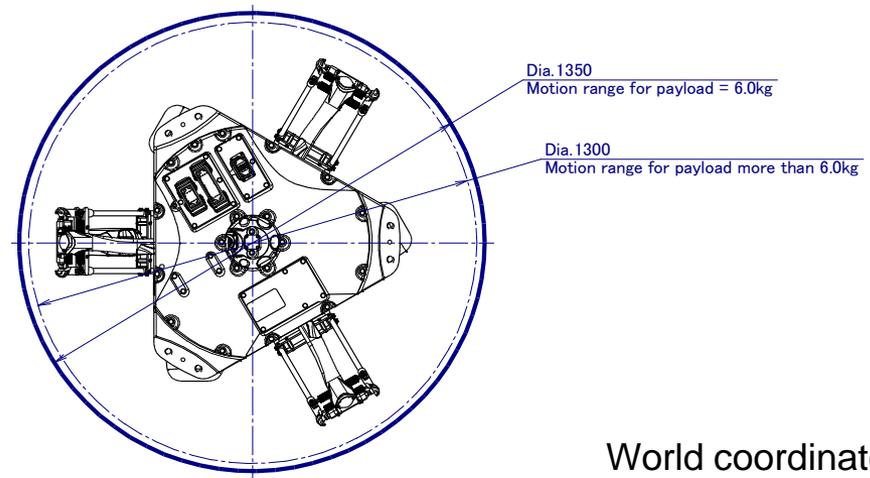
Note 1) In case of short distance motion, the axis speed doesn't reach maximum one.

Note 2) For M-3iA/6S and M-3iA/12H, in case the payload is larger than 6kg, there is a limitation on the work envelope.

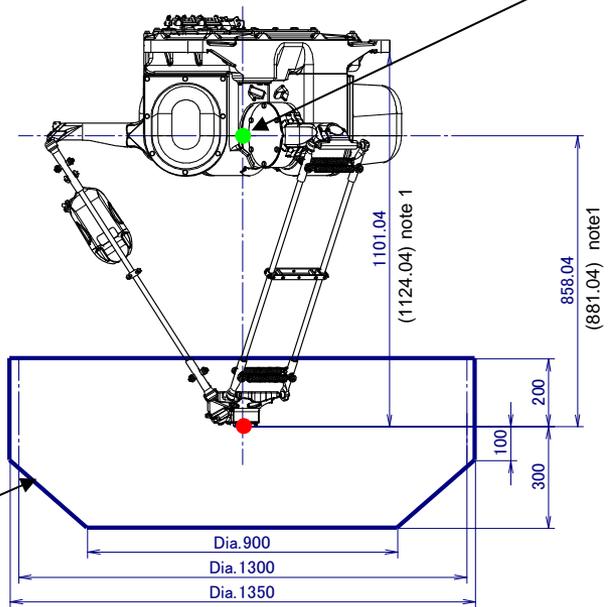
Input power source capacity 12kVA
 Average power consumption 2.5kW

Work envelop and outer dimensions

M-3iA/6S



World coordinate zero position

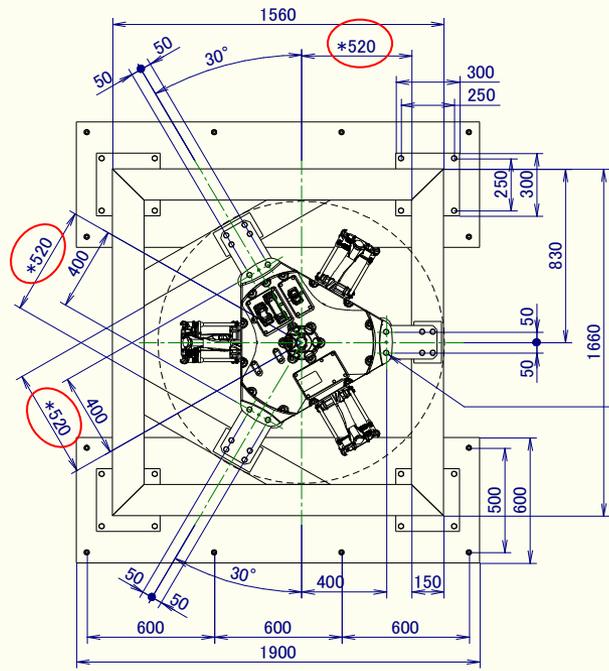


Work envelope
(● part motion)

note 1
 Up until Sep.2011 manufacturing
 () dimension : robot order # A05B-1523-B201
 From Oct.2011 manufacturing
 No () dimension : robot order # A05B-1523-B203

