



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA PARA SUJECCIÓN CON
VENTOSA Y TRANSPORTE DE VIDRIOS DE HASTA 5 KG ADAPTADA
AL ROBOT KUKA KR 5-2 HW**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Mecánico

AUTOR: BRIAN ANDRÉS CRESPO ORELLANA
TUTOR: RENÉ FRANCISCO ZUMBA RIVERA
CO-TUTOR: JORGE OSMANI ORDÓÑEZ ORDOÑEZ

Cuenca – Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Brian Andrés Crespo Orellana con documento de identificación N° 0104501838 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 30 de septiembre del 2024

Atentamente,



Brian Andrés Crespo Orellana
0104501838

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Brian Andrés Crespo Orellana con documento de identificación N° 0104501838, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Implementación de una herramienta para sujeción con ventosas y transporte de vidrios de hasta 5 Kg adaptada al robot KUKA KR 5-2 HW”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 30 de septiembre del 2024

Atentamente,



Brian Andrés Crespo Orellana
0104501838

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Rene Francisco Zumba Rivera con documento de identificación N° 0102374436, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA PARA SUJECCIÓN CON VENTOSAS Y TRANSPORTE DE VIDRIOS DE HASTA 5 KG ADAPTADA AL ROBOT KUKA KR 5-2 HW, realizado por Brian Andres Crespo Orellana con documento de identificación N° 0104501838, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 30 de septiembre del 2024

Atentamente,



Ing. Rene Francisco Zumba Rivera, MSc
0102374436

Dedicatoria

El presente proyecto de titulación está dedicado:

A Jehová Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza para llevar a cabo cada una de las metas que me he propuesto.

A mi esposa Leonela y mi hija Raquel, quienes con su apoyo incondicional, son el motor de mi vida, mi refugio y mi hogar. Por siempre ser presentes y ser mi inspiración cada día que Dios nos regala un día más de vida.

A mis padres Joel y Ruth, quienes con su cariño, paciencia, esfuerzo y apoyo incondicional, me han permitido llegar a cumplir otro de los objetivos trazados. Gracias por siempre ser mi pilar e inculcar en mi constancia, valentía y esfuerzo.

De igual forma a mis abuelitos, tíos y primos, ya que han sido parte de mi día a día y en múltiples ocasiones he recibido fortaleza, consejos y apoyo.

Finalmente, dedico a las personas que formaron parte del proceso y me brindaron su apoyo de una u otra forma.

Agradecimientos

Agradezco principalmente a Jehová Dios por permitirme cumplir una meta más en mi vida que me he propuesto, gracias por el discernimiento y la salud, para que en el camino hacia el objetivo me ha protegido y siempre me ha iluminado de sabiduría.

Agradezco profundamente a mis padres que, gracias al cariño recibido, apoyo, esfuerzo y consejos, ha sido posible lograr cada una de las metas que me he propuesto, gracias a mi madre por estar siempre dispuesta a acompañarme, proteger y apoyarme en cada situación, y en cada larga jornada de estudio, en las que su compañía, consejos y abrazos eran para mí como un impulso para continuar hacia adelante y cumplir con los propósitos planteados; a mi padre por siempre alentarme y guiarme en la vida, por ser un ejemplo de lucha y trabajo, y siempre por ser mi mejor amigo.

Muy agradecido con mi compañera de vida Leonela y mi hija Raquel, que los 3 hemos superado adversidades y juntos me han apoyado en momentos que por estrés, cansancio han demostrado su amor, cariño y atención que son una fuerza para batallar con las dificultades tanto laborales, académicas y personales.

Me gustaría además agradecer a mi Tutor de Proyecto de Titulación Ing. René Zumba, a quien admiro; por su esfuerzo y dedicación brindados al actual trabajo de titulación. Sus orientaciones, conocimientos y su paciencia han sido esenciales para culminar con el presente.

También quiero agradecer a Ing. Luis López, Ing. Omaní Ordóñez, Ing. Jorge Fajardo, quienes han estado prestos para solventar cualquier duda presentada y brindar sugerencias.

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XII
Abstract	XIII
1. Introducción	1
2. Problema	2
2.1. Antecedentes	2
2.2. Descripción del problema	2
2.3. Importancia y alcances	2
2.4. Delimitación	3
2.4.1. Espacial o geográfica	3
2.4.2. Temporal	5
2.4.3. Sectorial o institucional	5
2.5. Problema General	5
2.6. Problemas Específicos	5
3. Objetivos	5
3.1. Objetivo General	5
3.2. Objetivos Específicos	6
4. Marco Teórico	6
4.1. Robot KUKA KR5 - 2 HW	6
4.1.1. Aplicaciones robotizadas	7

4.1.2.	Controlador del Robot Kuka KR 5 - 2 HW	9
4.1.3.	Módulos de entrada digital	11
4.2.	Herramientas de sujeción y transporte	12
4.2.1.	Ventosas de vacío	12
4.2.2.	Tipos de ventosas de vacío	13
4.2.2.1.	Ventosas planas	13
4.2.2.2.	Ventosas ultraplanas	13
4.2.2.3.	Ventosas de fuelle	13
4.2.2.4.	Ventosas rectangulares	13
4.3.	Herramienta para medición de presión de vacío	15
4.3.1.	Manómetro	16
4.3.2.	Vacuómetro	16
4.4.	Unidad de Mantenimiento	17
4.4.1.	Qué son los FRL	17
4.4.2.	¿Para qué sirve cada una?	17
4.4.2.1.	Filtro	17
4.4.2.2.	Regulador	17
4.4.2.3.	Lubricador	18
4.5.	Electroválvula	18
4.5.1.	Como funciona una electroválvula	19
4.6.	Generador de vacío	20
4.6.1.	Como funciona un generador de vacío	21
4.7.	Software de diseño	22
4.7.1.	Inventor Autodesk	22
4.7.2.	Funciones de inventor	23
5.	Marco metodológico	24
5.1.	Metodología de la Investigación	24
5.2.	Metodología del proceso	24
5.2.1.	Establecimiento de las condiciones iniciales para el diseño de una herramienta de sujeción y transporte de vidrios adaptada al robot KUKA KR - 5	24
5.2.1.1.	Condiciones dimensionales de acople	24
5.2.1.2.	Condiciones de carga y espacio de sujeción	25
5.2.1.3.	Condiciones a la selección de la ventosa	26

5.2.1.4.	Condiciones dinámicas del dispositivo de sujeción	27
5.2.1.5.	Condiciones del material utilizado en la estructura de la herramienta	29
5.2.1.6.	Análisis de las fuerzas de retención de las ventosas	31
5.2.2.	Diseño y construcción de una herramienta para sujeción y transporte de vidrios adaptada al robot KUKA KR5 - 2 HW de acuerdo a las condiciones iniciales.	35
5.2.2.1.	Diseño de la herramienta	35
5.2.2.2.	Construcción de la herramienta	45
5.2.3.	Pruebas de funcionamiento y desempeño de la herramienta de sujeción y transporte de vidrios adaptada al robot KUKA KR5 - 2 HW	52
6.	Resultados	56
6.1.	Condiciones establecidas para el diseño mecánico	56
6.2.	Diseño y construcción del dispositivo de sujeción mecánico	57
6.3.	Resultados de las pruebas de funcionamiento	57
7.	Conclusiones	58
8.	Recomendaciones	59
	Referencias	62
	ANEXOS	63

Lista de Tablas

1.	Grados de movimiento y velocidad de movimiento	8
2.	Datos de sujeción de ventosas acorde a su presión de vacío.	27
3.	Propiedades físicas de aluminio 6063.	30
4.	Propiedades mecánicas de aluminio 6063.	30
5.	Valor de coeficiente de fricción	31
6.	Resultados de Fuerzas y presión de Succion	35
7.	Medidas de mangueras neumáticas 6 mm	50
8.	Resultados acordes a las condiciones iniciales	57
9.	Resultados de pruebas de funcionamiento de sujeción	58

Lista de Figuras

1.	Croquis de la ubicación geográfica de la Universidad Politécnica Salesiana . .	4
2.	Imagen tomada en los laboratorios de robótica del Robot KUKA KR5-2 HW	4
3.	Esquema general de robot KUKA KR5 - 2 HW	6
4.	Rangos de movimientos y operación del robot kUKA KR5 -2 HW	8
5.	Panel de control KUKA.	10
6.	Esquema general del subsistema de control.	11
7.	Módulo de entrada digital.	12
8.	Tipos de ventosas	14
9.	Ventosa de fuelle.	15
10.	Manómetro y Vacuómetro	16
11.	Unidad de Mantenimiento	18
12.	Partes de una electroválvula solenoide	19
13.	Electroválvula solenoide 2/2 con su símbolo	20
14.	Generador de vacío.	21
15.	Diagrama de conexión de un generador de vacío.	22
16.	Software Inventor Autodesk	23
17.	Anillo de acople del brazo robótico.	25
18.	Fuerza de retención teórica horizontal.	28
19.	Fuerza de retención teórica vertical.	28
20.	Perfil de aluminio V20x40.	29
21.	Columna central.	36
22.	Brazo de sujeción.	37
23.	Unión vertical.	38
24.	Plato de unión.	39
25.	Angulo porta ventosas.	40
26.	Unión angular.	41
27.	Esquinero reforzado.	42
28.	Esquinero simple.	43
29.	Fijador vertical.	44
30.	Tuerca rectangular M5.	45
31.	Perfiles de aluminio.	46
32.	Elementos de sujeción.	46
33.	Unión vertical.	47

34.	Unión de perfiles.	47
35.	Ventosa y ángulo porta ventosa.	48
36.	Plato de conexión.	48
37.	Acople Generador de vacío.	49
38.	Acople de electroválvula.	49
39.	Acople de mangueras neumáticas.	50
40.	Fijación de tapas plásticas de protección.	51
41.	Herramienta para sujeción con ventosas y transporte de vidrios de hasta 5 Kg.	51
42.	Montaje final en el robot KUKA KR5 -2 HW.	52
43.	Prueba sujeción 0°.	53
44.	Prueba sujeción 45°.	54
45.	Prueba sujeción 90°.	55
46.	Presión mínima de sujeción.	56
47.	Diseño desarrollado en el software Inventor versión 2021	57

Resumen

El proyecto técnico con enfoque general presenta la " Implementación de una herramienta para sujeción con ventosas y transporte de vidrios de hasta 5 kg adaptada al robot KUKA KR 5-2 HW ", disponible en el laboratorio de robótica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. El contenido del proyecto se desarrolla inicialmente en una investigación técnica sobre qué herramientas existen para sujeción de vidrios que se pueda adaptar al brazo robótico, ya que el brazo robótico está diseñado para un peso máximo de 5 Kg según el fabricante y sus datos técnicos, así también conocer dimensiones y ángulos que se desplaza el robot de 6 ejes. Se establece condiciones iniciales relacionadas con el acople, pesos de carga, selección de la ventosa a usarse con sus respectivos cálculos para la elección del generador de vacío y su rango de presión y el material a usarse para la estructura, luego se desarrolla el diseño en software Inventor versión 2021, seguidamente se procede con la construcción y el acople de la herramienta al brazo robótico, aquí se tomó en cuenta conexiones eléctricas como neumáticas, finalmente se realizó pruebas de funcionamiento de la herramienta determinando ángulos que se puede someter el brazo y tomando en cuenta que se asemeje a una situación real como si se tratara de un movimiento que sea necesario para la implantación futura de automatización robótica.

Palabras clave: Ventosas, generador de vacío, Presión, Inventor, brazo robótico, automatización robótica.

Abstract

The technical project with a general approach presents the " Implementation of a tool for holding with suction cups and transporting glass up to 5 kg adapted to the KUKA KR 5-2 HW robot", available in the robotics laboratory of the Salesiana Polytechnic University, Cuenca headquarters. The content of the project is initially developed in a technical investigation on what tools exist for holding glass that can be adapted to the robotic arm, since the robotic arm is designed for a maximum weight of 5 Kg according to the manufacturer and its technical data, as well as Also know dimensions and angles that the 6-axis robot moves. Initial conditions related to the coupling, load weights, selection of the suction cup to be used with their respective calculations for the choice of the vacuum generator and its pressure range and the material to be used for the structure are established, then the design is developed in Inventor software version 2021, then proceed with the construction and attachment of the tool to the robotic arm, here electrical and pneumatic connections were taken into account, finally functional tests of the tool were carried out determining angles that the arm can be subjected to and taking Take into account that it resembles a real situation as if it were a movement that is necessary for the future implementation of robotic automation.

Keywords: Suction cups, vacuum generator, Pressure, Inventor, robotic arm, robotic automation.

1. Introducción

En la actualidad diversas empresas se encuentran con la necesidad de actualizarse esto a su vez contempla la implementación o creación de nuevas herramientas y maquinaria en general, la visión de implementar para solventar la problemática de simular situaciones reales que se vive día a día en la industria y que son de mucho valor así también existe diversas herramientas que han sido creadas en diversos proyectos con variedad de aplicaciones que han sido adaptadas al robot KUKA KR -5 HW, un robot creado para soldadura, pero al ser una herramienta versátil brinda la opción de adaptarse a varios proyectos como en este caso el de transportar vidrios (Filgueira, 2001).

Al hablar de automatización es un excelente ejemplar la gama de robots KUKA que nos ofrecen esta ventaja, es un robot creado para soldadura y ensamblado entre otras tareas, pero es oportuno en el entorno educativo crear una herramienta que nos ayude con la manipulación de vidrios, ya que facilitara para el aprendizaje de la manipulación del robot mediante prácticas de laboratorio donde se podrá utilizar una herramienta para transporte de vidrios, esto con la necesidad de asemejar la práctica educativa a la práctica industrial que será el fin de aplicar conocimiento adquirido en nuestra carrera universitaria (Amangandi Aguilar y Mendoza Guamán, 2022).

La implementación de una herramienta para sujeción con ventosas y transporte de vidrios de hasta 5 kg adaptada al robot KUKA KR 5-2 HW representa un avance significativo al implementar herramientas didácticas para el aprendizaje y manipulación del robot kUKA de la Universidad Politécnica Salesiana. Esta tesis busca explorar en detalle el diseño, desarrollo e integración de esta herramienta especializada, con el objetivo de mejorar la eficiencia en el manejo de vidrios en entornos industriales. A través de este estudio, se pretende analizar los beneficios y desafíos asociados con la implementación de esta tecnología, así como su impacto en la productividad y calidad del proceso de manipulación de vidrios.

2. Problema

2.1. Antecedentes

En cuanto a la implantación de herramientas para el robot KUKA KR5 -2 HW especialmente, existen antecedentes de herramientas especializadas para el robot en diferentes aplicaciones, Jiménez y Cabrera (2023) manifiesta que se han desarrollado herramientas para la soldadura y el corte en la industria metalúrgica, así como herramientas para la manipulación de materiales en la industria alimentaria y manufacturera. Para estos temas de herramientas tenemos proyectos que aportan con el acople de herramientas al brazo robótico ya mencionado, como lo es así el tema de titulación de Cristian Jiménez y Brando Cabrera, por ejemplo quienes implementaron una herramienta a base de un electroimán para determinar medidas de materiales de acero y selección de dimensiones las cuales son tomadas a través de una cámara digital y el mismo que es el elemento clasificador el electroimán para el brazo robótico KUKA KR 5 - 2 HW.

