REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

"COMPROBACIÓN EXPERIMENTAL DE PARÁMETROS Y PROPUESTA DE DISEÑO PARA UN MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A UNA RUEDA PARA VEHÍCULOS DE BAJA CARGA"

Tesis presentada por el Bachiller:

Pilco Lazarte, Eduardo Martín

para optar el Título Profesional de

Ingeniero Mecatrónico

Asesor:

Mg. Chirinos Apaza, Luis Adrián

Arequipa - Perú

2021

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 05 de Agosto del 2021

Dictamen: 002540-C-EPIMMEM-2021

Visto el borrador del expediente 002540, presentado por:

2006245391 - PILCO LAZARTE EDUARDO MARTIN

Titulado:

COMPROBACIÓN EXPERIMENTAL DE PARÁMETROS Y PROPUESTA DE DISEÑO PARA UN MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A UNA RUEDA PARA VEHÍCULOS DE BAJA CARGA

Nuestro dictamen es:

APROBADO

1936 - MESTAS RAMOS SERGIO ORLANDO
DICTAMINADOR

2337 - CHIRINOS APAZA LUIS ADRIAN
DICTAMINADOR

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, Julio y María por haberme instruido, formado y permitido convertirme en la persona que soy ahora; estoy agradecido con su apoyo ante las circunstancias adversas y sobre todo en su confianza, que me permiten seguir adelante por el buen camino.

A mis hermanos Carmen, Luis y Lenka a los que seguí los pasos como un ejemplo, en el sendero del camino religioso, académico y profesional.

A mis compañeros y amigos de colegio, por su fuerza, vigor y dedicación con lo cual logramos salir adelante.

Y las enseñanzas de mis maestros, sus ejemplos formaron un profesional integro y responsable

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Católica de Santa María y a la carrera profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica por todos los conocimientos adquiridos durante los años de estudio.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo realizar la demostración de funcionamiento de un motor brushless con el fin de proponer una solución de motor adaptable a ruedas de vehículos de carga ligera para posibles aplicaciones de tractores pequeños usados en agricultura y ganadería. Esto permitirá abrir un campo de investigación sobre la aplicación de soluciones tecnológicas de vehículos eléctricos para el sector agrícola.

El prototipo fabricado para esta investigación cuenta con las partes esenciales de un motor eléctrico, además de sensores externos que permitan realizar lecturas de parámetros tales como: velocidad de giro, corriente de consumo y dirección de giro. Por otra parte, para los materiales de construcción tales como los imanes y el bobinado para la generación del campo eléctrico se utilizaron partes que se pueden adquirir en tiendas de hardware online (Ebay, Aliexpress, Amazon, etc); de igual manera, para prototipar se utilizaron técnicas de fabricación digital (Impresión 3D, corte láser, etc) combinadas con técnicas de fabricación tradicional.

La propuesta de diseño eléctrico se da a partir de las pruebas realizadas al motor de referencia a distintas velocidades de rotación, en configuración estrella y delta. Finalmente, los requerimientos de diseño para la parte mecánica fueron tomados en referencia a las prestaciones que pudiera tener un vehículo de conducción para un pasajero usado para cargar sacos de papas para el sector agrícola.

PALABRAS CLAVES: Motor brushless, sensores, corriente de consumo, velocidad de giro, rueda.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ABSTRACT

The main objective of this research is to demonstrate the brushless motor operation with the purpose to propose a design solution for an adaptable motor wheel applied for low load applications, as small tractors for agriculture and cattle raising. This will allow future research about solutions for electric vehicles in the agriculture sector.

The manufactured prototype for this research has the essential parts used for electric motors, as well as external sensors that can help make lectures of parameters like: rotation speed, consumption current and rotate direction. Also, materials like magnets and winding for electric field generation can be found in hardware stores online (Ebay, Aliexpress, Amazon, etc); in the same way, digital fabrication techniques (3D printing, laser cut, etc) combined with traditional fabrication techniques were used to prototype.

The proposal of the electrical design was realized based on the test made in the referential motor at different rotation speeds at different configuration as star and delta. Finally, the requirements for the mechanical design were taken as reference of the possible scenario were the vehicle requires an only passenger and can carry potato sacks seen in the agriculture sector.

KEY WORDS: Brushless motor. sensors, consumption current, rotation speed, wheel.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

INTRODUCCIÓN

Los motores brushless son motores rotacionales de magneto permanente, estos motores permiten satisfacer diferentes aplicaciones en el tiempo y pueden ser clasificados como motores brushless DC, motores de magneto permanente síncronos y motores de magneto permanente paso a paso. Estos tipos de motores tienen la característica de usar fuerza electromotriz trapezoidal y son controlados comúnmente por pulsos de corriente rectangulares; de esa manera, se asemejan al funcionamiento de un motor DC común.

La forma típica de este tipo de motores es la cilíndrica, y a su vez contienen dos partes principales: una parte estática o estacionaria llamada estator, y una parte móvil o rotativa llamada rotor. En otras ocasiones, el rotor permanece dentro del estator, ya que de esta manera la parte rígida en el exterior permite ser montada a una estructura con mayor facilidad, y permite proveer un escudo natural al rotor de agentes externos. Por otra parte, cuando el rotor se encuentra alrededor del estator el motor es comúnmente denominado motores de flujo radial, donde una película de aire permanece entre el rotor y el estator. Es por ello, que este tipo de motores son ideales para su aplicación en el sector automovilístico, como la propuesta de usarlo directamente como una de las 4 ruedas de un vehículo de carga baja que puede ser aplicado para ayudar al proceso de carga de productos agrícolas dentro de una chacra.

La presente investigación está constituida por capítulos, en los cuales se desarrolla cada uno de la siguiente manera:

En el capítulo uno se establece la metodología que se desarrollará para la investigación, la problemática, se identificará tantos el objetivo principal como los objetivos secundarios, se desarrolla el marco teórico, donde se relacionan los conceptos de la teoría de motores brushless con énfasis en los motores Halbach, sus componentes y

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

aplicaciones. Además, de los sistemas de amortiguación usados en los vehículos.

