



**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE GRIPPER
INTERCAMBIABLE ENTRE ROBOT *FANUC*
LR mate 200iD Y *MOTOMAN MH5F***

TESINA

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN MANUFACTURA
AVANZADA**

PRESENTA

**MEC. CHRISTIAN IRVING ENRIQUE
RODRÍGUEZ GONZÁLEZ**

AGUASCALIENTES, AGS, DICIEMBRE 2017.



08 de noviembre de 2017

Mtro. Geovany González Carlos
Coordinador Académico
CIATEQ, A.C.

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del alumno M.E.C. Christian Irving Enrique Rodríguez González, una vez revisada la Tesis o tesina titulada: "**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE GRIPPER INTERCAMBIABLE ENTRE ROBOT FANUC LR mate 200iD Y MOTOMAN MH5F**", autorizamos que el citado trabajo sea presentado por el alumno para la revisión del mismo con el fin de alcanzar el grado de **Maestro en Manufactura** durante el Examen de Titulación correspondiente.

Y para que así conste se firma la presente a los 08 días del mes del año 2017.



Dr. Gonzalo González Rey

Asesor Académico



M.E.C. Fernando Alejandro Villa
Martínez

Asesor en Planta



Santiago de Querétaro, Qro.
23 de Noviembre del 2017.

Dra. María Guadalupe Navarro Rojero
Directora
Posgrado CIATEQ
PRESENTE.

Por medio de la presente me estoy dirigiendo a Ud. de la manera más atenta, de que fui designado como revisor del trabajo de tesis del Ing. CHRISTIAN IRVING ENRIQUE RODRÍGUE GONZÁLEZ, del trabajo titulado:

"DISEÑO Y SIMULACIÓN DE GRIPPER INTERCAMBIABLE ENTRE ROBOT
FANUC LR mate 200iD Y MOTOMAN MH5F"

Después de haber leído, corregido e intercambiado información con el estudiante antes mencionado, el trabajo de tesis que me fue entregado y haciendo resaltar que el estudiante realizó todos los cambios que le fueron sugeridos a la tesis, ésta puede ser autorizada para su publicación y que de ésta manera pueda iniciar los trámites correspondientes para iniciar el proceso de titulación.

Sin otro particular por el momento y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta y en beneficio del estudiante y la institución, agradezco la atención que se sirva prestar a la presente,

ATENTAMENTE



Dr. Luciano Vela Martínez

DEDICATORIAS:

A Dios, por el tiempo necesario para lograr un éxito más en mi vida.

A mi esposa Arlet con todo cariño, ya que siempre tuve el apoyo y motivación para seguir adelante, por creer en mí y tener la paciencia cuando los días se tornaban complejos, siempre con una palabra de aliento en el momento que lo necesitaba.

A mis hijos Luis Enrique e Irving, por ser mi fuente de motivación e inspiración para lograr superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor.

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

A mi amigo y maestro Jean Jacques Billeres por su apoyo invaluable para lograr el desarrollo del modelo optimizado.

A mi compañero y amigo el Dr. Gonzalo González, por su siempre acertada crítica constructiva, además de sembrar la semilla de la investigación.

A mis profesores por haberme compartido sus experiencia y conocimientos a lo largo del postgrado.

RESUMEN:

La Universidad Tecnológica de Aguascalientes, dispone de un laboratorio de última generación en el área de robótica industrial, el cual cuenta con robots de diferentes capacidades y marcas líderes en el mercado. Dentro de ellos, están el robot *Fanuc LR mate 200iD* y el robot *Motoman MH5F*, que son usados en la carrera de Ingeniería Técnica en Robótica Industrial y Mecatrónica. Una limitante de equipos es la falta de un gripper con el cual los estudiantes puedan llevar a cabo las prácticas que se estudiaron en el aula.

En este trabajo se presenta el desarrollo y modelación de un gripper de ser intercambiable entre estos dos modelos, así como la posibilidad de ser fabricado por impresión 3D. La función principal es la manipulación de geometrías rectangulares y cilíndricas de una dimensión máxima de 70mm.

Se aplicó la metodología de análisis funcional APTE (APplication aux Techniques d'Entreprise) para buscar todas las soluciones posibles en el diseño del producto, además de aplicar el método del esquema pilotante para optimizar las dimensiones, las fuerzas y permitir un diseño en el contexto del ensamblaje.

En el desarrollo del trabajo fueron utilizados softwares especializados como es el Ces EduPack 2015 para la selección de materiales y Catia V6 para la concepción, modelación, estudio mecánico y el análisis elementos finitos en los componentes del gripper fue utilizado para mejorar el diseño y hacer una propuesta racional del producto.

Como resultado de este trabajo, se cuenta con el modelo 3D, la ingeniería y el diseño para la construcción de un gripper.

Palabras clave: Gripper, Catia, CES EduPack, 3D, MEF, Robot

ÍNDICE

CAPÍTULO 1.....	8
1.1. INTRODUCCIÓN:.....	8
1.2. DEFINICIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN:.....	10
1.3. JUSTIFICACIÓN:.....	10
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN:.....	11
1.4.1. Objetivo general:.....	11
1.4.2. Objetivos específicos:.....	11
1.5. HIPÓTESIS:.....	11
CAPÍTULO 2.....	11
2.1. AVANCES TECNOLÓGICOS DE LOS GRIPPER.....	11
2.1.1. Sistemas de sujeción.....	13
2.1.2. Sistemas de sujeción más utilizados.....	15
2.2. Clasificación de grippers industriales tipo pinza.....	17
2.3. Grippers Industriales tipo pinza.....	19
2.4. ROBOT FANUC LR mate 200iD.....	21
2.5. ROBOT MOTOMAN MH5F.....	23
CAPÍTULO 3.....	25
3.1. METODOLOGÍA.....	25
3.1.1. Análisis de la función externa.....	25
3.1.2. Análisis funcional en ecodiseño.....	25
3.2. HISTORIA DE LA METODOLOGÍA APTÉ.....	26
3.3. METODOLOGÍA APTÉ (APplication aux Techniques d'Entreprise).....	26
3.3.1. Diferenciar que es útil de lo inútil.....	26
3.3.2. Pasos de la metodología.....	26
3.3.3. Análisis funcional de las herramientas.....	27
3.4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA APTÉ AL PROTOTIPO DE GRIPPER INTERCAMBIABLE.....	30

3.4.1.	Descripción de las funciones de servicio, Fp y Fc.....	31
3.5.	Diagrama de Técnicas de Sistema de Análisis de Funciones (FAST)	33
3.5.1.	Investigación y selección de soluciones tecnológicas	34
3.6.	SELECCIÓN DE MATERIAL DEL GRIPPER	36
3.6.1.	Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)	36
3.6.2.	Ácido poliláctico o poliácido láctico (PLA)	36
3.6.3.	Poliamidas (PA)	36
3.6.4.	CES EduPack 2015.....	37
3.7.	ANTEPROYECTOS DE GRIPPER.....	42
3.7.1.	Cálculo de fuerza de las mordazas de gripper.....	42
3.7.2.	Balance de fuerzas	44
3.7.3.	Anteproyecto uno (AP1)	48
3.7.4.	Anteproyecto dos (AP2)	52
3.7.5.	Anteproyecto tres (AP3)	56
3.7.6.	Matriz de ponderación de criterios.....	58
4.	PROYECTO FINAL.....	60
4.1.1.	Teoría de Hertz (esfuerzos de contacto)	61
4.1.2.	Contacto entre dos elementos esféricos	62
4.1.3.	Condición de resistencia mecánica.....	67
4.1.4.	Ensayo de tracción de probetas en PLA.....	69
4.2.	MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS	75
4.2.1.	Análisis de elemento finito de biela	76
5.	RESULTADOS.....	83
6.	CONCLUSIONES.....	87
7.	REFERENCIAS.....	88
8.	ANEXOS.....	91

GLOSARIO:

ABS: acrilonitrilo butadieno estireno es un plástico muy resistente al impacto (golpes) muy utilizado en automoción y otros usos tanto industriales como domésticos.

ASEA: agencia de seguridad, energía y ambiente de los Estados Unidos de Norteamérica.

Electroimán: barra de hierro dulce que se imanta artificialmente por la acción de una corriente eléctrica que pasa por un hilo conductor arrollado a la barra.

Grado de libertad: número mínimo de parámetros que necesitamos especificar para determinar completamente la cinemática de un mecanismo o el número de reacciones de una estructura.

Gripper: elemento de sujeción que se utilizan para agarrar y sostener objetos, y se suelen denominar pinzas.

Husillo: tipo de tornillo largo y de gran diámetro, utilizado para accionar elementos de apriete tales como prensas.

Ortogonal: se emplea para nombrar aquello que se encuentra en un ángulo de 90°.

Par cinemático: unión que permite el movimiento entre dos miembros de un mecanismo.

Repetibilidad: capacidad del robot de regresar al punto programado las veces que sean necesarias. Esta magnitud establece el grado de exactitud en la repetición de los movimientos de un manipulador al realizar una tarea programada.

Robot: manipulador multifuncional y reprogramable capaz de realizar diferentes tareas.

PLA: ácido poliláctico o poliácido láctico es un polímero constituido por moléculas de ácido láctico, con propiedades semejantes a las del tereftalato de polietileno (PET) que se utiliza para hacer envases, pero que además es biodegradable. Se degrada fácilmente en agua y óxido de carbono.

Poliamida: también conocidas como nylon, (PA) son polímeros semicristalinos.

Servo: dispositivo electromecánico compuesto por un motor eléctrico, transmisión mecánica y tarjeta de control que permite garantizar estabilidad de posición de un elemento en un intervalo de operación.

Soplete: Instrumento para soldar piezas de metal y para trabajar el vidrio; consiste en un tubo del que sale un gas inflamable que mantiene encendida una llama, que puede dirigirse hacia un punto en que se requiere una temperatura elevada.

Ventosa: pieza cóncava de material elástico que se adhiere fuertemente a una superficie lisa por presión, al producirse el vacío en su interior.

CAPÍTULO I

En este capítulo tiene como contenido la introducción del tema de investigación referente a los robots industriales usados en la industria, así como la evolución que se ha tenido en los últimos años, abordando la importancia y aplicaciones de los grippers industriales.

Se aborda la situación actual en el laboratorio de robótica industrial dentro de la Universidad Tecnológica de Aguascalientes, justificándose el desarrollo de un sistema de sujeción con intercambiable entre los robots serie *LR mate Fanuc 200iD* y *Motoman MH5F* para realizar operaciones con estos equipos y coadyuvar la adquisición de conocimientos y habilidades de los estudiantes.

De igual manera se diseña el objetivo general y específico de la investigación a desarrollar.

Por último, se plantea la hipótesis a comprobar al final del desarrollo de la tesis.

CAPÍTULO 1

1.1.INTRODUCCIÓN:

Los robots industriales se equipan comúnmente con un efector final, localizados en el extremo del robot, estos son diseñados para sostener y realizar manipulaciones durante procesos de fabricación. Los grippers o efectores finales convencionales pueden mover sólo las pinzas a algunas posiciones predeterminadas para un objeto en particular. La mayoría han preestablecido sólo posiciones abiertas y cerradas. En la posición abierta proporcionan un espacio suficiente para agarrar o tomar objetos, se colocan cerca del objeto a ser manipulado y en la posición cerrada toma el objeto firmemente con suficiente presión para manipularlo y no deformarlo.

La Robótica Industrial constituye hoy una de las más importantes áreas de investigación y desarrollo tecnológico, los robots industriales con uso en sistemas automáticos se pueden encontrar en gran número de dispositivos inteligentes, dotados de elementos mecánicos que permiten realizar una infinidad de movimientos y tareas [1], [2].

El diseño de robots que inicialmente fue para entretenimiento y diversión, han cambiado drásticamente la vida humana en los últimos años [3]. En la actualidad la revolución tecnológica en el campo de la robótica y la automatización han transformado el concepto mediante el cumplimiento de tareas industriales más seguras, optimizadas y mucho más eficientes [4]. Los robots manipuladores se componen de elementos rígidos conectados entre sí por medio de pares cinemáticos y están diseñados para funcionar como un brazo humano, pero con una mayor fuerza y capacidad de carga útil [5]. Es usual identificar la muñeca del robot con las articulaciones en la cadena cinemática entre el cuerpo y el *gripper*. Las funciones del brazo y muñeca son las de posicionar y orientar el elemento final y alguna herramienta que éste puede llevar, para ejecutar el trabajo [6].

En la actualidad existen múltiples *grippers* para brazos robots, según las operaciones a realizar: corte con plasma, soldadura, pintura, o simplemente agarre de variedad geométrica. En la última década, múltiples circunstancias como el incremento de la mano de obra calificada, el aumento de líneas automatizadas y el abaratamiento de los sistemas robóticos han impulsado al sector industrial y a centros de investigación

hacia la innovación, desarrollo y fabricación de nuevos *grippers* [7]. Mientras que en el pasado estos dispositivos industriales estaban dirigidos a objetivos específicos, ahora el rápido crecimiento en el campo y el desarrollo de las nuevas tecnologías está consolidándose para generar nuevos métodos y dispositivos en los procesos de producción. Además, la crisis económica mundial empuja hacia nuevas fronteras de automatización para *grippers* más flexibles, versátiles, y capaces de realizar más funciones que la mera sujeción durante la manipulación de objetos [1].

En el año 2012 la Universidad Tecnológica de Aguascalientes apertura la Ingeniería Profesional de Robótica Industrial, la cual está dirigida a egresados de TSU de mecatrónica, mantenimiento industrial o carreras afines, cuyo objetivo es egresar profesionistas con las capacidades necesarias que requiere la industria de la región donde sus procesos son automatizados y apoyados por robots [8]. El programa de Ingeniería Profesional de Robótica Industrial cuenta con la asignatura de Programación de Robots, cuyo objetivo es programación y manipulación de robots industriales considerando las características técnicas dadas por el fabricante, para ello se habilitó un laboratorio equipado con robots industriales de última generación con el fin de brindar a los estudiantes las prácticas de manipulación de equipos que permitiera afianzar los conocimientos y habilidades en la manipulación de robots. Estos robots no cuentan con ningún *gripper* ni dispositivo para manipulación, por tal motivo es necesario disponer con un conjunto de *gripper* con posibilidad de manipular objetos con geometría variada. En estas condiciones se presenta la base de este trabajo de innovación e investigación que tiene como objetivo el diseño y modelación de un *gripper* intercambiable para ser utilizado en los robots *Motoman* y *Fanuc Robotics* disponibles en la Universidad Tecnológica de Aguascalientes. (Ver figuras 1 y 2).



Figura 1.- Motoman MH5, Fuente: Motoman Robotics



Figura 2.- Fanuc LR mate 200iD Fuente: Fanuc Robotics

1.2. DEFINICIÓN DEL TEMA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño y simulación de *gripper* intercambiable entre robot *Fanuc LR mate 200iD* y robot *Motoman MH5F*.

1.3. JUSTIFICACIÓN:

El laboratorio de Robótica Industrial de la Universidad Tecnológica de Aguascalientes cuenta con un robot serie *LR mate Fanuc 200iD* y un robot *Motoman MH5F* con capacidades de 6 kg y 5kg respectivamente para actividades de docencia, estos equipos cuentan con la limitante de tener acondicionado una ventosa como *gripper*, reduciendo las posibilidades de operación de manera sustancial. Debido a esta situación es necesario disponer de un nuevo sistema de sujeción con mordazas intercambiables para manipular diferentes objetos solidos cilíndricos y rectangulares, así como pueda ser permutado entre los robots serie *LR mate Fanuc 200iD* y *Motoman MH5F*, con ello se aprovecharán al máximo estos equipos industriales al realizar operaciones con una mayor complejidad y favorecer la adquisición de conocimientos y habilidades de los estudiantes.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN:

1.4.1. Objetivo general:

- Diseñar y simular *gripper* intercambiable para la sujeción de objetos sólidos cilíndricos y rectangulares, con posibilidad de ser instalado en los robots *Fanuc LR mate 200iD* y *Motoman FH100*.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Realizar la síntesis modelado y simulación del prototipo de *gripper* con suficiente capacidad de trabajo en base a criterios de resistencia mecánica y rigidez

1.5. HIPÓTESIS:

Con empleo de técnicas CAD será posible diseñar y simular un prototipo de *gripper*, configurado con pinzas del tipo abrir y cerrar e intercambiable entre la serie *MH5F* de *Motoman* y la serie *LR mate 200iD* de *Fanuc* para realizar operaciones de manipulación de elementos con formas solidas cilíndricas y rectangulares.

CAPÍTULO 2

Este capítulo contiene el estado del arte en materia de los avances tecnológicos que ha tenido los grippers en la industria manufacturera, así como modelos realizados por investigadores de diferentes universidades.

A su vez se expone los diferentes sistemas de sujeción utilizados en la industria actual, como lo son los de tipo: por presión, de enganche, ventosa de vacío y electroimán.

Finalmente se presenta las características y funcionalidades de los robots Fanuc LR mate 200 iD y Motoman MH5F los cuales serán los equipos de estudio para el desarrollo y modelación del gripper intercambiable.

CÁPITULO 2

2.1. AVANCES TECNOLÓGICOS DE LOS GRIPPER

La manipulación robótica con el apoyo de *grippers* tiende a revolucionar las industrias manufactureras; esta capacidad permite una mejor colaboración entre personas y robots que sustituyen a las personas en las actividades riesgosas, repetitivas y precisas por mencionar algunas de ellas [3]. En el desarrollo de la tecnología de fabricación, los robots se utilizan en aplicaciones industriales donde existen requerimientos de alta exactitud, repetitividad y estabilidad de las operaciones [10]. En los últimos años ha sido de interés para los fabricantes de robots industriales desarrollar diferentes tipos de mecanismos, materiales, sistemas de control y visión con el fin de satisfacer las necesidades que demanda los procesos automatizados de producción.

Se tienen estudios sobre el uso de los materiales no convencionales y morfologías en los robots donde los materiales de los manipuladores no satisfacen propiedades mecánicas como son elasticidad, viscosidad y densidad, demostrándose la aplicación de estos materiales se encuentran aún en una fase prematura [11] [12].

Por otro lado, existe la metodología de diseño basada en el principio de actuación para lograr un robot manipulador de alto desempeño, el cual proporciona varias ventajas tales como la alta capacidad de carga útil, eficiencia y un peso ligero en la estructura del robot, Actualmente existen diseños de robots con dos grados de libertad con eficiencia de 94% que no se hubiera logrado mediante activación de mecanismos convencionales [13]. Otros estudios realizados muestran el diseño y fabricación de *grippers* para ser utilizados en distintos procesos de automatización del tipo “tomar y dejar”. Estos *grippers* fueron desarrollados con propósitos educativos y de investigación. El *gripper* constó de un mecanismo con simulación de cuatro dedos con movimientos simultáneos de abrir y cerrar, con un grado de libertad, impulsado por un motor a través de un sistema de cuatro barras. Se estudió la geometría y la cinemática. Los resultados fueron los esperados por los investigadores ya que pudo manipular diversas formas de objetos [14].

Por otro lado, se desarrolló un *gripper* con retroalimentación en el mecanismo de sujeción que consiste en una membrana elástica con apoyo de una bomba de vacío

para extraer el aire y así poder sujetar una variedad de elementos, los ensayos que se desarrollaron fueron con una sujeción adecuada [15]. Adicionalmente se desarrolla un prototipo elaborado con materiales sintéticos como lo es el silicón, cuya ventaja es la manipulación de piezas irregulares y objetos delicados, debido a que el diseño es totalmente flexible por su adaptabilidad a la naturaleza del elemento, para ello se requirió abundantes sensores, actuadores, y un complejo control [16]. Se desarrolló de un *gripper* multi-dedos con aplicaciones industriales que se basa en dos grados de libertad y es capaz de adaptarse a diversos cuerpos independientemente del tamaño y material, limitándose a 10 kg de peso y hasta 15 cm de dimensión irregular, la estructura fue analizado por el método de elementos finitos para evaluar el esfuerzo de los elementos mecánicos [6].

Una interesante investigación, refiere un método para apoyar la selección de *grippers* en los robots industriales. Debido a la creciente variedad *grippers* no es compleja la selección, pero es limitada por la incompatibilidad en algunos pasos de la operación, la metodología utilizada para la selección de *gripper* es interactuar con el usuario a través de una serie de preguntas acerca del objeto, las operaciones a realizar y otros posibles requisitos [11]. Otros autores realizaron una revisión crítica de la literatura de métodos de selección y dimensionamiento, donde puede ser simplificada la tarea compleja de selección de *gripper* mediante la generación de algoritmos de software y nuevos diseños asistidos por computadora CAD (Diseño Asistido por Computadora) basado en los datos del enfoque, con ello se podría sustituir el tiempo de experimentos realizados con la posibilidad de elegir el *gripper* en una fase temprana del desarrollo del producto sin necesidad que exista la manufactura del producto [17].

La robótica se ha inmerso en cualquier área y actividad de la actualidad, tal es el caso de un prototipo automatizado para finalidad fue el desmontaje de cubiertas y baterías de equipos electrónicos. Este concepto de constó de una herramienta en un robot equipado con un dispositivo neumático de vacío para la extracción de la cubierta y un electroimán para retirar las baterías del tipo es de AA y AAA, este equipo se probó en dos dispositivos electrónicos con diversas configuraciones con buenos resultados [18].

La utilización de dispositivos robóticos para ejecutar las operaciones automáticas se espera que crezca y cubra una parte importante de las actividades. En este sentido, se ha demostrado que dentro del entorno industrial es un cuello de botella el *gripper*, ya

que a menudo es un dispositivo muy simple con pobre sensorialidad y limitada capacidad operacional [19].

2.1.1. Sistemas de sujeción

En la tabla siguiente se exponen los principales tipos de accionamientos utilizados en los elementos básicos de sujeción (grippers).

Tabla 1.- Sistemas de sujeción

Tipo	Accionamiento	Uso
Gripper de presión angular	neumático o eléctrico	transporte y manipulación de piezas sobre las que no importe presionar
Gripper de enganche	neumático o eléctrico	piezas de grandes dimensiones o sobre las que no se puede ejercer presión
Ventosa de vacío	neumático	cuerpos con superficie lisa y poco porosa
Electroimán	eléctrico	piezas ferromagnéticas

El más utilizado por brindar mayores ventajas en simplicidad, precio y fiabilidad, es el accionamiento neumático, no obstante, presenta dificultades de control de posiciones intermedias. En ocasiones se utilizan accionamientos de tipo eléctrico.

Es usual en el gripper instalar sensores para detectar el estado del gripper, (abierto o cerrado). También se pueden incorporar a la pinza sensores para controlar la pieza, sistemas de control que reúnan datos geométricos de los objetos, detectores de proximidad, sensores fuerza par, y otros aditamentos para mejorar la funcionalidad del gripper.

En la elección o diseño del gripper se han de tener en cuenta algunos factores. Entre estos factores están los que afectan al tipo de objeto y de manipulación a cumplir, como son el peso, la forma geométrica, el tamaño del objeto y la fuerza que es necesario aplicar y mantener para sostenerlo. Entre los parámetros de la pinza cabe destacar su peso, que afecta a las inercias del robot, el equipo de accionamiento y la capacidad de control.

Generalmente el *gripper* debe sujetar a la pieza de trabajo por su centro de gravedad, ya que esto ocasiona que se anulen los momentos que se pudieran generar por el peso de la pieza de trabajo.

Cuando un robot no ha de maniobrar objetos, sino que debe realizar una tarea, el efector final, es una herramienta. Algunos ejemplos de efector final son los siguientes:

- Pinza de soldadura por puntos
- Soplete soldadura de arco
- Fresa-lijja
- Pistola de pintura
- Láser
- Cañón de agua a presión
- Para trabajos de fundición
- Para perfilar, eliminar rebabas, pulir
- Para pulverización de la pintura
- Para corte de materiales, soldadura o inspección

Existen diferentes formas de clasificación de pinzas mecánicas y de sus mecanismos de actuación. Una técnica es realizar la clasificación de acuerdo con el tipo de movimiento de los dedos manipulado por la pinza. En esta clasificación las pinzas pueden impulsar la apertura y cierre de los dedos mediante uno de los movimientos siguientes:

- Movimiento angular
- Movimiento lineal o traslación

También existe una diversidad de otros dispositivos que pueden elevar y detener objetos, se mencionan a continuación otros dispositivos de sujeción.

2.1.2. Sistemas de sujeción más utilizados

Ventosas. También denominadas burbuja de vacío, pueden utilizarse como dispositivos de pinza para manejar algunas clases de objetos. Los requisitos necesarios para su manipulación son que sean planos, suaves y limpios.

Las ventosas utilizadas en este tipo de pinzas de robot suelen ser de material elástico, tal como plástico blando.



Figura 3.- Ventosa, Fuente: Schunk Intec

Gripper magnético. Consiguen ser un medio muy factible de manipular materiales ferrosos.



Figura 4.- Gripper magnética, Fuente: SCHMALZ

Gripper adhesivas. Cumplen la acción de agarre, pueden utilizarse para manipular tejidos y otros materiales ligeros.

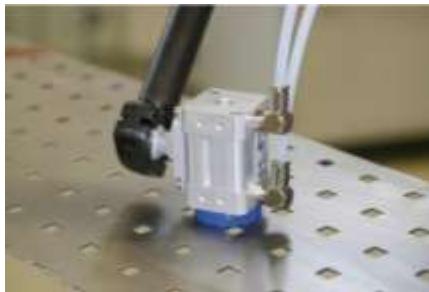


Figura 5.- Gripper adhesivo, Fuente: TRAPO AG

Ganchos y cucharas. Los ganchos pueden usarse como efectores finales para mover contenedores de piezas.



Figura 6.- Ganchos, Fuente: Incomimex

Las cucharas y los calderos pueden utilizarse para manipular algunos materiales en forma de polvo o líquidos.



Figura 7.- Cuchara, Fuente: DELT

Herramientas. Una herramienta se utiliza como un efector final en aplicaciones donde se exige al robot realizar alguna operación especial, algunos ejemplos de herramientas utilizadas como efectores finales en aplicaciones de robot incluyen:

1. Herramienta de soldadura por puntos.
2. Soplete de soldadura por arco.
3. Husillos giratorios para operaciones tales como: taladro, ranurado, cepillado y rectificado.
4. Sopletes de calentamiento.
5. Herramienta de corte por chorro de agua.



Figura 8.- Antorcha MIG, Fuente: Fanuc Robotics

2.2. Clasificación de grippers industriales tipo pinza

El elemento humano característico para la acción de sujeción y manipulación de objetos es la mano. Pero esta tiene una estructura considerablemente compleja con una notable cantidad de articulaciones y barras rígidas que conducen a 22 grados de libertad del sistema, teniendo en cuenta solo los comprendidos en la muñeca. Siendo un elemento con bastantes grados de libertad se adapta muy bien a tomar y mover objetos de forma y dimensiones diversas siendo por lo tanto un óptimo sistema de agarre de tipo universal

De estudios estadísticos elaborados resulta que del 60 a 70% de las formas usadas para tomar objetos regulares como la cilíndrica, paralelepípedo y piramidal son realizados con pinzas de dos dedos [20]. Este es uno de los motivos por el cual el gripper de dos dedos es la más popular en las aplicaciones industriales y sobre todo en el ensamble automatizado

Existen en la industria diferentes grippers que son fabricados por distintas empresas que se dedican a la automatización, como es la manipulación de objetos. Estas proporcionan una gran variedad de grippers en cuanto a sus diseños, diversos tipos de actuadores y funciones de las mismas, pero teniendo una gran tendencia a la utilización de los actuadores lineales de tipo neumático, sin dejar a un lado los actuadores de rotación, que pueden ser de tipo neumático o eléctrico. Una cadena cinemática une el comando con el dedo del gripper, que en su generalidad responde a disposiciones de correderas y barras articuladas con movimiento roto-traslatorio.

Por lo dicho existe una gran variedad de grippers los cuales, para poder ser seleccionados o diseñados es necesario clasificarlo por determinadas características cualitativas y cuantitativas. Las clasificaciones de los grippers más aceptados están basados en la forma de trabajo de las pinzas y el mecanismo utilizado para generar movimiento.

Considerando la forma del objeto y sujeción del mismo, los grippers pueden ser:

- De acción interna: forma de acción que está referida a aquellos objetos que poseen agujeros de los cuales pueden sostenerse siendo en ese caso de acción interna.
- De acción externa: Aquellos que no poseen agujeros donde pueden ser sostenidos son de acción externa.

Teniendo en cuenta el movimiento de las pinzas en los grippers ellos pueden ser clasificados con movimientos de:

- Traslación
- Rotación
- Roto-traslación

Teniendo en cuenta los componentes cinemáticos del mecanismo de conducción de la pinza que conforma el gripper, pueden tener estructuras específicas de:

- Barras
- Piñón-cremallera
- Levas
- Tornillo
- Cable y polea

Las estructuras de barras consiguen ser de dos o tres puntos de articulación o bien juntas de correderas, empleándose para movimientos de oscilación o traslación de las pinzas que conforman el gripper. El de piñón-cremallera según cual sea el elemento de entrada puede ser utilizado para lograr movimiento paralelo o de oscilación. El mecanismo de leva en pinzas es utilizado para movimiento de traslación generado por un actuador de rotación. Cuando el mecanismo es compuesto por tornillo solamente, éste es para movimiento de traslación desarrollado por un actuador de rotación [11] [21].

2.3. Grippers Industriales tipo pinza

En las figuras siguientes se pueden observar sus correspondientes diseños mecánicos y esquemas cinemáticos de algunos grippers industriales. A continuación, se realiza una breve descripción de cada uno de los esquemas cinemáticos de ellos.

Pinza con desplazamiento por traslación, mediante dos actuadores neumáticamente de traslación. El desplazamiento está realizado por una corredera sobre un cubo donde está sujeta la pinza. El mecanismo de accionamiento está compuesto por un eslabón de tres articulaciones, donde una de ella es conectada al actuador principal y en las otras dos hay dos rodillos que se desplazan sobre levas, una de cara plana y una de perfil curvo junto al cubo de la pinza.

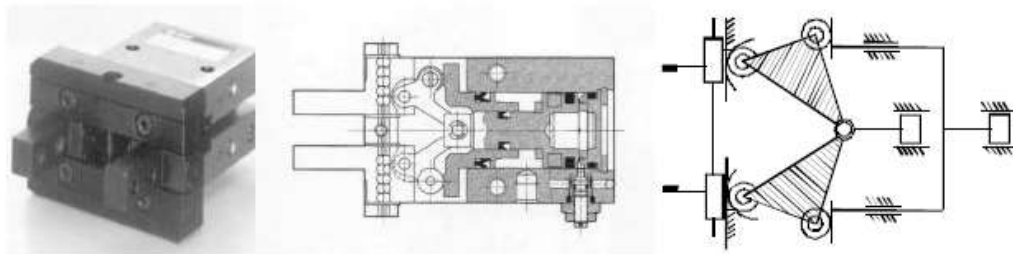


Figura 9.- Gripper con movimiento de traslación utilizando una corredera

Gripper con desplazamiento por traslación, actuada neumáticamente con actuador de traslación, compuesta por una corredera donde está montada la pinza. El mecanismo de accionamiento son dos correderas en distintas posiciones y una articulación donde se unen rígidamente las guías de las correderas.