2.2. Descripción del problema

El problema radica en que la herramienta de sujeción y transporte de vidrios que se adecue a las especificaciones del KUKA KR5-2 HW no está disponible en los laboratorios de robótica, lo que impide que se puede realizar tareas específicas que requieran en el manejo de vidrios. La falta de herramientas puede restringir las oportunidades de investigación y las tareas prácticas, lo que impide el desarrollo de habilidades sobre el manejo y control de robots en diferentes situaciones.

2.3. Importancia y alcances

Es importante la implementación de la herramienta por las siguientes razones:

- **Eficiencia:** Su implementación permite mayor eficiencia en la realización de tareas y prácticas que se asemejen a la producción industrial, mejorando tiempos y costos con una herramienta especializada para cada aplicación específica, en este caso como lo es el transporte de vidrios.
- **Reducción de errores:** La precisión de este robot reduce al mínimo los errores humanos, evitando así accidentes y pérdidas económicas. Es importante considerar que la

manipulación de planchas de vidrio son actividades de riesgo alto para un operario y las personas que laboran en su entorno.

- **Versatilidad:** El robot KUKA KR5 - 2 HW es capaz de realizar una gran variedad de tareas y acciones como es el ensamblado, soldadura, pulido, corte, transporte, entre otras acciones que requieren precisión y rapidez en su ejecución.
- **Compatibilidad:** Este robot es compatible con diferentes tipos de herramientas y dispositivos, lo que facilita su adaptación a distintos procesos productivos y una mayor cantidad de prácticas demostrativas para los estudiantes.

El alcance del trabajo de titulación consistió en diseñar, construir y finalmente realizar pruebas de funcionamiento de la herramienta real adaptable para el robot, la misma que estará sometida a pruebas de funcionamiento y desempeño en la manipulación de planchas de vidrio para diferentes actividades.

2.4. Delimitación

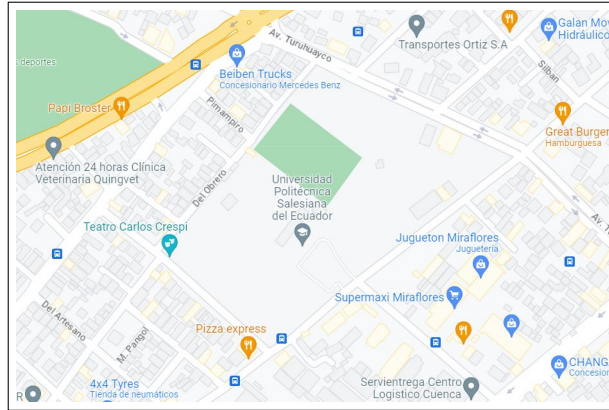
El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

2.4.1. Espacial o geográfica

La investigación o trabajo de titulación se llevó a cabo en el laboratorio de robótica de la Universidad Politécnica Salesiana ubicada en la Calle Vieja 12-30 y Elia Liut como se observa en la Figura 1. La herramienta se implementará en el robot KUKA KR5 - 2 HW, ubicado en el laboratorio de Robótica instalado en el edificio Cornelio Marchan. A continuación, la Figura 2 presenta el robot físico, donde se implementó la herramienta diseñada.

Figura 1

Croquis de la ubicación geográfica de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nota: En la Figura se observa la ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana (Google Maps, 2023).

Figura 2

Imagen tomada en los laboratorios de robótica del Robot KUKA KR5-2 HW



Nota: En la Figura se observa el robot KUKA KR5 - 2 HW que será utilizado para la implementación de la herramienta para la sujeción y transporte de vidrios.

2.4.2. Temporal

Para el desarrollo del trabajo de titulación se ha programado actividades dentro de los seis que corresponde a un periodo académico, para el caso de estudio es el periodo 62 y 63, entre junio del 2023 y marzo del 2024.

2.4.3. Sectorial o institucional

El proyecto de titulación se encuentra dentro del laboratorio de robótica en la Universidad Politecnica Salesiana para automatización de procesos industriales.

2.5. Problema General

- ¿Será factible implementar una herramienta para sujeción y transporte de vidrios adaptada al robot Kuka KR5 - 2 HW?

2.6. Problemas Específicos

- ¿Es posible establecer las condiciones iniciales para el diseño de una herramienta de sujeción y transporte de vidrios adaptada al robot KUKA KR5 - 2 HW?
- ¿Será factible diseñar y construir una herramienta para sujeción y transporte de vidrios adaptada al robot KUKA KR5 - 2 HW de acuerdo a las condiciones iniciales?
- ¿Se podrá realizar un estudio técnico financiero para el diseño y construcción de una herramienta de sujecion y transporte de vidrios adaptada al robot KUKA KR5 - 2 HW?

3. Objetivos

A continuación se presentan los objetivos planteados para el trabajo de titulación, con relación a problemas expuestos.

3.1. Objetivo General

- Implementar una herramienta para sujeción con ventosa y transporte de vidrios de hasta 5 kg adaptada al robot KUKA KR - 5 HW.

3.2. Objetivos Específicos

- Establecer las condiciones iniciales para el diseño de una herramienta de sujeción y transporte de vidrios adaptada al robot KUKA KR5 - 2 HW.
- Diseñar y construir una herramienta para sujeción y transporte de vidrios adaptada al robot KUKA KR5 - 2 HW de acuerdo a las condiciones iniciales.
- Realizar pruebas de funcionamiento y desempeño de la herramienta de sujeción y transporte de vidrios adaptada al robot KUKA KR5 - 2 HW.

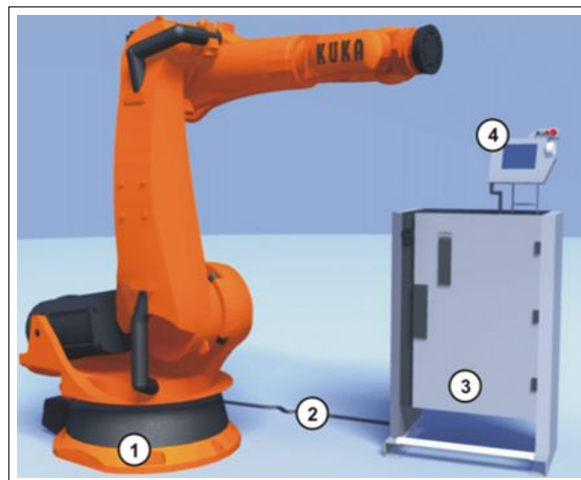
4. Marco Teórico

4.1. Robot KUKA KR5 - 2 HW

De acuerdo con (Group, 2007) es un robot creado específicamente para soldadura de arco, también se puede usar para diversas aplicaciones específicas que requieren tiempos de ciclo cortos y alta precisión, como sellado de envases, empackado, ensamblaje de electrodomésticos, entre otros .

Figura 3

Esquema general de robot KUKA KR5 - 2 HW.



Nota: En la Figura se observa las partes principales del brazo robotico tanto para su movimiento como para su programacion e interfaz de automatizacion (Group, 2007).

En la Figura 3 se observa las partes principales del robot KUKA KR5-2 HW, a continuación se ennumeran cada una de ellas:

1. Cuerpo del robot
2. Conexión de cables
3. Controlador de robot
4. El KCP (KUKA Control Panel) es la unidad manual de programación del sistema del robot

4.1.1. Aplicaciones robotizadas

De acuerdo con Arvizu, Caporal, Magdaleno, y López (2022):

Las aplicaciones más comunes de un robot Kuka, se presentan a continuación:

- Carga y descarga de piezas
- Mecanizado
- Manipulación de piezas
- Pulido
- Soldadura por arco

De acuerdo a la ficha técnica del robot kuka, el peso máximo al momento de ejecutar acciones o manipulaciones de su carga no debe sobrepasar de los 5 kg y a su vez la herramienta que se incorpore conjuntamente el material a transportar tiene que pesar como máximo 5 kg para que así no existan sobrecargas.

La Tabla 1 presenta detalladamente los grados de libertad de los ejes que permite su funcionamiento, tanto de movimiento, así como de velocidad y movimiento en los 6 ejes que dispone este modelo de brazo robótico, así como también se puede ver gráficamente los movimientos en la Figura 4.

Tabla 1

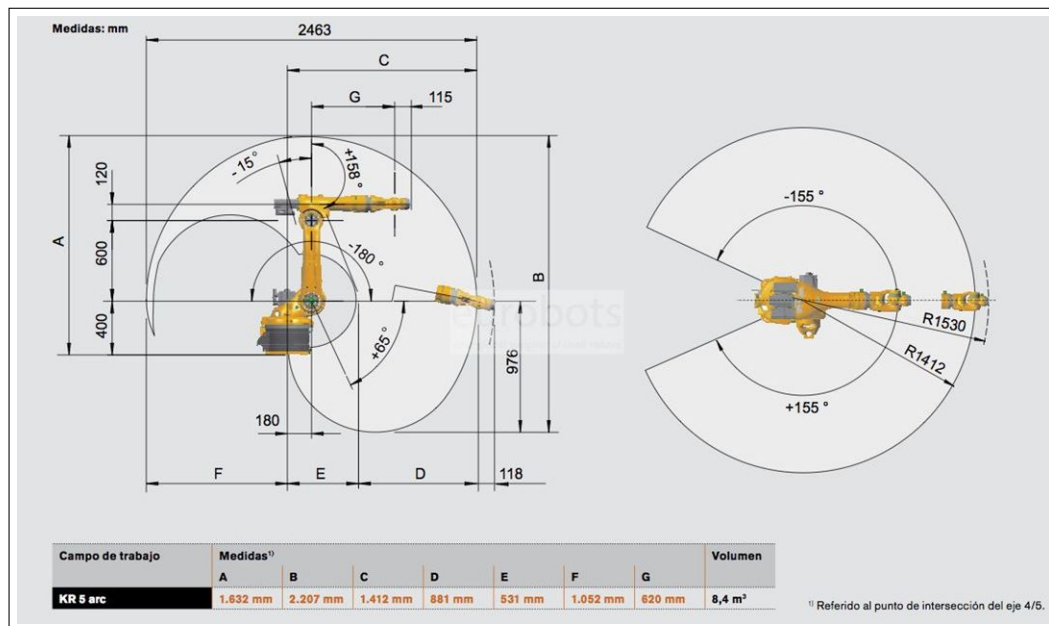
Grados de movimiento y velocidad de movimiento

Rango de movimiento	Velocidad de movimiento del robot en $^{\circ}$ / s (RMS)
Eje 1: +/- 155 $^{\circ}$	Eje 1: 154 $^{\circ}$
Eje 2: + 65 $^{\circ}$ / -180 $^{\circ}$	Eje 2: 154 $^{\circ}$
Eje 3: + 158 $^{\circ}$ / -15 $^{\circ}$	Eje 3: 228 $^{\circ}$
Eje 4: +/- 350 $^{\circ}$	Eje 4: 343 $^{\circ}$
Eje 5: +/- 130 $^{\circ}$	Eje 5: 384 $^{\circ}$
Eje 6: +/- 350 $^{\circ}$	Eje 6: 721 $^{\circ}$

Nota: En la tabla se observa detalladamente los grados de libertad que tiene cada uno de los 6 ejes del brazo robotico ya sea en movimiento y en su velocidad (Used Robots Trade, 2023).

Figura 4

Rangos de movimientos y operación del robot kUKA KR5- 2 HW.



Nota: En la Figura se observa el movimiento del brazo robotico acotado tanto en sus grados y milímetros de desplazamiento(Eurobots, 2016).

4.1.2. Controlador del Robot Kuka KR 5 - 2 HW

De acuerdo con Guaraca y Ochoa (2015):

El controlador KR C2 de KUKA es un sistema de control para robots industriales. Está diseñado para controlar robots de 6 ejes y ofrece una amplia gama de funciones, incluyendo:

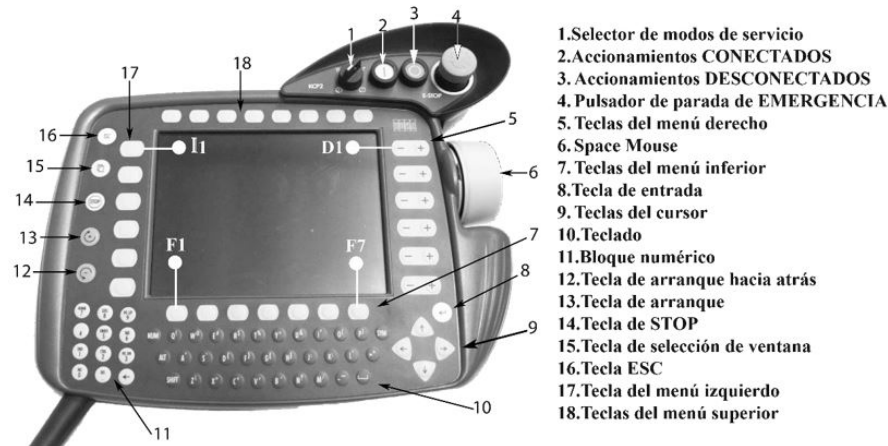
- Control de posición, velocidad y par
- Programación de trayectorias
- Control de fuerza
- Detección de colisiones
- Seguridad funcional

El controlador KR C2 es compatible con una amplia gama de robots industriales de KUKA, incluyendo los robots de las series KR QUANTEC, KR FORTEC y KR AGILUS. También es compatible con una variedad de software de programación, incluyendo KUKA.WorkVisual y KUKA.Sim .

El subsistema de programación del robot lo integra la unidad manual de programación (KCP2) y el lenguaje de programación. La KCP2 es un dispositivo que permite la comunicación entre el usuario y el sistema robótico. Contiene todas las funciones necesarias para el desplazamiento manual y programación de movimientos. Está constituido por varios teclados, botones de accionamiento, una pantalla gráfica que permite la presentación de diferentes tipos de mensajes e ingreso de comandos y un ratón con seis grados de libertad (Space Mouse). Un ejemplo de KCP2 es el denominado KUKA Control Panel (KCP) del fabricante KUKA como se observa en la Figura 5.

Figura 5

Panel de control KUKA.

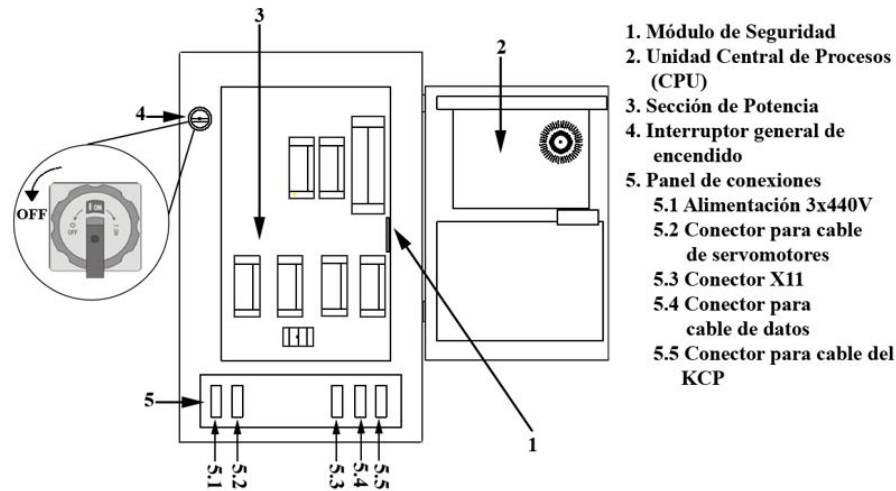


Nota: En la Figura se observa panel de control KCP2 el dispositivo de interacción usuario y robot (Jiménez y Cabrera, 2023).

