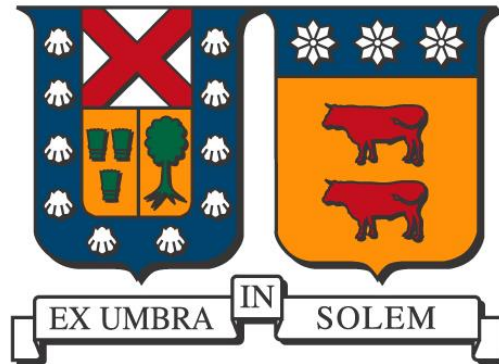


**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**VALPARAÍSO - CHILE**



**“APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS EN SISTEMA DE  
INTEGRACIÓN MODULAR DE HERRAMIENTAS PARA  
ROBOT MANIPULADOR INDUSTRIAL”**

**MARCOS ANTONIO BUSTAMANTE CONTRERAS**

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL MECÁNICO MENCIÓN PRODUCCIÓN**

**PROFESOR GUÍA: DIPL. ING. UDO RHEINSCHMIDT**

**PROFESOR CORREFERENTE: DR. ING. CHRISTOPHER NIKULIN CHANDÍA**

**OCTUBRE-2018**

*“Después de todo tu eres la única muralla, si  
no te saltas, nunca darás un solo paso.”*

– La búsqueda de la estrella, L. A. Spinetta

Material de referencia, su uso no involucra responsabilidad del autor o de la Institución

---

## Agradecimientos

---

En primer lugar, quisiera agradecer a mi familia, en especial a mi madre María Contreras y mi padre Leopoldo Bustamante, gracias mamá, gracias papá, por su apoyo incondicional durante toda mi vida y carrera universitaria, por enseñarme a ser honesto, responsable y a no rendirme nunca, por su perseverancia y compromiso hacia sus hijos, por su amor, y por sobre todo por enseñarme el valor de la educación y la música desde muy pequeño. A mi hermana mayor Pilar, por tener una hermosa familia e inspirarme a través de ella y por sus consejos que también sin duda me hicieron llegar hasta acá. Quisiera extender este agradecimiento a mi prima Gabriela, mis padrinos y por último a mis abuelos, que ya no están aquí, pero que siempre creyeron en sus hijos y les enseñaron parte de lo que me han transmitido.

A mis amigos, a aquellos que conozco desde “siempre”, Guillermo, Pedro, Felipe, Cristóbal, Barbara y Catalina, y a aquellos que conocí en la universidad, Diego, Bruno, Rodrigo, Ignacio, Camila, Eliecer, Javier, Alejandra, Gerardo, Romina, Benjamín, a todos, por ser parte del camino que elegí, por su preocupación durante el periodo de universidad y el desarrollo de este trabajo, por las incontables horas de estudio, por las aventuras y desventuras, pero por sobre todo por los millones de buenos momentos vividos y por vivir.

A Estefanía, amiga, polola y la mujer más fuerte y maravillosa que pude haber encontrado. Agradezco su infinita paciencia y comprensión, su inmenso amor, sus consejos y por hacerme feliz cuando más lo necesitaba.

A mi profesor guía Christopher, por creer en mí, darme la oportunidad de realizar este trabajo y por siempre transmitir su confianza hacia las capacidades de sus estudiantes. Y al profesor Udo por su increíble disposición y simpatía.

A todos quienes podría olvidar, apoyos académicos, profesores, y a todos quienes de una u otra forma me hayan inspirado en esforzarme cada día para lograr mis metas y ser una mejor persona.

También agradezco a la música, que ha estado presente en toda mi vida.

---

## Resumen

---

La presente investigación tiene como objetivo desarrollar una solución mediante software CAD y prototipado rápido para la integración modular de herramientas para un robot manipulador industrial mediante el análisis y estudio de los sistemas actuales de, intercambio de herramientas EOAT, herramientas de fin de brazo robótico y manufactura aditiva para su construcción.

En la metodología para el desarrollo de los modelos y prototipos se consideran las tecnologías estudiadas como sistemas técnicos separando el sistema en subsistemas para su mejor comprensión. Se estudian las alternativas de diseño usando ingeniería inversa por medio de las herramientas de análisis de patentes y benchmarking. A continuación, se identifican las variables de diseño, tanto la interdependencia de los sistemas como también las variables constructivas a considerar. La generación de bosquejos es una herramienta que servirá como contextualización y apoyo visual para esclarecer, explicitar y entender de mejor forma el proceso creativo y el método de toma de decisiones.

Finalmente, la concepción de las propuestas se lleva a cabo mediante la modelación en software CAD y posteriormente se procede a su construcción a través de impresión 3D.

Se concluye la factibilidad de los dispositivos como prototipos funcionales para las herramientas de fijación "*Scribly*" y gripper "*LaGara*" principalmente por las ventajas en cuanto a rendimiento para un robot manipulador industrial, y como potencial modelo de desarrollo e investigativo para el sistema de integración de EOATs intercambiador de herramientas eléctricas "*GiroE*".

---

## Abstract

---

The aim of this investigation is to develop a solution using CAD software and rapid prototyping to the modular integration of tools for a manipulator industrial robot through the analysis and the study of the actual systems of: exchange of tools EOAT, robotic arm end tools and additive manufacturing for its construction.

In the methodology to the develop of the models and prototypes, the technologies studied are considered as technical systems separating the systems in subsystems for its better comprehension. The alternatives of design are studied using inverse engineering through the tools of patents analysis and benchmarking. Then, the design variables are identified, both the systems interdependence and the construction variables to considered. The generation of sketches is a tool that will serve as contextualization and visual support to clarify, explain and understand in a better way the creative process and the decision-making method.

Finally, the conception of the proposals is carried out through the modeling in CAD software and then it is proceeded to its construction through the 3D print.

It concludes the feasibility of the diapositives as functional prototypes for the fixation tools "*Scribly*" and gripper "*LaGara*", principally for the advantage in the performance for a manipulator industrial robot, and as a potential development and investigative model for the integrated system of electric tools of robotic arm end interchanger "*GiroE*".

---

## Glosario

---

EOAT:	herramienta de fin de brazo robótico (End of Arm Tool)
Gripper:	herramienta de manipulación tipo pinza o garra
TC:	Intercambiador o cambiador de herramientas (Tool Changer)
Payload:	Capacidad de carga (peso) de robots y/o EOAT
Repetitividad:	Medida cuantitativa de la precisión de robots y herramientas robóticas
CAD:	Diseño asistido por computador (Computer-Aided Design)
CAM:	Fabricación Asistida por Computadora (Computer – Aided Manufacturing)
FDM:	Modelado por Deposición Fundida (Fused Deposition Modeling)
CAS:	Sistemas asistidos por computador (Computer-Aided System)
CAE:	Ingeniería Asistida por Computadora (Computer – Aided Engineering)
CBDM:	Diseño de manufactura basada en la nube (Cloud-Based Design Manufacturing)
RP:	Prototipado Rápido (Rapid Prototyping)
VP:	Prototipado Virtual (Virtual Prototyping)
SLA :	Estereolitografía (Stereolithography)
FEM :	Método de Elementos Finitos (Finite Element Method)

---

# Índice de contenido

---

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>II</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>IV</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>VIII</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>3 ALCANCE.....</b>	<b>13</b>
<b>4 MARCO DE REFERENCIA .....</b>	<b>14</b>
4.1 AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA INDUSTRIAL.....	14
4.1.1 <i>Automatización Industrial</i> .....	14
4.1.2 <i>Robótica industrial</i> .....	15
4.1.3 <i>Automatización y Robótica Industrial en Chile</i> .....	16
4.1.4 <i>Generalidades sobre Robots manipuladores</i> .....	17
4.2 EFECTOR FINAL ROBÓTICO.....	18
4.2.1 <i>Grippers</i> .....	18
4.2.2 <i>Sistemas de cambio de herramienta</i> .....	22
4.3 INGENIERÍA DE DISEÑO .....	23
4.3.1 <i>Análisis tipo Benchmarking</i> .....	24
4.3.2 <i>Análisis de Patentes</i> .....	25
4.4 SISTEMAS DE MANUFACTURA .....	26
4.5 TECNOLOGÍAS DE PROTOTIPADO RÁPIDO.....	27
4.5.1 <i>Un poco de Historia de la Impresión 3D</i> .....	27
4.5.2 <i>Ventajas</i> .....	28
4.5.3 <i>Aplicaciones y futuro de la impresión 3D</i> .....	30
4.5.4 <i>Rapid Prototyping. Ingeniería y arquitectura</i> .....	31
<b>5 METODOLOGÍA PROPUESTA .....</b>	<b>32</b>
<b>6 CASO APLICADO .....</b>	<b>34</b>
6.1 REQUERIMIENTOS GENERALES .....	34
6.2 CASO DE ESTUDIO.....	35
6.2.1 <i>Análisis del Sistema</i> .....	35
6.3 ESTUDIO COMPARATIVO .....	39
6.3.1 <i>Estudio comparativo Intercambiador de herramientas</i> .....	39
6.3.2 <i>Estudio comparativo herramienta Gripper</i> .....	45
6.3.3 <i>Estudio comparativo herramienta fijación</i> .....	49
6.4 CONSIDERACIONES INICIALES DE DISEÑO: VARIABLES DE SOLUCIÓN, RESTRICCIONES Y CRITERIOS.....	50
6.4.1 <i>Robot KUKA kr6</i> .....	51

6.4.2	<i>Impresora Ultimaker 2+</i> .....	52
6.4.3	<i>Intercambiador de herramientas</i> .....	53
6.4.4	<i>herramienta Gripper</i> .....	53
6.4.5	<i>Herramienta fijación lápiz</i> .....	54
6.4.6	<i>Consideraciones de impresión: mejores prácticas básicas</i> .....	55
6.5	ANÁLISIS DE BOSQUEJOS BASADOS EN DISEÑO CONCEPTUAL.....	57
6.5.1	<i>Intercambiador de Herramientas</i> .....	57
6.5.2	<i>Gripper</i> .....	64
6.5.3	<i>Herramienta Fijacion Lápiz</i> .....	68
6.6	DESARROLLO DE MODELO CAD.....	70
6.7	CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLADO.....	78
6.7.1	<i>Prototipo asistido por computador</i> .....	78
6.7.2	<i>Ensamble de prototipos finales</i> .....	81
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>85</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>87</b>
<b>9</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>89</b>
9.1	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS BRAZO ROBÓTICO KUKA KR6.....	89
9.2	CARACTERÍSTICAS DE MATERIALES PARA IMPRESIÓN 3D.....	94
9.3	DIMENSIONAMIENTO DE SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN Y SUBSISTEMA MOTRIZ DE GRIPPER.....	96
9.4	VERIFICACIÓN PASADORES LADO HERRAMIENTA.....	98
9.5	INFORMACIÓN TÉCNICA ULTIMAKER 2+.....	99
9.6	LISTADO DE COMPONENTES.....	101
9.6.1	<i>Intercambiador de herramientas GiroE</i> .....	101
9.6.2	<i>Gripper paralelo LaGara</i> .....	102
9.6.3	<i>Herramienta de fijación lápiz Scribly</i> .....	102
9.7	COTIZACIONES.....	103
9.8	ESPECIFICACIONES MOTOR STEPPER GRIPPER LAGARA.....	106
9.9	ESPECIFICACIONES CONECTORES ELÉCTRICOS “GIROE”.....	107
9.10	PLANOS “GIROE” CAMBIADOR DE HERRAMIENTAS.....	109
9.11	PLANOS “LAGARA” GRIPPER PARALELO.....	120
9.12	PLANOS “SCRIBLY” HERRAMIENTA FIJACIÓN.....	128

---

## Índice de Tablas

---

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE LA AUTOMATIZACIÓN.....	15
TABLA 2: RESUMEN DE OTROS TIPOS DE GRIPPERS.....	21
TABLA 3: IMAGEN, NÚMERO Y TÍTULO DE LAS PATENTES ENCONTRADAS PARA DISPOSITIVOS DE INTERCAMBIO DE HERRAMIENTA.....	41
TABLA 4: CAMBIADORES DE HERRAMIENTAS EXISTENTES EN EL MERCADO. TABLA DESCRIPTIVA QUE INDICA LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS EXISTENTES EN EL MERCADO, SU IMAGEN Y NOMBRE COMERCIAL.....	44
TABLA 5: IMAGEN, NÚMERO Y TÍTULO DE LAS PATENTES ENCONTRADAS SOBRE GRIPPERS.....	47
TABLA 6: GRIPPERS EXISTENTES EN EL MERCADO. TABLA DESCRIPTIVA QUE INDICA LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS EXISTENTES EN EL MERCADO, SU IMAGEN Y NOMBRE COMERCIAL.....	48
TABLA 7: PATENTES ENCONTRADAS SOBRE HERRAMIENTAS DE FIJACIÓN PARA ELEMENTOS DE DIBUJO O SIMILARES.....	49

TABLA 8: EOATs DE FIJACIÓN EXISTENTES EN EL MERCADO. TABLA DESCRIPTIVA QUE INDICA LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS PRODUCTOS EXISTENTES EN EL MERCADO, SU IMAGEN Y NOMBRE COMERCIAL.....	49
TABLA 9: INFORMACIÓN TÉCNICA ROBOT MANIPULADOR KUKA KR6 .....	51
TABLA 10: PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE IMPRESORA 3D ULTIMAKER 2+ .....	52
TABLA 11: DIMENSIONES Y PESO MÁXIMAS DE LOS OBJETOS A MANIPULAR .....	54
TABLA 12: RESUMEN LÁPICES. SE MUESTRAN LAS DIMENSIONES DE INTERÉS ADEMÁS DE ILUSTRACIONES QUE MUESTRAN LA FORMA PROMEDIO .....	55
TABLA 13: CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y RECOMENDACIONES DE IMPRESIÓN.....	57
TABLA 14: DESARROLLO DE DISEÑO DE INTERCAMBIADOR DE HERRAMIENTAS MEDIANTE ANÁLISIS DE BOCETOS. ....	63
TABLA 15: DESARROLLO DE DISEÑO DE GRIPPER MEDIANTE ANÁLISIS DE BOCETOS .....	67
TABLA 16: DESARROLLO DE DISEÑO DE HERRAMIENTA DE FIJACIÓN MEDIANTE ANÁLISIS DE BOCETOS.....	69
TABLA 17: PASOS DE FUNCIONAMIENTO “GIROE” .....	75
TABLA 18: LISTADO DE PIEZAS IMPRESAS EN 3D, TIEMPO DE PRODUCCIÓN, CANTIDAD DE MATERIAL Y SU COSTO PARA INTERCAMBIADOR DE HERRAMIENTAS “GIROE” . ....	79
TABLA 19: LISTADO DE PIEZAS IMPRESAS EN 3D, TIEMPO DE PRODUCCIÓN, CANTIDAD DE MATERIAL SU COSTO PARA GRIPPER “LAGARA” .....	80
TABLA 20: LISTADO DE PIEZAS IMPRESAS EN 3D, TIEMPO DE PRODUCCIÓN, CANTIDAD DE MATERIAL SU COSTO PARA HERRAMIENTA DE FIJACIÓN “SRIBLY” .....	80
TABLA 21: CARACTERÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE MATERIALES A UTILIZAR EN LA MANUFACTURA DEL PROTOTIPO. INFORMACIÓN DE ENTREGADA POR ULTIMAKER.....	95
TABLA 22: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE POSIBLES MATERIALES A UTILIZAR EN LA MANUFACTURA DEL PROTOTIPO. INFORMACIÓN DE CARTAS TÉCNICAS ENTREGADAS POR ULTIMAKER. ....	95
TABLA 23: PROPIEDADES DE MATERIAL PLA IMPRESO (PARDO, 2016) .....	98
TABLA 24: LISTADO COMPLETO DE PIEZAS Y PARTES PARA INTERCAMBIADOR DE HERRAMIENTAS GIROE. ....	101
TABLA 25: LISTADO COMPLETO COMPONENTES PARA COLUMNA PORTA STAND. ....	101
TABLA 26: LISTADO COMPLETO PARA PIEZAS Y PARTES GRIPPER LAGARA. ....	102
TABLA 27: LISTADO COMPLETO PIEZAS Y PARTES HERRAMIENTA FIJACIÓN LÁPIZ SCRIBLY.....	102

---

## Índice de Ilustraciones

---

ILUSTRACIÓN 1: ROBOT KUKA KR40 PA .....	17
ILUSTRACIÓN 2: SUBSISTEMA DE TRANSMISIÓN POR PIÑÓN-CREMALLERA DE GRIPPER MECÁNICO. FUENTE: WWW.DESTACO.COM.....	20
ILUSTRACIÓN 3: GRIPPER PARALELO MCHC PARALLEL 2 FINGER GRIPPER.....	20
ILUSTRACIÓN 4: GRIPPER ANGULAR MODELO MCHA ANGULAR GRIPPER. FUENTE: MINDMAN Co LTDA. ....	21
ILUSTRACIÓN 5: CAMBIADOR DE HERRAMIENTAS ATI MODELO QC76. A LA IZQUIERDA EL LADO ROBOT Y LA DERECHA EL LADO HERRAMIENTA .....	22
ILUSTRACIÓN 6: EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISEÑO ASISTIDOS POR COMPUTADOR. FUENTE: "CLOUD-BASED DESIGN AND MANUFACTURING: A NEW PARADIGM IN DIGITAL MANUFACTURING AND DESIGN INNOVATION" .....	24
ILUSTRACIÓN 7: EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE MANUFACTURA Y ENFOQUES DE DESARROLLO. FUENTE: "CLOUD-BASED DESIGN AND MANUFACTURING: A NEW PARADIGM IN DIGITAL MANUFACTURING AND DESIGN INNOVATION" .....	26
ILUSTRACIÓN 8: PRIMERA IDEA DE IMPRESORA 3D. PATENTE US4575330, CHARLES HULL. ....	27
ILUSTRACIÓN 9: LOGOTIPOS ACTUALES DE LAS EMPRESAS 3DSYSTEMS Y STARASYS, FUNDADAS POR CHARLES HULL Y SCOTT CRUM, RESPECTIVAMENTE. ....	28
ILUSTRACIÓN 10: ESTRUCTURA INTERNA DE UNA PIEZA IMPRESA EN 3D. FUENTE: WWW.IMPRIMALIA3D.COM.....	29

ILUSTRACIÓN 11: TRIANGULO ESTRATÉGICO DE LA IMPRESIÓN 3D. FUENTE: VAZHN OV, A. (2013). IMPRESIÓN 3D. CÓMO VA A CAMBIAR EL MUNDO. BAIKAL.....	30
ILUSTRACIÓN 12: EJEMPLOS DE PROTOTIPADO RÁPIDO. DE IZQUIERDA A DERECHA, SILUETA HUMANA Y ROTOR DE IMPULSIÓN . FUENTE: LABORATORIO DE PROTOTIPADO, DEPARTAMENTO IDP, UTFSM.....	31
ILUSTRACIÓN 13: METODOLOGÍA DEL TRABAJO.....	33
ILUSTRACIÓN 14: INTERCAMBIADOR DE HERRAMIENTAS COMO SISTEMA TÉCNICO MÍNIMO .....	36
ILUSTRACIÓN 15: SUBSISTEMAS DE UN ATC, REPRESENTADOS SEGÚN PRIMERA LEY TRIZ DE INTEGRACIÓN DE PARTES DE UN SISTEMA TECNOLÓGICO. ....	37
ILUSTRACIÓN 16: GRIPPER MECÁNICO COMO SISTEMA TÉCNICO MÍNIMO .....	37
ILUSTRACIÓN 17: SUBSISTEMAS DE UN GRIPPER MECÁNICO, REPRESENTADOS SEGÚN PRIMERA LEY TRIZ DE INTEGRACIÓN DE PARTES DE UN SISTEMA TECNOLÓGICO.....	38
ILUSTRACIÓN 18: HERRAMIENTA FIJACIÓN COMO SISTEMA TÉCNICO.....	38
ILUSTRACIÓN 19: SUBSISTEMAS DE SISTEMA HERRAMIENTA DE FIJACIÓN DE LÁPIZ.....	39
ILUSTRACIÓN 20: BRAZO ROBÓTICO DE MANIPULACIÓN KUKA KR6.....	51
ILUSTRACIÓN 21: IMPRESORA ULTIMAKER 2+ .....	52
ILUSTRACIÓN 22: PROCESO DE IMPRESIÓN 3D POR DEPOSITACIÓN DE MATERIAL.....	55
ILUSTRACIÓN 23: VISTA EN PERSPECTIVA DE “GIROE” INTERCAMBIADOR DE HERRAMIENTAS ELÉCTRICAS. LADO ROBOT (BLANCO), LADO HERRAMIENTA (ANARANJADO).....	70
ILUSTRACIÓN 24: VISTA ISOMÉTRICA EN EXPLOSIÓN “GIROE” (DESPIECE COMPLETO) .....	71
ILUSTRACIÓN 25: VISTA ISOMÉTRICA LADO HERRAMIENTA. DESDE EL CENTRO HACIA AFUERA: CONECTOR ELÉCTRICO HEMBRA CENTRAL; AGUJEROS INTERFAZ DE ACOPLE HERRAMIENTA /ROBOT; PASADORES DE BLOQUEO DEL SISTEMA. ....	71
ILUSTRACIÓN 26: LADO HERRAMIENTA EN VISTAS SUPERIOR Y LATERALES. EN LA IMAGEN CENTRAL SE APRECIAN LAS ALETAS DE REPOSO A LA DERECHA E IZQUIERDA.....	72
ILUSTRACIÓN 27: VISTA ISOMÉTRICA LADO ROBOT. DEL CENTRO A AFUERA SE DISTINGUE: AL CENTRO, CONECTOR ELÉCTRICO MACHO; AGUJEROS PORTA PERNO INTERFAZ DE ACOPLE HERRAMIENTA /ROBOT; AGUJEROS PASADORES DE BLOQUEO. EN GRIS SE MUESTRA EL DISCO DE BLOQUEO. ....	72
ILUSTRACIÓN 28: LADO ROBOT EN VISTAS INFERIOR Y LATERALES.....	72
ILUSTRACIÓN 29: VISTA ISOMÉTRICA SISTEMA STAND DE INTERCAMBIADOR “GIROE” . ....	73
ILUSTRACIÓN 30: VISTAS FRONTAL Y LATERALES DEL STAND. ....	73
ILUSTRACIÓN 31: VISTA EN PERSPECTIVA DE SISTEMA “GIROE” . SE INCLUYEN: COLUMNA DE SOPORTE PARA EL SISTEMA; STAND; LADO ROBOT; LADO HERRAMIENTA.....	74
ILUSTRACIÓN 32: SE MUESTRA UN MÓDULO O COLUMNA DE SOPORTE CON DOS STAND Y CADA UNO CON SU RESPECTIVA HERRAMIENTA Y LADO HERRAMIENTA EN ESTADO DE REPOSO. ....	74
ILUSTRACIÓN 33: VISTA ISOMÉTRICA GRIPPER “LAGARA” .....	76
ILUSTRACIÓN 34: VISTA FRONTAL (IZQUIERDA) E INFERIOR (DERECHA) GRIPPER “LAGARA”.....	76
ILUSTRACIÓN 35: VISTA ISOMÉTRICA HERRAMIENTA “SCRIBLY” . SE DISTINGUE EN NEGRO (PARTE FRONTAL) EL PERNO DE AJUSTE. ....	77
ILUSTRACIÓN 36: VISTA LATERAL SECCIONADA (IZQUIERDA). VISTA SUPERIOR (DERECHA).....	77
ILUSTRACIÓN 37: PROCESO DE IMPRESIÓN 3D DE PIEZA CARCAZA MOTOR DE LAGARA GRIPPER.....	78
ILUSTRACIÓN 38: PROCESO DE IMPRESIÓN 3D PIEZA LADO ROBOT SUPERIOR GIROE INTERCAMBIADOR DE HERRAMIENTAS. ....	79
ILUSTRACIÓN 39: SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE GRIPPER LAGARA .....	81
ILUSTRACIÓN 40: LADO ROBOT DE INTERCAMBIADOR DE HERRAMIENTAS GIROE. VISTA SUPERIOR E INFERIOR. ....	81
ILUSTRACIÓN 41: LADO HERRAMIENTA DE INTERCAMBIADOR DE HERRAMIENTAS GIROE PORTANDO GRIPPER LAGARA EN POSICIÓN DE REPOSO EN STAND. ....	82
ILUSTRACIÓN 42: STANDS Y COLUMNA PORTA STAND EN ENSAMBLE.....	82
ILUSTRACIÓN 43: VISTA LATERAL DE COLUMNA PORTA STAND PORTANDO CADA UNO, HERRAMIENTA DE FIJACIÓN SCRIBLY (IZQUIERDA) Y GRIPPER LAGARA (DERECHA) RESPECTIVAMENTE.....	83
ILUSTRACIÓN 44: TEST DE PRUEBA DE ERGONOMÍA Y ENSAMBLAJE DE SISTEMA DE BLOQUEO DE INTERCAMBIADOR DE HERRAMIENTAS GIROE.....	83
ILUSTRACIÓN 45: RESULTADOS DE SIMULACIÓN PIEZA LADO HERRAMIENTA. DESPLAZAMIENTO (IZQUIERDA). ESFUERZO VON MISES (DERECHA). ....	98

ILUSTRACIÓN 46: CARRO DE COMPRAS PARA MOTOR DE GRIPPER LAGARA EN OMC-STEPPERONLINE .....	103
ILUSTRACIÓN 47: CARRO DE COMPRAS DE ELEMENTOS DE FIJACIÓN PARA “GIROE”, “LAGARA” Y “SCRIBLY” EN PERNOVAL.....	104
ILUSTRACIÓN 48: CARRO DE COMPRAS DE CONECTORES ELÉCTRICOS PARA INTERCAMBIADOR DE HERRAMIENTAS GIROE .....	104
ILUSTRACIÓN 49: CARRO DE COMPRAS EN OPENBUILDS PARA COMPONENTES DE COLUMNA SOPORTE STAND DE GIROE. .....	105

---

# 1 Introducción

---

El diseño en ingeniería es el proceso de concebir ideas en el desarrollo de la solución de un problema tecnológico, para lo cual usa conocimientos, recursos y productos existentes para satisfacer una necesidad o resolver un problema. En la actualidad la utilización de los ordenadores ha sido una herramienta de gran ayuda para ingenieros y diseñadores en la manufactura, especialmente en el desarrollo de prototipos.

Dos conceptos utilizados en los procesos de fabricación de prototipos son el Rapid Prototyping (RP) y Virtual Prototyping (VP) (C. K. Chua, 1999). El primero se refiere a la manufactura de un modelo físico basado en un modelo computacional sin la necesidad de una plantilla, accesorio o programación de control numérico, el cual, en las últimas décadas, ha potenciado su desarrollo utilizando distintos tipos de materiales en la producción de prototipos y dando variadas técnicas de contracción, acabado superficial y precisión. Esta tecnología, también es mencionada como fabricación por capas (layer manufacturing), por depósito de material (material addition manufacturing), fabricación de formas libres (freeform manufacturing) e impresión 3D (three-dimensional printing). El segundo concepto, se define como el análisis y simulación desde un modelo sólido en CAD como un sustituto del prototipo físico, sin incluir su construcción en un modelo 3D. Esta también se refiere a la ingeniería asistida por computador (Computer Aided Engineering, CAE) o ingeniería de análisis de simulaciones, incluyendo el análisis de elementos finitos (FEM), simulación de fluidos dinámicos computacionales (CFD), simulación mecánica, aplicaciones de realidad virtual, entre otros.

El uso en conjunto de estos dos conceptos esta siendo ampliamente utilizado en la toma de decisiones durante el diseño y fabricación de componentes, pues el RP permite obtener piezas representativas de productos en muy poco tiempo a la vez que la ventaja mas significativa del VP consiste en la capacidad de alterar antes la forma del modelo, a voluntad del diseñador, directamente en formato CAD.

Estas herramientas de prototipado toman fuerte relevancia en el ámbito de la robótica, tecnología ideada en un principio para ahorrar tiempo y esfuerzos en tareas repetitivas y para obtener mayor seguridad y autonomía. Así es como la robótica es hoy en día ampliamente utilizada en todas las áreas de la industria de la manufactura, debido a esta gran expansión y la facilidad de acceso a la tecnología, el prototipado ha cambiado y ha permitido diseñar de manera mucho más sencilla y rápida variados conceptos en los sistemas robóticos. Tal es el caso de la flexibilidad, idea que, tanto en robótica y automatización, como también en la manufactura, tiene como base la concepción de una maquina universal capaz de realizar múltiples tareas, este concepto de maquina universal es el que dio lugar a los robots manipuladores industriales.

El desarrollo de herramientas, accesorios o efectores finales para brazos robóticos es una forma acertada de atender la tendencia a la máxima flexibilidad que buscan tener estos sistemas. Una solución es resolver la problemática de integración de herramientas de fin de brazo robótico por medio de sistemas de cambio de herramientas. Los cambiadores de herramientas robóticos proporcionan robots con la flexibilidad para cambiar automáticamente los efectores terminales y otras mecanizaciones periféricas. Permitir que un solo robot intercambie los efectores

terminales durante el proceso de fabricación o montaje, del mismo modo que un ser humano opera diferentes herramientas, aumenta la flexibilidad del robot. En una variedad de aplicaciones de cambio de herramientas automáticas, el resultado final es una reducción significativa en el tiempo improductivo y costoso del cambio de herramienta.

En la siguiente memoria se buscará investigar la estructura y funcionamiento de los sistemas de integración de EOATs, así como también las herramientas a las que asiste, con el fin de diseñar un prototipo de intercambiador de herramientas propio. Además, se digitalizarán los modelos mediante el uso de software CAD para así materializarlos mediante la utilización de tecnología de RP manufactura aditiva 3D.

---

## **2 Objetivos**

---

### **2.1 Objetivo General**

---

Desarrollar una solución mediante software CAD y prototipado rápido para la integración modular de herramientas EOAT en robot manipulador industrial.

### **2.2 Objetivos Específicos**

---

1. Analizar sistemas de integración de herramientas de fin de brazo robótico y su estructura para la manufactura aditiva.
2. Analizar herramientas de fin de brazo robótico y sistemas de integración de herramientas en cuanto a funcionamiento (principales componentes, controladores eléctricos, motores, etc.), características generales y capacidades.
3. Desarrollar modelos de herramientas a integrar y sistema de integración modular de herramientas.
4. Generar un diseño virtual CAD de los modelos para su manufactura con sistemas de prototipado rápido.
5. Construir los modelos concebidos mediante impresión 3D.

---

## **3 Alcance**

---

En este trabajo se busca investigar la estructura y funcionamiento de los sistemas de integración de herramientas de fin de brazo robótico, así como también las herramientas a las que asiste, con el fin de diseñar un modelo propio que cumpla con los requerimientos de este trabajo. Además, se busca dibujar mediante software CAD los modelos para así materializarlos mediante la utilización de tecnología de manufactura aditiva 3D.

Junto con esto, se busca aplicar una metodología de diseño para lograr concretar el trabajo.

---

## 4 Marco de referencia

---

En este capítulo se analizarán los elementos principales que serán empleados a lo largo de este trabajo. Por lo tanto, se incluyen tanto una visión concerniente al *Estado del Arte*, desde la automatización industrial hasta los conceptos de robótica y la descripción de los dispositivos que se desarrollarán, como también la perspectiva teórica de las herramientas metodológicas de investigación, análisis e ingeniería de diseño.

---

### 4.1 Automatización y Robótica Industrial

---

---

#### 4.1.1 Automatización Industrial

---

Gutiérrez et al (1994) en el trabajo realizado por Córdoba, E. (2006) señala que el concepto de automatización (del griego *autos* que significa “por sí mismo” y *maiomai* que significa “lanzar”) corresponde a la necesidad de minimizar la intervención humana en los procesos de gobierno directo en la producción, vale decir, ahorrar esfuerzo laboral.

Los procedimientos lógicos humanos se encomiendan a máquinas automatizadas especiales, ordenadores, las cuales procesan información mucho más rápido que el hombre, con la ayuda de modelos matemáticos que describen tanto la propia tecnología como la actividad analítica y reguladora humana. Es la presencia de sistemas automáticos de dirección en los procesos tecnológicos que aseguran su optimización sin la intervención directa del hombre. La producción adquiere así el aspecto de un ciclo automático que puede reestructurarse con rapidez y eficiencia (Córdoba, 2006). Esto tanto para reducir la mano de obra como simplificar el trabajo (Bullón Vilchis, 2009).

Desde un punto de vista empresarial e industrial, “la automatización industrial, considerada como el manejo de la información en las empresas para la toma de decisiones en tiempo real, incorpora la informática y el control automatizado para la ejecución autónoma y de forma óptima de procesos diseñados según criterios de ingeniería y en consonancia con los planes de la dirección empresarial” (Colciencias, 2005).

Córdoba también cita en su trabajo a Merriam Webster, quien sugiere una definición de automatización diferente: (la automatización es un) “*método de controlar automáticamente la operación de un aparato -artefacto, proceso o sistema integrado por diversos componentes a través de medios mecatrónicos- electrónicos y computacionales que sustituyen los órganos sensitivos y la capacidad de decisión del ser humano*” (ST Derby, 2005, pp. 8).

Si bien la definición de automatización toma importancia, también se vuelve relevante establecer características que este concepto tiene. Es por eso que Ruiz & Molina (2010) proponen que algunos de los elementos que un proceso automatizado debe tener. Estos se describen en la *Tabla 1* a continuación:

CARACTERÍSTICA	DEFINICIÓN
Robustez de los elementos a instalar	Estar adaptados y/o protegidos para interactuar con el medio en el que se encontraran
Autonomía	Poder funcionar independientemente
Mantenimiento sencillo y económico	Esto para garantizar la estabilidad de las funcionalidades sin necesidades de mantenimientos por parte de la empresa instaladora
Escalabilidad	Tener la adaptabilidad suficiente para adaptarse a los cambios que sufre el entorno en el que se ve inserto.
Uso de estándares comerciales	La utilización de elementos provenientes del comercio existente se vuelve relevante dado el hecho que, si ocurre alguna falla de estos, su reemplazo es fácil e impide la dependencia absoluta de un único fabricante.

Tabla 1: Características de la automatización

Por medio de estas características es que surgen diversos beneficios de la utilización de la automatización de procesos en las diversas industrias que lo implementan. Brown et al (1989) señala que los más frecuentes beneficios hacen referencia a la necesidad de tener un mayor control del proceso de producción con el fin de asegurar mejor calidad y regularidad del trabajo, así como perfeccionar los sistemas de control de calidad. También establece que la utilización de la automatización en los procesos reduce los costos no salariales, gracias al ahorro de mermas, herramientas o inventarios, reduce costos salariales, garantiza una seguridad industrial como también aprovecha la flexibilidad propia que esta tiene. Por defecto, esto implica que se requiere mayor precisión, confiabilidad y homogeneidad.

---

#### 4.1.2 Robótica industrial

---

De la mano de la automatización, el impulso definitivo al nacimiento de la robótica tal y como se le conoce en la actualidad vino dado por las limitaciones de la automatización clásica, basada en el diseño de máquinas especiales que optimizan la fabricación en serie de un solo producto. Estas, limitaciones son: elevado coste inicial, solo justificable en el caso de producción de grandes series del mismo producto, y difícil adaptación a cambios en el esquema productivo. De este modo a mediados del siglo XX, surge la automatización flexible, en la que se persigue obtener la maquina universal como contraposición a la maquina especial. La máquina universal deberá ser de bajo coste, debido a que no se trata de una maquina a medida, y fácil de adaptar a cualquier proceso de fabricación. Este concepto de maquina universal es el que dio lugar a los robots industriales actuales. (Rentería & Rivas, 2000)

Hoy en día no existe una única definición formal de lo que es un robot industrial. La existencia de múltiples definiciones, muchas de ellas diferenciadas en ligeros matices, resulta muchas veces confuso, en particular a la hora de estudiar los mercados. Esto se debe a que, en Japón, por ejemplo, se considera una definición amplia de robot industrial, englobando todo tipo de dispositivos manipuladores, mientras que en el mercado occidental el robot industrial tiene una acepción más restrictiva en cuanto a las capacidades de control del manipulador. (Rentería & Rivas, 2000)

Dentro de las muchas definiciones formales para robot industrial propuestas o establecidas por diferentes organizaciones internacionales relacionadas con la robótica, La ISO (International Standards Organization) ha adoptado con ligeras modificaciones la definición de la RIA (Robotics Industrial Association). Según ISO, un robot industrial es:

*Un manipulador multifuncional reprogramable con varios grados de libertad, capaz de manipular cargas, piezas, herramientas o dispositivos especiales según trayectorias variables programadas para realizar tareas diversas.*

Otra de las definiciones más aceptadas es la dada por la IFR (International Federation of Robotics), según la cual:

*Por robot industrial de manipulación se entiende a una máquina de manipulación automática programable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la realización de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, ya sea en posición fija o en movimiento.*

La idea de robot como maquina universal, sin embargo, ha ido quedando atrás, debido a las cada vez más altas exigencias requeridas en cuanto a productividad y alta calidad. Actualmente, la tendencia es hacia el diseño de robots exclusivos para cada aplicación concreta.

En líneas generales, el avance de los distintos aspectos de la robótica está siendo más lento de lo que se preveía, esto debido en parte al hecho de que la robótica es un área interdisciplinaria, por lo que sus avances están suspendidos a avances en disciplinas tales como el diseño mecánico, la electrónica, el control, el desarrollo de software, la visión artificial, el sistema sensorial y los nuevos materiales, entre otros. (Rentería & Rivas, 2000)

---

### **4.1.3 Automatización y Robótica Industrial en Chile**

---

En la actualidad, en la industria chilena se está dando un proceso de automatización de los procesos productivos, incipiente pero creciente. Su objetivo es mejorar la eficiencia económica, ahorrando la contratación de mano de obra, a cambio de pequeñas inversiones (Vilaboa, 2004).

Vilaboa (2004) establece en su trabajo que, según los especialistas en desarrollo económico, Chile avanza desde una etapa exportadora primaria, en que se venden materias primas con un bajo valor agregado, hacia una fase exportadora secundaria, en que se aumenta el valor agregado de la producción. Esto último exige la creación de industrias y el desarrollo de nuevas tecnologías, para la creación de nuevos productos y de nuevos procesos.

Debe considerarse que, en el contexto de una economía competitiva, las empresas están obligadas a ser eficientes. Aquellas corporaciones que no tomen las decisiones adecuadas o no se actualicen frente a los cambios que se generan en el entorno, están condenadas a perder rentabilidad y desaparecer. De este modo, la automatización de los procesos de producción constituye una necesidad ineludible, para las empresas chilenas.

Con la excepción de unas pocas grandes corporaciones, las empresas chilenas presentan un deficiente manejo de la innovación tecnológica. Esta es una apreciación compartida por todos los especialistas, tanto del sector productivo como académicos. Los proyectos de automatización requieren proveerse de nuevas tecnologías y su adquisición en el extranjero tiene costos muy altos, y puede hacer no rentables a muchas iniciativas. Alternativamente, su desarrollo en Chile exige incursionar en actividades de Investigación y Desarrollo, para las cuales las empresas no están preparadas. Esta última opción, sin embargo, permitiría acceder a ahorros sustanciales en las inversiones para construcción de equipos y software, y en los gastos posteriores a la puesta en marcha. La posibilidad de un desarrollo nacional de las tecnologías que los proyectos de automatización necesitan, resulta totalmente válida, si las empresas modifican algunas prácticas de gestión a las que están acostumbradas.

---

#### 4.1.4 Generalidades sobre Robots manipuladores

---

Un robot industrial, como el de la ilustración 1, es un manipulador de uso general controlado generalmente por computadora que consiste en algunos elementos rígidos conectados en serie mediante articulaciones prismáticas o de revolución. El inicio de la cadena está fijo a una base soporte, mientras el extremo final está libre y equipado con una herramienta para manipular objetos o realizar otras tareas. El movimiento de las articulaciones resulta en, o produce, un movimiento relativo de los distintos elementos y por lo tanto en el desplazamiento de la herramienta o efector final.



Ilustración 1: Robot Kuka KR40 PA

Mecánicamente, un robot se compone de un brazo, una muñeca, más una herramienta. Se diseña para trabajar una pieza localizada dentro de su volumen de trabajo. El volumen de trabajo es el rango de influencia de un robot compuesta por el conjunto de puntos que el brazo puede alcanzar.

Los movimientos posibles para estos robots dependen de los grados de libertad que posean. El grado de libertad es el número de desplazamientos longitudinales o rotacionales independientes que puede tener un mecanismo. La cantidad de grados de libertad, y por lo tanto la complejidad del robot, dependen de la o las tareas que se desean realizar con él.

La mayoría de los robots industriales de la actualidad, aunque están controlados por mini y microcomputadores, son básicamente simples máquinas posicionales. Ejecutan una tarea dada mediante la grabación de secuencias preprogramadas de movimiento previamente enseñadas por el usuario. Más aún, la mayoría de estos robots industriales poseen pocos o ningún sensor externo para poder obtener información de su entorno de trabajo. Como resultado de esto, los robots se utilizan principalmente en tareas repetitivas simples.

En la actualidad se ve a la robótica como un campo de trabajo muy amplio desarrollando nuevas tecnologías en una serie de áreas interdisciplinarias como la cinemática, la dinámica, la planificación de sistemas, el control, sensores, lenguajes de programación e inteligencia artificial (Apostolovich, 2009).

---

## **4.2 Efecto Final Robótico**

---

Por elemento terminal, efecto final, o EOAT (del inglés End of Arm Tool), se entiende cualquier dispositivo que, colocado en el extremo del robot, permite a éste realizar una tarea concreta. Los elementos terminales se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Grippers (garras), para la sujeción y manipulación de piezas.
- Herramientas, para la realización de operaciones sobre piezas. Generalmente se trata de herramientas manuales adaptadas para su utilización por robots.

