



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
ROTACIÓN CON UNA RESOLUCIÓN DE UN GRADO DE
DESPLAZAMIENTO ANGULAR Y CON CONEXIÓN A UN COMPUTADOR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Mecatrónico

AUTORES: ALEX ADRIÁN AVEIGA TORRES
CHRISTIAN GUSTAVO ORTIZ ONCE

TUTOR: ING. PATRICIO FERNANDO URGILÉS ORTIZ, PhD.

CO-TUTOR: ING. JOHN IGNACIO CALLE SIGÜENCIA, PhD.

Cuenca - Ecuador

2022


CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Alex Adrián Aveiga Torres con documento de identificación N° 0802943829 y Christian Gustavo Ortiz Once con documento de identificación N° 0105737043; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 25 de octubre del 2022

Atentamente,



Alex Adrián Aveiga Torres
0802943829



Christian Gustavo Ortiz Once
0105737043

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

Nosotros, Alex Adrián Aveiga Torres con documento de identificación N° 0802943829 y Christian Gustavo Ortiz Once con documento de identificación N° 0105737043, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Diseño, construcción e implementación de un sistema de rotación con una resolución de un grado de desplazamiento angular y con conexión a un computador”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecatrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 25 de octubre del 2022

Atentamente,



Alex Adrián Aveiga Torres
0802943829



Christian Gustavo Ortiz Once
0105737043

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Patricio Fernando Urgilés Ortiz con documento de identificación N° 0102137593, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ROTACIÓN CON UNA RESOLUCIÓN DE UN GRADO DE DESPLAZAMIENTO ANGULAR Y CON CONEXIÓN A UN COMPUTADOR”, realizado por Alex Adrián Aveiga Torres con documento de identificación N° 0802943829 y por Christian Gustavo Ortiz Once con documento de identificación N° 0105737043, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 25 de octubre del 2022

Atentamente,



Ing. Patricio Fernando Urgilés Ortiz, PhD.
0102137593

DEDICATORIA

La vida es un completo misterio podríamos decir que somos un conjunto de decisiones, buenas o malas pero todo es parte de un solo aprendizaje, soñar es importante, un día sólo eres otro niño en la escuela entre risas y juegos sin darte cuenta ya estás por terminar bachillerato, llega el día en el cual piensas que parte de tu vida ha pasado demasiado rápido, el tiempo no se detiene y los retos tampoco, uno de estos fue ir a la universidad muy lejos de mi hogar.

Por eso quiero dedicar este logro tan importante a mi madre MARY TORRES, la mujer que siempre me ha brindado su apoyo, guiándome en los momentos duros, a mis hermanas AURA AVEIGA, LUCÍA AVEIGA y LETTY AVEIGA, quienes han estado conmigo incondicionalmente, sin ellas no hubiera podido lograr nada de lo que he alcanzado hasta ahora, son mi inspiración, este pequeño logro es por ellas, jamás me rendí porque sé que ellas jamás se darían por vencidas, desde el día uno estuvieron ahí junto a mí, escogimos mi carrera universitaria no sabía si me iba a gustar pero a pesar de todo me apoyaron, fue la mejor decisión porque ahora lo que sigo se convirtió en mi pasión, este es su logro por todo el esfuerzo que han puesto, brindándome las herramientas para convertirme en un gran profesional y sobre todo un hombre de bien.

Sé que hay personas que ya no están conmigo, quiero dedicar este logro a una gran persona que tenía mucha fe en mí, mi padre HOMERO AVEIGA, gracias por ser un buen padre.

Agradezco también a mis hermanos FERNANDO AVEIGA y MIGUEL AVEIGA quienes siempre fueron mis ejemplos a seguir, me enseñaron a ser agradecido, pues los valores nos forjan como hombres los sueños y las metas nos pulen como guerreros.

A mi tía CECILIA AVILÉS y a mi tío GUILBERT TORRES, de quienes siempre voy a estar agradecido por la gran ayuda que me brindaron, a cada uno de los que he mencionado un eterno gracias.

Alex Adrián Aveiga Torres

AGRADECIMIENTO

Empiezo agradeciendo a Dios por permitirme cumplir una de mis metas, la culminación de mi carrera universitaria, gracias a su protección he tenido grandes victorias que han tenido como origen duras derrotas, pero siempre iluminó mi camino.

Agradezco al grupo de Investigación en ingeniería biomédica (GIIB) por brindarme las herramientas necesarias y así poder alcanzar este último peldaño de mi vida académica y darme la oportunidad de participar en este proyecto.

A mi tutor, el Ing. Fernando Urgilés, PhD., por la confianza brindada el apoyo y conocimientos compartidos sus consejos y opiniones fueron de gran utilidad, gracias porque a pesar de estar en tiempos difíciles como la pandemia el apoyo ha sido constante y reiterativo.

A mi cotutor, el Ing. John Calle, PhD., por la confianza brindada, el apoyo y conocimientos compartidos su guía en temas de mecánica permitieron que este proyecto obtenga los resultados esperados.

Quiero reiterar mis agradecimientos a mi madre, padre, hermanas, hermanos y mis tíos, quienes se merecen estar presentes en el proyecto de titulación, en especial a mi hermana Lucía quien estuvo acompañándome en aquellas noches de desvelo, ayudándome en distintos proyectos de la universidad.

Por último, agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme los conocimientos necesarios y por permitirme ser parte de la carrera de Ingeniería Mecatrónica esto me da la posibilidad de ser un profesional listo para afrontar cualquier reto teniendo en cuenta el trabajo honesto y responsable, se les agradece también por la atención eficiente y ayuda en los trámites que se debían cumplir.

Alex Adrián Aveiga Torres

DEDICATORIA

A muy corta edad recibí el mejor regalo que me han podido dar un ángel que siempre ha estado conmigo, me obsequio las siguientes palabras "si la vida te pone de rodillas si sientes que todo el peso del mundo te presiona al piso y no te permite levantar, resiste, que ningún dolor es eterno, tienes todo el derecho de derramar un par de lágrimas, pero luego de eso busca la manera de levantarte, la palabra imposible no existe y cuando consigas ponerte de pie, porque sé que lo aras, sacúdete el polvo y continua " estas palabras son mi luz en los días donde el sol pareciera no querer salir, la dueña de esta frase es mi madre LOURDES GRACIELA ONCE REMACHE, ella es mi fuerza mi motor, le doy gracias a Dios por tener la dicha de dedicarle cada paso importante en mi vida, este es el primer escalón de la pirámide que forma parte de mi destino y aunque aún me falte mucho camino por recorrer sé que gracias a sus enseñanzas nunca me rendiré, de la mano de Dios siempre avanzare, en el trayecto ayudare y brindare la luz que Dios y mi ángel sin alas, sembraron en mi corazón.

La vida es interesante por donde la vea, porque está llena de matices; como hay momentos buenos también existen momentos no tan buenos, eso es lo que la hace cautivadora, esos ingredientes extras forman el temple tanto del hombre como de la mujer, que tal si nos fijamos menos en lo que podemos ver y nos concentramos en lograr ver la perfección que existe en las imperfecciones.

También quisiera agradecer a mi padre GUSTAVO MARIO ORTIZ quien lucho día a día para conseguir los recursos y de esta manera poder culminar mis estudios Universitarios, en su alma y en su mirada siempre he sido su reflejo, él me enseñó a cuidar a mi familia y a los que me rodean, su voz es la voz de un león rugiendo en mi corazón, un hombre debe hacer lo que deba por ser feliz y por hacer feliz a su familia, y agradezco finalmente a mis hermanas son la luz de mis ojos y la razón por la cual día a día me levanto con la misión de cumplir mis metas.

Christian Gustavo Ortiz Once

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciendo a Dios por haberme acompañado segundo a segundo hasta este punto, por ser la luz que guía mis pasos por brindarme la sabiduría la inteligencia la fuerza y la fe, que me levantaba cada vez que sentía no poder más, es el artífice de lo que soy y de lo que algún día seré.

Le doy las gracias también al grupo de Investigación en ingeniería biomédica (GIIB) por brindarme el espacio y darme la oportunidad de demostrar las destrezas y conocimientos adquiridos durante mi vida Universitaria.

Al Ing. Fernando Urgilés PhD., darle las gracias por haber sido nuestro tutor y brindarnos la motivación que nos sirvió para alcanzar nuestro objetivo, sus enseñanzas, consejos su manera de ver las cosas nos dio la confianza de poder plasmar un poco de nosotros en el resultado final.

A mi cotutor, Ing. John Calle, PhD., también darle las gracias por la confianza, el apoyo y conocimientos compartidos, los cuales permitieron que el proyecto tenga la magnitud esperada.

Reitero mi agradecimiento infinito a mi madre, a mi padre, a mis abuelos, cada uno de ellos han sido pilares fundamentales, los cuales me ayudan a sostener el peso de mis sueños, a mi hermana Paola, Daniela y María, ellas son la inspiración por la cual algún día espero convertirme en la mejor versión de mí mismo y en el mejor Ingeniero del País y quien sabe si Dios me permite algún día por ellos ser el mejor Ingeniero Mecatrónico del Mundo y que se sientan orgullosos.

Por último, agradecer a la Universidad Politécnica Salesiana por brindarme las herramientas cognitivas las cuales potenciaron mis destrezas técnicas permitiéndome ser capaz de afrontar cualquier reto profesional.

Christian Gustavo Ortiz Once

RESUMEN

El presente documento describe el proceso de diseño, construcción e implementación de un sistema de rotación el cual contará con una resolución de un grado de desplazamiento angular todo este sistema será controlado mediante conexión a un computador.

Con el estado del arte se obtendrá información sobre el análisis y selección de los diferentes tipos de mecanismos, actuadores, sensores, módulos, etc. que serán parte del sistema de precisión rotacional, además se documentara las distintas versiones del sistema MRS (Motorized Rotation Stage) a nivel mundial con las marcas más conocidas que se dedican a su fabricación, se podrá obtener las diferencias tanto de precio, calidad y funcionalidad.

Luego de establecer los parámetros de diseño mecánico y de seleccionar los componentes electrónicos que se van a utilizar para controlar el sistema, se realiza el diseño general mediante un software de simulación, en este caso se escogió LabVIEW, de esta forma se obtuvo los planos y las respectivas especificaciones previamente planteadas para proceder con su manufactura.

Seguidamente, se realiza la simulación y el diseño del sistema de control, uno de los dos sensores que se van a colocar permitirá recibir en tiempo real señales de variables como: la velocidad y el número de pasos en el motor paso a paso, estos valores mencionados pueden ser modificados dependiendo de la necesidad, a través de una interfaz gráfica diseñada para la interacción usuario con el sistema.

Tener designada la posición home es de suma importancia, con su respectiva programación y previamente colocado el segundo sensor; se encargará de identificar la posición cero (home), dando como resultado que el sistema posea una ubicación predeterminada, la cual no puede ser editada, es decir cada vez que se reinicie o que se vuelva a conectar el sistema, de inmediato busca colocarse en su posición fija, esto lleva a que el proceso se repita las veces que sean necesarias, sin interrumpir el funcionamiento para el cual está diseñado.

Por último, en base a las especificaciones iniciales se realizan las respectivas pruebas de funcionamiento; al recopilar los datos se comprueba el desempeño eficaz que proyecta el sistema.

ABSTRACT

This document describes the process of design, construction and implementation of a rotation system which will have a resolution of one degree of angular displacement, this entire system will be controlled by connection to a computer.

With the state of the art, information will be obtained on the analysis and selection of the different types of mechanisms, actuators, sensors, modules, etc. that will be part of the rotational precision system, in addition, the different versions of the MRS (Motorized Rotation Stage) system will be documented worldwide with the best-known brands that are dedicated to its manufacture, the differences in price, quality and functionality can be obtained.

After establishing the mechanical design parameters and selecting the electronic components that are going to be used to control the system, the general design is carried out using simulation software, in this case LabVIEW was chosen, in this way the plans and the respective specifications previously raised to proceed with its manufacture.

Next, the simulation and design of the control system is carried out, one of the two sensors that are going to be placed will be able to receive real-time signals of variables such as: the speed and the number of steps in the stepper motor, these values perhaps they can be modified depending on the need, through a graphical interface designed for user interaction with the system.

Having the home position designated is of the utmost importance, with its respective programming and previously placed the second sensor; will be responsible for identifying the zero position (home), resulting in the system having a default location, which cannot be edited, that is, every time the system is rebooted or reconnected, immediately seek to place in its fixed position, this leads to the process being repeated as many times as necessary, without interrupting the operation for which it is designed.

Finally, based on the initial specifications, the respective performance tests are carried out; Collecting the data verifies the effective performance projected by the system.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
DEDICATORIA	VII
AGRADECIMIENTO	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
1. INTRODUCCIÓN.....	17
2. PROBLEMA	18
2.1. Antecedentes	18
2.2. Importancia y Alcances	19
2.3. Delimitación	20
3. OBJETIVOS	20
3.1. Objetivo General	20
3.2. Objetivos Específicos	20
4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	21
4.1. Teoría del motor paso a paso (PaP)	21
4.2. Sensor óptico de herradura	22
4.3. Driver electrónico A4988	22
4.4. Software LabVIEW	22
4.5. Relación tornillo sin fin y corona	23
4.6. Platina giratoria motorizada	24
4.6.1. Principio de funcionamiento	24
4.6.2. Motor paso a paso con tornillo sin fin	25
4.6.3. Actuador lineal	25
4.7. Análisis del sistema MRS (motorized rotation stage) en las marcas más conocidas 25	
4.7.1. Industria Canadiense ZABER modelo serie X-RSW-E	25
4.7.2. Industria Estadounidense IntellLiDrives, Inc modelo serie RTLA-60-200H 26	
4.7.3. Industria Alemana CNC-STEP	27
4.7.4. Industria Europea Kitagawa-modelo TMX160	27
4.7.5. Industria Suiza Föhrenbach- modelo serie series RT1A	28
5. MARCO METODOLÓGICO	28
5.1. Sistema MRS (A.T.O.11) Conversión de grados	29

5.2.	Cálculo de la Geometría del tornillo sin fin y la corona.....	32
5.3.	Cálculo de las fuerzas en el tornillo sin fin y en la corona.....	38
5.4.	Resistencia de Materiales en el tornillo sin fin y corona	43
5.5.	Cuadro de datos del tornillo y de la corona	45
5.6.	Selección de los rodamientos para el tornillo sin fin	46
5.6.2.	Rodamiento de 10 mm para el tornillo sin fin.	50
5.7.	Diseño en inventor	54
5.8.	Propuesta del sistema de control	56
5.8.1.	Alimentación del sistema de control.....	56
5.8.2.	Proceso para la recepción de ordenes desde el computador	57
5.8.3.	Distribución de pines Arduino Nano	59
5.8.4.	Distribución de pines en el Driver A4988.....	59
5.8.5.	Calibración del Driver A4988 para el motor Nema 17	60
5.9.	Diagrama Esquemático y Diseño de la placa PCB	60
5.9.1.	Parámetros de Diseño de la Placa.....	61
6.	ESTRUCTURA DEL SOFTWARE.....	63
6.1.	Controlador del Sistema MRS.....	63
7.	CONTROLADOR DE LOS ELEMENTOS ELECTROMECAÑICOS	64
7.1.	Programación del Motor Paso a Paso en Arduino IDE	65
7.2.	Programación en LabVIEW para el control del motor PAP.	66
7.2.1.	Análisis de los bloques de programación en LabVIEW.....	66
8.	DIAGRAMA DE FLUJO.....	71
8.1.	Diagrama de Flujo del sistema MRS.....	71
9.	RESULTADOS.....	73
10.	DISCUSIÓN.....	82
11.	CONCLUSIONES	82
12.	RECOMENDACIONES	83
13.	TRABAJOS FUTUROS.....	84
14.	REFERENCIAS	84
	ANEXOS I	88
	ANEXOS II. Código de programación en Arduino del Sistema	89
	ANEXOS III – Planos.	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Distintos modelos de motores paso a paso [2].....	21
Figura 2.	sensor óptico tipo herradura [3].....	22
Figura 3.	Driver A4988 para el control de un motor paso a paso [6].....	22
Figura 4.	Herramientas para programar, programación visual gráfica con los bloques y panel de control de LabVIEW [10].....	23
Figura 5.	Relación entre tornillo sin fin y corona [4].....	23
Figura 6.	Tornillo sin fin y corona colocado en un mecanismo [4].....	24
Figura 7.	Plataforma giratoria motorizada [12].	24
Figura 8.	Plataforma giratoria con motor paso a paso incluyéndole el tornillo sin fin [14]. ...	25
Figura 9.	Sistema MRS de la marca ZABER [16].	26
Figura 10.	Sistema RMS de la marca IntelLiDrives, Inc [18].	26
Figura 11.	Sistema RMS de la marca alemana CNC-STEP [20].	27
Figura 12.	Sistema RMS de la marca europea Kitagawa [22].	27
Figura 13.	Sistema RMS de la marca suiza Föhrenbach [24].	28
Figura 14.	Ilustración sobre los distintos pasos al equivaler 360° en los dos casos [25].....	31
Figura 15.	Partes de una corona [27].	32
Figura 16.	Selección del ángulo de presión [28].....	33
Figura 17.	Partes de una corona en donde se encuentra el adendum, el dedendum y otras partes de la corona [29].	33
Figura 18.	Diámetros de la corona (df) diámetro base, (dw) diámetro primitivo, (da) diámetro exterior y (dae) diámetro mayor y sobre aristas [30].	34
Figura 19.	Diámetros del tornillo sin fin (d) diámetro base, (dp) diámetro primitivo y de diámetro exterior [30].....	36
Figura 20.	(λ) es el ángulo de hélice o de filete y (ψ) el ángulo de avance [31].	37
Figura 21.	Tabla para escoger la constante K según con las unidades que se trabaje [33]..	40
Figura 22.	Fuerzas aplicadas en un tornillo sin fin [34].....	41
Figura 23.	Fuerzas aplicadas en un tornillo sin fin y en una corona [35].	42
Figura 24.	Fuerzas aplicadas en la corona [36].....	42
Figura 25.	Presenta una designación normalizada expresada por medio de cifras y letras de acuerdo de que norma trata [37].....	44
Figura 26.	Regiones de deformación [39].....	45
Figura 27.	Acotación de un rodamiento de bolas [44].....	46
Figura 28.	Gráfica para escoger el tipo de lubricante del rodamiento [46]	47
Figura 29.	Gráfica para calcular la viscosidad nominal [45].....	47
Figura 30.	Clasificación de viscosidad de acuerdo con la norma ISO 3448 [47].....	48

Figura 31.	Valores del factor de contaminación para distintos niveles [48].	48
Figura 32.	Gráfica del factor Askf [49].	49
Figura 33.	Acotación de un rodamiento de bolas [44].	50
Figura 34.	Gráfica para escoger el tipo de lubricante del rodamiento [46].	51
Figura 35.	Gráfica para calcular la viscosidad nominal [45].	51
Figura 36.	Clasificación de viscosidad de acuerdo con la norma ISO 3448 [47].	52
Figura 37.	Valores del factor de contaminación para distintos niveles. [48].	52
Figura 38.	Gráfica del factor Askf [49].	53
Figura 39.	Ensamblaje del sistema MRS.	54
Figura 40.	Perspectiva del sistema MRS.	55
Figura 41.	Etapas de construcción del sistema MRS.	55
Figura 42.	Parte Mecánica del sistema MRS.	55
Figura 43.	Etapas de control y Mecánica en el Sistema.	56
Figura 44.	Sistema de control General.	56
Figura 45.	Vista frontal y posterior del Arduino Nano [50].	57
Figura 46.	Vista frontal y posterior del Módulo Encoder Infrarrojo FC-03 [51].	58
Figura 47.	Pines seleccionados del Arduino Nano para trabajar.	59
Figura 48.	Pines seleccionados del Driver A4988 para trabajar.	59
Figura 49.	Selección del porcentaje según el número de pasos a utilizar [52].	60
Figura 50.	Diagrama esquemático.	61
Figura 51.	Diseño de la PCB.	62
Figura 52.	Simulación de la placa PCB.	63
Figura 53.	Placa Construida.	63
Figura 54.	Diagrama de control del sistema MRS.	64
Figura 55.	Declaración de variables.	65
Figura 56.	Configuración de los puertos.	65
Figura 57.	Programación de las rutinas para que el motor genere las distintas posiciones. 66	
Figura 58.	Programación de las rutinas para que el motor varíe la velocidad.	66
Figura 59.	Pines seleccionados del Driver A4988 para trabajar.	67
Figura 60.	Pines seleccionados del Driver A4988 para trabajar.	67
Figura 61.	Pines seleccionados del Driver A4988 para trabajar.	67
Figura 62.	Pines seleccionados del Driver A4988 para trabajar.	68
Figura 63.	Pines seleccionados del Driver A4988 para trabajar.	68
Figura 64.	Pines seleccionados del Driver A4988 para trabajar.	69
Figura 65.	Bloque para agregar un audio	69

Figura 66.	Diagrama de bloques general para el control del motor paso a paso.	70
Figura 67.	Interfaz gráfica en LabVIEW para la recepción de datos y control del sistema...	71
Figura 68.	Diagrama de flujo del sistema RMS.	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Conversión de grados.	29
Tabla 2.	Relación de transmisión	29
Tabla 3.	Conversión a revoluciones.....	30
Tabla 4.	Conversión de revoluciones a grados.	30
Tabla 5.	Datos para el cálculo de los dientes de la corona.	31
Tabla 6.	Módulos existentes [26].	32
Tabla 7.	Selección del rodamiento según los cálculos.....	50
Tabla 8.	Selección del rodamiento según los cálculos.....	54
Tabla 9.	Elementos de alimentación y su función	57
Tabla 10.	Especificaciones técnicas del Arduino Nano	58
Tabla 11.	Especificaciones técnicas del modulo sensor encoder infrarrojo FC-03	58
Tabla 12.	Disposición de motor PaP en el driver	64
Tabla 13.	Disposición de los pines de control del motor PaP.	64
Tabla 14.	Disposición de los sensores en el Arduino.	64
Tabla 15.	Análisis de costos del sistema MRS.....	80

1. INTRODUCCIÓN

La humanidad ha evolucionado a pasos agigantados durante los últimos siglos, nuevos descubrimientos y el desarrollo tecnológico proponen nuevos retos diarios, este es el combustible principal al despertar de la curiosidad humana, el cual se ha enfocado en mejorar y simplificar las necesidades.

En la actualidad cada proceso industrial debe realizarse bajo estándares los cuáles eviten pérdidas a mediano o largo plazo, al fabricar o producir algo se debe cumplir con cierto nivel de precisión, de esta manera las empresas evitan pérdidas tanto de materiales como de tiempo, al sumar estas ventajas entran a competir globalmente por su fiabilidad y proyección.

Los sistemas o mecanismos de precisión se empezaron a construir en la época de la primera guerra mundial, se utilizaban para aumentar la velocidad y mejorar la precisión de cañones antiaéreos.

En el Ecuador ha nacido una de las profesiones más innovadoras, la cual es la Ingeniería Mecatrónica; esta genera conocimientos en diferentes áreas, permitiendo así desarrollar destrezas tales como: el análisis y solución de problemas que surgen a partir de las necesidades actuales, pues la constante mejora de los sistemas de precisión han sido fundamentales, llegando inclusive acoplarse a diferentes campos que buscan automatizar procesos, los cuales tienen como necesidad principal la precisión y la velocidad de respuesta.

El desarrollo de este tipo de sistemas es muy cotizado ya que son implementados en muchos proyectos, el grupo de Investigación de Ingeniería Biomédica de la Universidad Politécnica Salesiana (GIIB-UPS) busca iniciar con este tipo de ideas y generar conocimiento, de esta manera dar paso a la creación de nuevas empresas en el país las cuales con sus productos puedan competir a nivel nacional e internacional, cumpliendo estándares y brindando beneficios.

A pesar de que en el País se tiene los conocimientos y la tecnología para construir este tipo de mecanismos, no se ha podido encontrar una fábrica que ofrezca estos recursos y que los mismos sean fabricados en el Ecuador.

La ciudad de Cuenca cuenta con un parque industrial, almacenes electrónicos, industrias de automatización, talleres mecánicos equipados con maquinaria y profesionales aptos para generar tecnología, con estos recursos se puede construir un sistema mecatrónico de precisión rotacional, el cual esté al nivel de marcas conocidas que se dediquen a su fabricación, por ejemplo: Tanda, ThorLab y Physik Instrumente.

Los conocimientos adquiridos en las materias de mecánica, electrónica, programación, mantenimiento y sistemas microprocesados, permite desarrollar este tipo de sistemas, logrando fabricar tecnología que compita con productos internacionales.

2. PROBLEMA

El Grupo de Investigación de Ingeniería Biomédica de la Universidad Politécnica Salesiana GIB-UPS, requiere en sus proyectos de investigación incorporar un sistema rotacional con una resolución de un grado de desplazamiento angular, con el cual se puede realizar diversos experimentos, será capaz de mover 3Kg y podrá ser controlado a través de una computadora mediante conexión ethernet o USB, en el mercado internacional existe una amplia gama de dispositivos similares, los precios varían llegando a ser muy elevados éstos oscilan entre los \$500 a \$5.000 dependiendo de la marca, además se deben incluir costos de importación lo que lleva a incrementar el valor.

En el país existe la tecnología adecuada y cuenta con profesionales capacitados para poder desarrollar, construir e implementar este tipo de sistemas, pero lamentablemente no se ha podido encontrar una fábrica que ofrezca estos dispositivos hechos en nuestro país.

2.1. Antecedentes

Alrededor del mundo las principales Industrias que se dedican a la fabricación y venta de este tipo de sistemas, lo hacen a un precio muy elevado, estos varían dependiendo de la marca, tiempo de fabricación, tecnología aplicada y materiales usados.

En el Ecuador no existen industrias que se dediquen a la fabricación de estos mecanismos o que formen parte de sus catálogos, ya que la tecnología en la que se puede aplicar no se desarrolla dentro del país y en mayor parte esta tiene que ser importada; haciendo más compleja su obtención, esto perjudica tanto a medianas o grandes empresas que necesitan automatizar procesos donde se garantice cierta precisión de posicionamiento y entre otras aplicaciones que podrían darse para el sistema y no lo hacen debido a los altos precios que estos poseen a eso sumado el valor de importación.

En la actualidad su aplicación es de gran importancia, las industrias modernas usan el sistema en áreas donde se necesita colocar componentes u objetos con ciertas dimensiones en ubicaciones específicas.

Partiendo de la visión general del sistema en la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) sede cuenca existen grupos como el GIB donde se desarrolla tecnología y muchos otros donde el sistema puede ser aplicado, su fácil montaje permite realizar experimentos en cualquier superficie, la interfaz gráfica es sencilla de comprender y utilizar.

El sistema MRS (motorized rotation stage) fue bautizado con el nombre de A.T.O.11 es su primera versión y busca acoplarse y cumplir con los requerimientos del usuario. El principio de funcionamiento se basa en un sistema mecánico que nos permita obtener un desplazamiento angular de un grado por paso, podrá conectarse y ser controlado a través de un computador.

También contará con un disco ranurado el cual se colocará a su respectivo sensor óptico, éste mide la velocidad a través de la cantidad de pulsos obtenido por las ranuras.

A través de la construcción del sistema se tiene grandes oportunidades de realizar nuevos proyectos basados en esta tecnología, su aplicación se da en los campos actuales de innovación, además de poder ser acoplado a los que ya tienen su espacio en el mercado, pero cuyos componentes principales deben ser importados, como por ejemplo las impresoras 3D, al utilizar el mecanismo se obtiene desplazamientos con mayor precisión y potencia.

En el área de la medicina se utiliza en máquinas cuya tecnología se usa para el análisis de sangre, también en centrífugas que son máquinas que ponen en rotación una muestra para acelerar la decantación o sedimentación de sus componentes, según la densidad que estas posean, a través del sistema se controla el tiempo de centrifugación, utilizando sensores se obtiene la velocidad la cual se muestra en una interfaz gráfica.

En la fabricación de prótesis el sistema forma parte de las articulaciones, las cuales necesitan de cierta fuerza y precisión.

También se utiliza en la construcción de satélites, los cuales orbitan alrededor del globo terrestre buscando ubicarse en una posición fija.

En el área de la mecánica se usa en máquinas CNC, entre otras aplicaciones que uniéndose con el sistema se obtiene movimientos con un mayor grado de exactitud.

El MRS (motorized rotation stage) se proyecta a reducir el costo de este tipo de sistemas y a competir con marcas conocidas por su diseño resistente y de fácil aplicación, esto lo hace accesible a todas las personas o empresas según la necesidad, una pequeña mejora será usar la comunicación USB entre el sistema y el computador, lo cual facilita su uso, además permite una gran transferencia de datos en pocos segundos, grandes marcas fabrican este sistema usando el protocolo de comunicación RS232 mediante el cable DIN macho de 8 pines, lo cual las computadoras actuales ya no poseen ese tipo de puerto.

2.2.Importancia y Alcances

El desarrollo tecnológico en el Ecuador debe convertirse en prioridad; el resultado de esta decisión daría paso a nuevas áreas de trabajo aportando conocimiento y valor alegrado, la innovación genera beneficios tanto a nivel académico e industrial, la falta de conocimiento en el sistema MRS (motorized rotation stage) hace que muchos proyectos no sean funcionales y solo sean estéticos, tales como prótesis de extremidades superiores e inferiores, al no analizar correctamente esta parte del sistema se generan resultados ficticios pues no se podrá levantar pesos que una mano normal pudiera hacerlo o movimientos que una pierna debe realizar.

El sistema MRS (motorized rotation stage) es fundamental en proyectos cuyas aplicaciones industriales necesitan de la precisión de posicionamiento de objetos.

En la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca se ha desarrollado un prototipo de este sistema; el cual servirá como punto de partida para que los estudiantes se proyecten a mejorar las aplicaciones existentes.

Actualmente a nivel internacional se pueden encontrar varios tipos de sistemas MRS diseñados para cumplir funciones predeterminadas, las diferentes empresas que los fabrican hacen que el acceso a la parte mecánica no sea sencillo, también el lenguaje de comunicación se basa en RS232 utilizando un conector DIN macho de 8 pines, este puerto ya no se utiliza en la actualidad, para su funcionamiento se debe optar por adaptadores, lo cual podría originar fallas en la comunicación, debido a su uso constante y al desgaste en los pines del adaptador.

El primer prototipo del MRS (motorized rotation stage) el cual lleva de nombre A.T.O.11; está siendo realizado para el grupo GIIB perteneciente a la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, que está equipada con laboratorios modernos los cuales tienen equipos de alta gama el uso de estos nos permite desarrollar y analizar ciertas características importantes del sistema.

La expansión de conocimientos y destrezas en diferentes áreas fueron resultado de lo aprendido en la carrera de Ingeniería Mecatrónica, demostrando tener la capacidad de funcionar la parte teórica con la práctica, de esta manera concluir correctamente con el desarrollo del sistema MRS.

2.3.Delimitación

El sistema está diseñado para ser utilizado por el grupo de Investigación en Ingeniería Biomédica (GIIB) quienes lo usarán en diferentes tipos de pruebas o aplicaciones que necesiten incorporar un sistema rotacional con una resolución de un grado de desplazamiento angular, pudiendo ser éste controlado a través de una interfaz gráfica y a su vez mover un peso máximo de 3 Kg.

3. OBJETIVOS

3.1.Objetivo General

- Diseñar, construir e implementar un sistema de rotación con una resolución de un grado de desplazamiento angular y con conexión a un computador para el grupo de investigación GIIB.

3.2.Objetivos Específicos

- Evaluar los diferentes mecanismos existentes en el mercado a través de un estudio de estado del arte.
- Diseñar y desarrollar un sistema mecánico en el cual se aplicará la relación corona y tornillo sin fin el cual permitirá el desplazamiento rotacional con una resolución de un grado mediante un motor paso a paso.

- Diseñar un sistema electrónico para el control de un motor paso a paso Nema 17 mediante un computador.
- Desarrollar la programación para la comunicación entre el sistema mecánico y el electrónico utilizando el software LabVIEW.
- Construir el mecanismo de desplazamiento angular, el sistema de control y realizar las pruebas de funcionamiento.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Se inicia dando a conocer los principios y conceptos básicos, para luego proceder a revisar brevemente los diferentes tipos de sistemas MRS (motorized rotation stage) del mercado, con la información recopilada se realiza un estudio del estado del arte donde se muestra los diferentes tipos de sistemas a nivel Internacional de las marcas más conocidas con su respectivo sistema de control, también se da a conocer los materiales que usan para su construcción, además de los diferentes elementos electrónicos que forman parte del sistema, de esta manera se analiza todo el mecanismo en conjunto.

4.1. Teoría del motor paso a paso (PaP)

Un motor PaP es un dispositivo electromecánico capaz de convertir cierta cantidad de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares, es decir puede girar una cantidad de grados (paso o medio paso) a partir de sus entradas de control.

Los motores PaP se utilizan para la construcción de mecanismos en los cuáles se requiere de movimientos con cierto grado de precisión, una de las características principales que resalta de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso aplicado. El paso tiene rangos los cuáles van desde movimientos de 90° o pequeños de 1.8°, por eso son muy utilizados, ya que pueden moverse según la necesidad del usuario cumpliendo con la secuencia que se les indique a través de un microcontrolador [1].



Figura 1. Distintos modelos de motores paso a paso [2].

4.2.Sensor óptico de herradura

El Sensor óptico de herradura es ideal en la implementación de sistemas robóticos o líneas de producción, con este dispositivo electrónico es posible medir el desplazamiento y velocidad de cualquier motor, así como para contar objetos o ítems en una línea de producción [3].



Figura 2. sensor óptico tipo herradura [3].

4.3.Driver electrónico A4988

Es un circuito eléctrico u otro componente electrónico utilizado para controlar otro circuito o componente. Suele ser muy común usarlos para controlar transistores alta potencia y pantallas de cristal líquido (LCD), entre muchos otros [5].

Normalmente, se utilizan para regular la corriente que fluye a través de un circuito o para controlar otros componentes [5].

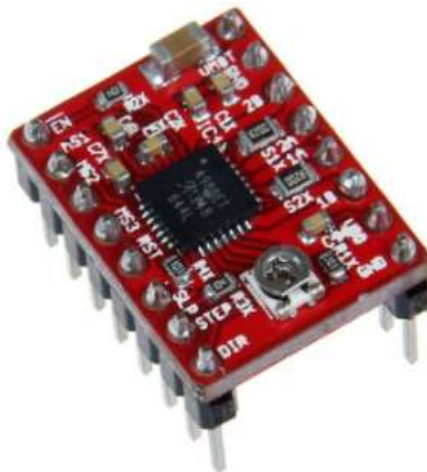


Figura 3. Driver A4988 para el control de un motor paso a paso [6].

4.4.Software LabVIEW

Este software está basado en un entorno de desarrollo creado para diseñar sistemas, posee un lenguaje de programación visual gráfico establecido para hardware y software donde se necesite del control y diseño simulado [7].

LabVIEW es muy utilizado en aplicaciones de Ingeniería donde se necesita de adquisición y presentación de datos, también de análisis de medidas, gracias a su lenguaje de programación gráfico no posee la complejidad de otras herramientas de desarrollo [8].

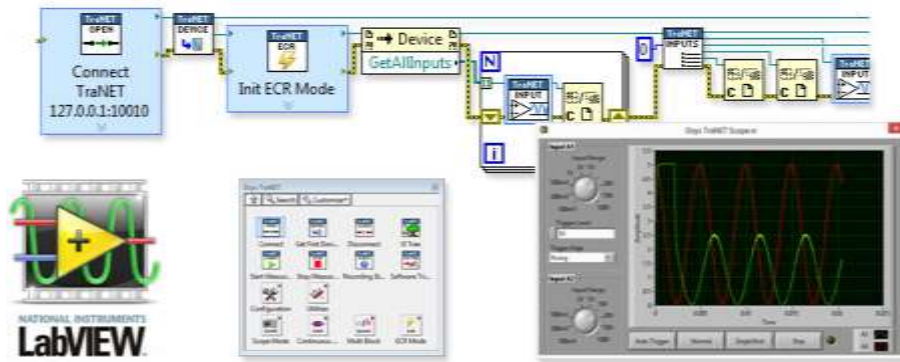


Figura 4. Herramientas para programar, programación visual gráfica con los bloques y panel de control de LabVIEW [10].

4.5. Relación tornillo sin fin y corona

Mientras los tornillos de fuerza son generalmente de rosca simple, los tornillos sin fin tienen usualmente roscas múltiples. Al número de roscas de un tornillo sin fin se le llama número de entradas. Este valor determina la velocidad de giro de la corona de salida [4].

Si el tornillo sin fin es de una sola entrada, por cada vuelta que gira el tornillo, la corona avanza un diente. O lo que es igual para que la corona de una vuelta completa el tornillo sin fin ha debido girar tantas vueltas como dientes tiene la corona [4].

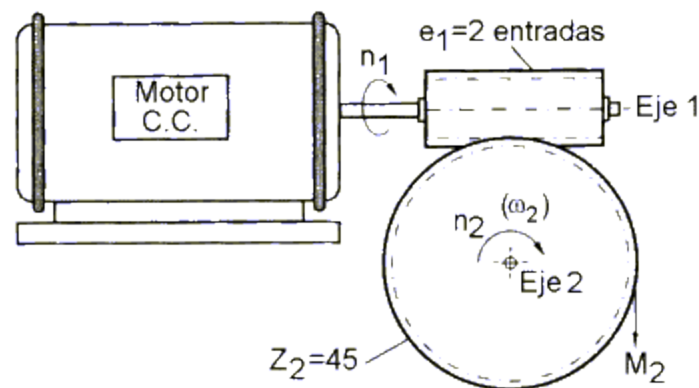


Figura 5. Relación entre tornillo sin fin y corona [4].

En el esquema de la figura superior el sin fin es de dos entradas, por lo que cada vuelta de éste, la corona avanza dos dientes.

La velocidad de giro de ambos ejes dependerá del número de dientes de la corona (Z_2) como del número de entradas (e_1) del tornillo sin fin y viene dada por:

$$n_1 * e_1 = n_2 * Z_2$$

Por lo tanto, la relación de transmisión del sistema es:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{e_1}{Z_2}$$

La relación de transmisión de velocidad siempre será menor que la unidad, ya que el mecanismo producirá una reducción de la misma, para poder medirla se emplea tacómetros el sistema sin fin y corona generalmente se usa en carros, máquinas, cremalleras de dirección para automóviles, contadores de agua y juguetería [4].



Figura 6. Tornillo sin fin y corona colocado en un mecanismo [4].

4.6. Platina giratoria motorizada

Esta plataforma también es conocida como Motorized Rotation Stage (MRS) es un componente usado en procesos donde se necesita cierto grado de posición angular, se la conoce también bajo el término etapa giratoria [11].



Figura 7. Plataforma giratoria motorizada [12].

4.6.1. Principio de funcionamiento

Alrededor de un espacio tridimensional, un objeto puede girar o trasladarse en cualquiera de los tres ejes por lo tanto dicho objeto tiene seis grados de libertad 3 rotacionales y 3 traslacionales, el sistema MRS tiene solo un grado de libertad el cual es producto de su rotación alrededor de un eje [11].

El sistema debe ser acoplado a otros mecanismos para que así pueda cumplir con una gran variedad de acciones.

El peso que puede mover el mecanismo depende del tornillo y la corona con el que se diseñó, además del tipo de motor que se utilizó [13].

4.6.2. Motor paso a paso con tornillo sin fin

Un motor paso a paso permite automatizar el posicionamiento del sistema MRS, este motor gira en incrementos o pasos fijos. El número de pasos realizados está controlado por su configuración inicial en este punto el motor paso a paso acoplado al sistema se comporta de manera muy similar a una perilla de control indexada [11].



Figura 8. Plataforma giratoria con motor paso a paso incluyéndole el tornillo sin fin [14].

4.6.3. Actuador lineal

Cuando se requiere obtener el posicionamiento angular preciso sobre un ángulo total pequeño, se puede usar un actuador lineal (ya sea manual o motorizado). Por lo general, el rango de movimiento posible es solo de 10° a 20° de rotación, las partes principales que forman parte de estos sistemas de precisión son: motor paso a paso, sensor óptico, sistema de transmisión, controlador electrónico.

4.7. Análisis del sistema MRS (motorized rotation stage) en las marcas más conocidas

En el país no existen industrias que se dediquen a la fabricación de estos sistemas, debido a esto se toma como referencia productos del mercado internacional, se observa las diferencias tanto estéticas como funcionales.

4.7.1. Industria Canadiense ZABER modelo serie X-RSW-E

En Zaber se puede encontrar un modelo parecido al A.T.O.11 (sistema MRS fabricado para el grupo GIB, de la Universidad Politécnica Salesiana), en esta industria se diseña y fabrica dispositivos de posicionamiento de precisión pudiendo ser estos aplicados en áreas tales como: la fotónica, la óptica, las ciencias de la vida, la microscopía y la automatización industrial [15].



Figura 9. Sistema MRS de la marca ZABER [16].

Las características principales que posee el sistema de esta marca son: la velocidad puede llegar hasta los 75 rpm y un par de 2,25 N.m, tiene dos soportes de lentes el cual permite su uso como montura polarizadora, el engranaje es helicoidal fabricado para rotación continua, una de las ventajas es que tiene el controlador incorporado y permite realizar conexiones en cadena con otros sistemas MRS de Zaber, gracias a sus sensores tiene retroalimentación de posición, usa una fuente de alimentación básica de 24-48V, está de fabricado en aleación de aluminio, alcanzando un precio de \$2.390 más costos de importación [16].

4.7.2. Industria Estadounidense IntelLiDrives, Inc modelo serie RTLA-60-200H

IntelLiDrives, Inc. Se dedica a la fabricación de actuadores lineales y mesas giratorias también conocidas como sistemas MRS (motorized rotation stage) estos mecanismos son realizados para el gobierno, las instituciones científicas y centros de investigación de todo el mundo, sus productos se utilizan en aplicaciones tales como dispositivos médicos, usos militar/aeroespacial, también para la fabricación de ensamblajes electrónicos y de semiconductores, almacenamiento de datos, procesamiento láser, fotónica, automotriz y ensamblaje de prueba, para la investigación y otras industrias que necesitan de control de movimiento de alta precisión y rendimiento [17].



Figura 10. Sistema RMS de la marca IntelLiDrives, Inc [18].

Las características principales de esta marca son: el peso máximo que puede mover es de 50 kg, utiliza un motor paso a paso, en el centro del plato tiene una apertura central de 60 mm, en su ensamble cuenta con un sistema de rodamientos de precisión y la velocidad máxima que puede alcanzar es de 3 RPM su precio va desde los \$1.500 [18].

4.7.3. Industria Alemana CNC-STEP

En esta Fábrica se producen máquinas de control numérico también se dedican al diseño y producción de fresadoras de pórtico, máquinas de grabado las cuáles pueden ser controladas por CNC también accesorios CNC y software CAD/CAM [19].

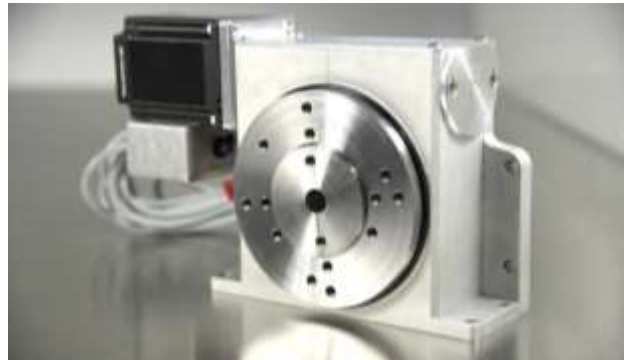


Figura 11. Sistema RMS de la marca alemana CNC-STEP [20].

Las características principales de estas marcas son: el par de salida que obtenemos es de 20 N.m, puede mover un peso de 3,9 Kg, su mecanismo posee un tornillo sin fin de alta precisión con relación de transmisión: 100: 1 / precargado con resortes de disco, tiene una resolución de paso en la salida de 160.000 pasos por revolución en funcionamiento de 1/8 de paso, su precio de venta es de \$1457.56 más costos de importación [20].

4.7.4. Industria Europea Kitagawa-modelo TMX160

Se dedica a la fabricación y suministro de productos para la manipulación, en mayor parte realiza porta piezas y piezas de trabajo diseñados para una etapa global para la industria de accesorios de las máquinas herramientas [21].



Figura 12. Sistema RMS de la marca europea Kitagawa [22].

Las características principales de esta marca son: Plato de diámetro 165 mm, la velocidad máxima que puede alcanzar es de 41,6 rpm a diferencia de las anteriores marcas este sistema se puede usar tanto en aplicaciones horizontales y verticales, el agujero del husillo tiene un diámetro de 40 mm y puede mover un peso de 15 kg su peso ronda los \$2.500 más costos de importación [22].

4.7.5. Industria Suiza Föhrenbach- modelo serie series RT1A

Föhrenbach es uno de los principales fabricantes de componentes, unidades y sistemas de alta precisión para movimientos lineales y giratorios en la industria de la tecnología de automatización y maquinaria de precisión [23].

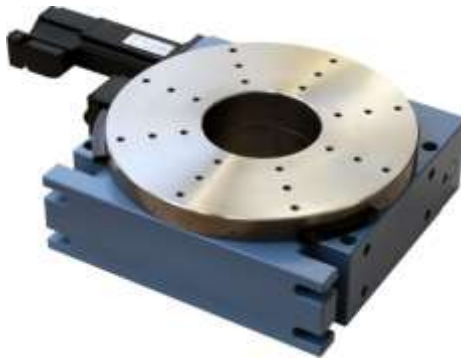


Figura 13. Sistema RMS de la marca suiza Föhrenbach [24].

Las características principales de esta marca son: el material usado para su fabricación es aluminio anodizado negro, funciona a temperaturas cuyos rangos van desde los +10 °C a +40 °C, usa rodamientos de rodillos de precisión con alta rigidez de momento y concentricidad y precisión de descentramiento axial. Mayor concentricidad y precisión de concentricidad axial, también cuenta con un tornillo sinfín de precisión templado y pulido con una rueda helicoidal de bronce su precio va desde los \$2.600 más costos de importación [24].

5. MARCO METODOLÓGICO

Se empieza realizando un análisis con los aspectos más importantes usados en cada etapa del sistema MRS (motorized rotation stage), al generar esta información se puede entender cómo funciona la parte mecánica, la parte electrónica y sus componentes, además de las limitaciones en el mecanismo, un mal uso produce errores, lo que genera fallas en el funcionamiento, una de las que se puede presentar es la pérdida de pasos, haciendo que el grado de exactitud a obtener no sea preciso, estos márgenes de error permiten plantear los parámetros de diseño y posibles variaciones en su manufactura que permitan reducir costos y obtener mejores resultados.

Lo primero que se desarrolla es la parte mecánica donde se explica punto a punto todo lo necesario desde la conversión a grados hasta el rodamiento que se usó en el

mecanismo, luego se muestra a detalle la parte electrónica y se termina con la explicación de la interfaz realizada en LabVIEW.