En el capítulo dos se plantea la operación de la investigación, técnicas a utilizar, instrumentos, los alcances y se verificara la existencia de limitaciones para el desarrollo y el cronograma de actividades.

En el capítulo tres se explica el diseño del controlador electrónico para las pruebas, sus partes, periféricos, funcionamiento de su sistema de control, interfaz humano-máquina y programación.

En el capítulo cuatro se realiza la implementación de un motor Halbach referencial y un módulo de pruebas para obtener las lecturas deseadas (Corriente de consumo y velocidad de giro, etc), al igual que se realizan pruebas de funcionamiento y se obtienen datos que luego se procesan para poder obtener características de funcionamiento del motor.

En el capítulo cinco se propone el diseño de motor embebido en una rueda para aplicación en vehículos de carga baja tales como los que pueden utilizar en el sector agrícola, y se realizan los cálculos previos para su posible implementación, tanto los mecánicos como los eléctricos, además de proponer un sistema de suspensión para el mismo.

Finalmente, se llega a las conclusiones de factibilidad de aplicación y recomendaciones finales que servirán para modificaciones y futuros diseños.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CONTENIDO

DEDICATORIA iii
AGRADECIMIENTOS iv
RESUMEN v
ABSTRACT vi
INTRODUCCIÓN vii
CONTENIDO ix
ÍNDICE DE FIGURAS xiii
ÍNDICE DE TABLAS xvi
CAPÍTULO 1 PLANEAMIENTO TEÓRICO 17
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 17
1.1.1 Identificación del problema 17
1.1.2 Enunciado del problema 17
1.1.3 Justificación de la investigación 17
1.2 OBJETIVOS 18
1.2.1 Objetivo general 18
1.2.2 Objetivos específicos 18
1.3 MARCO TEÓRICO 19
1.3.1 Antecedentes de la investigación 19
1.3.2 Teoría de motores eléctricos de corriente continua 21
1.3.3 Partes de un motor de corriente continua 24
1.3.3.1 Rotor 25
1.3.3.2 Colector 25
1.3.3.3 Estator 26
1.3.3.4 Escobillas 27
1.3.4 Funcionamiento de un motor de corriente continua 27
1.3.4.1 Ventajas de los motores de corriente continua 29
1.3.4.2 Desventajas de los motores de corriente continua 29
1.3.5 Motores Brushless de corriente continua 30
1.3.5.1 Partes 32
1.3.5.2 Tipos de motores BLDC 33
1.3.5.3 Principio de funcionamiento de motores BLDC 34

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.3.5.4 Conmutación trapezoidal para controlar motores BLDC 35
1.3.5.5 Escenarios del tipo de control para motores BLDC 38
1.3.6 Motores Halbach 39
1.3.6.1 Arreglo dipolar 39
1.3.7 Sistemas de suspensión en automóviles 44
1.3.7.1 Ballestas 44
1.3.7.2 Muelles helicoidales 45
1.3.7.3 Barra de torsión 45
1.3.7.4 Barra estabilizadora 46
1.3.7.5 Rótulas 48
1.3.7.6 Brazos de suspensión 48
1.3.8 Amortiguadores 50
1.3.8.1 Amortiguadores hidráulicos convencionales 51
1.3.8.2 Amortiguadores a gas 51
1.3.8.3 Amortiguadores de gas no regulables 52
1.3.8.4 Amortiguadores de gas regulables 52
1.3.8.5 Amortiguadores oleo neumáticos telescópicos 52
1.3.9 Ruedas independientes 53
1.3.9.1 Movimientos telescópicos 53
1.3.9.2 Cuadrilátero deformable 54
1.3.9.3 Brazos longitudinales paralelos 54
1.3.9.4 Brazo longitudinal sencillo 55
1.3.9.5 Brazo transversal 55
1.3.9.6 Brazo compuesto y eje oblicuo de rotación 56
1.3.10 Aplicaciones de motores eléctricos en vehículos 56
CAPÍTULO 2 PLANEAMIENTO DE LA OPERACIÓN 59
2.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 59
2.1.1 Técnicas 59
2.1.2 Instrumentos 59
2.2.1 Campo 59
2.2.2 Área 60
2.2.3 Línea 60
2.2.4 Diseño 60

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.2.5 Periodo 60
2.3.1 Técnicas 60
2.4.1 Alcances 61
2.4.2 Limitaciones 61
2.4.3 Cronograma 63
CAPÍTULO 3 DISEÑO DE CONTROLADOR ELECTRÓNICO 64
3.2.1 Sensor de corriente ACS712-30A 65
3.2.2 Sensor de lectura de RPMs (infrarrojo) TCRT5000 67
3.3.1 Controlador de velocidad ESC-HW-30A 70
3.3.2 Módulo de relé doble 72
3.4.1 Microcontrolador Arduino Mini Strong 74
3.5.1 Controlador de LCD 16x2 por I2C 78
3.5.2 Pantalla LCD 16x2 80
3.5.3 Potenciómetro 82
3.5.4 Botones 83
3.7.1 Funcionamiento del controlador 87
3.7.2 Partes del controlador 88
CAPÍTULO 4 PRUEBA EXPERIMENTAL DE MOTORES HALBACH 91
4.1.1 Rotor 93
4.1.2 Núcleo del estator 94
4.1.3 Montaje del estator 94
4.5.1 Pruebas en arreglo estrella 106
4.5.2 Pruebas en arreglo delta 109
4.5.3 Resumen de datos 112
CAPÍTULO 5 DISEÑO DE LA RUEDA MOTOR HALBACH 113
5.3.1 Cálculo de imanes 119
5.3.2 Cálculo de calibre de cable 122
5.3.3 Diseño del rotor 124
5.3.4 Diseño del estator 130
5.3.5 Selección del sistema de suspensión 134
5.3.6 Integración 136
CONCLUSIONES 138
RECOMENDACIONES 139

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

REFERENCIAS 140
ANEXOS 142
ANEXO N° 1: Mediciones de rendimiento de motor Halbach referenciales 142
ANEXO N° 2: Amortiguador ZF FS 03 146
ANEXO N° 3: Calidades superficiales por proceso de conformación 147
ANEXO N° 4: Diagramas de flujo 148
ANEXO N° 5: Programa de control y HMI 161
ANEXO N° 6: Sensores y actuadores 169
PLANOS 178

