UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

DISEÑO DE UN BRAZO ROBÓTICO DE 6 GRADOS DE LIBERTAD PARA EL PINTADO DE ÁLABES EN LA EMPRESA AYNI SAC - LA LIBERTAD

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Autores:
BACH. Fuentes Flores Carlos José.
BACH. Zunini Vasquez Hugo Edilberto.

Asesor:
Dr. Olortegui Yume Jorge, Ph.D.

Línea de Investigación:

Ingeniería de Procesos Productivos

PIMENTEL – PERÚ
2019

DISEÑO DE UN BRAZO ROBÓTICO DE 6 GRADOS DE LIBERTAD PARA EL PINTADO DE ÁLABES EN LA EMPRESA AYNI SAC – LA LIBERTAD

Presentado a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de Sipán para optar el Título Professional de Ingeniería Mecánica Eléctrica

APROBADO POR:

Mg. Angel Marcelo Rojas Coronel
Presidente del Jurado de Tesis

Mg. Juan Carlos Vives Garnique
Secretaria(o) del Jurado de Tesis

Mg. Carlos Alexis Alvarado Silva
Vocal del Jurado de Tesis

PIMENTEL

2019

DEDICATORIA

PRIMERAMENTE A DIOS POR CONCEDERME LOS CONOCIMIENTOS NECESARIOS Y LA PACIENCIA PARA CUMPLIR A CABALIDAD CON MIS METAS TRAZADAS, A MIS PADRES Y FAMILIA EN GENERAL POR LA MOTIVACIÓN Y EL APOYO CONSTANTE EN TODOS LOS ASPECTOS DURANTE ESTOS 5 AÑOS, ASIMISMO A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS QUIENES ME BRINDARON SU AMISTAD.

CARLOS JOSÉ FUENTES FLORES.

A DIOS POR PERMITIRME LOGRAR MIS OBJETIVOS, A MIS QUERIDOS PADRES, ABUELOS Y HERMANOS POR APOYARME EN TODO MOMENTO *POR SUS CONSEJOS, SUS VALORES, POR LA MOTIVACIÓN CONSTANTE QUE ME HA PERMITIDO SER UNA PERSONA DE BIEN, A SI TAMBIÉN LES AGRADEZCO A TODOS MIS FAMILIARES Y AMIGOS QUE ME BRINDARON SU APOYO Y AMISTAD.*

ZUNINI VASQUEZ HUGO EDILBERTO

AGRADECIMIENTO

En primer lugar deseamos expresar nuestro agradecimiento a nuestro asesor de tesis, Dr. Olortegui Yume Jorge, PhD, por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo, por el respeto e ideas y por la dirección y el rigor que nos ha facilitado en este trabajo.

Asimismo, agradecemos a nuestros compañeros de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica por su apoyo personal y humano, con quienes hemos compartido proyectos e ilusiones durante estos años.

Un trabajo de investigación es fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos quieren y estiman, los cuales son el motivo de nuestra fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales. Gracias a nuestras familias, a nuestros padres, abuelos y hermanos, porque con ellos compartimos una infancia feliz, que guardamos en el recuerdo y es un aliento para seguir escribiendo sobre la infancia. Gracias a nuestros amigos, que siempre nos han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión. Del mismo modo, a todas aquellas personas que nos brindaron su apoyo, paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto, por el tiempo que nos ha concebido, un tiempo robado. Sin su apoyo este trabajo nunca se habría escrito y, por eso, este trabajo es también el suyo.

A todos, muchas gracias.

DISEÑO DE UN BRAZO ROBÓTICO DE 6 GRADOS DE LIBERTAD PARA EL PINTADO DE ÁLABES EN LA EMPRESA AYNI SAC – LA LIBERTAD

Carlos J. Fuentes Flores [1]

Hugo E. Zunini Vasquez [2]

Resumen

Se diseñó un brazo robótico imprimible de 6 grados de libertad para el pintado de alabes en la empresa AYNI SAC.

Se hallaron las necesidades en la empresa AYNI SAC mediante 5 entrevistas a Ingenieros y trabajadores de la empresa. Se realizó una búsqueda minuciosa mundial para hallar Las normas de diseño, así como se revisaron tesis y artículos científicos de investigadores para hallar las recomendaciones de diseño. Se diseñaron 6 conceptos que en funciones y precios podrían satisfacer nuestras necesidades, de las cuales salió un concepto ganador gracias a una matriz de selección de criterios ponderados. Al concepto ganado se le aplico el diseño de configuración al cual posteriormente se le aplico dimensiones generales en base a una configuración impecable. Se procedió a analizar las cargas de diseño que ejercen a la estructura del brazo Robótico mediante momentos de inercia. Seguidamente se procedió a desarrollar el diseño paramétrico de las piezas que soportan más cargas del brazo robótico de 6 grados de libertad con apoyo del software ANSYS ACADEMIC considerando las variables cargas sobre la estructura, material de la estructura. Seguidamente se seleccionó un sistema de control para el brazo robótico. Se produjo la selección de los componentes estándar del brazo robótico. Posteriormente se realizó el modelamiento de las piezas por software de impresión 3D, así como la elaboración de los planos de Brazo Robótico de 6 grados de libertad.

En el diseño de configuración salió como ganador El Brazo Robótico Imprimible con 6 grados de Libertad. El GUI nos permitió observar El comportamiento de las variables. Resulto que el costo de proyecto 4015.10 soles, comparándolo con el precio de otros brazos con la misma cantidad de ejes y funciones resulta muy ahorrativo fabricarlo.
Al momento de tomar decisiones, el diseño paramétrico revelo ser una primordial herramienta para analizar las partes críticas. Gracias al uso de una metodología de diseño la toma de decisiones en el diseño final se pudo obtener de forma clara. De la comparación económica resulta que el Brazo Robótico es rentable en su construcción con el fin pedagógico.

Palabras claves: *Robótico, imprimible, matriz, factor de seguridad, software, configuración, estructura, planos.*

[1]Adscrito a la Escala Professional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email: fflorescarlos@crece.uss.edu.pe
[2]Adscrito a la Escala Professional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email: zvasquezhugoedi@crece.uss.edu.pe

DESIGN OF A 6 DEGREE FREEDOM ROBOT ARM TO PAINT BLADES IN THE COMPANYAYNI SAC – LA LIBERTAD

Carlos J. Fuentes Flores [1]

Hugo E. Zunini Vasquez [2]

Abstract:

A printable robotic arm of 6 degrees of freedom was designed to paint blades in the company AYNI SAC.

The needs in the company AYNI SAC were found through 5 interviews to Engineers and workers of the company. A global thorough search was conducted to find design rules, and thesis research and scientific articles were reviewed to find design recommendations. 6 functions and concepts that prices could meet our needs, which came a winning concept through a matrix weighted selection criteria were designed. The concept was applied won the design configuration which I was subsequently applied overall dimensions based on a flawless configuration. We proceeded to analyze the design loads exerted to the structure of the robot arm by moments of inertia. He then proceeded to develop the parametric design of the robotic arm with 6 degrees of freedom supported by a ANSYS ACADEMIC considering the varying loads on the structure, material structure. Then a control system for the robotic arm is selected. There was the selection of standard components of the robotic arm. Subsequently modeling software parts 3D printing and drawing up plans Robotic Arm with 6 degrees of freedom was performed. There was the selection of standard components of the robotic arm. Subsequently modeling software parts 3D printing and drawing up plans Robotic Arm with 6 degrees of freedom was performed. There was the selection of standard components of the robotic arm. Subsequently modeling software parts 3D printing and drawing up plans Robotic Arm with 6 degrees of freedom was performed.

In the configuration design he came out as the winner Robotic Arm Print with 6 degrees of freedom. The GUI allowed us to observe the behavior of the variables. It turned out that the cost of project 4015.10 soles, compared with the price of other arms with the same number of axes and functions very economical to manufacture.
When making decisions, parametric design proved to be a primary tool for analyzing the critical parts. By using a design methodology decision on the final design could be obtained clearly. Economic comparison is that the Robotic Arm is FACTORY RESET in its construction with the pedagogical purpose.

Keywords: *Robotic, printable, matrix, security factor, software, configuration, structure, plane.*

[1]Adscrito a la Escala Professional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email: fflorescarlos@crece.uss.edu.pe
[2]Adscrito a la Escala Professional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Pregrado, Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú, email: zvasquezhugoedi@crece.uss.edu.pe

INDICE

DEDICATORIA
AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

1. INTRODUCCIÓN 2
   1.1. Realidad Problemática 2
   1.2. Antecedentes de Estudio. 4
   1.3. Bases Teóricas 7
      1.3.1. Principio de Funcionamiento de Un Brazo Robótico 7
      1.3.2. Diseño y Modelamiento Del Brazo Robótico 8
   1.4. Formulación del problema 14
   1.5. Justificación e importancia 14
      1.5.1. Técnica 14
      1.5.2. Económica 14
      1.5.3. Tecnológica 14
   1.6. Hipótesis 15
   1.7. Objetivos 15
      1.7.1. Objetivo general 15
      1.7.2. Objetivos Específicos 15
2. MATERIAL Y MÉTODOS 17
   2.1. Tipo y diseño de investigación 17
   2.2. Métodos de Investigación 17
      2.2.1. Metodología de diseño 17
   2.3. Población y muestra 19
   2.4. Variables y Operacionalización 19
      2.4.1. Variables Independientes 19
      2.4.2. Variables Dependientes 19
      2.4.3. Operacionalización de variables 20
   2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad 21
   2.6. Criterios Éticos 23
3. RESULTADOS 26
   3.1. Necesidades de la Empresa AYNI SAC 26
   3.2 Selección de la alternativa más óptima de diseño 31
      3.2.1. Normativas de Diseño para Brazos Robóticos 31

3.2.2. Recomendaciones de Diseño para el brazo robótico....32
3.2.3. Hoja de Especificaciones de Ingeniería....34
3.2.4. Diseño conceptual del Brazo Robótico....35
3.2.4.1. Brazo Robótico....35
3.2.4.2. Tipos de Brazos Robóticos....35
3.2.4.3. Partes de Un Brazo Robótico Típico....40
3.2.4.4. Diseño conceptual....42
Concepto N° 1: Brazo robótico de 6 grados de libertad con servomotores....42
Concepto N° 2: Brazo robótico imprimible con 6 GDL de manipulación....43
Concepto N° 3: Brazo robótico con 6 GDL por impresión 3D....44
Concepto N° 4: Mini Robot articulado con 6 GDL de manipulación....45
Concepto N° 5: Brazo de robótico de 6 GDL por impresión 3D....46
Concepto N° 6: Robot Articulado con 6 GDL de manipulación para carga pesada....47
3.2.4.5. Selección del Concepto de Diseño....48
3.2.4.6. Procedimiento....49
3.2.5. Diseño de Configuración....52
3.2.5.1. Explicación:....54
3.3 Dimensionamiento del equipo....57
3.3.1. Procedimiento de Cálculo del Dimensionamiento del Brazo Robótico....57
3.3.2. Seleccionar los materiales para la construcción....58
3.3.3. Selección de Material imprimible:....58
3.3.4. Cálculo cargas de diseño....58
3.3.5. Calculo cinemático....61
3.3.6. Dinámica del brazo robótico....68
3.3.7. Diseño paramétrico parte más crítica del brazo robótico....69
3.3.8. Selección sistema de control del brazo robótico....77
3.3.9. Selección de componentes estándar....78
3.3.10. Modelamiento 3D....80
3.3.11. Elaboración de Planos del Brazo Robótico....81
3.4. Análisis económico....84
3.5. Discusión de Resultados....92
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES....95
4.1. CONCLUSIONES....95
4.2. RECOMENDACIONES....96
REFERENCIAS....98
ANEXOS....101

ANEXO No. 1: ENTREVISTA NECESIDADES EMPRESA AYNI SAC: Enrique Rodríguez Zamora (Gerente General) 102
ANEXO No. 2: ENTREVISTA NECESIDADES EMPRESA AYNI SAC: Alexander Marquina Pérez (Supervisor) 105
ANEXO No. 3: ENTREVISTA NECESIDADES EMPRESA AYNI SAC: Rolando David Rodríguez Mercedes (Supervisor) 108
ANEXO No. 4: ENTREVISTA NECESIDADES EMPRESA AYNI SAC: Guillermo Amaya Gutiérrez...111
ANEXO No. 5: ENTREVISTA NECESIDADES EMPRESA AYNI SAC: Johana Vásquez.....114
ANEXO No. 6: ISO 9787:1999 ROBOTS Y DISPOSITIVOS ROBÓTICOS.....117
ANEXO No. 7: ISO 10218-1:2011 ROBOTS Y DISPOSITIVOS ROBÓTICOS 118
ANEXO No. 8: ISO 9409-2:2002 ROBOTS Y DISPOSITIVOS ROBÓTICOS 119
ANEXO No. 9: ISO 9946:1999 MANIPULACIÓN DE ROBOTS INDUSTRIALES 120
ANEXO No. 10: FICHAS TECNICAS.....121
ANEXO No. 11: MODELAMIENTO IMPRESORA 3D.....127
ANEXO No. 12: PLANOS BRAZO ROBOTICO 6 GDL 137
ANEXO No. 13: PESOS COMPONENTES BRAZO ROBOTICO 159
ANEXO No. 14: CALCULO CARGAS BRAZO POSICION DE REPOSO 177
ANEXO No. 15: CARGAS ARTICULACION 01.....179
ANEXO No. 16: PROCESO DE PINTADO 181
ANEXO No. 17: ANALISIS DE VELOCIDAD – MATRIZ JACOBIANA.....184

CAPITULO I
INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

La tecnología de manufactura aditiva ha evolucionado sustancialmente desde sus orígenes a inicios de la 1980 como un instrumento útil para los fabricantes y diseñadores de prototipos en diferentes áreas incluyendo ciencias biológicas, médicas, desarrollo de micro dispositivos, e ingeniería y manufactura (Kalsoom, 2018). Alrededor del mundo, diferentes compañías están empleando los avances de la tecnología denominada "impresión tridimensional", por ejemplo, la empresa Kamer Maker en Holanda que ha hecho uso de la impresión 3D con diversos plásticos y fibras de madera para la construcción de viviendas en escala real, también la multinacional Nike ha diseñado el botín de futbol "Vapor Laser Talon" completamente por impresión 3D. En china, investigadores han impreso órganos del cuerpo humano como orejas o narices empleando Bio-impresoras 3D que utilizan células vivas (Noguera, 2014). La realidad es que con sus aplicaciones los campos de industria, medicina, ingeniería, entre otros, la impresión 3D ha dado pasos agigantados hasta convertirse en un elemento importante de la manufactura moderna.

Álvarez-Medel, (2015) existe una amplia variedad de mecanismos, componentes electrónicos y herramientas computacionales desarrollados para el uso de la robótica. Sin embargo, existen casos en que la fabricación de robots requiere de piezas especiales. En tales casos, se recurre a métodos de manufactura aditiva, adaptación de piezas y otras alternativas que solucionen los inconvenientes. Es posible fabricar manipuladores robóticos con impresión 3D. Por otra parte, Barlett et al. (2015) construyeron diferentes robots impresos en 3D impulsados por combustión para el salto con el fin de evaluar el comportamiento de diferentes configuraciones de robot según la rigidez (cantidad de material) con la que eran impresas las piezas. Los resultados mostraron que los robots pueden realizar una gran cantidad de tareas con tan solo cambiar el actuador, pueden ser trabajos como ensamblaje, soldadura, pintado, atornillado, pulido, etc. Por otra parte, Reyes - Cid (2016), diseñaron y construyeron el EpsilonRobot el cual puede ser empleado en una gran cantidad de aplicaciones como pintado de

objetos, estibo de cajas, rehabilitación en rutinas de fisioterapia, etc.; gracias a su complejo algoritmo de control con el que opera su programación.

El Perú es un país que está rezagado en comparación con las grandes potencias mundiales en los avances de la manufactura aditiva. Asimismo, la robótica ha tenido un ingreso lento y pausado, siendo pocas las empresas que implementan sistemas robotizados debido a la gran inversión que supone. La incursión de robots es de mucha importancia en el ámbito industrial para realizar trabajos que resulten dificultosos o peligrosos para los trabajadores. Por ejemplo, Alicorp cuenta con robots en sus líneas de empaque, la empresa Nova Industrial Tools ha adquirido un brazo robótico para realizar trabajos de soldadura, la Sociedad Minera Cerro Verde cuenta con un robot Pterodáctilo que trabaja bajo materiales acumulados, o de difícil acceso, protegiendo el terreno contra la caída de material fino, la empresa Minera Yanacocha cuenta con Geobot, un robot minero explorador que transporta y clasifica muestras de mineral el cual puede usarse en tareas de rescate en minas subterráneas (Semana Económica, 2017). En el ámbito académico, instituciones como SENATI y PUCP cuentan con un Brazo robótico KUKA con fines didácticos y un manipulador robótico para aplicaciones de servicio personal, respectivamente.

AYNI SAC es una empresa multidisciplinaria, cuyas actividades principales son: Fabricación de líneas de vida, perforación de pozos, Mantenimiento e instalación de torres de enfriamiento y Diseño de alabes en fibra de vidrio. La empresa desde su fundación ha ido innovando pues, se inició en el rubro de las líneas de vida luego en los años siguientes se expandió a la perforación de pozos subterráneos y en los últimos años ha abarcado el diseño y fabricación de torres de enfriamiento y alabes para ventiladores en fibra de vidrio. En la actualidad la empresa es miembro del Cooling Technology Institute (CTI), que certifica las operaciones en refrigeración y torres de enfriamiento. Entre sus perspectivas está el incursionar en el área del balanceo dinámico de quipos rotativos, que complementaria los servicios que prestan actualmente. Con la finalidad de mejorar tales servicios es que la empresa AYNI SAC ha mostrado un creciente interés en reducir el tiempo empleado en algunos de sus procesos para lograr un aumento de la productividad en la empresa. Entre los procesos productivos que se

realizan dentro de la empresa, el pintado manual de alabes, por las características que presenta se puede sustituir por un sistema robótico automatizado permitiendo así eliminar la necesidad de emplear un operario para dicha tarea, reducir el tiempo de ejecución del proceso, mejorar la calidad y presentación final de los alabes.

En el proceso de pintado el operario se encarga de esparcir uniformemente una pintura a base de resina epoxi en ambas partes del molde del alabe, esta pintura forma la capa exterior del alabe que al cercarse se logra un acabado de alta calidad en la superficie. El método empleado en el pintado del alabe es llamado Spray-up que es adecuado para este tipo de pintura, y para ser aplicado adecuadamente el sistema automatizado de pintado debe ser capaz de operar en diversas posiciones y con buena precisión en la repetividad del proceso, es así que la opción adecuada para esta tarea es emplear un brazo robótico con varios grados de libertad que permita realizar el pintado con la precisión y versatilidad requerida.

Por esta razón, en este proyecto de investigación se propone diseñar un Brazo Robótico con 6 Grados de Libertad, versátil y capaz de realizar un mayor número de movimientos, de tal manera que permita incrementar la productividad en la empresa AYNI SAC.

1.2. Antecedentes de Estudio.

Los siguientes trabajos de investigación son antecedentes en los cuales se apoya este proyecto de investigación.

Muñiz-Garcia et al. (2015), en su trabajo de tesis “Concrete 3d printing with robotic arm application” determinó la viabilidad de la impresión 3D mezclas de concreto. Para esto, fabricó un prototipo de impresora 3D con la finalidad de experimentar diferentes configuraciones de dicho sistema de impresión. Obtuvo que cuando se cambió el tipo de material, se debían hacer nuevos ajustes en la boquilla del sistema como también ajustes en la velocidad de movimiento del brazo robótico. Se llegó a la conclusión de que la impresión de concreto necesita que los parámetros de impresión cambien cuando se emplean diferentes materiales para distintas aplicaciones.

Bonini-Iyer (2014), en su artículo científico “Robotic hand in motion using arduino-controlled servos” diseñó un prototipo de prótesis utilizando Flexy Hand, un prototipo de mano imprimible para ayudar a las personas amputadas a obtener un reemplazo funcional a un costo viable. Durante el desarrollo experimentó con diferentes tipos de siliconas para determinar el más material más eficiente. Para eludir los costosos y frustrantes métodos de control asociados con prótesis mioeléctricas, desarrolló una aplicación de teléfono inteligente en Android que facilita al usuario elegir uno de los cinco gestos programados que desea que la mano realice. Se obtuvo que el material más eficiente para las prótesis es el ABS ya que es más flexible que el PLA y que el dispositivo es amigable con el usuario, permitiendo emplear diferentes gestos.

M.R. de Gier (2015), en su tesis “Control of a robotic arm: application to on surface 3d-printing” imprimió estructuras 3D en superficies dobles curvas y rápidas con la ayuda de un brazo robótico, además logró demostrar que el brazo puede ser beneficioso para la fabricación de aditivos. Obtuvo romo resultado impresiones precisas gracias al control que se empleó en el brazo robótico más el buen desempeño de la impresora 3D. Se llegó la conclusión que cada vez se pueden vincular más sistemas mecánicos para que ejecuten una tarea con mayor eficiencia y rapidez.

Sánchez A, (2011), en su artículo “Diseño y construcción de un brazo robot articulado de seis grados de libertad” diseño y construyo un prototipo de brazo con 6 GDL empleando herramienta de CAD, además de realizo distintos análisis para el buen desempeño del brazo robótico, elaboro un manual de usuario y manual de mantenimiento preventivo. Muestra los distintos elementos empleados en su construcción motores de corriente directa, una interfaz electrónica para el control de posición conectada al puerto paralelo de una impresora, así como el software de automatización virtual (LabView). Llegó a la conclusión que a pesar que el proyecto está 100% terminado tiene la posibilidad de ser modificado, del mismo modo determino que el software con el que está programado puede ser

modificado, siempre y cuando se tenga conocimiento basados en la programación en el lenguaje grafico LabView.

Rodríguez (2012), en su trabajo "Modelo cinemático y control de un brazo robótico imprimible" determino el modelo cinemático, el control y la simulación mediante un ordenador de un brazo robótico imprimible. Para ello, se ha diseñado e implementado un programa que adhiere una interfaz gráfica que representa la posición y orientación del brazo tridimensionalmente. Gracias a ese programa logra determinar los valores de los ángulos de los ejes y la posición del extremo del robot. Elaboró el modelo absoluto cinemático del brazo robótico. Se llegó a la conclusión que gracias al algoritmo de Denavit – Hartenber puede ser solucionado la cinemática directa del brazo. Así mismo por la complejidad de la cinemática inversa puede usarse el método geométrico para determinar esta. Se obtuvo que un brazo robótico imprimible puede ser adquirido a bajo costo, que puede desarrollarse con un método de control y simulación de fácil manejo. Y que gran parte de los brazos robóticos pueden ser modificación, y mejorados.

Hassan (2015), en su proyecto "Simulation of Spray Painting Using Articulated– Arm Robot" logro simular la trayectoria que realiza un brazo robótico articulado en superficies geométricas con pintura pulverizada en aerosol. El sistema que desarrollo utiliza información de la superficie regida para el pintado, así mismo la cantidad de salida de pintura por aspersión. La simulación la realizó mediante el software de Matlab, el cual fue evaluado por el sistema Labvolt, así mismo determino la importancia de la trayectoria generada por el brazo articulado para lograr un rendimiento satisfactorio. Además llego a la conclusión de que el método puede ser utilizado como un sistema de generación de trayectoria fuera de líneas para superficies regladas.

López (2009), en su tesis "MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DINÁMICA DE UN BRAZO ROBÓTICO DE 4 GRADOS DE LIBERTAD PARA TAREAS SOBRE UN PLANO HORIZONTAL", sustenta la modelación y simulación de la dinámica inversa de un robot articular de cuatro grados de libertad que mediante un láser ejecuta cortes de precisión en madera sobre una superficie de trabajo definida en un plano horizontal. No obstante, podría ser empleado también en procesos como pintado y pulido de elementos o estructuras. Este trabajo es una

parte de un proyecto multidisciplinario impulsado por tesistas de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Electrónica que apuntan al desarrollo de máquinas automáticas industriales para uso en nuestro país, asimismo, obtener las herramientas y el conocimiento para poder mejorar nuestros propios procesos.

Troncos (2016), en su tesis "Diseño y ensamble de un brazo robot como módulo de laboratorio para el escaneo de curvas en 3d" determino el diseño de un de un brazo manipulador adaptado para la obtención de curvas en el espacio virtual. Logro la construcción de un brazo mecánico con cinco grados de libertad al que se le añadió cinco encoders ópticos incrementales que generan señales digitales de posición, y cuya información se procesó en Arduino, y gracias a la interfaz gráfica de MatLab logro el diseño del brazo. Llego a la conclusión que al laborar un número pequeño de encoders en simultáneo, es mucho más eficiente el proceso de escaneo; porque la programación en Arduino está diseñada para preguntar Secuencialmente por el cambio de cada uno de los encoders hasta que termine el bucle.

1.3. Bases Teóricas

1.3.1. Principio de Funcionamiento de Un Brazo Robótico

Un brazo robótico está formado por segmentos enlazados por los ejes. El computador dirige el brazo robótico girando los motores individuales establecidos en este. Estos motores se movilizan en longitudes exactas. Esto origina que el computador pueda movilizar el brazo de una manera exacta, repitiendo de forma precisa el mismo movimiento una, otra y otra vez. El brazo robótico utiliza los sensores de movimiento para poder movilizarse justamente lo necesario. (Croxwell-2012)

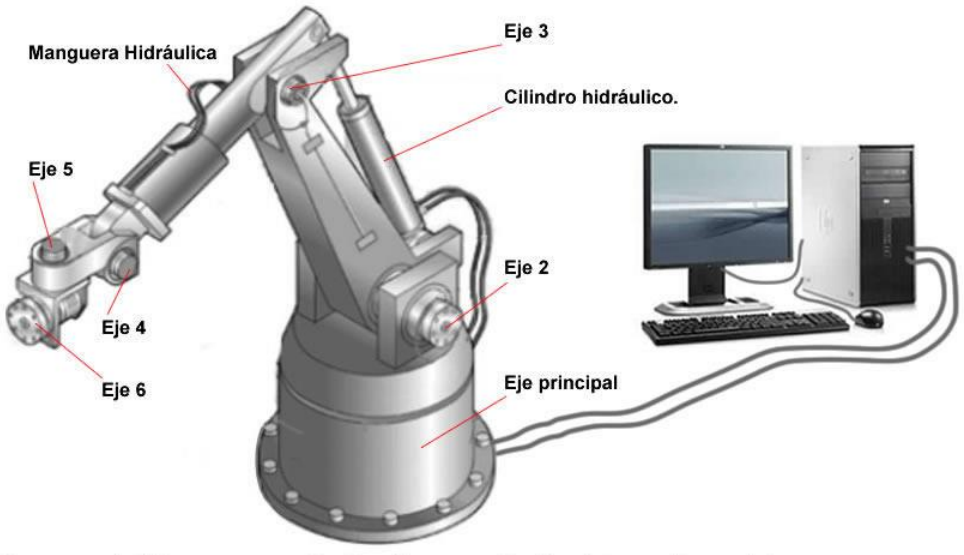


***Figura 1**: FUNCIONAMIENTO BRAZO ROBÓTICO*

***Fuente** Inventos* Modernos. (2019).

1.3.2. Diseño y Modelamiento Del Brazo Robótico

Para la construcción del brazo robótico mediante impresión 3D, se debe realizar el dibujo tridimensional de cada uno de sus partes. Deben obtenerse el cálculo del centro de masas, fuerzas centrípetas, efectos inerciales, análisis estático y el ensamble, selección del material, cálculo de espesor de la carcasa; y para lograr esto se debe utilizar ecuaciones del movimiento de Euler Lagrange.

Cálculos de grados de libertad del brazo: Para la obtención de la cantidad de grados de libertad se debe tener en cuenta la estructura completa del brazo, los grados de libertad son obtenidos mediante la aplicación de la fórmula de Grübler-Kutzbach, se debe consideras la cantidad de eslabones y el tipo de junta del mecanismo.

$$\boldsymbol{M = 3(L - 1) - 2J1 - J2} \quad \textbf{…. (}\textit{\textbf{Ecuación 1}}\textbf{)}$$

Donde:

M = Grados de libertad

L = Número de eslabones

J1 = Número de junta de 1 grado de libertad

J2 = Número de junta de 2 grado de libertad

El modelo cinemático es un procedimiento que puntualiza las relaciones estáticas entre las coordenadas cartesianas, las posiciones de las articulaciones de un robot y la posición de su actuador final. (Stone, 1986).

1.3.2.1. Modelado Cinemático Directo

La determinación de las posiciones espaciales mediante posiciones angulares es el principal objetivo de este modelado, para este es utilizado el algoritmo de Denavit-Hartenberg, Este permiten conseguir la forma estructurada de un sistema de coordenadas unido a cada eslabón.

En este método es necesario una matriz de transformación homogénea para detallar la relación espacial entre dos elementos mecánicos rígidos adyacentes y disminuir el problema Cinemático directo gracias a que es hallado una matriz de transformación homogénea 4 x 4 que vincule el desplazamiento espacial del sistema de coordenadas de la mano al sistema de coordenadas de referencia. Estas matrices son necesarias que logran determinar las ecuaciones dinámicas de movimiento del brazo del robot. (Estrella, 2014)

- **Parámetros de Denavit-Hartenberg**

Más conocida como parámetros DH, permite posicionar los sistemas de coordenadas de los eslabones en los sistemas robotizados. Permite con tan solo cuatro parámetros determinar los cambios relativos entre eslabones, siendo la cantidad de parámetros para configuraciones genéricas, un ejemplo se observa en la Figura Nº 2. (Wiki. Robótica). Los parámetros de Denavit-Hartenberg de nuestro diseño de brazo robótico de 6 grados de libertad se observan en la Tabla Nº 1.

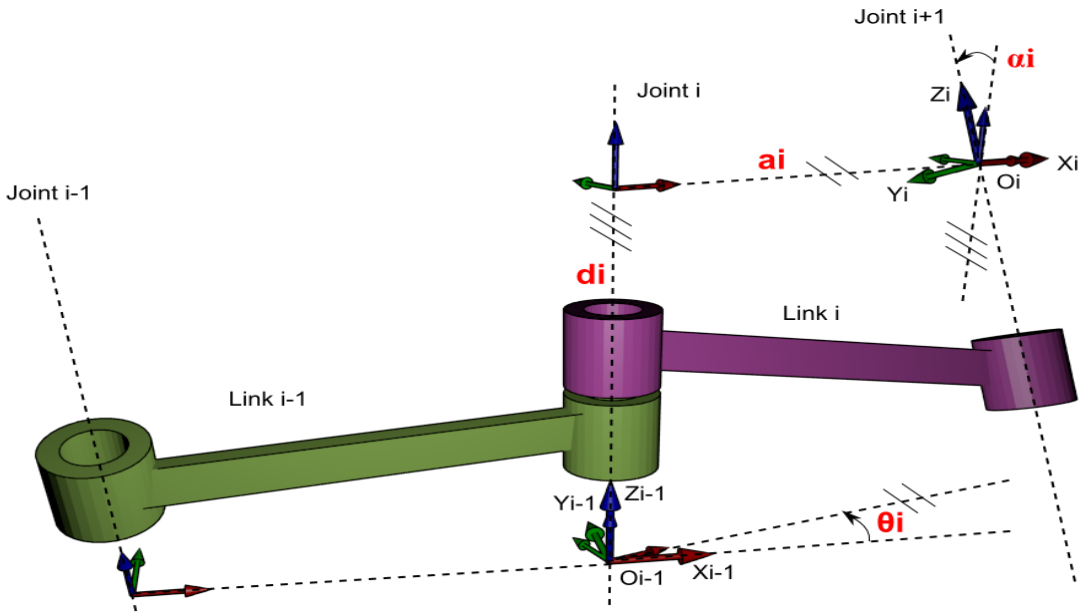


Figura 2*: PARÁMETROS DENAVIT - HARTENBERG*

Fuente: Wiki. Robótica. (2019).

Tabla N°1:

Parámetros de Denavit-Hartenberg

I	$\boldsymbol{\alpha_1}(°)$	$\boldsymbol{a_i(cm)}$	$\boldsymbol{\theta_i}(°)$	$\boldsymbol{d_i(cm)}$
1	90	0	θ_1	L1
2	0	L2	θ_2	0
3	90	0	θ_3+90	0
4	90	0	$-\theta_4$+90	L3
5	90	0	θ_5+180	0
6	0	0	θ_6	L4

Donde:

α_1: Ángulo que forman los ejes eje Z_{i-1} y Z_i en relación al eje X_i

a_i: Distancia medida desde el eje Z_{i-1} hacia el eje Z_i

θ_i: Ángulo que forman los ejes X_{i-1} y X_i con respecto al eje Z_{i-1}

d_i: Distancia desde el eje de rotación a la intersección de la perpendicular común entre Z_{i-1} y Z_i.

- **Matrices de Transformación**

$$ {}^{0}T_6 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & {}^{0}P_6^X \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & {}^{0}P_6^Y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & {}^{0}P_6^Z \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \textbf{…. (}\textbf{\textit{Ecuación 2}}\textbf{)} $$

Después de obtener las matrices de transformación para cada eslabón, el modelo cinemático directo se obtiene al multiplicar todas las matrices

$$ {}^{0}T_6 = {}^{0}T_1^1 T_2^2 T_3^3 T_4^4 T_5^5 T_6 \quad \textbf{…. (}\textbf{\textit{Ecuación 3}}\textbf{)} $$

1.3.2.2.Modelado Cinemático Inverso

El modelo cinemático inverso es el que posibilita la obtención de las variables articulares del robot en función del emplazamiento y orientación del efector final ansiada. El modelo cinemático inverso implica la resolución de sistemas de ecuaciones no lineales que involucran senos y cosenos. Al instante en que es resuelto el sistema de ecuaciones se debe priorizar si existen respuestas dentro del espacio de trabajo del robot. En conclusión con la cinemática inversa determinamos las ubicaciones angulares por medio de las posiciones cordiales. (Ollero, 2001)

- **Método algebraico**

El método algebraico nos sirve para identificar las ecuaciones que contienen las variables conjuntas y la manipulación del brazo en una forma sencillo. (Saha-2008)

$$ C_1 \cos\theta_i + C_2 \sin\theta_i + C_3 = 0 \quad \textbf{…. (}\textbf{\textit{Ecuación 4}}\textbf{)} $$

Donde C1, C2 y C3 son constantes. La solución a tal ecuación es:

$$ \theta_1 = 2\,tan^{-1}\left(\frac{C_2 \pm \sqrt{C_2^2 - C_3^2 + C_1^2}}{C_1 - C_3}\right) \quad \textbf{…. (}\textbf{\textit{Ecuación 5}}\textbf{)} $$

Hay casos especiales donde es común encontrar constantes con valor igual a cero. El desarrollo a un par de ecuaciones que tienen este caso:

$$C_1 \cos\theta_i + C_2 \sin\theta_i + C_3 = 0 \qquad \textbf{…. (}\textbf{\textit{Ecuación 6}}\textbf{)}$$

$$C_1 \sin\theta_i - C_2 \cos\theta_i + C_4 = 0 \qquad \textbf{…. (}\textbf{\textit{Ecuación 7}}\textbf{)}$$

Es una estrategia particular ya que da un solo valor como resultado:

$$\theta_i = A\tan 2(-C_1C_4 - C_2C_3, C_2C_4 - C_1C_3) \qquad \textbf{…. (}\textbf{\textit{Ecuación 8}}\textbf{)}$$

ANÁLISIS DE VELOCIDAD: La Matriz Jacobiana:

En las secciones previas se mostraron ecuaciones cinemáticas que decretan las relaciones entre las variables de las articulaciones y la posición y orientación del efector final. En esta sección se presentará la relación entre las velocidades de articulaciones y las velocidades lineales y angulares correspondientes del efector final. Dicha representación de la relación se describe a través de una matriz que se denomina Jacobiana, la cual depende de la configuración del manipulador. La matriz Jacobiana es una de las herramientas de mayor importancia para la caracterización de manipuladores. Por tanto, sirve para (Saha-2008):

- Determinar configuraciones particulares.
- Analizar redundancias.
- Definir algoritmos de cinemática inversa para el análisis de velocidad.
- Detallar la relación entre las fuerzas aplicadas al efector final y los pares de torsión resultantes en las articulaciones.
- Deducir los algoritmos de dinámica.

Tal ecuación puede representarte de manera compacta como:

$$t_e = J\dot{\theta} \qquad \textbf{…. (}\textbf{\textit{Ecuación 9}}\textbf{)}$$

Donde:

$$J = \begin{bmatrix} J_\omega \\ J_v \end{bmatrix} \qquad \textbf{…. (}\textbf{\textit{Ecuación 10}}\textbf{)}$$

- J_ω *y* J_v: son las matrices de $3xn$ que describen la contribución de las velocidades de las articulaciones $\dot{\theta}$ a la velocidad angular del efector final ω_e y la velocidad v_e, respectivamente.

  A continuación se derivará la expresión general para la matriz Jacobiana anteriormente planteada, puesto que el efector final es el cuerpo $n-esimo$ de la cadena seria, la velocidad ω_e y v_e, respectivamente, se obtienen a partir de las velocidades del $n-esimo$ eslabón, es decir ω_n y $\dot{o}_n$, como:

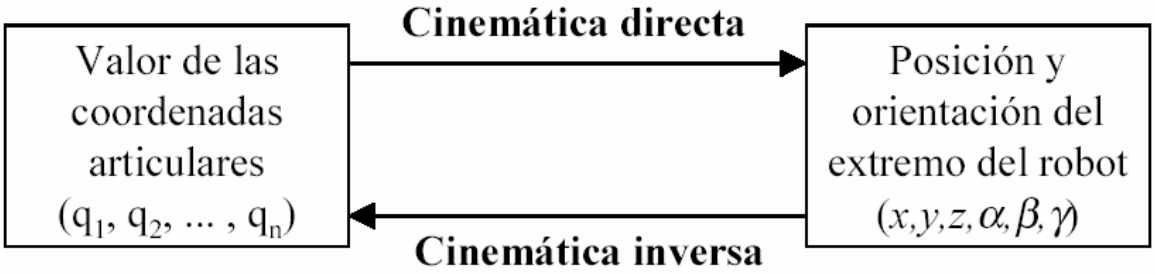
$$\omega_e = \omega_n, y\ v_e = \dot{o}_n + \omega_n x a_{ne} \qquad \textbf{…. (}\textbf{\textit{Ecuación 11}}\textbf{)}$$

- Donde a_{ne} es el vector de posición tridimensional del efector final respecto al origen del $n-esimo$ eslabon de $\dot{o}_n$.

  Según la ecuación anterior, la matriz Jacobiana *J* puede escribirse como:

$$J = \begin{bmatrix} e_1 & e_2 \dots \dots & e_n \\ e_1 x a_{1e} & e_2 x a_{2e} \dots & e_n x a_{ne} \end{bmatrix} \qquad \textbf{…. (}\textbf{\textit{Ecuación 12)}}$$

  Donde $a_{i,e} = a_{i,n} + a_n$ es un vector para $i = 1,2$, y J es la matriz de $6xn$.



$$q_1 = f_1(x,y,z,\alpha,\beta,\gamma) \qquad x = f_x(q_1, q_2, \dots, q_n)$$
$$q_2 = f_2(x,y,z,\alpha,\beta,\gamma) \qquad y = f_y(q_1, q_2, \dots, q_n)$$
$$\vdots \qquad\qquad z = f_z(q_1, q_2, \dots, q_n)$$
$$\alpha = f_\alpha(q_1, q_2, \dots, q_n)$$
$$\beta = f_\beta(q_1, q_2, \dots, q_n)$$
$$q_n = f_n(x,y,z,\alpha,\beta,\gamma) \qquad \gamma = f_\gamma(q_1, q_2, \dots, q_n)$$

***Figura 3**: RELACIÓN CINEMÁTICA DIRECTA E INVERSA*

Fuente: IAR234 Robótica (2019).

1.4. Formulación del problema

¿Cuál será la forma geométrica y especificaciones para un brazo robótico de 6 Grados de Libertad (GDL) implementado al proceso de pintado de alabes de la empresa AYNI SAC - LA LIBERTAD?

1.5. Justificación e importancia

1.5.1. Técnica

La empresa AYNI SAC. Podrá contar con los planos de fabricación de un robot imprimible para la capacitación de los empleados en el manejo, control y diseño de sistemas robóticos automatizados. Asimismo, la entidad contara con un documento base para el posterior diseño, construcción, mejora y mantenimiento del brazo robótico.

1.5.2. Económica

Dado que el presente proyecto propone un equipo para optimizar el pintado de alabes, la ganancia económica seria considerable, puesto que haciendo comparaciones con respecto a otros equipos similares (costos de materiales, tiempo para su construcción y mano de obra) la inversión sería mínima.

1.5.3. Tecnológica

Gracias a la presencia de equipos tecnológicos de última generación como es el caso del brazo robótico, la imagen de la empresa se verá beneficiada a gran escala; asimismo, la eficiencia y calidad del producto final auspiciado por tal mecanismo, garantizara mayor estatus y rango comercial.

1.6. Hipótesis

No aplicable a este tipo de Investigación

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Diseñar un brazo Robótico de 6 GDL para el incremento de productividad de la empresa AYNI SAC.

1.7.2. Objetivos Específicos

1. Determinar los parámetros de pintado de alabes la empresa AYNI SAC, extrayendo los rangos operativos de la maquina bajo la normativa actual.

2. Optar mediante una matriz de criterios ponderados la opción más viable para el diseño de brazo robótico.

3. Determinar las dimensiones del brazo robótico a través de cálculos, seleccionar materiales y elementos electromecánicos mediante un análisis paramétrico.

4. Elaborar el control de la cinemática para el brazo robótico.

5. Realizar el estudio económico del brazo robótico de 6 grados de libertad.

CAPITULO II
MATERIAL Y MÉTODO

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo: Cuantitativo

Diseño: Investigación pre-experimental

2.2. Métodos de Investigación

2.2.1. Metodología de diseño

El método de investigación seleccionado está basado en el modelo propuesto Dieter & Schmidt, 2013, y está constituido por los pasos que se describen a continuación. Del mismo modo el diagrama de flujo de la metodología de diseño se observa en la Figura Nº 4.

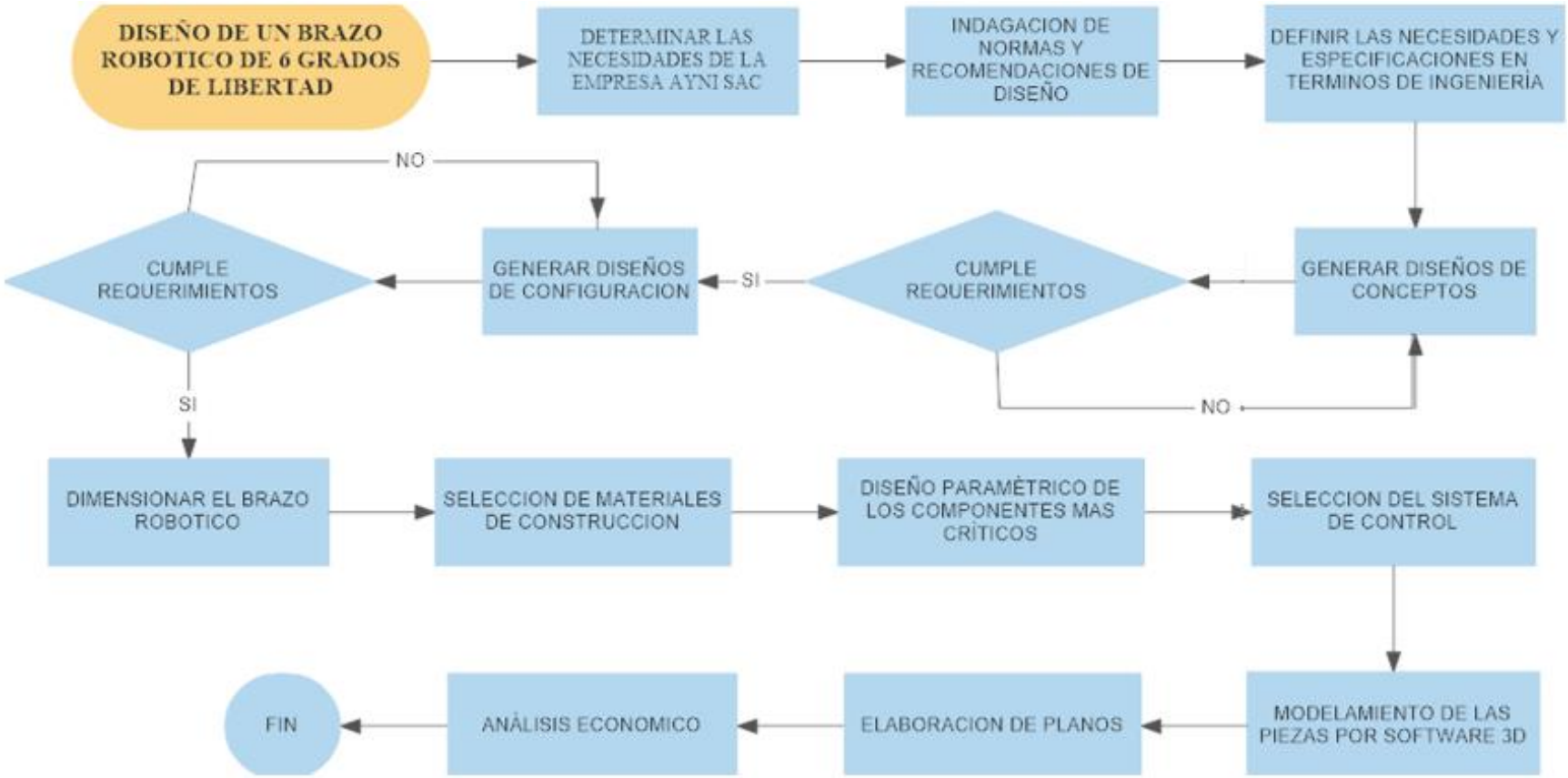


Figura 4 *Diagrama de flujo de metodología de diseño*

Fuente: Propia

2.3. Población y muestra

No aplicable a este tipo de investigación

2.4. Variables y Operacionalización

El presente trabajo de investigación es un diseño de ingeniería el cual esta coligada a una metodología. En esta investigación se aplicara una aclimatación del esquema de variables apoyándose en el trabajo de conocedores en el área de diseño. (Dieter, 2013)

2.4.1. Variables Independientes

Las variables independientes del Brazo Robótico de 6 grados de libertad, se presentan a continuación:

a) Flujo volumétrico de pintura
b) Distancia de pintura
c) Cobertura teórica de pintado
d) Longitud de cada eslabón
e) Masa de cada eslabón
f) Resistencia del material

2.4.2. Variables Dependientes

Las variables dependientes del Brazo Robótico de 6 grados de libertad, se describen a continuación:

a) Velocidad de cada eslabón
b) Aceleración de cada eslabón
c) Torque de cada motor
d) Factor de seguridad

En la tabla 2 se visualizan la Operacionalización de las variables dependientes e independientes empleadas en la tesis.

2.4.3. Operacionalización de variables

Tabla N°2:
Operacionalización de las variables

VARIABLE	DIMENSION	INDICADORES	INDICE	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS
Independientes	Flujo volumétrico de pintura	Cantidad de pintura por cada alabe	Q (1/min)	Análisis de documentos
	Distancia de pintado	Cantidad de pintura por unidad de longitud	MPa	Análisis de documentos
	Cobertura teórica de pintado	Longitud máxima que cubre la pintura sobre la superficie	TSA (mm)	Análisis de documentos
	Longitud de cada eslabón	Largo – Ancho - Altura	L (m)	Encuestas y análisis de datos
	Masa de cada eslabón	Cantidad de materia de cada elemento	M (kg)	Análisis de documentos
	Resistencia del material	Nivel de esfuerzo que es capaz de soportar el material antes iniciar la falla	S_y (MPa)	Análisis de documentos
Dependientes	Velocidad de cada eslabón	Cambio de posición con respecto al tiempo	V (m/s)	Análisis de documentos
	Aceleración de cada eslabón	Variación de velocidad por unidad de tiempo	a (m/s^2)	Análisis de documentos
	Torque de cada motor	Momento de fuerza	T (N.m)	Análisis de documentos
	Factor de seguridad	Relación entre el esfuerzo permitido y el esfuerzo aplicado	FS (adim)	Análisis de documentos

2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Para la recolección de la información del presente trabajo de investigación utilizaremos las siguientes técnicas:

Técnica del gabinete: En el proyecto del brazo robótico utilizaremos la técnica del fichaje, entre las fichas que emplearemos tenemos: ficha bibliográfica, textual, de resumen, comentario, las que permitirán recoger información y enriquecer el marco teórico de la investigación. Las fuentes serán de tipo bibliográficas y hemerográficas, así como libros digitales y artículos de revistas digitales que sean accesibles a través del internet.

Técnica Entrevista: La entrevista nos permite la recolección de información, mediante un dialogo que se da entre una, dos o más personas donde un entrevistador es el encargado de lanzar las preguntas. (https://concepto.de/?s=entrevista)

En este caso la entrevista se realizara al Gerente general, dos ingenieros y dos trabajadores de la empresa AYNI SAC, con la finalidad de conocer las necesidades de esta, y los beneficios que obtendrían con la construcción y diseño de un brazo robótico.

Diagrama de flujo de recolección de datos

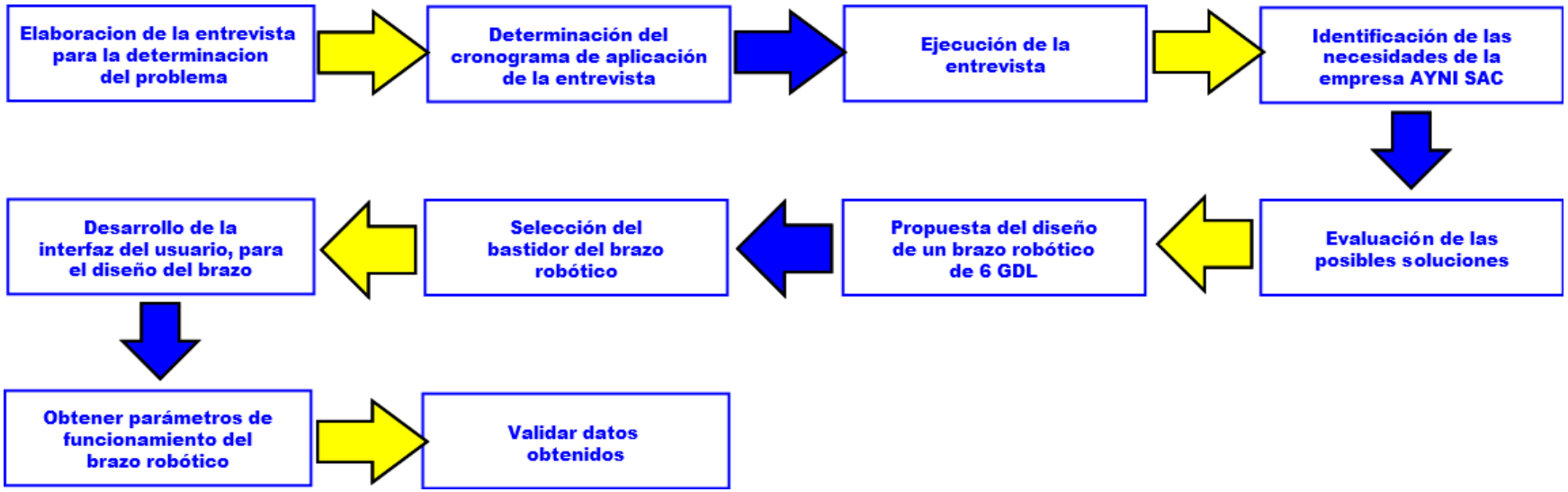


***Figura* 5:** Flujo de datos

Fuente: Propia

2.6. Criterios Éticos

Nos comprometes a respetar nuestros principios personales como la responsabilidad, la honestidad, la dedicación y profesionalismo teniendo en mente el respeto a la ética profesional del colegio de ingenieros del Perú (CIP) y a la ética de la Universidad Señor de Sipán (USS).