El subsistema de control denominado también unidad de control del robot, es el responsable del control general del sistema robótico y está integrado por el sistema de potencia, la unidad central de procesos, el módulo de seguridad y el panel de conexiones. Es la unidad responsable de controlar las funciones del sistema robótico. En el armario de control convergen las instalaciones de alimentación, los sistemas de seguridad y los controladores de movimientos del robot. Está constituido por la unidad central de procesos, la sección de potencia, el módulo de seguridad y el panel de conexiones. Un ejemplo de armario de control es el del KR 5-2 ARC HW de KUKA que se muestra en la figura 7 (Guaraca y Ochoa, 2015).

Figura 6

Esquema general del subsistema de control.



Nota: En la Figura se observa el esquema general con sus respectivas partes de un subsistema de control del robot KUKA KR5 -2 HW (Guaraca y Ochoa, 2015).

4.1.3. Módulos de entrada digital

Este módulo de entrada digital recibe señales de control de los dispositivos de campo, por ejemplo de sensores, válvulas, entre otros. Cada módulo de entrada cuenta con un filtro de eliminación de ruido así también los niveles de campo y sistema están separados, en esta oportunidad necesitaremos la conexión de entrada y salida para la válvula 2/2 NC que se necesita su accionamiento para el paso de aire al sistema para la sujeción de los vidrios (INDEQ, 2024).

Figura 7

Módulo de entrada digital.



Nota: En la Figura se observa el modelo de entrada digital WAGO serie 750-306 el cual nos ayudara con la conexión de 24 V, para la valvula neumatica 2/2 NC.

4.2. Herramientas de sujeción y transporte

Las herramientas de sujeción y transporte se presentan a continuación:

4.2.1. Ventosas de vacío

Una ventosa de vacío es una herramienta destinada a tomar un objeto, es decir, es el punto de unión entre el robot y una pieza, Utiliza presión por vacío para adherirse a las piezas al generar una diferencia de presiones. La presión negativa es generada al expulsar la presión del aire al exterior permitiendo de este modo el agarre de un objeto, habitualmente las aplicaciones de vacío son destinados a procesos productivos de manipulación de materiales, ya sea en una cadena de montaje, alimentadores de máquinas, para picking o de packing (EDS Robotics, 2022).

4.2.2. Tipos de ventosas de vacío

De acuerdo con Revista de Robots (2020) tenemos los diferentes tipos de ventosas, las cuales se detalla su definición, para el sector que son utilizadas y sus aplicaciones:

4.2.2.1. Ventosas planas

Las ventosas planas, también conocidas como ventosas de copa, son las ventosas estándar en el sector industrial al ser utilizadas principalmente para manipular piezas con superficie plana, cóncavas e incluso ligeramente abombadas. Pueden tener una geometría redonda y ovalada.

4.2.2.2. Ventosas ultraplanas

Son ventosas totalmente planas enfocadas a productos alimenticios con base más grande de lo normal para procesos en donde se necesita no dejar marca.

4.2.2.3. Ventosas de fuelle

Las ventosas con fuelles son denominadas así por su forma de acordeón o fuelle, con pliegues de 1.5 que aumentan según el fabricante. Han sido diseñadas para ser empleadas en superficies curvas, con desniveles de altura o con deformaciones.

Se dispone de ventosas de fuelle redondas y ovaladas principalmente, aunque en función del material pueden tener juntas anulares que aumentan la sujeción ante superficies con mayor desnivel. Las ventosas de fuelle ovaladas están indicadas para objetos largos y de reducido grosor. Sus diámetros pueden variar desde los 2 mm hasta 255 mm.

4.2.2.4. Ventosas rectangulares

Son ventosas con forma rectangular, especialmente indicadas para procesos de agarre de bolsas y sacos de hasta 50 kg. Puedes encontrar modelos de ventosas

con medidas que van desde los 25x17mm hasta los 445x216mm. En este caso dedicaremos más atención a las ventosas planas, como se puede observar en la Figura 8, ya que estas ventosas nos servirá para la elaboración de la herramienta para poder sujetar vidrio, como es el caso que estamos enfocando el presente trabajo de titulación.

Figura 8

Tipos de ventosas



Nota: En la Figura se observa los tipos de ventosas que se encuentran disponibles para las diversas aplicaciones industriales y educativas.(Revista de Robots, 2020)

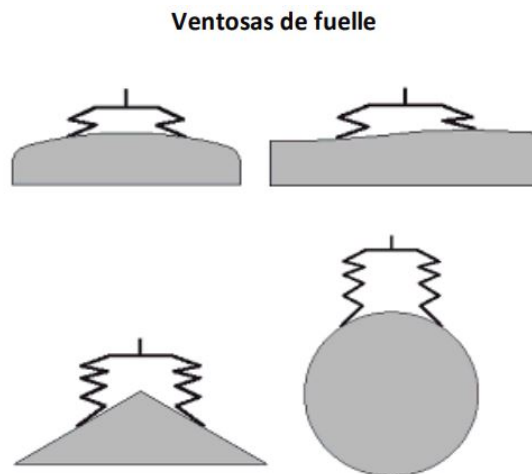
Según (Tameson, 2024) menciona: Las ventosas de vacío se utilizan normalmente en los siguientes tipos de aplicaciones:

- Se utiliza en la industria manufacturera y de la automoción como ventosas de elevación para manipular chapas, piezas moldeadas por inyección y paneles de carrocería.
- Se utilizan como ventosas de elevación para cristales, baldosas, parabrisas de coches, etc.
- Se utiliza en las industrias de embalaje para manipular cajas de cartón, películas de plástico, etc.
- Se utiliza en la industria alimentaria y farmacéutica.

Para este caso tenemos la imagen de la eficiencia de una ventosa de fuelle, ya que es una ventosa que se adapta a diferentes situaciones y las diferentes superficies que puede manipular como se puede observar en la Figura 9:

Figura 9

Ventosa de fuelle.



Nota: En la Figura se observa la referencia de superficies a la que se adapta la ventosa de fuelle que es la que se eligió para la construcción de la herramienta de sujeción. (Grupo Idamar, 2022)

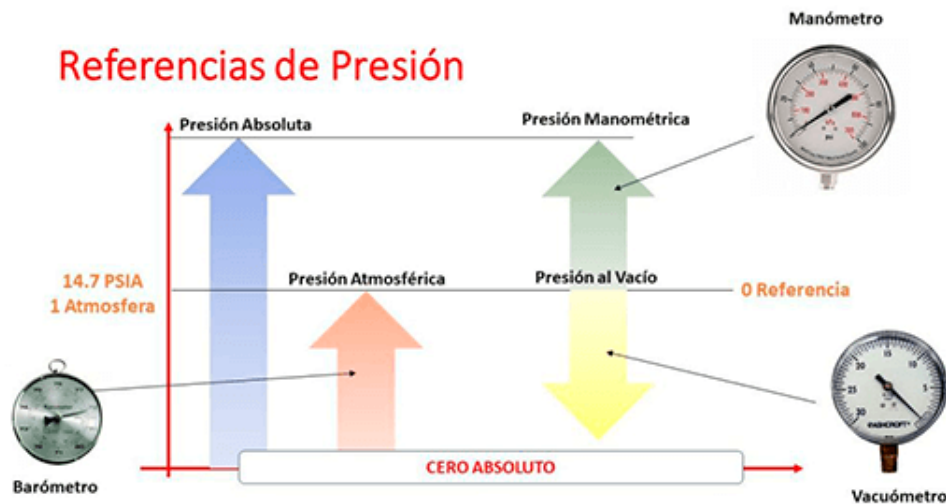
4.3. Herramienta para medición de presión de vacío

De acuerdo con Grupo Idamar (2022) los suministros industriales que poseen una extraordinaria importancia en toda planta de producción son el manómetro y el vacuómetro. La

importancia de saber para qué sirven y por qué son importantes hoy día en la industria.

Figura 10

Manómetro y Vacuómetro



Nota: En la Figura se observa la referencia de presión para su respectivo uso de las herramientas de medición de presión (Grupo Idamar, 2022).

4.3.1. Manómetro

El manómetro es un indicador de presión analógico que se utiliza para medir la presión de un gas o líquido. Se utiliza habitualmente en plantas industriales para la medición de la presión del agua, aire o aceite. Este dispositivo tiene un dial circular y cuenta con un puntero que se acciona mecánicamente para mostrar el nivel de presión (Casas, Chávez, y Hurtado, 2020).

4.3.2. Vacuómetro

Se trata de una herramienta de gran utilidad que se utiliza para la medición de la presión cuando esta es menor a la presión atmosférica. En otras palabras, puede decirse que un vacuómetro es capaz de medir el vacío, así también otra de las funciones de un vacuómetro es la detección de fallos en el motor sin que sea necesario desarmarlo. Una falta de presión en un cilindro es un indicador de una avería, y el vacuómetro nos ayuda a identificarla a

tiempo.(Casas y cols., 2020).

4.4. Unidad de Mantenimiento

Según (Representaciones Industriales R.D.V, 2021) la unidad de mantenimiento, se trata de unidades que ayudan a garantizar la durabilidad y seguridad de su instalación neumática, filtrando la suciedad y humedad que, con el tiempo, pueden causar el deterioro de sus instalaciones y componentes.

4.4.1. Qué son los FRL

Las Unidades de Tratamiento de Aire o FRL (filtro, reguladores y lubricadores) son una combinación de un filtro, un regulador y un lubricador de aire comprimido.

4.4.2. ¿Para qué sirve cada una?

A continuación se presenta para qué sirve o cuál es su desempeño de las diferentes partes de una unidad de mantenimiento o FRL:

4.4.2.1. Filtro

El filtro nos sirve para extraer toda la suciedad y el agua condensada del aire comprimido, brindando así un mayor grado de pureza. Cuando el aire entra a través del filtro, atraviesa una chapa deflectora; luego la humedad y la suciedad se desprende del aire por el efecto de la fuerza centrífuga, acumulándose en un recipiente.

4.4.2.2. Regulador

El regulador tiene el objetivo de mantener la presión de trabajo siempre constante. Esta presión es regulada por una membrana sometida a la presión de trabajo y a la fuerza de un resorte ajustable.

4.4.2.3. Lubricador

Por último, los lubricadores, como su palabra lo indica, tienen el objetivo de lubricar los elementos neumáticos, previniendo así un desgaste prematuro de las piezas móviles, reduciendo el rozamiento y protegiendo los elementos contra la corrosión.

Figura 11

Unidad de Mantenimiento



Nota: En la Figura se observa un FRL que nos ayudara a regular la presion que ingresara a la herramienta que dependera acorde al diametro de las ventosas (Representaciones Industriales R.D.V, 2021).

4.5. Electroválvula

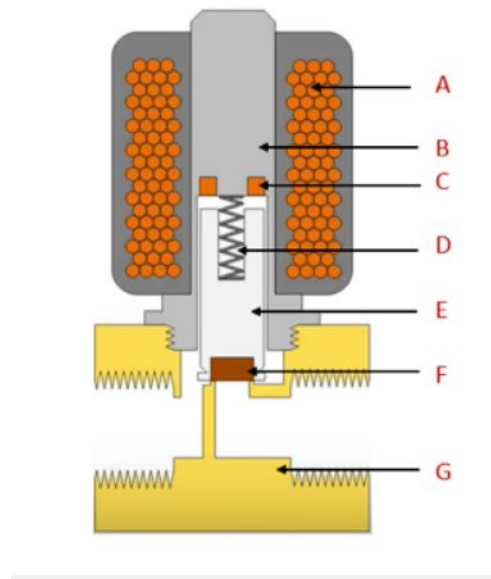
Una electroválvula es un dispositivo electromecánico que se utiliza para controlar el flujo de líquidos o gases a través de una tubería. Se activa mediante un pulso eléctrico, que abre o cierra la válvula (Capraro, Tosetti, y Serman, 2010).

4.5.1. Como funciona una electroválvula

Segun (Tameson, 2016) menciona: Las electroválvulas constan de una bobina, un émbolo y un tubo guía. Cuando la bobina recibe corriente, el émbolo se mueve para abrir o cerrar la válvula, podemos ver un esquema gráfico de sus partes en la Figura 12.

Figura 12

Partes de una electroválvula solenoide



Nota: En la Figura se observa las partes de una electroválvulas las cuales son: bobina (A), inducido (B), anillo de sombreado (C), muelle (D), émbolo (E), junta (F) y cuerpo de la válvula (G)(Tameson, 2016)

Hay diferentes tipos de electroválvulas acordes al número de vías y posiciones, con y sin fuelle, normalmente cerradas (NC) y normalmente abiertas (NA), a continuación en la Figura 13 se va a indicar la que se ocupara en la herramienta para permitir el paso del aire comprimido al sistema de generación de vacío que ayuda a las ventosas. Al momento del acople de las válvulas solenoides se tiene que tener presente el amperaje al que estos equipos trabajan y su fuente de alimentación, ya que los más comerciales son de 12 V, 24 V y de 120 V para instalaciones neumáticas en laboratorios de investigación y para implementación de plantas industriales de 220 V (Capraro y cols., 2010).

A continuación podemos observar en la Figura 13 la válvula solenoide que va a ser ocupada en nuestra herramienta de sujeción y transporte:

Figura 13

Electroválvula solenoide 2/2 con su simbolo



Nota: En la Figura se observa una electroválvula 2 vías y 2 posiciones con fuelle, normalmente cerrada, esta imagen real es de la válvula que se ocupó ya que es la que comercialmente se encontró y dada sus características es la que ocuparemos en este proyecto (Romeco Industrial, 2024).

4.6. Generador de vacío

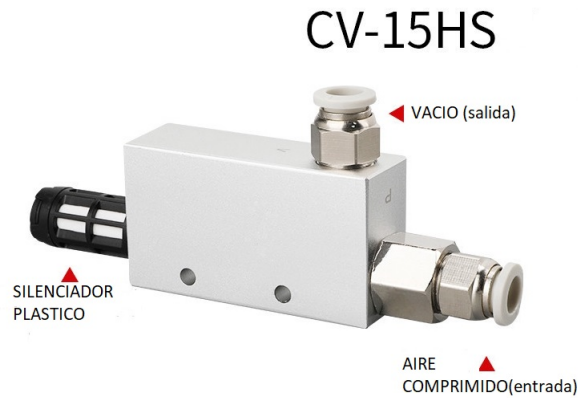
De acuerdo con (Marcelo Cassani Blogs, 2022) un generador de vacío, es un dispositivo que utiliza aire comprimido para crear un vacío. Se utiliza en una variedad de aplicaciones industriales, como envasado, manipulación de materiales y fabricación.

4.6.1. Como funciona un generador de vacío

El generador de vacío funciona según el principio Venturi. El aire comprimido pasa a través de una boquilla estrecha, creando un vacío en el lado de salida. Este vacío se puede utilizar para aspirar objetos o crear un sello hermético como se puede observar en la Figura 14.

Figura 14

Generador de vacío.