5.1.Sistema MRS (A.T.O.11) Conversión de grados

El motor paso a paso generalmente puede moverse a diferentes grados teniendo un mínimo de 1.8°, a partir de este dato se debe realizar una conversión para que la corona gire el 1° de exactitud que se necesita, en la tabla 1 se muestra la manera en la que hizo este procesó.

Tabla 1. Conversión de grados.

Tornillo sin fin (°)	Motor (PaP)	Corona (°)
360	200	1
180	100	1
162	90	1
153	85	1
144	80	1
126	70	1
108	60	1
90	50	1
45	25	1
36	20	1
27	15	1
18	10	1
9	5	1

En la Tabla 1 se puede observar que el motor PaP tendrá que dar 100 pasos para que el tornillo sin fin gire 180° y la corona exactamente 1°.

Tabla 2. Relación de transmisión

Relación de transmisión	
$i=1/360$	0.0028
$i=1/180$	0.0056
$i=1/162$	0.0062
$i=1/153$	0.0065
$i=1/144$	0.0069
$i=1/126$	0.0079
$i=1/108$	0.0093
$i=1/90$	0.0111
$i=1/45$	0.0222
$i=1/36$	0.0278
$i=1/27$	0.0370
$i=1/18$	0.0556
$i=1/9$	0.1111

Como todo mecanismo que tiene engranajes en la tabla 2 se muestra la relación de transmisión, en este caso sería el ángulo de la corona sobre el ángulo del tornillo sin fin.

La explicación de la relación de transmisión prosigue en la tabla 3.

Tabla 3. Conversión a revoluciones

N1/N2 (Revoluciones)
1 Rev/0.0028 Rev
0.5 Rev/0.0056 Rev
0.45 Rev/0.0062 Rev
0.43 Rev / 0.0065 Rev
0.4 Rev / 0.0069 Rev
0.35Rev / 0.0079 Rev
0.3 Rev / 0.0093 Rev
0.25 Rev/0.0111 Rev
0.125 Rev/0.0222 Rev
0.1 Rev/0.0278 Rev
0.075 Rev/0.0370 Rev
0.05 Rev/0.0556 Rev
0.025 Rev/0.1111 Rev

La Tabla 3 muestra que mientras el tornillo sin fin genera 0.5 revoluciones en la corona va a obtener 0.0056 revoluciones y de igual manera la misma explicación para los otros valores que se encuentran en la tabla.

Tabla 4. Conversión de revoluciones a grados.

N1	N2		Número de dientes de la corona ($Z_1 * N_1 = Z_2 * N_2$)	
1	0.0028		Z2	360
0.5	0.0056		Z2	90
0.45	0.0062		Z2	72.9
0.43	0.0065		Z2	65.79
0.4	0.0069		Z2	57.6
0.35	0.0079		Z2	44.1
0.3	0.0093		Z2	32.4
0.25	0.0111		Z2	22.5
0.125	0.0222		Z2	5.6
0.1	0.0278		Z2	3.6
0.075	0.0370		Z2	2.025
0.05	0.0556		Z2	0.9
0.025	0.1111		Z2	0.2

En este punto cabe recalcar que la fila en amarillo es la mejor opción, ya que el resultado obtenido es un número entero, siendo ideal para procesos de fabricación.

Para calcular el número de dientes de la corona se usó la siguiente fórmula ($Z_1 * N_1 = Z_2 * N_2$), el número de entradas del tornillo es a decisión de la persona de cómo quiere que sea su diseño, en este caso se escogió de una entrada ya que el sistema que se necesita hacer es pequeño y al escoger de dos o tres entradas las dimensiones del tornillo cambian, también en la corona.

En la Tabla 1, se encuentra el 200 como el máximo en el número de pasos y el 5 como mínimo, tomando en cuenta ese dato se debe calcular para encontrar el número de dientes en la corona, el rango de las tablas se puede ampliar ya que existen los micropasos, estos vienen incorporados en los drivers, como el driver A4988 que trabajan con micro pasos de medio pasos, $\frac{1}{2}$ de pasos, $\frac{1}{4}$ de pasos, $\frac{1}{8}$ de pasos y $\frac{1}{16}$ de pasos las tablas cambiarían totalmente ya que se podría decir que $\frac{1}{4}$ de pasos equivaldría a 360° en el tornillo sin fin para que gire 1° la corona y así mismo con los otros tipos de pasos del driver A4988, en este caso solo se escogió trabajar con pasos completos que equivale a 200 pasos moviéndose el motor a 1.8° por paso, como se observa en la Figura 14.

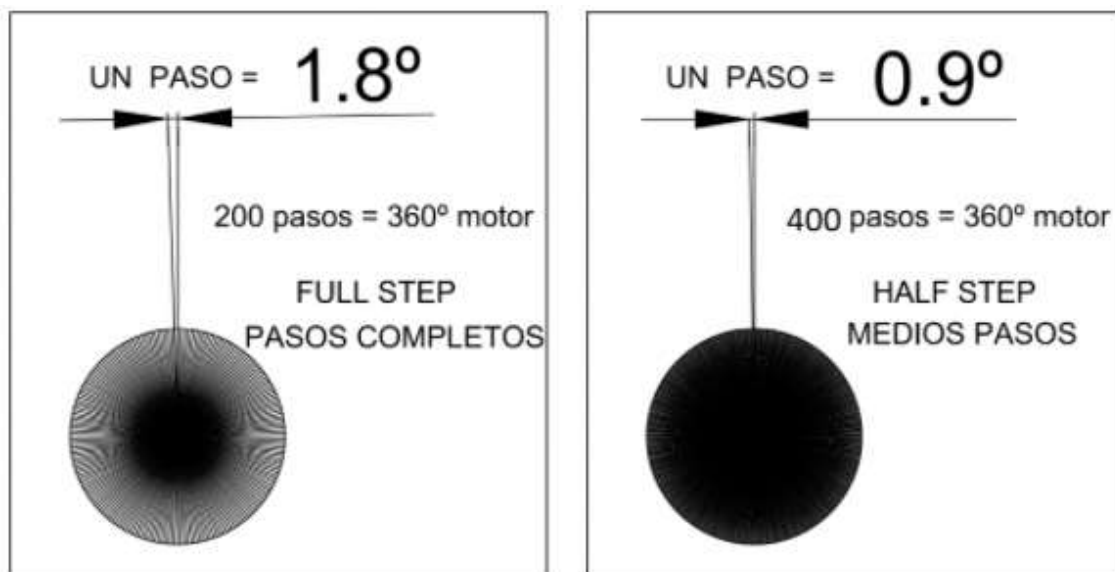


Figura 14. Ilustración sobre los distintos pasos al equivaler 360° en los dos casos [25].

En la tabla 4 acaba lo que es la conversión donde se dice que mientras el tornillo sin fin gire 180° la corona con 90 dientes va a girar 1° de exactitud.

Tabla 5. Datos para el cálculo de los dientes de la corona.

Z_1 = Número de entrada del tornillo	Z1	1
N_1 = Rev del tornillo	N1	0.5
Z_2 = Número de dientes de la corona	Z2	?
N_2 = Rev de la corona	N2	0.0056

$$Z_1 * N_1 = Z_2 * N_2$$

$$Z_2 = \frac{(Z_1 * N_1)}{N_2}$$

$$Z_2 = \frac{(1 * 0.5)}{0.0056}$$

$$Z_2 = 90$$

5.2. Cálculo de la Geometría del tornillo sin fin y la corona.

Ahora se calcula el paso circular normal (P_n) mediante la ecuación (1) y el paso axial (P_x) mediante la ecuación (2):

Módulos	
Preferidos	1, 1.25, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50
Siguiente elección	1.125, 1.375, 1.75, 2.25, 2.75, 3.5, 4.5, 5.5, 7, 9, 11, 14, 18, 22, 28, 36, 45

Tabla 6. Módulos existentes [26].

$$P_n = \pi * m \quad (1)$$

$$P_n = \pi * 1 = 3.1 \text{ mm}$$

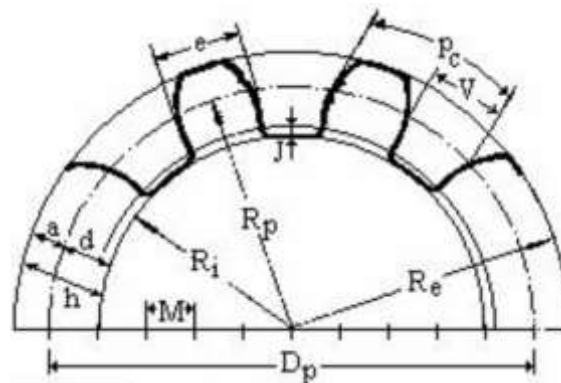


Figura 15. Partes de una corona [27].

$$P_x = P_n \quad (2)$$

$$P_x = 3.1 \text{ mm}$$

Espesor del diente (e):

$$e = \frac{P_n}{2} \quad (3)$$

$$e = \frac{3.1}{2}$$

$$e = 1.6 \text{ mm}$$

En este punto se determina la geometría de la corona, para esto se calcula el addendum (a) mediante la ecuación (4), el dedendum (b) mediante la ecuación (5), la altura de trabajo (hk) mediante la ecuación (6) la altura total (ht) mediante la ecuación (7) y el ángulo de presión (ϕ_n) es de 20° .

En el libro de Shigley novena Edición podemos encontrar la siguiente tabla para el ángulo de presión.

Ángulo de avance λ , grados	Ángulo de presión ϕ_n , grados	Cabeza (addendum) a	Raíz (dedendum) b_G
0-15	$14\frac{1}{2}$	$0.3683p_x$	$0.3683p_x$
15-30	20	$0.3683p_x$	$0.3683p_x$
30-35	25	$0.2865p_x$	$0.3314p_x$
35-40	25	$0.2546p_x$	$0.2947p_x$
40-45	30	$0.2228p_x$	$0.2578p_x$

Figura 16. Selección del ángulo de presión [28].

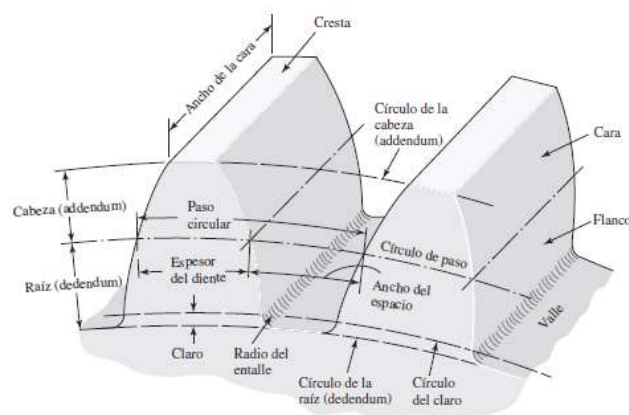


Figura 17. Partes de una corona en donde se encuentra el addendum, el dedendum y otras partes de la corona [29].

$$a = 0.3683P_x \quad (4)$$

$$a = 0.3683(3.14\text{mm})$$

$$a = 1.2 \text{ mm}$$

$$b = 0.3683P_x \quad (5)$$

$$b = 0.3683(3.14\text{mm})$$

$$b = 1.2 \text{ mm}$$

p = paso circular

P = Paso Diametral

$$p = \Pi m$$

$$P = \frac{\Pi}{p} = \frac{\Pi}{\Pi * m} = \frac{1}{m}$$

$$hk = \frac{2}{P}$$

$$hk = \frac{2}{\frac{1}{m}}$$

$$hk = 2m \quad (6)$$

$$hk = 2(1)$$

$$hk = \mathbf{2 \text{ mm}}$$

$$ht = 2.157 * m \quad (7)$$

$$ht = 2.157 * 1$$

$$ht = \mathbf{2.2 \text{ mm}}$$

A continuación, se determina la geometría de la corona, Z_2 es el número de dientes de la corona, para esto se calcula el diámetro primitivo (Dp) mediante la ecuación (8), el diámetro de garganta o diámetro exterior (DtG) mediante la ecuación (9), el diámetro de raíz o diámetro base (DrG) mediante la ecuación (10), y diámetro mayor y sobre aristas ($D1$) mediante la ecuación (11):

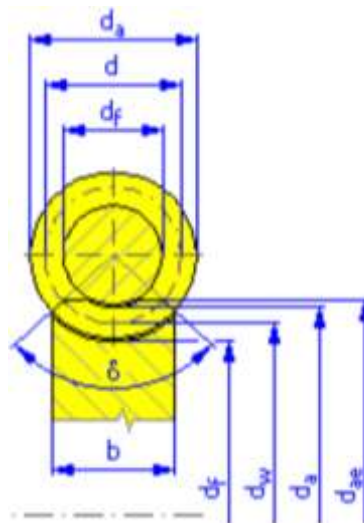


Figura 18. Diámetros de la corona (d_f) diámetro base, (d_w) diámetro primitivo, (d_a) diámetro exterior y (d_{ae}) diámetro mayor y sobre aristas [30].

$$p = \Pi * m$$

$$P = \frac{\Pi}{p} = \frac{\Pi}{\Pi m} = \frac{1}{m}$$

$$Dp = \frac{NG}{P}$$

$$Dp = \frac{NG}{\frac{1}{m}}$$

$$Dp = Z_2 * m \quad (8)$$

$$Dp = 90 * 1$$

$$Dp = \mathbf{90 \text{ mm}}$$

$$DtG = Dp + 2a \quad (9)$$

$$DtG = 90 + 2(1.15)$$

$$DtG = \mathbf{92.3 \text{ mm}}$$

$$DrG = Dp - 2b \quad (10)$$

$$DrG = 90 - 2(1.15)$$

$$DrG = \mathbf{87.7 \text{ mm}}$$

$$DI = DtG + (0.4775 * Pn) \quad (11)$$

$$DI = 92.3 + (0.4775 * 3.1)$$

$$DI = \mathbf{93.8 \text{ mm}}$$

Posteriormente, se determina la geometría del tornillo sinfín, para esto se calcula el diámetro de paso o primitivo (D_w) mediante la ecuación (12), el diámetro exterior (D_e) mediante la ecuación (13), el diámetro de raíz o base (D_r) mediante la ecuación (14), el avance (L) mediante la ecuación (15), el ángulo de avance (λ) mediante la ecuación (16), el ángulo de hélice o de filete (Ψ) mediante la ecuación (17) y la longitud del ancho de cara (F_w) mediante la ecuación (18):

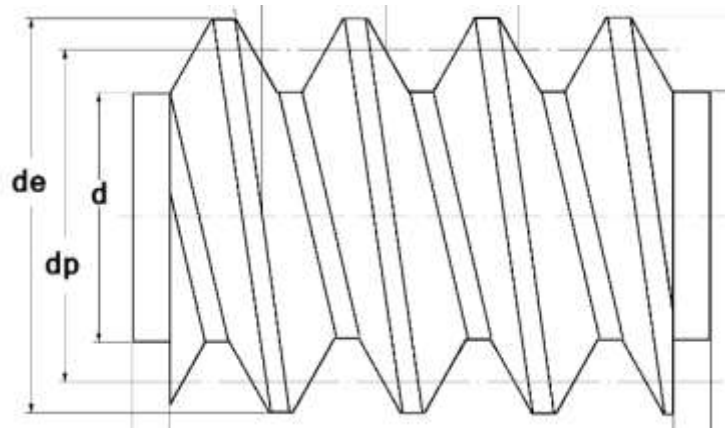


Figura 19. Diámetros del tornillo sin fin (d) diámetro base, (dp) diámetro primitivo y de diámetro exterior [30].

$$\begin{aligned} \text{Para } D_w \text{ de } 8 \text{ a } 12^* \text{ m} & \quad (12) \\ D_w = 10^* 1 \\ D_w = \mathbf{10 \text{ mm}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_e &= D_w + 2a & (13) \\ D_e &= 10 + 2(1.15) \\ D_e &= \mathbf{12.3 \text{ mm}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_r &= D_w - 2b & (14) \\ D_r &= 10 - 2(1.15) \\ D_r &= \mathbf{7.7 \text{ mm}} \end{aligned}$$

Nw: es el número de entrada que tiene el tornillo sin fin.

$$\begin{aligned} L &= N_w \cdot P_x & (15) \\ L &= 1(3.1 \text{ mm}) \\ L &= \mathbf{3.1 \text{ mm}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \arctan\left[\frac{L}{\pi D_w}\right] \\ \lambda &= \arctan\left[\frac{3.1}{\pi(10)}\right] \\ \lambda &= \mathbf{5.7^\circ} \end{aligned}$$

$$\Psi = 90^\circ - \lambda \quad (17)$$

$$\Psi = 90^\circ - 5.7^\circ$$

$$\Psi = \mathbf{84.3^\circ}$$

$$F_w = 2 \sqrt{\left(\frac{1}{2}DtG\right)^2 - \left(\frac{1}{2}Dp - a\right)^2} \quad (18)$$

$$F_w = 2 \sqrt{\left(\left(\frac{1}{2}\right)(92.3)\right)^2 - \left(\frac{1}{2}(90) - 1.15\right)^2}$$

$$F_w = \mathbf{29 \text{ mm}}$$

En la figura 21 se indica el ángulo de avance y el ángulo de hélice sobre la ecuación (16) y la ecuación (17).

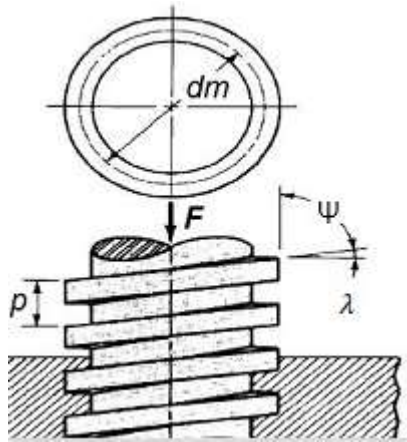


Figura 20. (λ) es el ángulo de hélice o de filete y (Ψ) el ángulo de avance [31].

La distancia entre centros (C) del tornillo sin fin a la corona se calcula mediante la ecuación (19):

$$C = \frac{D_w + D_p}{2} \quad (19)$$

$$C = \frac{10 + 90}{2}$$

$$C = \mathbf{50 \text{ mm}}$$

Finalmente, se calcula el ancho de cara de la corona (FG) mediante la ecuación (20):

$$FG = \sqrt{De^2 - Dw^2} \quad (20)$$

$$FG = \sqrt{12.4^2 - 10^2}$$

$$FG = 7.3 \text{ mm}$$

Concavidad Periférica de la corona (Radio) mediante la ecuación (21):

$$R = (0.5 * Dw) - m \quad (21)$$

$$R = (0.5 * 10) - 1$$

$$R = 4 \text{ mm}$$

5.3. Cálculo de las fuerzas en el tornillo sinfín y en la corona.

Para el cálculo de las fuerzas en el tornillo sinfín y las fuerzas en la corona es importante conocer la velocidad en la línea de paso tanto para el tornillo sinfín (V_{tw}) mediante la ecuación (22) como para la corona (V_{tG}) mediante la ecuación (23); además, se calcula la velocidad de deslizamiento de la corona (V_s) mediante la ecuación (24):

-El valor de n_w del EC (22) que estaba en rpm se transformó a rad/s para obtener la unidad mm/s lo mismo se hizo para la ecuación (23) en n_G .

$$V_{tw} = \frac{\pi \cdot Dw \cdot n_w}{12} \quad (22)$$

$$V_{tw} = \frac{\pi(10\text{mm})(300\text{rpm})}{12}$$

$$V_{tw} = \frac{\pi(10\text{mm})(31.42\text{rad/s})}{12}$$

$$V_{tw} = 82.26 \text{ mm/s} = 16.20 \text{ ft/min}$$

Los 300 rpm es la máxima velocidad a la que va a girar el tornillo sin fin.

Para hallar los rpm (n_G) de la corona aplicamos la siguiente fórmula:	
$Z_1 * n_w = Z_2 * n_G$	Z_1 = El número de entradas del tornillo sin fin = 1 n_w = Los rpm del tornillo sin fin = 300 Z_2 = Número de dientes de la corona = 90
$n_G = \frac{Z_1 * n_w}{Z_2}$	
$n_G = \frac{1 * 300}{90} = 3.33 \text{ rpm}$	

$$V_{tG} = \frac{\Pi \cdot D_p \cdot nG}{12} \quad (23)$$

$$V_{tG} = \frac{\Pi(90\text{mm})(3.33\text{rpm})}{12}$$

$$V_{tG} = \frac{\Pi(90\text{mm})(0.35\text{rad/s})}{12}$$

$$V_{tG} = 8.25 \text{ mm/s} = 1.62 \text{ ft/min}$$

$$V_s = \frac{V_{tG}}{\text{sen}\lambda} \quad (24)$$

$$V_s = \frac{8.25 \text{ mm/s}}{\text{sen}(5.7^\circ)}$$

$$V_s = 83.07 \text{ mm/s} = 16.35 \text{ ft/min}$$

Ahora, se calcula el coeficiente de fricción por desplazamiento (u) entre los dos materiales mediante la ecuación (25):

$$u = 0.0103e^{-0.110V_s^{0.450}} + 0.012 \quad (25)$$

$$u = 0.0103e^{-0.110(16.35)^{0.450}} + 0.012$$

$$u = 0.0193$$

En el tornillo sin fin se calcula la velocidad angular (ω) mediante la ecuación (26), la velocidad (V) mediante la ecuación (27), la fuerza aplicada en el sistema (F) mediante la ecuación (28) y la potencia necesaria para mover esa fuerza (P_i) mediante la ecuación (29):

$$\omega = 300 \text{ rpm se hace una conversión a } \frac{\text{rad}}{\text{s}}. \quad (26)$$

$$\omega = \frac{300(2\pi)}{60}$$

$$\omega = 31.4159 \text{ rad/s}$$

$$V = \omega * \frac{D_e}{2} \quad (27)$$

$$V = 31.4159 * \frac{0.0123}{2}$$

$$V = 0.1932 \text{ m/s}$$

$$F = m \cdot g \quad (28)$$

$$F = 3 \text{Kg} \cdot 9.8$$

$$F = 29.4 \text{ N}$$

$$P_i = F \cdot V \quad (29)$$

$$P_i = 29.4 \cdot 0.1932$$

$$P_i = 5.68 \text{ w}$$

La potencia de entrada de 5.68 w es la requerida para mover 3 Kg.

El motor que se pudo conseguir en el mercado con la potencia más cercana fue el Nema 17 que es de 12 vatios.

$$P = \frac{T(n)}{k1} \quad P = \frac{Wt(v)}{k2} \quad v = \frac{n(D/2)}{k3} \quad T = \frac{Wt(D/2)}{k4}$$

SISTEMA	P	T	n	k1
INGLES	HP	lb.in	rpm	33000
S.I.	W	N.m	rpm	1

SISTEMA	P	Wt	v	k2
INGLES	HP	lb	ft/min	33000
S.I.	W	N	m/s	1

SISTEMA	D	v	n	k3
INGLES	in	ft/min	rpm	12
S.I.	mm	m/s	rpm	60000

SISTEMA	P	Wt	D	n	k4
INGLES	HP	lb	in	rpm	126000
S.I.	kW	kN	mm	rpm	60000/pi

P = Potencia
T = Torque
Wt = Carga transmitida
v = Velocidad

Figura 21. Tabla para escoger la constante K según con las unidades que se trabaje [33].

Se calculan la fuerza tangencial en el tornillo sinfín ($W_{wt}=W_x$) mediante la ecuación (30), la fuerza radial en el tornillo sinfín ($W_{wr}=W_y$) mediante la ecuación (31) y la fuerza axial en el tornillo sinfín ($W_{wa}=W_z$) mediante la ecuación (32):

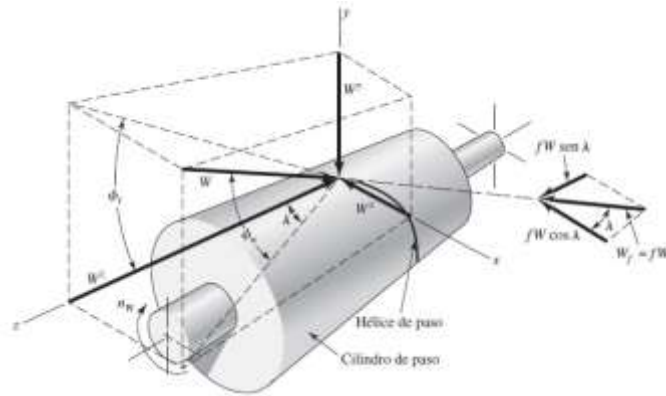


Figura 22. Fuerzas aplicadas en un tornillo sin fin [34].

$$W_{wt} = \frac{Po * K2}{Vtw} \quad (30)$$

$$W_{wt} = \frac{12 * 1}{0.08226 \text{ m/s}}$$

$$W_{wt} = 145.87 \text{ N}$$

Se usa esta fórmula para hallar la fuerza resultante y poder hallar W_y y W_z .

$$W = \frac{W_{wt}}{\cos\phi_n * \text{sen}\lambda + u. \cos\lambda}$$

$$W = \frac{145.87 \text{ N}}{(\cos 20^\circ) * (\text{sen} 5.7^\circ) + 0.0193(\cos 5.7^\circ)}$$

$$W = 1296.22 \text{ N}$$

$$W_y = W * \text{sen}\phi_n \quad (31)$$

$$W_y = 1296.22 \text{ N} * \text{sen}(20^\circ)$$

$$W_y = 443.33 \text{ N}$$

$$W_z = W(\cos\phi_n * \cos\lambda - u. \text{sen}\lambda) \quad (32)$$

$$W_z = 1296.22 \text{ N}((\cos 20^\circ) * (\cos 5.7^\circ) - 0.0193(\text{sen} 5.7^\circ))$$

$$W_z = 1209.54 \text{ N}$$

Las fuerzas de la corona son negativas porque van en sentido contrario a las del tornillo, aunque el sentido también puede ser opuesto depende de cómo la persona se maneje mejor.

La Figura 26 muestra las fuerzas aplicadas.

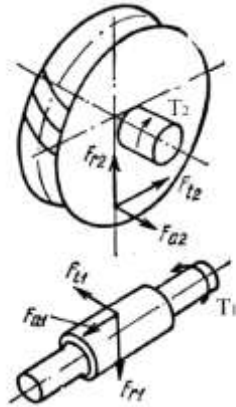


Figura 23. Fuerzas aplicadas en un tornillo sin fin y en una corona [35].

Ahora, se calculan la fuerza tangencial en la corona (W_{Gt}) mediante la ecuación (33), la fuerza radial en la corona (W_{Gr}) mediante la ecuación (34) y la fuerza axial en la corona (W_{Ga}) mediante la ecuación (35):

$$W_{wt} = W_{Ga} = W_x$$

$$W_{wr} = W_{Gr} = W_y$$

$$W_{wa} = W_{Gt} = W_z$$

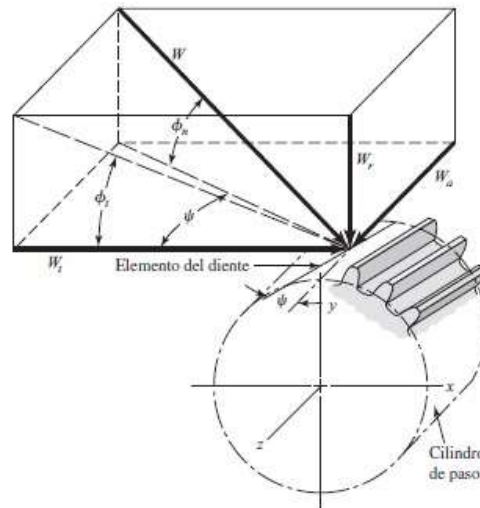


Figura 24. Fuerzas aplicadas en la corona [36].

$$W_{Ga} = -W_x \tag{33}$$

$$W_{Ga} = -145.87 \text{ N}$$

$$W_{Gr} = -W_y \tag{34}$$

$$W_{Gr} = -443.33 \text{ N}$$

$$W_{Gt} = -W_z \quad (35)$$

$$W_{Gt} = -1209.54 \text{ N}$$

Se calcula la eficiencia (n) mediante la ecuación (36):

$$n = \frac{\cos\phi n - (u * \operatorname{tg}(\lambda))}{\cos\phi n + (u * \operatorname{cot}(\lambda))} \quad (36)$$

$$n = \frac{\cos(20^\circ) - ((0.0193)\operatorname{tg}(5.7^\circ))}{\cos(20^\circ) + ((0.0193)\operatorname{cot}(5.7^\circ))}$$

$$n = 0.827$$

La eficiencia es del 82.76% quiere decir que la potencia de salida en el sistema es de $P_o = 9.93 \text{ w}$ por lo que es suficiente para mover 3 kg. e incluso hasta más ya que al ser inversamente proporcional, cuando la velocidad disminuye el torque aumenta y cuando la velocidad aumenta su torque disminuye.

Se calcula la fuerza de fricción (W_f) mediante la ecuación (37):

$$W_f = \frac{u \cdot W_{Gt}}{u \operatorname{sen}\lambda - \cos\lambda * \cos\phi n} \quad (37)$$

$$W_f = \frac{0.0193 * (-1209.54)}{0.0193 \operatorname{sen}5.7^\circ - \cos5.7^\circ * \cos20}$$

$$W_f = 1296.19 \text{ N}$$

5.4. Resistencia de Materiales en el tornillo sin fin y corona

$$W_{wa} = 1209.54 \text{ N}$$

$$W_{Gt} = 1209.54 \text{ N}$$

Esfuerzo cortante del tornillo sin fin (σ_1) mediante la ecuación (38):

$$\sigma_1 = \frac{W_{wa}}{A} \quad (38)$$

$$\sigma_1 = \frac{1209.54}{9.84}$$

$$\sigma_1 = 122.92 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_1 = 122.92 \text{ MPa}$$

$$A = e \cdot Re$$

$$A = (1.6) (6.15)$$

$$A = 9.84 \text{ mm}^2$$

$$DtG = 12.3 \text{ mm}$$

$$Re = 12.3/2$$

$$Re = 6.15 \text{ mm}$$

Esfuerzo cortante de la corona (σ_2) mediante la ecuación (39):

$$\sigma_2 = \frac{W_{Gt}}{A} \quad (39)$$

$$\sigma_2 = \frac{1209.54}{14.2}$$

$$\sigma_2 = 85.17 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_2 = 85.17 \text{ MPa}$$

$$A = e \cdot FG$$

$$A = (1.6) (9)$$

$$A = 14.2 \text{ mm}^2$$

Al seleccionar el material del tornillo sin fin se toma en cuenta las siguientes condiciones: el límite elástico debe ser mayor que el esfuerzo cortante del tornillo sin fin para que los filetes del tornillo no se rompan.

Teniendo en cuenta, que el material del cual está fabricado el tornillo sin fin es más duro que el de la corona, se utiliza el acero 705 es el material con el que normalmente se trabaja los tornillos sin fin, además de tener presente en la selección el esfuerzo cortante.

El acero 705 es conocido con otros nombres de acuerdo a la norma en la que se encuentre.

Bohler	AISI/SAE	ASSAB	DIN
V320	4140	709	42CRM04
V155	4340	705	34CrNiMo6
V945	1045	760	CK45
E920	1018	Transmisión	- - -

Figura 25. Presenta una designación normalizada expresada por medio de cifras y letras de acuerdo de que norma trata [37].

En la Tabla6 están los datos del acero 4340 ya que viene a ser el mismo acero 705.

Para seleccionar el material de la corona se debe tomar en cuenta el límite elástico, este tendrá que ser mayor que el esfuerzo cortante, de esta manera se evita que el diente de la corona se quiebre.

Como el esfuerzo cortante al que está sometido el diente de la corona no es tan alto, cualquier material de la tabla a continuación nos sirve, siendo seleccionado el bronce rojo.

En la Tabla 7 están los datos del material seleccionado.



Figura 26. Regiones de deformación [39].

Los esfuerzos a los que están sometidos los materiales de acero 705 y bronce rojo son muy bajos, se encuentran dentro de la región elástica por lo que no hay problemas, la característica del material muestra que entre el punto de origen al límite de proporcionalidad el material no sufre deformaciones y si las llega a tener con el tiempo no sería tan significativas, como se observa en la figura 27.

5.5. Cuadro de datos del tornillo y de la corona

Parámetros del Tornillo Sinfin		Parámetros de la Corona	
Número de Entradas	1	Número de Dientes	90
Paso	3.1 mm	Módulo	1 mm
Diámetro Exterior	12.3 mm	Diámetro de Garganta	92.3 mm
Diámetro de Primitivo	10 mm	Diámetro Primitivo	90 mm
Diámetro de Base	7.7 mm	Diámetro de raíz	87.7 mm
Adendo	1.2 mm	Diámetro mayor y sobre aristas	93.8 mm
Dedendo	1.2 mm	Adendo	1.2 mm

Altura de Trabajo	2 mm	Dedendo	1.2 mm
Altura Total	2.2 mm	Altura de Trabajo	2 mm
Longitud del ancho de Cara	29 mm	Altura Total	2.2 mm
Avance	3.1 mm	Ancho de Cara	9 mm
Ángulo de Presión	20°		
Ángulo de Filete	5.7°		
Ángulo de Avance	84.3°		

5.6. Selección de los rodamientos para el tornillo sin fin

En la página de SKF se encuentra el catálogo y de rodamientos, donde se observa las características de cada uno, parte del contenido es la sección donde se encuentra los pasos detallados de cómo seleccionar correctamente los rodamientos.

Para el sistema MRS (motorized rotation stage) se realizó el cálculo con cada uno de los rodamientos que cumplían con las especificaciones necesarias como dimensiones y funcionalidad.

El mecanismo soporta cierto peso en la superficie del plato, el plato está conectado al eje de la corona, la corona gira junto al tornillo sin fin, para que estos puedan girar deben llevar rodamientos, los pasos para seleccionar el rodamiento son los siguientes.

Para este tipo de sistemas es recomendable usar rodamientos rígidos de una hilera de bolas, debido a las fuerzas que actuarán sobre el mismo.

Se inicia con las dimensiones necesarias

Eje corona diámetro interior

20mm

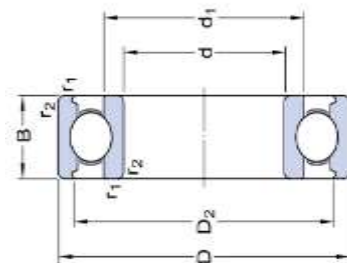


Figura 27. Acotación de un rodamiento de bolas [44].

5.6.1. Rodamiento para el eje de la corona de 20mm.

El rodamiento seleccionado es el 61804, a continuación, se detallan los pasos, cabe recalcar que los mismos fueron realizados para cada rodamiento que cumplía con las dimensiones necesarias.

5.6.1.1. Selección del lubricante que vamos a utilizar en el rodamiento seleccionado

$$d_m = 0,5(d+D) \text{ [mm]}$$

$$d_m = 0,5(20+32)$$

$$d_m = 26$$

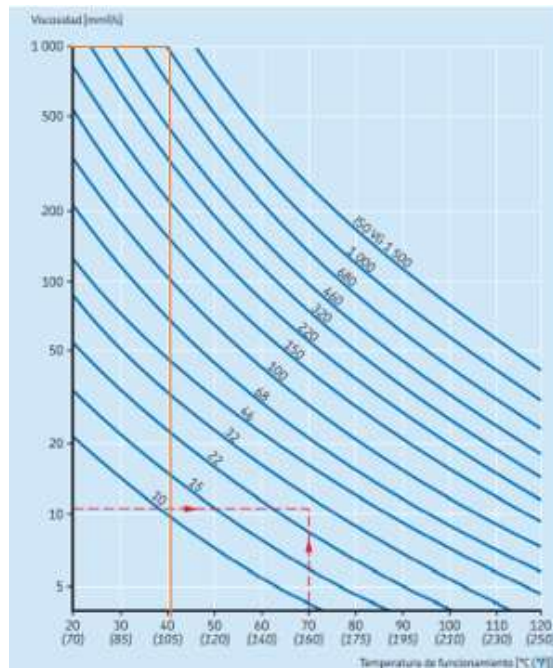


Figura 28. Gráfica para escoger el tipo de lubricante del rodamiento [46]

La grafica nos muestra que el lubricante ISO VG 1000, es el correspondiente para el rodamiento seleccionado.

5.6.1.2. Viscosidad nominal

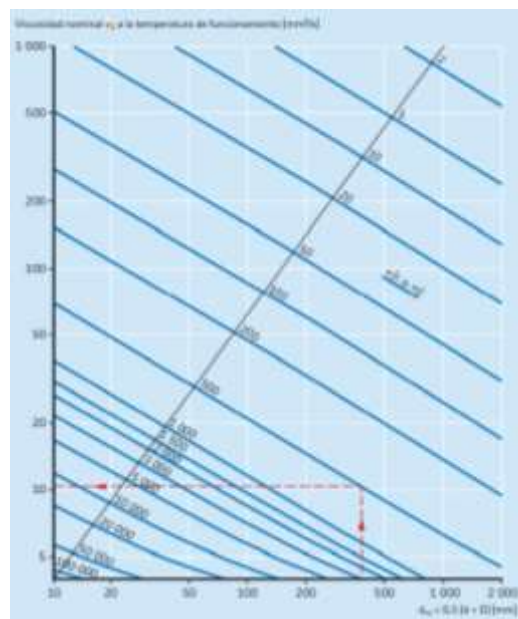


Figura 29. Gráfica para calcular la viscosidad nominal [45].

$$V1=1000 \text{ mm}^2/\text{s}$$

5.6.1.3. Vida nominal básica

$$P=3\text{kg}= 0.02942\text{KN}$$

$$L10h=\left(\frac{10^6}{60(2.22)}\right)\left(\frac{4.03}{0.02942}\right)^3=19472118419.10673\text{h}$$

5.6.1.4. Condiciones de lubricación

Clasificación de viscosidad de acuerdo con la norma ISO 3448			
Grado de viscosidad	Viscosidad cinemática límite a 40 °C		
	media	min.	máx.
mm ² /s			
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1 000	1 000	900	1 100
ISO VG 1 500	1 500	1 350	1 650

Figura 30. Clasificación de viscosidad de acuerdo con la norma ISO 3448 [47].

Este es un valor adimensional

$$K=\frac{v}{v1} = \text{viscosidad real / nominal}$$

$$K=\frac{v}{v1} = \frac{1000}{1000} = 1$$

5.6.1.5. Factor de contaminación

Gran limpieza • aceite lubricante con filtración muy fina • condiciones típicas: rodamientos sellados lubricados con grasa de por vida	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Limpieza normal • aceite lubricante con filtración fina • condiciones típicas: rodamientos con placas de protección lubricados con grasa de por vida	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
Contaminación ligera • condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste y leve ingreso de contaminantes	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4

Figura 31. Valores del factor de contaminación para distintos niveles [48].

Contaminación ligera
 Rodamiento 61804
 $n_c=0.2$

5.6.1.6.Factor askf

$$n_c \frac{P_u - 0,2(0.104)}{P} = 0.7$$

$$a_{SKF} = 0.7$$

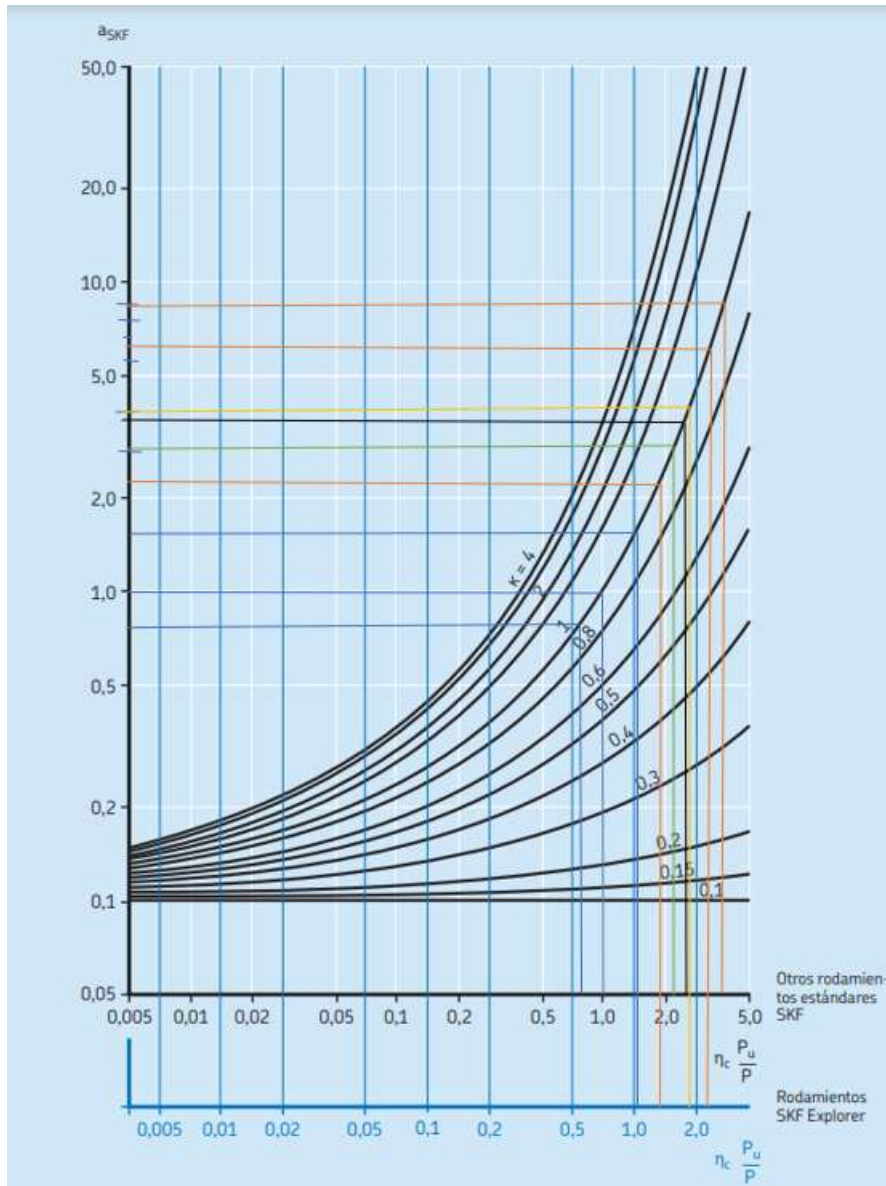


Figura 32. Gráfica del factor Askf [49].

5.6.1.7.Vida nominal SKF

$$L_{10mh} = a_{SKF} * L_{10h}$$

Rodamiento 61804

$$L_{10mh} = 0.7 * 19472118419.10673 h$$

$$L_{10mh} = 19472118419.10673$$

5.6.1.8. Carga mínima

Rodamiento 61804

$$F_{rm} = 0.015 \left(6 + \frac{4(2.22)}{45000} \right) \left(\frac{26}{100} \right)^2$$

$$= 0.00608 \text{ kN}$$

$$= 0.619987 \text{ Kg}$$

Si este valor es mayor que la carga que se necesita mover, quiere decir que no se está cumpliendo con el peso mínimo, y procederá a fallar por derrape.

Tabla 7. Selección del rodamiento según los cálculos

modelo	D (mm)	d (mm)	F _{mr} 3kg	validez
61804	32	20	0.6 < 3	optimo
61904	37	20	0.9 < 3	optimo
*16004	42	20	1.1 < 3	optimo
*6004	42	20	1.4 < 3	optimo
*6204	47	20	1.7 < 3	optimo
6204 ETN9	47	20	1.7 < 3	optimo
*6304	52	20	2.3 < 3	optimo
6304ETN9	52	20	2.3 < 3	optimo
6404	72	20	4.5 > 3	invalido

5.6.2. Rodamiento de 10 mm para el tornillo sin fin.

El rodamiento seleccionado es el 61800, a continuación, se detallan los pasos, cabe recalcar que los mismos fueron realizados para cada rodamiento que cumplía con las dimensiones necesarias.

Tornillo sin fin

d=10mm

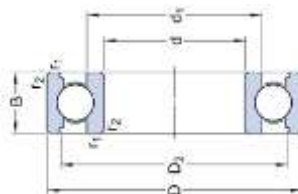


Figura 33. Acotación de un rodamiento de bolas [44].

5.6.2.1. Selección del lubricante que vamos a utilizar en el rodamiento seleccionado

$$d_m = 0,5(d+D)[\text{mm}]$$

$$d_m = 0,5(10+19)$$

$$d_m = 14,5$$

ISO VG 100

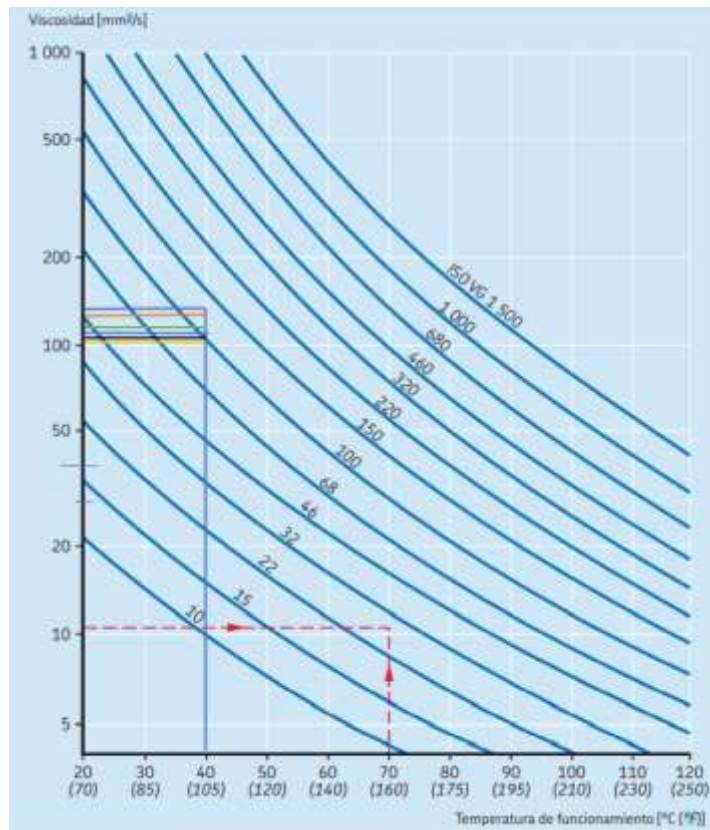


Figura 34. Gráfica para escoger el tipo de lubricante del rodamiento [46].

5.6.2.2. Viscosidad nominal

$V_1 = 140 \text{ mm}^2/\text{s}$

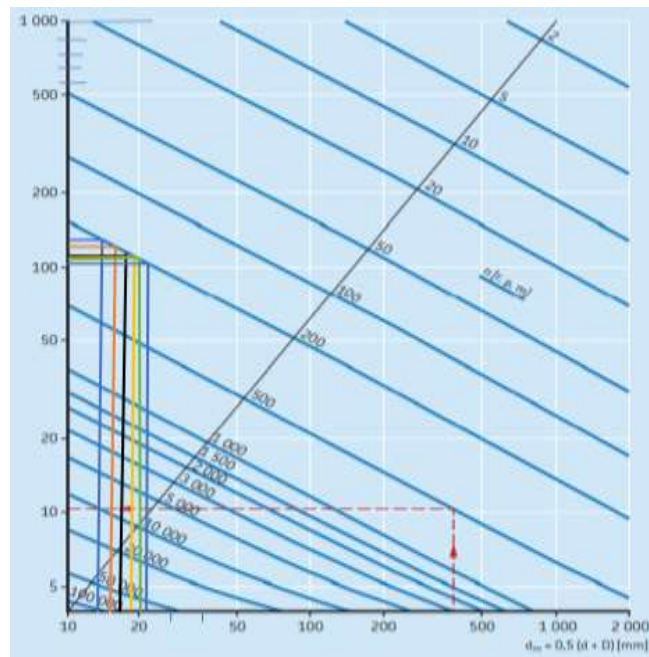


Figura 35. Gráfica para calcular la viscosidad nominal [45].