Código de ética del CIP (Colegio de Ingenieros del Perú) aprobada en la III SECCION ORDINARIA del congreso nacional de consejos departamentales del periodo 1998-1999 en la ciudad de Tacna 22, 23, 24 de abril de 1999.

Art. 1.- Los ingenieros están al servicio de la sociedad. Por consiguiente tienen la obligación de contribuir al bienestar humano dando importancia primordial a la seguridad y adecuada utilización de los recursos en el desempeño de sus tareas profesionales.

Art. 4.- Los ingenieros reconocerán que la seguridad de la vida, la salud, los bienes y el bienestar de la población y del público en general, así como el desarrollo tecnológico del país dependen de los juicios, decisiones incorporados por ellos o por su consejo, en dispositivos, edificaciones, estructuras, maquinas, productos y procesos. Por ninguna razón pondrán sus conocimientos al servicio de todo aquello que afecta la paz y la salud.

Art. 5.- Los ingenieros cuidarán que los recursos humanos, económicos, naturales y mate-riales, sean racional y adecuadamente utilizados, evitando su abuso o dispendio, respetarán y harán respetar las disposiciones legales que garanticen la preservación del medio ambiente.

Art. 11.- Los ingenieros serán objetivos y veraces en sus informes, declaraciones o testimonios profesionales.

Art. 16.- Los ingenieros no participaran en la diseminación de conceptos falsos, injustos o exagerados acerca de la ingeniería

Código de ética de la USS (Universidad Señor de Sipán) versión 2.0, aprobada con resolución del directorio N° 024-2017/USS.

Artículo 1°: Finalidad

El Código de Ética de investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS), tiene como finalidad proteger los derechos, la vida, la salud, la intimidad, la dignidad y el bienestar de la(s) persona(s) que participan en una actividad de investigación Científica, Tecnológica e innovación, ciñéndose a los principios éticos acogidos por la normativa nacional e internacional, y los acuerdos suscritos por nuestro país en la materia.

Artículo 2°: Objetivo

El Código de ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán tiene por objetivo definir los principios éticos que orientan la actividad investigativa y su gestión, por las autoridades, investigadores, docentes, estudiantes y egresados de la USS.

Artículo 6°: Son principios específicos para los investigadores:

a) Respeto al derecho de propiedad intelectual de los investigadores o autores
b) Citar y referenciar adecuadamente las fuentes que se hayan incluido en el estudio, tal como se establece en las normas internacionales e institucionales.
c) Se reconocerán la participación y contribución, solamente de los participantes en la investigación.
d) La información obtenida se utilizará con la debida reserva y se utilizará para propósitos de los objetivos de la investigación.

Artículo 7°: Son deberes éticos de los investigadores:

a) Autonomía.
b) Responsabilidad.
c) Profesionalismo.
d) Compromiso con la sociedad.
e) Supervisión.
f) Desarrollo profesional.

CAPITULO III
RESULTADOS

3. RESULTADOS

3.1. Necesidades de la Empresa AYNI SAC

Esta fase de determinación de las necesidades del cliente es vital en todo tipo de diseño, ya sea diseño original (desde cero) u otro tipo de diseño (Dieter y Schmidt, 2007). Esta fase permite diferenciar las reales necesidades del cliente versus los deseos del cliente. Asimismo, permite evitar problemas futuros contractuales debido a malentendidos entre cliente-diseñador, diseñador-fabricante y cualquier otra combinación de actores del proceso de diseño y ulterior fabricación o ensamble. Debe entenderse que esta información es referencial mas no determinante, puesto que el ingeniero diseñador traducirá en la Hoja de especificaciones de ingeniería (ver Ítem 3.2.3) los lineamientos que delimitaran el diseño, sea este original (desde cero) o de otra índole. Como se puede ver en el ítem indicado esta hoja considera el resultado de las entrevistas como un factor necesario mas no determinante para el diseño propuesto, dado que esta hoja es producto además de la familiarización con la normativa existente, el fundamento teórico y técnico establecido, el juicio ingenieril y el sentido común.

Las necesidades de la empresa AYNI SAC se determinaron mediante un registro visual de sus instalaciones; además se aplicaron 5 entrevistas (ver formato en anexo N°1 hasta 5) al personal de la empresa entre ellos al Gerente General, ingenieros cargo de la supervisión y operarios.

Se elaboró un esquema a partir de los resultados de las entrevistas ejecutadas que se visualizan en la tabla N°3.

Las conclusiones que resultan de la tabla Nº 3 se describen a continuación:

a) Número de personas al Proceso de pintado

En la empresa AYNI SAC actualmente elaboran el proceso de pintado con dos personas por álabe.

b) Proceso a emplearse el brazo en AYNI SAC

Los entrevistados piensan que podrían emplear el brazo en laminado, moldeado en vacío, pintado de álabes, corte con láser.

c) Dimensionado

Según las entrevistas el largo debe presentar una dimensión promedio entre 1,5 m y 3 metros. Del mismo modo el ancho menor a 50 cm. Y la altura entre 50 cm y 3 metros.

d) Material de Partes

Los entrevistados piensan que las mejores opciones para la fabricación de las partes del brazo robótico serian: Aluminio, PLA, ABS.

e) Mecanismo

Gracias a las entrevistas se pudo resumir que los mecanismos que podrían usar serian: pistolas de pintar, pistola para laminar, sopletes, pinzas, etc.

Finalmente se orientó la aplicación del brazo robótico al proceso de pintado, el cual se describe a continuación:

Dos operarios proceden a tomar el álabe fabricado, y colocarlo sobre una plataforma base donde el álabe pueda ser pintado correctamente, luego con un atomizador rocían la pintura a lo largo de la superficie del álabe, quedando a su criterio la cantidad a utilizar. Luego de realizar este proceso, le pone sobre otra mesa donde lo ubican con el fin de que seque la pintura vertida, ver esquema N° 1. El tiempo que les toma realizar todo este proceso es de 15 min, sin considerar que las pérdidas de material en pintura quedan a sujetas al factor humano.

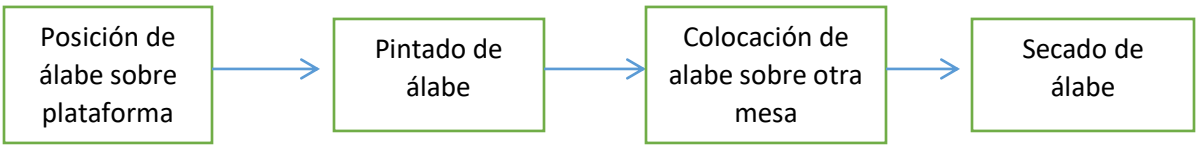


Diagrama N°1| : *Pintado de álabe*

Fuente: Propia

Tabla N°3:

Resumen de entrevistas para determinar las necesidades de la empresa AYNI SAC

Fuente: Propia

N°	ENTREVISTADO	Enrique Rodríguez Zamora (Gerente General)	Alexander Marquina Pérez (Supervisor)	Rolando David Rodríguez Mercedes (Supervisor)	Guillermo Amaya Gutiérrez (Encargado área de fabricación)	Johana Vásquez (Operario)
1	**Tiempo de pintado de un ventilador de forma manual**	1 – 7 minuto	40 minutos	60 minutos	10 – 20 minutos	10 minutos
2	**Número de personas asignadas al proceso de pintado**	2 personas	2 personas	2 personas	1 – 2 personas	2 personas
3	**¿Cuántas unidades de ventiladores desearía pintar al día?**	6 ventiladores (36 alabes)	2 ventiladores (12 álabes)	4 ventiladores (24 álabes)	20 – 50 ventiladores	6 ventiladores (36 alabes)
4	**¿Cuán importante sería conseguir la automatización del proceso de pintado de alabes de ventiladores?**	Es importante porque se gastaría menos material y se ahorraría tiempo.	Muy importante para reducir tiempos, costos y aprovechar el personal en otras labores.	El pintado parejo o uniforme en todo el cuerpo de los alabes del ventilador	Muy importante por el avance y ahorro de tiempo.	Si es importante porque reduce tiempo.
5	**¿Ha oído hablar de los brazos robóticos aplicados a la producción/fabricación?**	Si, en el fibrado de autopartes para vehículos.	Si, en el pintado de autos.	Si, en la industria automotriz (carros).	Si, también tengo experiencia.	Si.

Tabla N°3:

Resumen de entrevistas para determinar las necesidades de la empresa AYNI SAC (continuación)

Fuente: Propia

N°	ENTREVISTADO	Enrique Rodríguez Zamora (Gerente General)	Alexander Marquina Pérez (Supervisor)	Rolando David Rodríguez Mercedes (Supervisor)	Guillermo Amaya Gutiérrez (Encargado área de fabricación)	Johana Vásquez (Operario)
6	**¿En qué tipo de procesos de la empresa AYNI SAC considera usted que se podría emplear un brazo robótico?**	Laminado, moldeado en vacío, corte con láser.	En pintado de piezas y maquinaria.	En el laminado de paredes curvas, planas o en partes donde exista un ángulo.	En alabes de torres de enfriamiento y accesorios grandes.	En el pintado, fabricación y preparación de pintura y cortado de material.
7	**¿Existe un plan de acción a corto o largo plazo para la implementación de la automatización en su línea de producción?**	Si, actualmente se tiene el deseo e interés de innovar.	Si, con el uso de equipos tecnológicos (impresora 3D, etc).	Hasta el momento no.	Algunos, pero a mediano plazo.	No, pero es deseable a corto plazo.
8	**En su opinión, ¿Qué importancia tendría la implementación de un brazo robótico en la empresa AYNI SAC para el pintado de alabes de ventilador?**	Es de gran importancia, pues nos haría competitivos en el mercado a nivel nacional e internacional.	Sería lo mejor cuando se tenga una producción de varias unidades.	La importancia del acabado uniforme para el marketing de la empresa.	Muy importante pues ahorraría mano de obra y daría mejor acabado.	Mucha importancia, pues nos ayudaría a la mejora del pintado y de la producción.

Tabla N°3:

Resumen de entrevistas para determinar las necesidades de la empresa AYNI SAC (continuación)

Fuente: Propia

N°	ENTREVISTADO	Enrique Rodríguez Zamora (Gerente General)	Alexander Marquina Pérez (Supervisor)	Rolando David Rodríguez Mercedes (Supervisor)	Guillermo Amaya Gutiérrez (Encargado área de fabricación)	Johana Vásquez (Operario)
9	**En su opinión, ¿Qué características debería poseer un brazo robótico para ser efectivo en el pintado de los alabes del ventilador?**	1,5m. de largo x 0.5m. de ancho, hecho de aluminio o plástico (PLA), con sopletes o pulverizadores y que realice operaciones como cortes e instalación de componentes mecánicos.	3m. de altura x 2m. de ancho, color negro, hecho de PLA/aluminio/ABS/PRFV, con pinzas o sopletes, de fácil programación y compatibles con programas CAD.	3m.x3m.x3m, color negro o verde, hecho de fierro negro o PLA, con pistola para pintar o laminar.	De cualquier color, hecho de plástico al 100%, de 1 o 2 atm. De potencia, con tijeras o elementos de corte y nivel, económico.	De color azul, hecho de metal o PLA, de buena potencia, con pinza y soplete, que tenga lijadora como componente adicional.
10	**¿Estaría dispuesto a adquirir un brazo robótico?**	Si	Si	Si	Si	Si
11	**¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por un brazo robótico?**	Entre S/2.500-S/:4000	Entre S/2.500-S/:4000	Entre S/.4000-S/.6000	Entre S/.1500-S/:2500	Entre S/.800-S/.1500

3.2 Selección de la alternativa más óptima de diseño

3.2.1. Normativas de Diseño para Brazos Robóticos

ISO 9787:1999 ROBOTS Y DISPOSITIVOS ROBÓTICOS: SISTEMAS DE COORDENADAS Y NOMENCLATURAS DE MOVIMIENTO.

Esta Norma Internacional define y detalla los sistemas de coordenadas para robots (Ver Anexo No. 6). La norma también incluye nomenclatura, anotaciones para los movimientos básicos de robots elementales y está orientado a la alineación, prueba y la programación de los mismos. Esta norma establece las direcciones en base a la regla de la mano derecha y se definen cuatro tipos de sistemas de coordenadas: el sistema de coordenadas del mundo, el de la base, el de la interface mecánica y la de la herramienta, aunque otros sistemas de coordenadas también pueden ser definidos.

ISO 10218-1:2011 ROBOTS Y DISPOSITIVOS ROBÓTICOS - REQUISITOS DE SEGURIDAD PARA ROBOTS INDUSTRIALES - Parte 1: Robots

En este documento que se puede apreciar en el Anexo No. 7 se detalla los requisitos para un diseño seguro junto a las medidas de protección y la información necesaria para el uso adecuado de robots industriales. Además, se describen los peligros asociados y se establecen los requisitos para la eliminación o reducen de tales riesgos. En esta norma al robot no se le considera como una maquina completa y la emisión de ruido generada por el robot queda fuera del alcance de esta norma. Esta norma no aplica a robot no industriales pero las indicaciones de seguridad se pueden aplicar a otros robots.

ISO 9409-2:2002 MANIPULACIÓN DE ROBOTS INDUSTRIALES - INTERFACES MECÁNICAS - PARTE 2: EJES.

Esta Norma define las dimensiones principales, el marcado de un eje con proyección cilíndrica como interfaz mecánica (ver Anexo No. 8). Está destinado a garantizar la intercambiabilidad y mantener la orientación de los efectores finales montados a mano. En este documento se presentan tablas con las dimensiones para el diseño de la interface mecánica del

eje tomando en cuenta el sistema de coordenadas definido en la norma ISO 9787. Por otra parte, los rangos de cargas no están contemplados en esta norma.

ISO 9946:1999 MANIPULACIÓN DE ROBOTS INDUSTRIALES – PRESENTACION DE CARACTERISTICAS.

Este documento cubre temas como la seguridad, criterios de rendimiento y los métodos de pruebas relacionados, los sistemas de coordenadas, la terminología y las interfaces mecánicas (Ver Anexo N°. 9) . La finalidad de esta norma ISO 9946 es ayudar a los fabricantes y usuarios en la comparación y compresión de varios tipos de robots. Del mismo modo proporciona una descripción de los símbolos de los criterios de rendimiento.

3.2.2. Recomendaciones de Diseño para el brazo robótico

Después de realizada la búsqueda a nivel mundial y nacional de normas para el diseño del brazo robótico se determinó que son escazas. Por lo tanto se procedió a realizar unas recopilaciones de recomendaciones de diseño de trabajo similares y artículos de investigación relacionadas al tema. Esta recopilación se muestra en la Tabla N° 4.

Tabla N°4:

Recomendaciones de diseño para el Brazo Robótico

Fuente: Propia

ASPECTO/CRITERIOS	RECOMENDACIÓN	FUENTE
MATERIAL	Para obtener una mejor eficiencia en la transmisión de fuerza, es recomendable disminuir la fricción en las articulaciones usando micro-rodamientos.	**Sullcahuaman, 2013**
	Para sistemas en las que se utilice mayor torque, Se recomienda utilizar motores DC con acondicionamiento con engranajes de distintas dimensiones para amplificar o disminuir el torque.	**Guanin, 2015**
	Se recomienda la utilización de un servo motor, para controlar el inicio y cierre del aprehensor de la pinza, ya que añade al sistema un peso inapreciable.	**Flores-Ramos, 2012**
	Para ganar mayor fuerza en los motores, se recomienda la utilización de un sistema de engranajes para la trasmisión de movimientos.	
GEOMETRÍA	Se recomienda modificar el diseño de los brazos ya que podrían tener una forma cilíndrica lo cual sobresaltaría la estética del diseño.	**Sullcahuaman, 2013**
	Se recomienda considerar todos los pesos y torque generados en el brazo robótico para no tener problemas del tipo mecánico en el diseño.	**Alonzo-Bravo, 2014**
TÉCNICA	Se recomienda no utilizar baterías o pilas en el accionar del brazo, ya que estas agotan su energía, ocasionando imprecisiones en los movimientos del robot.	**Guanin, 2015**
	Verificar constantemente los componentes electro mecánicos, resaltando la tensión de los cables, ya que una mala tensión podría limitar el funcionamiento de este.	**Garrido-Villa, 2016**

3.2.3. Hoja de Especificaciones de Ingeniería

Luego de obtener información visual con la visita in-situ a la empresa, conocer mediante entrevistas el proceso actual de pintado, las opiniones sobre las necesidades se procedió a elaborar la Tabla de Especificaciones de Ingeniería, no sin antes filtrar la información anterior con la normativa existente para brazos robóticos, el fundamento teórico del diseño de estos, el juicio de ingeniería de diseño y el sentido común particular al problema. Esta información consignada en la Tabla Nº 5 es vital dado que brinda los lineamientos para conducir el diseño, original u de otro tipo, y sienta las bases para el proceso de redacción del contrato del proyecto.

Tabla N° 5:

Especificaciones de Ingeniería

Fuente: Propia

SUB-FUNCIÓN	CARACTERISTICAS DE INGENIERIA	UNIDADES	LIMITES
TAMAÑO DE LA MAQUINA	DIMENSIONES	cm	Brazo horizontal:14 - 60 Brazo Vertical: 30- 90 Diámetro: 14 - 20
FILAMENTO DE IMRESION	TIPO DE POLIMERO		ABS PLA NYLOM
CONTROL	SOFTWARE		ARDUINO
CARGA MAXIMA	PESO POTENCIA	KG N	<13 <127.53
TIEMPO DE IMPRESION	TIEMPO	HORAS	10min-2 DÍAS POR PIEZA
OPERATIVIDAD	SEGURIDAD, FACIL USO, PRECISION	mm	Tolerancias

3.2.4. Diseño conceptual del Brazo Robótico

3.2.4.1. Brazo Robótico

Llamados también como robots manipuladores. Estos son sistemas cuya labor es operado por un sencillo sistema de control, el movimiento de sus elementos es dirigido de diferentes formas: De secuencia variable: Sus ciclos de trabajo pueden ser alteradas. Manual: Es controlada directamente por el operario. (Ramos-Flores, 2012, p5).

Figura 6: Brazo Robotizado
Fuente: MMCAFE Discussion Forum Of Machines (2019)

3.2.4.2. Tipos de Brazos Robóticos

Robot cartesiano: Es un robot el cual consta de tres articulaciones prismáticas, en los cuales sus ejes coinciden con los ejes cartesianos. Manipulados para trabajos de "pick and place" (tomar y colocar), unos ejemplos de su uso puede ser operaciones de ensamblado, soldadura por arco, etc. (Wikipedia)

Figura 7: *Robot Cartesiano Janome*
Fuente: DIRECTINDUSTRY. (2019)

Robot cilíndrico: Es un robot en el cual sus ejes crean un sistema de coordenadas cilíndricas. Unas de las operaciones que tiene son soldadura por punto, manipulación en máquinas de fundición a presión, manipulado en operaciones de ensamblaje, etc. (Wikipedia)

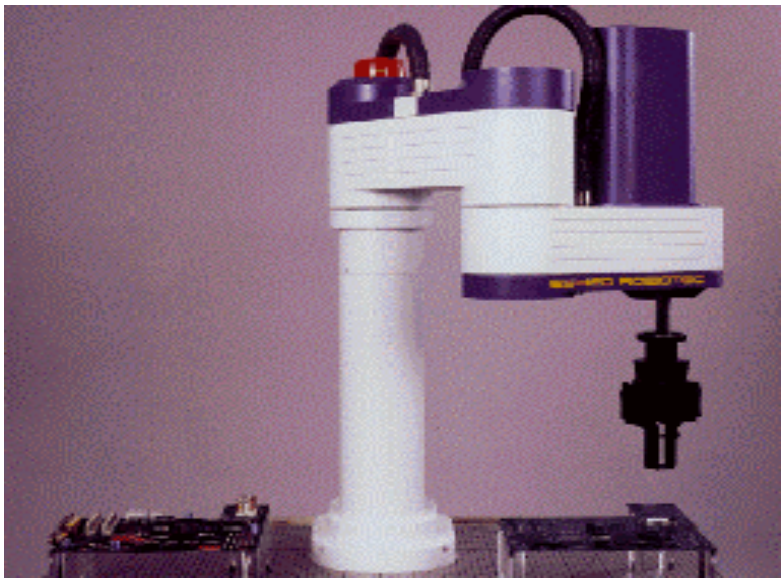


Figura 8: *ROBOT CILÍNDRICO*
Fuente: Blog educativo: Trabajo de investigación de página web industrial. (2019)

Robot esférico / Robot polar: Un sistema polar de coordenadas es conformado por los ejes de este robot. Puede ser utilizado en distintas tareas como soldadura por gas y arco, manipulación en máquinas de herramientas, soldadura por punto, etc. (Wikipedia)

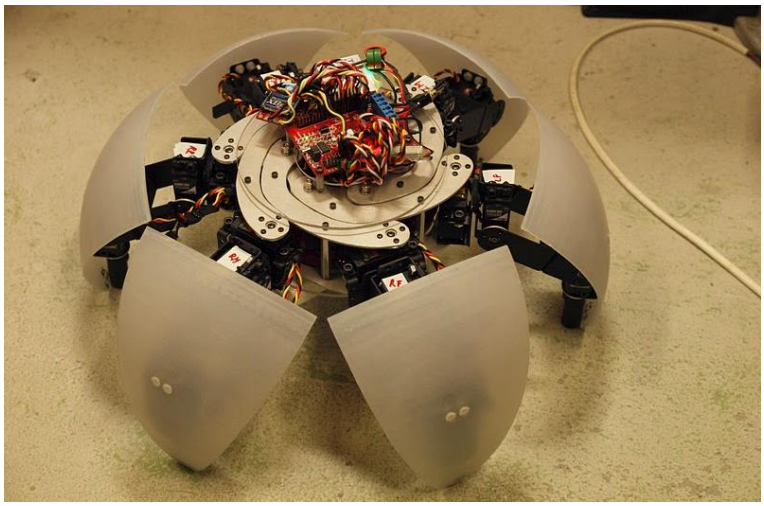


Figura 9: *ROBOT POLAR*

Fuente: Blog educativo: Trabajo de investigación de página web industrial. (2019)

Robot SCARA: Este robot tiene elasticidad en un plano gracias a las articulaciones rotatorias paralelas que las proporciona. Es manipulado en trabajos como manipulación de máquinas de herramientas, operación de ensamblado, aplicaciones de impermeabilidad, trabajos de "pick and place" (tomar y colocar). (Wikipedia)

Figura 10*: ROBOT SCARA TOSHIBA*

Fuente: DIRECTINDUSTRY. (2019)

Robot articulado: Robot el cual está constituido mínimo por tres articulaciones rotatorias. Empleado soldadura por arco y pintado por spray, fundición a presión, operaciones de ensamblaje, etc. (Wikipedia)

***Figura 11**: ROBOT ARTICULADO*
Fuente: Blog educativo: Trabajo de investigación de página web industrial. (2019).

Robot paralelo: Robot en el cual sus brazos están constituidos por articulaciones rotatorias concurrentes. Unos de sus ejemplos es el uso de plataformas móviles que controla las cabinas de los simuladores de vuelo. (Wikipedia)

***Figura 12**: ROBOT PARALELO*
Fuente: El Brazo Robótico. (2019)

Robot Antropomórfico: Robot que tiene forma humana, cuya función seria la misma, sustituir a una mano humana, con dedos independientes, incluido el pulgar. (Wikipedia)

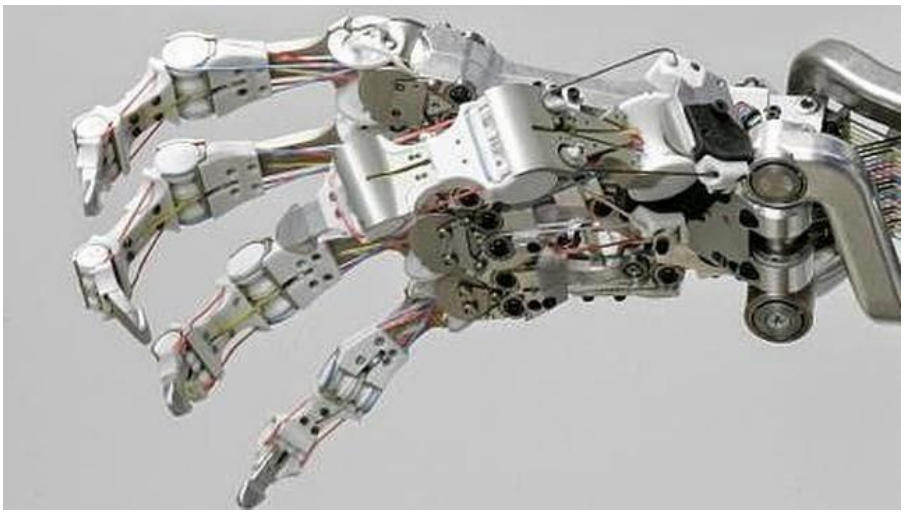


***Figura 13**: ROBOT ANTROPORMÓFICO*
Fuente: El Brazo Robótico. (2019)

3.2.4.3. Partes de Un Brazo Robótico Típico

Articulaciones: Las articulaciones es la parte del brazo que brinda mayor flexibilidad en el movimiento del brazo robótico, las cuales están constituidos por lo menos con tres articulaciones: hombro, codo y muñeca. Cada articulación logra hacer que el brazo se mueva en distintas direcciones. Las articulaciones de hombro, codo y muñeca logran el movimiento en direcciones de izquierda/derecha, arriba/abajo y adelante/ atrás del brazo robótico. (Techlandia)

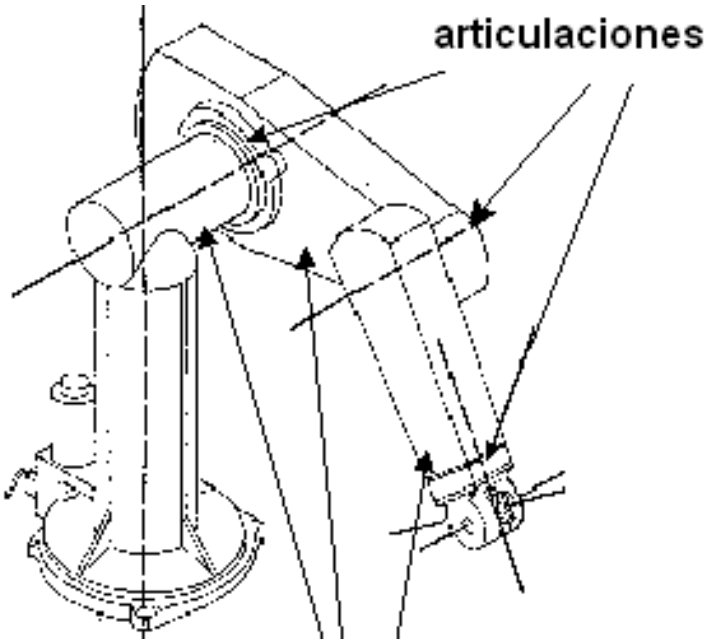


***Figura 14**: ARTICULACIONES BRAZO ROBÓTICO*

Fuente: Platea. (2019)

Unidades: Las unidades se ubican generalmente en medio de las articulaciones y son las que generan el movimiento y la colocación del brazo robótico. También generan velocidad y fuerza al brazo para que logre desarrollar las tareas programadas. (Techlandia)

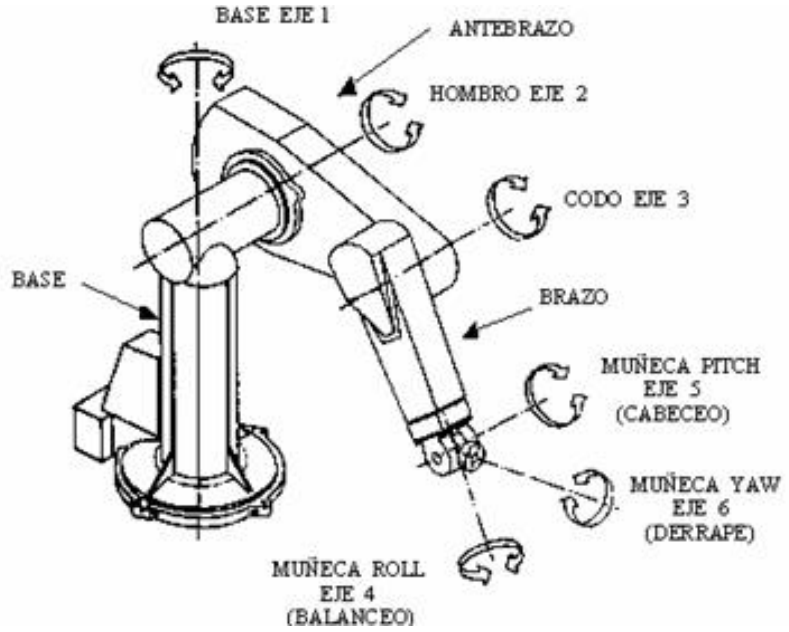


***Figura 15**: UNIDADES BRAZO ROBÓTICO*
Fuente: Platea. (2019),

Efector de extremo: Es la parte del brazo que es más parecida a la mano humana por su función similar a esta. Los efectores generalmente están conectados a la articulación de la muñeca del brazo robótico. Estos tienen un diseño para que logre tareas que el brazo está tratando de poyar. Un ejemplo de un efector de extremo es una "pinza" siempre y cuando esté tratando de coger y cambiar de dirección de objetos con este. (Techlandia)

***Figura 16**: EFECTOR EXTREMO BRAZO ROBÓTICO*
Fuente: AliExpress. (2019).

Luego de revisar la bibliografía relacionada al tema se generaron los siguientes 6 conceptos.

3.2.4.4. Diseño conceptual

Concepto N° 1: Brazo robótico de 6 grados de libertad con servomotores

Este concepto se basó en un brazo robótico controlado por servomotores en cada articulación (KDX DIY). La estructura está hecha de metal para una gran resistencia a los esfuerzo y en el extremo permite la instalación de diversos tipos de pinzas. El diseño de este tipo de brazo se muestra en la Figura N°17:

Ventajas:

Fácil intercambio de pinzas para distintas actividades

Los servomotores permiten un control preciso del movimiento

Desventajas:

Peso excesivo debido al material de la estructura

Costo elevado por el material de la estructura

Los servomotores no pueden girar indefinidamente

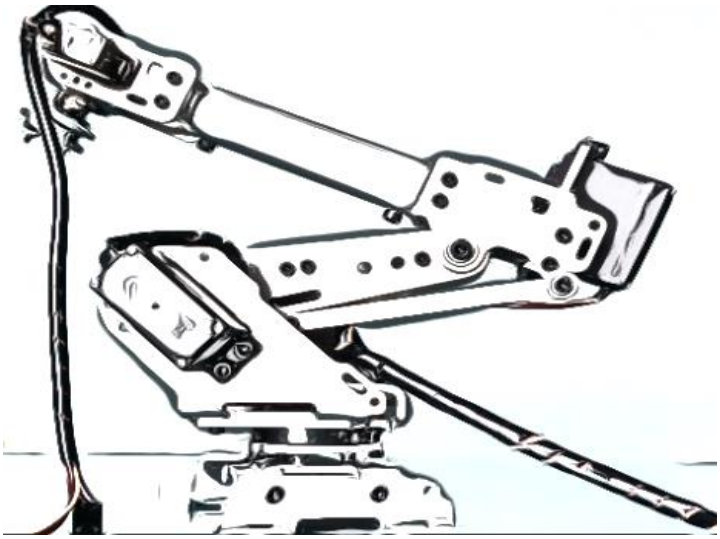


Figura 17: *Brazo robótico de 6 grados de libertad con servomotores*

Fuente: Propia

Concepto N° 2: Brazo robótico imprimible con 6 GDL de manipulación

Este concepto se basa en el diseño de un brazo robótico controlado por motores paso a paso (BCN3D). Cuenta con un diseño de estructura robusto, totalmente impreso utilizando tecnologías de fabricación aditiva y sus componentes electrónicos están controlados por el software de Arduino. Cuenta con un efector extremo capaz del intercambio de pinzas para la ampliación de actividades. El diseño de este tipo de brazo se muestra en la Figura N°18:

Ventajas:

Fácil intercambio de pinzas para distintas actividades

Costos bajos de motores pasó a paso

Costo bajo de producción de estructura

Fácil de configurar y usar

Desventajas:

Ocupa mucho espacio

Baja potencia para el tamaño y peso

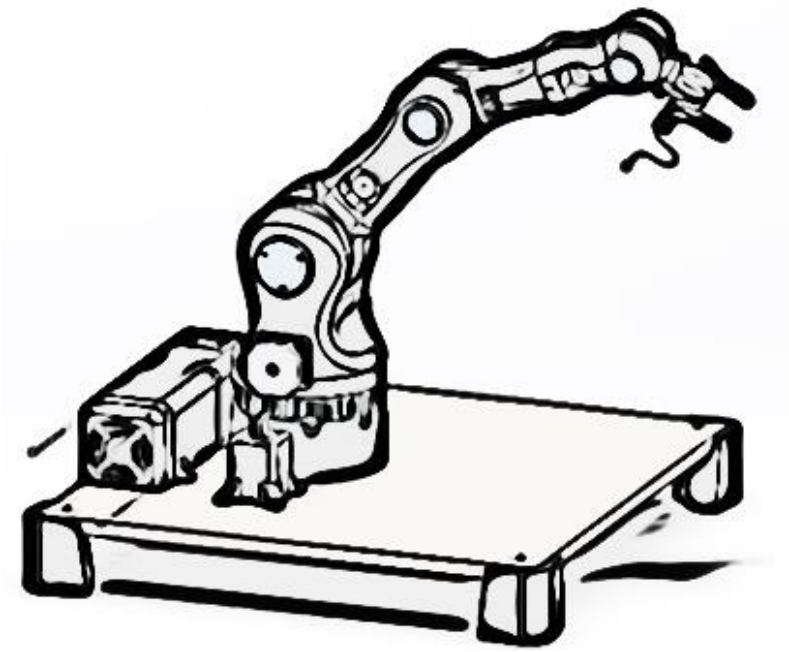


Figura 18:*Brazo robótico imprimible con 5 GDL de manipulación*

Fuente: Propia

Concepto N° 3: Brazo robótico con 6 GDL por impresión 3D

La noción se basa en el diseño de un brazo robótico de bajo costo controlado por servo motor (AURA). La estructura del diseño es totalmente impreso, pueden ser fabricadas en ABS un plástico barato y resistente, y sus componentes electrónicos están controlados por el software de Arduino. El diseño de este tipo de brazo se muestra en la Figura N°19:

Ventajas

Costo bajo de producción de estructura

Fácil de configurar y usar

Ocupa poco espacio

Desventajas

Soporta pocas cargas

Costo elevado de los servomotores

Cuenta con servomotores con giro limitado

Especializados para ejecutar una sola tarea

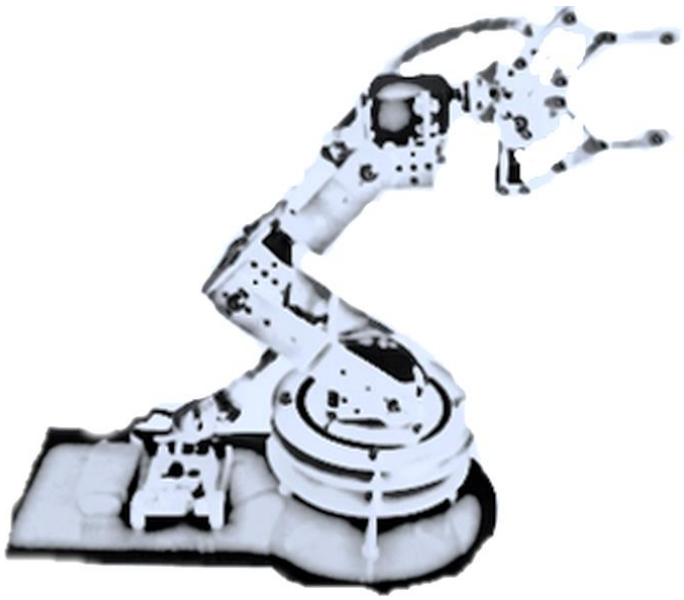


Figura 19: *Brazo Robótico con 5 GDL por impresión 3D*

Fuente: Propia

Concepto N° 4: Mini Robot articulado con 6 GDL de manipulación

Este concepto se basa en el diseño de un mini robot articulado controlado por servomotores (LR Mate de Fanuc). Cuenta con un diseño de estructura robusto, cuenta con un efector extremo capaz de un fácil montaje de pinzas para la ejecución de actividades. El diseño de este tipo de brazo se muestra en la Figura N°20:

VENTAJAS

Alta velocidad de trabajo

Cuenta con servomotores con giro de 360°

Los servomotores permiten un control preciso del movimiento

Capaz de trabajar en espacios reducidos

DESVENTAJAS

Soporta pocas cargas

Costo elevado por el material de la estructura

Costo elevado de los servomotores

Figura 20: *Mini robot articulado con 6 GDL de manipulación*

Fuente: Propia

Concepto N° 5: Brazo de robótico de 6 GDL por impresión 3D

El concepto de este boceto se basa en un brazo robótico ligero controlado por servos motores (Sistemsoft). Cuenta con una estructura liviana. Su fabricación es totalmente impreso, empleando lo más moderno en tecnologías de impresión 3D. El diseño de este tipo de brazo se muestra en la Figura N°21:

VENTAJAS

Los servomotores permiten un control preciso de movimiento

Costo bajo de producción de estructura

Alta velocidad de trabajo

Ocupa poco espacio

DESVENTAJAS:

Los servomotores cuentan con un giro limitado

Especializados para ejecutar un solo cometido

No cuenta con un soporte de agarre

Soporta pocos esfuerzos

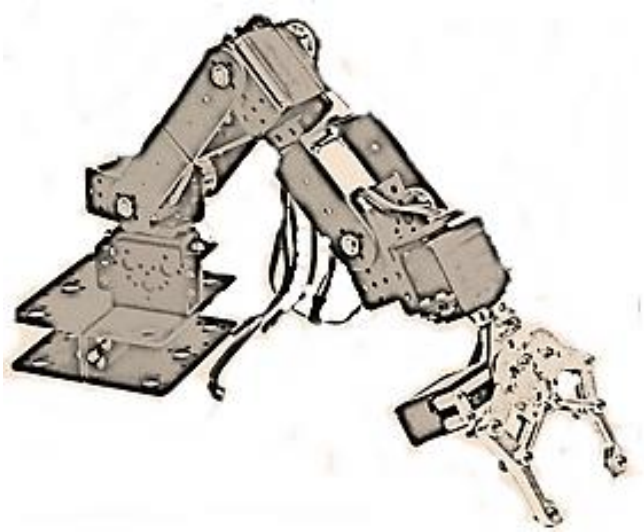


Figura ***21:*** *Brazo de robótico imprimible con 4GDL*

Fuente: Propia

Concepto N° 6: Robot Articulado con 6 GDL de manipulación para carga pesada

Este concepto se basa en un brazo robótico controlado por servomotores en cada articulación los cuales permiten gran precisión (IRB 6620). Cuenta con una estructura de metal para soportar grandes esfuerzos. El diseño de este tipo de brazo se muestra en la Figura N°22:

VENTAJAS

Soporta grandes esfuerzos

Los servomotores permiten un control preciso de movimiento

DESVENTAJAS

Ocupa mucho espacio de trabajo

Costo elevado por el material de la estructura

Costo elevado de los servomotores

Los servomotores cuentan con un giro limitado

Figura 22: *Robot Articulado con 6 GDL de manipulación para carga pesada*

Fuente: Propia

3.2.4.5. Selección del Concepto de Diseño

Para poder evaluar y seleccionar el concepto más óptimo se ha creído conveniente elaborar una matriz ponderada de selección tomando en cuenta los criterios que se visualizan de forma resumida en la (Tabla N° 6 y Tabla Nº 7), los cuales de manera más explícita se explican a continuación:

Costo: Este criterio posibilita tasar el costo que se produciría para poder fabricar el brazo robótico.

Estabilidad del sistema: Este punto permite determinar el contrapeso que existe en los Distintos diseños para poder seleccionar el más estable.

Ensamblaje: Este criterio se seleccionó debido a la facilidad de poder realizar el apropiado ensamblaje del brazo robótico.

Peso: Este punto nos permite evaluar el peso del brazo robótico para lograr que sea consistente.

Tamaño: Este criterio permite evaluar el tamaño adecuado del brazo robótico para Lograr una adecuada estabilidad.

Precisión: Este punto nos permite la adecuada selección considerando la presión con la que serán sus movimientos.

El cuadro de calificación de la elección más óptima mediante una matriz ponderada de selección se ubica en la Tabla Nº 8.

El diseño fue elegido de acuerdo a los criterios más resaltantes. La valoración obtenida de la matriz de selección ponderada muestra que el concepto **Brazo robótico imprimible con 6 GDL** de manipulación es el más apropiado. Por tal motivo, el concepto seleccionado será el principio del resultado conceptual para el diseño paramétrico.

3.2.4.6. Procedimiento

Se concedió la respectiva puntuación en porcentaje de cada criterio en la Tabla Nº 6 considerando la importancia de estas, obtenidas en las recomendaciones de diseño de la Tabla Nº 4.

Los criterios de selección: Costos, estabilidad del sistema, ensamblaje, peso, tamaño y precisión; son consideradas en la matriz de selección ponderada, los cuales valoraran a las seis alternativas de concepto. A los criterios se les concedió una ponderación según el interés de cada uno, la puntuación dada a cada concepto es la siguiente:

Poco satisfecho (1); Satisfecho (2); Muy satisfecho (3), y la puntuación ponderada se logró multiplicando el porcentaje (%) por la puntuación dividido entre el total del porcentaje final de criterios. Ver tabla N° 7

Tabla N° 6:

Ponderado de los criterios considerados para la matriz de selección
***Fuente**: Propia*

INDICADORES	
CRITERIOS	**CALIFICACIÓN (%)**
Costo	30
Estabilidad del Brazo Robótico	10
Ensamblaje	20
Peso	10
Tamaño	10
Precisión	20
Total	100

Tabla N° 7

Puntuación de los criterios considerados para la matriz de selección

***Fuente**: Propia*

INDICACION	
VALORACIÓN	**EXPLICACIÓN**
1	Poco satisfecho
2	Satisfecho
3	Muy satisfecho

Tabla N° 8:

Selección de la alternativa más óptima mediante una matriz ponderada de selección

***Fuente**: Propia*

DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO IMPLIMIBLE		**Brazo robótico de 6 grados de libertad con servomotores**		**Brazo robótico imprimible con 6 GDL de manipulación**		**Brazo robótico con 6 GDL por impresión 3D**		**Mini Robot articulado con 6 GDL de manipulación**		**Brazo de robótico de 6 GDL por impresión 3D**		**Robot Articulado con 6 GDL de manipulación para carga pesada**	
Criterio	Ponderado (%)	Puntuación	Puntuación de ponderado	Puntuación	Puntuación de ponderado	Puntuación	Puntuación de ponderado	Puntuación	Puntuación de ponderado	Puntuación	Puntuación de ponderado	Puntuación	Puntuación de ponderado
Costo	30	1	0.3	3	0.9	3	0.9	1	0.3	2	0.6	1	0.3
Estabilidad	10	2	0.2	3	0.3	3	0.3	3	0.3	1	0.1	2	0.2
Ensamblaje	20	2	0.4	3	0.6	3	0.6	2	0.4	2	0.4	1	0.2
Peso	10	3	0.3	3	0.3	1	0.1	3	0.3	2	0.2	2	0.2
Tamaño	10	3	0.3	3	0.3	2	0.2	3	0.3	2	0.2	1	0.1
Precisión	20	3	0.6	2	0.4	2	0.4	3	0.6	2	0.4	1	0.2
Total	100	11	2.1	**17**	**2.8**	14	2.5	15	2.2	11	1.9	8	1.2

3.2.5. Diseño de Configuración

Para la configuración de diseño del Brazo Robótico, se han obteniendo las siguientes configuraciones:

Configuración N° 1:

Este diseño es más completo, el sexto eslabón es más alargado gracias a esto sus movimientos serían más complejos, podría realizar más tareas (ensamblaje de elementos roscados, soldaduras con mayor precisión, pintado, etc.), fácil configuración y mantendría la transmisión por correas en la base, es más silencioso y de menor peso. Las desventajas seria que ocuparía más espacio y cantidad de material por el motor que se le añadiría. El diseño de este brazo robótico de 6 GDL se muestra en la Figura Nº 23.

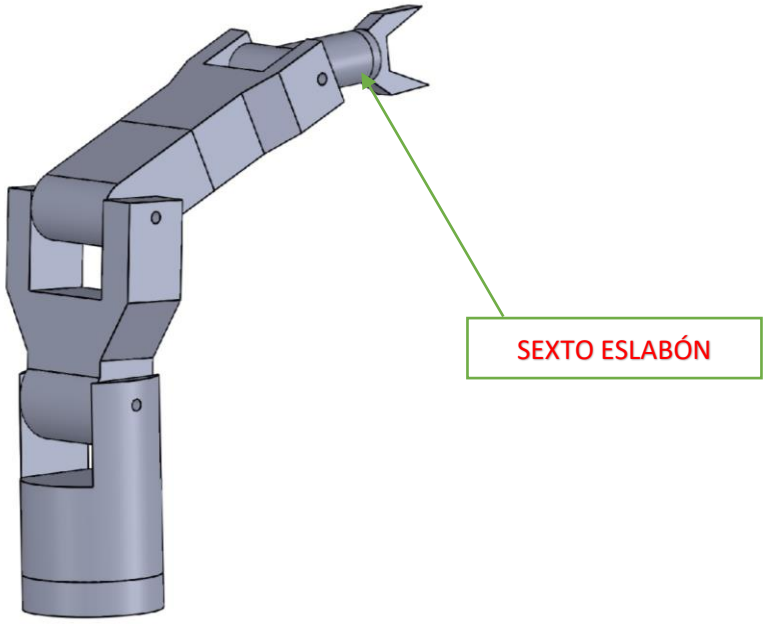


Figura 23: *Configuración 1*
Fuente: Propia

Configuración N° 2:

Este diseño se basa en cambiar la transmisión de correas por engranajes, el diseño seria robusto. Este diseño sería fácil de configurar. Las desventajas que tendría serian el aumento considerable del peso, ocuparía más espacio, aumentaría la cantidad de material imprimible y se mantendría con la misma cantidad de tareas que el boceto original. El diseño de este brazo robótico de 6 GDL se muestra en la Figura Nº 24.

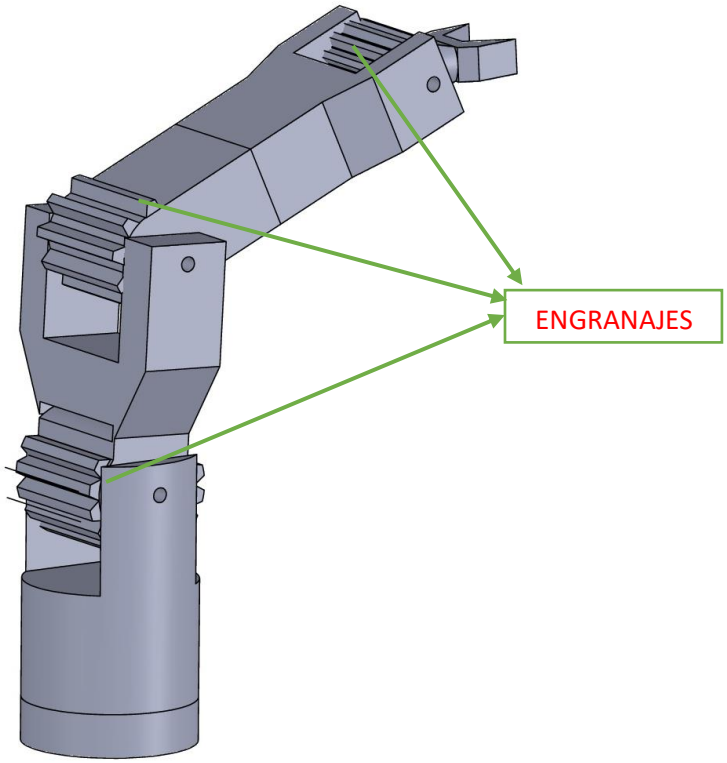


Figura 24: *Configuración 2*
Fuente: Propia

Configuración N°3:

Este diseño radica en camuflar los motores en el interior de la estructura del brazo robótico por lo tanto sería más robusto. Este diseño sería fácil de configurar. Las desventajas que presentaría serian: Su ensamblaje más complejo, aumentaría un poco el peso, aumentaría la distancia máxima, ocuparía más espacio y la cantidad de material de impresión aumentaría considerablemente. El diseño de este brazo robótico de 6 GDL se muestra en la Figura Nº 25.

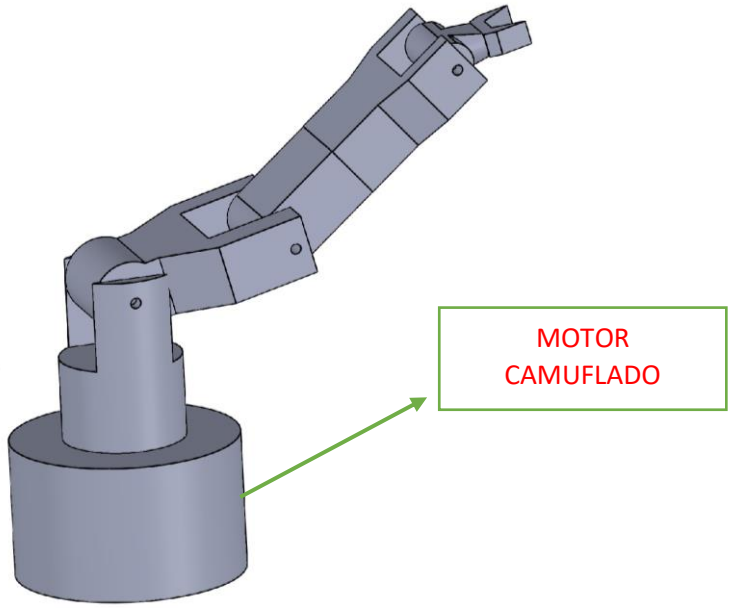


Figura 25: *Configuración 3*
Fuente: Propia

En la Tabla N° 9 se visualiza la matriz de selección para estas configuraciones. La ponderación ha sido concebida teniendo en cuenta la importancia de cada criterio, la puntuación que se ha estipulado a cada concepto es la siguiente: Poco satisfecho (1); Satisfecho (2); Muy satisfecho (3), y la puntuación ponderada se obtuvo multiplicando el porcentaje (%) por la puntuación dividido entre el total del porcentaje final de criterios. Se consiguió que la Configuración N° 1 es el diseño más óptimo para la construcción del brazo robótico, ya que muestra características más resaltantes en los criterios, comparadas a la configuración N°2 y N°3. Por lo tanto, la configuración optada para el diseño del Brazo Robótico será la base de solución para el diseño paramétrico.

3.2.5.1. Explicación:

Se le dio la correspondiente puntuación en porcentaje de cada criterio en la Tabla Nº 9 considerando la importancia de estas.