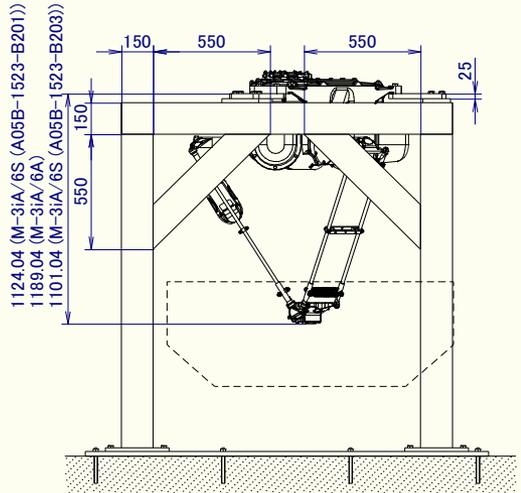
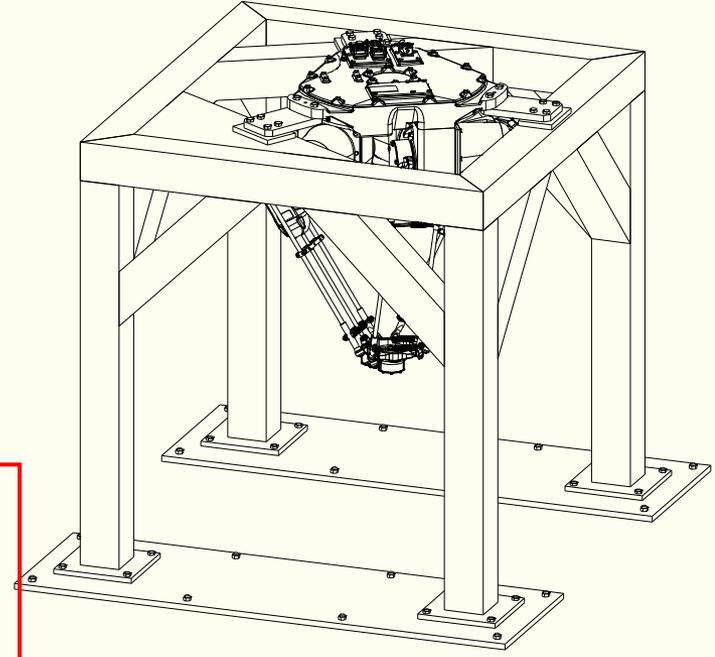
Example for installation

M-3iA/6S
M-3iA/6A
M-3iA/12H

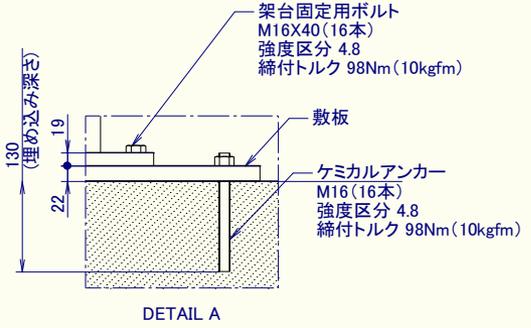
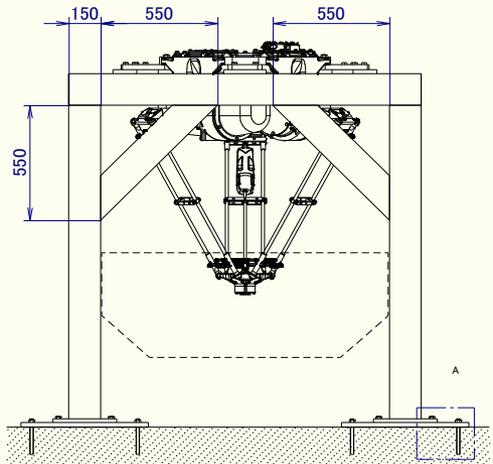


M16X60 (6本)
強度区分 4.8
締付トルク 98Nm (10kgfm)

The three “*” marked dimensions are minimum value for removing the motor cover at maintenance. If the dimension is smaller than this value, the motor cover is difficult to remove.