También es habitual encontrar robots que llevan como elemento terminal algún dispositivo sensor, como puede ser un palpador o una cámara de visión artificial. (Rentería & Rivas, 2000)

En los siguientes apartados se profundizará sobre las características de los EOAT más comunes y afines a este trabajo.

---

### **4.2.1 Grippers**

---

Gran parte de las tareas de los robots industriales está relacionada con la manipulación de piezas, es decir, el trabajo del robot consiste en recoger una pieza, trasladarla y depositarla en otro lugar. Tal es el caso de los robots de prensas, de los robots de empaquetado y de los robots de paletizado, entre otros.

Por tanto, dada la gran diversidad de piezas, máquinas y ambientes en los que se necesita dotar al robot de una garra, existe una gran variedad de estas.

Los grippers pueden clasificarse atendiendo a la naturaleza de su fuerza de sujeción, como:

- Grippers mecánicos
- Grippers de ventosas
- Grippers magnéticos
- Grippers especiales o Híbridos

A continuación, se profundizará en el funcionamiento de los grippers mecánicos, afín a este trabajo, mientras que para los otros tipos se detalla una tabla con detalles y cualidades importantes para cada uno.

Los grippers o garras mecánicas son los elementos terminales más usuales para la sujeción de piezas. En las garras mecánicas se distinguen básicamente dos componentes: el mecanismo de actuación y los elementos que entran en contacto con la pieza, que se denominan dedos (normalmente dos o tres). Puesto que se trata, generalmente, de dedos no articulados, las garras mecánicas son elementos de simple construcción, en los que el mecanismo de actuación facilita únicamente el movimiento de apertura-cierre.

Dentro de esta misma familia de grippers mecánicos se puede distinguir entre las que sujetan por rozamiento y las que sujetan por enganche. En las primeras, la fuerza que se ejerce sobre la pieza debe ser tal que sea suficiente como para sujetar la pieza por rozamiento, pero sin llegar a deformarla o dañarla. En el segundo grupo, se dota a los dedos con formas y resaltes que sirven para sujetar la pieza. Generalmente la sujeción por enganche se utiliza para la manipulación de piezas delicadas, tales como tubos de cristal, cartones, etc.

Una selección adecuada de la garra requiere realizar un estudio de las piezas que se manipulará y de las aceleraciones que involucrarán los movimientos del robot. Puesto que el segundo análisis resulta difícil de realizar a priori, de manera general se aplica un factor de seguridad sobre la fuerza mínima de apriete. (Rentería & Rivas, 2000)

En función del mecanismo de actuación se distinguen: garras neumáticas, eléctricas e hidráulicas.

Las garras de accionamiento neumático utilizan como elemento de accionamiento, en la mayoría de los casos, un cilindro de simple o doble efecto. La fuerza de apriete es controlada por la presión de aire del cilindro y la dimensión de este. El control de la apertura-cierre de la garra se realiza mediante una electroválvula conectada a canales de salida digitales del robot. Este tipo de garras son de dos posiciones, abierta o cerrada, no siendo posible regular el cierre de las pinzas o dedos.

Las garras neumáticas son las más extendidas, debido a su gran velocidad, bajo coste y reducido peso. En los robots comerciales es frecuente poder llevar conducción de aire por el interior del brazo del robot.

Las garras de accionamiento eléctrico utilizan como sistemas de actuación electroimanes o motores eléctricos. En el caso de electroimanes, el mecanismo es análogo al cilindro neumático, utilizando como energía la eléctrica, en sustitución del aire a presión. Como ventaja frente a las garras neumáticas, las garras acondicionadas mediante motores eléctricos permiten la regulación del recorrido de los dedos controlando el movimiento de los motores. Sin embargo, las garras eléctricas presentan una mala relación peso y tampoco resultan adecuadas para realizar trabajos en ambientes explosivos.

Unos de los elementos importantes en la construcción de la garra es el sistema de transmisión que provoca el movimiento de los dedos. El diseño de este sistema determina el rendimiento de la fuerza del actuador e influye en la robustez, la repetitividad de la garra e incluso en el tiempo de cierre-apertura de la garra. Algunos de los sistemas más usados son: piñón cremallera (Ilustración 2), palanca acodada o tornillo.

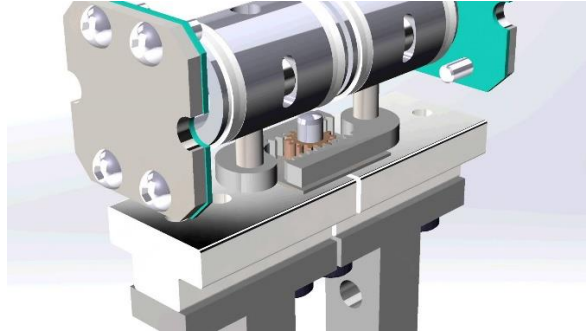


Ilustración 2: Subsistema de transmisión por piñón-cremallera de gripper mecánico.  
Fuente: [www.destaco.com](http://www.destaco.com)

Otro de los aspectos determinados por la transición entre el actuador y los dedos es el tipo de movimiento de los dedos. Se distinguen dos tipos: pinzas angulares o pivotantes (Ilustración 4), en las que la apertura y cierre se producen por giro, y pinzas paralelas (Ilustración 3), donde la apertura y cierre se producen por desplazamiento paralelo de los dedos.



Ilustración 3: Gripper paralelo MCHC parallel 2 finger gripper

Las pinzas angulares o dedos pivotantes resultan más baratas que las pinzas de dedos paralelos y generalmente se usan en aplicaciones en las que no se requiere gran precisión. Las pinzas de dedos paralelos se dividen en asincrónicas y sincrónicas, siendo estas últimas las que se usan con más frecuencia. En las sincrónicas, ambos dedos se mueven simultáneamente hasta cerrarse

en el mismo punto, mientras que, en las asíncronas, los dedos se mueven de manera independiente, lo que permite recoger piezas sin la restricción de que se encuentren siempre exactamente en la misma posición.



Ilustración 4: Gripper angular modelo MCHA angular gripper. Fuente: mindman Co Ltda.

Las garras disponibles comercialmente permiten seleccionar de manera independiente la garra del tipo de dedos, aunque en muchos casos será necesario diseñarlos específicamente para cada aplicación. El tipo de pinza (de dedos pivotantes o paralelos) y un estudio de geometría de las piezas a manipular determinará la forma constructiva de estos elementos. De hecho, en aplicaciones en las que el robot tenga que manipular grandes variedades de piezas, un adecuado diseño de la garra puede permitir utilizar una única garra para todas ellas.

Por último, también se da algunas características y una breve descripción de los Grippers con otras tecnologías en la tabla a continuación:

Clasificación	Descripción
Grippers magnéticos	Las garras magnéticas están formadas por uno o varios electroimanes, o bien imanes permanentes que no requieren alimentación eléctrica exterior para la sujeción de la pieza, pero hay que dotar a la garra de un expulsor mecánico.
Grippers de Ventosas (o vacío)	Esta herramienta se caracteriza por poseer ventosas que al utilizar el vacío permite mover distintos objetos. Estas ventosas pueden estar en variedad de posiciones con respecto al objeto que se movilizará. Para la utilización de esta herramienta, el objeto a mover debe poseer ciertas características, las cuales deben ser: con envoltorio o cuerpo rígido y de una sola pieza o en caso de tener más de una pieza, estas deben estar firmemente aseguradas.
Grippers Especiales	Esta herramienta se caracteriza por combinar características de los Grippers anteriormente descritos. Este tipo de herramientas permite movilizar una mayor variedad de objetos con variadas características de forma, peso, rugosidad, etc. Comúnmente se diseñan a medida para operaciones específicas cuando así se requiere.

Tabla 2: Resumen de otros tipos de Grippers

---

## 4.2.2 Sistemas de cambio de herramienta

---

La alternativa tecnológica a la integración de herramientas es el uso de herramientas múltiples por medio de los sistemas (también considerado EOAT) de cambio automático de herramienta, también conocidos como Intercambiador de herramientas o Cambiadores de herramientas (*Tool Changers* o su sigla *TC*).

Un sistema intercambiador de herramientas consta de dos componentes: un Lado robot (*Tool*), o Maestro (*Master*), que está unido al brazo robótico; una pieza del lado de la herramienta o Lado Herramienta, que está unida al efector final; y una estación (Stand) o soportes donde se disponen las distintas herramientas mientras no están siendo utilizadas. Durante un cambio de herramienta, ambos componentes se acoplan automática o manualmente y toma solo unos segundos.



Ilustración 5: cambiador de herramientas ATI modelo QC76. A la izquierda el lado robot y la derecha el lado herramienta

En el procedimiento para el cambio de garra el robot debe acoplar con precisión ambas partes del intercambiador, encajando las ranuras del *Lado robot* en el *Lado herramienta*.

Los sistemas *TC* llevan incorporadas las conexiones rápidas tanto de transmisión neumática, hidráulica o eléctrica que sean necesarias para el funcionamiento del EOAT.

Los inconvenientes de estos dispositivos se centran en la operación de cambio, operación delicada, que requiere gran precisión, que además podría consumir tiempo excesivo. Por otra parte, presentan ventajas importantes como:

- **Flexibilidad.** Posibilidad de utilizar numerosas herramientas en una única máquina.
- **Máxima utilización.** Los tiempos de inactividad improductivos se reducen al asignar tareas múltiples a un único robot manipulador.
- **Mantenibilidad.** Se facilitan las tareas y se reducen los tiempos del mantenimiento.
- **Eficiencia.** Se minimizan los tiempos de cambio de herramienta en operación.

---

## 4.3 Ingeniería de Diseño

---

La ingeniería de diseño es un proceso social y técnico en el cual los productos se diseñan por equipos de personas (Dazhong Wu, 2015). Durante el transcurso del tiempo, se han ido desarrollando distintos conceptos y métodos para lograr estandarizar el proceso de diseño de productos mediante etapas o fases.

Sin volver a los inicios, uno de los modelos más conocidos es el propuesto por Pahl y Beitz (2007), en el cual se describe el proceso de diseño de un producto en cuatro etapas: (1) *Planificación del producto y clarificación de tareas*, (2) *diseño conceptual*, (3) *realización del diseño*, y (4) *diseño en detalle*. En las dos primeras, se recopila la información acerca de los requerimientos que deben ser considerados en la solución; se establecen las estructuras de las funciones; se buscan los principios de solución adecuados y se combinan estos elementos con diferentes conceptos. En los siguientes, partiendo del concepto, el ingeniero determina el diseño y las formas para crear el producto de acuerdo a las consideraciones técnicas y económicas, y se definen formas, dimensiones y propiedades de la superficie de todas las piezas individuales, materiales específicos, viabilidad técnica y económica, además de planos y otros documentos de producción.

Este modelo es ajustado posteriormente por Ulrich y Eppinger (1995) que detallan aún más el proceso de diseño descrito por Pahl y Beitz, incorporando etapas de testeo de prototipos, refinamiento e incremento de producción (Dazhong Wu, 2015).

Actualmente, ingenieros de distintas industrias y áreas de la ciencia utilizan TRIZ para la solución de problemas de inventiva en el diseño de productos, el cual proviene de la información empírica del desarrollo de patentes. Genrick Altshuller analizó cientos de patentes a nivel mundial desde los principales campos de la ingeniería, estudiando las soluciones más efectivas a los problemas. Con este trabajo, provee del primer entendimiento de las tendencias o patrones de evolución de los sistemas técnicos, marcando el inicio para el desarrollo de aproximaciones analíticas al resolver problemas de inventiva. Más tarde, se convierte en una fundación TRIZ con su teoría para resolver problemas de inventiva, utilizando este axioma: "*La evolución de todo sistema técnico es gobernado por leyes objetivas*", (Langevin, 2013).

Estas leyes revelan que, durante la evolución de un sistema técnico, las mejoras de alguna parte del sistema que tiene ya alcanzada su cumbre de características funcionales, mostrará un conflicto con otra parte y se dirigirá a una eventual mejora de las partes menos evolucionadas. Este continuo proceso de "auto nutrido" empuja al sistema a estar cada vez más cerca de su estado ideal. El entendimiento de este proceso de evolución permite prever las tendencias futuras en el desarrollo de un sistema técnico.

Con el paso de 40 años, TRIZ ha desarrollado un conjunto de herramientas prácticas para inventar y resolver problemas técnicos de distintas complejidades. Hoy, se pueden identificar varias herramientas básicas TRIZ tan bien como otros métodos y técnicas que se combinan para compensar lo que se conoce como Innovación Sistemática (Langevin, 2013).

Cabe destacar que, junto con el progreso en los procesos de diseño, también se ha desarrollado mayor tecnología para facilitar los sistemas asistidos por computador (CAS, "Computed-Aided Systems") que ayudan a diseñadores en la creación, análisis y optimización de productos. Desde los años 60's, los ingenieros han usado las herramientas de diseño asistido por computador

(CAD, "Computer-Aided Design"): desde SKETCHPAD, desarrollado en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) cerca del año 1960, hasta los últimos avances tecnológicos en esta materia, frecuentemente referidos como diseños basados en la nube (CBD, "Cloud-Based Design"), que emergen a comienzos del año 2010, creados en base a: las características de computación en la nube, virtualización, tenencia múltiple, acceso ubicuo, software como un servicio, pago por uso de un modelo de negocios, y pronto teniendo el potencial de volverse en un juego de intercambio para la distribución y diseño colaborativo de las siguientes generaciones (Dazhong Wu, 2015). En la imagen a continuación se muestra un resumen de las características en la evolución de los sistemas de diseño CAS.

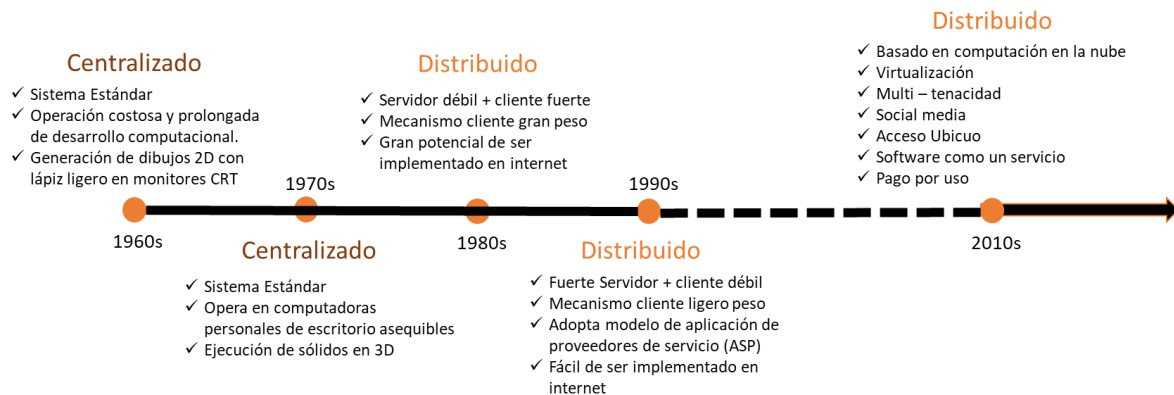


Ilustración 6: Evolución de los sistemas de diseño asistidos por computador. Fuente: "Cloud-based design and manufacturing: A new paradigm in digital manufacturing and design innovation".

### 4.3.1 Análisis tipo Benchmarking

Una herramienta para el análisis de sistemas es la metodología del benchmarking. Este permite entender cuáles son los argumentos que llevan a la realización de una propuesta de solución final, entendiendo las funciones principales, cómo se desempeñan, y los objetivos que cumple dentro del proceso donde se desenvuelve.

El benchmarking es comúnmente utilizado por las compañías para descubrir y/o definir los diferentes factores que pueden influir en la rentabilidad de los diferentes actores en diversas industrias o mercados, esto, midiéndose constantemente con los líderes de la industria y los competidores más fuertes (Camp, 1994). De los objetivos principales del benchmarking, la identificación de oportunidades y parámetros para la promoción de futuras estrategias y modelos de negocios se vuelve el principal de éste (Watson, 1993).

El benchmarking se puede clasificar según su naturaleza, propósito y contexto (Fong, 1998). A partir de este último es que el contexto se puede analizar como proceso funcional, rendimiento o estratégico. La clasificación por naturaleza busca diferenciar las distintas razones para entregar un análisis de tipo benchmarking. Estos análisis pueden ser internos (dentro de los

propios sistemas y procesos de una empresa), competitivo (comparación directa con la competencia), industrial (comparación con empresas/compañías de la misma industria), genérico (comparación más allá de las barreras de la industria) y global (comparación con una empresa según su localización geográfica). Este benchmarking también puede ser un trabajo competitivo como colaborativo, y dependiendo del enfoque es que se desarrollan estrategias para competir dentro de una industria, así como como la colaboración para el desarrollo del mercado dentro de una misma industria. (Fong, 1998)

Así, según el tipo de análisis de benchmarking que se realice es que cada uno de estos enfoques entregará diferentes resultados para el desarrollo de nuevas oportunidades, estrategias y modelos de negocios. Sin embargo, lo que tienen en común es la entrega de fortalezas y debilidades como el desarrollo de oportunidades.

---

### 4.3.2 Análisis de Patentes

---

Para la realización del estudio del estado del arte de un producto o herramienta de una industria, el estudio de patentes toma gran relevancia, ya que permite entender qué es lo que existe y cuáles son las características que un producto en particular tiene, por otro lado, permite entender cómo ha cambiado la tecnología en el tiempo, entenderlos como referencias e incluso permite generar un análisis competitivo. Para ello se utiliza la estrategia de la vigilancia tecnológica. (Nikulin, Graziosi, Cascini, & Stegmaier, 2013)

La “Vigilancia Tecnológica”, es una estrategia donde se utilizan distintas plataformas y motores de búsqueda para encontrar patentes registradas a nivel local (nacional) y global (internacional). Para ello se utilizan las plataformas disponibles en la world wide web, como lo son: a nivel local, el Instituto Nacional de Propiedad Industrial (<http://www.inapi.cl>); a nivel global, los buscadores Search Carrot (<http://search.carrot2.org>), Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (<http://www.wipo.int/portal/es/>) y también las plataforma indexadas de Google, Google Scholar (<https://scholar.google.cl>) y Google patents (<https://patents.google.com>). Para la utilización de estas plataformas se utilizaron tanto palabras claves en español como en inglés, con el fin de tener un mayor alcance en las búsquedas de posibles patentes existentes. (2013)

Posterior a esto, se realiza la comparación y clasificación de características básicas encontradas en las distintas patentes. Así, para realizar un análisis adecuado se vuelve necesario complementar el estudio de patentes con el análisis Benchmarking de los productos encontrados.

Tanto la sección anterior como esta, permiten entregar información para la detección de oportunidades, fortalezas y debilidades de la industria como también parámetros de desarrollos de distintos productos, pero para esto último se vuelve necesario definir requerimientos, los cuales se introducirán posteriormente en la etapa 2 de aplicación de la metodología a proponer.

## 4.4 Sistemas de Manufactura

Desde los primeros trabajos de manufactura en las fábricas, se han tenido que idear sistemas que optimicen los procesos de producción para lograr los objetivos con las menores fallas posibles, de una manera eficiente y eficaz, y que permita desarrollar el mejor modelo de negocios. En el tiempo, estos han evolucionado cada vez más, cambiando o mejorando algunos objetivos, como también, agregando nueva tecnología a estos.

En la investigación de esta evolución, Dazhong Wu (2015), muestra un resumen de los paradigmas en la evolución de la manufactura en las líneas de ensamblaje (Ver “Ilustración 7”), incluyendo los sistemas de producción de Toyota (Toyota production systems, TPSs), los de manufactura flexible (Flexible manufacturing systems FMSs), de manufactura reconfigurable (Reconfigurable manufacturing systems, RMSs), los de manufactura basados en agentes y web, finalizando, con manufactura basada en la nube (Cloud Based Manufacturing, CBM), mostrando las configuraciones y características de cada uno de estos.

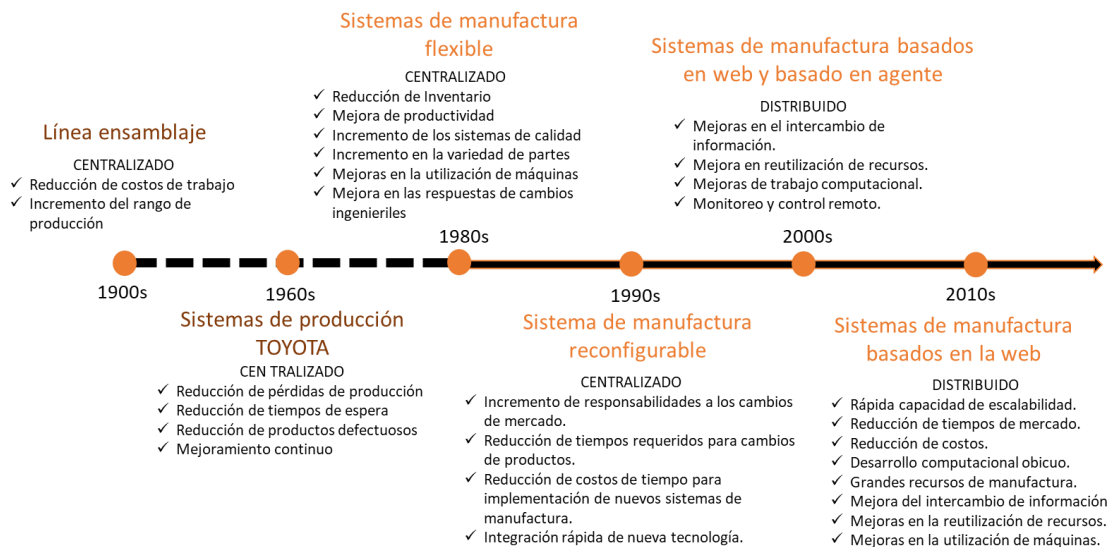


Ilustración 7: Evolución de los sistemas de manufactura y enfoques de desarrollo. Fuente: "Cloud-based design and manufacturing: A new paradigm in digital manufacturing and design innovation".

Los estados previos de los sistemas de manufactura convocaron en una categoría de centralizada con cambios significantes en las herramientas de máquinas, layout de plantas y modelos de negocios. Con el desarrollo de internet, los sistemas de manufactura distribuida se han ido adoptando cada vez más en las industrias. Dos de los mayores enfoques son los basados en web y agente, que usan la arquitectura cliente-servicio con internet para proveer una plataforma de ligero peso a equipos de trabajo dispersos geográficamente, con acceso y colaboración de información relacionada con la manufactura vía navegadores web (Fuh JY, 2005). Igualmente, con el incremento estructural y complejidad funcional de los sistemas de manufactura basados en la web, los mismos, basados en los agentes, apuntan a mejorar la comunicación y actuación del uso de agentes (Shen W, 2006). Estos agentes (por ejemplo,

celdas de manufactura, herramientas de máquinas, y robots), exhiben autonomía y comportamiento inteligente en tareas como buscar, razonar, y aprender. Por ejemplo, un agente es un solucionador de problemas independiente capaz de tomar decisiones para interactuar con otros agentes y su entorno (Monostori L, 2006).

---

## 4.5 Tecnologías de prototipado rápido

---

### 4.5.1 Un poco de Historia de la Impresión 3D

---

Los inicios de la impresión 3D se remontan a 1984 (Vazhnov, 2013), cuando Charles Hull, un inventor destacado en el campo de la óptica iónica, estuvo experimentando con ciertas resinas líquidas que se solidificaban con la exposición a la luz ultravioleta.

De este modo, Hull se dio cuenta que, con un haz de luz láser, uno puede solidificar ciertas partes de la resina, formando una película en la que las partes sólidas representan un corte transversal de un objeto tridimensional. Así que, controlando el movimiento del láser mediante una computadora, Hull desarrolló un sistema que dibujaba el objeto capa por capa en una batea de resina líquida, la cual iba bajando poco a poco cuando cada capa estaba solidificada.

En 1986, el inventor obtuvo la patente de su nuevo proceso, al que llamó estereolitografía y posteriormente fundó la empresa 3DSystems, que hoy en día está entre las líderes mundiales del mercado de impresoras 3D. A continuación, en la ilustración 8, se muestra una figura sacada de la patente de la primera impresora 3D de Charles Hull. (Fernandez, 2016)

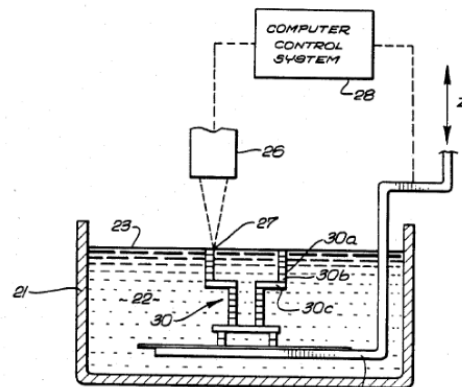


Ilustración 8: primera idea de impresora 3d. Patente US4575330, Charles Hull.

Posteriormente, entre 1988 y 1990 surgieron dos nuevas tecnologías de impresión (Historia de las impresoras 3D, 2016), una basada en la deposición capa a capa de material fundido (*FDM*) y la otra basada en la impresión por láser (*SLS*), que se detallarán más adelante. Ese mismo año Scott Crum, creador de la tecnología *FDM*, estableció *Stratasys*, otra empresa situada en lo más alto en cuanto a impresión en 3D.



Ilustración 9: Logotipos actuales de las empresas 3DSystems y Starasys, fundadas por Charles Hull y Scott Crum, respectivamente.

Poco a poco han ido surgiendo nuevas tecnologías de impresión, que se detallaran más adelante, nuevos materiales con los que imprimir y, por lo tanto, nuevas empresas que intentan buscar su sitio en el mercado. Pero en el fondo, todas comparten el mismo principio, construyen productos capa por capa usando distintos procesos de adición de material. Por eso, el nombre técnico para la impresión 3D es Tecnología de Manufactura Aditiva. (Fernandez, 2016)

---

#### 4.5.2 Ventajas

---

La razón de por qué la impresión 3D tiene tanto potencial, es porque ofrece una serie de ventajas (Kurman, 2015) que los otros tipos de tecnología de fabricación les es imposible ofrecer. A continuación, se ha realizado un listado con las ventajas más relevantes que permite la manufactura aditiva. (Fernandez, 2016)

- **La complejidad de fabricación no eleva el coste.** Mediante la impresión 3D, a diferencia del resto de procesos de fabricación tradicional, para fabricar una forma compleja y ornamentada no hace falta más tiempo, habilidad o coste que para imprimir un simple bloque del mismo tamaño.
- **Control sobre la estructura interna de los objetos.** La fabricación aditiva permite construir la estructura interior de los objetos de una forma mucho más optimizada. Por ejemplo, en lugar de un interior sólido, un objeto puede tener en su interior una grilla fina de material calculada por el software, con el fin de poner precisamente la cantidad de material necesaria para la rigidez deseada. Esta libertad de diseñar el interior de los objetos según su función permite un ahorro en el uso de insumos.



Ilustración 10: estructura interna de una pieza impresa en 3D. Fuente: [www.imprimalia3d.com](http://www.imprimalia3d.com)

- **La versatilidad de las impresoras 3D. Personalización sin límites.** Una sola impresora 3D es capaz de crear innumerables formas diferentes. En cambio, las máquinas de fabricación tradicional son mucho menos versátiles y el espectro de formas que pueden crear es limitado. Por lo tanto, la impresión 3D evita el sobrecoste y el tiempo que conlleva la formación de los operadores en las máquinas tradicionales. Así que, para crear nuevas formas en una impresora 3D, sólo se necesita un diseño digital diferente y un lote nuevo de materia prima, pero no se requiere ningún cambio en el hardware. Por lo tanto, las impresoras 3D son ideales para la producción que exige un alto grado de personalización, como, por ejemplo, coronas odontológicas o las prótesis auditivas, donde la forma del producto tiene que ser precisamente ajustada para cada usuario.
- **Producción de piezas ya ensambladas.** Al crear los objetos por capas, las impresoras 3D tienen la capacidad de crear las piezas completas, sin necesidad de un posterior ensamblaje. Actualmente, se realizan este tipo de impresiones para piezas de un único material, ya que las impresoras que pueden imprimir con varios materiales a la vez tienen un coste muy elevado. Por lo tanto, cuando esta tecnología se desarrolle, se disminuirá el precio de la fabricación del producto ya que acortaría las cadenas de suministro y ahorraría en mano de obra y transporte.
- **Elaboración bajo demanda.** Una impresora 3D tiene la capacidad de imprimir bajo demanda, es decir, siempre que un objeto haga falta. Este hecho tiene un gran potencial ya que permite a las empresas crear objetos especializados (o personalizados) en respuesta a las peticiones de los clientes. Además, esta característica podría disminuir drásticamente los costos de gestión y almacenamiento de inventario, ya que las empresas sólo imprimirán las piezas cuando sean necesarias.
- **El uso de recursos más económico.** Mediante los procesos de fabricación tradicionales normalmente se pierde una gran cantidad de material. Por ejemplo, se estima que en los tornos y fresadoras se desperdicia un 90 por ciento del metal original. En cambio, mediante la manufactura aditiva solo se usa el material que se necesite, por

lo tanto, esto implica un descenso de los costos de los insumos y, más importante aún, lleva a una economía más sustentable ya que se generarían menos residuos.

- **Transporte digital.** Al igual que hoy en día puedes enviar archivos de música de una parte del mundo a otra sin coste alguno, también implica que se pueda enviar diseños digitales de todo tipo de objetos. Por lo tanto, teniendo empresas que puedan imprimir dichos objetos cerca de tu localidad, permitiría un ahorro importantísimo en transporte y tiempo. Otro ejemplo sería tener en una empresa de mantenimiento una impresora 3D que te permitiera imprimir in situ el recambio que te hiciera falta en ese momento.

Como se puede apreciar, la manufactura aditiva puede ofrecer muchas ventajas respecto a la manufactura tradicional. Pero este tipo de tecnología aún está en pleno desarrollo y aún tiene que mejorar en muchos aspectos para que todas las ventajas citadas anteriormente sean una realidad. (Fernandez, 2016)

---

### 4.5.3 Aplicaciones y futuro de la impresión 3D

---

La impresión en 3D consiste en la convergencia entre hardware, software y materiales. Precisamente el rápido desarrollo del software y los materiales en esta última década (Vazhnov, 2013) es lo que ha permitido que la impresión en 3D sea una tecnología cada vez más eficiente y económica.

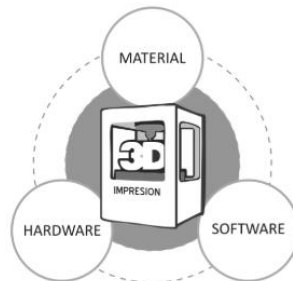


Ilustración 11: Triángulo estratégico de la impresión 3D. Fuente: Vazhnov, A. (2013). Impresión 3D. Cómo va a cambiar el mundo. Baikal.

En un futuro no muy lejano, este tipo de manufactura estará mundialmente extendida ya que nuestros ordenadores están adquiriendo la habilidad de crear productos directamente de archivos digitales, de la misma manera que imprimimos en papel. Estamos entrando en una nueva época, en la cual la línea que separa el mundo digital del mundo físico se volverá cada vez más borrosa. Así, que se podría decir que la impresión 3D va a cambiar el mundo de la fabricación tal como la conocemos. (Fernandez, 2016)

---

#### 4.5.4 Rapid Prototyping. Ingeniería y arquitectura

---

En la actualidad, las impresoras 3D ya están siendo indispensables para algunas empresas. De entre las aplicaciones más extendidas, destaca el Prototipado Rápido (*Rapid Prototyping*).

El Prototipado Rápido permite producir, mediante la impresión 3D, modelos y prototipos directamente a partir del modelo sólido 3D generado en un sistema *CAD* (Kurman, 2015). Por lo tanto, la impresión 3D ofrece la posibilidad de obtener físicamente dicho prototipo de forma rápida y barata, permitiendo a los diseñadores e ingenieros ver si el aspecto y el comportamiento físico del producto es el esperado. Por lo que respecta a los arquitectos, les permite realizar maquetas de forma rápida, económica y, sobre todo, precisa. Este hecho, hace que las empresas de este tipo sean más eficientes ya que se consigue disminuir el tiempo entre el diseño y el producto operativo. (Fernandez, 2016)

A continuación, en la Ilustración 12, se muestran dos ejemplos de prototipado rápido utilizado en ingeniería y arquitectura.

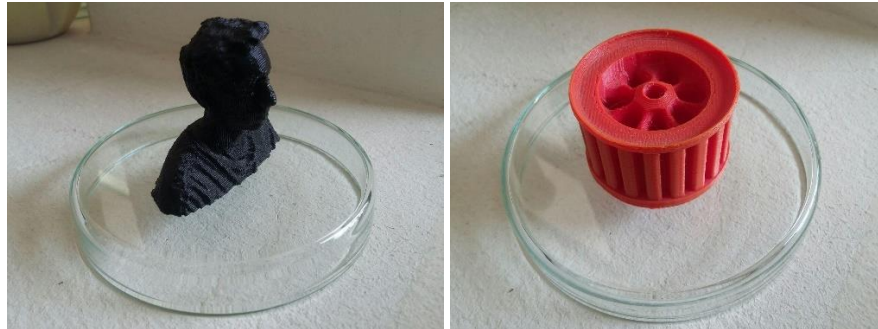


Ilustración 12: ejemplos de prototipado Rápido. De izquierda a derecha, silueta humana y rotor de impulsión. Fuente: Laboratorio de prototipado, Departamento IDP, Utfsm.

---

## 5 Metodología propuesta

---

La metodología que se propone para el desarrollo del trabajo se resume en un diagrama dividido en 6 etapas generales, subdivididas en etapas específicas para lograr la solución a la problemática de integración de herramientas de fin de brazo robótico.

Las distintas etapas del proceso de diseño se describen en la Ilustración 13: Metodología del trabajo, y se exponen individualmente a continuación con una breve descripción junto con las subetapas que lo conforman.

### 1. Planteamiento de caso de estudio

El Propósito de esta primera etapa es, por una parte, definir la solución a la problemática describiendo la solución por medio de estrategias TRIZ para la comprensión del sistema, los subsistemas que lo conforman y la interdependencia entre estos, y por otra parte definir los requerimientos generales de diseño.

- 1.1. Definición del caso de estudio
- 1.2. Análisis del sistema
- 1.3. Definición de Requerimientos generales

### 2. Alternativas de diseño

Esta etapa tiene como objetivo realizar una descripción de los distintos modelos de dispositivos existentes mediante el uso de un estudio comparativo, con lo cual se espera identificar la diversidad actual de los diseños existentes, distinguir características esenciales y evaluar las opciones de diseño final.

- 2.1. Estudio comparativo
- 2.2. Análisis de alternativas

### 3. Identificación de variables de diseño

En esta etapa de la metodología, se exponen las variables iniciales de diseño identificadas en las etapas anteriores.

- 3.1. Identificación de dependencia de subsistemas
- 3.2. Identificación de variables constructivas de diseño

### 4. Generación de bosquejos

Por medio de este paso, se busca generar una descripción visual a la vez de detallar y esclarecer el proceso de diseño y toma de decisiones en él.

- 4.1. Análisis de propuestas
- 4.2. Selección de propuestas
- 4.3. Selección de equipos y subsistemas

## 5. Generación de modelo 3D

EL objetivo de esta etapa es generar un modelo virtual tridimensional en software CAD.

5.1. Generación de modelo CAD

5.2. Generación de lista de materiales

5.3. Generación de planos 2D

## 6. Fabricación

En esta etapa se construyen y ensamblan los modelos concebidos.

6.1. Impresión 3D de los modelos mediante manufactura aditiva

6.2. Ensamblaje de los componentes

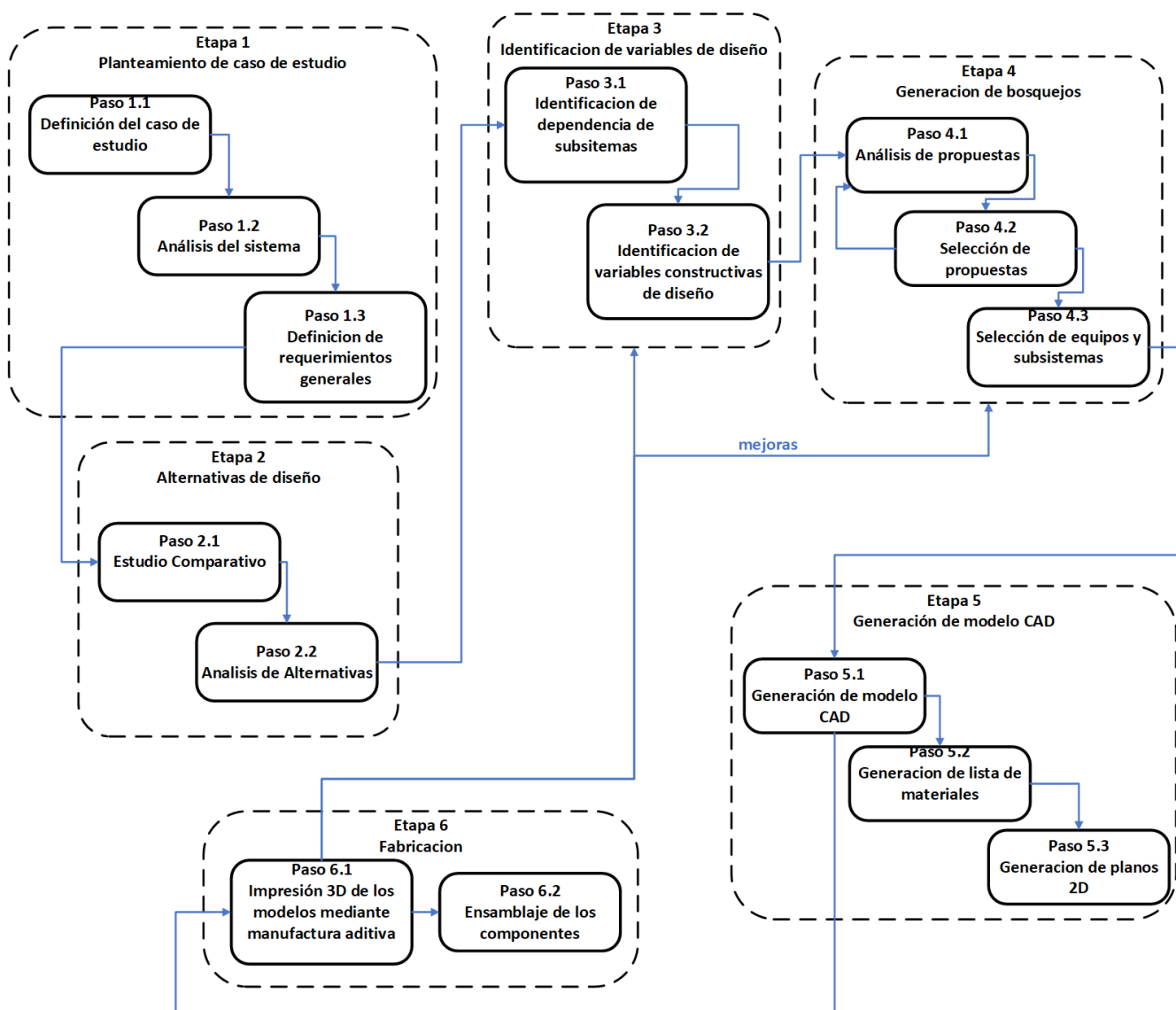


Ilustración 13: Metodología del trabajo

---

## 6 Caso Aplicado

---

Para el desarrollo de este capítulo se utilizará la metodología planteada en la sección anterior, no obstante, se agregarán apartados según corresponda sin interferir en el orden y estructura del trabajo.

---

### 6.1 Requerimientos generales

---

Se definen a continuación los requerimientos generales, los cuales se elaboraron por el autor de manera de alinear sinérgicamente los objetivos del trabajo.

- **Construcción al alcance**  
Diseño y fabricación de la solución a partir de los materiales y herramientas existentes en el laboratorio de prototipado de Ingeniería en Diseño de Productos, además de algunos recursos disponibles en el CCTVal.
- **Construcción simple**  
El diseño de las soluciones en cuanto a forma y funcionamiento debe ser de manera sencilla, evitando la complejidad del sistema, pero sin problemas de funcionalidad.
- **Funcionalidad**  
Que los mecanismos, para la realización de las tareas solicitadas, se lleven a cabo de manera correcta y fluida.
- **Repetitividad**  
Las soluciones deben tener un diseño y construcción que permitan una fácil repetitividad del prototipo.
- **Compatibilidad**  
En el caso de incorporar nuevas herramientas que requieran de adherirse a este sistema.
- **Diseño Estético**  
Las soluciones desarrolladas si bien deben responder a la funcionalidad, también deben dar respuesta al diseño estético, es decir, que sus componentes funcionales se organicen permitiendo armonía en el sistema.

---

## 6.2 Caso de estudio

---

De forma clara y breve, de acuerdo con los lineamientos de los objetivos y alcance de este trabajo, así como también los requerimientos generales del apartado anterior se describe como caso de estudio un dispositivo automático, de energización pasiva<sup>1</sup> y fabricado a través de manufactura aditiva, de intercambio de herramientas para fin de brazo robótico, donde su función principal es permitir la integración de varios EOAT. Junto con esto, se propone trabajar en el diseño de dos prototipos de herramientas, las que servirán como elementos de prueba para el dispositivo de integración.

Las herramientas de fin de brazo que se desarrollarán paralelamente serán una herramienta de manipulación (gripper) y una de fijación (lápiz). Es importante señalar que estos dispositivos se diseñarán bajo la misma metodología y por lo tanto deben cumplir los objetivos del trabajo y respetar los requerimientos generales.

Por lo tanto, se desarrollará el dispositivo de intercambio de herramientas y en paralelo dos herramientas robóticas, todo bajo la misma metodología de trabajo.