Los criterios de escogidos son: Tamaño, cantidad de material, ensamblaje y peso; son consideradas en la matriz de selección ponderada, los cuales valoraran a las tres alternativas

de configuración. A los criterios se les concedió una ponderación según el interés de cada uno, la puntuación dada a cada concepto es la siguiente:

Poco satisfecho (1); Satisfecho (2); Muy satisfecho (3), y la puntuación ponderada se logró multiplicando el porcentaje (%) por la puntuación dividido entre el total del porcentaje final de criterios. Ver tabla N° 10

Tabla N° 9:

Ponderado de los criterios considerados para la matriz de selección

***Fuente**: Propia*

INDICADORES	
CRITERIOS	**CALIFICACIÓN (%)**
Tamaño	20
Cantidad de Material	30
Ensamblaje	30
Peso	20
Total	100

Tabla N° 10

Puntuación de los criterios considerados para la matriz de selección

***Fuente**: Propia*

INDICACION	
VALORACIÓN	**EXPLICACIÓN**
1	Poco satisfecho
2	Satisfecho
3	Muy satisfecho

Tabla N° 11:

Matriz ponderada de selección de la configuración óptima para el Brazo robótico

***Fuente**: Propia*

BRAZO ROBÓTICO IMPRIMIBLE		**CONFIGURACIONES CANDIDATAS**					
		CONFIGURACIÓN N°1		CONFIGURACIÓN N°2		CONFIGURACIÓN N°3	
CRITERIOS	Ponderado (%)	Puntuación	Ponderado	Puntuación	Ponderado	Puntuación	Ponderado
TAMAÑO	20	3	0.6	2	0.4	3	0.6
CANTIDAD DE MATERIAL	30	3	0.9	2	0.6	2	0.6
EMSAMBLAJE	30	3	0.9	3	0.9	2	0.6
PESO	20	2	0.4	2	0.4	2	0.4
TOTAL	100	**11**	**2.9**	9	2.3	9	2.2

3.3 Dimensionamiento del equipo

3.3.1. Procedimiento de Cálculo del Dimensionamiento del Brazo Robótico

Una vez concluidos los diseños conceptual y de configuración se procedió a precisar las dimensiones generales del Brazo considerando las recomendaciones de diseño que se visualiza en la Tabla N° 4 y las especificaciones de ingeniería que se visualiza en la Tabla N° 6. En la Figura N° 26 se observa la configuración ganadora del diseño con sus respectivas dimensiones, el cual por estética se presenta de forma detallada el diseño final.

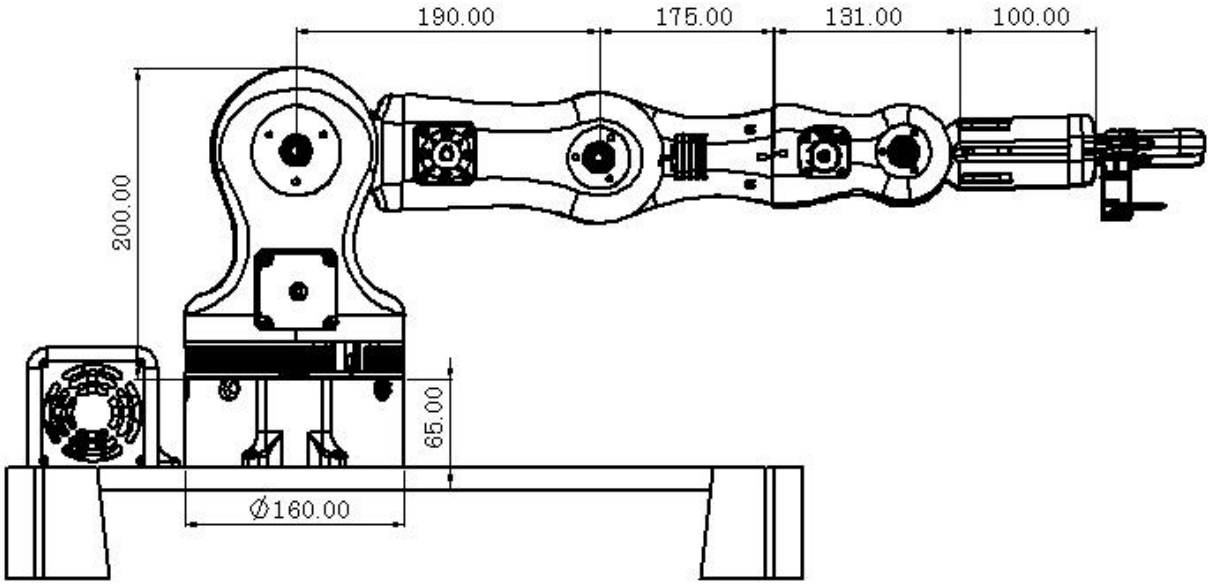


Figura 26: *Dimensionamiento del brazo robótico*

Fuente: Propia

La geometría de la base giratoria es la pieza más importante ya que brindara estabilidad y firmeza ya que es la encargada de soportar el peso del brazo robótico. Por este motivo tendrá una medida de 160 mm diámetro, y contara con un alto 65 mm.

Teniendo en cuenta las recomendaciones la primera articulación cuenta con una altura de 200 mm y una base de 160 mm de diámetro. La segunda articulación cuenta con una altura de 190 mm y con una base de 129 mm de diámetro. La tercera articulación cuenta con una altura de 175 mm y con una base de 120 de diámetro. La cuarta articulación cuenta con una altura de 132 mm y con una base de 97 mm de diámetro.

3.3.2. Seleccionar los materiales para la construcción

Se hizo la respectivo selección de los materiales tomando en cuenta las normas y recomendaciones de diseño de la Tabla Nº 4 y de acuerdo al el criterio ingenieril.

3.3.3. Selección de Material imprimible:

Se seleccionó el PLA +45º/-45º de acuerdo a recomendaciones y diseño paramétrico; ya que tiene un bajo costo, es resistente a altas temperaturas, por lo que no emite gases nocivos, es resistente a la deformación, y se ubica en un nivel intermedio con respecto a los demás materiales en deformación elástica; y se puede imprimir con todo tipo de impresoras 3D. La ficha técnica del PLA +45º/-45º se puede visualizar en la tabla Nº12.

Tabla N° 12:
PROPIEDADES PLA +45º/-45º
Fuente: Propia

PROPIEDADES		**PLA +45º/-45º**
Densidad		$1.22\ Kg.m^{-3}$
Elasticidad Isotrópica	Módulo de Young's	$3.384 * 10^9\ Pa$
	Coeficiente de posición	0.33
	Módulo de granel	$3.3176 * 10^9\ Pa$
	Módulo de corte	$1.2722 * 10^9\ Pa$
Límite de influencia		$5.23 * 10^7\ Pa$

3.3.4. Cálculo cargas de diseño

Para el desarrollo de este objetivo se encontraron todos los pesos de las partes que componen el brazo robótico antropomórfico de 6 grados de libertad, se puede apreciar de forma resumida el peso de los componentes en la tabla Nº 13. En el anexo Nº 15 se pueden apreciar de manera más detallada cada uno de los componentes, así como la cantidad de piezas incorporadas en el brazo robótico de 6 grados de libertad, los cuales nos permitieron hallar todas las fuerzas a las que serán sometidas las articulaciones del brazo antropomórfico

Tabla N°13:
RESUMEN CARGAS
Fuente: Propia

PIEZA	PESO(gr)
Articulación 1	694.2
Articulación 2	5619.9
Articulación 3	2369.2
Articulación 4	901.7
Articulación 5	453
Articulación 6	477
Actuador	138.64
Motor Nema 17 SY42STH47-1684A	365
Motor Nema 17 SY42STH33-1334MA	225
Motor Nema 17 con reducción 5:1 17HS19-1684S	520
Motor Nema 14 SY35ST36-1004A	180
SERVO 180§ 55 G MG995	55
Motor Nema 23 112 mm, Ø 8 mm SM57STH112-3304A	1950
Rodamiento 5mm x 16mm x 5mm	4
Rodamiento 4mm x 13mm x 5mm	3
Rodamiento 3mm x 10mm x 4mm	3
Rodamiento 8mm x 22mm x 7mm	6

Brazo robótico en posición de reposo

En la posición del brazo robótico totalmente extendido de forma vertical el cual se puede apreciar en la figura N° 27, se estimó la carga a la que estará sometida la articulación 1 por ese motivo se usaron todos los pesos de los componentes que pueden observarse en la tabla Nº13, para poder calcular el torque el cual resulto 6.94 Nmm, el cual su desarrollo puede apreciarse en el Anexo Nº 14.

Figura ***27 :*** *Brazo Robótico forma vertical*
Fuente: Propia

En la posición de reposo del brazo antropomórfico (ver figura N° 28), se estimó la carga a la que estará sometida la articulación 2, articulación 3, articulación 5 y el actuador. Para este fin usamos todos los pesos de los componentes que pueden observarse en la tabla Nº13. El cual resulto que el torque en F1 es igual a 7.5320 Nm, el torque en F2 es igual a 2.2921 Nm, el torque en Ry es igual a 17.9169 Nm. El cual el desarrollo del cálculo puede ser apreciado en el Anexo Nº14.

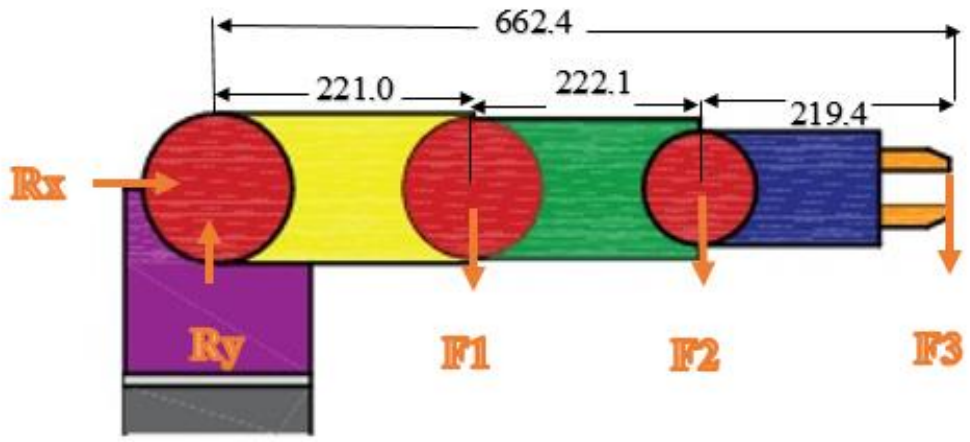


Figura ***28 :*** *Reposo Brazo Robótico*
Fuente: Propia

3.3.5. Calculo cinemático

Teniendo en cuenta como entrada a nuestro modelo cinemático, las velocidades en cada una de las articulaciones, el tiempo en el que se quiere realizar el movimiento y las longitudes de cada eslabón del brazo robótico. Con esto se predice, mediante integración numérica, el desplazamiento angular que tendrá cada articulación. Finalmente, todos estos datos e información, se ingresan al modelo cinemático el cual me brinda como resultados, la velocidades lineales y angulares del efector final en cada dirección del sistema cartesiano base. Ver anexo N° 17.

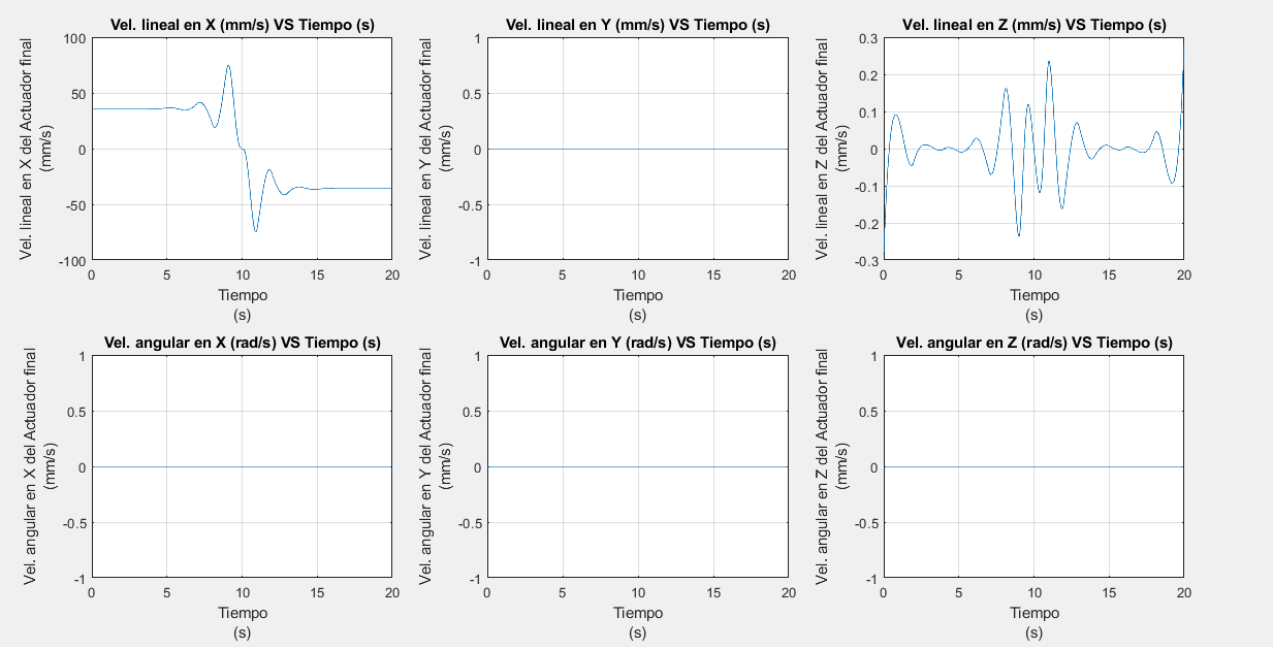


Figura 29: Velocidad lineal y angular del efector final.

Fuente: Propia

Se presenta, en la Figura N° 29, la evolución de las velocidades lineales y velocidades angulares del efector final en cada una de las coordenadas cartesianas referidas al sistema fijo de la base. Estas velocidades lineales van desde 0 mm/s hasta un máximo de 70 mm/s en la dirección X. y las angulares son 0.

El cálculo de las velocidades al que se sometió el efector final, nos brinda información para realizar el análisis del movimiento y parte del análisis dinámico, que involucra el momento de inercia que gana el efector final en cada instante del movimiento. Del mismo modo, se utiliza para elección de los actuadores adecuados en cada articulación, y para su posterior control de movimiento.

En la figura 30 se presenta la trayectoria que debe realizar el robot para la tarea de pintado. Partiendo del punto $P1 = (255,0,230)$ se hace la trayectoria de ida hacia el punto $P2 = (615,0,230)$, luego partiendo del punto $P2$ se hace la trayectoria de vuelta hacia el punto

$P1$. Todo este movimiento lo debe realizar en solo 20 segundos por ser requerimiento de los interesados en el trabajo de este robot.

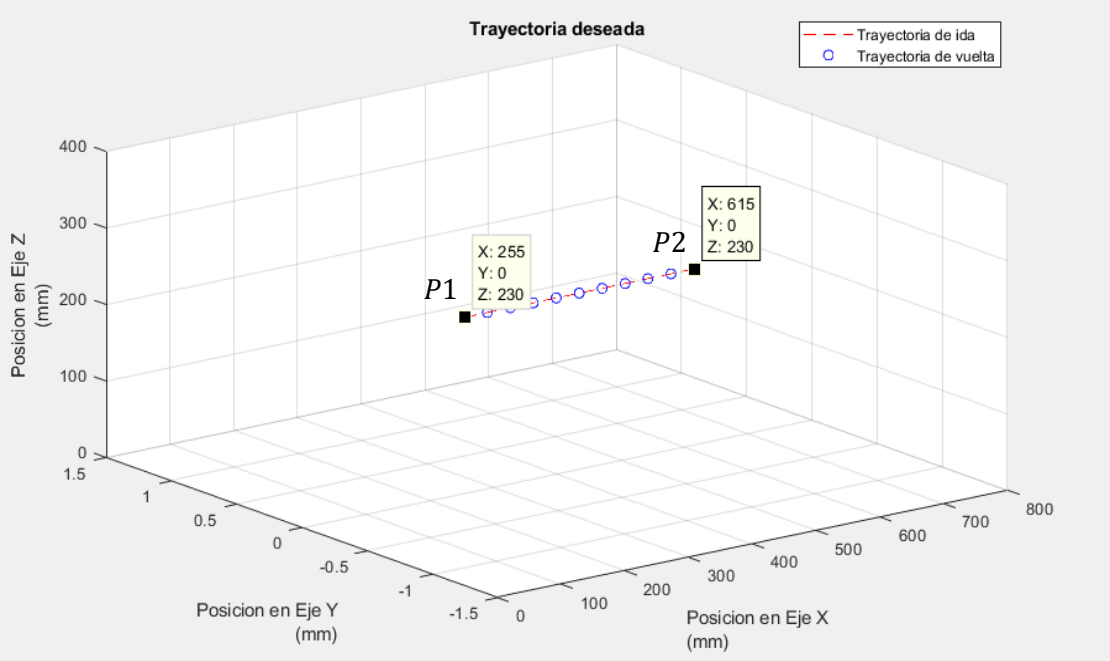


Figura 30: Trayectoria del efector final durante la tarea del pintado.

Fuente: Propia

Luego se elige la cantidad de puntos de muestra que se tomaran de esta trayectoria. Esta cantidad de puntos nos darán, mediante el uso del programa de cinemática inversa, las variables angulares correspondientes a dichos puntos.

La cantidad de puntos que se tomaron de la trayectoria fueron 20 (cuyo valor no tiene nada que ver con el tiempo de ejecución de la tarea), se les aplicó el programa de cinemática inversa y se obtuvieron para cada variable articular, con estos puntos se generó la trayectoria para cada variable angular, cuyos gráficos se muestran en la figura X2. Estas trayectorias angulares generadas representan una trayectoria en el espacio de la tarea. Esta trayectoria no será la misma que la deseada, pero se aproximará mucho.

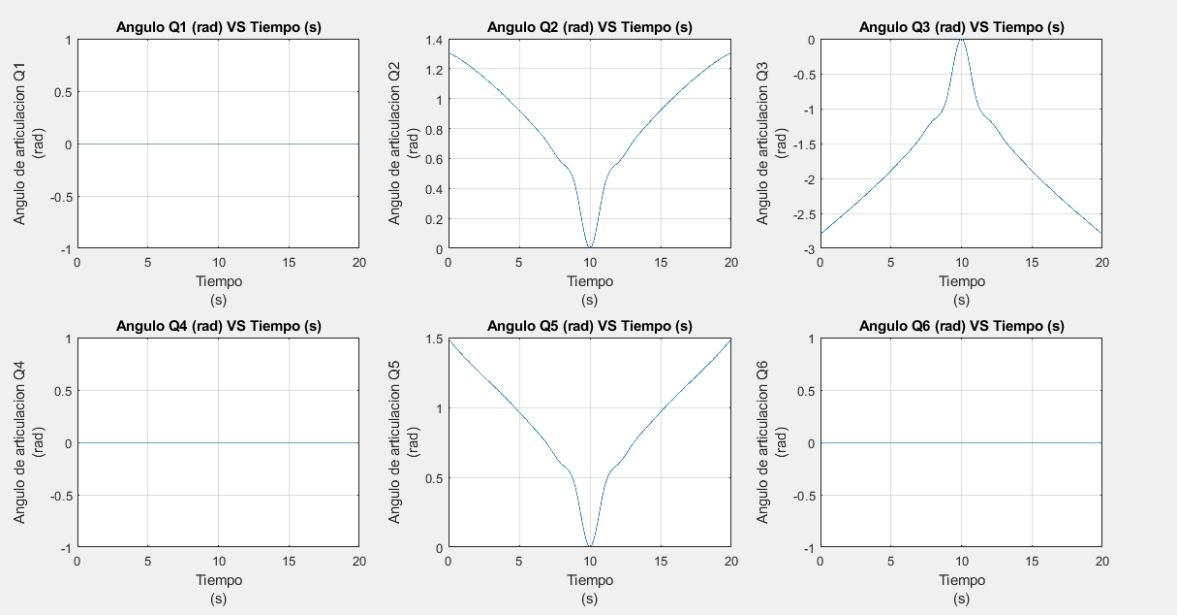


Figura 31: Trayectoria de angular generada para cada articulación.

Fuente: Propia

Con estos valores de posición angular de las articulaciones a lo largo de todo el tiempo de la tarea, se realizó el cálculo de las velocidades articulares que se requieren para que se complete la mencionada tarea en el tiempo indicado. Los resultados se muestran en la figura 32.

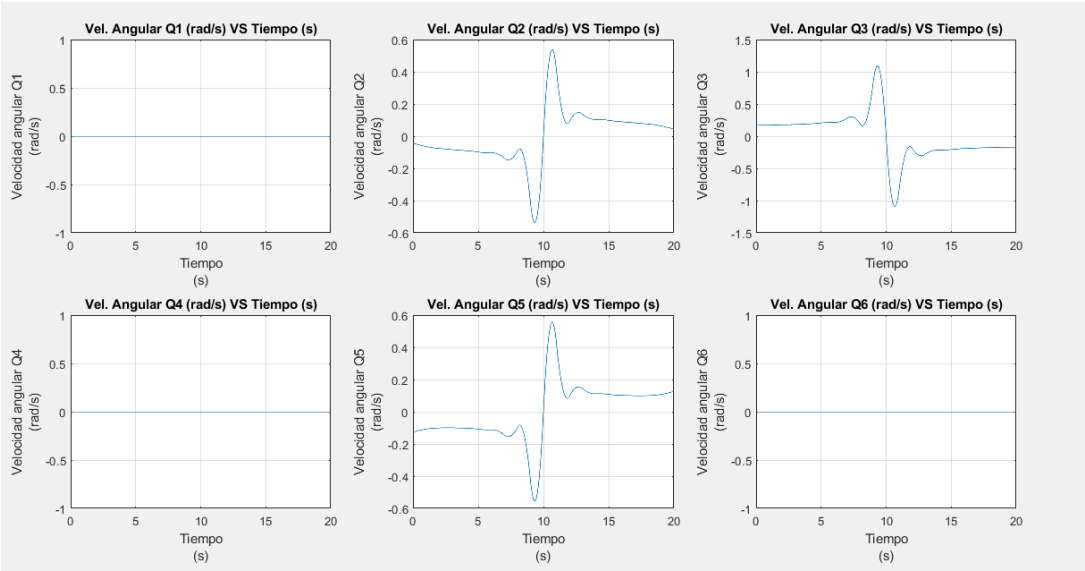


Figura 32: Velocidad angular generada para cada articulación.

Fuente: Propia

Con estos valores de velocidad angular de las articulaciones a lo largo de todo el tiempo de la tarea, se realizó el cálculo de las aceleraciones articulares que se requieren para que se complete la mencionada tarea en el tiempo indicado. Los resultados se muestran en la figura 33.

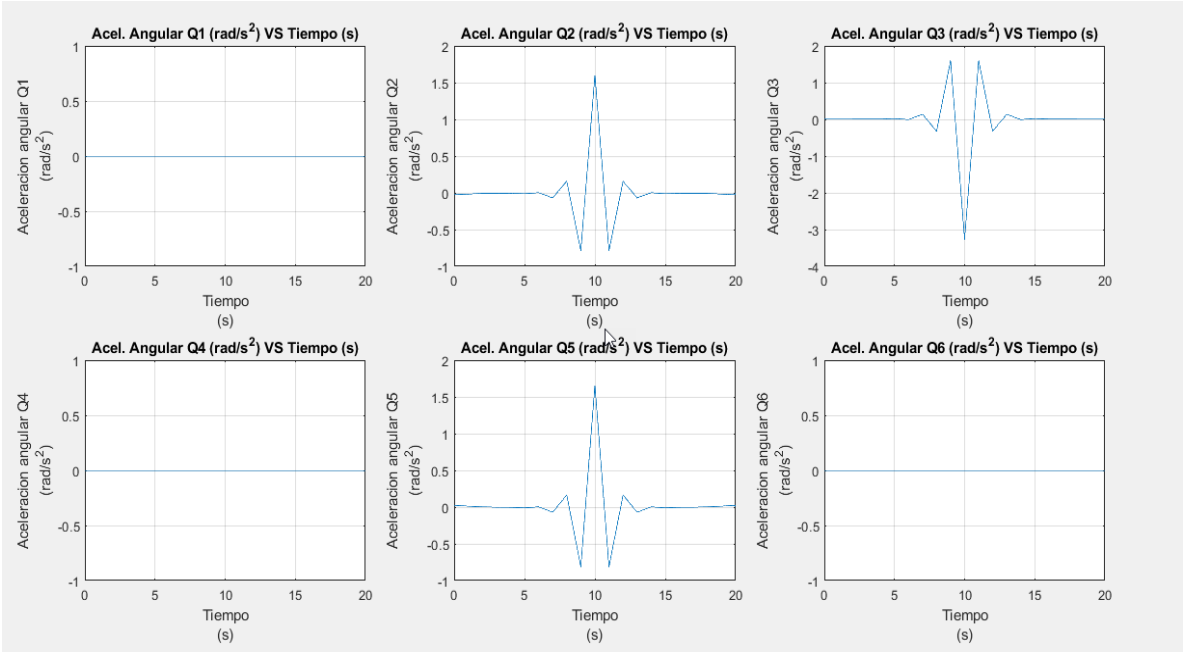


Figura 33: Aceleraciones angulares de cada articulación.

Fuente: Propia

Con la trayectoria generada para las variables articulares, se procede a mostrar la trayectoria que tendría el efector final. Tal y como se muestra en la figura 34, se parece mucho la trayectoria que se generó a la trayectoria deseada. Sin embargo, si se ajusta la escala del gráfico, se puede observar en la figura 34 que presenta otro comportamiento la trayectoria generada respecto de la deseada.

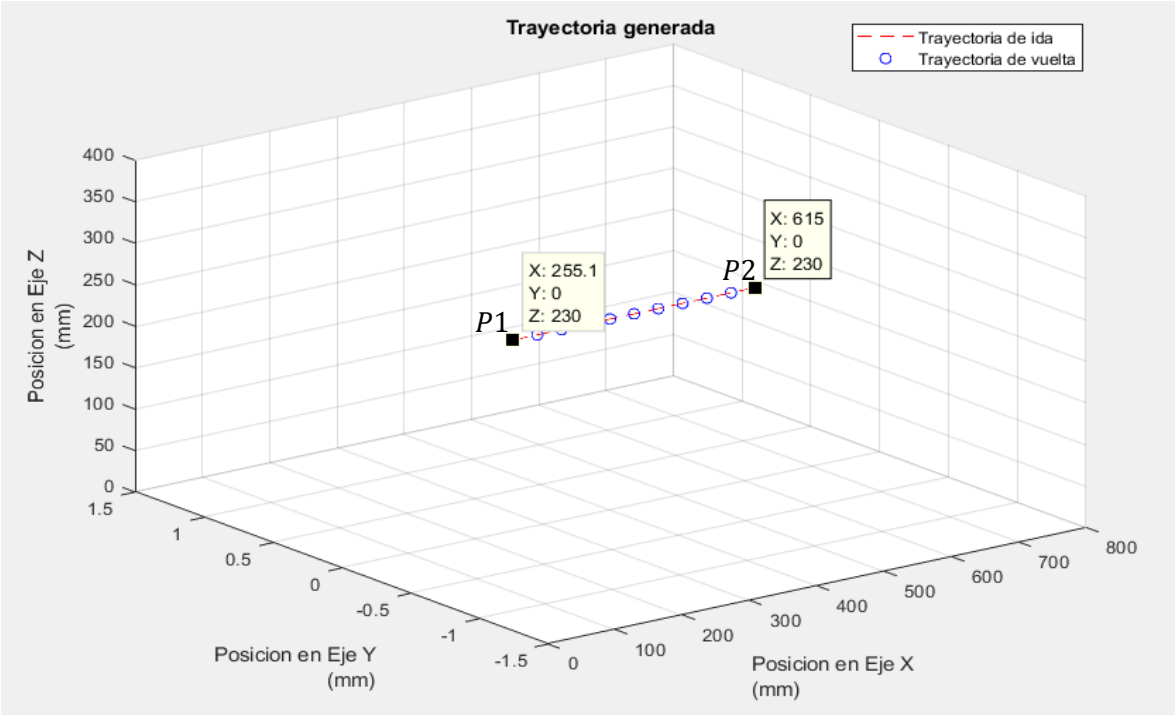


Figura 34: Trayectoria generada.

Fuente: Propia

Los valores de picos máximos en la gráfica de la figura 35, representan los errores máximos que tiene la trayectoria generada con respecto de la trayectoria deseada. Es valor máximo de este error oscila entre $0.04\ mm$ y $0.06\ mm$. Lo que nos muestra que la trayectoria generada tiene buena aproximación.

Las velocidades que tendrá el actuador final se obtienen de las velocidades angulares de las articulaciones, aplicándoles las operaciones cinemáticas correspondientes. Estos gráficos se muestran en la figura 36.

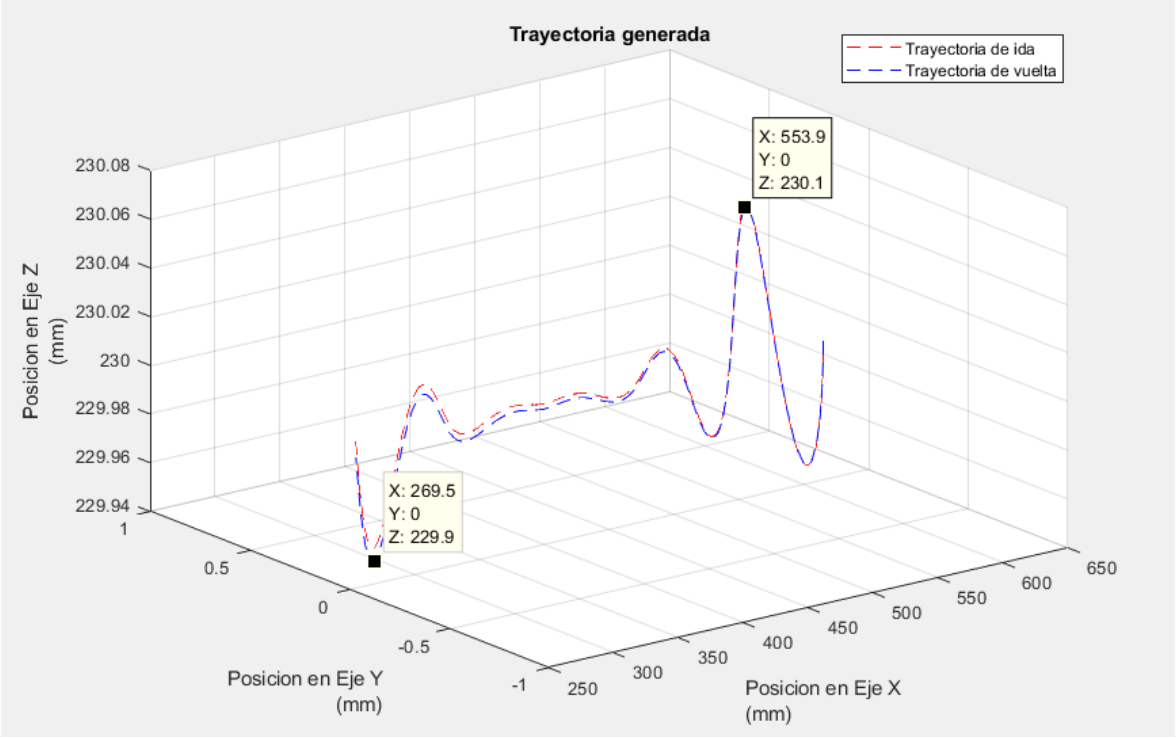


Figura 35: Trayectoria generada en el espacio de la tarea.

Fuente: Propia

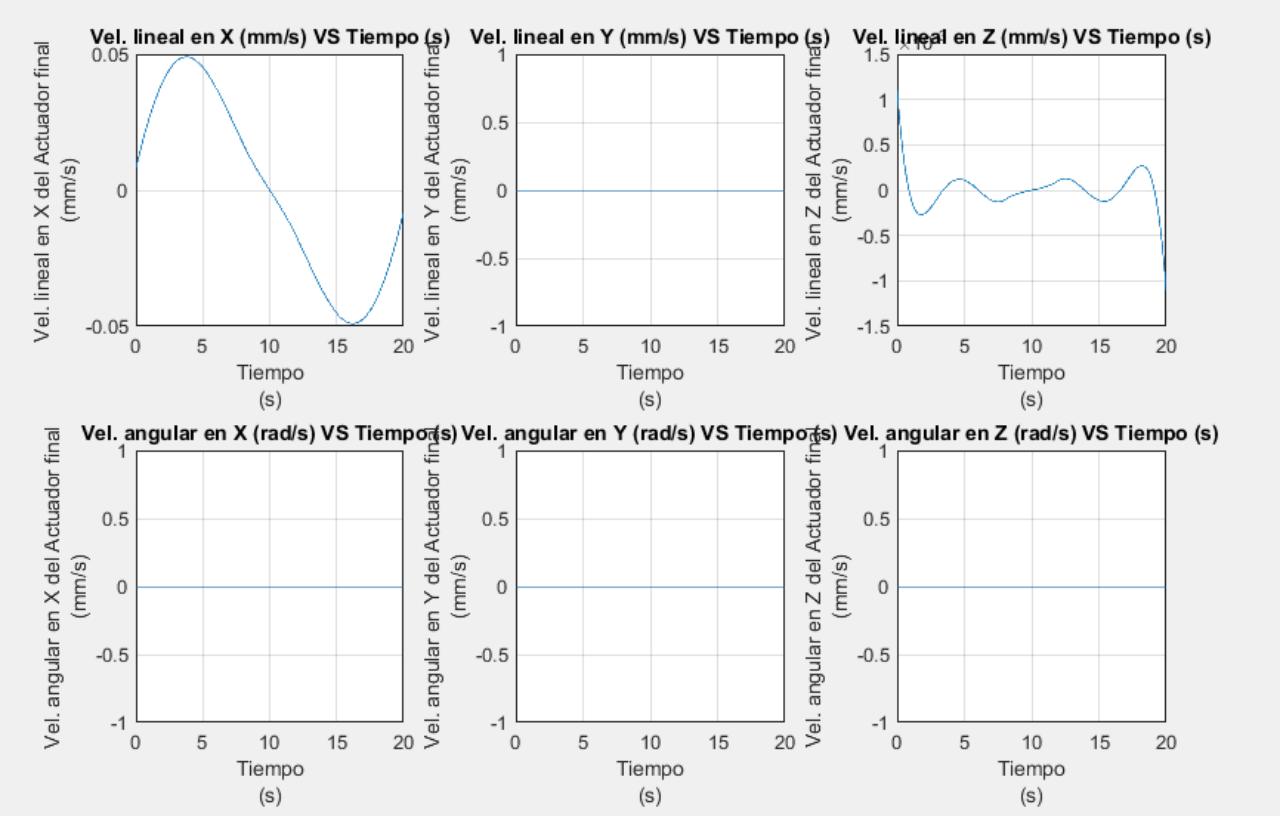


Figura 36: Velocidades del actuador final en el espacio de la tarea.

Fuente: Propia

3.3.6. Dinámica del brazo robótico

Para determinar los parámetros necesarios que se incluyen en el análisis dinámico del brazo robótico, se emplean la información proporcionada por los operarios del proceso de pintado. Estos parámetros se muestran en la Tabla 14.

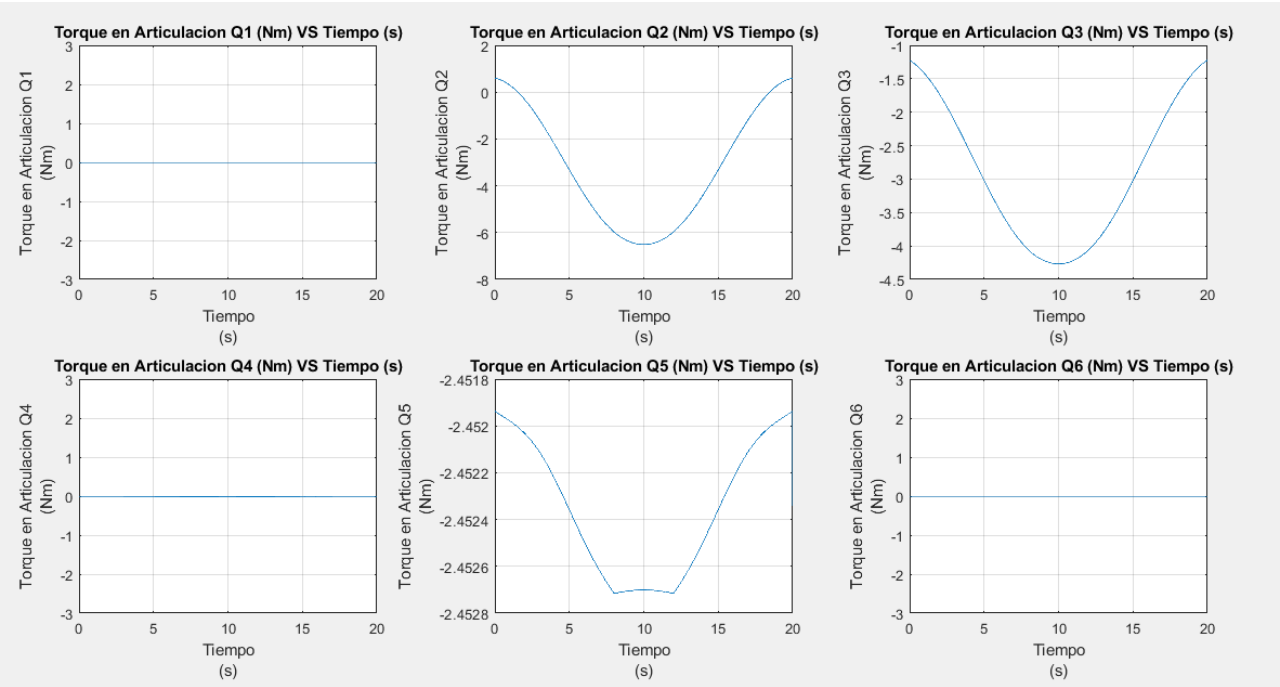
Tabla N° 14
Parámetros del proceso de pintado
Fuente: Propia

Parámetros	Cantidad	Unidad
Producción	4	alabe/día
Operarios	1	operario
Tiempo de pintado	5-10	minutos
Cantidad de pintura	2	Kg/molde
Dimensiones del molde	1.9x0.38	m
Distancia de aplicación	30	cm
Peso del rociador	1	kg
Peso de la resina	0.4	kg

El proceso que se realiza en la empresa (Spray Up) incluye el pintado y el recubrimiento de resina en una sola tarea, con lo cual se logra reducir el tiempo de fabricación de cada alabe. Para lograr este proceso el tipo de pintura que se emplea está hecha a base de resina epoxi con un tiempo de secado de 12 a 15 min. Los cálculos

relacionados al proceso de pintado en los que se incluyen: tiempo de pintado, ángulo de cubrimiento, trayectoria recorrida, etc. se muestran en el Anexo 16.

En el análisis dinámico del robot considerando la trayectoria, algunos de parámetros de pintado, datos geométricos y cinemáticos del robot, se tiene las siguientes graficas de



torque en cada articulación.

Figura 37: Torque requeridos por los motores para realizar la tarea de pintado.

Fuente: Propia

3.3.7. Diseño paramétrico parte más crítica del brazo robótico

En el diseño paramétrico mediante el software libre ANSYS ACADEMIC 18.2 fue calculado el factor de Von Mises, la deformación a la que será sometida y el factor de seguridad de las piezas más crítica. El cual fue calculado con los materiales de impresión ABS y PLA, con el método de impresión 0º/90º y +45º/-45º, para poder determinar el material y método impresión más resistente que será seleccionado para la impresión de las

partes diseñados del brazo robótico de 6 grados de libertad; las propiedades físicas del material y método impresión se puede observar en la tabla Nº 15.

Para seleccionar el mejor método de impresión se les aplico el diseño paramétrico a las piezas que soportaran más cargas en el brazo robótico, así mismo a la pieza más alargada, en la cual se puede aprecia el cálculo en la tabla Nº 16 y tabla Nº 17.

Tabla N° 15:
Propiedades físicas material de impresión
Fuente: Propia

MATERIAL		**ABS**		**PLA**	
METODO DE IMPRESION		**0º/90º**	**+45º/-45º**	**0º/90º**	**+45º/-45º**
PROPIEDADES FISICAS	Densidad	$1.01\ Kg.m^{-3}$	$1.01\ Kg.m^{-3}$	$1.22\ Kg.m^{-3}$	$1.22\ Kg.m^{-3}$
	Módulo de Young's	$1.867 * 10^9\ Pa$	$1.739 * 10^9\ Pa$	$3.336 * 10^9\ Pa$	$3.384 * 10^9\ Pa$
	Coeficiente de posición	0.344	0.344	0.33	0.33
	Módulo de granel	$1.9947 * 10^9\ Pa$	$1.8579 * 10^9\ Pa$	$3.32706 * 10^9\ Pa$	$3.3176 * 10^9\ Pa$
	Módulo de corte	$6.9457 * 10^9\ Pa$	$6.4695 * 10^9\ Pa$	$1.2541 * 10^9\ Pa$	$1.2722 * 10^9\ Pa$
	Límite de influencia	$2.77 * 10^7\ Pa$	$2.95 * 10^7\ Pa$	$5.49 * 10^7\ Pa$	$5.23 * 10^7\ Pa$

Tabla N° 16:
Diseño paramétrico software ANSYS ACADEMIC 18.2 pieza 10
Fuente: Propia

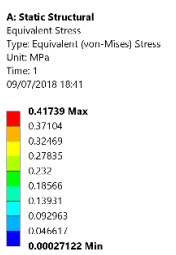
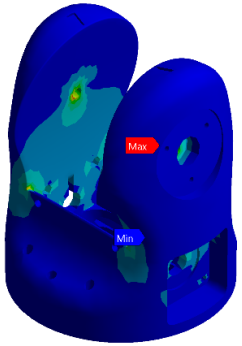
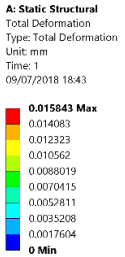
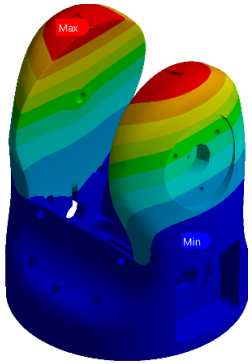
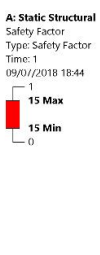
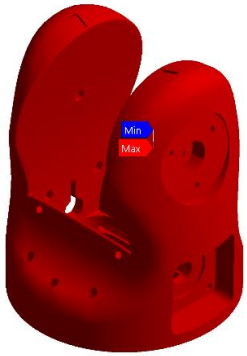
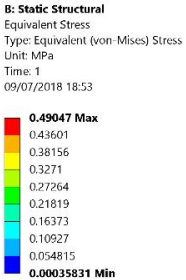
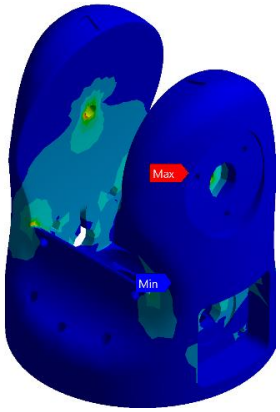
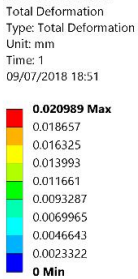
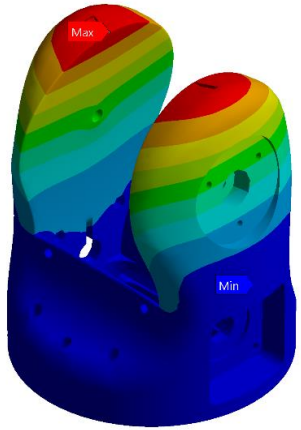
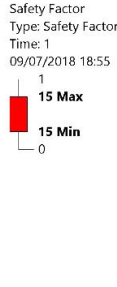
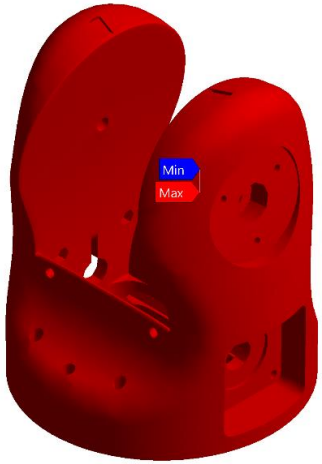
ITEM	VON MISES	DEFORMACION	FACTOR DE SEGURIDAD
0º/90º			
ABS	     
+45º/-45º			
ABS	     

Tabla N° 16:

Diseño paramétrico software ANSYS ACADEMIC 18.2 pieza 10 (continuación)

Fuente: Propia

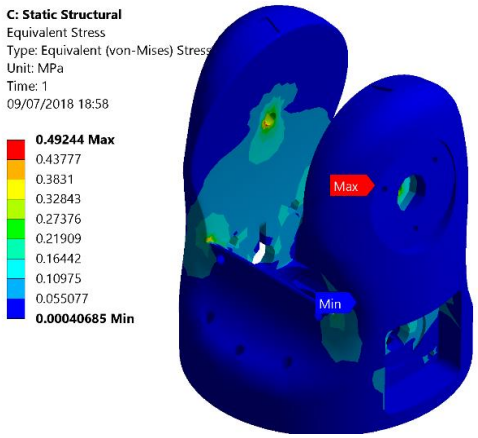
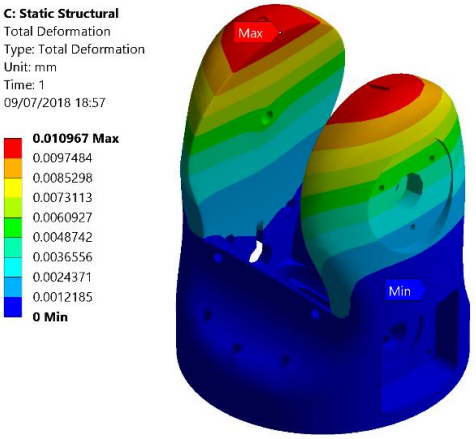
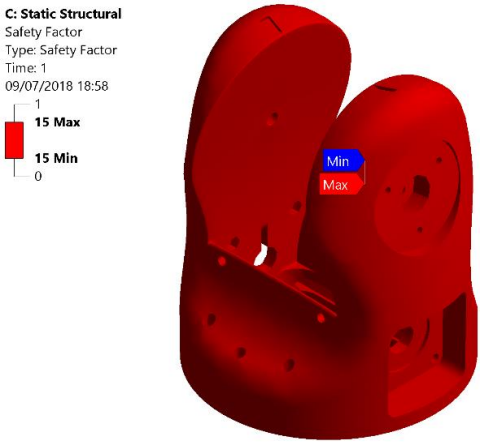
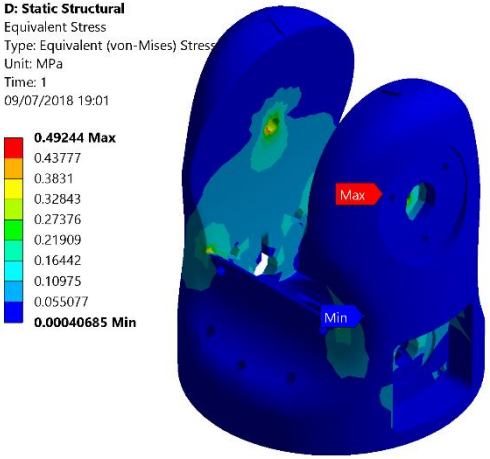
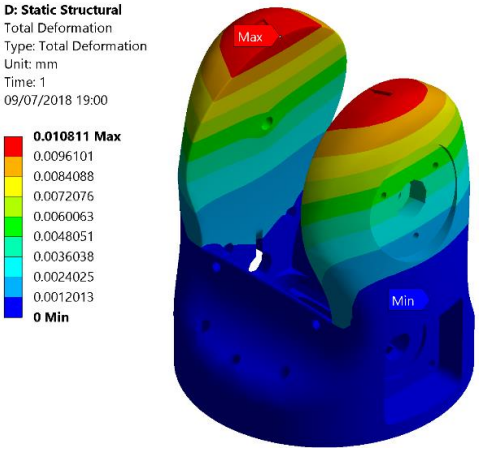
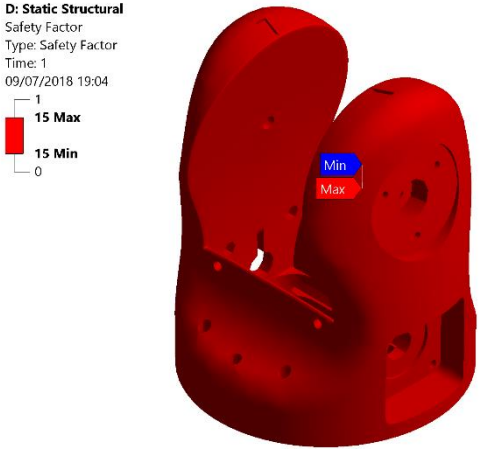
ITEM	VON MISES	DEFORMACION	FACTOR DE SEGURIDAD
0º/90º **PLA**			
+45º/-45º **PLA**			

Tabla N° 17:

Diseño paramétrico software ANSYS ACADEMIC18.2 pieza 12 Y 13

Fuente: Propia

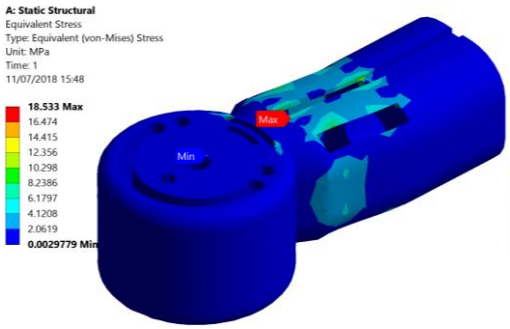
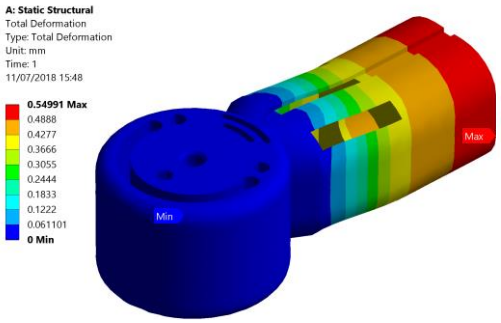
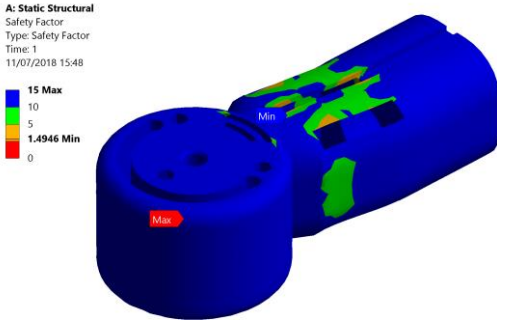
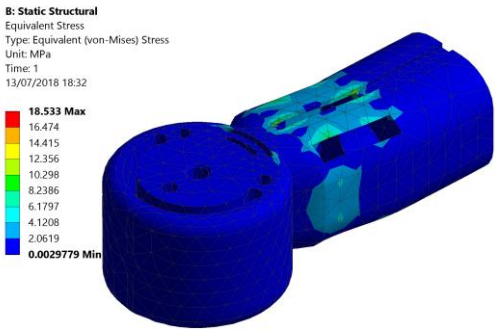
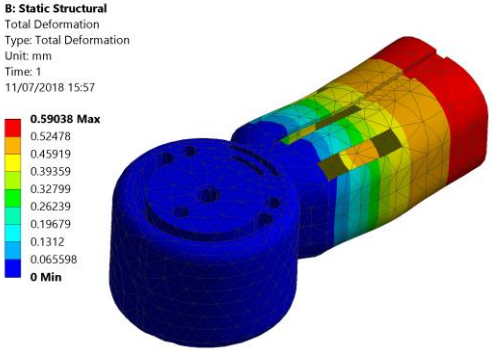
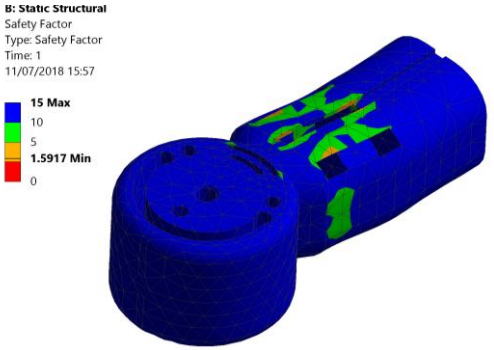
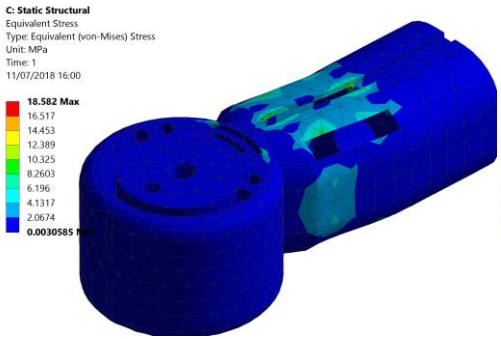
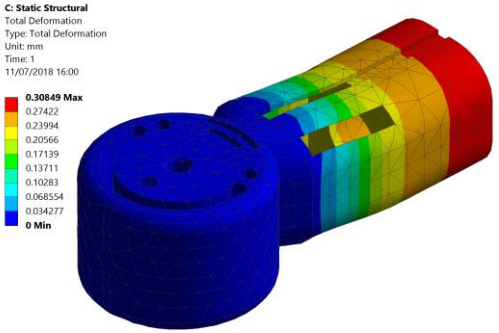
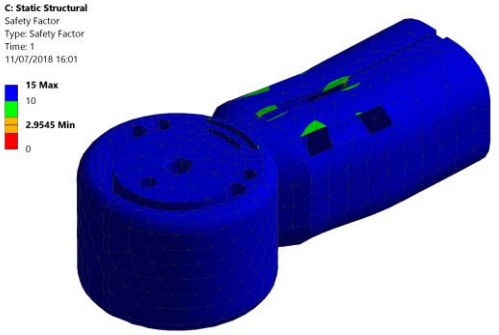
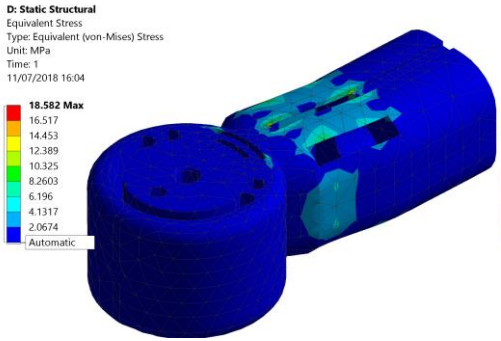
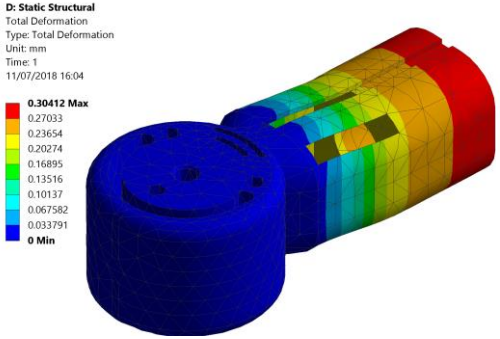
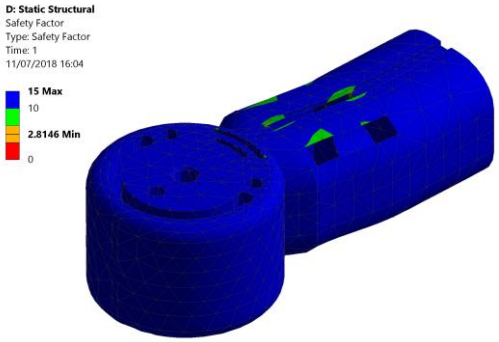
ITEM		VON MISES	DEFORMACION	FACTOR DE SEGURIDAD
0º/90º				
ABS				
+45º/-45º				
ABS				

Tabla N° 17:

Diseño paramétrico software ANSYS ACADEMIC 18.2 pieza 12 Y 13 (continuación)

Fuente: Propia

ITEM		VON MISES	DEFORMACION	FACTOR DE SEGURIDAD
0º/90º				
PLA				
+45º/-45º				
PLA				

En la tabla Nº 18 y Tabla N 19 se ha realizado un resumen para determinar el método de impresión, así como el material con el que serán impresas las piezas del brazo robótico de 6 grados de libertad. Por este motivo el PLA +45º/-45º sido seleccionado ya que es el material más resistente a la deformación, y se ubica en un nivel intermedio con respecto a los demás materiales en deformación elástica.