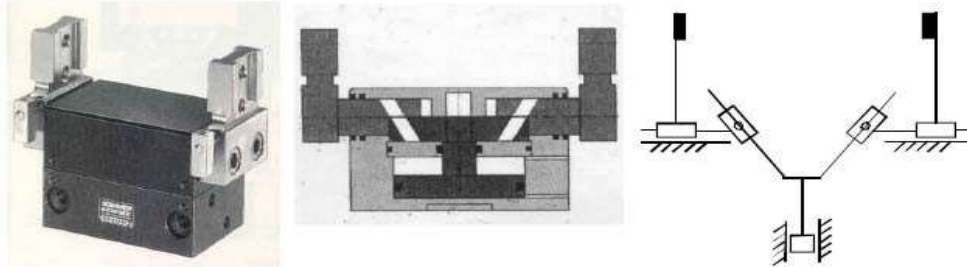


Figura 10.- Gripper con movimiento de traslación empleando actuadores neumáticos de traslación

Gripper con desplazamiento por traslación, operada neumáticamente con actuador de traslación, el desplazamiento de los dedos se consigue sobre guías prismáticas. El mecanismo de accionamiento es a base de correderas, conectadas una al dedo y la otra al pistón actuado.

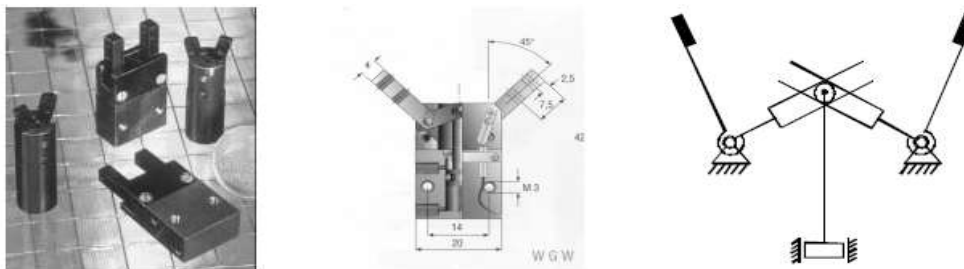


Figura 11.- Gripper con desplazamiento de traslación, mediante actuadores neumáticos de traslación

Gripper con desplazamiento por traslación, actuado neumáticamente con actuador de traslación, desplazamiento de las tenazas en forma paralela lograda por el accionamiento directo de una cremallera por el actuador y trasmítia a la pinza por el engrane de una rueda dentada articulada al bastidor, el desplazamiento del gripper es en guía prismática.

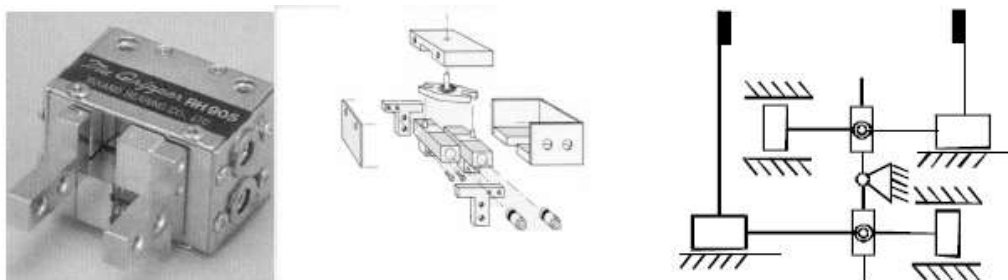


Figura 12.- Gripper con desplazamiento por traslación, actuado neumáticamente con actuador de traslación

2.4. ROBOT FANUC LR mate 200iD

El robot FANUC LR Mate 200iD de alta precisión de posicionamiento y tamaño de la mesa lo hacen ideal para una variedad de aplicaciones de automatización, incluyendo el manejo de materiales y montaje. El modelo 200iD se considera de mesa, ya que es ligero, mantiene un perfil delgado, tiene alta destreza y produce velocidades sostenidas más rápidas con una precisión de posicionamiento superior. La serie 200iD es accionada por servos eléctricos y presenta buenas características de momento en la muñeca. Dependiendo del modelo, puede incluir 5 o 6 grados de libertad, hasta 5 kg de carga útil en la muñeca, y +/- 0.02 o +/- 0.03 repetibilidad.

El mecanizado y la integración del robot se simplifican mediante conexiones neumáticas y eléctricas situadas estratégicamente y dos válvulas de solenoide de doble acción.

El 200iD está diseñado para un rendimiento ligero, eficiente, preciso y ágil. Ofrece buena versatilidad, se puede montar casi en cualquier lugar (piso, mesa, ángulo, invertido o dentro de las máquinas), y se adapta fácilmente en áreas estrechas. Tiene un diseño mecánico cerrado que elimina los cables y los enganches de las mangueras.

La flexibilidad del *LRMate* 200iD se extiende a las industrias que presta servicios. Un ejemplo, la industria alimentaria, utiliza el LR Mate 200iD / 5F, para acomodar ambientes y aplicaciones de producción de alimentos. Esta versión del 200iD es totalmente inofensiva para los alimentos y es adecuada tanto para productos alimenticios primarios como secundarios (con o sin envases) [22].

Algunas de las actuales aplicaciones del robot Fanuc LR mate 200iD en la industria y servicios son:

Aplicaciones

- Manipulación de materiales
- Ensamble
- Embalaje
- Eliminación del material
- Dispensación
- Ensayos y muestreo
- Educación y entretenimiento

Dimensiones y área de trabajo



Figura 13.- LR Mate 200 iD Fuente: Fanuc Robotics

Dimensions LR Mate 200iC, /5H, /5WP, /5C, /5F and /5HS

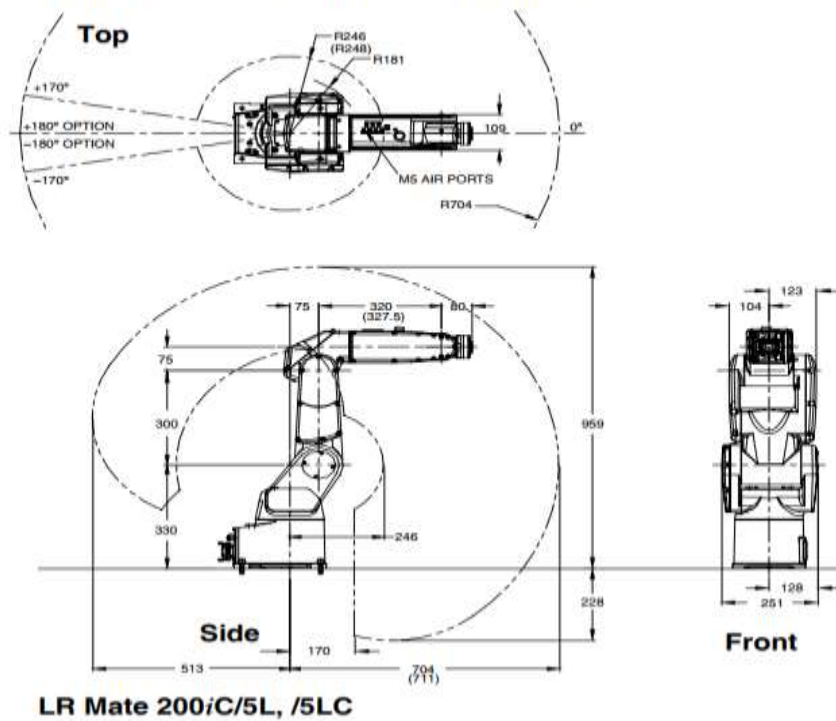


Figura14.- Dimensiones LR Mate iC Fuente: Fanuc Robotics

2.5. ROBOT MOTOMAN MH5F

El robot MH5F es un robot compacto, de alta velocidad y 6 ejes que ofrece un rendimiento superior en distintas aplicaciones como el envasado, la manipulación de materiales y carga-descarga de máquina herramienta, dónde se requiere versatilidad.

Este robot se caracteriza por tener un alcance de 706 mm y ofrece la mayor área de trabajo de su categoría. El robot MH5F utiliza un controlador compacto FS100. Gracias al diseño compacto de este robot y el sensor de colisión incorporado, múltiples robots pueden trabajar juntos en una sola planta de producción.

Ventajas:

- Compacto, potente y económico
- Su diseño compacto permite un máximo rendimiento utilizando el mínimo espacio
- Extraordinarios resultados de producción, con una inversión de capital mínima
- Cableado y mangueras guiadas internamente que maximizan la fiabilidad del sistema

Dimensiones y área de trabajo



Figura15.- Motoman MH5F Fuente: Yaskawa Motoman

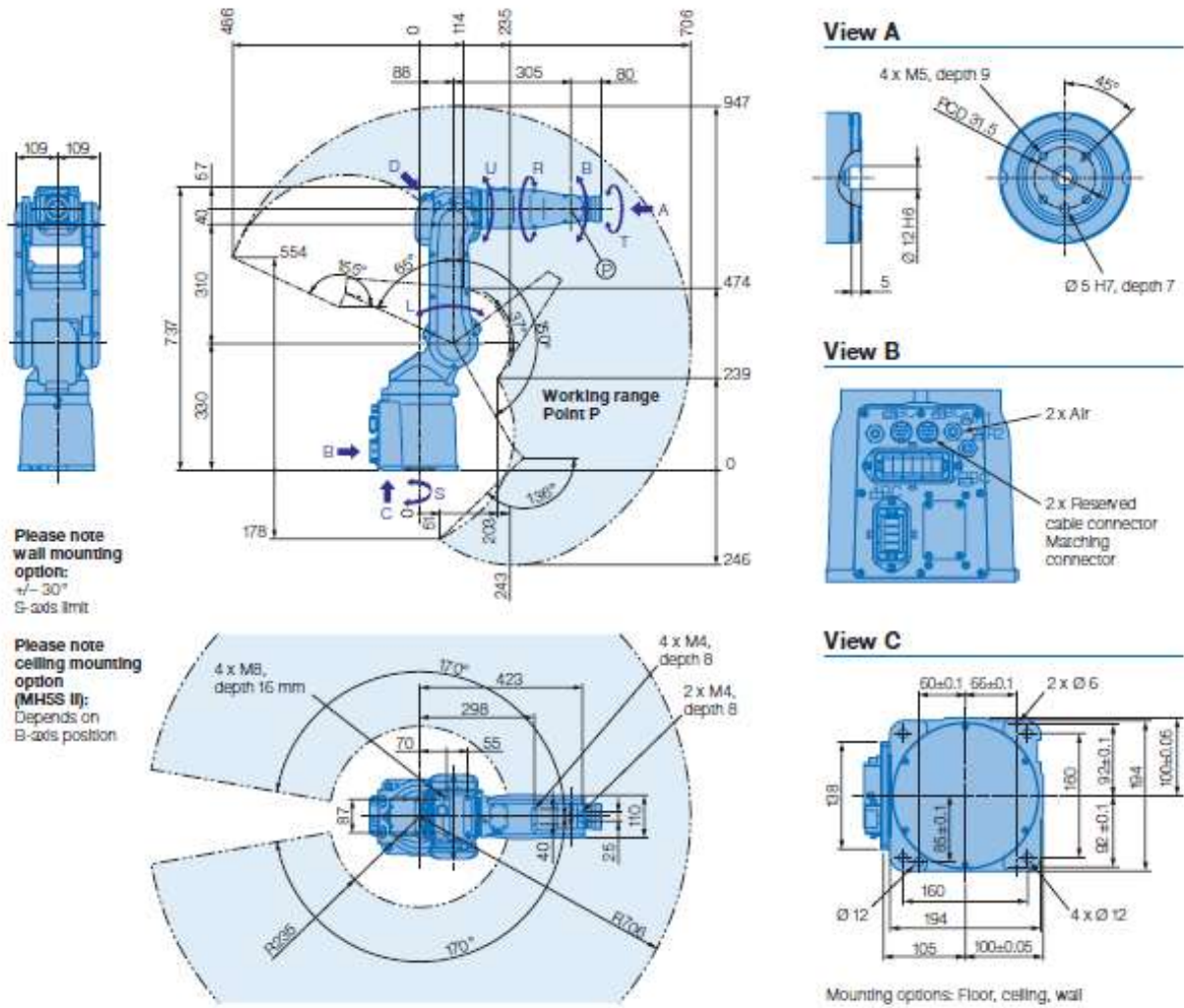


Figura16.- Dimensiones Fuente: Yaskawa Motoman

CAPÍTULO 3

Este capítulo contiene la metodología APTE (*APplication aux Techniques d'Entreprise*), aplicada en el desarrollo del proyecto, el cual incluye diferentes herramientas gráficas necesarias para obtener las posibles soluciones al problema de investigación, en ellas se describen las funciones principales y las de restricción.

Incluye el procedimiento de selección de material adecuado para su diseño con la ayuda del software Ces Eupack 2015, basándose en el método de Asbhy.

Se diseñan tres anteproyectos del gripper, los cuales contienen los esquemas pilotantes donde se calcula la fuerza necesaria del pistón, así como la carrera requerida para la abertura y cierre de las mordazas, a su vez, se desarrolla el modelo en Catia V6.

Con ello se elabora una matriz de ponderación de criterios, una matriz de soluciones y una matriz de rendimiento para seleccionar el mejor anteproyecto el cual será mejorado para ser el proyecto final.

Se realizan ensayos de tracción en probetas fabricadas con PLA bajo la norma ISO 527 (ASTM D638), para obtener los valores reales en el material extruido.

Por último, se aplica el método de elementos finitos al modelo para optimizar y lograr un prototipo con un coeficiente de seguridad de 1,62.

CAPÍTULO 3

3.1. METODOLOGÍA

3.1.1. Análisis de la función externa

Dado que el producto tiene un impacto en todas las etapas de su ciclo de vida, se entiende que el objetivo principal es el diseño ecológico para reducir estos impactos.

Pero esta reducción de los impactos no debe ir en decremento de la calidad de uso de las necesidades y funciones del producto en cuestión, de ahí la necesidad de saber cuál es la función por realizar, para clarificarlo, y redefinir apropiado.

Este enfoque es innovador y eficiente a la hora de diseñar o rediseñar productos.

3.1.2. Análisis funcional en ecodiseño

Las herramientas de **análisis funcional** son de suma importancia en el proceso de diseño. Evidentemente, es el mismo en el diseño ecológico, excepto que se debe considerar, además de las limitaciones convencionales de estrés ambiental.

La idea es diseñar o rediseñar un producto que va a mantener la misma calidad de uso, pero con un menor impacto ambiental en comparación con lo que sería con un enfoque convencional para el diseño.

En este contexto, se habla de unidad funcional, es decir, establecer una función cuantificable y / o medible que define las características del producto, siempre que evalúe los impactos ambientales generados por la unidad funcional considerado.

El método de referencia para la evaluación ambiental de los productos es el **análisis del ciclo de vida** de evaluación (LCA).

Este método, introducido en Francia en la década de 1990, es ahora objeto de dos normas internacionales: ISO 14040, que presenta el enfoque general del LCA y sus diversas etapas, e ISO 14044, que se centra en la etapa de la evaluación y priorización de los impactos ambientales [23] [24].

3.2. HISTORIA DE LA METODOLOGÍA APTE

Al final de la Segunda Guerra Mundial, para hacer frente al aumento del costo de los productos industriales, *General Electric* preguntó a uno de los ingenieros asignados a las compras, Lawrence Miles Delos, definir un método de optimización.

Miles descubrió que, en un producto, lo que importa es la función que realiza, y que del 70 al 80% del costo de un producto está vinculado a la función que se utiliza para satisfacer esta solución.

A partir de esto, se desarrolló un método: **Análisis de Valor** (*Value Analysis*) en busca de soluciones de productos que sólo afectan a la necesidad de que existe en el producto [23].

3.3. METODOLOGÍA APTE (*APplication aux Techniques d'Entreprise*)

La metodología APTE es un método de análisis funcional y de análisis de la satisfacción de los usuarios del producto derivado de un proyecto de innovación que permite mejorar la calidad de uso del producto y reducir los costos asociados al proyecto.

Antes de realizar cualquier diagnóstico o buscar cualquier solución, es necesario definir con precisión el objeto y los objetivos. Esto debe hacerse sin ninguna solución preconcebida, al cuestionar la solución existente con el fin de abrir todas las soluciones posibles. El objeto estudiado se sustituye en su entorno de uso (producto, proceso ...) con el fin de expresar las funciones de los servicios que debe proporcionarse a los usuarios.

3.3.1. Diferenciar que es útil de lo inútil

Para que se proporcione cada servicio, el método APTE caracteriza el nivel de calidad esperado (criterios de satisfacción de los usuarios). Sobre la base de las especificaciones funcionales pueden ser identificadas posibles alternativas mediante combinación de requerimientos funcionales con posibles soluciones (Valor y los medios de diagnóstico).

En el último paso del diseño del producto, las soluciones alcanzarán el nivel de calidad y cumplimiento de los criterios de satisfacción de los usuarios.

3.3.2. Pasos de la metodología

- Especificación de las acciones
 1. Definición de los objetivos y límites del estudio

2. Estructura de la acción
- Evaluación de la necesidad
 1. Necesidades ya satisfechas por el producto
 2. Función a realizar por el producto (donde será empleado)
 3. Nivel de desempeño requerido (criterios de evaluación o satisfacción)
 4. Comprobación de la validez de las funciones y criterios de evaluación

 - Evaluación de los criterios y costos
 1. Diferencias entre criterios de evaluación y sus causas
 2. Proceso para mejorar la evaluación de los criterios
 3. Diferencias de costo y sus causas
 4. Procesos para la optimización económica

 - Definición de la solución
 1. Sesiones de creatividad estructurada y organizada
 2. Evaluación de soluciones alternativas
 3. Elección y estructuración de la solución definitiva

3.3.3. Análisis funcional de las herramientas

Existen muchas herramientas tradicionales para ayudar al diseñador en la definición de la función del producto y de forma más general en el análisis funcional.

Entre las herramientas para los diseñadores, los más utilizados son:

La **bestia de cuernos**: buscar ayudar a definir una necesidad, utilizando una herramienta gráfica.

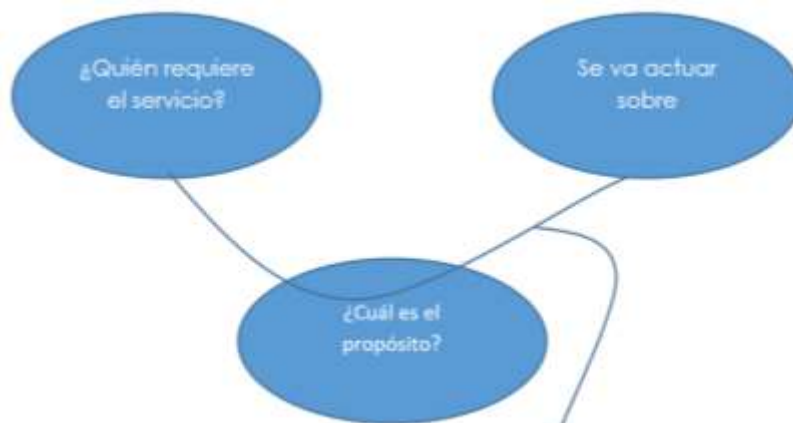


Figura17.- La bestia con cuernos, Fuente: propia

El **diagrama de pulpo**: Establecer los enlaces de servicios (funciones) entre el producto y su entorno. Este diagrama presenta las siguientes características.

- Permite imaginar el producto en situación de uso, con los elementos de su entorno.
- Es útil para caracterizar las **funciones de servicio** esperados y generados por el uso del producto.
- El producto se considera como una unidad funcional que proporciona una serie de funciones habituales y restricciones no como un conjunto de componentes.

En este análisis son considerados dos tipos de funciones de servicio generados por el uso del producto:

1. Las **funciones principales FP**: Todavía llamadas **funciones habituales**, que son los que justifican la existencia del producto.
2. Las **funciones de restricción FC**: También se les llama funciones complementarias. Nacen de la restricción impuesta por un producto al interrelacionarse con su entorno y medio ambiente un requisito particular del usuario o por el cumplimiento obligatorio de normas y leyes.

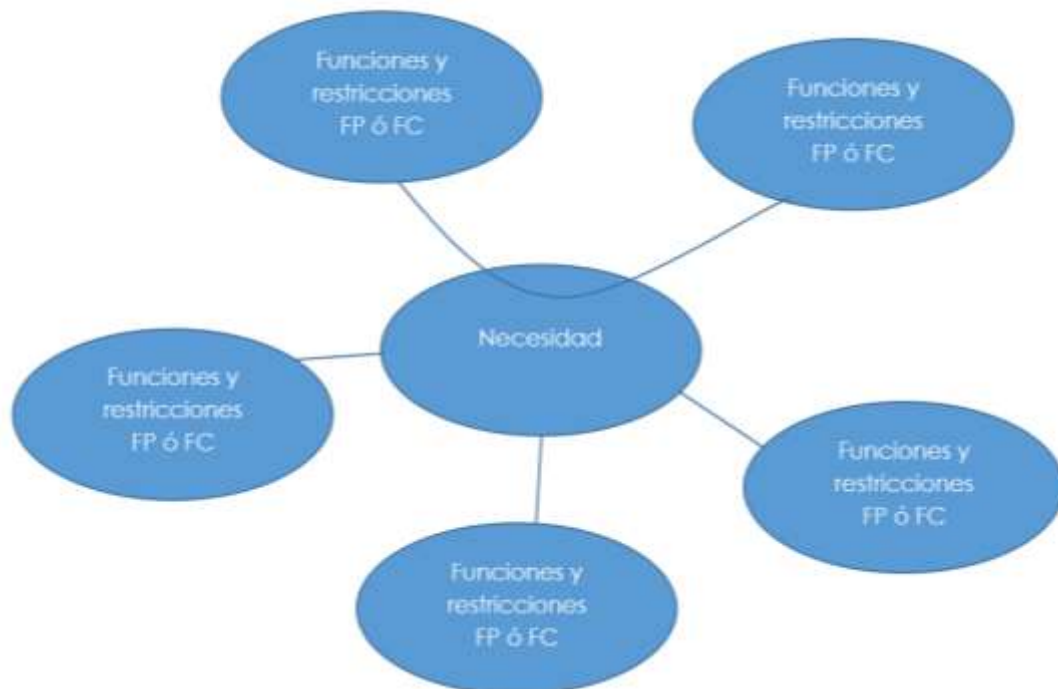


Figura18.- Diagrama de Pulpo, Fuente: propia

El **diagrama de SADT** (*Structured Analysis and Design Technique*): es un producto de un enfoque de sistema complejo.

Un modelo realizado con la técnica SADT permite representar las actividades de un proceso, definir las dependencias y relaciones entre dichas actividades, los controles que determinan o limitan su realización, los mecanismos que los ponen en marcha, así como los datos que se utilizan, comparten o transforman en los procesos.

Los diagramas SADT reúnen los procesos de la organización en orden secuencial, de acuerdo con su lógica de ejecución mediante una numeración que se refleja en la esquina inferior derecha de cada actividad. De esta manera se consigue un modelo de actividades que refleja el nivel de influencia de una actividad sobre el resto de las del proceso.

El resultado final es un conjunto de diagramas que contienen las actividades del proceso, cuidadosamente coordinados y organizados en niveles, que empiezan por el diagrama de nivel más general y terminan por los de detalle. Cualquier actividad compleja puede subdividirse en actividades más detalladas [25].

Los flujos que interconectan actividades se clasifican en cuatro tipos de acuerdo con su significado:

Entrada: hace referencia a la información que se utilizará para producir las salidas de la actividad. La entrada es transformada por la actividad.

Salida: se trata de información que se produce en la actividad.

Control: se trata de restricciones que afectan a una actividad. Regula la producción de las salidas a partir de las entradas, pudiendo indicar cómo y cuándo se producen las salidas.

Mecanismo: normalmente se refiere a máquinas, personas, recursos o sistemas existentes que ejecutan la actividad. Es importante incluir aquellos mecanismos que serán diferentes en el entorno actual y en el entorno futuro.

Al incorporar controles que regulan las actividades, los flujos de salida de una actividad pueden actuar como controles e incluso mecanismos en la actividad precedente o dependiente.

Los diagramas SADT requieren una serie de puntos de partida:

- Concretar el tema a tratar.
- Asumir un punto de vista determinado.
- Fijar un objetivo.

El primero permite definir el ámbito dentro y fuera de la organización y el segundo proporciona una guía al construir el modelo. Por último, el objetivo ayuda a decidir cuándo se finaliza en la construcción del modelo.

3.4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA APTA AL PROTOTIPO DE GRIPPER INTERCAMBIABLE

Se parte en base a la necesidad de desarrollar un gripper intercambiable entre los Robots *Fanuc LR mate 200iD* y *MOTOMAN MH5F* cuyo objetivo es manipular elementos rectangulares y cilíndricos.

Como primer paso, se utiliza la herramienta **Bestia de Cuernos** para conocer las necesidades a satisfacer con el prototipo a desarrollar.

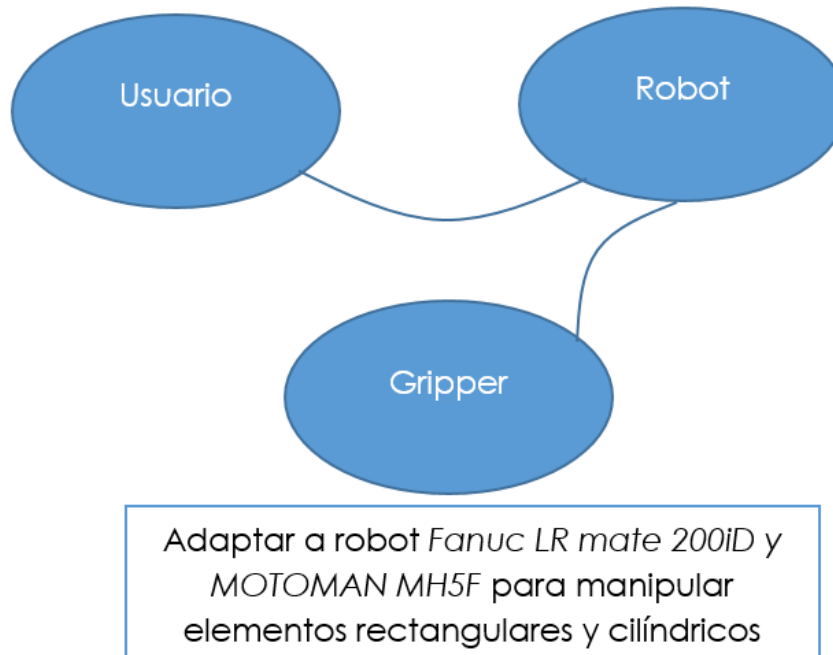


Figura19.- Expresión de la necesidad, Fuente propia

El segundo paso es caracterizar las **funciones de servicio** esperados y generados por el uso del producto, donde se puntualiza las funciones habituales FP y las funciones de restricción FC.

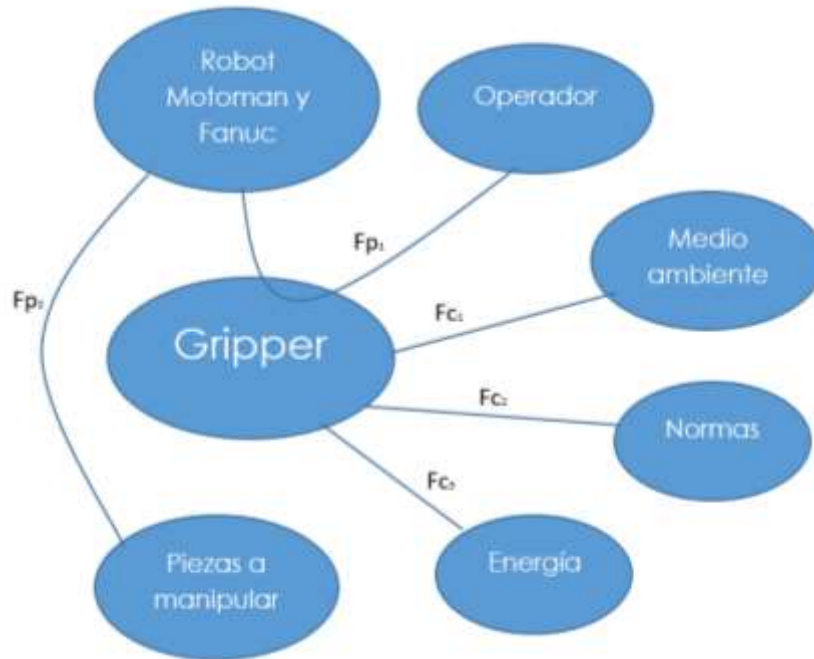


Figura 20.- Funciones de servicio, Fuente propia

3.4.1. Descripción de las funciones de servicio, Fp y Fc

Tabla 2.- Funciones de servicio, Fuente propia

Función	Descripción
Fp₁	Permitir al operador el montaje y desmontaje del gripper de los robots
Fp₂	Permitir la manipulación de las piezas con el robot y gripper
Fc₁	Resistir el medio ambiente
Fc₂	Respetar las normas
Fc₃	Adaptarse a la energía disponible

A continuación, se describe la caracterización de las funciones del gripper.

Tabla 3.- Caracterización de funciones, Fuente propia

	Función	Características de las interacciones	Criterios	Niveles	Flexibilidad	Medios de control
Fp1	Permitir al operador el montaje y desmontaje del gripper de los robots	Operador Robots	Edad Calificación Especificaciones	≥ 18 años Ninguna	F ₀ F ₁	Identificación
Fp2	Permitir la manipulación de las piezas con el robot y gripper	Piezas por manipular Robots (ver Fp1)	Cilindros y cubos rectangulares	Masa < 5Kg 0 ≤ 70mm	F ₀ F ₀	Bascula Vernier
Fc1	Resistir el medio ambiente	Ambiente	Temperatura Humedad	0°C ≤ α ≤ 50°C H ≤ 80%	F ₁ F ₁	Termómetro Higrómetro
Fc2	Respetar las normas	Normas	ISO/TS 15066:2016		F ₀	ISO
Fc3	Adaptarse a la energía disponible	Energía eléctrica Presión	Voltaje Corriente Presión	V= 127/220 A= 20 ^a P= PSI	F ₀ F ₀	Multímetro Manómetro

Con la tabla 3 se puede realizar un importante análisis de comparación entre las funciones del gripper para definir la importancia relativa entre ellas. Este análisis considera tres niveles de importancia:

Valor de 1, es igual o ligeramente mayor que.

Valor de 2, es medio superior.

Valor de 3, es mayor.

Tabla 4.- Tabla cruzada, Fuente propia

Características y funciones del gripper		Fp2	Fc1	Fc2	Fc3	Datos recolectados	%	Porcentaje acumulado
Permitir al operador el montaje y desmontaje del gripper de los robots	Fp1	Fp2/3	Fp1/3	Fp1/3	Fp1/3	9	32.1	32.1
Permitir la manipulación de las piezas con el robot y gripper		Fp2	Fp2/3	Fp2/3	Fp2/3	12	42.9	75.0
Resistir el medio ambiente			Fc1	Fc1, Fc2 /1	Fc3/3	1	3.6	78.6
Respetar las normas				Fc2	Fc3, Fc2 /1	2	7.1	85.7
Adaptarse a la energía disponible					Fc3	4	14.3	100.0
						28	100.0	

Teniendo la tabla cruzada se procede a realizar un Diagrama de Pareto para observar funciones de servicio principales y restrictivas con mayor importancia del prototipo a diseñar.