---

### 6.2.1 Análisis del Sistema

---

Actualmente, para lograr un desarrollo de calidad, los investigadores e ingenieros de diseño deben desarrollar distintos métodos de estudio (análisis numérico para el diseño de la estructura y el comportamiento en la celda robótica, análisis ergonómico, estético, entre otros, como también plantear distintas distribuciones del equipamiento mecánico, electrónico, distintos tamaños de motores, guías, etc.), para lograr el desempeño deseado de los EOAT. Esto se convierte en un sinnúmero de elementos y consideraciones a tomar en el proceso de diseño.

A continuación, considerando los dispositivos de estudio como sistemas técnicos y utilizando las Leyes de Evolución de Sistemas de TRIZ, se ilustran de esta forma, el intercambiador de herramientas, el Gripper y la Herramienta de fijación.

---

<sup>1</sup> Se define energización pasiva como la activación del sistema sin potencia u dispositivo, funciona por sí mismo mediante los movimientos del robot.

### 6.2.1.1 Análisis de un Sistema ATC

ATI Industrial Automation define a un *ATC* como un efector final con dos partes que se adaptan entre sí normalmente llamadas *Master* (lado robot) y *Tool* (lado herramienta) que han sido diseñadas para acoplarse y cerrarse automáticamente y son capaces de pasar los servicios tales como señales eléctricas, líquidos neumáticos, agua, desde el robot al EOAT.

Las funciones de un *ATC* se controlan, al igual que en un EOAT, externamente, es decir la unidad de control envía pulsos eléctricos que generan el accionamiento de motores, cilindro-pistón u otro para, en este caso, producir los movimientos de acople o desacople (en caso de ser un sistema energizado), esto asistido de los movimientos del brazo robótico. Así, las partes permiten la comunicación de potencia y mandos entre el robot y la herramienta. Se muestra a continuación un *ATC* como sistema técnico mínimo (Altshuller, 1984).

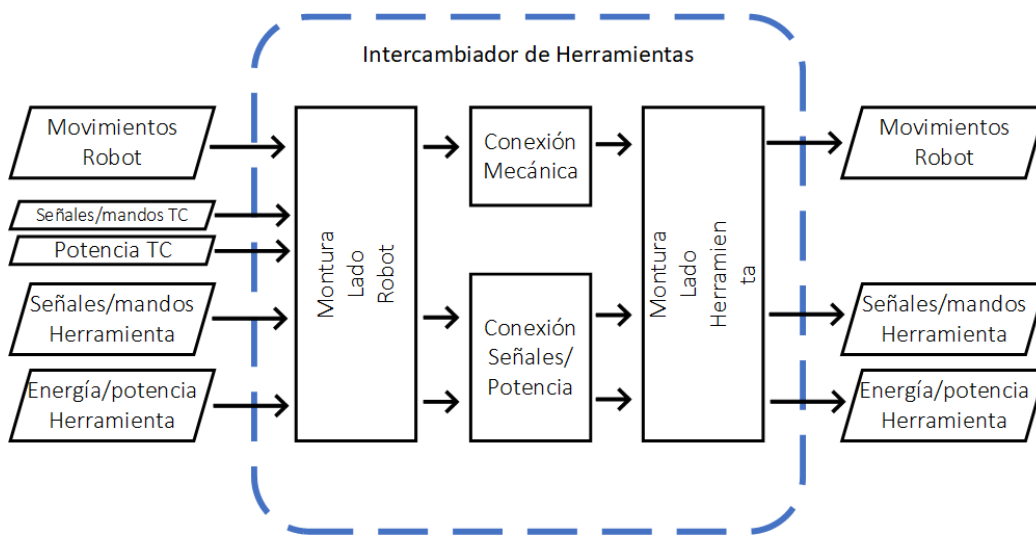


Ilustración 14: Intercambiador de herramientas como sistema técnico mínimo

Existen distintos tipos de *ATC*, los desarrolladores de estos dispositivos robóticos, con el tiempo, cada uno, ha mejorado sus tecnologías de acople, conectores, disposición de actuadores, añadido sensores, entre otros. Aun así, los subsistemas funcionalmente se han mantenido en el tiempo.

Realizando una clasificación en subsistemas, se hace la separación de las funciones de cada uno de estos:

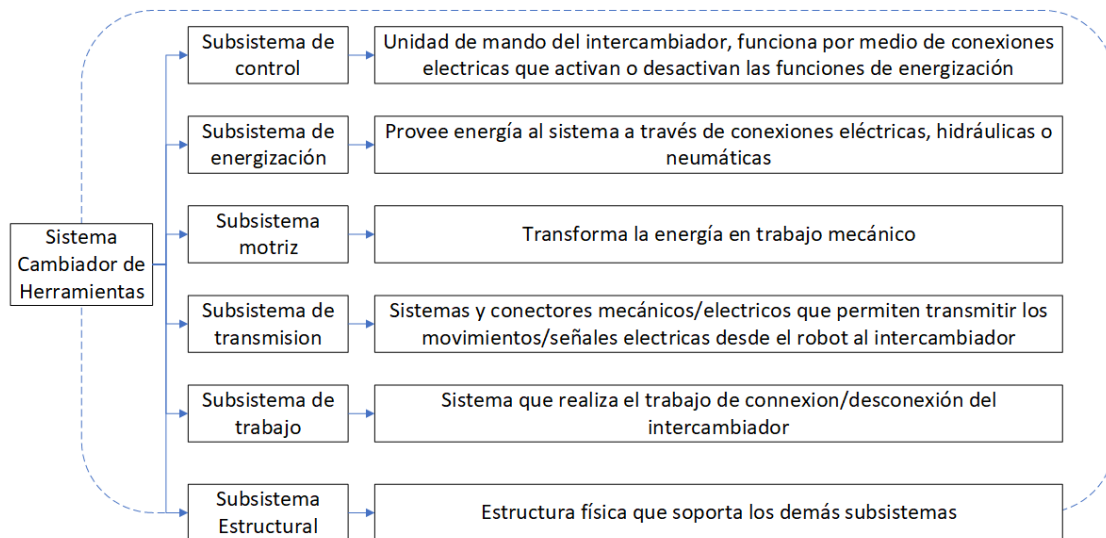


Ilustración 15: Subsistemas de un ATC, representados según primera ley TRIZ de integración de partes de un sistema tecnológico.

### 6.2.1.2 Análisis de un sistema EOAT: Gripper

Un EOAT es cualquier objeto sujetado a la brida (muñeca) del robot y que sirve para realizar una tarea, desde esta definición existen entonces variadas e innumerables herramientas para cada uno de los trabajos que requiera un robot manipulador industrial. Una de las tareas comunes es la manipulación de objetos, donde las garras o Grippers se consolidan como la opción más efectiva para la ejecución de esta.

A continuación, se muestra un Gripper como sistema técnico y posteriormente una descripción de cada uno de los subsistemas que lo conforman.

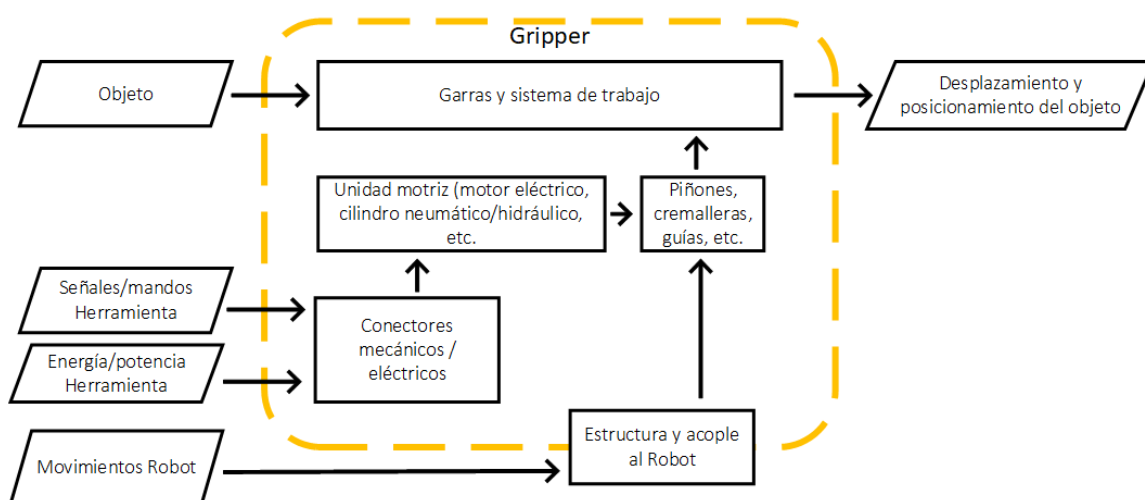


Ilustración 16: Gripper mecánico como sistema técnico mínimo

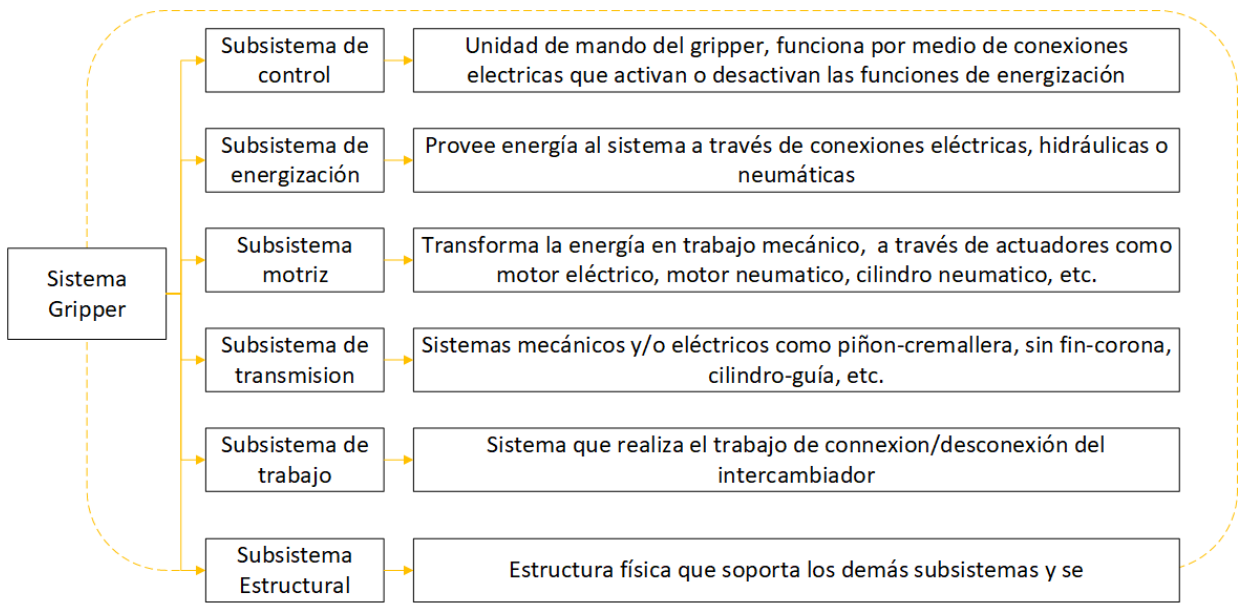


Ilustración 17: Subsistemas de un Gripper mecánico, representados según primera ley TRIZ de integración de partes de un sistema tecnológico.

### 6.2.1.3 Análisis de sistema EOAT: Fijación Lápiz

Se define una herramienta EOAT de fijación, en este caso para lápices, como una herramienta capaz de sostener de forma fija un elemento de dibujo como lápiz, marcador u otro similar. La simplicidad de esta herramienta permite describirla fácilmente como sistema técnico y definir todos sus subsistemas.

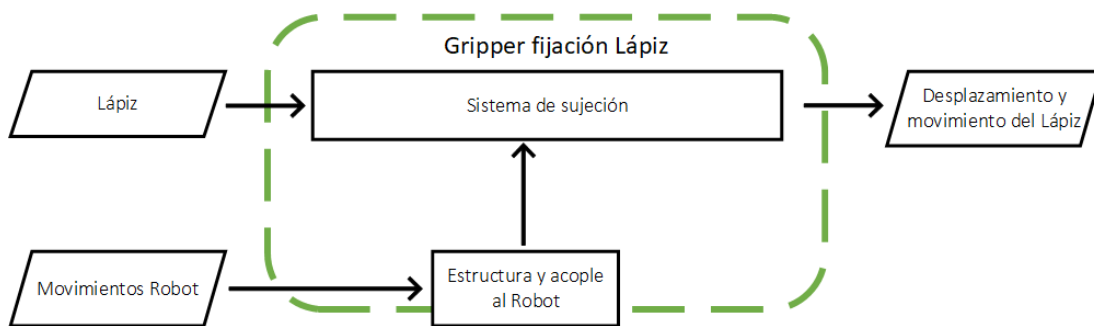


Ilustración 18: Herramienta fijación como sistema técnico

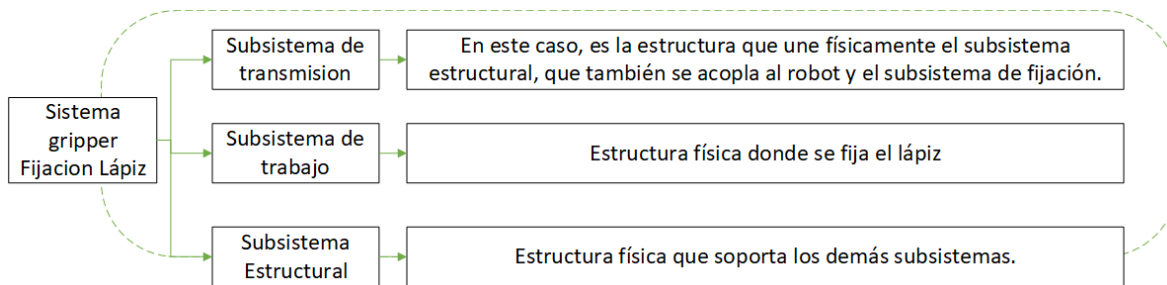


Ilustración 19: Subsistemas de sistema herramienta de fijación de lápiz

---

## 6.3 Estudio comparativo

---

Muchas empresas a nivel mundial se han dedicado a la investigación de tecnologías de automatización y robótica, así como también, por otro lado, la tecnología desarrollada se encuentra recopilada en forma de patentes a fin de proteger la propiedad intelectual.

En esta sección se llevará a cabo un análisis de las alternativas de diseño por medio de estudios comparativos, vía Benchmarking y Estudio de patentes, de la cual se espera distinguir características esenciales y evaluar las opciones de diseño final.

La información recabada a través de la búsqueda de patentes se realizó vía plataformas de búsqueda web especializadas en este tipo de documentos (capítulo 4.3.2).

La información para el estudio de benchmarking fue recopilada desde diferentes fuentes comerciales y proveedores de este tipo de tecnología.

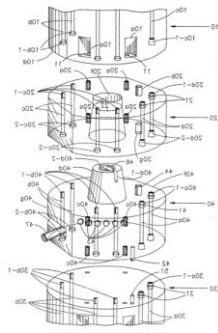
---

### 6.3.1 Estudio comparativo Intercambiador de herramientas

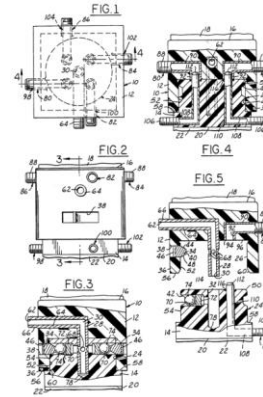
---

En el estudio comparativo para el intercambiador de herramientas, las búsquedas de patentes y alternativas comerciales se ampliaron incluyendo en los resultados: cualquier tipo de manufactura, sistemas automáticos, sistemas manuales, sistemas pasivos y sistemas activos, con lo cual se recaba una mayor cantidad de tecnología desarrollada.

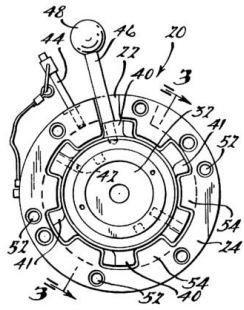
Siguiendo la metodología de este trabajo, a continuación, se expone la Tabla 3 con los resultados obtenidos del estudio de patentes para la tecnología de integración de herramientas EOAT, se detallan imagen, número y título de la patente.



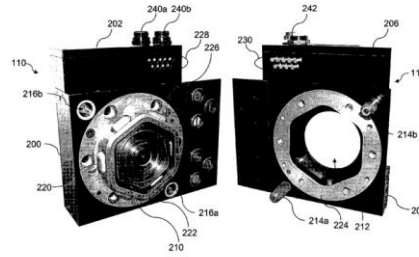
N° patente: 5018266  
 Novel Means For Mounting A Tool  
 To Robot Arm



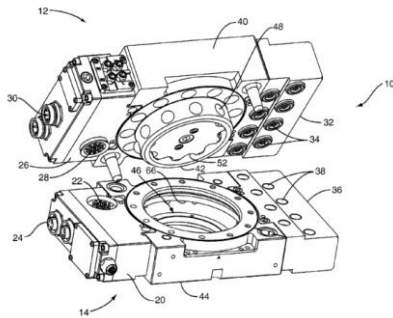
N° patente: 4886467  
 Quick Change Tool Holder



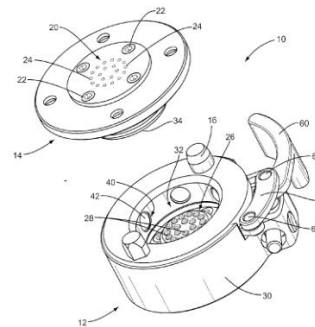
N° patente: 6073512  
 Manual Quick Change Tool  
 Changer



N° patente: US7374524B  
 Method, System And Program For Enable Rapid  
 Connection Of Automate Tools To A Device  
 Network



N° patente: US2007/0228671 A1  
 Rotating Coupling For Robotic  
 Tool Changer (Ati)



N° patente: US2009/0322041 A1  
 Rotating Coupling For Robotic Tool  
 Changer With Actuation Mechanism (Ati)

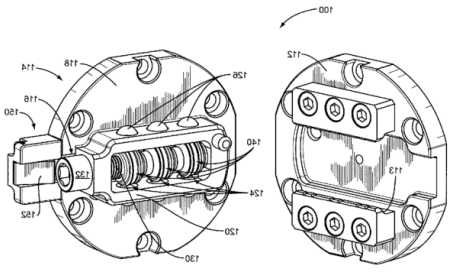
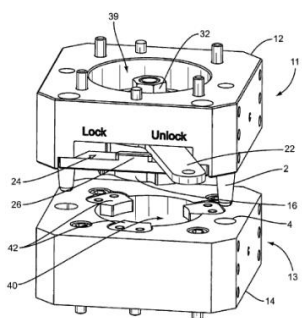
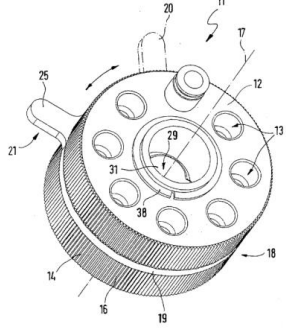
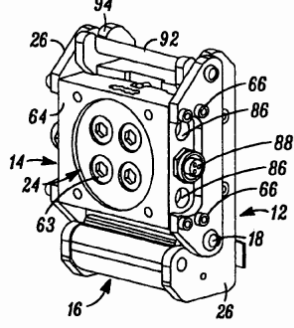
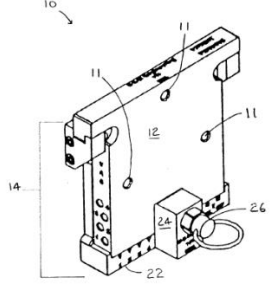
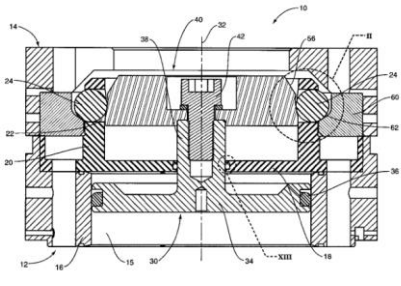
	
<p>N° patente: US2010/0059943 A1 Manual Robotic Tool Changer With Rolling Members (Ati)</p>	<p>N° patente: US2010/0062919 A1 Manual Robotic Tool Changer With Rotating Piston (Ati)</p>
	
<p>N° patente: US2010/0090458 A1 Multicoupling Device (Festo)</p>	<p>N° patente: US 7779716 B2 Device For Connecting Pneumatic Tools To A Manipulator (Ati)</p>
	
<p>N° patente: US2008/0182738 A1 Robotic End-Of-Arm Tool Quick-Change Device</p>	<p>N° patente: US 8005570 B2 Robotic Tool Changer (Ati)</p>

Tabla 3: Imagen, número y título de las patentes encontradas para dispositivos de intercambio de herramienta.

En el caso de este dispositivo se concluirá cada tabla (patentes y alternativas comerciales) independientemente, debido a la cantidad de resultados. Con esto se pretende analizar de mejor forma cada tecnología, estudiar las diferencias entre cada una para visualizar óptimamente sus características, ventajas y deficiencias.

Como se señaló anteriormente, los sistemas de integración TC poseen dos componentes más importantes, el Lado robot y el Lado herramienta, los cuales forman una interfaz de conexión entre el brazo robótico y la herramienta, la cual no solo conecta físicamente ambas partes, sino

que también a través de diferentes opciones de conectores permite el paso de señales de mandos y energía a las herramientas. Desde esta descripción general, inmediatamente se reconocen los principios en común. Esta interfaz puede asegurarse por medio de diferentes mecanismos, posee conectores rápidos de mando y potencia, y no menos importante, debe existir un portaherramientas o Stand donde estas se encuentren en reposo cuando no están siendo portadas por el robot.

Para el caso de las patentes encontradas, se puede decir que:

- Existen mecanismos de conexión (tipo de bloqueo) en común entre los resultados.
- Se reconoce gran desarrollo en esta tecnología por parte de ATI Industrial Automation, compañía que ha patentado gran cantidad de sus variados dispositivos.
- Los sistemas de conexión de tipo automático operan mayormente por accionamiento neumático o hidráulico.
- Las patentes no mencionan para qué tipo de montura de muñeca de robot son compatibles los dispositivos, lo que hace suponer que es necesario adaptadores. Esto significa la inversión de recursos en componentes extra al no estar incluida la interfaz adecuada en el dispositivo.
- Los sistemas de bloqueo automáticos corresponden a diseños basados en conexiones rápidas hidráulicas y neumáticas, con bolas de bloqueo radial accionado por aire comprimido.
- Entre los sistemas de bloqueo manual presentados, se encuentran: un sistema tipo dovetail (encaje con bordes acunados), sistema con mecanismo tipo bayoneta accionado por palanca, sistema de enganche tipo pico de loro y también mecanismos basados en conexiones rápidas de fluido.
- En cuanto a construcción las patentes expuestas señalan que los materiales de la estructura son metálicos como aluminio y aleaciones de acero inoxidable.
- Se observa que los dispositivos de bloqueo tipo conexión rápida presentan la complejidad constructiva de poseer gran cantidad de piezas, y gran complejidad geométrica cada una de ellas, pero incluyen gran cantidad de conexiones de potencia. A diferencia de los dispositivos de bloqueo tipo bayoneta accionada por palanca que presentan una construcción más simple con ensamblajes de menor número de piezas y geometrías uniformes.
- Por último, la información sobre el Stand o porta herramientas en posición de reposo en las patentes recopiladas es nula, por lo tanto, se trata de otra tecnología desarrollada paralelamente pero totalmente compatible con el sistema.

A continuación, ya hecho el análisis de las tecnologías patentadas, se expone la Tabla 4 con las alternativas comerciales encontradas.

Imagen	Descripción	Nombre comercial [marca-modelo]
	<p>Se rota un plano y bloquea el mecanismo a traves de pasadores.</p> <p>Permite hasta 10 líneas de potencia neumática en simultaneo.</p> <p>Payload de la version mas avanzada: 110 kg</p>	<p>GIMATIC USA-QCX150</p>
	<p>Mecanismo de acople de desplazamiento radial de bolas por accionamiento neumático.</p> <p>Posee dispositivo de seguridad tipo pasador.</p> <p>Permite transmitir hasta 4 líneas de potencia neumática en simultaneo y conexión eléctrica.</p> <p>Estructura de aluminio.</p>	<p>KOSMEK-SWR SERIES</p>
	<p>Mecanismo de acople por desplazamiento radial de pasadores accionado por potencia neumática.</p> <p>Estructura de aluminio</p> <p>Permite hasta 4 líneas de conexión neumática en simultaneo.</p>	<p>APPLIED ROBOTICS-CXC10</p>
	<p>Mecanismo de acople por rotacion.</p> <p>Sistema de energizacion pasiva.</p> <p>Los postes guía sostienen el Tool en su lugar mientras que el eje de conexión gira y bloquea el adaptador.</p> <p>Permite conexiones eléctricas y neumáticas.</p>	<p>ST ROBOTICS-TC12</p>

	<p>ATI ha desarrollado su mecanismo de bloqueo basado en acoples rápidos de potencia neumática. Funciona de forma automática por medio de pasadores tipo bola, los cuales se desplazan radialmente accionados por aire comprimido o potencia hidráulica según el modelo. Existe en diversos tamaños y formatos, además de como se vio en la tabla anterior, tener patentadas la mayoría de sus tecnologías.</p>	<p>ATI-QC</p>
	<p>Este dispositivo presenta una gran diferencia respecto a los demás. Staubli ha apostado a la forma modular en el desarrollo de sus intercambiadores automáticos, separando en módulos los tipos de conexiones disponibles para transmitir potencia y señales a las herramientas. Los módulos de conexión se posicionan en el perímetro del módulo de acople el cual se bloquea por medio de pasadores verticales.</p>	<p>STAUBLI-MPS 1530</p>
	<p>Esta alternativa comercial es de funcionamiento manual. Está pensado para robots de envergadura mediana y pequeña con bajas capacidades de carga, pues el cambio de herramientas debe hacerlo un operador. El bloqueo de los lados es a través de una junta tipo corredera con bordes dovetail o acuñaos los cuales se ajustan por medio de una palanca de presión</p>	<p>MILLIBAR-MTC UR3510 M8</p>

Tabla 4: Cambiadores de herramientas existentes en el mercado. Tabla descriptiva que indica las características de los productos existentes en el mercado, su imagen y nombre comercial

A partir de las tecnologías presentadas en la tabla anterior se puede decir:

- Cada compañía ha tratado de desarrollar sus dispositivos bajo similares lineamientos de diseño, se aprecia una tendencia hacia la simplicidad y uniformidad.
- Los TC automáticos, al igual que en el caso de las patentes, funcionan con base en conexiones rápidas de potencia de fluido, es decir con bloqueos radiales de bolas o también pasadores accionados por potencia neumática.
- Se encontró una alternativa de TC automático, de energización pasiva, el “TC12” de ST Robotics, como se señala en la descripción de la tabla, funciona en base a un bloqueo

mecánico tipo bayoneta con asistencia de un resorte. Pueden notarse dos limitantes en este diseño, primero, debido al tipo de funcionamiento su uso está limitado a mantener un movimiento relativo paralelo al plano horizontal, y segundo, su uso no permite fuerzas de compresión con la herramienta en el eje perpendicular al funcionamiento del bloqueo, ya que es este movimiento y dirección de fuerza el que acciona el dispositivo para bloquearse o desbloquearse.

- Es clara la mayor cantidad de alternativas comerciales existentes versus las encontradas en forma de patente.
- Esta diversidad se fundamenta en que los dispositivos de intercambio de herramientas se venden de forma modular, es decir parte a parte de forma independiente a favor de permitirle al cliente escoger la tecnología más acorde a sus necesidades, sin embargo, a un elevado costo de adquisición.
- Finalmente, Teniendo claro lo expuesto anteriormente, se vuelve necesario especificar en más detalle algunas consideraciones iniciales de diseño, como lo son, variables cuantitativas y las condiciones de las tecnologías a disposición, lo cual ayudará junto con la tecnología actual recopilada por el estudio comparativo, a concluir en un diseño que cumpla con todos los lineamientos de este trabajo.

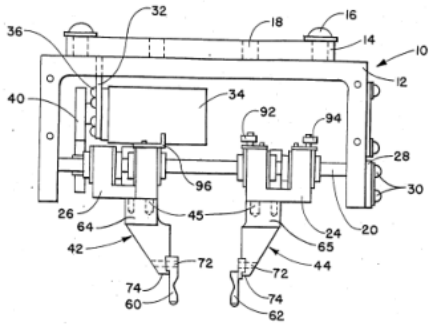
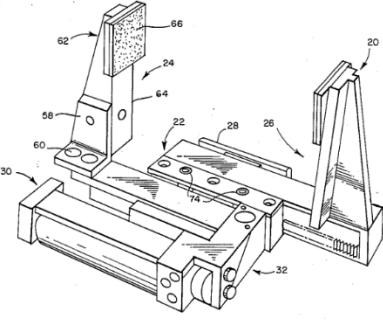
---

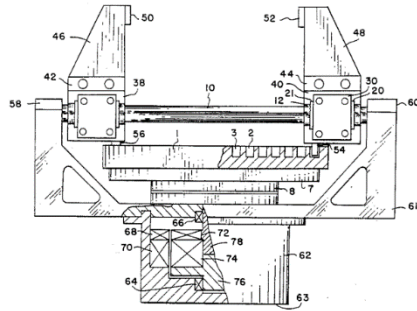
### 6.3.2 Estudio comparativo herramienta Gripper

---

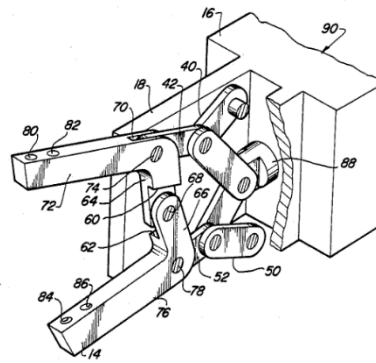
Nuevamente, procediendo de forma natural a la metodología, a continuación, se investiga por las vías mencionadas las alternativas de soluciones existentes para esta problemática.

Como primer paso se parte con búsqueda de patentes, donde se identifican las siguientes tecnologías que se muestran en la Tabla 5 a continuación.

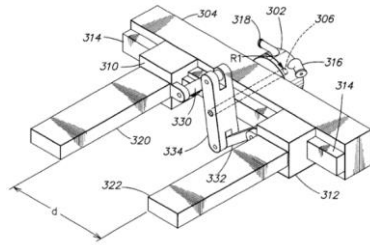
	
<p>N° patente: US4,699,414 Multi Use Gripper For Industrial Robot</p>	<p>N° patente: US4,707,013 Split Rail Parallel Gripper</p>



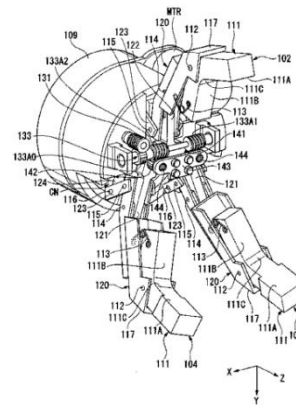
N° patente: US4,955,653  
Spiral Lead Platen Robotic End



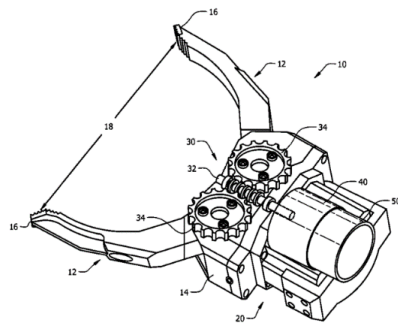
N° patente: US 4,728,137  
Compound Toggle Robotic Gripper



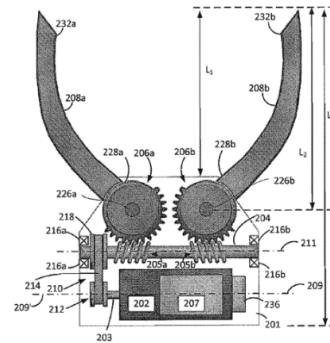
N° patente: US 6,626,476 B1  
Robotic Gripper Apparatus



N° patente: US 8,585,111 B2  
Robot Hand And Robot Apparatus



N° patente: US 8,534,729 B2  
High-Force Robotic Gripper



N° patente: US 2015/0151433 A1  
Compact Robotic Gripper

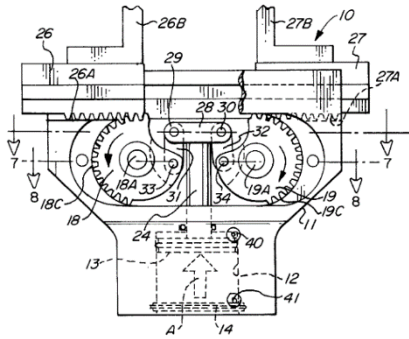
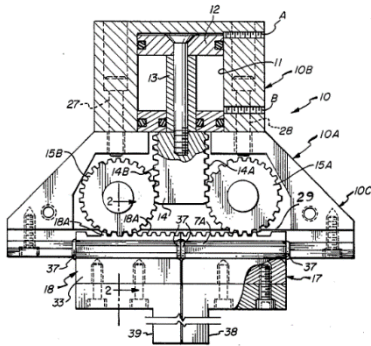
	
<p>N° patente: US 6,394,521 B1 Gripper With Enhanced Gripping Power Accuracy And Repeatability</p>	<p>N° patente: US 4,874,194 Gripper Device</p>

Tabla 5: Imagen, número y título de las patentes encontradas sobre Grippers.

Seguido de la tabla anterior se continua con la búsqueda de alternativas comerciales para la herramienta gripper, del cual se extrae la Tabla 6 que se muestra a continuación:

Imagen	Descripción	Nombre comercial
	<p>Gripper tipo pinza con movimiento angular, tiene una fuerza de apriete de 5[N], con una apertura máxima de 30[mm], accionado por medio de un motor DC. Las pinzas son permanentes y poseen goma de alto agarre.</p>	<p>Fulcrum Gripper-E1, ST Robotics</p>
	<p>Gripper tipo pinza paralela. Tiene una capacidad de apriete de 20[N], una apertura máxima de 12,5 [mm] y es accionado mediante motor electrico. Posee agujeros para montar dedos personalizados.</p>	<p>Electric Parallel Gripper-EG17, ST Robotics</p>
	<p>Este gripper es un modelo con mas de 90 variaciones estándar, de tamaño, capacidad de carga y apertura máxima. Posee rieles de acople para dedos intercambiables y una interfaz de coneccion compatible con adaptadores para cualquier tipo de muñeca de robot.</p>	<p>PHL long-stroke gripper</p>


	<p>Gripper manufacturado en plástico. Es tipo pinza paralela con una estructura de riel y accionamiento mediante motor, el cual no se incluye en el dispositivo.</p>	<p>Large Robot Gripper</p>
---	--	----------------------------

Tabla 6: Grippers existentes en el mercado. Tabla descriptiva que indica las características de los productos existentes en el mercado, su imagen y nombre comercial

Del estudio de patentes y alternativas comerciales de grippers se puede señalar que:

Para este tipo de aplicación, como lo es la manipulación, existe una alta variedad de alternativas registradas como patentes, así como también productos en catálogos de proveedores de insumos de automatización y robótica, así solamente se incluyen en las tablas las soluciones más relevantes acordes a las características de este trabajo.

Es importante señalar que se amplió la búsqueda de soluciones no acotando los resultados solo a alternativas construidas por impresión 3D, priorizando encontrar gran cantidad de tipos de mecanismos.

- Se pueden separar los resultados encontrados por el tipo de movimiento utilizado por los grippers en dos grupos, pinza angular y pinza paralela/lineal.
- En el caso de las patentes encontradas: la mayor cantidad de alternativas es de tipo pinza paralela; A su vez el tipo de transmisión más recurrente es el de piñón-cremallera y piñón- sin fin; Se distingue la utilización de ensamblajes semi complejos con gran cantidad de pasadores, lo que a su vez significa un gran número de piezas; También se reconocen dos grandes grupos de tipo de accionamiento (sin especificar en el documento de la patente el tipo de potencia de éstos) :motor y cilindro-pistón; Las patentes no especifican el tipo de material constructivo; Las patentes no especifican el tipo de interfaz de acople al brazo mecánico.
- En el caso de las alternativas comerciales encontradas se puede mencionar que: los mecanismos, en lo que respecta a su transmisión, son de baja complejidad, en cuanto a cantidad de piezas, ensamblaje entre ellas, tipo de transmisión, etc., en comparación a los de las patentes; Los grippers no siempre especifican el tipo de interfaz de conexión con el brazo robótico, necesiándose un componente extra adaptador para cumplir con el acople, el cual es recomendado por cada proveedor.
- Se aprecia, en la mayoría de los casos, la existencia de modularidad en el componente “dedos” de los grippers, lo que aumenta significativamente la versatilidad de la herramienta.
- A modo general, se debe señalar que existe una gran cantidad de oferta de grippers comerciales hechos para cada aplicación específica, es decir se trata de soluciones únicas, por lo cual éstos no se encuentran en catálogos, pues es cada proveedor quien asesora todo el proceso de diseño e implementación de la herramienta.

- Por último, para continuar con el desarrollo de este sistema, se vuelve necesario especificar en más detalle algunas consideraciones iniciales de diseño, como lo son parámetros cuantitativos de masa a manipular, volumen, velocidades esperadas, etc.

### 6.3.3 Estudio comparativo herramienta fijación

Para la investigación de soluciones existentes tanto en patentes como en productos comerciales se incluyó en la búsqueda herramientas robóticas no orientadas a brazos robóticos.

A través de la búsqueda de patentes se elabora la Tabla 7, donde se identifican las alternativas compatibles con la búsqueda.

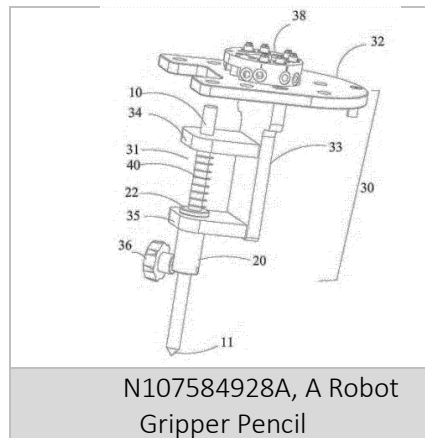


Tabla 7: Patentes encontradas sobre herramientas de fijación para elementos de dibujo o similares

Se continúa con la búsqueda de alternativas comerciales para la herramienta de fijación (lápiz) y se elabora la siguiente tabla con los resultados obtenidos:

Imagen	Descripción	Nombre comercial
	Herramienta de fijación simple. Funciona mediante un único perno el cual presiona y mantiene el lápiz en una posición. Al no ser una herramienta para robots manipuladores presenta la desventaja de esta restringida a superficies planas horizontales.	AXIDRAW V3, cartesian cartoon robot

Tabla 8: EOATs de fijación existentes en el mercado. Tabla descriptiva que indica las características de los productos existentes en el mercado, su imagen y nombre comercial.

A partir de la búsqueda de alternativas por las dos vías señaladas, se puede concluir, que existe escaso desarrollo de este tipo de herramienta, lo que puede deberse principalmente a su baja frecuencia de solicitud, obviando que podría ser reemplazada por un gripper de alta versatilidad que permita manipular un lápiz.

Se observa que el tipo de fijación utilizado es mecánico simple, por medio de un perno de apriete manual.

En ambos casos, patente y producto comercial, el tipo de construcción utilizada es a través de ensamblaje de componentes, lo que complejiza su manufactura versus la simplicidad de su función.

Teniendo en cuenta los resultados expuestos anteriormente, se vuelve necesario detallar parámetros iniciales de diseño para el desarrollo correcto del prototipo, lo cual se trabajará en el siguiente capítulo.

---

## **6.4 Consideraciones iniciales de diseño: Variables de solución, restricciones y criterios**

---

Para el diseño de los dispositivos toma importancia la relación entre cada sistema y subsistemas existentes en cada uno, por ello se definen las variables y consideraciones iniciales de diseño, las cuales forman parte, junto con los requerimientos generales, de los parámetros de evaluación y elección para cada propuesta de subsistema.

Las variables de solución son características de la solución sobre las que el diseñador tiene libertad para modificar, son variables independientes, es decir controlables y alterables, como la forma o materiales a utilizar.

Las funciones de restricción son características de la solución previamente fijadas por leyes, por la naturaleza, por decisión del cliente o del propio proyecto o por cualquier causa. Las restricciones son los límites que se imponen a las variables de solución de tal manera que, fuera de dichos límites, las soluciones no son válidas o sea las restricciones marcan el espacio de solución.

Los criterios son conductas no restrictivas, que son deseables alcanzar. Un criterio es una variable dependiente que es función a su vez, de una o más variables de solución o sea son los límites. Por ejemplo, buscar el menor peso, menor ruido o lo más atractivo.

---

### 6.4.1 Robot KUKA kr6

---

A disposición de este trabajo se cuenta con el Robot KUKA KR6, robot industrial manipulador de envergadura pequeña, que se encuentra en las dependencias del Laboratorio CIMA del departamento de Ingeniería Mecánica. Sus características técnicas relevantes son su capacidad de carga máxima de 6 [Kg] en el punto más cercano al eje de la base. Posee un radio de alcance horizontal máximo de 1611 [mm] y una montura de conexión con la herramienta DIN/ISO 9409-1-A40. Se detallan estos datos y más especificaciones en la Tabla 9 a continuación. Para mayores detalles y especificaciones revisar Anexo 9.1.



Ilustración 20: Brazo robótico de manipulación KUKA KR6

Información técnica Robot manipulador	
Parámetro	valor
Modelo	KUKA KR6
Payload máximo nominal (herramienta+carga)	6 [kg]
Numero Grados de libertad	6
Alcance horizontal máximo	1611 [mm]
Mounting flange <sup>2</sup>	DIN/ISO 9409-1-A40
Repetitividad	± 0,05 [mm]

Tabla 9: Información técnica Robot manipulador Kuka kr6

---

<sup>2</sup> Mounting flange: tipo de montura o interfaz de conexión de la muñeca del brazo robótico.