Tabla N° 18:
Resumen Diseño paramétrico software ANSYS ACADEMIC 18.2 pieza 10

Fuente: Propia **ITEM**	**VON MISES(MPa)**	**DEFORMACION(mm)**	**FACTOR DE SEGURIDAD(F.S)**
ABS 0º/90º	0.41739	0.015843	15
ABS +45º/-45º	0.49047	0.020989	15
PLA 0º/90º	0.49244	0.010967	15
PLA +45º/-45º	**0.49244**	**0.010811**	**15**

Tabla N° 19:
Resumen Diseño paramétrico software ANSYS ACADEMIC 18.2 pieza 12 y 13

Fuente: Propia **ITEM**	**VON MISES(MPa)**	**DEFORMACION(mm)**	**FACTOR DE SEGURIDAD(F.S)**
ABS 0º/90º	18.533	0.54991	15
ABS +45º/-45º	18.533	0.59038	15
PLA 0º/90º	18.582	0.30849	15
PLA +45º/-45º	**18.582**	**0.30412**	**15**

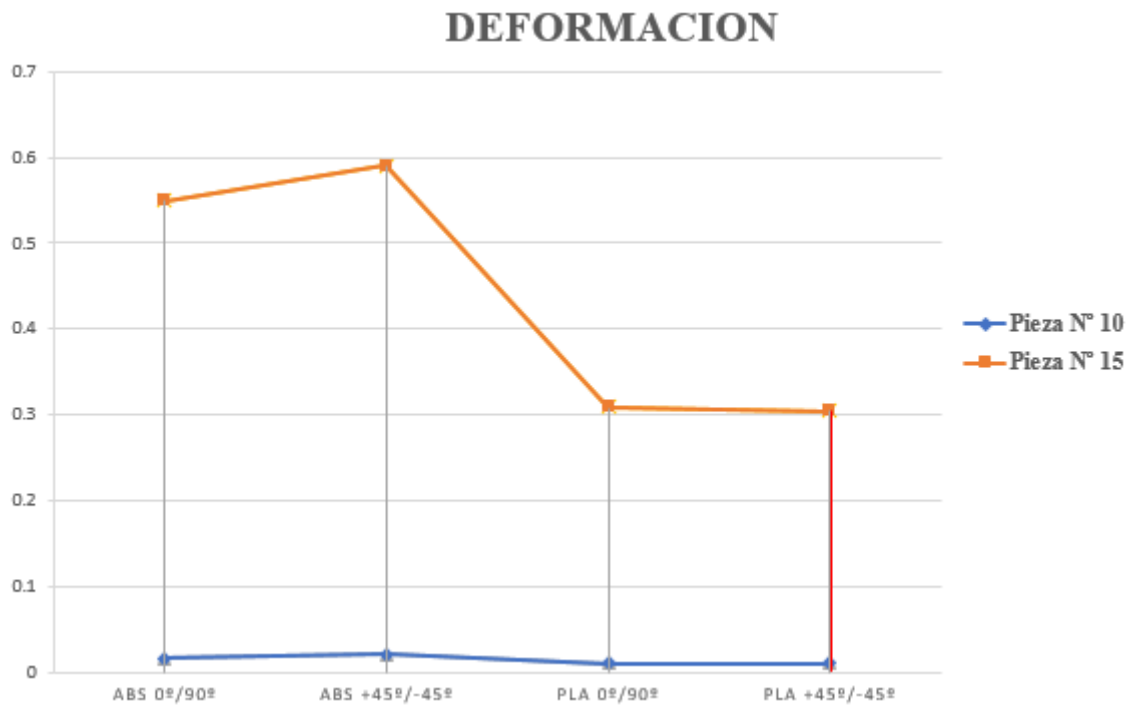


Figura 38 : *Grafica de deformación para las piezas 10 y 15 en función de material y método de impresión*

Fuente: Propia

3.3.8. Selección sistema de control del brazo robótico

En este trabajo no se mostrarán algoritmos de control para el movimiento del brazo robótico, ni tampoco se mencionará detalles relacionados con la electrónica del mismo, se hará énfasis únicamente en el análisis cinemático del movimiento para lo cual se diseñó una interfaz GUI en la que se visualizan los parámetros, que ayudan en el análisis de la cinemática directa del brazo antropomórfico de 6 grados de libertad los cuales se visualizan y describen sus partes en la Figura Nº 39.

Donde:

1. Tabla de Denavit-Hartenberg

2. Ingreso de valor de los ángulos Θ mediante slider

3. Coordenadas X Y Z

4. Resultado de matriz homogénea

5. Modelado del sistema

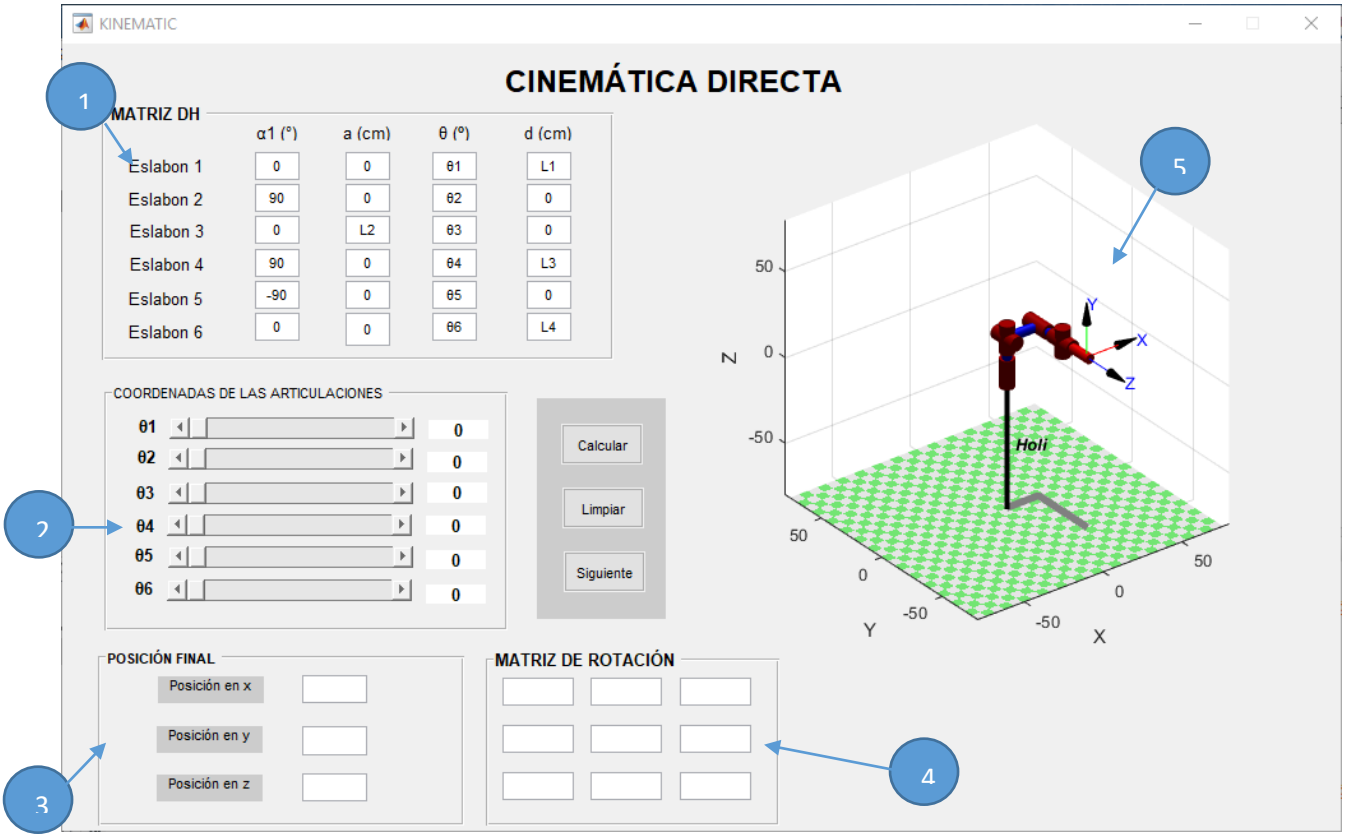


Figura 39: *Detalle opciones a la compresión cinemática Directa e Inversa*
Fuente: Propia

Para su diseño fue necesario emplear el análisis de velocidad mediante matrices Jacobianas, utilizando los parámetros de Denavit-Hartenberg los cuales se muestran en la tabla Nº 1. El desarrollo de este cálculo de puede encontrar en el Anexo Nº 17.

3.3.9. Selección de componentes estándar

Servo Motores

Los servos motores permiten el desplazamiento angular de las articulaciones con relación a una posición de referencia o inicial, por ende es uno de los componentes primordiales de las articulaciones.

Los servos elegidos fueron: Motor Nema 17 SY42STH47-1684 ya que por el cálculo de momento de inercia de las articulaciones en reposo como se observa en la Figura Nº 27 es compatible con los datos técnicos que se muestra en los Anexos Nº 10; del mismo modo Los Motores: Nema 17 SY42STH33-1334MA, Nema 17 con reducción 5:1 17HS19-1684S, Motor 14 SY35ST36-1004A, fueron seleccionados ya que los momentos de inercia hallados en una posición de reposo como se observa en la Figura Nº 28 son compatibles con las fichas técnicas de los servos de los Anexos Nº 10, los cuales presentan una resolución de 200 pasos/revolución por presentar un valor tolerable para el escaneo de curvas.

Rodamientos

Se seleccionaron rodamientos rígidos de bolas para suavizar el movimiento presente ente las articulaciones del Brazo Robótico.

Para su selección se consideró:

- No necesitan re lubricación
- Su reemplazo es simple
- no generan fricción
- no se desgastan
- Pueden trabajar a altas temperaturas gracias a su material y su diseño impiden el ingreso de contaminantes sólidos dentro del rodamiento
- Rodaje mejorado

Los rodamientos seleccionados, así como su detalle técnico se muestran en la Tabla Nº 20.

Tabla N° 20:
Códigos rodamientos
Fuente: Propia

RODAMIENTO	DIAMETRO INTERIOR(mm)	DIAMETROS EXTERIOR(mm)	Peso(Kg)
608ZZ	8	22	0.010
625ZZ	5	16	0.005
624ZZ	4	13	0.003
623ZZ	3	10	0.014

Piezas de PLA (Acido poli láctico)

Se seleccionó el PLA para la fabricación de las distintas piezas imprimibles ya que cumple con ciertas características:

- Muy resistente a los impactos.
- Bajo nivel de toxicidad
- De origen vegetal, polímero eco-amigable
- Dureza alta
- No necesita altas temperaturas para su impresión
- Posee alta variedad de colores

Placa electrónica

Se seleccionó una placa ARDUINO Mega 2560 ya que presenta un micro controlador potente de 8 bits, presenta una memoria destinada a programaciones complejas y es el que más pines tiene de todas las opciones posibles.

3.3.10. Modelamiento 3D

El modelamiento de las piezas imprimibles diseñadas del brazo robótico se visualizan en el Anexo Nº11. El software libre seleccionado para realizar el modelamiento ha sido el Ultimaker Cura, ya que ofrece la opción de ser configurado para adaptarse a la impresora que el usuario interesado cuente. Además dispone de otras opciones como configurar el control de relleno, las velocidades de movimiento, impresión; así mismo cuenta con la opción de ser configurado para añadir el precio del filamento a usarcé y obtenga un precio estimado por cada pieza a imprimirse. Un ejemplo del modelamiento 3D se puede apreciar en la Figura Nº 40.

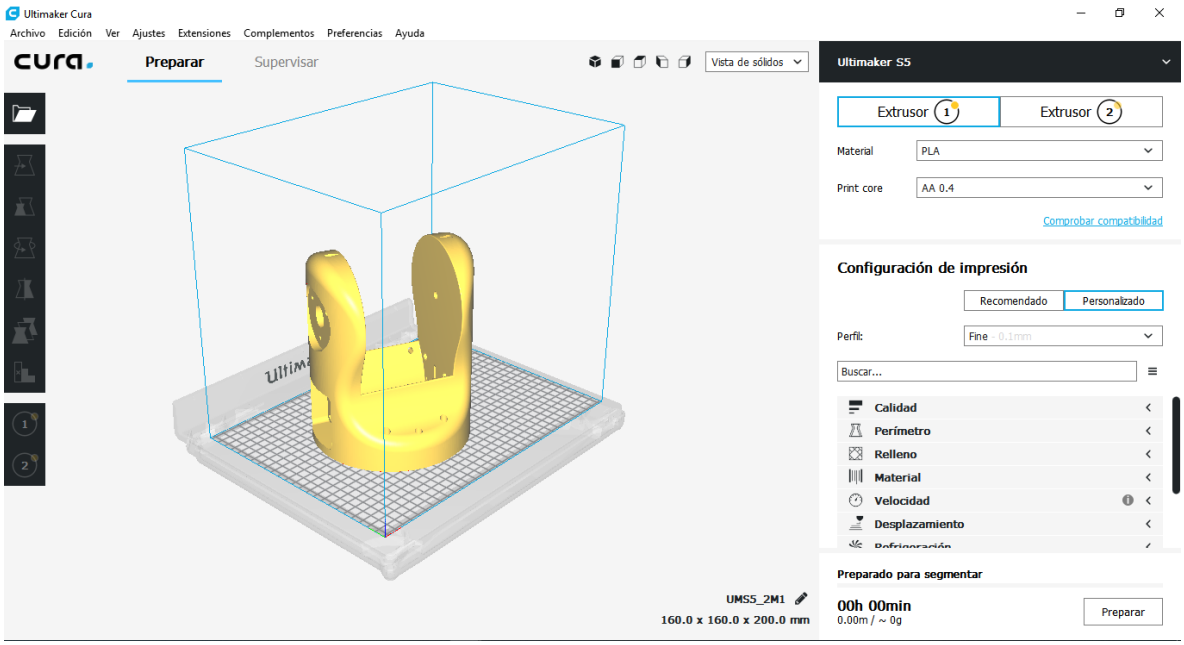


Figura 40: *Modelamiento por software de impresión 3D*

Fuente: Propia

3.3.11. Elaboración de Planos del Brazo Robótico

En el Anexo Nª 12 se ubican los planos del brazo robótico de 6GDL. Se puede visualizar un ejemplo de estos en la Figura N° 41, en esta se puede visualizar el plano general del brazo robótico completo.

Los planos elaborados son 22 y se listan en la tabla N° 21:

Tabla N° 21:

Lista de planos

Fuente: Propia

Numero de plano	***Nombre***	***Referencia***
DIBUJO 01	*BRAZO COMPLETO*	*Anexo Nº 12 a*
DIBUJO 02	*ARTICULACIÔN 01*	*Anexo Nº 12 b*
DIBUJO 03	*ARTICULACIÔN 02*	*Anexo Nº 12 c*
DIBUJO 04	*ARTICULACIÔN 03*	*Anexo Nº 12 d*
DIBUJO 05	*ARTICULACIÔN 04*	*Anexo Nº 12 e*
DIBUJO 06	*ARTICULACIÔN 05*	*Anexo Nº 12 f*
DIBUJO 07	*ARTICULACIÔN 06*	*Anexo Nº 12 g*
DIBUJO 08	*ACTUADOR*	*Anexo Nº 12 h*
DIBUJO 09	*PIEZA IMPRESA 03 Y 04*	*Anexo Nº 12 i*
DIBUJO 10	*PIEZA IMPRESA 05*	*Anexo Nº 12 j*
DIBUJO 11	*PIEZA IMPRESA 06 Y 07*	*Anexo Nº 12 k*
DIBUJO 12	*PIEZA IMPRESA 08 Y 09*	*Anexo Nº 12 l*
DIBUJO 13	*PIEZA IMPRESA 10*	*Anexo Nº 12 m*
DIBUJO 14	*PIEZA IMPRESA 11*	*Anexo Nº 12 n*
DIBUJO 15	*PIEZA IMPRESA 12*	*Anexo Nº 12 ñ*
DIBUJO 16	*PIEZA IMPRESA 13*	*Anexo Nº 12 o*
DIBUJO 17	*PIEZA IMPRESA 14*	*Anexo Nº 12 p*
DIBUJO 18	*PIEZA IMPRESA 15 Y 16*	*Anexo Nº 12 q*
DIBUJO 19	*PIEZA IMPRESA 17 Y 18*	*Anexo Nº 12 r*
DIBUJO 20	*PIEZA IMPRESA 19 Y 20*	*Anexo Nº 12 s*
DIBUJO 21	*PIEZA IMPRESA 21 Y 22*	*Anexo Nº 12 t*
DIBUJO 22	*PIEZA IMPRESA 23 Y 24*	*Anexo Nº 12 u*

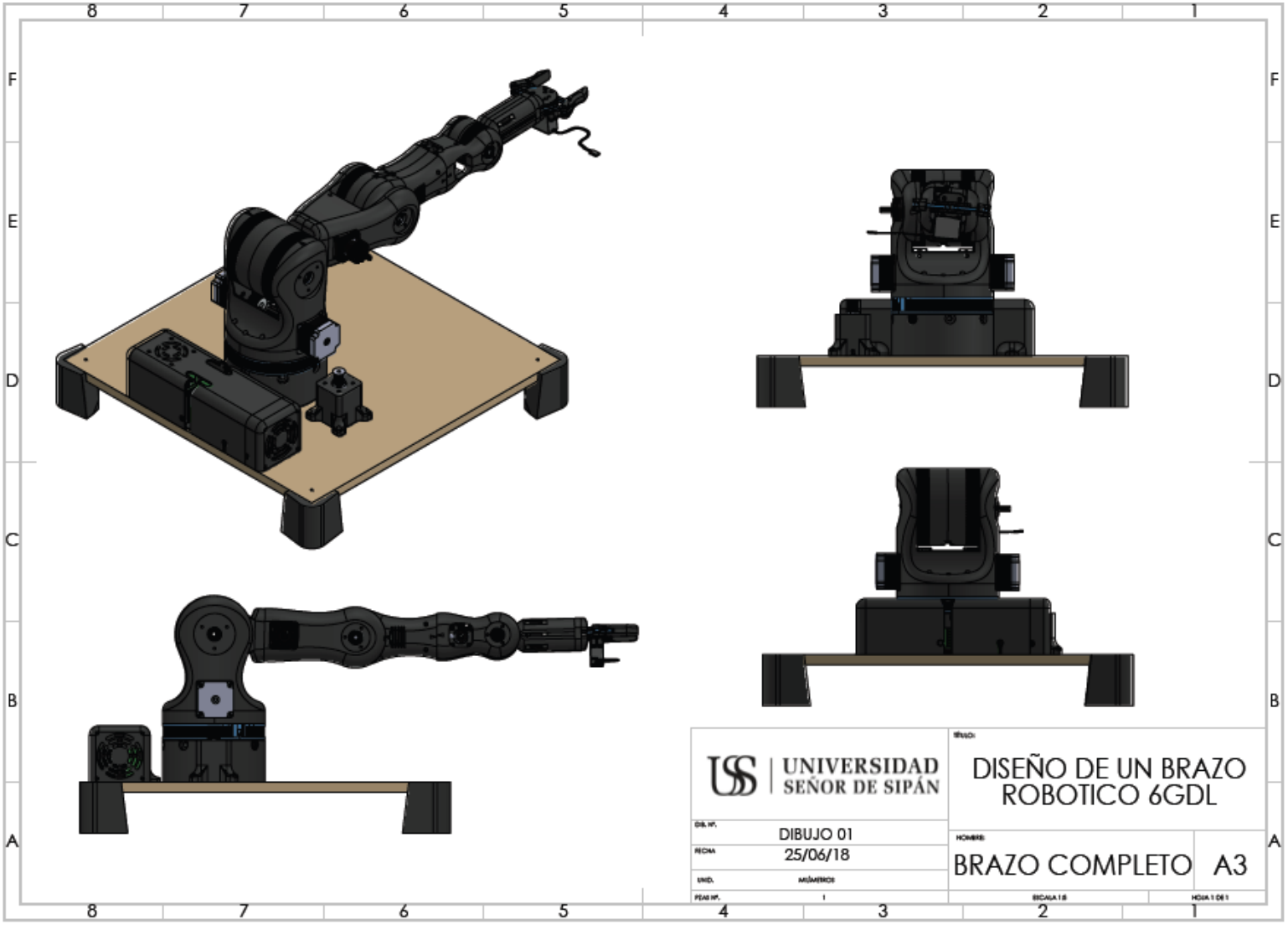


Figura 41: *Plano General del Brazo Robótico de 6 GDL Anexo Nº 12 a*

Fuente: Propia

3.4.Análisis económico

1. Presupuesto general para el brazo robótico

Se ha realizado una descripción de todos los componentes del brazo robótico de 6 GDL con todos sus costos y el listado total de componentes, partes e insumos que lo componen, los cuales pueden visualizarse en la Tabla N 22.

Tabla N° 22:

Costo de fabricación del Brazo Robótico Imprimible de 6 GDL

Fuente: Propia

PRESUPUESTO BRAZO ROBOTICO			
ESTRUCTURA	**CANTIDAD**	**COSTO UNITARIO**	**SUB TOTAL S/.**
Base plataforma 550mm x 550mm x 16mm	1	**15.00**	**15.00**
Impresión Articulación 1	1	**42.31**	**42.31**
Impresión Articulación 2	1	**70.57**	**70.57**
Impresión Articulación 3	1	**91.21**	**91.21**
Impresión Articulación 4	1	**39.93**	**39.93**
Impresión Articulación 5	1	**16.23**	**16.23**
Impresión Articulación 6	1	**17.90**	**17.90**
Impresión Actuador	1	**7.97**	**7.97**
Impresión Tapas	1	**39.51**	**39.51**
TOTAL			**340.63**

Tabla N° 22:

Costo de fabricación del Brazo Robótico Imprimible 6 GDL (continuación)

Fuente: Propia

PRESUPUESTO BRAZO ROBOTICO			
ACCESORIOS:	**CANTIDAD**	**COSTO UNITARIO**	**SUB TOTAL S/.**
Motor Nema 17 SY42STH47-1684A	1	**77.76**	**77.76**
Motor Nema 17 SY42STH33-1334MA	1	**72.28**	**72.28**
Motor Nema 17 con reducción 5:1 17HS19-1684S	1	**129.41**	**129.41**
Motor Nema 14 SY35ST36-1004A	2	**52.40**	**104.80**
Servo 180§ 55G torque=13kg/cm	1	**55.53**	**55.53**
Motor Nema 23 112mm, Ø8mm SM57STH112-3304A	1	**107.80**	**107.80**
ARDUINO mega 2560	1	**150.00**	**150.00**
Driver para motores modelo tb6560 o M335 (o compatible)	6	**63.30**	**380.00**
Fuente de Alimentación 24V 320W	1	**233.84**	**233.84**
Placa electrónica RAMPS V1.4	1	**35.00**	**35.00**
Convertidor de voltaje de 24V a 12V	1	**32.44**	**32.44**
Varilla Lisa bar-134mm	1	**8.87**	**8.87**
Varilla Lisa bar-114mm	1	**7.67**	**7.67**
Varilla lisa bar-80mm	1	**6.82**	**6.82**
Rodamientos 608ZZ 8mm x 22mm x 7mm	11	**2.50**	**27.50**
Rodamientos 625ZZ 5mm x 16mm x 5mm	8	**5.00**	**40.00**
Rodamientos 624ZZ 4mm x 13mm x 5mm	9	**13.57**	**122.13**
Rodamientos 623ZZ 3mm x 10mm x 4mm	3	**22.43**	**67.29**
Tuercas de inserción de latón M4	3	**7.03**	**21.09**
Tuercas de inserción de latón M3	20	**1.38**	**27.60**
Polea T5 diámetro 8mm. 14 dientes. 17mm ancho	3	**30.37**	**91.11**
Polea T5 diámetro 5mm. 10 dientes. 17 mm ancho	2	**27.96**	**55.92**
Varilla roscada ROD BAR M8 L 42mm	2	**4.20**	**8.40**
Acople motor 5 a 8 mm	2	**10.00**	**20.00**
Ventilador DC 24V 80x80mm	1	**18.97**	**18.87**

Tabla N° 22:
Costo de fabricación del Brazo Robótico Imprimible 6 GDL (continuación)
Fuente: Propia

ACCESORIOS:	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB TOTAL S/.
Ventilador DC 24V 50x50mm	1	**15.11**	**15.11**
Cable alimentación IEC 1.8m	1	**37.98**	**37.98**
Cable USB 2.0 AM/BM 1,8m	1	**9.90**	**9.90**
Presillas Cable Ties	10	**0.25**	**2.50**
Selfoil cojinetes 5mm x 8mm x 10mm	6	**1.64**	**9.84**
Setfoil cojinetes 8mm x 12mm x 20mm	2	**3.94**	**7.88**
Correa T5, 16 mm dentado. L 80cm	1,8m	**8.34**	**8.34**
Tornillo dimensión A: M-3 Dimensión B:10 mm	34	**0.22**	**7.48**
Tornillo dimensión A: M-3 Dimensión B:12 mm	6	**0.028**	**0.168**
Tornillo dimensión A: M-3 Dimensión B:16 mm	12	**0.034**	**0.40**
Tornillo dimensión A: M-3 Dimensión B:20 mm	4	**0.22**	**0.90**
Tornillo dimensión A: M-3 Dimensión B:30 mm	2	**0.087**	**0.174**
Tornillo dimensión A: M-3 Dimensión B:40 mm	7	**0.10**	**0.70**
Tornillo dimensión A: M-3 Dimensión B:35 mm	18	**0.092**	**16.56**
Tornillo dimensión A: M-3 Dimensión B:8 mm	4	**0.025**	**0.10**
Tornillo dimensión A: M-4 Dimensión B:12 mm	2	**0.037**	**0.10**
Tornillo dimensión A: M-4 Dimensión B:10 mm	2	**0.20**	**0.40**
Tornillo dimensión A: M-4 Dimensión B:16 mm	8	**0.043**	**0.34**
Tornillo dimensión A: M-4 Dimensión B:40 mm	4	**0.10**	**0.40**
Tornillo dimensión A: M-4 Dimensión B:45 mm	6	**0.10**	**0.60**
Tornillo dimensión A: M-4 Dimensión B:60 mm	4	**0.10**	**0.40**
Tornillo dimensión A: M-4 Dimensión B:25 mm	4	**0.25**	**1.00**

Tabla N° 22:

Costo de fabricación del Brazo Robótico Imprimible 6 GDL (continuación)

Fuente: Propia

ACCESORIOS:	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB TOTAL S/.
Tornillo dimensión A: M-4 Dimensión B:20 mm	3	**0.26**	**0.78**
Tornillo dimensión A: M-4 Dimensión B:30 mm	8	**0.10**	**0.80**
Tornillo dimensión A: M-5 Dimensión B:14 mm	120	**0.35**	**42.00**
Tornillo dimensión A: M-5 Dimensión B:20 mm	8	**0.30**	**2.40**
Tuerca Dimensión A: M-3	30	**0.10**	**3.00**
Tuerca Dimensión A: M-4	4	**0.38**	**1.52**
Tuerca Autoblocante Dimensión A: M-5	16	**0.031**	**0.51**
Tuerca Autoblocante Dimensión A: M-8	2	**0.063**	**0.12**
TOTAL	308		**2074.50**

MANO DE OBRA	DIAS	COSTO UNITARIO	SUB TOTAL S./
1	**40**	**40.00/día**	**1600.00**
TOTAL			**1600.00**

RESUMEN	MONTOS S/.
ESTRUCTURA	**340.63**
ACCESORIOS	**2074.50**
MANO DE OBRA	**1600.00**
TOTAL	**4015.10**

2. Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI).

El periodo de retorno de la inversión "PRI" es un indicador que determina el tiempo de recuperación de la inversión inicial del costo de los componentes del brazo robótico. Este valor se puede determinar de la forma como lo describe (Eggert, 2005).

$$P = \sum_{1}^{j} CF_j(1+i)^{-j}$$

Donde:

P: Valor monetario de la inversión inicial (soles)
CF_j: Flujo de caja positivo mensual (soles)
i: Tasa de interés (adimensional)
j: Periodo de recuperación de la inversión (meses)

El proyecto del diseño del brazo robótico, busca el autofinanciamiento de la empresa AYNI SAC. La tasa de interés anual "*i*" se impondrá en el caso que el proyecto sea financiado por alguna entidad bancaria.

De acuerdo a la información obtenida de las encuestas aplicada a los trabajadores de la empresa AYNI SAC (*Ver sección 3.1*), se estima que el flujo de caja será S/. 1500.00 anuales. En la *Figura 43* se muestran los valores de ganancia y tiempo de recuperación de la inversión inicial, estos se pueden interpretar de la siguiente manera, entre el segundo y el tercer año el brazo robótico generara ganancias de S/. 50.1466 y el tiempo de recuperación de la inversión de 2 meses y 29 días. Este cálculo está proyectado en 20 años máximo, lo cual, se podría obtener una ganancia total de S/. 25550.1466.

```
%ANALISIS ECONOMICO - PRI
% Programa para Calcular el Periodo de Retorno de Inversion
% Autores: FUENTES & ZUNINI
% Fecha: 09/05/2019
%-----------------------------------------------------------------
clear, clc, close all
% CONSTANTES
p=340.63+2074.5;     %(S/.)Precio de la maquina
igv=18;              %(%)Impuesto General a la Venta
d=40;                %(dias)Dias de Fabricacion
n=1;                 %(#)Trabajadores Involucrados
sd=40;               %(soles)Salario Diario por Trabajador
inter=0;             %(%) interes de prestamo del banco
%CALCULOS
```

```
Command Window

PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSION:

    Meses  = 2
    Dias = 29

fx >>
```

Figura 42. Análisis Económico del Brazo Robótico.

Fuente: Propia

CÁLCULO DE TIEMPO DE RETORNO DE INVERSIÓN DESCONTADO					0%
Year	Cash Flow ($)	CFj ($)	(P/F, 0%, n)	CFj(P/F,0%,n) ($)	Sum ($)
0	-4449.8534	-4449.85	1.00000	-4449.8534	-4449.8534
1	1500	1500	1.00000	1500	-2949.8534
2	1500	1500	1.00000	1500	-1449.8534
3	1500	1500	1.00000	1500	50.1466
4	1500	1500	1.00000	1500	1550.1466
5	1500	1500	1.00000	1500	3050.1466
6	1500	1500	1.00000	1500	4550.1466
7	1500	1500	1.00000	1500	6050.1466
8	1500	1500	1.00000	1500	7550.1466
9	1500	1500	1.00000	1500	9050.1466
10	1500	1500	1.00000	1500	10550.1466
11	1500	1500	1.00000	1500	12050.1466
12	1500	1500	1.00000	1500	13550.1466
13	1500	1500	1.00000	1500	15050.1466
14	1500	1500	1.00000	1500	16550.1466
15	1500	1500	1.00000	1500	18050.1466
16	1500	1500	1.00000	1500	19550.1466
17	1500	1500	1.00000	1500	21050.1466
18	1500	1500	1.00000	1500	22550.1466
19	1500	1500	1.00000	1500	24050.1466
20	1500	1500	1.00000	1500	25550.1466

CAMBIO	
2	-1449.85
3	50.147
Tiempo	2.9666
Meses	2
Días	29

Figura 43. Hoja de cálculo para el PRI.

Fuente: Propia

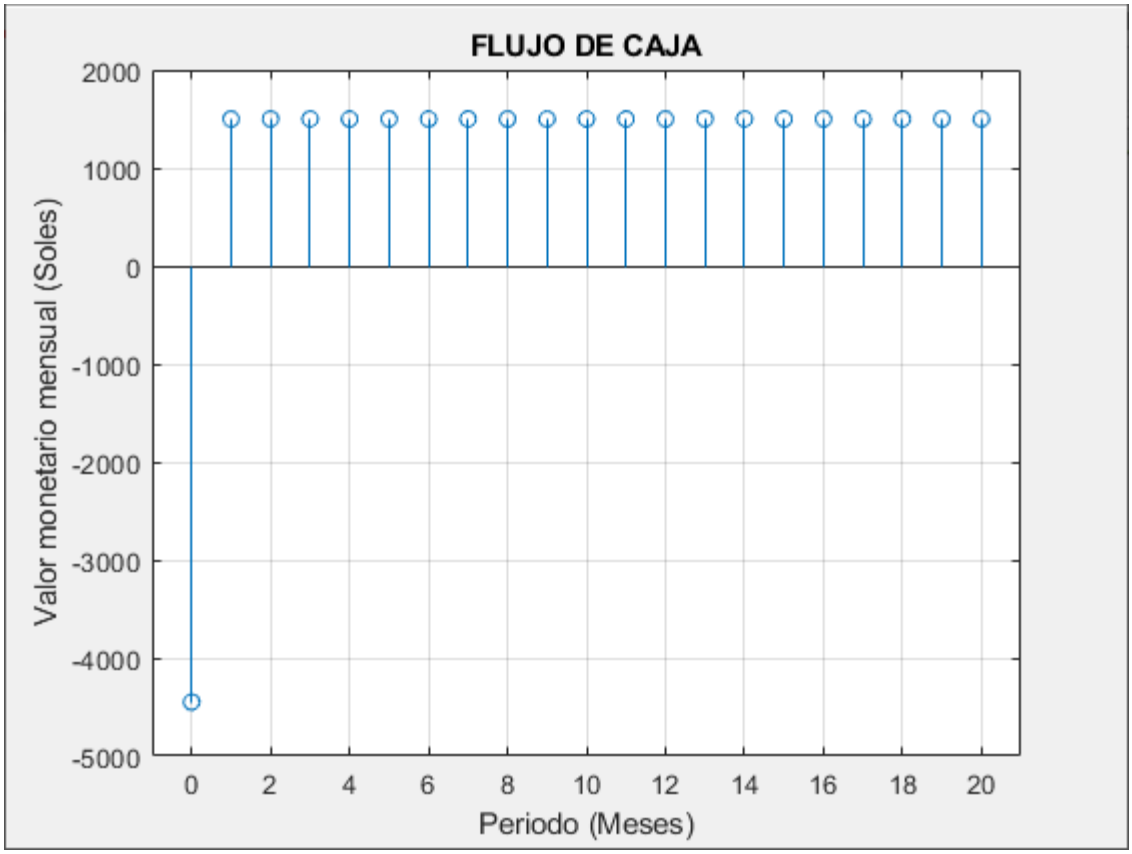


Figura 44. Flujo de caja.

Fuente: Propia

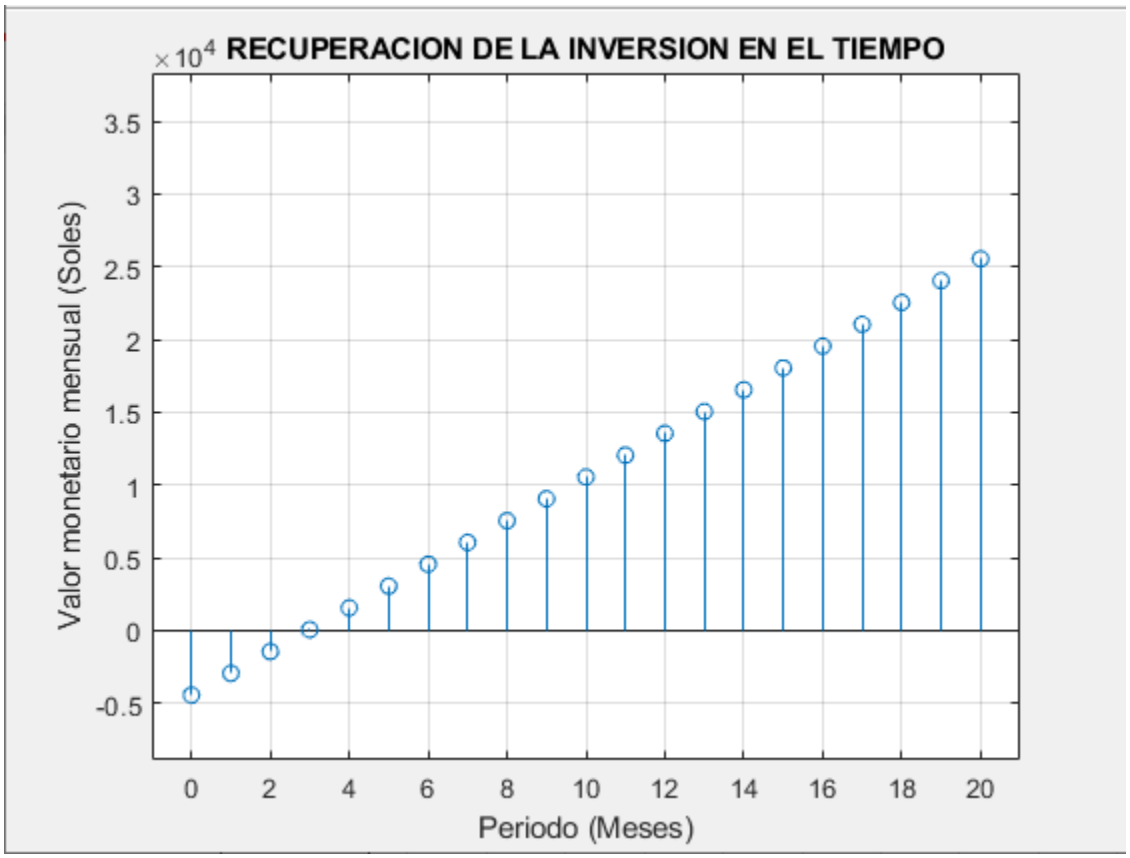


Figura 44. Tiempo de recuperación de la inversión.

Fuente: Propia

El flujo de caja esta graficado en la *Figura 43*, se muestra la inversión inicial realizada en el primer año y la ganancia anual de S/. 1500.00 proyectado en 20 años. En la *Figura 44* se aprecia el periodo de recuperación de inversión donde la tendencia de incremento es lineal debido a que la ganancia anual se consideró constante durante un periodo de 20 años. La ganancia anual reduce a la inversión inicial hasta los 2 meses y 29 días, periodo en el cual se recupera la inversión inicial y el monto alcanzado en el tiempo proyectado, después de este periodo tan solo se perciben ganancias por parte del equipo.

3.5. Discusión de Resultados

La entrevista fue ejecutada al Gerente general, 2 ingenieros y 2 trabajadores de la empresa AYNI SAC con el fin de determinar las necesidades y ventajas que daría un Brazo Robótico a la empresa. Esta información fue de mucha utilidad puesto que brindo una visión clara de sus necesidades.

Se extrajeron también recomendaciones de diseño de artículos científicos las cuales encaminaron la forma final del diseño del Brazo Robótico. Este proceso resulto ser muy crucial para la obtención de datos iniciales para los siguientes pasos de diseño; conceptual, de configuración, selección de sistema de control, modelamiento por impresión 3D, Diseño paramétrico y planos. En los antecedentes mencionados con anterioridad no se realizó esta etapa de diseño, lo cual simboliza un aporte del presente trabajo.

Durante la fase del diseño conceptual se generaron 06 conceptos alternativos los cuales se evaluaron mediante una matriz de criterios ponderados. Se consideraron los criterios de costo, estabilidad del sistema, ensamblaje, peso, tamaño, precisión, con la finalidad de seleccionar el brazo robótico más seguro y confiable para el laboratorio de automatización. Esto permitió direccionar cuantitativamente el flujo de diseño y evitar ambigüedades.

Con el fin de seleccionar la mejor opción que satisfaga las necesidades de la empresa AYNI SAC, asimismo soportar cargas y esfuerzo a las que será sometido el Brazo robótico, se elaboró tres diseños de configuración teniendo en cuenta los criterios de las normativas y recomendaciones de diseño como son el uso material, fácil ensamblaje, estabilidad del sistema, espacio, tamaño precisión, refuerzos en la estructura.

Considerando los resultados de las entrevistas, el diseño conceptual, el diseño de configuración y el juicio ingenieril se procedió a especificar las dimensiones del brazo

robótico, orientándose de las normativas y recomendaciones de diseño y las especificaciones de ingeniería.

Se ha realizado una descripción de todos los componentes del brazo robótico de 6 GDL con todos sus costos y el listado total de componentes, partes e insumos que lo componen. Posteriormente, se procedió a realizar un cuadro señalando modelos similares de Brazos Robóticos de 6GDL con el fin de comparar los precios y observar el ahorro que se generaría al construir el diseño de brazo propuesto, con lo cual se obtuvieron resultados muy favorables, puesto que se adquirió un ahorro máximo de S/.58080.85 y un mínimo de S/.2555.9.

CAPITULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Fue indispensable determinar las necesidades de la empresa AYNI SAC mediante entrevistas los cuales fueron tomados solo como referencia, para emprender con el diseño del Brazo Robótico. Asimismo, buscar normas y recomendaciones de diseño para fijarlos en especificaciones de rangos deseados para las funciones del brazo robótico. Esto brindó permitió iniciar la secuencia diseño conceptual, de configuración y paramétrico.

La matriz de selección ponderada de Eggert, permitió la selección del diseño conceptual conociendo y evaluado las ventajas y desventajas entre los conceptos de diseño presentados. Gracias a esta técnica se pudo decidir que el concepto 2: Brazo Robótico imprimible con 6 GDL de manipulación es el más apropiado para este trabajo de investigación.

A través de la matriz Jacobiana se obtuvo la relación entre las velocidades de articulaciones y las velocidades lineales y angulares correspondientes del efector final. Asimismo, se lograron determinar configuraciones particulares, analizar redundancias, definir algoritmos de cinemática inversa para el análisis de velocidad, detallar la relación entre las fuerzas aplicadas al efector final y los pares de torsión resultantes en las articulaciones, deducir los algoritmos de dinámica.

Las configuraciones de las partes del brazo robótico fueron diseñadas en el software, el cual permitió el diseño adecuado de su geometría, así mismo permitió los cálculos de las cargas que afectan las partes imprimibles del brazo robótico.

Por medio del software ANSYS ACADEMIC 18.2, se realizó el cálculo del factor de Von Mises, la deformación a la que será sometida y el factor de seguridad de

las piezas más críticas que compondrán al brazo robótico, lo cual fue fundamental para la continuación del proyecto y diseño de la estructura

El interfaz gráfica de usuario o más conocida como GUI permitió obtener resultados. El diseño paramétrico permitió que en función de las variables de diseño sean evaluadas el comportamiento de las variables de solución. Por tal motivo, el diseño paramétrico es muy importante para tomar decisiones en el análisis de partes críticas.

Mediante la integración numérica se predice el desplazamiento angular que tendrá cada articulación, teniendo en cuenta las velocidades en cada una de las articulaciones, el tiempo en el que se quiere realizar el movimiento y las longitudes de cada eslabón del brazo. Finalmente estos datos, se ingresan al modelo cinemático el cual brinda como resultados, las velocidades lineales y angulares del efector final en cada dirección del sistema cartesiano base. Por lo tanto se concluye que, el proceso que se realiza en la empresa incluye el pintado y el recubrimiento de resina en una sola tarea, con lo cual se logra reducir el tiempo de fabricación de cada alabe. Para lograr este proceso el tipo de pintura que se emplea está hecha a base de resina epoxi con un tiempo de secado de 12 a 15 min.

Se concluye que el proyecto entre el segundo y el tercer año lograra generar ganancias de S/. 50.1466 y el tiempo de recuperación de la inversión serán de 2 meses y 29 días. Este cálculo está proyectado en 20 años máximo, lo cual, se podría obtener una ganancia total de S/. 25550.1466.

4.2. RECOMENDACIONES

Es recomendable seguir las normas de diseño para la construcción del brazo robótico, de tal manera que podrán conseguir los resultados deseados y óptimo desempeño del mecanismo.

Así mismo se sugiere realizar estudios posteriores para actualizar y potenciar el mecanismo del brazo robótico para obtener un mejor desempeño.

CAPITULO V
REFERENCIAS

REFERENCIAS

Aguilar Romero, A (2012). DISEÑO, IMPRESIÓN, MONTAJE Y CONTROL DE UN MANIPULADOR ROBOTICO. España

Alonzo F. M. - Bravo M. E. (2014). DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CONTROL DE UN BRAZO ROBÓTICO. Ecuador

Aristizábal Torres, D. (2009). DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO PARA APLICACIONES FITOSANITARIAS. España

Batz Saquimux, C. R. (2005). DISEÑO Y CONTRUCCION DE UN BRAZO ROBOTICO. Guatemala

Blog educativo: Trabajo de investigación de página web industrial. (2019). Robot cilíndrico. Recuperado de http://trabajodeinformaticaindustrial2015.blogspot.com/2015/05/tipos-de-robots-industriales.html

Blog educativo: Trabajo de investigación de página web industrial. (2019). Robot Polar. Recuperado de http://trabajodeinformaticaindustrial2015.blogspot.com/2015/05/tipos-de-robots-industriales.html

Blog educativo: Trabajo de investigación de página web industrial. (2019). Robot Articulado. Recuperado de http://trabajodeinformaticaindustrial2015.blogspot.com/2015/05/tipos-de-robots-industriales.html

Dieter y Schmidt, (2007) Engineering Desing. EE.UU

DIRECTINDUSTRY. (2019). Robot cartesiano/ 4 ejes/ 3 ejes/ de dosificación JR3000AP-D. Recuperado de http://www.directindustry.es/prod/janome-industrial-equipment/product-21823_1834331.html?utm_source=ProductDetail&utm_medium=Web&utm_content=SimilarProduct&utm_campaign=CA

DIRECTINDUSTRY. (2019). Robot Scara/ 4 ejes/ para ensamblaje/ de empaque TH1050-A. Recuperado de http://www.directindustry.es/prod/tm-robotics/product-20959-1037207.html

El Brazo Robótico. (2019). Tipos de brazos Robóticos. Robot Paralelo. Recuperado de http://brazo-robotic-3b.blogspot.com/2014/04/tipos-de-brazos-roboticos.html

El Brazo Robótico. (2019). Tipos de brazos Robóticos. Robot Antropomórfico. Recuperado de http://brazo-robotic-3b.blogspot.com/2014/04/tipos-de-brazos-roboticos.html

Garrido Jaramillo, S. J. (2016). PROTOTIPADO Y CONSTRUCCION MEDIANTE IMPRESIÓN 3D DE UN BRAZO ROBOTICO INALAMBRICO PARA PROCESAR INDUSTRIALES DE ALTO RIESGO. Ecuador

Gier, M. d. (2015). *CONTROL OF A ROBOTIC ARM: APPLICATION TO ON SURFACE 3D-PRINTING.* Paises Bajos.

GRABCAD COMMUNITY (2019). SolidWorks. Recuperado de https://grabcad.com/questions/how-to-convert-solidworks-file-to-obj

Hassan (2015). "Simulation of spray painting using articulated - Arm robot". Irak.

Hestia (2019). AutoCad Logo. Recuperado de https://www.thetoolanddieguy.com/autocad-logo-2/

IAR234 Robótica (2019). UNIDAD 02: FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS Y FÍSICOS. (2da parte). Recuperado de http://slideplayer.es/slide/2261797/

Ingenieros.es. (2019). ANSYS lanza su versión 16.0, que permite validar prototipos virtuales de sistemas complejos. Recuperado de http://www.ingenieros.es/noticias/ver/ansys-lanza-su-version-160-que-permite-validar-prototipos-virtuales-de-sistemas-complejos/5239

Impresoras 3D. (2019). Recuperado de https://impresoras3d.com/

International Organization for Standardization. (2019). Recuperado de ttps://www.iso.org/committee/5915511/x/catalogue

Inventos Modernos. (2019). El robot Industrial. Recuperado de http://www.inventosmodernos.cl/robot.htm

ISA. (2019). Manejo de linear Analysis en MatLab/ Simulink. Recuperado de http://isa.uniovi.es/ISAwiki/index.php/Manejo_de_Linear_Analysis_en_Matlab/Simulink

Iyer, N. B. (2014). *"ROBOTIC HAND IN MOTION USING ARDUINO-CONTROLLED SERVOS".* EE.UU.

López Apolostolovich (2009). Modelación y simulación dinámica de un brazo robótico de 4 grados de libertad para tareas sobre un plano horizontal. Perú

Meneses Martínez, Á. (2015). *MECHANICAL DESIGN OF A ROBOT'S GRIPPER.* Polonia.

MMCAFE Discussion Forum Of Machines. (2019). Industrial IoT: A Key Topic At The Honeywell Conference. Recuperado de https://www.m2mcafe.com/news/industrial-iot-a-key-topic-at-the-honeywell-conference-3252

Muniz-Garcia, P. (2015). *CONCRETE 3D PRINTING WITH ROBOTIC ARM APPLICATION.* EE.UU.