5.6.2.3. Vida nominal básica

$$P=3\text{kg}= 0.02942\text{KN}$$

$$L_{10h}=\left(\frac{10^6}{60(200)}\right)\left(\frac{1.72}{0.02942}\right)^3=16652371.44032 \text{ h}$$

5.6.2.4. Condiciones de lubricación

Clasificación de viscosidad de acuerdo con la norma ISO 3448			
Grado de viscosidad	Viscosidad cinemática límite a 40 °C		
	media	min.	máx.
mm ² /s			
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9,00	11,0
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90,0	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1 000	1 000	900	1 100
ISO VG 1 500	1 500	1 350	1 650

Figura 36. Clasificación de viscosidad de acuerdo con la norma ISO 3448 [47].

Este es un valor adimensional

$$K=\frac{v}{v_1} = \text{viscosidad real / nominal}$$

$$K=\frac{v}{v_1}=\frac{100}{100}=1$$

5.6.2.5. Factor de contaminación

Gran limpieza • aceite lubricante con filtración muy fina • condiciones típicas: rodamientos sellados lubricados con grasa de por vida	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Limpieza normal • aceite lubricante con filtración fina • condiciones típicas: rodamientos con placas de protección lubricados con grasa de por vida	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
Contaminación ligera • condiciones típicas: rodamientos sin sello integral, filtrado grueso, partículas de desgaste y leve ingreso de contaminantes	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4

Figura 37. Valores del factor de contaminación para distintos niveles. [48].

Contaminación ligera

Rodamiento 61804

$$nc=0.2$$

5.6.2.6. Factor Askf

$$nc \frac{P_u}{P} = \frac{0,2(0,036)}{0,02942} = 0,24473$$

$$a_{SKF} = 0,35$$

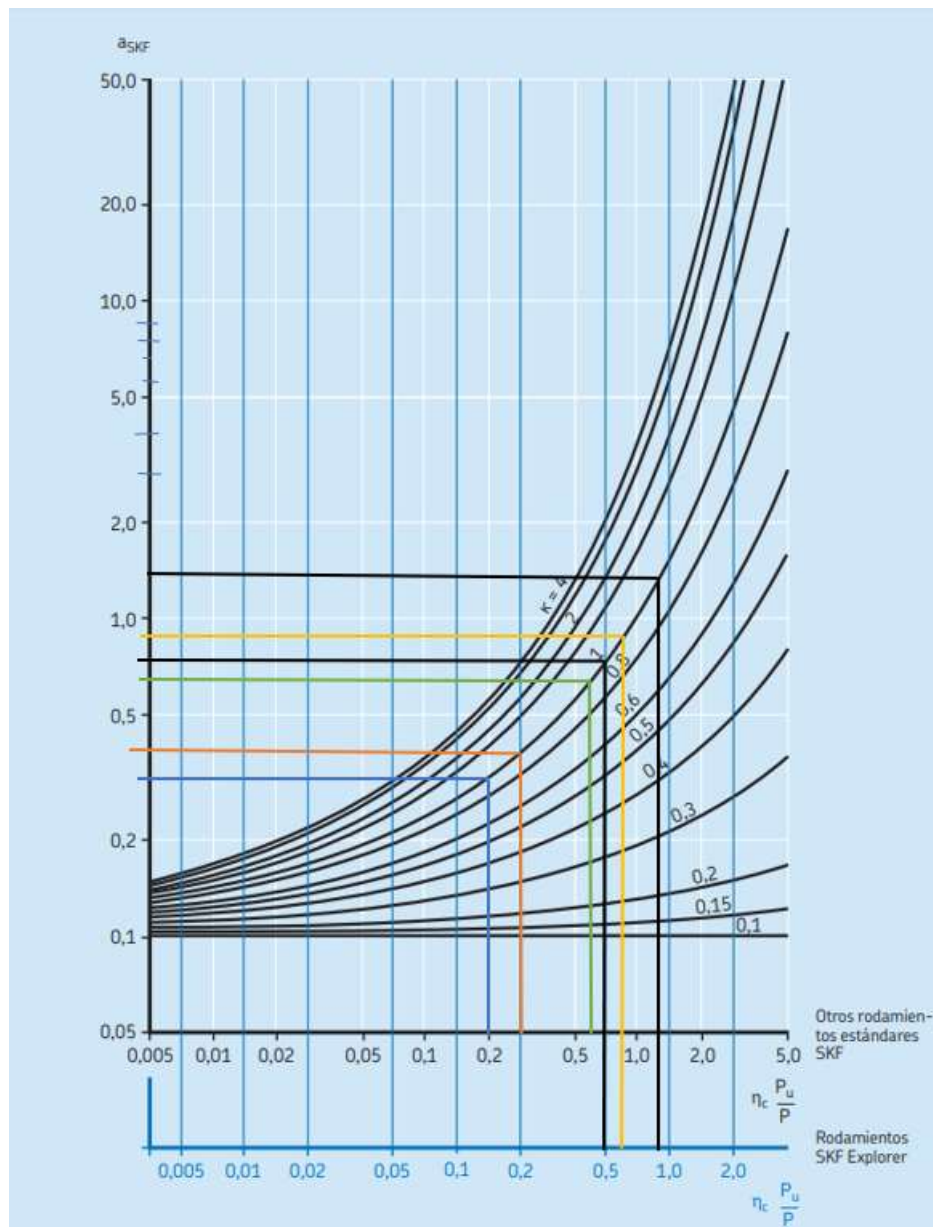


Figura 38. Gráfica del factor Askf [49].

5.6.2.7. Vida nominal SKF

$$L_{10mh} = a_{SKF} * L_{10h}$$

Rodamiento 61804

$$L_{10mh} = 0,35 * 16652371,44032 \text{ h}$$

$$L_{10mh} = 5828330,00411$$

5.6.2.8.Carga mínima

$$F_{rm} = 0.015 \left(6 + \frac{4(200)}{80000} \right) \left(\frac{14.5}{100} \right)^2$$

$$= 0.00189 \text{ kN}$$

$$= 0.192726 \text{ Kg}$$

Si este valor es mayor que la carga que se necesita mover, quiere decir que no se está cumpliendo con el peso mínimo, y procederá a fallar por derrape.

Tabla 8. Selección del rodamiento según los cálculos

Modelo	D (mm)	d (mm)	F _{mr} 3kg	validez
61800	19	10	0.1 < 3	optimo
61900	22	10	0.3 < 3	optimo
*6000	26	10	0.4 < 3	optimo
16100	28	10	0.5 < 3	optimo
*6200	30	10	0.6 < 3	optimo
*6300	35	10	0.9 < 3	optimo

5.7. Diseño en inventor

Este diseño se realiza luego de los cálculos, ya que con los resultados se procede a diseñar la corona y tornillo sin fin, una vez fijadas estas dimensiones finalmente se diseña la caja que contiene al reductor.

Como se observa a continuación.

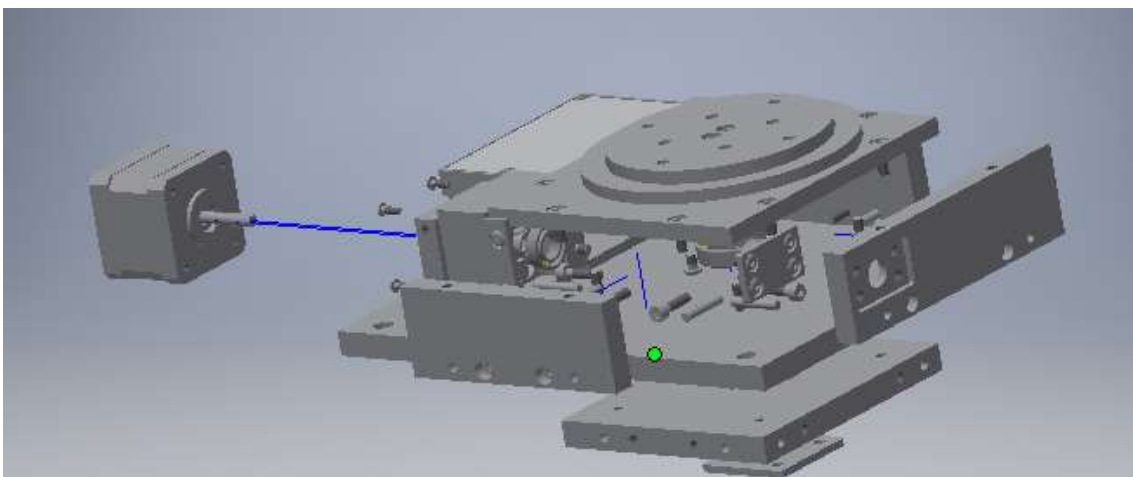


Figura 39. Ensamblaje del sistema MRS.

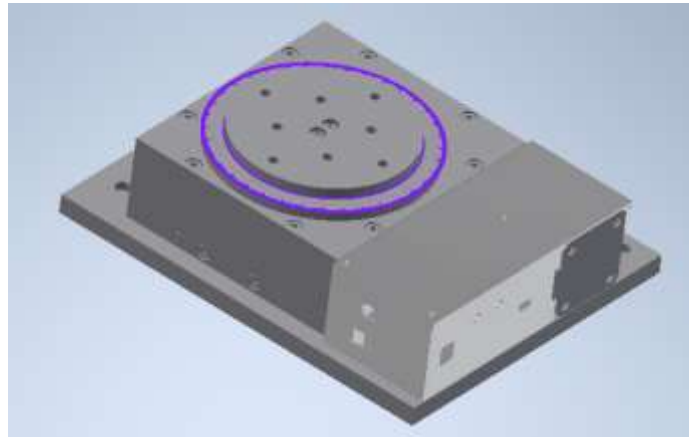


Figura 40. Perspectiva del sistema MRS.

Las siguientes imágenes serían de cómo va quedando la caja reductora físicamente en la construcción.



Figura 41. Etapa de construcción del sistema MRS.

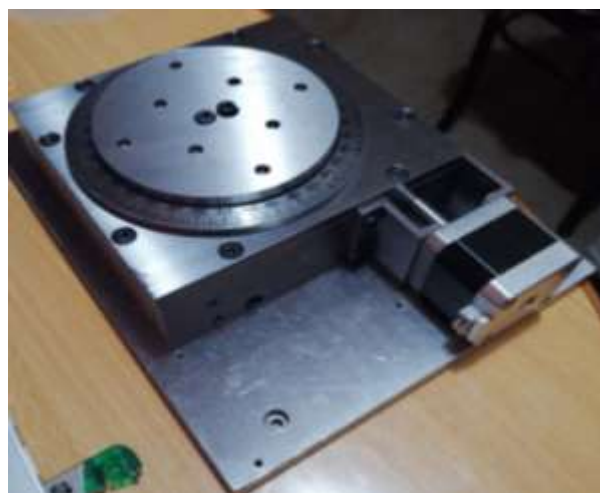


Figura 42. Parte Mecánica del sistema MRS.



Figura 43. Etapa de control y Mecánica en el Sistema.

En la Figura 43 se observa el sistema MRS terminado, se encuentra adjunta la etapa de control, para proteger de la oxidación se optó por la pintura electrostática en la parte exterior del mecanismo.

5.8.Propuesta del sistema de control

El sistema tiene colocado dos sensores, el primero se encarga de contar el número de pulsos a través de un disco de rejillas, el segundo se encarga de ubicar la posición cero o home, las órdenes se envían desde el computador a través de una interfaz gráfica, siendo el controlador el encargado de procesar dichas señales y así controlar el motor paso a paso.

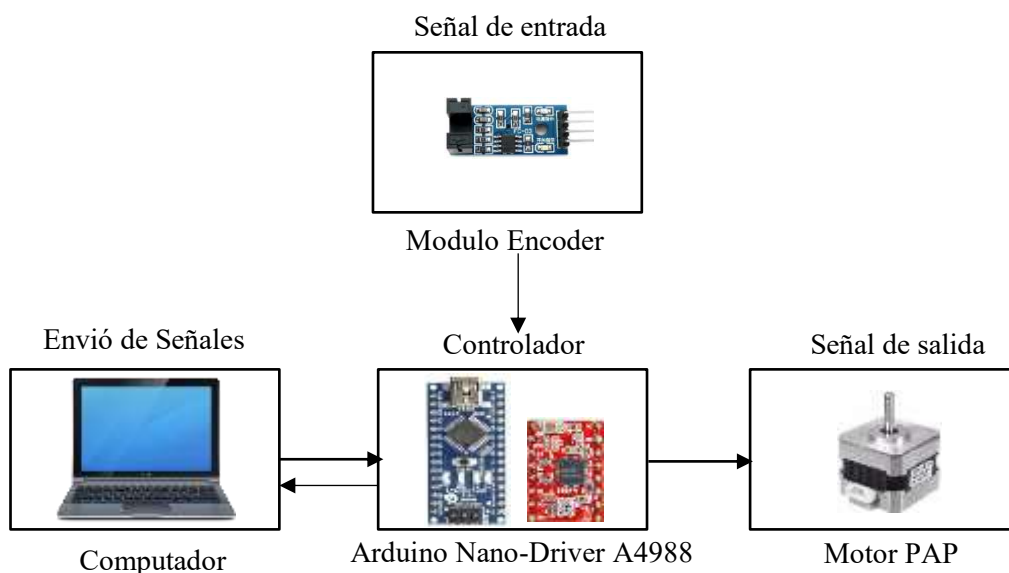




Figura 44. Sistema de control General.

5.8.1. Alimentación del sistema de control

Para alimentar la etapa de control se utiliza dos fuentes, 5V para el funcionamiento del Arduino nano y el driver A4988, este voltaje se obtiene del puerto USB del computador, 12V para el motor paso a paso este voltaje se obtiene de una fuente externa, en este

caso un cargador de 12V-1A, la tabla a continuación muestra los elementos de alimentación y su respectivo funcionamiento.

Tabla 9. Elementos de alimentación y su función

Elemento	Función	Imagen
Puerto USB del computador 5V- 500 mA	Alimentar el Arduino Nano, el driver A4988 y los módulos encoder.	
Adaptador de corriente 12V 1A	Alimentar la etapa de potencia del driver A4988 para el control del Motor PAP.	

5.8.2. Proceso para la recepción de órdenes desde el computador

En el estado del arte se observa que muchos de los sistemas MRS llevan incorporada la etapa de control y otros donde se la debe adquirir por separado, en este caso la etapa de control forma parte del sistema general, por el espacio disponible y la funcionalidad se utiliza el Arduino Nano para la recepción y envío de señales.

5.8.2.1. Arduino Nano

La placa Arduino Nano no tiene una toma de alimentación DC como otras placas conocidas de Arduino, se alimenta de 5V a través de un puerto mini-USB. Este puerto se utiliza tanto para la programación como para la monitorización en serie. Una de las características de este dispositivo es la memoria flash es de 16KB o 32KB todo depende de la tarjeta Atmega, es decir, Atmega168 viene con 16KB de memoria, mientras que Atmega328 viene con 32KB. La memoria flash se utiliza para almacenar el código, 2 KB de memoria de la memoria total se utilizan para un cargador de arranque.

El SRAM puede variar de 1KB o 2KB y la EEPROM es de 512 bytes o 1KB para Atmega168 y Atmega328 respectivamente [50].



Figura 45. Vista frontal y posterior del Arduino Nano [50].

Tabla 10. Especificaciones técnicas del Arduino Nano

Parámetros	Valores
Microcontrolador Arduino	ATmega328
Arquitectura	AVR
Voltaje de operación	5 V
Memoria flash	32 KB de los cuales 2 KB utilizados por bootloader
Velocidad del reloj	16 MHz
SRAM	2 KB
Pines de E/S analógicas	8
EEPROM	1 KB
Corriente continua por pin entrada salida	40 mA (Pines de E/S)
Voltaje de entrada	7-12 V
Pines de E/S digitales	22
Salida PWM	6
Consumo de energía	19 mA
Tamaño de la placa de circuito impreso	8 x 45 mm
Peso	7g

5.8.2.2. Módulo sensor encoder infrarrojo FC-03 (MOCH22A)

Conocer la velocidad o posición de un motor es importante en aplicaciones de automatización, para obtener esta función existen diversas alternativas, como el uso de encoders de tipo óptico. Los encoders son dispositivos electrónicos que se encargan de transformar el movimiento angular o lineal en pulsos eléctricos que puedan ser interpretados por el controlador del sistema. [51].

El modelo que se utilizó fue diseñado para trabajar con plataformas de robótica móvil tales como: seguidores de línea, laberintos, sumos, también son utilizados en contadores de RPM (Revoluciones por minuto) en motores DC/AC o como sensor de final de carrera [51].



Figura 46. Vista frontal y posterior del Módulo Encoder Infrarrojo FC-03 [51].

Tabla 11. Especificaciones técnicas del módulo sensor encoder infrarrojo FC-03

Parámetros	Valores
Voltaje de Operación	3.3V - 5V DC
Salidas	Volt. Analógico y Digital TTL (comparador)
Sensor	MOCH22A
Tipo de emisor	Fotodiodo IR
Tipo de detector	fototransistor
Longitud de onda del emisor	950 nm (infrarrojo)
Ranura	5mm

Comparador Opamp	LM393
Salida TTL ON	Sensor bloqueado
Salida TTL OFF	Sensor sin bloquear
Led indicador	de alimentación y pulso
Peso	8 gramos
Dimensiones	3.2*1.4*0.7 cm
Peso	6g

5.8.3. Distribución de pines Arduino Nano

Para leer las órdenes enviadas desde el computador y recibir las señales de los sensores utilizaremos las salidas digitales del Arduino para luego pasar a su respectivo procesamiento, a continuación, se detalla la conexión de cada pin:

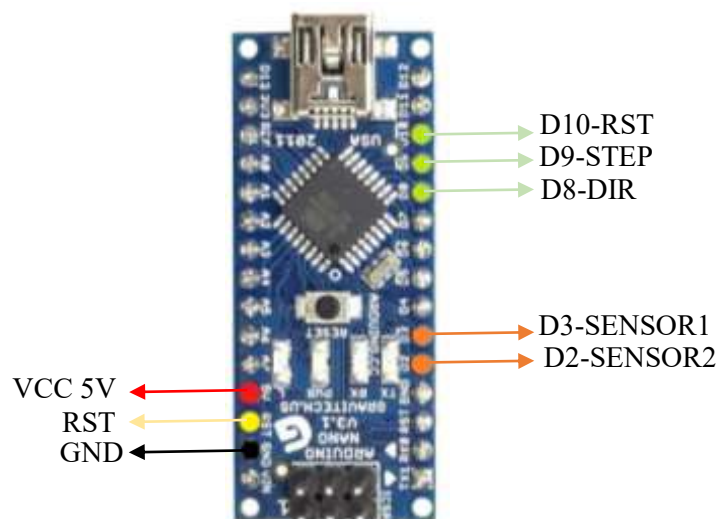


Figura 47. Pines seleccionados del Arduino Nano para trabajar.

5.8.4. Distribución de pines en el Driver A4988

Se utilizan los pines DIR y STEP para realizar el control de movimiento del motor paso a paso, este driver se debe calibrar de manera distinta para cualquier motor PaP, las salidas en el driver son los pines 2B, 2A, 1A, 1B.

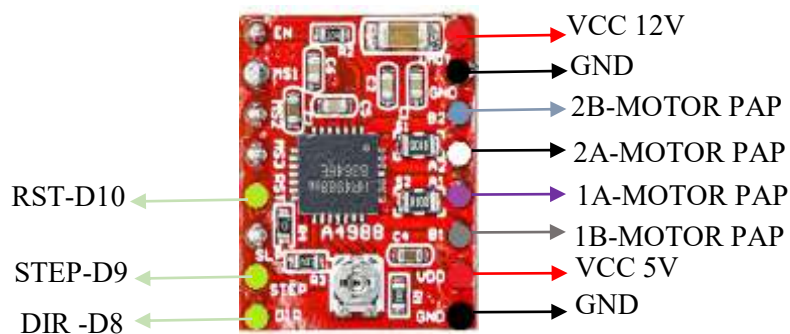


Figura 48. Pines seleccionados del Driver A4988 para trabajar.

5.8.5. Calibración del Driver A4988 para el motor Nema 17

Las fórmulas utilizadas para este análisis son tomadas de la hoja de datos del fabricante, para su desarrollo debemos saber cuál es la corriente máxima a la que funciona el motor paso a paso, y el valor en ohmios de la resistencia de sensibilidad.

- Corriente Max Nema17= 1.7 A
- Resistencia SMD "R100"= 0.1Ω

$$I_{max} = \frac{V_{Ref}}{(8 * RS)}$$

$$V_{Ref} = I_{max} * (8 * RS)$$

$$V_{Ref} = 1.7 * (8 * 0.1)$$

$$V_{Ref} = 1.36 V$$

En este punto el fabricante nos presenta la siguiente imagen, como trabajaremos con pasos completos solo podremos alcanzar el 70% del valor V_{Ref} .

Full Step #	Half Step #	1/4 Step #	1/8 Step #	1/16 Step #	Phase 1 Current [% ItripMax] (%)	Phase 2 Current [% ItripMax] (%)	Step Angle (°)
	1	1	2	1	100.00	0.00	0.0
				2	99.52	9.80	5.6
			2	3	98.08	19.51	11.3
				4	95.69	29.03	16.9
		2	3	5	92.39	38.27	22.5
				6	88.19	47.14	28.1
			4	7	83.15	55.56	33.8
				8	77.30	63.44	39.4
1	2	3	5	9	70.71	70.71	45.0

Figura 49. Selección del porcentaje según el número de pasos a utilizar [52].

$$V_{Ref} = \frac{70 * 1.36}{100} = 0.952$$

$$V_{Ref} = 0.952 V$$

Este será el valor obtenido se debe calibrar en el driver.

5.9. Diagrama Esquemático y Diseño de la placa PCB

Para la etapa de control del motor paso a paso, se diseña una pequeña placa PCB la cual se encarga de conectar los componentes entre sí.

Se utiliza el software NI Multisim 14.2, en el cual se generó el diagrama de pistas para obtener el diseño de la placa.

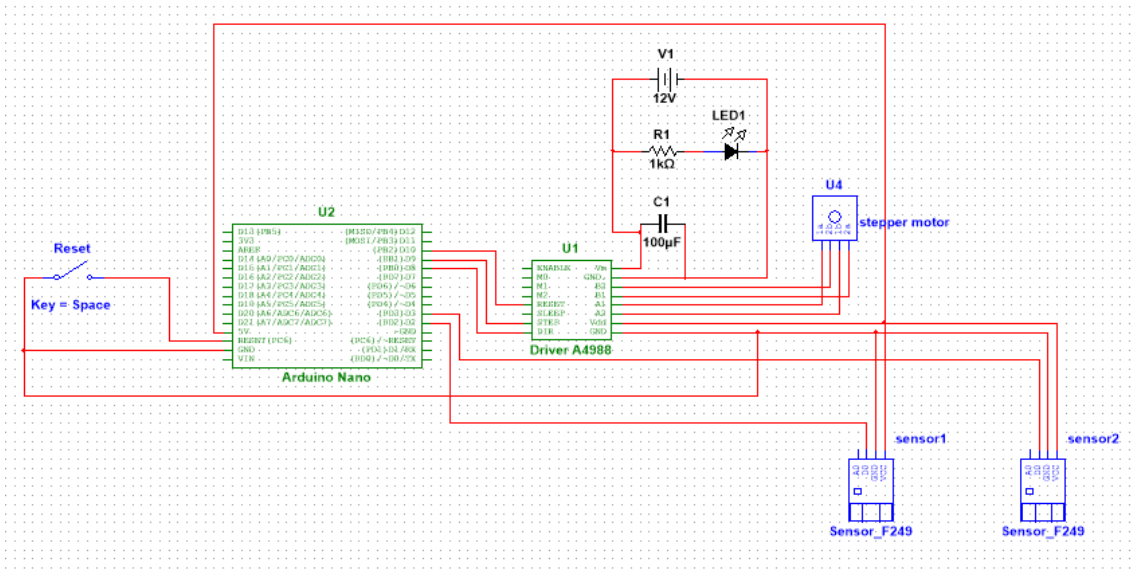


Figura 50. Diagrama esquemático.

5.9.1. Parámetros de Diseño de la Placa

Para el diseño y construcción de la placa se tiene que tomar en consideración varios aspectos; los cuales son necesarios para colocar el ancho correcto de pistas y no tener pérdidas innecesarias de corriente, para esto uno de los puntos principales es conocer el grosor de cobre que posee nuestra placa en este caso es de 1oz, también es necesario investigar la temperatura óptima de funcionamiento del driver que controla el motor, este valor se encuentra en la hoja de datos (-20 a 85 °C) se debe tomar un valor aproximado para dar un rango de emergencia en este caso será 75 °C, para las fórmulas existen valores de k_1 , k_2 , k_3 , cómo se trabaja con pistas externas estos valores son constantes establecidas, siendo $k_1=0.0647$, $k_2=0.4281$, $k_3=0.6732$ y el ultimo parámetro a considerar es el valor de la corriente el cual se obtiene simulando el circuito en cualquier software y colocando un amperímetro en las líneas de conexión, al simular esto se obtiene cuánta corriente circula y así poder variar nuestro ancho de pista dependiendo de los valores obtenidos.

5.9.1.1. Cálculo del Ancho de Pistas

$$I_{max} = 1A$$

$$L = \text{grosor del cobre} = 1oz$$

$$k_1 = 0.0647$$

$$k_2 = 0.4281$$

$$k_3 = 0.6732$$

$$\Delta T = \text{diferencia de temperatura}$$

$\Delta T = \text{temperatura máxima} - \text{temperatura ambiente}$

$$\Delta T = 75 - 25$$

$$\Delta T = 50$$

$$\text{Ancho} = \frac{\text{Area}}{L * 1.378} \quad (1)$$

$$\text{Ancho} = \left(\frac{I_{\text{max}}}{k_1 * (\Delta T * k_2)} \right) * \frac{1}{k_3} \quad (2)$$

Introducimos la ecuación 2 en la 1

$$\text{Ancho} = \left(\frac{I_{\text{max}}}{\frac{k_1 * (\Delta T * k_2)}{L * 1.378}} \right) * \frac{1}{k_3} \quad (3)$$

$$\text{Ancho} = \left(\frac{1}{\frac{0.0647 * (50 * 0.4281)}{1 * 1.378}} \right) * \frac{1}{0.6732}$$

$$\text{Ancho} = \frac{1.072}{1.378} = 0.77 \text{ mm}$$

Con los datos obtenidos y con la información de la propuesta del diseño se procede a diseñar el circuito obteniendo el resultado final.

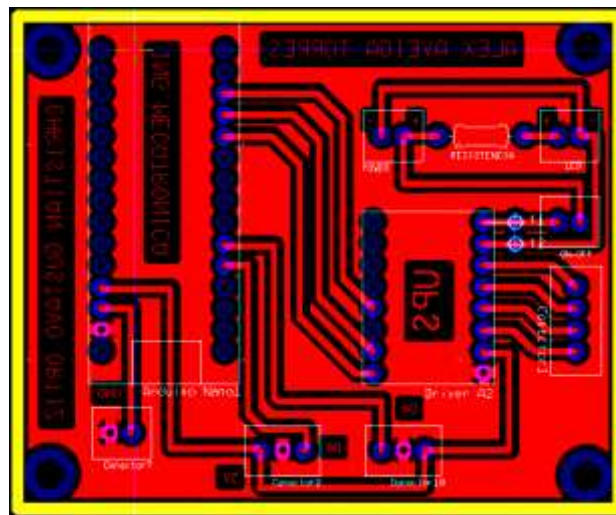


Figura 51. Diseño de la PCB.

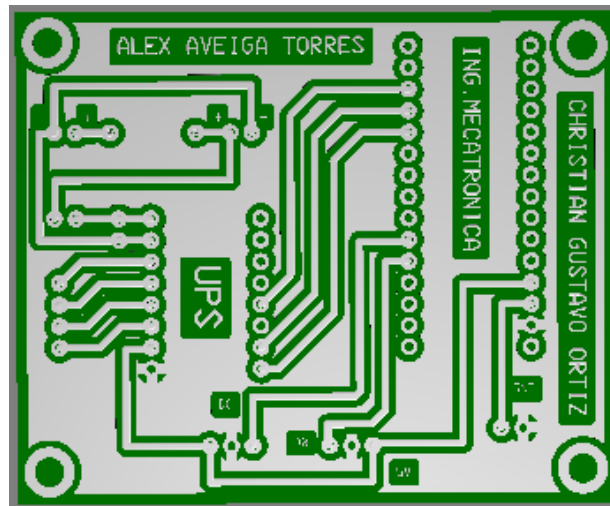


Figura 52. Simulación de la placa PCB.

El proceso por el cual se realizó la placa fue el de planchado, con el diseño impreso en papel de transferencia amarillo se aplica de dos a tres minutos el calor de la plancha a máxima temperatura, se lo deja enfriar, se retira el papel y como resultado final se obtiene una transferencia total del diseño, luego se coloca la placa en un recipiente con cloruro férrico el cual mediante una reacción química desprenderá el cobre que no forme parte del circuito.

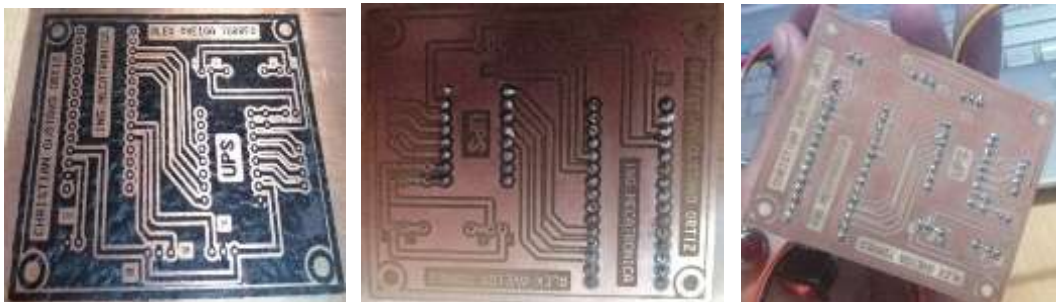


Figura 53. Placa Construida.

En estas imágenes se puede observar las fases por las cuales pasó la placa hasta obtener el resultado deseado.

6. ESTRUCTURA DEL SOFTWARE

6.1. Controlador del Sistema MRS

Se utiliza el propio lenguaje de Arduino para programar tarjetas, el cual está basado en Wiring y el cual a su vez también está basado en C y C++, cuenta con su propio software de programación llamado Arduino (IDE), este nos facilita la escritura de código y la carga en la placa, para empezar, debemos analizar y plantear cuál es el orden de transmisión y recepción de los datos para conseguir un proceso estable.

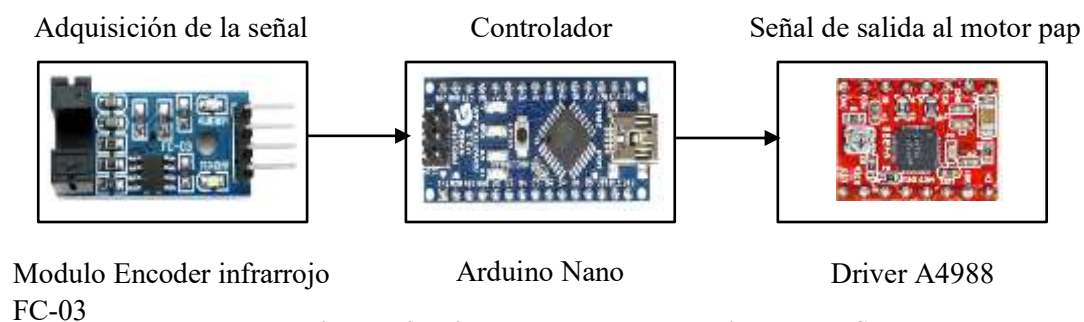


Figura 54. Diagrama de control del sistema MRS

Se utilizan los pines digitales D2 y D3 como salidas para los módulos encoder de esta manera se obtienen los resultados esperados, el primer sensor encoder permite establecer un punto cero fijo en el sistema y con el segundo se obtiene la velocidad en la corona.

7. CONTROLADOR DE LOS ELEMENTOS ELECTROMECAÑICOS

Establecer correctamente el VRef (voltaje de referencia) del Driver A4988 permite tener un desempeño correcto del motor y así no perder pasos, introducir incorrectamente este valor produce fallas tales como el calentamiento excesivo del driver. Se usan solo las salidas digitales del Arduino ya que éstas procesan de manera más rápida la información, para este caso se necesita de lecturas inmediatas.

A continuación, se observa una tabla con la conexión de los pines y su respectiva ubicación.

Tabla 12. Disposición de motor PaP en el driver

Motor PAP	Dispositivo electrónico	Tipo de salida
2B	Driver A4988	digital
2ª	Driver A4988	digital
1ª	Driver A4988	digital
1B	Driver A4988	digital

Tabla 13. Disposición de los pines de control del motor PaP.

Actuador	Entrada Digital	Microcontrolador
Dirección	D9-Step	Arduino Nano- Driver A4988
Pasos	D8-Dir	Arduino Nano Driver A4988

Tabla 14. Disposición de los sensores en el Arduino.

Encoder	Entrada Digital	Microcontrolador
Sensor 1	D2	Arduino Nano
Sensor 2	D3	Arduino Nano

7.1. Programación del Motor Paso a Paso en Arduino IDE

Mediante la programación en Arduino se controla la posición y velocidad, para que esta sea enviada correctamente al Motor PAP se debe tomar en cuenta los pines de DIR y STEP pertenecientes al driver A4988 los cuales controlan estos aspectos.

```
1 //Motor
2 const int dirPin = 8;
3 const int stepPin = 9;
4 const int reset = 10;
5
6 //Encoder
7 const int encoderD=2; //pin de conexión del encoder
8 const int encoderDD=3; //pin de conexión del encoder
9 long contador=0; //contador
10 long anterior=LOW; //variable para el estado anterior del encoder
11 long lectura=LOW; //lectura del encoder
12
13 unsigned long pasosvuelta;
14 long grados;
15 long grados2;
16 long grados3=0;
17 long grados4;
18 float grados1;
19 long grados5;
20 unsigned long rpms;
21 unsigned long pasos;
22 unsigned long retardo;
23 String mensaje = "";
24 float w;
25 float V;
26 float vueltas;
27 int contador1;
```

Figura 55. Declaración de variables.

```
30 //-----SETUP-----
31 void setup() {
32     //Motor
33     pinMode(dirPin, OUTPUT); //coloco el Pin de Dirección como salida
34     pinMode(stepPin, OUTPUT); //coloco el Pin de Step como salida
35     pinMode(reset, OUTPUT); //definimos reset como salida digital
36     pinMode(encoderD, INPUT);
37     pinMode(encoderDD, INPUT);
38
39     Serial.begin(9600);
40     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(encoderD), en, HIGH);
```

Figura 56. Configuración de los puertos.

```

140 void giro() {
141     Serial.print(",");
142     Serial.print("Colocar Grados");
143     Serial.print(",");
144     while (Serial.available() == 0) {}
145     mensaje = Serial.readString();
146     grados = mensaje.toInt();
147     grados2=grados-grados3;
148
149     if (grados2 >= 0){
150         grados1=grados2* (1);
151         grados4=grados* (1);
152         digitalWrite(reset, HIGH);
153         digitalWrite(dirPin, LOW);
154         //Serial.print(grados);
155         //Serial.print("\n");
156     }
157     else if (grados2 <= 0){
158         grados1=grados2* (-1);
159         grados4=grados* (1);
160         digitalWrite(reset, HIGH);
161         digitalWrite(dirPin, HIGH);
162         //Serial.print(grados);
163         //Serial.print("\n");
164     }
165     grados3=grados4;
166 }

```

```

88 pasos = (grados1*200)/360; //calculo la cantidad de pasos que tengo que enviar.
89 //Serial.print(",");
90 //Serial.print(pasos);
91 //Serial.print(" pasos a ");
92
93 retardo = 3000000/(rpms*200); //calculo el retardo segun las RPM indicadas.
94 //Serial.print(retardo);
95 //Serial.print(" uSeg\n");
96
97 for (int x = 0; x = pasos; x++) { //envio los pasos calculados con el retardo calculado
98     digitalWrite(stepPin, HIGH);
99     delayMicroseconds(retardo);
100     digitalWrite(stepPin, LOW);
101     delayMicroseconds(retardo);
102 }

```

Figura 57. Programación de las rutinas para que el motor genere las distintas posiciones.

```

168 void velocidad() {
169     Serial.print("Velocidad de giro");
170     Serial.print(",");
171     while (Serial.available() == 0) {}
172     mensaje = Serial.readString();
173     rpms = mensaje.toInt();
174     if (rpms == 0) {
175         Serial.print("ERROR X\n");
176         velocidad();
177     }
178     else {
179         //Serial.print(rpms);
180         //Serial.print(" RPM \n");
181     }
182 }

```

Figura 58. Programación de las rutinas para que el motor varié la velocidad.

7.2. Programación en LabVIEW para el control del motor PAP.

Para poder enviar las órdenes y que estas sean ejecutadas por el motor paso a paso se realizó la programación en LabVIEW, este software es recomendado para sistemas hardware, control y diseño, su aplicación en la industria acelera la productividad. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, el cual simboliza que es lenguaje gráfico [20].

7.2.1. Análisis de los bloques de programación en LabVIEW.

Se debe configurar correctamente LabVIEW para realizar el envío de datos mediante la comunicación serial.

En los siguientes puntos se analiza cada etapa del programa el cual se realizó para el control del motor paso a paso.

Se crea un ciclo de repetición colocando un White Loop, obteniendo una ejecución continua del código, internamente se realiza toda la programación, en loop condición colocaremos un control.

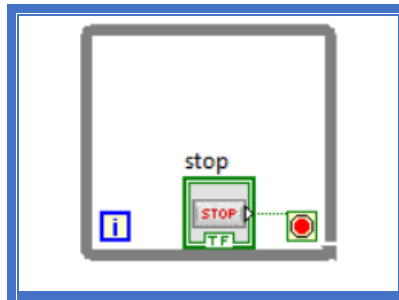


Figura 59. Pines seleccionados del Driver A4988 para trabajar.

Para poder realizar la comunicación lo primero que se debe hacer es configurar el bloque de VISA, se utiliza el tipo de puerto y la cantidad de baudios, estas opciones se configuran en el código de programación en Arduino.

Se usa el bloque de VISA configure serial port este se encuentra en Functions-Instrument I/O- Serial- VISA configure serial port.

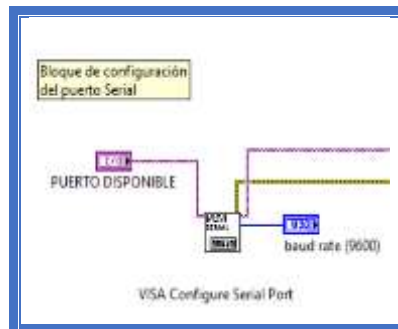


Figura 60. Pines seleccionados del Driver A4988 para trabajar.

El elemento VISA Write Function el cual es el encargado de leer la información que se digita o ingresa en LabVIEW y la envía por el puerto Serial hacia el controlador.

En el write buffer se ingresan los datos que se van a enviar.

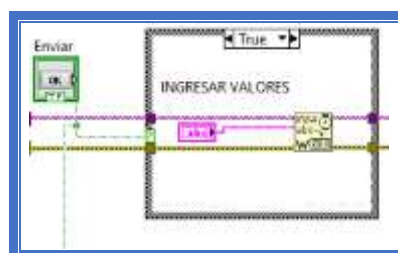


Figura 61. Pines seleccionados del Driver A4988 para trabajar.

El VISA Close Function se usa para cerrar la sesión de un dispositivo o evento especificado por VISA, es decir ayuda a cerrar la comunicación sin tener ninguna complicación ni error, también se utiliza el bloque de Simple Error Handler VI el cual indica si se ha producido un error opcionalmente muestra esta información en un cuadro de dialogo.



Figura 62. Pines seleccionados del Driver A4988 para trabajar.

Al colocar el Bytes at Port permite configurar los bytes del puerto serial, luego introducimos el bloque Read para la lectura de los datos recibidos, finalmente se coloca un comparador el cual servirá de condición para leer el buffer.

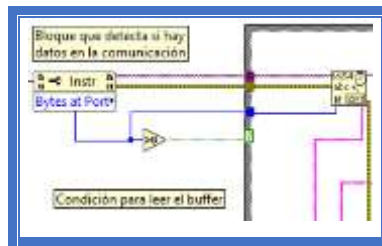


Figura 63. Pines seleccionados del Driver A4988 para trabajar.

Como cada carácter recibido tiene un código numérico se colocará un scan string una de las opciones que nos permite este bloque es ingresar un formato con el cual podremos tener una salida de valor número o de texto según lo que se esté intentando leer.

El bloque orden es un string colocado como indicador en este se leeran los datos.

Cada salida está colocada a un indicador y según el formato del string leeremos los datos en su respectivo orden, también se colocará unos bloques numéricos en los cuales se realizó operaciones para transformar los datos de velocidad.

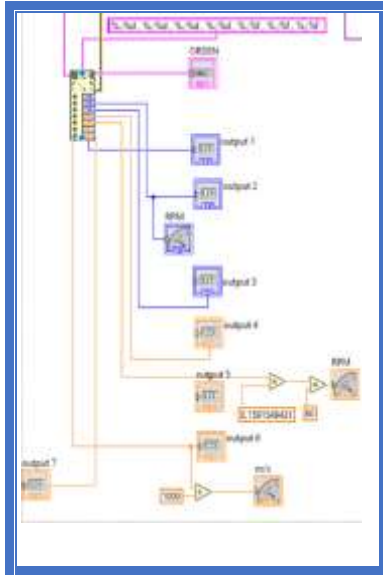


Figura 64. Pines seleccionados del Driver A4988 para trabajar.

Una vez configurado los bloques VISA para la lectura y escritura de datos se controla el motor paso a paso y a la vez obtiene la información que nos envía Arduino.

Por último, utilizando el play waveform se colocó un audio y un tono en formato Wav, el primero nos da la bienvenida al iniciar el sistema y el segundo nos avisa cada vez que se envía un dato a través del programa.

El diagrama de bloques final queda configurado de la siguiente manera.

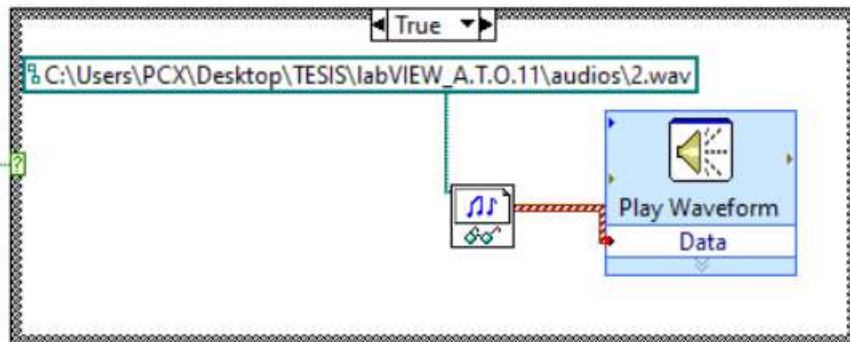


Figura 65. Bloque para agregar un audio

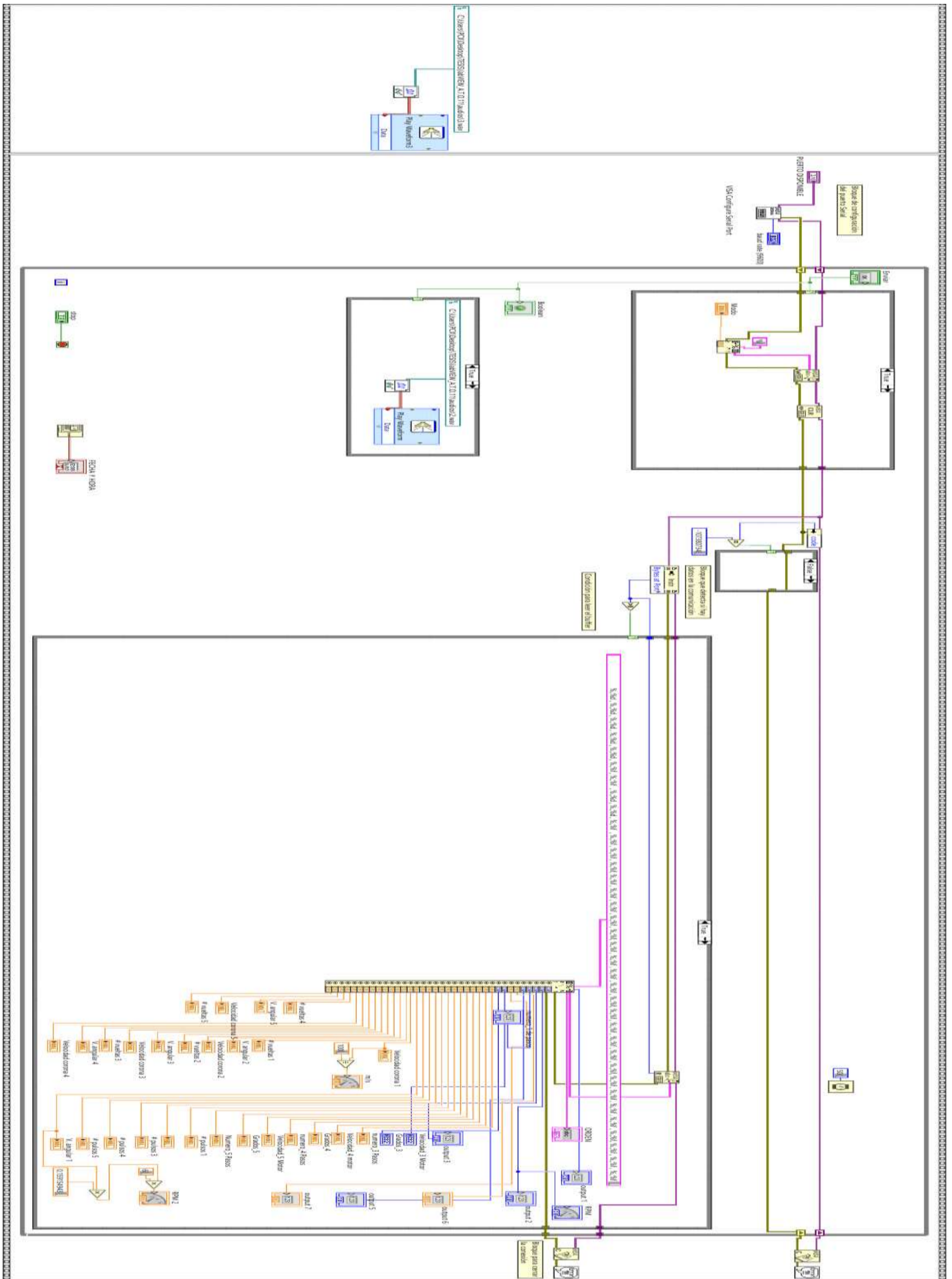


Figura 66. Diagrama de bloques general para el control del motor paso a paso.