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Concepto del vehículo Arriero 19
Figura 2. Concepto del vehículo Google Community Vehicle 20
Figura 3. Motor brushless impreso modelo A001 21
Figura 4. Circuito equivalente de un motor de corriente continua 22
Figura 5. Circuito equivalente de un motor de corriente continua simplificado 23
Figura 6. Partes del motor eléctrico de corriente continua 24
Figura 7. Rotor de un motor de corriente continua 25
Figura 8. Colector de un motor de corriente continua 26
Figura 9. Estator de un motor de corriente continua 26
Figura 10. Escobillas de un motor de corriente continua 27
Figura 11. Posición inicial de la espira 28
Figura 12. Posición intermedia de la espira 28
Figura 13. Posición final de la espira 29
Figura 14. Motor BLDC 30
Figura 15. Estator de motor BLDC 32
Figura 16. Rotor de motor BLDC 33
Figura 17. Motor BLDC inrunner 33
Figura 18. Motor BLDC outrunner 34
Figura 19. Conmutación trapezoidal 36
Figura 20. Primera secuencia del inversor 36
Figura 21. Segunda secuencia del inversor 37
Figura 22. Tercera secuencia del inversor 37
Figura 23. Cuarta secuencia del inversor 37
Figura 24. Quinta secuencia del inversor 38
Figura 25. Sexta secuencia del inversor 38
Figura 26. Direcciones de los imanes de las barras 39
Figura 27. Campo dentro y fuera de la matriz 40
Figura 28. Devanado trifásico insertado en el campo de vectores de Halbach 41
Figura 29. Ballesta 45
Figura 30. Muelles helicoidales 45
Figura 31. Barra de torsión 46
Figura 32. Barras estabilizadoras en vehículos 46
Figura 33. Principio de funcionamiento de la barra estabilizadora 47
Figura 34. Montaje de barra estabilizadora 47
Figura 35. Barra estabilizadora completa 47
Figura 36. Rótulas 48
Figura 37. Brazos de suspensión de Dion 49
Figura 38. Brazos de suspensión de doble triángulo 49
Figura 39. Brazos de suspensión multi-link 49
Figura 40. Brazos de suspensión MacPherson 50
Figura 41. Amortiguador en sistema de suspensión 50
Figura 42. Amortiguador hidráulico 51

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 43. Amortiguador a gas 52
Figura 44. Ruedas de movimiento telescópico 53
Figura 45. Ruedas de cuadrilátero deformable 54
Figura 46. Brazos longitudinales paralelos 54
Figura 47. Brazos longitudinales sencillos 55
Figura 48. Brazo transversal 55
Figura 49. Motor eléctrico con imanes 56
Figura 50. Brazo transversal 57
Figura 51. Motor con controlador 58
Figura 52. Diseño de motor eléctrico acoplado a controladores 58
Figura 53. Sensor de efecto Hall ACS712 – 30A 65
Figura 54. Conexión del sensor de corriente ACS712 – 30A 66
Figura 55. Procedimiento de calibración del sensor de corriente ACS712 – 30A 67
Figura 56. Sensor de lectura de RPMs (infrarrojo) TCRT5000 68
Figura 57. Conexión de lectura de RPMs (infrarrojo) TCRT5000 69
Figura 58. Cinta reflectora para lectura en el motor 69
Figura 59. Representación de toma de lectura con tacómetro 70
Figura 60. Controlador de velocidad ESC – HW – 30A 71
Figura 61. Conexión del controlador de velocidad ESC – HW – 30A 72
Figura 62. Módulo de relé doble 73
Figura 63. Conexión del módulo de relé doble 74
Figura 64. Microcontrolador Arduino Mini Strong 75
Figura 65. Periféricos del microcontrolador Arduino Mini Strong 75
Figura 66. Salidas y entradas del módulo 77
Figura 67. Controlador I2C para pantalla LCD16x2 78
Figura 68. Controlador I2C para pantalla LCD16x2 79
Figura 69. Conexión del controlador I2C para pantalla LCD16x2 80
Figura 70. Pantalla LCD16x2 81
Figura 71. Conexiones de la pantalla LCD16x2 con controlador I2C 82
Figura 72. Potenciómetro 82
Figura 73. Conexión del potenciómetro 83
Figura 74. Botón 83
Figura 75. Conexión de los botones 84
Figura 76. Pantalla de bienvenida y configuración del controlador 84
Figura 77. Pantalla principal de inicio del controlador 85
Figura 78. Primera pantalla del menú principal 85
Figura 79. 1ra pantalla (Menú principal) – Giro Horario 86
Figura 80. 1ra pantalla (Menú principal) – Giro anti-horario / Espera 86
Figura 81. 1ra pantalla (Menú principal) – Giro anti-horario / Confirmación 86
Figura 82. 2da pantalla (Menú principal) – Parada de motor 87
Figura 83. Partes principales del controlador de motores brushless 88
Figura 84. Controlador de motores brushless 90
Figura 85. Modelo de rotor para motor Halbach de Christoph Laimer 93
Figura 86. Núcleo del estator para motor Halbach de Christoph Laimer 94