NORT 3D. (2019). Impresoras 3d en la construcción de un motor de Fórmula 1. Recuperado de http://nort3d.com/blog/impresoras-3d-en-la-construccion-de-un-motor-de-formula-1/

Platea. (2019), Estructura de un robot Industrial. Componentes. Recuperado de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/morfologia.htm

Platea. (2019), Estructura de un robot Industrial. Manipulador. Recuperado de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/morfologia.htm

Programinas. (2019). MATLAB. Recuperado de http://prograetsime.wikidot.com/matlab

Ramos Velazco, M. A. - Flores Valencia, J. H. (2012). CONTRUCCION DE UN PROTOTIPO DE UN BRAZO ROBOTICO CONTROLADO POR UN ORDENADOR. (Ecuador)

Riofrio, M. T. (2016). *DISEÑO Y ENSAMBLE DE UN BRAZO ROBOT COMO MÓDULO DE LABORATORIO PARA EL ESCANEO DE CURVAS EN 3D.* Perú.

Rodríguez Zambrana, J. C. (2012). *"MODELO CINEMÁTICO Y CONTROL DE UN BRAZO ROBÓTICO IMPRIMIBLE".* España.

Sanabria Ariza, R. - Ortiz Herran, S. (2015). DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO CLASIFICADOR DE OBJETOS. Colombia

Sanchez, A. (2011). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BRAZO ROBOT ARTICULADO DE SEIS GRADOS DE LIBERTAD. Mexico.

Yavapai College (2019). SolidWorks training now available at YC. Recuperado de https://www.yc.edu/articles/SolidWorks-training-now-available-at-YC./4663

WIKIMEDIA COMMONS. (2019). ANSYS Logo. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ANSYS_logo.png

Wiki. Robótica. (2019). Metodología de Denavit Hartenberg. Recuperado de http://wiki.robotica.webs.upv.es/wiki-de-robotica/cinematica/metodologia-de-denavit-hartenberg/

Zevallos, R. d. (2009). *DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL DE UN ACTUADOR PARA UN BRAZO ROBOT DE APOYO EN ARTROSCOPIA DE RODILLA PARA DIAGNÓSTICO DE LESIONES. Perú.*

2ACAD Graitec Group. (2019). AutoDesk AutoCAD Mechanical 2019. Recuperado de https://www.2acad.es/portfolio-item/autocad-mechanical/

ANEXOS

ANEXO No. 1: ENTREVISTA NECESIDADES EMPRESA AYNI SAC: Enrique Rodríguez Zamora (Gerente General)

USS | UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

ENTREVISTA PARA LA DETERMINACION DE NECESIDADES DE DISEÑO PARA UN BRAZO ROBOTICO DE 6 GRADOS DE LIBERTAD PARA PINTADO DE UNIDADES DE VENTILADORES EN LA EMPRESA AYNI SAC – LA LIBERTAD

Nombre y Apellidos : Enrique Rodríguez Zamora

Cargo : Gerente General

Rubro de empresa : Fabricación de alabes

Entrevistador : _____

INSTRUCCIONES:

- Lea cuidadosamente cada una de las preguntas, luego proceda a marcar en la respectiva hoja su respuesta.
- A cada pregunta le corresponde solo una alternativa de respuesta.
- Al marcar usted puede utilizar una (X) o una (√) o en otro caso responder a la interrogante.

CUESTIONARIO

ASPECTO DE INFLUENCIA DEL PRODUCTO EN LA EMPRESA

1. ¿Cuánto tiempo toma realizar el pintado de un ventilador de forma manual?

Para un ventilador mediano 1.2 - 1.3 m 7 minutos aprox

2. ¿Cuántas personas están asignadas al proceso de pintado?

2 personas

3. ¿Cuántas unidades de ventiladores desearía pintar al día?

6 ventiladores de 6 alabes cada uno

4. ¿Cuán importante sería conseguir la automatización del proceso de pintado de alabes de ventiladores?

Es importante porque se gastaría menos material y ahorro de tiempo en el proceso de pintado

5. ¿Ha oído hablar de los brazos robóticos aplicados a la producción / fabricación?

Si, en el engiborado de autopartes para vehículos

6. ¿En qué tipo de procesos de la empresa AYNI SAC considera usted que se podría emplear un brazo robótico?

Laminado, moldeado en vacío, corte con laser.

7. ¿Existe algún plan de acción a corto o largo plazo para la implementación de la automatización en su línea de producción?

Si, actualmente se tiene el deseo e interes de innovar

8. En su opinión, ¿Qué importancia tendría la implementación de un brazo robótico en la empresa AYNI SAC para el pintado de alabes de ventilador?

La aplicación o implementación es de gran importancia pues nos hará competitivos en el mercado nacional e internacional

9. En su opinión ¿Qué características debería poseer un brazo robótico para ser efectivo en el pintado de los alabes de ventilador?

Dimensiones (Largo, Ancho, altura):

1,5 m largo y menor a los 50 cm de ancho

Color:

-

Material de partes:

Aluminio, plastico (PLA)

Potencia:

-

Mecanismos (Ejemplo: Pinza, sopletes, etc):

Sopletes, pulverizadores

Otras caracteristicas:

Permita realizar operaciones adicionales como cortes e instalacion de componentes mecanicos

ASPECTO ECONOMICO

10. ¿Estaría dispuesto a adquirir un brazo robótico?

[X] Sí [ ] No Comentario: .....

11. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por un brazo robótico?

Entre S/.800 - S/.1500 [ ] Entre S/.1500 - S/.2500 [ ]

Entre S/.2500 - S/.4000 [X] Entre S/.4000 - S/.6000 [ ]

Otros: .....

C. Enrique [illegible] Zamora
GERENTE GENERAL
AYM S.A.C.

ANEXO No. 2: ENTREVISTA NECESIDADES EMPRESA AYNI SAC: Alexander Marquina Pérez (Supervisor)

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

ENTREVISTA PARA LA DETERMINACION DE NECESIDADES DE DISEÑO PARA UN BRAZO ROBOTICO DE 6 GRADOS DE LIBERTAD PARA PINTADO DE UNIDADES DE VENTILADORES EN LA EMPRESA AYNI SAC – LA LIBERTAD

Nombre y Apellidos : Alexander Marquina Perez

Cargo : Supervisor

Rubro de empresa : Servicios de Diseño y Mantenimiento y Trabajos en Fibra de Vidrio

Entrevistador :

INSTRUCCIONES:

- Lea cuidadosamente cada una de las preguntas, luego proceda a marcar en la respectiva hoja su respuesta.
- A cada pregunta le corresponde solo una alternativa de respuesta.
- Al marcar usted puede utilizar una (X) o una (√) o en otro caso responder a la interrogante.

CUESTIONARIO

ASPECTO DE INFLUENCIA DEL PRODUCTO EN LA EMPRESA

1. ¿Cuánto tiempo toma realizar el pintado de un ventilador de forma manual?

   Aprox. 40 min. (por a labe)

2. ¿Cuántas personas están asignadas al proceso de pintado?

Un promedio de 2 personas.

3. ¿Cuántas unidades de ventiladores desearía pintar al día?

2 ventiladores (12 alabes)

4. ¿Cuán importante sería conseguir la automatización del proceso de pintado de alabes de ventiladores?

Muy importante para reducir tiempo, costos y aprovechar al personal en otras labores.

5. ¿Ha oído hablar de los brazos robóticos aplicados a la producción / fabricación?

Si en el pintado de autos

6. ¿En qué tipo de procesos de la empresa AYNI SAC considera usted que se podría emplear un brazo robótico?

En el pintado de piezas, Maquinarias

7. ¿Existe algún plan de acción a corto o largo plazo para la implementación de la automatización en su línea de producción?

Si, con la uso de algunos equipos tecnológicos (Impresora 3D, etc.)

8. En su opinión, ¿Qué importancia tendría la implementación de un brazo robótico en la empresa AYNI SAC para el pintado de alabes de ventilador?

Sería lo mejor cuando se tenga una producción de varias unidades.

DNI: 46491764

ASPECTO DEL DISEÑO DEL PRODUCTO

9. En su opinión ¿Qué características debería poseer un brazo robótico para ser efectivo en el pintado de los alabes de ventilador?

Dimensiones (Largo, Ancho, altura):
Que alcance un alto útil de 3mt con ancho de 2mt

Color:
Negro, para que no se note la suciedad ni refleje mucho luz.

Material de partes:
PLA, ABS, PRFV, Aluminio

Potencia:

Mecanismos (Ejemplo: Pinza, sopletes, etc):
Mecanismo sujeción pinza, soplete intercambiable pintura, resina, etc.

Otras caracteristicas:
Facil programación, compatible a programas CAD si fuera el caso.

ASPECTO ECONOMICO

10. ¿Estaría dispuesto a adquirir un brazo robótico?

[X] Si [ ] No Comentario: Tendría que analizar costo - Beneficio

11. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por un brazo robótico?

Entre S/.800 - S/.1500 [ ] Entre S/.1500 - S/.2500 [ ]

Entre S/.2500 - S/.4000 [X] Entre S/.4000 - S/.6000 [ ]

Otros: .....

DNI 46491164

ANEXO No. 3: ENTREVISTA NECESIDADES EMPRESA AYNI SAC: Rolando David Rodríguez Mercedes (Supervisor)

USS | UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

ENTREVISTA PARA LA DETERMINACION DE NECESIDADES DE DISEÑO PARA UN BRAZO ROBOTICO DE 6 GRADOS DE LIBERTAD PARA PINTADO DE UNIDADES DE VENTILADORES EN LA EMPRESA AYNI SAC – LA LIBERTAD

Nombre y Apellidos : Rolando David Rodrigues Mercedes

Cargo : SUPERVISOR

Rubro de empresa : TRABAJOS EN FIERRO DE VIENTO, TORNOS DE CONFORMADO, ETC.

Entrevistador : _____

INSTRUCCIONES:

- Lea cuidadosamente cada una de las preguntas, luego proceda a marcar en la respectiva hoja su respuesta.
- A cada pregunta le corresponde solo una alternativa de respuesta.
- Al marcar usted puede utilizar una (*X*) o una (√) o en otro caso responder a la interrogante.

CUESTIONARIO

ASPECTO DE INFLUENCIA DEL PRODUCTO EN LA EMPRESA

1. ¿Cuánto tiempo toma realizar el pintado de un ventilador de forma manual?

   1 hora Aproximadamente

2. ¿Cuántas personas están asignadas al proceso de pintado?

2 personas (1 persona pintando y 1 persona moviendo la pintura con el acondicionador)

3. ¿Cuántas unidades de ventiladores desearía pintar al día?

~~40~~ 24 álabes de 1,6m a diario

4. ¿Cuán importante sería conseguir la automatización del proceso de pintado de alabes de ventiladores?

- El pintado pareja o uniforme en todo el cuerpo de los alabes del ventilador

5. ¿Ha oído hablar de los brazos robóticos aplicados a la producción / fabricación?

Si en la industria Automotriz (carros)

6. ¿En qué tipo de procesos de la empresa AYNI SAC considera usted que se podría emplear un brazo robótico?

En el laminado de paredes curvas, planas o en puntos angulo donde existe complicaciones de laminado con brochas ¿cómo gustaría

7. ¿Existe algún plan de acción a corto o largo plazo para la implementación de la automatización en su línea de producción?

Hasta el momento no existe todavía una visión de un Automatizacion en alguna línea de producción en Gold y en las Trabajos se vuelve (no repetitivos)

8. En su opinión, ¿Qué importancia tendría la implementación de un brazo robótico en la empresa AYNI SAC para el pintado de alabes de ventilador?

Le daría un acabado uniforme el ~~pintado~~ marketing de la empresa

ASPECTO DEL DISEÑO DEL PRODUCTO

9. En su opinión ¿Qué características debería poseer un brazo robótico para ser efectivo en el pintado de los alabes de ventilador?

Dimensiones (Largo, Ancho, altura):

3m x 3m x 3m

Color:

negro o blanco

Material de partes:

Fierro negro o inoxidable, alas Aluminio, PLA ABS

Potencia:

Mecanismos (Ejemplo: Pinza, sopletes, etc):

Pistola de pintar y Pistola para laminar,

Otras caracteristicas:

ASPECTO ECONOMICO

10. ¿Estaría dispuesto a adquirir un brazo robótico?

☑ Si ☐ No Comentario: .....

11. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por un brazo robótico?

Entre S/.800 - S/.1500 ☐ Entre S/.1500 - S/.2500 ☐

Entre S/.2500 - S/.4000 ☐ Entre S/.4000 - S/.6000 ☑

Otros: .....

ANEXO No. 4: ENTREVISTA NECESIDADES EMPRESA AYNI SAC: Guillermo Amaya Gutiérrez

USS | UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

ENTREVISTA PARA LA DETERMINACION DE NECESIDADES DE DISEÑO PARA UN BRAZO ROBOTICO DE 6 GRADOS DE LIBERTAD PARA PINTADO DE UNIDADES DE VENTILADORES EN LA EMPRESA AYNI SAC – LA LIBERTAD

Nombre y Apellidos : Guillermo Amaya Gutierrez

Cargo : Encargado Area FV. AYNI SAC

Rubro de empresa : Fab. de Torres de Enfriamiento y Accesorios & Repuest

Entrevistador : _____

INSTRUCCIONES:

- Lea cuidadosamente cada una de las preguntas, luego proceda a marcar en la respectiva hoja su respuesta.
- A cada pregunta le corresponde solo una alternativa de respuesta.
- Al marcar usted puede utilizar una (X) o una (√) o en otro caso responder a la interrogante.

CUESTIONARIO

ASPECTO DE INFLUENCIA DEL PRODUCTO EN LA EMPRESA

1. ¿Cuánto tiempo toma realizar el pintado de un ventilador de forma manual?
   ..... 10 - 20 ..... min ... 10 .. pequeño .....
   ..... 15 .. mediano .....
   ..... 20 .. grande .....

J. Guillermo Amaya G. 936588410 Cel 34/58

2. ¿Cuántas personas están asignadas al proceso de pintado?

01 mediano 02 personas 03 x tamaño

3. ¿Cuántas unidades de ventiladores desearía pintar al día?

mediano 40 a min 20
mediano 60 M min 30
chico 120 ch min 50

4. ¿Cuán importante sería conseguir la automatización del proceso de pintado de alabes de ventiladores?

Ahorrar tiempo

5. ¿Ha oído hablar de los brazos robóticos aplicados a la producción / fabricación?

Si conozco y tengo experiencia

6. ¿En qué tipo de procesos de la empresa AYNI SAC considera usted que se podría emplear un brazo robótico?

En la pinción de paredes los componentes en forma de alabes y accesorios grandes

7. ¿Existe algún plan de acción a corto o largo plazo para la implementación de la automatización en su línea de producción?

Hay es para a mediano plazo

8. En su opinión, ¿Qué importancia tendría la implementación de un brazo robótico en la empresa AYNI SAC para el pintado de alabes de ventilador?

Ahorro mano de Obra
Mejora Acabado

ASPECTO DEL DISEÑO DEL PRODUCTO

9. En su opinión ¿Qué características debería poseer un brazo robótico para ser efectivo en el pintado de los alabes de ventilador?

Dimensiones (Largo, Ancho, altura):
Pintado y Corte Sellado de molde

Color:
variados ó mínimo los primarios

Material de partes:
Plásticos al 100%

Potencia:
1 ó 2 atm.

Mecanismos (Ejemplo: Pinza, sopletes, etc):
tijeras elementos de corte y nivel

Otras caracteristicas:
Económico en Voltaje y material de limpieza

ASPECTO ECONOMICO

10. ¿Estaría dispuesto a adquirir un brazo robótico?

[X] Sí [ ] No Comentario: Bueno material y

11. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por un brazo robótico?

Entre S/.800 - S/.1500 [ ] Entre S/.1500 - S/.2500 [X]

Entre S/.2500 - S/.4000 [ ] Entre S/.4000 - S/.6000 [ ]

Otros: .....

ANEXO No. 5: ENTREVISTA NECESIDADES EMPRESA AYNI SAC: Johana Vásquez

USS | UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

ENTREVISTA PARA LA DETERMINACION DE NECESIDADES DE DISEÑO PARA UN BRAZO ROBOTICO DE 6 GRADOS DE LIBERTAD PARA PINTADO DE UNIDADES DE VENTILADORES EN LA EMPRESA AYNI SAC – LA LIBERTAD

Nombre y Apellidos : Johana Vasquez – Ana Salazar.

Cargo : Ninguno

Rubro de empresa : Area de fibra.

Entrevistador :

INSTRUCCIONES:

- Lea cuidadosamente cada una de las preguntas, luego proceda a marcar en la respectiva hoja su respuesta.
- A cada pregunta le corresponde solo una alternativa de respuesta.
- Al marcar usted puede utilizar una (*X*) o una (√) o en otro caso responder a la interrogante.

CUESTIONARIO

ASPECTO DE INFLUENCIA DEL PRODUCTO EN LA EMPRESA

1. ¿Cuánto tiempo toma realizar el pintado de un ventilador de forma manual?

   Toma 10 minutos.

2. ¿Cuántas personas están asignadas al proceso de pintado?

Solo 2.

3. ¿Cuántas unidades de ventiladores desearía pintar al día?

36 alabes.

4. ¿Cuán importante sería conseguir la automatización del proceso de pintado de alabes de ventiladores?

Si es importante reducir Tiempo

5. ¿Ha oído hablar de los brazos robóticos aplicados a la producción / fabricación?

Si

6. ¿En qué tipo de procesos de la empresa AYNI SAC considera usted que se podría emplear un brazo robótico?

En el pintado, Fabricación y preparación de pinturas y cortado de material.

7. ¿Existe algún plan de acción a corto o largo plazo para la implementación de la automatización en su línea de producción?

Un acción corto.

8. En su opinión, ¿Qué importancia tendría la implementación de un brazo robótico en la empresa AYNI SAC para el pintado de alabes de ventilador?

La importancia sería que nos ayuda para que así el pintado sea mejor para una buena producción.

ASPECTO DEL DISEÑO DEL PRODUCTO

9. En su opinión ¿Qué características debería poseer un brazo robótico para ser efectivo en el pintado de los alabes de ventilador?

Dimensiones (Largo, Ancho, altura):

Largo y altura.

Color:

Azul.

Material de partes:

Metal., ~~Pto~~ PLA

Potencia:

— Que sea rapido.

Mecanismos (Ejemplo: Pinza, sopletes, etc):

Los dos cosas

Otras caracteristicas:

— q' tenga fijadora para q' fije

ASPECTO ECONOMICO

10. ¿Estaría dispuesto a adquirir un brazo robótico?

☒ Sí ☐ No Comentario: para q' es importante

11. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por un brazo robótico?

Entre S/.800 - S/.1500 ☒ Entre S/.1500 - S/.2500 ☐

Entre S/.2500 - S/.4000 ☐ Entre S/.4000 - S/.6000 ☐

Otros: —

ANEXO No. 6: ISO 9787:1999 ROBOTS Y DISPOSITIVOS ROBÓTICOS

DEUTSCHE NORM **Juli 2000**

	Industrieroboter Koordinatensysteme und Bewegungsnomenklaturen (ISO 9787:1999) Deutsche Fassung EN ISO 9787:1999	DIN EN ISO 9787

ICS 25.040.30

Ersatz für
DIN EN 29787:1992-09

Manipulating industrial robots —
Coordinate systems and motion nomenclatures (ISO 9787:1999);
German version EN ISO 9787:1999

Robots manipulateurs industriels —
Systèmes et nomenclatures de mouvements (ISO 9787:1999);
Version allemande EN ISO 9787:1999

Die Europäische Norm EN ISO 9787:1999 hat den Status einer Deutschen Norm.

Beginn der Gültigkeit

EN ISO 9787:1999 wurde am 16. März 1999 angenommen.

Nationales Vorwort

Diese Norm beinhaltet die Deutsche Fassung der in der Parallelumfrage übernommenen ISO 9787:1999. Die nationalen Interessen wurden dabei vom Fachbereich Montage- und Handhabungstechnik im Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN wahrgenommen.

Für die im Abschnitt 2 zitierten Internationalen Normen, soweit sie nicht als DIN-EN-ISO-Normen mit gleicher Zählnummer veröffentlicht sind, wird im folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 9946:1999 siehe DIN EN ISO 9946:2000-07

Änderungen

Gegenüber DIN EN 29787:1992-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

– ISO 9787:1990 technisch überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN EN 29787: 1992-09

Nationaler Anhang NA (informativ)
Literaturhinweise

DIN EN ISO 9946
Industrieroboter — Darstellung charakteristischer Eigenschaften (ISO 9946:1999)

Fortsetzung 8 Seiten EN

Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

ANEXO No. 7: ISO 10218-1:2011 ROBOTS Y DISPOSITIVOS ROBÓTICOS

DEUTSCHE NORM **Januar 2012**

DIN EN ISO 10218-1

DIN

ICS 25.040.30

Ersatz für
DIN EN ISO 10218-1:2009-07

Industrieroboter – Sicherheitanforderungen – Teil 1: Roboter (ISO 10218-1:2011); Deutsche Fassung EN ISO 10218-1:2011

Robots and robotic devices –
Safety requirements for industrial robots –
Part 1: Robots (ISO 10218-1:2011);
German version EN ISO 10218-1:2011

Robots et dispositifs robotiques –
Exigences de sécurité pour les robots industriels –
Partie 1: Robots (ISO 10218-1:2011);
Version allemande EN ISO 10218-1:2011

Gesamtumfang 55 Seiten

Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN

ANEXO No. 8: ISO 9409-2:2002 ROBOTS Y DISPOSITIVOS ROBÓTICOS

DEUTSCHE NORM **Oktober 2003**

Industrieroboter
Mechanische Schnittstellen
Teil 2: Schäfte
(ISO 9409-2:2002) Deutsche Fassung EN ISO 9409-2:2003

DIN
EN ISO 9409-2

ICS 25.040.30

Ersatz für
DIN EN ISO 9409-2:1997-06

Manipulating industrial robots — Mechanical interfaces —
Part 2: Shafts (ISO 9409-2:2002);
German version EN ISO 9409-2:2003

Robots manipulateurs industriels — Interfaces mécaniques —
Partie 2: Interfaces à queue (ISO 9409-2:2002);
Version allemande EN ISO 9409-2:2003

Die Europäische Norm EN ISO 9409-2:2003 hat den Status eine Deutschen Norm.

Beginn der Gültigkeit

EN ISO 9409-2:2003 wurde am 27. Dezember 2002 angenommen.

Nationales Vorwort

Diese Norm beinhaltet die Deutsche Fassung der ISO 9409-2:2002, die vom Technischen Komitee ISO/TC 184 „Industrial automation and integration" in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 310 „Fortgeschrittene Fertigungstechniken" erarbeitet wurde. Das Sekretariat wird von BSI gehalten.

Die nationalen Interessen bei der Erarbeitung wurden vom Fachbereich Industrielle Automation und Integration des Normenausschusses Maschinenbau (NAM) im DIN wahrgenommen.

Die in Abschnitt 2 zitierten Internationalen Normen sind als DIN-ISO- bzw. DIN-EN-ISO-Normen mit gleicher Zählnummer veröffentlicht.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 9409-2:1997-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

— Kapitel 7 wurde hinsichtlich der Bezeichnungen der mechanischen Schaft-Schnittstelle überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN EN ISO 9409-2: 1997-06

Fortsetzung 9 Seiten EN

Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

ANEXO No. 9: ISO 9946:1999 MANIPULACIÓN DE ROBOTS INDUSTRIALES

DEUTSCHE NORM **Juli 2000**

Industrieroboter
Darstellung charakteristischer Eigenschaften
(ISO 9946 : 1999) Deutsche Fassung EN ISO 9946 : 1999

DIN
EN ISO 9946

ICS 25.040.30

Ersatz für
DIN EN 29946 : 1992-09

Manipulating industrial robots – Presentation of characteristics (ISO 9946 : 1999);
German version EN ISO 9946 : 1999

Robots manipulateurs industriels – Présentation des caractéristiques (ISO 9946 : 1999);
Version allemande EN ISO 9946 : 1999

Die Europäische Norm EN ISO 9946 : 1999 hat den Status einer Deutschen Norm.

Beginn der Gültigkeit

EN ISO 9946 : 1999 wurde am 1. März 1999 angenommen.

Nationales Vorwort

Diese Norm beinhaltet die Deutsche Fassung der in der Parallelabstimmung übernommenen ISO 9946 : 1999.

Die nationalen Interessen wurden dabei vom Fachbereich Montage- und Handhabungstechnik des Normenausschusses Maschinenbau (NAM) im DIN wahrgenommen.

Für die im Abschnitt 2 zitierten Internationalen Normen, soweit sie nicht als DIN-EN-ISO-Normen mit gleicher Zählnummer übernommen worden sind, wird im folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 9787 : 1999 siehe DIN EN ISO 9787 : 2000-07

ISO 10218 : 1992 siehe DIN EN 775 : 1993

Änderungen

Gegenüber DIN EN 29946 : 1992-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

– Inhalt technisch überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN EN 29946: 1992-09

Nationaler Anhang NA (informativ)

DIN EN ISO 9787
Industrieroboter – Koordinationssysteme und Bewegungsrichtungen (ISO 9787 : 1999)

DIN EN 775
Industrieroboter – Sicherheit (ISO 10218 : 1992)

Fortsetzung 13 Seiten EN

Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

© DIN Deutsches Institut für Normung e.V. · Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, gestattet.
Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin

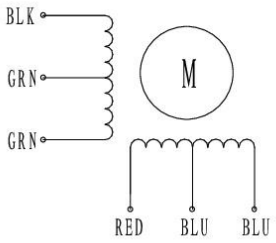
Ref. Nr. DIN EN ISO 9946 : 2000-07
Preisgr. 09 Vertr.-Nr. 2309

ANEXO No. 10: FICHAS TECNICAS

HIGH TORQUE HYBRID STEPPING MOTOR SPECIFICATIONS

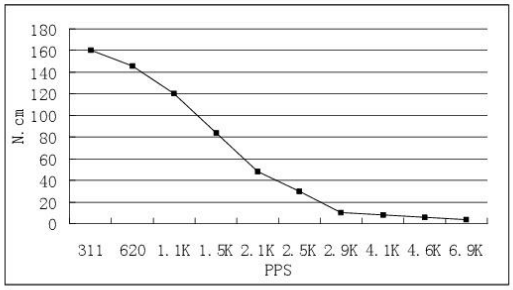
General specifications		Electrical specifications	
Step Angle (°)	1.8	Rated Voltage (V)	4.5
Temperature Rise (℃)	80 Max (rated current、2 phase on)	Rated Current (A)	2.0
Ambient Temperature (℃)	-20~+50	Resistance Per Phase (±10% Ω)	2.25 (25℃)
Number of Phase	2	Inductance Per Phase (±20% mH)	3.6
Insulation Resistance (MΩ)	100 Min (500VDC)	Holding Torque (N.cm)	135
Insulation Class	Class B		
Max.radial force (N)	28 (20mm from the flange)		
Max.axial force (N)	10		

● Wiring Diagram :



● Pull out torque curve :

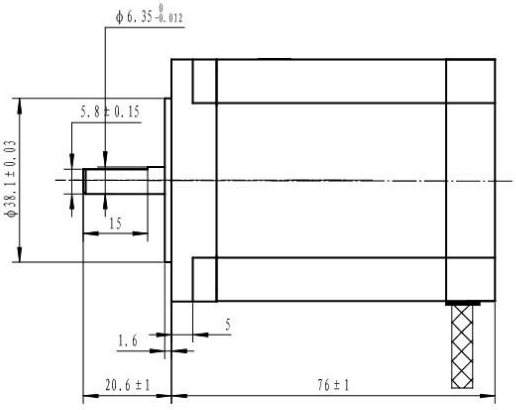
VOLTAGE: 40VAC, CONSTANT CURRENT: 2.0A, HALF STEP

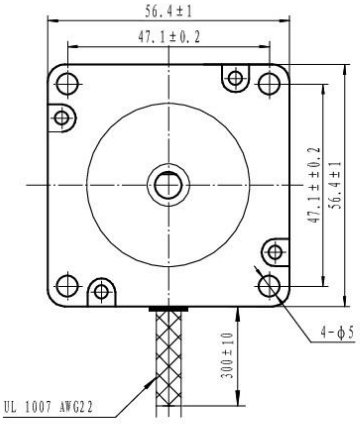


●

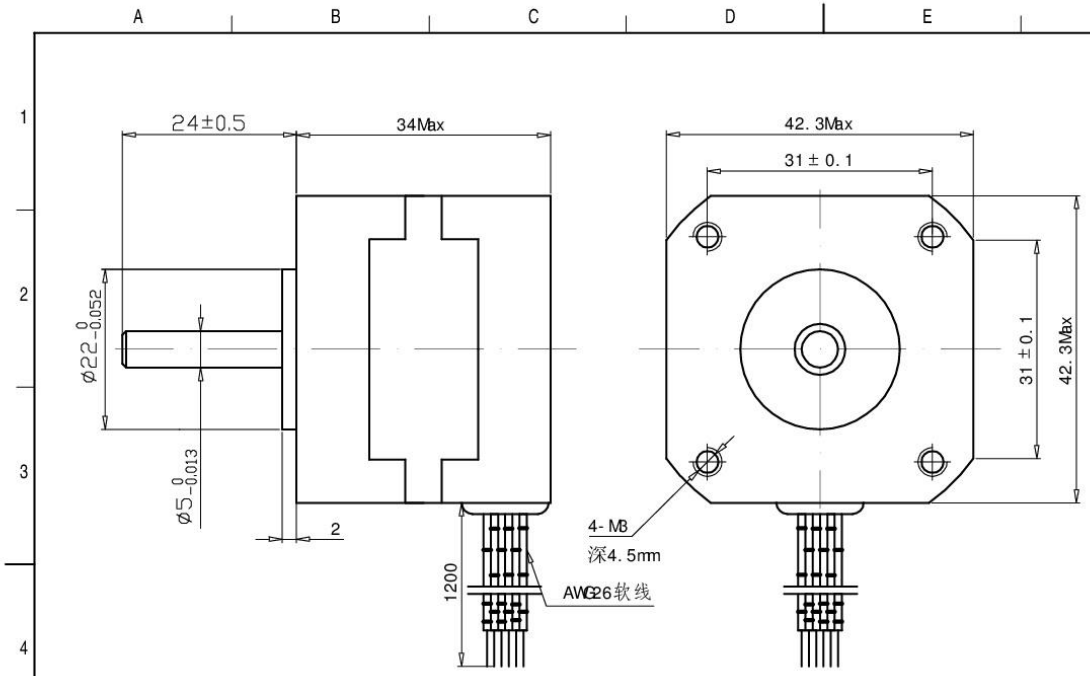
Dimensions:

(unit=mm)

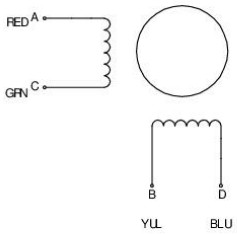




					SY57STH76-2006A	TECHNICAL CONDITIONS
REV	REVISIONS	DESCRIPTION	BY	DATE		
DRAW	2013/06/12				CHANGZHOU SONGYANG MACHINERY & ELECTRONICS NEW TECHNIC INSTITUTE	080076011
CHECK						
APPROVE						



WIRING DIAGRAM



CONTROL SIGNATURE:

COPYRIGHT
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS CONFIDENTIAL.

COMMON RATEING		SPECIVICATIONS	
STEP ANGLE	1.8°±5%	VOLTAGE	12V
PHASES	2	CURRENT	0.33A
INSULATION RESISTANCE	100Mohm(500V DC)	INDUCTANCE	46±20% Mh
CLASS OF INSULATION	B	RESISTANCE	34±10%
WEIGHT	0.20Kg	HOLDING TORQUE	0.23N.M

REV.	EPO#	DETAILS	DATE
A		1ST ISSUE	090327

SCALE
UNIT mm
SIZE A4
DRAWN XUHEZHAC 20090307
CHECKED
APPROVED

UNSPECIFIED TOLERANCE:

MATERIAL

FINISH

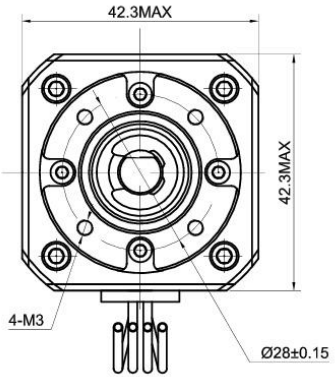
MERCURY MOTOR

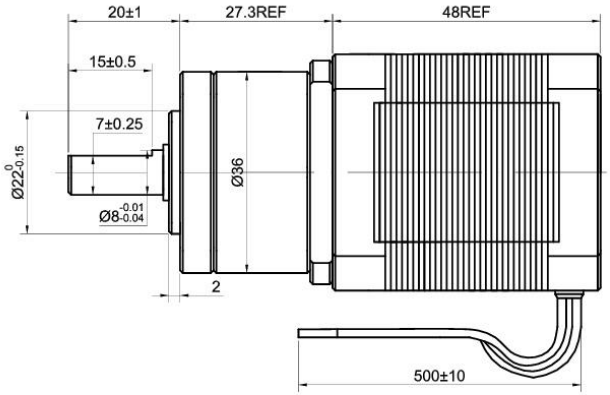
TITLE
SM-42BYG011-25

SHEET 1 OF 1 REV A

DWG.NO.
SM-42BYG011-25-090327

FORM-ENG-07



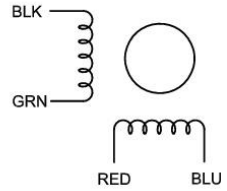


SPECIFICATION / CONNECTION	BIPOLAR
VOTAGE(VOC)	2.80
AMPS/PHASE	1.68
RESISTANCE/PHASE(Ohms)@25°C	1.65±10%
INDUCTANCE/PHASE(mH)@1KHz	2.80±20%
HOLDING TORQUE w/o GEARBOX(Nm)[lb-in]	0.44[3.89]
GEAR RATIO	$5\frac{2}{11}$
EFFICIENCY	90.00%
STEP ANGLE w/o GEARBOX(°)	1.80
BACKLASH@NO-LOAD	<=1°
MAX.PERMISSIBLE TORQUE(Nm)	2.00
MOMENT PERMISSIBLE TORQUE(Nm)	4.00
SHAFT MAXIMUM AXIAL LOAD(N)	50.00
SHAFT MAXIMUM RADIAL LOAD(N)	100.00
WEIGHT(Kg)[lb]	0.60[1.32]
TEMPERATURE RISE:MAX.80°C（MOTOR STANDSTILL;FOR 2PHASE ENERGIZED）	
AMBIENT TEMPERATURE -10°C~50°C[14°F~122°F]	
INSULATION CLASS B 130°C[266°F]	

TYPE OF CONNECTION (EXTERN)		MOTOR	
PIN NO	BIPOLAR	LEADS	WINDING
1	A —	BLK	A
2	A\ —	GRN	A\
3	B —	RED	B
4	B\ —	BLU	B\

FULL STEP 2 PHASE-Ex.,
WHEN FACING MOUNTING END (X)

STEP	A	B	A\	B\		
1	+	+	-	-	↓	CCW
2	-	+	+	-		↑
3	-	-	+	+		
4	+	-	-	+	CW	



STEPPERONLINE Motors&Electronics

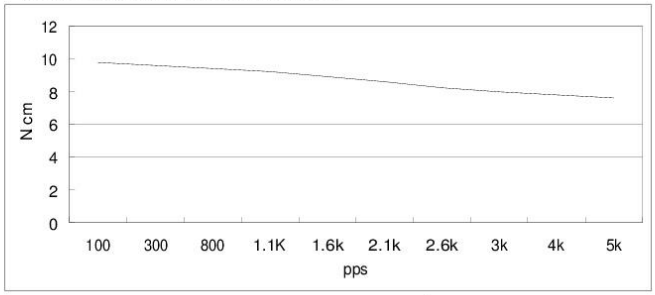
	APVD		STEPPER MOTOR
	CHKD		
1:1	DRN		17HS19-1684S-PG5
SCALE	SIGNATURE	DATE	

HIGH TORQUE HYBRID STEPPING MOTOR SPECIFICATIONS

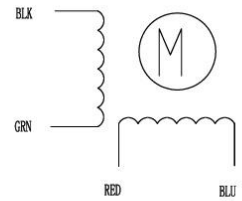
General specifications		Electrical specifications	
Step Angle (°)	1.8	Rated Voltage (V)	2.7
Temperature Rise (°C)	80 Max (rated current.2 phase on)	Rated Current (A)	1.0
Ambient temperature (°C)	-20~+50	Resistance Per Phase (±10%Ω)	2.7 (25°C)
Number of Phase	2	Inductance Per Phase (±20%mH)	4.3
Insulation Resistance	100MΩ Min (500VDC)	Holding Torque (Kg.cm)	1.4
Insulation Class	Class B	Detent Torque (g.cm)	100
Max.radial force (N)	28 (20mm from the flange)	Rotor Inertia (g.cm²)	14
Max.axial force (N)	10	Weight (Kg)	0.18

● Pull out torque curve:

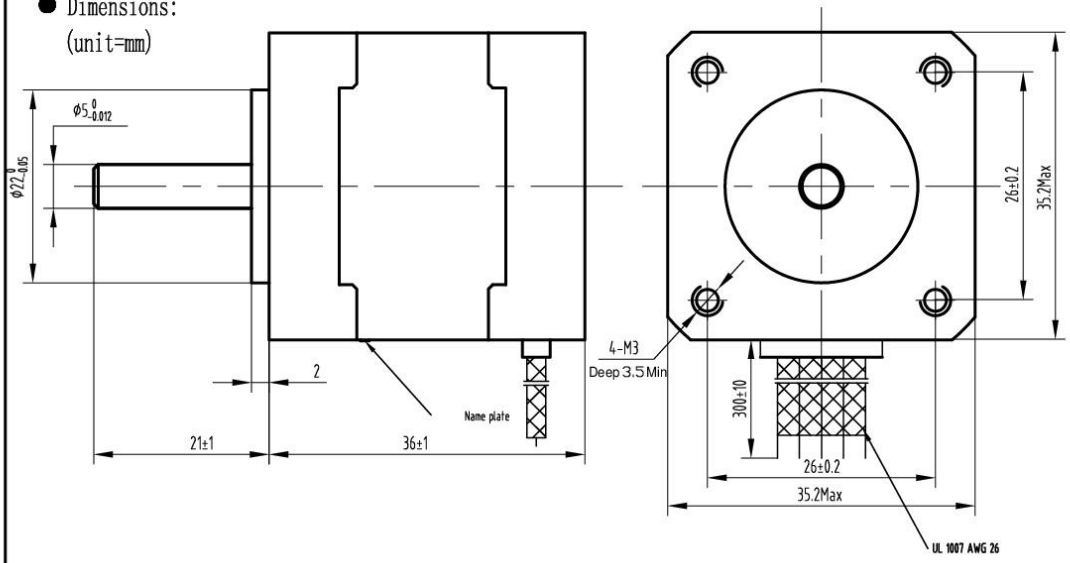
VOLTAGE: 24VDC, CONSTANT CURRENT: 1.0A, HALF STEP



● Wiring Diagram:



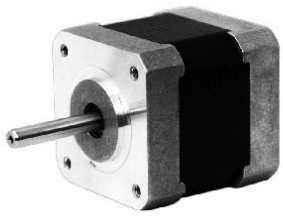
● Dimensions:
(unit=mm)



REV	REVISIONS	DESCRIPTION	BY	DATE	SY35ST36-1004A	TECHNICAL CONDITIONS
2						
1						
DRAW					CHANGZHOU SONGYANG MACHINERY & ELECTRONICS NEW TECHNIC INSTITUTE	
CHECK						
APPROVE						

1.8° 42MM High Torque Hybrid Stepping Motor

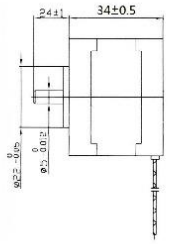
Item	Specifications
Step Angle	1.8°
Step Angle Accuracy	±5% (full step, no load)
Resistance Accuracy	±10%
Inductance Accuracy	±20%
Temperatru Rise	80°CMax. (rated current,2 phase on)
Ambient Temperatuar	−20°C~+50°C
Insulation Resistance	100M?Min.,500VDC
Dielectric Strength	500VAC/ for one minute
Shaft Radial Play	0.02Max. (450 g-load)
Shaft Axial Play	0.08Max. (450 g-load)
Max. radial force	28N (20mm foom the flange)
Max.axial force	10N

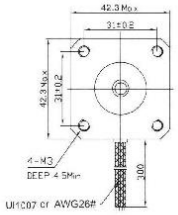


● 42MM Hybrid Stepping Motor Specificatiors

Model No	Rated Voltage	Current /Phase	Resistance /Phase	Inductance /Phase	Holding Torque	# of Leads	Rotor Inertia	Weinght	Detent Torque	Length
XY42STH34-0354A	V	A	Ω	mH	Kg-cm		g-cm²	kg	g-cm	mm
	12	0.35	34	33	1.6	4	35	0.22	120	34

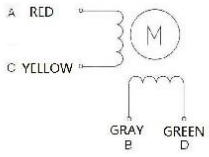
● Dimension



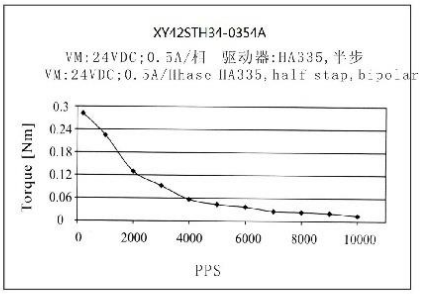


● Wiring Diagram

4 LEADS



● Pull out Torque Curve



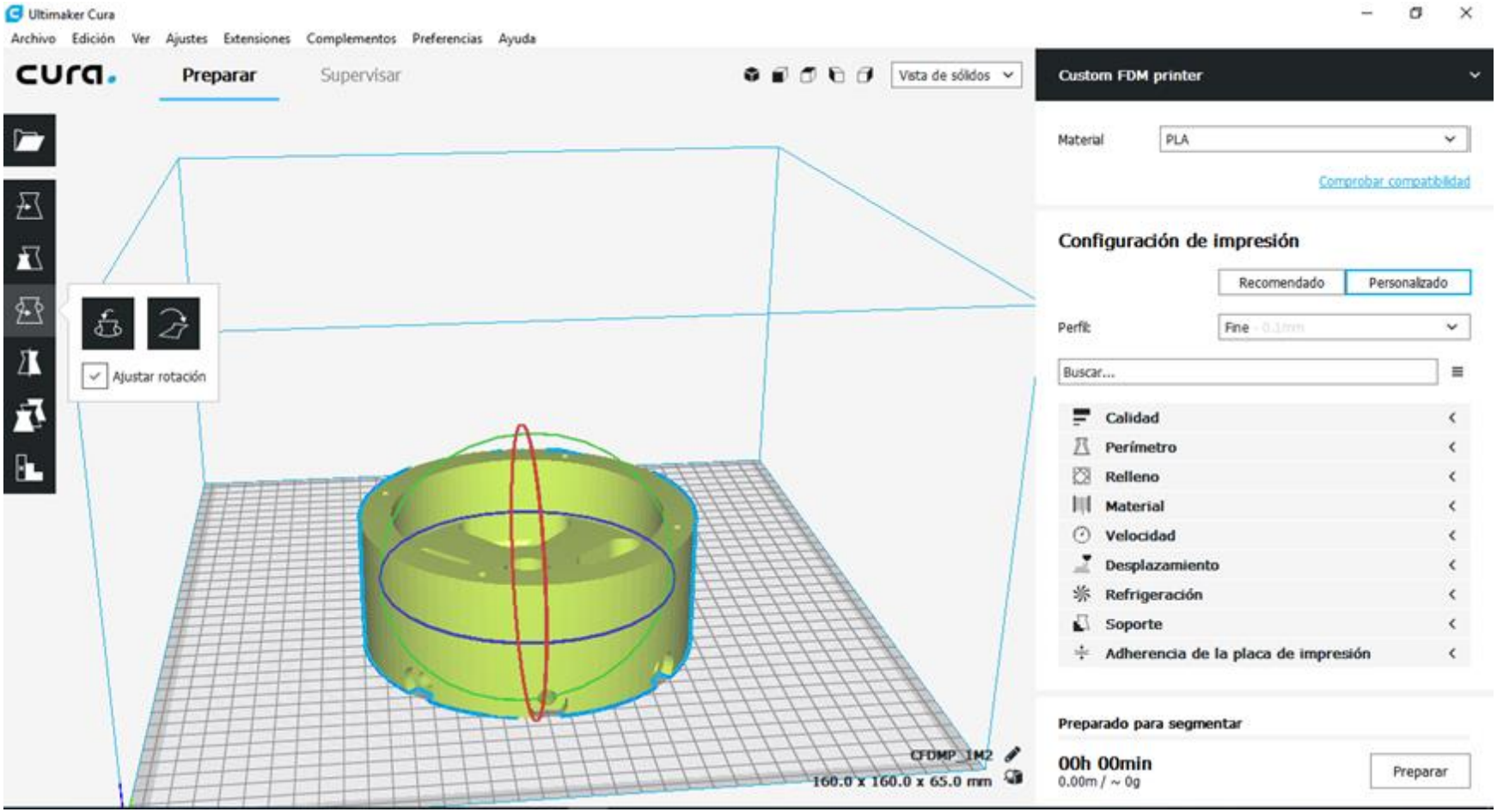
eSUN易生

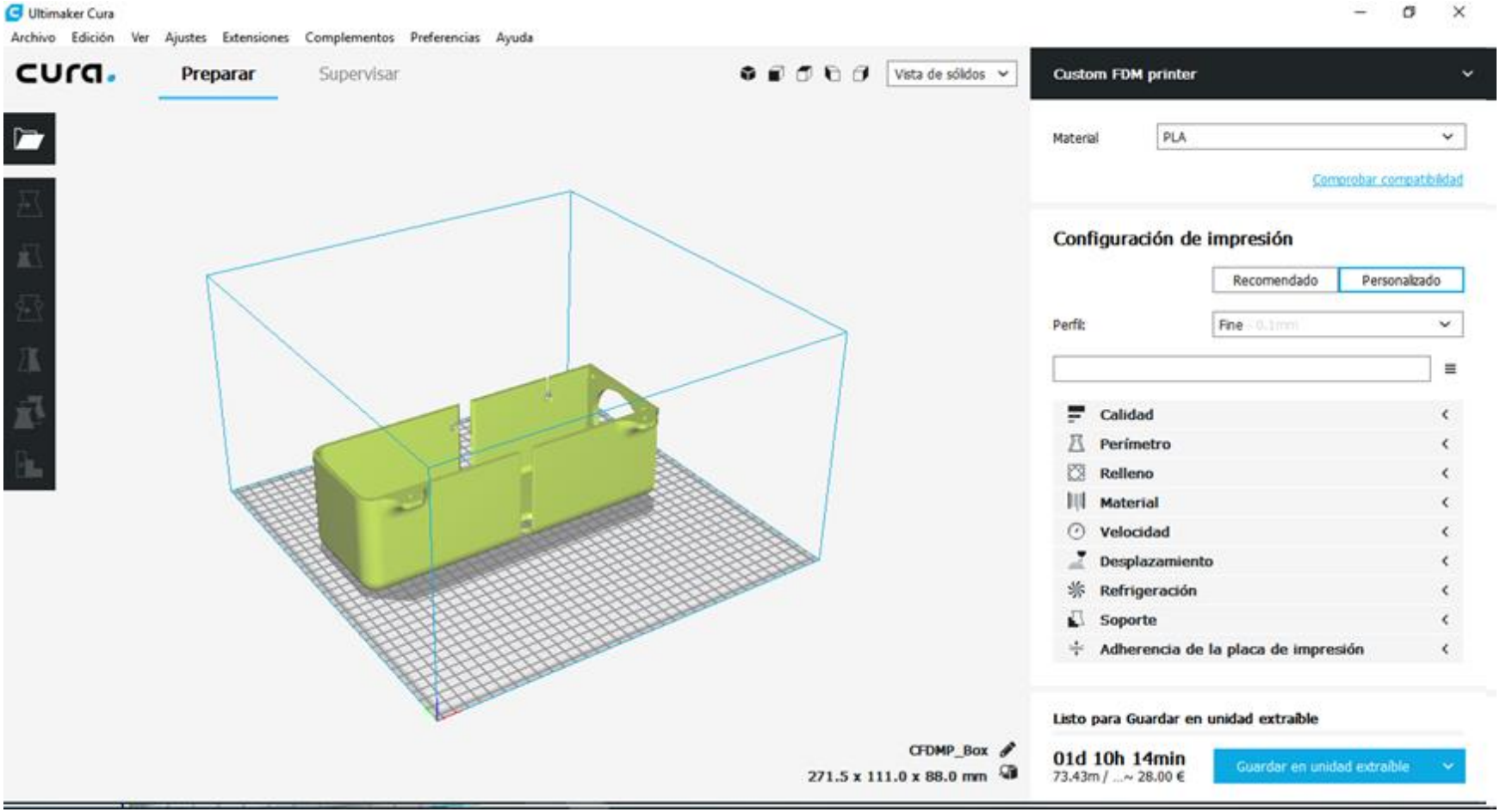
Data Sheet of eSUN 3D Filament

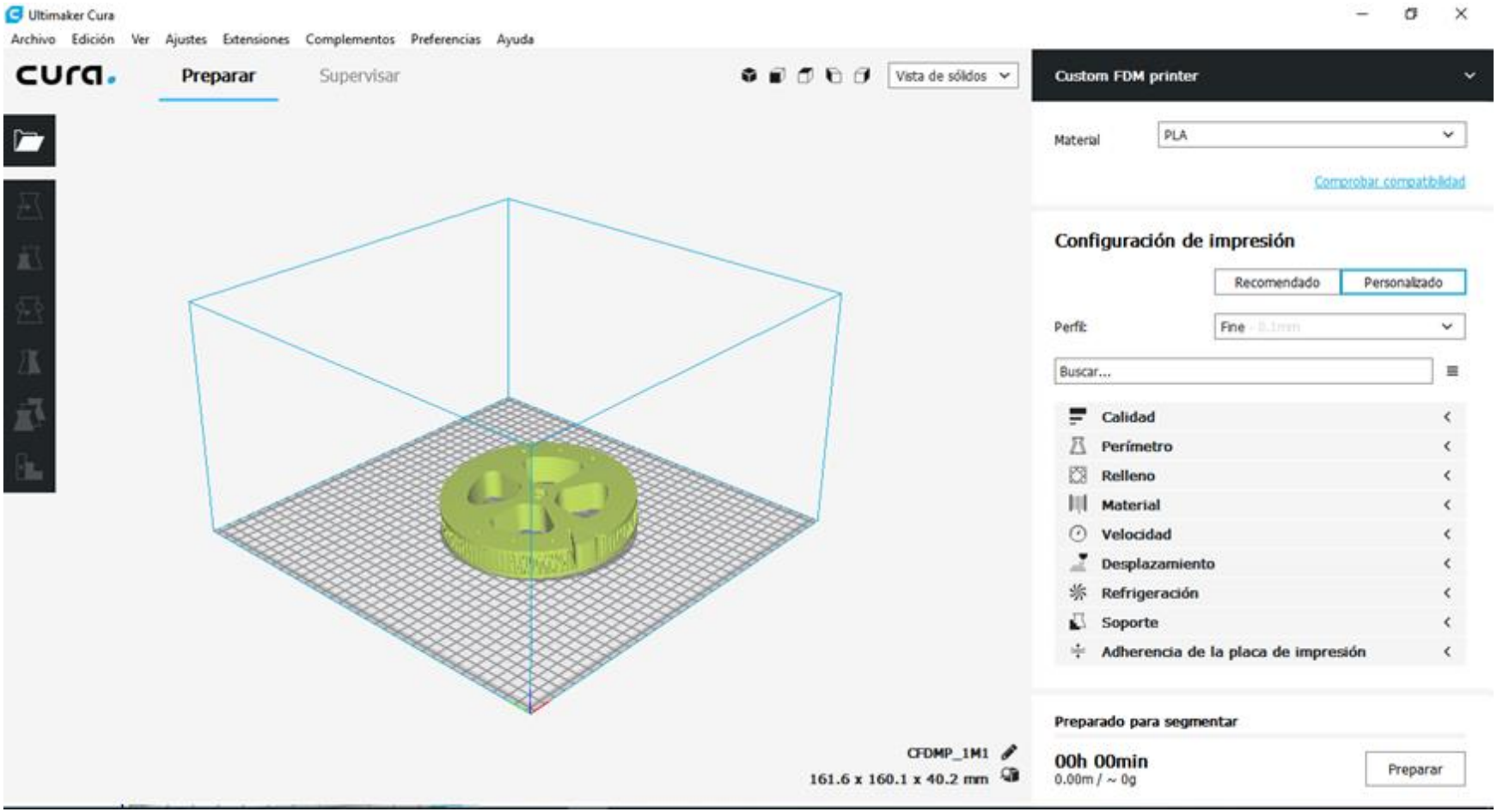
Item	Unit	ABS	HIPS	PLA	PVA	PETG	Nylon	Color Change	Flexible
Density	kg/m^3	1.01	1.02-1.06	1.20-1.25	---	1.23	1.15	1.23	1.1
Melt Point	℃	220-260	220-260	190-220	180-200	230-250	220-260	190-220	190-220
Melt Flow Index	g /10 min	1.43	6.68	7.8	16.28	20	3	7.7	3.11
Tensile Yield Strength	Mpa	40.96	26.5	62.63	---	49	50-55	62	13.85
ElongationatBreak	%	20.86	65.29	4.43	---	228	40-50	4.43	319.57
FlexuralStrength	Mpa	45.44	32.94	65.02	---	68	85-90	65	/
FlexuralModulus	Mpa	1948.45	2279.9	2504.4	---	2072	2000-2400	2505	/
Impact Strength	kJ/m^2	22.11	10.89	4.28	---	7.5	354	4.28	/
Accuracy	3 mm: 2.9 - 3.0 mm / 1.75 mm: 1.7 - 1.8 mm								