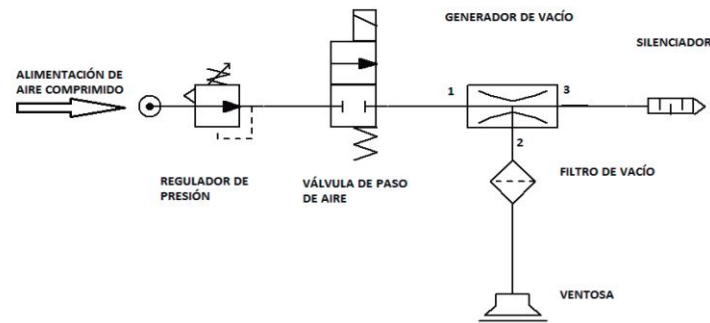


Nota: En la Figura se observa un generador de vacío la misma que se implementara en la herramienta ,este sistema esta basado para su funcionemoento segun el princio Venturi.(Marcelo Cassani Blogs, 2022)

Para el generador de vacío, una forma es como se puede visualizar en la figura 15 su manera correcta de conexión tal como lo muestra el diagrama:

Figura 15

Diagrama de conexión de un generador de vacío.



Nota: En la Figura se observa un diagrama de conexión para un generador de vacío con sus componentes correspondientes que van a varias marcas y diámetros y capacidades acorde a la aplicación que será el sistema de conexión de vacío. (UNITECH, 2023)

4.7. Software de diseño

Para la elaboración de este proyecto se determinó el software para el diseño de la herramienta que se explica a continuación:

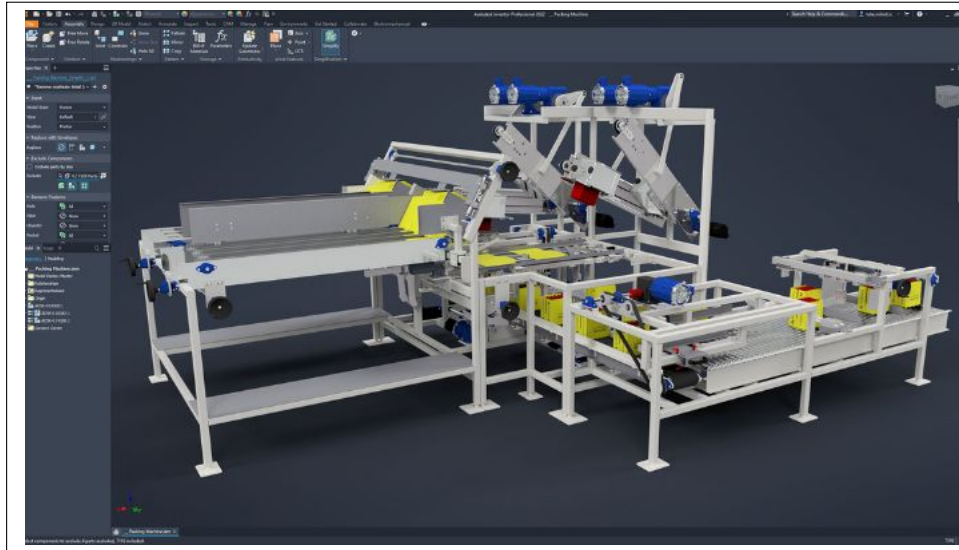
4.7.1. Inventor Autodesk

De acuerdo con (3D Natives, 2023) es un entorno virtual desarrollado por Autodesk, se trata de un software de diseño asistido por computadora (CAD) para el modelado mecánico en 3D, la simulación, la visualización y la documentación. Inventor facilita la integración de datos 2D y 3D en un único lugar, creando una representación virtual del producto final que permite a los usuarios validar la forma, el ajuste y la función del producto antes de fabricarlo.

Es un programa muy utilizado por ingenieros que necesitan herramientas de diseño, animaciones y simulación en 3D para posteriormente su fabricación.

Figura 16

Software Inventor Autodesk



Nota: En la Figura se observa un ensamble industrial en el software Inventor Autodesk (Autodesk, 2023)

4.7.2. Funciones de inventor

Según (Autodesk, 2023) menciona que hay varias funciones de Inventor, entre las que se nombra a continuación las siguientes:

- **Modelado paramétrico:** El diseño mientras crea y edita los modelos 3D con una interfaz de usuario intuitiva.
- **Colaboración mediante vistas compartidas:** Colaboración en los diseños con otros participantes desde cualquier dispositivo.
- **Configuraciones de diseño:** Agilice el proceso de modelado 3D mediante la creación rápida de nuevas configuraciones de los diseños.
- **Definición basada en modelos:** Incluye información de fabricación en el modelo 3D para usarla en otras aplicaciones.
- **Modelado de ensamblajes:** Ver cómo el diseño funciona y se ajusta en el ensamblaje.

- **Diseño automatizado de armazones:** Crea y simula rápidamente modelos 3D de sus diseños con estructuras de soldadura.
- **Creación de dibujos:** Crea dibujos claros, precisos y detallados, rápidamente para el sector de la fabricación.
- **Chapa:**
Diseña y prepara complejos productos de chapa para el sector de la fabricación.

5. Marco metodológico

5.1. Metodología de la Investigación

Descripción del método de investigación.

5.2. Metodología del proceso

5.2.1. Establecimiento de las condiciones iniciales para el diseño de una herramienta de sujeción y transporte de vidrios adaptada al robot KUKA KR - 5

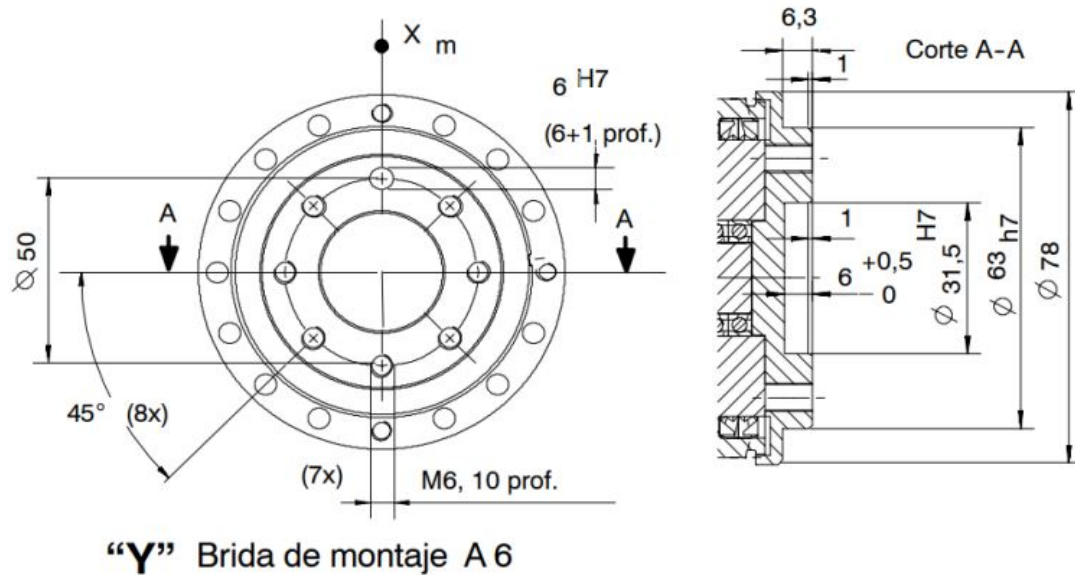
A continuación se presentan las condiciones iniciales utilizadas para el diseño de la herramienta.

5.2.1.1. Condiciones dimensionales de acople

Las condiciones iniciales de acople se delimitaron de acuerdo al diseño del brazo robótico KUKA KR 5, cuyas medidas se detallan a continuación en la Figura 17.

Figura 17

Anillo de acople del brazo robótico.



Nota: En la Figura se observa la parte del acople de la herramienta que servirá para la sujeción y transporte del vidrio (KUKA Roboter GmbH, Germany, s.f.).

5.2.1.2. Condiciones de carga y espacio de sujeción

Las condiciones de carga se limitaron de acuerdo a un peso máximo de una lámina de vidrio de 5 Kg, con unas dimensiones mínimas de acuerdo al dimensionamiento de las ventosas de succión que producen el vacío para la sujeción. El espacio de sujeción es un diámetro de 30 mm de la ventosa de fuelle que el mismo que es una área de 7.06 cm² por cada ventosa de fuelle. Se va a incorporar 4 ventosas a la herramienta que no tiene que ser mayor a 5 Kg, su peso acorde a las condiciones iniciales debido a que es el peso máximo que soporta el brazo robótico, según datos del fabricante. Se puede observar que existe una fórmula para calcular el tamaño del vidrio acorde a su volumen según (Cuartas, 1984) como se puede observar en la siguiente ecuación.

$$Peso\ aproximado = Área \times Espesor \times Factor(1)$$

(1)

Donde el factor es igual a 2.531

Se ha acordado realizar pruebas con vidrios de peso 2 Kg y 3 Kg, por tanto, a continuación se calcula sus medidas mediante la fórmula (2) que nos ayudara a encontrar el área de los vidrios:

Área del vidrio

$$Area = largo \times Ancho(2)$$

Se despeja colocando los datos para la fórmula (1) para el vidrio de 4 mm

$$Peso\ aproximado = (0.45m \times 0.45m) \times 0.004m \times 2.531$$

$$Peso\ aproximado = 2.02Kg$$

Se despeja colocando los datos para la fórmula (1) para el vidrio de 6 mm

$$Peso\ aproximado = (0.45m \times 0.45m) \times 0.006m \times 2.531$$

$$Peso\ aproximado = 3.03Kg$$

5.2.1.3. Condiciones a la selección de la ventosa

La ventosa que se ocupara para este proyecto es ventosa de 3 fuelles debido a que se procederá al movimiento de vidrios debido a su forma plana y su agarre de gran exactitud.

Se puede observar la ilustración de una ventosa plana en la Figura 8.

En las condiciones de selección de la ventosa se pretende dimensionar lo más exacto posible a la práctica, para lo cual nos hemos guiado en un cálculo donde se toma en cuenta el peso a soportar o transportar, también presión de vacío, para lo cual la ventosa de diámetro 30 mm es la seleccionada para la herramienta como se puede ver en la Tabla 2.

Tabla 2

Datos de sujeción de ventosas acorde a su presión de vacío.

PESO QUE PUEDE LEVANTAR UNA VENTOSA (kg)																			
	FS	NIVEL DE VACÍO (-) bar																	
		0,1		0,2		0,3		0,4		0,5		0,6		0,7		0,8		0,9	
		4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2
DIÁMETRO DE VENTOSA (mm)	5	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03	0,05	0,03	0,06	0,04	0,07	0,04	0,08	0,05	0,09
	10	0,02	0,04	0,04	0,08	0,06	0,12	0,08	0,16	0,10	0,20	0,12	0,24	0,14	0,29	0,16	0,33	0,18	0,37
	15	0,05	0,09	0,09	0,18	0,14	0,28	0,18	0,37	0,23	0,46	0,28	0,55	0,32	0,64	0,37	0,73	0,41	0,83
	20	0,08	0,16	0,16	0,33	0,24	0,49	0,33	0,65	0,41	0,82	0,49	0,98	0,57	1,14	0,65	1,31	0,73	1,47
	30	0,18	0,37	0,37	0,73	0,55	1,10	0,73	1,47	0,92	1,84	1,10	2,20	1,29	2,57	1,47	2,94	1,65	3,30
	40	0,33	0,65	0,65	1,31	0,98	1,96	1,31	2,61	1,63	3,26	1,96	3,92	2,28	4,57	2,61	5,22	2,94	5,87
	50	0,51	1,02	1,02	2,04	1,53	3,06	2,04	4,08	2,55	5,10	3,06	6,12	3,57	7,14	4,08	8,16	4,59	9,18
	75	1,15	2,29	2,29	4,59	3,44	6,88	4,59	9,18	5,74	11,47	6,88	13,77	8,03	16,06	9,18	18,36	10,33	20,65
	110	2,47	4,94	4,94	9,87	7,40	14,81	9,87	19,75	12,34	24,68	14,81	29,62	17,28	34,55	19,75	39,49	22,21	44,43
	150	4,59	9,18	9,18	18,36	13,77	27,54	18,36	36,72	22,95	45,90	27,54	55,08	32,13	64,25	36,72	73,43	41,31	82,61

Nota: En la Tabla se observa la parte la relacion entre presion de vacio y el diamtro de la ventosa el peso a soportar en Kg (Technical, 2023).

5.2.1.4. Condiciones dinámicas del dispositivo de sujeción

Las condiciones dinámicas de movimiento lo podemos determinar acorde a las medidas de desplazamiento, en este caso del vidrio, el cual debe ser tomado en cuenta el volumen a su vez, su masa y el factor de seguridad que en este caso sería 1.5, ya que el vidrio es un material liso (Schmalz, 2022).

Para las condiciones dinámicas tenemos dos alternativas tanto como cuando las fuerzas son horizontales y verticales, como se observa en la las figuras 18 y 19.

Figura 18

Fuerza de retención teórica horizontal.

$$F_{TH} = m \times (g + a) \times S$$

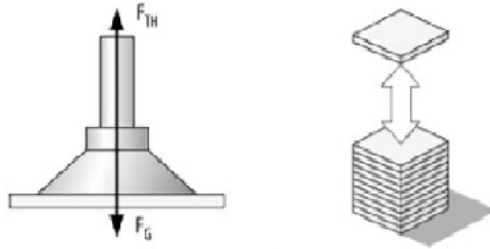
F_{TH} = Fuerza de retención teórica [N]

m = Masa [kg]

g = Aceleración terrestre [9,81 m/s²]

a = Aceleración [m/s²] de la instalación

S = Factor de seguridad



Nota: En la Figura se observa la formula y su ilustracion de como seria una fuerza de retencion horizontal. (Schmalz, 2022).

Figura 19

Fuerza de retención teórica vertical.

$$F_{TH} = m \times (g + a/\mu) \times S$$

F_{TH} = Fuerza de retención teórica [N]

F_a = Fuerza de aceleración = $m \times a$

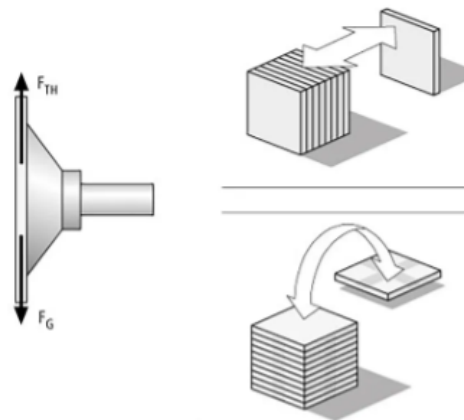
m = Masa [kg]

g = Aceleración terrestre [9,81 m/s²]

a = Aceleración [m/s²] de la instalación

μ = Coef. de fricción

S = Factor de seguridad



Nota: En la Figura se observa una ventosa con movimiento vertical con su respectiva formula para sus calculos requeridos. (Schmalz, 2022).

En el caso de determinar la aceleración a la que se puede mover se puede observar que eso depende de la fuerza de retención que se puede calibrar en el laboratorio, pero a su vez de manera teorica también se puede saber usando la fórmula de las figuras 18 y 19, que nos ayudaran a despejar la aceleración de las fórmulas del caso vertical como del horizontal que se tendría la siguiente fórmula:

$$a = (F_{TH}/S \times m) - g$$

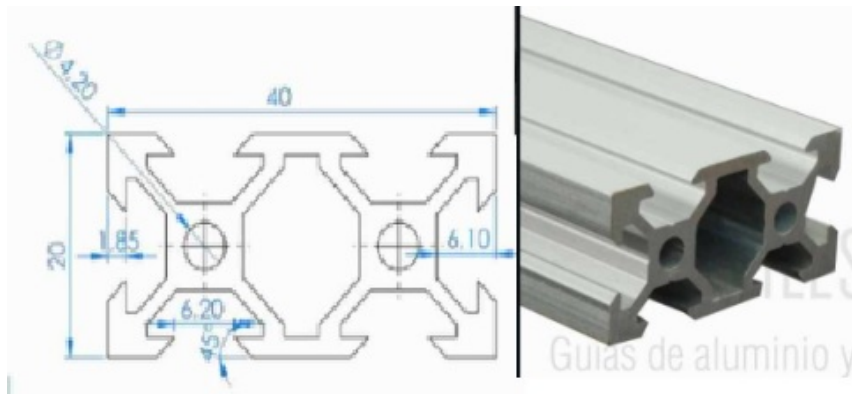
Como resultado la aceleración en m/s^2 (Technical, 2023).