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 87. Montaje del estator para motor Halbach de Christoph Laimer 95
Figura 88. Cableado inicial para motor Halbach de Christoph Laimer..... 96
Figura 89. Cableado final para motor Halbach de Christoph Laimer 96
Figura 90. Proceso de medición de fuerza magnética de los magnetos de neodimio ... 97
Figura 91. Dispersión de la fuerza magnética para magnetos 40x10x4 mm..... 99
Figura 92. Dispersión de la fuerza magnética para magnetos 20x5x3 mm..... 103
Figura 93. Banco de prueba para motor Halbach de Christoph Laimer..... 104
Figura 94. Banco de prueba total diseñada..... 105
Figura 95. Conexión en estrella para banco de prueba..... 106
Figura 96. RPMs vs corriente para motor de prueba en arreglo "Estrella"..... 108
Figura 97. Torque vs corriente para motor de prueba en arreglo "Estrella" 109
Figura 98. Conexión en delta para banco de prueba 109
Figura 99. RPMs vs corriente para motor de prueba en arreglo "Delta" 111
Figura 100. Torque vs corriente para motor de prueba en arreglo "Delta"..... 112
Figura 101. Concepto del vehículo de transporte..... 114
Figura 102. Zonas de carga para concepto de vehículo de transporte..... 115
Figura 103. Tipos de ruedas 115
Figura 104. Llantas diagonales para tractor 117
Figura 105. Llantas radiales para tractor 118
Figura 106. Modelo de llanta radia para tractor de referencia 119
Figura 107. Verificación de la geometría de los imanes en el motor 122
Figura 108. Primer diseño de rotor para motor rueda Halbach 124
Figura 109. Primer diseño de tapas para rotor para motor rueda Halbach 125
Figura 110. Esfuerzos en el primer modelo de rotor para motor Halbach 126
Figura 111. Factor de seguridad en el primer modelo de rotor para motor Halbach .. 127
Figura 112. Esfuerzos en el segundo modelo de rotor para motor Halbach..... 128
Figura 113. Factor de seguridad en el segundo modelo de rotor para motor Halbach 128
Figura 114. Esfuerzos en el segundo modelo de rotor y rigidez del neumático..... 129
Figura 115. Factor de seguridad del rotor considerando rigidez del neumático 130
Figura 116. Estator con bobinado para motor rueda Halbach 131
Figura 117. Estator con bobinado acoplado a eje con rodamientos 132
Figura 118. Esfuerzos en el segundo modelo de estator y rigidez del neumático..... 132
Figura 119. Factor de seguridad del estator considerando rigidez del neumático..... 133
Figura 120. Anillos de retención DSR 134
Figura 121. Sistema de suspensión..... 135
Figura 122. Velocidad de amortiguación 136
Figura 123. Acople a sistema de supensión..... 137
Figura 124. Acople y sistema de suspensión..... 137

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Comparación entre los motores con escobilla BDC y sin escobilla BLDC* 31
Tabla 2. *Cronograma de actividades*..... 63
Tabla 3. *Características generales del motor Halbach*..... 92
Tabla 4. *Características de impresión del motor Halbach de Christoph Laimer* 93
Tabla 5. *Fuerza magnética de los magnetos de neodimio de 40 x 10 x 4 mm*..... 98
Tabla 6. *Fuerza magnética de los magnetos de neodimio de 20 x 5 x 3 mm*..... 100
Tabla 7. *Lecturas de velocidad y corriente en arreglo "Estrella"*..... 107
Tabla 8. *Lecturas de torque y corriente en arreglo "Estrella"*..... 108
Tabla 9. *Resultados de prueba de funcionamiento en arreglo "Delta"*..... 110
Tabla 10. *Lecturas de torque y corriente en arreglo "Delta"* 111

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO 1

PLANEAMIENTO TEÓRICO

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.1 Identificación del problema

El sector agrícola en Latinoamérica ha desarrollado muy pocas soluciones nuevas a la mejora de la producción y logística en el campo; de la misma manera, la tendencia al diseño y fabricación de vehículos completamente eléctricos y avances en tecnología de baterías de mayor capacidad y peso, la facilidad de adquisición de hardware para control de motores de diferente clase y fabricación de estructuras ligeras en base a materiales comerciales nuevos permiten generar propuestas de diseños tales como motores híbridos o aplicaciones embebidas de los mismos.

1.1.2 Enunciado del problema

Es factible proponer el diseño de un motor brushless funcional que puede ser adaptado a una llanta comercial a través del escalamiento de motores construidos previamente por medio de experimentación y prototipado usando el método de la fabricación digital.

1.1.3 Justificación de la investigación

La logística en los campos agrícolas bajo el contexto de la realidad rural peruana es una que tiene muy pocas herramientas que permitan disminuir los costos de mano de obra intensiva y mejora de la competitividad por medio de la disminución de tiempos. Esto es una consecuencia de la poca tecnificación del sector y de la implementación de soluciones que puedan ser adaptadas a la realidad nacional del sector. Por otro lado, el Perú es uno de los mayores productores de energía eléctrica por medio de fuentes energéticas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

renovables, sin embargo, el mayor consumo es de fuentes energéticas no renovables como es el caso del petróleo u otras fuentes similares. Por lo tanto, la implementación de soluciones de transporte enfocadas a la logística del sector que tengan una fuente energética como es la eléctrica es un medio de mejorar las condiciones de competitividad, innovación en el sector y por ende mejora de la productividad: por ello se propone la utilización de los motores brushless como reemplazo a los motores de corriente continua convencionales por la factibilidad actual en el prototipado y fabricación de una solución para vehículo eléctrico ligero que pueda tener capacidad de carga similares a un tractor pequeño. En la actualidad existen varias propuestas de desarrollo de motores que son adaptados a ruedas de vehículos o a los trenes de transmisión de potencia de los mismos, sin embargo, se centran en el sector automotriz tradicional para transporte de pasajeros y muy poco a la industria agrícola y en particular latinoamericana; en consecuencia, el enfoque de este estudio toma como consideración la experiencia de usuario del agricultor familiar o rural cuya producción es de papas y de los vehículos ligeros tales como las cuatrimotos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Comprobar experimentalmente los parámetros de un motor brushless y proponer un diseño que pueda ser adaptado a una rueda de vehículo para cargas pequeñas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Fabricar un motor brushless impreso en 3D en base a modelos existentes para determinar los parámetros fundamentales de revoluciones por minuto, torque y consumo eléctrico para ser contrastados con valores teóricos calculados en base a

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

la bibliografía.

- Diseñar y fabricar un modelo a escala de una rueda adaptable a un motor brushless outrunner con un sistema de suspensión y transmisión que permita su movilidad.
- Verificar las capacidades dinámicas y eléctricas tanto del motor y el sistema de transmisión y movilidad por medio de banco de pruebas que permitan la experimentación.

1.3 MARCO TEÓRICO

1.3.1 Antecedentes de la investigación

En 2015 se realiza el concurso Michelin challenge design donde se presenta un diseño innovador de vehículo para el sector agrario, el modelo fue presentado por el diseñador industrial Edgar Sarmiento García de Colombia que se enfoca en colocar el motor en la rueda del vehículo y que solucione los problemas de movilidad vehicular en el sector cafetalero de la agricultura colombiana.