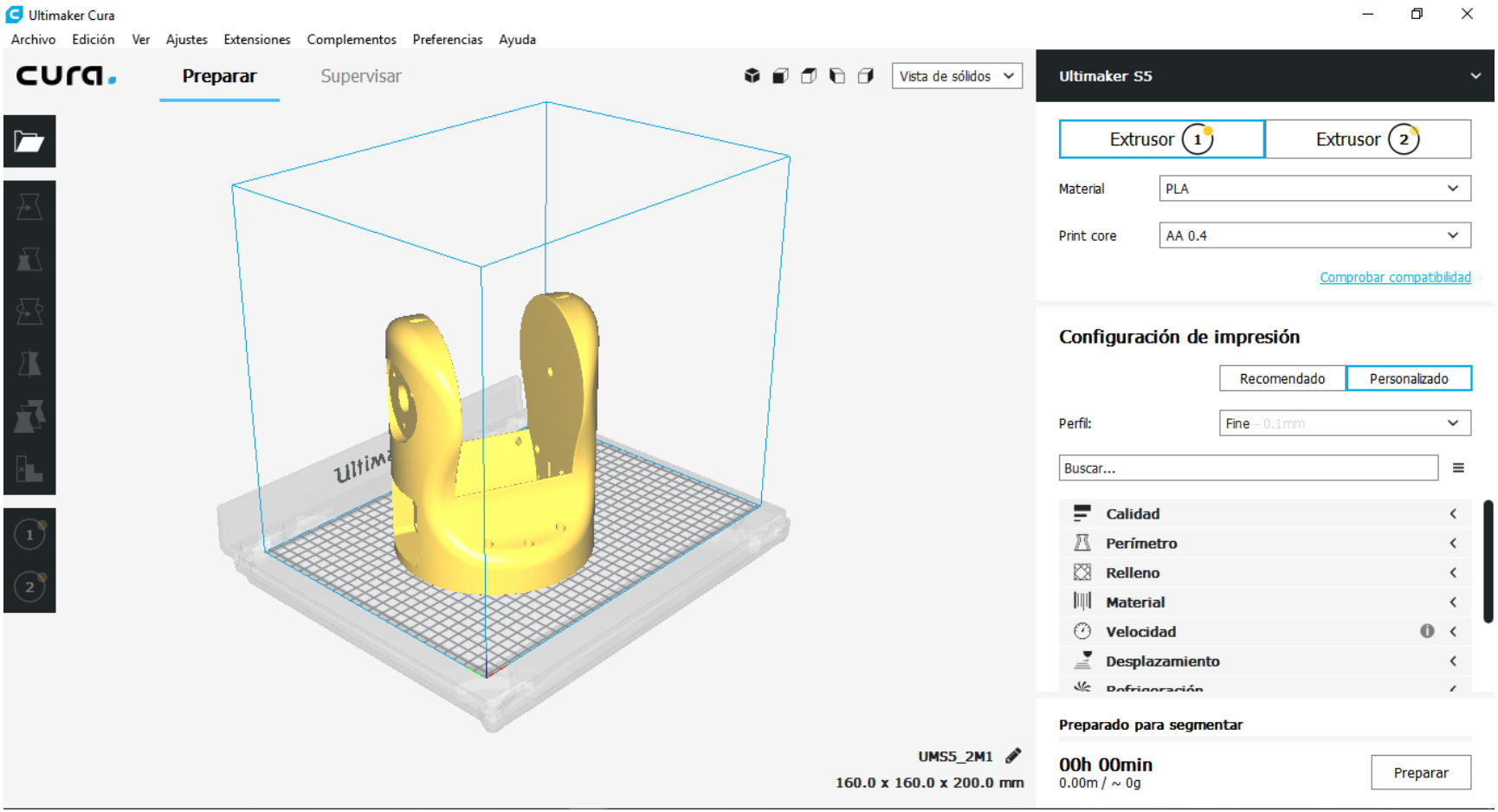
Tel: 86-755-26031978 Tel: 86-755-26031980 bright@brightcn.net esunchina.net

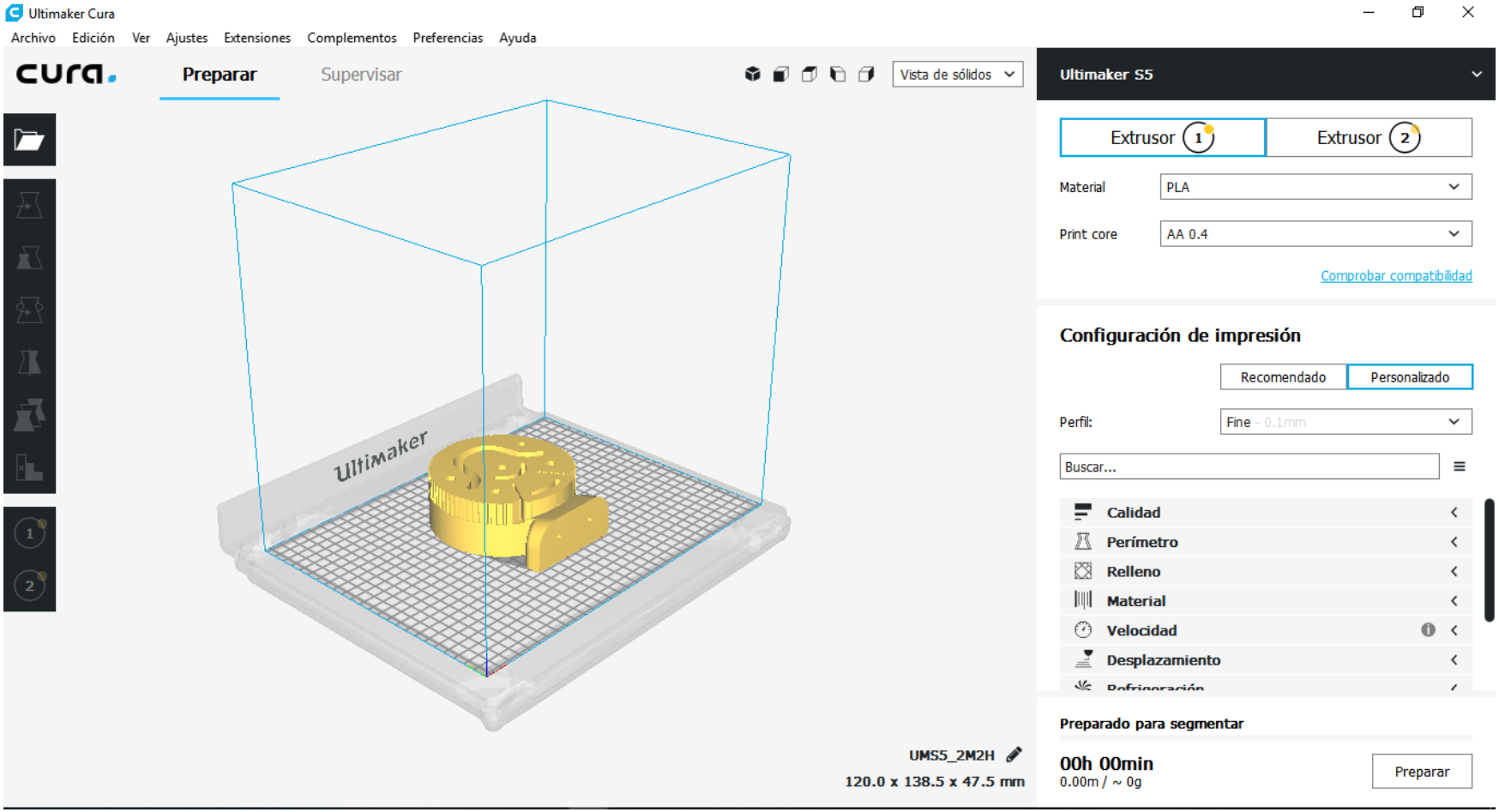
ANEXO No. 11: MODELAMIENTO IMPRESORA 3D

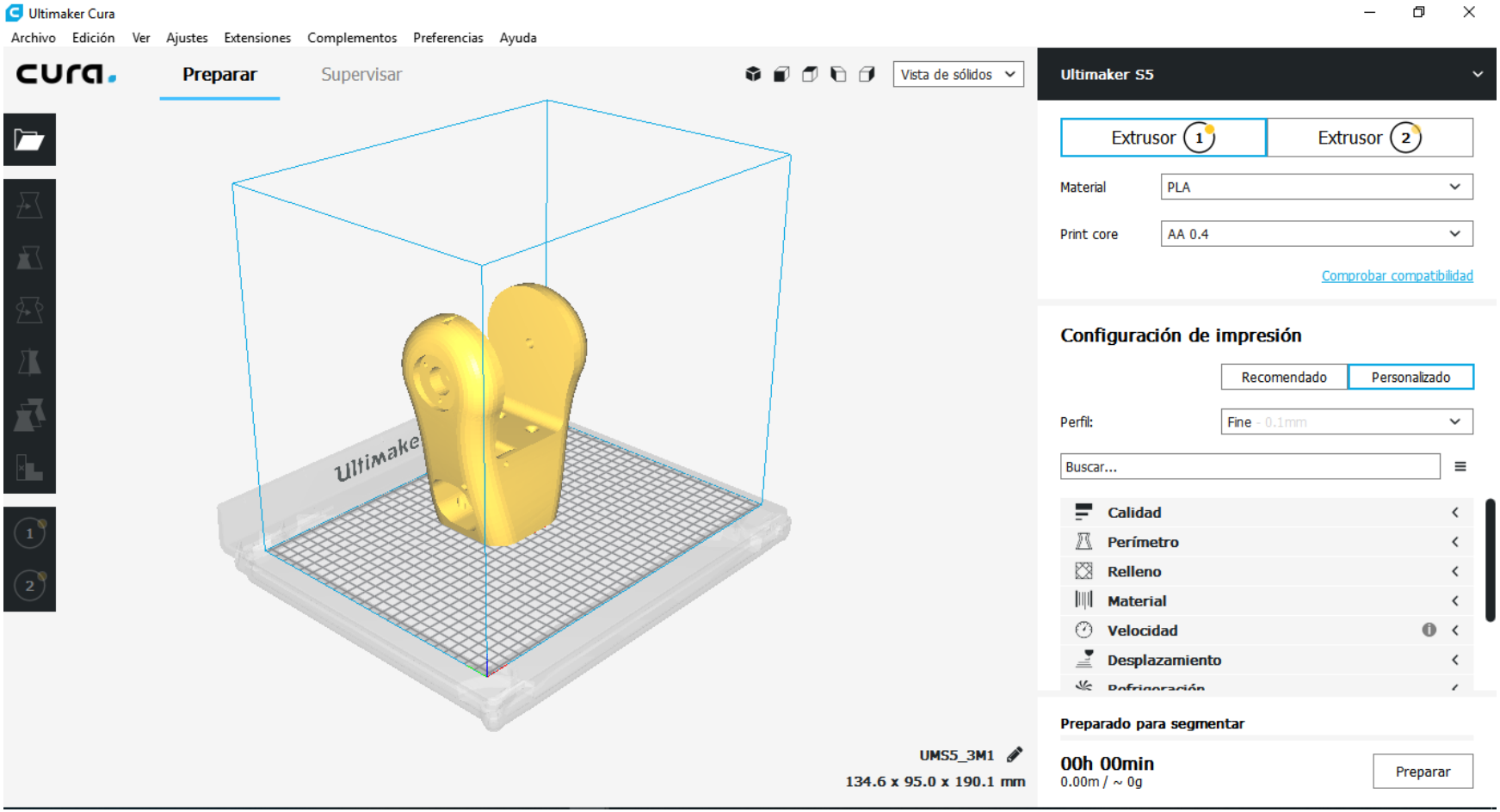


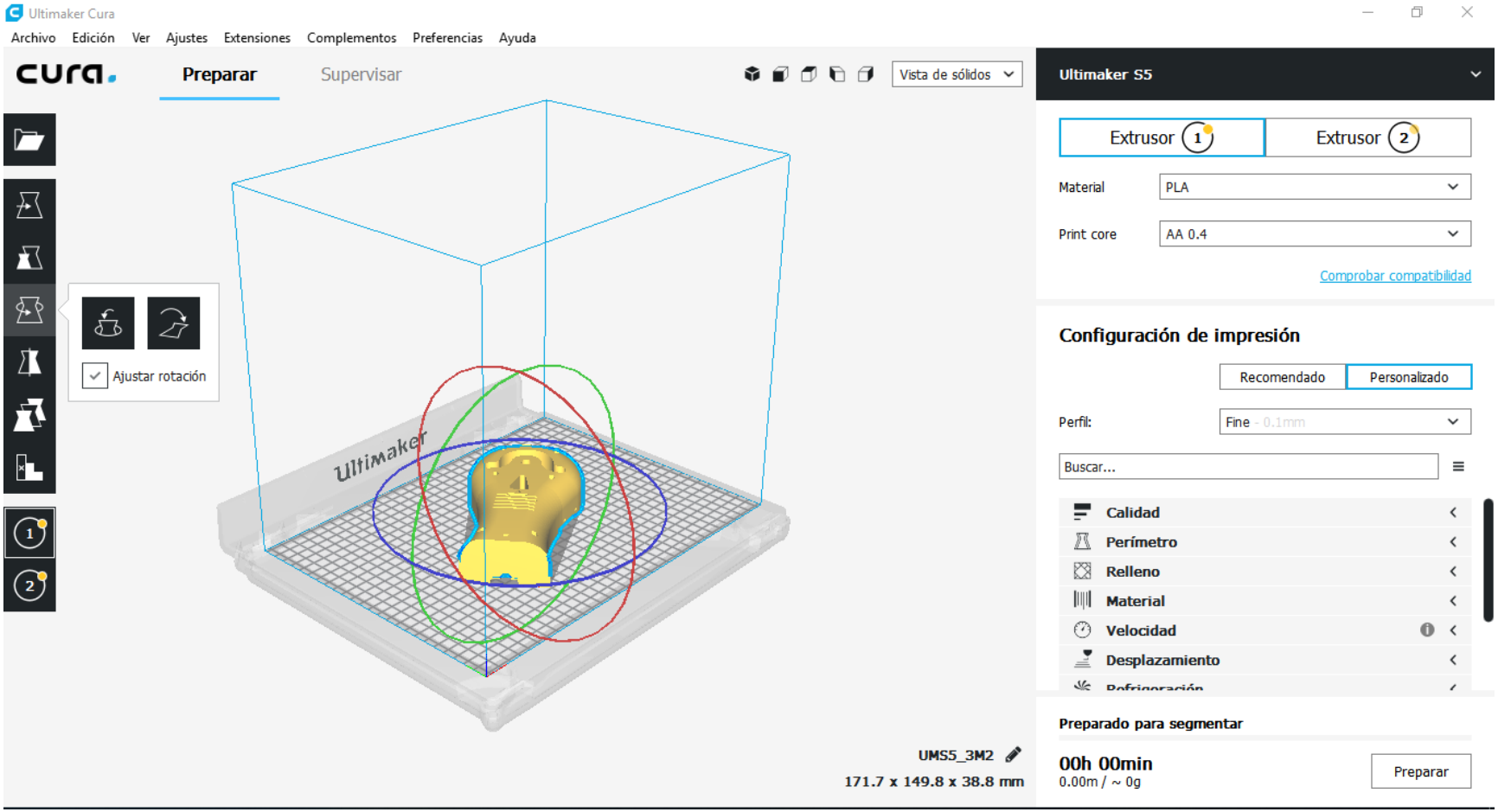

Ultimaker Cura
Archivo Edición Ver Ajustes Extensiones Complementos Preferencias Ayuda
cura.
Preparar
Supervisar
Vista de sólidos
Custom FDM printer
Material
PLA
Comprobar compatibilidad
Configuración de impresión
Recomendado
Personalizado
Perfil:
Fine
Calidad
Perímetro
Relleno
Material
Velocidad
Desplazamiento
Refrigeración
Soporte
Adherencia de la placa de impresión
CFDMP_Box
271.5 x 111.0 x 88.0 mm
Listo para Guardar en unidad extraíble
01d 10h 14min
73.43m / ...~ 28.00 €
Guardar en unidad extraíble

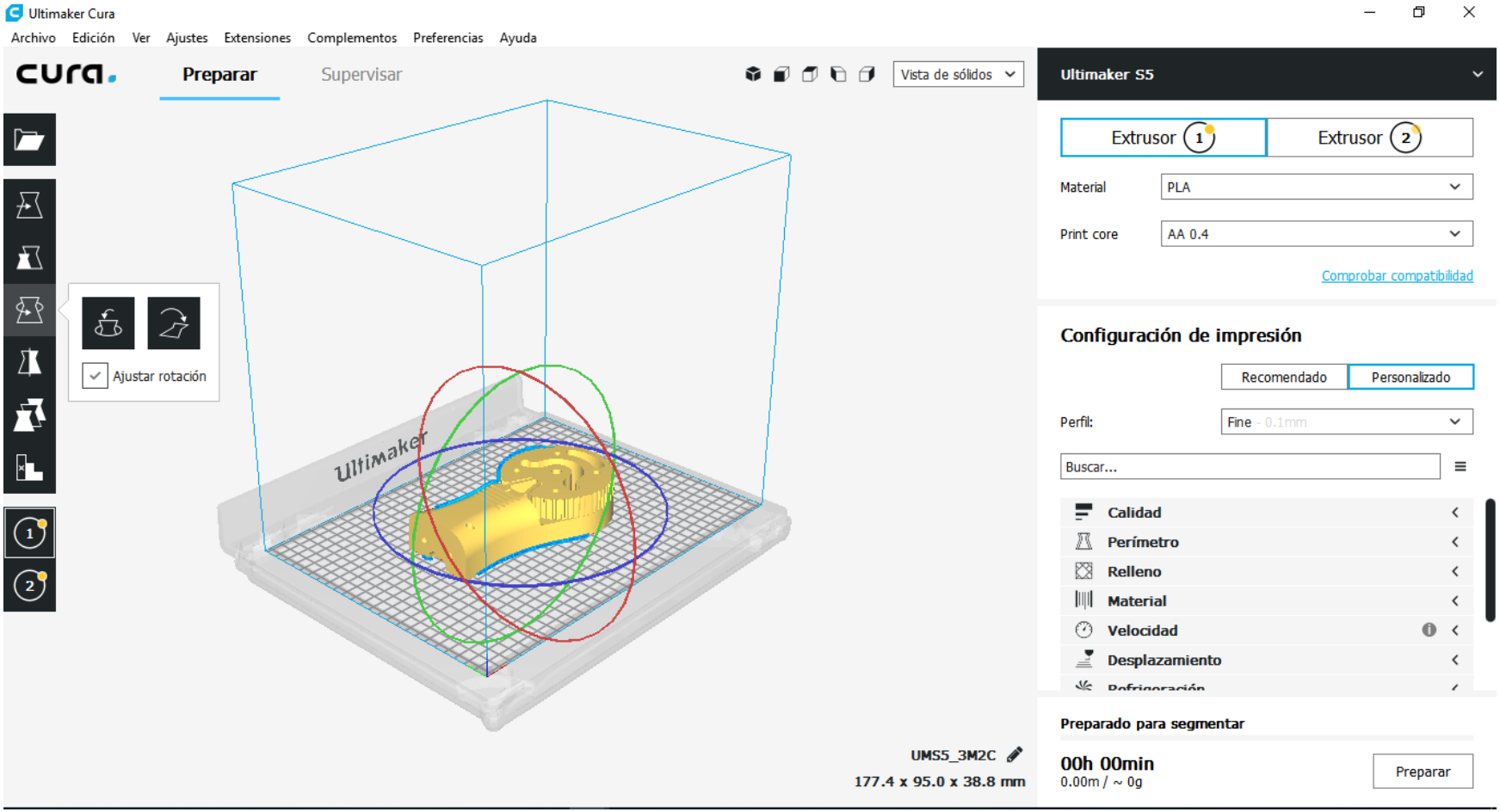

Ultimaker Cura
Archivo Edición Ver Ajustes Extensiones Complementos Preferencias Ayuda
cura.
Preparar
Supervisar
Vista de sólidos
Custom FDM printer
Material
PLA
Comprobar compatibilidad
Configuración de impresión
Recomendado
Personalizado
Perfil:
Fine
Buscar...
Calidad
Perímetro
Relleno
Material
Velocidad
Desplazamiento
Refrigeración
Soporte
Adherencia de la placa de impresión
CFDMP_1M1
161.6 x 160.1 x 40.2 mm
Preparado para segmentar
00h 00min
0.00m / ~ 0g
Preparar

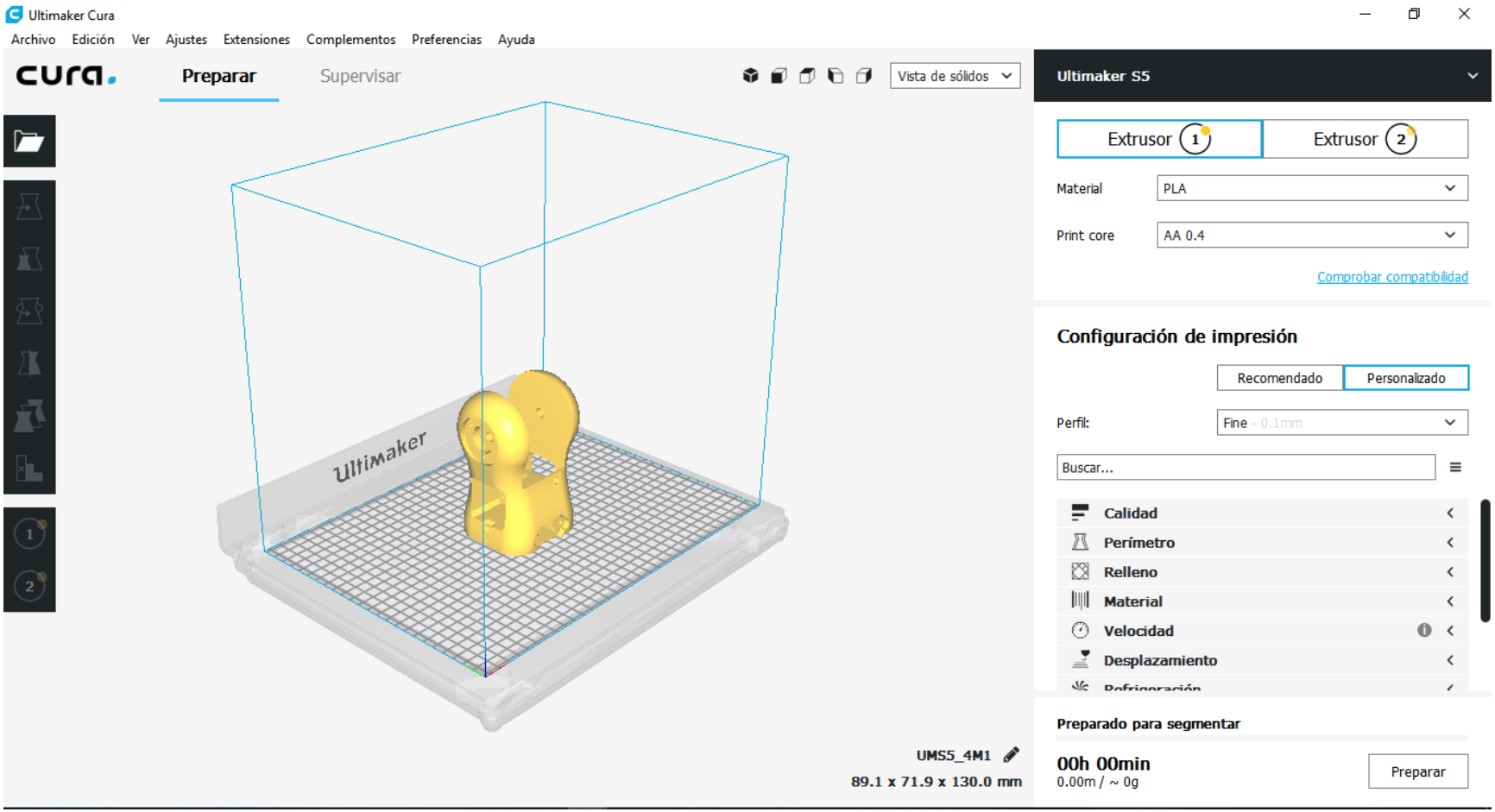

Ultimaker Cura
Archivo Edición Ver Ajustes Extensiones Complementos Preferencias Ayuda
cura.
Preparar
Supervisar
Vista de sólidos
Ultimaker S5
Extrusor 1
Extrusor 2
Material
PLA
Print core
AA 0.4
Comprobar compatibilidad
Configuración de impresión
Recomendado
Personalizado
Perfil:
Fine - 0.1mm
Buscar...
Calidad
Perímetro
Relleno
Material
Velocidad
Desplazamiento
Preparado para segmentar
00h 00min
0.00m / ~ 0g
Preparar
UMS5_2M1
160.0 x 160.0 x 200.0 mm

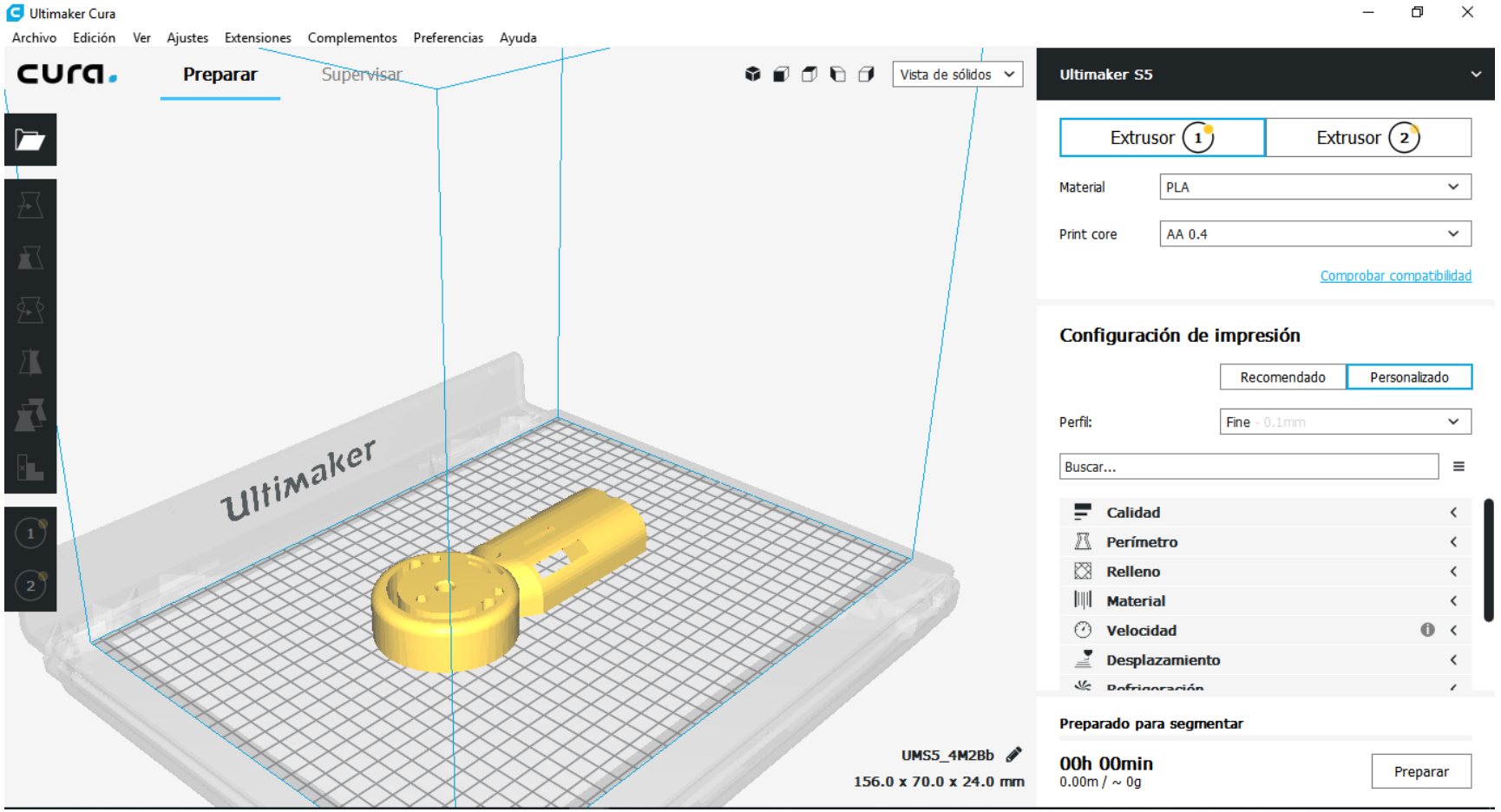

Ultimaker Cura
Archivo Edición Ver Ajustes Extensiones Complementos Preferencias Ayuda
cura.
Preparar
Supervisar
Vista de sólidos
Ultimaker S5
Extrusor 1
Extrusor 2
Material
PLA
Print core
AA 0.4
Comprobar compatibilidad
Configuración de impresión
Recomendado
Personalizado
Perfil:
Fine - 0.1mm
Buscar...
Calidad
Perímetro
Relleno
Material
Velocidad
Desplazamiento
Preparado para segmentar
00h 00min
0.00m / ~ 0g
Preparar
UMS5_2M2H
120.0 x 138.5 x 47.5 mm


Ultimaker Cura
Archivo Edición Ver Ajustes Extensiones Complementos Preferencias Ayuda
cura.
Preparar
Supervisar
Vista de sólidos
Ultimaker S5
Extrusor 1
Extrusor 2
Material
PLA
Print core
AA 0.4
Comprobar compatibilidad
Configuración de impresión
Recomendado
Personalizado
Perfil:
Fine - 0.1mm
Buscar...
Calidad
Perímetro
Relleno
Material
Velocidad
Desplazamiento
Preparado para segmentar
00h 00min
0.00m / ~ 0g
Preparar
UMS5_3M1
134.6 x 95.0 x 190.1 mm

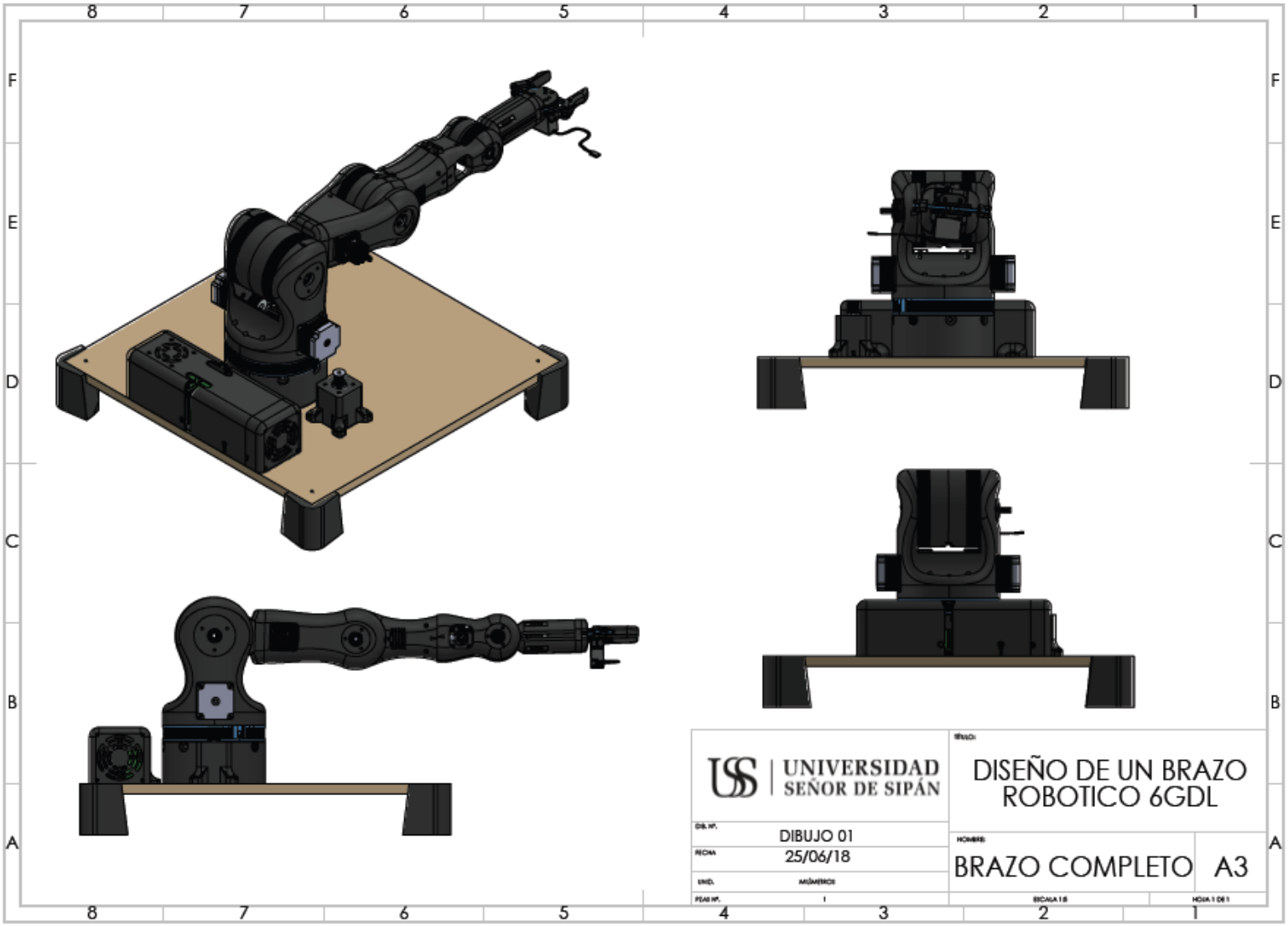

Ultimaker Cura
Archivo Edición Ver Ajustes Extensiones Complementos Preferencias Ayuda
cura
Preparar
Supervisar
Vista de sólidos
Ajustar rotación
Ultimaker
UMS5_3M2
171.7 x 149.8 x 38.8 mm
Ultimaker S5
Extrusor 1
Extrusor 2
Material
PLA
Print core
AA 0.4
Comprobar compatibilidad
Configuración de impresión
Recomendado
Personalizado
Perfil:
Fine - 0.1mm
Buscar...
Calidad
Perímetro
Relleno
Material
Velocidad
Desplazamiento
Preparado para segmentar
00h 00min
0.00m / ~ 0g
Preparar

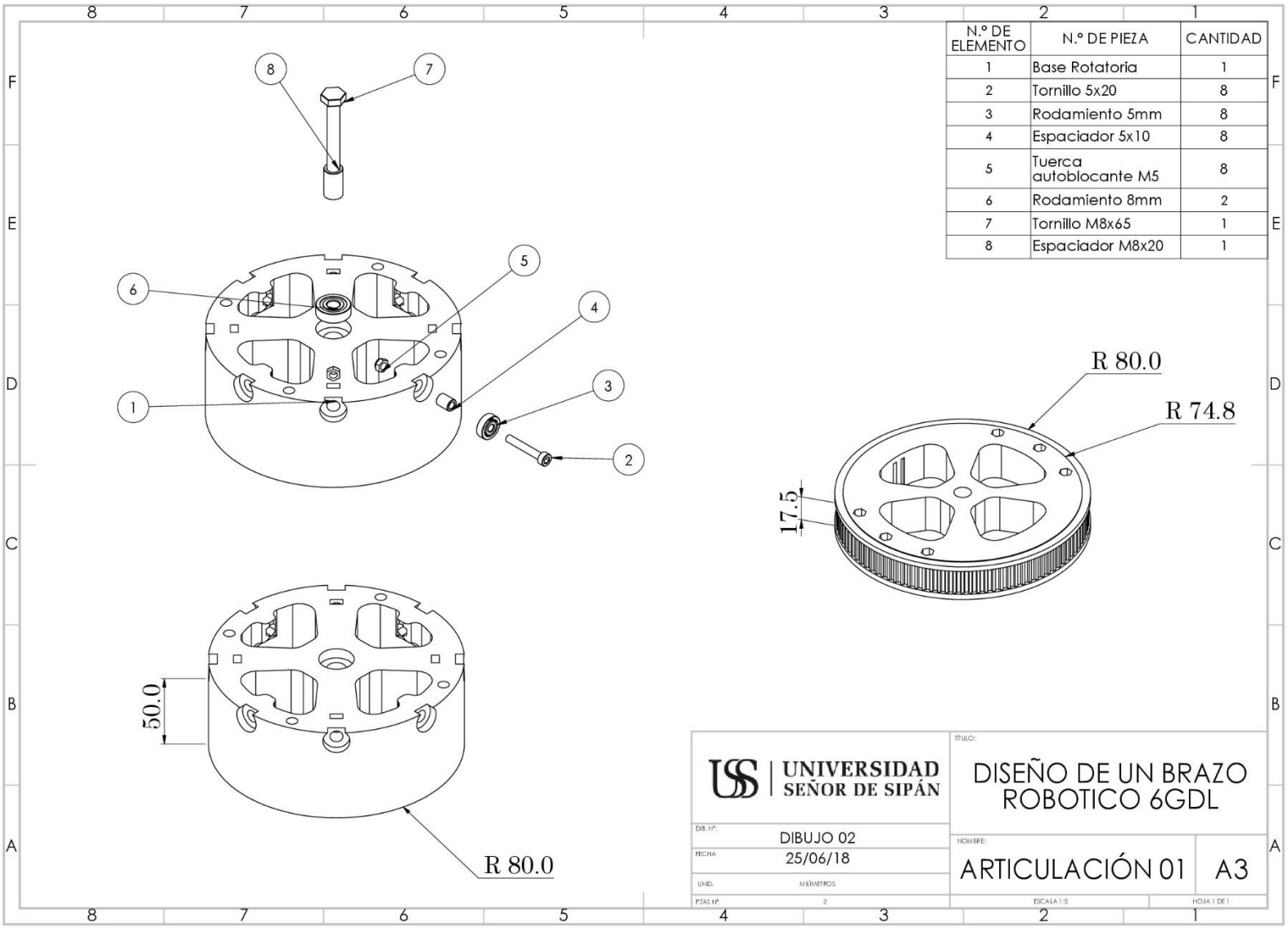

Ultimaker Cura
Archivo Edición Ver Ajustes Extensiones Complementos Preferencias Ayuda
cura
Preparar
Supervisar
Vista de sólidos
Ajustar rotación
Ultimaker
UMS5_3M2C
177.4 x 95.0 x 38.8 mm
Ultimaker S5
Extrusor 1
Extrusor 2
Material
PLA
Print core
AA 0.4
Comprobar compatibilidad
Configuración de impresión
Recomendado
Personalizado
Perfil:
Fine - 0.1mm
Buscar...
Calidad
Perímetro
Relleno
Material
Velocidad
Desplazamiento
Preparado para segmentar
00h 00min
0.00m / ~ 0g
Preparar


Ultimaker Cura
Archivo Edición Ver Ajustes Extensiones Complementos Preferencias Ayuda
cura
Preparar
Supervisar
Vista de sólidos
Ultimaker S5
Extrusor 1
Extrusor 2
Material
PLA
Print core
AA 0.4
Comprobar compatibilidad
Configuración de impresión
Recomendado
Personalizado
Perfil:
Fine - 0.1mm
Buscar...
Calidad
Perímetro
Relleno
Material
Velocidad
Desplazamiento
Preparado para segmentar
00h 00min
0.00m / ~ 0g
Preparar
UMS5_4M1
89.1 x 71.9 x 130.0 mm


Ultimaker Cura
Archivo Edición Ver Ajustes Extensiones Complementos Preferencias Ayuda
cura
Preparar
Supervisar
Vista de sólidos
Ultimaker S5
Extrusor 1
Extrusor 2
Material
PLA
Print core
AA 0.4
Comprobar compatibilidad
Configuración de impresión
Recomendado
Personalizado
Perfil:
Fine - 0.1mm
Buscar...
Calidad
Perímetro
Relleno
Material
Velocidad
Desplazamiento
Preparado para segmentar
00h 00min
0.00m / ~ 0g
Preparar
UMS5_4M2Bb
156.0 x 70.0 x 24.0 mm

ANEXO No. 12: PLANOS BRAZO ROBOTICO 6 GDL





N.° DE ELEMENTO	N.° DE PIEZA	CANTIDAD
1	Base Rotatoria	1
2	Tornillo 5x20	8
3	Rodamiento 5mm	8
4	Espaciador 5x10	8
5	Tuerca autoblocante M5	8
6	Rodamiento 8mm	2
7	Tornillo M8x65	1
8	Espaciador M8x20	1

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

DIB. N°. DIBUJO 02

FECHA 25/06/18

UNID. MILÍMETROS

PZAS N°. 2

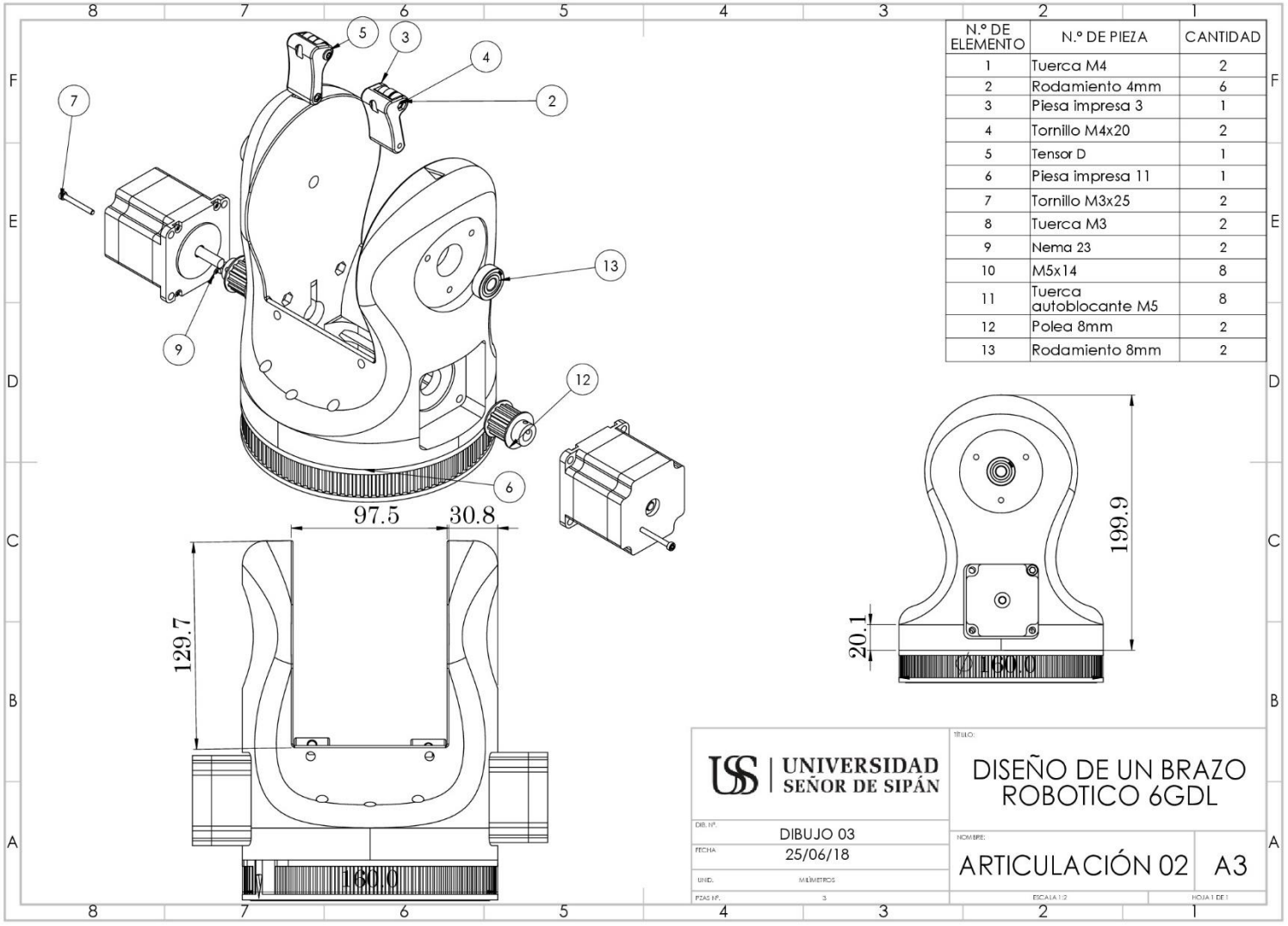
TÍTULO: DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL

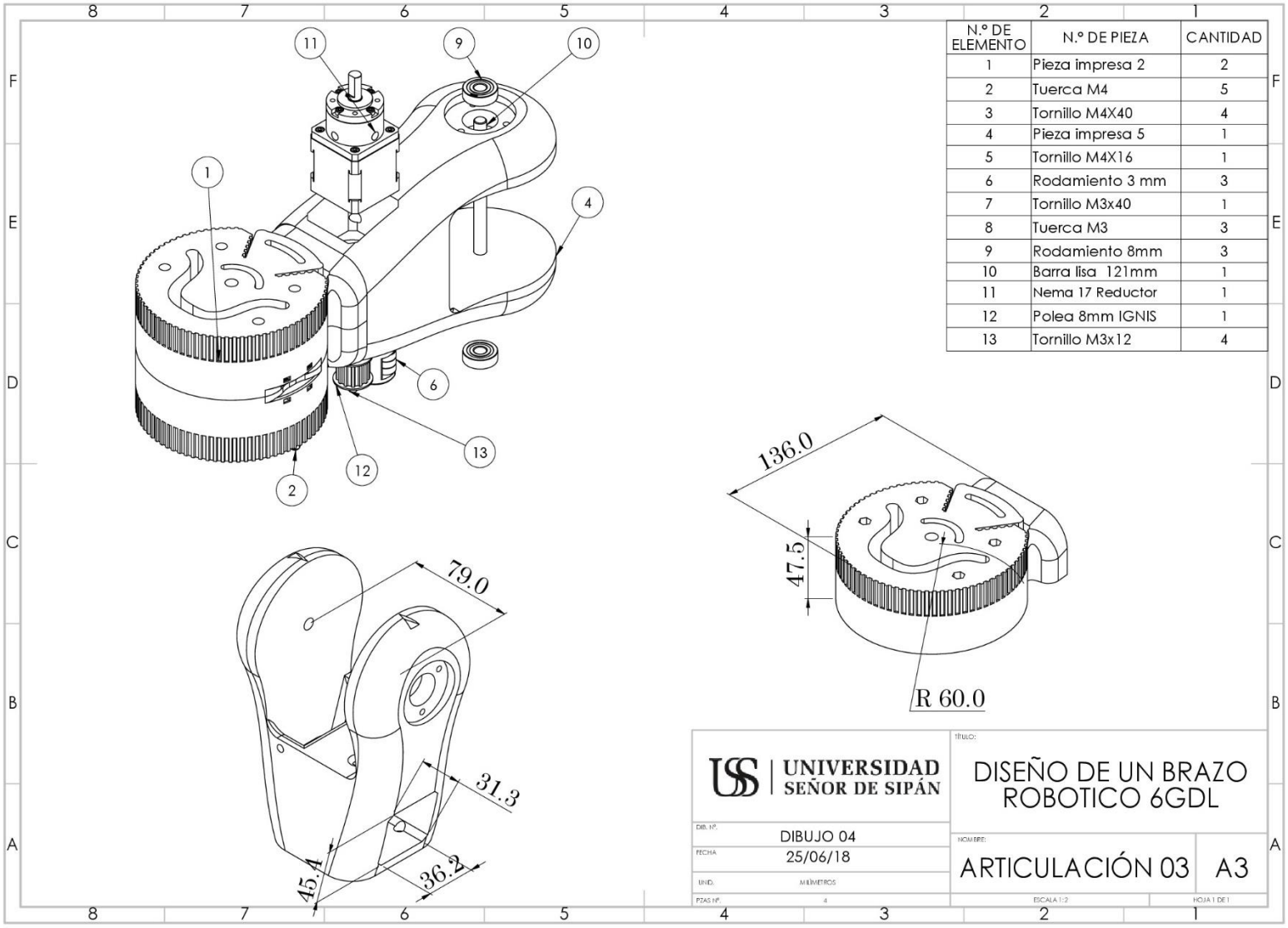
NOMBRE: ARTICULACIÓN 01

A3

ESCALA 1:5

HOJA 1 DE 1


8
7
6
5
4
3
2
1
F
E
D
C
B
A
5
3
4
2
7
13
9
12
6
97.5
30.8
129.7
199.9
20.1
160.0
160.0
N.º DE ELEMENTO
N.º DE PIEZA
CANTIDAD
1 Tuerca M4 2
2 Rodamiento 4mm 6
3 Piesa impresa 3 1
4 Tornillo M4x20 2
5 Tensor D 1
6 Piesa impresa 11 1
7 Tornillo M3x25 2
8 Tuerca M3 2
9 Nema 23 2
10 M5x14 8
11 Tuerca autoblocante M5 8
12 Polea 8mm 2
13 Rodamiento 8mm 2
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
DIB. Nº. DIBUJO 03
FECHA 25/06/18
UNID. MILÍMETROS
PZAS Nº. 3
TÍTULO:
DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL
NOMBRE:
ARTICULACIÓN 02
A3
ESCALA 1:2
HOJA 1 DE 1



N.° DE ELEMENTO	N.° DE PIEZA	CANTIDAD
1	Pieza impresa 2	2
2	Tuerca M4	5
3	Tornillo M4X40	4
4	Pieza impresa 5	1
5	Tornillo M4X16	1
6	Rodamiento 3 mm	3
7	Tornillo M3x40	1
8	Tuerca M3	3
9	Rodamiento 8mm	3
10	Barra lisa 121mm	1
11	Nema 17 Reductor	1
12	Polea 8mm IGNIS	1
13	Tornillo M3x12	4