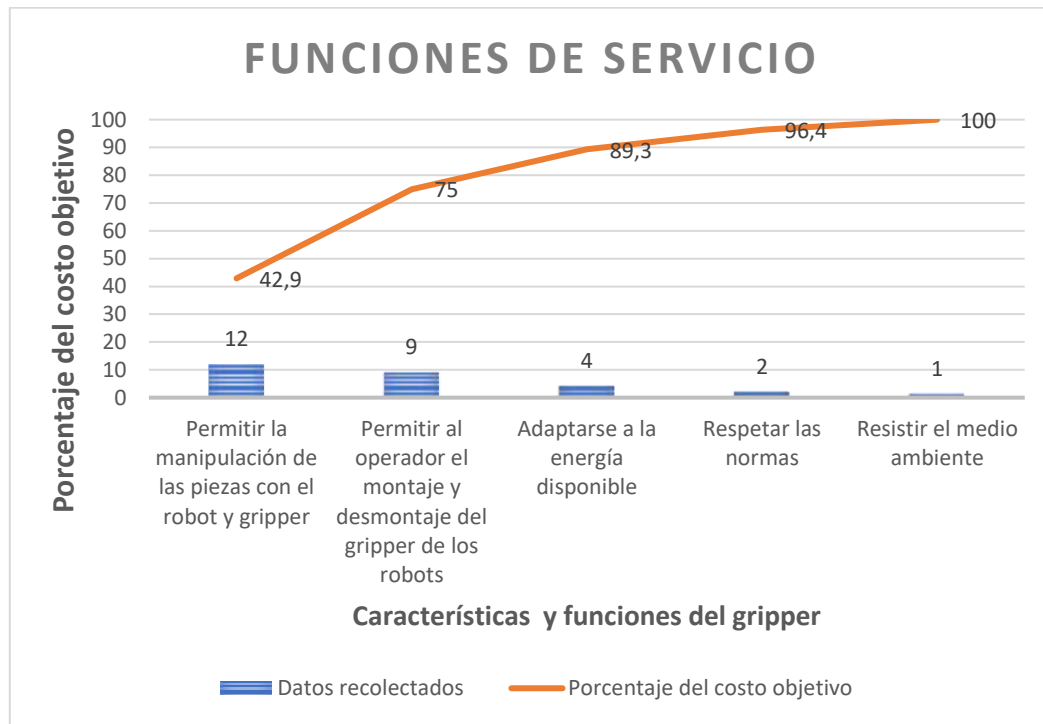


Figura 21.- Diagrama de Pareto, Fuente propia

3.5. Diagrama de Técnicas de Sistema de Análisis de Funciones (FAST)

Mediante esta técnica se despliegan y separan las funciones del producto dividiéndose en elementos manejables y así, poder ser tratados individualmente.

Con esta herramienta se puede hacer una clasificación de los elementos segmentados, dicha clasificación puede hacerse dependiendo de sus funciones, como pudiera ser básica y secundarias. Para diferenciar entre funciones básicas o secundarias se pueden realizar preguntas tales como, ¿Cómo? o ¿Por qué?, desde estas preguntas se pueden establecer relaciones entre las distintas funciones para mostrar el alcance o ver hacia donde se quiere dirigir el producto.

Este tipo de metodología se orienta a las funciones del producto, y lo que se trata de analizar es el fin del producto para conseguir cubrir las necesidades del cliente;

mediante este método se pueden crear nuevas funciones o mejorar las ya existentes mediante la creatividad y la innovación.

En base a los resultados del Diagrama de Pareto, se aplica el FAST a la función de servicio de mayor a menor importancia, siendo Fp_2 la de valor más alto correspondiendo a la manipulación de las piezas con el robot y el gripper.

3.5.1. Investigación y selección de soluciones tecnológicas

En este apartado se estudia las posibles soluciones tecnológicas para el diseño del gripper utilizando organigramas donde se plasma los diferentes medios para satisfacer los requerimientos necesarios.

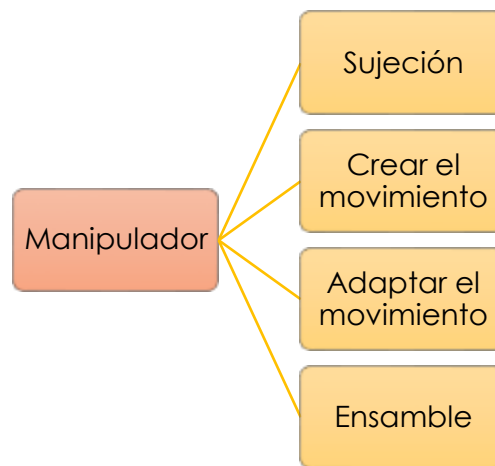


Figura 22.- Necesidades a resolver en diseño de gripper, Fuente: Propia

Se analizan los medios para la sujeción de piezas siempre y cuando cumpla el objetivo de manipular geometrías cilíndricas y rectangulares, encontrándose tres posibles de ellas, siendo una la que se aplicará al diseño del gripper.

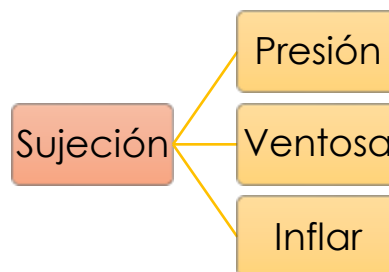


Figura 23.- Soluciones para la sujeción, Fuente: propia

En la figura 24, se cuenta con diferentes opciones de alimentación de energía neumática y eléctrica.

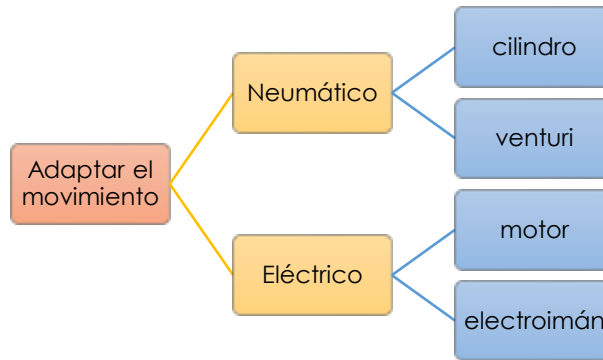


Figura 24.- Soluciones para la alimentación de energía, Fuente: Propia

Se observa en la figura 25 cinco posibles soluciones de movimiento para las mordazas, entre ellas se cuenta con sistemas mecánicos y un neumático.



Figura 25.- Soluciones para crear el movimiento de las mordazas, Fuente: Propia

Uno de los objetivos del trabajo de investigación, es el desarrollo de un intercambiador entre los robots Fanuc LR mate 200iD y MOTOMAN MH5F, para ello se debe diseñar un dispositivo de cambio rápido entre estos dos modelos, por ende, se tienen contempladas diferentes tipos de conexiones.

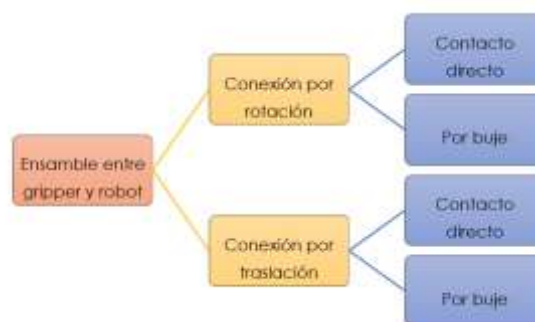


Figura 26.- Soluciones para el ensamble entre el gripper y robot, Fuente: Propia

3.6. SELECCIÓN DE MATERIAL DEL GRIPPER

La Universidad Tecnológica de Aguascalientes cuenta con equipos de última generación en impresión 3D para diferentes polímeros, como son poliamidas (PA), acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y ácido poliláctico o poliácido láctico (PLA), por tal motivo, la selección de material se contemplará en uno de los anteriores para una futura fabricación posterior del gripper.

3.6.1. Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)

Este material es utilizado en la carrocería de los automóviles, los electrodomésticos y las carcasas de teléfonos celulares. Pertenecen a la familia de los termoplásticos, pero contienen una base de elastómeros a base de polibutadieno que los hace más flexibles y resistentes a los choques. Además de su alta resistencia, este material permite obtener una superficie pulida, es reutilizable y puede ser sueldado con procesos químicos. Es empleado principalmente en la técnica de modelado por deposición fundida (FDM) y, en consecuencia, se encuentra disponible en la mayoría de las impresoras 3D.

3.6.2. Ácido poliláctico o poliácido láctico (PLA)

Este polímero es biodegradable ya que es fabricado a partir de materias primas renovables. Una de sus características principales es su leve encogimiento luego de la impresión 3D, razón por la cual las plataformas calientes no son necesarias en la impresión utilizando el modelado por deposición fundida a 185°C y se obtienen piezas de mejor precisión.

En comparación con el ABS, el PLA es más difícil de manipular dada su elevada velocidad de enfriamiento y solidificación.

3.6.3. Poliamidas (PA)

Los objetos en poliamidas son generalmente fabricados a partir de un polvo fino, granuloso y blanco utilizando la tecnología de sinterizado selectivo por láser (SLS), pero algunas familias de este material, como el nylon, se presentan en la forma de filamento y se utilizan con la técnica de modelado por deposición fundida (FDM).

Al estar constituido de estructuras semi-cristalinas, este material presenta un buen equilibrio entre sus características mecánicas y químicas, de donde vienen su estabilidad, rigidez, flexibilidad y resistencia a los choques. Estas ventajas dan paso a una amplia gama de aplicaciones y a un alto nivel de detalle. Su alta calidad es utilizada,

por ejemplo, para la fabricación de engranajes, piezas para el mercado aeroespacial, automóvil, robótica, las prótesis médicas y moldes de inyección.

3.6.4. CES EduPack 2015

Con el apoyo del software CES EduPack 2015, se obtendrá la mejor opción del polímero, debido a la gran gama de herramientas y recursos que se pueden combinar para satisfacer las necesidades a cumplir.

Se debe de tener una metodología para seleccionar el material, y evitar y hacer una elección racional de material con base en los fundamentos de ingeniería de materiales.

Primer paso, se escoge el nivel 3 para desplegar el universo de materiales que cuenta el software, se selecciona el apartado de Polímeros y Elastómeros.

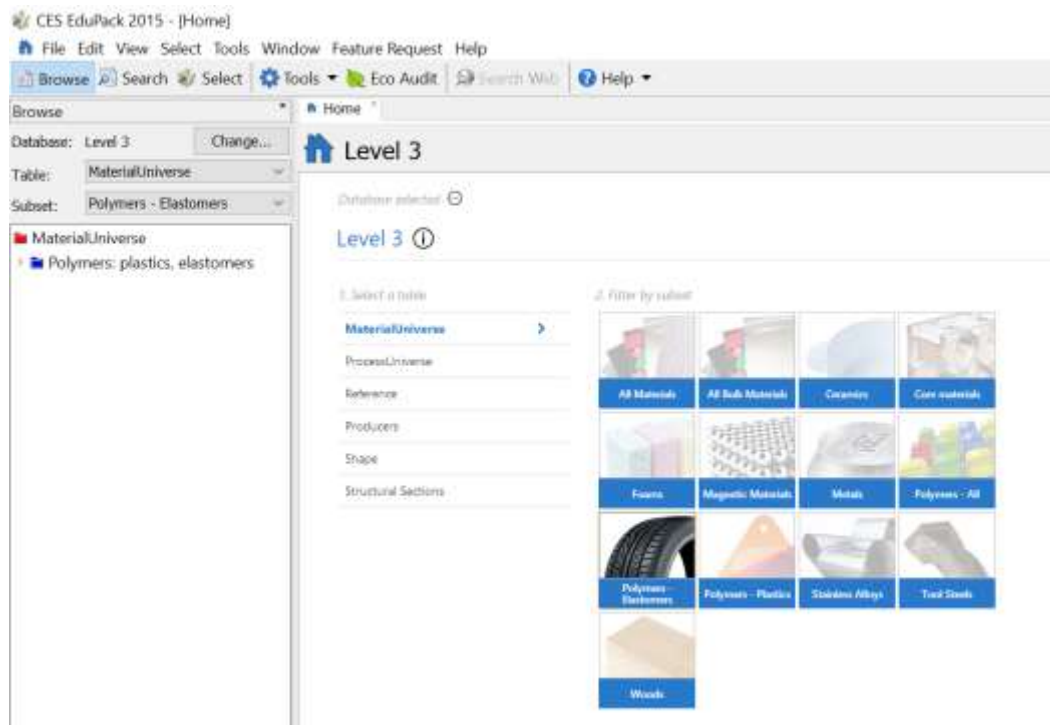


Figura 27.- Selección de polímeros y elastómeros, Fuente: CES EduPack 2015

Segundo paso, se hace una selección y limitación de los materiales a estudiar, para ello se va a la opción de *Tree Stage* donde se activa el PLA, ABS y PA

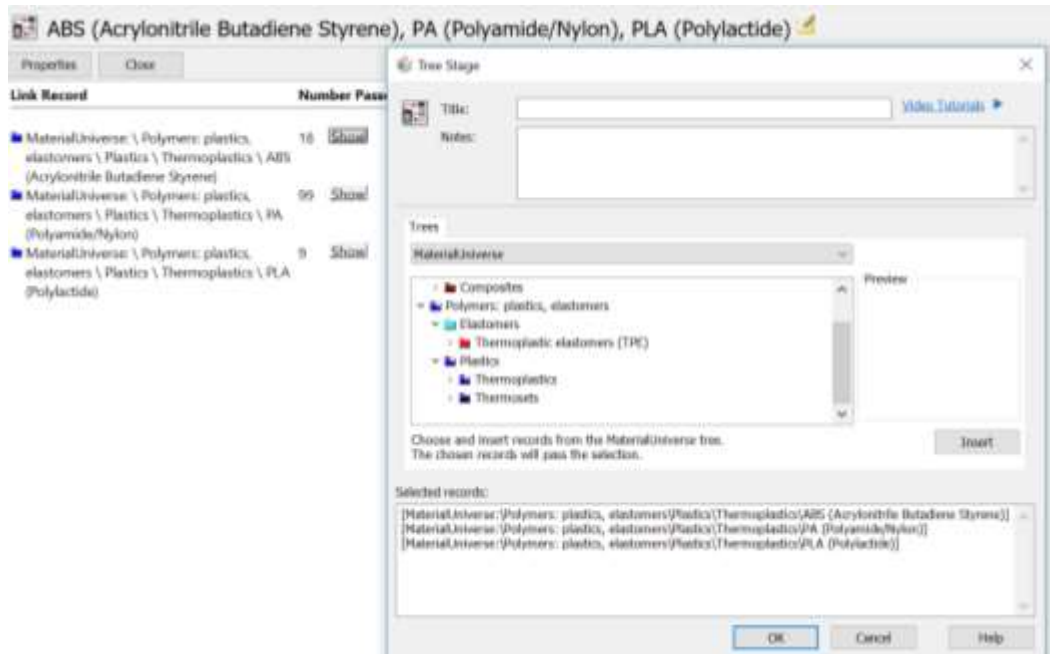


Figura 28.- Selección de ABS, PA, PLA, Fuente: CES EduPack 2015

Tercer paso, es selección de la categoría y atributos a cumplir por el material a estudiar, para ello se hace la comparación entre dos factores, donde el software muestra las mejores opciones dentro de los parámetros establecidos e indicados previamente.

Debido a que el diseño se realiza para impresión 3D, los valores a considerar es el límite elástico contra el precio de material. El primero de ellos se debe a la razón de las fuerzas que estará sometido los elementos del gripper por ende no debe existir deformación al momento que esté en funcionamiento, y el segundo, para tener el menor gasto posible en los cartuchos de la impresora 3D.

En la figura 29, se observa en el eje "X" la selección de costo por Kg de material, teniendo un rango de 10 hasta 120 \$/Kg.

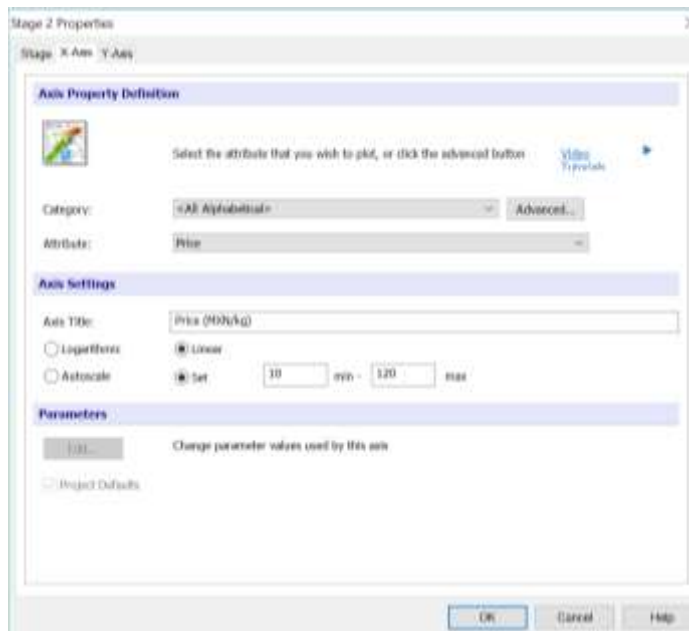


Figura 29.- Parámetros de precio, Fuente: CES EduPack 2015

En la figura 30 se visualiza en el eje de las “Y” la selección del límite elástico del material, teniendo un rango de 10 a 80 MPa, el último valor se obtiene del documento de especificaciones del ABS, PLA y PA. Tener un buen rango de búsqueda ayuda a simplificar el material más adecuado en la etapa del diseño del producto.

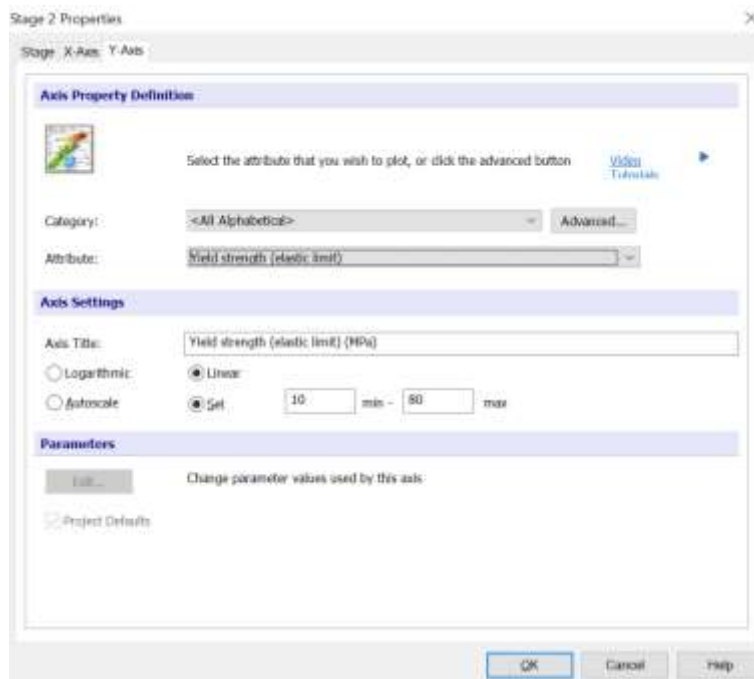


Figura 30.- Parámetros de límite elástico, Fuente: CES EduPack 2015

Se observa de manera general todos los posibles materiales para fines de diseño desde los materiales compuestos, plásticos y elastómeros, quedando encontrar los materiales a estudiar que son ABS, PLA y PA.

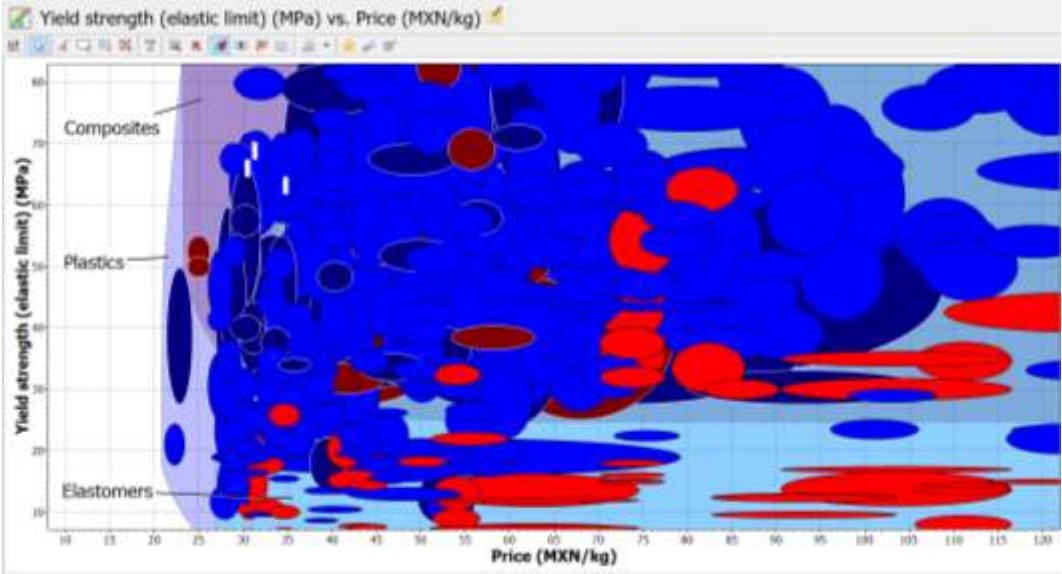


Figura 31.- Gama de materiales posibles, Fuente: CES EduPack

En la figura 32, 33 y 34, y con asistencia de la barra de resultados, pueden ser seleccionados los materiales de estudio, y observar en el punto donde se localiza cada uno de ellos y de una forma se puede emitir un juicio en base a los parametros iniciales de los materiales.

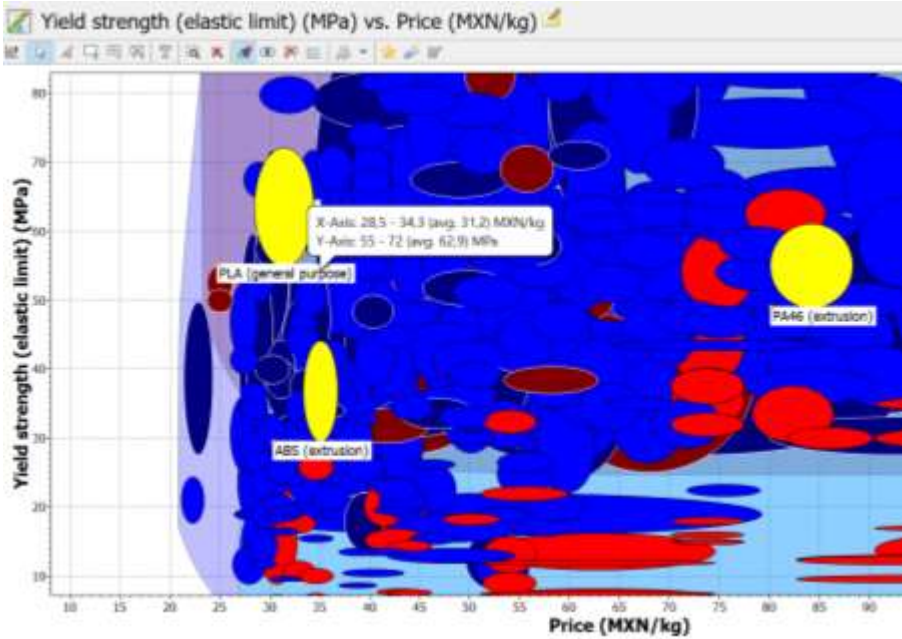


Figura 32.- Ubicación PLA, Fuente: CES EduPack

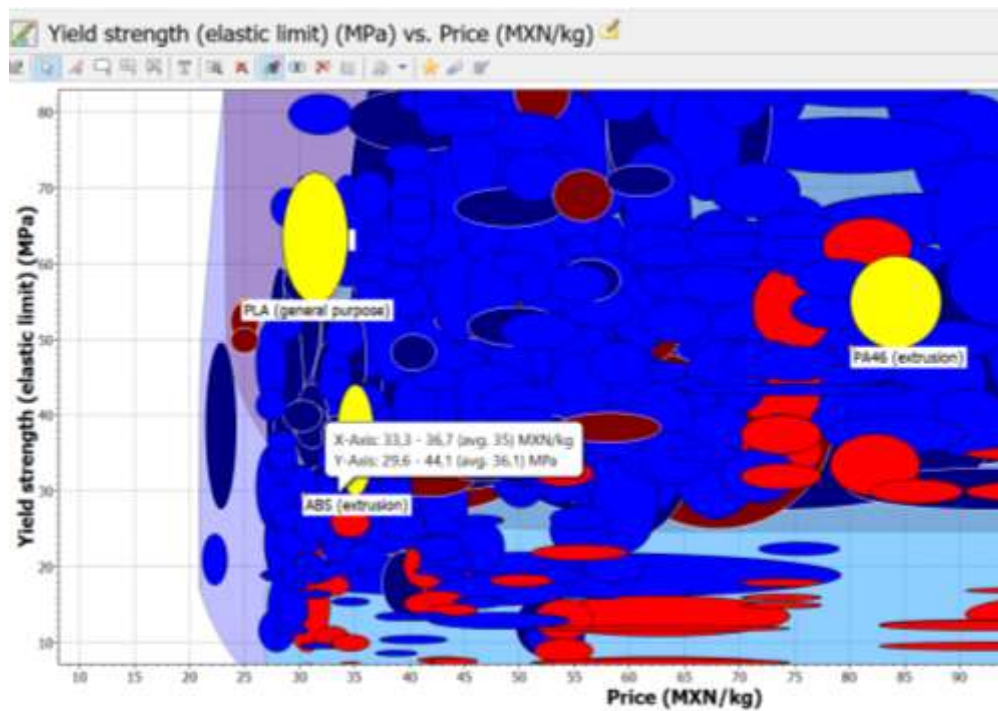


Figura 33.- Ubicación ABS, Fuente: CES EduPack

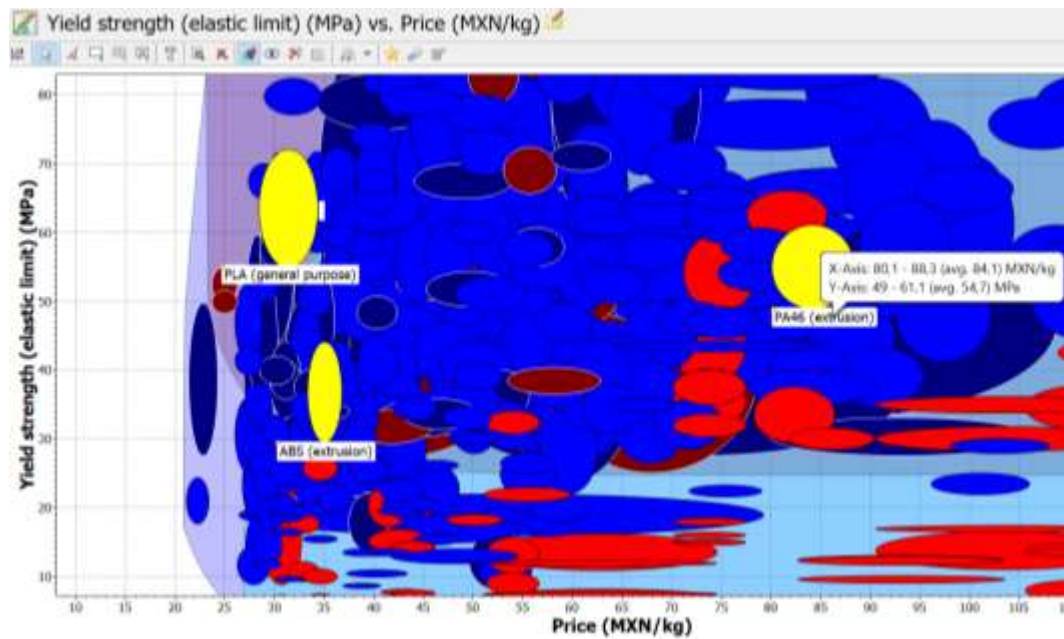


Figura 34.- Ubicación PL, Fuente: CES EduPack

De las tres gráficas se debe hacer una comparación entre el límite elástico y precio para con ello decidir el tipo de material que será empleado en el diseño y fabricación en 3D del gripper para un posterior estudio por el método de elementos finitos.

Tabla 5.- Resultados de materiales, Fuente: propia

Material	Precio por kilogramo (\$/Kg)	Límite elástico (MPa)
ABS	35	36.1
PLA	31.2	62.9
PA	84.1	54.7

Con los resultados obtenidos, se toma la decisión del material, siendo este el PLA (poliácido láctico) debido que cuenta con el mejor límite elástico, con relación al precio.

3.7. ANTEPROYECTOS DE GRIPPER

La metodología APTe (*APplication aux Techniques d'Entreprise*) indica el desarrollo de planteamientos para dar solución a la problemática existente, o bien, anteproyectos, donde estos estarán sometidos a observaciones por expertos y posterior análisis de ventajas o desventajas además de considerar la viabilidad para su desarrollo.

Para el proyecto del gripper, han sido desarrollado tres esquemas pilotantes, los cuales serán de utilidad para la concepción del modelo 3D. Estos esquemas pilotantes, permiten optimizar la geometría, las dimensiones, así como encontrar las fuerzas requeridas y desplazamientos necesarios en las diferentes partes del producto.

Una de las ventajas de mayor consideración es el análisis de la evolución del movimiento y de la cinemática del modelo.

De igual manera, gracias a los esquemas pilotantes se genera el sólido de una manera paramétrica, ayudando al diseñador a modificar cuantas veces sea necesario el modelo hasta optimizarlo y redimensionarlo de manera total.

3.7.1. Cálculo de fuerza de las mordazas de gripper

En base a la información técnica recolectada de las especificaciones de los robots *Fanuc LR mate 200iD* y *MOTOMAN MH5F*, se obtiene los siguientes datos requeridos para el cálculo de la fuerza mínima necesaria que se aplicará en las mordazas del gripper para su manipulación.