---

## 6.4.2 Impresora Ultimaker 2+

---

En este trabajo, en la construcción de los modelos a desarrollar, se trabajará con prototipos rápidos de impresión 3D por depositación fundida de material, para lo cual se ocupará la impresora Ultimaker 2+ disponible en el laboratorio de prototipado rápido.

La impresora 3D Ultimaker 2+ de la empresa Ultimaker es un dispositivo ideal para todos los profesionales que necesitan imprimir objetos y maquetas complejas de forma simplificada desde su escritorio. Su rapidez y fiabilidad, junto a la interfaz CURA, la convierten en una de las impresoras 3D más populares del mercado.



Ilustración 21: Impresora Ultimaker 2+

Algunas características técnicas de la impresora se muestran en la Tabla 10 a continuación.

Características técnicas básicas impresora 3D Ultimaker 2+	
Numero de cabezales de impresión	1
Layer resolution <sup>3</sup>	600-20 [μm]
Tecnología de impresión	FDM
Velocidad de desplazamiento	30-300[mm/s]
Materiales compatibles	PLA, ABS, CPE, CPE+, PC, Nylon, TPU, PP, 95A

Tabla 10: principales características técnicas de impresora 3D Ultimaker 2+

El software de impresión(slicer) a utilizar es la aplicación de escritorio CURA, el cual le permite al usuario importar archivos de creación *.stl*<sup>4</sup>, especificar el tipo de material, la resolución

---

<sup>3</sup> Valores referenciales, para mayor detalle revisar anexo 9.2

<sup>4</sup> *.stl*: formato de extensión del archivo apto para el software Slicer

vertical (altura de capa), el porcentaje de relleno, determinar la orientación, el tamaño, número, y la rotación de los modelos entre otras variables. Antes de que la impresora pueda imprimir un archivo, el software debe cortarlo en capas durante el proceso de construcción (slicing). Este proceso convierte un archivo *.stl* en un archivo *.gcode*, que es el tipo de archivo que la impresora puede imprimir.

Se entregan especificaciones de los materiales disponibles en el anexo 9.2.

---

### 6.4.3 Intercambiador de herramientas

---

Como se vio en el Marco Teórico, los intercambiadores de herramientas tienen como función principal, y será el caso del prototipo a desarrollar en este trabajo también, integrar dos o más herramientas de fin de brazo robótico por medio de una interfaz de acople, la cual permita el intercambio de herramientas EOAT.

Con lo anterior, además de lo visto en todo el capítulo 6 de este trabajo, se reconocen las siguientes variables iniciales de solución para el diseño:

- **Masa** de las herramientas
- **Masa** de carga de las herramientas
- **Tipo de potencia** utilizada por las herramientas
- **Tipo de Señales/Mando** utilizada por las herramientas
- Tipo de **interfaz de conexión** en la muñeca del robot
- **Área efectiva**<sup>5</sup> disponible de conexión, lado robot-lado herramienta

Así, en el siguiente capítulo, continuando con la metodología de este trabajo, se expone explícitamente el proceso creativo en base a bocetos y su descripción.

---

### 6.4.4 herramienta Gripper

---

La función principal del Gripper a diseñar será la de manipular un objeto, es decir, deberá recoger una pieza, trasladarla y depositarla en otro lugar.

Del estudio comparativo se decide optar por un diseño de Gripper de pinzas o dedos paralelos accionado por motor eléctrico.

Con todo lo anterior, se reconocen las siguientes variables de interés como variables iniciales de solución a considerar en el diseño

- **Masa** del objeto a manipular
- **Forma** del objeto a manipular

---

<sup>5</sup> Área efectiva: se definirá esta variable como el área real disponible entre caras de ambos lados del intercambiador

- **Dimensiones** del objeto a manipular
- **Rugosidad** del objeto a manipular
- **Masa** del Gripper
- **Rugosidad** de los “dedos” del Gripper

A continuación, en la Tabla 11 se detallan características cualitativas y cuantitativas máximas del objeto a manipular:

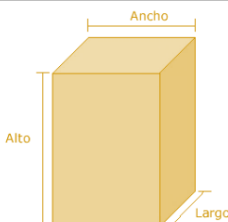
Características del objeto a manipular	
Esquema descriptivo	Variables
	Largo <sup>6</sup> : 200[mm]
	Alto <sup>7</sup> : 150[mm]
	Ancho <sup>8</sup> : 200[mm]
	Masa/peso: 1[kg]

Tabla 11: Dimensiones y peso máximas de los objetos a manipular

Las variables antes mencionadas servirán de base para posteriormente, y una vez avanzado en el diseño conceptual del gripper, establecer los criterios de selección y parámetros técnicos requeridos por cada uno de los subsistemas, como apertura, potencia, revoluciones por minuto u otro.

---

#### 6.4.5 Herramienta fijación lápiz

---

Se partirá especificando la función principal de esta herramienta, la cual será de sostener de manera fija un elemento/instrumento de dibujo (lápiz) y dotar al robot con la capacidad de dibujar, trazar, rayar, marcar, etc.

Se reconocen las siguientes variables de interés en el diseño de la herramienta de fijación:

- Peso del objeto a sujetar
- Forma del objeto a sujetar
- Tamaño del objeto a sujetar
- Masa de la herramienta

Es importante señalar que, debido a la simplicidad de la tarea a ejecutar por esta herramienta, no se evidencian mayores variables o limitantes constructivas.

---

<sup>6</sup> Largo: Se definirá el largo en la coordenada perpendicular al ancho y al alto

<sup>7</sup> Alto: Se definirá el alto en la coordenada perpendicular al plano horizontal, respecto al footprint del robot.

<sup>8</sup> Ancho: Se definirá el ancho en la coordenada donde barre la carrera o amplitud máxima de agarre del gripper.

A continuación, en la Tabla 12, se resume las características de los lápices seleccionados para ser portados por el gripper de sujeción.




Tipo de lápiz	Imagen descriptiva	Especificaciones
Bolígrafo		Largo máximo: 150[mm] Perfil usual: circular variable
Grafito		Largo máximo: 200[mm] Perfil: hexagonal Diámetro: 8[mm]
Marcador		Largo: 150[mm] Perfil: circular/ cónico Diámetro: 17[mm]

Tabla 12: Resumen lápices. Se muestran las dimensiones de interés además de ilustraciones que muestran la forma promedio

#### 6.4.6 Consideraciones de impresión: mejores prácticas básicas

El modelado por deposición fundida comienza con un proceso de software, que parte de un fichero estereolitográfico (.stl). El fichero es orientado para poder ser impreso, dividido en capas y se calculan las trayectorias que el extrusor deberá seguir para depositar el material, capa a capa, para conformar la pieza.

El termoplástico es fundido y depositado por la boquilla en capas del grosor requerido (capas más finas implican mejor calidad en la pieza final) una a una, así las capas se depositan de abajo hacia arriba.

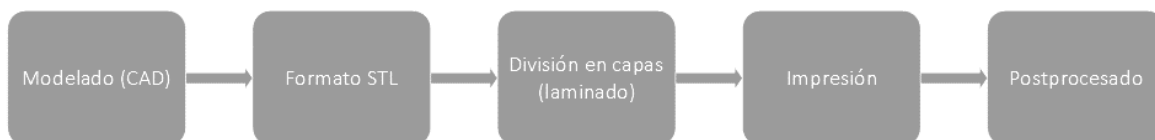
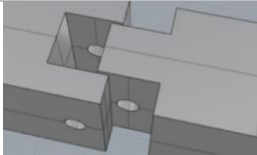
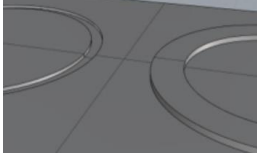
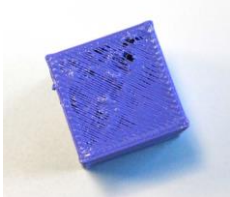

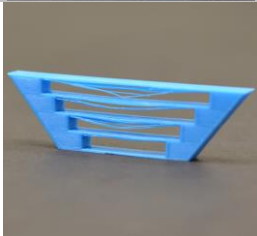
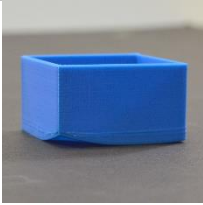
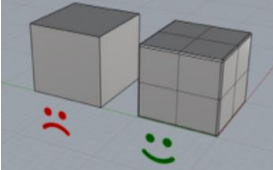


Ilustración 22: proceso de impresión 3D por deposición de material.

A pesar de que el modelado por deposición fundida es una tecnología muy flexible, y es capaz de realizar piezas muy diversas, existen algunas restricciones sobre las características de lo que se puede fabricar con esta técnica.

A continuación, se entrega una tabla resumen de consideraciones en el diseño y recomendaciones de impresión:

Defecto/detalle	Imagen	Solución/consideración
Holguras		0,4mm para movimiento. 0,3 en ensamblaje.
Relieves-Grabados		2.5mm de grosor y 0.5mm de altura (relieves). 1mm de grosor y 0.3mm de profundidad (grabados).
Pillowing		Utilizar 6 capas sólidas en el techo.
Stringing		Aumentar la velocidad de desplazamiento sin impresión. Bajar temperatura de extrusor.
Overhang		Disminuir velocidad de impresión. Disminuir temperatura de extrusión. Reorientar el objeto Soportes autogenerados en caso de reorientación de la pieza.
Warping		Calibrar/Nivelar la base. Utilizar los parámetros Brim y Raft del software Cura. Utilizar Adhesivo o Tela adherente.
Esquinas		Redondear esquinas. Radios superiores a 0,2[mm].

Contracción		Contracción de 0,1 [mm] por cada 20 [mm] de distancia lineal en cualquier eje.
-------------	---	--

Tabla 13: Consideraciones de modelado y recomendaciones de impresión.

Se recomienda además la revisión de los manuales web “¿Tienes problemas de impresión?”<sup>9</sup> disponible en la comunidad-plataforma IkaSlab y “Print Quality Troubleshooting Guide”<sup>10</sup> guía de la compañía/software simplify3D, en los cuales se encuentra información suficiente para poder solucionar y evitar los problemas más frecuentes en impresión 3D.

---

## 6.5 Análisis de bosquejos basados en diseño conceptual

---

Continuando con el proceso de diseño, la contextualización visual se vuelve necesaria, por lo cual en esta etapa se detallarán bocetos de los prototipos, basado en los requerimientos descritos en etapas anteriores. Para ello se desarrollan tablas descriptivas donde se encontrarán tanto los bosquejos y sus debidas observaciones. Esto con el objetivo de dar a entender el proceso creativo y desarrollo tanto de los dispositivos en general como también de sus funciones específicas.

Este desarrollo permite esclarecer el método de toma de decisiones a partir de los bosquejos, lo cual a futuro permite que se pueda revisar el proceso y así entender de dónde viene el diseño conceptual para facilitar el proceso de rediseño, en el caso de ser necesario.

---

### 6.5.1 Intercambiador de Herramientas

---

Se elige el desarrollo de un **intercambiador de herramientas eléctricas**, compatible con la interfaz DIN/ISO 9409-1-A40 del brazo robótico Kuka a disposición y compatible para cualquier EOAT eléctrico de la envergadura del robot.

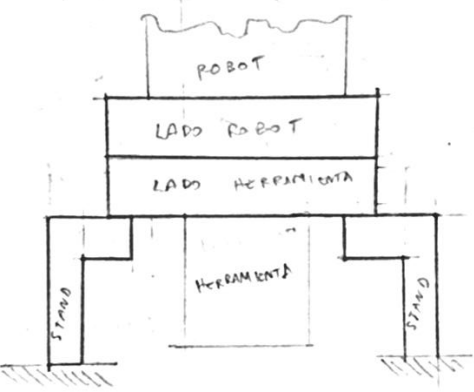
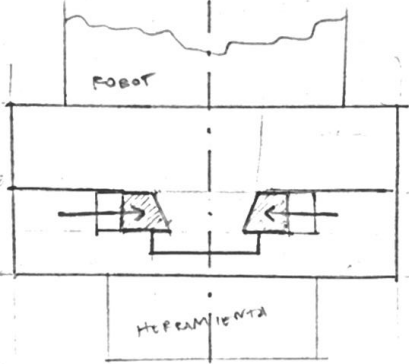
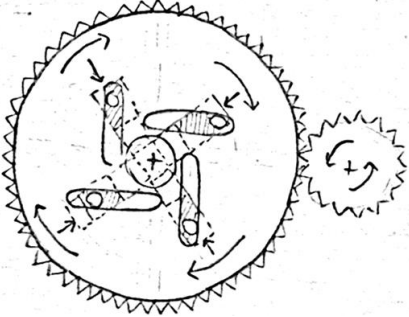
Se elige además una manufactura de forma modular, es decir, que se dé la posibilidad de fabricar un conjunto de piezas que al conectarse cumplan su función principal; y, debido a que se utilizará FDM en su fabricación, que sea de dimensiones dentro de las posibles a fabricar en la impresora 3D.

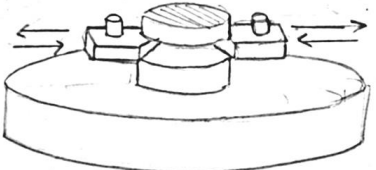
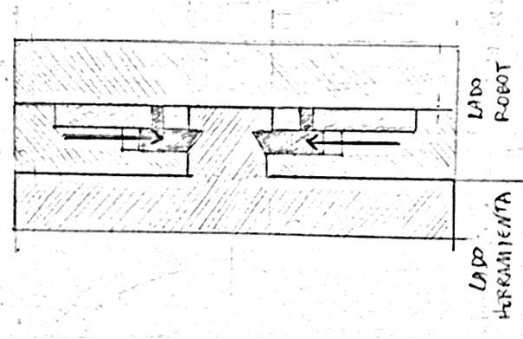
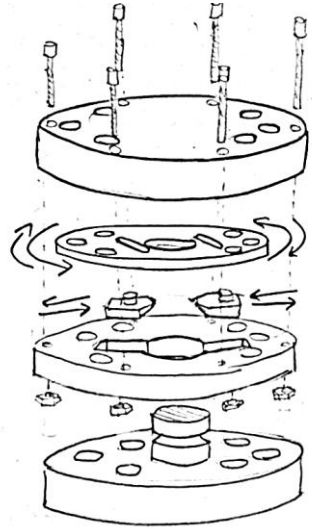
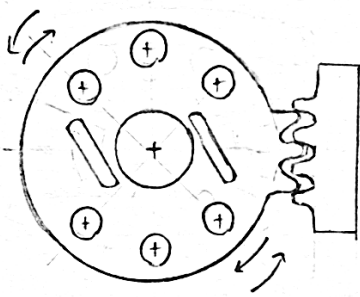
Una característica importante que se desarrollará será el funcionamiento pasivo de este dispositivo, es decir, el subsistema de trabajo (bloqueo mecánico) o acople entre el Lado robot y Lado herramienta no necesitará un actuador o algún tipo de potencia para poder activarse o

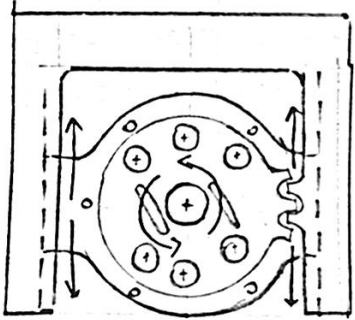
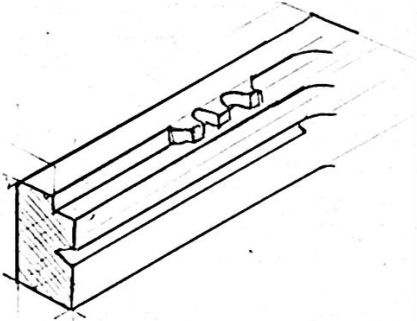
<sup>9</sup> [http://wiki.ikaslab.org/index.php/¿Tienes\\_problemas\\_de\\_impresión%3F](http://wiki.ikaslab.org/index.php/¿Tienes_problemas_de_impresión%3F)

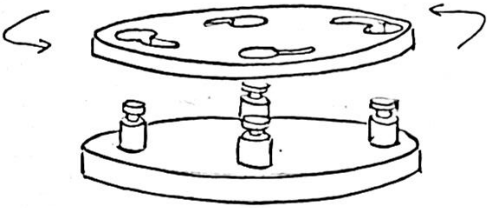
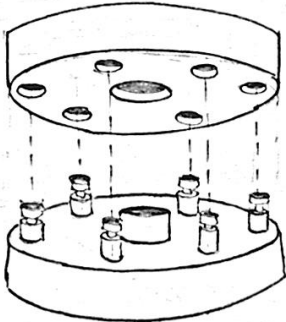
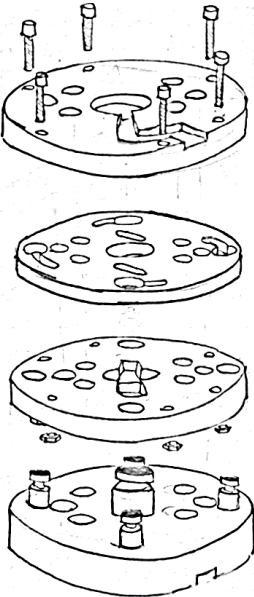
<sup>10</sup> <https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/#poor-bridging>

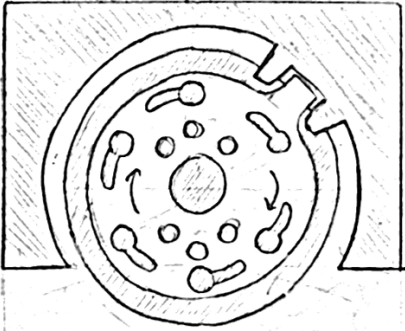
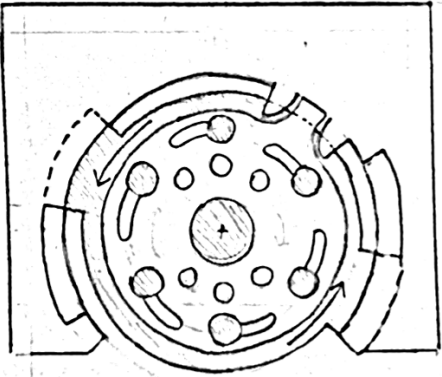
desactivarse, lo cual supone, como se tiene referencia, que el sistema se activa o desactiva por medio de movimientos (del robot), y conversiones de estos a través de algún mecanismo.

N°	Imagen	Descripción
1		<p>En este primer boceto lo que se busca representar es cada una de las partes o sistemas involucrados, así de arriba abajo en el sketch se encuentra: la muñeca del robot, la cual sostiene al Lado robot del TC, que a su vez acopla al Lado herramienta del TC y éste porta la EOAT. Por último, en este caso, todo se encuentra sobre el stand, subsistema que mantiene en reposo a las herramientas mientras no son portadas por el robot y a su vez permite un acople efectivo entre los Lados.</p> <p>Importante también es dar a conocer las proporciones y dimensiones que deben manejarse para tener en consideración.</p> <p>Se trabajará para la manufactura modular del diseño. Para optimizar este punto se evitará la utilización de espaciadores o adaptadores de conexión para la muñeca del brazo robótico y/o herramienta. Esto quiere decir que el Lado robot y Lado herramienta se conectarán directamente a cada uno de sus lados respectivamente.</p>
2		<p>Con esta imagen se busca dar a conocer una primera idea de propuesta de mecanismo de bloqueo entre el Máster y Tool, el cual es a través de unos pasadores que se desplazan de forma radial una vez que el Master se inserta en el Tool.</p> <p>Aun en análisis queda el cómo se efectuaría el movimiento de desplazamiento radial de los pasadores de bloqueo, y el cómo se fijará cada una de las partes al robot y a la herramienta respectivamente.</p> <p>Como se dijo en las consideraciones iniciales de diseño para este dispositivo, el área efectiva de contacto entre los lados del intercambiador toma gran relevancia en el diseño, pues es en éstas donde se efectúa el acople de la potencia y señales eléctricas a conectar.</p>
3		<p>Como solución al desplazamiento radial planteado en el boceto n°2, se estudia el mecanismo Iris, mecanismo usado en acoples y cierres rápidos principalmente en fotografía, el cual convierte un movimiento de rotación en movimiento lineal. El movimiento de rotación se activa externamente, en este caso, por medio de un piñón, el cual mueve la corona que posee unas guías que mueven pasadores ubicados en otras guías restringidas al movimiento radial.</p>

4		<p>En esta ilustración se representa el movimiento que tendrían los pasadores de bloqueo activados a través del mecanismo iris planteado en el boceto anterior.</p>
5		<p>Por medio de esta vista en corte se trata de mostrar una forma posible de insertar el mecanismo iris en el Lado robot. Esta incorporación se realizaría a través de, ubicar el plano de rotación entre dos capas a modo de carcasa, la parte superior de esta carcasa sería el lado de acople al robot y la parte inferior contendría las guías de movimiento lineal (radial) y los pasadores de bloqueo, los cuales se insertarían en el pasador central de bloqueo del Lado herramienta.</p> <p>La presencia del círculo de rotación de cierta forma limita el área efectiva de contacto, pues, como este es una pieza en movimiento, restringe la incorporación de contactos o conectores eléctricos en toda el área de rotación, dejando disponible área solamente en la parte externa y en el pasador central de bloqueo.</p> <p>De este boceto surge el análisis sobre si la seguridad de este bloqueo es viable o no.</p>
6		<p>Esta imagen muestra un despiece en vertical de un posible ensamble para el bloqueo radial a través de mecanismo iris.</p> <p>En análisis queda la forma de activar el movimiento del círculo de rotación, el cual como puede verse en la figura se encuentra entre dos partes las cuales también contienen a los pasadores de bloqueo radial. Como solución a la fijación de esta estructura carcasa se muestran 6 pernos y tuercas ubicados en la parte externa de la geometría del Lado robot.</p> <p>En este boceto se propone la fijación directa de los Lados Máster y Tool al robot y herramienta respectivamente por medio de la incorporación de agujeros con la interfaz ISO en cada lado para permitir la inserción de los 6 pernos, tanto para la muñeca del robot, como para la herramienta que se supondrá tendrá la misma interfaz.</p> <p>También se deja en análisis una propuesta para el Stand.</p>
7		<p>Una idea solución a la activación del movimiento del disco de rotación es la activación por medio de una cremallera. La incorporación de ésta como medio de activación supone un movimiento relativo de traslación entre el lado herramienta (el cual contiene el disco de rotación) y la cremallera. No está demás decir que dicho movimiento lo efectúa el robot.</p> <p>En esta vista (superior) puede apreciarse la geometría del disco de rotación completa, la cual contiene las perforaciones de la interfaz de acople al robot, pues los pernos pasarían a través del disco hasta la parte</p>

		<p>superior del lado robot donde se alojarían cada uno en un agujero de la altura de copa para así apernarse a la muñeca del brazo robótico. Se aprecia también el agujero central el cual permite la inserción del pasador central de Lado Herramienta. También pueden verse las guías que dan movimiento a los pasadores de bloqueo radial.</p>
8		<p>En este dibujo se plantean tres ideas importantes.</p> <p>La primera, es que se da una representación del Stand. En esta vista superior se representa el Stand, el lado herramienta que posee aletas de acople al Stand (una a cada lado) y el disco de rotación.</p> <p>La segunda idea es que se le otorgan características de subsistema de transmisión al Stand, pues se le incorpora la cremallera que activará el movimiento del disco de rotación a través del movimiento lineal entre la cremallera y el disco.</p> <p>La tercera idea planteada es que el Stand posee rieles de tipo rendija para sostener al Lado herramienta y a la vez guiar el movimiento lineal.</p> <p>El funcionamiento planteado es el siguiente: el Tool (portando un EOAT) se encuentra inserto en el Stand en posición de reposo, el robot (que porta el Lado robot) inserta el pasador de bloqueo en el lado herramienta, luego realiza el movimiento lineal deslizando hacia fuera del Stand (en esta imagen hacia abajo) el sistema completo, de manera que se realiza la rotación del disco de bloqueo y por lo tanto se bloquea el sistema quedando unidas y fijas las partes a la vez de que se retira del Stand.</p>
9		<p>Con esta ilustración se muestra un posible perfil de la guía y cremallera de bloqueo ubicada en uno de los lados del Stand.</p> <p>Desde el boceto n°7 hasta ahora se estudió el funcionamiento de la activación de la rotación por medio del movimiento lineal relativo. Dicho análisis indica que los tamaños adecuados de diente (cremallera y disco de rotación) son muy pequeños (entre 1,5[mm] y 2,5[mm]), primero debido a las proporciones en las que se está trabajando, y segundo, debido al ángulo de rotación adecuado para efectuar el bloqueo (alrededor de 30°). Por lo tanto, resulta inviable continuar con esta forma de activación, sin embargo, no se desechan las demás propuestas de los otros subsistemas.</p> <p>En estudio queda el análisis de nuevas alternativas de diseño para efectuar el bloqueo por rotación y la activación de la rotación.</p>

10		<p>A partir del boceto n°9 se analizan nuevas soluciones para el bloqueo por rotación.</p> <p>El objetivo de este boceto es mostrar una nueva alternativa de bloqueo por rotación. El funcionamiento es por medio de la inserción de pasadores los cuales pasan a través de agujeros en el disco de bloqueo, los que poseen una forma tal (menor diámetro) de que al rotar dejan asegurados los pasadores.</p> <p>Se nombrará al diámetro mayor del pasador como diámetro de inserción y al diámetro menor diámetro de bloqueo.</p>
11		<p>Este dibujo es la representación de cómo se insertan en el lado superior del Lado robot cada uno de los pasadores (del Lado herramienta) planteados en el boceto n°10, en este caso seis.</p> <p>Una observación relevante es que el área efectiva de contacto entre los Lados se incrementó, esto puede notarse ya que también se incluye en este dibujo una representación del pasador central. La principal ventaja de este incremento de área es que deja mayor libertad de espacio para la elección de los contactos que se utilizarán para efectuar la transmisión de señales y potencia eléctrica.</p>
12		<p>Este dibujo busca mostrar todas las partes del intercambiador (a excepción del stand), ahora con la incorporación de la propuesta de pasadores.</p> <p>De arriba a abajo se puede ver, primero, los seis pernos de unión de la estructura superior del Máster, luego el disco de rotación, más abajo la parte inferior del lado <i>Master</i> y por último el lado herramienta.</p> <p>Una propuesta nueva es la incorporación de una canaleta porta cable (en ambos lados del intercambiador y puede verse en la parte de arriba de la estructura superior del <i>Master</i>, cuya finalidad es que el cable de las señales y potencia llegue a hasta un posible lugar (el pasador central en este caso) donde situar los contactos a utilizar.</p> <p>En este esquema, se acopló ambos sistemas de bloqueo, tanto el de los pasadores de desplazamiento radial como el de los pasadores (en este caso cuatro) por bloqueo de disco de rotación</p> <p>Aún está en estudio cómo realizar la activación de la rotación del disco de bloqueo.</p>

13		<p>Este boceto representa una vista superior y se esquematizan los mismos componentes que el boceto n°8.</p> <p>Esta imagen tiene mucha importancia en el diseño pues muestra una posible solución a la problemática de activación del movimiento de rotación del disco de bloqueo. El modo de funcionamiento supone que, el Stand incorpora una cavidad la cual calza con un “diente” parte del disco de rotación, el robot hace girar todo el sistema por medio de la inserción de los pasadores mencionados en el boceto n°11 y de esta manera gira relativamente, el lado robot y el lado herramienta con respecto al disco de bloqueo que permanece sin girar.</p> <p>Se decide eliminar el sistema de bloqueo radial, para darle mayor ergonomía, simplicidad y resistencia al diseño por pasadores verticales, además se elige un número de seis pasadores, dejando en análisis la opción de poder incorporar un conector eléctrico por cada pasador.</p> <p>Se decide también mantener el pasador central, pero solo como función de área efectiva de contacto y situar conectores, pues es el área mayor de contacto, que además en algún rediseño del prototipo podría servir para la inserción de algún conector de otro tipo de potencia como hidráulica o neumática.</p> <p>Se debe evaluar la condición de máxima sollicitación mecánica de los pasadores, para lo cual se propone una verificación por modelación numérica, la que se adjunta en el anexo 9.4.</p> <p>Se deja como trabajo en paralelo la búsqueda de conectores eléctricos<sup>11</sup>.</p>
14		<p>Posterior a la propuesta de activación de la rotación del disco de bloqueo surge la idea final de la geometría del Stand, la cual le permite al sistema bloquearse o desbloquearse a la vez de que se retira o deja en el Stand respectivamente.</p> <p>La geometría planteada se ilustra en este dibujo. El Stand posee primero, la cavidad para el “diente” del disco de bloqueo que impide que este rote, y segundo, posee dos guías a modo de rieles soporte, las cuales pueden verse en el esquema como la sección de circunferencia de mayor diámetro con una parte en línea segmentada (sección de reposo) y parte en línea continua (sección de bloqueo para ser retirado del Stand). El Lado herramienta posee al igual que en boceto n°8 dos aletas de reposo las cuales poseen la misma geometría (contraparte) que los rieles soporte del Stand.</p>

<sup>11</sup> Conectores eléctricos: revisar anexo 9.9

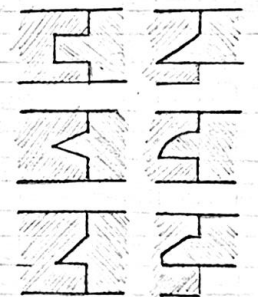
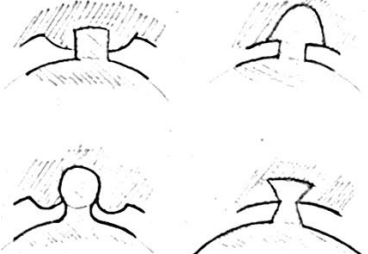
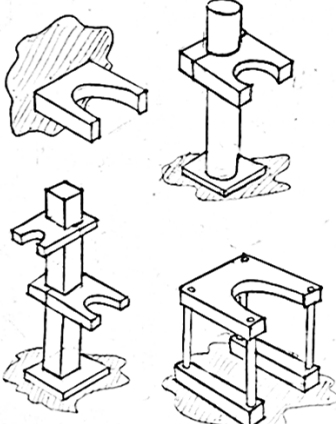
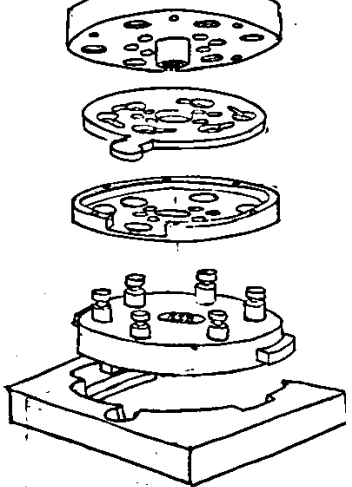
15		<p>Con este dibujo se busca mostrar las diferentes formas posibles para el riel soporte (Stand) y su contraparte aleta de reposo (Lado Herramienta).</p> <p>Se deja en análisis la decisión de cual perfil seleccionar, quedando como restricción única la optimización de la manufactura.</p>
16		<p>El propósito de este es analizar las posibilidades de perfiles del "diente" de bloqueo y su contraparte cavidad en el Stand.</p> <p>Queda en análisis la decisión final quedando como consideración de diseño lograr un calce eficaz y una manufactura óptima.</p>
17		<p>Esta ilustración representa las diferentes opciones de posicionamiento o tipos de Stand, puede verse en dirección de lectura, primero un empotramiento a pared, luego un anclaje a una columna o tubo de sección cilíndrica, abajo izquierda en el dibujo se muestra un anclaje a columna de sección cuadrada y por último se muestra un stand tipo "silla".</p> <p>El Stand que se concibe en este diseño permite cualquiera de las opciones expuestas.</p> <p>Se elige la opción del Stand puesto en columna (de sección rectangular) pues como se ve en el mismo boceto permite la fijación de más de un dispositivo.</p> <p>En estudio queda la forma de realizar el apriete a la columna.</p>
18		<p>En este dibujo se representa un resumen del diseño y las propuestas seleccionadas.</p> <p>Una característica nueva de diseño presente en este boceto es que el pasador central forma parte del lado robot, está mejor da estabilidad al giro del disco de bloqueo.</p> <p>También se dibujó los contactos eléctricos (seis en este caso) seleccionados (anexo 9.9) situándolos en el pasador central, sin embargo, podrían incorporarse más contactos, a través de, por ejemplo, los pasadores de bloqueo en un posterior rediseño del modelo.</p>

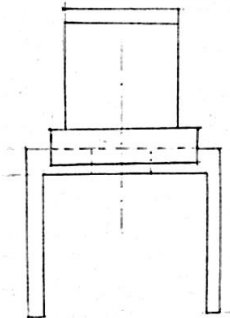
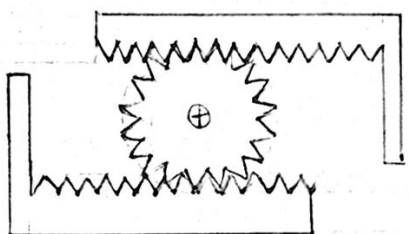
Tabla 14: desarrollo de diseño de Intercambiador de herramientas mediante análisis de bocetos.

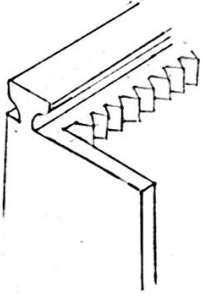
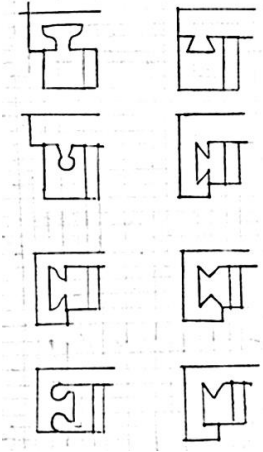
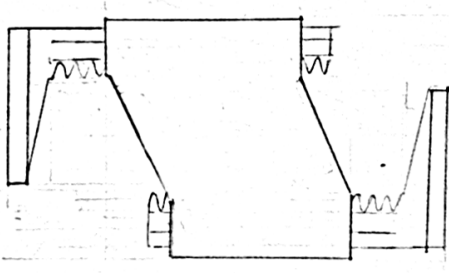
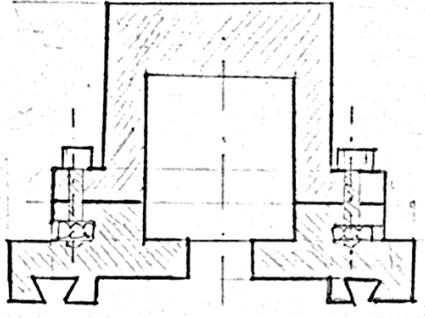
---

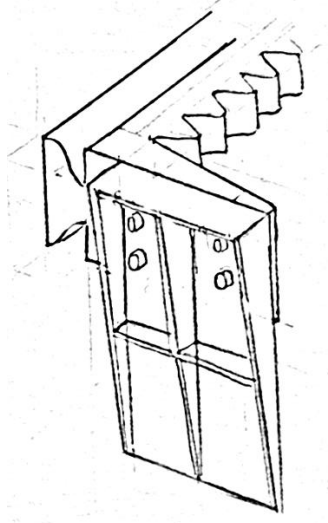
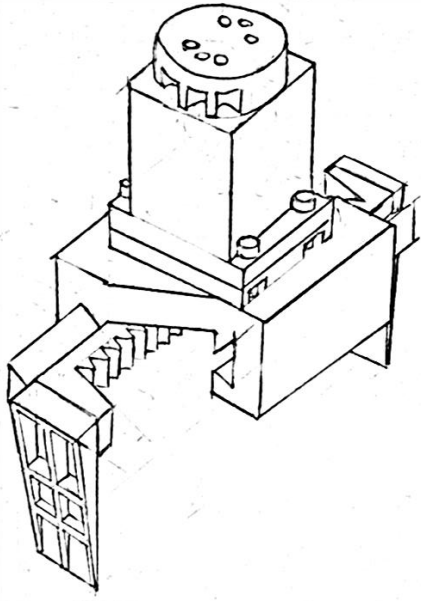
## 6.5.2 Gripper

---

Para el progreso de este método, **se elige el desarrollo de un gripper de desplazamiento paralelo o pinzas paralelas**, el cual entrega variadas posibilidades de uso a su vez de que tiene características estructurales que entregan un amplio rango de posibilidades de construcción, tanto en dimensiones estructurales, como en la elección del equipo motriz, el cual será un motor eléctrico que posteriormente se dimensionará junto con otros elementos.

N°	Imagen	Descripción
1		<p>En primera instancia se propone la geometría básica y se identifican los principales componentes de la estructura. Se dibuja una vista principal a modo de bloques y de arriba abajo se observan, interfaz de acople al robot, carcasa de motor, estructura de guías, y por último ambas pinzas o dedos dispuestos de forma paralela y simétrica.</p>
2		<p>El propósito de este bosquejo (vista inferior) es ilustrar el subsistema de transmisión, el cual se propone como piñón cremallera. Se deja en análisis el sistema de acople del piñón al motor, el cual podría ser por flange, acoples comerciales u chaveta.</p> <p>Además, puede observarse que en los extremos de ambas cremalleras se incluyen los dedos o en este caso paletas de agarre.</p>

		<p>Se evalúa a posteriori la posibilidad de dar modularidad a las paletas de agarre separando los subsistemas de cremalleras con el de las paletas.</p> <p>Como observación extra es importante señalar que el número de dientes del piñón debe ser par para así lograr una simetría de desplazamiento de los carros desde el eje del motor.</p>
3		<p>En esta ilustración se propone el sistema de guía lineal. Se propone además unificarlo a la cremallera.</p> <p>La geometría de la guía (carro) lineal y su contraparte riel quedan a evaluación posterior.</p> <p>Se aprecia también de forma frontal en este dibujo la posible interfaz donde se acoplarían las paletas de agarre.</p>
4		<p>El propósito de este dibujo es analizar las posibilidades de los perfiles de carro-riel. Se entregan ocho (vistas laterales) formas distintas las cuales se evalúan principalmente a su desempeño en cuanto a roce, resistencia y a facilidades de construcción.</p>
5		<p>En esta imagen (vista superior) se describe la posibilidad de “deformar” a modo romboide la estructura de soporte. Esto permite tener una mayor apertura de las guías, lo que aumenta la capacidad de volumen de agarre y además disminuye el material constructivo. Se tiene en consideración que esta propuesta, dependiendo del detalle de diseño podría también aumentar la rigidez de la estructura.</p>
6		<p>Importante luego de definir los subsistemas de transmisión y trabajo es definir en mayor detalle el subsistema estructural, el cual además sostener los carros debe contener el motor y la interfaz de acople al robot.</p> <p>Por estas razones en este boceto se ilustra una vista lateral en corte, cuya finalidad es proponer un sistema de fijación entre subestructuras.</p> <p>Primero se reconoce la separación entre la estructura superior, la cual posee una cavidad para contener el motor y también una superficie en la parte más alta para el acople al brazo robótico, y la estructura</p>

		<p>inferior la cual también aloja, en la cara del eje, al motor y posee los rieles de los carros de cremallera.</p> <p>Se aprecia la junta de estas subestructuras mediante pernos en cada lado. Un detalle importante en este diseño con pernos es la incorporación de cavidades de alojamiento de turcas, diseño que apunta a facilitar el ensamblaje del gripper.</p>
7		<p>En esta imagen se busca representar la modularidad de las paletas de agarre y una primera aproximación a su diseño.</p> <p>Se aprecia la presencia componentes de fijación (pernos) entre los carros y la paleta. Como principal ventaja de esta propuesta se puede mencionar que pueden diseñarse y cambiarse múltiples paletas de acuerdo con cada necesidad de forma a manipular.</p> <p>También se propone con este dibujo la forma estructural de la paleta de agarre, la cual posee nervios para darle mayor rigidez y a su vez reducir el peso de este componente disminuyendo la cantidad de material de construcción.</p> <p>Se consolida en este dibujo la idea de unificar el carro lineal con la cremallera de transmisión.</p>
8		<p>El propósito de esta ilustración es mostrar las ideas consolidadas hasta este punto del diseño de forma unificada, por lo tanto, se bosqueja una vista a modo de ensamble.</p> <p>Una novedad de este dibujo es la presencia definida de la interfaz de acople al robot, en la parte superior de la subestructura carcasa de motor. El detalle de esta parte es una geometría de cavidades las cuales permiten la inserción individual de los pernos de anclaje al robot.</p> <p>Otra incorporación es el aumento de la cantidad de nervios en la estructura de paleta de agarre con lo que se busca una mayor rigidez.</p> <p>Es importante señalar que para continuar el diseño es necesario especificar las características del motor a utilizar, por lo tanto, se procederá a calcular el torque requerido<sup>12</sup> de acuerdo con un dimensionamiento del piñón (diámetro de paso), con lo cual se cotizará y decidirá por un modelo de motor eléctrico, así se obtendrá su geometría y principales medidas.</p>

<sup>12</sup> Calculo de torque y dimensionamiento del piñón de transmisión: revisar anexo 9.3

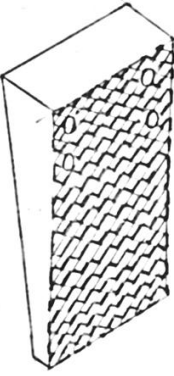
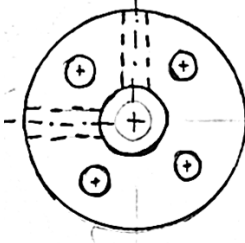
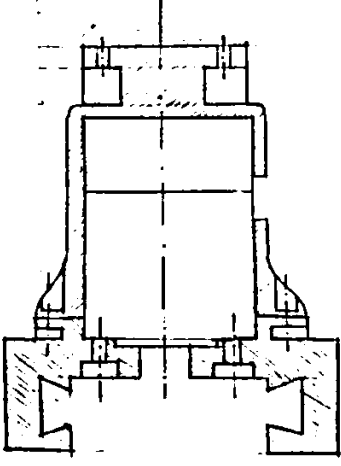
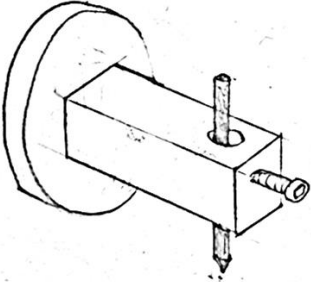
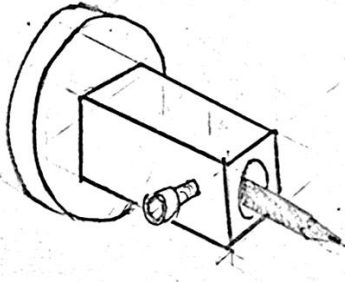
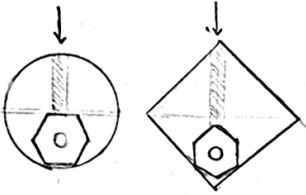
9		<p>El patrón de superficie que se busca representar en este boceto es una propuesta de mejora para la paleta de agarre. Con esto se busca incrementar el roce de la paleta para optimizar el agarre del objeto a manipular.</p> <p>También se evalúa la opción de adherir una capa o tela de material gomoso sobre la superficie de la paleta de agarre una vez construida.</p>
10		<p>Una vez hecho el dimensionamiento del motor y elegido la alternativa comercial, se decide confeccionar un acople tipo flange<sup>13</sup> como el que se muestra en la figura, para lograr un acople seguro entre el motor y el piñón.</p>
11		<p>En esta imagen se representa una propuesta definida de estructura carcasa de motor, consiguiéndose un diseño de calce ajustado a la geometría del motor lo que optimiza el tiempo de manufactura y la estética del diseño.</p> <p>Aspectos importantes de este boceto son: la incorporación de un agujero lateral el cual también este hecho a medida del motor y permite la salida del cable de conexión; se incluye perforaciones para el anclaje del motor en la parte superior del subsistema estructural cuerpo/rieles y el agujero central para el eje del motor; También se define un perfil de riel tipo prisma.</p>

Tabla 15: desarrollo de diseño de Gripper mediante análisis de bocetos

<sup>13</sup> Diseño de acople motor-piñón: revisar anexo 9.11 (plano de Flange acople Rueda dentada)

### 6.5.3 Herramienta Fijacion Lápiz

Se orientará el diseño a la confección de un modelo de pieza única, con lo cual se logran reducir tiempos de modelación, impresión y ensamblado. Esto es posible gracias a la simplicidad de la tarea y la herramienta.