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

TÍTULO: DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL

DIB. Nº: DIBUJO 04

FECHA: 25/06/18

UNID.: MILÍMETROS

PZAS Nº: 4

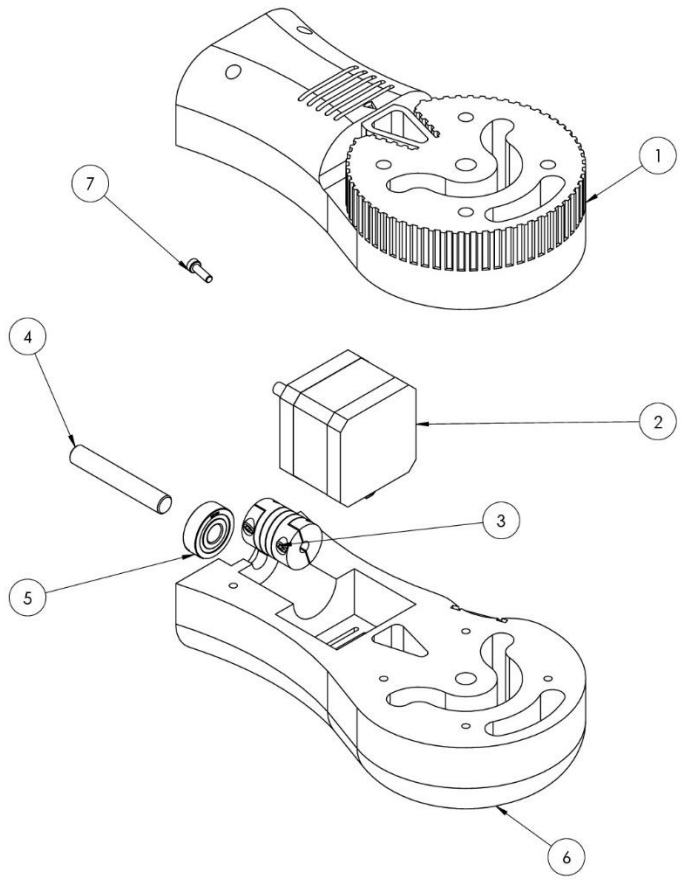
NOMBRE: ARTICULACIÓN 03

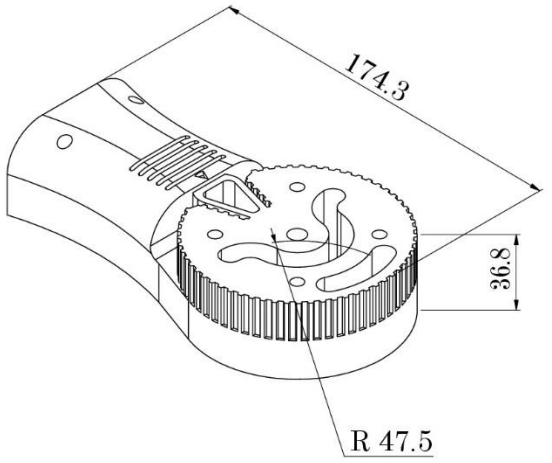
A3

ESCALA 1:2

HOJA 1 DE 1

N.° DE ELEMENTO	N.° DE PIEZA	CANTIDAD
1	Piesa impresa 13	1
2	Motor nema 17	1
3	Acoplador 5 - 8 mm	1
4	Barra roscada 8mm x 50mm	1
5	Rodamiento 8mm	1
6	Piesa impresa 12	1
7	Tornillo M3x10	2





UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

DIB. N°.	DIBUJO 05
FECHA	25/06/18
UNID.	MILÍMETROS
PZAS N°.	5

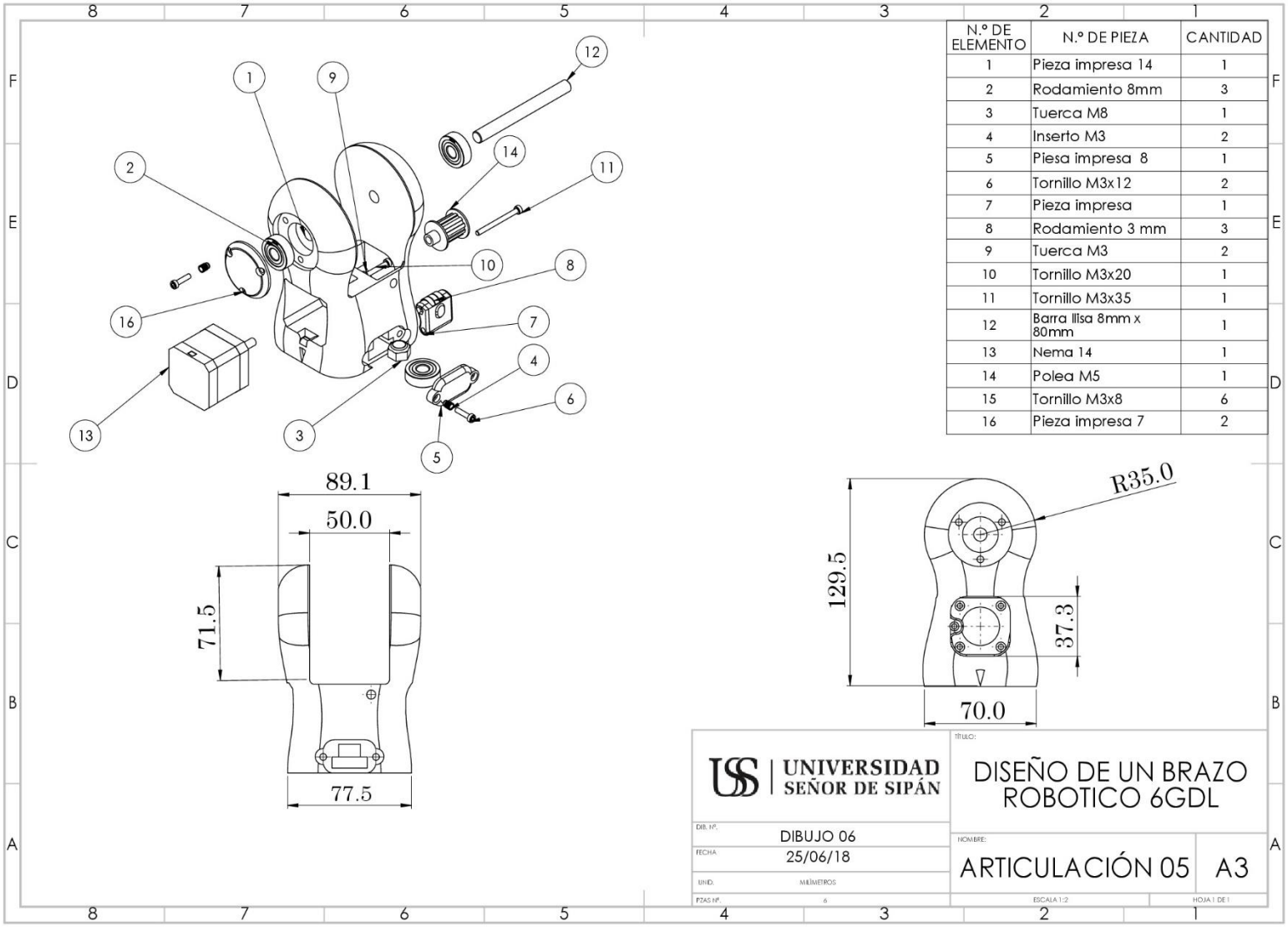
TÍTULO: DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL

NOMBRE: ARTICULACIÓN 04

A3

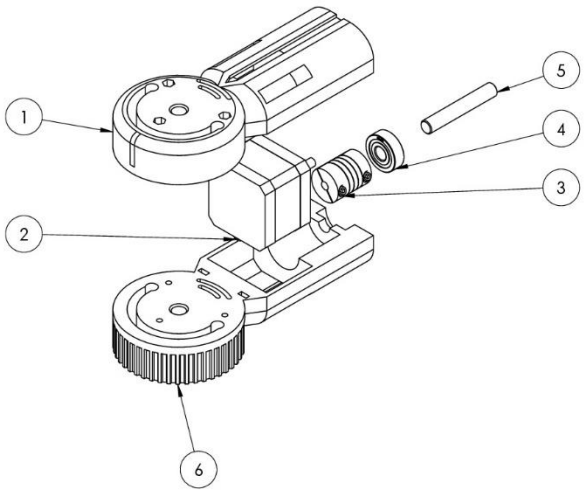
ESCALA 2:3

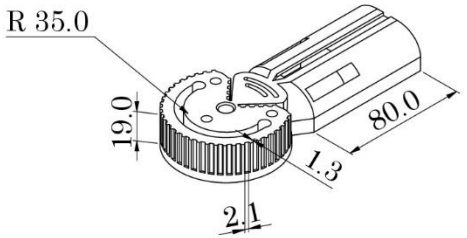
HOJA 1 DE 1

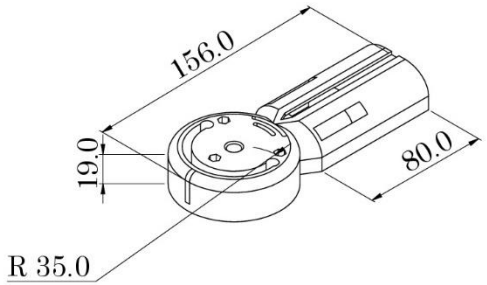


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Pieza impresa 14	1
2	Rodamiento 8mm	3
3	Tuerca M8	1
4	Inserto M3	2
5	Piesa impresa 8	1
6	Tornillo M3x12	2
7	Pieza impresa	1
8	Rodamiento 3 mm	3
9	Tuerca M3	2
10	Tornillo M3x20	1
11	Tornillo M3x35	1
12	Barra lisa 8mm x 80mm	1
13	Nema 14	1
14	Polea M5	1
15	Tornillo M3x8	6
16	Pieza impresa 7	2

N.° DE ELEMENTO	N.° DE PIEZA	CANTIDAD
1	Pieza impresa 15	1
2	Motor nema 17	1
3	Acoplador 5-8 mm	1
4	Rodamiento 8mm	1
5	Barra roscada 50 mm	1
6	Pieza impresa 16	1







UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

TÍTULO: DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL

DIB. Nº: DIBUJO 07

FECHA: 25/06/18

UNID.: MILÍMETROS

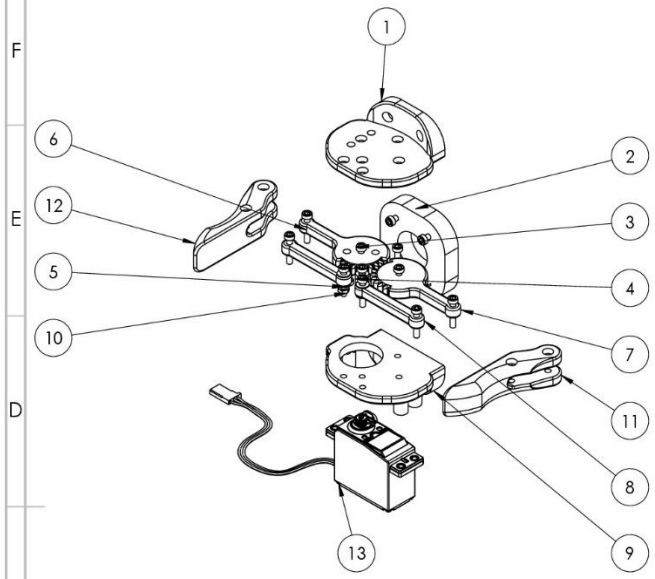
PZAS Nº: 7

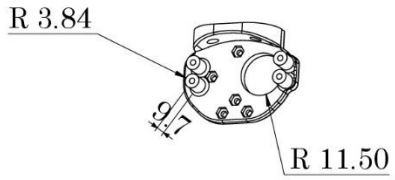
NOMBRE: ARTICULACIÓN 06

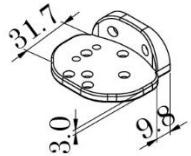
A3

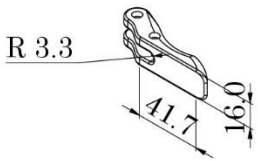
ESCALA 1:2

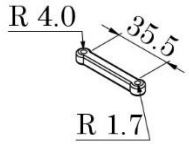
HOJA 1 DE 1

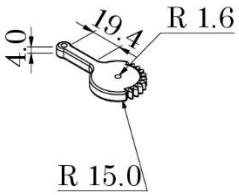


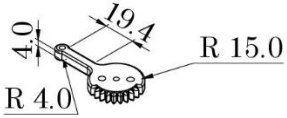












N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Pieza impresa 17	1
2	Pieza impresa 18	13
3	Tornillo M3x10	2
4	Cilindro	1
5	Arandela M3	5
6	Pieza impresa 24	1
7	Pieza impresa 23	1
8	Pieza impresa 22	2
9	Pieza impresa 21	1
10	Tuerca M3	11
11	Pieza impresa 19	1
12	Pieza impresa 20	1
13	Servo 180	1

UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

TÍTULO: DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL

DIB. Nº: DIBUJO 08

FECHA: 25/06/18

UNID.: MILÍMETROS

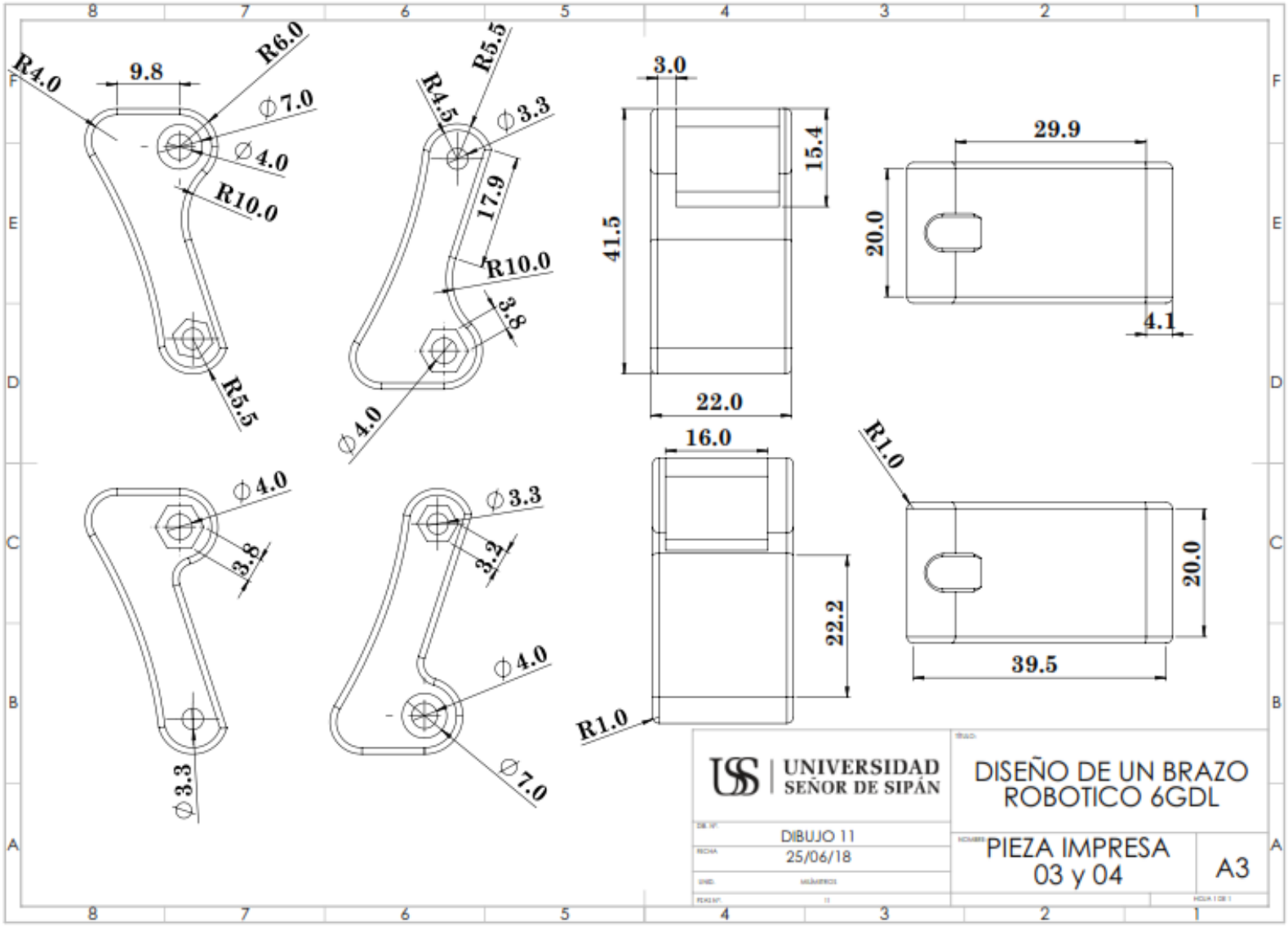
PZAS Nº: 8

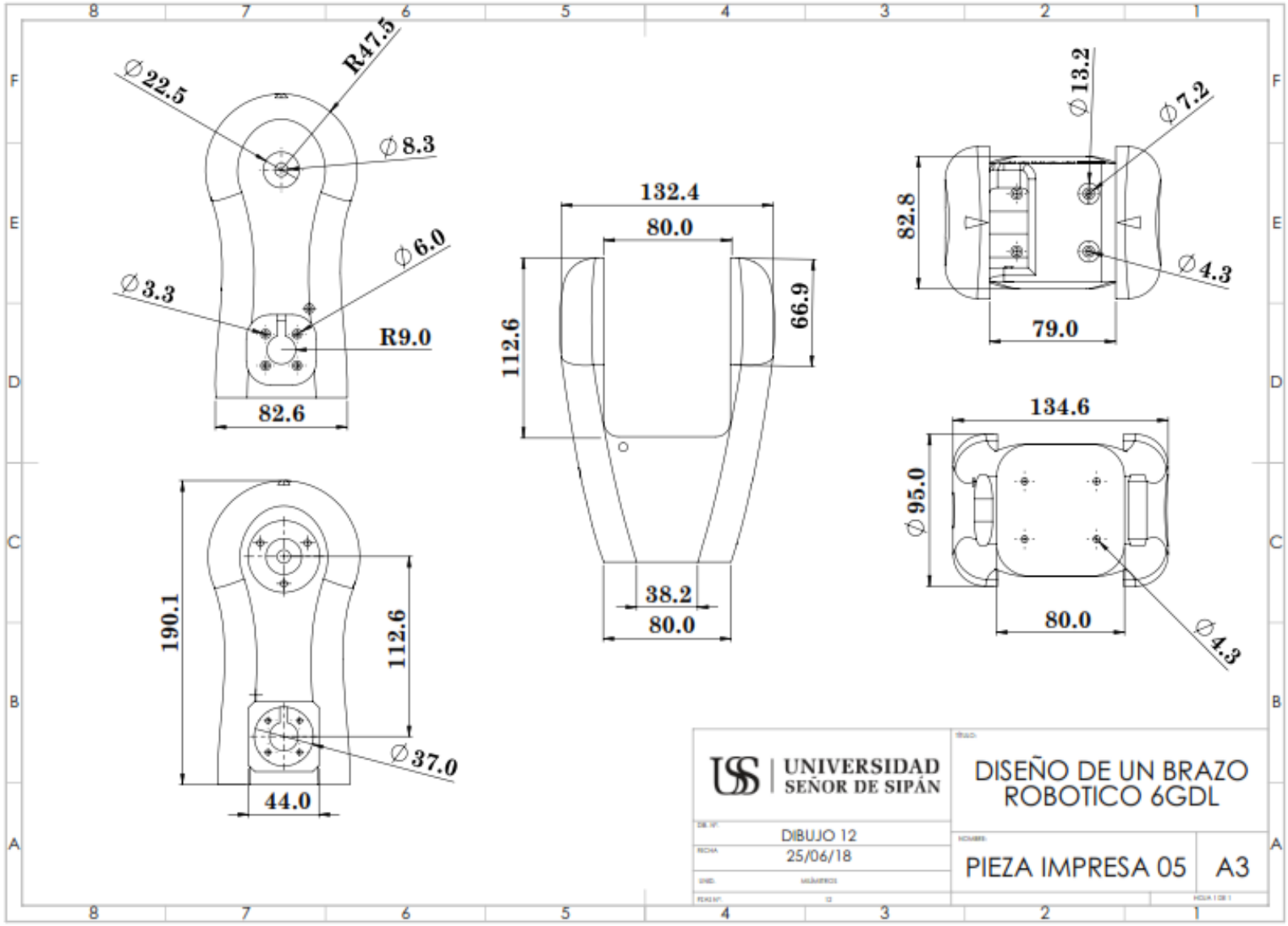
NOMBRE: ACTUADOR

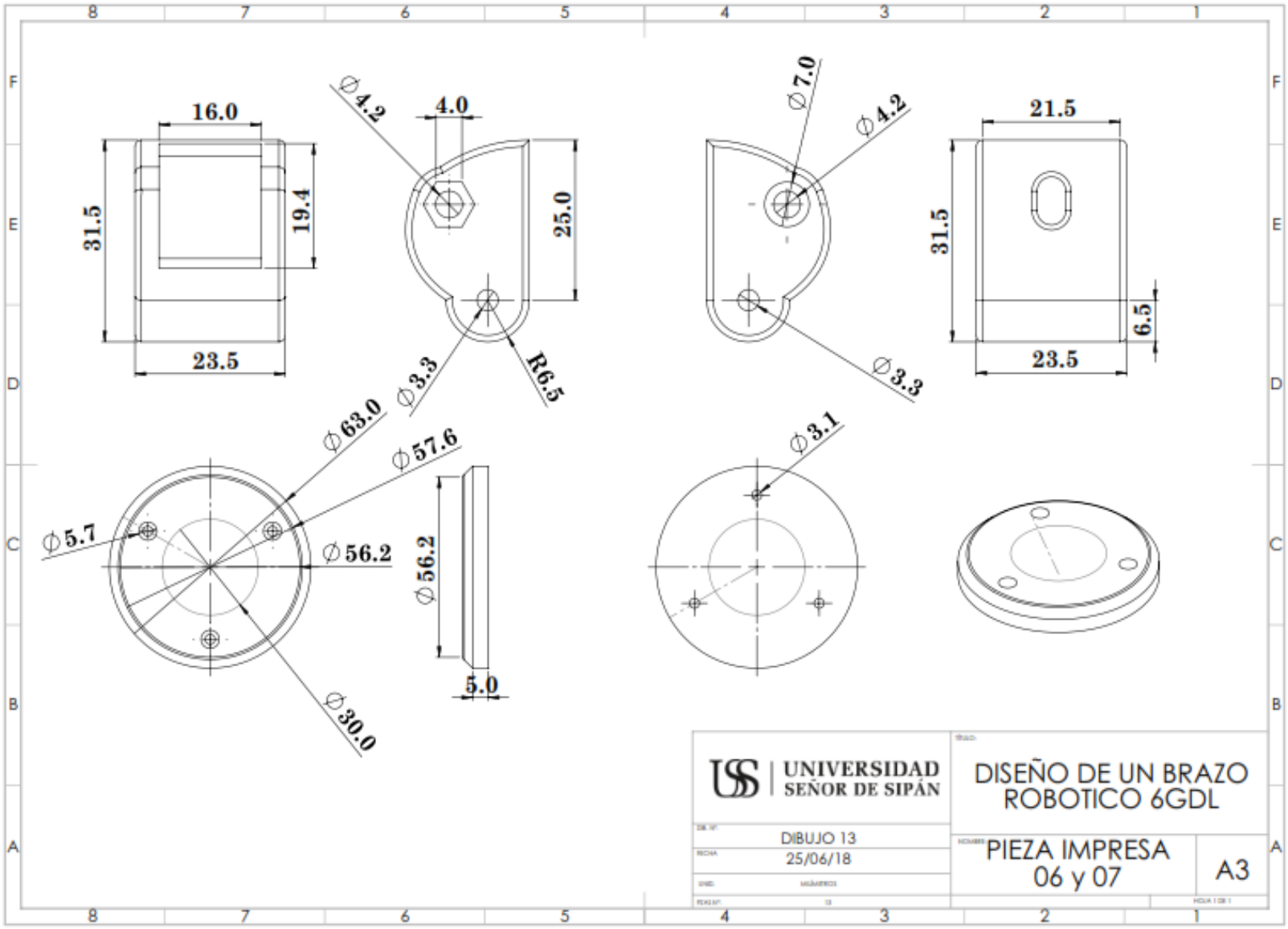
A3

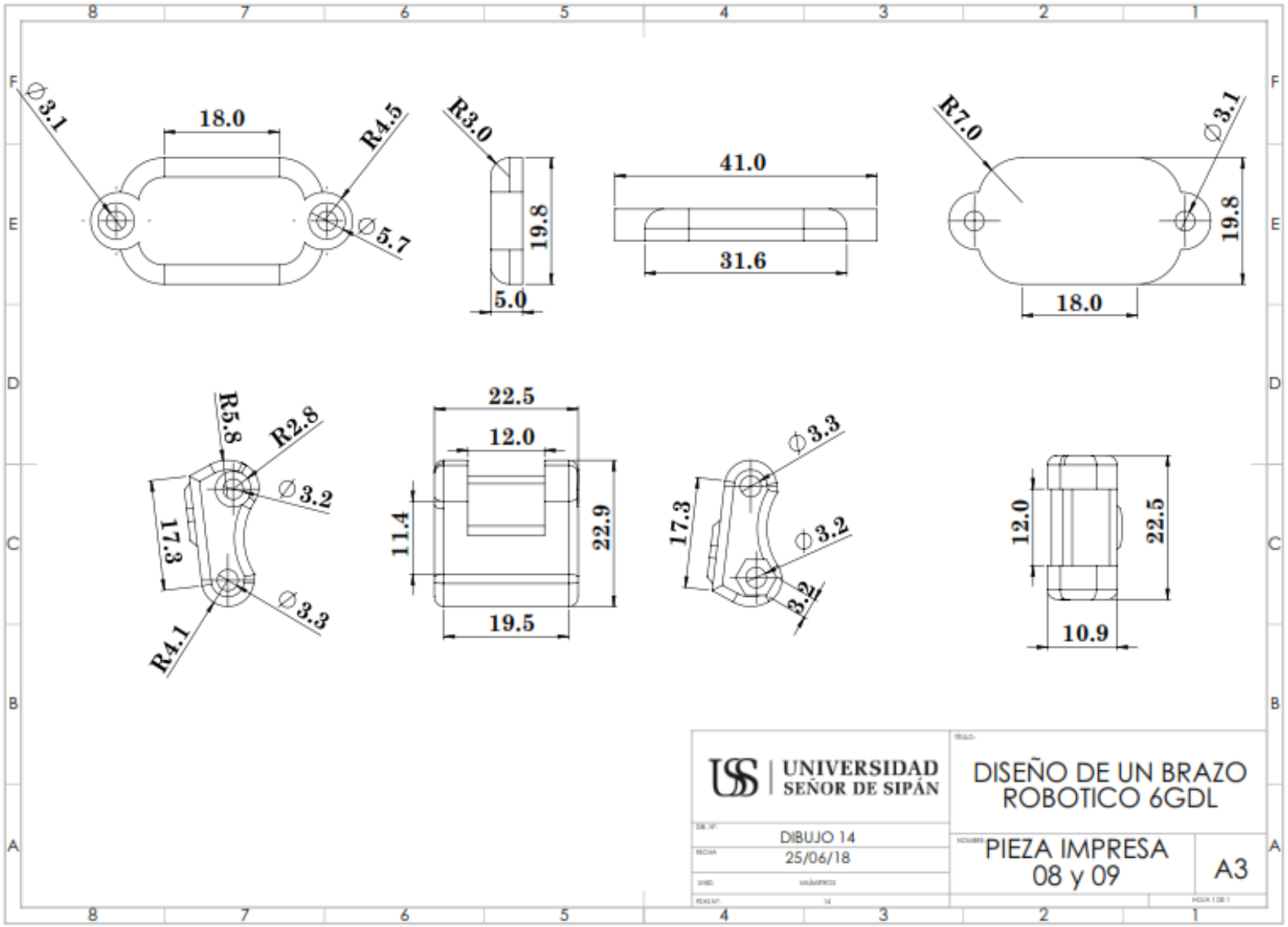
ESCALA 1:2

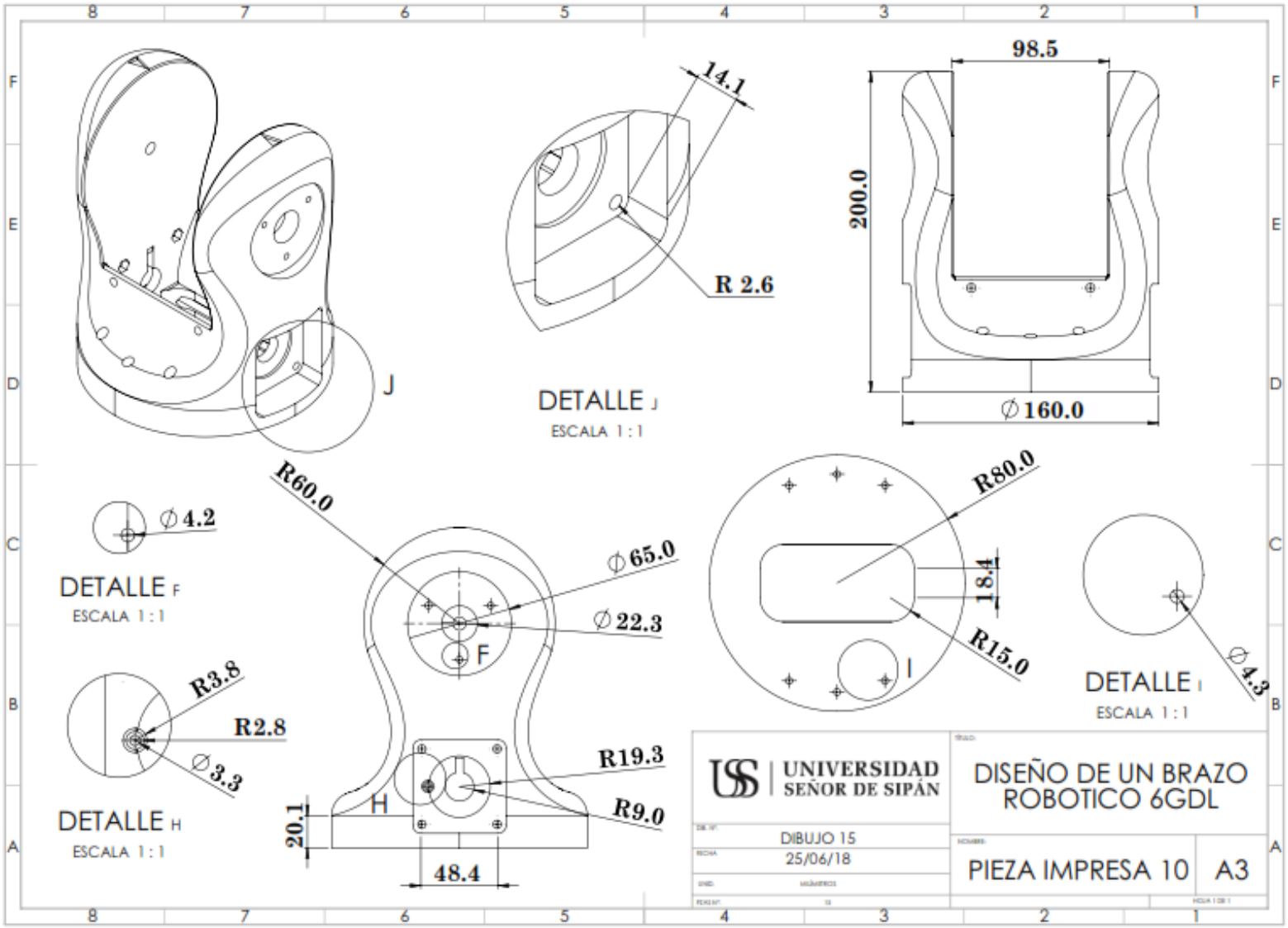
HOJA 1 DE 1

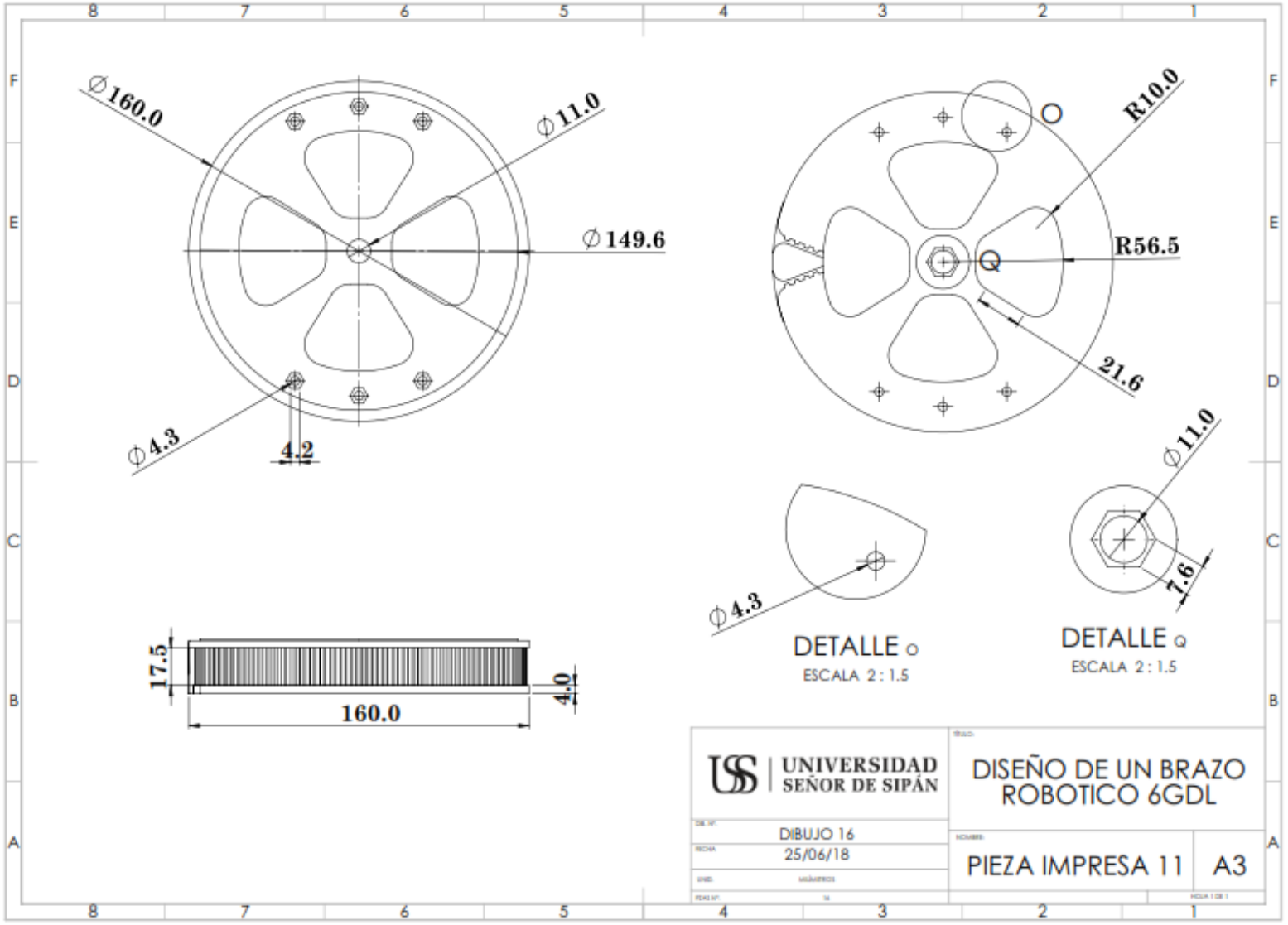

R4.0
9.8
R6.0
⌀7.0
⌀4.0
R10.0
R5.5
R5.5
R4.5
⌀3.3
17.9
R10.0
3.8
⌀4.0
3.0
15.4
41.5
22.0
29.9
20.0
4.1
⌀4.0
3.8
⌀3.3
3.2
⌀4.0
⌀7.0
⌀3.3
16.0
22.2
R1.0
R1.0
20.0
39.5
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
DIBUJO 11
25/06/18
DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL
PIEZA IMPRESA 03 y 04
A3

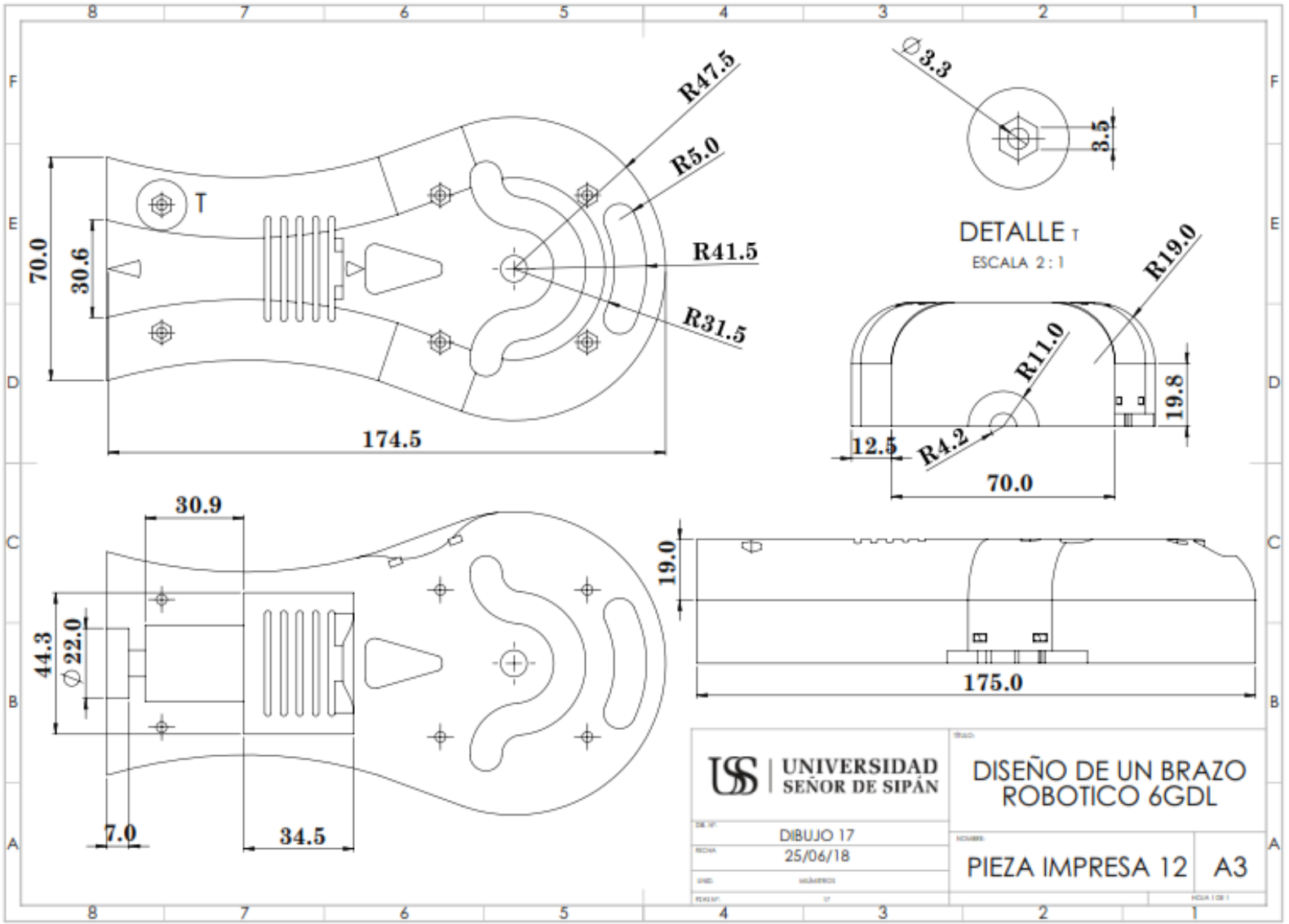

∅22.5
R47.5
∅8.3
∅6.0
∅3.3
R9.0
82.6
132.4
80.0
112.6
66.9
38.2
80.0
∅13.2
∅7.2
82.8
∅4.3
79.0
134.6
∅95.0
80.0
∅4.3
190.1
112.6
∅37.0
44.0
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL
DIBUJO 12
25/06/18
PIEZA IMPRESA 05
A3

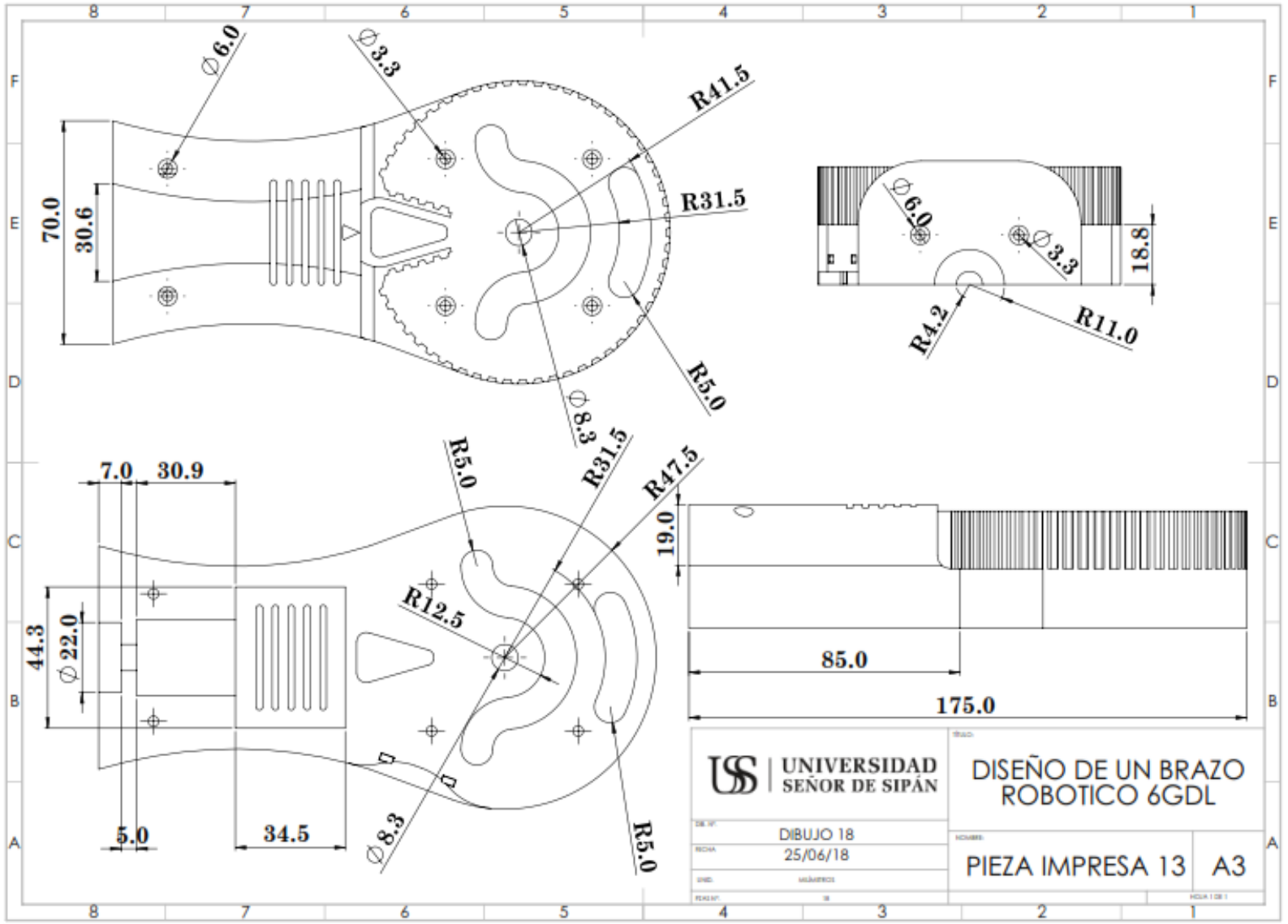

16.0
31.5
19.4
23.5
Ø4.2
4.0
25.0
Ø3.3
R6.5
Ø7.0
Ø4.2
Ø3.3
21.5
31.5
6.5
23.5
Ø63.0
Ø57.6
Ø5.7
Ø56.2
Ø56.2
5.0
Ø30.0
Ø3.1
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL
DIBUJO 13
25/06/18
PIEZA IMPRESA 06 y 07
A3

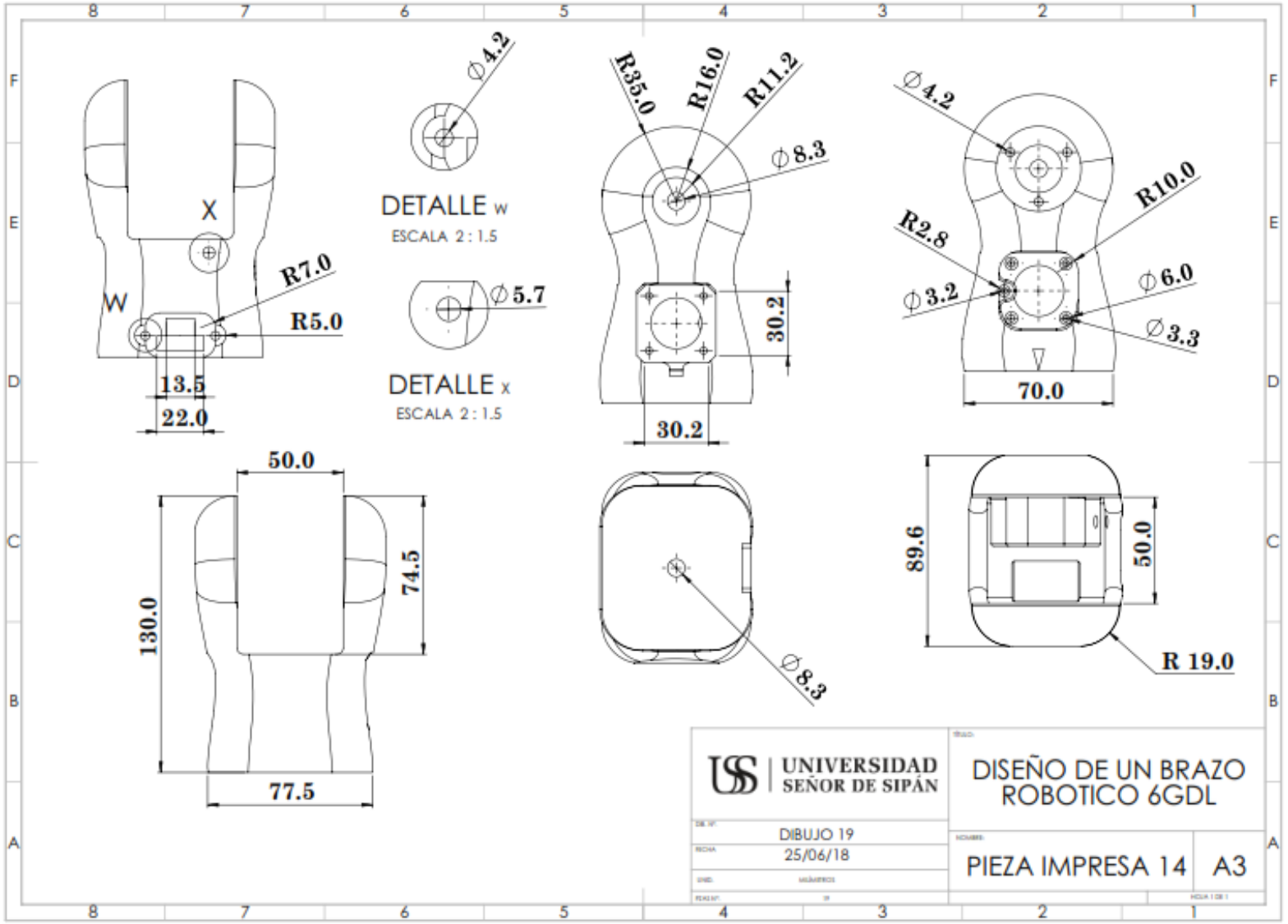

∅3.1
18.0
R4.5
∅5.7
R3.0
19.8
5.0
41.0
31.6
R7.0
∅3.1
19.8
18.0
R5.8
R2.8
∅3.2
17.3
∅3.3
R4.1
22.5
12.0
11.4
22.9
19.5
∅3.3
17.3
∅3.2
3.2
12.0
22.5
10.9
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL
DIBUJO 14
25/06/18
PIEZA IMPRESA 08 y 09
A3

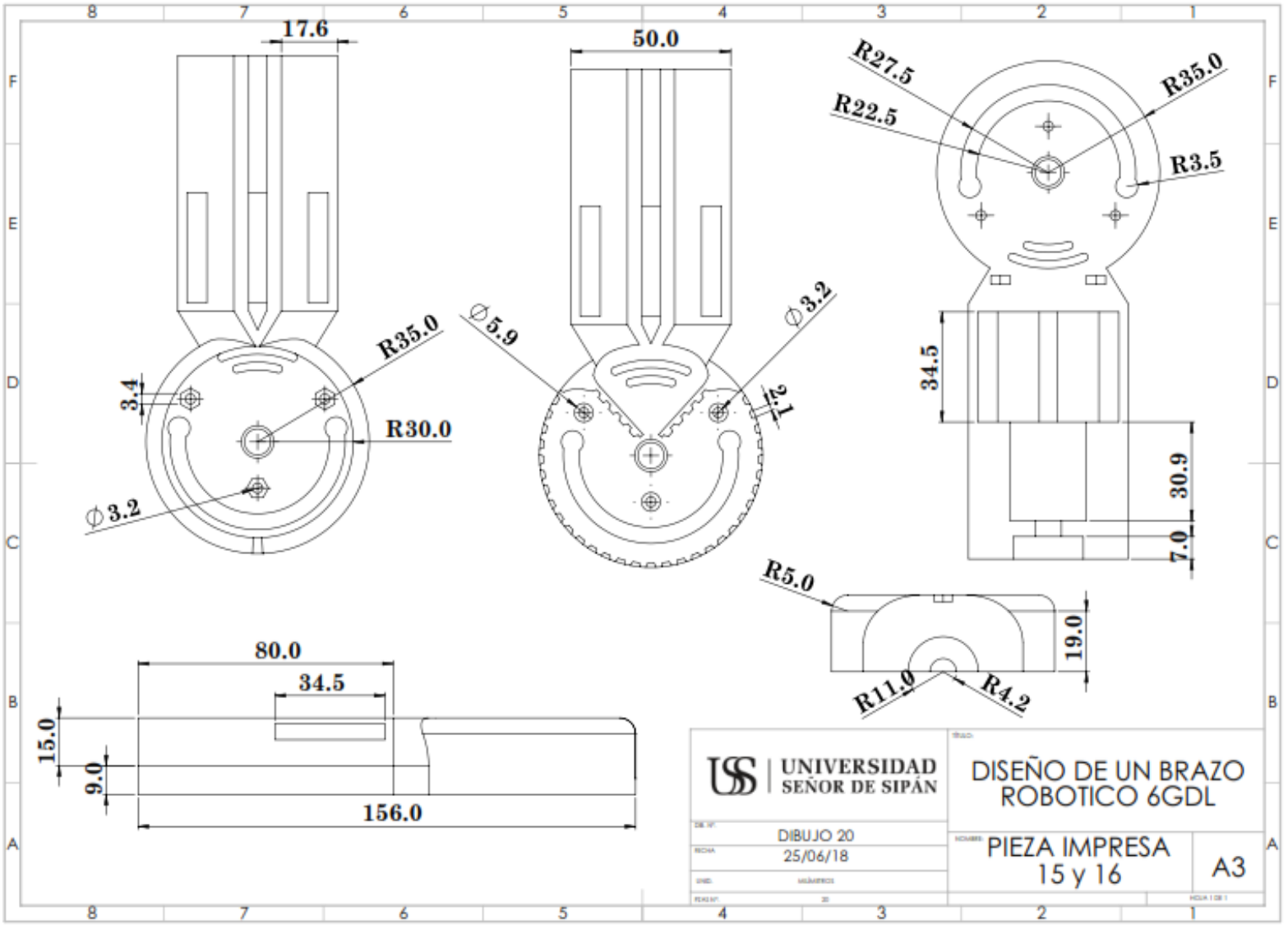

14.1
R 2.6
DETALLE J
ESCALA 1 : 1
98.5
200.0
∅160.0
J
R60.0
∅4.2
DETALLE F
ESCALA 1 : 1
∅65.0
∅22.3
F
R80.0
18.4
R15.0
I
DETALLE I
ESCALA 1 : 1
∅4.3
R3.8
R2.8
∅3.3
DETALLE H
ESCALA 1 : 1
R19.3
R9.0
H
20.1
48.4
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL
DIBUJO 15
25/06/18
PIEZA IMPRESA 10
A3