En la interfaz gráfica se ingresan los valores de velocidad y número de grados, estos valores ubican el motor paso a paso a una posición asignada, también se visualizan los valores tanto de velocidad de la corona en m/s, velocidad angular en RPM, el número de vueltas y la velocidad del motor en RPM.



Figura 67. Interfaz gráfica en LabVIEW para la recepción de datos y control del sistema.

8. DIAGRAMA DE FLUJO

8.1. Diagrama de Flujo del sistema MRS

La lógica de programación se encuentra establecida en el diagrama de flujo de esta manera se observa cómo se procesan las señales para el funcionamiento del motor PAP.

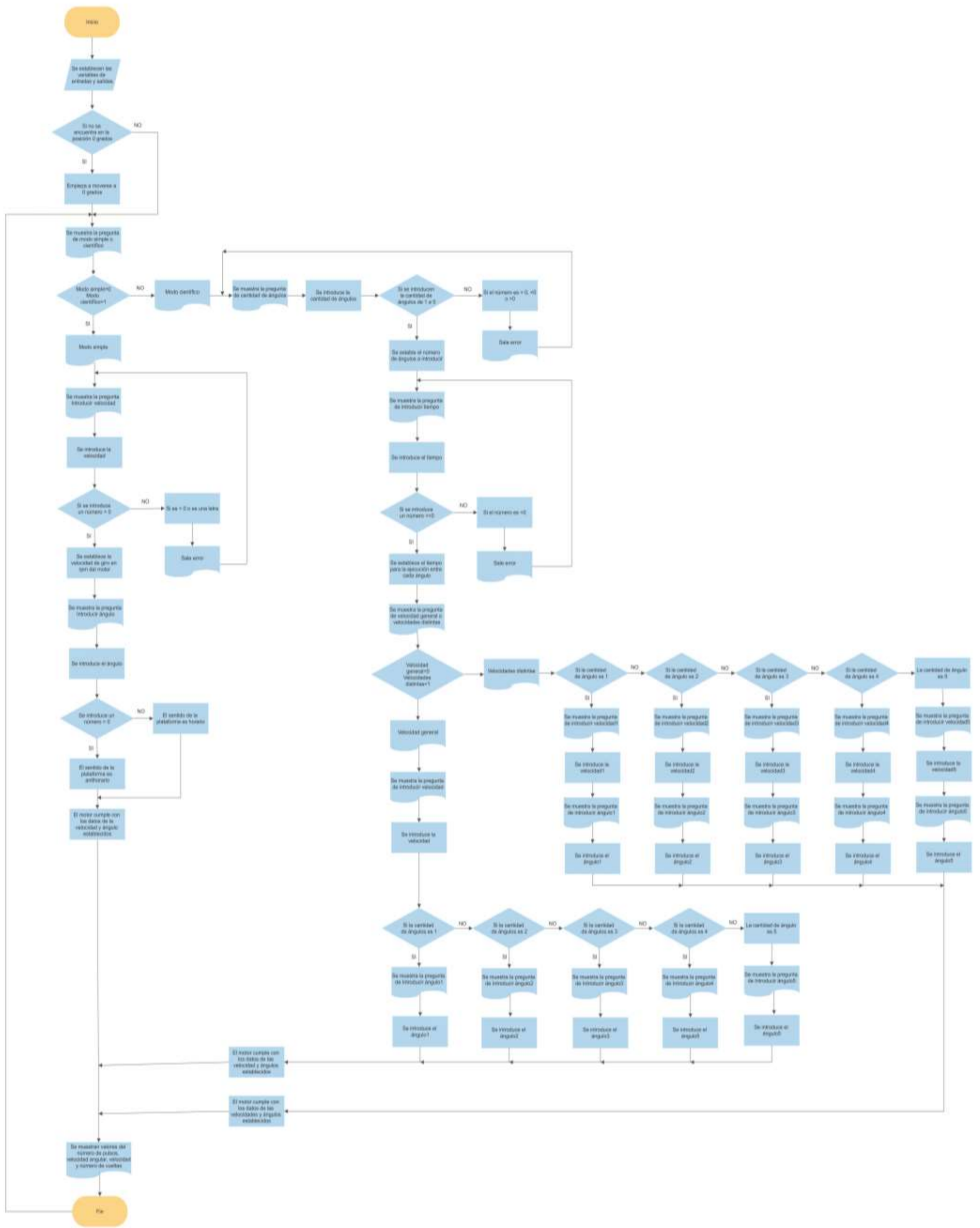


Figura 68. Diagrama de flujo del sistema RMS

9. RESULTADOS

Las pruebas realizadas para hallar el margen de error en el juego del tornillo sin fin y la corona fue de la siguiente manera se imprimió un graduador en una hoja A0 para poder observar que tanto cambiaba de posición.

Cuando el sistema gira varias veces en una dirección y se ubica en el mismo punto el error es del 0%, pero cuando debe girar al lado contrario el resultado del error es del 0.055% ya que existe un juego entre el tornillo y la corona.

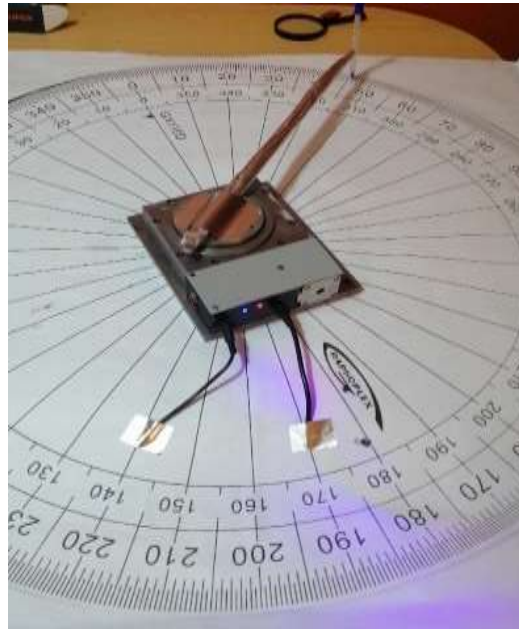


Figura 69. Gráfica del cálculo del margen de error.

Fórmula a usar para el margen de error es:

$$\% \text{ error} = \frac{(\text{valor aproximado} - \text{valor exacto})}{\text{valor exacto}} \times 100$$

$$\% \text{ error} = \frac{(360.2 - 360)}{360} \times 100$$

$$\% \text{ error} = 0.055\%$$

Tabla 10

Velocidades sugeridas	
Grados (°)	Velocidad (RPM)
1°-89°	150
90°	150-200
270°	200
360°	200

La Tabla 4 indica las velocidades sugeridas, estas son las que se deben usar para que el sistema funcione correctamente, estos datos se obtienen de las pruebas realizadas.

La fórmula que se usó para calcular el tiempo calculado en la Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13 fue: $t = \frac{\theta}{\omega}$

Tabla 11

MÍNIMA VELOCIDAD 150 rpm				
Grados	Tiempo calculado	Tiempo medido sin peso	Tiempo medido con 3kg	Tempo medido con 7.43 kg
45	4.99	5.01	5.1	5.8
90	9.99	10.03	10.06	10.53
135	14.99	15.36	15.5	15.55
180	19.99	19.9	19.98	20.04
225	24.99	24.25	24.7	24.74
270	29.99	29.37	29.43	29.45
315	34.99	34.03	34	34.14
360	39.99	39.58	39.79	39.98

Tabla 12

MÁXIMA VELOCIDAD 200 rpm				
Grados	Tiempo calculado	Tiempo medido sin peso	Tiempo medido con 3kg	Tiempo medido con 7.43 kg
45	3.75	4.7	4.76	4.77
90	7.5	8.17	8.32	8.43
135	11.25	11.85	11.92	11.93
180	15	15.31	15.44	15.89
225	18.75	18.86	18.92	18.98
270	22.5	22.51	22.57	22.75
315	26.25	26.75	27.01	27.15
360	30	30.77	31.07	31.66

Tabla 13

VELOCIDAD LÍMITE 300 rpm				
Grados	Tiempo calculado	Tiempo medido sin peso	Tiempo medido con 3kg	Tiempo medido con 7.43 kg
45	2.49	3.06	3.64	3.67
90	4.99	5.7	5.94	5.97
135	7.49	8.02	8.28	8.36
180	9.99	10.1	10.7	10.95
225	12.49	12.97	13.07	13.98
270	14.99	15.31	15.43	15.64
315	17.49	17.75	17.77	17.9
360	19.99	20.08	20.1	20.24

En la gráfica el tiempo aumenta cuando hay un mayor ángulo de desplazamiento, 300 RPM es una de las velocidades óptimas por eso se observa que mientras los valores se van acercando a esta velocidad el tiempo disminuye, lo que es lógico pues a más velocidad menos tiempo, La hoja de datos del motor indica que la velocidad de trabajo normal es de 200 rpm, pero se puede llegar a trabajar con 300 rpm que es la velocidad máxima que soporta el motor.

Para calcular cada tiempo se obtuvieron 7 muestras y luego un promedio: tiempo promedio = $\frac{n1+n2+...+n7}{7}$

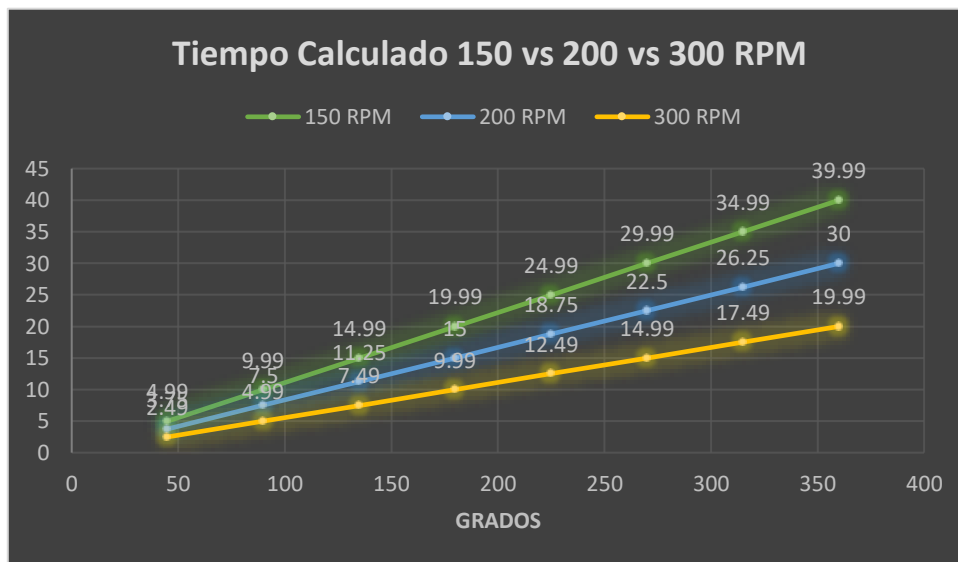


Figura 70. Gráfica del tiempo calculado

Sin aplicar una carga al mecanismo y a medida que mayor es al ángulo de desplazamiento el tiempo aumenta, notamos también que entre 150 RPM y 200 RPM al completar los 360 grados hay una diferencia de 8,58 s. y también se observa que el tiempo disminuye a medida que se llega a la velocidad óptima de funcionamiento que en este caso sería 300 rpm.

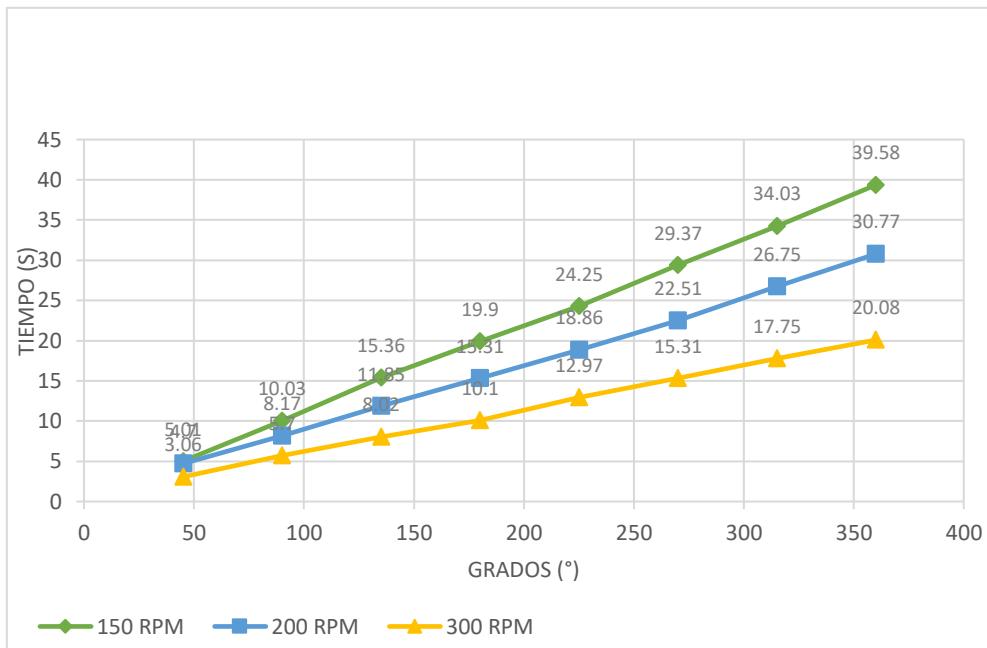


Figura 71. Gráfica del tiempo sin peso.

En la gráfica se puede observar que sin aplicarle una carga al mecanismo a medida que mayor es el ángulo de desplazamiento el tiempo aumenta, se nota también que entre 150 RPM y 200RPM que son velocidades óptimas de funcionamiento al completar los 360 grados hay una diferencia de 8,58 s.

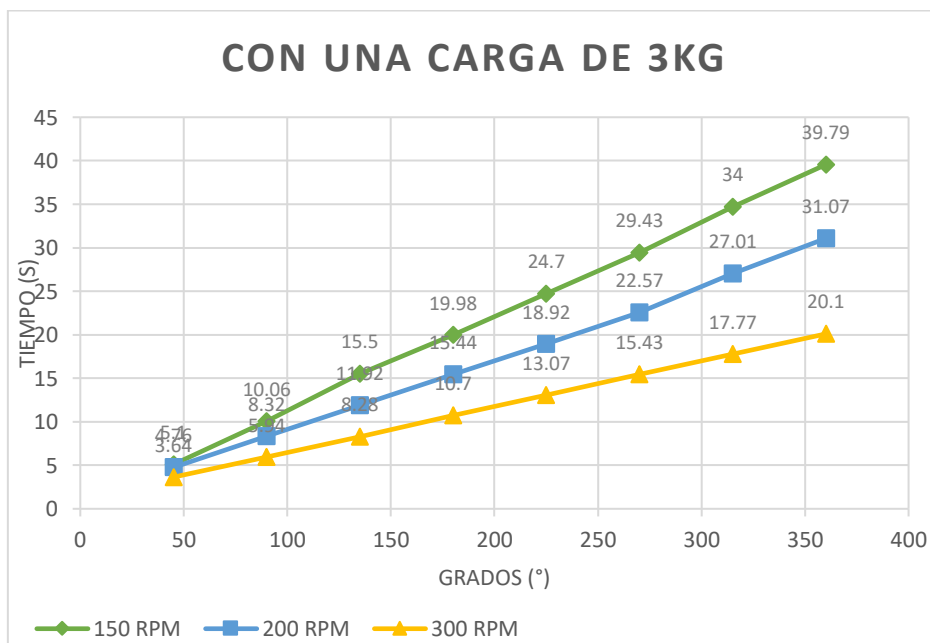


Figura 72. Gráfica del tiempo de 3kg.

Con un peso de 3kg el tiempo ha sufrido una ligera variación, en la anterior gráfica vemos que la tendencia se mantiene a mayor desplazamiento angular mayor es el tiempo, tomando en cuenta las velocidades óptimas al completar una vuelta la diferencia entre las dos es menor siendo esta de 8,48s.

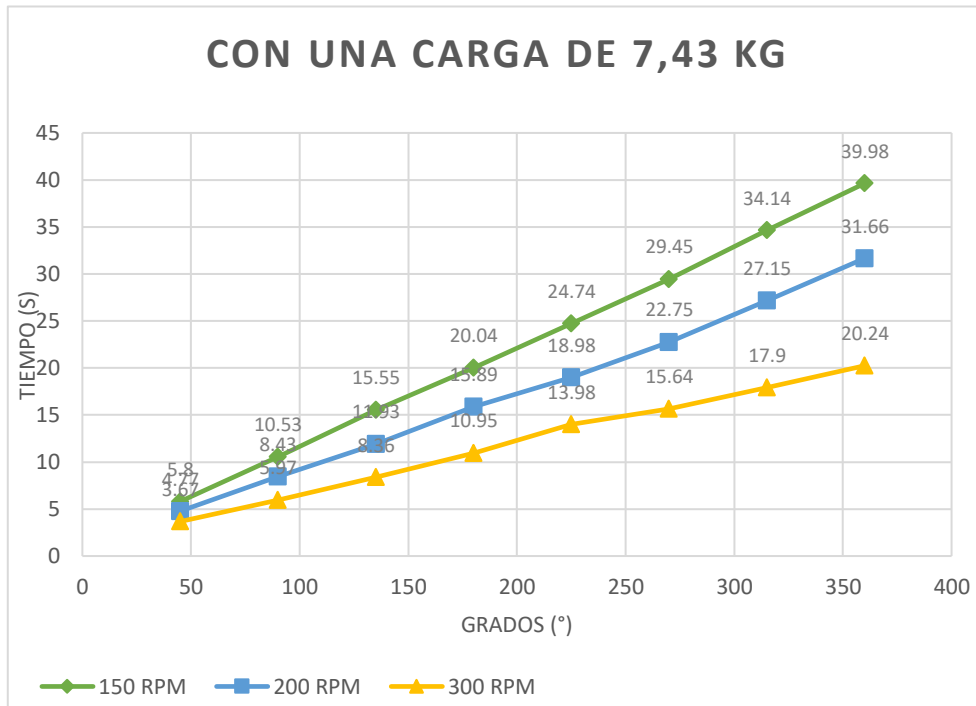


Figura 73. Gráfica del tiempo de 7.43 kg.

Fuera del rango de peso, se realizaron pruebas de funcionamiento las cuales muestran que la tendencia se mantiene, la diferencia entre las velocidades óptimas al completar una vuelta disminuye pasando a ser 7,97s.

Valores de variabilidad

Tabla 14

MÍNIMA VELOCIDAD 150 rpm			
Tiempo calculado	Tiempo medido sin peso	Tiempo medido con 3kg	Tiempo medido con 7.43 kg
5	5.02	4.96	4.73
5	5.33	5.44	5.02
5	4.54	4.48	4.49
5	4.35	4.72	4.7
5	5.12	4.73	4.71
5	4.66	4.57	4.69
5	5.55	5.79	5.84
Diferencia	Diferencia	Diferencia	Diferencia
0	2.41	3.1	3.35

Tabla 15

MÁXIMA VELOCIDAD 200 rpm			
Tiempo calculado	Tiempo medido sin peso	Tiempo medido con 3kg	Tempo medido con 7.43 kg
3.75	3.47	3.56	3.66
3.75	3.68	3.6	3.5
3.75	3.46	3.52	3.96
3.75	3.55	3.48	3.09
3.75	3.65	3.65	3.77
3.75	4.24	4.44	4.4
3.75	4.02	4.06	4.51
Diferencia	Diferencia	Diferencia	Diferencia
0	0.78	0.96	1.42

Tabla 16

VELOCIDAD LÍMITE 300 rpm			
Tiempo calculado	Tiempo medido sin peso	Tiempo medido con 3kg	Tempo medido con 7.43 kg
2.5	2.64	2.3	2.3
2.5	2.32	2.34	2.39
2.5	2.08	2.42	2.59
2.5	2.87	2.37	3.03
2.5	2.34	2.36	1.66
2.5	2.44	2.34	2.26
2.5	2.33	2.33	2.34
Diferencia	Diferencia	Diferencia	Diferencia
0	0.79	0.12	1.37

Gráficas de los valores de variabilidad con una velocidad de 150 rpm

El cálculo de la variabilidad permite saber en qué puntos existen variaciones en el sistema, es decir en que cada instante de tiempo se puede presentar un error los cuales pueden ser generados por la manufactura de la parte mecánica entre otros tales como: lubricación o desgaste y en la parte electrónica debido a la pérdida de pasos en el motor.

Fórmula a usar para los datos de variabilidad: $\text{variabilidad} = (\text{tiempo2} - \text{tiempo1})$

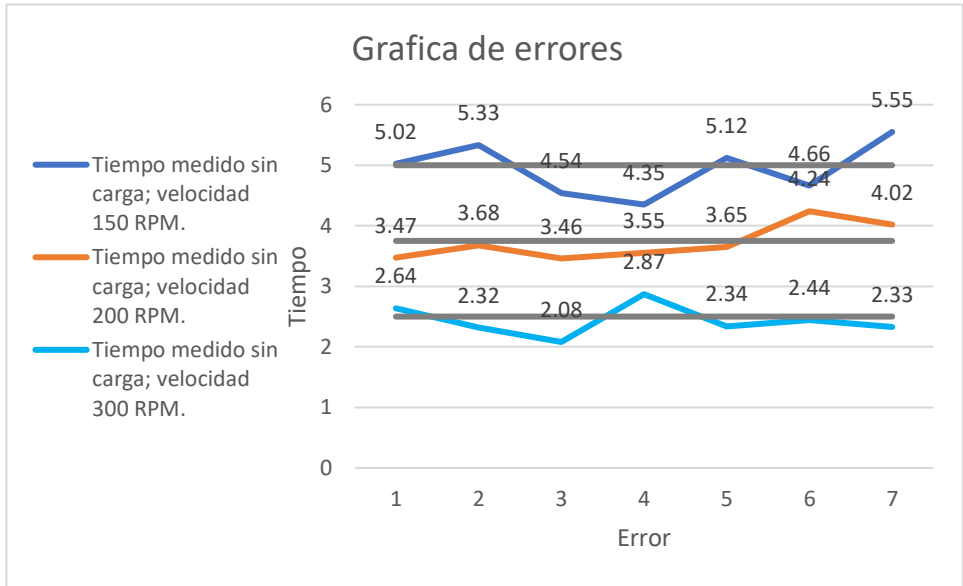


Figura 74. Gráfica del error sin carga.

En esta gráfica se observa la variabilidad del tiempo a diferentes velocidades con cargas distintas en línea oscura se presenta el tiempo calculado lo cual nos sirve para observar de mejor manera los errores en las gráficas. La fórmula que se usó para el tiempo calculado fue: $t = \frac{\theta}{\omega}$

Los picos en la gráfica se toman como errores que se han suscitado en el transcurso de las diferentes pruebas ya que al tomar los tiempos se utilizó un cronómetro el cual se debía pausar cada vez que el plato gire 360 grados, además de las diferentes fallas en el mecanismo tanto en la parte electrónica como mecánica por fallas ya mencionadas en los anteriores puntos, se debe mencionar que dicho error es casi imperceptible ya que es del 0,002% para 3kg y 0.005% para 7.43 kg.

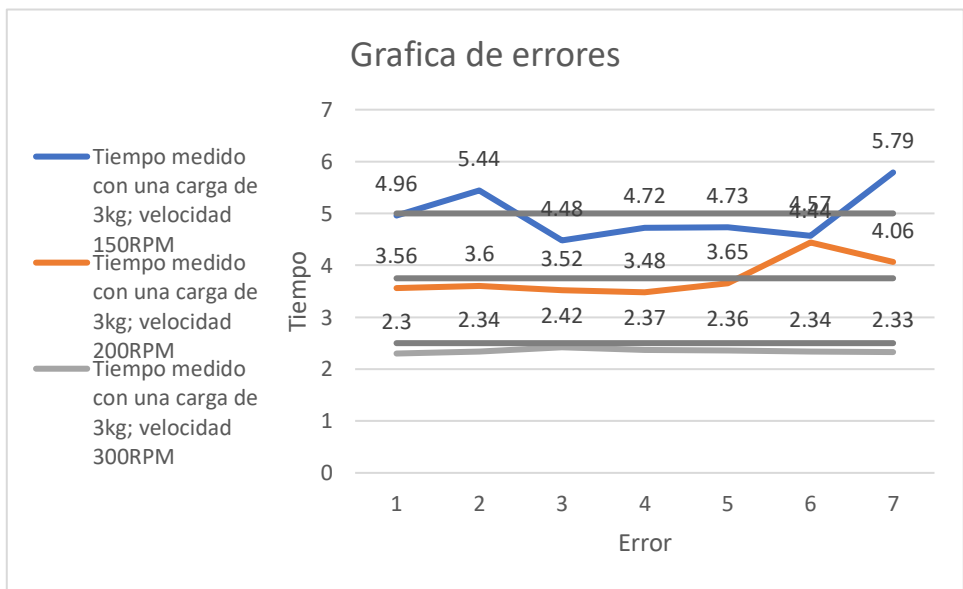


Figura 75. Gráfica del error con 3 kg.

Las líneas rectas son los valores calculados estos marcan una tendencia exacta, mientras que los datos ingresados para las diferentes velocidades con un peso de 3kg muestran variaciones donde resalta la tercera curva la cual es casi exacta esto es debido a que el sistema se diseñó para funcionar bajo esas condiciones y variables.

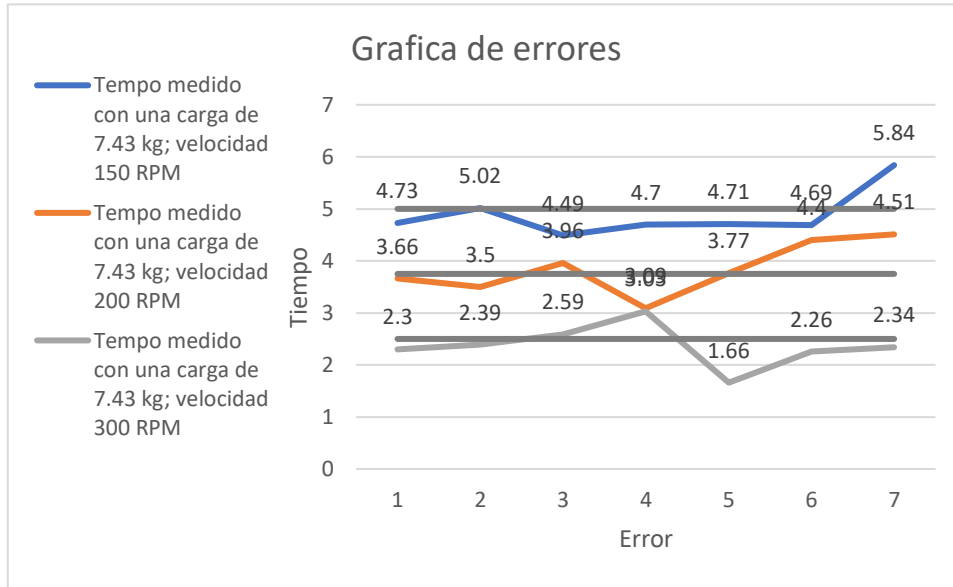


Figura 76. Gráfica del error con 7.43 kg.

9.1. Costos de manufactura

Los valores se colocaron al empezar el proyecto, el estado del arte permitió conocer qué dispositivos y mecanismos se necesitan y proponer costos reales.

Campo	Gastos totales en cada campo
Electrónica	\$68.14
Mecánica	\$ 744

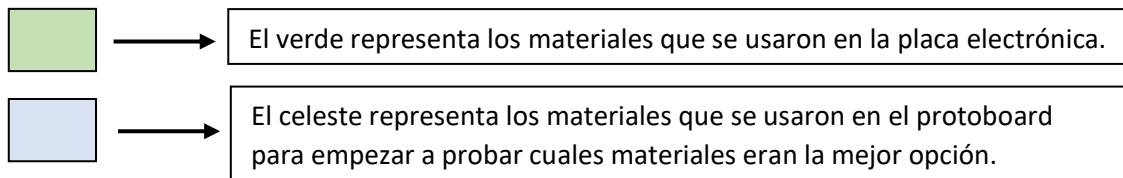


Tabla 15. Análisis de costos del sistema MRS

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio total (\$)
1	Motor paso a paso marca NEMA Fuerza: 3.2kg Amperio: 1.7 A	1	\$24.90	\$24.90

	Número de serie: 42HB34F08AB			
2	Motor paso a paso 28BYJ-48 de 5V	1	\$4	\$4
3	Arduino nano	1	\$7.50	\$7.50
4	Integrador L293D	1	\$2.50	\$2.50
5	Driver A4988	1	\$6.16	\$6.16
6	Diodos 1N4007	10	\$0.10	\$1
7	Crystal 16MHz	1	\$0.60	\$0.60
8	Resistencias 330 ohm	3	\$0.03	\$0.09
9	Resistencias 1K	3	\$0.03	\$0.09
10	Condensadores 22pF	2	\$0.10	\$0.20
11	Condensadores 470nF	2	\$0.40	\$0.80
12	Condensadores 10nF	2	\$0.10	\$0.10
13	Condensador de 100uF, 16V	1	\$0.10	\$0.10
14	Peinetas de 40 pines macho	1	\$1	\$1
15	Socket de 40 pines	1	\$0.30	\$0.30
16	Placa de fibra de vidrio doble cara de 10x10 cm	1	\$1.75	\$1.75
17	Switch pequeño de un solo estado	1	\$0.45	\$0.45
18	Switch pequeño off-on	1	\$0.40	\$0.40
19	Sensor encoder FC-03	1	\$2.50	\$2.50
20	Cables jumper 10 cm	20	\$0.10	\$2
21	Cables jumper 20 cm	10	\$0.15	\$1.50
22	Cables siliconados 2m	1	\$0.80	\$0.80
23	Fuente Adaptador de Poder 12 voltios 1 amperios	1	\$5	\$5
24	Carrete de estaño	1	\$2.50	\$2.50
25	Crema para soldar	1	\$1.50	\$1.50
26	Diodos LED	4	\$0.10	\$0.40
27	Construcción de la caja reductora	1	\$744	\$744
28	Mano de obra	2	\$250	\$250
TOTAL				\$1062.14

El costo final de todo el proyecto sobre este prototipo ha sido de \$1062.14, este trabajo de investigación podría considerarse competitivo con las grandes marcas, sus precios más bajos son de \$1000, los más altos llegan hasta \$5000, el valor del sistema MRS (motorized rotation stage) construido para el grupo de investigación GIIIB en futuras versiones puede disminuir ya que este solo es un prototipo.

10. DISCUSIÓN

En la figura 4 se tomó los tiempos a diferentes velocidades y ángulos, al desarrollar este experimento no se le colocó ningún peso, los resultados permitieron observar que a medida que la velocidad aumenta el tiempo de desplazamiento angular disminuye notablemente una media de 8.58s sin peso a una velocidad de 300 RMP.

En la figura 5 y 6 se le coloca diferentes pesos y se realiza pruebas de desplazamiento a diferentes ángulos en donde se observa una similitud con el análisis de la figura 4, a mayor velocidad el tiempo disminuye así estos tengan una carga aplicada, 8.48s con 3kg a una velocidad de 300 RPM y 7.97s con 7.43 kg a una velocidad de 300 RPM.

En la figura 7 se analiza los datos de tiempo para sacar una variabilidad entre ellos, estos datos nos permitirán obtener el margen de error en el sistema ya que las variaciones en el tiempo pueden significar pequeños fallos en la manufactura del mecanismo o en la parte electrónica se podría dar la pérdida de pasos en el motor paso a paso, observamos variaciones cuando no tiene carga y a una velocidad de 200RPM el mecanismo presenta un óptimo funcionamiento, tenemos presente una variación en el tiempo de 1.53s.

Para la figura 8 se puede observar algo distinto, con 3kg y a una velocidad de 200 RPM la gráfica es casi parecida a la del tiempo calculado el error es muy cercano a cero, ya que el sistema fue diseñado para mover este peso y la velocidad es la óptima para el funcionamiento, la variación de velocidades nos da un aproximado de 1,73 s con 3kg.

En la figura 9 es donde más márgenes de error podemos observar esto se da porque el sistema está trabajando en condiciones para el cual no fue diseñado por ejemplo el peso y a una velocidad de 150 RMP es en donde más estable se encuentra, presenta una variación en los cambios de velocidades aproximada de 1,33 s con 7.43kg.

11. CONCLUSIONES

Se evaluó la parte mecánica que genera el movimiento en los sistemas MRS de las marcas mas conocidas por lo que se decidió usar el tornillo sin fin-corona esto nos permitió conseguir una alta reducción de velocidad al ser este un sistema de transmisión irreversible.

En base a la potencia seleccionamos el motor paso a paso al no encontrar uno con las características deseadas se opto por utilizar el Nema 17 el cual esta sobredimensionado para el sistema, pero se utilizó por ser el más accesible y permitir mover los tres kilogramos.

La corona esta construida de bronce ya que su límite elástico es de 103 MPa el cual es mayor al esfuerzo cortante calculado de 85.17 MPa.

El tornillo sin fin es de acero 705 ya que su límite elástico es de 855 MPa el cual es mayor al esfuerzo calculado de 122.92 MPa, posterior a identificar esto se dimensiona la carcasa y se colocan los elementos de sujeción.

El resultado para hallar el porcentaje de error cuando el sistema gira en una sola dirección es del 0%, este varía cuando el sistema debe girar al lado contrario ya que entre la corona y el tornillo sin fin existe juego dando como resultado un 0.055% de error.

Se utilizó el driver A4988 ya que puede soportar corrientes de hasta dos amperios y su etapa de potencia se alimenta con 12 voltios, para la comunicación serial se realizó mediante el arduino nano porque tiene incorporado el chip FT232RL para la conexión USB permitiendo la transferencia de datos sin interrupciones, estos dos componentes permitieron reducir el tamaño de la placa electrónica.

Se realizó la interfaz y el control del sistema en LabVIEW el cual nos permitió a través de la configuración del puerto serial seleccionar la velocidad de transferencia de datos de 9600 Hz, siendo este un valor estándar adecuado para la comunicación entre la PC y el arduino.

12. RECOMENDACIONES

El driver A4988 no es el único driver disponible para usar en este tipo de proyectos también está el driver DRV8825 que es un poco mejor, cuenta con una configuración más para los micro pasos, aguanta un poco más de amperaje, pero si en algún momento se llega a cambiar la placa electrónica y se reemplaza el motor nema 17 por uno que sea muchísimo mejor se debería considerar el DVR8825 para evitar problemas en esos cambios.

Si se reemplaza el motor por uno mejor se debe tener en cuenta el material de la corona y el esfuerzo máximo al que está sometido hasta que se quiebren los dientes ya que el motor podría llegar a girar demasiado rápido y más el peso que este moviendo en la plataforma podrían llegar a quebrar los dientes.

La lubricación del sistema de transmisión es con grasa y no con aceite porque la caja no es impermeable habría fugas de aceite y no serviría de nada ese tipo de lubricación si a cada rato se tendría que aplicar aceite.

No se debe exagerar en colocar pesos superiores a los 11 kg ya que, si el sistema llegase a mover pesos como 20 kg, 25 kg, etc. puede que al comienzo no haya problema, pero con el tiempo de un momento a otro el sistema se esforzaría más de lo normal reduciendo su vida útil muy rápido y llegando a romperse la corona.

La interfaz con lo que se controla la caja reductora es LabVIEW pero no es una interfaz fija para controlar el sistema, cualquier software que este hecho para recibir y enviar datos mediante la conexión serial puede llegar a servir como el Hércules Setup utility.

La caja al comienzo se rectificó para que tenga un mejor acabado pero hay que tener mucho cuidado ya que se debe lubricar toda la estructura externa para que no se oxide lo cual el error que se cometió fue no lubricar la caja lo suficiente, se decidió pintarla para no tener problema con el óxido, si se desea pintar la caja en un futuro los tipos de

pintura serian la pintura sintética que seca rápido o la pintura automotriz que es de mejor calidad que la sintética pero demora un poco más en secar para ambos tipo de pintura se usa una pistola de aerosol.

13. TRABAJOS FUTUROS

El sistema se puede llegar a mejorar mucho más ya que no se trabajó con micropasos las mejoras que podrían hacerse al empezar a trabajar con micropasos sería que las vibraciones que causa el motor al moverse sería casi imperceptibles ya que al aumentar la cantidad de pasos con los micropasos en una vuelta los movimientos del motor se hacen más fluidos y más precisos, también al hacer la conversión de los pasos que genera el motor a un grado de exactitud combinado con los micro pasos podrían llegar hacerse un sistema mucho más pequeño en lo que concierne la geometría del sistema de transmisión y si eso se puede reducir también la caja reductora que lo contiene.

14. REFERENCIAS

[1] www.facebook.com/mecafenix, "Motor paso a paso ¿Qué es y cómo funciona? - Ingeniería Mecafenix," 20-Apr-2017. [Online]. Available: <https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/motor-paso-a-paso/>. [Accessed: 18-Apr-2022].

[2] "Selection guide for stepper motors," Motion Control Products, 18-Oct-2018. [Online]. Available: <https://www.motioncontrolproducts.com/applications/selection-guide-for-stepper-motors/>. [Accessed: 18-Apr-2022].

[3] "SENSOR ÓPTICO DE HERRADURA," Hetpro-store.com. [Online]. Available: <https://hetpro-store.com/par-optico-deherradura/>. [Accessed: 18-Apr-2022].

[4] P. Landín, "Tornillo sin fin: descripción y aplicaciones," Blogspot.com. [Online]. Available: <https://pelandintecno.blogspot.com/2018/02/tornillo-sin-fin-descripcion-y.html>. [Accessed: 18-Apr-2022].

[5] Wikipedia contributors, "Driver (circuito)," Wikipedia, The Free Encyclopedia. [Online]. Available: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Driver_\(circuito\)&oldid=135481622](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Driver_(circuito)&oldid=135481622).

[6] Coldfire-electronica.com. [Online]. Available: <https://coldfire-electronica.com/esp/item/327/6/driver-controlador-de-motor-a-pasos-a4988>. [Accessed: 18-Apr-2022].

[7] Wikipedia contributors, "LabVIEW," Wikipedia, The Free Encyclopedia. [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=LabVIEW&oldid=142702785>.

[8] "LabVIEW," Unican.es. [Online]. Available: <https://sdei.unican.es/Paginas/servicios/software/Labview.aspx>. [Accessed: 18-Apr-2022].

[9] Hispasec, "Grave vulnerabilidad en LabVIEW será finalmente parcheada," Una al Día, 04-Sep-2017. [Online]. Available: <https://unaaldia.hispasec.com/2017/09/grave-vulnerabilidad-en-labview-sera-finalmente-parcheada.html>. [Accessed: 18-Apr-2022].

- [10] "Elsys Instrument Driver for NI LabVIEW." [Online]. Available: https://www.elsys-instruments.com/en/support/labview_instrument_driver.php. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [11] Wikipedia contributors, "Rotary stage," Wikipedia, The Free Encyclopedia, 18-Feb-2019. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Rotary_stage&oldid=883865186.
- [12] "Motorized rotation stage - motorized positioners & controllers - catalog - opto-mechanical products - standa," Standa.lt. [Online]. Available: http://www.standa.lt/products/catalog/motorised_positioners?item=68. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [13] "Rotation stage of big platform ('precision pizza') - translation & rotation stages - catalog - opto-mechanical products - standa," Standa.lt. [Online]. Available: http://www.standa.lt/products/catalog/translation_rotation?item=58. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [14] "Motorized rotation stage," Kohzuprecision.com. [Online]. Available: <https://www.kohzuprecision.com/products/positioning-stages/rotation%20stage/motorized-rotation-stage/product/537/4/RA05A-W02/1731/>. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [15] "Zaber technologies," Zaber.com. [Online]. Available: <https://www.zaber.com/about>. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [16] "Zaber technologies," Zaber.com. [Online]. Available: <https://www.zaber.com/products/rotary-stages/X-RSW-E>. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [17] "IntelliDrives-linear actuator, XY table, rotary table," Intellidrives.com. [Online]. Available: <https://www.intellidrives.com/index.php>. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [18] "Rotary table RTLA-60-200H," Intellidrives.com. [Online]. Available: <https://www.intellidrives.com/rotary-actuators-c-161.html/Rotary-Table-RTLA-60-200H>. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [19] "Über uns - Die Firma CNC-STEP aus Geldern am Niederrhein," CNC-STEP.de - CNC Maschinenbau und Permafrosten Hersteller. [Online]. Available: <https://www.cnc-step.de/ueber-uns/>. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [20] SottMedia, "RounDINO 120," CNC-STEP.com - CNC Machine Manufacturer, 19-Aug-2016. [Online]. Available: <https://www.cnc-step.com/rotation-axis-roundino-120/>. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [21] www.9xb.com, "Acerca de," Kitagawa.global. [Online]. Available: <https://www.kitagawa.global/es/about>. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [22] www.9xb.com, "TMX160," Kitagawa.global. [Online]. Available: <https://www.kitagawa.global/es/products/nc-rotary-tables/4th-axis-rotary-tables/tmx160>. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [23] "Company group," Föhrenbach. [Online]. Available: <https://foehrenbach.com/en/company/company-group/>. [Accessed: 18-Apr-2022].

- [24] "Rotary tables with worm gear series RT1A," Föhrenbach. [Online]. Available: <https://foehrenbach.com/en/products/rotary-tables-and-rotation-axis/59/rotary-tables-with-worm-gear-series-rt1a>. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [25] J. Arnedo, "DRIVER A4988 + NEMA 17, CALIBRAR DRIVER Y CONEXIONES," Proyectos maker, 03-Jan-2018. [Online]. Available: <http://www.javierarnedo.com/driver-a4988-nema-17-ajuste-voltaje-referencia/>. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [26] R. G. Budynas y J. Keith, "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley", 9na. Ed., McGraw-Hill Educación, 2012, pp. 670.
- [27] "Elementos de los engranajes cilíndricos de dientes rectos - 483 - Cálculo. Elementos de Máquinas," Google.com. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/483calcelementosdemaquinas/elementos-de-los-engranajes-cilindricos-de-dientes-rectos>. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [28] R. G. Budynas y J. Keith, "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley", 9na. Ed., McGraw-Hill Educación, 2012, pp. 671.
- [29] R. G. Budynas y J. Keith, "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley", 9na. Ed., McGraw-Hill Educación, 2012, pp. 650.
- [30] J. Arroyave, C. Romero y C. Montilla, "Ingeniería inversa de un reductor de tornillo sinfín - corona ", vol. 52, pp. 206, Diciembre 2012.
- [31] Universidad De Los Andes. (2010), "TORNILLOS DE POTENCIA", [Online]. Available: <https://docplayer.es/14077816-Tornillos-de-potencia.html>
- [32] N. I. Koshkim, M. G. Shirkévich, "Manual de física elemental ", Moscú: Editorial Mir, 1975.
- [33] SyB Ingeniería. (2022), "Diseño de reductores de velocidad [Parte 2]: Análisis de fuerzas en engranes". [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=3yFrlpsz8mY>
- [34] R. G. Budynas y J. Keith, "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley ", 9na. Ed., McGraw-Hill Educación, 2012, pp. 688.
- [35] J. Arroyave, C. Romero y C. Montilla, "Ingeniería inversa de un reductor de tornillo sinfín - corona ", vol. 52, pp. 208, Diciembre 2012.
- [36] R. G. Budynas y J. Keith, "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley", 9na. Ed., McGraw-Hill Educación, 2012, pp. 685.
- [37] P. Ñauta, C. Riera, "Caracterización de propiedades mecánicas de los aceros para construcción de maquinaria que se comercializan en el Ecuador ", pp. 37, Enero 2015.
- [38] Inge mecánica, "Propiedades de los Materiales", Ingemechanica.com, 2022. [Online]. Available: <https://ingemechanica.com/tutoriales/materiales.html>.
- [39] "Trabajo de Metrología R," Xdocs.pl. [Online]. Available: <https://xdocs.pl/doc/trabajo-de-metrologia-r-dokmgerekjny>. [Accessed: 18-Apr-2022].

- [40] "COJINES DE CONTACTO RODANTE Rodamientos. Descripción y Selección," Slideplayer.es. [Online]. Available: <https://slideplayer.es/slide/5543486/>. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [41] "6.1.3.- Soporte: cojinetes y rodamientos," Xunta.gal. [Online]. Available: https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/613_soporte_cojinetes_y_rodamientos.html. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [42] "Rodamientos de bolas," Proveedor y fabricante de piezas y componentes metálicos, 14-Nov-2017. [Online]. Available: <https://jgautomotive.com/portfolio/rodamientos-de-bolas/>. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [43] L. R. José, "RODAMIENTO (balero)," Como Funciona | Explicaremos hasta cosas que NO existen!, 30-May-2020. [Online]. Available: <https://como-funciona.co/rodamiento-balero-o-cojinete/>. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [44] SKF, "Rodamientos," SKF, Octubre-2015, p. 326.
- [45] SKF, "Rodamientos," SKF, Octubre-2015, p. 268.
- [46] SKF, "Rodamientos," SKF, Octubre-2015, p. 269.
- [47] SKF, "Rodamientos," SKF, Octubre-2015, p. 71.
- [48] SKF, "Rodamientos," SKF, Octubre-2015, p. 74.
- [49] SKF, "Rodamientos," SKF, Octubre-2015, p. 66.
- [50] Redacción, "Arduino Nano Pinout Funciones, Características y Donde Comprar," Descubrearduino.com, 26-Dec-2018. [Online]. Available: <https://descubrearduino.com/arduino-nano-pinout/>. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [51] "Sensor Encoder Infrarrojo FC-03 (MOCH22A)," Naylamp Mechatronics - Perú. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/240-sensor-encoder-infrarrojo-fc-03-moch22a.html>. [Accessed: 18-Apr-2022].
- [52] "A4988 pdf, A4988 Description, A4988 Datasheet, A4988 view :: ALLDATASHEET ::," Alldatasheet.com. [Online]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/338780/ALLEGRO/A4988.html>. [Accessed: 18-Apr-2022].

ANEXOS I

Tabla 6. Propiedades mecánicas de los aceros de aleación.