Datos conocidos:

Distancia máxima de trabajo del robot: Fanuc LR Mate 200iC: r= 711 mm

LR Mate 200iC Series Robot Specifications

Items	LR Mate 200iC			
	LR Mate 200iC/5WP	LR Mate 200iC/5H	LR Mate 200iC/5L	LR Mate 200iC/5F
	LR Mate 200iC/5C ⁽²⁾	LR Mate 200iC/5LC ⁽²⁾	LR Mate 200iC/5HS	LR Mate 200iC/5HS
Axes	6	5	6	5
Payload - wrist (kg)	5	5	5	5
Reach (mm)	704	704	892	711 (/5F) / 704 (/5HS)
Repeatability (mm)	±0.02	±0.02	±0.03	±0.02
Interference Radius (mm)	181	181	181	181

Tabla 6.- Tabla de especificaciones, Fuente Fanuc

Distancia máxima de trabajo de robot

Motoman MH5F, r=706 mm

Propuesta de longitud total del gripper

l=200 mm

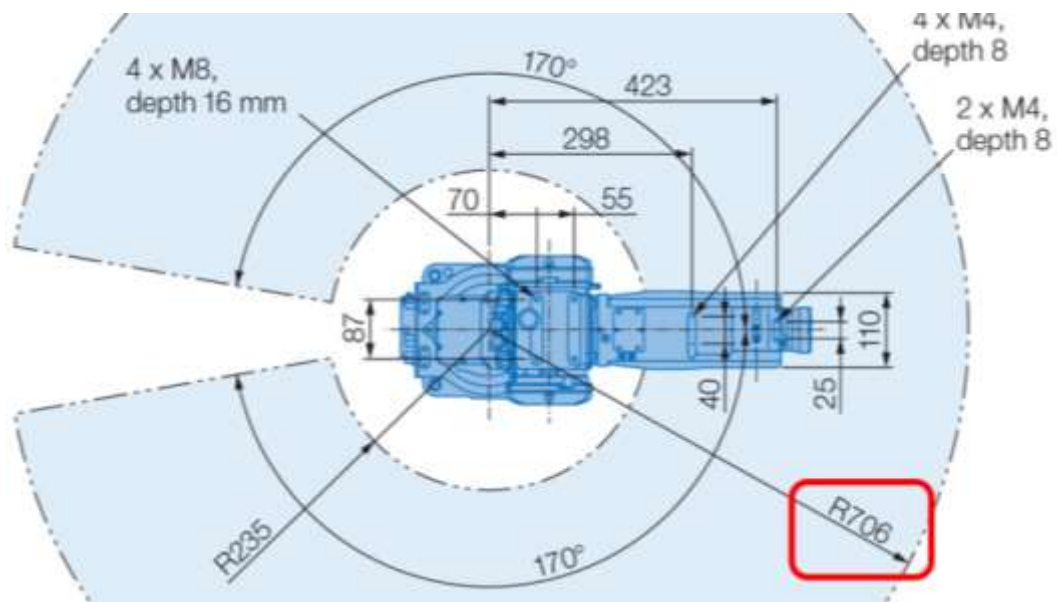


Figura 35.- Área de trabajo, Fuente Motoman

3.7.2. Balance de fuerzas

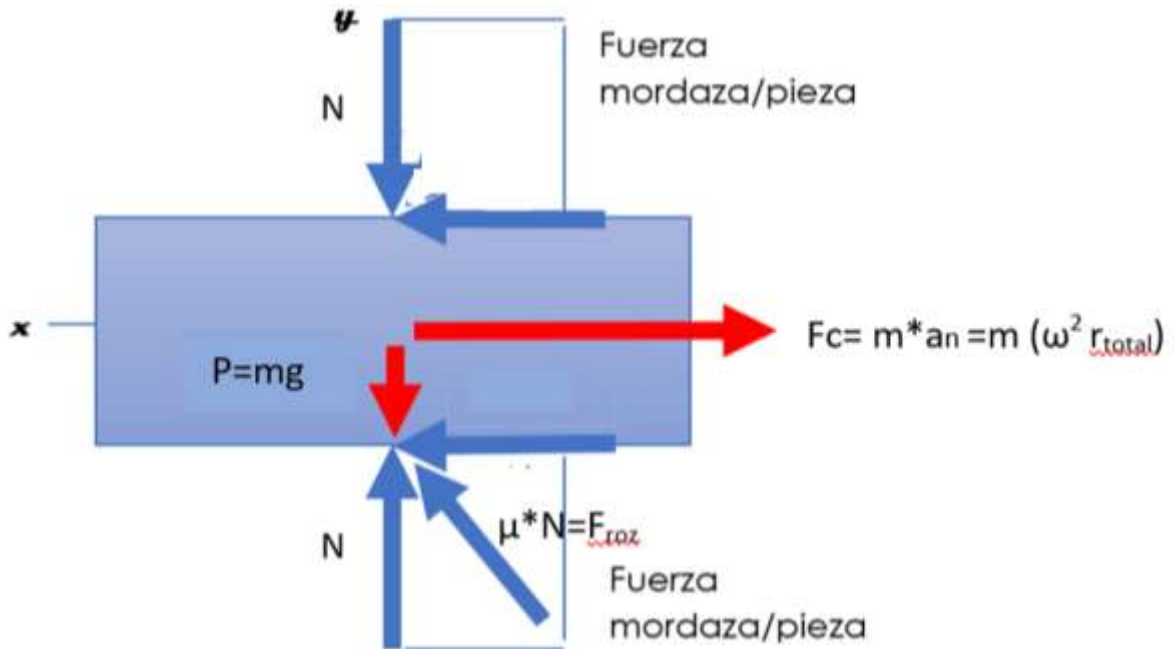


Figura 36.- Balance de fuerzas, Fuente propia

Dónde:

F_c = fuerza centrípeta (N)

F_{roz} = fuerza de rozamiento (N)

m = masa (kg)

ω = velocidad angular (rad/s)

r = radio (m)

N = fuerza normal (N)

μ = coeficiente de fricción

Se realiza un experimento para calcular el coeficiente de fricción estático entre los materiales PLA y acero, cuyo valor es necesario para el cálculo de la fuerza de sujeción, este consiste en colocar un cubo de material PLA sobre un plano inclinado de acero y empezar a elevar hasta que este empiece a desplazarse, obteniéndose el ángulo y aplicando la función trigonométrica tangente se logra calcular el coeficiente. Ver figura 37, 38 y 39.



Figura 37.- Plano inclinado, Fuente: propia

Se observa en la figura 38, la pieza desplazada con un ángulo de 17° .



Figura 38.- Ángulo en plano inclinado



Figura 39.- Ángulo de 17° Fuente: propia

Conociendo el ángulo se procede a calcular el coeficiente de fricción estática.

$$\mu = \tan \alpha$$

$$\mu = \tan 17^\circ = 0.3$$

Se debe considerar la velocidad angular máxima del robot para el eje principal y el brazo totalmente extendido (distancia máxima de trabajo), para ello se recurre a la información técnica del robot siendo esta de 350°/s por parte Fanuc LR Mate y 270°/s del Motoman MH5F, para ello se toma la velocidad más alta entre ellos debido que se podrá intercambiar el gripper entre estos dos modelos.

Tabla 7.- Tabla de velocidades angulares, Fuente Motoman

Axis	Specifications MH5L5 II, MH5LF				Controlled axes	
	Maximum motion range [°]	Maximum speed [°/sec.]	Allowable moment [Nm]	Allowable moment of inertia [kg · m²]		
B	±170	270	270	-	Max. payload [kg]	5
C	+150/-65	280	280	-	Repeat. pos. accuracy [mm]	±0.03
U	+255/-138	300	300	-	Max. working range R [mm]	895
H	±190	450	450	0.3	Temperature [°C]	0 to +45
W	±135	450	450	0.3	Humidity [%]	20 - 80
T	±300	720	720	0.1	Weight [kg]	29
					Power supply, average [KVA]	1

Tabla 8.- Tabla de velocidades angulares, Fuente Fanuc Robotics

Items	LR Mate 200iC			
	LR Mate 200iC/5WP	LR Mate 200iC/5H	LR Mate 200iC/5L	LR Mate 200iC/5F
	LR Mate 200iC/5C ⁽²⁾		LR Mate 200iC/5LC ⁽²⁾	LR Mate 200iC/5HS
Axes	6	5	6	5
Payload - wrist (kg)	5	5	5	5
Reach (mm)	704	704	892	711 (/5F) / 704 (/5HS)
Repeatability (mm)	±0.02	±0.02	±0.03	±0.02
Interference Radius (mm)	181	181	181	181
Motion range (degrees)	J1	340 (360 option)	340 (360 option)	340 (360 option)
	J2	200	200	230
	J3	388	388	373
	J4	380	240	380
	J5	240	720	240
	J6	720	-	720
Motion speed (degrees/s)	J1	350	350	270
	J2	350	350	270
	J3	400	400	270
	J4	450	450	450
	J5	450	720	450
	J6	720	-	720

Conociendo los datos anteriores se puede obtener la fuerza aplicando las ecuaciones básicas del análisis de fuerzas que se muestra en la figura 36.

$\omega = 350^\circ/\text{s}$ por lo tanto

$$\omega = \frac{350 * 2\pi}{360} = 6.1 \text{ rad/s}$$

$$F_{roz} = 2\mu * N$$

$$2\mu * N > m\omega^2 * r_{total}$$

$$N \geq \frac{m\omega^2 * r_{total}}{2\mu}$$

$$N \geq \frac{5 \text{ kg} * (6.1 \text{ rad/s})^2 * 0.911 \text{ m}}{2 * 0.3}$$

$$N \geq 282.4 \text{ N}$$

Por lo tanto, se tiene una fuerza de sujeción de 282 N en cada mordaza.

3.7.3. Anteproyecto uno (AP1)

Se deben de utilizar las posibles soluciones que se tuvieron del análisis F.A.S.T., para el desarrollo de este, así como los requerimientos y características de los robots. Se traza el esquema pilotante del primer anteproyecto AP1, proyectando la trayectoria que tendrá el gripper cuando se encuentre abierto y cerrado.

La propuesta del AP1 siendo un mecanismo de transformación de movimiento de traslación. Ver figuras 40 y 41.

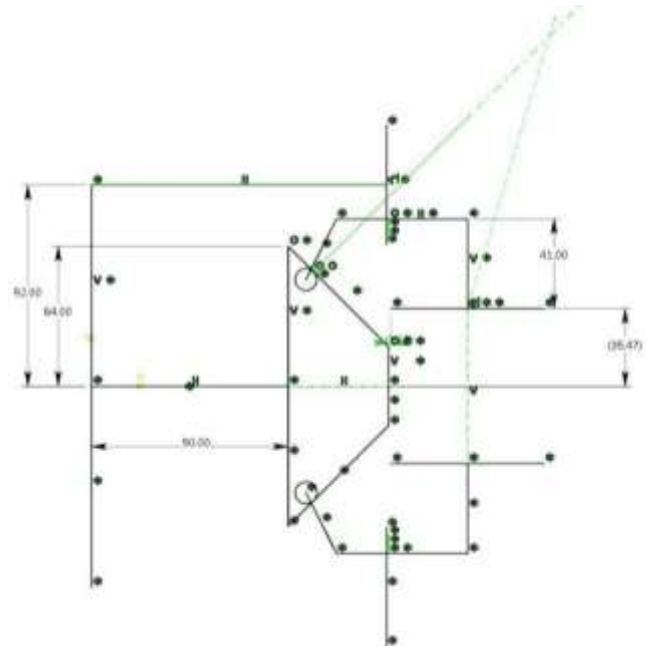


Figura 40.- Esquema pilotante 1, posición abierta, Fuente: propia

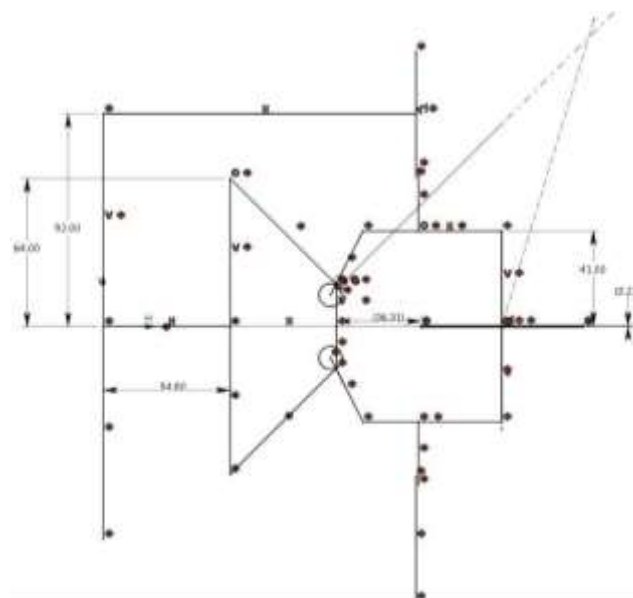


Figura 41.- Esquema pilotante 1, posición cerrada, Fuente: propia

Al analizar los esquemas, se observa que la carrera mínima del cilindro debe de 35mm, para tener una abertura de las mordazas de 70mm como máximo. Con este valor se procede a buscar el pistón que cumpla los requerimientos obtenidos.

Dentro de los proveedores de elementos neumáticos, la empresa Festo cuenta con un cilindro el cual cumple con las necesidades del API, siendo este el modelo de la gama de cilindros compactos ADNGF-32-40.

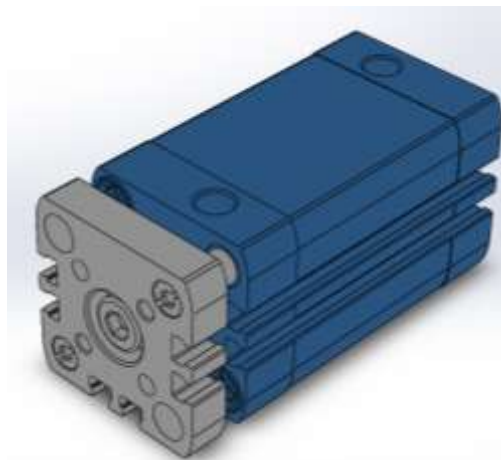


Figura 42.- Cilindro ADNGF 32-40, Fuente: Festo

Se observa en la tabla de fuerzas del cilindro las capacidades en función del diámetro de cilindro y una presión a 6 Bar (0.6MPa), aportando 754 N el cilindro ADNGF 32-40, cumpliendo la necesidad de 282 N por mordaza calculados anteriormente.

Tabla 9.- Fuerza de los cilindros a 6 BAR, Fuente: Festo

Cilindros compactos ADNGF, patrón de taladros normalizado **FESTO**
 Hoja de datos

Fuerzas [N] y energía de impacto [J]		12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Fuerza teórica con 6 bar en avance											
-	68	121	188	295	483	754	1178	1870	3016	4712	
S2	51	90	141	247	415	686	1057	1750	2827	4524	
Fuerza teórica con 6 bar en retroceso											
-	51	90	141	247	415	686	1057	1750	2827	4524	
S2	51	90	141	247	415	686	1057	1750	2827	4524	

Debido a la conexión que debe de tener el gripper con los robots *Fanuc LR mate 200iD* y *MOTOMAN MH5F* se tiene que desarrollar el elemento intercambiador rápido cuya función es hacer la permuta del gripper de una manera rápida y eficiente.

Para ello se obtienen las dimensiones del *flange* de cada robot, siendo estos las mismas debido a la norma internacional ISO 14044 (24).

Se desarrolla el intercambiador teniendo como mecanismo de seguridad un sistema de perno, resorte y muesca colocado en un extremo que impide el desacoplamiento del mamelón del robot, y la otra cara es fijada por tornillos con cabeza allen al cilindro del gripper.

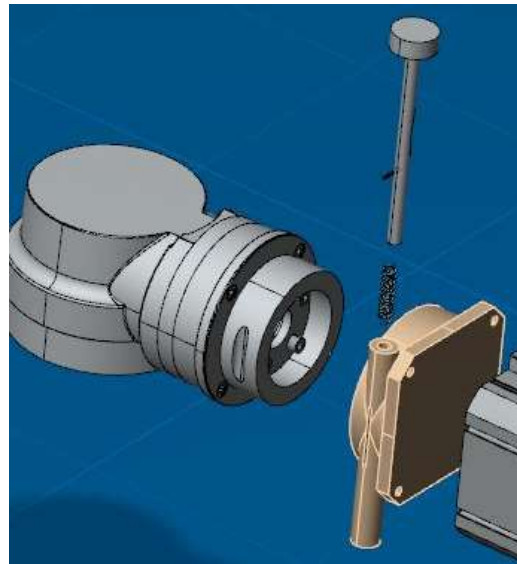


Figura 43.- Muesca de intercambiador, Fuente: Propia

Teniendo el esquema pilotante, el cálculo de las fuerzas, desarrollo del intercambiador y el cilindro seleccionado, se procede a realizar el modelo del AP1 en Catia V6.

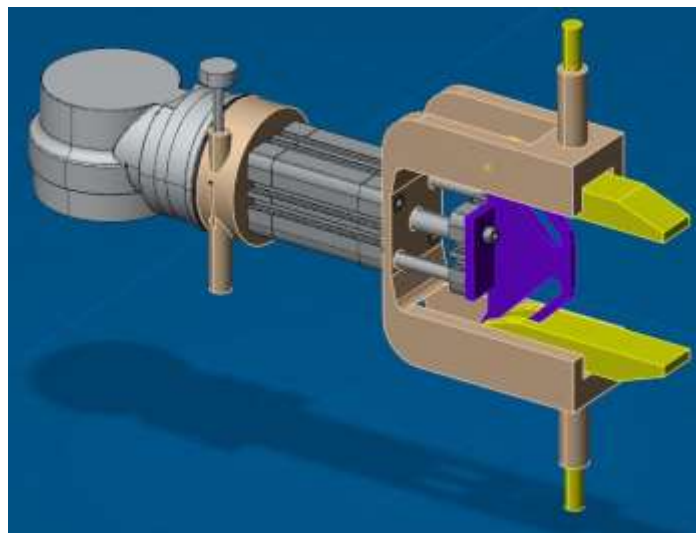


Figura 44.- Isométrico AP1 con mordazas abiertas, Fuente: Propia

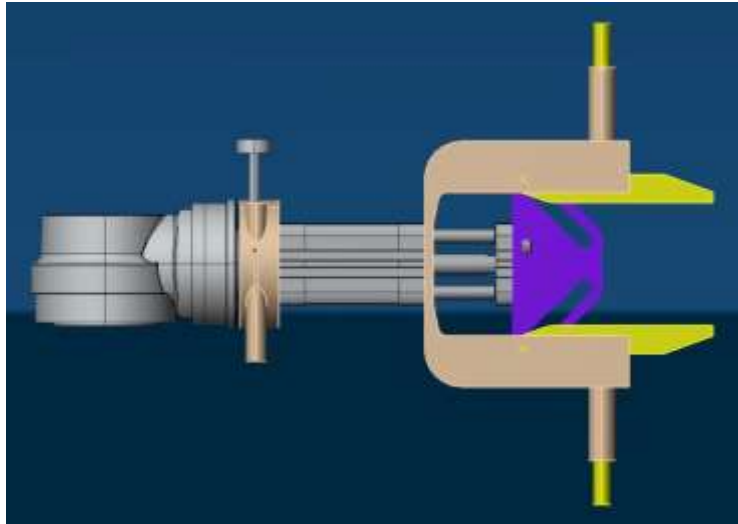


Figura 45.- Vista lateral API con mordazas abiertas, Fuente: Propia

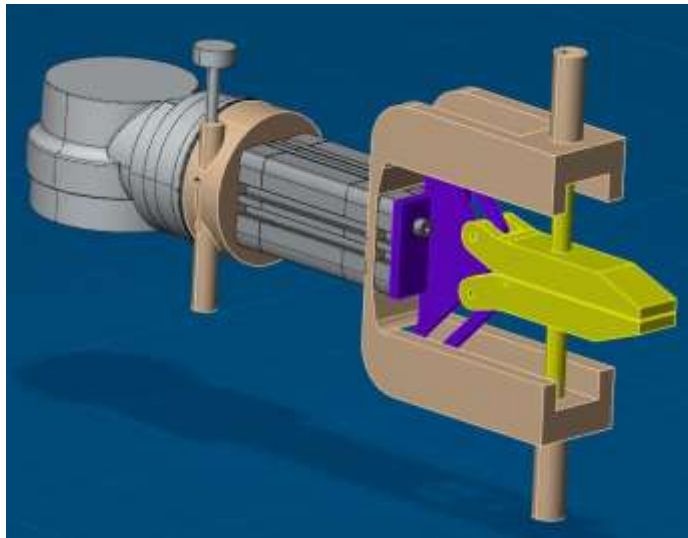


Figura 46.- Isométrico API con mordazas cerradas, Fuente: Propia

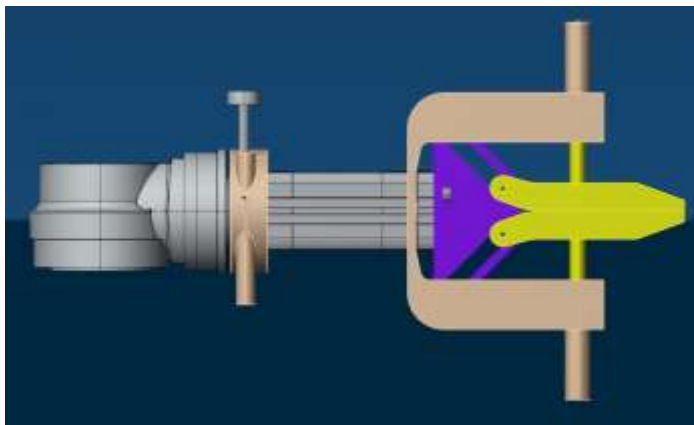


Figura 47.- Vista lateral API con mordazas cerradas, Fuente: Propia

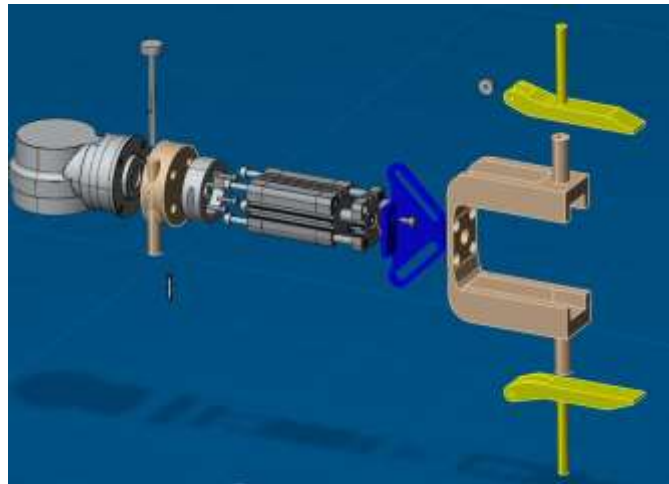


Figura 48.- Despiezado de AP1, Fuente: Propia

Se observa en las imágenes anteriores el ensamble entre el mamelón e intercambiador rápido, así como intercambiador, cilindro y gripper, pudiendo analizar el movimiento generado del anteproyecto 1.

3.7.4. Anteproyecto dos (AP2)

De igual manera como en AP1 se desarrolla el esquema pilotante del segundo anteproyecto y selección de cilindro neumático.

Se realiza el estudio estático de la biela1 y la mordaza, investigando la fuerza del pistón sobre la biela 2, buscando la fuerza máxima necesaria cuando está abierto el gripper, para seleccionar el pistón necesario.

En la figura se observa la fuerza necesaria para abrir el gripper siendo este de 283 N por cada mordaza.

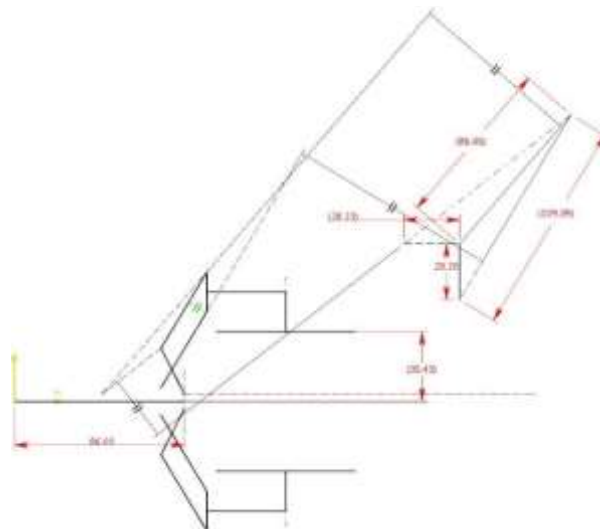


Figura 49.- Esquema pilotante AP2 mordaza abierta, Fuente: Propia

En el caso del AP2 es necesaria una fuerza para el cierre de gripper de 111 N, y una carrera total del cilindro de 22 mm, con estos datos se puede seleccionar el pistón adecuado para satisfacer los requerimientos de este anteproyecto.

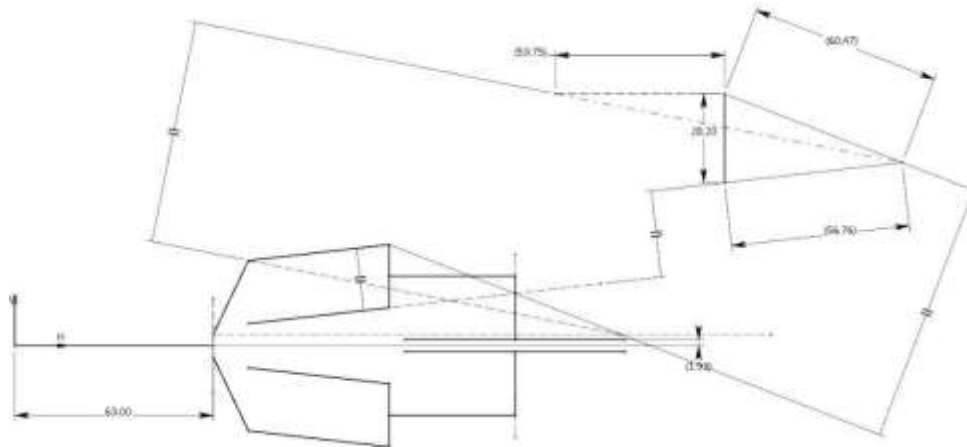


Figura 50.- Esquema pilotante AP2 mordaza cerrada, Fuente: Propia

De igual manera que en el AP1, se busca opciones en las empresas de componentes neumáticos, la empresa SMC, ofrece el cilindro compacto de la serie JCQ, modelo JCDQ50DF-30.



Figura 51.- Pistón JCDQ50DF-30, Fuente: SMC

Características técnicas


Diámetro [mm]	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Acción	Doble efecto con vástago simple									
Fluido	Aire									
Presión de prueba	1.0 MPa									
Presión máx. de trabajo	0.7 MPa ^{†1}									
Presión mín. de trabajo	0.07 MPa		0.05 MPa							
Temperatura ambiente y de fluido	5 a 60 °C									
Lubricación	No necesaria (sin lubricación)									
Velocidad del émbolo ^{†2}	50 a 500 mm/s ^{†1}					50 a 300 mm/s ^{†1}				
Amortiguación	Tope elástico									
Energía cinética admisible [J]	0.022	0.038	0.055	0.09	0.15	0.26	0.46	0.77	1.36	2.27
Rosca en extremo del vástago	Rosca hembra									
Tolerancia de longitud de carrera	^{+1.3} / ₀ mm ^{†1,†2}									

Tabla 10.- Características técnicas, Fuente: SMC

Se observa en la tabla 11 que cumple con los requerimientos calculados anteriormente, bajo la consideración de una fuerza de trabajo de 0.6 MPa y una carrera de 22mm.

Tabla 11.- Fuerzas del cilindro SMC

Fuerza teórica



Diámetro [mm]	Tamaño del vástago [mm]	Dirección de funcionamiento	Área del émbolo [mm ²]	Presión de trabajo [MPa]					
				0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
12	6	OUT	113	23	34	45	57	68	79
		IN	85	17	25	34	42	51	59
16	6	OUT	201	40	60	80	101	121	141
		IN	173	35	52	69	86	104	121
20	8	OUT	314	63	94	126	157	188	220
		IN	264	53	79	106	132	158	185
25	10	OUT	491	98	147	196	245	295	344
		IN	412	82	124	165	206	247	289
32	12	OUT	804	161	241	322	402	483	563
		IN	691	138	207	276	346	415	484
40	14	OUT	1257	251	377	503	628	754	880
		IN	1103	221	331	441	551	662	772
50	18	OUT	1963	393	589	785	982	1178	1374
		IN	1709	342	513	684	855	1025	1196
63	18	OUT	3117	623	935	1247	1559	1870	2182
		IN	2863	573	859	1145	1431	1718	2004
80	22	OUT	5027	1005	1508	2011	2513	3016	3519
		IN	4646	929	1394	1859	2323	2788	3252
100	26	OUT	7854	1571	2356	3142	3927	4712	5498
		IN	7323	1465	2197	2929	3662	4394	5126

Con la información anterior se procede a realizar el desarrollo del modelo del segundo anteproyecto.

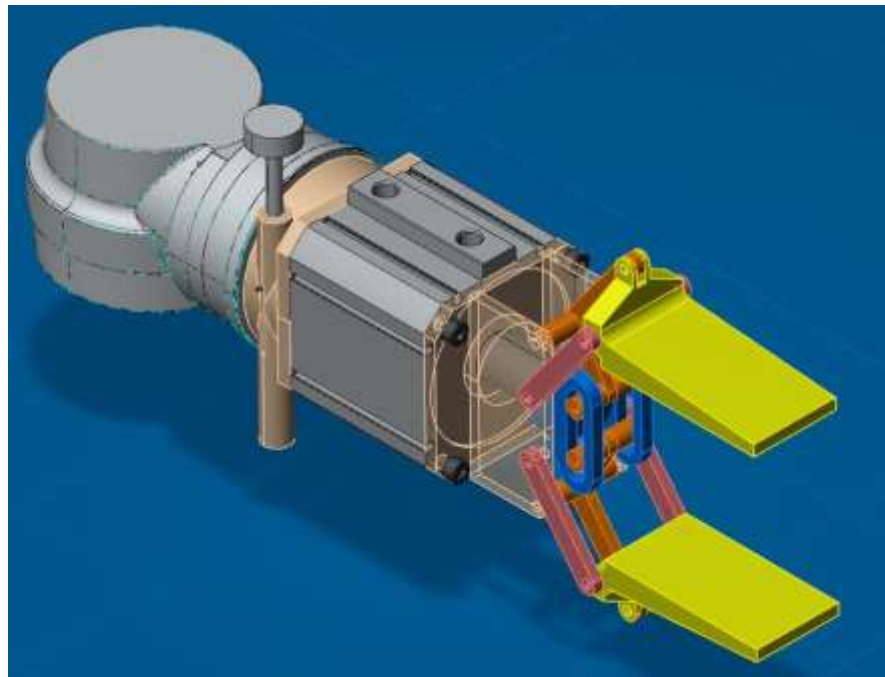


Figura 52.- Isométrico AP2 con mordazas abiertas, Fuente: Propia

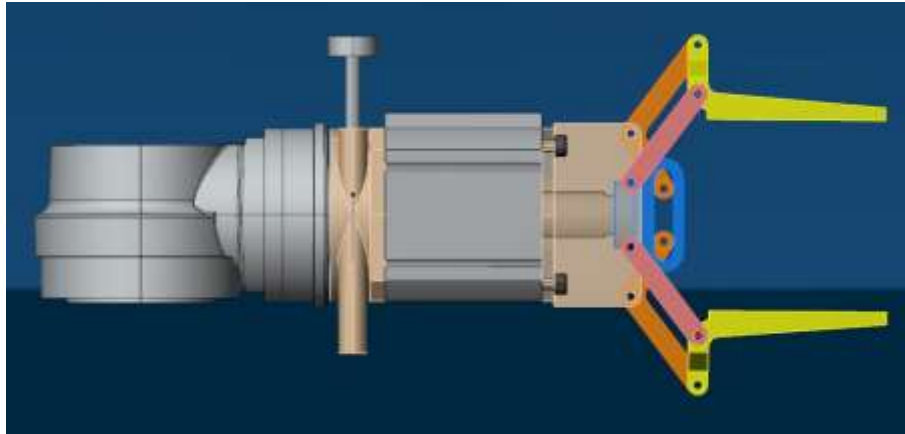


Figura 53.- Vista lateral AP2 con mordazas abiertas, Fuente: Propia

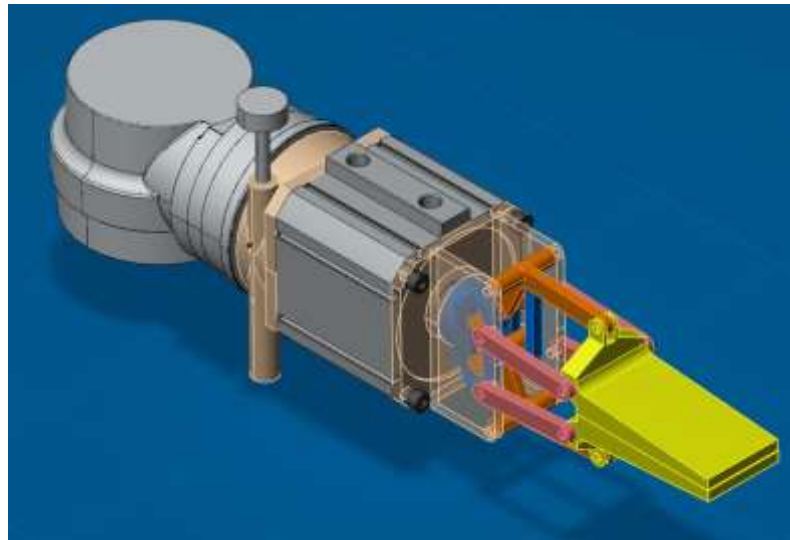


Figura 54.- Isométrico AP2 con mordazas cerradas, Fuente: Propia

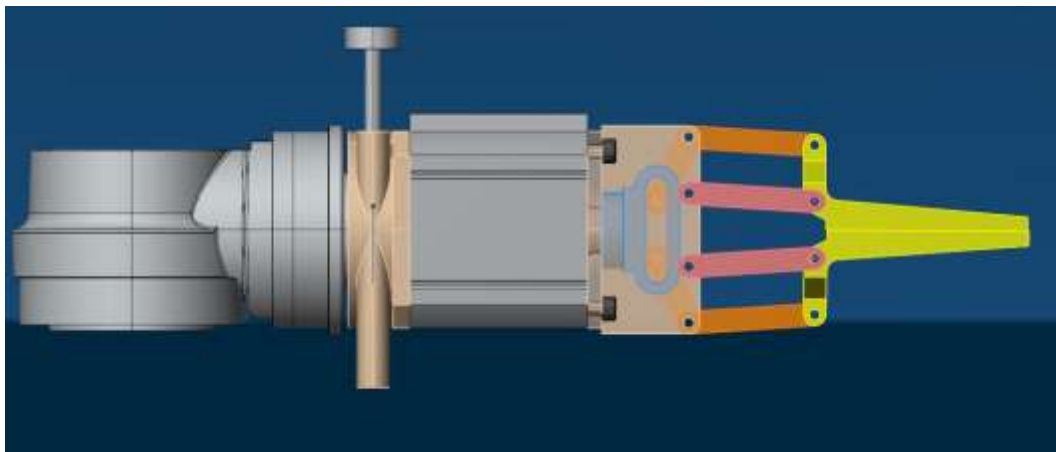


Figura 55.- Vista lateral AP2 con mordazas cerradas, Fuente: Propia

Analizando el pistón anterior, sus características cumplen con lo solicitado, por tal motivo será el mismo para el AP2 y AP3, siendo el modelo JCDQ20DF-30.