N°	Imagen	Descripción
1		<p>El objetivo de este boceto es mostrar una primera opción de geometría que debe tener este EOAT.</p> <p>Se ilustra una primera opción de posicionamiento del lápiz, a través de una cavidad transversal al eje de la muñeca del robot sujetado por medio de un perno el cual se coloca desde la parte frontal. La parte cilíndrica es un posible lado de acople al robot.</p>
2		<p>Esta ilustración es similar al boceto n°1, pero acá se muestra otra posibilidad de posicionamiento, esta vez frontal, del lápiz, el cual se fija de la misma forma, por medio de un perno situado en uno de los lados de la estructura.</p>
3		<p>En este dibujo se dan dos propuestas de perfiles de asentamiento para el lápiz. Hay muchos tipos de perfiles de lápices en el mercado, por lo tanto, se debe elegir la opción que priorice la versatilidad de la herramienta para con los lápices que pueda portar. De esta manera se decide por la opción de la derecha en el boceto.</p>

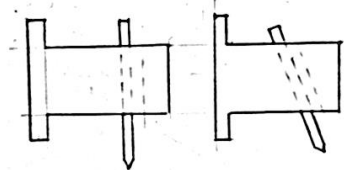
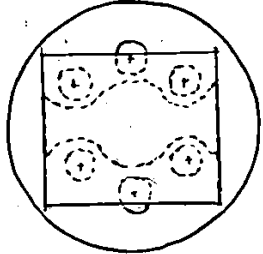
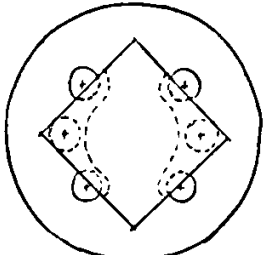
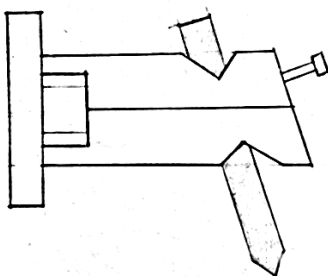
		<p>Posterior a definir la forma de asentamiento del lápiz, se decide por la orientación transversal de éste.</p> <p>En este dibujo se muestran también dos opciones de inclinación e inmediatamente se decide la opción de la derecha. La decisión es primero, por la similitud en la morfología del movimiento humano y en cómo esto da estética al producto, y segundo, porque esta característica aumenta la versatilidad de la herramienta, puesto que hay instrumentos de dibujo como pinceles que requieren una inclinación para un desempeño correcto.</p>
		<p>Como se dijo, el diseño que se busca es una pieza única por prototipado rápido, por lo tanto, toma relevancia incorporar detalles y proporciones como lo son la geometría de la interfaz de acople a la muñeca del robot. De esta forma en este dibujo se quiere representar una propuesta de perfil y de cómo afecta la geometría de las perforaciones en la sección transversal resistente mínima que se forma entre el cilindro de la interfaz y la estructura de sujeción.</p>
		<p>Con este dibujo se propone y decide una mejor orientación de la estructura de fijación al cilindro de la interfaz de acople, de tal manera de maximizar el área de sección resistente.</p>
		<p>En este último boceto se muestra una vista lateral de la totalidad de las propuestas, con lo cual se obtiene una concepción concreta del diseño a modelar.</p> <p>Se evalúa la opción de incorporar un agujero para la inserción de una tuerca que permitirá una mejor fijación y apriete del perno al lápiz.</p>

Tabla 16: Desarrollo de diseño de herramienta de fijación mediante análisis de bocetos.

---

## 6.6 Desarrollo de modelo CAD

---

Se modelan las estructuras en el software de modelación Autodesk Inventor Professional, según las propuestas y alternativas analizadas y desarrolladas en la etapa de desarrollo de bocetos. Además, se tomó en cuenta algunas consideraciones básicas como: bordes suaves, estructura rígida, otras consideraciones para el anclaje de piezas y equipos, como perforaciones para pernos u otro estilo de anclaje de piezas que genere estabilidad en la estructura; junto con consideraciones ergonómicas y estéticas.

Cumpliendo con lo anterior se entregan los modelos finales en formato CAD, para la propuesta de integración de herramientas de fin de brazo robótico: “GiroE” intercambiador de herramientas eléctricas y los EOAT: “LaGara” Gripper paralelo y la Herramienta de fijación “Scribly”. a continuación, se presenta imágenes con los modelos finales para cada dispositivo. Para mayor detalle pueden revisarse el anexo 9.10, anexo 9.11 y anexo 9.12 con los planos correspondientes para cada dispositivo.

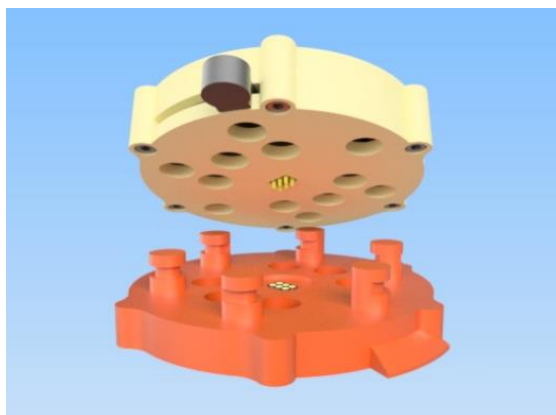


Ilustración 23: Vista en perspectiva de “GiroE” intercambiador de herramientas eléctricas.  
Lado robot (blanco), Lado herramienta (anaranjado).

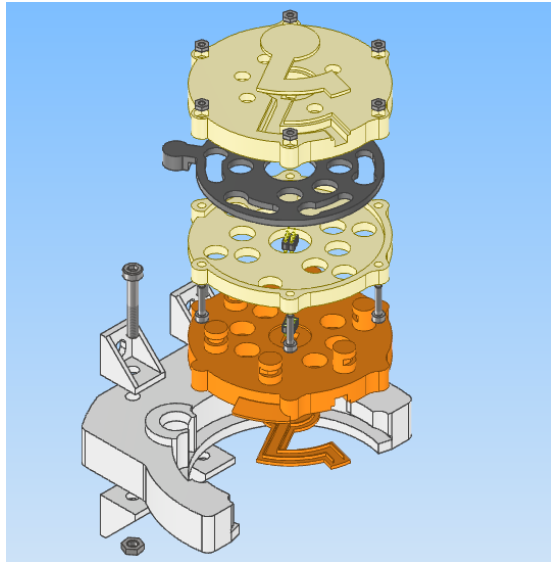


Ilustración 24: Vista isométrica en explosión "GiroE" (despiece completo)

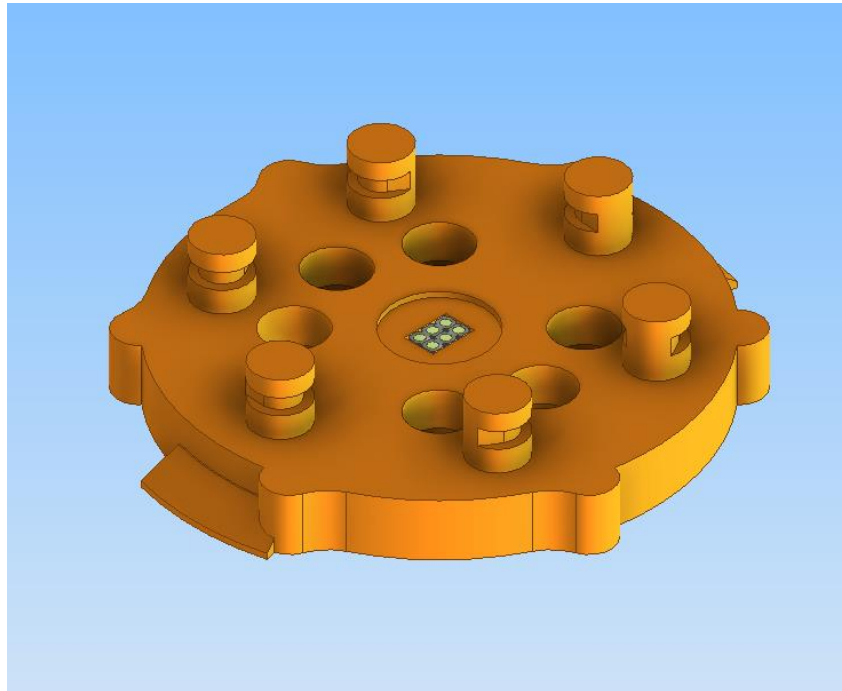


Ilustración 25: Vista isométrica Lado herramienta. Desde el centro hacia afuera: conector eléctrico hembra central; agujeros interfaz de acople herramienta/robot; Pasadores de bloqueo del sistema.

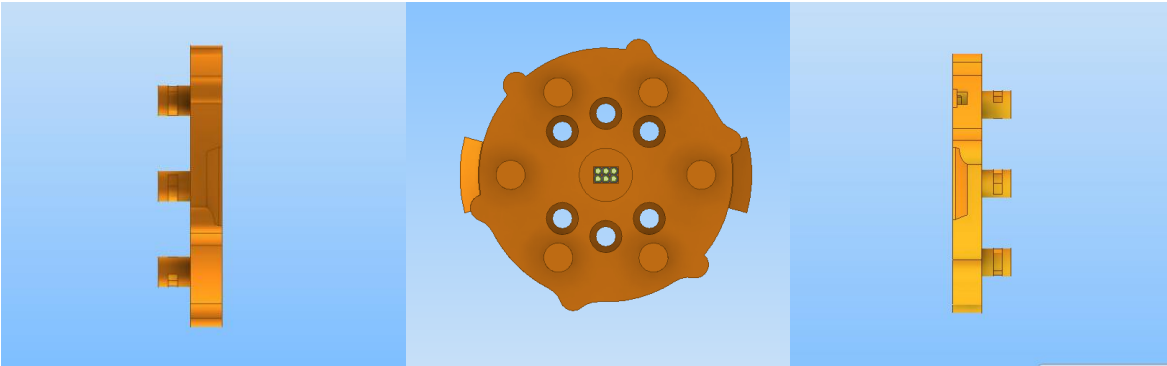


Ilustración 26: Lado herramienta en vistas superior y laterales. En la imagen central se aprecian las aletas de reposo a la derecha e izquierda.

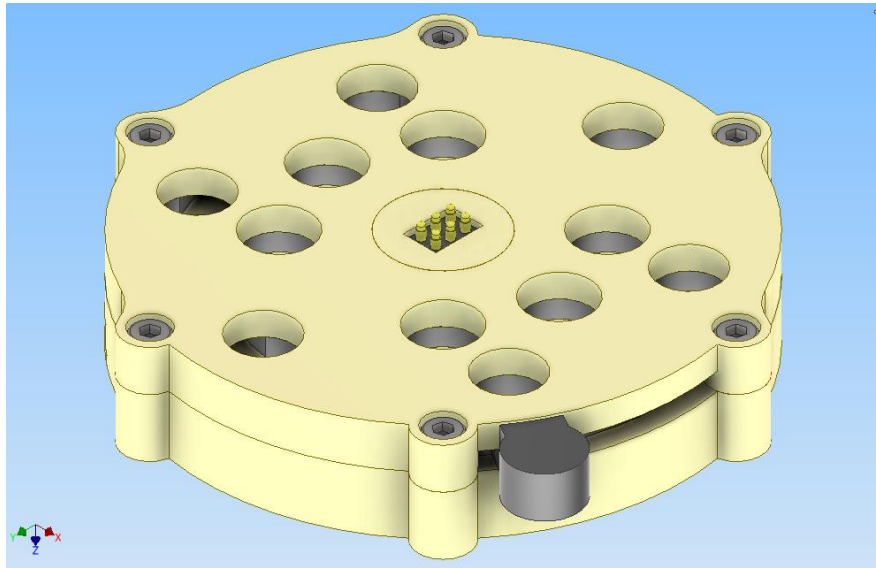


Ilustración 27: Vista isométrica Lado robot. Del centro a afuera se distingue: al centro, conector eléctrico macho; Agujeros porta perno interfaz de acople herramienta/robot; Agujeros pasadores de bloqueo. En gris se muestra el disco de bloqueo.

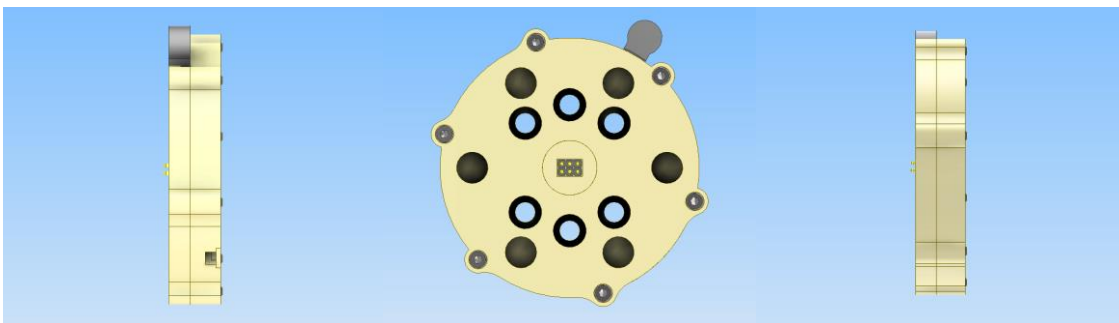


Ilustración 28: Lado robot en vistas inferior y laterales.

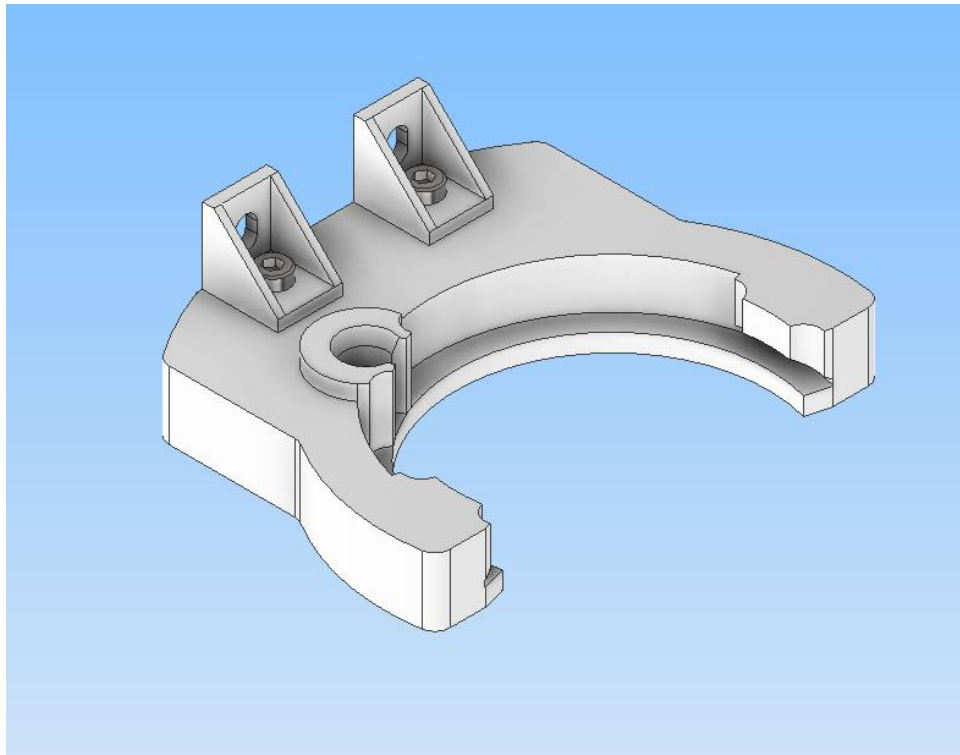


Ilustración 29: Vista isométrica Sistema Stand de intercambiador "GiroE".

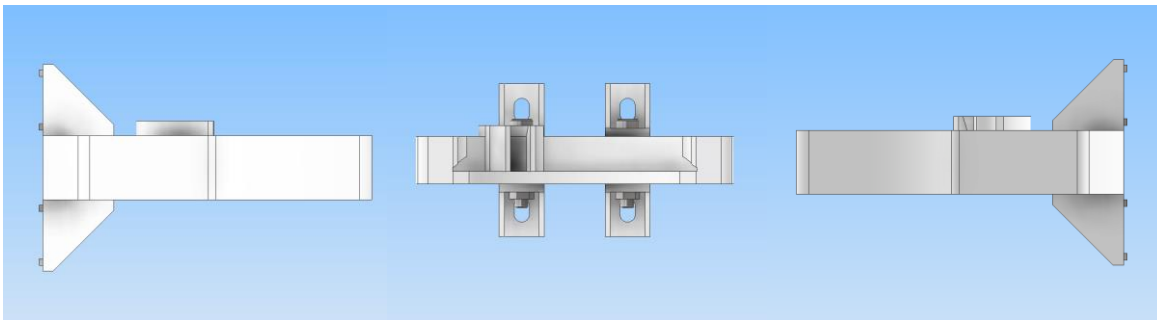


Ilustración 30: Vistas frontal y laterales del Stand.

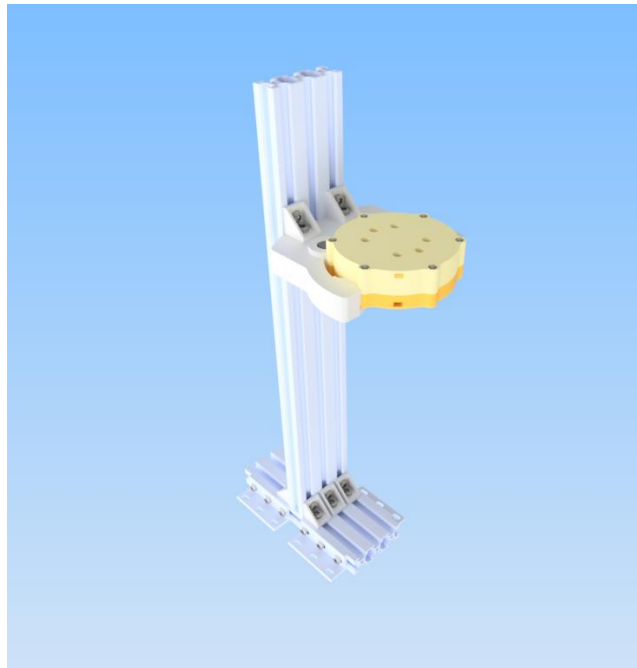


Ilustración 31: Vista en perspectiva de sistema "GiroE". Se incluyen: columna de soporte para el sistema; stand; Lado robot; lado herramienta.

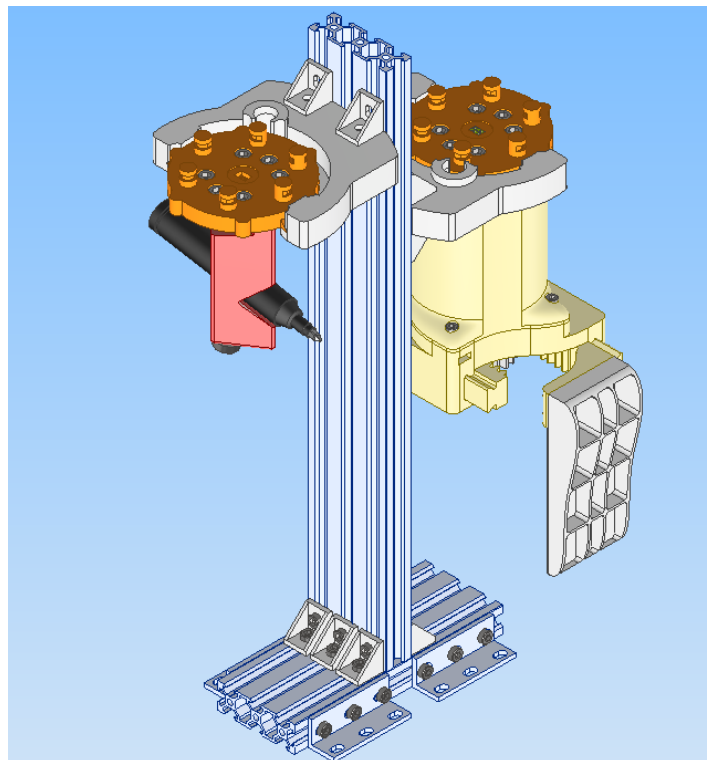


Ilustración 32: se muestra un módulo o columna de soporte con dos Stand y cada uno con su respectiva herramienta y lado herramienta en estado de reposo.

La tabla a continuación tiene como propósito mostrar el funcionamiento del sistema “GiroE”. Se muestran de arriba abajo los pasos y movimientos que se llevan a cabo para el bloqueo del sistema y el agarre del lado herramienta. En las vistas isométricas y superior del paso 2 y 3 se ocultó el lado robot superior para facilitar la comprensión y visualizar de mejor manera el movimiento y bloqueo.

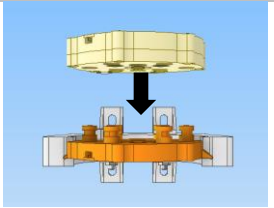
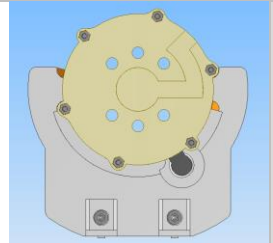
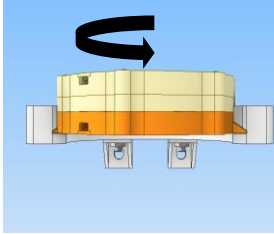
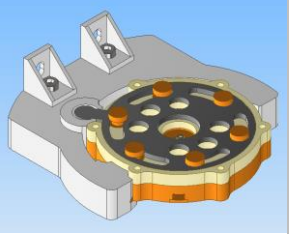
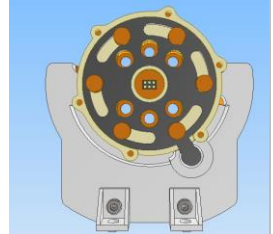
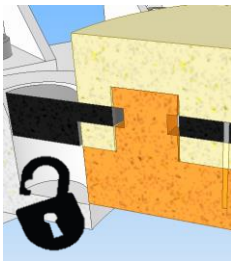
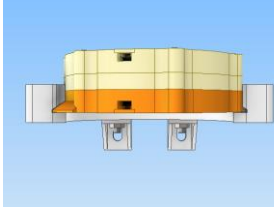
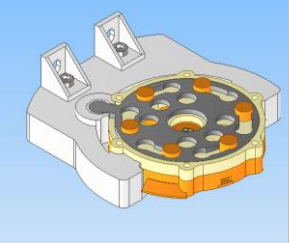
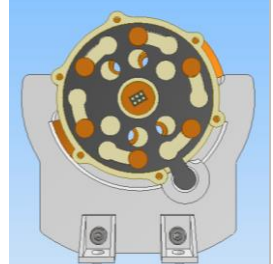
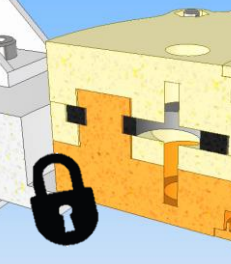
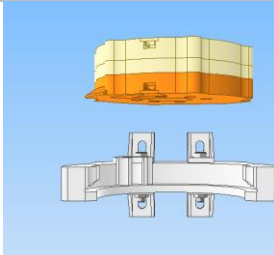
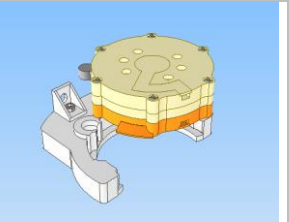
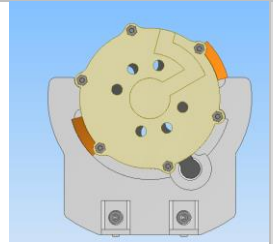
N°	Vista frontal	Vista isométrica	Vista superior	Detalle
1				
2				
3				
4				

Tabla 17: pasos de funcionamiento “GiroE”.

Se muestra a continuación los resultados del modelo CAD para la herramienta Gripper nombrado "LaGara".

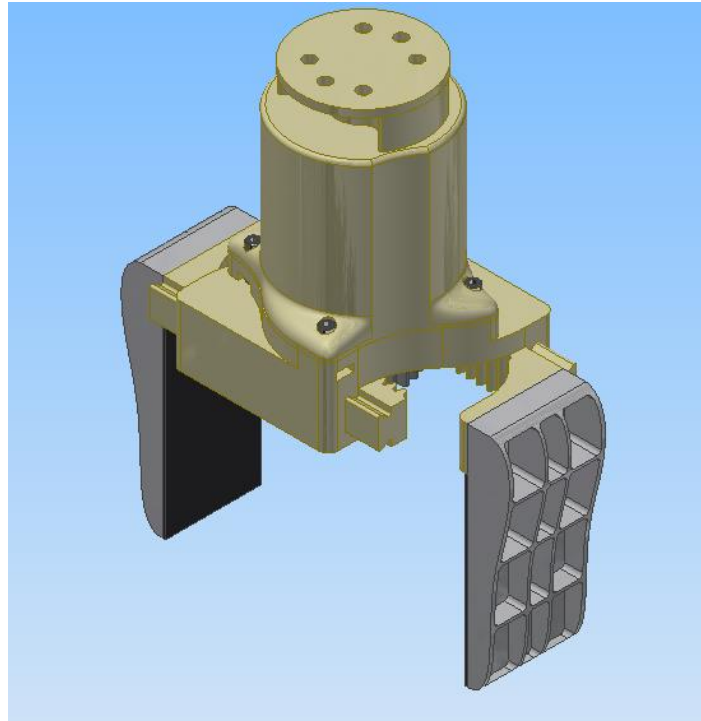


Ilustración 33: Vista isométrica Gripper "LaGara".

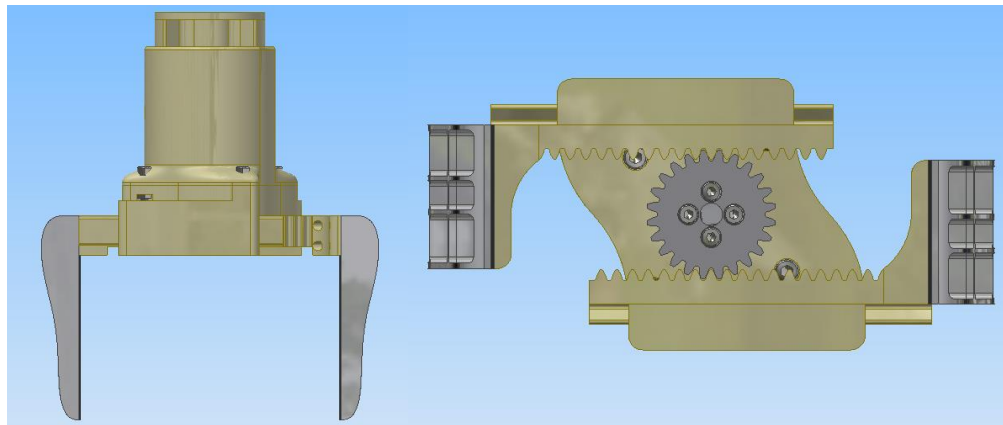


Ilustración 34: Vista frontal (izquierda) e inferior (derecha) gripper "LaGara".

Finalmente se ilustra el resultado del modelo CAD para la herramienta de fijación "Scribly".

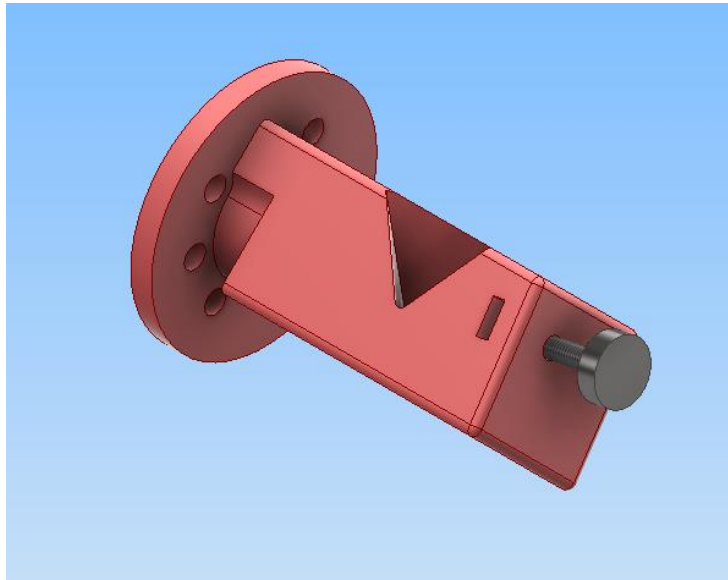


Ilustración 35: Vista isométrica herramienta "Scribly". Se distingue en negro (parte frontal) el perno de ajuste.

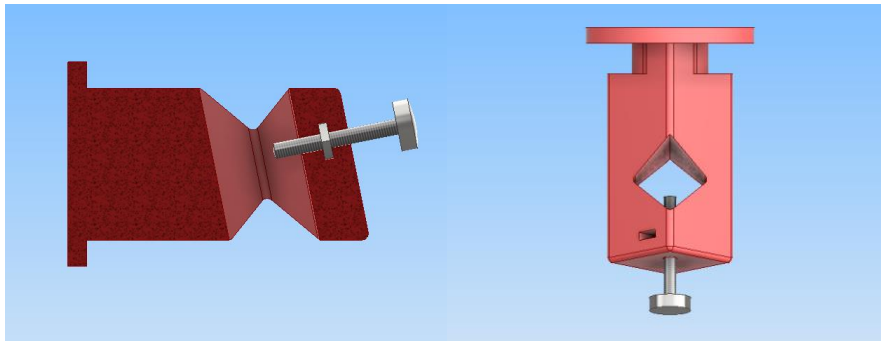


Ilustración 36: vista lateral seccionada (izquierda). Vista superior (derecha).

---

## 6.7 Construcción y ensamblado

---

El objetivo principal de esta etapa es establecer, definir y cuantificar los materiales necesarios para la construcción de los modelos propuestos y diseñados en CAD así como también mostrar el proceso de impresión y los prototipos ensamblados.

---

### 6.7.1 Prototipo asistido por computador

---

Generado un archivo en formato *.stl* se obtiene lo necesario para poder hacer utilización de manufactura aditiva. En este caso, se realiza la manufactura en una impresora 3D Ultimaker 2+, la cual puede imprimir en PLA, ABS, Nylon, entre otros, la mayoría termoplásticos reciclables y tiene dimensiones acotadas para la fabricación de 223x223x205mm.

Entre las opciones de materiales (anexo 9.2) se elige el que tiene mayor resistencia a la flexión (103,3 [MPa]) y resistencia al impacto como lo es el PLA, priorizando la rigidez de las estructuras, entregando seguridad en caso de recibir impactos a grandes velocidades y una vida útil más larga.

En el proceso de manufactura aditiva, se consideran factores iniciales como: la temperatura de inyección, la dimensión de tobera de inyección, temperatura de placa y tobera; velocidades de inyección y la densidad de la estructura, la cual interviene en el tiempo total de fabricación de las piezas.

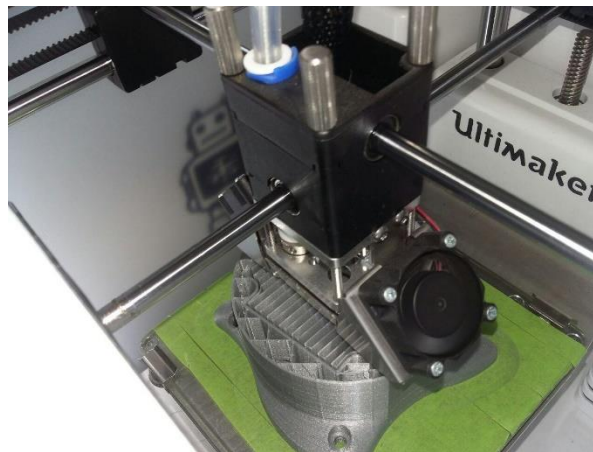


Ilustración 37: Proceso de impresión 3D de pieza Carcaza motor de LaGara gripper.

Cabe destacar que, en las piezas de mayor volumen, se priorizó una impresión rápida, con alturas de capa mayor y menor porcentaje de relleno para agilizar el proceso de impresión, y así estar dentro del tiempo disponible en el laboratorio de prototipado rápido, el cual es de 9 horas diarias.

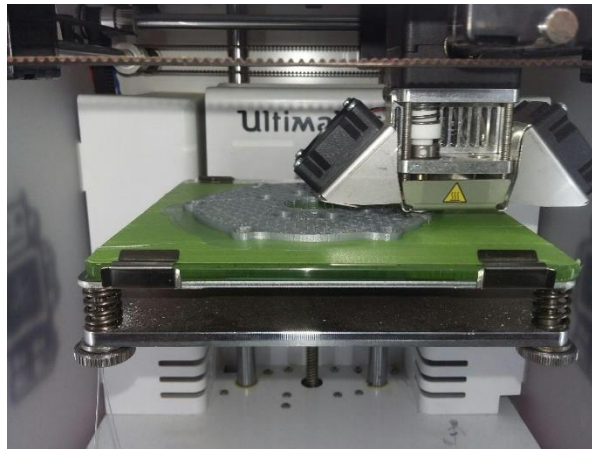


Ilustración 38: Proceso de impresión 3D pieza Lado robot superior GiroE intercambiador de herramientas.

Para cada prototipo se da un listado de las piezas impresas y su determinado costo, además se indican las variables principales utilizadas como porcentaje de relleno, diámetro de filamento y altura de capa en el eje Z.

Pieza	Cantidad	% Relleno	Filamento utilizado [m]	Masa [g]	Masa total [g]	Tiempo de producción unitario [hr:min]	Tiempo de producción total [hr:min]	Costo <sup>14</sup> total [CLP\$]
Escuadra soporte Stand	4	100	0,42	3	12	0:32:00	2:08:00	240
Tapa porta cable	2	10	0,28	2	4	0:13:00	0:26:00	80
Lado robot inferior	1	100	3,23	26	26	4:38:00	4:38:00	520
Lado robot superior	1	70	6,64	53	53	7:26:00	7:26:00	1060
Lado herramienta	1	90	8,15	64	64	8:21:00	8:21:00	1280
Disco bloqueo	1	90	1,72	14	14	1:59:00	1:59:00	280
Stand	1	20	7,2	57	57	7:53:00	7:53:00	1140
<b>Total</b>	<b>11</b>		<b>27,64</b>		<b>230</b>		<b>32:51:00</b>	<b>4600</b>

Tabla 18: Listado de piezas impresas en 3D, tiempo de producción, cantidad de material y su costo para Intercambiador de herramientas "GiroE".

Pieza	Cantidad	% Relleno	Filamento utilizado [m]	Masa [g]	Masa total [g]	Tiempo de producción unitario [hr:min]	Tiempo de producción total [hr:min]	Costo total [CLP\$]
Rueda dentada	1	80	2,92	23	23	3:08:00	3:08:00	460
Carro	2	30	3,15	25	50	4:07:00	8:14:00	1000

<sup>14</sup> El costo de filamento se estima con el porcentaje de masa de la pieza con respecto al costo por kilogramos de filamento en el mercado actual, aproximadamente \$20.000 [CLP/kg].

Cremallera	2	30	1,69	13	26	2:06:00	2:12:00	520
Paleta agarre	2	50	4,92	39	78	7:07	14:14:00	1560
Carcaza motor <sup>15</sup>	1	10	15,95	126	126	8:45:00	8:45:00	2520
Riel soporte	1	20	8,54	64	64	5:38:00	5:38:00	1280
Total	9		37,17	290	367		42:11:00	7340

Tabla 19: Listado de piezas impresas en 3D, tiempo de producción, cantidad de material su costo para Gripper “LaGara”.

Pieza	Cantidad	% Relleno	Filamento utilizado [m]	Masa [g]	Tiempo de producción unitario [hr:min]	Costo total [CLP\$]
Cuerpo Scribly	1	10	6,65	53	8:13:00	1060

Tabla 20: Listado de piezas impresas en 3D, tiempo de producción, cantidad de material su costo para herramienta de fijación “Sribly”.

El desglose de todos los componentes, donde se incluyen las piezas de fijación, conectores, y equipos motrices puede revisarse en el anexo 9.6 , junto con sus respectivas cotizaciones en el anexo 9.7.

<sup>15</sup> Excepcionalmente para las piezas Carcaza motor y Riel soporte se utilizó la impresora Ultimaker 2 Go, la cual es más ágil y rápida, se usaron las variables mostradas en la tabla 20 y una altura de capa de 0,2mm.

---

## 6.7.2 Ensamble de prototipos finales

---

A continuación, se muestran algunas imágenes del resultado final con los prototipos ensamblados.



Ilustración 39: sistema de transmisión de gripper LaGara

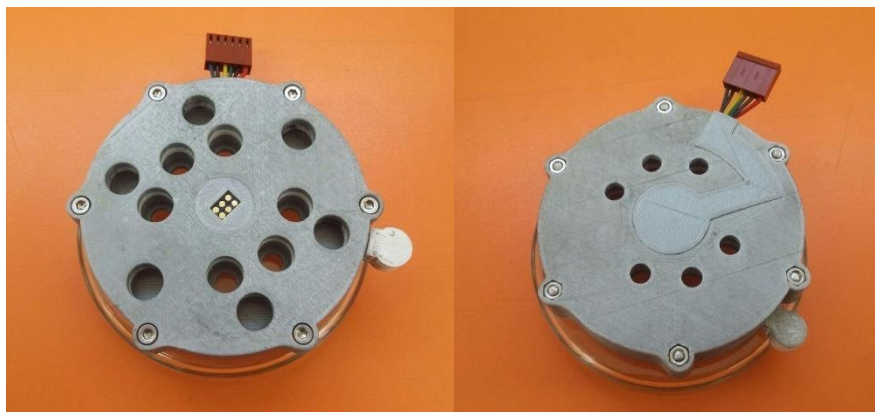


Ilustración 40: Lado Robot de intercambiador de herramientas GiroE. Vista superior e inferior.

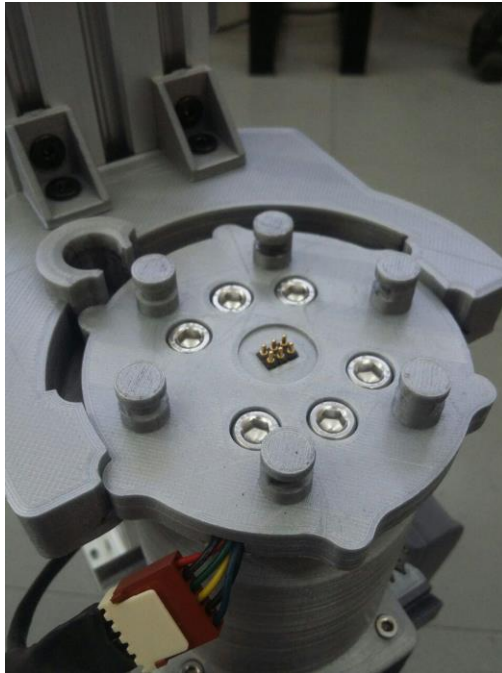


Ilustración 41: Lado herramienta de intercambiador de herramientas GiroE portando gripper LaGara en posición de reposo en Stand.



Ilustración 42: Stands y columna porta stand en ensamble.