Número SAE/AISI	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in	Dureza Brinell o Rockwell
		kpsi	Mpa	kpsi	Mpa	%	
1340	recocido	63	434	102	703	25	204HB
	templado y revenido	109	752	125	862	21	250HB
4027	recocido	47	324	75	517	30	150HB
	templado y revenido	113	779	132	910	12	264HB
4130	recocido a 1450 °F	52	359	81	558	28	156HB
	normalizado a 1650 °F	63	434	97	669	25	197HB
	templado y revenido a 1200 °F	102	703	118	814	22	245HB
	templado y revenido a 800 °F	173	1193	186	1282	13	380HB
	templado y revenido a 400 °F	212	1462	236	1627	10	41HB
4140	recocido a 1450 °F	61	421	95	655	26	197HB
	normalizado a 1650 °F	95	655	148	1020	18	302HB
	templado y revenido a 1200 °F	95	655	110	758	22	230HB
	templado y revenido a 800 °F	165	1138	181	1248	13	370HB
	templado y revenido a 400 °F	238	1641	257	1772	8	510HB
4340	templado y revenido a 1200 °F	124	855	140	965	19	280HB
	templado y revenido a 1000 °F	156	1076	170	1172	13	360HB
	templado y revenido a 800 °F	198	1365	213	1469	10	430HB
	templado y revenido a 600 °F	230	1586	250	1724	10	486HB
6150	recocido	59	407	96	662	23	192HB
	templado y revenido	148	1020	157	1082	16	314HB
8740	recocido	60	414	95	655	25	190HB
	templado y revenido	133	917	144	993	18	288HB

Tabla 7. Propiedades mecánicas de aleaciones de cobre.

Aleación de cobre	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Elongación en 2 in	Dureza Brinell o Rockwell
	kpsi	Mpa	kpsi	Mpa	%	
CA110 - Cobre puro	10	69	32	221	45	40HRF
	50	345	55	379	4	60HRB
CA170 - Cobre al berilio	145	1000	165	1138	7	35HRC
	170	1172	190	1310	3	40HRC
CA220 - Bronce comercial	10	69	37	255	45	53HRF
	62	427	72	496	3	78HRB
CA230 - Bronce rojo	15	103	40	276	50	50HB
	60	414	75	517	7	135HB
CA260 - Latón para cartucho	11	76	44	303	66	54HRF
	65	448	94	648	3	91HRB
CA270 - Latón amarillo	14	97	46	317	65	58HRF
	62	427	91	627	30	90HRB
CA510 - Bronce fosforado	19	131	47	324	64	73HRF
	80	552	100	689	4	95HRB
CA614 - Bronce aluminio	45	310	82	565	40	84HRB
	60	414	89	614	32	87HRB
CA655 - Bronce al alto silicio	21	145	56	386	63	76HRF
	62	427	110	758	4	97HRB
CA675 - Bronce al manganeso	30	207	65	448	33	65HRB
	60	414	84	579	19	90HRB
Bronce con plomo y estaño	19	131	34	234	18	60HB
Bronce al níquel y al estaño	20	138	50	345	40	85HB
	55	379	85	586	10	180HB

ANEXOS II. Código de programación en Arduino del Sistema

```
//Universid: Universidad Politécnica
Salesiana
//Autores: Alex Aveiga Torres y Gustavo
Ortiz Once
//Tema: Secuencia de una caja reductora

//Motor
const int dirPin = 8;
const int stepPin = 9;
const int reset = 10;

//Encoder
const int encoderD = 2; //pin de conexión
del encoder
const int encoderD1 = 3; //pin de conexión
del encoder
long contador = 0; //contador
long contadorA = 0; //contador
long contadorB = 0; //contador
long contadorC = 0; //contador
long contadorD = 0; //contador
long contadorE = 0; //contador
long anterior = LOW; //variable para el
estado anterior del encoder
long lectura = LOW; //lectura del encoder

volatile unsigned muestreoactual = 0;
volatile unsigned muestreoanterior = 0;
volatile unsigned deltamuestreo = 0;
unsigned long pasosvuelta;
long grados;

long grados2;
long grados3 = 0;
long grados4;
float grados1;
long grados5;
long grados6 = 0;
long grados7;
long grados8 = 0;
long grados9;
long grados10 = 0;
long grados11;
long grados12 = 0;
long grados13;
float grados14;
float grados15;
float grados16;
float grados17;
unsigned long rpms;
unsigned long rpms1 = 0;
unsigned long rpms2 = 0;
unsigned long rpms3 = 0;
unsigned long rpms4 = 0;
unsigned long pasos;
unsigned long pasos1 = 0;
unsigned long pasos2 = 0;
unsigned long pasos3 = 0;
unsigned long pasos4 = 0;
unsigned long retardo;
```

```

unsigned long retardo1;
unsigned long retardo2;
unsigned long retardo3;
unsigned long retardo4;
String mensaje2 = "";
String mensaje3 = "";
String mensaje4 = "";
float w1;
float w2;
float w3;
float w4;
float w5;
float V1;
float V2;
float V3;
float V4;
float V5;
float vueltas1;
float vueltas2;
float vueltas3;
float vueltas4;
float vueltas5;
long contador1=0;
long contador2=0;
long contador3=0;
long contador4=0;
long contador5=0;
int numero=0;
long frecuencia;
unsigned long vel;
unsigned long SOC;

String mensaje = "";
String mensaje1 = "";

unsigned long tmp;
unsigned long tmp1;
//-----SETUP-----
void setup () {
    //Motor
    pinMode(dirPin, OUTPUT); //coloco el
    Pin de Dirección como salida
    pinMode(stepPin, OUTPUT); //coloco el
    Pin de Step como salida
    pinMode(reset, OUTPUT);
    //definimos reset como salida digital
    pinMode(encoderD, INPUT);
    pinMode(encoderD1, INPUT);

    Serial.begin(9600);

    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(enco
    derD), en, HIGH);

    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(enco
    derD1), en, HIGH);

    delay(500);

    if(contador==0){
        grados =10;
        grados5=0;
        while(digitalRead(encoderD1)==0){
            lectura=digitalRead(encoderD1);

```

```

digitalWrite(reset, HIGH);

digitalWrite(dirPin, LOW);

pasos = (grados*200)/360; //calculo la
cantidad de pasos que tengo que enviar.

retardo = 1000; //calculo el retardo según
las RPM indicadas.

digitalWrite(stepPin, LOW);

delayMicroseconds(retardo);
}

if((anterior==LOW)&&(lectura==HIGH)){
  contador++;
}
}
}

//Serial.println("");
//Serial.print("Posicion inicial: ");
//Serial.print(grados5);
//Serial.println(" Grados");
//Serial.println("-----
-----");

if(contador>=1){
}
}

//-----LOOP-----

void loop() {
  digitalWrite(reset, LOW); //Mientras
reset este en LOW, el motor permanece
apagado

  muestreoactual = millis();

  ModoSOC()

  if(SOC == 0){

```

```

for (int x = 0; x < pasos; x++) { //envio
los pasos calculados con el retardo
calculado

  digitalWrite(stepPin, HIGH);

  delayMicroseconds(retardo);

  velocidad(); //llamo a la función para
definir la velocidad de giro en RPM.

  giro1(); //llamo a la función para
definir los grados que debe girar el motor.
}

if(SOC == 1){
  muestreoactual = millis();

  nda();

  tiempo();

  Preguntavelocidad();

  if(vel==0){
    velocidad(); //llamo a la función para
definir la velocidad de giro en RPM.
  }

  giro (); //llamo a la función para definir
los grados que debe girar el motor.

  deltamuestreo = muestreoactual -
muestreoanterior;

  muestreoanterior = muestreoactual;

  frecuencia = 1000/muestreoactual;

  w1 = ((2 * 3.14) / contadorA) * frecuencia;
//velocidad angular rad/s

  V1 = (46.9 * w1); //veloividad mm/s

  vueltas1 = (grados1 * 1) / 360; //número
de vueltas

```

```

Serial.print(",");
//Serial.print("Velocidad angular: ");
Serial.print(w1);
//Serial.println(" rad/s");
Serial.print(",");
//Serial.print("Velocidad: ");
Serial.print(V1);
//Serial.println(" mm/s");
Serial.print(",");
//Serial.print("Número de vueltas: ");
Serial.print(vueltas1);
//Serial.print(" Vueltas \n\n");

//Serial.println("*****
*****");

if(numero >= 2) {
    w2 = ((2 * 3.14) / contadorB) * frecuencia;
//velocidad angular rad/s
    V2 = (46.9 * w2); //velocidad mm/s
    vueltas2 = ((grados14 * 1) / 360);
//número de vueltas
}
Serial.print(",");
//Serial.print("Velocidad angular: ");
Serial.print(w2);
//Serial.println(" rad/s");
Serial.print(",");
//Serial.print("Velocidad: ");
Serial.print(V2);
//Serial.println(" mm/s");
Serial.print(",");

//Serial.print("Número de vueltas: ");
Serial.print(vueltas3);
//Serial.print(" Vueltas \n\n");

//Serial.println("*****
*****");

if(numero >= 3) {
    w3 = ((2 * 3.14) / contadorC) * frecuencia;
//velocidad angular rad/s
    V3 = (46.9 * w3); //velocidad mm/s
    vueltas3 = ((grados15 * 1) / 360);
//número de vueltas
}
Serial.print(",");
//Serial.print("Velocidad angular: ");
Serial.print(w3);
//Serial.println(" rad/s");
Serial.print(",");
//Serial.print("Velocidad: ");
Serial.print(V3);
//Serial.println(" mm/s");
Serial.print(",");
//Serial.print("Número de vueltas: ");
Serial.print(vueltas3);
//Serial.print(" Vueltas \n\n");

//Serial.println("*****
*****");

if(numero >= 4) {
    w4 = ((2 * 3.14) / contadorD) * frecuencia;
//velocidad angular rad/s
    V4 = (46.9 * w4); //velocidad mm/s

```

```

    vueltas4 = ((grados16 * 1) / 360);
//número de vueltas
}
Serial.print(",");
//Serial.print("Velocidad angular: ");
Serial.print(w4);
//Serial.println(" rad/s");
Serial.print(",");
//Serial.print("Velocidad: ");
Serial.print(V4);
//Serial.println(" mm/s");
Serial.print(",");
//Serial.print("Número de vueltas: ");
Serial.print(vueltas4);
//Serial.print(" Vueltas \n\n");

//Serial.println("*****
*****");

if(numero == 5) {
    w5 = ((2 * 3.14) / contadorE) * frecuencia;
//velocidad angular rad/s
    V5 = (46.9 * w5); //velocidad mm/s
    vueltas5 = ((grados17 * 1) / 360);
//número de vueltas
}
Serial.print(",");
//Serial.print("Velocidad angular: ");
Serial.print(w5);
//Serial.println(" rad/s");
Serial.print(",");
//Serial.print("Velocidad: ");
Serial.print(V5);

```

```

//Serial.println(" mm/s");
Serial.print(",");
//Serial.print("Número de vueltas: ");
Serial.print(vueltas5);
//Serial.print(" Vueltas \n\n");

//Serial.println("*****
*****");
}
}
//-----FUNCIONES-----
----

void ModoSOC() {
    Serial.print("0=Modo Simple / 1=Modo Cientifico");
    Serial.print(",");
    while (Serial.available() == 0) {}
    mensaje = Serial.readString();
    SOC = mensaje.toInt();
    if (SOC == 0) {
        Serial.print("Modo Simple");
    }
    else if (SOC == 1) {
        Serial.print("Modo Cientifico");
        Serial.print(",");
    }
    else {
        Serial.print("ERROR\n");
        ModoSOC();
    }
}

```

```

void Preguntavelocidad() {
  Serial.print(",");
  Serial.print("0=Velocidad General /
1=Velocidades Distintas");
  Serial.print(",");
  while (Serial.available() == 0 ) {}
  mensaje = Serial.readString();
  vel = mensaje.toInt();
  if (vel == 0) {
    Serial.print("Velocidad General");
  }
  else if (vel == 1) {
    Serial.print("Velocidades Distintas");
  }
  else {
    Serial.print("ERROR\n");
    Preguntavelocidad();
  }
}

```

```

void velocidad() {
  Serial.print(",");
  Serial.print("Introducir Velocidad");
  while (Serial.available() == 0 ) {}
  mensaje = Serial.readString();
  rpms = mensaje.toInt();
  if (rpms == 0) {
    Serial.print("ERROR X\n");
    velocidad();
  }
  else {

```

```

//Serial.print(rpms);
//Serial.print(" RPM √\n");
}
}

```

```

void giro1() {
  Serial.print("Introducir Angulo");
  while (Serial.available() == 0 ) {}
  mensaje = Serial.readString();
  grados = mensaje.toInt()*90;
  grados2 = grados - grados3;
  if (grados2 >= 0) {
    grados1 = grados2 * (1);
    grados4 = grados * (1);
    digitalWrite(reset, HIGH);
    digitalWrite(dirPin, LOW);
    //Serial.print(grados);
    //Serial.print("° √\n");
  }
  else if (grados2 <= 0) {
    grados1 = grados2 * (-1);
    grados4 = grados * (1);
    digitalWrite(reset, HIGH);
    digitalWrite(dirPin, HIGH);
    //Serial.print(grados);
    //Serial.print("° √\n");
  }
  grados3 = grados4;

```

```
pasos = (grados1 * 200) / 360; //calculo
la cantidad de pasos que tengo que enviar.
```

```
//Serial.print(pasos);
```

```
//Serial.print(" pasos a ");
```

```
retardo = 30000000 / (rpms * 200);
//calculo el retardo según las RPM
indicadas.
```

```
//Serial.print(retardo);
```

```
//Serial.print(" uSeg\n");
```

```
//Serial.println("-----
-----");
```

```
for (int x = 0; x < pasos; x++) { //envio
los pasos calculados con el retardo
calculado
```

```
digitalWrite(stepPin, HIGH);
```

```
delayMicroseconds(retardo);
```

```
digitalWrite(stepPin, LOW);
```

```
delayMicroseconds(retardo);
```

```
}
```

```
}
```

```
void tiempo() {
```

```
Serial.print(",");
```

```
Serial.print("Introducir tiempo");
```

```
while (Serial.available() == 0 ) {}
```

```
mensaje = Serial.readString();
```

```
tmp = mensaje.toInt();
```

```
tmp1= tmp*1000;
```

```
if (tmp < 0) {
```

```
Serial.print("ERROR X\n");
```

```
tiempo();
```

```
}
```

```
else if (tmp >= 0){
```

```
Serial.print(tmp);
```

```
Serial.print(" √\n");
```

```
}
```

```
}
```

```
void en() {
```

```
//Conteo de la primera etapa.
```

```
lectura = digitalRead(encoderD);
```

```
if (grados2 >= 0) {
```

```
if ((anterior == LOW) && (lectura ==
HIGH)) {
```

```
contador++;
```

```
contador1 = contador * (1);
```

```
}
```

```
}
```

```
else if (grados2 <= 0) {
```

```
if ((anterior == LOW) && (lectura ==
HIGH)) {
```

```
contador--;
```

```
contador1 = contador * (-1);
```

```
}
```

```
}
```

```
anterior = lectura;
```

```
}
```

ANEXOS III – Planos.

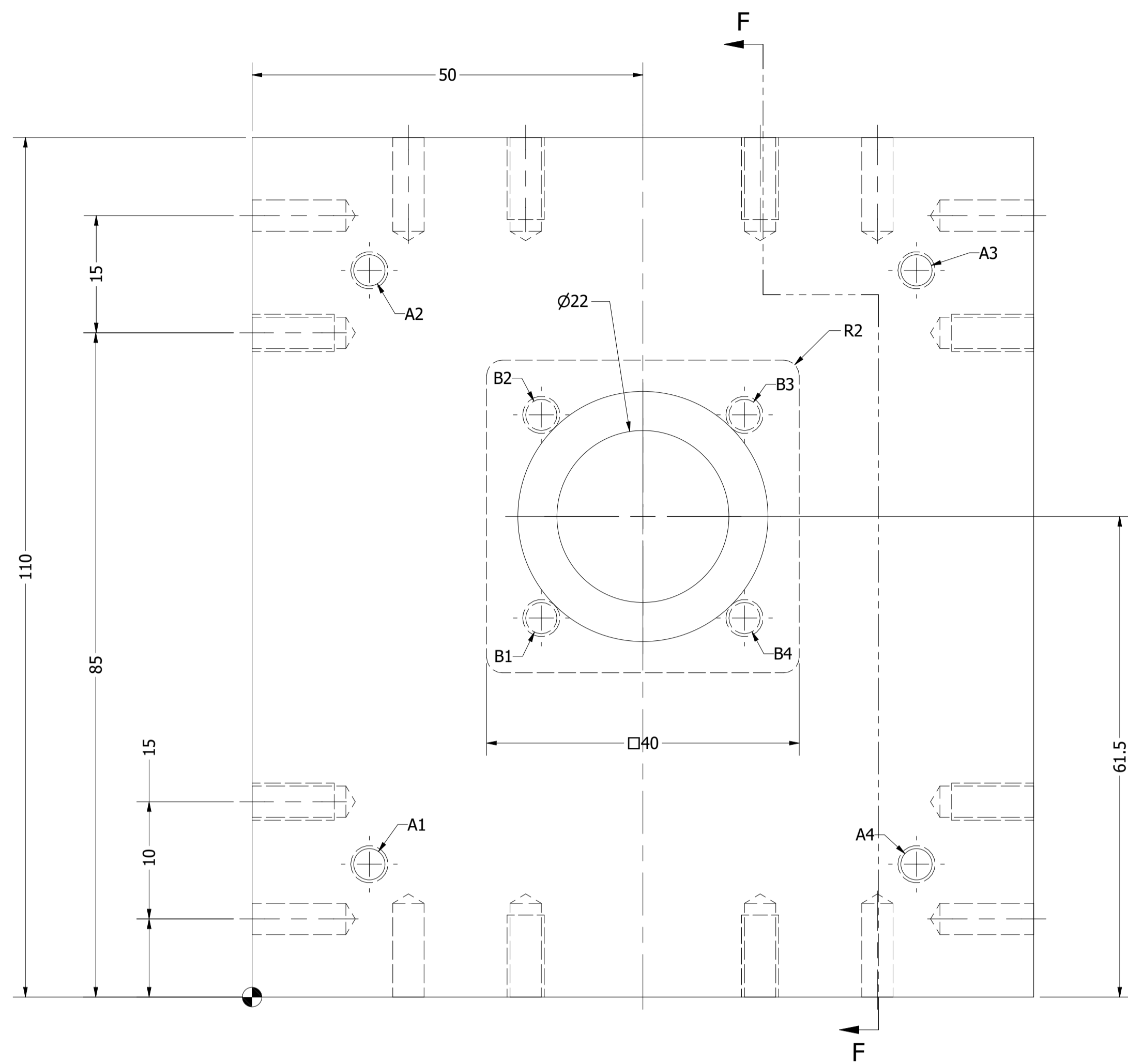
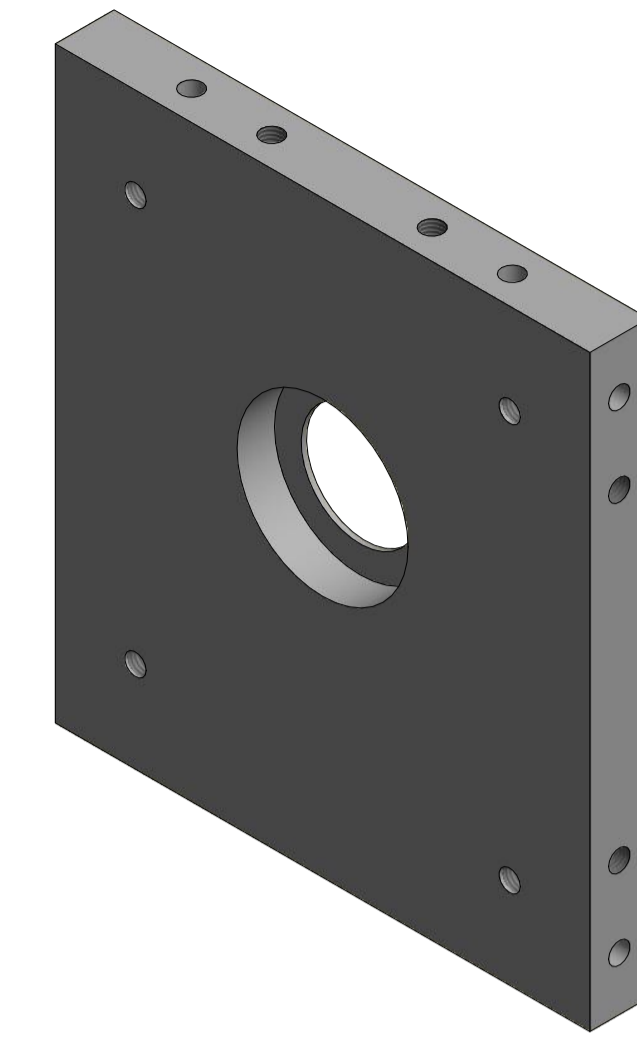
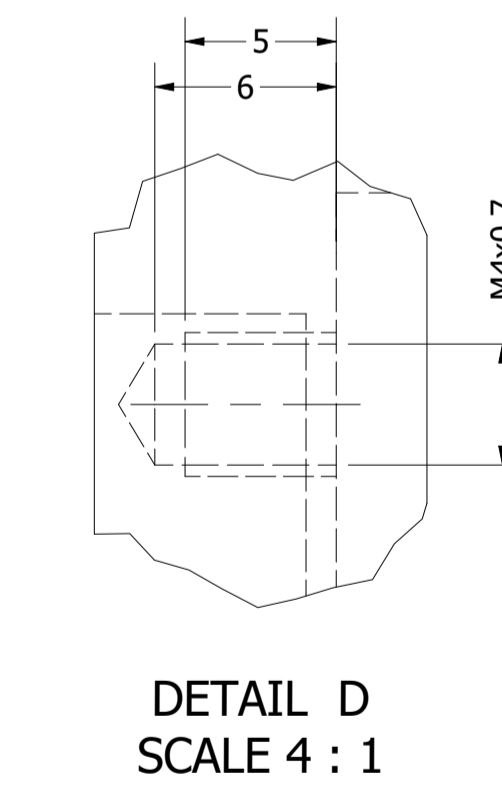
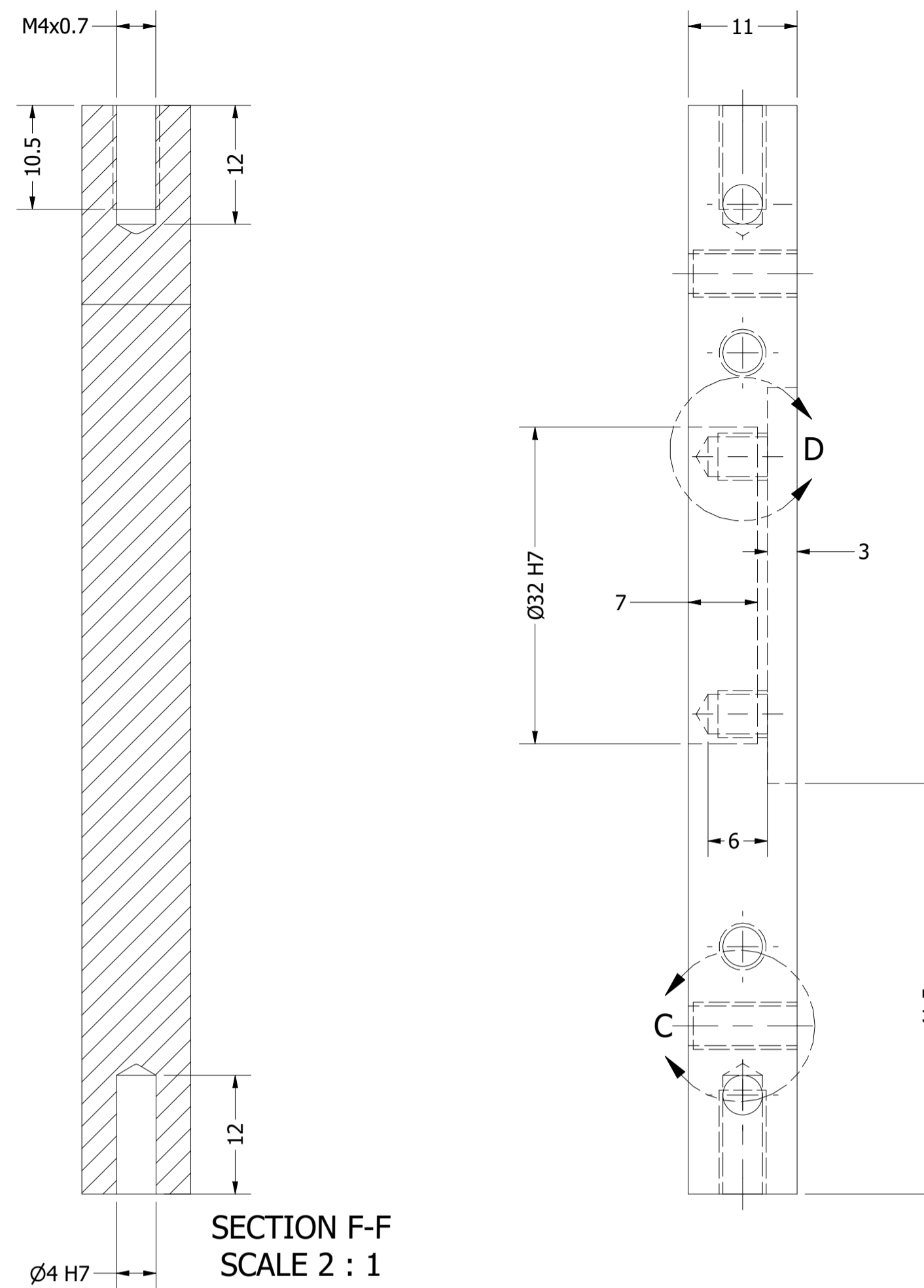
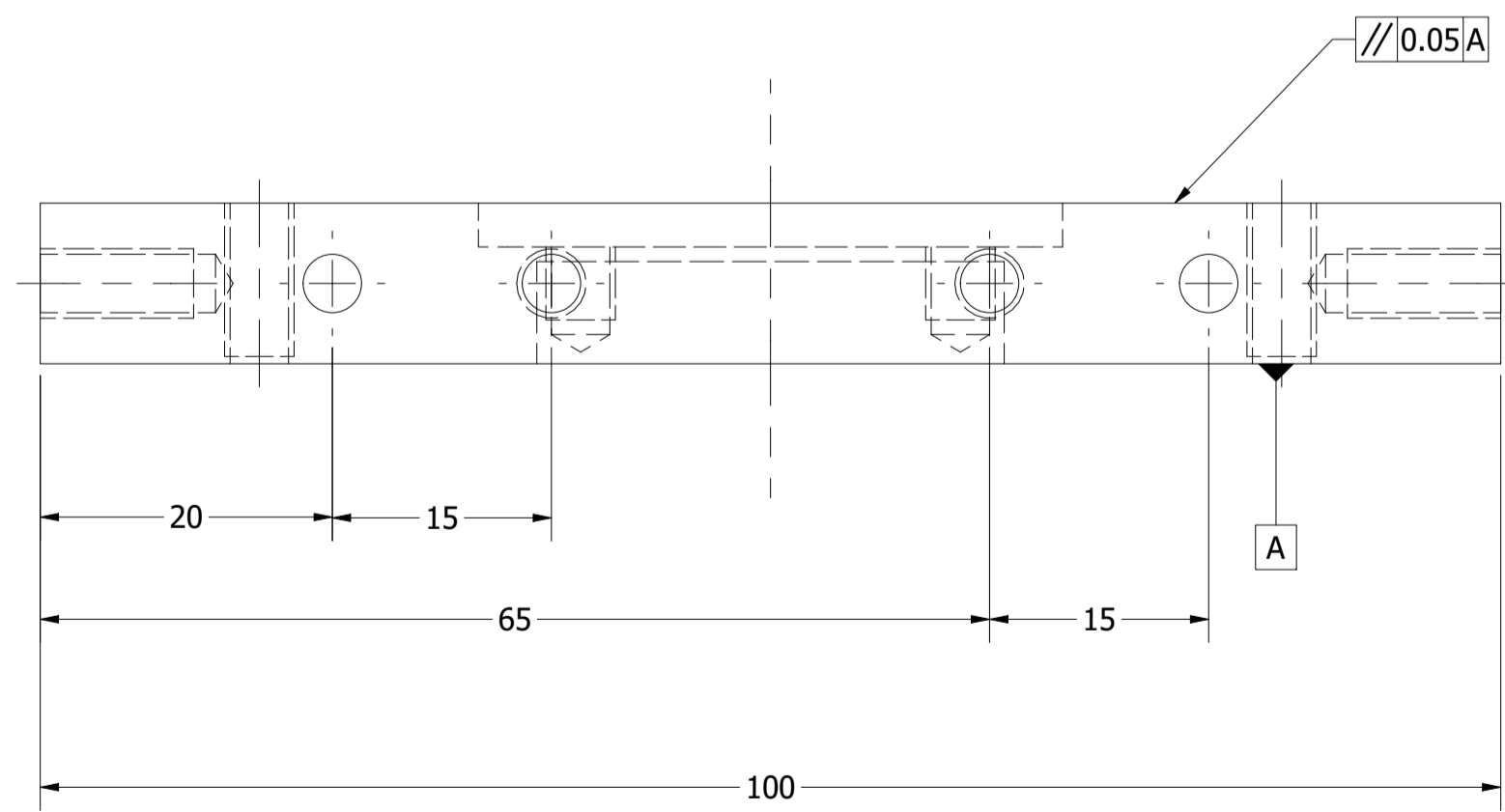


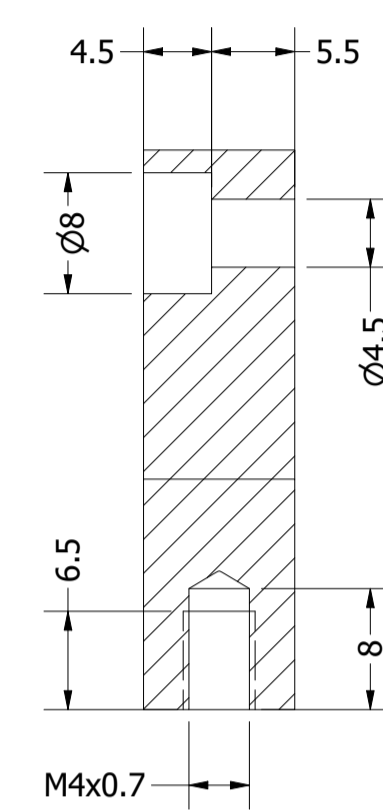
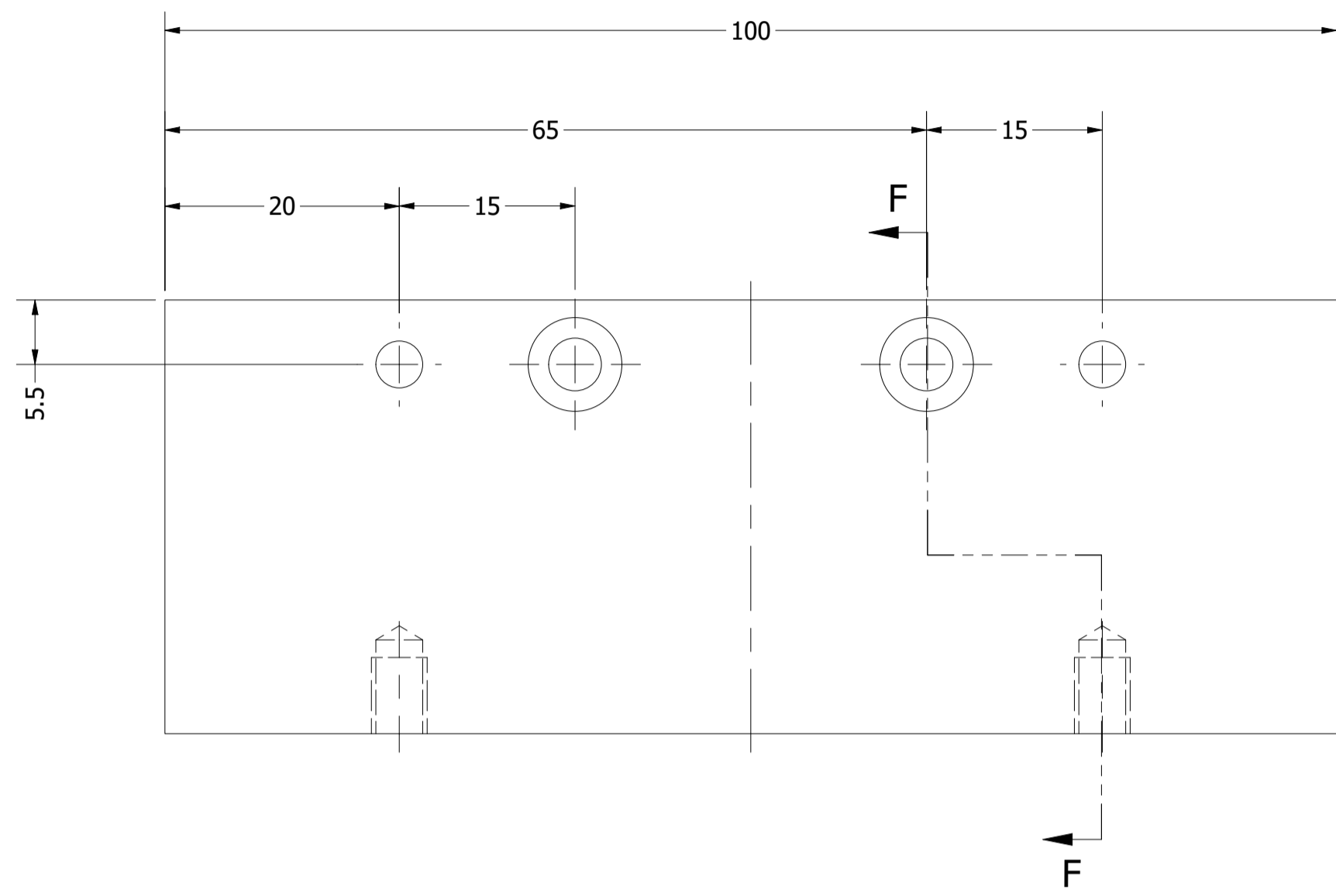
TABLA DE AGUJEROS			
AGUJERO	COTA EN X	COTA EN Y	DESCRIPCIÓN
A1	15.00	17.00	Ø4 - √ 11
A2	15.00	93.00	Ø4 - √ 11
A3	85.00	93.00	Ø4 - √ 11
A4	85.00	17.00	Ø4 - √ 11
B1	37.00	48.50	Ø4 - √ 6
B2	37.00	74.50	Ø4 - √ 6
B3	63.00	74.50	Ø4 - √ 6
B4	63.00	48.50	Ø4 - √ 6



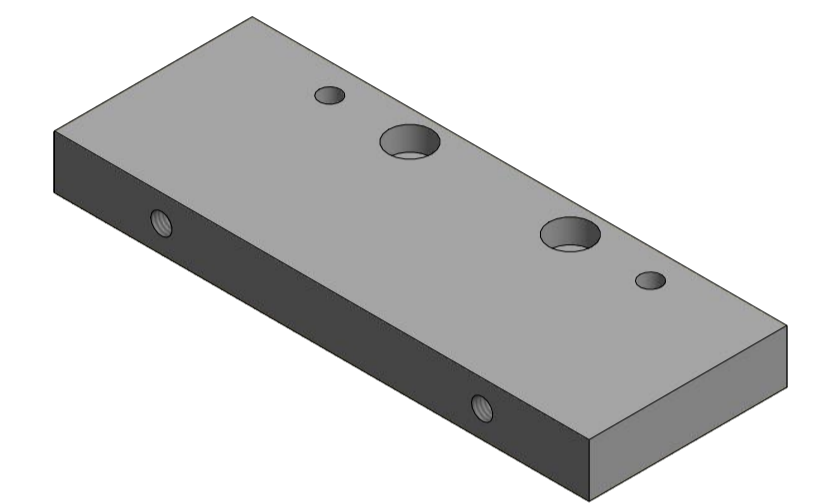
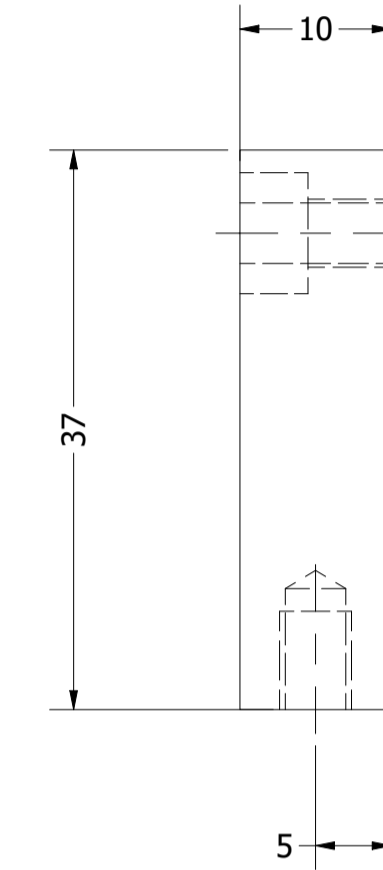
RECTIFICADO
N5
Tolerancia general: ±0.05

DATOS	
Unidad de trabajo	Milímetros (mm)
Cantidad de piezas	1
Material	Acero st37

Autor Alex Aveiga Torres Gustavo Ortiz Once		4/11/2021		Universidad Politécnica Salesiana	
Aprobado por: Ing. John Calle Ph.D.		18/11/2021		Título BASE DE LA CAJA	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		SIZE A1	DWG NO Caja	REV 1	SHEET 1 OF 17

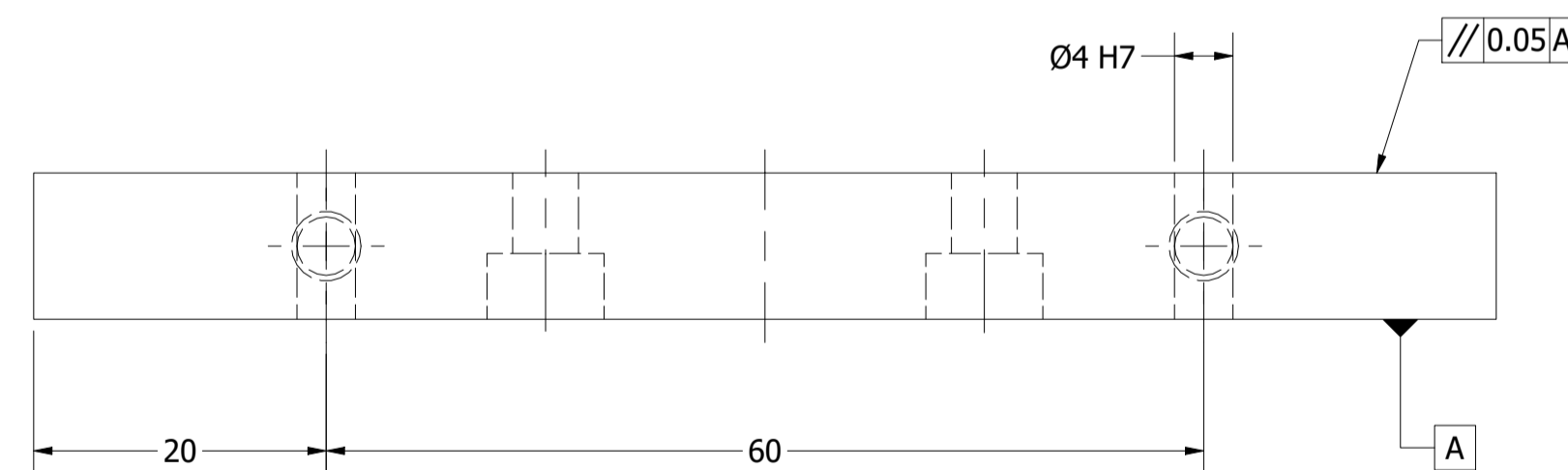


SECTION F-F
SCALE 2 : 1

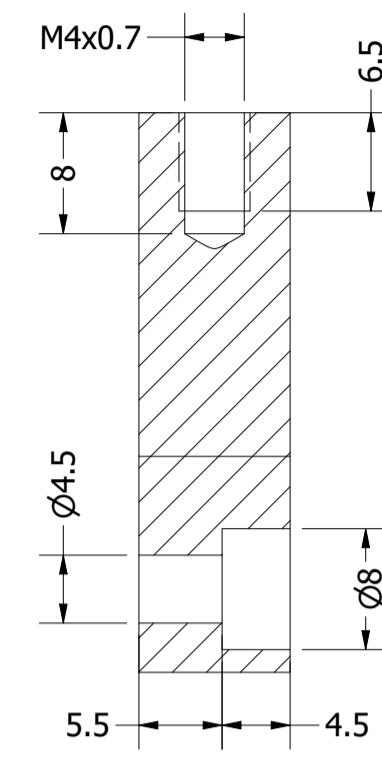
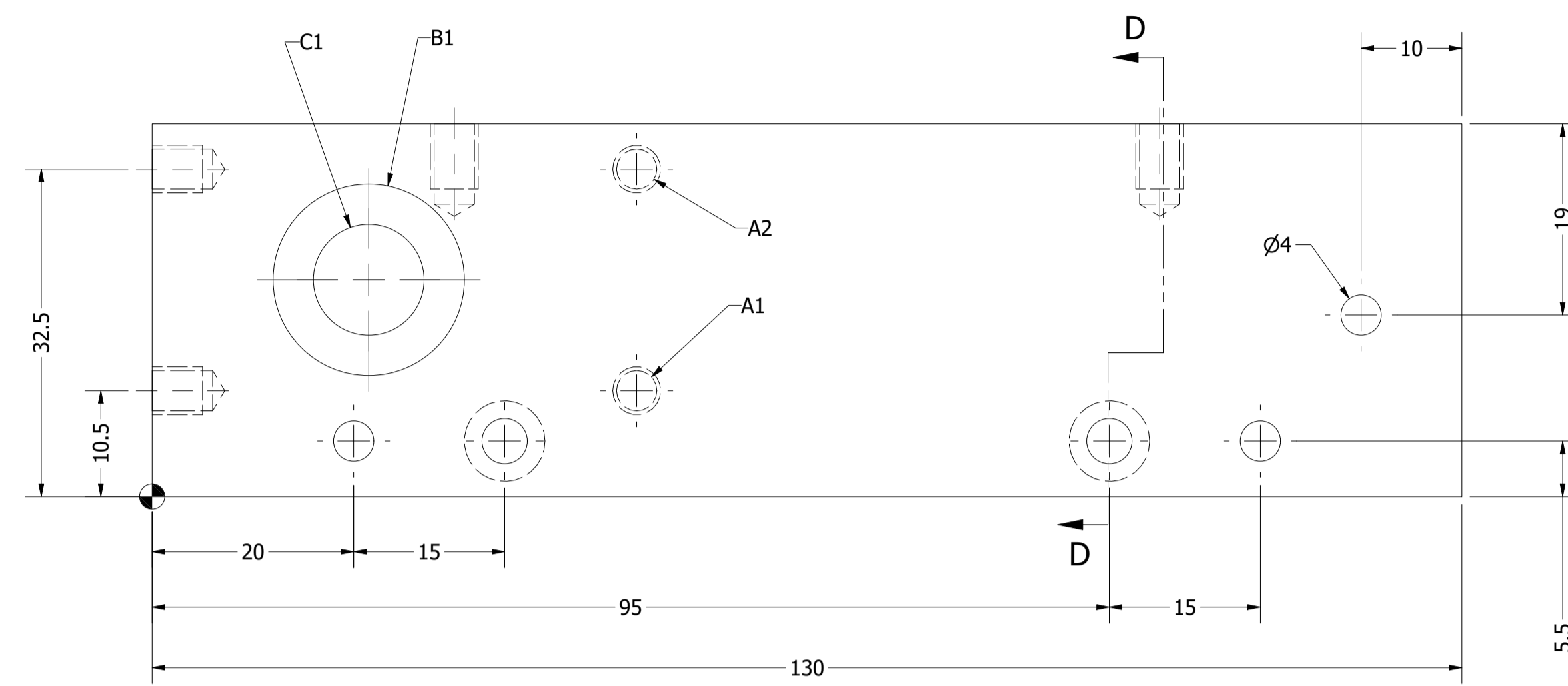


RECTIFICADO
N5
Tolerancia general: ± 0.05

DATOS	
Unidad de trabajo	Milímetros (mm)
Cantidad de piezas	2
Material	Acero st37



Autor Alex Aveiga Torres Gustavo Ortiz Once		4/11/2021	Universidad Politécnica Salesiana	
Aprobado por: Ing. John Calle PhD.		18/11/2021	Título TAPA DELANTERA Y TRASERA	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	SIZE A1	DWG NO Tapa trasera	REV 1	
	SCALE 1 : 1			SHEET 2 OF 17