Con los antecedentes se procede a realizar el modelo.

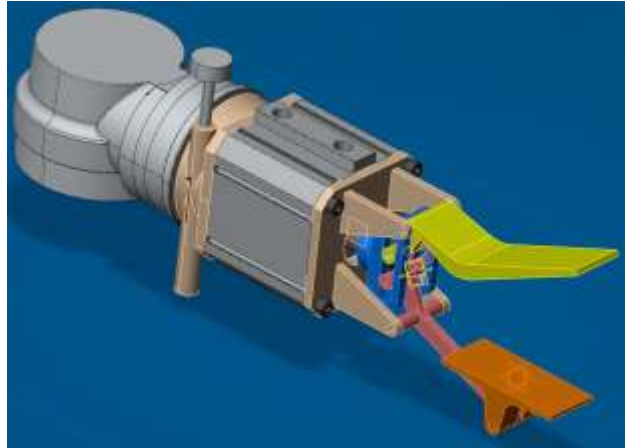


Figura 58.- Isométrico AP3 mordazas abiertas, Fuente: propia

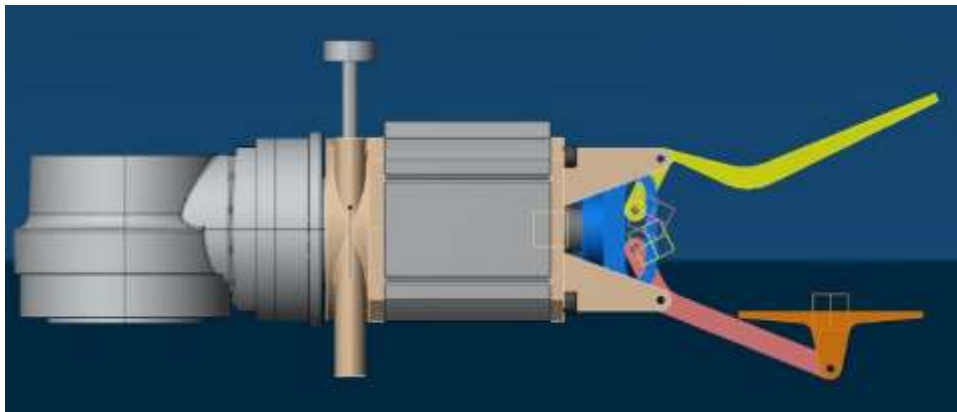


Figura 59.- Vista lateral AP3 con mordazas abiertas, Fuente: propia

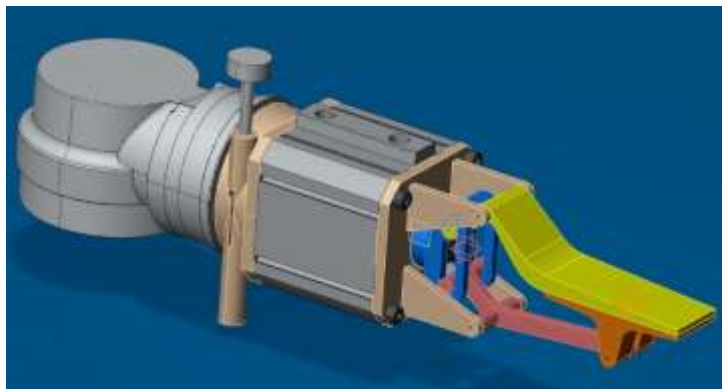


Figura 60.- Isométrico AP3 mordazas cerradas, Fuente: propia

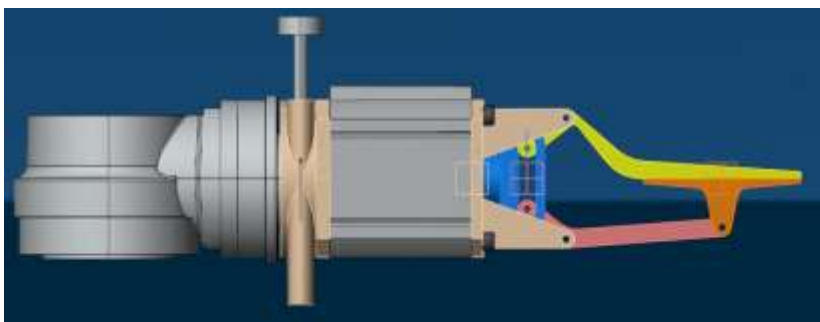


Figura 61.- Vista lateral AP3 con mordazas cerradas, Fuente: propia

3.7.6. Matriz de ponderación de criterios

Se hizo un consenso con expertos del área de mecánica y robótica para la exposición de los anteproyectos, donde cada uno externó sus puntos de vista, y oportunidades de mejora, realizándose una matriz de ponderación de criterios para observar la de mayor valoración.

Donde:

2 es más importante

1 es igual importante

0 es menos importante

Tabla 12.- Matriz de ponderación de criterios

	Criterio	1	2	3	4	5	Valoración
1	Cantidad de pares cinemáticos	/	1	0	2	1	4
2	Cantidad de piezas	1	/	0	0	0	1
3	Costo	2	2	/	1	0	5
4	Volumen	1	2	1	/	0	4
5	Carrera del pistón	2	2	2	2	/	8

A continuación, se realiza una tabla de soluciones de cada anteproyecto

Donde:

4.- Muy buena

3.- Buena

2.- Regular

1.- Mala

0.- Muy mala

Tabla 13.- Matriz de soluciones de anteproyectos

	Criterio	Solución		
		AP1	AP2	AP3
1	Cantidad de pares cinemáticos	7 unidades (3)	11 unidades (1)	6 unidades (3)
2	Cantidad de piezas	6 unidades (3)	11 unidades (1)	5 unidades (3)
3	Costo	(2)	(1)	(3)
4	Volumen	(2)	(3)	(3)
5	Carrera del pistón	(1)	(3)	(3)

Tabla 14.- Matriz de rendimiento

Soluciones							
Criterios	Ponderación	AP1		AP2		AP3	
		Valor conceptual	Ponderación por valor conceptual	Valor conceptual	Ponderación por valor conceptual	Valor conceptual	Valor conceptual
1	4	3	12	1	4	3	12
2	1	3	3	1	1	3	3
3	5	2	10	1	5	3	15
4	4	2	8	3	12	3	12
5	8	1	8	3	24	3	24
			41		46		66

Analizando la matriz de rendimiento se observa que el AP3 cuenta con el mayor valor conceptual siendo este de 66 unidades por tal razón es será la base para el proyecto final.

4. PROYECTO FINAL

Como en los tres anteproyectos que se realizaron, de igual manera se diseña el esquema pilotante final para calcular las fuerzas que se tendrán en el gripper, así como la cinemática del mecanismo. La figura 62 muestra, la posición de las pinzas abierta y una fuerza de 350N por mordaza.

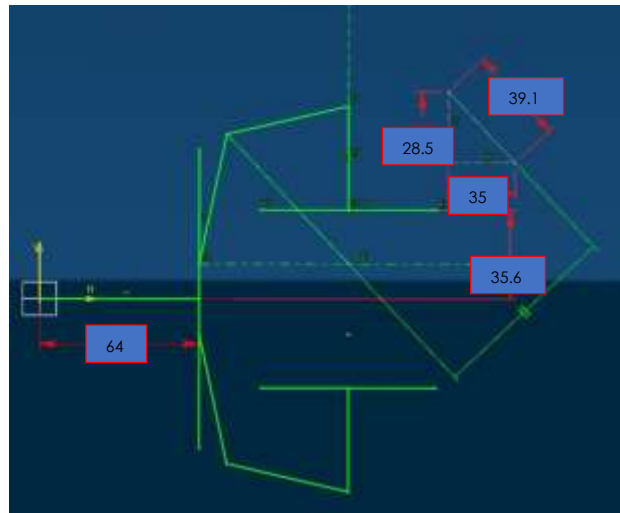


Figura 62.- Esquema pilotante abierto final, Fuente: propia

La figura 63 visualiza el mecanismo cerrado y la fuerza necesaria para realizarlo. Se observa una fuerza de 400 N por mordaza, requiriendo 32 mm de carrera máxima del pistón. El pistón del anteproyecto tres es factible para el proyecto final ya que satisface las necesidades requeridas.

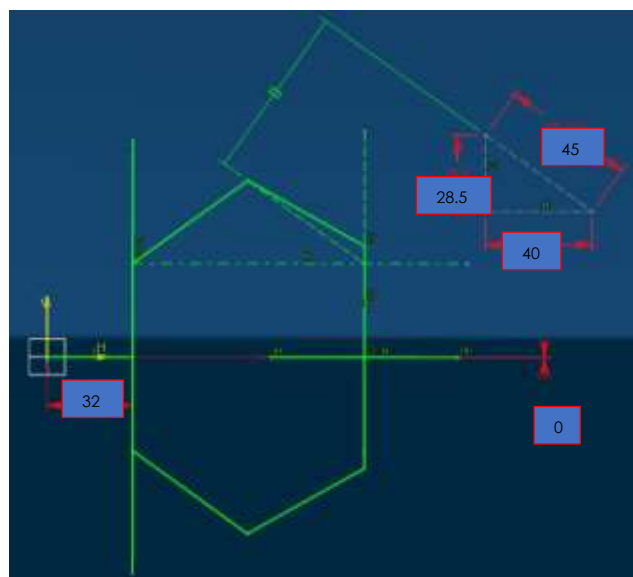


Figura 63.- Esquema pilotante cerrado final, Fuente: propia

Una de las mejoras y modificaciones en el mecanismo es la conexión entre el cilindro y mordazas, por ende, se debe realizar los cálculos de presiones de contacto y remodelación del diseño. Para este análisis fue aplicado la condición de resistencias mecánica a esfuerzos de contacto.

4.1.1. Teoría de Hertz (esfuerzos de contacto)

Los esfuerzos de contacto ocurren en elementos de máquinas cuando se transmiten cargas a través de superficies que presentan contactos puntuales o a lo largo de una línea. Si los elementos fueran totalmente rígidos, las áreas de contacto permanecerían nulas y los esfuerzos que aparecerían serían infinitos. Debido a la elasticidad de los materiales, éstos se deforman bajo la acción de las cargas, produciéndose áreas finitas de contacto. Debido a que estas áreas son muy pequeñas, aparecen grandes esfuerzos. Por lo tanto, a pesar de que los elementos sometidos a esfuerzos de contacto puedan tener suficiente resistencia mecánica de volumen, tienden a fallar en la pequeña zona de contacto, en donde los esfuerzos son mayores [26] [27].

Se muestra en la figura 64 un elemento típico el cual ocurren esfuerzos de contacto, tal es el caso la esfera que sirve como conexión entre el cilindro y mecanismo del gripper.

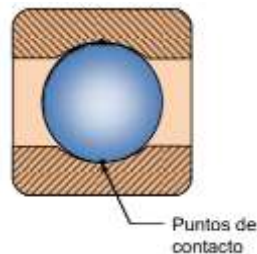


Figura 64.- Punto de contacto de esfera; Fuente: Elementos de Máquinas

Existen tres tipos de contactos puntual de los cuales se pueden calcular los esfuerzos en cada uno de ellos según su aplicación.



Figura 65.- Tipos de contactos superficiales; Fuente: Elementos de Máquinas

4.1.2. Contacto entre dos elementos esféricos

Las esferas menor y mayor tienen radios r_1 y r_2 respectivamente. Al aplicar una fuerza de compresión F a los elementos, éstos se deforman y el 'punto' de contacto se convierte en una huella o superficie de contacto circular de radio a . La distribución de esfuerzos normales de compresión es no uniforme, tal como se muestra en la figura 66(b). El esfuerzo de compresión es máximo en el centro de la huella y tiende a cero hacia los bordes.

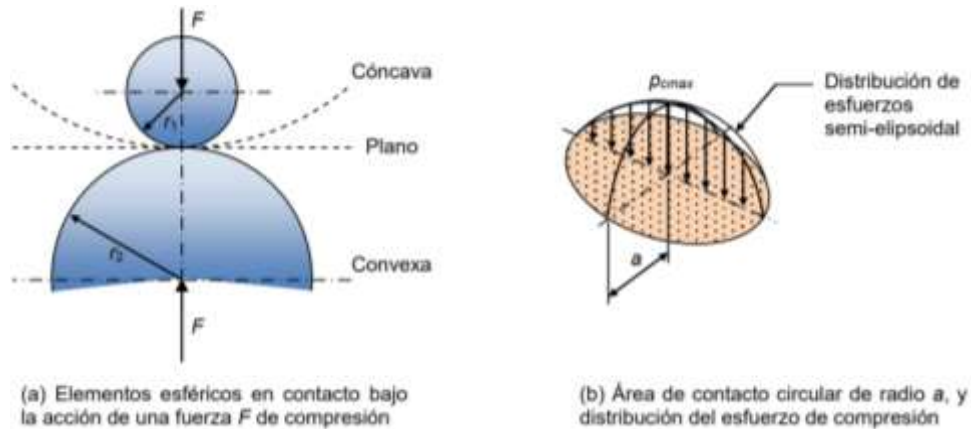


Figura 66.- Contacto entre elementos esféricos, Fuente: Diseño de Máquinas

Para calcular el radio de la huella es necesario aplicar la siguiente ecuación.

$$a = \sqrt[3]{0.75F \frac{(1-\nu_1^2)/E_1 + (1-\nu_2^2)/E_2}{(1/r_1 \pm 1/r_2)}}$$

Donde:

a = Radio de la huella (mm)

E = Módulo de elasticidad (MPa)

ν = Coeficiente de Poisson

F = Fuerza (N)

r = radio (mm)

En base al modelo seleccionado se procede a realizar los cálculos del radio de la huella, tomando los datos específicos del material previamente establecidos para el polímero ácido poliláctico (PLA).

Previamente se diseña un modelo de conexión esférica que estará entre el pistón y la biela, cuya función es transmitir las fuerzas con una superficie mayor, reduciendo la presión de contacto superficial.

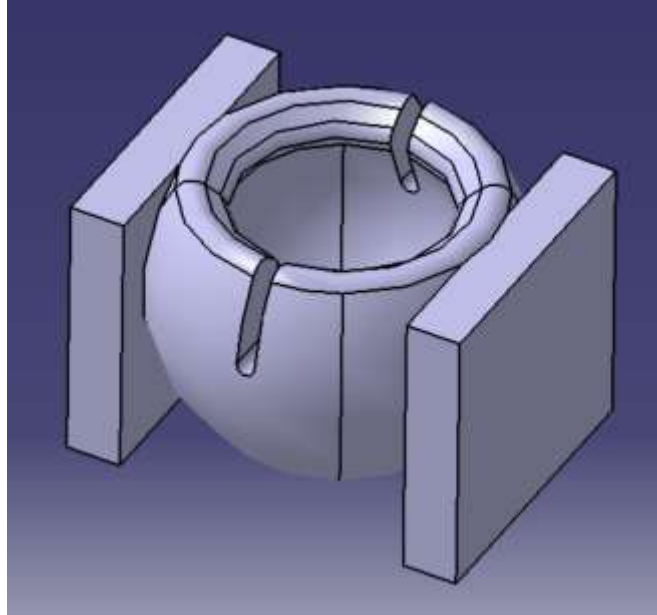


Figura 67.- Modelo de contacto con conexión esférica, Fuente: propia

Teniendo el modelo de conexión esférica se procede a diseñar la biela, soporte y mordaza para tener el ensamble y así obtener el mecanismo completo el cual se utilizará en el cálculo de la fuerza máxima de sujeción del pistón para las mordazas, basándose en el esquema pilotante anteriormente descrito.

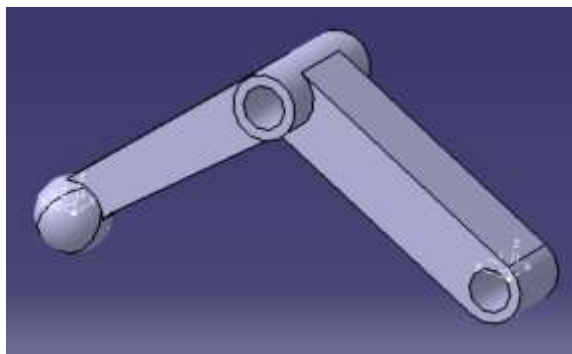


Figura 68.- Biela, Fuente: propia

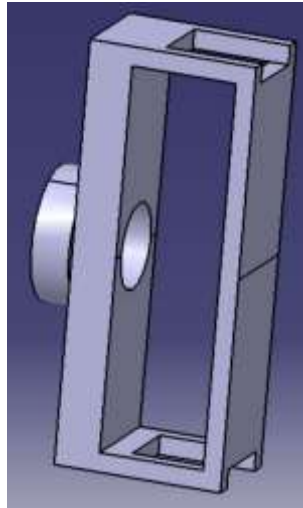


Figura 69.- Soporte, Fuente: propia

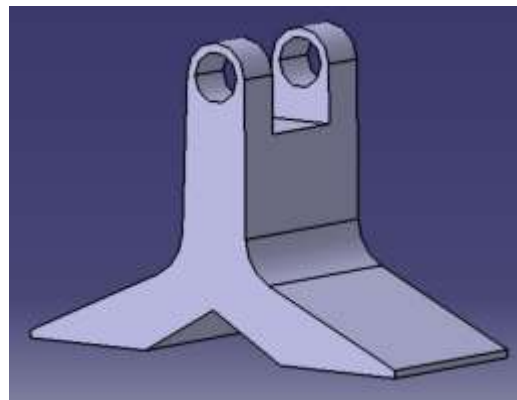


Figura 70.- Mordaza, Fuente: propia

Una vez elaborado el ensamble virtual de las piezas diseñadas y ensambladas, se obtiene la fuerza máxima a la cual se someterá las mordazas, siendo de 347 N.



Figura 71.- Esquema pilotante de fuerzas; Fuente propia

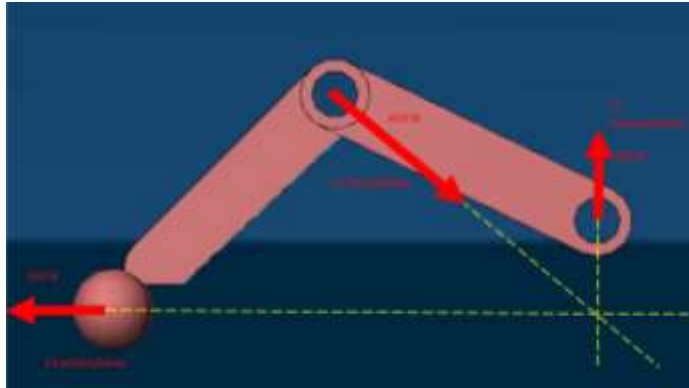


Figura 72.- Análisis de fuerza sobre la biela, Fuente propia

Teniendo los datos necesarios se procede a la verificación de la resistencia a los esfuerzos de contacto

Sustituyendo:

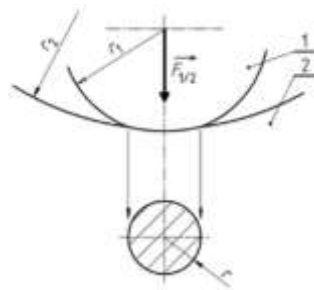
$$E = 3000 \text{ (MPa)}$$

$$\nu = 0.36$$

$$F = 347 \text{ (N)}$$

$$r_1 = 7 \text{ (mm)}$$

$$r_2 = 7.1 \text{ (mm)}$$



$$a = \frac{\sqrt[3]{0.75(347) \left[\left(\frac{1 - 0.36^2}{3000} \right) + \left(\frac{1 - 0.36^2}{3000} \right) \right]}}{\left(\frac{1}{7} - \frac{1}{7.1} \right)}$$

$$a = 4.22 \text{ mm}$$

Conociendo el radio de la huella se continua con el cálculo de presión máxima de la esfera, para ello se aplica la siguiente ecuación.

$$P_{max} = \frac{3}{2} \frac{F}{\pi a^2} = 0.5784 \sqrt[3]{\frac{F(1/r_1 \pm 1/r_2)^2}{[(1-\nu_1^2)/E_1 + (1-\nu_2^2)/E_2]^2}}$$

Donde:

P_{cmax} = Presión máxima (MPa)

Sustituyendo:

$$P_{cmax} = \frac{3}{2} * \frac{350}{\pi * 4.22^2}$$

$$P_{cmax} = 9.38 \text{ MPa}$$

Se deben calcular los diámetros de eje de conexión de la biela con el chasis y mordaza respectivamente, tomando en cuenta los diferentes esfuerzos a la que se someterá, para ello es necesario conocer la tensión elástica, cuyo dato se obtiene de las características del material PLA. En la figura 77 se observa, las componentes de las fuerzas a la cual será sometido el eje a diseñar.

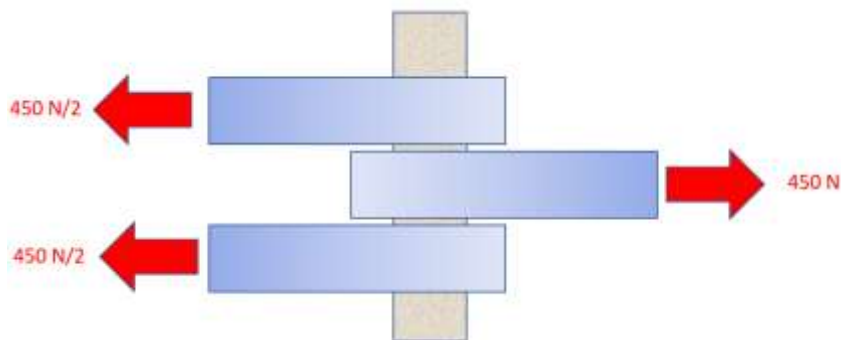


Figura 73.- Fuerzas cortantes en una flecha, Fuente: Propia

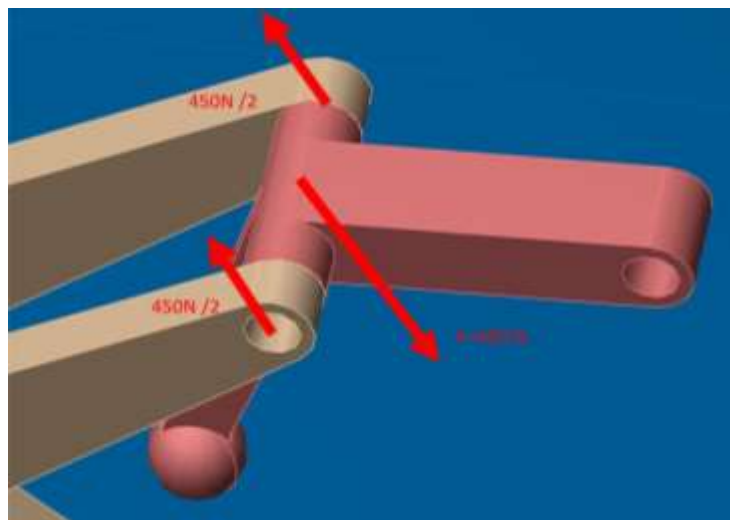


Figura 74.- Fuerzas aplicadas a eje de la biela, Fuente: propia

4.1.3. Condición de resistencia mecánica

$$\tau = \frac{Q}{A} \leq [\tau]$$

$$[\tau] = \frac{\tau_{lim}}{s}$$

$$\frac{Q}{\pi * d^2} \leq [\tau]$$

$$d \geq \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * [\tau]}}$$

Donde:

$[\tau]$ = esfuerzo cortante admisible (MPa)

Q = fuerza cortante (N)

A = área (mm²)

d = Diámetro (mm)

τ_{lim} = esfuerzo límite elástico (MPa)

s = coeficiente de seguridad

Sustituyendo:

$$[\tau] = \frac{15}{3} = 3$$

$$d \geq \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * [\tau]}} = \sqrt{\frac{4 * 450 / 2}{\pi * 3}} = 7.56 \cong 8 \text{ mm}$$

Con el diámetro calculado de 8 mm, se realiza la valoración de la longitud necesaria del perno que estará soportando la biela y mordaza del gripper, para ellos se basará en la ecuación de contacto entre dos elementos cilíndricos debido que el eje estará en contacto con superficies iguales.

Ecuación de para cálculo de la presión máxima P_{cmax}

$$P_{cmax} = \sqrt{\frac{F}{b * \pi} \frac{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}}{\left(\frac{1-v_1^2}{E_1}\right) + \left(\frac{1-v_2^2}{E_2}\right)}}$$

Se observa que la ecuación se requiere el valor de b siendo este la longitud del perno necesario para soportar la presión máxima de 10 MPa, valor obtenido de la tabla de especificaciones del material PLA.

Despejando b

$$b = \frac{F * \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}}{P_{cmax}^2 \left(\frac{1-v_1^2}{E_1}\right) + \left(\frac{1-v_2^2}{E_2}\right)}$$

Sustituyendo:

$$b = \frac{450 * \frac{1}{4} - \frac{1}{4.1}}{10^2 \left(\frac{1-0.36^2}{3000}\right) + \left(\frac{1-0.36^2}{3000}\right)}$$

$$b = 13.85mm$$

Con los valores obtenidos se logra el diseño de los pernos de soporte y sujeción además del rediseño de la biela, quedando de la manera como se muestra en las imágenes.

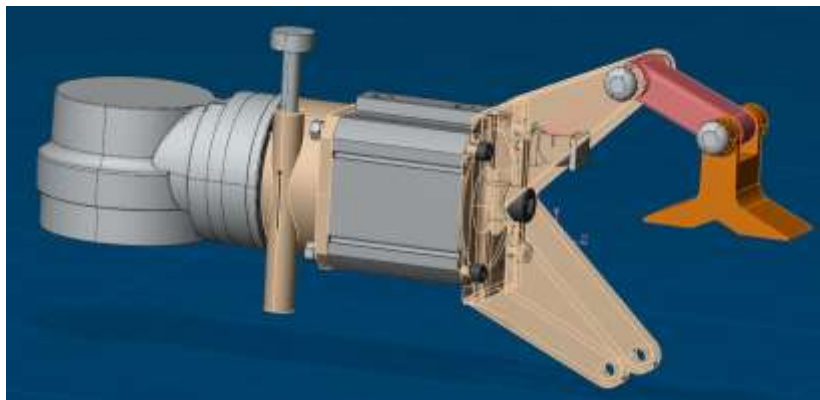


Figura 75.- Gripper con diseño de pernos, Fuente: propia

4.1.4. Ensayo de tracción de probetas en PLA

Debido a la fabricación del prototipo es por medio de impresión 3D, el material sufre cambios en las propiedades mecánicas, por tal motivo se realiza un estudio de tracción en probetas PLA bajo la norma ISO 527, (ASTM D638), para obtener los valores reales bajo estas circunstancias y así sustituirlos en el modelo para analizarlos nuevamente por el método de elemento finito y corroborar el coeficiente de seguridad.

Se diseñó y fabricó 8 probetas a una temperatura de impresión de 210°C y una velocidad de 40 mm/s, las cuales 4 de ellas se imprimen en sentido YZ y XY respectivamente, como se muestra en la figura 77.

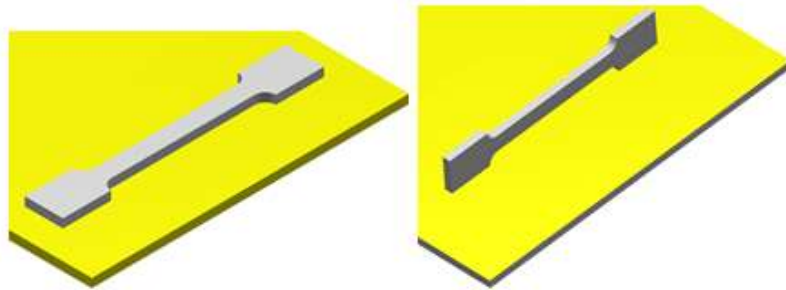


Figura 76.- Posición de impresión de probetas, Fuente: Propia

Se procede a realizar las pruebas de tracción en la máquina universal cumpliendo los parámetros de la norma ISO 527.



Figura 77.- Máquina universal Shimadzu, Fuente: propia

Se realizan las pruebas con las probetas en impresión en sentido YZ a una velocidad de 10 mm/min, con los datos de la tabla 12.

Forma: Plana

	Espesor	Anchura	Longitud calibrada
Unidades	mm	mm	mm
1 - 1	3.6500	10.4300	98.0000
1 - 2	3.6500	10.4300	98.0000
1 - 3	3.6500	10.4300	98.0000
1 - 4	3.6500	10.4300	98.0000

Tabla 15 Valores geométricos de las probetas, Fuente: propia

Se observa en la imagen 78 y 79 el comportamiento muy similar en la ruptura de las probetas, así como su carga máxima soportada.





Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4
			

Figura 78.- Cargas soportadas en probetas 1-4, Fuente: propia

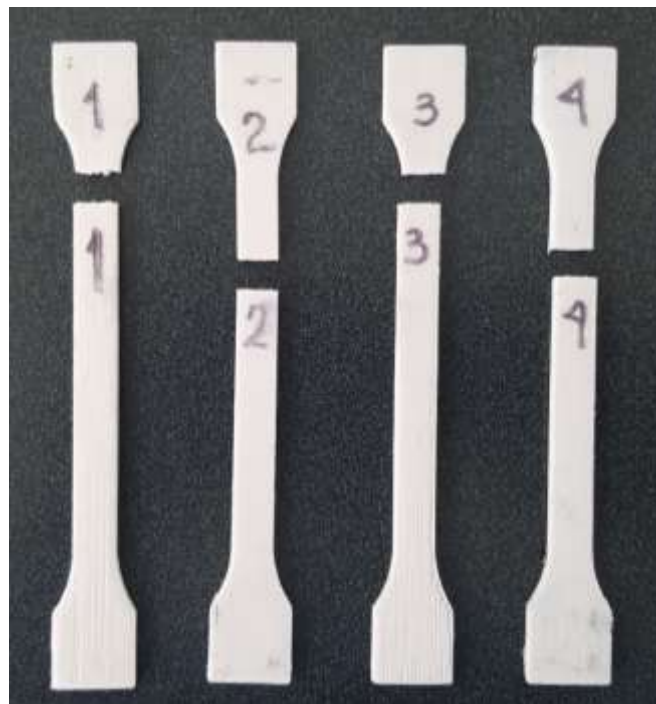


Figura 79.- Ruptura de probetas 1-4, Fuente: propia

En las figuras 80 y 81, se visualizan los diagramas de fuerza de tracción (en Kgf), y esfuerzo de tracción para cada probeta ensayada hasta rotura.