5.2.1.5. Condiciones del material utilizado en la estructura de la herramienta

Las condiciones del material va a depender del peso máximo junto a la herramienta no mayor a 5 Kg. Para este proyecto su estructura será el aluminio, ya que pensando en la facilidad de instalación, sé a determinado que perfiles de aluminio es lo más idóneo para la instalación de las ventosas y tener una estructura liviana, ya que tenemos una limitante con el peso que soporta el mecanismo robótico a continuación se detallara el perfil a ocupar y los componentes para su sujeción. Para la estructura que mayoritariamente soporte el peso que sería como el alma de la herramienta tenemos un perfil de 40 mm x 20 mm en Aluminio 6063, como se observa en la Figura 20.

Figura 20

Perfil de aluminio V20x40.



Nota: En la Figura se observa medidas detalladas y también su forma visual, el perfil se puede adquirir en color negro y gris, siendo así que para la herramienta se seleccionó el color gris con el que se procederá a armar la estructura. (Perfiles CNC Importadores, 2022).

Para conocer datos técnicos del material a ocupar para la estructura de aluminio tenemos

las siguientes tablas, tanto de sus propiedades físicas y mecánicas a tomar en cuenta al momento de la elección del material para la herramienta.

Tabla 3

Propiedades físicas de aluminio 6063.

Propiedades físicas del aluminio 6063	
Densidad	2700 kg/m ³
Punto de fusión	600°C
Módulo de elasticidad	69.5 GPa
Resistencia eléctrica	0.035x10 ⁻⁶ Ω.m
Conductividad térmica	200 W/m.K
Expansión térmica	23.5 x 10 ⁻⁶ /K

Nota: En la Tabla se observa propiedades físicas detalladas con las que es construido el perfil de aluminio. (Perfiles CNC Importadores, 2022).

Tabla 4

Propiedades mecánicas de aluminio 6063.

Propiedades mecánicas	Aleación de aluminio 6063 Suave O	Aleación de aluminio 6063 Suave O	Aleación de aluminio 6063 T6
Prueba de stress		90 Min MPa	170 Min MPa
Fuerza tensil	130 Max MPa	150 Min MPa	241 MPa
Elongación A50 mm	16 Min %	10 Min %	8 Min %
Dureza Brinell	25 HB	50 HB	73 HB
Elongación A	18 Min %	12 Min %	12 Min %

Nota: En la Tabla se observa propiedades mecánicas del perfil acorde a su aleación. (Perfiles CNC Importadores, 2022).

5.2.1.6. Análisis de las fuerzas de retención de las ventosas

A continuación se describen los métodos de cálculo de la fuerza de retención teórica para los dos procesos de manipulación que se tendrá que realizar al momento de las pruebas de funcionamiento.

- Factor de seguridad S:

Dependiendo de las propiedades de la superficie de la pieza, se debe ajustar el factor de seguridad S. Como factor de seguridad se toma un valor mínimo de 1,5 para piezas lisas y no porosas. Para piezas críticas, no homogéneas, porosas, rugosas o aceitadas se debe tomar un factor de seguridad de 2,0 o superior.

- Coeficiente de fricción: El coeficiente de fricción expresa la relación entre la fuerza de fricción y la fuerza normal. No se pueden indicar datos de validez general respecto a los coeficientes de fricción entre ventosa y pieza, por ello, el coeficiente de fricción se debe determinar de forma empírica para cada caso.

Se pueden tomar los siguientes valores orientativos.

Tabla 5

Valor de coeficiente de fricción

Valor	Aplicacion
0.20.3	para superficies húmedas
0.5	para madera, metal, vidrio, piedra, ...
0.6	para superficies rugosas

Nota: En la tabla se observa los valores de coeficiente de fricción dependiendo de cada situación como en nuestro caso lo usaremos para la sujeción y transporte de vidrios se usará el valor de 0.5 (Schmalz, 2022).

Se usó dos formas, se calculó como se observa en las Figuras 18 y 19 de la cual obtenemos la ecuación (3) para la obtención de la fuerza de retención teórica que dicho de manera

simplificada esta fuerza siempre tendrá que ser superior o suficiente acorde al peso en Kg a levantar.

$$FTH = m \times (g + a) \times S(3)$$

Donde;

m=masa(Kg)

g=gravedad (9.81 m/s²)

a= aceleración(m/s²)

El factor e igual a 1,5 para el caso horizontal y 2 para el caso vertical

A continuación se calcula para el caso de sujeción horizontal:

$$FTH = 2Kg \times (9.81 + 2) \times 1,5$$

$$\underline{FTH = 35,43N}$$

$$FTH = 3Kg \times (9.81 + 2) \times 1,5$$

$$\underline{FTH = 53,14N}$$

A continuación se calcula para el caso de sujeción vertical donde se añade el coeficiente de fricción, ya que como es vidrio lo que se transporta se usa 0,5 dándonos la ecuación (4):

$$FTH = m \times (g + a/CF) \times S(4)$$

Donde;

m=masa(Kg)

g=gravedad (9.81 m/s²)

a= aceleración(m/s²)

CF= coeficiente de fricción

El factor e igual a 1,5 para el caso horizontal y 2 para el caso vertical

$$FTH = 2Kg \times (9.81 + 2/0.5) \times 2$$

$$\underline{FTH = 55,24N}$$

$$FTH = 3Kg \times (9.81 + 2/0.5) \times 2$$

$$\underline{FTH = 82,86N}$$

A continuación se presenta una fuerza de aspiración individual que de acuerdo con (Schmalz, 2022) necesita cada ventosa que se halla con la ecuación, se toma en cuenta que para la herramienta se usa 4 ventosas de diámetro 30 mm(5):

$$FS = FTH/n(5)$$

Donde;

FS=Fuerza de succión individual(N)

FTH=Fuerza de retención teorica(N)

n= número de ventosas

Para su succión horizontal con 2 y 3 kg tenemos los siguientes resultados:

$$FS = 35.43/4(5)$$

$$\underline{FS = 8,85N}$$

$$FS = 53,14/4(5)$$

$$\underline{FS = 13,28N}$$

Para su succión vertical con 2 y 3 kg tenemos los siguientes resultados:

$$FS = 55,24/4(5)$$

$$\underline{FS = 13,81N}$$

$$FS = 82,86/4(5)$$

$$\underline{FS = 20,71N}$$

Para obtener la presión de vacío necesaria que debe ingresar a cada ventosa expresada en Kpa o Bar que son unidades de presión, se obtiene la siguiente fórmula (6):

$$FS = P \times A \times 0.1 \times 1/t(6)$$

Donde;

FS=Fuerza de succión individual(N)

P=Presión de vacío (KPa)

A= Área de la Ventosa(cm²)

t= coeficiente de seguridad en caso de ser horizontal 2 y vertical 8

Para el siguiente caso necesitamos despejar la Presión de la ecuación (6) quedando de la siguiente manera:

$$P = (FS \times t)/(0.1 \times A)(7)$$

$$P = (8,85N \times 2)/(0.1 \times 7,06)$$

$$\underline{P = 25,07KPa = 0,25Bar}$$

$$P = (13,28N \times 2)/(0.1 \times 7,06)$$

$$\underline{P = 37,62KPa = 0,3Bar}$$

$$P = (13,81N \times 4)/(0.1 \times 7,06)$$

$$\underline{P = 78,24KPa = 0,78Bar}$$

$$P = (20,71N \times 4)/(0.1 \times 7,06)$$

$$\underline{P = 117,33KPa = 1,1Bar}$$

En resumen de resultados se presenta la Tabla 6 que nos da detalladamente los valores

que nos servirán para la elección adecuada del generador de vacío y así también conocer cuál es la presión ideal al momento de realizar las pruebas de funcionamiento.

Tabla 6

Resultados de Fuerzas y presión de Succion

Posicion	Peso	Fuerza retencion FTH	Fuerza individual de succion	Presion
Horizontal	2 Kg	35,43 N	8,85 N	0.25 Bar
Horizontal	3 Kg	53,14 N	13,28 N	0.3 Bar
Vertical	2 Kg	55,24 N	13,81 N	0.78 Bar
Vertical	3Kg	82,86 N	20,71 N	1,1 Bar

Nota: En la tabla se observa detalladamnete los resultados de las fuerzas de retencion y la presion necesaria para el sistema neumatico para el movimientos del vidrio que en este caso es de 2 y 3 kg.

5.2.2. Diseño y construcción de una herramienta para sujeción y transporte de vidrios adaptada al robot KUKA KR5 - 2 HW de acuerdo a las condiciones iniciales.

Para el diseño del soporte de las ventosas se consideró los parámetros iniciales expuestos en la sección anterior, no se está limitado por la parte presupuestaria.

5.2.2.1. Diseño de la herramienta

A continuación se presenta el diseño propuesto y el dibujo de sus particulares.

- **Conjunto de la herramienta**

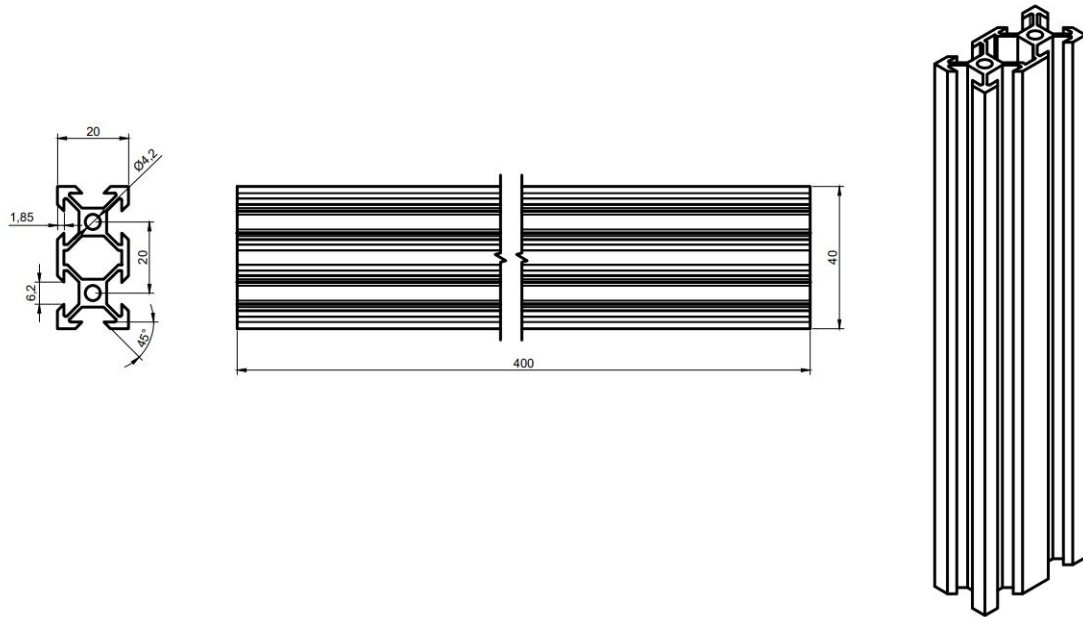
El conjunto del diseño de la herramienta se puede observar las dimensiones totales a ocupar físicamente al conectar al robot.

- **Columna central**

La columna tiene como función soportar y conectar tanto los brazos así también como el fijador vertical que es el mismo perfil pero varias su longitud.

Figura 21

Columna central.



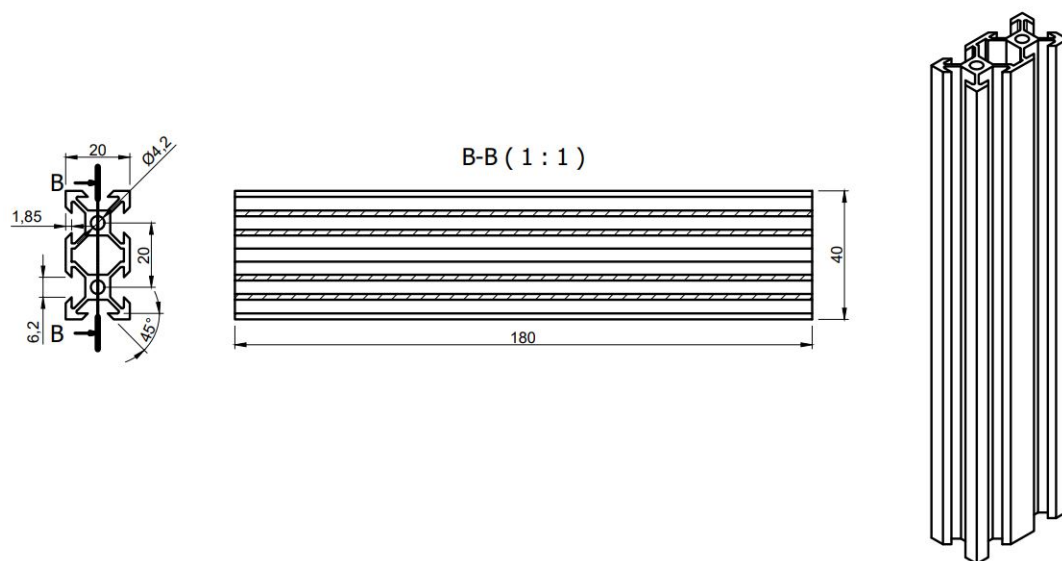
Nota: En la Figura se observa sus respectivas medidas del perfil fabricado en Aluminio 6063 que nos servirá como columna central de soporte para la herramienta.

■ **Brazo de sujeción**

Los brazos tienen la función de sujetar los porta ventosas y será anclado 4 brazos a la columna central para la distribución de puntos de sujeción para una correcta succión de las ventosas.

Figura 22

Brazo de sujeción.