SECTION D-D
SCALE 2 : 1

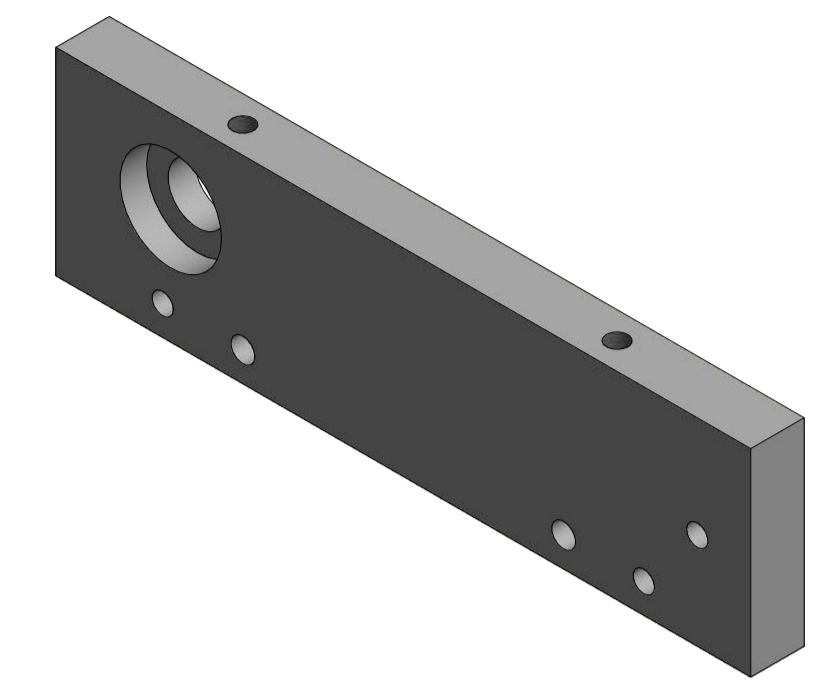
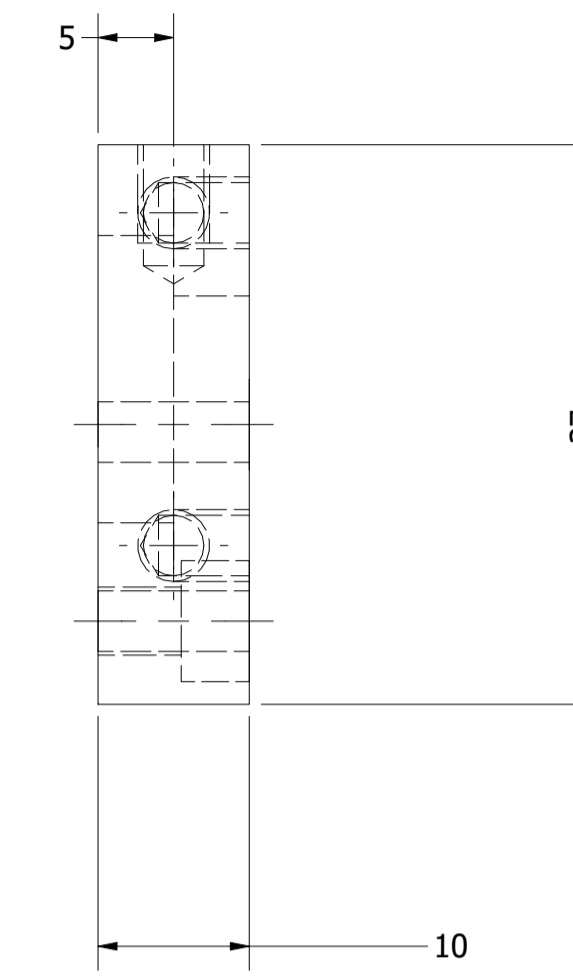
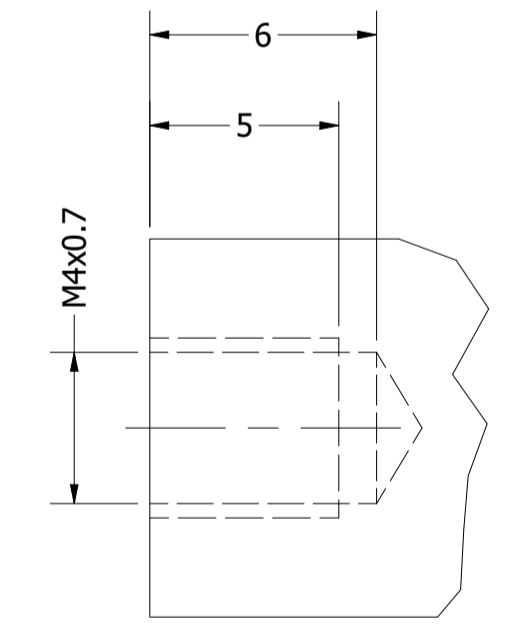
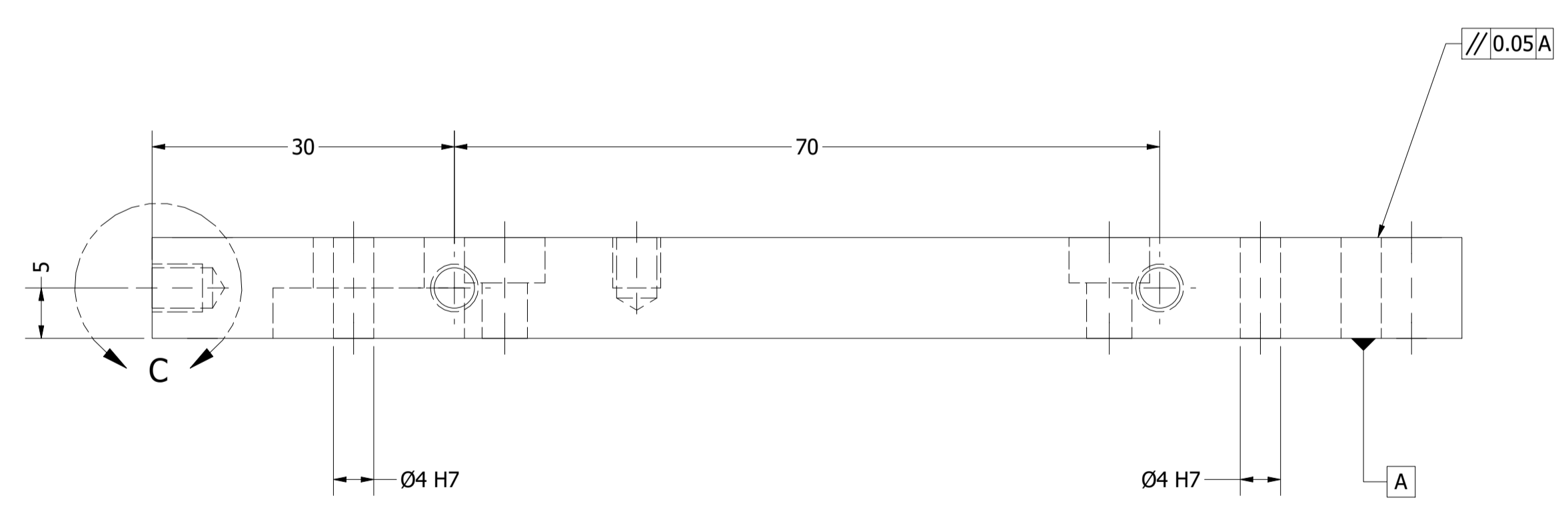



TABLA DE AGUJEROS			
AGUJERO	COTA EN X	COTA EN Y	DESCRIPCIÓN
A1	48.10	10.50	M4x0.7 - ∇ 6
A2	48.10	32.50	M4x0.7 - ∇ 6
B1	21.50	21.50	\varnothing 19 H7 - ∇ 5
C1	21.50	21.50	\varnothing 11 - ∇ 5

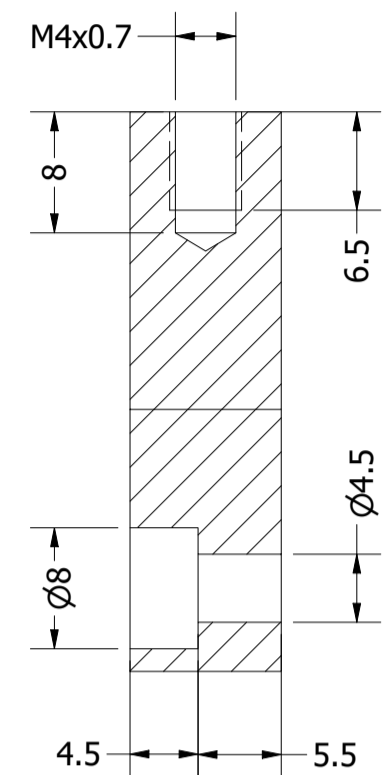
RECTIFICADO
N5
Tolerancia general: \pm 0.05

DATOS	
Unidad de trabajo	Milímetros (mm)
Cantidad de piezas	1
Material	Acero st37



DETAIL C
SCALE 5 : 1

Autor Alex Aveiga Torres Gustavo Ortiz Once	4/11/2021	Universidad Politécnica Salesiana	
Aprobado por: Ing. John Calle Ph.D.	18/11/2021	TAPA LATERAL IZQUIERDA	
	SIZE A1	DWG NO Tapa lateral izquierda	REV 1
	SCALE 2 : 1	SHEET 3 OF 17	



SECTION D-D
SCALE 2 : 1

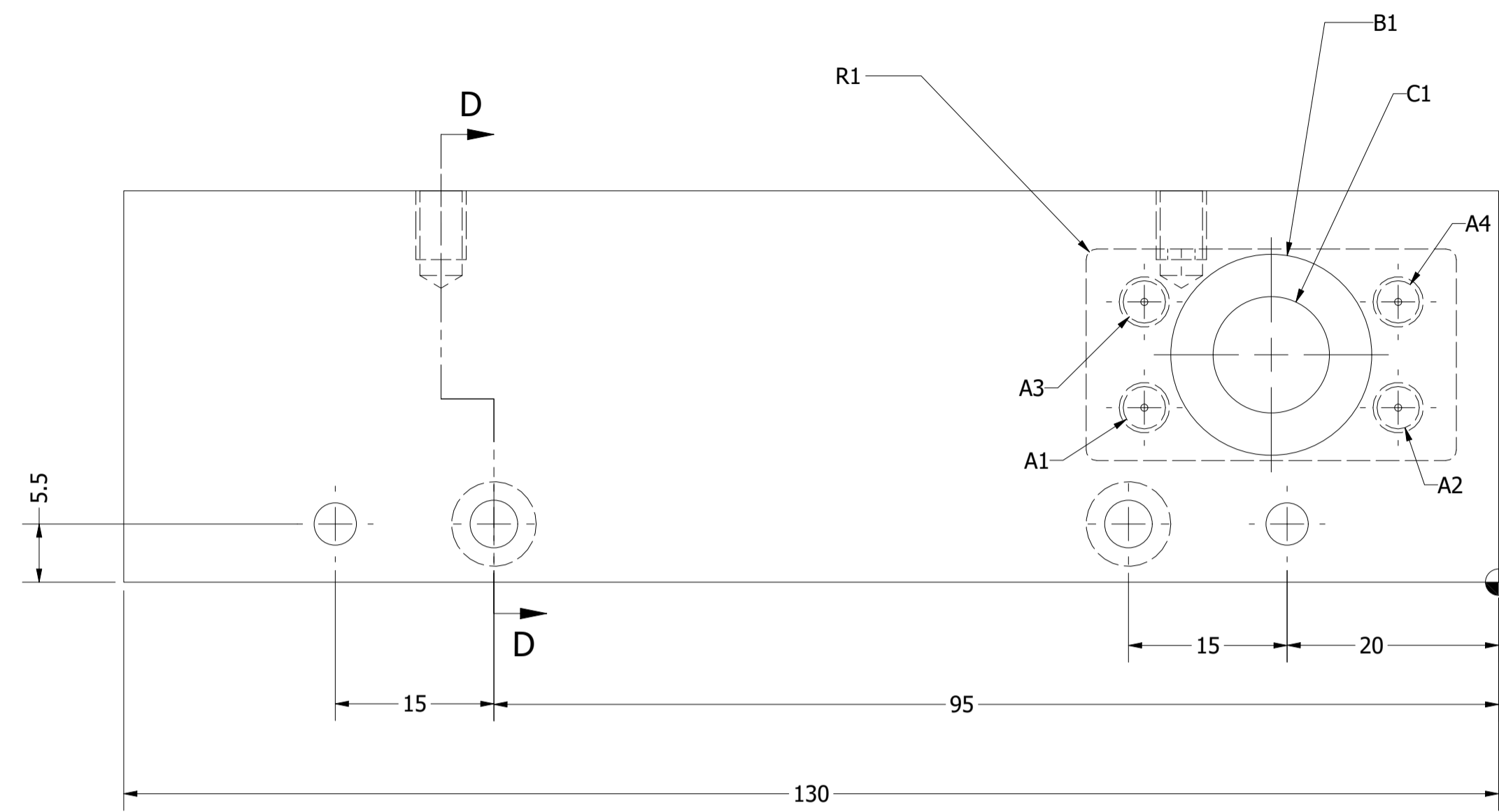
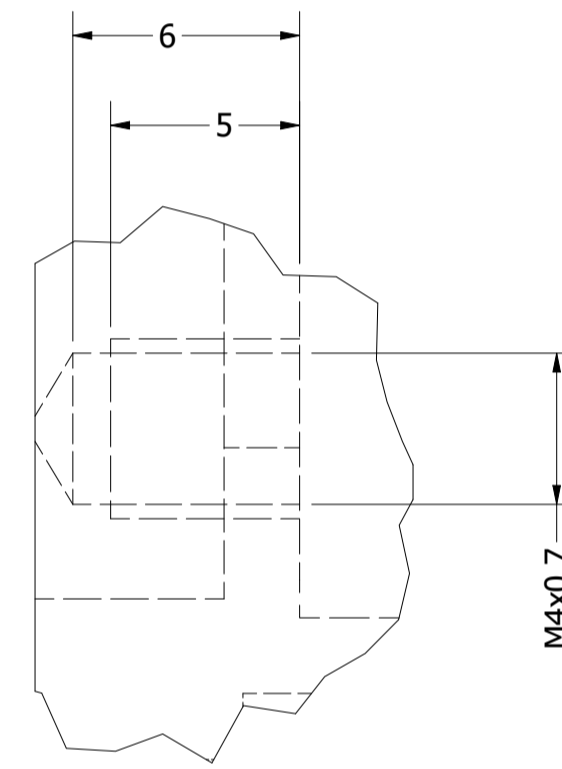
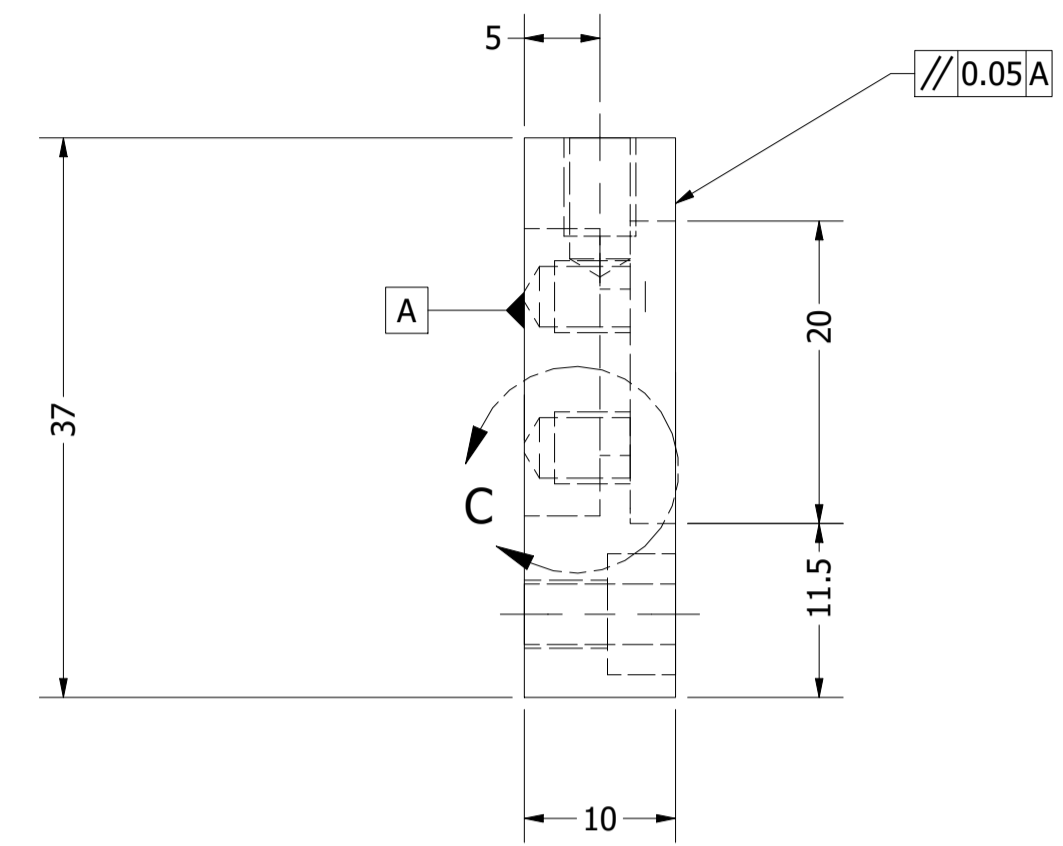
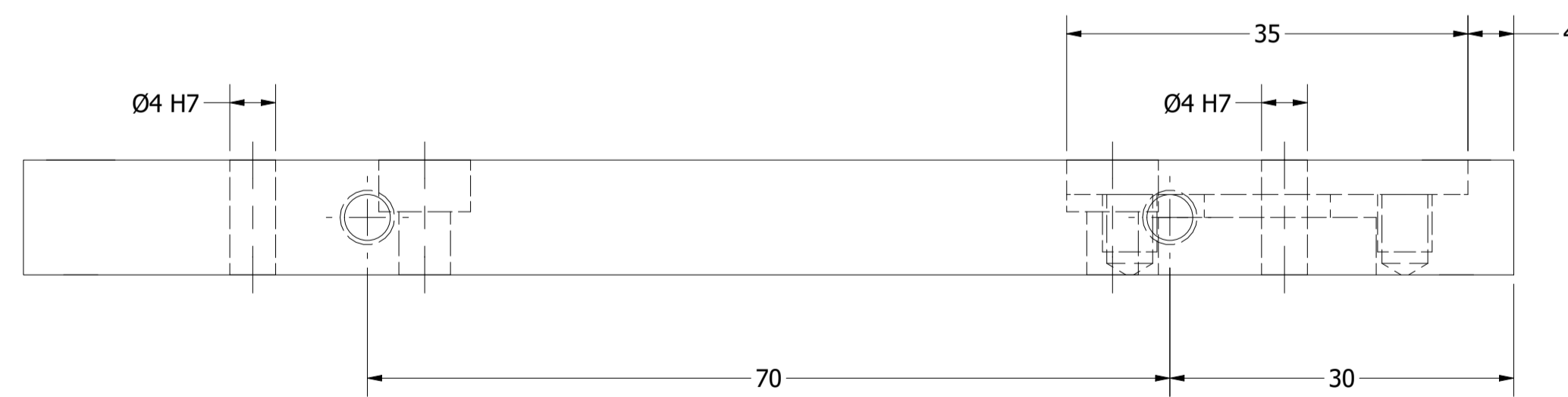
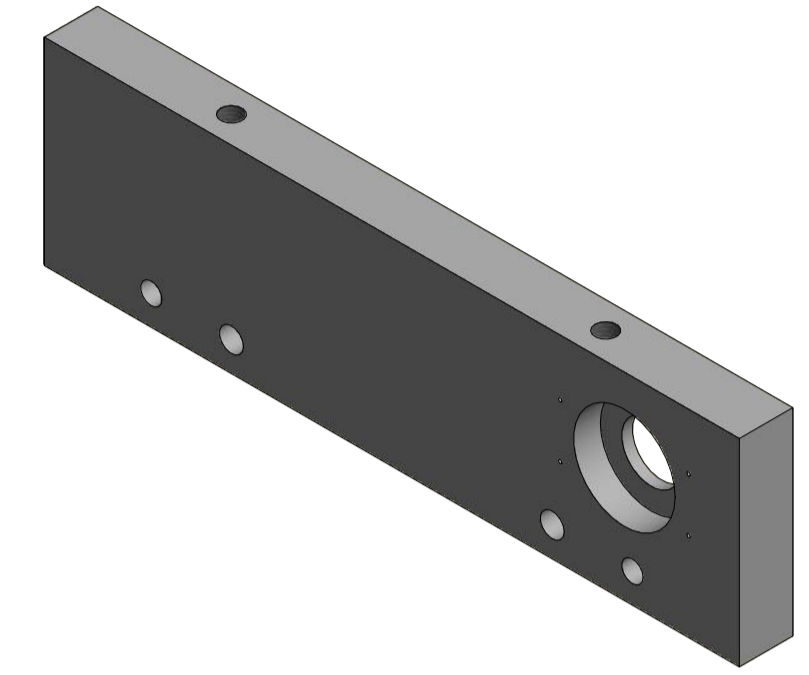


TABLA DE AGUJEROS			
AGUJERO	COTA EN X	COTA EN Y	DESCRIPCIÓN
A1	-33.50	16.50	M4x0.7 - ∇ 6
A2	-9.50	16.50	M4x0.7 - ∇ 6
A3	-33.50	26.50	M4x0.7 - ∇ 6
A4	-9.50	26.50	M4x0.7 - ∇ 6
B1	-21.50	21.50	\varnothing 19 H7 - ∇ 5
C1	-21.50	21.50	\varnothing 11 - ∇ 5




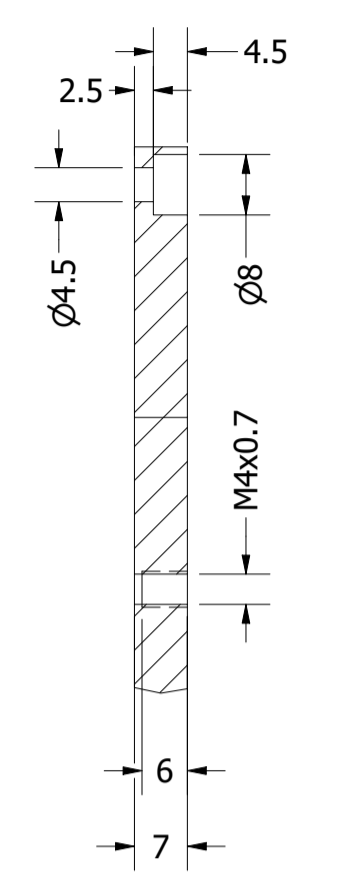
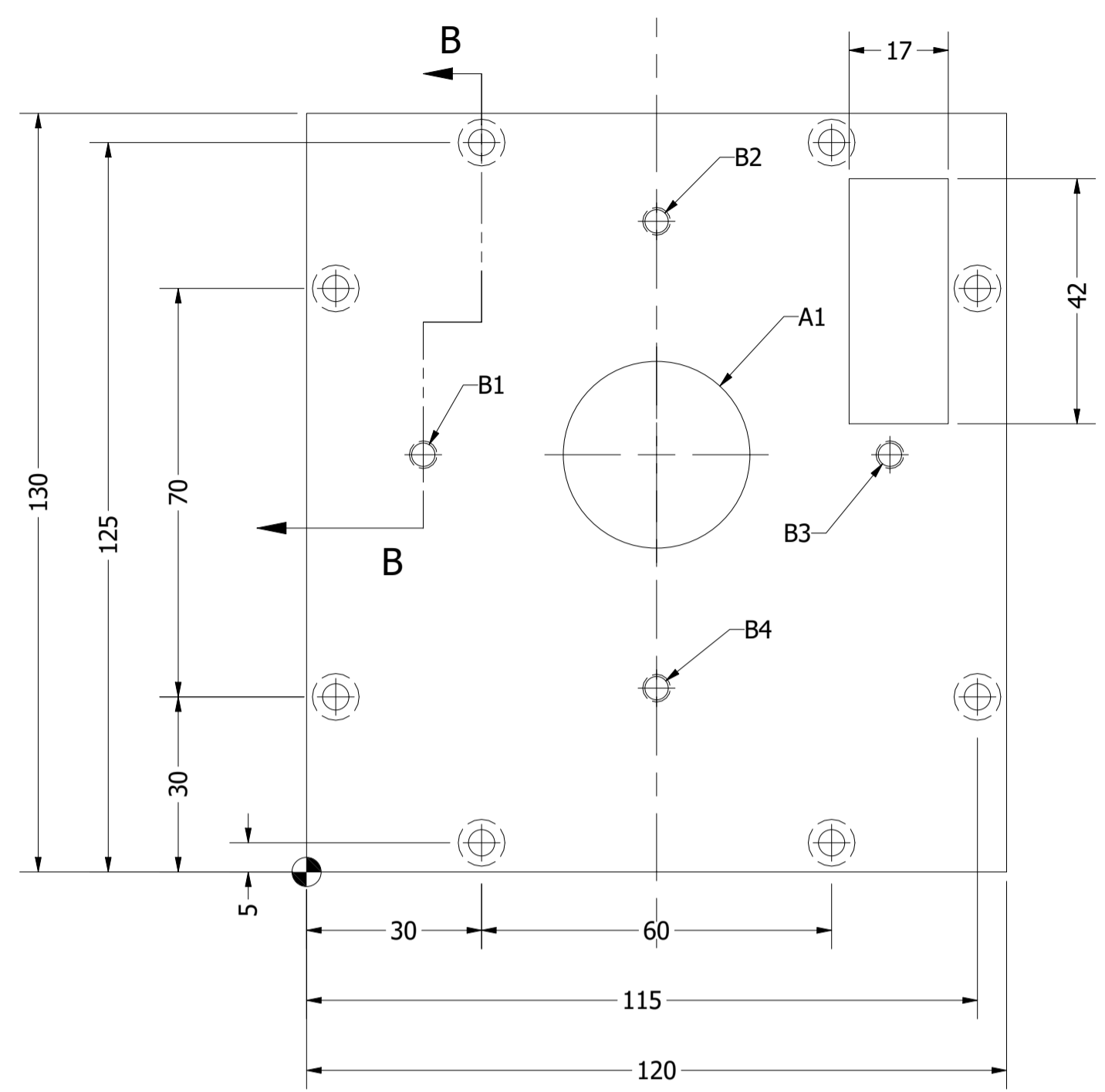
DETAIL C
SCALE 5 : 1



∇ N5 RECTIFICADO
Tolerancia general: \pm 0.05

DATOS	
Unidad de trabajo	Milímetros (mm)
Cantidad de piezas	1
Material	Acero st37

Autor Alex Aveiga Torres Gustavo Ortiz Once	4/11/2021	Universidad Politécnica Salesiana	
Aprobado por: Ing. John Calle PhD.	18/11/2021	TAPA LATERAL DERECHA	
	SIZE A1	DWG NO Tapa lateral derecha	REV 1
	SCALE 2 : 1	SHEET 4 OF 17	



SECTION B-B
SCALE 1 : 1

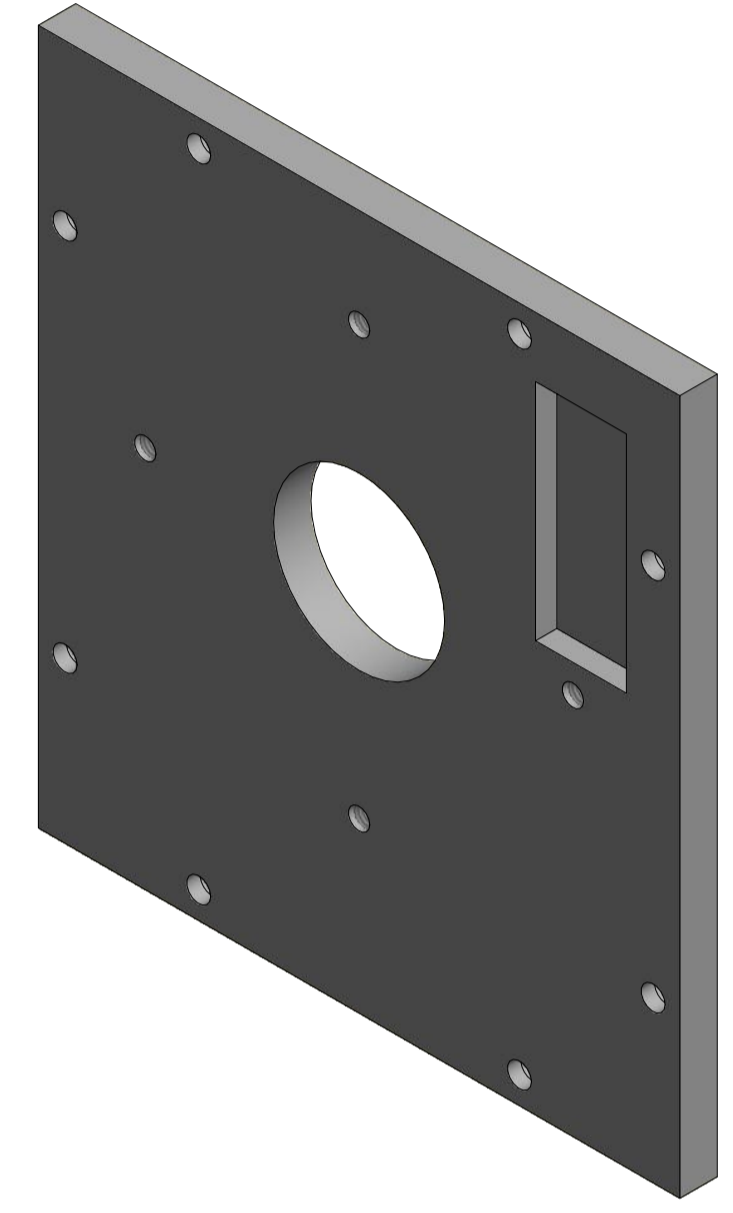
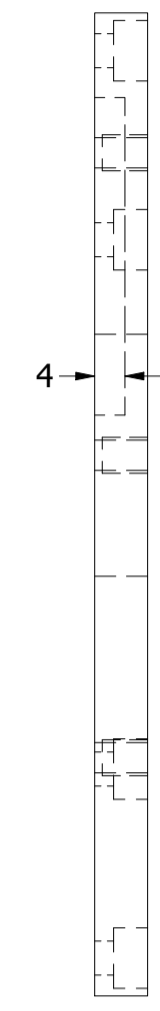
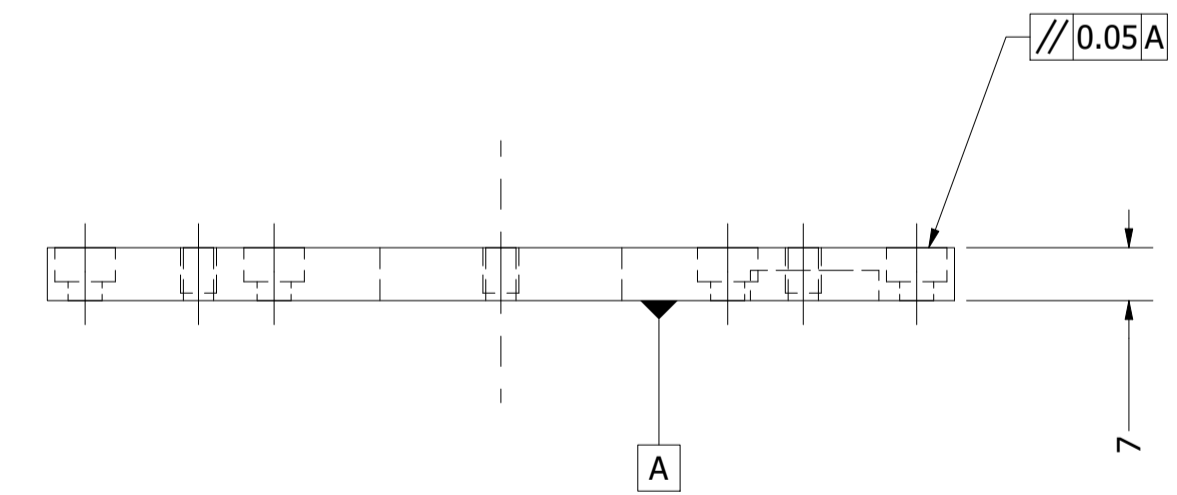


TABLA DE AGUJEROS			
AGUJERO	COTA EN X	COTA EN Y	DESCRIPCIÓN
A1	60.00	71.50	∅32 H7 - √ 7
B1	20.00	71.50	M4x0.7 - √ 7
B2	60.00	111.50	M4x0.7 - √ 7
B3	100.00	71.50	M4x0.7 - √ 7
B4	60.00	31.50	M4x0.7 - √ 7



RECTIFICADO
N5
Tolerancia general: ± 0.05

DATOS	
Unidad de trabajo	Milímetros (mm)
Cantidad de piezas	1
Material	Acero st37

Autor Alex Aveiga Torres Gustavo Ortiz Once		4/11/2021	Universidad Politécnica Salesiana	
Aprobado por: Ing. John Calle PhD.		18/11/2021	Título TAPA SUPERIOR	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA Ecuador		SIZE A1	DWG NO Tapa superior	REV 1
SCALE 1 : 1		SHEET 5 OF 17		

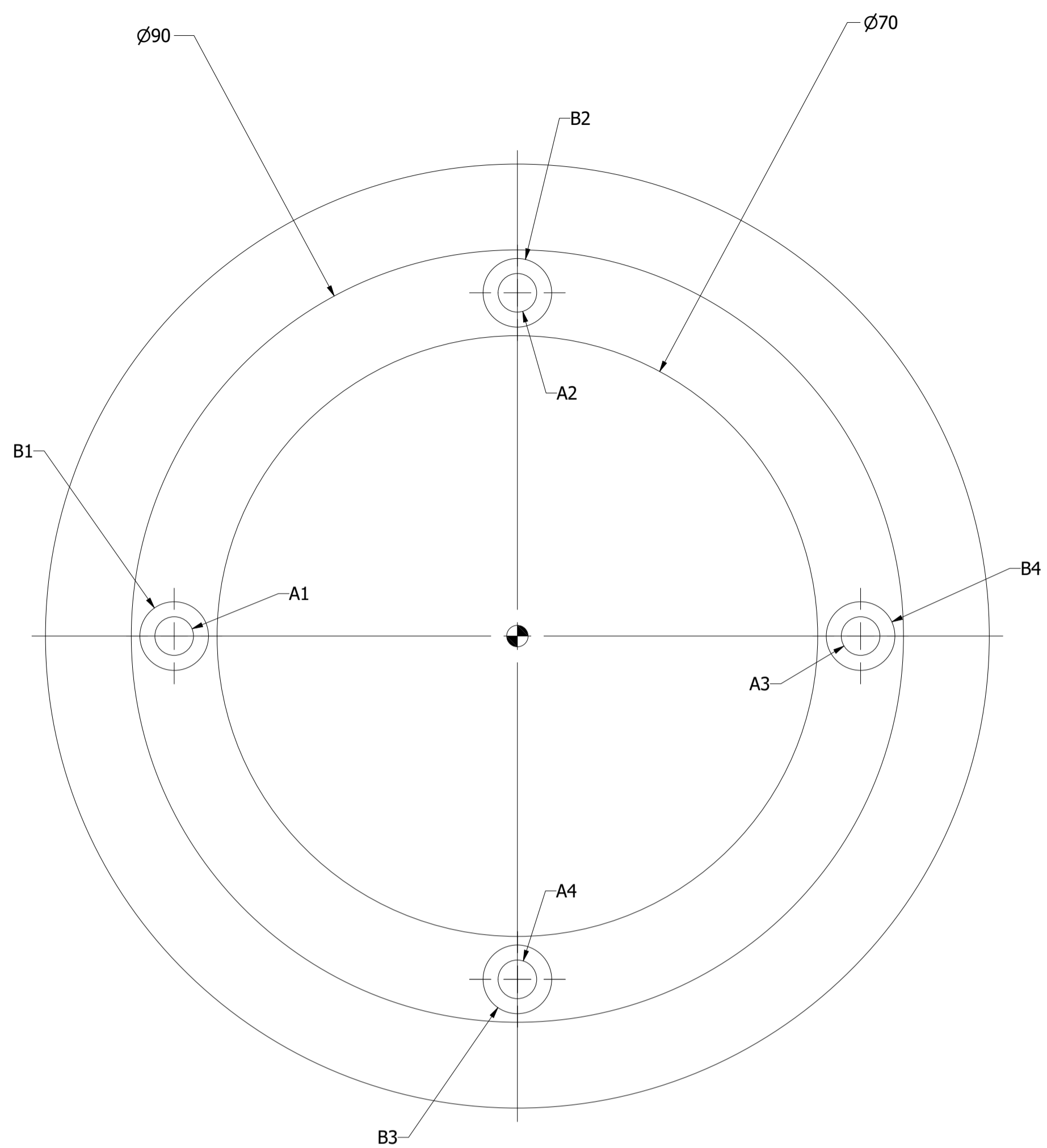
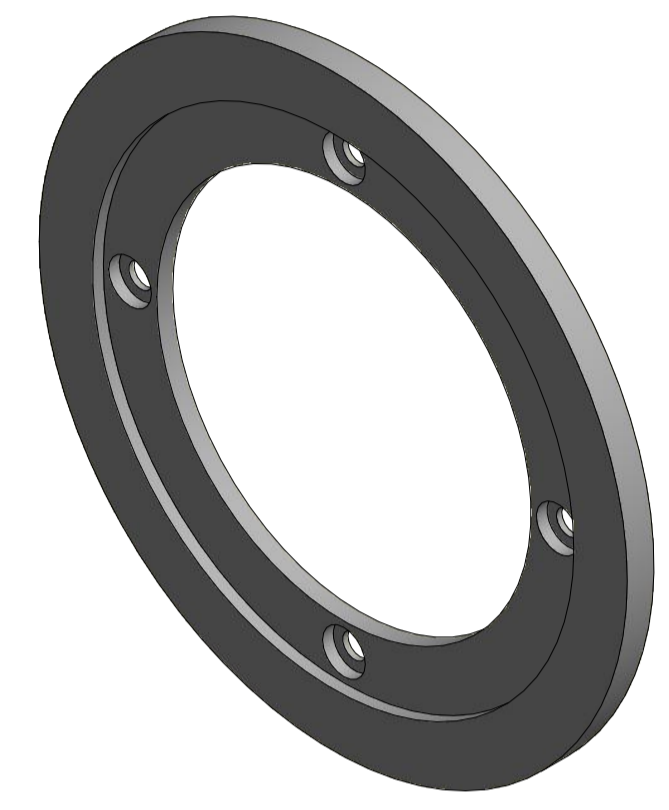
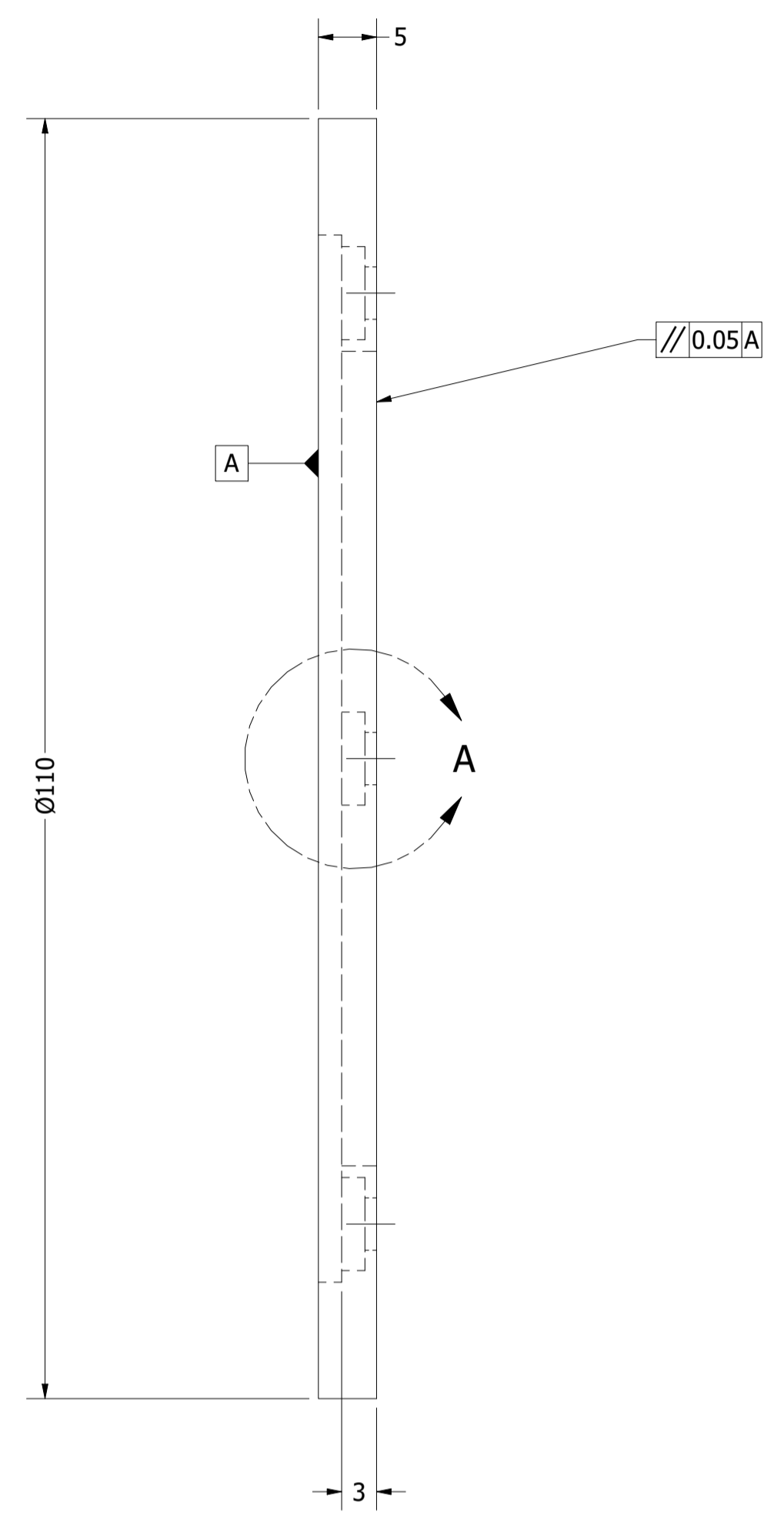
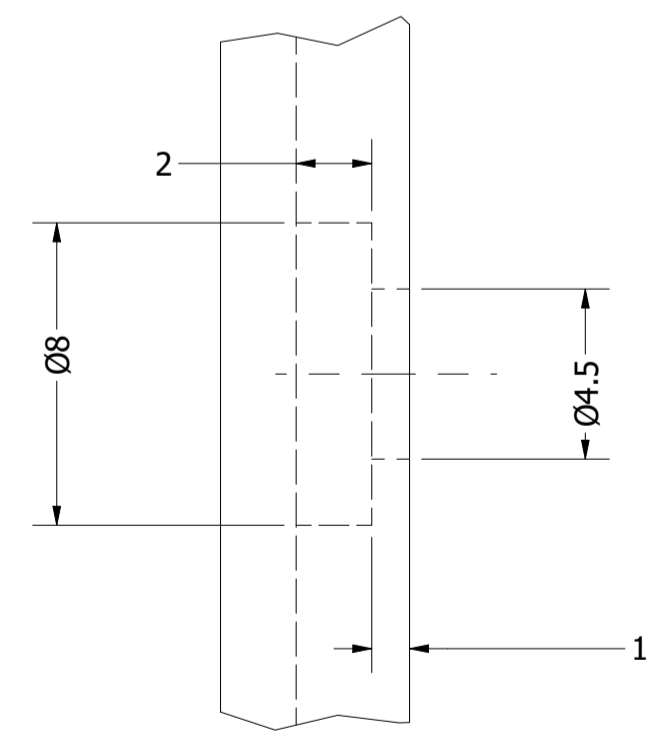


TABLA DE AGUJEROS			
AGUJERO	COTA EN X	COTA EN Y	DESCRIPCIÓN
A1	-40.00	.00	Ø4.5 - √ 1
A2	.00	40.00	Ø4.5 - √ 1
A3	40.00	.00	Ø4.5 - √ 1
A4	.00	-40.00	Ø4.5 - √ 1
B1	-40.00	.00	Ø8 - √ 2
B2	.00	40.00	Ø8 - √ 2
B3	.00	-40.00	Ø8 - √ 2
B4	40.00	.00	Ø8 - √ 2



RECTIFICADO
 N5
 Tolerancia general: ± 0.05

DATOS	
Unidad de trabajo	Milímetros (mm)
Cantidad de piezas	1
Material	Acero st37



DETAIL A
 SCALE 5 : 1

Autor Alex Aveiga Torres Gustavo Ortiz Once		4/11/2021	Universidad Politécnica Salesiana	
Aprobado por: Ing. John Calle PhD.		18/11/2021	Título PLATAFORMA 1	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		SIZE A1	DWG NO Plataforma 1	REV 1
SCALE 2 : 1		SHEET 6 OF 17		