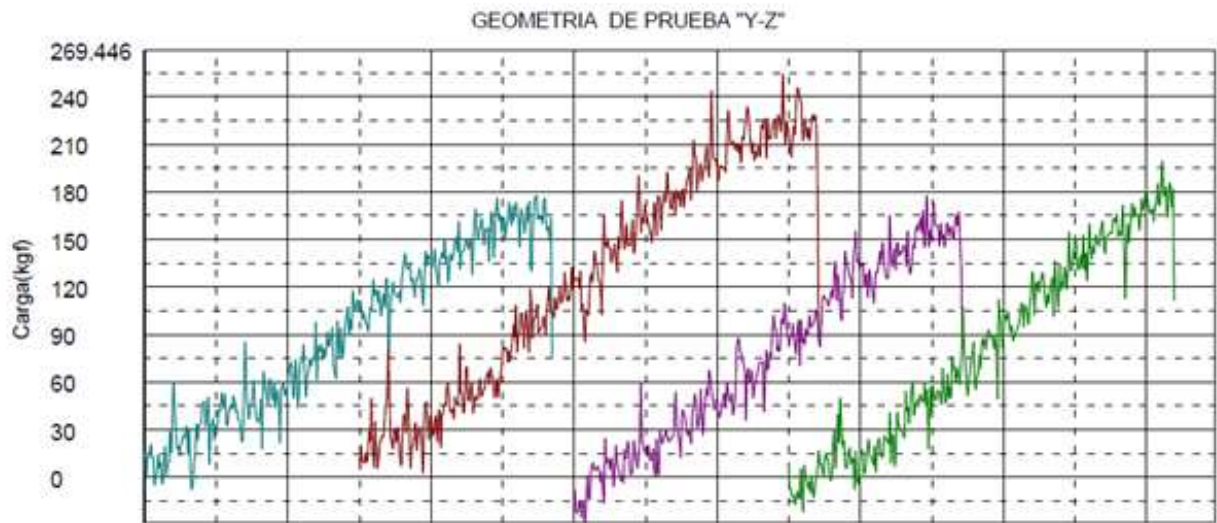


Figura 80.- Comportamiento de la fuerza de tracción hasta la rotura de las probetas ensayadas, Fuente: propia

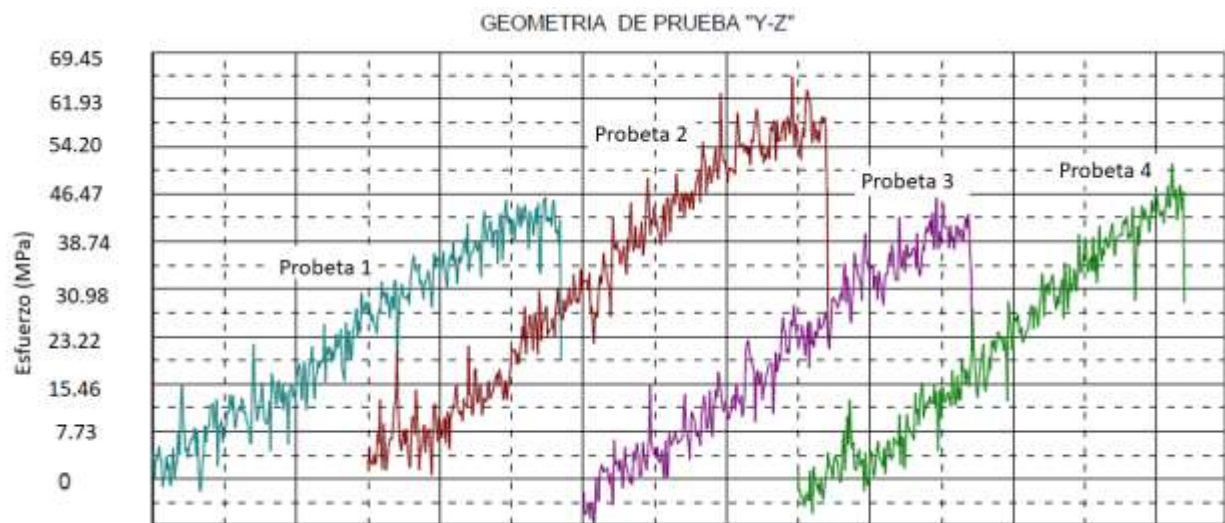


Figura 81.- Comportamiento del esfuerzo de tracción hasta la rotura de las probetas ensayadas, Fuente: propia

De igual manera se procede a evaluar las probetas impresas en sentido XY utilizando los datos de la tabla 12; Obteniéndose los siguientes valores.

Probeta 5	Probeta 6	Probeta 7	Probeta 8
			

Figura 82.- Cargas soportadas en probetas 1-4, Fuente: propia



Figura 83.- Ruptura de probetas 1-4, Fuente: propia

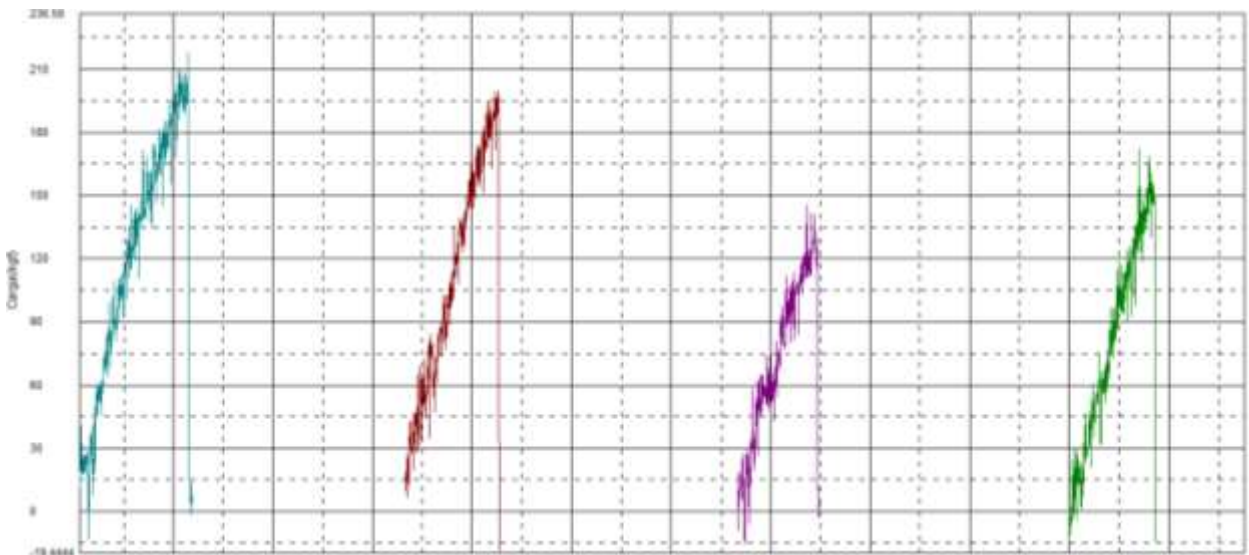


Figura 84.- Comportamiento de la fuerza de tracción hasta la rotura de las probetas ensayadas, Fuente: propia

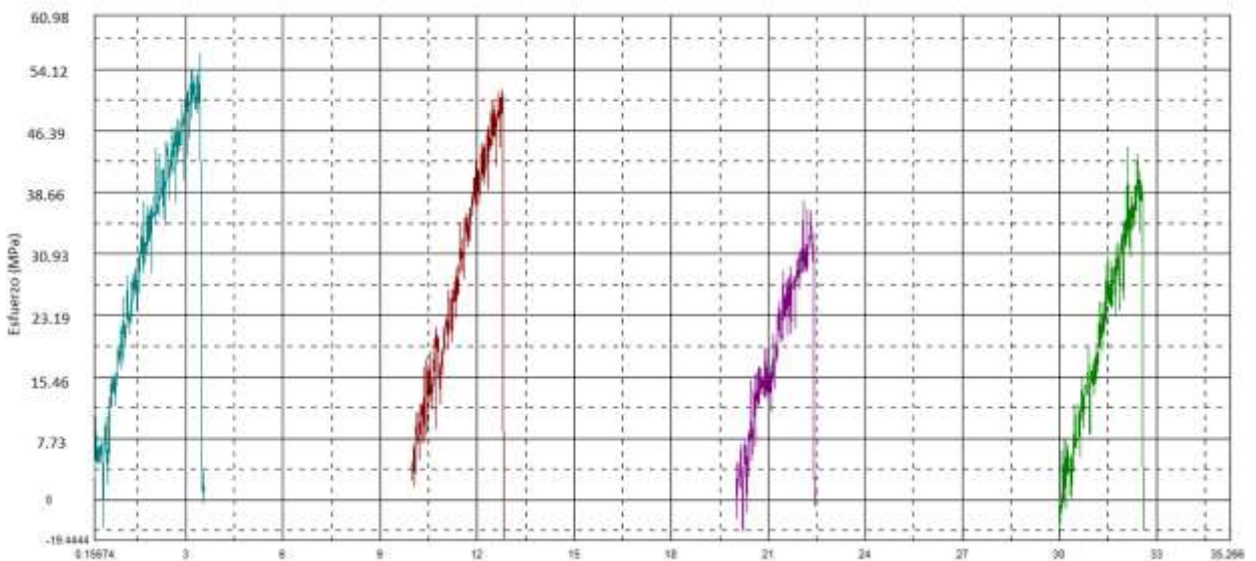


Figura 85.- Comportamiento del esfuerzo de tracción hasta la rotura de las probetas ensayadas, Fuente: propia

Con el objetivo de validar los valores de esfuerzos límites a la tracción obtenido durante el ensayo, se hizo necesario precisar si existes valores posibles a rechazar por su gran dispersión y baja probabilidad de ocurrencia. En este sentido, fue aplicado el criterio de Chauvenet que permite estimar un rango de valores con probabilidad de encontrarse un intervalo de confianza del 95% y correspondiente a una distribución normal y que puedan ser aceptados como una muestra valida.

En la tabla 13 se observa que los valores obtenidos en las probetas entran en el criterio de Chauvenet.

CRITERIOS DE RECHAZO DE MEDICIONES		
Posición	YZ	XY
Probeta 1	177	218
Probeta 2	254	200
Probeta 3	178	146
Probeta 4	199	172
N =	4	4
Media X =	202	184
$\sum(x - \bar{x})^2$	3914	3000
Desviación estándar (típica s) = s	36,12	31,62
Criterio de Chauvenet		
(Para n = 4) Para $X+1.54*S$ =	257,63	232,70
(Para n = 4) Para $X-1.54*S$ =	146,37	135,30

Tabla 16.- Criterio de Chauvenet, Fuente: propia

Debido a que la muestra obtenida de los ensayos es pequeña no puede ser considerada una muestra poblacional con distribución normal. Por tal motivo, se requiere precisar un intervalo de confianza para la media muestral que coincida con la media poblacional con distribución normal. En análisis estadístico es aceptada la distribución t (de Student) para estimar la media de una población normalmente distribuida cuando el tamaño de la muestra es pequeño. En el análisis realizado a las probetas valoradas para estimar el esfuerzo de tracción límite, fue aplicado la distribución t (de Student) para obtener el intervalo de confianza de la media poblacional con la muestra de 4 probetas para cada estudio.

Distribución t de Student		
Probeta 1	177	218
Probeta 2	254	200
Probeta 3	178	146
Probeta 4	199	176
N =	4	4
Media X =	202	185
$\sum(x - \bar{x})^2$	3914	2916
Desviación estándar (típica s) = s	36,12017	36,12017
Estadístico t Student, [ver tabla] t =	0,765	0,765
$X+t*S/(n)^{0,5}$ =	215,816	198,816
$X-t*S/(n)^{0,5}$ =	188,184	171,184
	52	47,684
	48,46	límite inferior (Mpa)
	55,67	límite superior (Mpa)

Table: Student's t Distribution				
t	0.99	0.95	0.90	0.85
1	1.000	0.714	0.700	0.688
2	0.980	0.638	0.625	0.613
3	0.959	0.584	0.571	0.559
4	0.939	0.541	0.528	0.516
5	0.920	0.500	0.487	0.475
6	0.902	0.464	0.451	0.439
7	0.885	0.431	0.418	0.406
8	0.869	0.400	0.387	0.375
9	0.854	0.371	0.358	0.346
10	0.839	0.344	0.331	0.319
11	0.825	0.318	0.305	0.293
12	0.811	0.294	0.281	0.269
13	0.798	0.271	0.258	0.246
14	0.785	0.250	0.237	0.225
15	0.772	0.231	0.218	0.206
16	0.760	0.213	0.200	0.188
17	0.748	0.197	0.183	0.171
18	0.736	0.182	0.168	0.156
19	0.725	0.168	0.154	0.142
20	0.714	0.155	0.141	0.129
21	0.703	0.143	0.129	0.117
22	0.692	0.132	0.118	0.106
23	0.681	0.122	0.108	0.096
24	0.671	0.113	0.099	0.087
25	0.660	0.105	0.091	0.079
26	0.650	0.097	0.083	0.071
27	0.640	0.090	0.076	0.064
28	0.630	0.083	0.069	0.057
29	0.620	0.077	0.063	0.051
30	0.610	0.071	0.057	0.045
∞	0.500	0.000	0.000	0.000

Tabla 17.- Distribución t de student, Fuente: propia

4.2. MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

El método de los elementos finitos (MEF) ha alcanzado una gran importancia en la solución de problemas ingenieriles., ya que permite resolver casos que hasta hace poco tiempo eran prácticamente imposibles de resolver por métodos matemáticos. Esta situación obligaba a realizar prototipos, y hacer ensayos para ir tener mejoras, lo que generaba costos económicos y de tiempo de desarrollo.

Este método permite ejecutar un modelo matemático de un sistema real, más fácil y económico de modificar que un prototipo. Sin embargo, no deja de ser un método aproximado de cálculo. Los prototipos, por lo tanto, siguen siendo necesarios, pero en menor número, ya que el primero puede acercarse bastante más al diseño óptimo.

El MEF como formulación matemática es relativamente nuevo. Aunque su estructura básica es conocida desde hace bastante tiempo, en los últimos años ha tenido un gran avance debido a las herramientas informáticas. Gracias a ello se han desarrollado numerosos programas para el cálculo de los elementos finitos como lo es *SolidWoks* y *Catia* por mencionar algunos de ellos. Para garantizar buenos resultados en el análisis es primordial tener conocimientos sobre el método y parámetros que este implica.

El principio del método de los elementos finitos es la discretización de cuerpo continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos. Las ecuaciones que ordenan el comportamiento del cuerpo continuo regirán también el del elemento interconexión.

De esta manera se consigue pasar de una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones.

Es necesario en cualquier sistema a estudiar considerar los siguientes puntos.

- Dominio. Espacio geométrico donde se va a analizar el sistema.
- Condiciones de contorno. Variables conocidas y que determinan el cambio del sistema: cargas, desplazamientos, temperaturas, voltaje, focos de calor.
- Incógnitas. Variables del sistema que se desea conocer después de que las condiciones de contorno han actuados sobre el sistema: desplazamientos, tensiones, temperaturas.

4.2.1. Análisis de elemento finito de biela

En la figura 86 se muestra el primer diseño de la biela del gripper que será sometido al análisis de elemento finito para observar su comportamiento de esfuerzo y deformación al aplicarse la carga, es fijada por conexiones circulares y de traslación.

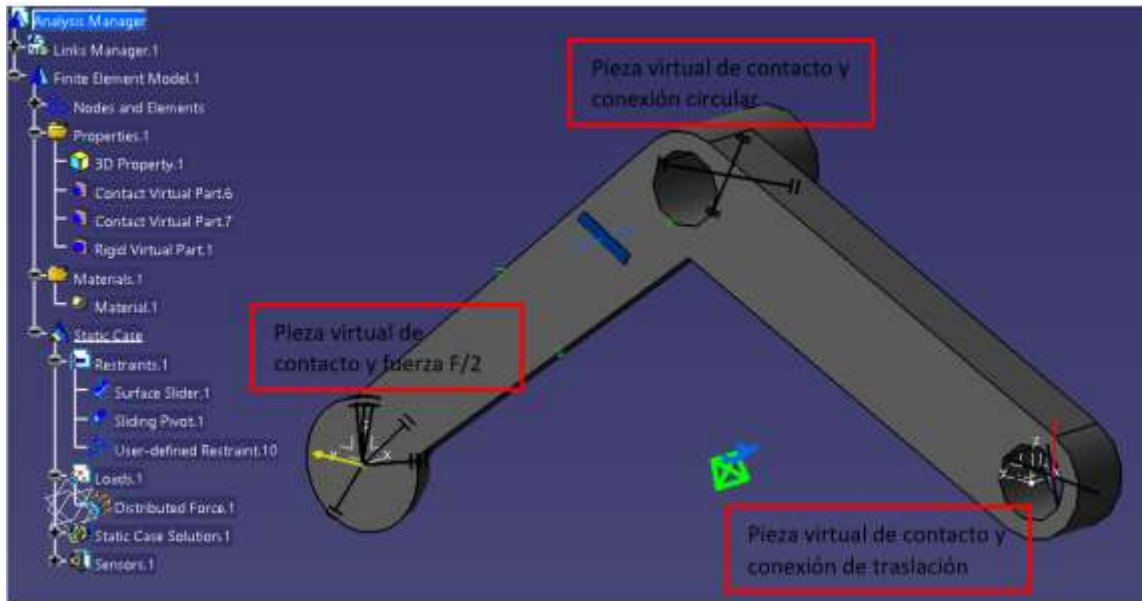


Figura 86.- Sujeción de primer modelo de biela, Fuente: propia

Se supone en este modelo que las piezas virtuales están rígidas, eso implica que los resultados de las tensiones serán más grandes y las deformaciones más pequeñas en la realidad, pero estos resultados permitirán mejorar el diseño del prototipo.

A continuación, se considera el PLA como material para el prototipo que se analiza

En este apartado, se considera el Módulo de Young, correspondiendo a 3000 MPa, y el límite elástico de 60 MPa, valores del material PLA.

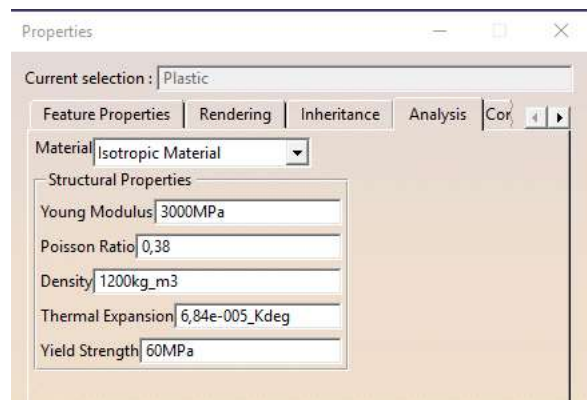


Figura 87.- Propiedades del material, Fuente Propia

Se selecciona como propuesta inicial un mallado piramidal de 2 mm.

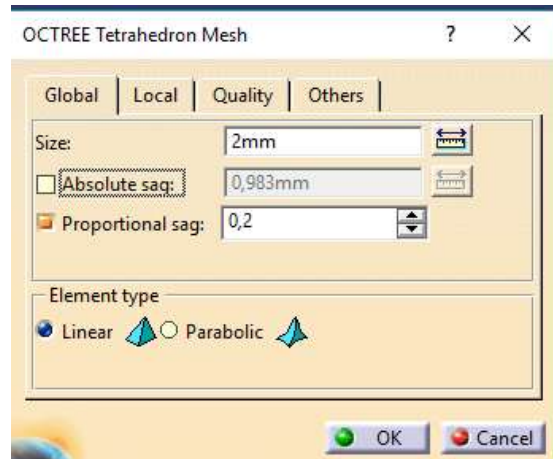


Figura 88.- Tamaño de malla, Fuente: propia

Se aplica la carga en el eje "y" debido al sentido de esta, con un valor de 175 N previamente calculado en el esquema pilotante del diseño final el cual se observa en la figura 89.

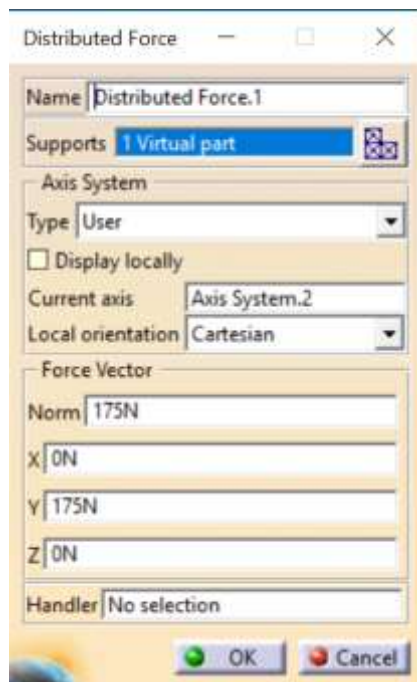


Figura 89.- Aplicación de carga al modelo, Fuente: propia

Se procede a realizar el primer análisis a la biela, observando que las tensiones de Von Mises excede el limite elástico de 60 MPa del material PLA, teniendo un valor inicial máximo del estudio de 160MPa. Para un buen diseño se aceptará un esfuerzo admisible de 30 MPa considerado un coeficiente de seguridad de 2.

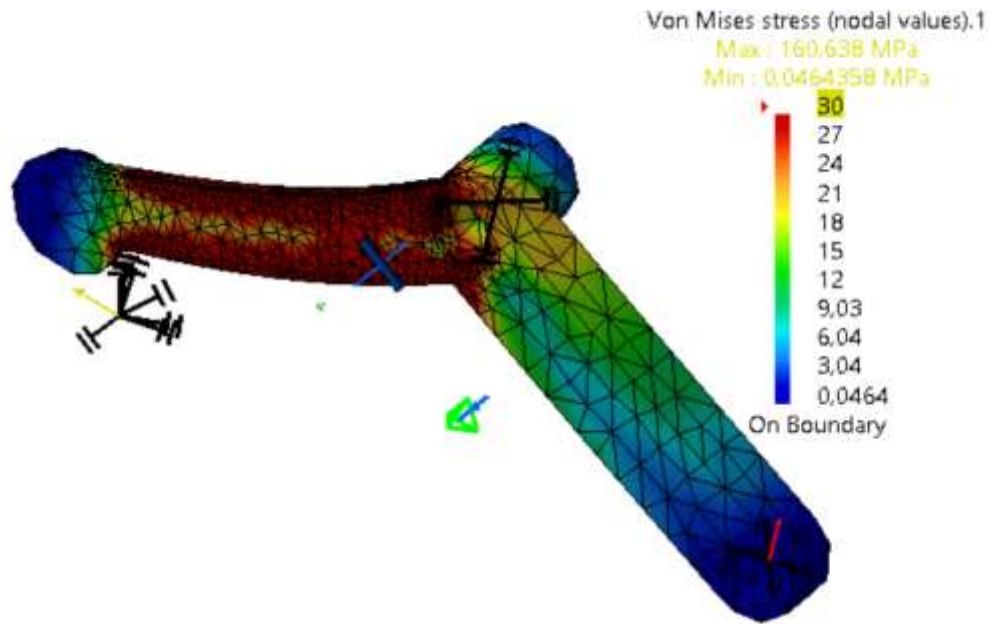


Figura 90.- Primer análisis finito a biela, Fuente: propia

En la figura 90 se puede observar que el máximo esfuerzo se concentra en el vértice inferior de la biela

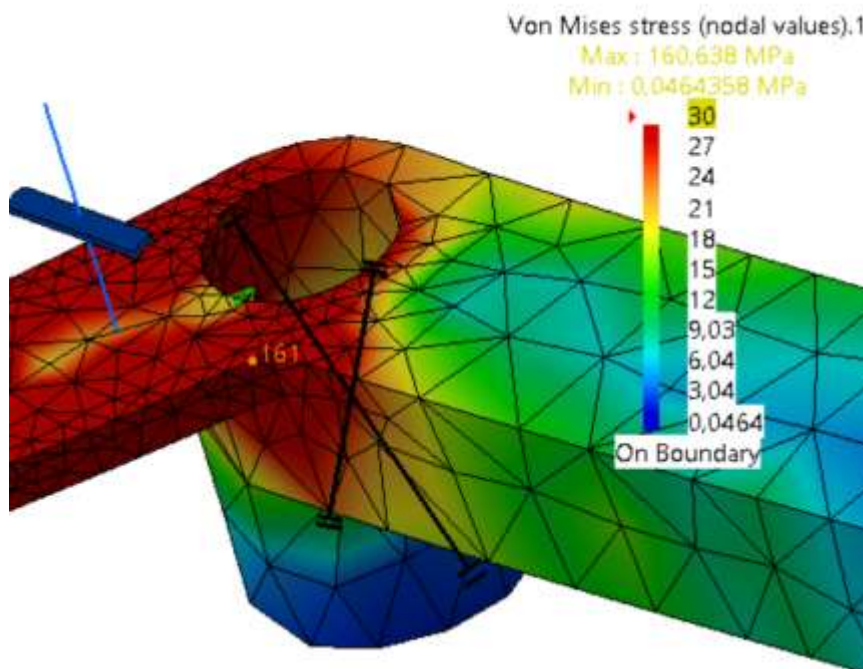


Figura 91.- Esfuerzo máximo en biela, Fuente: propia

En la evolución del diseño de la biela, se realizó una modificación con un refuerzo en la parte inferior. Con la modificación se puede observar en la figura 92 que la tensión baja significativamente hasta 65 MPa, debido a la modificación de volumen de material. Posteriormente el diseño de la biela fue mejorado con un acercamiento al diseño óptimo orientado a minimizar los esfuerzos.

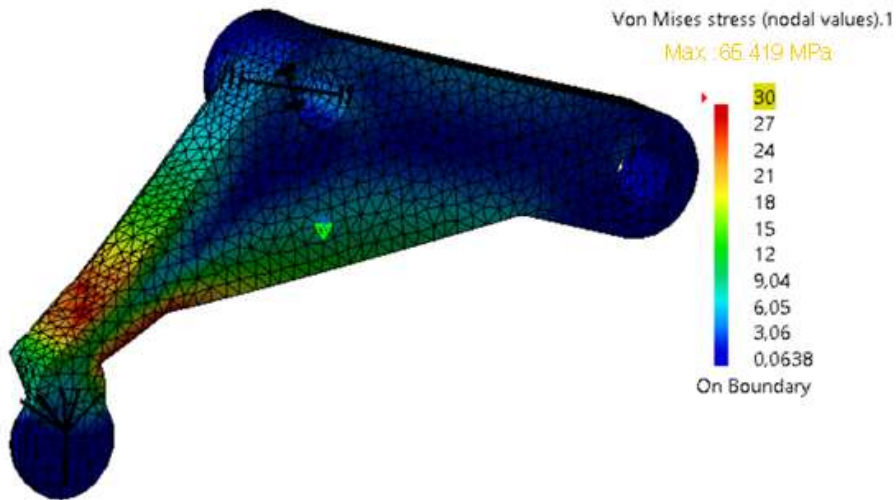


Figura 92.- Modificación de la biela, Fuente: propia

La figura 93 muestra el ensamblaje total de la mitad del gripper para observar la interacción de los demás elementos que componen el gripper, visualizándose los dominios a mejorar.

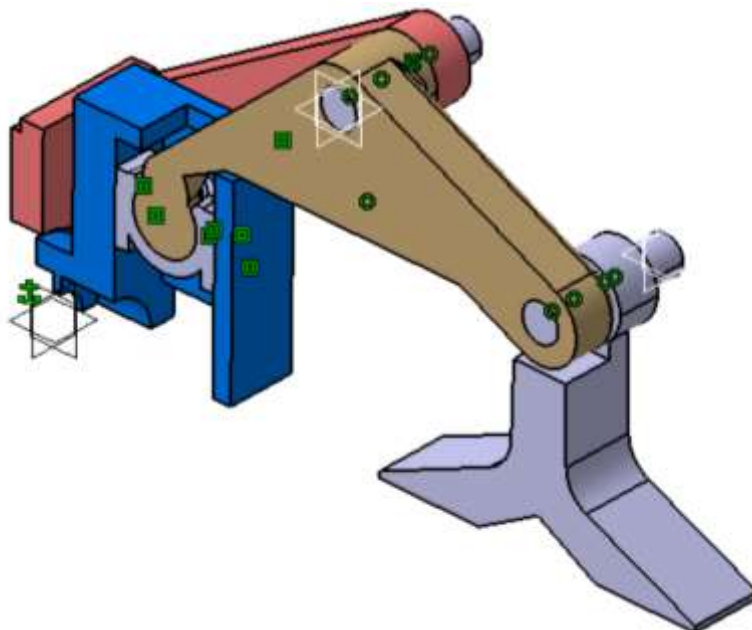


Figura 93.- Ensamble de gripper, Fuente: propia

En el estudio de la interacción entre elementos que componen el gripper fue observado que el esfuerzo máximo es de 65 MPa el cual de igual manera posteriormente fue disminuido con mejoras en la geometría de la biela reducir el esfuerzo. Ver figura 94.

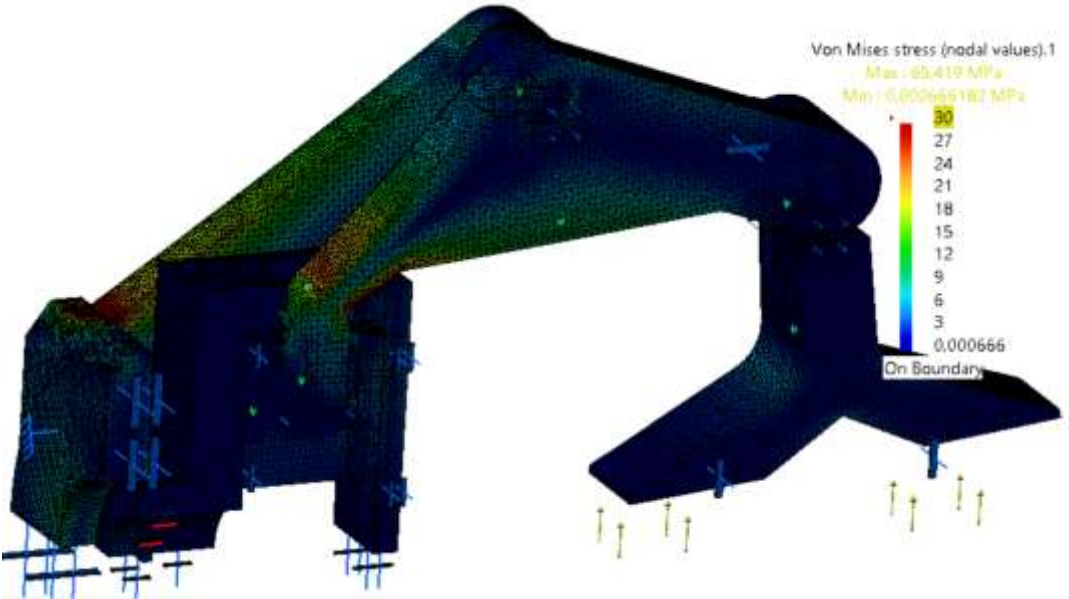


Figura 94.- Análisis de gripper completo, Fuente: Propia

La figura 95 muestra otras mejoras en la biela. En este caso se proporciona, chaflanes en todos los perfiles.