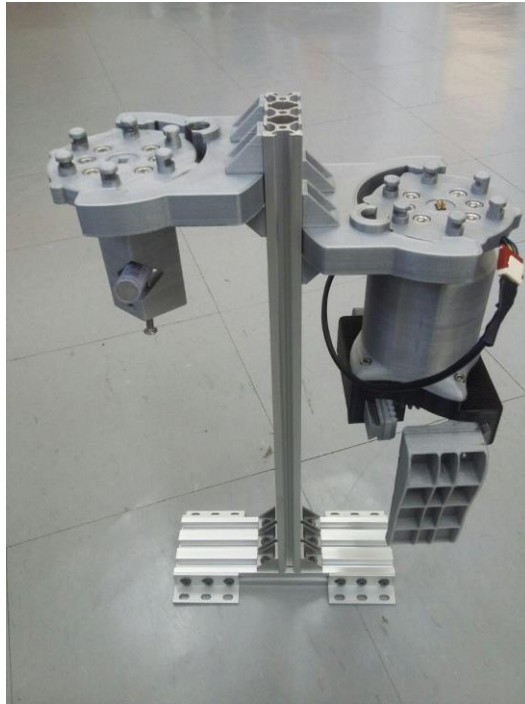


Ilustración 43: vista lateral de Columna porta Stand portando cada uno, herramienta de fijación Scribly (izquierda) y gripper LaGara (derecha) respectivamente.

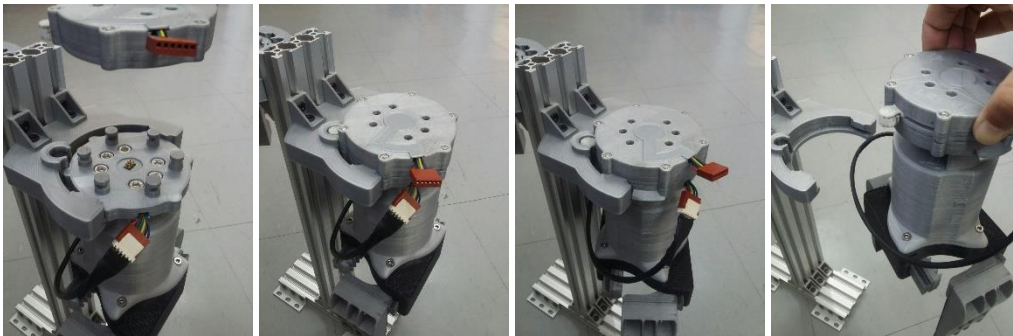


Ilustración 44: test de prueba de ergonomía y ensablaje de sistema de bloqueo de intercambiador de herramientas GiroE.

Las principales características de los modelos desarrollados son el diseño consolidado que se creó a través de:

- **Diseño para la función:**

Se basó el diseño en las libertades ofrecidas por la manufactura aditiva priorizando así la función a desarrollar y no los procesos de manufactura como en el caso antagónico de los procesos con desprendimiento de material.

- **Reducción de peso:**

Todas las piezas dependiendo de su función poseen densidades de relleno diferentes

Esta opción permite reducir tanto el costo de material como el tiempo empleado en imprimir. A la vez que se consiguen EOATs ligeros y equilibrados.

- **Características integradas:**

En específico se incluyeron agujeros y bolsillos para inserción de hardware, pernos, tuercas, conectores y cables.

- **Unificación/Separación de partes:**

Es decir, se convirtieron ensamblajes en partes individuales y viceversa, para optimizar tanto el ensamblaje como la operación de impresión respectivamente.

---

## 7 Conclusiones y recomendaciones

---

- La utilización de modelación de sólidos 3D por medio de software CAD, genera una mejora en ahorro de tiempo y aumento de la funcionalidad en el proceso de diseño y manufactura, pues abre las posibilidades de transferir información y compartirla en la nube, integrando así las tecnologías disponibles, lo cual permite nuevos modelos de diseño, manufactura y negocio.
- El uso de tecnologías de Rapid Prototyping en la manufactura de herramientas de fin de brazo robótico permite el estudio de múltiples formas de ensamblaje y configuraciones de subsistemas, lo que favorece la realización de pruebas y modificaciones de forma expedita, minimizando el costo y tiempo además de acelerar el proceso de diseño adecuándolo a las reales necesidades del usuario final.
- La unión de los sistemas de Modelado CAD y Prototipado rápido representa una alternativa potencial para aumentar la competitividad en la productividad nacional, ayudando a las empresas a acelerar los procesos de producción, mejorar la calidad, reducir costos y disminuir los tiempos en la elaboración de prototipos y piezas funcionales.
- La tecnología de impresión 3D permite que los EOAT puedan diseñarse de forma personalizada con piezas de formas únicas para optimizar las operaciones específicas y mejorar la productividad, por un lado, eliminando el tiempo y el costo asociado a los procesos de mecanizado, y por otro eliminando las restricciones de diseño impuestas por la manufactura por desprendimiento de material.
- La impresión 3D presenta una clara oportunidad de desarrollo de nuevas tecnologías en el ámbito de la robótica y automatización. Los EOAT pueden producirse con materiales termoplásticos resultando herramientas asequibles, de fácil repetitividad, estables y livianas. Lo anterior implica ventajas en términos de rendimiento para los robots manipuladores. La ligereza de los EOAT permite a los robots moverse más rápidamente o llevar cargas más pesadas, mejora la eficiencia de los motores y reduce el desgaste de componentes, con lo que se prolongan los tiempos entre mantenciones y aumenta la vida útil de los robots.
- Se reconoce que los EOAT por prototipado rápido están principalmente limitados por los materiales de impresión, siendo la resistencia mecánica la principal variable de interés, sin embargo, esto representa una oportunidad en el desarrollo de nuevos materiales, con mejores propiedades mecánicas, mejores prestaciones de impresión y amigables con el medio ambiente.
- La problemática de integración de herramientas EOAT es una clara oportunidad en el desarrollo de nuevos dispositivos y tecnologías de robótica y automatización, desde,

por ejemplo: la experimentación, tanto en la optimización de procesos y aumento en la confiabilidad de estos, como también en el análisis estructural de los prototipos por modelaciones numéricas.

- El intercambiador de herramientas “GiroE” concebido en este trabajo representa una clara oportunidad para continuar con el desarrollo de soluciones a la problemática de integración de EOAT, a través de, el potencial rediseño de cada uno de sus subsistemas, como la incorporación de conexiones para potencia hidráulica o neumática por ejemplo, o la realización de una escalabilidad automatizada del dispositivo por medio de una parametrización del modelo.
- Por último, para un desarrollo efectivo del caso de estudio, se hace necesario una futura etapa experimental con equipos montados, para la realización de pruebas y mediciones que entreguen la posibilidad de generar un conocimiento más profundo de las variables de diseño. Junto con esto, es posible mejorar la metodología utilizada, adecuarla y reestructurarla, para trabajar en grupos interdisciplinarios para realizar mejoras del diseño en términos de estética, ergonomía, anclaje de piezas, configuración de soporte, inclusión de sensores, programación offline, diseño ante condiciones extremas, etcétera.

---

## 8 Bibliografía

---

- A.K. Matta, D. R. (2015). The integration of CAD/CAM and Rapid Prototyping in Product Development: A review. *Materials Today: Proceedings 2*, 3438 - 3445.
- Alain Bernard, A. F. (2002). New Trends in Rapid Product Development. *CIRP Annals*, 635-652.
- Altshuller, G. (1984). *Creativity as a Exact Science: The Theory of the Solution of Inventive Problems*. Gordon and Breach Science Publishers.
- Apostolovich, L. L. (2009). *Modelación y simulación dinámica de un brazo robótico de 4 grados de libertad para tareas sobre un plano horizontal*.
- Brown, F., & Domínguez, L. (1989). *Nuevas tecnologías en la Industria maquiladora de exportación*. Mexico: Comercio Exterior.
- Bullón Vilchis, O. (2009). *Automatización industrial (Doctoral dissertation)*.
- C. K. Chua, S. H. (1999). Rapid Prototyping Versus Virtual Prototyping in Product Design and Manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 597-603.
- Camp, R. (1994). *Business Process Benchmarking: Finding and Implementing Best Practice*. ASQC Quality Press, Milwaukee.
- Colciencias. (2005). *Plan Estratégico de Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico, Industrial y Calidad. Bases para una Política de Promoción de la Innovación y el Desarrollo Tecnológico en Colombia 2005 - 2015*.
- Córdoba, E. (2006). *Manufacturing and automation. Ingeniería e Investigación*.
- Dazhong Wu, D. W. (2015). Cloud-based design and manufacturing: A new paradigm in digital manufacturing and design innovation. *Computer-Aided Design*, 1-14.
- Fernandez, V. L. (2016). *Estudio y optimización del uso de estructuras de soporte para impresoras 3D de tecnología DLP*. ETSEIB.
- Fischer, A. B. (2001). Tele-design for manufacturing. *Annals of the CIRP*, 77-80.
- Fong, S. W. (1998). *Benchmarking: a general reading for management practitioners*. Management Decision.
- Fuh JY, L. W. (2005). Advances in collaborative CAD: the state of the art. *Comput Aided Des*, 37(5), 571-581.
- Gutiérrez, Infante, & Córdoba. (1994). *Significado Económico - Social y Técnico de Automatización*.
- Historia de las impresoras 3D*. (2016).
- Kurman, H. L. (2015). *La revolución de la impresión 3D*. Grupo Anaya.

- Langevin, R. (03 de Marzo de 2013). *Technical Innovation Center, Inc.* Obtenido de <http://www.triz.org/index.php/triz/triz>
- Levy, G. (2001). Layered-manufacturing: a powerful technology in the rapid product development cycle. *uRapid*. Amsterdam.
- Levy, G. S. (2001). Rapid tooling technologies enabling the integration of product design and production. *ISEM XIII*. Bilbao, España.
- Monostori L, V. J. (2006). Agent-based systems for manufacturing. *CIRP Ann*, 55(2), 697-720.
- Nikulin, & Becattini. (s.f.). *An approach for identifying and exploring technological alternatives*.
- Nikulin, Graziosi, Cascini, & Stegmaier. (2013). *Integrated Model for Technology Assessment and Expected Evolution: A Case Study in the Chilean Mining Industry*. *Journal of Integrated Design and Process Science*. Journal of Integrated Design and Process Science .
- Pahl G, B. W. (1984). *Engineering design* (Vol. 984). (W. K, Ed.) London: Design Council.
- Pahl, G. a. (1996). *Engineering Design. A Systematic Approach*. Springer.
- Pahl, G. B. (2007). *Engineering Design: A Systematic Approach*. 157.
- Pardo, I. (2016). *Diseño mediante elementos finitos de un cuadricóptero para impresión 3D*. Emerald Insight.
- Rentería, A., & Rivas, M. (2000). *Robótica industrial: fundamentos y aplicaciones*. McGraw-Hill.
- Ruiz, A., & Molina, J. (2010). *Automatización y telecontrol de sistemas de riego*. Macombo.
- S. O. Onuh, Y. Y. (1999). Rapid prototyping technology: applications and benefits for rapid product development. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 301 - 311.
- Shen W, H. Q. (2006). Applications of agent-based systems in intelligent manufacturing: an updated review. *Adv Eng Inform*, 20(4), 415-431.
- Tripp, S. D. (1990). Rapid Prototyping: An Alternative Instructional Design Strategy. 1-17.
- Ulrich KT, E. S. (1995). *Product design and development* (Vol. 384). New York: McGraw-Hill.
- Vazhnov, A. (2013). *Impresión 3D. Cómo va a cambiar el mundo*. Baikal.
- Vilaboa, J. (2004). *Gestión de la automatización de plantas industriales en Chile*. Concepción: U.T.A.
- Watson, G. (1993). *Strategic benchmarking: How to rate your company's performance against the world's best*. . Wiley.

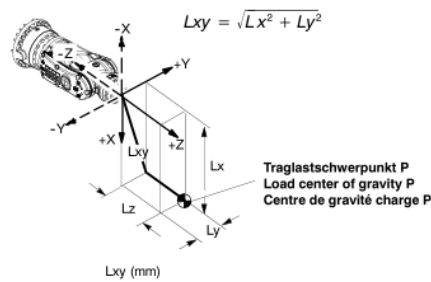
# 9 ANEXOS

## 9.1 Especificaciones técnicas brazo robótico Kuka kr6



- ACHTUNG:** Diese Belastungskurven und die Tabellenwerte entsprechen der äußersten Belastbarkeit! Ein Überschreiten geht in die Lebensdauer des Geräts ein, überlastet im allgemeinen Motoren und Getriebe und bedarf auf alle Fälle der Rücksprache mit KUKA.
- IMPORTANT:** These loading curves and the values in the table correspond to the maximum load capacity. Exceeding this capacity will reduce the service life of the robot and generally overload the motors and gears; in any such case KUKA must be consulted.
- ATTENTION:** Les courbes de charge et les valeurs du tableau représentent la capacité de charge maximum! Un dépassement de cette capacité réduit la durée de vie du robot et, en règle générale, surcharge les moteurs ainsi que les engrenages et transmissions. Il faudra en tous cas consulter KUKA auparavant.
- HINWEIS:** Die hier ermittelten Werte sind für die Robotereinsatzplanung notwendig. Für die Inbetriebnahme des Roboters sind gemäß KUKA-Softwaredokumentation zusätzliche Eingabedaten erforderlich.
- NOTE:** The values determined here are necessary for planning the robot application. For commissioning the robot, additional input data are required in accordance with the KUKA software documentation.
- REMARQUE:** Les valeurs ainsi déterminées sont indispensables pour définir le champ d'application du robot. Des données supplémentaires sont nécessaires pour la mise en service du robot conformément à la documentation du logiciel KUKA.

Roboterflansch-Koordinatensystem  
Robot flange coordinate system  
Système de coordonnées bride du robot



Zulässige Massenträgheit im Auslegungspunkt  
( $L_{xy} = 100 \text{ mm}$ ,  $L_z = 120 \text{ mm}$ )  $0,18 \text{ kgm}^2$ .

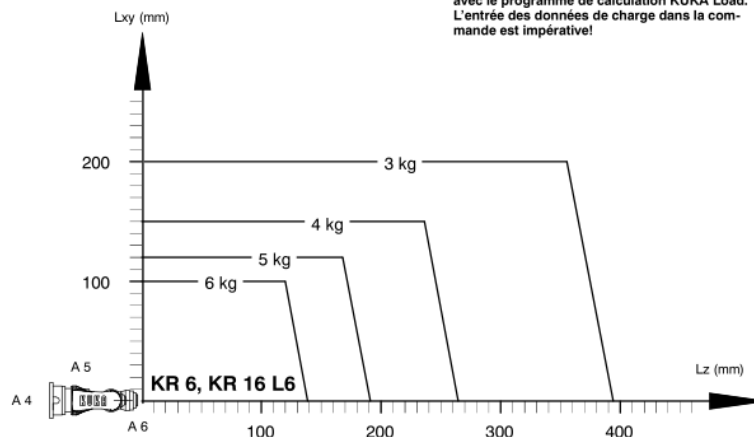
**ACHTUNG:** Die Massenträgheiten müssen mit dem Berechnungsprogramm KUKA Load überprüft werden. Die Eingabe der Lastdaten in die Steuerung ist unbedingt erforderlich!

Permissible mass inertia at the design point  
( $L_{xy} = 100 \text{ mm}$ ,  $L_z = 120 \text{ mm}$ )  $0,18 \text{ kgm}^2$ .

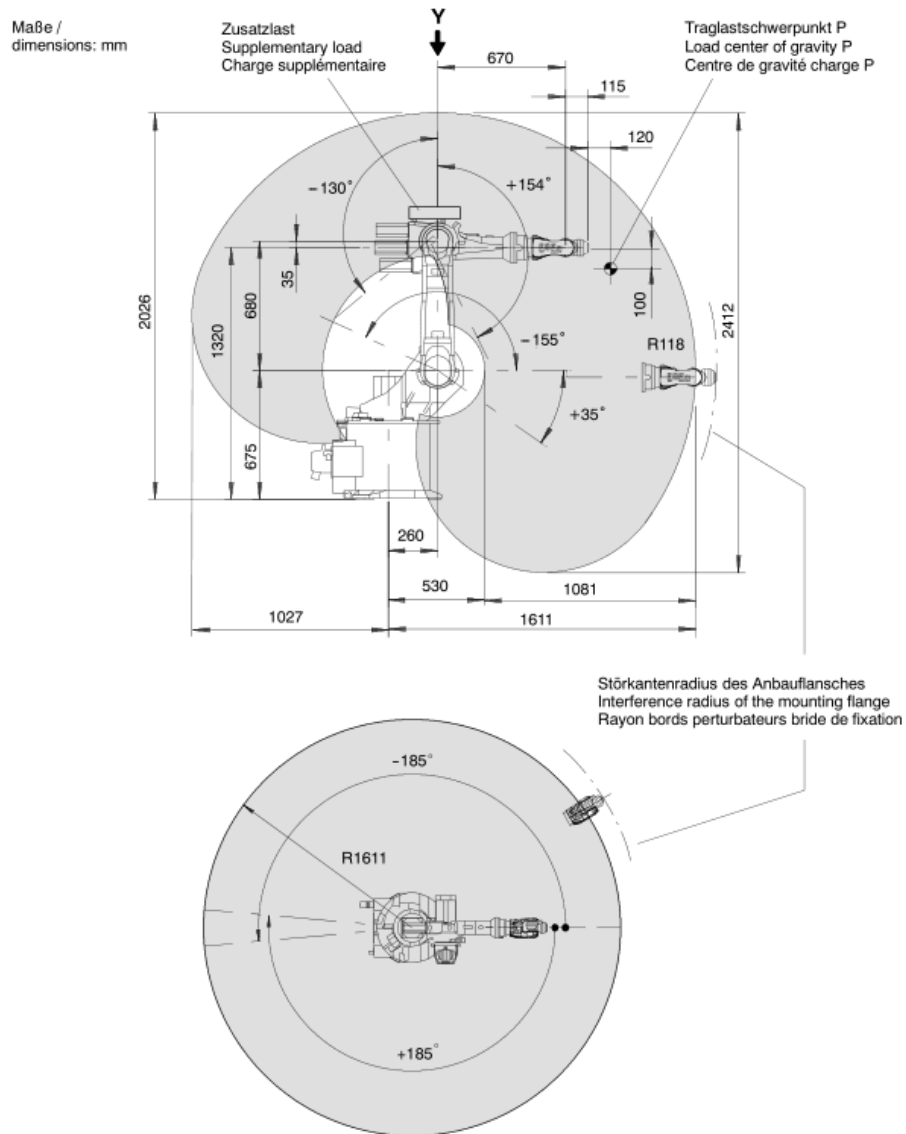
**IMPORTANT:** The mass inertia must be checked using the calculation program KUKA Load. It is imperative for the load data to be entered in the controller!

Inertie de masse autorisée au point de conception  
( $L_{xy} = 100 \text{ mm}$ ,  $L_z = 120 \text{ mm}$ )  $0,18 \text{ kgm}^2$ .

**ATTENTION:** Les inerties de masse sont à vérifier avec le programme de calcul KUKA Load. L'entrée des données de charge dans la commande est impérative!



**3-2** Traglastschwerpunkt P und Belastungskurven für KR 6 / KR 16 L6  
Load center of gravity P and loading curves for KR 6 / KR 16 L6  
Centre de gravité de la charge P et courbes de charge pour KR 6 / KR 16 L6

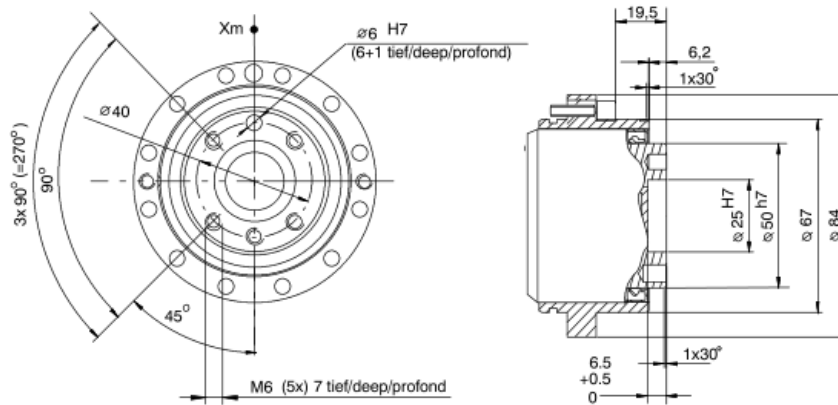


**HINWEIS:** Der Zusatzlast-Schwerpunkt muss so nahe wie möglich an der Drehachse 3 und an der Linie a in Bild 3-12 liegen. Bezugspunkt für den Arbeitsbereich ist der Schnittpunkt der Drehachsen 4 und 5. Ansicht Y siehe Bild 3-12.

**NOTE:** The center of gravity of the supplementary load must be located as close as possible to rotational axis 3 and to line "a" in Figure 3-12. The reference point for the working envelope is the intersection of rotational axes 4 and 5. View Y see Figure 3-12.

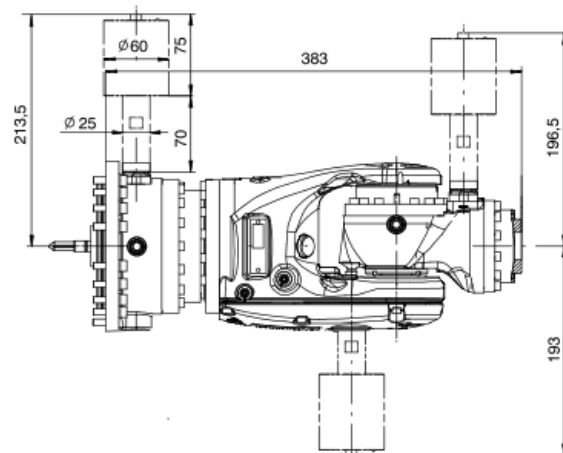
**REMARQUE:** Le centre de gravité de la charge utile supplémentaire doit être aussi proche que possible de l'axe de rotation 3 et de la ligne a de la figure 3-12. Le point de référence de l'enveloppe d'évolution est le point d'intersection des axes de rotation 4 et 5. Vue Y voir figure 3-12.

### 3-8 Hauptabmessungen und Arbeitsbereich (softwarebezogen) des KR 6 Principal dimensions and working envelope (software values) of the KR 6 Dimensions principales et enveloppe d'évolution (se rapportant au logiciel) du KR 6



**3-4** DIN/ISO-Anbauflansch für ZH 6 kg  
 DIN/ISO mounting flange for IW 6 kg  
 Bride de fixation DIN/ISO pour PL 6 kg

Befestigungsschrauben M6, Qualität 10.9  
 Einschraubtiefe: min. 6 mm, max. 9 mm  
 Fastening screws M6, quality 10.9  
 Depth of engagement: min. 6 mm, max. 9 mm  
 Vis de fixation M6, qualité 10.9  
 Longueur vissée: min. 6 mm, max. 9 mm



Für die Nullpunkt-Einstellung mit dem elektronischen Messtaster (siehe Abschnitt 2.6) **bei angebautelem Werkzeug** muss dieses so gestaltet sein, dass genügend Platz für Ein- und Ausbau des Messtasters bleibt.

For zero adjustment with the electronic probe (see Section 2.6) **when the tool is mounted**, the latter must be designed to allow sufficient space for installation and removal of the probe.

Pour le réglage du point zéro avec le palpeur de mesure électronique (voir par. 2.6) **lorsque l'outil est monté**, il faut qu'il soit tel qu'on ait encore de la place suffisante pour le montage et le démontage du palpeur.

**3-5** Elektronischer Messtaster, Anbau an A 4, A 5 und A 6 des KR 6 / KR 16 L6,  
 bei mechanischer Null-Stellung der A 4 bis A 6

Electronic probe, installation on A 4, A 5 and A 6 of the KR 6 / KR 16 L6,  
 in mechanical zero position of A 4 to A 6

Palpeur de mesure électronique, montage sur A 4, A 5 et A 6 du KR 6 / KR 16 L6,  
 en position zéro mécanique de A 4 à A 6

### Mounting flange on axis 6

The robots are fitted with a DIN/ISO mounting flange (Fig. 3-4, 3-6):

KR 6	DIN/ISO 9409-1-A40
KR 16	DIN/ISO 9409-1-A50
KR 16 L6	DIN/ISO 9409-1-A40
KR 16 S	DIN/ISO 9409-1-A50

Screw grade for attaching end effector 10.9  
 Grip length min. 1.5 x d  
 Depth of engagement min. 6 mm  
 max. 9 mm

**NOTE:** The flange is depicted with all axes of the robot, particularly axis 6, in the zero position (the symbol † indicates the position of the locating element).

### Zero adjustment

For zero adjustment with the electronic probe (accessory) when the tool is mounted, the latter must be designed to allow sufficient space for installation and removal of the probe (Fig. 3-5, 3-7).

### Drive system

Electromechanical, with transistor-controlled AC servomotors.

**Installed motor capacity** 8.8 kW

### Protection classification of the robot

IP65 (according to EN 60529), ready for operation, with connecting cables plugged in

### Protection classification of the in-line wrists "Standard" and "CR"

IP65 (according to EN 60529)

### Protection classification of in-line wrist "F"

IP67 (according to EN 60529)

### Loading of in-line wrist "F"

Thermal loading 10 s/min. at 453 K (180 °C)  
 Surface temperature 373 K (100 °C)

Resistant to:  
 - high ambient dust content  
 - lubricants and coolants  
 - steam

### Special features for the "F" and "EX" variants

Pressurized arm  
 Overpressure in arm: 0.1 bar  
 Compressed air: free of oil and water  
 Air consumption: approx. 0.1 m<sup>3</sup>/h  
 Threaded union: M5  
 Pressure reducer: 0.1 - 0.7 bar  
 Pressure gauge: 0 - 1 bar  
 Filter: 25 - 30 µm

### Standard paint finish

KR 6, KR 16, KR 16 L6, KR 16 S:  
 Robot and wrist orange (RAL 2003)  
 Cover A 1 black (RAL 9005)

### Special paint finishes

KR 16 F with IW 16 F:  
 Robot orange (RAL 2003)  
 Wrist silver (heat-resistant, heat-reflecting special paint finish)  
 Cover A 1 black (RAL 9005)

KR 16 EX with IW 16 F:  
 Robot orange (RAL 2003)  
 Wrist orange (RAL 2003)  
 Cover A 1 uncoated stainless steel

KR 16 CR with IW 16 CR:  
 Robot white (RAL 9016)  
 Wrist white (RAL 9016)  
 Additional special paint finish on request  
 Cover A 1 uncoated stainless steel

### Sound level

<75 dB (A) outside the working envelope

### KR 16 EX with IW 16 F

Axis	Range of motion software-limited	Speed
1	$\pm 145^\circ$	156°/s
2	+35° to -155°	156°/s
3	+154° to -130°	156°/s
4	$\pm 350^\circ$	330°/s
5	$\pm 130^\circ$	330°/s
6	$\pm 350^\circ$	615°/s

### KR 16 S with IW 16

Axis	Range of motion software-limited	Speed
1	$\pm 185^\circ$	192°/s
2	+35° to -155°	173°/s
3	+154° to -130°	192°/s
4	$\pm 350^\circ$	329°/s
5	$\pm 130^\circ$	332°/s
6	$\pm 350^\circ$	789°/s

#### Repeatability

$\pm 0.05$  mm

#### Mounting position

KR 16 S: Floor or ceiling

KR 16 CR Floor

All other types: Floor, wall or ceiling  
(permissible angle of A 1 see Fig. 1–6)

#### Ambient temperature

- During operation:  
278 K to 328 K (+5 °C to +55 °C)  
In the temperature range from 278 K (+5 °C) to 283 K (+10 °C), the robot must be warmed up before normal operation.  
Caution: special operating conditions apply to KR 16 EX (see Section 3.1).
  - During operation with SafeRDC:  
278 K bis 323 K (+5 °C bis +50 °C)
  - During storage and transportation:  
233 K to 333 K (-40 °C to +60 °C)
- Other temperature limits available on request.

### Principal dimensions and working envelope

see Fig. 3–8, 3–9, 3–10

#### Weight

KR 6	approx. 235 kg
KR 16	approx. 235 kg
KR 16 L6	approx. 240 kg
KR 16 S	approx. 235 kg

#### Volume of working envelope

The reference point is the intersection of axes 4 and 5.

KR 6	14.5 m <sup>3</sup>
KR 16	14.5 m <sup>3</sup>
KR 16 L6	24.0 m <sup>3</sup>
KR 16 S	14.5 m <sup>3</sup>

#### Load center of gravity P

Robot type	Horizontal distance Lz (mm)	Vertical distance Lxy (mm)
KR 6	120	100
KR 16	150	120
KR 16 L6	120	100
KR 16 S	150	120

These values are valid for all rated payloads (Fig. 3–2, 3–3).

#### Principal dynamic loads

see Fig. 1–7 and Fig. 1–8

## 9.2 Características de materiales para Impresión 3D

En la tabla a continuación, se muestra un resumen de características descriptivas y físicas de cada material, las cuales se consideran al momento de producir un prototipo funcional que cumpla con los requerimientos iniciales del usuario.

Material para impresión 3D	Características principales	Aplicaciones	No adecuado para
PLA, Ácido poliláctico	Buena resistencia a la tracción y calidad superficial, facilita el trabajo a altas velocidades de impresión, simplifica el uso en entornos domésticos y de oficina y permite la creación de piezas de alta resolución	Herramientas domésticas, juguetes, proyectos educativos, objetos de exposición, prototipado, modelos arquitectónicos y también métodos de fundición a la cera perdida para crear piezas de metal.	Aplicaciones en contacto con alimentos. Temperaturas mayores a 50 °C.
ABS, Acrilonitrilo butadieno estireno	Excelentes propiedades mecánicas y adhesión uniforme entre capas, buena estética, deformación mínima y adhesión fiable al lecho.	Prototipado visual, funcional y fabricación en series cortas.	Aplicaciones en contacto con alimentos. Exposición prolongada a radiación UV. Temperaturas mayores a 85 °C.
CPE, Copoliéster	Excelentes niveles de resistencia química, dureza y estabilidad dimensional, buena adhesión entre capas y bajos niveles de partículas ultra finas (PUF) y compuestos orgánicos volátiles (COV)	Prototipado visual y funcional, fabricación en series cortas.	Aplicaciones en contacto con alimentos. Uso prolongado en exteriores. Temperaturas superiores a 70 °C.
CPE+, Copoliéster	Excelentes niveles de resistencia química, dureza y estabilidad dimensional, buena adhesión entre capas, buena adhesión al lecho y bajos niveles de partículas ultra finas (PUF) y compuestos orgánicos volátiles (COV). Permite la impresión de piezas traslúcidas con la opción de filamentos transparentes.	Prototipado visual y funcional, fabricación en series cortas.	Aplicaciones en contacto con alimentos. Uso prolongado en exteriores. Temperaturas superiores a los 100 °C.
Nylon, Poliamida	Resistencia a impactos y abrasiones de calidad industrial, duradero, alta relación entre resistencia y peso, bajo coeficiente de fricción y buena resistencia a la corrosión por álcalis y compuestos orgánicos.	Prototipado visual, herramientas y modelado industrial.	Aplicaciones en contacto con alimentos. Temperaturas mayores a los 80 °C.
PC, Policarbonato	Alta resistencia, resistencia a la temperatura, características retardantes de llama, estabilidad dimensional, fuerte adhesión entre capas, buena adhesión al lecho. Permite impresión de piezas traslúcidas con la opción de filamentos transparentes.	Iluminación, moldes, piezas de ingeniería, herramientas, prototipado funcional y fabricación en series cortas.	Aplicaciones en contacto con alimentos. Temperaturas mayores a 110 °C.

PP, Polipropileno	Duradero, altos niveles de dureza y resistencia a la fatiga; baja fricción y superficies lisas; buena resistencia térmica; semiflexible; resistencia química a una amplia variedad de bases y ácidos, incluyendo productos de limpieza industrial; alta resistencia eléctrica; resistente a la humedad; traslúcido; baja densidad que permite obtener piezas ligeras; adhesión entre capas excelente; adhesión adecuada al lecho y baja deformación al utilizar láminas adhesivas.	Prototipos funcionales, bisagras vivas, conectores, equipo de laboratorio, molduras, carpetas de papelería, envasado, cajas de almacenamiento, cubiertas protectoras y pantallas.	Aplicaciones en contacto con alimentos. Radiación UV y/o humedad. Temperaturas mayores a 105 °C.
PVA, Alcohol polivinílico	Buena estabilidad térmica, mayor resistencia a la degradación respecto a otros filamentos de PVA; menos sensible a la humedad que otros filamentos de PVA; buena adhesión a PLA y Nylon; disolución segura en agua; biodegradable sin subproductos peligrosos.	Estructuras de apoyo hidrosolubles para materiales de construcción de PLA y Nylon. Moldes de PVA.	Estructuras de apoyo hidrosolubles para materiales de construcción de ABS o CPE.
TPU 95A, Poliuretano termoplástico	Resistencia al deterioro por uso, alta resistencia a impactos, dureza Shore A de 95, hasta un 580% de alargamiento a la rotura y buena resistencia a la corrosión por productos químicos y aceites industriales habituales.	Prototipado funcional, empuñaduras, guías, bisagras, manguitos, piezas de encaje a presión y carcasas protectoras.	Aplicaciones en contacto con alimentos. Radiación UV y/o humedad. Temperaturas mayores a 100 °C.

Tabla 21: Características descriptivas de materiales a utilizar en la manufactura del prototipo. Información de entrega por Ultimaker.

Material para impresión 3D	Tracción de Fluencia ISO 527 50 mm/min [MPa]	Módulo de Elasticidad a la Tracción ISO 527 1mm/min [MPa]	Resistencia a la Flexión ISO 178 [MPa]	Módulo de Flexión ISO 178 [Mpa]	Resistencia de impacto Izod, con mella a 23 °C ISO 180 [kJ/m <sup>2</sup> ]
PLA, Ácido poliláctico	45,6	2346,5	103,0	3150,0	5,1
ABS, Acrilonitrilo butadieno estireno	33,9	1681,5	70,5	2070,0	10,5
CPE, Copoliéster	37,7	1537,5	79,5	1990,0	4,0
CPE+, Copoliéster	33,0	1128,5	65,0	1555,0	6,2
Nylon, Poliamida	27,8	579,0	24,0	463,5	34,4
PC, Policarbonato	53,7	1904,0	95,5	2310,0	14,9
PP, Polipropileno	8,7	220,0	13,0	305,0	27,1
PVA, Alcohol polivinílico	-	-	-	-	-
TPU 95A, Poliuretano termoplástico	8,6	26,0	4,3	78,7	34,4

Tabla 22: Características físicas de posibles materiales a utilizar en la manufactura del prototipo. Información de cartas técnicas entregadas por Ultimaker.

### 9.3 Dimensionamiento de subsistema de transmisión y subsistema motriz de Gripper

A continuación, se procede al cálculo y dimensionamiento tanto del piñón-cremallera (diámetro de paso o primitivo) y el torque del motor. En la figura xx se ilustra el diagrama de cuerpo libre del sistema, donde  $m$  es la masa del objeto a manipular,  $g$  es aceleración de gravedad,  $W_t$  es la fuerza de apriete del Gripper igual a la fuerza tangencial aplicada por el piñón sobre la cremallera,  $\mu_s$  el coeficiente de roce estático,  $d$  es el diámetro de paso del piñón y  $T$  el torque del motor.

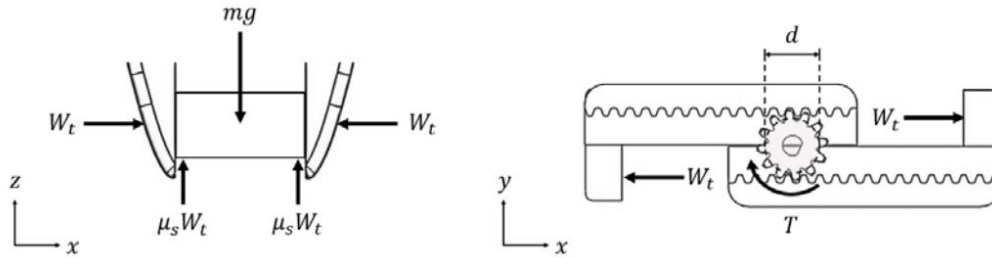


Ilustración 45: DCL de análisis estático gripper.

El cálculo del torque  $T$  será en función del diámetro  $d$  y las demás variables conocidas.

Aplicando equilibrio estático en el eje  $z$  se obtiene la relación (1) entre la masa  $m$  del objeto a manipular y la fuerza de apriete requerida.

$$W_t = \frac{mg}{2\mu_s} \quad (1)$$

Aplicando equilibrio estático en el eje  $x$  se obtiene la relación (2) entre el diámetro y el torque:

$$T = 2rW_t = dW_t \quad (2)$$

Con la ecuación (1) y (2) se llega a la relación final (3) del torque  $T$  en función del diámetro  $d$ , la masa y el coeficiente de fricción.

$$T = \frac{dmg}{2\mu_s} \quad (3)$$

La masa a manipular  $m$  máxima se define en el capítulo 6.4.4.2 igual a 1,0 kg. Se espera alcanzar un roce estático de coeficiente 0,4.

Para la elección del diámetro del piñón se considera que el Gripper debe tener un dimensionamiento estructural acorde al volumen de la estructura, con esto se elige un diámetro de paso igual a 42 [mm].

$$T = 2 * \frac{0,042 [m] * 1 [kg] * 9,81 \frac{m}{s^2}}{2 * 0,4} = 1,03 [Nm]$$

Con lo anterior y considerando un factor de seguridad **FS** igual a 2[-], el cual considera las aceleraciones provenientes del brazo robótico, se obtiene un torque requerido de 1,03[Nm].

## 9.4 Verificación pasadores Lado herramienta

Se usó la interfaz de simulación numérica del software Autodesk Inventor Professional para evaluar la resistencia mecánica de la pieza Lado herramienta sometida a la carga más elevada. El modelo se simplificó usando: solo los componentes Lado herramienta y Disco de bloqueo, los cuales interactúan directamente; Se usó una restricción de cara fija para el área superior del disco de bloqueo y se supuso una carga de 5[kg], el doble de la carga máxima real como presión (0,153[MPa]) en cada área de apriete de los seis pernos de fijación de la herramienta; Las propiedades del material usado se muestran en la Tabla 23 (Pardo, 2016).

Propiedad	Valor
Módulo de Poisson	0,36
Módulo de Young	2,34 [MPa]
Esfuerzo de fluencia	35,5 [MPa]
Esfuerzo último	50 [MPa]
Módulo de corte	1280 [MPa]

Tabla 23: propiedades de material PLA impreso (Pardo, 2016)

Los resultados de la simulación para la pieza Lado herramienta se muestran en la Ilustración 46. El Esfuerzo de Von Mises máximo ocurre en la base de la cabeza del segundo pasador más próximo sobre el porta cable con un valor de 3,012[MPa], un valor significativamente menor que el esfuerzo de fluencia, arrojando un factor de seguridad igual a 11,79[-]. Adicionalmente la máxima deformación ocurre hacia el centro de la pieza con un desplazamiento de 0,0044[mm], un valor muy por debajo de la repetitividad de la aplicación robótica y por lo tanto completamente admisible.

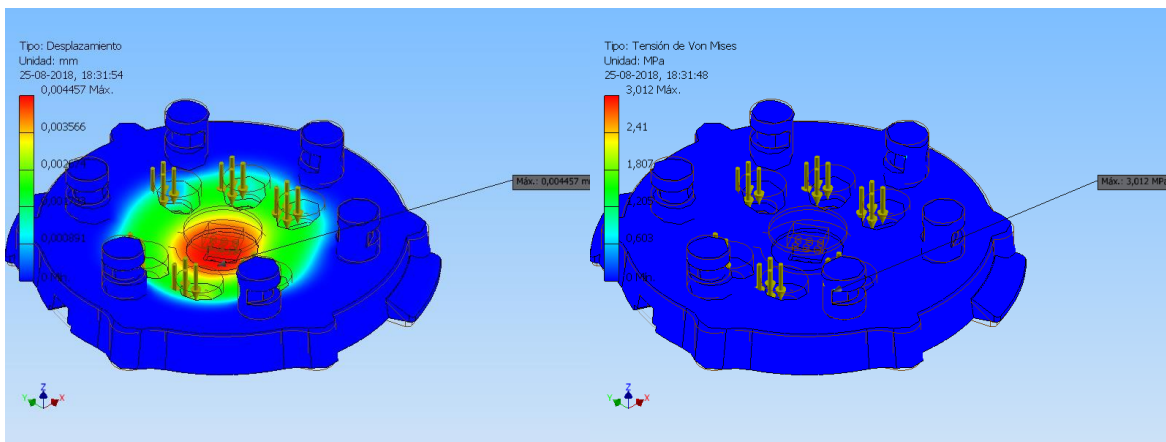


Ilustración 46: Resultados de simulación pieza Lado herramienta. Desplazamiento (izquierda). Esfuerzo Von Mises (derecha).