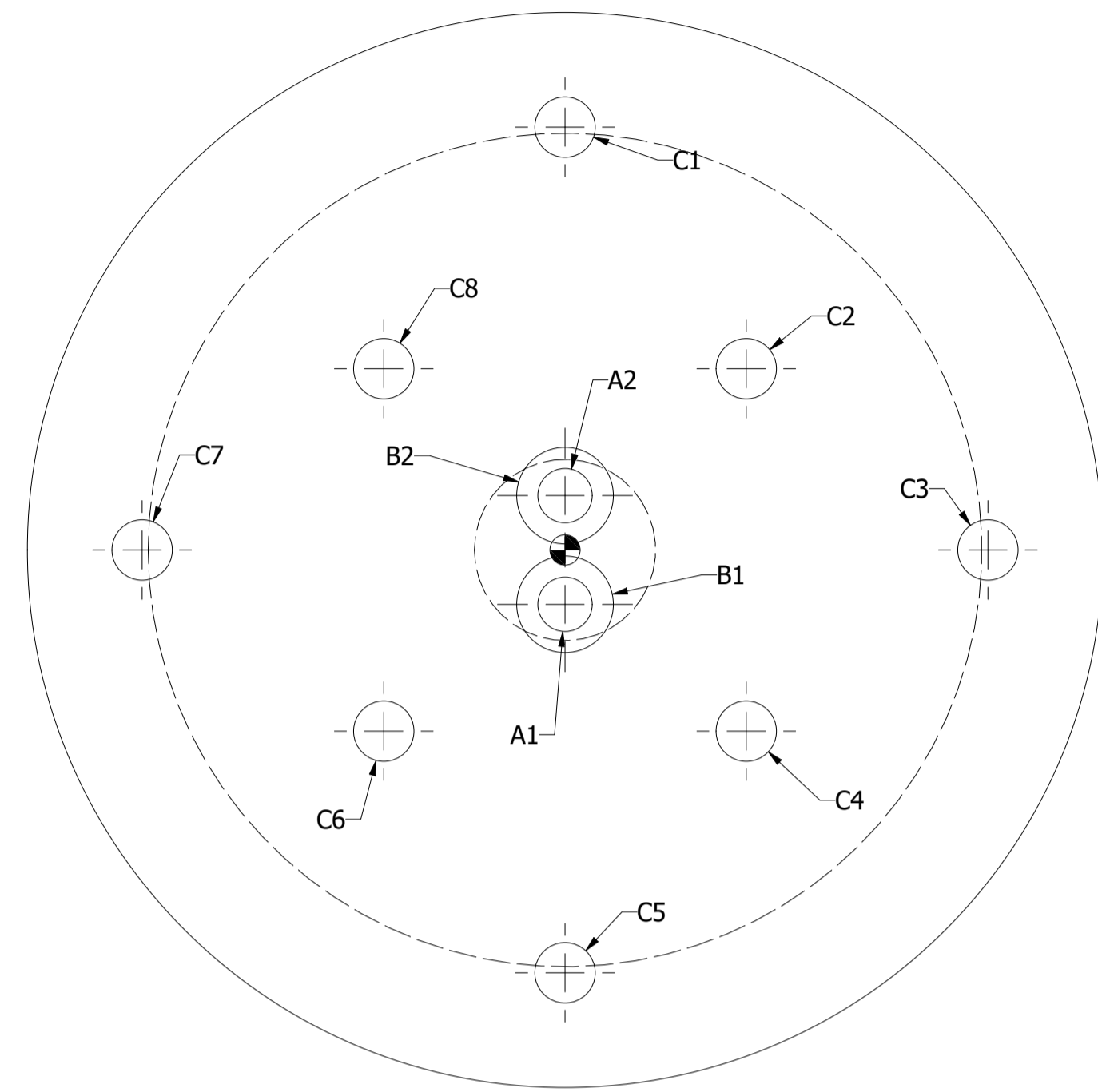
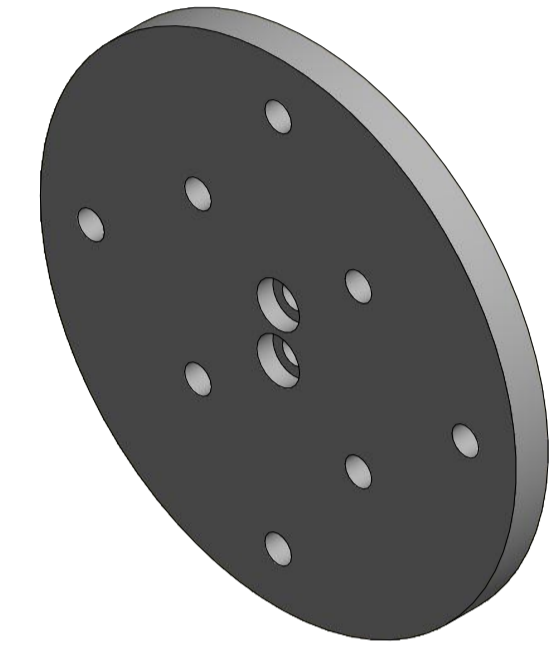
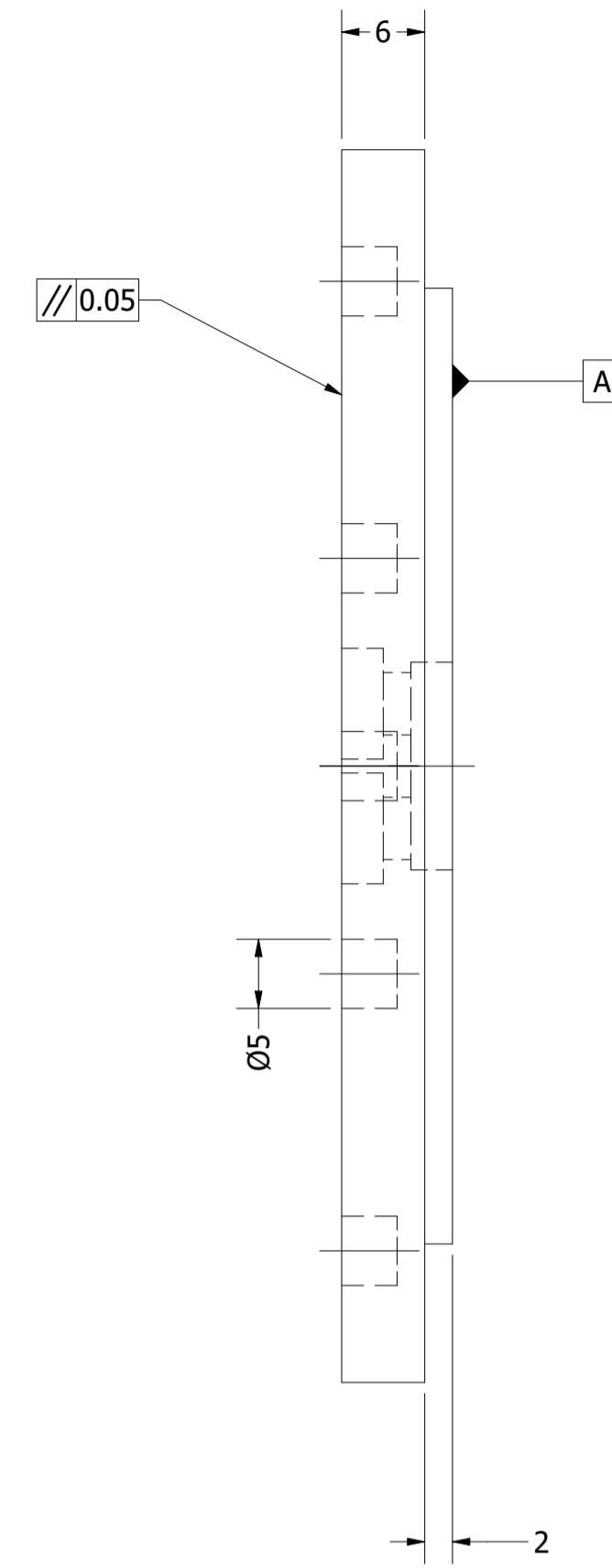
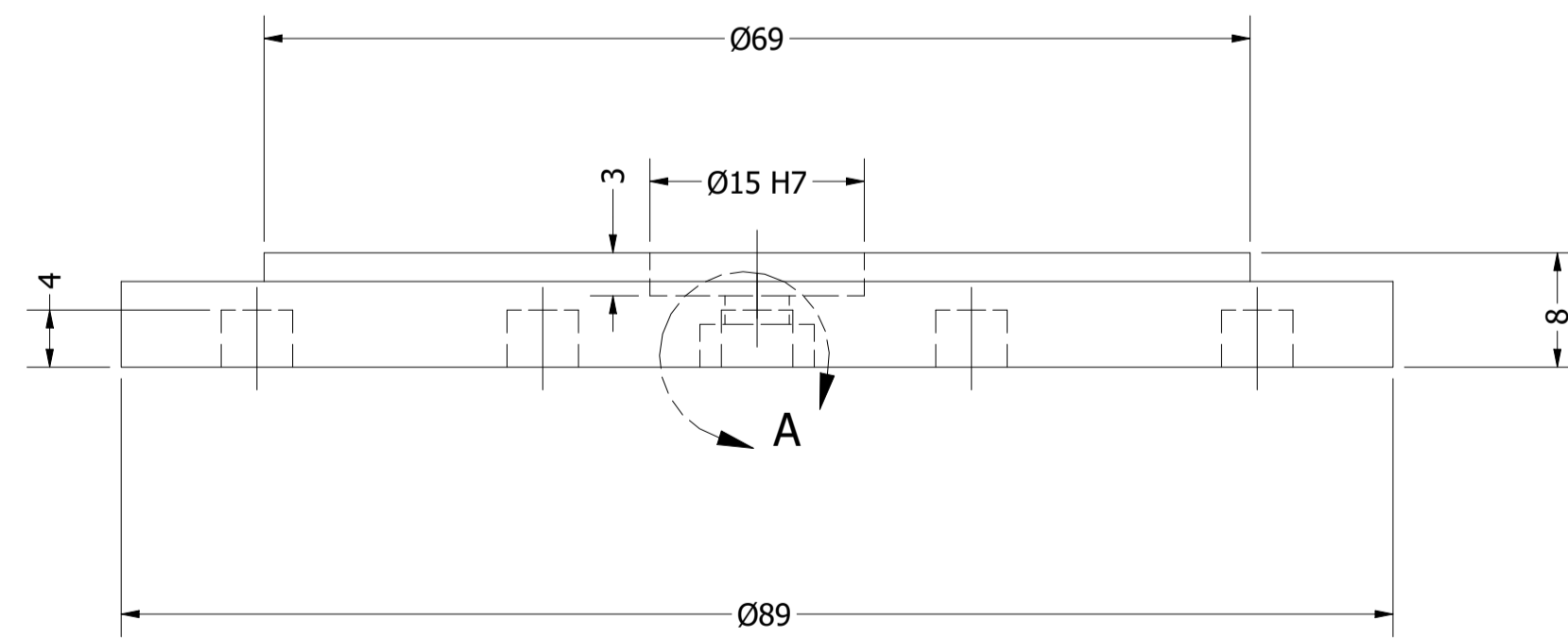
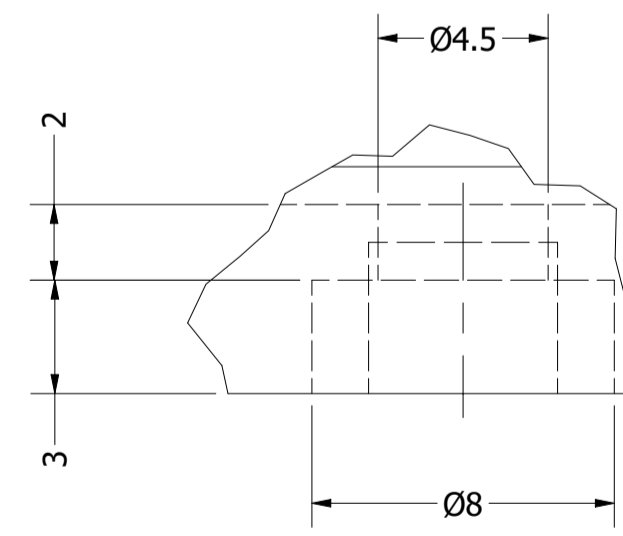


TABLA DE AGUJEROS			
AGUJERO	COTA EN X	COTA EN Y	DESCRIPCIÓN
A1	.00	-4.50	Ø4.5 - ∇2
A2	.00	4.50	Ø4.5 - ∇2
B1	.00	-4.50	Ø8 - ∇3
B2	.00	4.50	Ø8 - ∇3
C1	.00	35.00	Ø5 - ∇4
C2	15.00	15.00	Ø5 - ∇4
C3	35.00	.00	Ø5 - ∇4
C4	15.00	-15.00	Ø5 - ∇4
C5	.00	-35.00	Ø5 - ∇4
C6	-15.00	-15.00	Ø5 - ∇4
C7	-35.00	.00	Ø5 - ∇4
C8	-15.00	15.00	Ø5 - ∇4



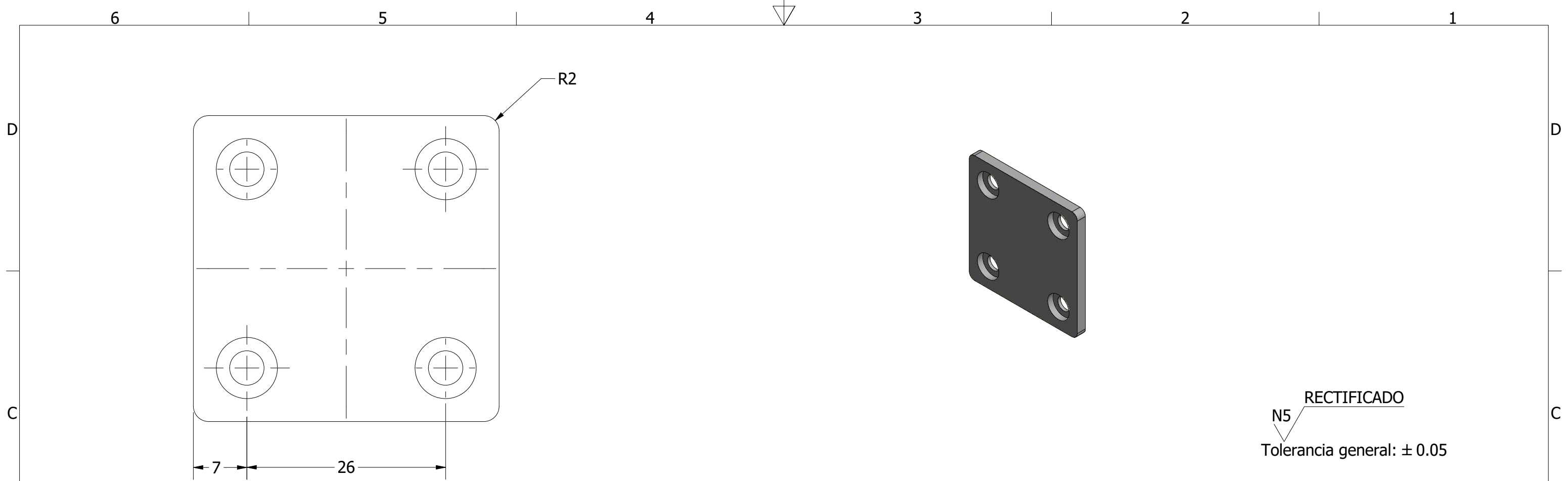
RECTIFICADO
N5
Tolerancia general: ± 0.05

DATOS	
Unidad de trabajo	Milímetros (mm)
Cantidad de piezas	1
Material	Acero st37

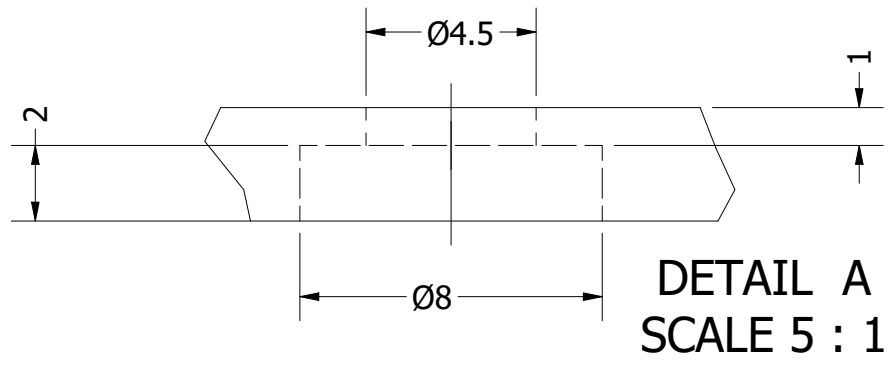
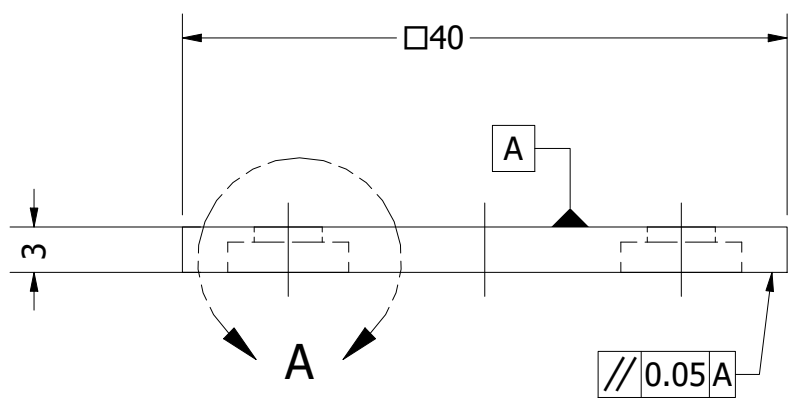



DETAIL A
SCALE 5 : 1

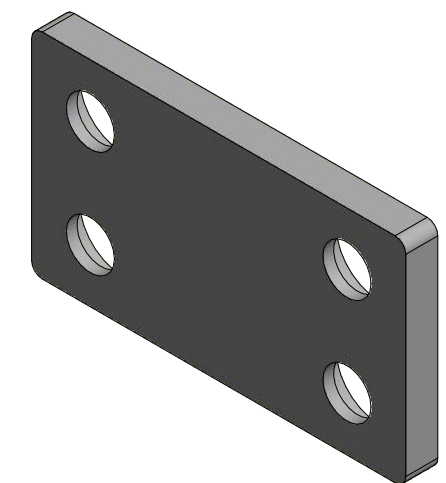
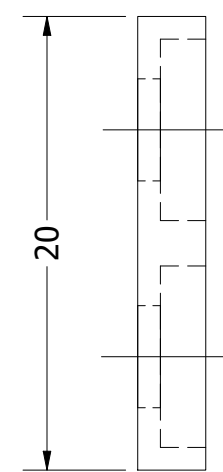
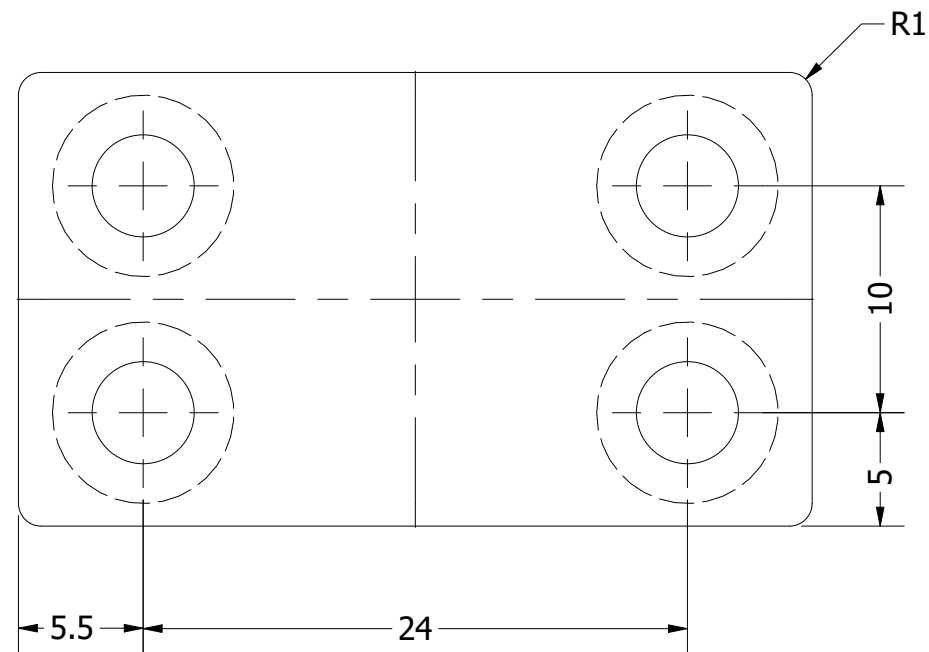
Autor Alex Aveiga Torres Gustavo Ortiz Once		4/11/2021	Universidad Politécnica Salesiana	
Aprobado por: Ing. John Calle PhD.		18/11/2021	Título PLATAFORMA 2	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		SIZE A1	DWG NO Plataforma 2	REV 1
SCALE 2 : 1		SHEET 7 OF 17		



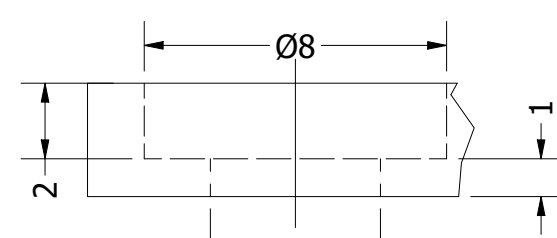
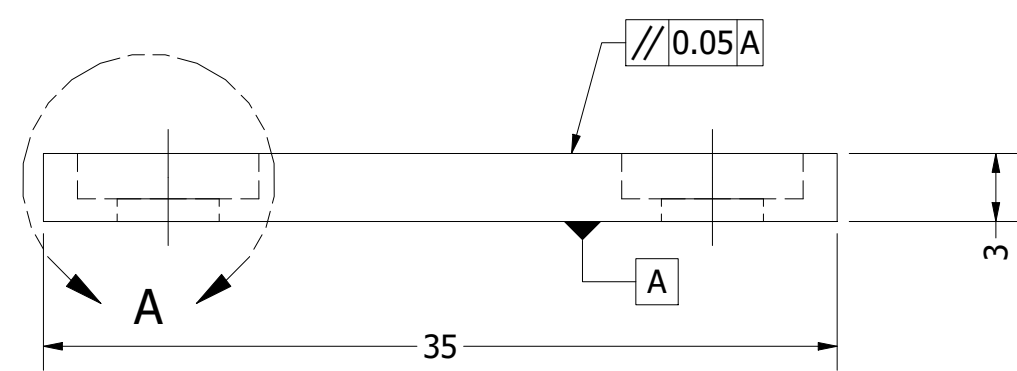
DATOS	
Unidad de trabajo	Milímetros (mm)
Cantidad de piezas	1
Material	Acero st37



Autor Alex Aveiga Torres Gustavo Ortiz Once		4/11/2021		Universidad Politécnica Salesiana	
Aprobado por: Ing. John Calle PhD.		18/11/2021		Título TAPA INFERIOR	
		SIZE A3	DWG NO Tapa inferior	REV 1	
SCALE 2 : 1			SHEET 8 OF 17		




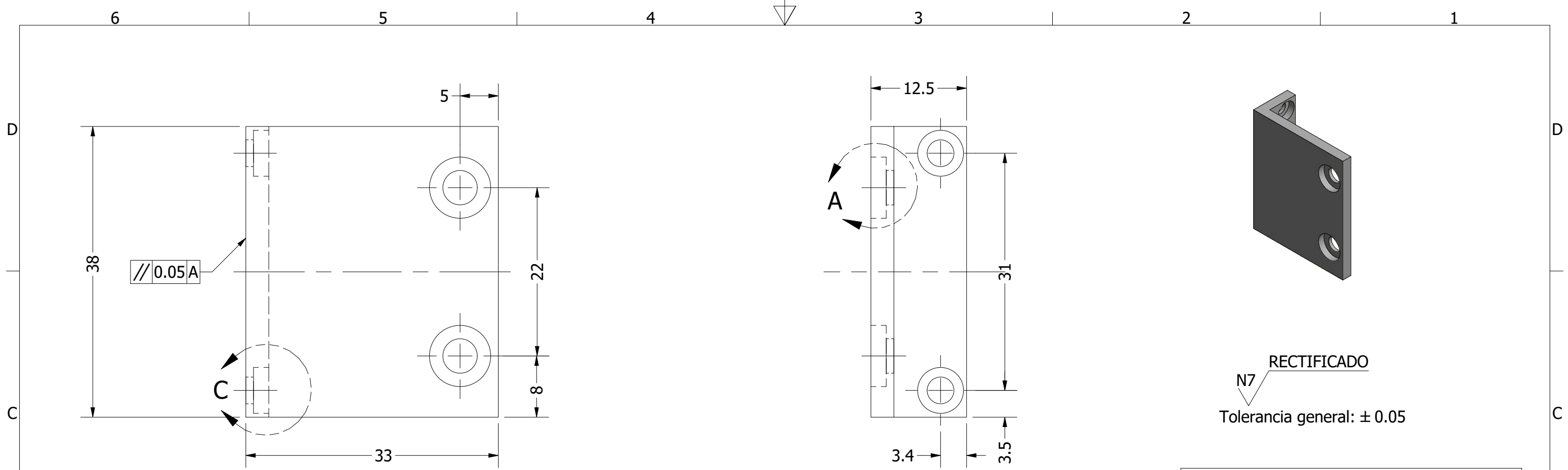
RECTIFICADO
 N5
 Tolerancia general: ± 0.05



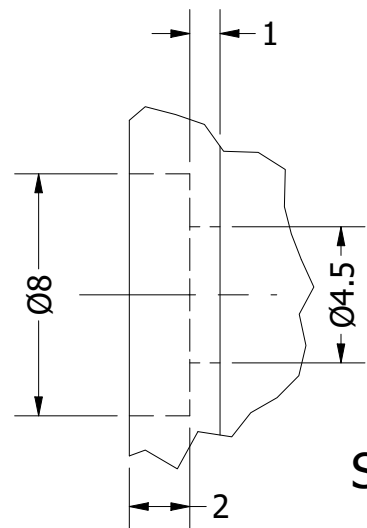
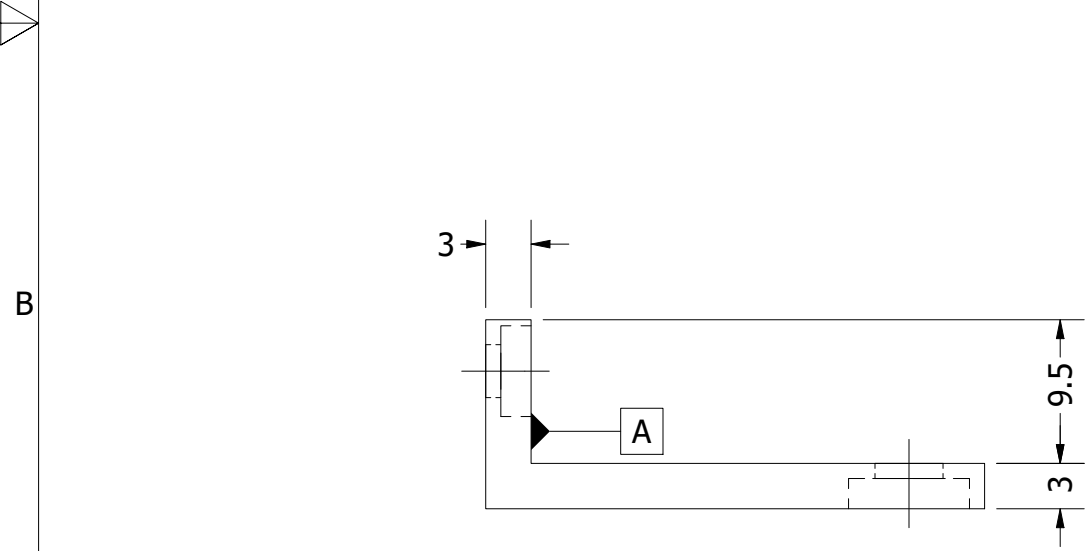
DETAIL A
 SCALE 5 : 1

DATOS	
Unidad de trabajo	Milímetros (mm)
Cantidad de piezas	1
Material	Acero st37

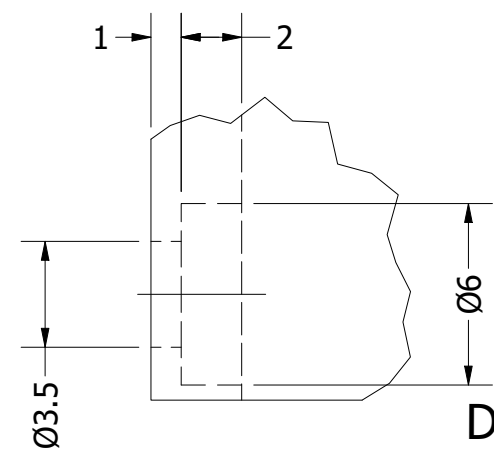
Autor Alex Aveiga Torres Gustavo Ortiz Once		4/11/2021		Universidad Politécnica Salesiana	
Aprobado por: Ing. John Calle PhD.		18/11/2021		Título	
				TAPA MINI LATERAL DE	
		SIZE A3	DWG NO Tapa mini lateral DE	REV 1	
SCALE 3 : 1			SHEET 9 OF 17		



DATOS	
Unidad de trabajo	Milímetros (mm)
Cantidad de piezas	1
Material	Acero st37

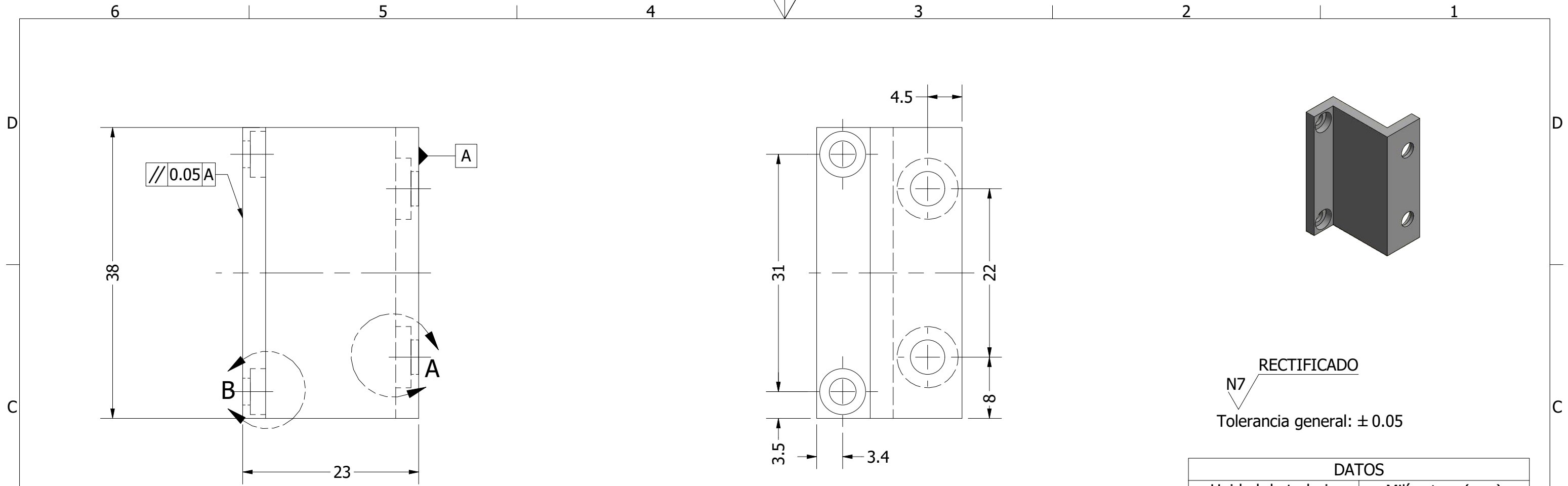


DETAIL A
SCALE 4 : 1



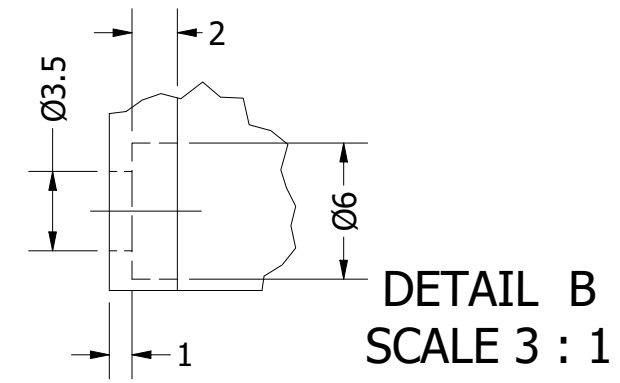
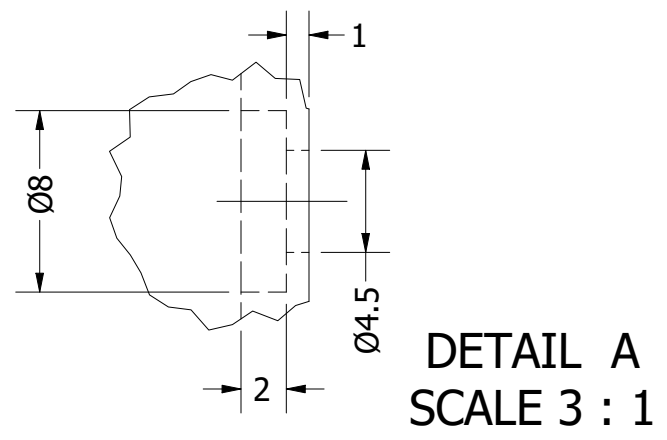
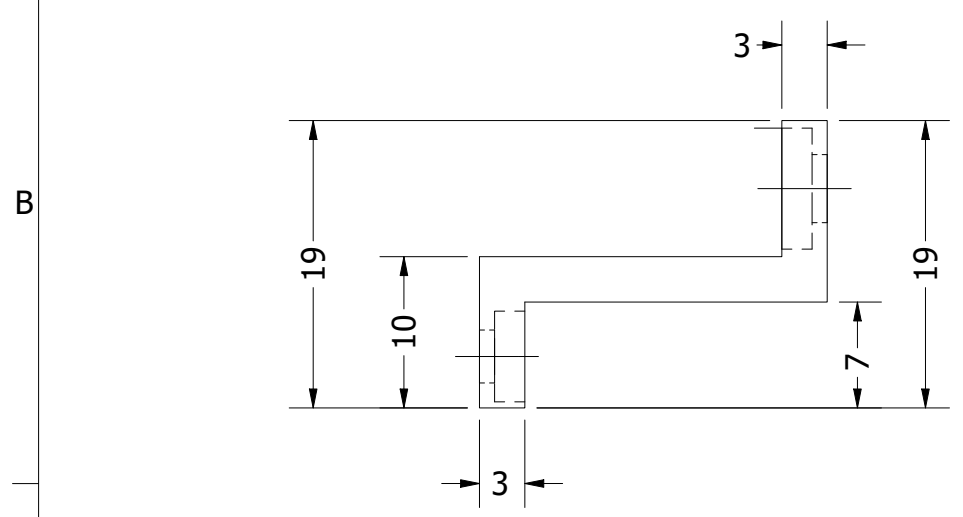
DETAIL C
SCALE 4 : 1


Autor		Universidad Politécnica Salesiana	
Alex Aveiga Torres	4/11/2021	Título	
Gustavo Ortiz Once		SOPORTE IZ	
Aprobado por:	18/11/2021	SIZE	DWG NO
Ing, John Calle PhD.		A3	Soporte IZ
		SCALE	REV
		2 : 1	1
		SHEET 10 OF 17	



RECTIFICADO
 N7
 Tolerancia general: ± 0.05

DATOS	
Unidad de trabajo	Milímetros (mm)
Cantidad de piezas	1
Material	Acero st37



Autor		Universidad Politécnica Salesiana	
Alex Aveiga Torres	4/11/2021	Título	
Gustavo Ortiz Once		SOPORTE DE	
Aprobado por:	18/11/2021	SIZE	DWG NO
Ing. John Calle PhD.		A3	Soporte DE
		SCALE	REV
		2 : 1	1
		SHEET 11 OF 17	

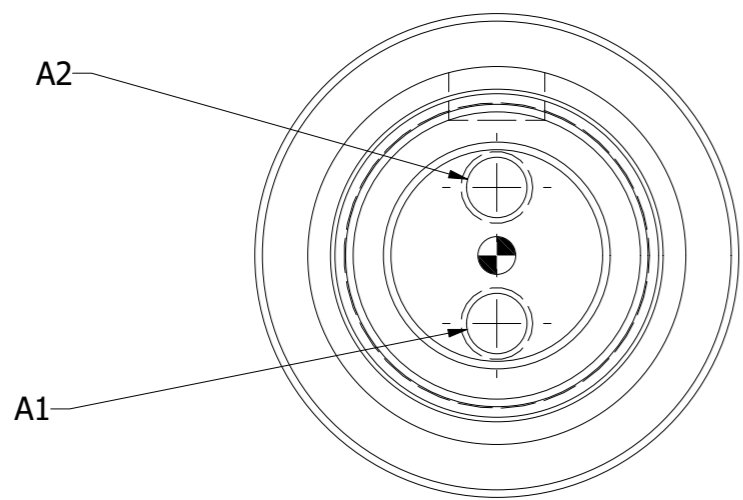
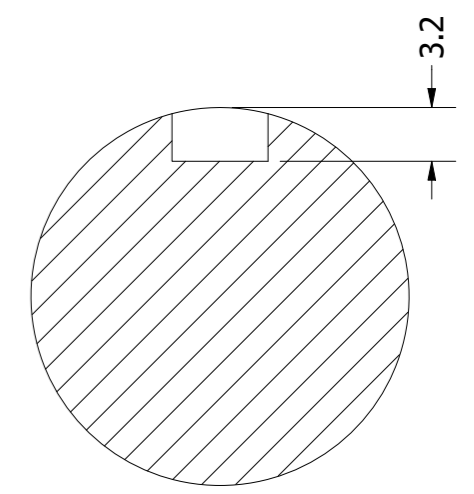
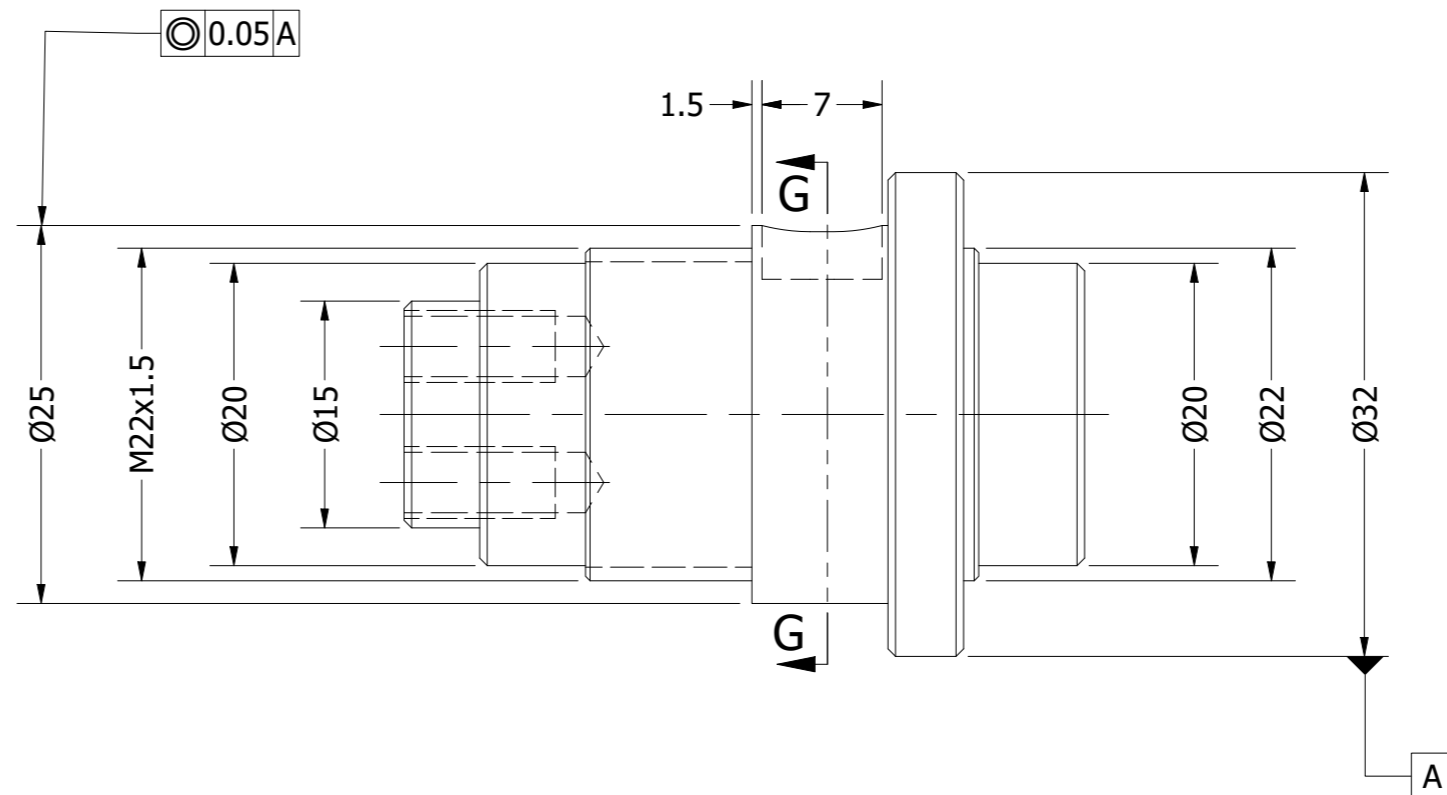
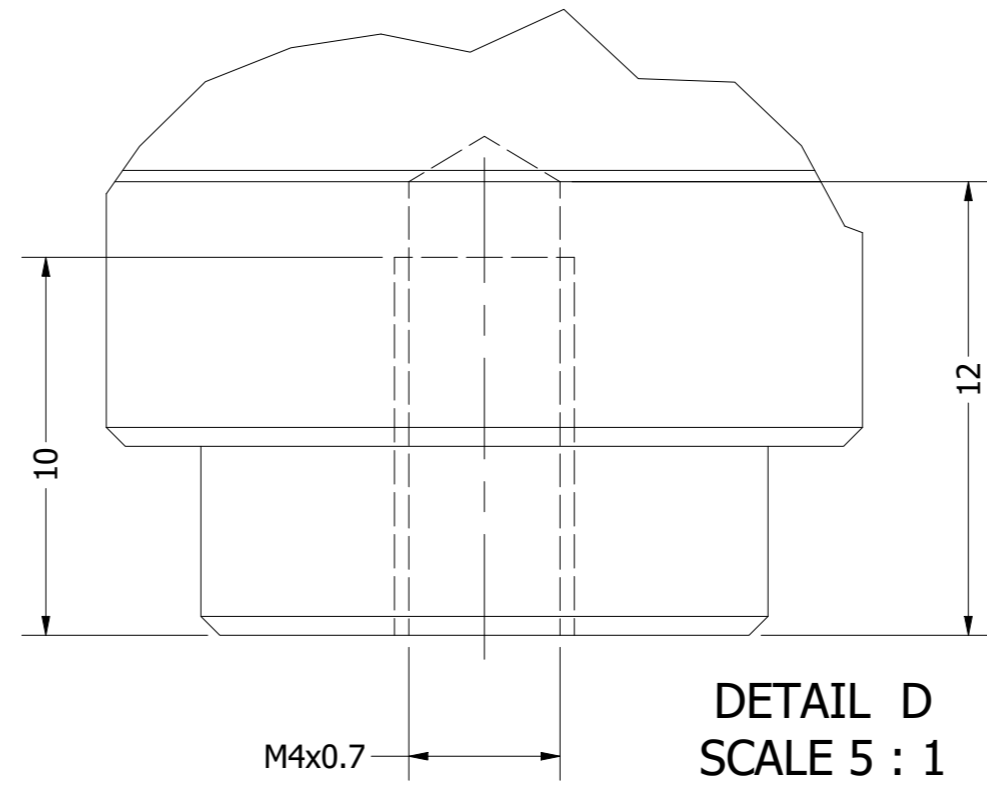
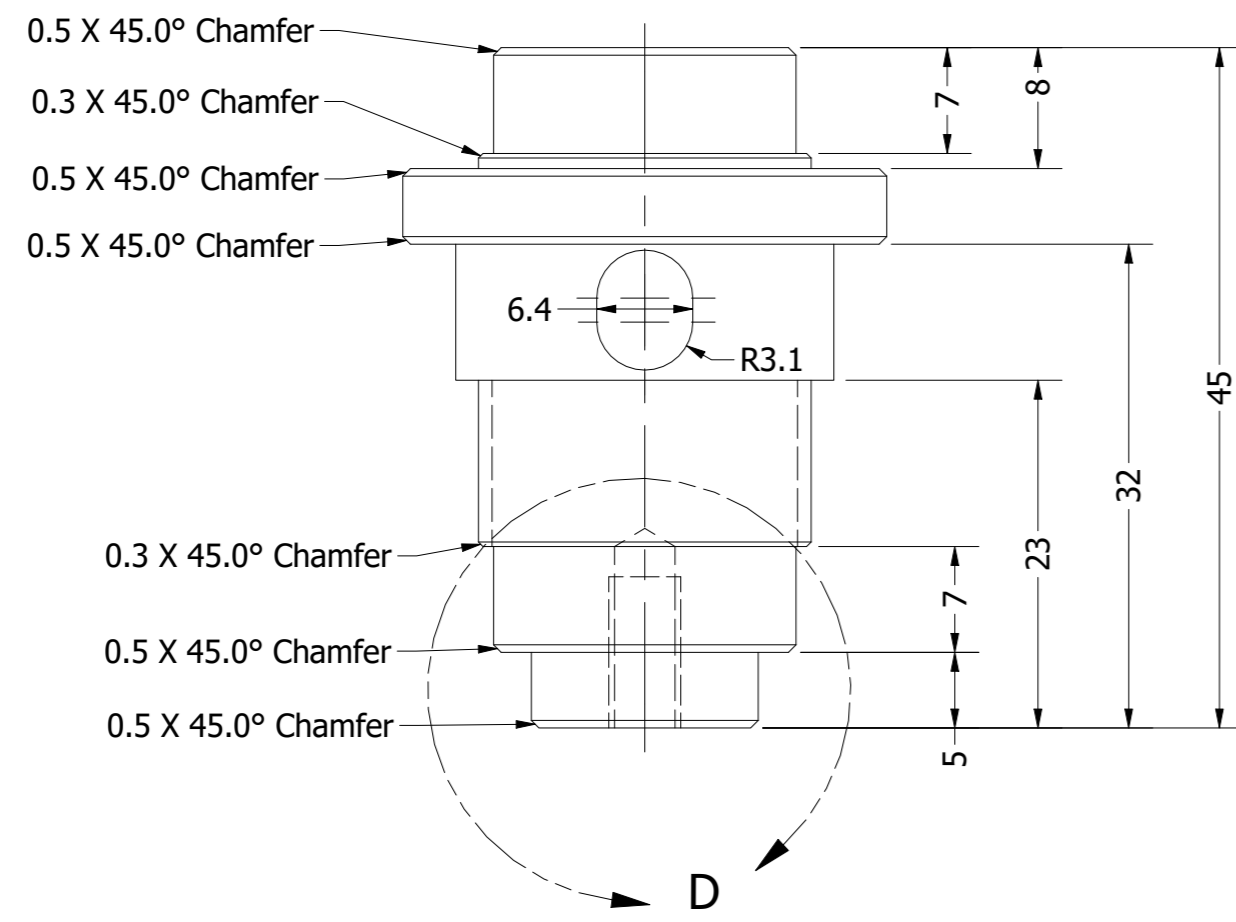


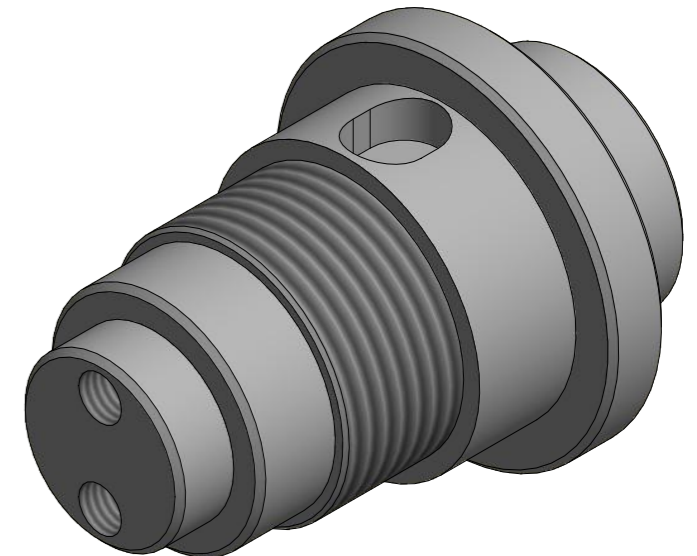
TABLA DE AGUJEROS			
AGUJERO	COTA EN X	COTA EN Y	DESCRIPCIÓN
A1	.00	-4.50	M4x0.7 - ∇ 12
A2	.00	4.50	M4x0.7 - ∇ 12



SECTION G-G
SCALE 2 : 1




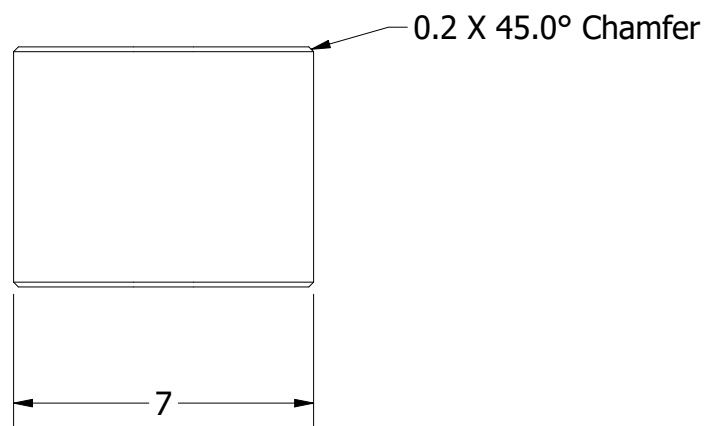
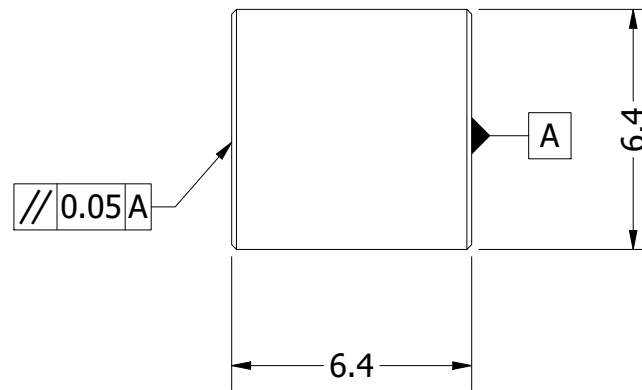
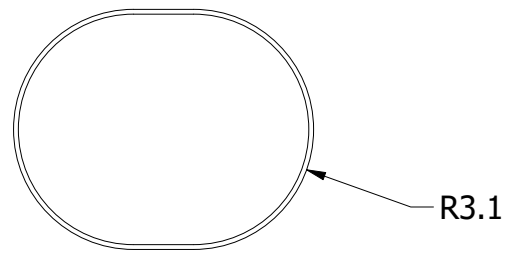
DETAIL D
SCALE 5 : 1