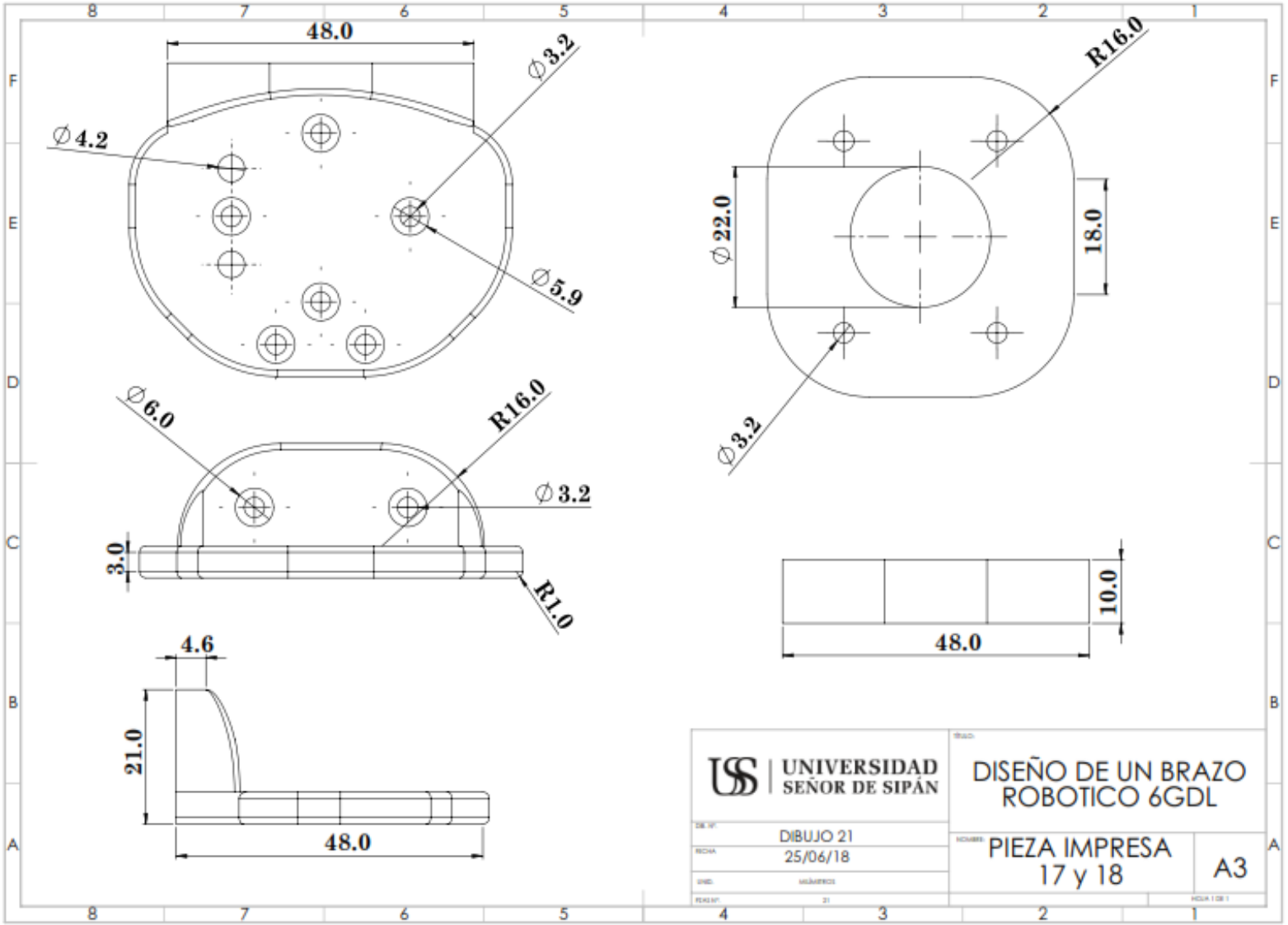

∅160.0
∅11.0
∅149.6
∅4.3
4.2
R10.0
R56.5
21.6
∅11.0
7.6
∅4.3
DETALLE O
ESCALA 2 : 1.5
DETALLE Q
ESCALA 2 : 1.5
17.5
160.0
4.0
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL
DIBUJO 16
25/06/18
PIEZA IMPRESA 11
A3

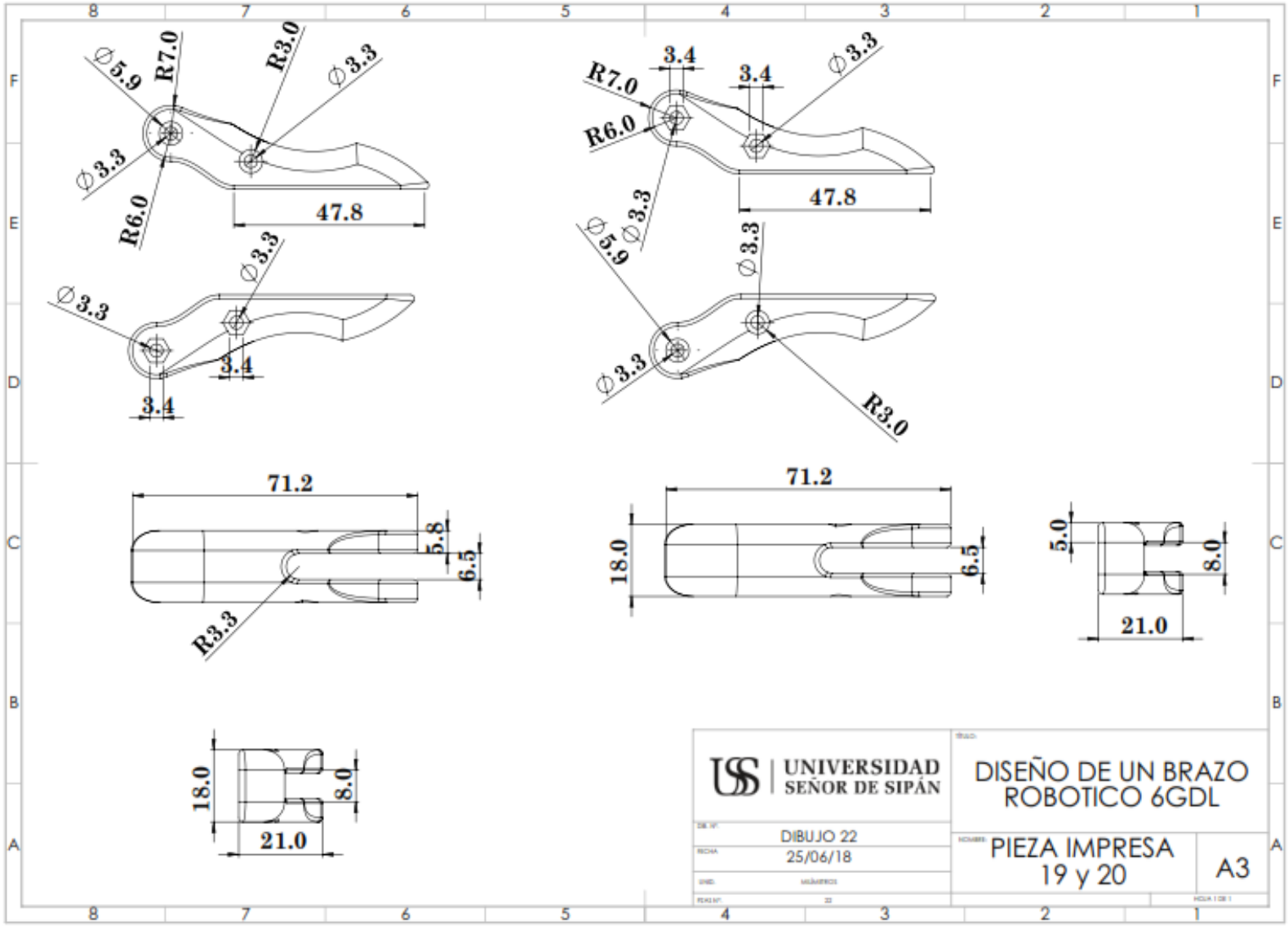

R47.5
R5.0
R41.5
R31.5
70.0
30.6
174.5
T
Ø3.3
3.5
DETALLE T
ESCALA 2 : 1
R19.0
R11.0
19.8
12.5
R4.2
70.0
30.9
44.3
Ø22.0
7.0
34.5
19.0
175.0
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL
DIBUJO 17
25/06/18
PIEZA IMPRESA 12
A3

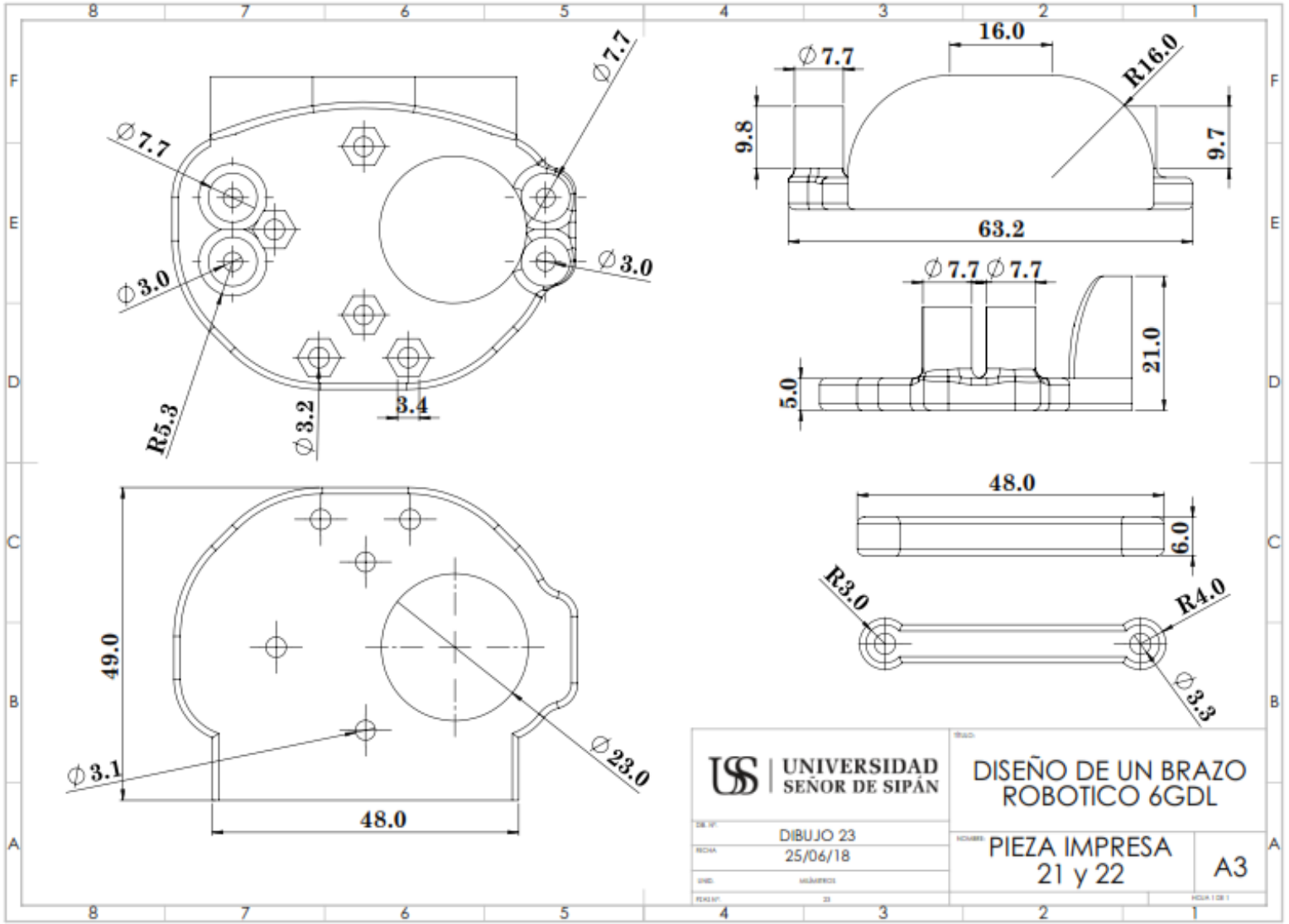

Ø6.0
Ø3.3
R41.5
R31.5
R5.0
Ø8.3
70.0
30.6
Ø6.0
Ø3.3
18.8
R4.2
R11.0
7.0
30.9
R5.0
R31.5
R47.5
19.0
R12.5
44.3
Ø22.0
85.0
175.0
5.0
34.5
Ø8.3
R5.0
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL
DIBUJO 18
25/06/18
PIEZA IMPRESA 13
A3

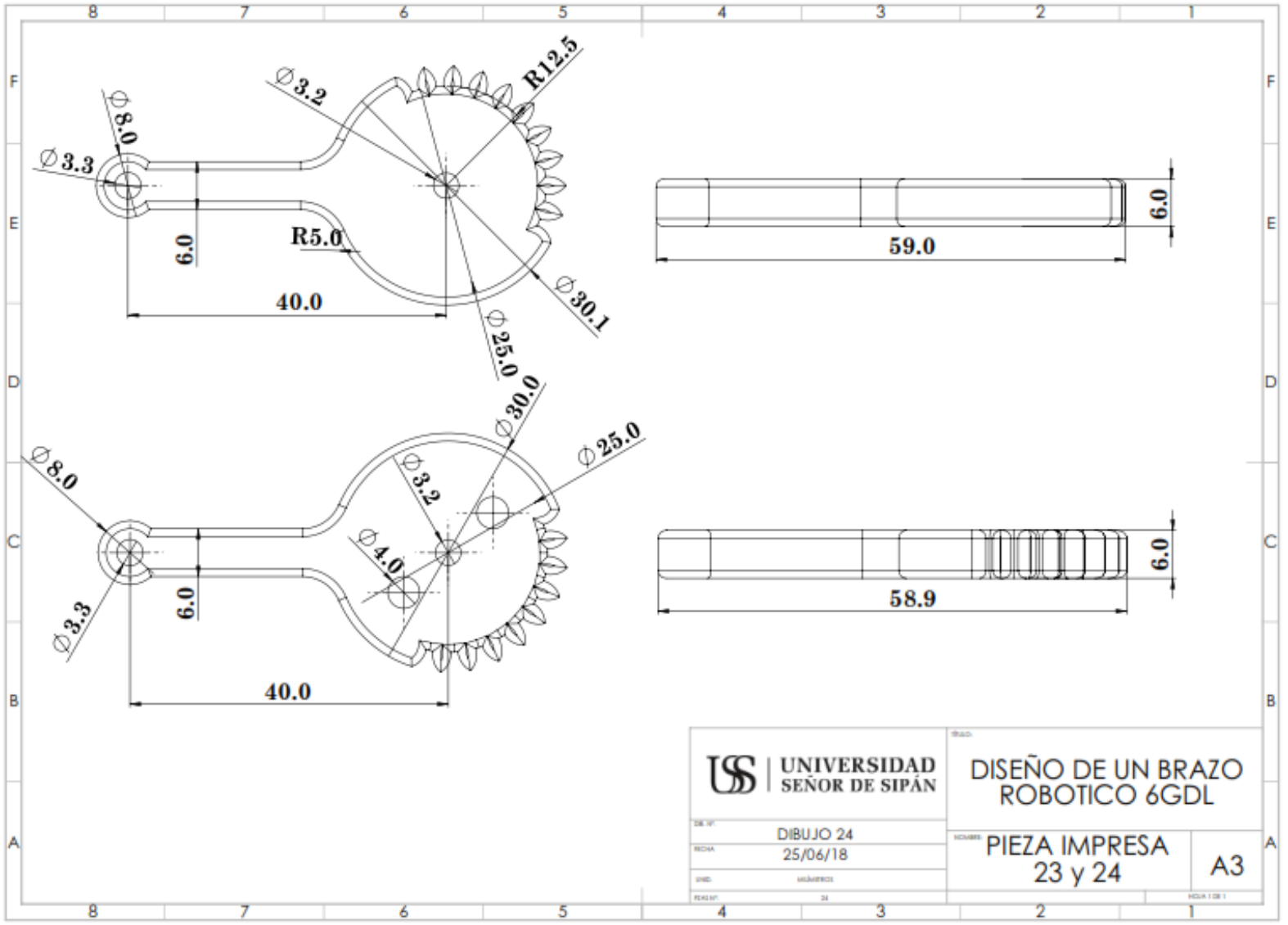

X
W
R7.0
R5.0
13.5
22.0
DETALLE W
ESCALA 2 : 1.5
DETALLE X
ESCALA 2 : 1.5
R35.0
R16.0
R11.2
30.2
30.2
R10.0
R2.8
6.0
3.3
70.0
50.0
130.0
74.5
77.5
89.6
50.0
R 19.0
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
DIBUJO 19
25/06/18
DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL
PIEZA IMPRESA 14
A3


17.6
50.0
R27.5
R22.5
R35.0
R3.5
R35.0
3.4
R30.0
⌀3.2
⌀5.9
⌀3.2
2.2
1
34.5
30.9
7.0
R5.0
19.0
R11.9
R4.2
80.0
34.5
15.0
9.0
156.0
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL
DIBUJO 20
25/06/18
PIEZA IMPRESA 15 y 16
A3


48.0
∅3.2
∅4.2
∅5.9
∅6.0
R16.0
∅3.2
3.0
R1.0
4.6
21.0
48.0
R16.0
∅22.0
18.0
∅3.2
10.0
48.0
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
DIBUJO 21
25/06/18
DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL
PIEZA IMPRESA 17 y 18
A3

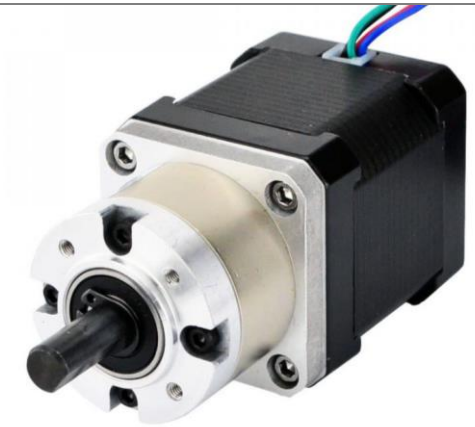
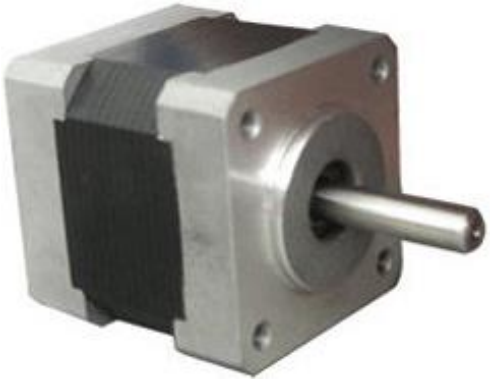

Ø5.9
R7.0
R3.0
Ø3.3
Ø3.3
R6.0
47.8
Ø3.3
Ø3.3
3.4
3.4
R7.0
3.4
3.4
Ø3.3
R6.0
47.8
Ø5.9
Ø3.3
Ø3.3
Ø3.3
Ø3.3
3.4
3.4
Ø3.3
R3.0
71.2
5.8
6.5
R3.3
71.2
18.0
6.5
5.0
8.0
21.0
18.0
8.0
21.0
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
DIBUJO 22
25/06/18
DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL
PIEZA IMPRESA 19 y 20
A3

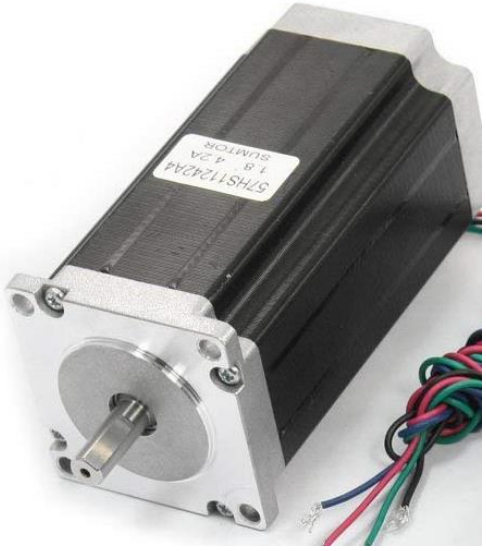

Ø7.7
Ø7.7
Ø3.0
Ø3.0
R5.3
Ø3.2
3.4
16.0
Ø7.7
R16.0
9.8
9.7
63.2
Ø7.7 Ø7.7
21.0
5.0
48.0
6.0
R3.0
R4.0
Ø3.3
49.0
Ø3.1
Ø23.0
48.0
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
DIBUJO 23
25/06/18
DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL
PIEZA IMPRESA 21 y 22
A3


Ø8.0
Ø3.3
Ø3.2
R12.5
6.0
R5.0
40.0
Ø30.1
Ø25.0
59.0
6.0
Ø30.0
Ø25.0
Ø8.0
Ø3.2
Ø4.0
Ø3.3
6.0
40.0
58.9
6.0
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN
DIBUJO 24
25/06/18
DISEÑO DE UN BRAZO ROBOTICO 6GDL
PIEZA IMPRESA 23 y 24
A3

ANEXO No. 13: PESOS COMPONENTES BRAZO ROBOTICO

Ítem	Pieza	Código	Dibujo	Cantidad	Peso
1	Motor Nema 17	SY42STH47-1684A		1	365gr
2	Motor Nema 17	SY42STH33-1334MA		2	225gr

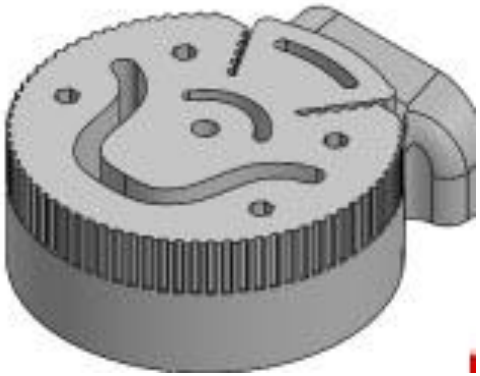
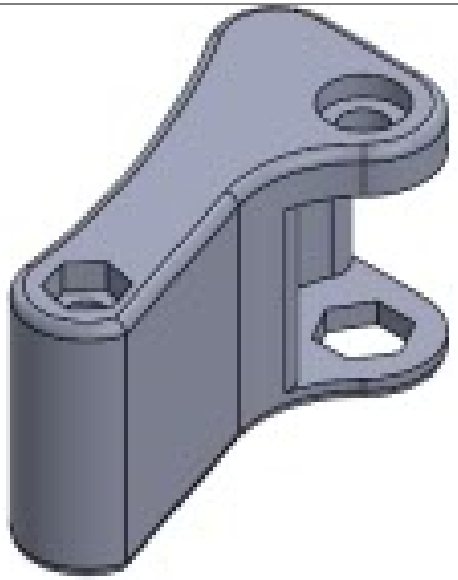
3	Motor Nema 17 con reducción 5:1	17HS19-1684S		1	520gr
4	Motor Nema 14	SY35ST36-1004A		1	180gr

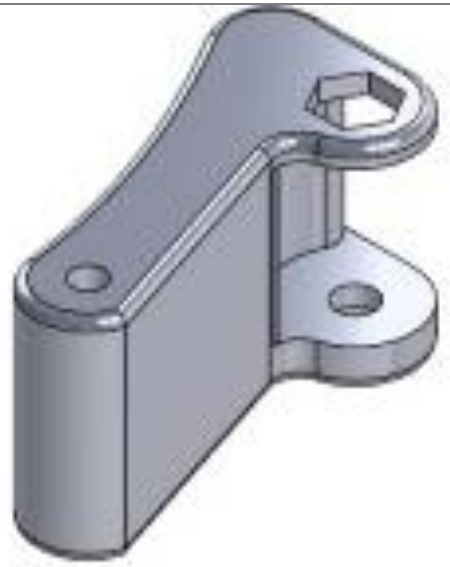
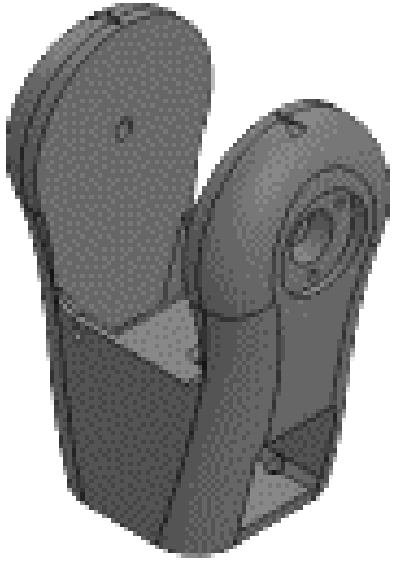
5	SERVO 180§ 55G	MG995		1	55gr
6	Motor Nema 23 112mm, Ø8mm	SM57STH112-3304A		2	1950gr

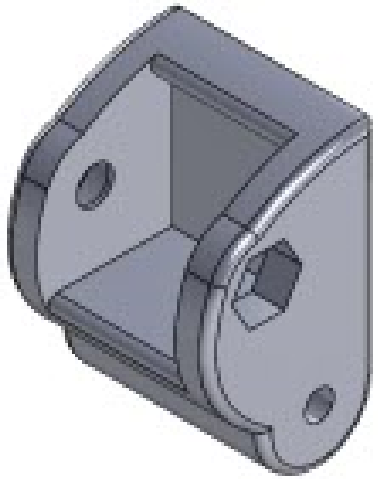
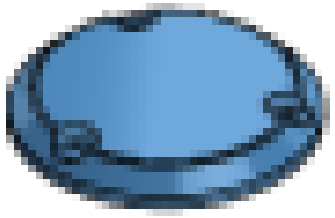
7	Cilindro			1	0.24gr
8	Rodamiento	5mm x 16mm x 5mm		8	4gr

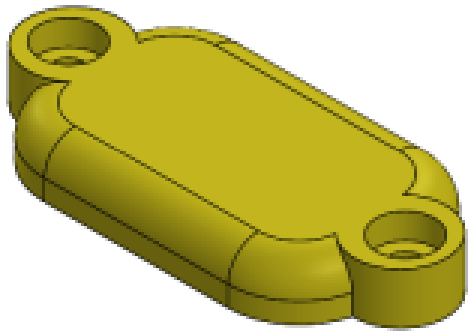
9	Rodamiento	4mm x 13mm x 5mm		9	3gr
10	Rodamiento	3mm x 10mm x 4mm		3	3gr

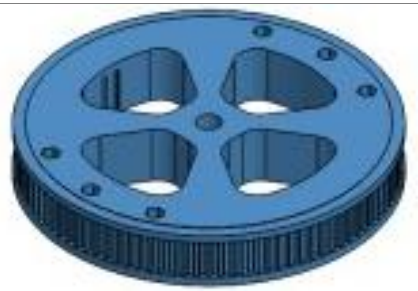
11	Rodamiento	8mm x 22mm x 7mm		9	6gr
12	Pieza impresa 1	Base rotatoria		1	650.3 gr

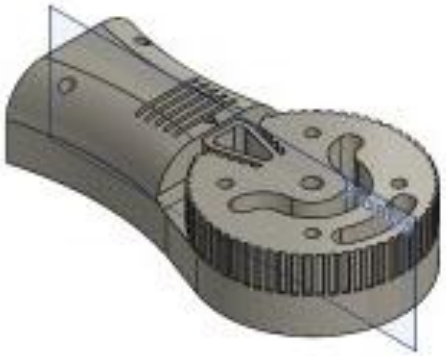
13	Pieza impresa 2			2	517.3 gr
14	Pieza impresa 3	Derecha		1	8.6gr

15	Pieza impresa 4	Izquierda		1	8.5gr
16	Pieza impresa 5			1	787.6 gr

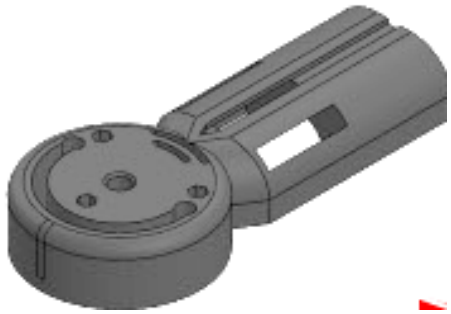
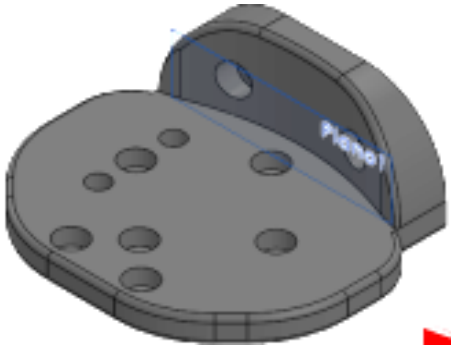
17	Pieza impresa 6		1	7gr
18	Pieza impresa 7		4	4.7gr

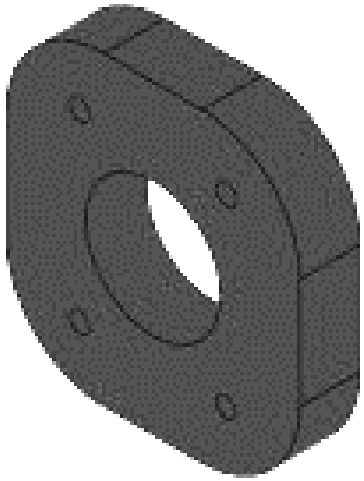
19	Pieza impresa 8		1	3gr
20	Pieza impresa 9		1	2.87gr

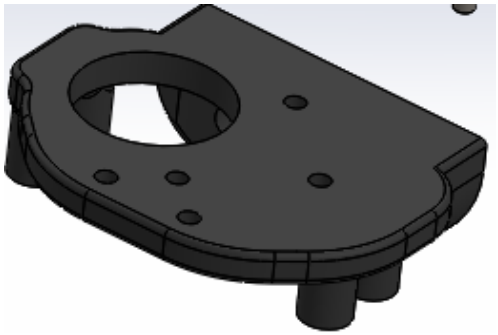
21	Pieza impresa 10		1	1297. 1gr
22	Pieza impresa 11		1	334.3 gr

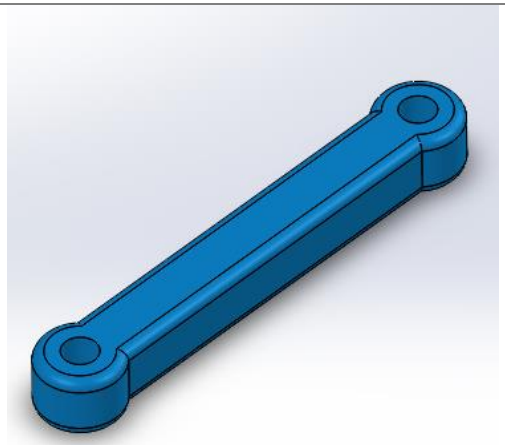
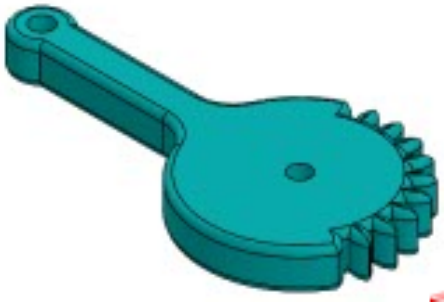
23	Pieza impresa 12		338.6 gr
24	Pieza impresa 13		329.1 gr

25	Pieza impresa 14		266.6 gr
26	Pieza impresa 15		123.6 gr

27	Pieza impresa 16		128.4 gr
28	Pieza impresa 17		16.2gr

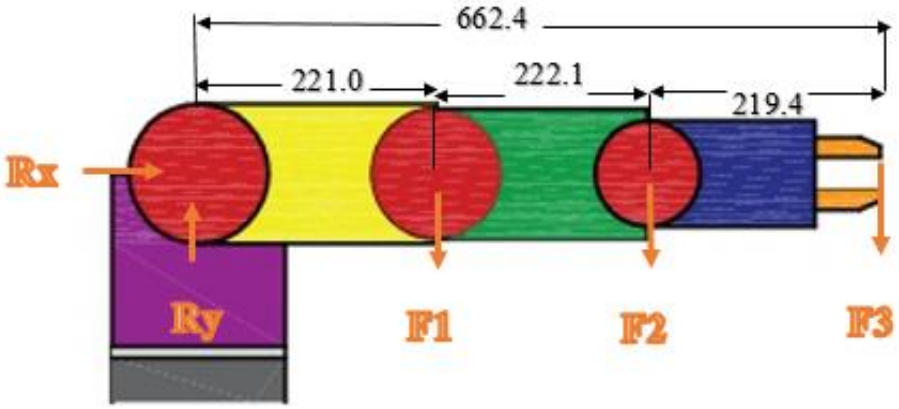
29	Pieza impresa 18		18gr
30	Pieza impresa 19		10.5gr

31	Pieza impresa 20		10.5gr
32	Pieza impresa 21		16.5gr

33	Pieza impresa 22		2	1.7
34	Pieza impresa 23			5gr

35	Pieza impresa 24		5gr

ANEXO No. 14: CALCULO CARGAS BRAZO POSICION DE REPOSO



$$F = m * g$$

$$F1 = 2.3692 * 9.81$$

$$F1 = 23.241\ N$$

$$F2 = 1.3547 * 9.81$$

$$F2 = 13.289\ N$$

$$F3 = 10.615 * 9.81$$

$$F3 = 104.133\ N$$

$$\sum F_Y = 0$$

$$Ry + F1 + F2 + F3 = 0$$

$$Ry - 23.241 - 13.289 - 104.133 = 0$$

$$Ry = 140.663\ N$$

$$T_{Ry} = 23.241 * 0.221 + 13.289 * (0.221 + 0.222) + 104.133 * 0.662$$

$$\boldsymbol{T_{Ry} = 79.959334\ Nm}$$

$$T_{F1} = 104.133 * 0.440 + 13.289 * 0.222$$

$$\boldsymbol{T_{F1} = 48.768678\ Nm}$$

$$T_{F2} = 104.663 * 0.219$$

$$\boldsymbol{T_{F2} = 22.921\ Nm}$$

Donde:

F: Representa los pesos de las siguiente piezas: Articulación 2, Articulación 3, Articulación 4, Articulación 5, Articulación 6, Actuador

μr= coeficiente de rozamiento de PLA sobre PLA 0.5

T = torque Nm

D = Distancia

ANEXO No. 15: CARGAS ARTICULACION 01

$$F = m * g$$

$$F = (\text{Articulacion2} + \text{Articulacion3} + \text{Articulacion4} + \text{Articulacion5} + \text{Articulacion6} + \text{Actuador}) * 9.81$$

$$F = (5.62 + 2.37 + 9.01 + 0.45 + 0.47 + 0.138) * 9.81$$

$$F = 173.61\ N$$

$$F_R = F * \mu_r$$

$$F_R = 173.61 * 0.5$$

$$F_R = 86.805$$

$$T = F_R * r$$

$$T = 86.805 * 0.08$$

$$\boldsymbol{T = 6.94\ Nm}$$

Donde:

F: Representa los pesos de las siguiente piezas: Articulación 2, Articulación 3, Articulación 4, Articulación 5, Articulación 6, Actuador. N

μr= coeficiente de rozamiento de PLA sobre acero 0.5

T = torque Nm

r = 0.08m Radio de la base

ANEXO No. 16: PROCESO DE PINTADO

Productividad: 4 alabes/dia

Operarios: 1 persona

Tiempo de pintado: 5 -10 min (dependiendo de las dimensiones)

Tipo de pintura: Gelcoat (resina epoxica)

Tiempo de secado de la resina: 12-15 min

Fabricación del alabe: 40 -50 min/alabe

Tiempo de secado del alabe: 72 horas

Tiempo de curado: 1 – 2 semanas

Cantidad de pintura: 4 kg – 2kg/lado

Proceso de fabricación:

1) Se lamina la dos secciones
2) Se coloca las capas de fibra
3) Se colocan los refuerzos internamente
4) Se repite lo anterior

ANEXO No. 17: ANALISIS DE VELOCIDAD – MATRIZ JACOBIANA

I	$\boldsymbol{\alpha_1}(°)$	$\boldsymbol{a_i(cm)}$	$\boldsymbol{\theta_i}(°)$	$\boldsymbol{d_i(cm)}$
1	90	0	θ_1	L1
2	0	L2	θ_2	0
3	90	0	θ_3+90	0
4	90	0	$-\theta_4$+90	L3
5	90	0	θ_5+180	0
6	0	0	θ_6	L4

Donde:

α_1: Ángulo que forman los ejes eje Z_{i-1} y Z_i en relación al eje X_i

a_i: Distancia medida desde el eje Z_{i-1} hacia el eje Z_i

θ_i: Ángulo que forman los ejes X_{i-1} y X_i con respecto al eje Z_{i-1}

d_i: Distancia desde el eje de rotación a la intersección de la perpendicular común entre Z_{i-1} y Z_i.

Donde:

$$ {}^{º}T_1 = \begin{bmatrix} \cos(\theta 1) & -sen(\theta 1) & 0 & 0 \\ sen(\theta 1) & \cos(\theta 1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} $$

$$ {}^{1}T_2 = \begin{bmatrix} \cos(\theta 2) & 0 & sen(\theta 1) & 0 \\ sen(\theta 2) & 0 & -\cos(\theta 1) & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} $$

$$ {}^{2}T_3 = \begin{bmatrix} \cos(\theta 3) & -sen(\theta 3) & l2 * \cos(\theta 3) & 0 \\ sen(\theta 3) & \cos(\theta 3) & l2 * \text{sen}(\theta 3) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} $$

$$ {}^{3}T_{4} = \begin{bmatrix} \cos(\theta 4) & 0 & sen(\theta 4) & 0 \\ sen(\theta 4) & 0 & -\cos(\theta 4) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} $$

$$ {}^{4}T_{5} = \begin{bmatrix} \cos(\theta 5) & 0 & -sen(\theta 5) & 0 \\ sen(\theta 5) & 0 & \cos(\theta 5) & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} $$

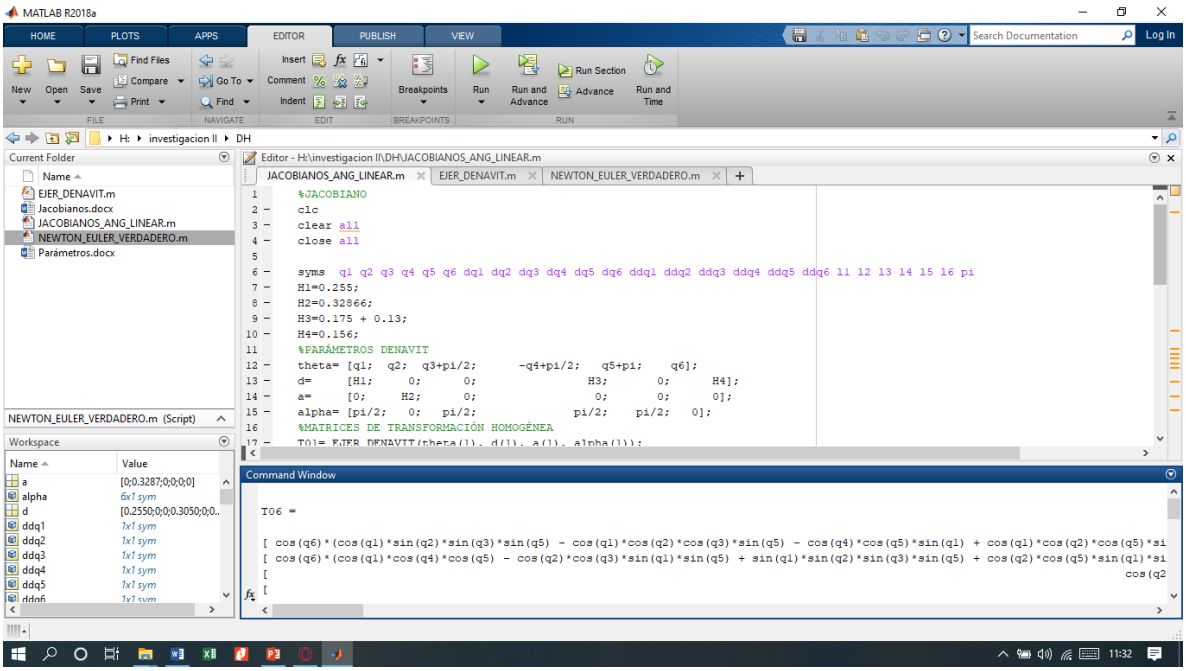
$$ {}^{5}T_{6} = \begin{bmatrix} \cos(\theta 6) & -sen(\theta 6) & 0 & 0 \\ sen(\theta 6) & \cos(\theta 6) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} $$

$$ {}^{0}T_{6} = {}^{0}T_{1}^{1}T_{2}^{2}T_{3}^{3}T_{4}^{4}T_{5}^{5}T_{6} $$

$$ {}^{0}T_{6} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & {}^{0}P_{6}^{X} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & {}^{0}P_{6}^{Y} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & {}^{0}P_{6}^{Z} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} $$

Después de obtener las matrices de transformación para cada eslabón, el Jacobiano de velocidad lineal (JV) y el Jacobiano de velocidad angular (JW) Se obtiene al multiplicar las matrices lo cual resulta:

$$ \boldsymbol{JV} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{v_{11}} & \boldsymbol{v_{12}} & \boldsymbol{v_{13}} & \boldsymbol{v_{14}} & \boldsymbol{v_{15}} & \boldsymbol{v_{16}} \\ \boldsymbol{v_{21}} & \boldsymbol{v_{22}} & \boldsymbol{v_{23}} & \boldsymbol{v_{24}} & \boldsymbol{v_{25}} & \boldsymbol{v_{26}} \\ \boldsymbol{v_{31}} & \boldsymbol{v_{32}} & \boldsymbol{v_{33}} & \boldsymbol{v_{34}} & \boldsymbol{v_{35}} & \boldsymbol{v_{36}} \end{bmatrix} $$



Donde:

$$v_{11} = [(61 * sin(\theta1) * sin(\theta2) * sin(\theta3))/200 - (16433 * cos(\theta2) * sin(\theta1))/50000 - (61 * cos(\theta2) * cos(\theta3) * sin(\theta1))/200 - (39 * cos(\theta1) * cos(\theta4) * sin(\theta5))/250 - (39 * cos(\theta2) * cos(\theta3) * cos(\theta5) * sin(\theta1))/250 + (39 * cos(\theta5) * sin(\theta1) * sin(\theta2) * sin(\theta3))/250 - (39 * cos(\theta2) * sin(\theta1) * sin(\theta3) * sin(\theta4) * sin(\theta5))/250 - (39 * cos(\theta3) * sin(\theta1) * sin(\theta2) * sin(\theta4) * sin(\theta5))/250$$

$$v_{12} = -(cos(\theta1) * (16433 * sin(\theta2) + 15250 * cos(\theta2) * sin(\theta3) + 15250 * cos(\theta3) * sin(\theta2) + 7800 * cos(\theta2) * cos(\theta5) * sin(\theta3) + 7800 * cos(\theta3) * cos(\theta5) * sin(\theta2) - 7800 * cos(\theta2) * cos(\theta3) * sin(\theta4) * sin(\theta5) + 7800 * sin(\theta2) * sin(\theta3) * sin(\theta4) * sin(\theta5)))/50000$$

$$v_{13} = -(cos(\theta1) * (305 * cos(\theta2) * sin(\theta3) + 305 * cos(\theta3) * sin(\theta2) + 156 * cos(\theta2) * cos(\theta5) * sin(\theta3) + 156 * cos(\theta3) * cos(\theta5) * sin(\theta2) - 156 * cos(\theta2) * cos(\theta3) * sin(\theta4) * sin(\theta5) + 156 * sin(\theta2) * sin(\theta3) * sin(\theta4) * sin(\theta5)))/1000$$

$$v_{14} = (39 * sin(\theta5) * (sin(\theta1) * sin(\theta4) + cos(\theta1) * cos(\theta2) * cos(\theta4) * sin(\theta3) + cos(\theta1) * cos(\theta3) * cos(\theta4) * sin(\theta2)))/250$$

$$v_{15} = (39 * cos(\theta1) * sin(\theta2) * sin(\theta3) * sin(\theta5))/250 - (39 * cos(\theta1) * cos(\theta2) * cos(\theta3) * sin(\theta5))/250 - (39 * cos(\theta4) * cos(\theta5) * sin(\theta1))/250 + (39 * cos(\theta1) * cos(\theta2) * cos(\theta5) * sin(\theta3) * sin(\theta4))/250 + (39 * cos(\theta1) * cos(\theta3) * cos(\theta5) * sin(\theta2) * sin(\theta4))/250$$

$$v_{16} = 0]$$

$$v_{21} = (16433 * cos(\theta1) * cos(\theta2))/50000 + (61 * cos(\theta1) * cos(\theta2) * cos(\theta3))/200 - (61 * cos(\theta1) * sin(\theta2) * sin(\theta3))/200 - (39 * cos(\theta4) * sin(\theta1) * sin(\theta5))/250 + (39 * cos(\theta1) * cos(\theta2) * cos(\theta3) * cos(\theta5))/250 - (39 * cos(\theta1) * cos(\theta5) * sin(\theta2) * sin(\theta3))/250 + (39 * cos(\theta1) * cos(\theta2) * sin(\theta3) * sin(\theta4) * sin(\theta5))/250 + (39 * cos(\theta1) * cos(\theta3) * sin(\theta2) * sin(\theta4) * sin(\theta5))/250$$

$$v_{22} = -(sin(\theta1) * (16433 * sin(\theta2) + 15250 * cos(\theta2) * sin(\theta3) + 15250 * cos(\theta3) * sin(\theta2) + 7800 * cos(\theta2) * cos(\theta5) * sin(\theta3) + 7800 * cos(\theta3) * cos(\theta5) * sin(\theta2) - 7800 * cos(\theta2) * cos(\theta3) * sin(\theta4) * sin(\theta5) + 7800 * sin(\theta2) * sin(\theta3) * sin(\theta4) * sin(\theta5)))/50000$$

$$v_{23} = -(sin(\theta1) * (305 * cos(\theta2) * sin(\theta3) + 305 * cos(\theta3) * sin(\theta2) + 156 * cos(\theta2) * cos(\theta5) * sin(\theta3) + 156 * cos(\theta3) * cos(\theta5) * sin(\theta2) - 156 * cos(\theta2) * cos(\theta3) * sin(\theta4) * sin(\theta5) + 156 * sin(\theta2) * sin(\theta3) * sin(\theta4) * sin(\theta5)))/1000$$

$$v_{24} = (39 * sin(\theta5) * (cos(\theta2) * cos(\theta4) * sin(\theta1) * sin(\theta3) - cos(\theta1) * sin(\theta4) + cos(\theta3) * cos(\theta4) * sin(\theta1) * sin(\theta2)))/250$$

$$v_{25} = (39 * cos(\theta1) * cos(\theta4) * cos(\theta5))/250 - (39 * cos(\theta2) * cos(\theta3) * sin(\theta1) * sin(\theta5))/250 + (39 * sin(\theta1) * sin(\theta2) * sin(\theta3) * sin(\theta5))/250 + (39 * cos(\theta2) * cos(\theta5) * sin(\theta1) * sin(\theta3) * sin(\theta4))/250 + (39 * cos(\theta3) * cos(\theta5) * sin(\theta1) * sin(\theta2) * sin(\theta4))/250$$

$$v_{26} = 0$$

$$v_{31} = 0$$

$$v_{32} = (16433 * cos(\theta2))/50000 + (61 * cos(\theta2) * cos(\theta3))/200 - (61 * sin(\theta2) * sin(\theta3))/200 + (39 * cos(q2) * cos(\theta3) * cos(\theta5))/250 - (39 * cos(\theta5) * sin(\theta2) * sin(\theta3))/250 + (39 * cos(\theta2) * sin(\theta3) * sin(\theta4) * sin(\theta5))/250 + (39 * cos(\theta3) * sin(\theta2) * sin(\theta4) * sin(\theta5))/250$$

$$v_{33} = (61 * cos(\theta2) * cos(\theta3))/200 - (61 * sin(\theta2) * sin(\theta3))/200 + (39 * cos(\theta2) * cos(\theta3) * cos(\theta5))/250 - (39 * cos(\theta5) * sin(\theta2) * sin(\theta3))/250 + (39 * cos(\theta2) * sin(\theta3) * sin(\theta4) * sin(\theta5))/250 + (39 * cos(\theta3) * sin(\theta2) * sin(\theta4) * sin(\theta5))/250$$

$$v_{34} = -(39 * cos(\theta2 + \theta3) * cos(\theta4) * sin(q5))/250$$

$$v_{35} = (39 * cos(\theta5) * sin(\theta2) * sin(\theta3) * sin(\theta4))/250 - (39 * cos(\theta3) * sin(\theta2) * sin(\theta5))/250 - (39 * cos(\theta2) * \cos(\theta3) * cos(\theta5) * sin(\theta4))/250 - (39 * cos(\theta2) * sin(\theta3) * sin(\theta5))/250$$

$$v_{36} = 0$$

$$\boldsymbol{JW} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{w_{11}} & \boldsymbol{w_{12}} & \boldsymbol{w_{13}} & \boldsymbol{w_{14}} & \boldsymbol{w_{15}} & \boldsymbol{w_{16}} \\ \boldsymbol{w_{21}} & \boldsymbol{w_{22}} & \boldsymbol{w_{23}} & \boldsymbol{w_{24}} & \boldsymbol{w_{25}} & \boldsymbol{w_{26}} \\ \boldsymbol{w_{31}} & \boldsymbol{w_{32}} & \boldsymbol{w_{33}} & \boldsymbol{w_{34}} & \boldsymbol{w_{35}} & \boldsymbol{w_{36}} \end{bmatrix}$$

Donde:

$w_{11} = 0$

$w_{12} = sin(\theta 1)$

$w_{13} = sin(\theta 1)$

$w_{14} = cos(\theta 2 + \theta 3) * cos(\theta 1)$

$w_{15} = -sin(\theta 1) * sin(\theta 4) - \cos(\theta 1) * cos(\theta 2) * cos(\theta 4) * sin(\theta 3) - cos(\theta 1) * cos(\theta 3) * cos(\theta 4) * sin(\theta 2)$

$w_{16} = cos(\theta 1) * cos(\theta 2) * cos(\theta 3) * cos(\theta 5) - cos(\theta 4) * sin(\theta 1) * sin(\theta 5) - cos(\theta 1) * cos(\theta 5) * sin(\theta 2) * sin(\theta 3) + cos(\theta 1) * cos(\theta 2) * sin(\theta 3) * sin(\theta 4) * sin(\theta 5) + cos(\theta 1) * cos(\theta 3) * sin(\theta 2) * \sin(\theta 4) * sin(\theta 5)]$

$w_{21} = [0$

$w_{22} = -cos(\theta 1)$

$w_{23} = -cos(\theta 1)$

$w_{24} = cos(\theta 2 + \theta 3) * sin(\theta 1)$

$w_{25} = cos(\theta 1) * sin(\theta 4) - cos(\theta 2) * cos(\theta 4) * sin(\theta 1) * sin(\theta 3) - cos(\theta 3) * cos(\theta 4) * sin(\theta 1) * sin(\theta 2)$

$w_{26} = cos(q1) * cos(\theta 4) * sin(\theta 5) + cos(\theta 2) * cos(\theta 3) * cos(\theta 5) * sin(\theta 1) - cos(\theta 5) * sin(\theta 1) * sin(\theta 2) * sin(\theta 3) + cos(\theta 2) * sin(\theta 1) * sin(\theta 3) * sin(\theta 4) * sin(\theta 5) + cos(\theta 3) * sin(\theta 1) * sin(\theta 2) * sin(\theta 4) * sin(\theta 5)]$

$w_{31} = 1$

$w_{32} = 0$

$w_{33} = 0$

$w_{34} = sin(\theta 2 + \theta 3)$

$w_{35} = cos(\theta 2 + \theta 3) * cos(\theta 4)$

$w_{36} = cos(\theta 2) * cos(\theta 5) * sin(q3) + cos(\theta 3) * cos(\theta 5) * sin(\theta 2) - cos(\theta 2) * cos(\theta 3) * sin(\theta 4) * sin(\theta 5) + sin(\theta 2) * sin(\theta 3) * sin(\theta 4) * sin(\theta 5)]$