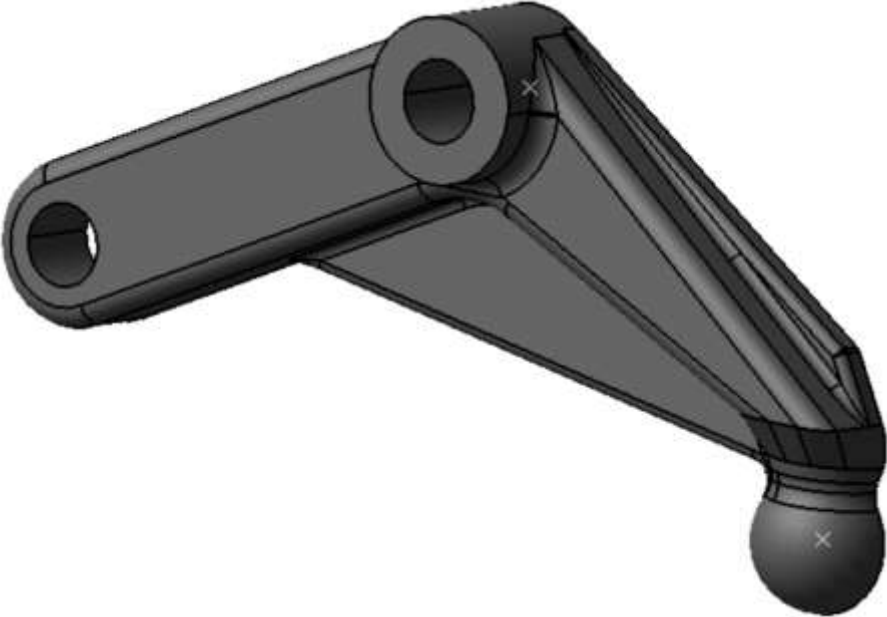


Figura 95.- Biela con chafanes, Fuente: propia

La figura 96, muestra una reducción de los esfuerzos máximos a 37 MPa debido a mejoras en la geometría de la biela, situándose estos en dos puntos de contacto específicos de la biela.

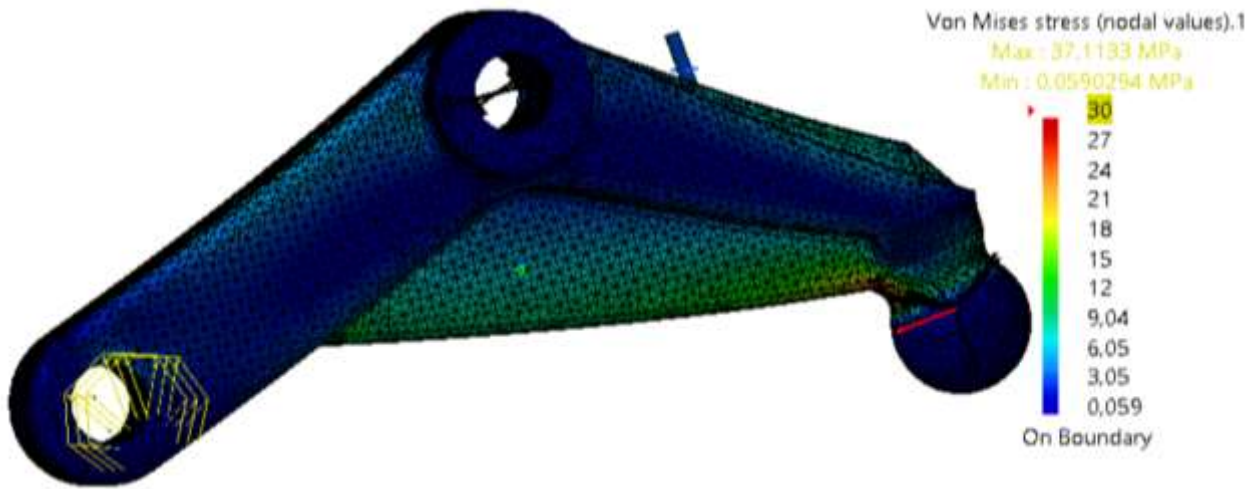


Figura 96.- Biela optimizada, Fuente: propia

Teniendo la biela un diseño final mejorado y orientado a minimizar los esfuerzos sin incrementos apreciables en su peso se procede nuevamente a realizar el ensamble para generar un nuevo estudio y analizar los esfuerzos del conjunto.

Se visualiza la optimización del gripper, teniendo esfuerzos máximos de 34 MPa en un punto del modelo, satisfaciendo las necesidades y cumpliendo con un coeficiente de seguridad cercano a 1.76 para un esfuerzo límite elástico del PLA correspondiente a 60 MPa.

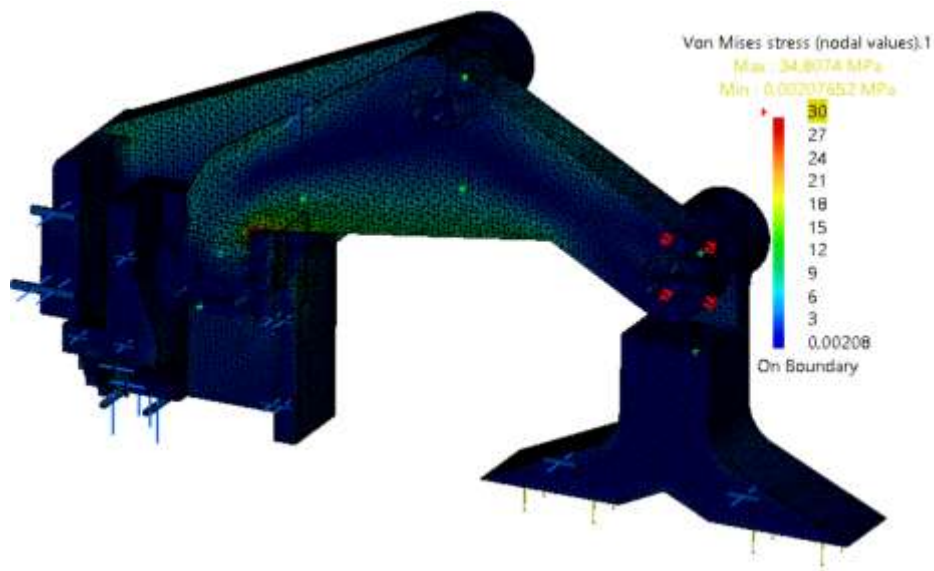


Figura 97.- Modelo optimizado, Fuente: propia

Finalmente, se realiza el último estudio de elementos finitos al gripper con los valores obtenidos en los ensayos de las probetas PLA, teniendo un límite elástico máximo de 47.6 MPa, lográndose un coeficiente de seguridad de 1.62.

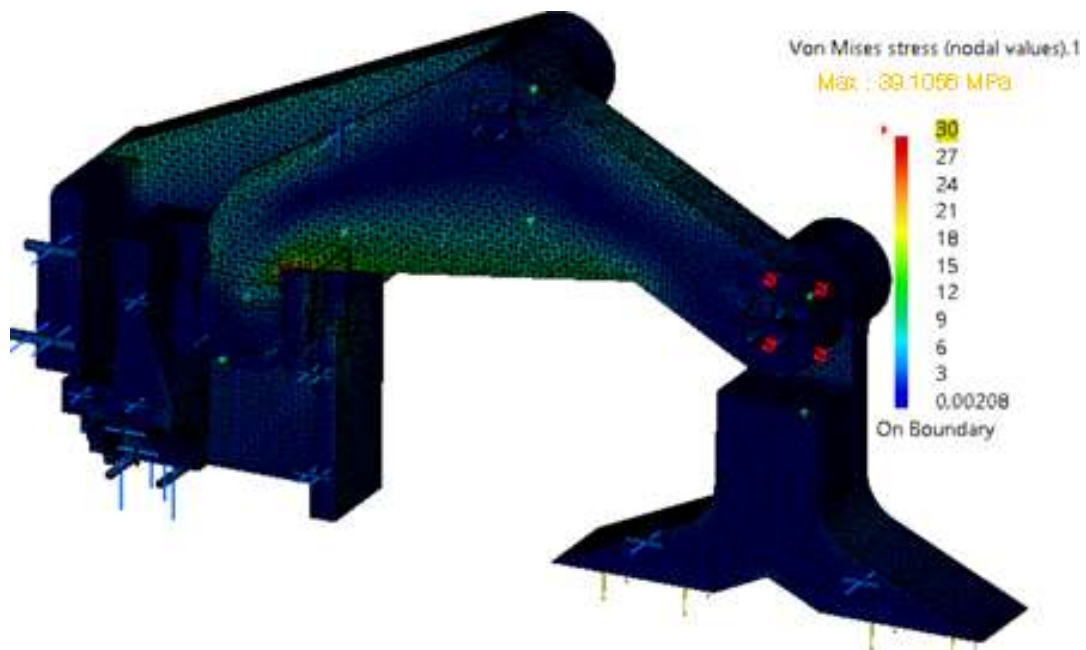


Figura 98.- Modelo optimizado, Fuente: propia

5. RESULTADOS

Gracias a la metodología APTe aplicada se pudieron definir los objetivos a desarrollar para alcanzar el nivel de calidad esperado, y establecer un riguroso procedimiento a cumplir.

Para lograr el objetivo del diseño se aplicaron herramientas que ayudaron a definir la función del producto y de forma más general en el análisis funcional. En las herramientas gráficas pueden ser mencionados la bestia con cuernos que coadyuvó a resolver la necesidad, así como el diagrama de pulpo que permitió establecer las funciones entre el sistema y su entorno.

Con empleo del método APTe se obtuvo una tabla cruzada que permitió observar las funciones de servicio con mayor importancia del prototipo a diseñar. Se empleó la técnica de sistema de análisis de funciones FAST para realizar una clasificación de funciones básicas y secundarias y dar posibles soluciones tecnológicas para el diseño del gripper.

En las instalaciones de la Universidad, se cuenta con equipos de impresión 3D, los cuales pueden emplear diferentes polímeros, por tal motivo, el diseño se realizó para desarrollarlo a futuro en estos equipos, por ende, se efectuó una correcta selección de material apoyándose con el método de Ashby el cual optimiza el proceso de diseño desde el punto de vista de la selección más adecuada para el material según las restricciones dadas, en este caso, los materiales a estudio fueron el PLA, ABS y PA, las condiciones fueron el esfuerzo límite elástico contra el precio.

Se puede observar en la tabla 5 que el material más adecuado es el PLA debido a que cuenta con un mayor límite elástico siendo este de 62,9 MPa y menor costo de operación de 31.2 \$/Kg.

Se calculó la fuerza de las mordazas que requeriría el gripper para la manipulación de piezas a su máxima velocidad de operación, para ello fue realizado el balance de fuerzas a la que se sometería visualizándose en la figura 36, considerando una velocidad angular de 6.1 rad/s obtenida de la hoja de operación de los robots y como resultado se obtuvo una fuerza de sujeción necesaria de 282 N por mordaza.

Se desarrollaron tres anteproyectos los cuales servirían como base al diseño final, a cada uno de ellos se les trazó un esquema pilotante y valoró la cinemática de movimiento, las fuerzas necesarias del pistón, así como la carrera necesaria cuando estuviera abierto y cerrado el gripper.

En la figura 40 y 41 se visualiza el recorrido necesario para realizar el movimiento, con ello se seleccionó el cilindro indispensable que debería tener una carrera mínima de 35 mm para lograr una abertura de las mordazas de 70 mm como máximo.

Se procedió a buscar dentro de los proveedores de elementos neumáticos, el cilindro que cumpliera con el anteproyecto 1, siendo el modelo de la gama de los compactos ADNGF-32-40, este cilindro operando a 6 Bar (0.6MPa) aporta una fuerza de 754 N cumpliendo la necesidad de 282 N por cada mordaza.

De la misma manera se realizó el segundo anteproyecto, donde el resultado del esquema pilotante arrojó las fuerzas necesarias para el funcionamiento de este, siendo de 283 N por mordaza cuando esté abierto y 111N cuando esté cerrado.

El pistón necesario para desarrollar el movimiento debe de ser de 22 mm de carrera mínima. La empresa SMC ofrece el cilindro compacto de la serie JCQ modelo JCDQ50DF-30, una de las características más importante de este dispositivo es la mitad de longitud de su antecesor.

En caso del anteproyecto tres, el resultado de la fuerza mínima requerida es de 300N para abrir el gripper y 460N para cerrarlo, estos valores son por mordaza, con una carrera requerida de 29 mm, debido al desplazamiento similar del anteproyecto dos y la capacidad se utiliza el mismo pistón.

Teniendo los tres anteproyectos diseñados en Catia y soportados por el esquema pilotante realizado en cada uno de ellos, se hizo un consenso con expertos de área de mecánica y robótica para la exposición de los anteproyectos, donde cada uno externó sus puntos de vista, y oportunidades de mejora.

Fue elegido el anteproyecto tres, ya que este contaba con las ventajas de tener pocas pieza y conexiones, volumen pequeño, menor carrera del pistón, mordaza inferior autoajustable. Se hicieron cambios drásticos en el diseño, los cuales consistieron en

generar una solución isostática con una conexión equivalente a una puntual y modificación en la conexión de mordaza.

Para ello se hicieron cálculos de esfuerzos de contacto entre dos elementos esféricos al cambio de conexión entre el cilindro y mecanismo del gripper, teniendo como resultado 7 y 7,1 mm de radio respectivamente entre esferas, de la misma manera se generó el estudio de los pernos de la biela los cuales estarán sometidos a esfuerzos cortantes, logrando las dimensiones de 8 mm de diámetro con una longitud de 13,85 mm.

Teniendo el modelo y elementos calculados se procede a optimizar el modelo, apoyándose en el método del elemento finito.

Para ello se procedió primeramente al estudio de la biela por ser el elemento que está sometido a mayores esfuerzos, realizando tres optimizaciones de esta, cuyos datos de estudio fueron 60 MPa de esfuerzo límite elástico, un mallado piramidal de 2 mm y una carga de 175N calculados previamente.

Los primeros resultados fueron de 160 MPa en la escala de Von Mises, excediendo los 30 MPa de límite elástico del PLA debido al coeficiente de seguridad cercano a 2.

En seguida se realiza una evolución de la biela, modificándose la parte inferior con refuerzo debido a la mayor concentración de esfuerzos, con esta modificación se reduce hasta 65 MPa.

Se generó un nuevo estudio ahora con el ensamblaje total para visualizar posibles modificaciones en el conjunto y analizar los puntos a mejorar, en la figura 93 se observó la sección donde se concentran los esfuerzos.

En la última optimización se logra reducir los esfuerzos a 37 MPa, focalizándose estos en un área mínima de contacto donde soportará el eje, pudiéndose visualizar en la imagen 97.

Se ejecuta el estudio con el ensamblaje y la biela optimizada lográndose un esfuerzo máximo en una superficie despreciable de 34 MPa, el coeficiente de seguridad de 1,76.

Finalmente, con los valores obtenidos en los ensayos de las probetas de PLA se realiza nuevamente el estudio de elementos finitos aplicando un límite elástico de 47,6 MPa para garantizar los resultados y con ello se cumple las necesidades y se logra un coeficiente de seguridad de 1,62.

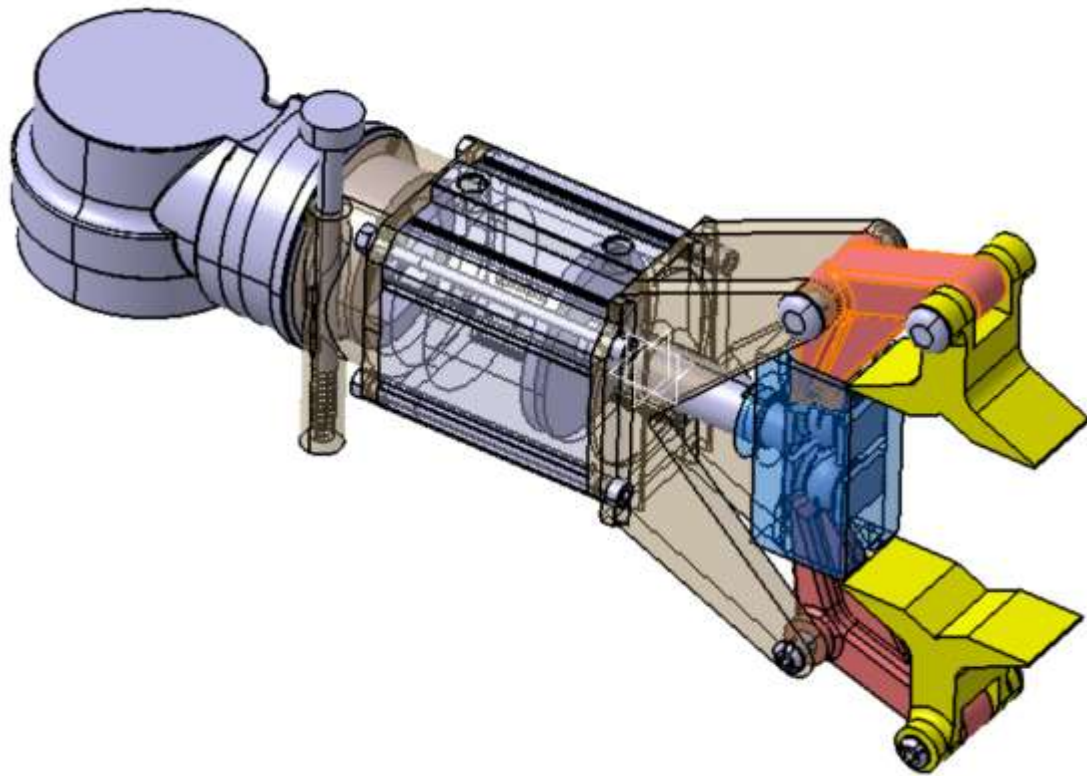


Figura 99.- Diseño de gripper optimizado, Fuente: propia

6. CONCLUSIONES

Se logra satisfactoriamente el diseño y modelación de un gripper intercambiable entre los robots *Fanuc LR mate 200iD* y *Motoman MH5F*, cumpliéndose en su totalidad los objetivos generales y específicos gracias a la implementación de la metodología APTÉ.

Existirá la posibilidad de fabricar el prototipo dentro las instalaciones de la Universidad Tecnológica de Aguascalientes, utilizando los equipos de impresión 3D fabricándose con el polímero ácido poliláctico (PLA), con ello, se aprovecharán al máximo estos equipos industriales al realizar operaciones con una mayor complejidad para favorecer la adquisición de conocimientos y habilidades de los estudiantes.

Se seleccionó el mejor anteproyecto el cual fue sometido a evaluación por expertos en diferentes áreas, gracias a las opiniones se hicieron cambios para obtener un mejor producto final.

El conjunto de elementos que conforman el gripper fueron optimizados hasta obtener la geometría necesaria para soportar los esfuerzos a que estará sometido el mecanismo, lográndose un factor de seguridad de 1,62.

Debido a la optimización del modelo, resulta de fácil mantenimiento y reparaciones futuras, con el uso de herramientas convencionales y poca experiencia para hacerlo.

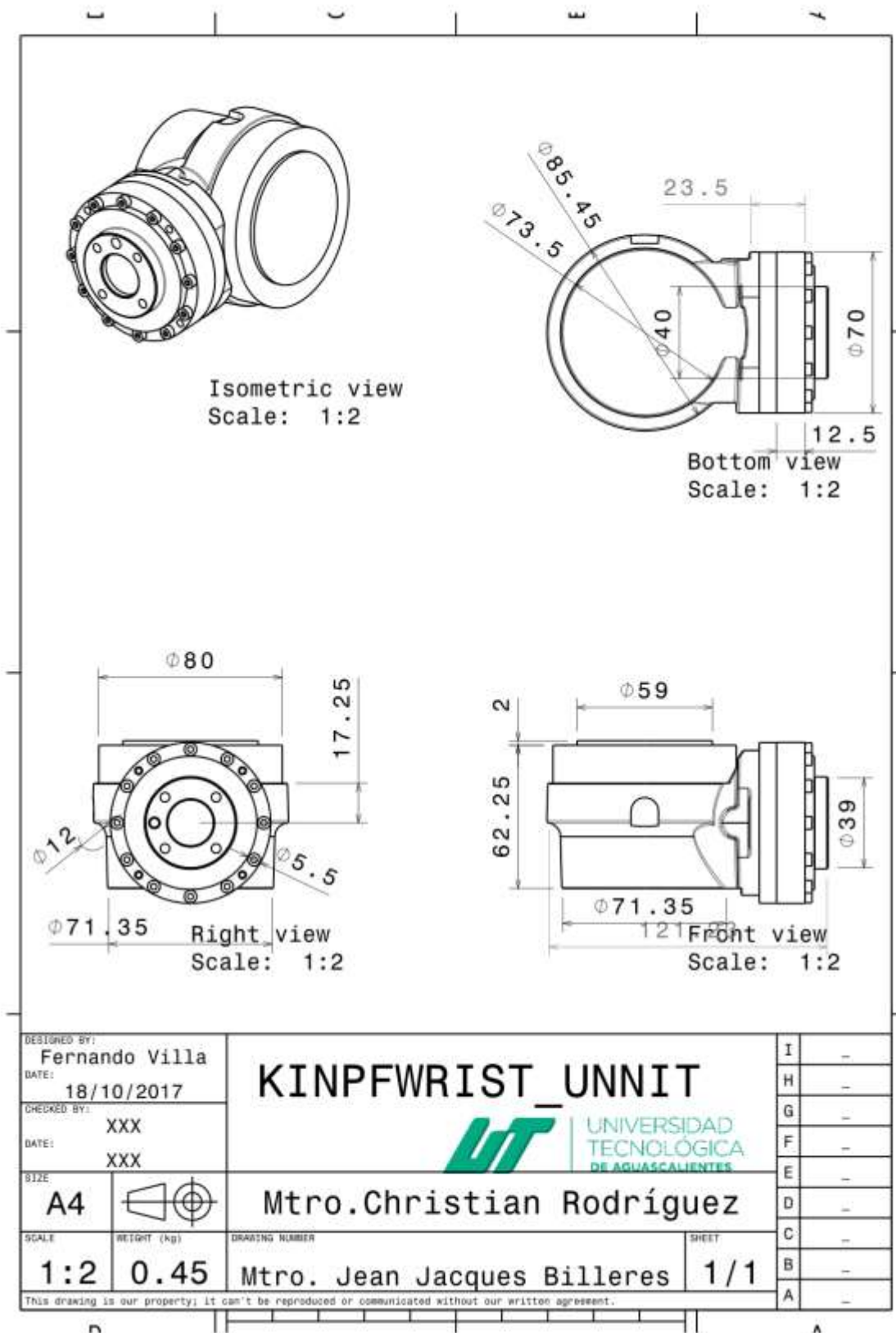
7. REFERENCIAS:

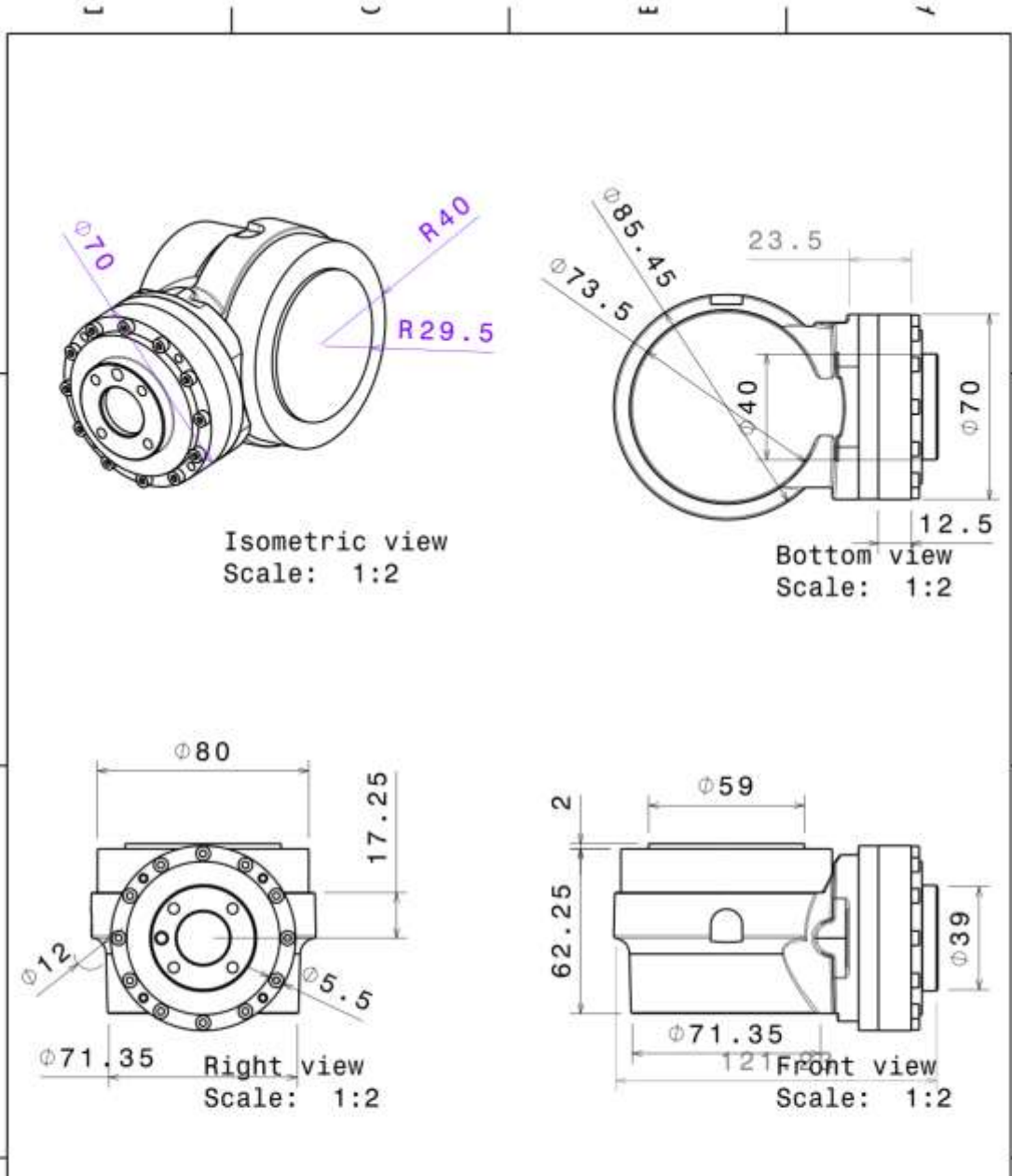
- [1]. **Michalos, G Makris S, Papakostas N, Mourtzis D, Chryssolouris G.** *Automotive Assembly Technologies Review: Challenges and Outlook for a Flexible and Adaptive Approach.* 2010, Journal of Manufacturing Science and Technology.
- [2]. **Papakostas, N Michalos G, Makris S, Zouzas D, Chryssolouris G.** *Industrial applications with cooperating robots for the flexible assembly.* 2011, International Journal of Computer Integrated Manufacturing.
- [3]. **Hoffmann, Chen Z, Earl D, Mitchell Derek, Salemi B.** *Adaptive robotic tool use under variable grasps.* 2014, Robotics and Autonomous Systems.
- [4]. **Manzoor, Iqbal J, Khalid A, Islam A, Samad A.** *An open-source multi-DOF articulated for robotic educational platform.* 2014, COMSATS Institute of Information Technology.
- [5]. **Iqbal, Nabi RU, Khan AA, Khan H.** *A novel track-drive mobile robotic framework for conducting projects on robotics and control systems.* 2013, Life Sci.
- [6]. **Canali, Cannella F, Chen F, Hau,.** *Robots reconfigurable clips high flexible assembly.* Bufalo USA : s.n., 2014.
- [7]. **Fantoni, Santochi M, Dini G, Tracht K, Scholz B, Fleicher J, Lien T, Seliger G, Reinter G, Franke J, Hansen H, Verl A.** *Grasping devices and methods in automated production processes.* 2014, CIRP Annals - Manufacturing Technology.
- [8]. **Politécnicas, Coordinación Generar de Universidades Tecnológicas y.** México DF : s.n., 2012.
- [9]. **Chile, Universidad de Santiago de.** UdeSantiago Virtual. [Online] 06 15, 2017. <http://www.udesantiagovirtual.cl/moodle2/course/view.php?id=4>.
- [10]. **Erkaya.** *Investigation of joint clearance effects on welding robot manipulators.* 2012, ELSEVIER.
- [11]. **Fantoni G., Capiferri S.** *Method for supporting the selection of robot grippers.* *Proceeding 24th CIRP Design Conference.* pp 330-335. Italy 2014.

- [12]. **Lida, Laschi C.** *Soft Robotics: Challenges and Perspectives*. 2011, SciVerse ScienceDirect.
- [13]. **Sung-Hwan, Young J, Kyung-Soo K, Soohyun Kim** *Design and control of robot manipulator with a distributed actuation..* 2014, Mechatronics.
- [14]. **Hassan, Abomoharam M.** *Design of a single DOF gripper based on four-bar and slider-crank*. 2014, ScienceDirect.
- [15]. **Nishida, Coloquios D, Kawashima N.** *Development of Universal Locking pliers with a force feedback mechanism*. 2014, LIC&ISIS.
- [16]. **Petkoviu, Pavloviu N. D.** *The transmission and applications, mechanisms and Machine*. 2012.
- [17]. **Schmalza, Reinharta G.,.** *Automatic selection and sizing of fastening systems*. 2014, ELSEVIER.
- [18]. **Johuane M.** *A useful screening force for disassembly*. 2014, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing.
- [19]. **Melchiorri G.** *A Right Autonomous Robotics mounting clips*. 2014, Transactions on robotics and automation.
- [20]. **Guillen Espinoza Dan, Monterrosas Hernández José.** *Diseño de in efector final tipo pinza de 8 grados de libertad*. Mexico DF : Instituto Politecnico Nacional, 2017.
- [21]. **Penisi, O.H.Ceccarelli, M. Carbone G.,** *Clasificación de mecanismos en pinzas insdustriales de dos dedos*. 1, Argentina : Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica, 2003, Vol. 7.
- [22]. **Fanuc.** [Online] 08 11, 2017. [Cited: 08 11, 2017.] <http://www.fanuc.eu/es/es/robots/p%C3%A1gina-filtro-robots>.
- [23]. **APTE, Méthode. Méthode APTE.** [Online] agosto 10, 2017. [Cited: agosto 8, 2017.] <http://methode-apte.fr/les-outils/>.
- [24]. **Standardization, International Organization for.** International Organization for Standardization. [Online] agosto 10, 2017. [Cited: agosto 10, 2017.] www.iso.org.