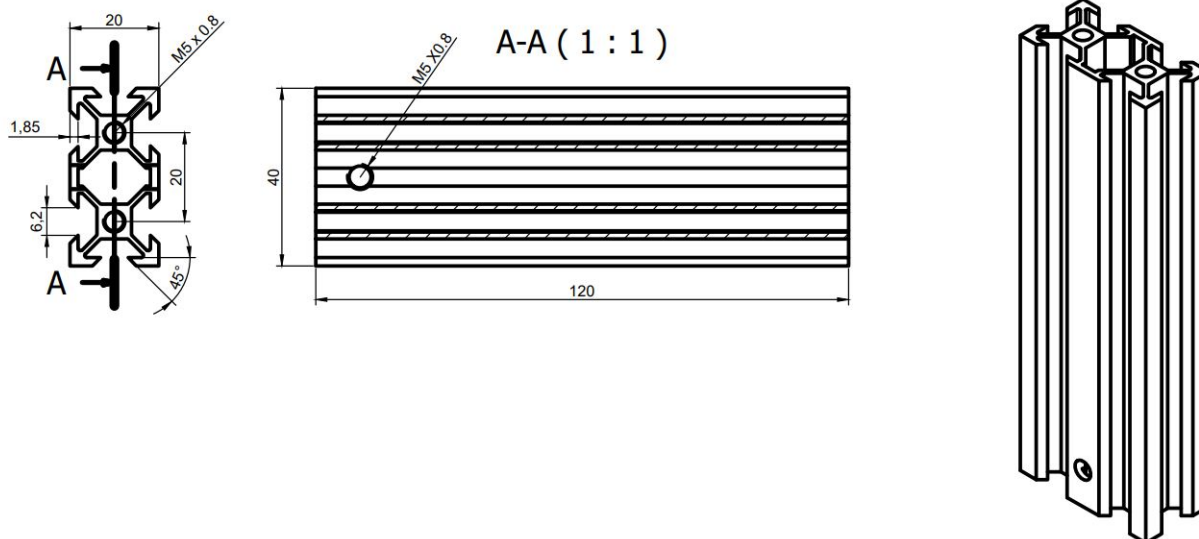
Nota: En la Figura se observa sus respectivas medidas del perfil fabricado en Aluminio 6063 que nos servirá como brazo de sujeción de la herramienta.

■ Unión Vertical

Esta unión tiene la función de anclar la columna central y el plato de unión, el mismo que con tornillería se une al brazo robótico.

Figura 23

Unión vertical.



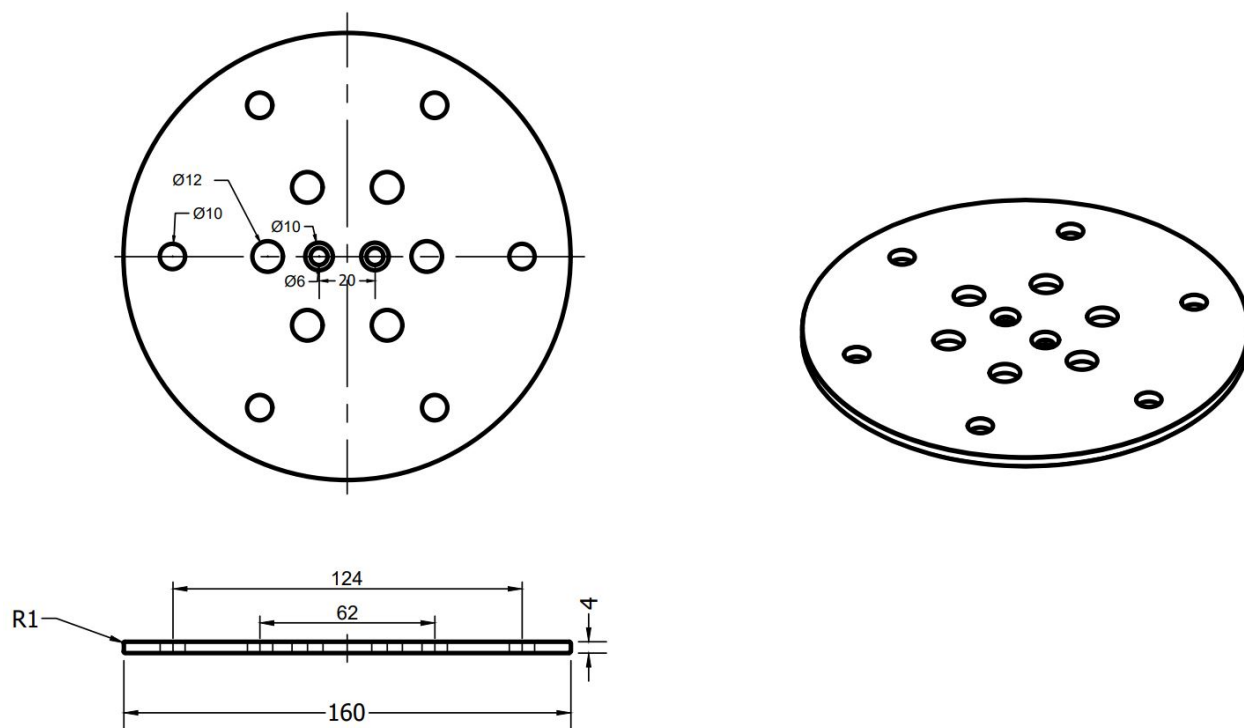
Nota: En la Figura se observa sus respectivas medidas del perfil fabricado en Aluminio 6063 que nos servirá como soporte y union.

■ **Plato de unión**

Este plato tiene la función de ajustar la herramienta hacia el brazo robótico, anclándolo mediante tornillería.

Figura 24

Plato de unión.



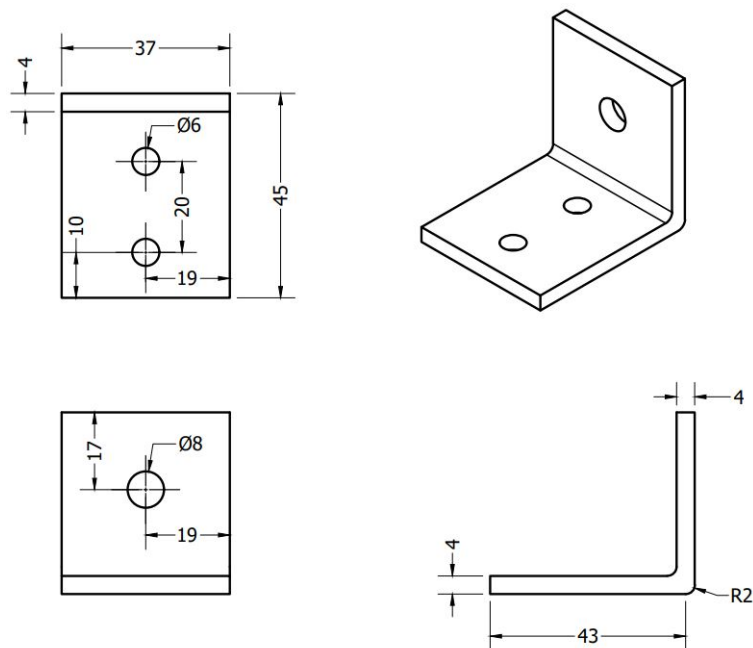
Nota: En la Figura se observa el plato de union elaborado en Plancha negra o Acero ASTM A36.

■ **Angulo Porta ventosas**

El ángulo fabricado a partir de acero al carbono tiene la utilidad de conectar las ventosas y el brazo de sujeción.

Figura 25

Angulo porta ventosas.



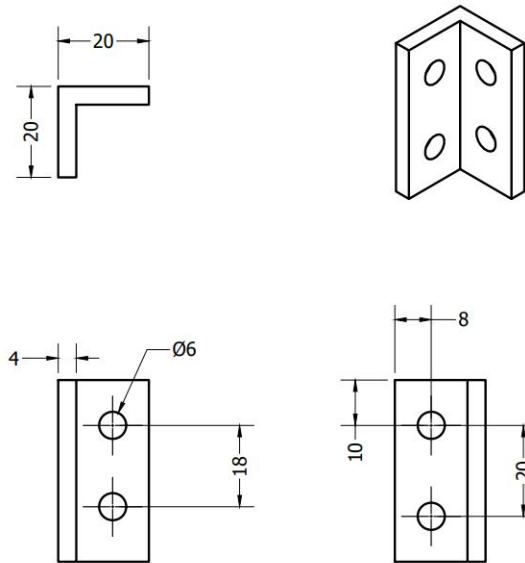
Nota: En la Figura se observa angulo portaventosas elaborado en Plancha negra o Acero ASTM A36.

■ Unión Angular

La pieza utilizada para la unión de piezas a 90 grados, la misma que se utiliza tuercas hexagonales que encajan en los perfiles de aluminio y sirve de unión mediante tornillos.

Figura 26

Unión angular.



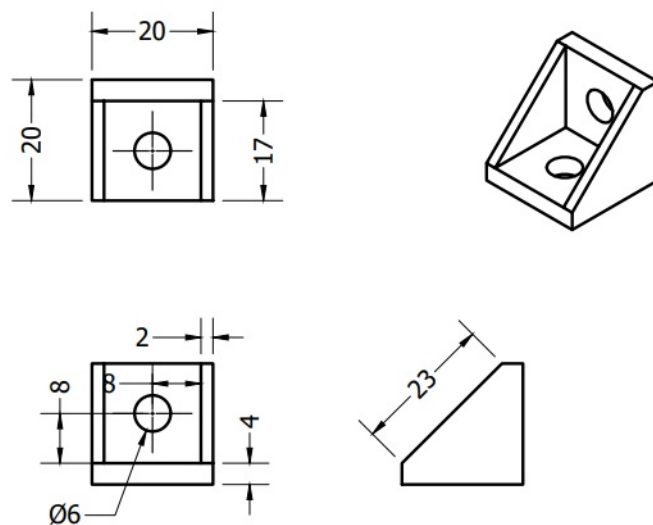
Nota: En la Figura se observa la pieza de aluminio que sirve como union para los perfiles.

- **Esquinero reforzado**

El esquinero que es de aluminio cuya función es unir o ensamblar los perfiles a 90 grados.

Figura 27

Esquinero reforzado.



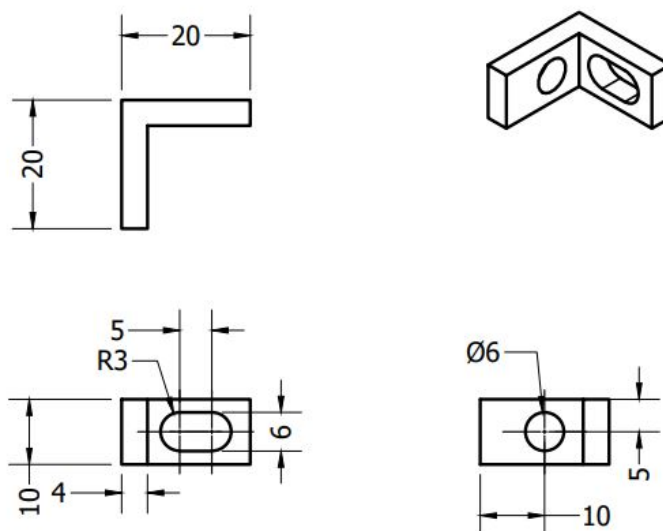
Nota: En la Figura se observa la pieza de aluminio que sirve como esquinero reforzado para la union de los perfiles a 90 grados.

- **Esquinero simple**

El esquinero que es de aluminio cuya función es unir o ensamblar los perfiles a 90 grados.

Figura 28

Esquinero simple.



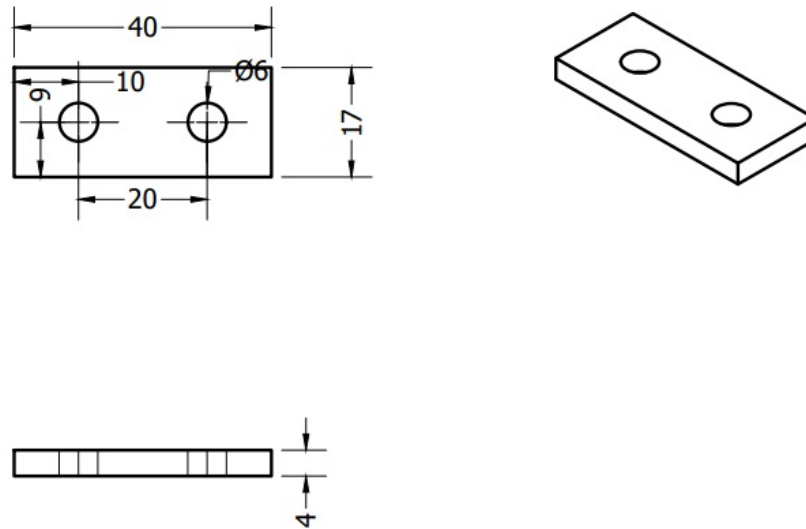
Nota: En la Figura se observa la pieza de aluminio que sirve como esquinero para la union de los perfiles a 90 grados.

■ **Fijador vertical**

El fijador cuyo material es de aluminio y su función es unir o ensamblar los perfiles a 0 grados o uniones rectas, como es el caso de la unión con la columna central y el perfil de unión vertical.

Figura 29

Fijador vertical.



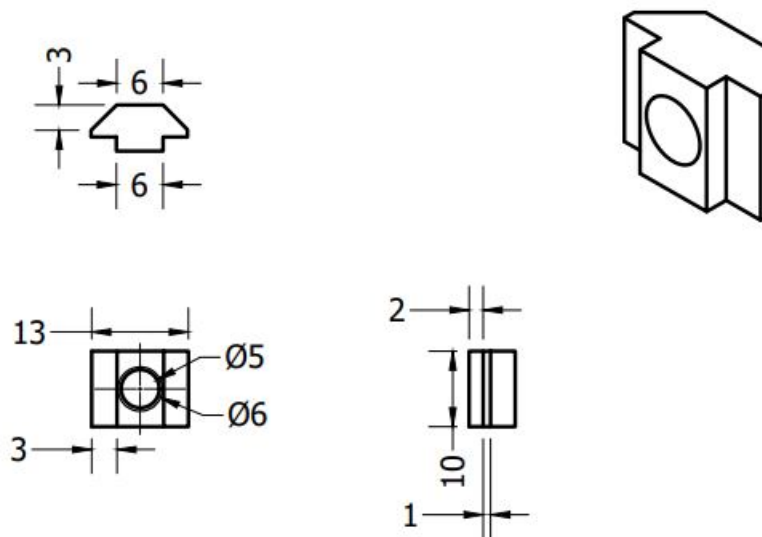
Nota: En la Figura se observa la pieza de aluminio que sirve como fijador vertical o a 0 grados.

■ **Tuerca rectangular M5**

La tuerca rectangular es de acero inoxidable que encaja con los perfiles de aluminio para los cuales se necesita unir o ensamblar mediante los ángulos y fijadores.

Figura 30

Tuerca rectangular M5.



Nota: En la Figura se observa la tuerca hexagonal que servira para el montaje de los perfiles para la herramienta.

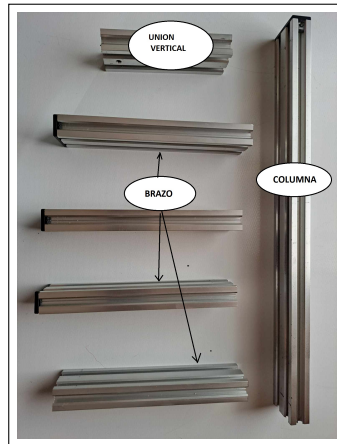
5.2.2.2. Construcción de la herramienta

A continuación se presenta el proceso de construcción de la herramienta.

1. Corte de perfiles de aluminio

Figura 31

Perfiles de aluminio.

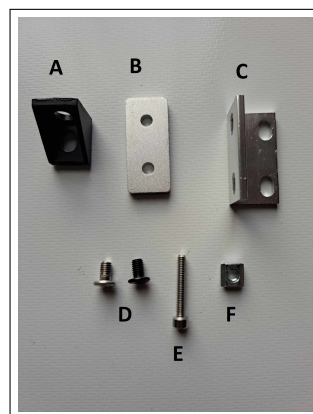


Nota: En la Figura se observa los perfiles que fueron cortados previamente a la medida, como corresponde a sus dimensiones diseñadas el cual podemos observar en el Anexo A.

2. Elementos de acople y sujeción

Figura 32

Elementos de sujeción.