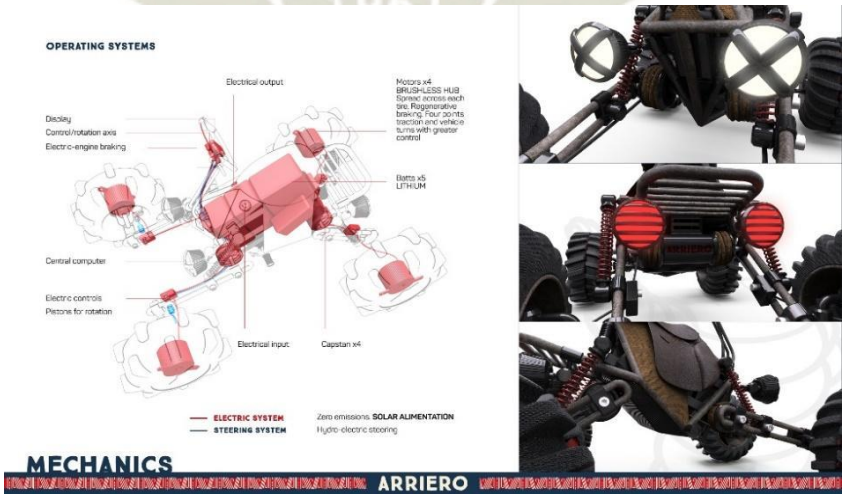


Figura 1. Concepto del vehículo Arriero
Fuente: Edgar Sarmiento García (2015)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En el mismo concurso, el diseñador Rajshekhar Dass y su equipo proponen un vehículo también orientado para el sector agrícola, pero con un enfoque en el transporte de personal y carga; además, de ser modular tanto para transporte de mercancías como de personas, y con un nuevo concepto de diseño para las ruedas que puedan ser intercambiables para fácil reparación.

Figura 2. Concepto del vehículo Google Community Vehicle
Fuente: Rajshekhar Dass (2015)

Por otra parte, en el 2017 Christoph Laimer presenta un motor brushless outrunner de arreglo Halbach con la denominación A001 el cual puede alcanzar una potencia de 600 watts, las partes pueden ser impresas en plástico y sólo es necesario incluir los magnetos y el cable revestido de cobre. Siendo totalmente funcional y capaz de ser usado en aplicaciones de vehículos aéreos pequeños.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 3. Motor brushless impreso modelo A001
Fuente: Christoph Laimer (2017)

Finalmente, en mayo del 2015, Durmus Uygun y Selim Solmaz presentan una investigación sobre "Design and dynamic study of a 6 kW external rotor permanent magnet brushless DC motor for electric drivetrains", de la universidad de Gediz en Turquía; donde proponen el diseño y comprobación teórica de un motor adaptado a una rueda de carro convencional para aplicaciones de la industria del automóvil.

1.3.2 Teoría de motores eléctricos de corriente continua

Los motores de corriente directa o continua son máquinas con la particularidad de poder trabajar tanto como motores o generadores, esto dependiendo de la dirección del flujo de potencia que pasa a través de ella.

Según Stephen J. Chapman, su uso frecuente se ve relacionado a los sistemas de potencia en automóviles, camiones y aviones, al igual que aquellas aplicaciones que ameriten variación de velocidad por su gran capacidad y facilidad de control. Por lo que podemos definir la regulación de velocidad (SR) como:

$$\mathrm{SR} = \frac{\omega_{\mathrm{nl}} - \omega_{\mathrm{fl}}}{\omega_{\mathrm{fl}}} \text{ x } 100\%$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Según Stephen J. Chapman, estos motores se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Motor de corriente continua de excitación separada.
- Motor de corriente continua con excitación en derivación.
- Motor de corriente continua de imán permanente.
- Motor de corriente continua en serie.
- Motor de corriente continua compuesto.

Sin embargo, a este tipo de motores también se pueden adicionar los siguientes motores:

- Motores de corriente continua especiales: Servomotores, motores paso a paso.
- Motores de corriente continua sin escobillas (brushless).

En general, los motores de corriente continua pueden modelarse a través de un circuito equivalente.

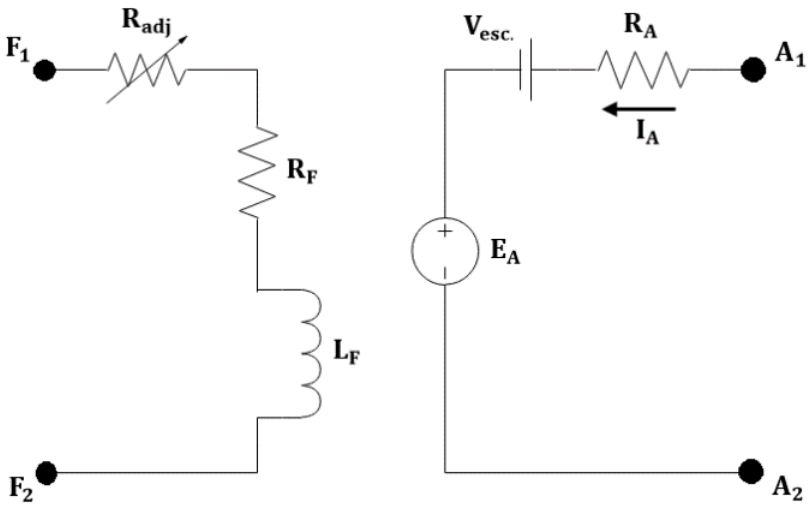


Figura 4. Circuito equivalente de un motor de corriente continua
Fuente: Stephen J. Chapman

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Si en caso, deseamos simplificar el circuito equivalente podemos eliminar la caída de voltaje en las escobillas en la que se combina la R_{adj} con la resistencia de campo