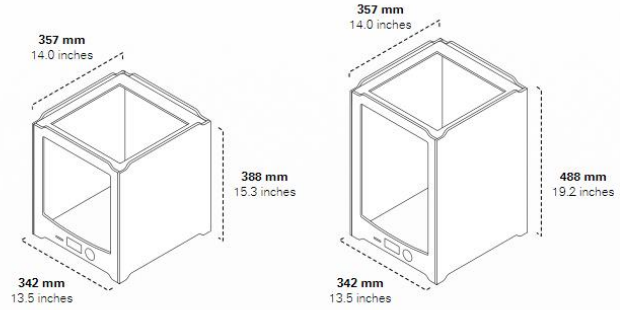
## 9.5 Información técnica Ultimaker 2+

<b>Printer and printing properties</b>	Assembly type	Pre-assembled
	Layer Resolution	0.25 mm nozzle: 150 to 60 micron 0.40 mm nozzle: 200 to 20 micron 0.60 mm nozzle: 400 to 20 micron 0.80 mm nozzle: 600 to 20 micron
	Build plate	50 °C to 100 °C heated glass build plate
	Build plate leveling	Assisted leveling process
	Print technology	Fused Deposition Modeling (FDM)
	Print head	Swappable nozzle
	Build speed	0.25 nozzle: up to 8 mm <sup>3</sup> /s 0.40 nozzle: up to 16 mm <sup>3</sup> /s 0.60 nozzle: up to 23 mm <sup>3</sup> /s 0.80 nozzle: up to 24 mm <sup>3</sup> /s
	Print head travel speed	30 to 300 mm/s
	Feeder type	Geared feeder
	XYZ accuracy	12.5, 12.5, 5 micron
	Nozzle diameter	Included are 0.25, 0.4, 0.6 and 0.8 mm nozzles
	Nozzle temperature	180 °C to 260 °C
	Nozzle heat up time	~ 1 minute
	Build plate heat up time	< 4 minutes
	Operating sound	50 dBA
<b>Requirements</b>	Software	Cura, our free print preparation software
	Supported OS	Free on macOS, Windows and Linux
	Supported file types	STL, OBJ, X3D, and 3MF G and GCODE BMP, GIF, JPG, and PNG
	File transfer	Standalone 3D printing from SD card (included)
	Operating ambient temperature	15 °C to 32 °C (59 °F to 90 °F)
	Nonoperating temperature	0 °C to 32 °C (32 °F to 90 °F)
	Input	100 - 240V 4A, 50-60Hz 221 W max.
	Output	24 V DC, 9.2 A

## Materials

System	Open filament system
Filament diameter	2.85 mm
Supported materials	PLA, ABS, CPE, CPE+, PC, Nylon, TPU 95A, and PP
Ultimaker filament	A spool of Ultimaker filament is 750 g

## Dimensions and weight



Dimensions with bowden tube and spool holder:

**342 x 493 x 588 mm**  
(13.5 x 19.4 x 23.1 inches)

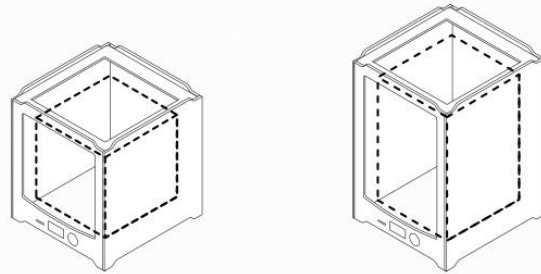
Weight:  
**11.3 kg** (399 ounces)

Dimensions with bowden tube and spool holder:

**342 x 493 x 688 mm**  
(13.5 x 19.4 x 27.1 inches)

Weight:  
**12.3 kg** (434 ounces)

## Build volume

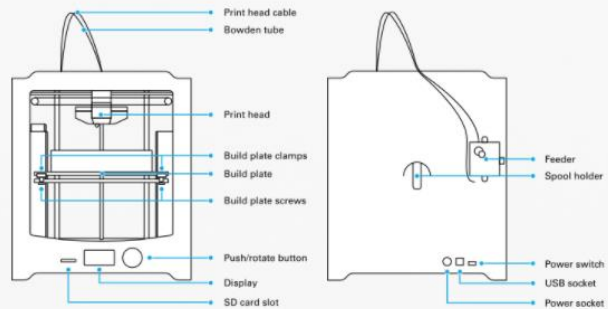


Dimensions:  
**223 x 223 x 205 mm**  
(8.8 x 8.8 x 8.1 inches)

Dimensions:  
**223 x 223 x 305 mm**  
(8.8 x 8.8 x 12.0 inches)

## Hardware components

Equal for the Ultimaker 2+ and Ultimaker 2 Extended+



## 9.6 Listado de componentes

### 9.6.1 Intercambiador de herramientas GiroE

N°	Pieza	Ítem	Detalle	Cantidad
1	Lado robot superior	Lado robot superior	PLA Impreso	1
2	Lado robot inferior	Lado robot inferior	PLA Impreso	1
3	Disco de bloqueo	Disco de bloqueo	PLA Impreso	1
4	Lado herramienta	Lado herramienta	PLA Impreso	1
5	Stand	Stand	PLA Impreso	1
6	Escuadra fijación Stand	Cast corner bracket	PLA Impreso	4
7	Perno parker	perno allen	M3 x 14mm	6
8	Tuerca hexagonal	Tuerca	M3	6
9	Perno parker cabeza plana	Perno low profile	M5 x 30mm	2
10	Tuerca hexagonal	Tuerca	M5	2
11	Perno parker cabeza plana	Perno low profile	M5 x 8mm	4
12	Nuez de fijacion riel lineal	Tee Nuts	M5	32
13	Conector eléctrico 3 pines	Conector hembra spring loaded Mill-Max	399-10-103-10-008000	2
14	Conector eléctrico 3 pines	Conector macho spring loaded Mill-Max	825-22-003-10-001101	2
15	Tapa portacable	Tapa porta cable	PLA impreso	2

Tabla 24: Listado completo de piezas y partes para Intercambiador de herramientas GiroE.

N°	Pieza	Ítem	Detalle	Cantidad
1	Perno parker cabeza plana	Perno low profile	M5 x 8mm	32
2	Escuadra fijación	Cast corner bracket	TEE corta	6
3	Escuadra fijación riel lineal	L bracket	TEE 3 larga	4
4	Riel lineal	V slot linear rail	20x60	400 mm
5	Riel lineal	V slot linear rail	20x60	160 mm

Tabla 25: Listado completo componentes para columna porta Stand.

---

## 9.6.2 Gripper paralelo LaGara

---

N°	Pieza	Ítem	Detalle	Cantidad
1	Carcaza motor	Lado robot	PLA impreso	1
2	Estructura rieles	Riel soporte	PLA impreso	1
3	Carro cremallera	Carro	PLA impreso	2
4	Pinza dedo	Paleta	PLA impreso	2
5	Acople rueda dentada	Flange	PLA impreso	1
6	Rueda dentada	Rd	PLA impreso	1
7	Goma	Goma	97mmx50mm	2
8	Perno parker	Perno allen	M5 x 12mm	4
9	Tuerca hexagonal	tuerca	M5	4
10	Perno parker	Perno allen	M4 x 15mm	8
11	Tuerca hexagonal	tuerca	M4	4
12	Perno parker	Perno allen	M3 x 10mm	8
13	Tuerca hexagonal	tuerca	M3	8
14	Perno parker	Prisionero allen	M4 x 8mm	2
15	Motor con freno	Stepper motor 1,26 Nm	23HS22-2804D-B200	1

Tabla 26: Listado completo para piezas y partes gripper LaGara.

---




## 9.6.3 Herramienta de fijación lápiz Scribly

---

N°	Pieza	Ítem	Detalle	Cantidad
1	Cuerpo Scribly	Cuerpo	PLA impreso	1
2	Perno parker	perno allen	x 40mm	1
3	Tuerca hexagonal	Tuerca	M	1

Tabla 27: Listado completo piezas y partes herramienta fijación lápiz Scribly.

## 9.7 Cotizaciones

Image	Quantity	Total
 <p>(<a href="https://www.omc-stepperonline.com/stepper-motor-brake/nema-23-stepper-126nm178ozin-w-brake-friction-torque-20nm283ozin-23hs22-2804d-b200.html">https://www.omc-stepperonline.com/stepper-motor-brake/nema-23-stepper-126nm178ozin-w-brake-friction-torque-20nm283ozin-23hs22-2804d-b200.html</a>)            Nema 23 Stepper 1.26Nm(178oz.in) w/ Brake Friction Torque 2.0Nm(283oz.in)            (<a href="https://www.omc-stepperonline.com/stepper-motor-brake/nema-23-stepper-126nm178ozin-w-brake-friction-torque-20nm283ozin-23hs22-2804d-b200.html">https://www.omc-stepperonline.com/stepper-motor-brake/nema-23-stepper-126nm178ozin-w-brake-friction-torque-20nm283ozin-23hs22-2804d-b200.html</a>)</p>	<input type="text" value="1"/>  	\$66.92

Use Coupon Code ▾

Estimate Shipping Cost ▾

Enter your destination to get a shipping estimate.

\* Country

Chile ▾

\* Region / State

Valparaiso ▾


Post Code

2390123

GET QUOTES


Sub-Total: **\$66.92**  
 Fedex(YiDe) (1.15kg): **\$42.29**  
 Total: **\$109.21**

Ilustración 47: carro de compras para motor de gripper LaGara en OMC-STEPPERONLINE




**PERNO PARKER AC.INOX M03-0.50 X 10**  
\$ 119 ~~\$151~~

CANTIDAD:




**PERNO PARKER AC.INOX M05-0.80 X 10**  
\$ 110 ~~\$140~~

CANTIDAD:




**PERNO PARKER AC.INOX M04-0.70 X 15**  
\$ 112 ~~\$143~~




**PERNO PARKER AC.INOX M05-0.80 X 16**  
\$ 117 ~~\$149~~

CANTIDAD:




**PRISIONERO ALLEN C.12.9 M04-0.7 X 08**  
\$ 99 ~~\$126~~

CANTIDAD:



**TUERCA HEXAGONAL AC.INOX. 316 M05-0.80**  
\$ 51 ~~\$65~~

CANTIDAD:



**TUERCA HEXAGONAL AC.INOX. 316 M03-0.50**  
\$ 72 ~~\$92~~

CANTIDAD:

Ilustración 48: Carro de compras de elementos de fijación para “GiroE”, “LaGara” y “Scribly” en Pernoval.

Select	Product Detail	Customer Part #	Order Qty.	Price (USD)	Ext. (USD)	Status	Date	Invoice #
<input type="checkbox"/>	Mouser #: 575-3991010310008000 Mfr. #: 399-10-103-10-008000 Desc.: Headers & Wire Housings Headers & Wire Housings STANDARD PIN HEADER		2	\$3.76	\$7.52	2 Shipped	21-Aug-18	49316430
<input type="checkbox"/>	Mouser #: 575-8252200310001100 Mfr. #: 825-22-003-10-001101 Desc.: Headers & Wire Housings Headers & Wire Housings 3P SPRING-LOAD HDR VERT MT THRU HOLE		2	\$10.80	\$21.60	2 Shipped	21-Aug-18	49316430

Select All

Reorder Selected Items

THIS ORDER IS SUBJECT TO ALL TERMS AND CONDITIONS DISPLAYED AT:

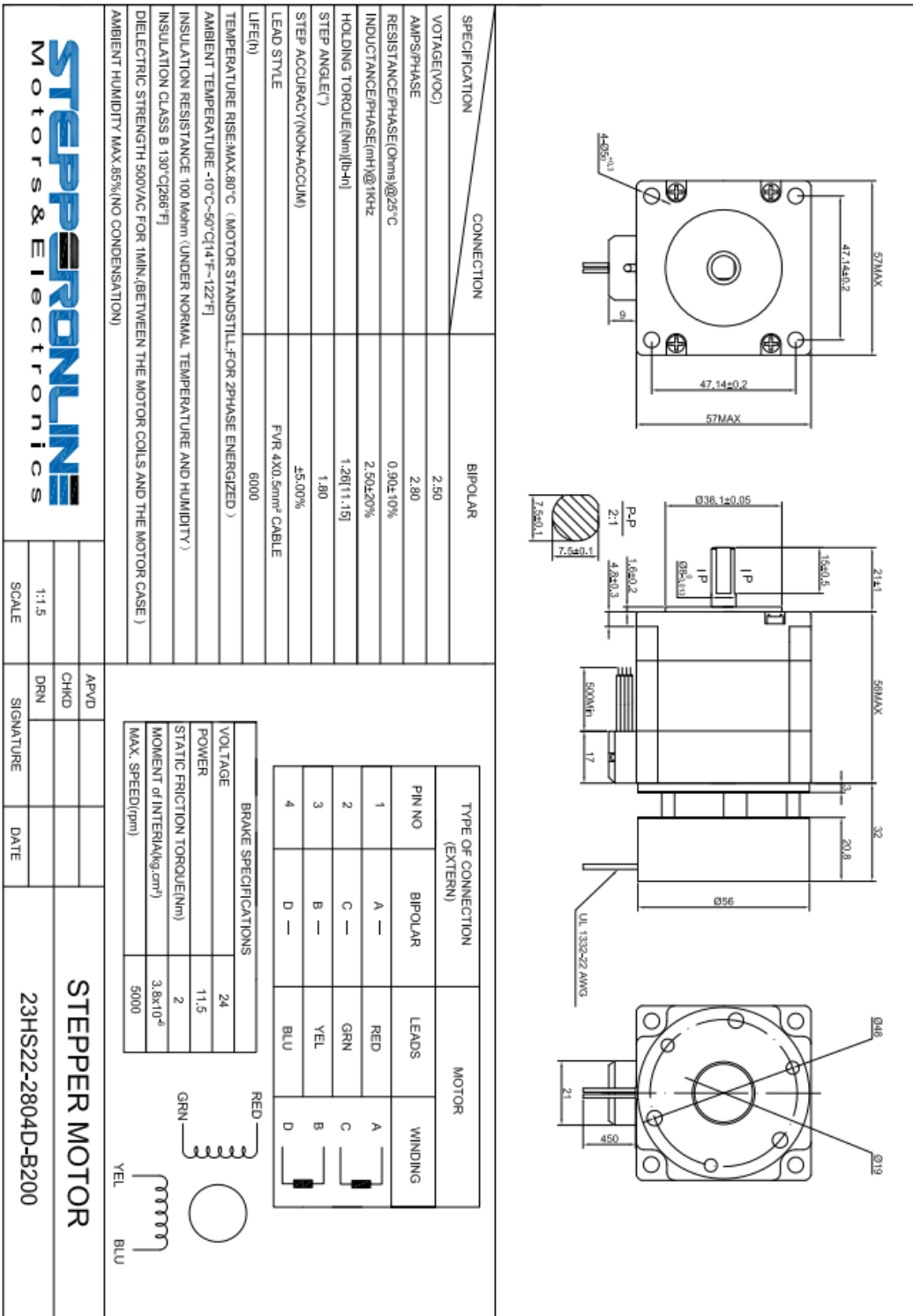
MERCHANDISE TOTAL: \$29.12

Ilustración 49: Carro de compras de conectores eléctricos para Intercambiador de herramientas GiroE

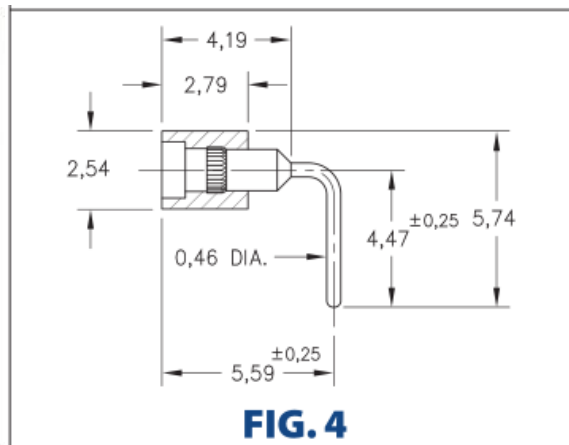
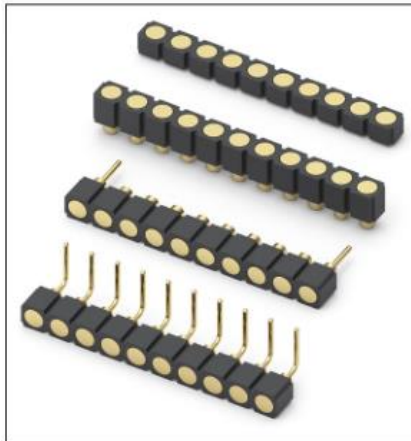
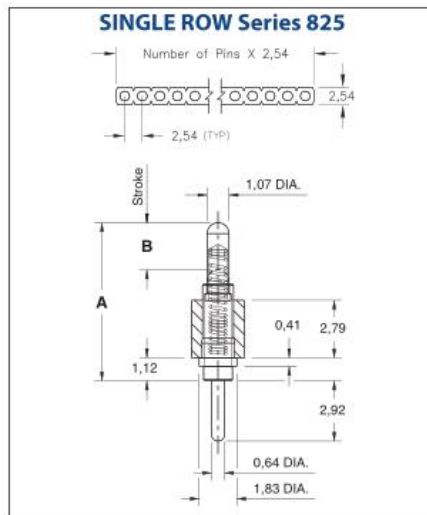
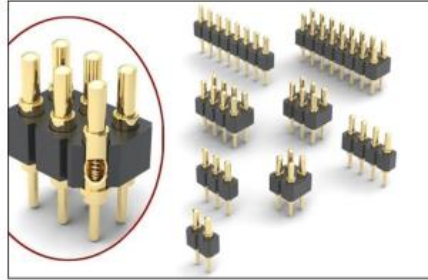
Cart Items	SKU	Qty	Item Price	Item Total
<b>Cast Corner Bracket</b>	490	6	\$1.49 USD	\$8.94 USD
<b>L Bracket</b> (Size: Triple)	785	4	\$1.99 USD	\$7.96 USD
<b>Low Profile Screws M5 (10 Pack)</b> (Length: 30mm)	125-pack	1	\$1.89 USD	\$1.89 USD
<b>Low Profile Screws M5 (10 Pack)</b> (Length: 8mm)	946-pack	4	\$1.39 USD	\$5.56 USD
<b>Tee Nuts - M5 (10 Pack)</b>	536-Pack	4	\$2.99 USD	\$11.96 USD
<b>Thin Hex Nut - M5</b>	181	36	\$0.09 USD	\$3.24 USD
<b>V-Slot® 20x60 Linear Rail</b> (Length: 1000mm, V-Slot Color: Sleek Silver)	200-LP	1	\$16.49 USD	\$16.49 USD
<b>Subtotal:</b>				<b>\$56.04 USD</b>

Ilustración 50: Carro de compras en Openbuilds para componentes de Columna soporte Stand de GiroE.

## 9.8 Especificaciones Motor Stepper Gripper LaGara



## 9.9 Especificaciones conectores eléctricos "GiroE"



**FIG. 4**

### Technical Specifications

**Materials:**

Contact piston & base: Machined copper alloy plated 0,51µm gold over 2,54µm nickel  
Spring: Beryllium copper-plated 0,25µm gold  
Insulator: High temperature thermoplastic, rated UL94 V-0

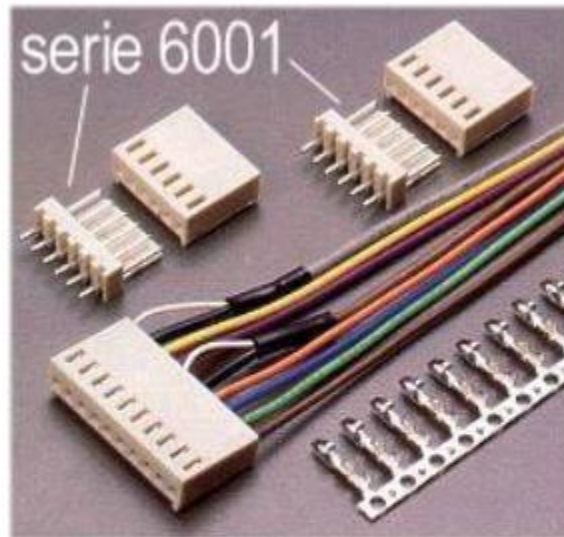
**Mechanical:**

Spring force @ initial height (A): 25 grams  
Spring force @ mid stroke (B/2): 60 grams  
Durability: Up to 1,000,000 cycles

**Electrical:**

Voltage rating: 100Vrms/150Vdc  
Current rating: 2A (continuous), 3A (peak) per contact  
Contact resistance: 20mΩ max.  
Insulation resistance: 10,000MΩ min.  
Dielectric strength: 700Vrms min.  
Capacitance: 1pF max.

RoHS-2  
2011/65/EU

**FAMILIA**

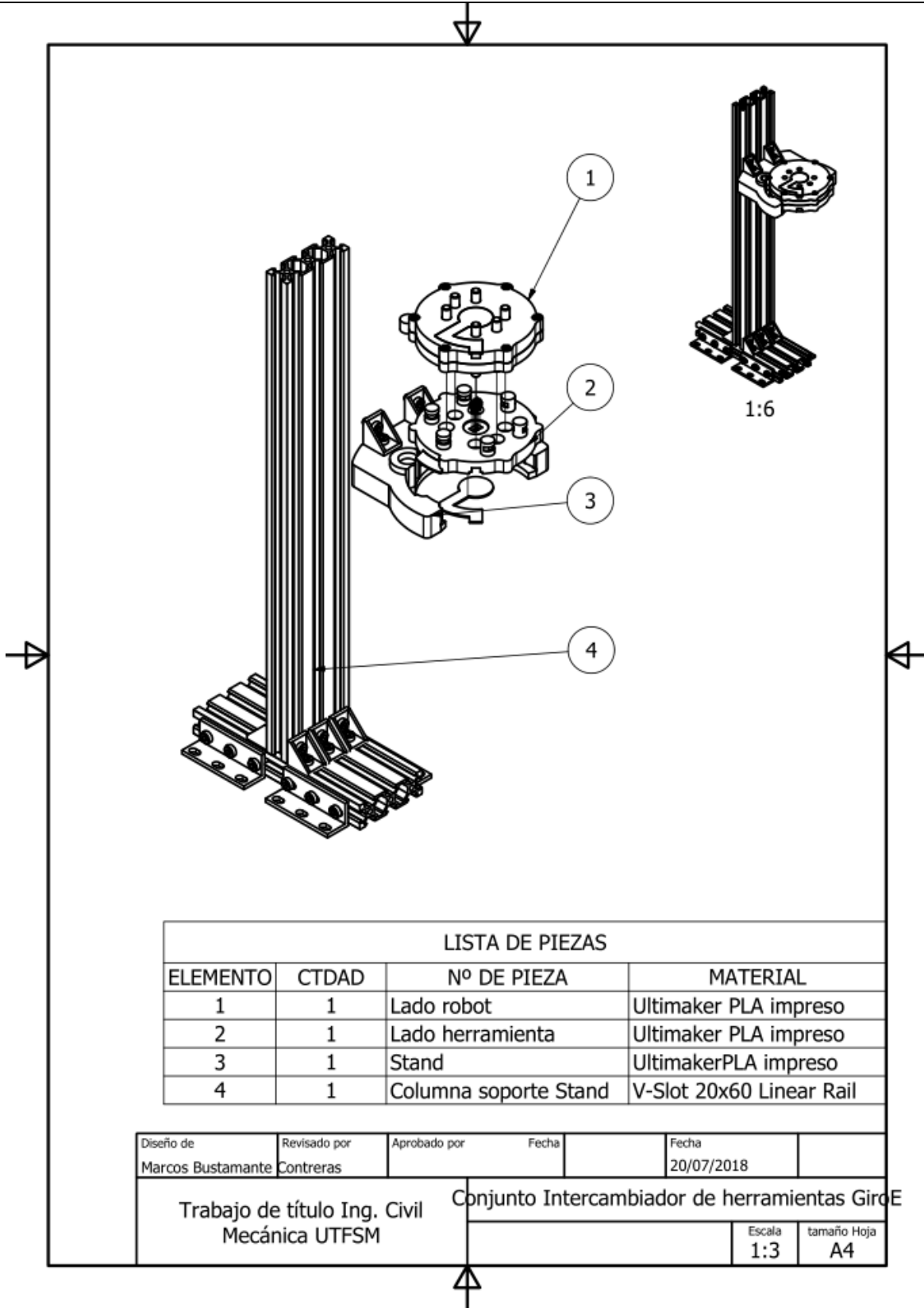
CONECTOR DE POSTE MACHO, RECTO POLARIZADO, CON SEGURO POR FRICCIÓN, PASO 2.54 mm

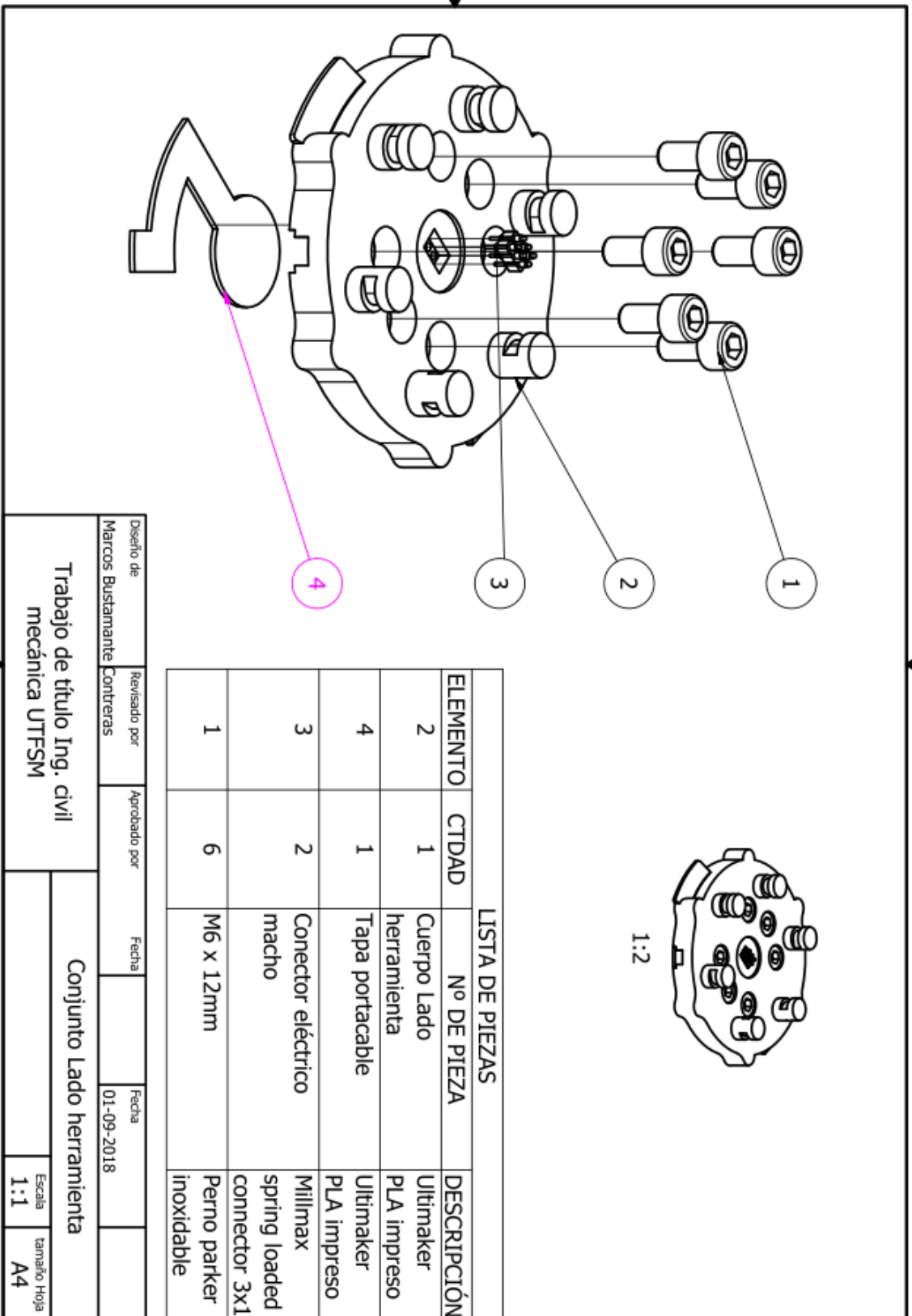
<b>CODIGO</b>	142-6
<b>Nº PARTE</b>	6001-06
<b>FORMA</b>	6001
<b>FABRICA</b>	CSE

**DESCRIPCIÓN**

CONECTOR CTO.IMP., MACHO, POLARIZADO, PASO 2.54mm (0.1") 06 VIAS

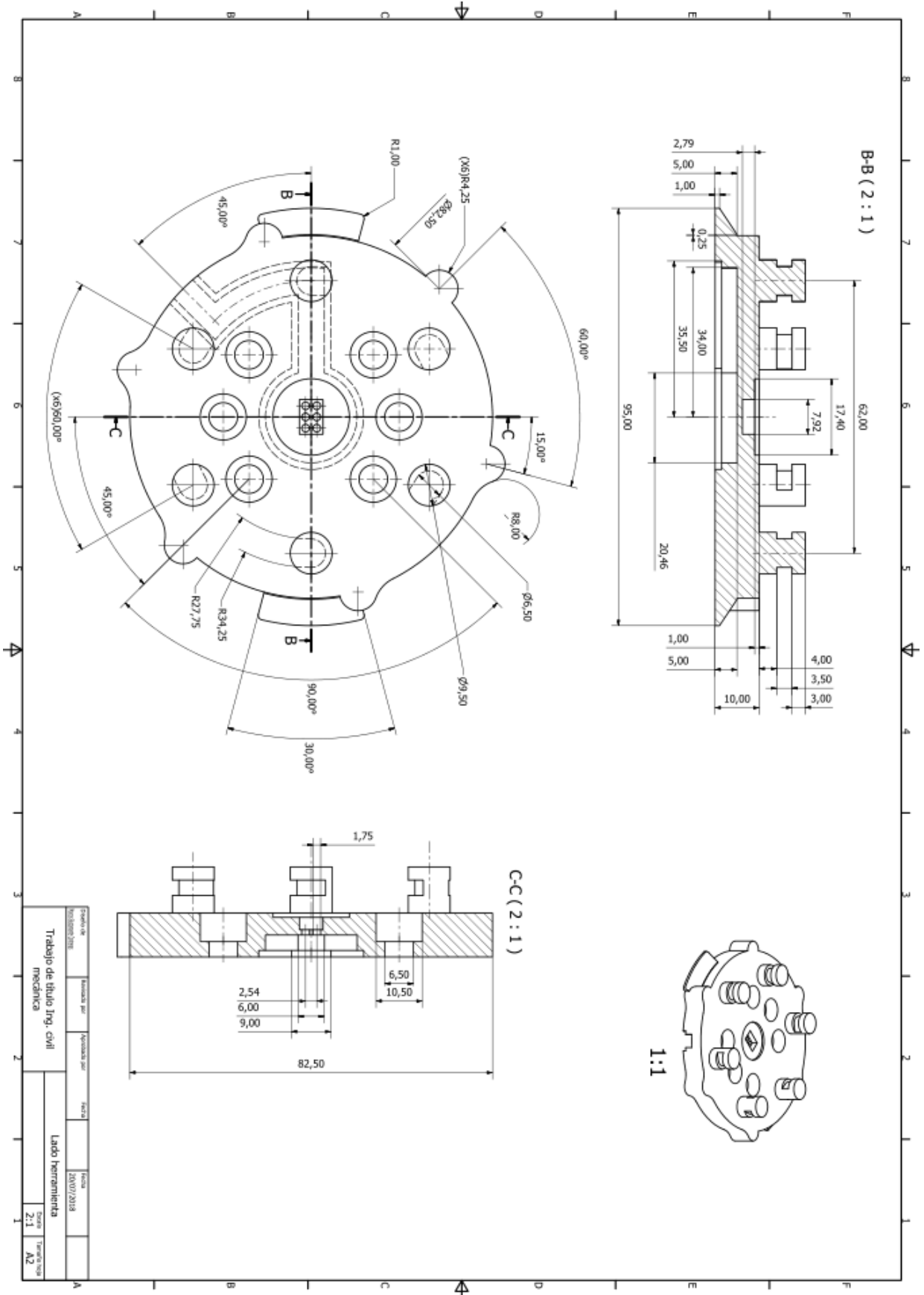
## 9.10 Planos "GiroE" cambiador de herramientas

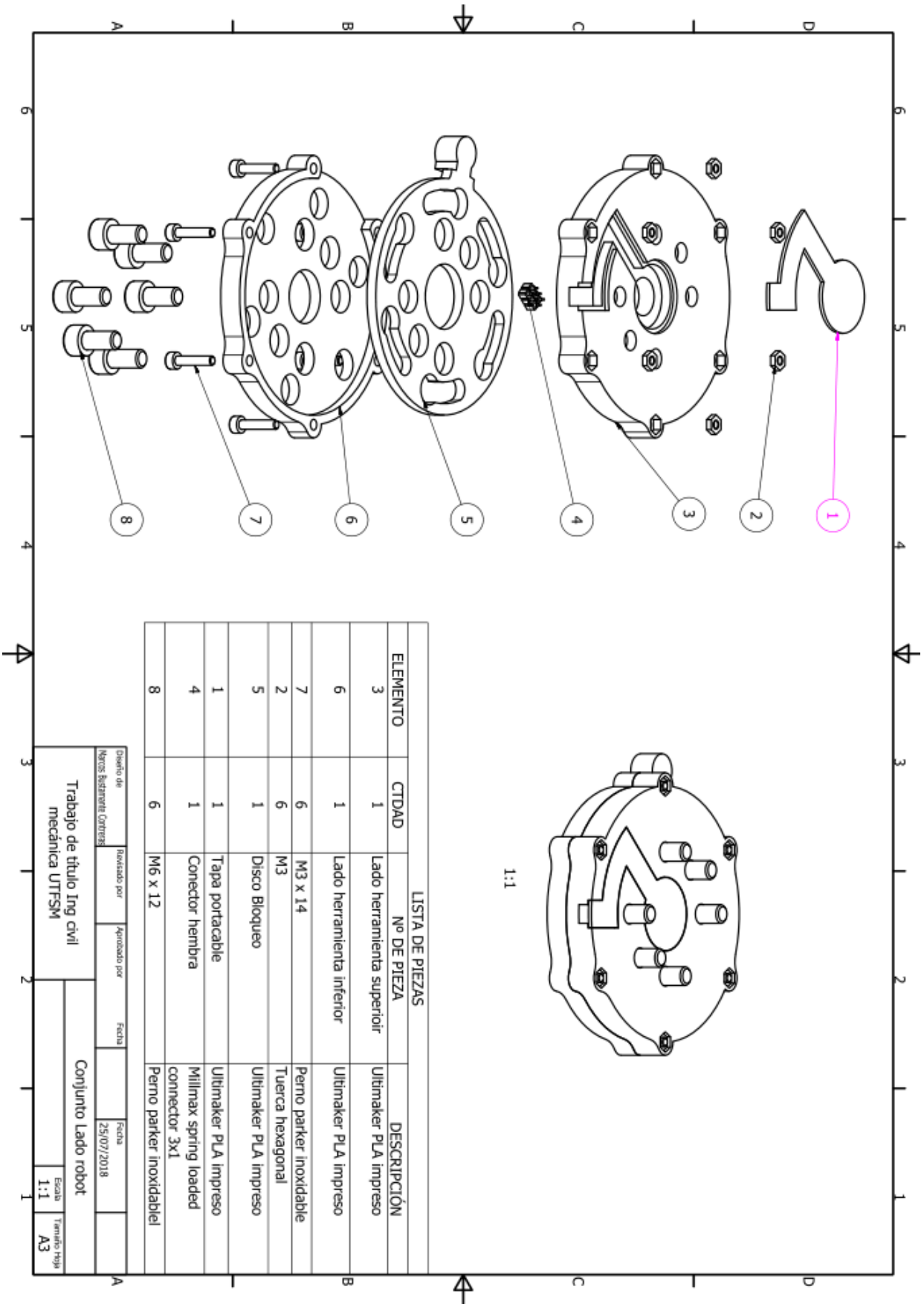




LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
2	1	Cuerpo Lado herramienta	Ultimaker PLA impreso
4	1	Tapa portacable	Ultimaker PLA impreso
3	2	Conector eléctrico macho	Millmax spring loaded connector 3x1
1	6	M6 x 12mm	Perno parker inoxidable

Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha
Marcos Bustamante	Contreras			01-09-2018
Trabajo de título Ing. civil mecánica UTFSM			Conjunto Lado herramienta	
			Escala	Tamaño Hoja
			1:1	A4



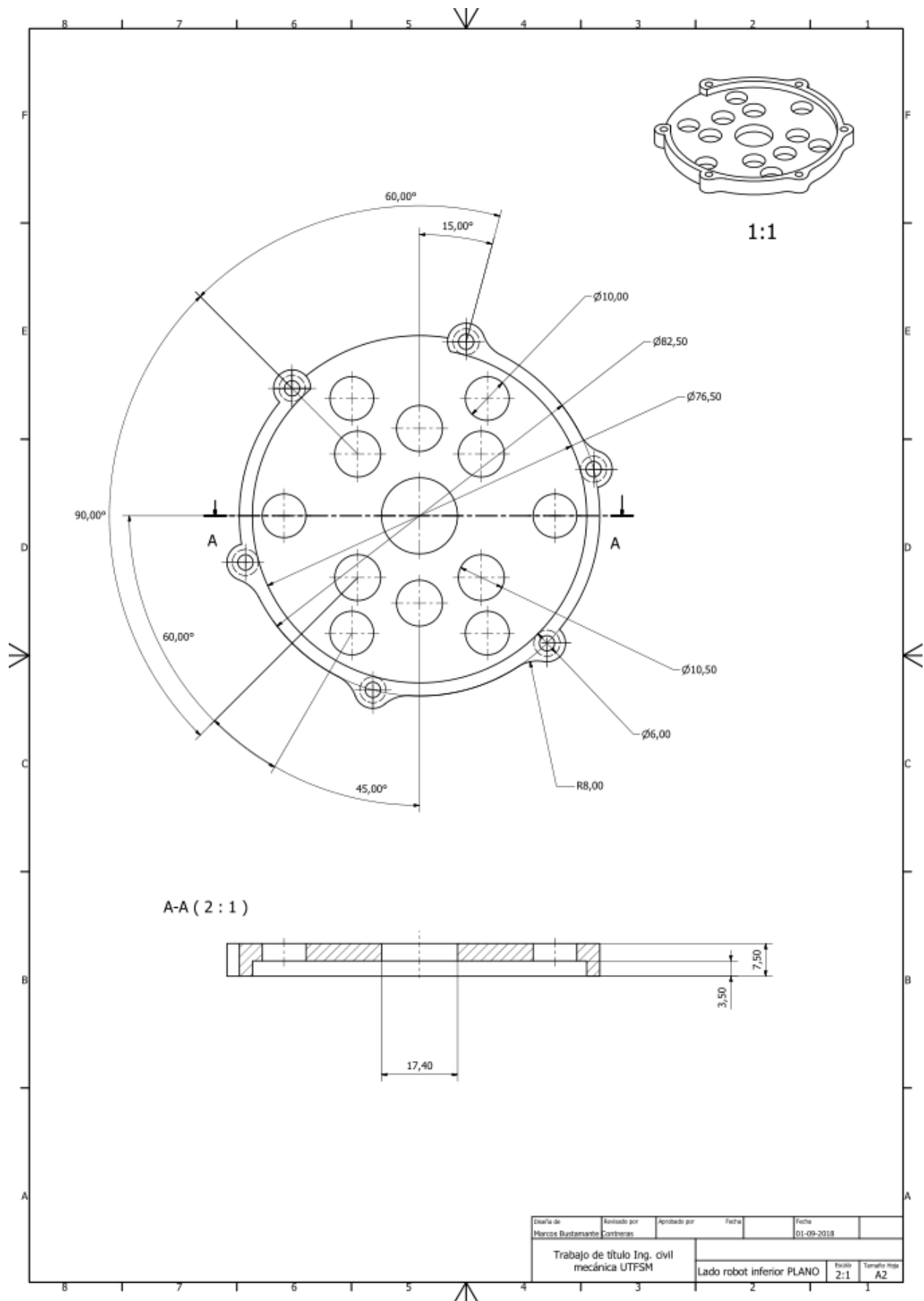


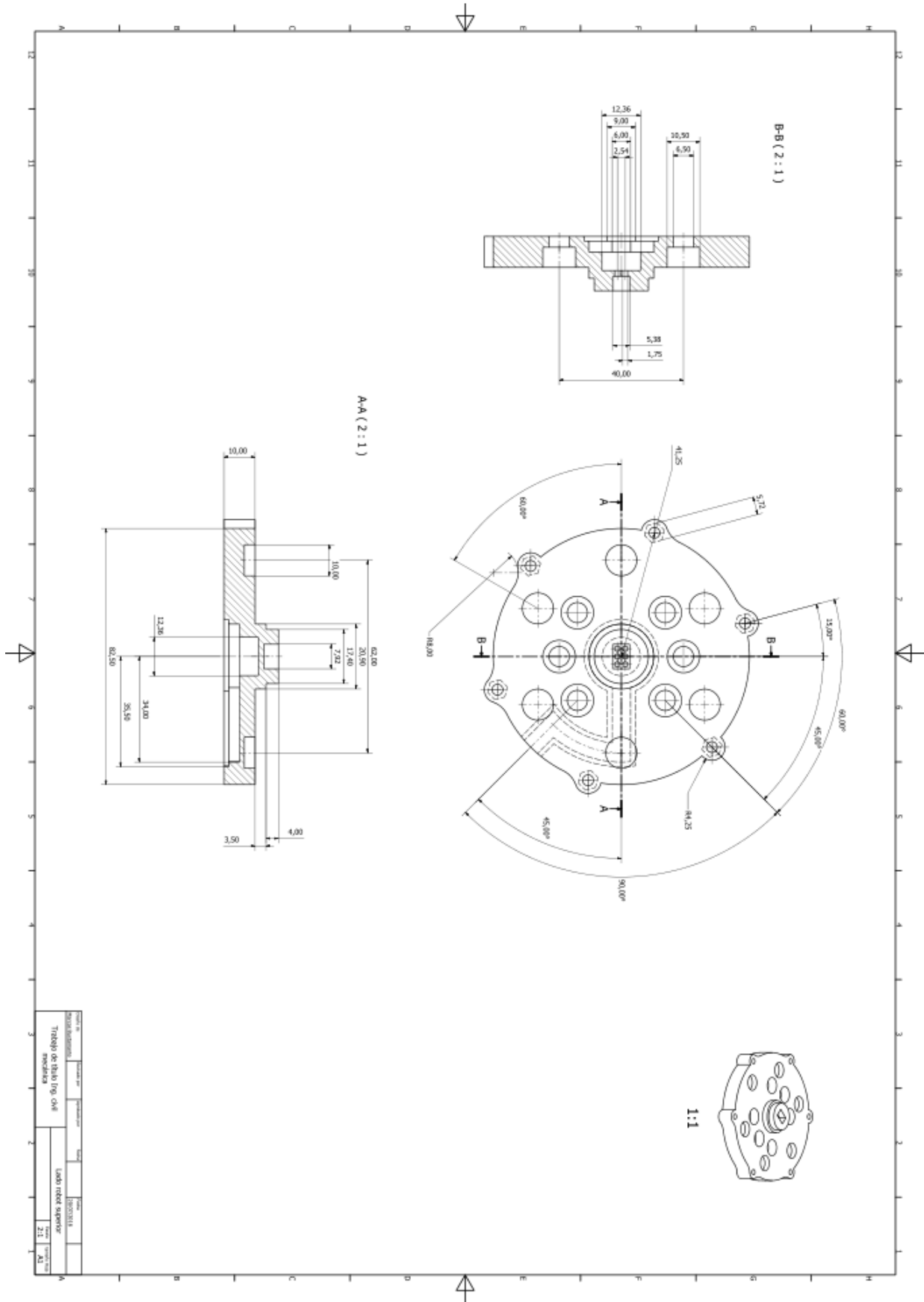
1:1

LISTA DE PIEZAS

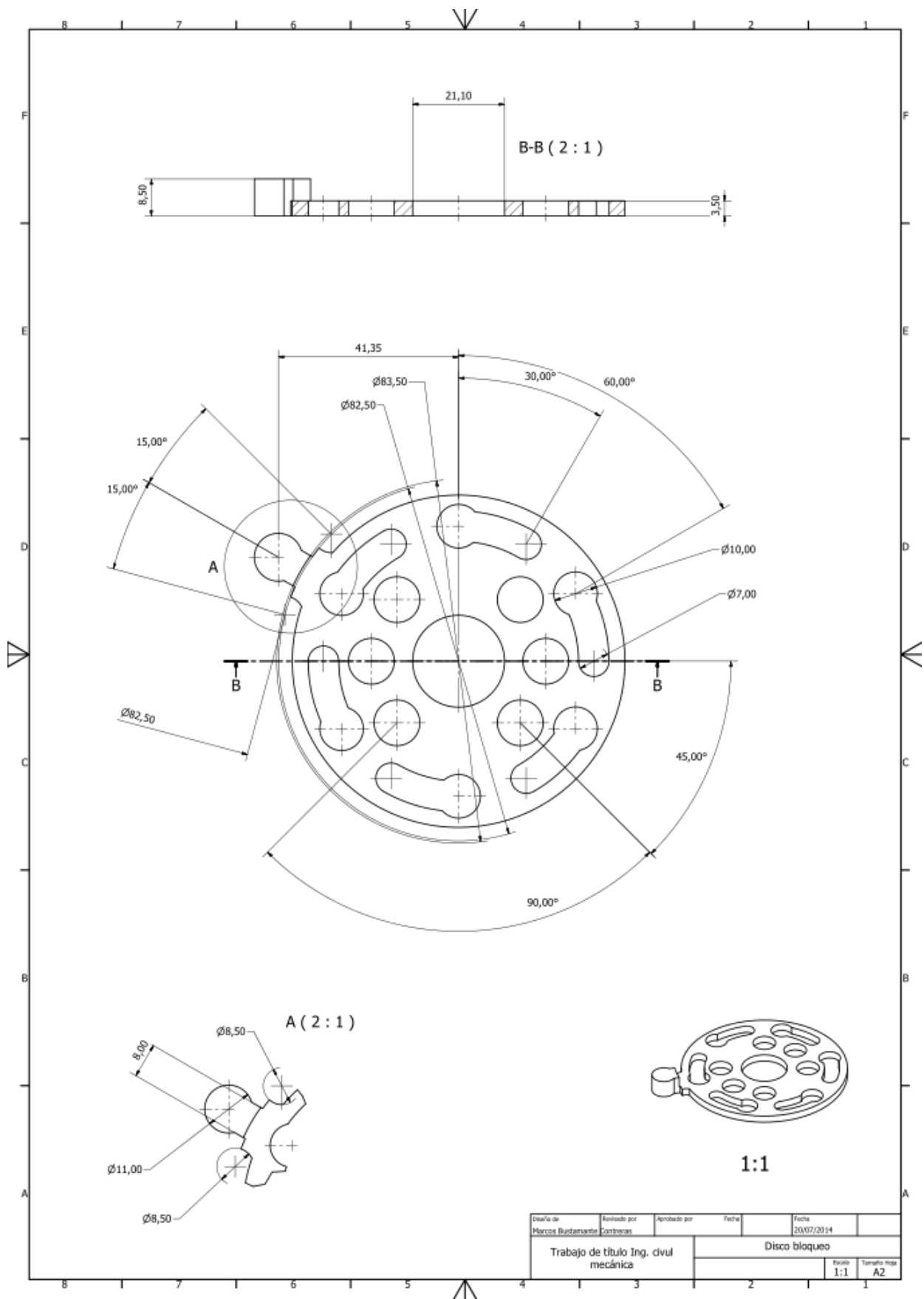
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
3	1	Lado herramienta superior	Ultimaker PLA impreso
6	1	Lado herramienta inferior	Ultimaker PLA impreso
7	6	M3 x 14	Perno parker inoxidable
2	6	M3	Tuerca hexagonal
5	1	Disco Bloqueo	Ultimaker PLA impreso
1	1	Tapa portacable	Ultimaker PLA impreso
4	1	Conector hembra	Millimax spring loaded connector 3x1
8	6	M6 x 12	Perno parker inoxidable