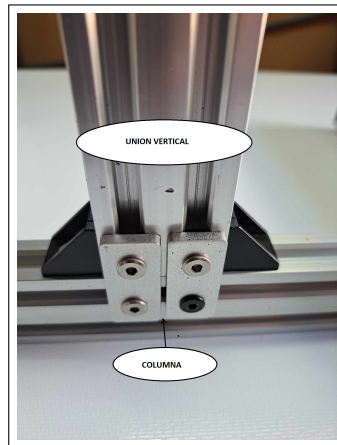


Nota: En la Figura se observa los elementos de sujeción como son: esquinero reforzado (A), fijador vertical (B), esquinero simple (C), Tornillo M5x0.8mm (D) Tornillo M4x18mm (F) y rosca recatangular M5.

3. Unión de Perfil vertical

Figura 33

Unión vertical.

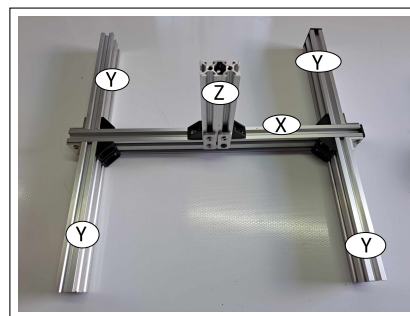


Nota: En la Figura se observa el perfil Union vertical acoplada a la Columna con sus respectivos tornillos, fijadores verticales y esquineros.

4. Unión de perfiles a 90 grados.

Figura 34

Unión de perfiles.



Nota: En la Figura se observa a los perfiles (X), Columna (Y) Brazo (Z) y Union vertical acoplados con sus respectivos esquineros, fijadores y tornillos que internamente estara roscado a la tuerca rectangular.

5. Fijación de ventosa.

Figura 35

Ventosa y ángulo porta ventosa.

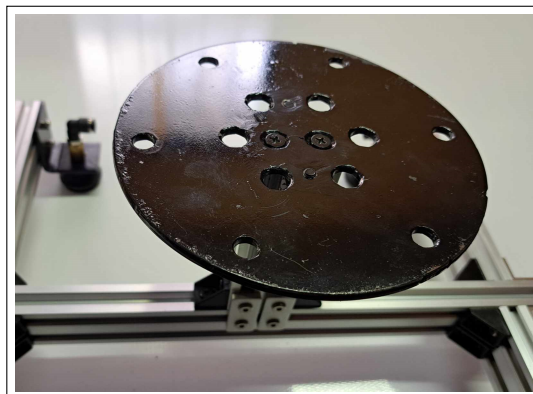


Nota: En la Figura se observa el angulo portaventosas acoplado con la ventosa de 30 mm y su acople rapido para mangueras de 6 mm, el angulo es colocado en el extremo del perfil Brazo.

6. Acople de plato de conexión.

Figura 36

Plato de conexión.

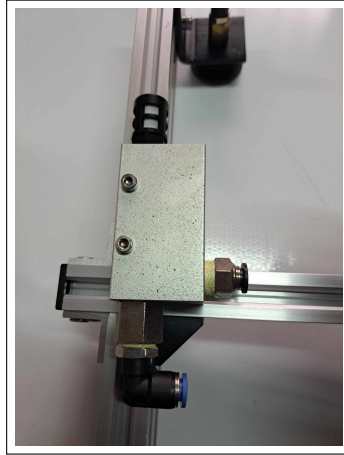


Nota: En la Figura se observa el plato de conexion acoplado en el extremo de el perfil Union vertical, el plato nos servira para montar al brazo robotico.

7. Fijación de Generador de vacío.

Figura 37

Acople Generador de vacío.

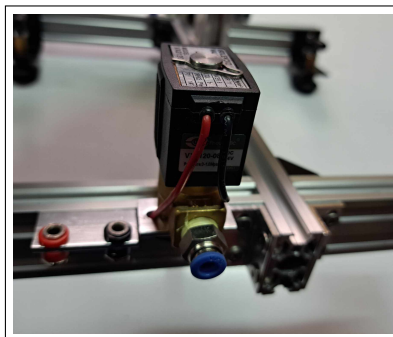


Nota: En la Figura se observa el generador de vacío marca AIRFIT modelo CV-15 HS con su respectivo silenciador de conexión 1/4 in, el generador de vacío está acoplado al perfil Brazo.

8. Fijación de Electroválvula 2/2 NC.

Figura 38

Acople de electroválvula.

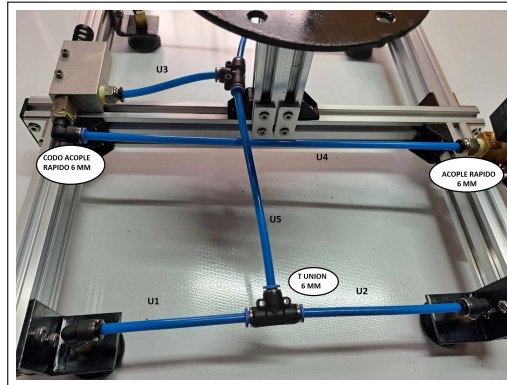


Nota: En la Figura se observa el acople de la electroválvula 2/2 NC con sus respectivos ajustes de la conexión eléctrica que es a 24 V, la electroválvula está acoplada al perfil Brazo.

9. Dimensionamiento de mangueras.

Figura 39

Acople de mangueras neumáticas.



Nota: En la Figura se observa el acople de las mangueras neumáticas de 6 mm cuyas dimensiones se especifican en la Tabla 7. Para la unión de las mangueras se usó codos de acople rápido, T Union y acoples rápidos todos para manguera de 6 mm.

A continuación se presentan las dimensiones de las mangueras neumáticas que sirven para la unión de los accesorios para el flujo correcto de aire comprimido.

Tabla 7

Medidas de mangueras neumáticas 6 mm

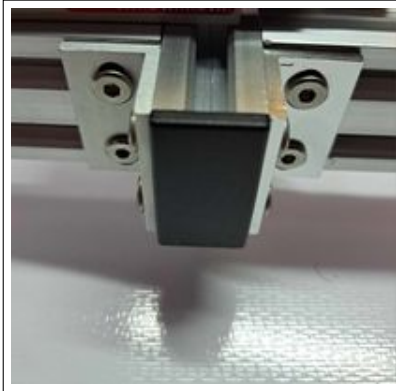
Manguera	Medida	Material
U1	115 mm	(PU) y Nylon
U2	138 mm	(PU) y Nylon
U3	105 mm	(PU) y Nylon
U4	325 mm	(PU) y Nylon
U5	186 mm	(PU) y Nylon

Nota: En la tabla se observa detalladamente las medidas reales de la instalación neumática y sus materiales que son: Poliuretano (PU) y Nylon.

10. Fijación de tapas pláticas.

Figura 40

Fijación de tapas plásticas de protección.

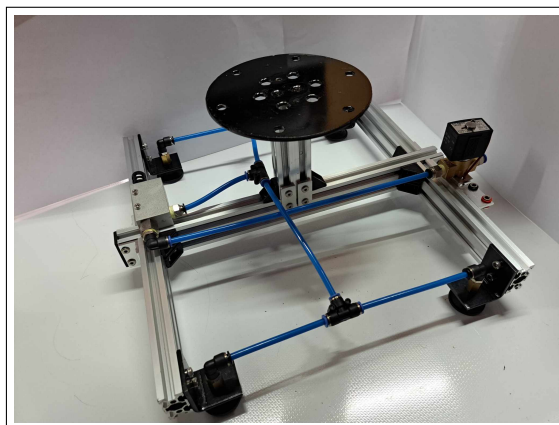


Nota: En la Figura se observa la fijación de las tapas plásticas para protección en los finales de los perfiles Brazo y Culumna dando un total de 6 tapas.

11. Herramienta final.

Figura 41

Herramienta para sujeción con ventosas y transporte de vidrios de hasta 5 Kg.



Nota: En la Figura se observa la herramienta con sus respectivas instalaciones neumaticas, mecanicas y electricas.

12. Implementación de la herramienta al robot KUKA KR 5- 2 HW

Figura 42

Montaje final en el robot KUKA KR5-2 HW.



Nota: En la Figura se observa la herramienta implementada al brazo robotico.

5.2.3. Pruebas de funcionamiento y desempeño de la herramienta de sujeción y transporte de vidrios adaptada al robot KUKA KR5 - 2 HW

Para las pruebas de funcionamiento tenemos condiciones de posicionamiento a transportar, teniendo presente que la velocidad máxima del robot es de 2 m/s. Se realiza pruebas a pesos de vidrios de 2 Kg y 3 kg debido a que el limitante de la herramienta es de 5 kg, peso máximo que puede mover el brazo robótico según el fabricante, por ende que el peso aproximado de la herramienta es de 2 Kg.

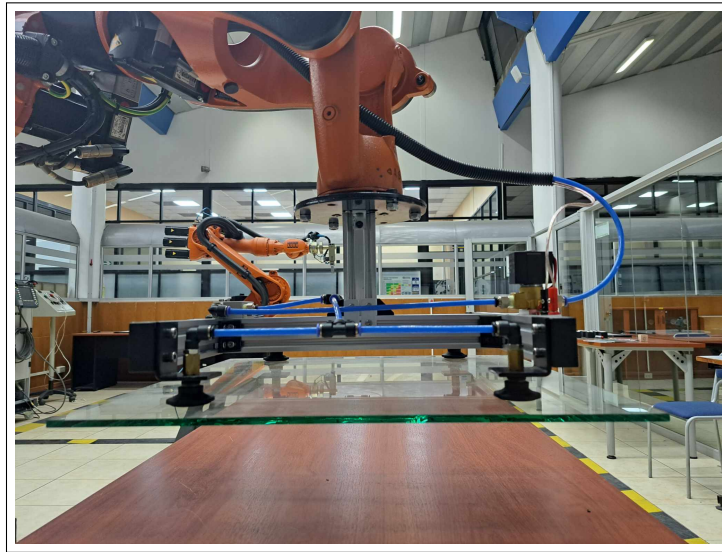
A continuación se presenta la herramienta en funcionamiento y a su vez se detalla las condiciones y datos tanto del robot, herramienta y vidrio a transportar.

1. Posición horizontal o 0°.

Tenemos como condición movilizar en coordenadas (X)(Y)(Z) una vez que el vidrio está sujetado mediante las ventosas con una presión constante de 2 Bar, como se observa en la Figura 43:

Figura 43

Prueba sujeción 0°.



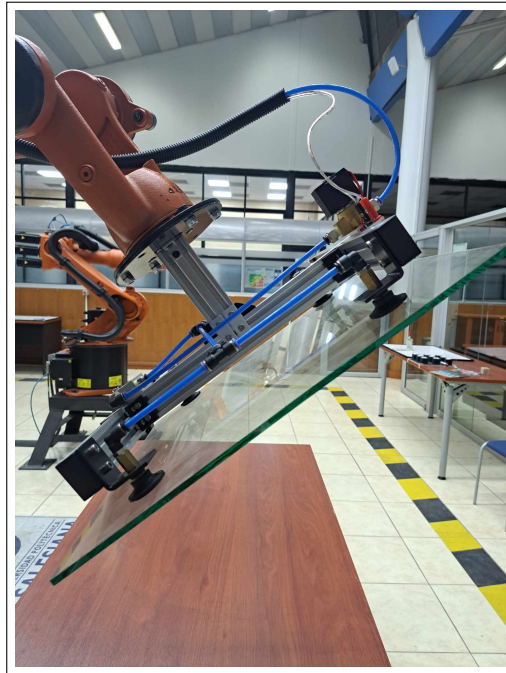
Nota: En la Figura se observa el vidrio en posición horizontal con movimientos en el eje (X)(Y)(Z) a una velocidad de 2 m /s con un peso del vidrio de 3 Kg.

2. Posición Inclínada a 45°.

La condición es movilizar el vidrio a 45° como se puede ver en la Figura 44 con movimientos en el eje (X)(Y)(Z) una vez que el vidrio es sujetado mediante el uso de las ventosas con una presión de 3 Bar para el vidrio de 2 Kg y 3 Kg.

Figura 44

Prueba sujeción 45°.



Nota: En la Figura se observa el vidrio en posición inclinada o 45° las pruebas de movimiento se realizaron en los ejes (X)(Y)(Z) a una velocidad máxima que entrega el robot de 2 m/s con un peso del vidrio de 3 Kg.

3. Posición vertical a 90°.

La condición es movilizar el vidrio a 90° como se puede ver en la Figura 45 con movimientos en el eje (X)(Y)(Z) una vez que el vidrio es sujetado mediante el uso de las ventosas con una presión de 3 Bar para el vidrio de 2 Kg y 3 Kg.

Figura 45

Prueba sujeción 90°.



Nota: En la Figura se observa el vidrio en posición vertical o 90° las pruebas de movimiento se realizaron en los ejes (X)(Y)(Z) a una velocidad máxima que entrega el robot de 2 m/s con un peso del vidrio de 3 Kg.

Así también se realizó prueba de presión mínima en el laboratorio, esto quiere decir, la presión que mantiene el vidrio en sujeción hasta llegar al colapso de dejarlo caer o soltar la ventosa por su mínimo flujo de presión en el generador de vacío, como se puede ver en la Figura 46 un manómetro con su medida real tomada en sus pruebas de funcionamiento.

Cabe recalcar que la prueba se realizó de manera estática, sin tener velocidades o movimiento en ninguno de los ejes del brazo robótico ni la herramienta en general.

Figura 46

Presión mínima de sujeción.



Nota: En la Figura se observa la presión mínima de sujeción de un vidrio de 3 Kg que es de 1 Bar el mínimo hasta llegar al colapso de la sujeción del vidrio de parte de la ventosa de 30 mm.

6. Resultados

6.1. Condiciones establecidas para el diseño mecánico

A continuación en la tabla 8 presenta las condiciones iniciales establecidas, las cuales tenemos los siguientes resultados:

Tabla 8

Resultados acordes a las condiciones iniciales

Dimensiones acolple	Diametro de ventosa	Carga	Condiciones Dinamicas	Material
Ø78 mm	30 mm	2 Kg	0º , 45º y 90º	Aluminio
Ø78 mm	30 mm	3 Kg	0º , 45º y 90º	Aluminio

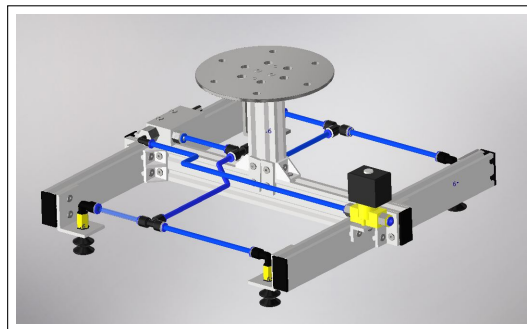
Nota: En la tabla se observa detalladamente los resultados a los que se llego tomando en cuenta las condiciones iniciales tanto como medidas, cargas , material de la herramienta y las condiciones dinamicas de movimiento.

6.2. Diseño y construcción del dispositivo de sujeción mecánico

A continuación se presenta el diseño realizado en el software Inventor 2021 y el dispositivo construido:

Figura 47

Diseño desarrollado en el software Inventor versión 2021



Nota: En la Figura se observa el diseño y sus componentes acoplados para que la herramienta sea funcional posteriormente en el Anexo A se encuentra dimensiones reales de cada componente.