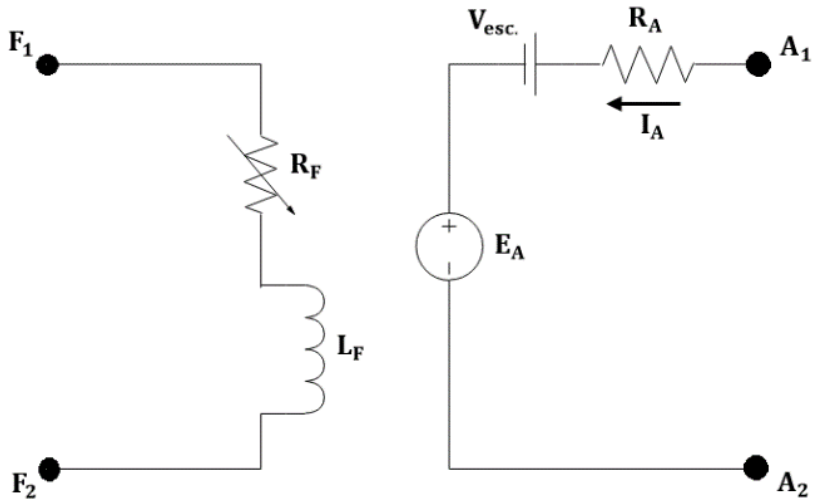


Figura 5. Circuito equivalente de un motor de corriente continua simplificado
Fuente: Stephen J. Chapman

En caso del rotor, tenemos una fuente ideal EA y una resistencia RA que equivalen a las bobinas del rotor, interpolos y los devanados de compensación; finalmente, la caída de voltaje en la escobilla está representado por Vesc. Por otra parte, el generador está compuesto por una inductancia LF y la resistencia RF, la resistencia Radj corresponde a la resistencia variable utilizada para controlar la corriente en el circuito de campo.

Para las máquinas de corriente continua el voltaje interno generado está dado por la ecuación:

$$E_A = K(\emptyset)(\omega)$$

Y el par inducido desarrollado está dado por:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

$$\tau_{ind} = K(\emptyset)(I_A)$$

1.3.3 Partes de un motor de corriente continua

Según el autor Jorge L. Patiño V., las partes de los motores de corriente continua se separan en dos secciones:

- **Partes mecánicas:** Se encuentra compuesta por una carcasa, tapas laterales o escudos, fijaciones y rodamientos solidarios.
- **Partes electromagnéticas:** Se encuentra compuesta por el empilado de chapas magnéticas, masas polares del inductor, devanado inductor y el devanado inducido.

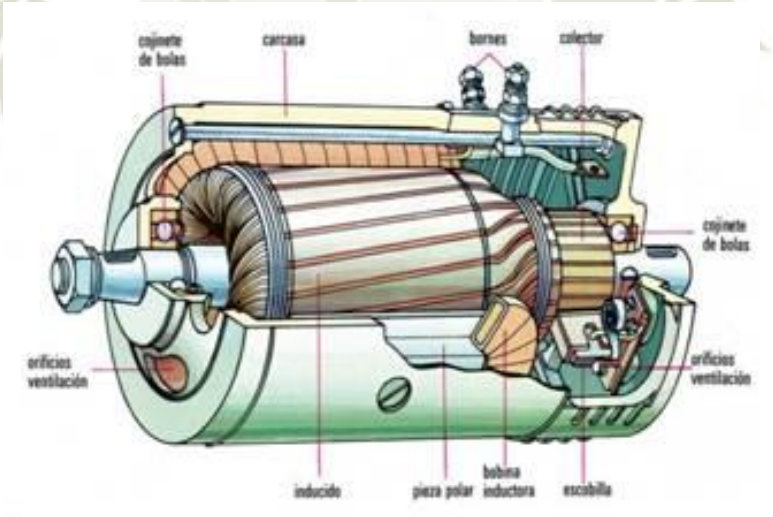


Figura 6. Partes del motor eléctrico de corriente continua
Fuente: Jorge L. Patiño V.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.3.3.1 Rotor

Según el Fondo de Formación FPE, el rotor es la parte móvil en el cual va incorporado el circuito eléctrico o devanado inducido y donde la corriente al interaccionar con el flujo magnético del inductor produce una rotación.

Figura 7. Rotor de un motor de corriente continua
Fuente: Dragon Winch

1.3.3.2 Colector

Según el autor Jorge L. Patiño V., el colector está encargado de realizar contacto entre las escobillas y bobinas del rotor y que consta de dos componentes principales: Las delgas que se conforman de secciones circulares aisladas que permiten tocar las escobillas, y las micas que son láminas delgadas que se colocan de manera intercalada entre las delgas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 8. Colector de un motor de corriente continua
Fuente: Aliexpress

1.3.3.3 Estator

Según el Fondo de Formación FPE, el estator es la parte fija en el que se incorpora el circuito eléctrico correspondiente al devanado inductor por el cual circula la corriente que permite generar el flujo magnético que hace girar al rotor.

Figura 9. Estator de un motor de corriente continua
Fuente: Reparo máquinas SL

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.3.3.4 Escobillas

Según el autor Jorge L. Patiño V., las escobillas se construyen a partir de dos tacos de grafito que permiten realizar el contacto con las bobinas del motor, y que se conmutan intercaladamente a medida que el rotor va girando.

Figura 10. Escobillas de un motor de corriente continua
Fuente: Forococheseléctricos

1.3.4 Funcionamiento de un motor de corriente continua

Según el Fondo de Formación FPE, los motores de corriente continua usan un electroimán correspondiente a un inductor y un circuito eléctrico que gira conocido como inducido. En el circuito inducido conformado por espiras se introduce un campo magnético para que el plano formado por una espira coincida con la dirección del campo en posición horizontal, y donde se conecta a dos deltas que al rozar con las escobillas permite el paso de corriente eléctrica hacia la espira.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

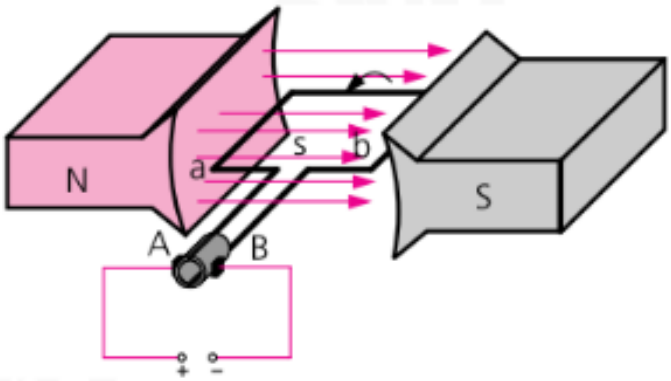


Figura 11. Posición inicial de la espira
Fuente: Fondo de Formación FPE

Cuando se conectan los semianillos por medio de las escobillas a una fuente de alimentación de corriente continua, esta circulará por la espira para salir por el polo positivo y entrar por el negativo que causará un flujo magnético alrededor de los conductores cortante al flujo magnético por el imán, esta interacción es la que causa el movimiento de la espira.