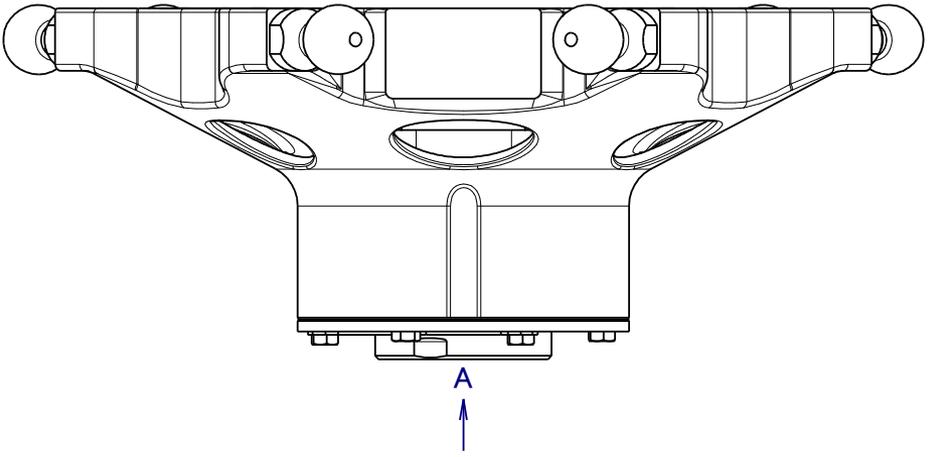


1124.04 (M-3iA/6S (A05B-1523-B201))
1189.04 (M-3iA/6A)
1101.04 (M-3iA/6S (A05B-1523-B203))

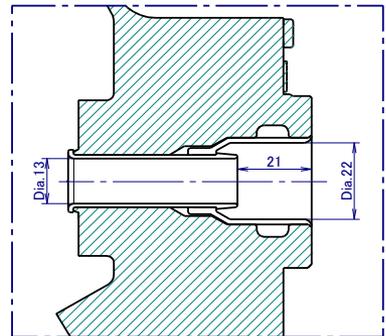


Wrist flange interface

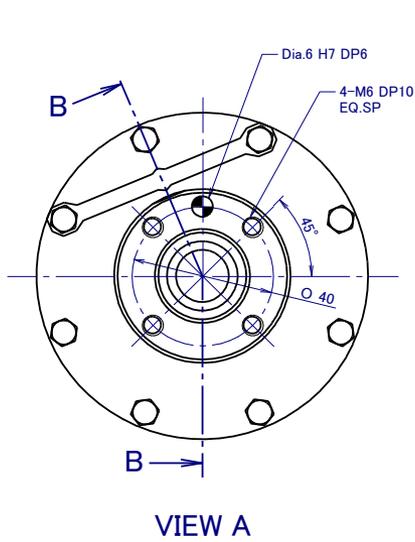
M-3iA/6S



Additional resinous pipe (option)
A05B-1523-K511 dimensions

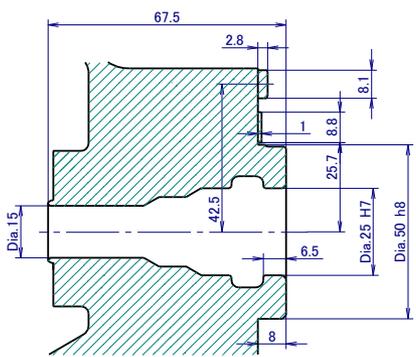


ADDITIONAL PIPE (K511)



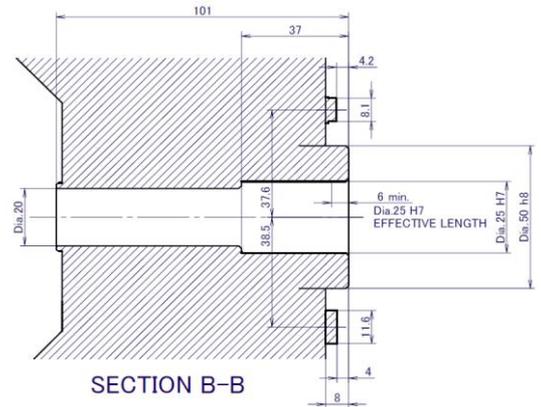
VIEW A

new
From Oct.2011 manufacturing
Robot order # A05B-1523-B203



SECTION B-B

old
Up until Sep.2011 manufacturing
Robot order # A05B-1523-B201



SECTION B-B

Wrist flange interface

M-3iA/6A