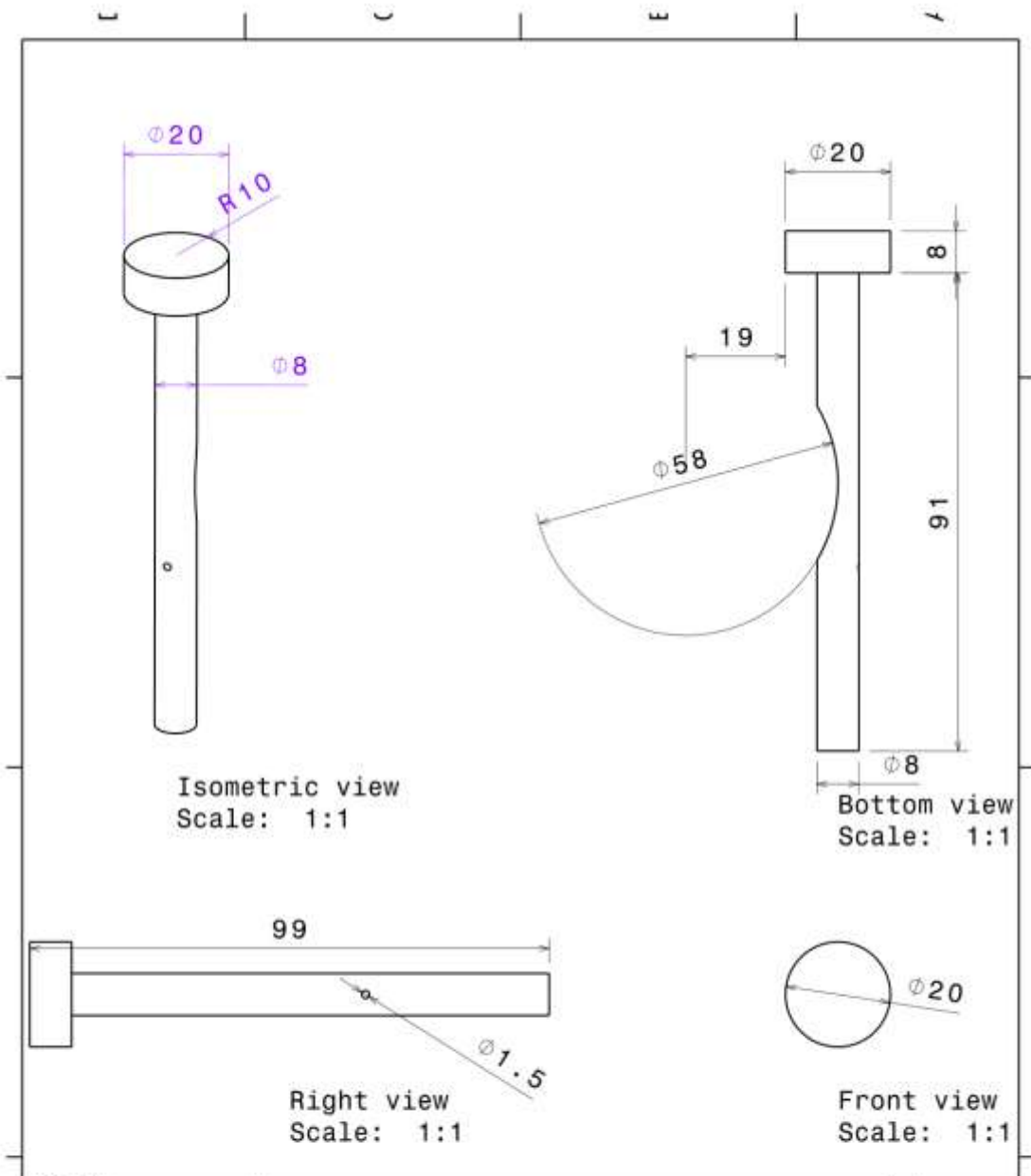
- [25]. **Structured Analysis and Design Technique.** *Structured Analysis and Design Technique.* [Online] agosto 9, 2017. [Cited: agosto 9, 2017.] <https://manuel.cillero.es/doc/metrica-3/tecnicas/modelado-de-procesos-de-la-organizacion/sadt/>.
- [26]. **Dobrovolski, V.** *Elementos de Máquinas.* Moscú : MIR, 1981.
- [27]. **Norton, Robert L.** *Diseño de Máquinas.* México : Prentice-Hall, 1999.
- [28]. **Giannaccini M, Dogramadzi S.** *Solutions for a Variable Compliance Gripper Design.* 2011. Towards Autonomous Robotic Systems.
- [29]. **Tudu, D, Sanfui S, Kabiraj R, Das Santanu.** *Design and Implementation of a 4-Bar linkage Gripper.* 2014, Journal of Mechanical and Civil Engineering.
- [30]. **Kerr J, Roth, B.** *Analysis of multi-fingered hands.* 1986, The International Journal of Robotics Research.
- [31]. **Denkena, B, Litwinski, K., Schönherr, M. Garbsen** *Innovative Drive Concept for Machining Robots.,* Germany : ELSEVIER, 2013. 2nd CIRP Global Web Conference.
- [32]. **Bauchau, Rodríguez J.** *Modelling of joints with clearance in flexible multibody systems.* 2002, International Journal of Solids and Structures.
- [33]. **Hernández, Roberto.** *Metodología de Investigación.* México : McGraw-Hill, 2006.
- [34]. **F, Chen.** *Efectores finales y mecanismos para robots industriales.* 1982.

8. ANEXOS

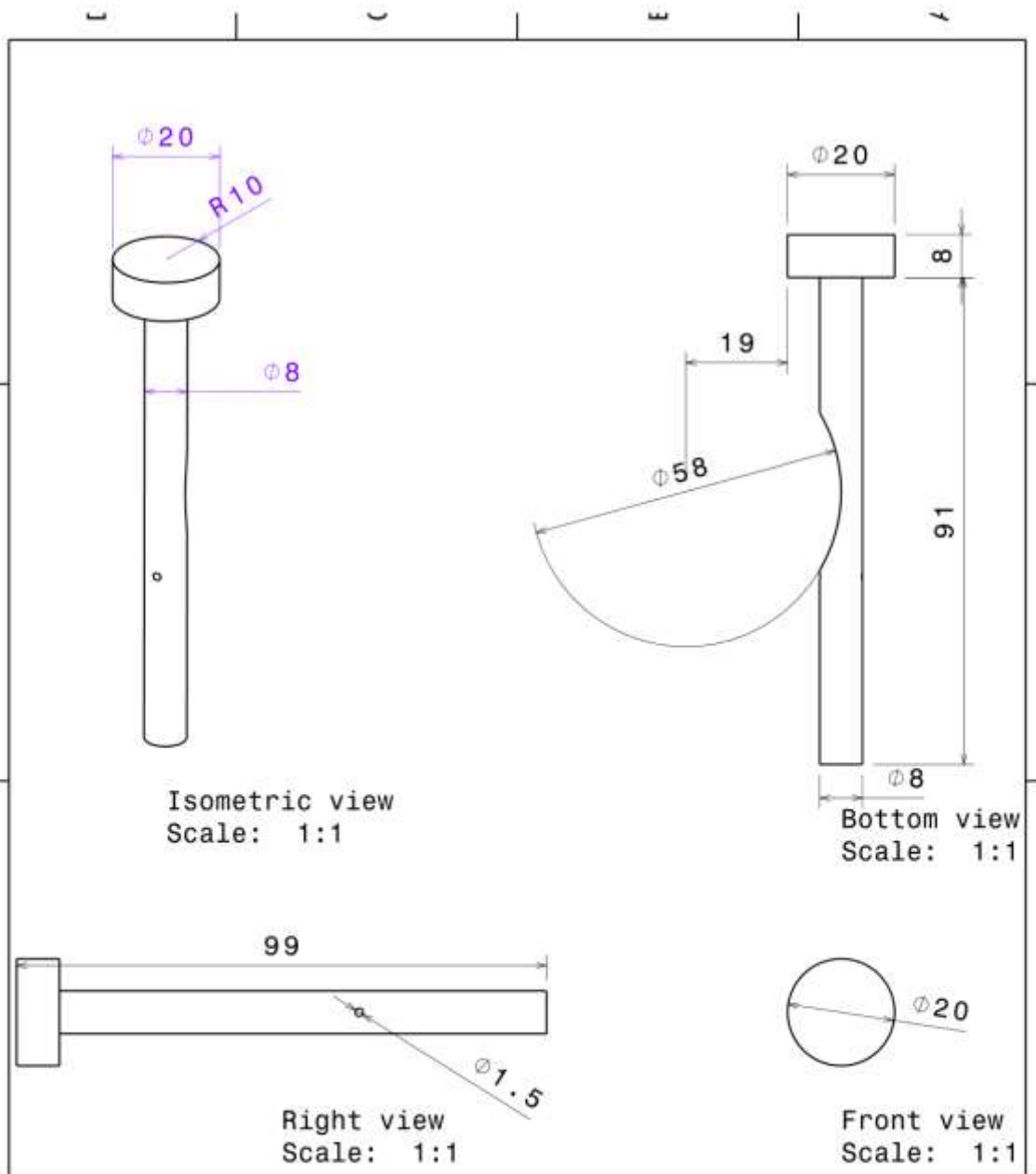




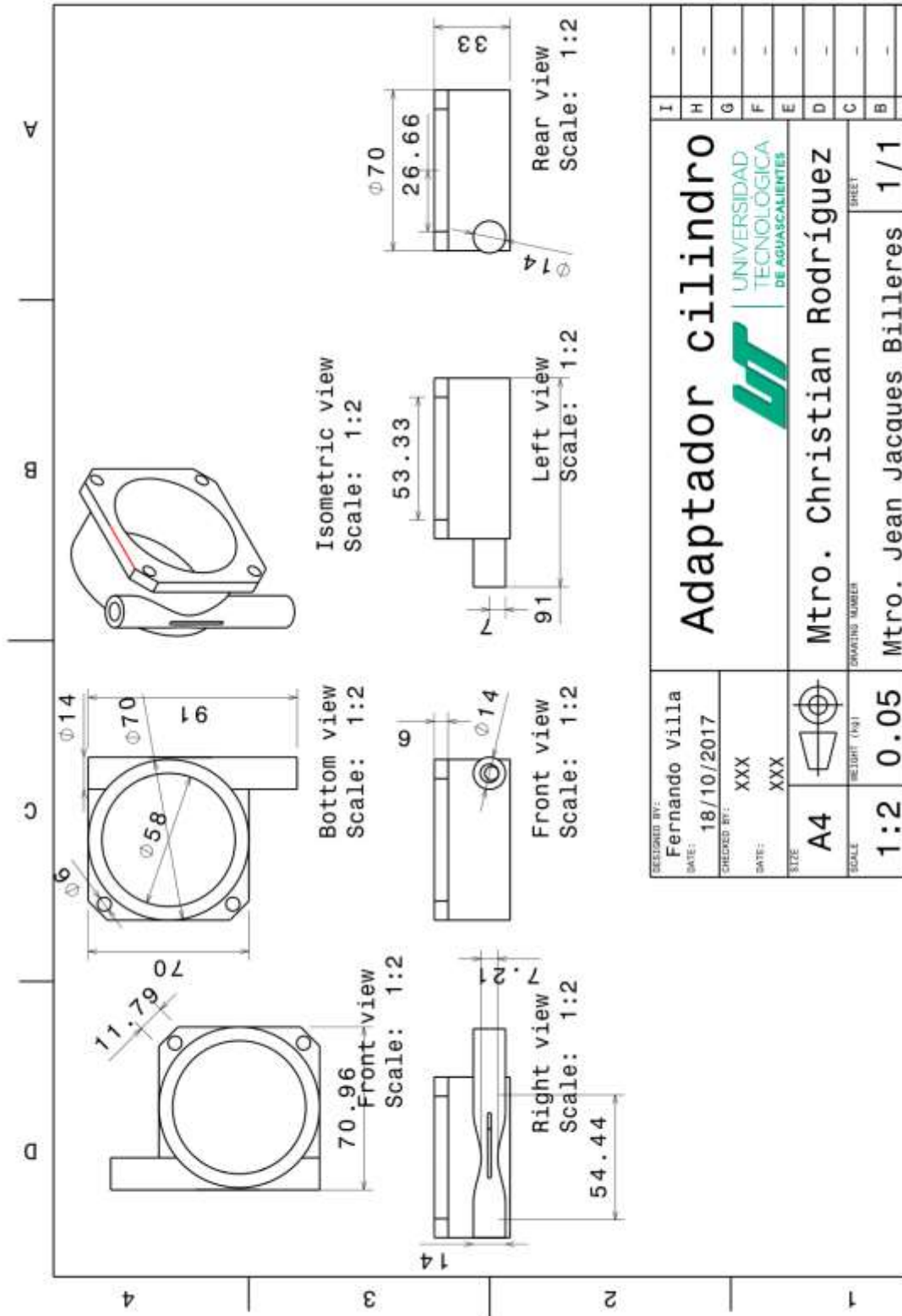
DESIGNED BY: Fernando Villa		KINPFWRIST_UNNIT	I	-
DATE: 18/10/2017			H	-
CHECKED BY: XXX			G	-
DATE: XXX		 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE AGUASCALIENTES	F	-
SIZE: A4		Mtro. Christian Rodríguez	E	-
SCALE: 1:2	WEIGHT (kg): 0.45	DRAWING NUMBER: Mtro. Jean Jacques Billeres	D	-
		SHEET: 1/1	C	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.			B	-
			A	-



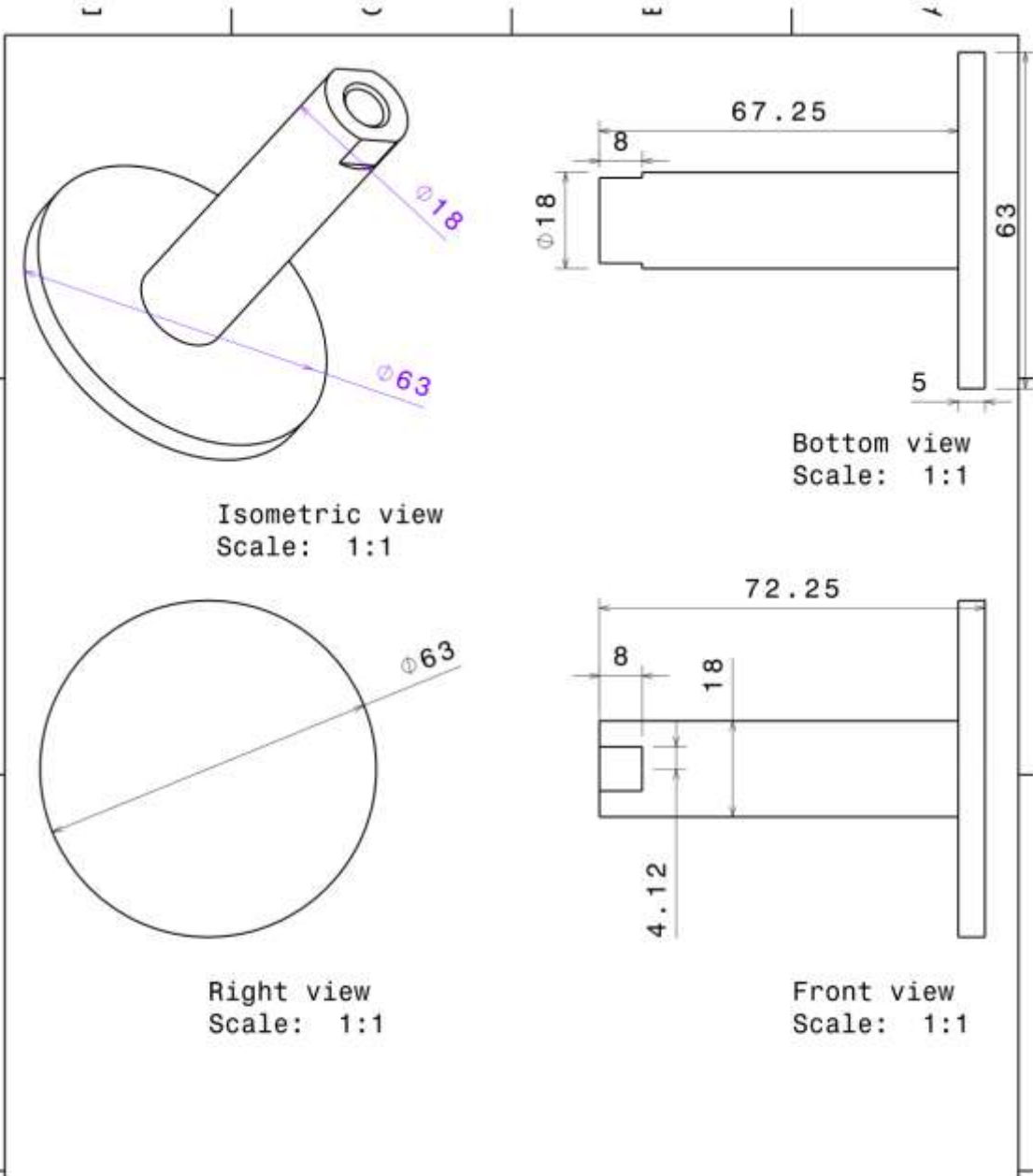
DESIGNED BY: Fernando Villa		KINPF fijación	I	-
DATE: 18/10/2017			H	-
CHECKED BY: XXX		 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE AGUASCALIENTES	G	-
DATE: XXX			F	-
SIZE: A4		Mtro. Christian Rodríguez	E	-
SCALE: 1:1	WEIGHT (KG): 0.01	DRAWING NUMBER: Mtro. jean Jacques Billeres	D	-
		SHEET: 1/1	C	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.			B	-
			A	-


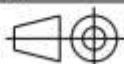


DESIGNED BY: Fernando Villa		KINPF fijación		I	-
DATE: 18/10/2017				H	-
CHECKED BY: XXX		 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE AGUASCALIENTES		G	-
DATE: XXX				F	-
SIZE: A4		Mtro. Christian Rodríguez		E	-
SCALE: 1:1	WEIGHT (kg): 0.01	DRAWING NUMBER: Mtro. jean Jacques Billeres	SHEET: 1/1	D	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				C	-
				B	-
				A	-

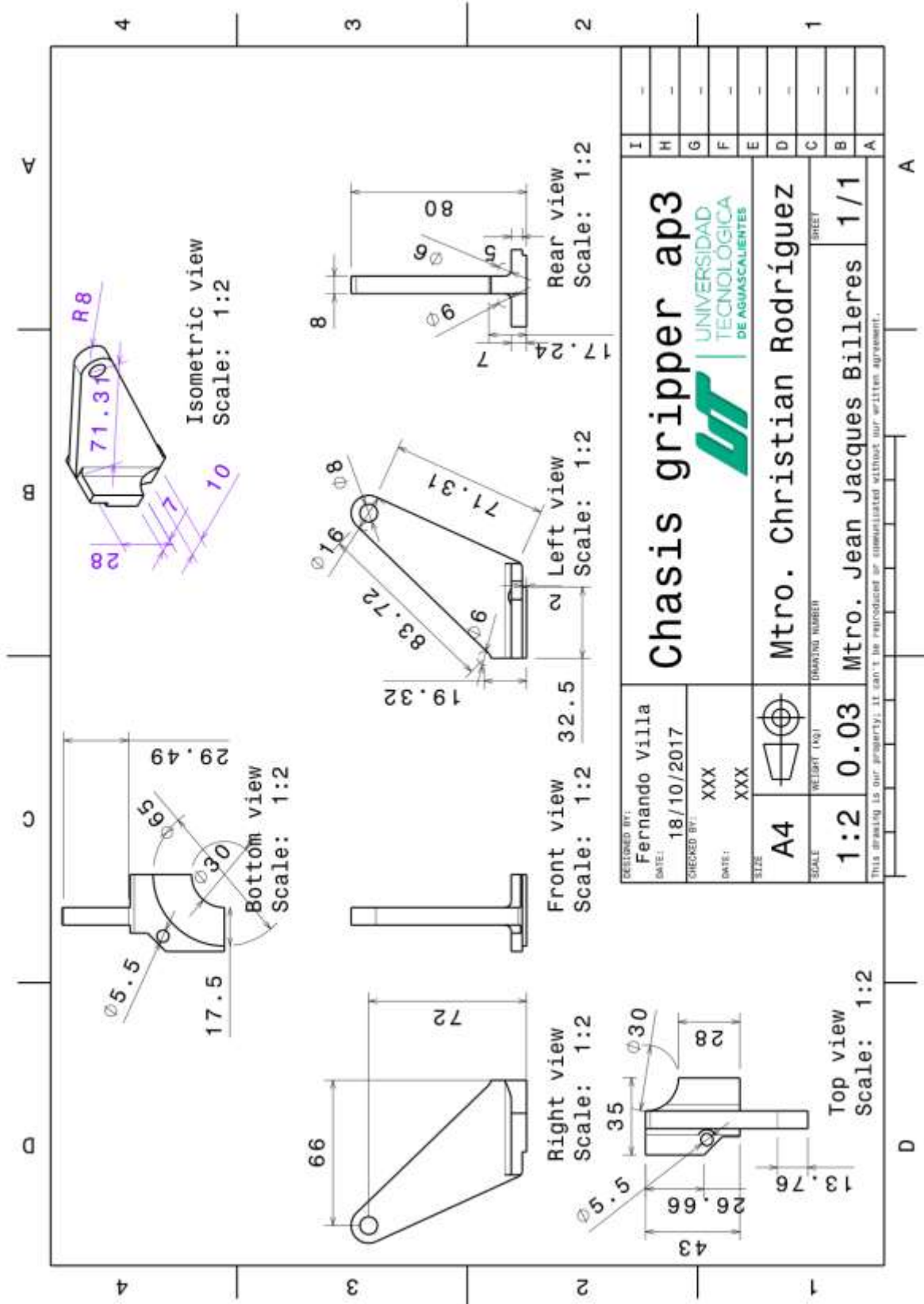


DESIGNED BY: Fernando Villa	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE AGUASCALIENTES		I
DATE: 18/10/2017			H
CHECKED BY: XXX			G
DATE: XXX	Mtro. Christian Rodríguez		F
SIZE A4	DRAWING NUMBER		E
SCALE 1:2	Mtro. Jean Jacques Billeres		D
1:2	1/1		C
			B
			A

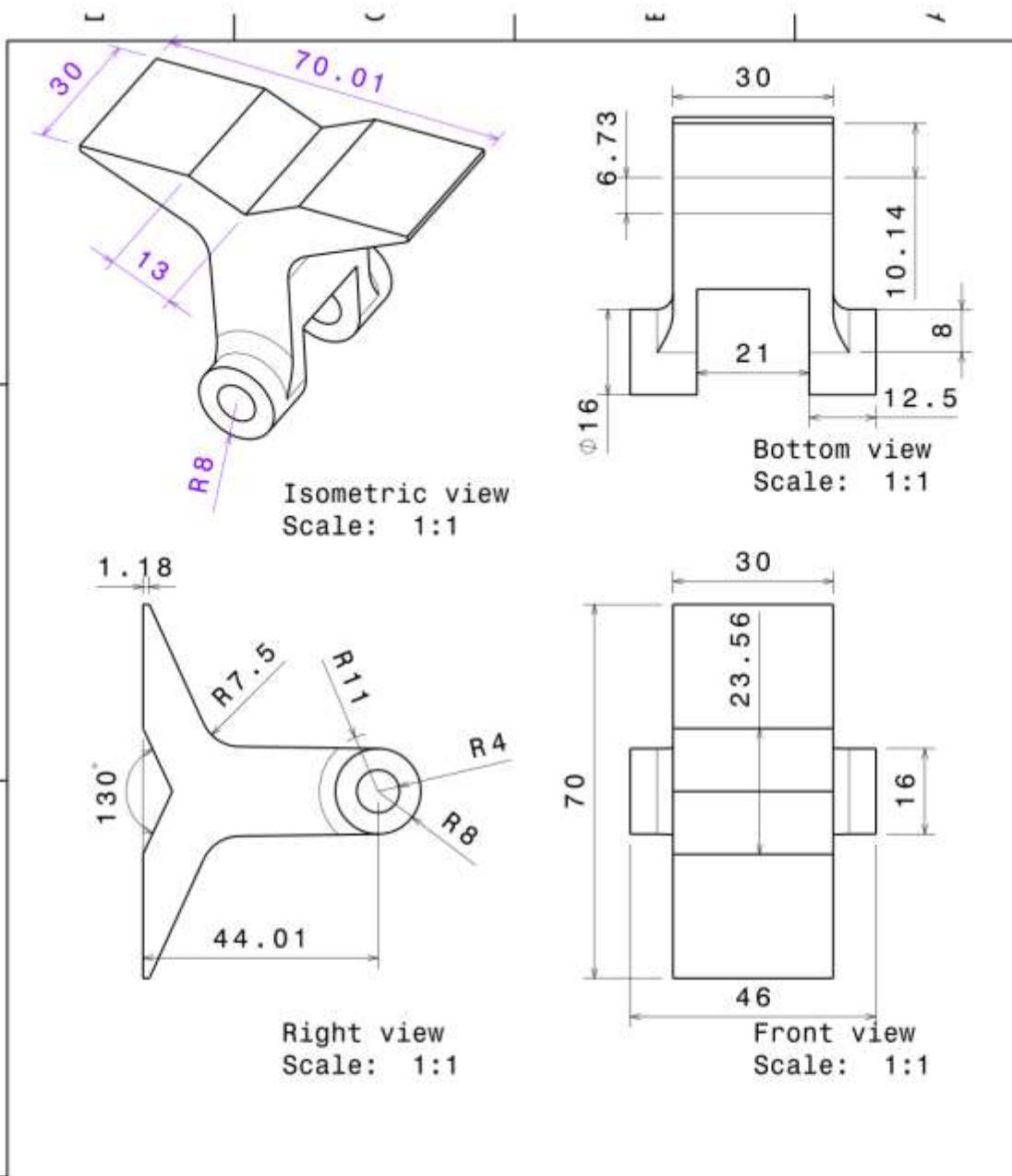


DESIGNED BY: Fernando Villa	_JCDQ63-40(0)_ROD		I	-
DATE: 18/10/2017			H	-
CHECKED BY: XXX	 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE AGUASCALIENTES		G	-
DATE: XXX			F	-
SIZE: A4		Mtro. Christian Rodríguez	E	-
SCALE	WEIGHT (KG)	DRAWING NUMBER	D	-
1:1	0.03	Mtro. Jean Jacques Billeres	C	-
		SHEET	B	-
		1/1	A	-

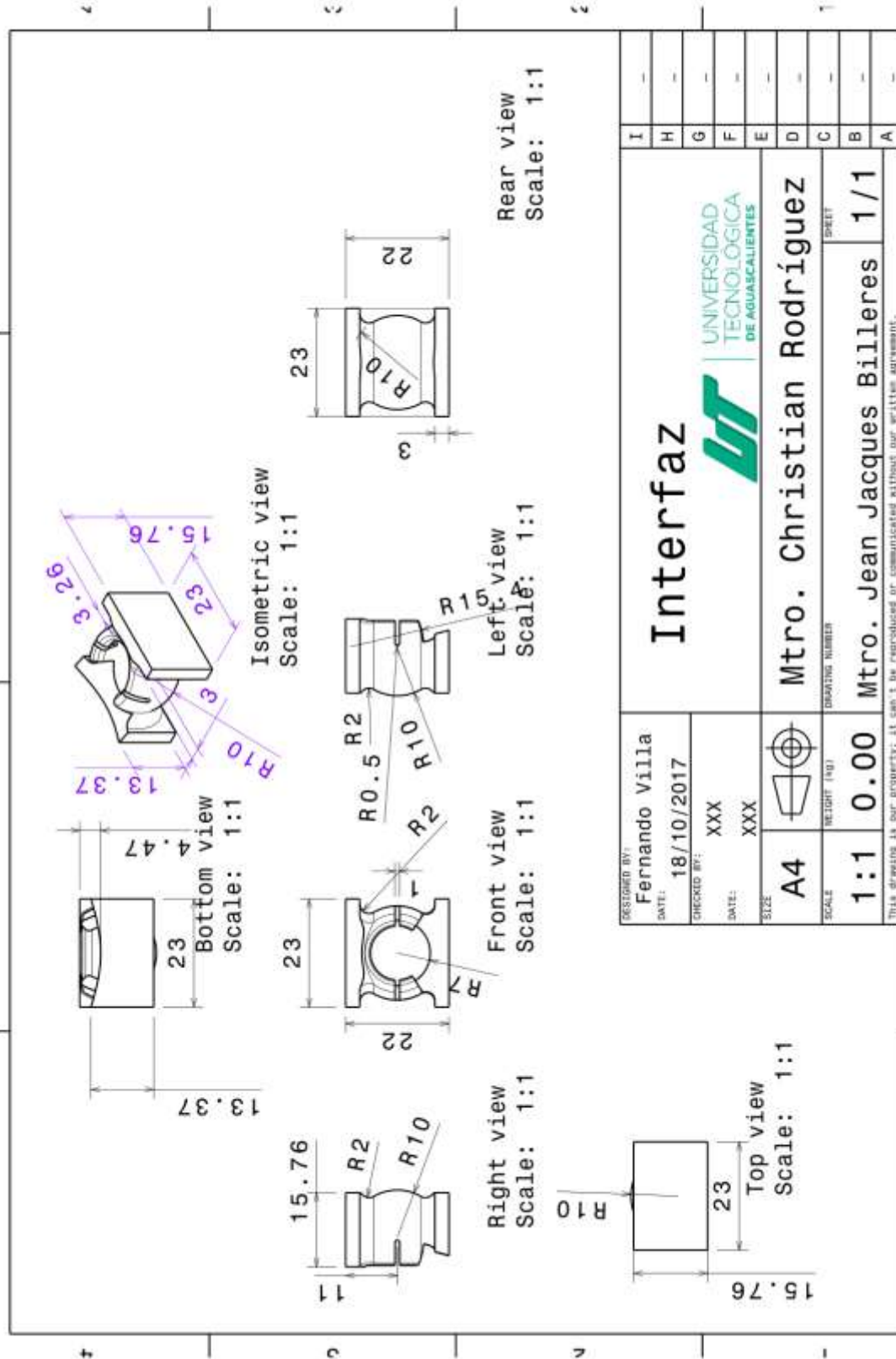
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



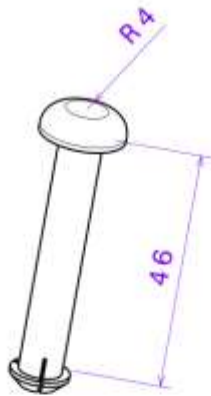
DESIGNED BY: Fernando Villa	DATE: 18/10/2017	CHECKED BY: XXX	DATE: XXX	SIZE: A4	WEIGHT (KG): 	Chasis gripper ap3	
				SCALE: 1:2	0.03	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE AGUASCALIENTES	
				SCALE:	1:2	Mtro. Christian Rodríguez	
				SCALE:	0.03	Mtro. Jean Jacques Billeres	
				SCALE:	1/1	1/1	
				DRAWING NUMBER		SHEET	
				1/1		1/1	
This drawing is our property; it can't be reproduced or manipulated without our written agreement.							



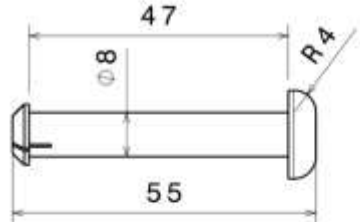
DESIGNED BY: Fernando Villa		MordazaAP3		I	-
DATE: 18/10/2017				H	-
CHECKED BY: XXX		 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE AGUASCALIENTES		G	-
DATE: XXX				F	-
SIZE: A4		Mtro. Christian Rodríguez		E	-
SCALE: 1:1	WEIGHT (kg): 0.03	DRAWING NUMBER: Mtro. Jean Jacques Billeres	SHEET: 1/1	D	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				C	-
				B	-
				A	-



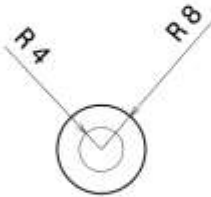
L C E F



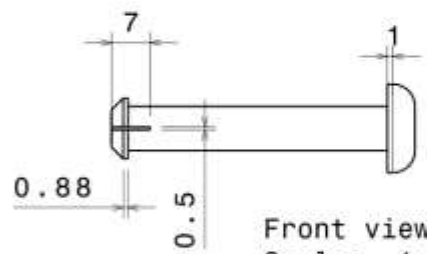
Isometric view
Scale: 1:1



Bottom view
Scale: 1:1



Right view
Scale: 1:1



Front view
Scale: 1:1

DESIGNED BY: Fernando Villa		KINeje	I	-
DATE: 18/10/2017			H	-
CHECKED BY: XXX		 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE AGUASCALIENTES	G	-
DATE: XXX			F	-
SIZE: A4		Mtro. Christian Rodríguez	E	-
SCALE: 1:1	WEIGHT (kg): 0.00		C	-
DRAWING NUMBER: Mtro. Jean Jacques Billeres		1/1	B	-
SHEET: 1/1			A	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				

D A