La fuerza electromagnética generada a causa de este fenómeno, se producirá un par de fuerza que provocará el giro de las espiras hasta que este alcance la posición vertical.

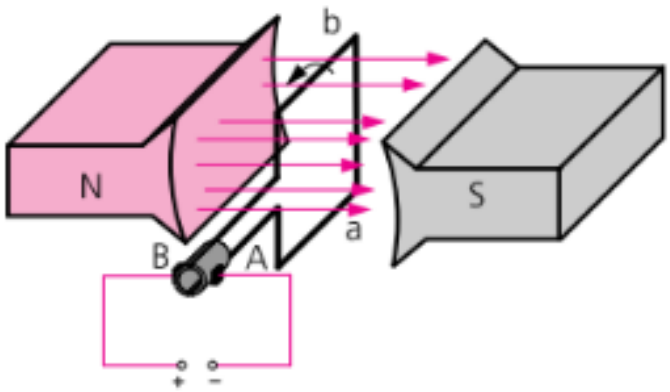


Figura 12. Posición intermedia de la espira
Fuente: Fondo de Formación FPE

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En el momento que deja de pasar la corriente desaparece la rotación, pero la espira seguirá rotando por inercia hasta que se alcance una nueva posición inicial y se repita la operación.

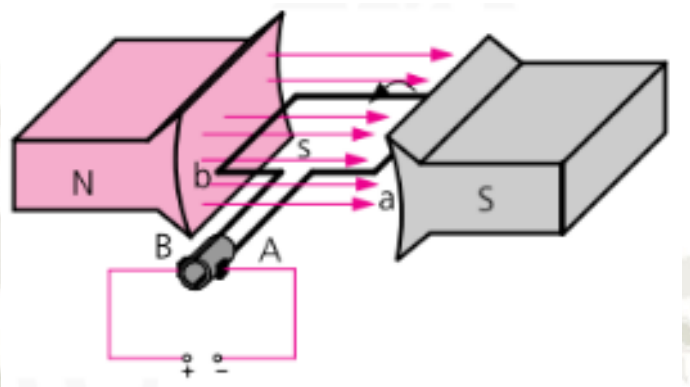


Figura 13. Posición final de la espira
Fuente: Fondo de Formación FPE

1.3.4.1 Ventajas de los motores de corriente continua

Algunas de las ventajas que nos da los motores de corriente continua son las siguientes:

- Nos permite realizar el control de velocidad fácilmente un rango muy amplio.
- Se puede ajustar fácilmente el par motor respecto a la velocidad.
- Son compactos y permiten ahorrar espacio.

1.3.4.2 Desventajas de los motores de corriente continua

Algunas de las ventajas que nos da los motores de corriente continua son las siguientes:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- El desgaste de las escobillas genera fricciones internas que reduce la eficiencia del motor.
- Las escobillas pueden generar chispas peligrosas en un ambiente explosivo.
- Las chispas generadas por las escobillas generan ruido para los dispositivos electrónicos.
- En comparación de los motores AC su precio en relación a la potencia es mayor.

1.3.5 Motores Brushless de corriente continua

Según el autor Jaime Eduardo Jimbo Tacuri, los motores brushless o BLDC son aquellos motores de corriente continua que realiza un cambio de polaridad en las bobinas de manera electrónica por lo que ya no necesita escobillas para realizar la conmutación, y que se asemeja a los motores síncronos ya que el campo magnético generado en el estator tiene la misma frecuencia que el campo magnético en el rotor.

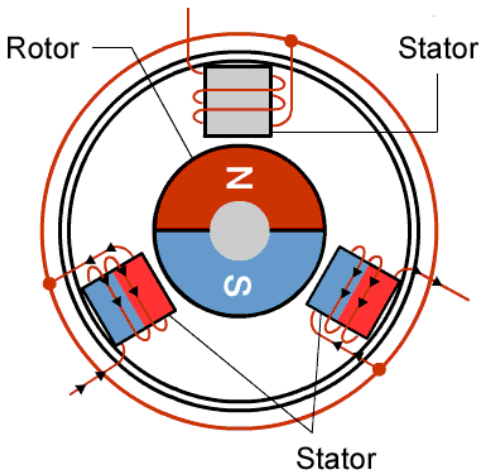


Figura 14. Motor BLDC
Fuente: ElettroAmici

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Algunas de las ventajas de los motores de corriente continua sin escobillas respecto a los motores de corriente continua con escobillas tradiciones se comparan en la siguiente tabla.

Tabla 1. *Comparación entre los motores con escobilla BDC y sin escobilla BLDC*

	Tipo de motor	
Características	**Motor de corriente continua con escobillas BDC**	**Motor de corriente continua sin escobillas BLDC**
Estructura mecánica	Los elementos magnéticos se encuentran en el estator	Los elementos magnéticos se encuentran en el rotor
Ventaja	Fácil control	Fácil mantenimiento y mayor eficiencia
Conexiones permitidas	Conexión en delta	Conexión en delta o en estrella
Método de conmutación	Contacto mecánico entre las escobillas y el conmutador	Conmutación electrónica por medio de transistores
Detección de la posición del motor	Detección de posición del eje o escobillas	Detección de la posición del eje
Método de reversa	Cambio de polaridad	Cambio de la lógica de control

Fuente: Elaboración propia

Algunas de las características que poseen este tipo de motores son:

- La conmutación se realiza por medio de un controlador electrónico en base a transistores
- Los imanes permanentes se instalan en el rotor.
- Las bobinas del inducido son instaladas en el estator que permite tener motores monofásicos o polifásicos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.3.5.1 Partes

Algunas de las ventajas que nos da los motores de corriente continua son las siguientes:

- **Estator:** Según a su construcción, esta puede ser del tipo trapezoidal o sinusoidal y determinarán la forma en que se genera la fuerza electromotriz EMF, y corresponde a la parte fija del motor.