Dibujo de Nervis Bateman Ortúzar	Revisado por	Aprobado por	Fecha 25/07/2018	Fecha
Trabajo de título Ing civil mecánica UTFSM			Conjunto Lado robot	
			Escala 1:1	Formato Hoja A3

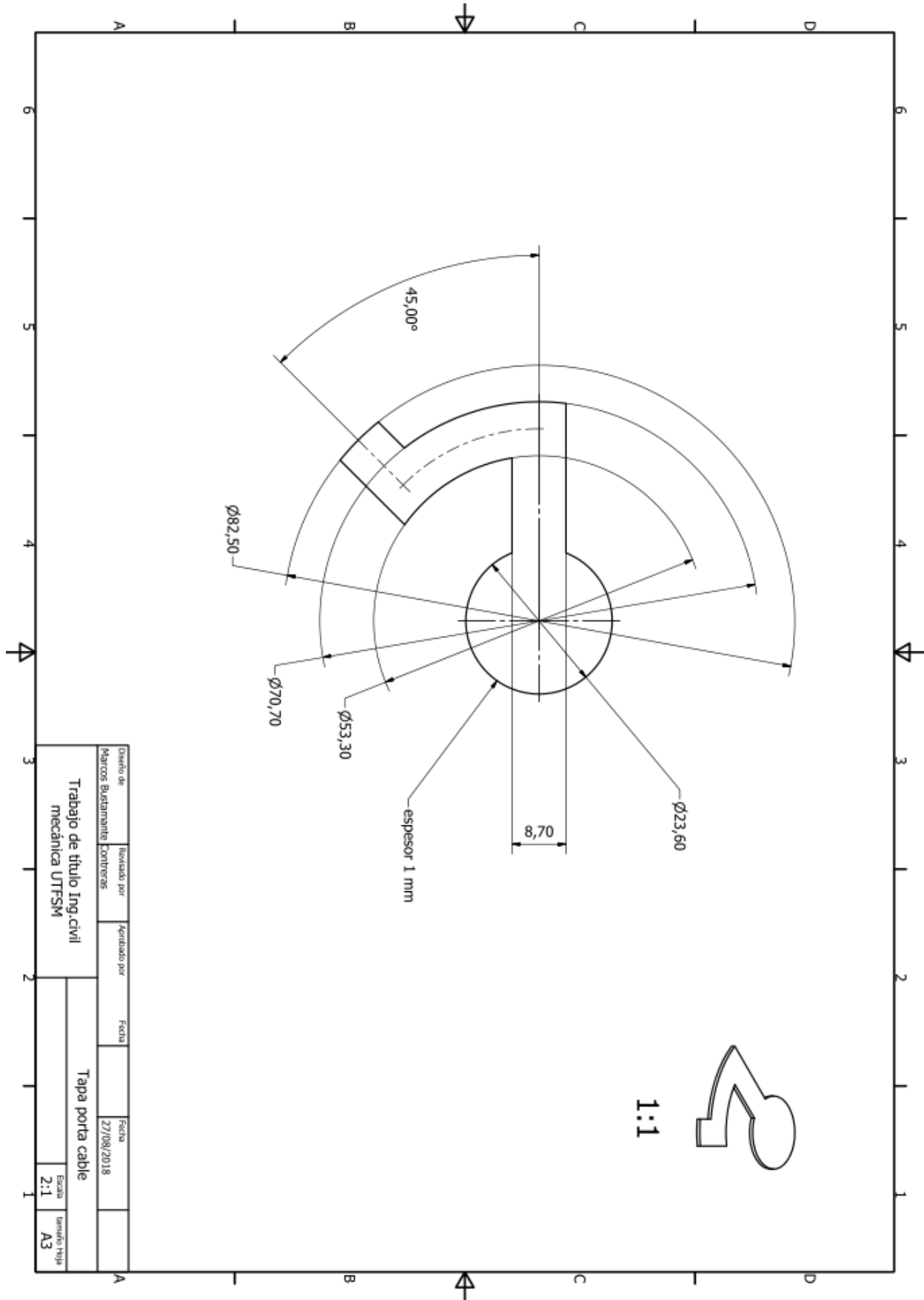


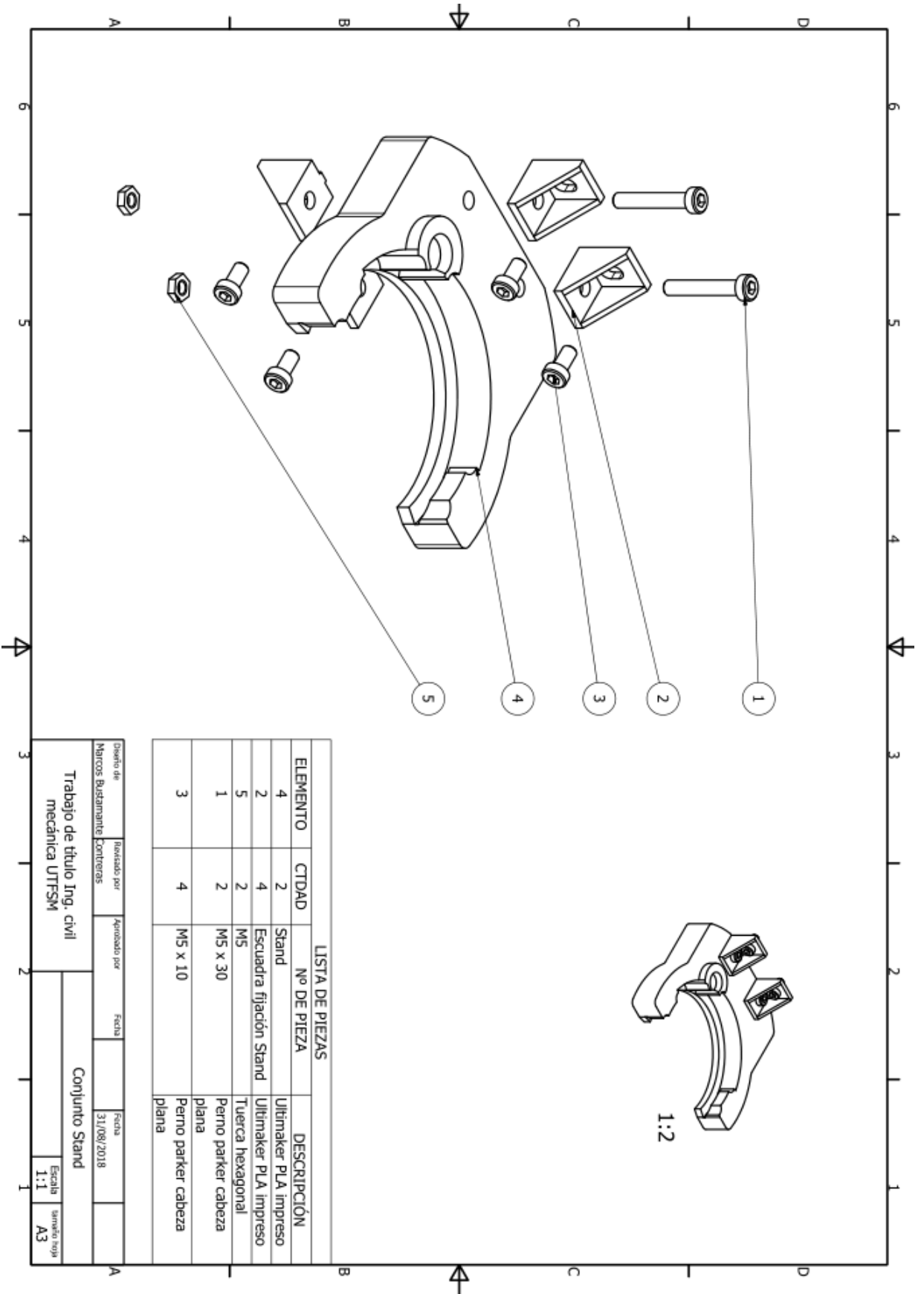


Trabalho de Desenho Técnico	Nome:	Matrícula:	Disciplina:
Nome do Aluno:	Nome do Professor:	Nome do Tutor:	Nome do Coordenador:
Assinatura:	Assinatura:	Assinatura:	Assinatura:
2.1.1	AI		



Diseño de Marcos Bustamante	Revisado por Concepcion	Aprobado por	Fecha 20/07/2014	Fecha
Trabajo de título Ing. civil mecánica		Disco bloques		
		Escala 1:1	Tamaño hoja A2	



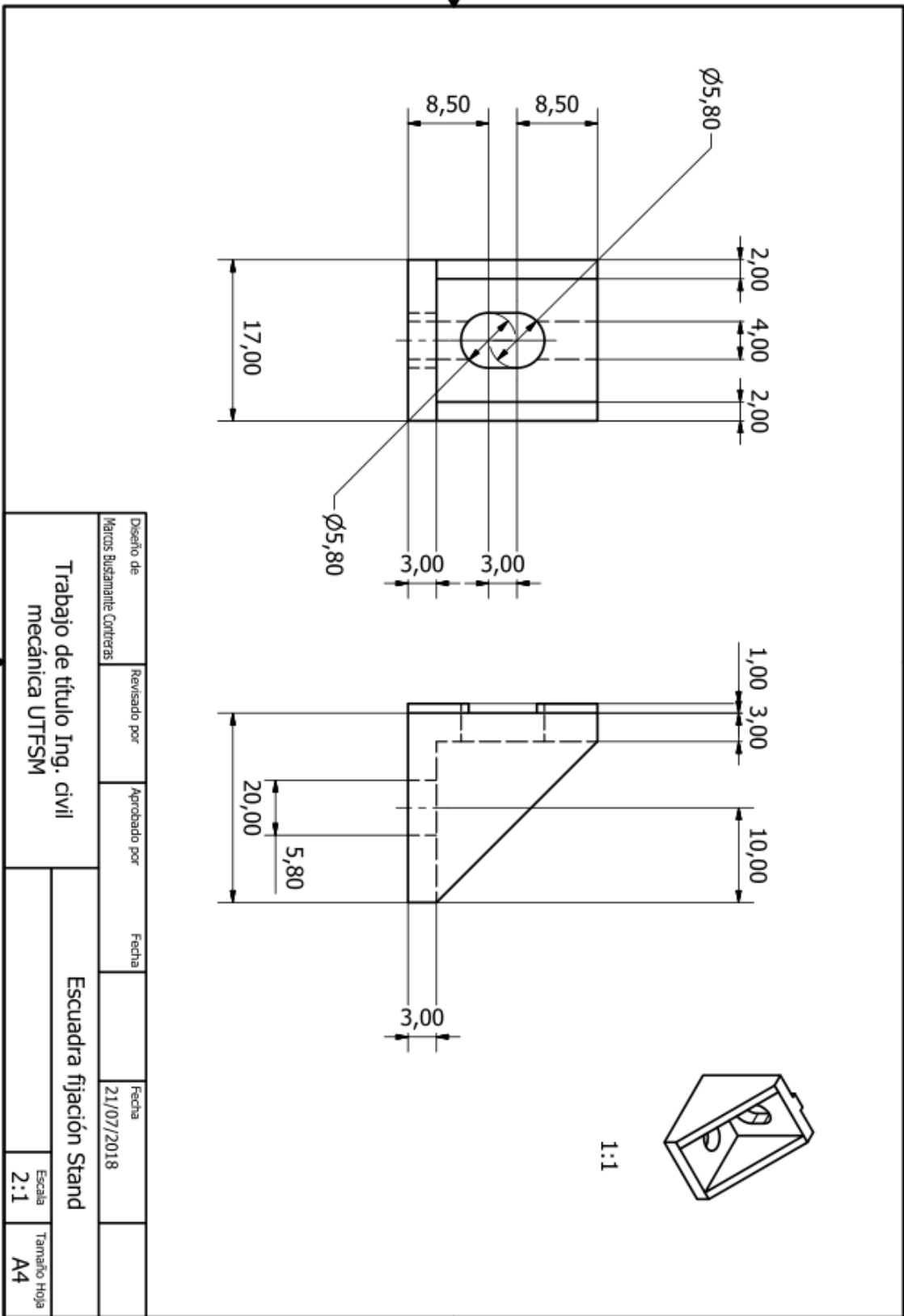


LISTA DE PIEZAS

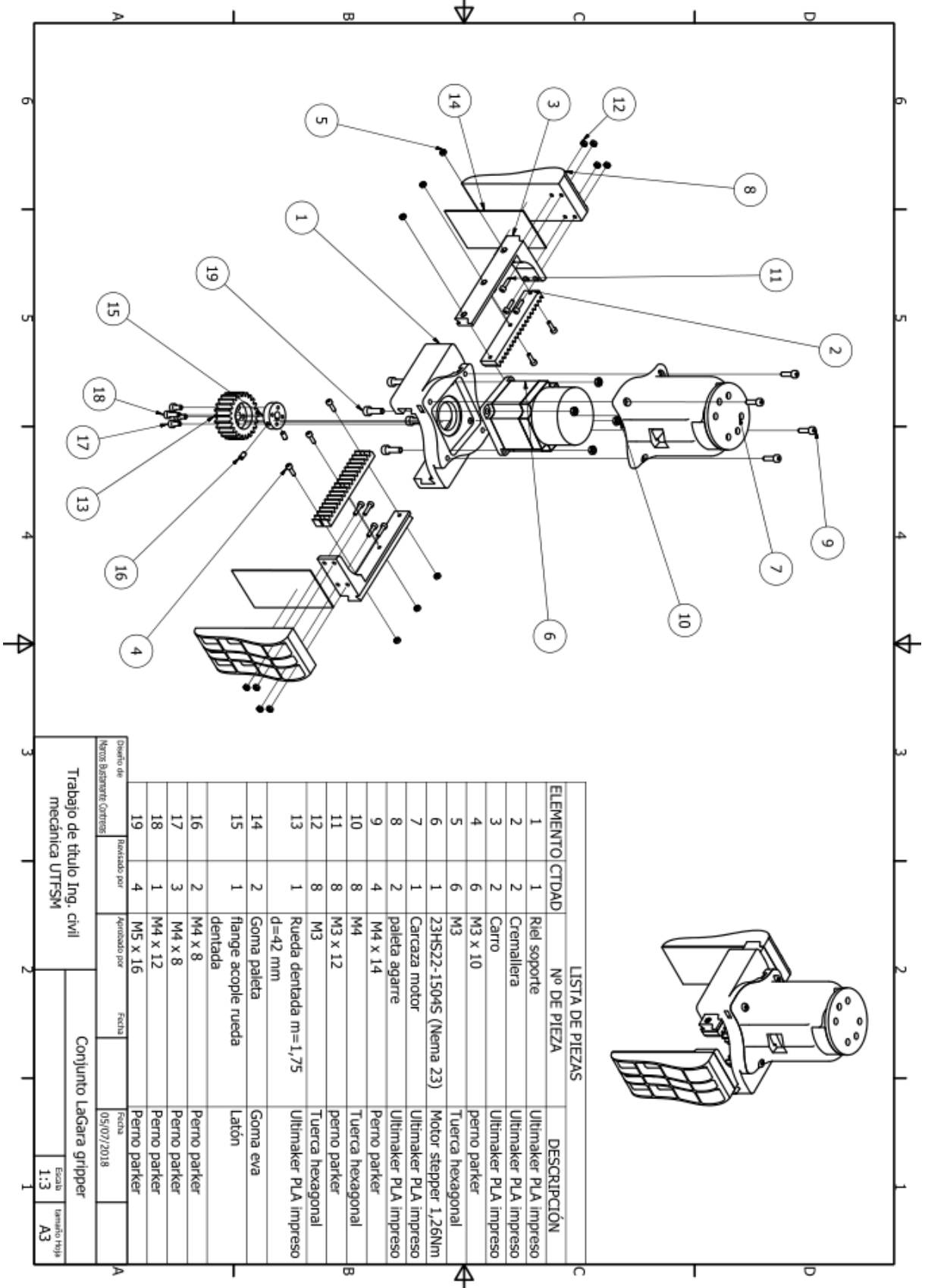
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
4	2	Stand	Ultmaker PLA impreso
2	4	Escuadra fijación Stand	Ultmaker PLA impreso
5	2	M5	Tuerca hexagonal
1	2	M5 x 30	Perno parker cabeza plana
3	4	M5 x 10	Perno parker cabeza plana

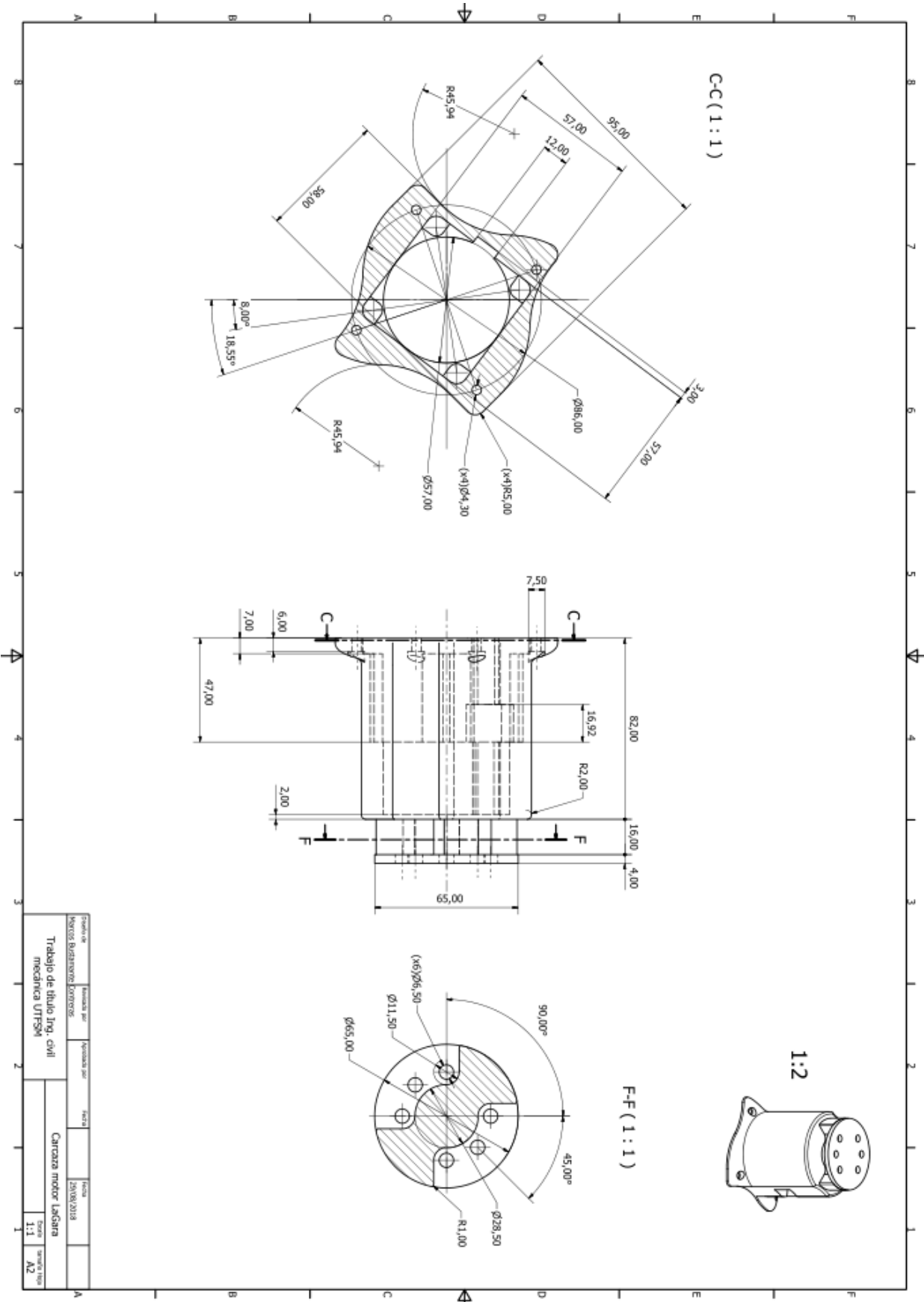
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha
Marcos Busamante Cortizas	Cortizas		31/08/2018	
Trabajo de título Ing. civil mecánica UTFSM			Conjunto Stand	
			Escala	Formato hoja
			1:1	A3





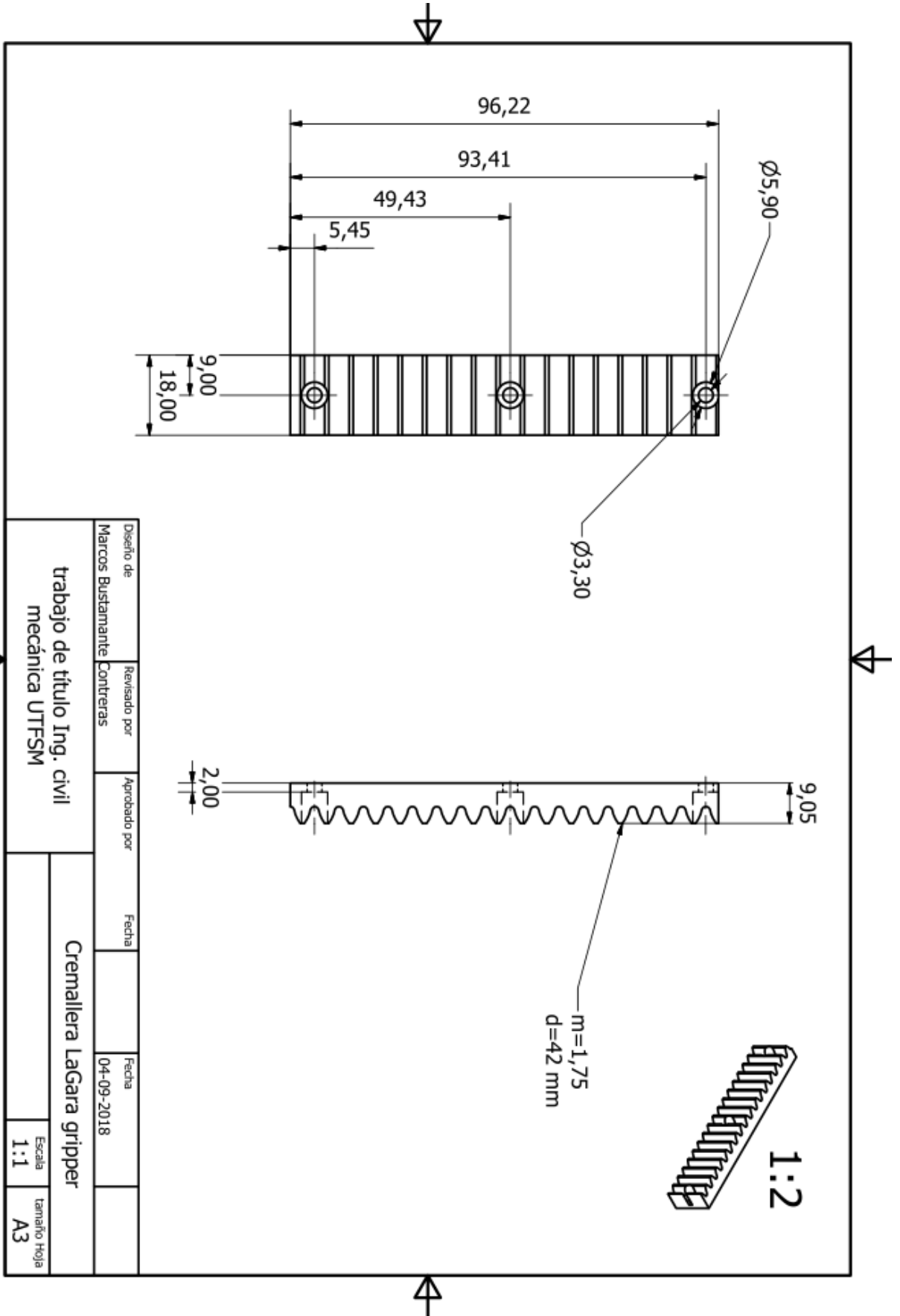
## 9.11 Planos “LaGara” Gripper paralelo



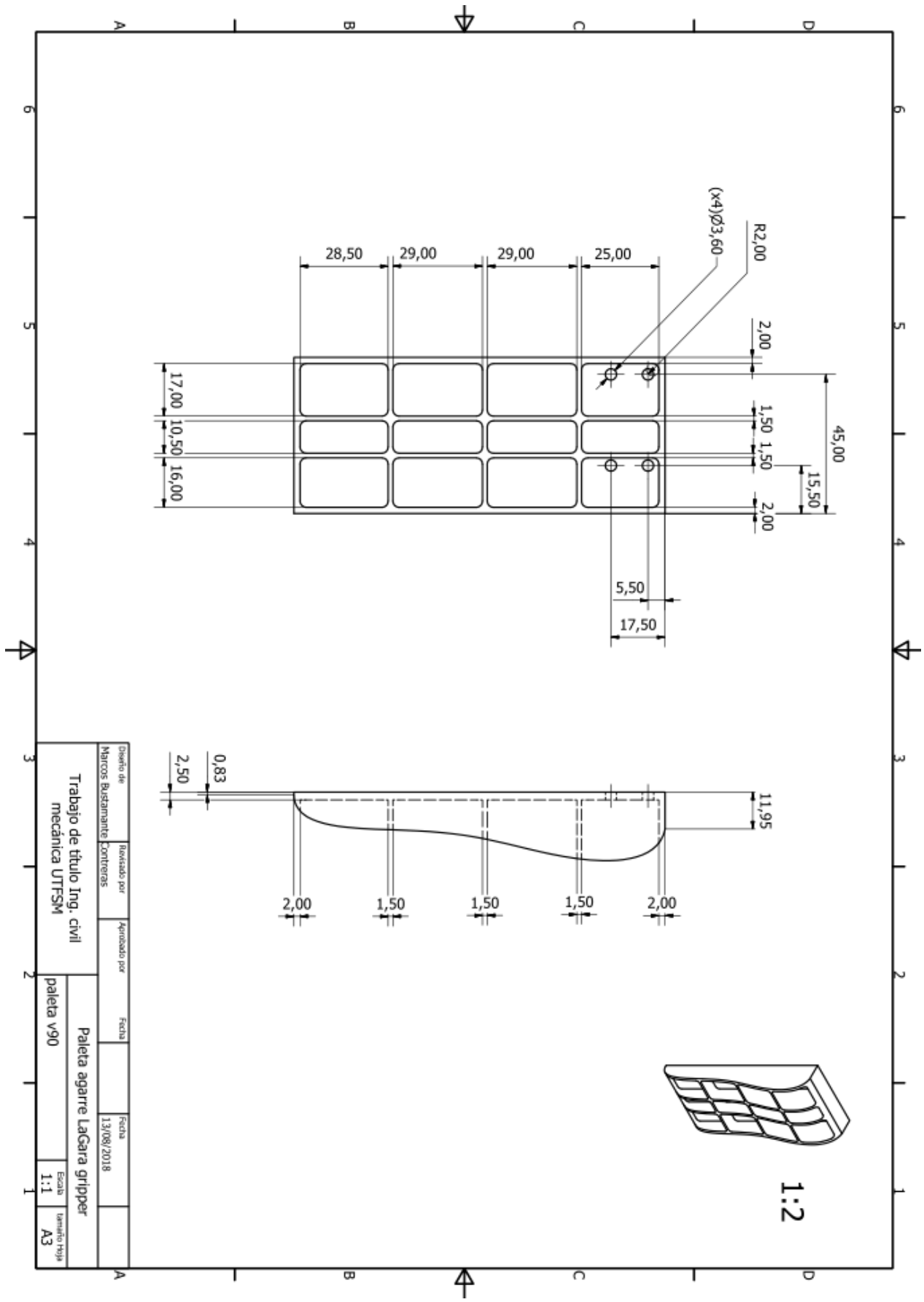




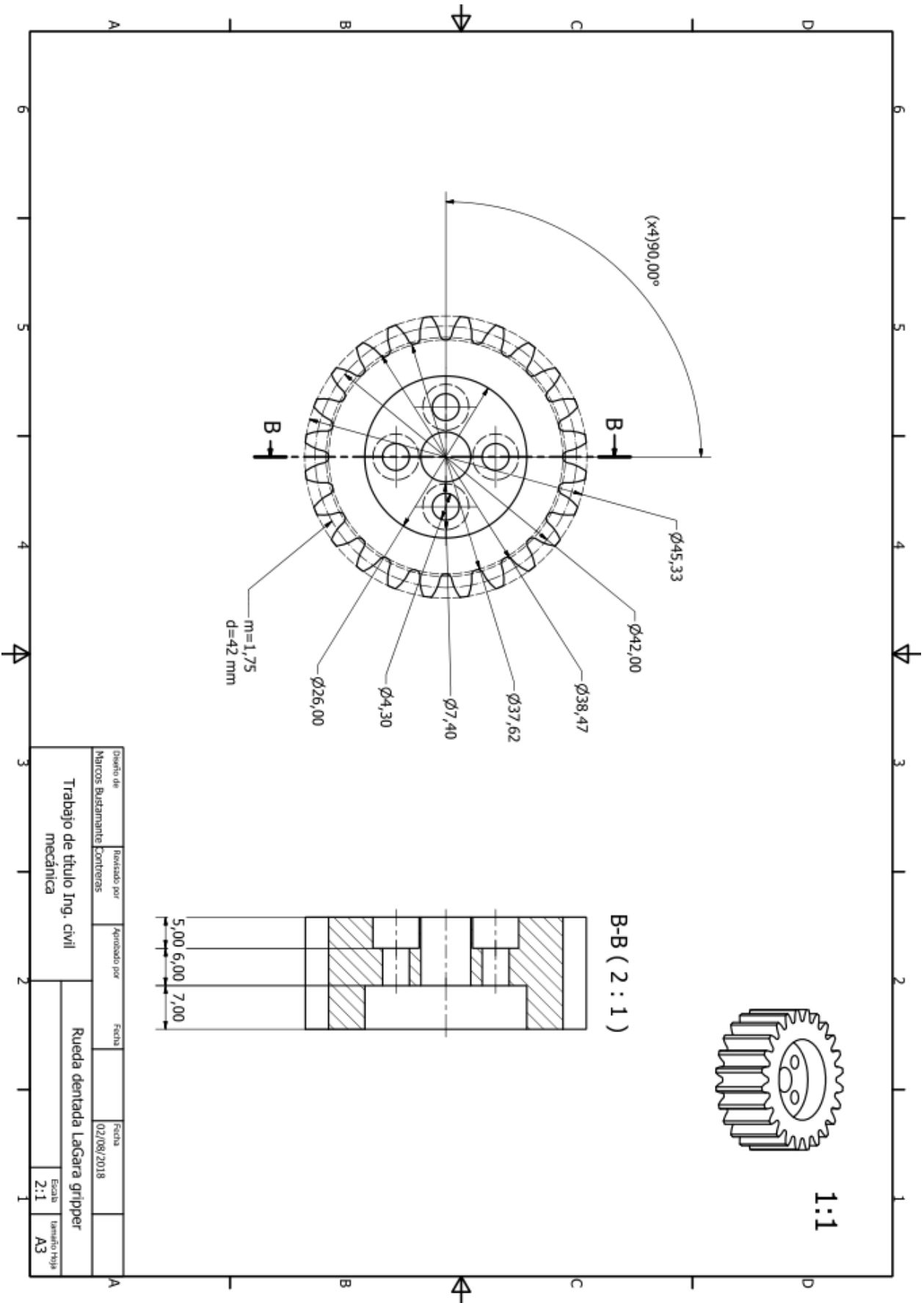




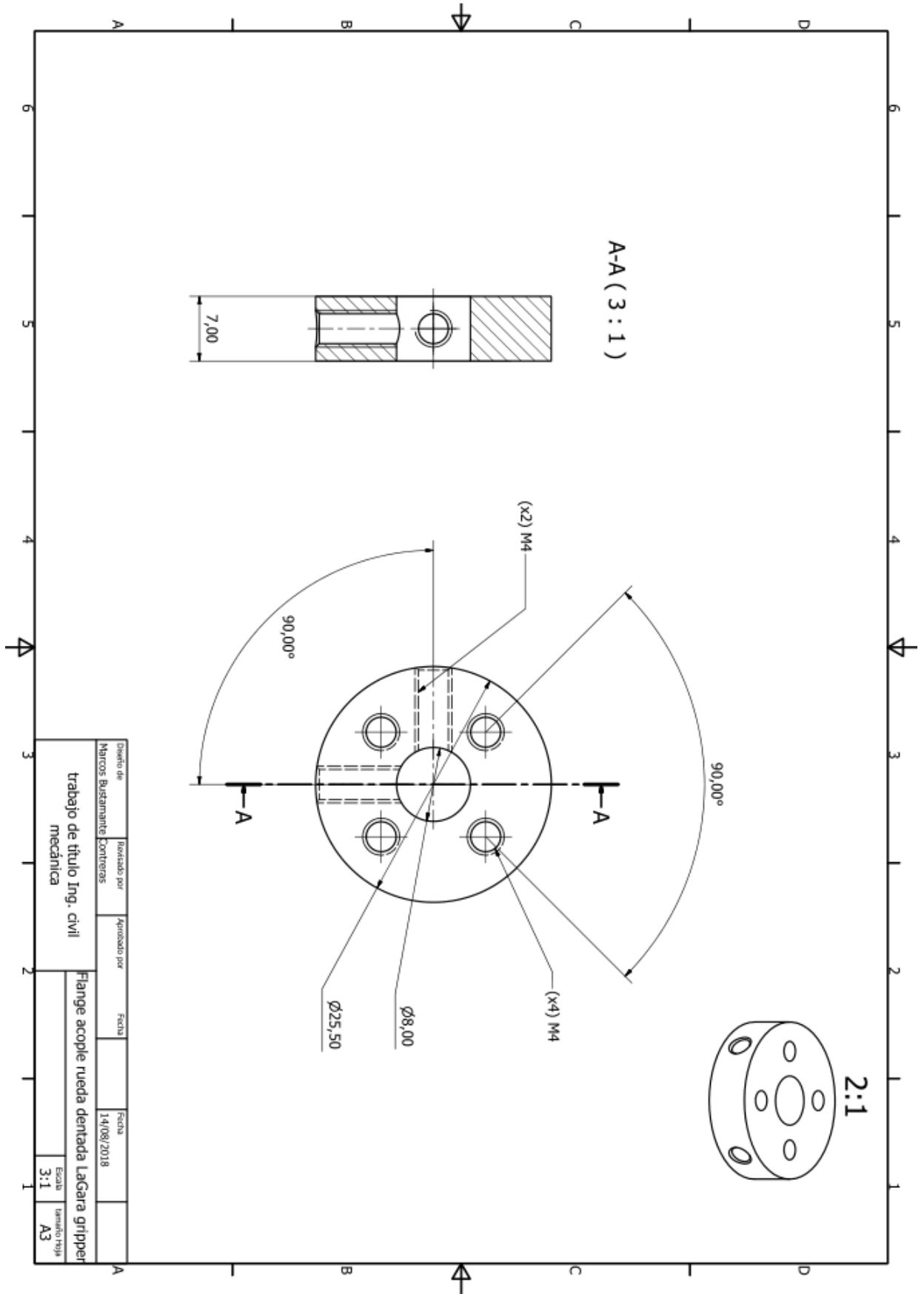
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha
Marcos Bustamante	Contreras			04-09-2018
trabajo de título Ing. civil mecánica UTFSM			Cremallera LaGara gripper	
Escala 1:1			tamaño Hoja A3	



Diseño de		Revisado por		Aprobado por		Fecha		Fecha	
Marcos Busamante		Contreras				13/08/2018			
Trabajo de título Inq. civil					Paleta agarre LaGara gripper				
mecánica UTSM					paleta v90				
					Escala		Número Hoja		
					1:1		A3		



Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	Fecha
Marcos Bustamante	Contreras			02/08/2018	
Trabajo de título Ing. civil mecánica			Rueda dentada LaGara gripper		
			Escala	Formato hoja	
			2:1	A3	



Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha
Marcos Bustamante	Portneras			14/08/2018
<b>trabajo de título Ing. civil</b>				
<b>mecánica</b>				
<b>Flange acople rueda dentada Lataca gripper</b>			Escala	Formato hoja
			3:1	A3