RECTIFICADO
N5
Tolerancia general: \pm 0.05


DATOS	
Unidad de trabajo	Milímetros (mm)
Cantidad de piezas	1
Material	Acero

Autor		Unoversidad Politécnica Salesiana		
Alex Aveiga Torres	4/11/2021	Título		
Gustavo Ortiz Once				
Aprobado por:		EJE		
Ing. John Calle PhD.	18/11/2021			
		SIZE	DWG NO	REV
		A2	Eje	1
SCALE		2 : 1	SHEET 12 OF 17	



N5 RECTIFICADO
Tolerancia general: ± 0.05

DATOS	
Unidad de trabajo	Milímetros (mm)
Cantidad de piezas	1
Material	Acero

Autor		Universidad Politécnica Salesiana	
Alex Aveiga Torres	4/11/2021	Título	
Gustavo Ortiz Once			
Aprobado por:		CHAVETA	
Ing. John Calle PhD.	18/11/2021		
	SIZE	DWG NO	REV
	A3	Chaveta	1
	SCALE	5 : 1	SHEET 13 OF 17

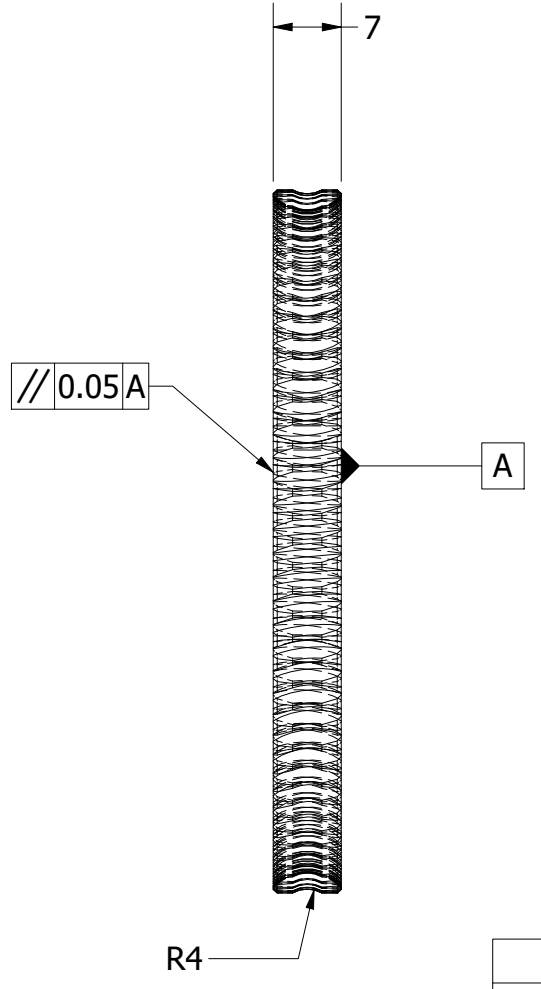
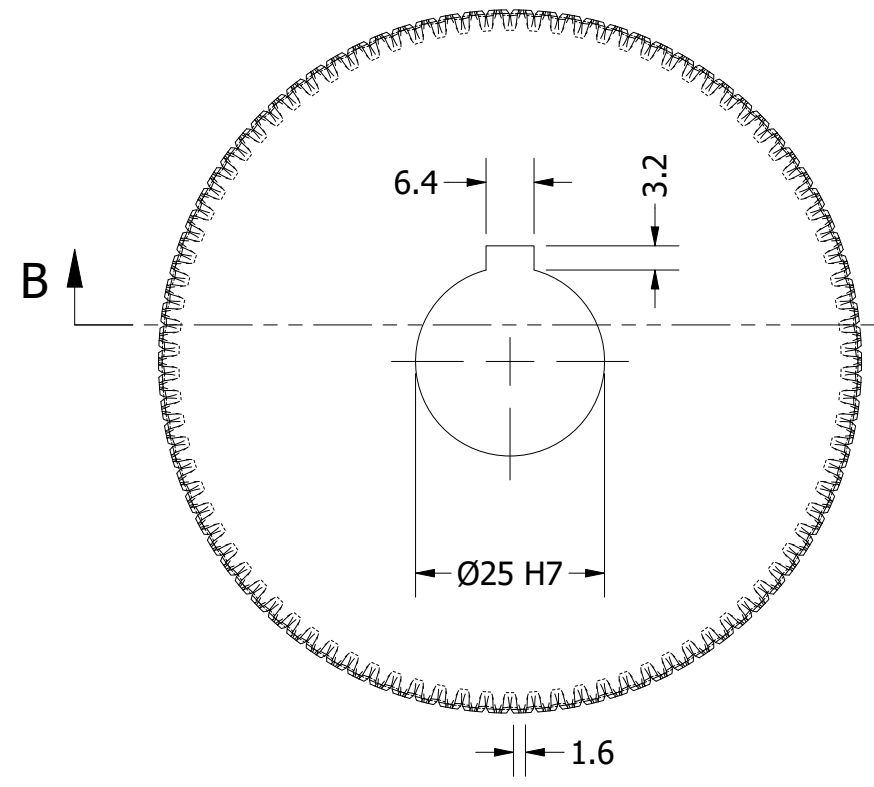
6 5 4 3 2 1

D D

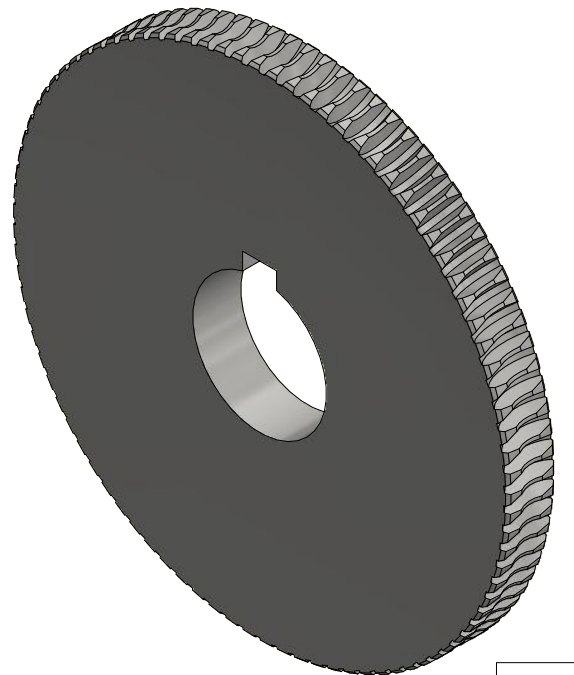
C C

B B

A A

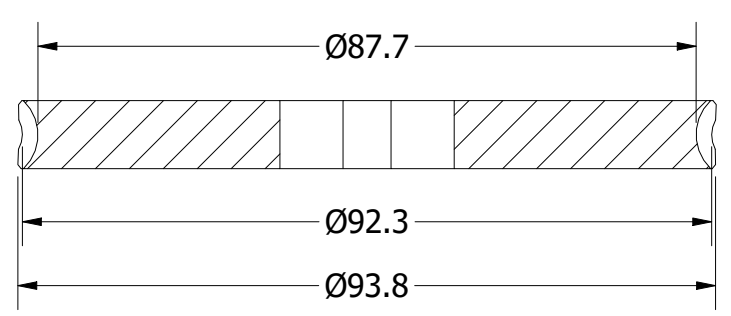


RECTIFICADO
N5
Tolerancia general: ± 0.05




DATOS	
Material	Bronce Fosforado
Módulo	1 mm
Número de dientes	90
Paso	3.1 mm
Espesor del diente	1.6 mm
Altura del diente	2.2 mm
Diámetro primitivo	90 mm
Diámetro exterior	92.3 mm
Diámetro base	87.7 mm
Ángulo de presión	20°
Ángulo de hélice	5.7°
Ancho de cara	9 mm
Diámetro mayor y sobre aristas	93.8 mm
Concavidad Periférica (Radio)	4 mm
Distancia entre centros	50 mm

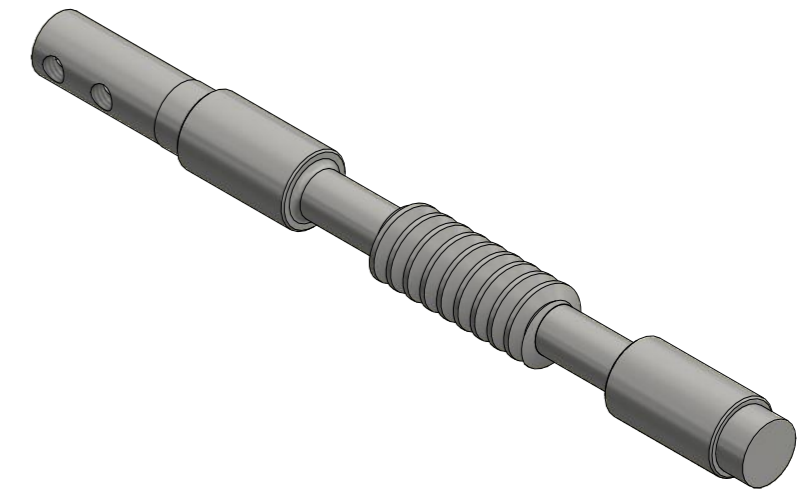
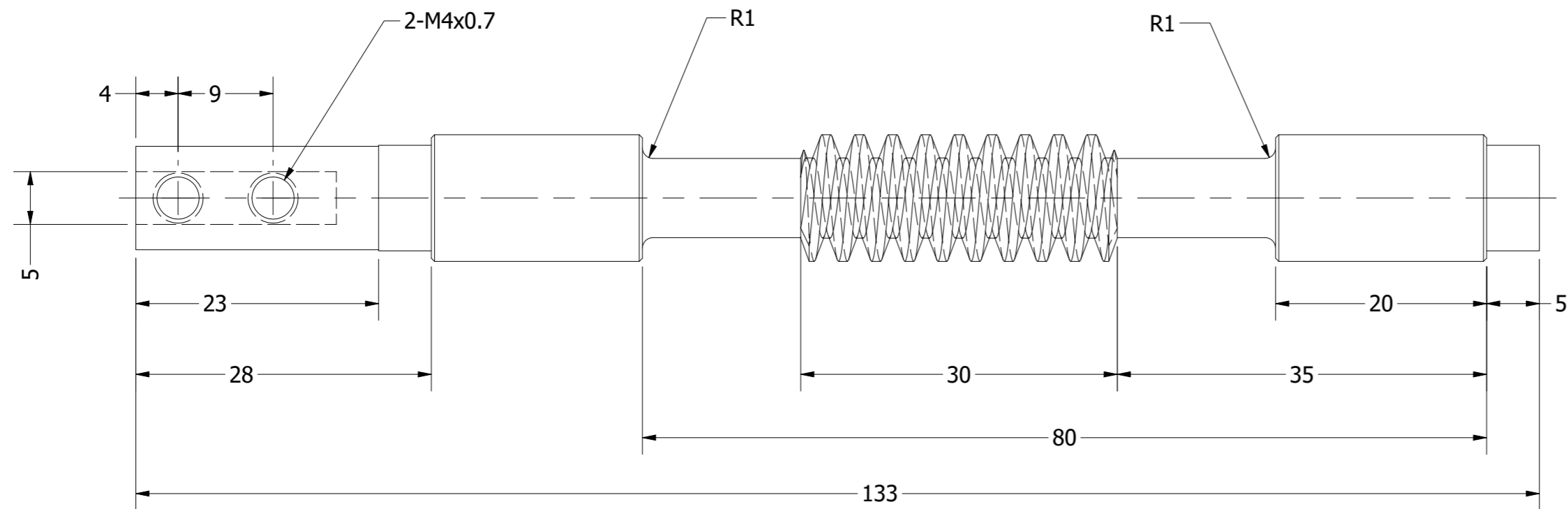
DATOS	
Unidad de trabajo	Milímetros (mm)
Cantidad de piezas	1



SECTION B-B
SCALE 1 : 1

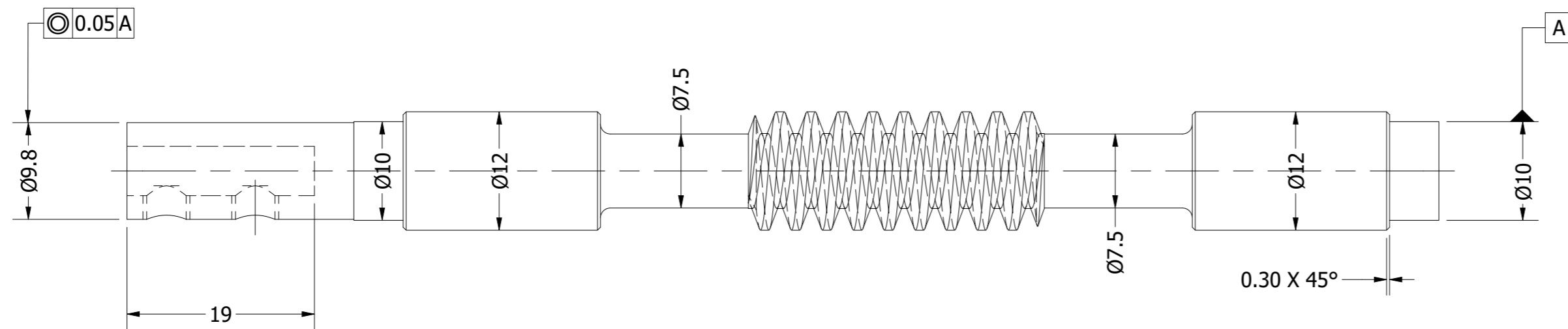
Autor		Universidad Politécnica Salesiana		
Alex Aveiga Torres	4/11/2021	Título		
Gustavo Ortiz Once		CORONA		
Aprobado por:	18/11/2021	SIZE	DWG NO	REV
Ing. John Calle PhD.		A3	Worm Gear1	1
		SCALE	1 : 1	SHEET 14 OF 17

6 5 4 3 2 1




N5 RECTIFICADO
Tolerancia general: ± 0.05

DATOS	
Material	Acero 705
Módulo	1 mm
Número de entradas	1
Paso	3.1 mm
Espesor del filete	1.6 mm
Altura del filete	2.2 mm
Diámetro primitivo	10 mm
Diámetro exterior	12.3 mm
Diámetro base	7.7 mm
Ángulo de presión	20°
Ángulo de hélice	5.7°
Longitud del ancho de cara roscada	30 mm



DATOS	
Unidad de trabajo	Milímetros (mm)
Cantidad de piezas	1

Autor		Universidad Politécnica Salesiana		
Alex Aveiga Torres	4/11/2021	Título		
Gustavo Ortiz Once				
Aprobado por:		TORNILLO SIN FIN		
Ing. John Calle PhD.	18/11/2021			
		SIZE	DWG NO	REV
		A2	Worm1	1
SCALE		SHEET 15 OF 17		
2 : 1				

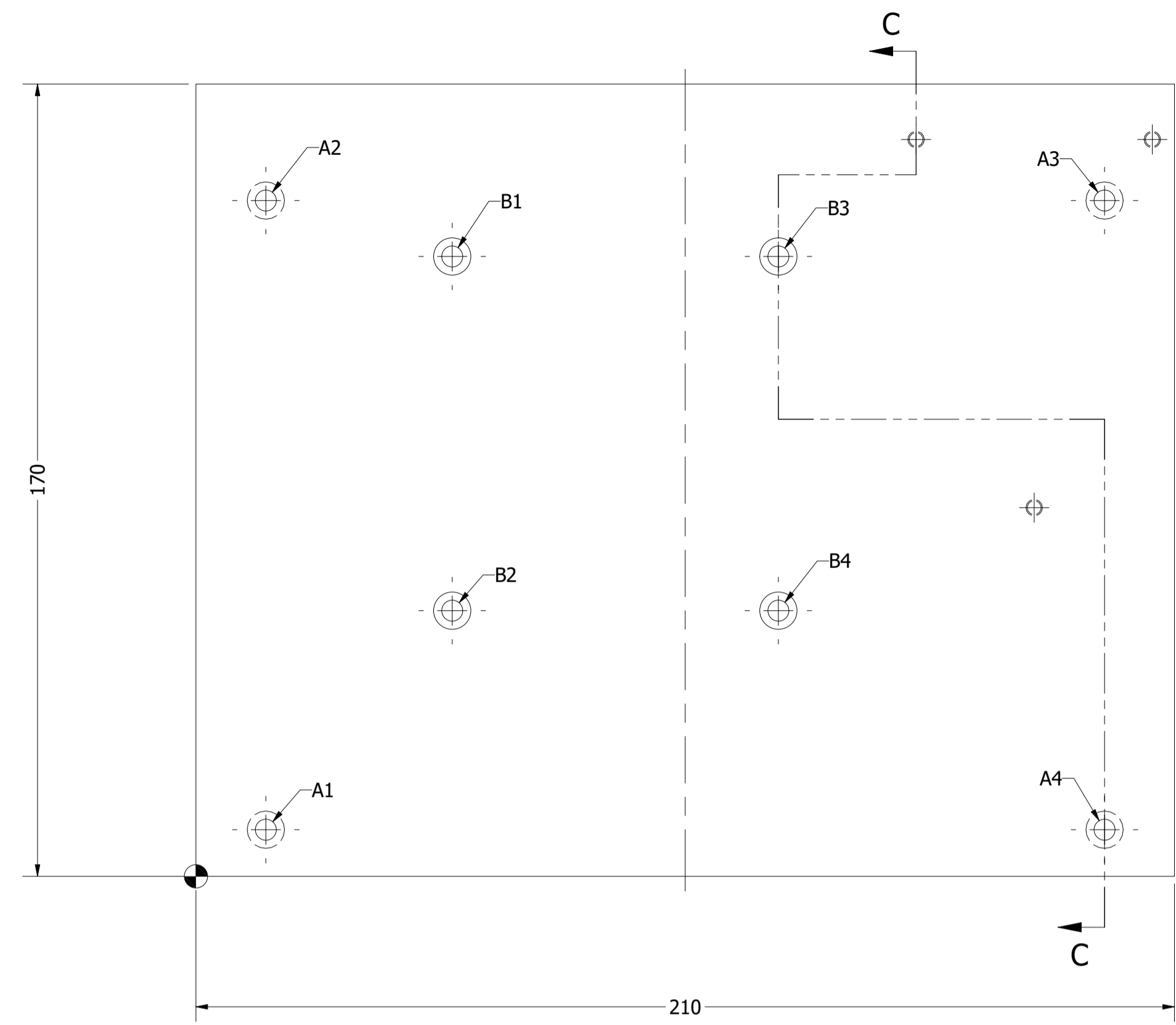
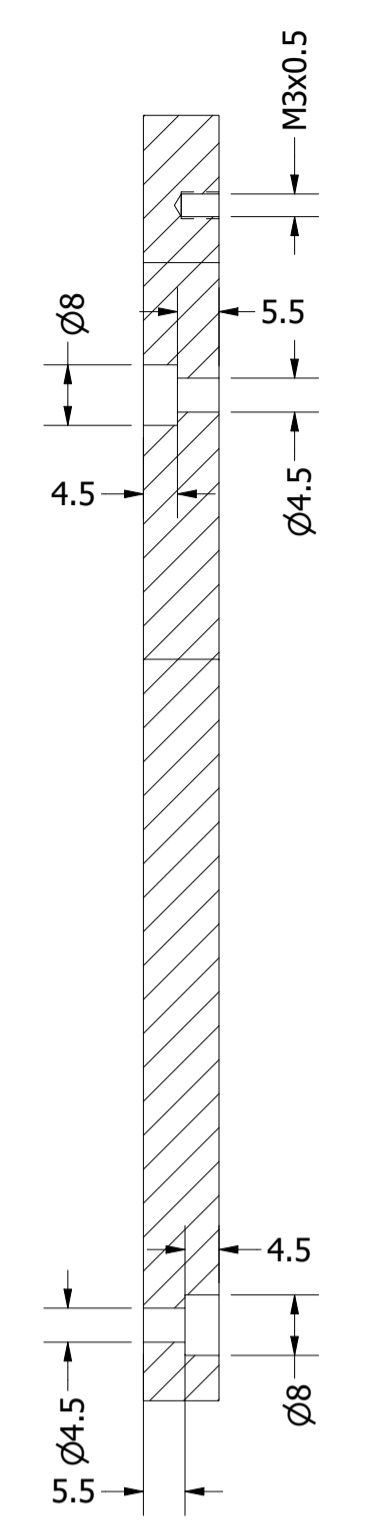
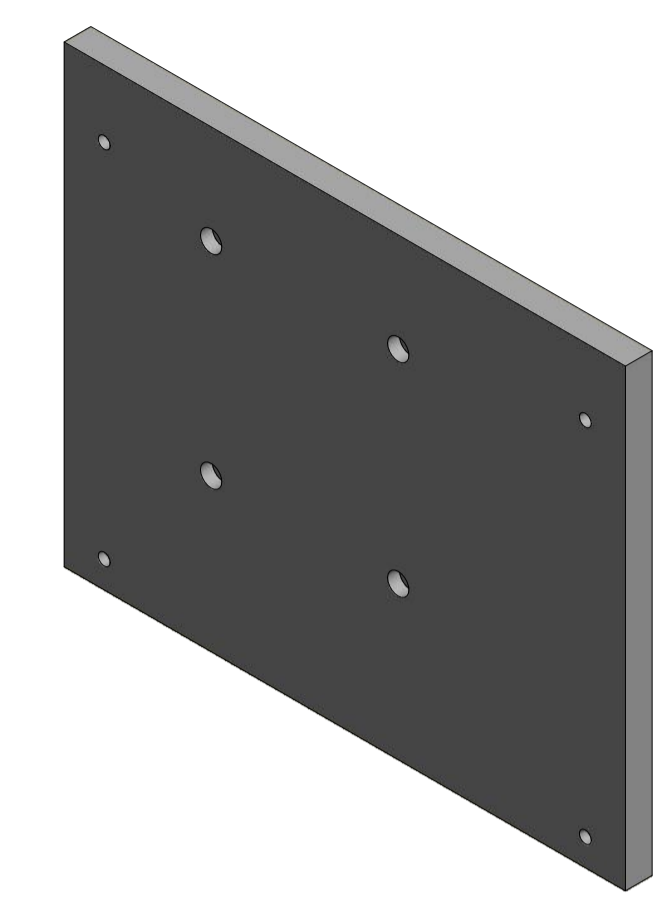


TABLA DE AGUJEROS			
AGUJERO	COTA EN X	COTA EN Y	DESCRIPCIÓN
A1	15.00	10.00	Ø4.5 - √ 5.5 ISF Ø8
A2	15.00	145.00	Ø4.5 - √ 5.5 ISF Ø8
A3	195.00	145.00	Ø4.5 - √ 5.5 ISF Ø8
A4	195.00	10.00	Ø4.5 - √ 5.5 ISF Ø8
B1	55.00	133.00	Ø4.5 - √ 5.5 ISF Ø8
B2	55.00	57.00	Ø4.5 - √ 5.5 ISF Ø8
B3	125.00	133.00	Ø4.5 - √ 5.5 ISF Ø8
B4	125.00	57.00	Ø4.5 - √ 5.5 ISF Ø8

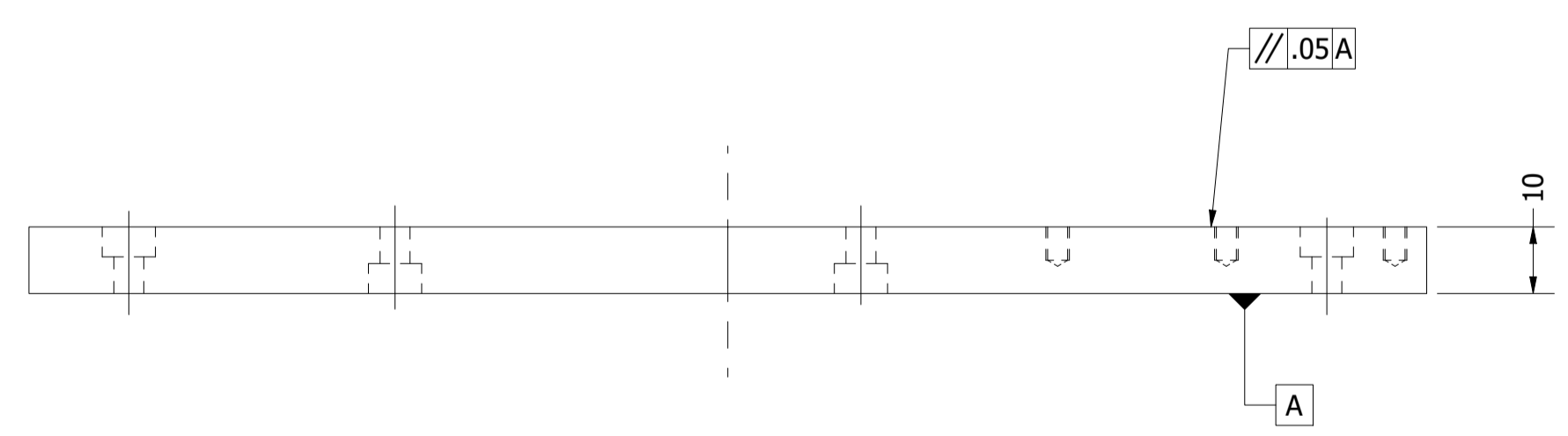


SECTION C-C
SCALE 1 : 1

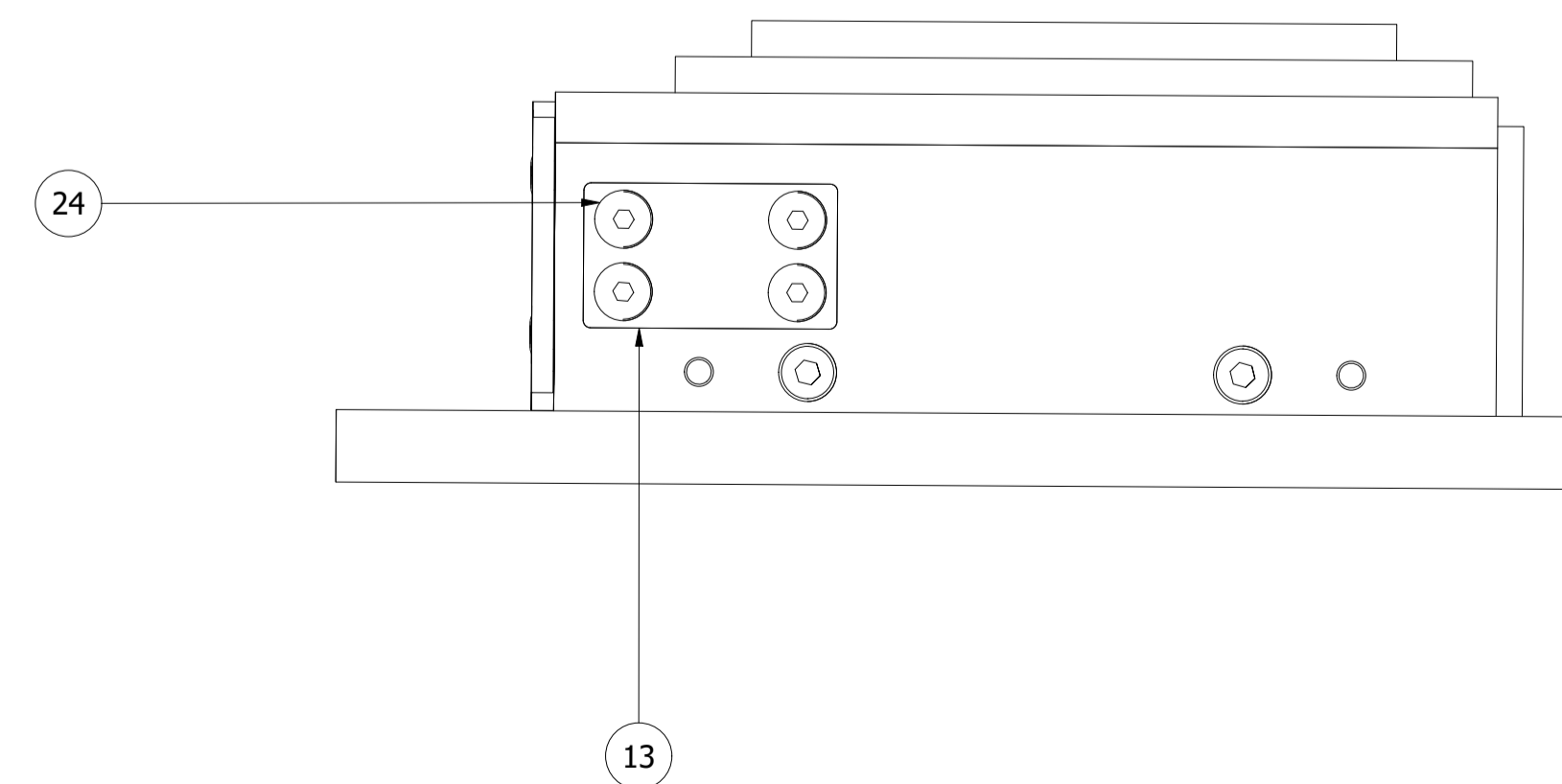
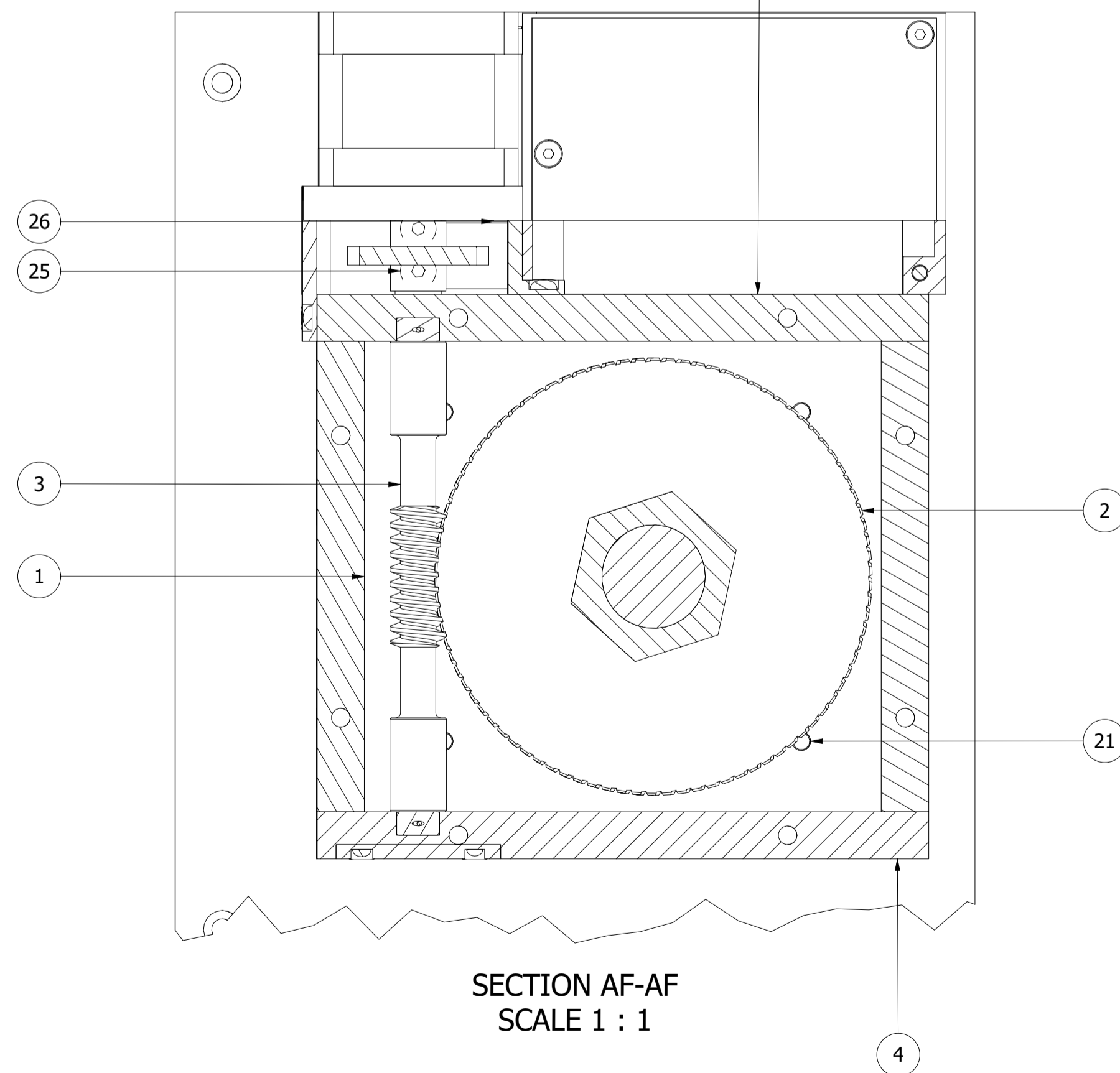
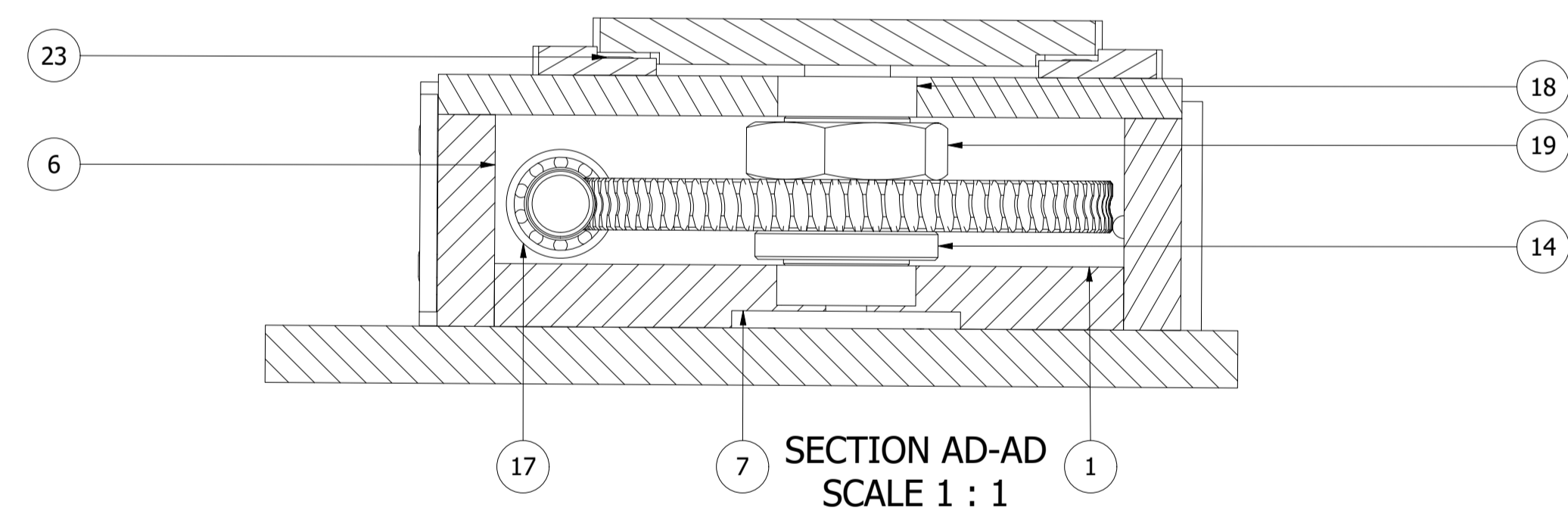
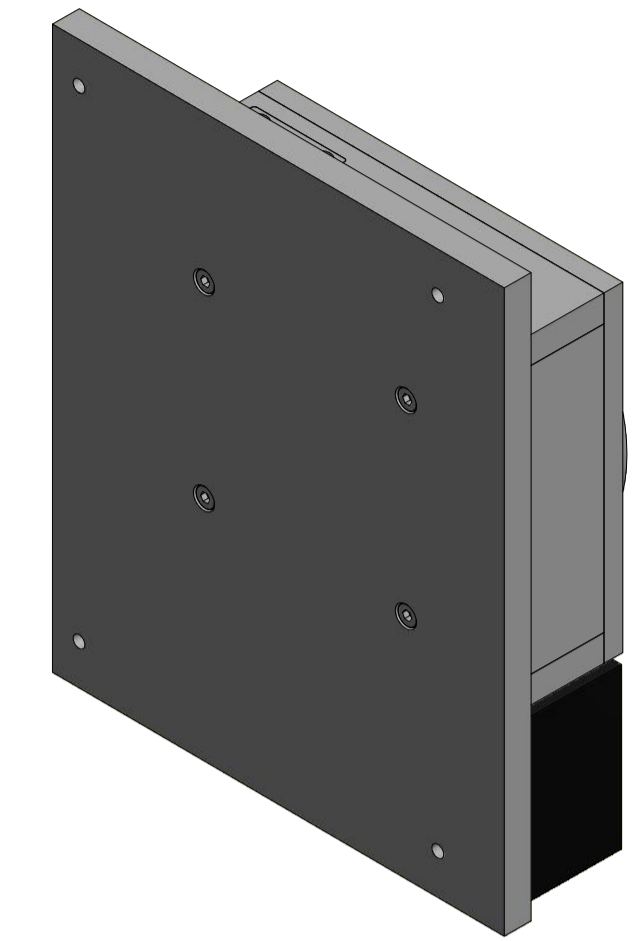
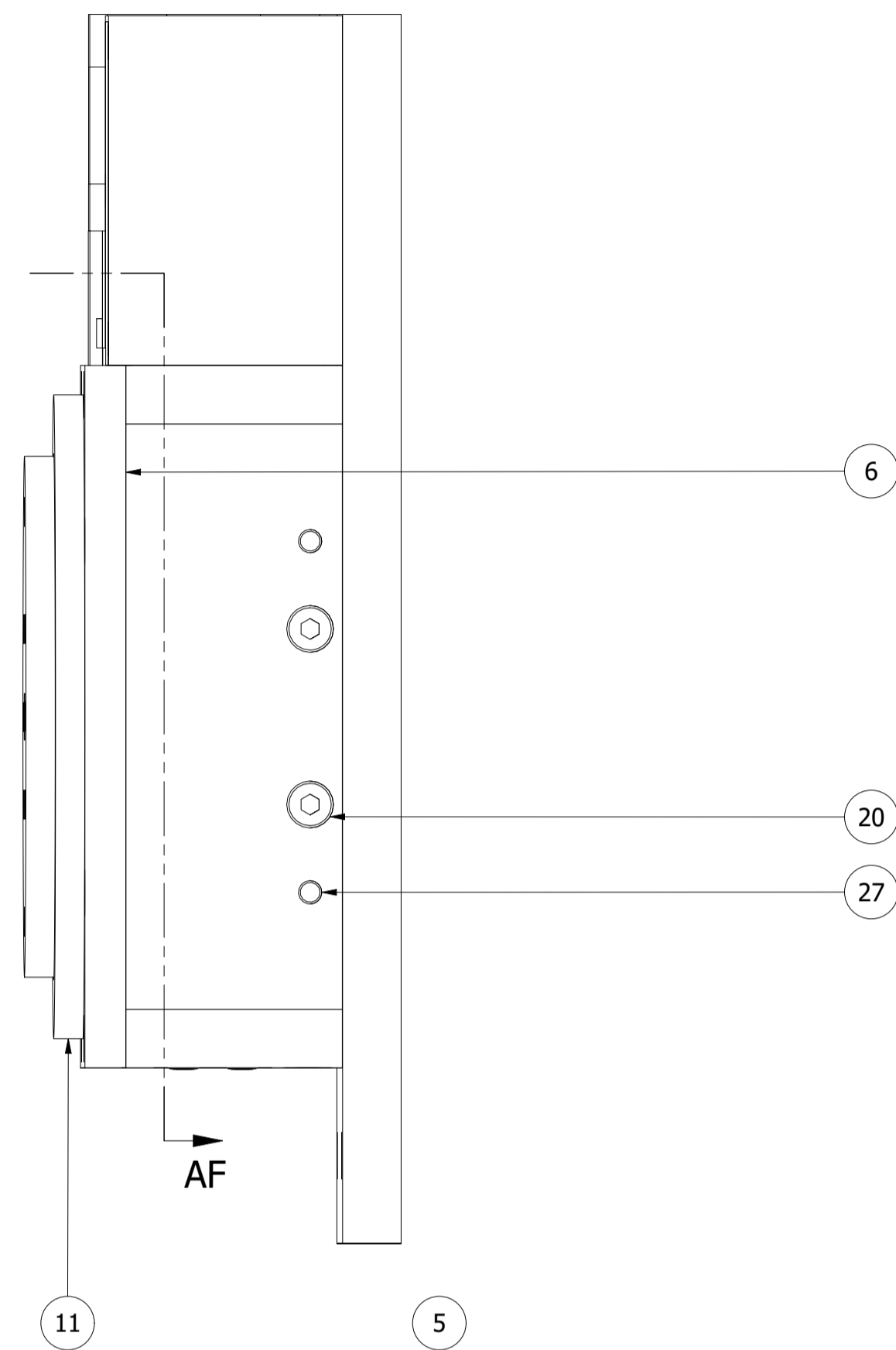
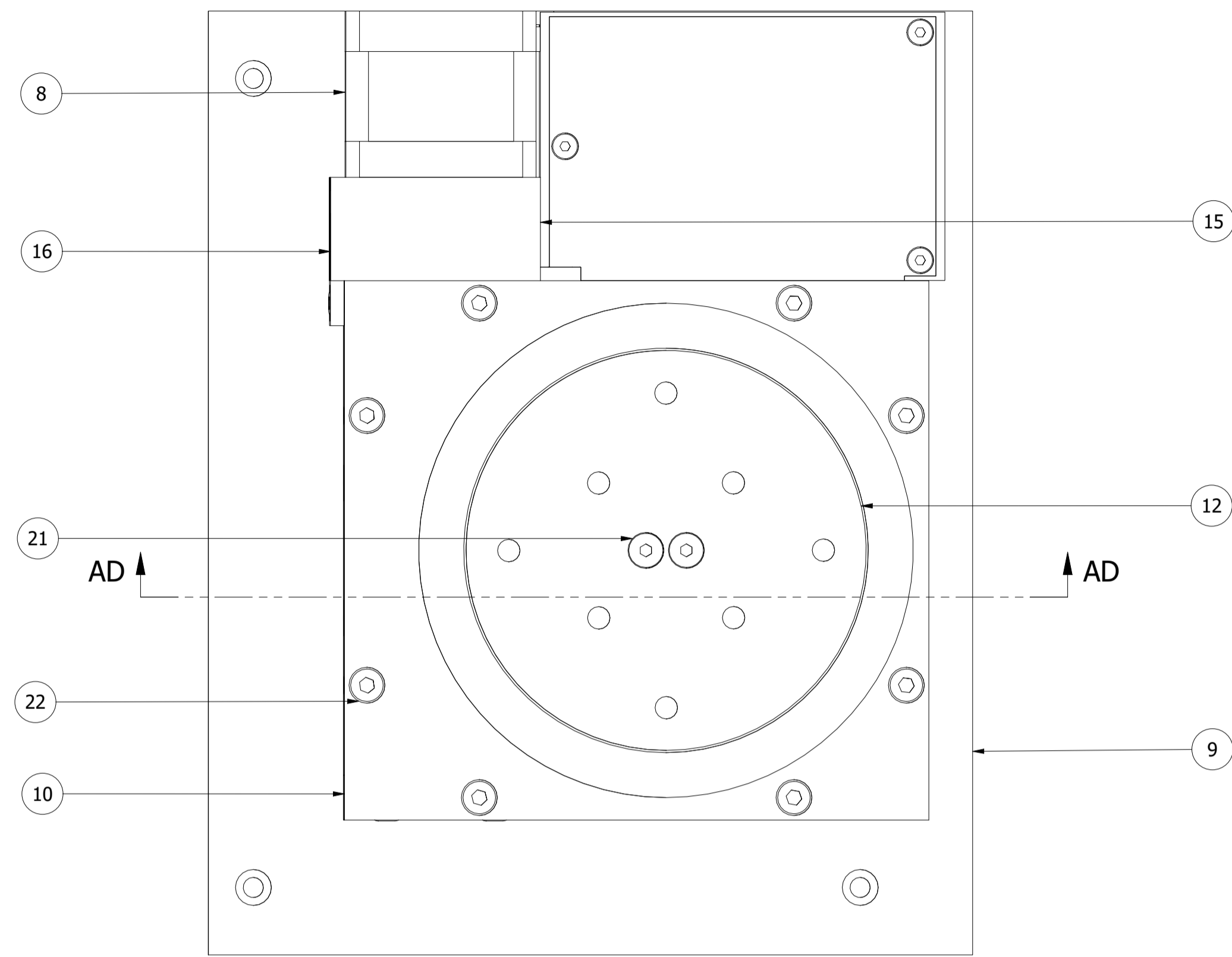


N5 RECTIFICADO
Tolerancia general: ± 0.05

DATOS	
Unidad de trabajo	Milímetros (mm)
Cantidad de piezas	1
Material	Acero st37



Autor Alex Aveiga Torres Gustavo Ortiz Once		6/12/2021	Universidad Politécnica Salesiana	
Aprobado por: Ing. John Calle PhD.		7/12/2021	Título BASE SECUNDARIA	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		SIZE A1	DWG NO Base secundaria	REV 1
SCALE 1 : 1		SHEET 16 OF 17		



LISTA DE LAS PARTES		
ITEM	CANTIDAD	NOMBRE DE LAS PARTES
1	1	Base principal
2	1	Corona
3	1	Tornillo sin fin
4	1	Tapa lateral derecha
5	1	Tapa lateral izquierda
6	2	Tapa delantera y trasera
7	1	Tapa inferior
8	1	Motor paso a paso
9	1	Base secundaria
10	1	Tapa superior
11	1	Plataforma 1
12	1	Plataforma 2
13	1	Tapa mini lateral DE
14	1	Eje
15	1	Soporte DE
16	1	Soporte IZ
17	2	Rodamientos SKF_61800
18	2	Rodamientos SKF_61804
19	1	Tuerca hexagonal M22x1.5
20	12	Tornillos Allen M4x0.7x16 mm
21	2	Tornillos Allen M4x0.7x12 mm
22	8	Tornillos Allen M4x0.7x9 mm
23	4	Tornillos Allen M4x0.7x7 mm
24	12	Tornillos Allen M4x0.7x6 mm
25	2	Tornillos Allen M4x0.7x2.9 mm
26	4	Tornillos Allen M3x0.5x8 mm
27	8	Pasador D4x22 mm
28	1	360 Rejillas
31	1	Plataforma Placa
33	1	Tapa Encoder
34	1	Base Encoder
35	1	Tapa Acrílico
36	1	Tapa

Autor Alex Aveiga Torres Gustavo Ortiz Once		23/11/2021	Universidad Politécnica Salesiana	
Aprobado por: Ing. John Calle PhD.		24/11/2021	Titulo Caja Completa	
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		SIZE A1	DWG NO Completo	REV 1
SCALE 1 / 2		SHEET 17 OF 17		