6.3. Resultados de las pruebas de funcionamiento

A continuación se presenta la tabla 9 con sus resultados de la sujeción a diferentes grados de movimiento del material a transportar, como en este caso es el vidrio de 45 cm x 45 cm en

el espesor de 4 y 6 mm.

Tabla 9

Resultados de pruebas de funcionamiento de sujeción

		Presion	Soporte sujecion	Soporte velocidad
	0°	2 bar	Exelente	2 m/s
2 Kg	45°	2 bar	Exelente	2 m/s
	90°	2 bar	Exelente	2 m/s
	0°	2 bar	Exelente	2 m/s
3 Kg	45°	3 bar	Exelente	2 m/s
	90°	4 bar	Exelente	2 m/s

Nota: En la tabla se observa detalladamente los grados a los que se realizo la prueba de funcionamiento con la velocidad maxima que nos entrega el robot que es de 2 m/s con una presion minima de 2 bares.

7. Conclusiones

Las condiciones iniciales planteadas para el diseño fueron el peso a transportar con un máximo de 5 kg, los materiales para la estructura fueron aluminio y acero para el plato de sujeción, el tipo de ventosa fue el de fuelle de 30 mm, así también sus medidas de acople son de diámetro 78 mm, el peso de sujeción que máximo tiene que ser de 3 kg, ya que la herramienta tiene un peso de 2 Kg y sumados seria los 5 Kg que es el peso máximo permitido por el brazo robótico según el fabricante.

Se diseñó en el software Inventor, de donde se desprendió sus componentes, los mismos que se detalla sus medidas en el Anexo A, para la construcción que también se detalla en el documento en el punto 5.2.2.2, a su vez se diseñó y construyo acorde a las condiciones iniciales, Dando como resultado la herramienta que finalmente se acopló al brazo robótico y sin ningún detalle ni contratiempo se puede manipular.

Se realizó pruebas de funcionamiento, a diversos ángulos 0°, 45° y 90° con la máxima velocidad de movimiento que nos entrega el robot 2 m/s y como resultado se obtuvo excelente

actuación de las ventosas en la sujeción del vidrio, que a su vez cabe recalcar que la limitante es el peso, ya que el brazo robótico se le puede someter a cargar máximo 5 kg por ende las pruebas de funcionamiento se realizaron con los 5 kg que nos son el vidrio y la herramienta juntos para esto tuvimos un rango de presión del manómetro de 1 a 4 Bar los mismos que coinciden con los cálculos realizados para saber las fuerzas y presiones necesarias para la succión que se produce al momento de generar vacío.

8. Recomendaciones

Se recomienda para próximas investigaciones adaptar al brazo robótico un sistema de seguridad, ya sea con sensores o de la manera más factible en su debido momento, ya que el robot tiene excelente interacción, pero no puede reconocer el fallo, por ejemplo, de alguna colisión o golpe o alguna interferencia por lo que necesita estar actualmente con supervisión en su ciclo de trabajo.

Así también se recomienda buscar una opción viable para alivianar el peso de la herramienta mediante elementos en su estructura para que de la opción de sujetar vidrios con pesos superiores a 3 kg que fueron los pesos máximos de nuestras pruebas de funcionamiento esto debido a la limitante del robot del peso al sujetar un máximo de 5 Kg.

Referencias

- 3D Natives. (2023). *Que es autodesk inventor y cuáles son sus características principales*. [Disponible en: <https://www.3dnatives.com/es/que-es-autodesk-inventor-130620222/>; Acedido el: 19 de diciembre del 2023].
- Amangandi Aguilar, N. M., y Mendoza Guamán, N. F. (2022). Implementación del sistema de seguridad y plataforma de prácticas del robot kuka kr 10 en el laboratorio de proceso industrial de la eiecri.
- Arvizu, L. Y. G. L., Caporal, R. M., Magdaleno, J. d. J. R., y López, M. M. E. L. (2022). Herramienta computacional para manipular un robot (kuka) irb-2600 basada en un toolbox de matlab®/simulink®. En *Memorias del congreso internacional de investigación academica journals 4th* (Vol. 8, pp. 25–32).
- Autodesk . (2023). *Principales funciones de inventor*. [Disponible en: <https://www.autodesk.es/products/inventor/features>; Acedido el: 19 de diciembre del 2023].
- Capraro, F., Tosetti, S., y Serman, F. V. (2010). Laboratorio virtual y remoto para simular, monitorizar y controlar un sistema de riego por goteo en olivos. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 7(1), 73–84.
- Casas, E. M., Chávez, R. J. M., y Hurtado, T. C. (2020). Control de la cavitación para obtener los parámetros de funcionamiento óptimos en bombas centrífugas. *Prospectiva Universitaria*, 17(1), 81–85.
- Cuartas, R. (1984). Calculo teorico de propiedades del vidrio: viscosidad, parametros termicos y parametros de desvitrificacion. *Ceram. Vidrio*, 23, 105–111.
- EDS Robotics. (2022). *Ventosas de vacío para aplicaciones industriales*. [Disponible en: <https://www.edsrobotics.com/blog/ventosas-de-vacio-para-aplicaciones-industriales/>; Acedido el: 10 de mayo del 2023].
- Eurobots. (2016). *Kuka kr 5 arc*. [Disponible en: https://www.eurobots.net/robot_oldadura_kuka_kr5_arc_es.html; Acedido el: 10 de mayo del 2023].
- Filgueira, C. H. (2001). *La actualidad de viejas temáticas: sobre los estudios de clase, estratificación y movilidad social en américa latina*. Cepal.
- Google Maps. (2023). *Ubicación de la universidad politécnica salesiana*. [Disponible en: <https://www.google.com/maps/>; Acedido el: 10 de mayo del 2023].
- Group, K. R. (2007). *Kr c2 operating instructions*. Revista Espacios, Vol. 3.3, N° 05, Pág. 11.

- Grupo Idamar. (2022). *Manometro y vacuometro que es y para qué sirven*. [Disponible en: <https://www.grupo-idamar.com/manometro-y-vacuometro/:text=Qu> Accedido el: 07 de enero del 2024].
- Guaraca, P., y Ochoa, J. (2015). *Estudio de la programación y operación de los robots industriales kuka kr16-2 y kr5-2 arc hw*. [Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7744>; Accedido el: 10 de mayo del 2023].
- INDEQ. (2024). *750-402 wago entrada digital, 4 canales; 24 v dc*. [Disponible en: https://indeq.mx/products/750-402_wago; Accedido el: 3 de junio del 2024].
- Jiménez, C., y Cabrera, B. (2023). Implementación de una herramienta tecnológica de identificación y clasificación de objetos para el robot kuka kr5-2 arc hw.
- KUKA Roboter GmbH, Germany. (s.f.). *Technical data*. [Disponible en: <https://revistaderobots.com/sistemas-de-vacio/ventosas-de-vacio-planas-industriales/?cn-reloaded=1>; Accedido el: 10 de mayo del 2023].
- Marcelo Cassani Blogs. (2022). *Porque se genera vacío con aire comprimido*. [Disponible en: <https://marcelocassani.wordpress.com/2014/10/20/vacio/>; Accedido el: 22 de marzo del 2024].
- Perfiles CNC Importadores. (2022). *Tienda productos cnc*. [Disponible en: <https://perfilesnc.com/tienda>; Accedido el: 16 de enero del 2024].
- Representaciones Industriales R.D.V. (2021). *Unidad frl: Extraiga suciedad y agua del aire comprimido*. [Disponible en: <https://rdv.com.co/que-son-los-frl/:text=Las> Accedido el: 19 de junio del 2024].
- Revista de Robots. (2020). *Ventosas planas industriales*. [Disponible en: <https://revistaderobots.com/sistemas-de-vacio/ventosas-de-vacio-planas-industriales/?cn-reloaded=1>; Accedido el: 10 de mayo del 2023].
- Romeco Industrial. (2024). *Pu220-02ar válvula solenoides nc 2/2*. [Disponible en: <https://www.romecoindustrial.com/producto/pu220-02ar-valvula-solenoides-nc-2-2-1-4-accion-directa-en-bronce-para-aire-agua-y-aceite/>; Accedido el: 22 de marzo del 2024].
- Schmalz. (2022). *Fuerza de retención teorica de una ventosa*. [Disponible en: <https://www.schmalz.com/es/saber-de-vacio/el-sistema-de-vacio-y-sus-componentes/procedimiento-para-dimensionar-un-sistema/fuerza-de-retencion-teorica-de-una-ventosa/>; Accedido el: 10 de enero del 2024].
- Tameson. (2016). *Guia sobre válvulas solenoides*. [Disponible en: <https://tameson.es/pages/electrovalvulas-como-funcionan>; Accedido el: 22 de marzo del 2024].

- Tameson. (2024). *Ventosa de vacío*. [Disponible en: <https://tameson.es/pages/ventosa-de-vacio>; Accedido él: 19 de junio del 2024].
- Technical. (2023). *Fuerza de elevacion teórica de ventosas*. [Disponible en: <https://technical.biz/apunts-tecnics/es-neumatica-elevacion-teorica-ventosas-apuntes-tecnicos-technical-manresa-igualada-ripoll-lleida.pdf>; Accedido el: 07 de enero del 2024].
- UNITECH. (2023). *Catalogo de productos*. [Disponible en: <https://www.ute.com/latin/products/detail/1236>; Accedido él: 19 de junio del 2024].
- Used Robots Trade. (2023). *Kuka kr 5 arc*. [Disponible en: <https://usedrobotstrade.com/es/kuka-kuka-kr5-arc: :text=KUKA ,sobresalientes>10 de mayo del 2023].

ANEXOS

Anexo A: Planos diseño final

Anexo B: Programación de KCP2

```
% UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
% Ingeniería Mecánica
%Realizado por: Brian Crespo
%Tema:IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA PARA SUJECCIÓN CON VENTO-
SAS Y TRANSPORTE DE VIDRIOS DE HASTA 5 KG ADAPTADA AL ROBOT KUKA
KR 5-2 HW
%Tutor: Ing. René Zumba Rivera MSc.
%Co tutor: Ing. Omaní Ordóñez
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

1. INI

```
% PARTIMOS DEL PUNTO HOME
```

2. PTP HOME Vel=100% DEFAULT

```
% INICIO DE BUCLE
```

3. LOOP

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%FIJACION DEL PRIMER PUNTO PARA SUCCIONAR VIDRIO
```

```
4. PTP P1 Vel=100% PDAT1 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB
```

```
5. PTP P3 Vel=100% PDAT3 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB
```

```
6. PTP P4 Vel=100% PDAT4 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB
```

```
% ESPERA 1 SEGUNDO
```

7. WAIT Time =1 sec

% PASO DE AIRE A LAS VENTOSAS (ON VALVULA)

8. OUT 16 "" State= TRUE% ESPERA 1 SEGUNDO

9. WAIT Time =1 sec

%%
%FIJACION DEL SEGUNDO PUNTO PARA SOLTAR EL VIDRIO TRANSPORTA-
DO

10. PTP P5 Vel=100% PDAT5 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

11. LIN P6 Vel=2 m/s CODTA1 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

12. PTP P7 Vel=100% PDAT6 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

13. PTP P8 Vel=100% PDAT7 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

14. WAIT Time =1 sec

% CIERRE DE AIRE A LAS VENTOSAS (OFF VALVULA)

15. OUT 16 "" State= FALSE

16. WAIT Time =1 sec

%%
%FIJACION DEL TERCER PUNTO PARA SUCCIONAR EL VIDRIO

17. PTP P9 Vel=100% PDAT8 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

18. PTP P10 Vel=100% PDAT9 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

19. PTP P11 Vel=100% PDAT10 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

20. PTP P12 Vel=100% PDAT11 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

21. PTP P13 Vel=100% PDAT12 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

22. WAIT Time =1 sec

% PASO DE AIRE A LAS VENTOSAS (ON VALVULA)

23. OUT 16 "" State= TRUE

24. WAIT Time =1 sec

%%
%FIJACION DEL CUARTO PUNTO PARA SOLTAR EL VIDRIO TRANSPORTADO

25. PTP P14 Vel=100% PDAT13 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

26. PTP P15 Vel=100% PDAT14 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

27. PTP P16 Vel=100% PDAT15 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

28. WAIT Time =1 sec

% CIERRE DE AIRE A LAS VENTOSAS (OFF VALVULA)

29. OUT 16 "" State= FALSE

30. WAIT Time =1 sec

%%
%FIJACION DEL QUINTO PUNTO PARA SUCCIONAR VIDRIO

31. PTP P18 Vel=100% PDAT17 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

32. PTP P19 Vel=100% PDAT18 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

33. WAIT Time =3 sec

34. PTP P20 Vel=100% PDAT19 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

35. PTP P21 Vel=100% PDAT20 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

36. WAIT Time =1 sec

% PASO DE AIRE A LAS VENTOSAS (ON VALVULA)

37. OUT 16 "" State= TRUE

38. WAIT Time =1 sec

%%
%FIJACION DEL SEXTO PUNTO PARA SOLTAR EL VIDRIO TRANSPORTADO

39. PTP P22 Vel=100% PDAT21 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

40. PTP P23 Vel=100% PDAT22 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

41. PTP P24 Vel=100% PDAT23 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

42. WAIT Time =1 sec

% CIERRE DE AIRE A LAS VENTOSAS (OFF VALVULA)

43. OUT 16 "" State= FALSE

44. WAIT Time =1 sec

%%
%FIJACION DEL SÉPTIMO PUNTO PARA SUCCIONAR VIDRIO

45. PTP P25 Vel=100% PDAT24 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

46. PTP P26 Vel=100% PDAT25 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

47. PTP P27 Vel=100% PDAT26 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

48. PTP P28 Vel=100% PDAT27 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

49. WAIT Time =1 sec

% PASO DE AIRE A LAS VENTOSAS (ON VALVULA)

50. OUT 16 "" State= TRUE

51. WAIT Time =1 sec

%%
%FIJACION DEL OCTAVO PUNTO PARA SOLTAR EL VIDRIO TRANSPORTADO

52. PTP P29 Vel=100% PDAT28 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

53. PTP P31 Vel=100% PDAT30 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

54. PTP P32 Vel=100% PDAT31 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

55. WAIT Time =1 sec

% CIERRE DE AIRE A LAS VENTOSAS (OFF VALVULA)

56. OUT 16 "" State= FALSE

57. WAIT Time =1 sec

58. PTP P33 Vel=100% PDAT32 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

59. PTP P34 Vel=100% PDAT33 TOOL[1]:B __ Electro Base[11]:CDB

60. WAIT Time =3 sec

% FIN DE BUCLE

61. ENDLOOP

62. PTP HOME Vel=100% DEFAULT

Anexo B: Porta herramienta UPS GLASS 2024





Descripción	Cantidad
Herramienta UPS GLASS 2024	1
Mangueras neumáticas de 6 mm	5 unidades
Llave Allen 3mm	1 unidad
Llave Allen 4mm	1 unidad
Llave Allen 8mm	1 unidad
Llave corona # 13	1 unidad
Esponjas porta vidrios	2 unidades
Vidrios de 45 cm X 45 cm	2 unidades
Rollo cables y manguera neumática	1 rollo
Anillo porta herramientas	1 unidad
Pernos M8 x 12 mm y tuercas	6 unidades

Anexo C: Unidad de control KCP2



Anexo D: Código QR: Información digital

Acceso digital mediante código QR para la herramienta implementada para sujeción y transporte de vidrios.