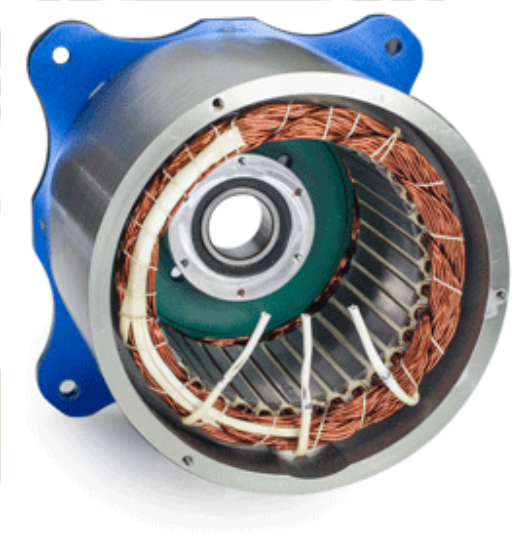


Figura 15. Estator de motor BLDC
Fuente: Duryea Technologies

- **Rotor:** Es la parte giratoria del motor, y que comúnmente contiene los imanes permanentes que determinan la eficiencia y potencia del motor.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 16. Rotor de motor BLDC
Fuente: Duryea Technologies

1.3.5.2 Tipos de motores BLDC

En base a la fabricación, estos se pueden dividir en dos tipos:

- **Motores inruner:** Son motores que otorgan el torque máximo a altas revoluciones, donde el eje es el elemento móvil en el cual se instalan los imanes permanentes y que posee un bobinado exterior; además que permiten la incorporación de reducciones por engranajes.

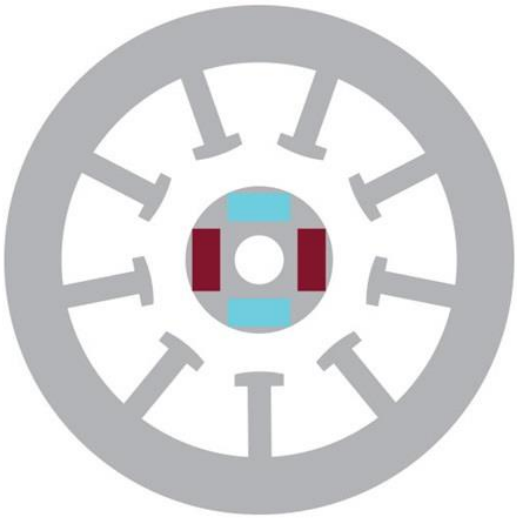


Figura 17. Motor BLDC inrunner
Fuente: Analog Devices

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- **Motores outrunner:** Son motores que otorgan el torque máximo a bajas revoluciones, donde el eje es el elemento fijo en el cual se coloca el bobinado o bobinado interior, con los imanes permanentes en la parte exterior; además que no se recomienda incorporar reducciones por engranajes.

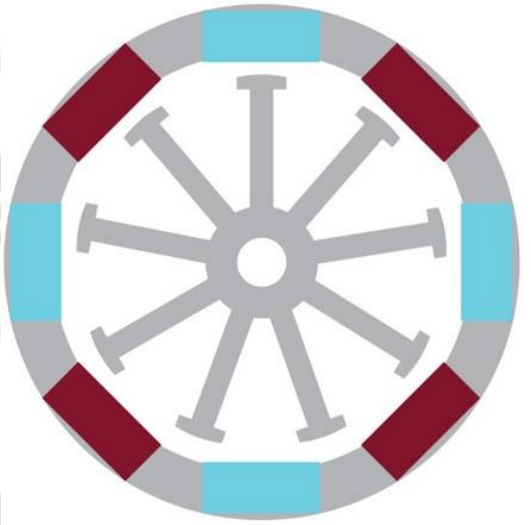


Figura 18. Motor BLDC outrunner
Fuente: Analog Devices

1.3.5.3 Principio de funcionamiento de motores BLDC

Según el autor Jaime Eduardo Jimbo Tacuri, para este tipo de motores la alimentación se realiza de manera secuencial para cada fase del estator y que se realiza de forma sincronizada al movimiento del rotor. La forma de conmutación se realiza por medio de señales rectangulares que se desfasan cada 120°, para ello se necesita saber la posición del rotor para poder excitar el devanado correspondiente según un proceso específico de activación. Para conocer la posición del rotor, se usa muchas veces sensores de efecto Hall que indican el polo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

sur o norte, por lo que se desfasan estos sensores de 60° a 120° entre sí; en cambio, en otras ocasiones se usa el efecto de la fuerza contraelectromotriz sobre los devanados. En base de la determinación de la posición del rotor, se puede clasificar la retroalimentación como:

- Sensored.
- Sensorless.

El controlador se base en un inversor que genera un tren de pulsos con tensiones positivas y negativas a partir de la alimentación de una fuente de corriente continua; estos son conocidos como ESC o controladores electrónicos de velocidad.

Las formas de control que pueden ser usando para los motores BLDC son:

- Conmutación trapezoidal.
- Conmutación sinusoidal.
- Control vectorial o FOC.

1.3.5.4 Conmutación trapezoidal para controlar motores BLDC

Según el autor Jaime Eduardo Jimbo Tacuri, para este tipo de conmutación se tiene dos fases activadas a la vez en un tiempo específico, donde la tensión que se genera tiene una forma trapezoidal; es por ello, que se necesita saber la posición el rotor para la correcta conmutación de fase donde la corriente circula por dos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

devanados y un tercero por el cual no. La tensión que se induce es de forma trapezoidal trifásica de forma rectangular conmutados y separados cada 60°.

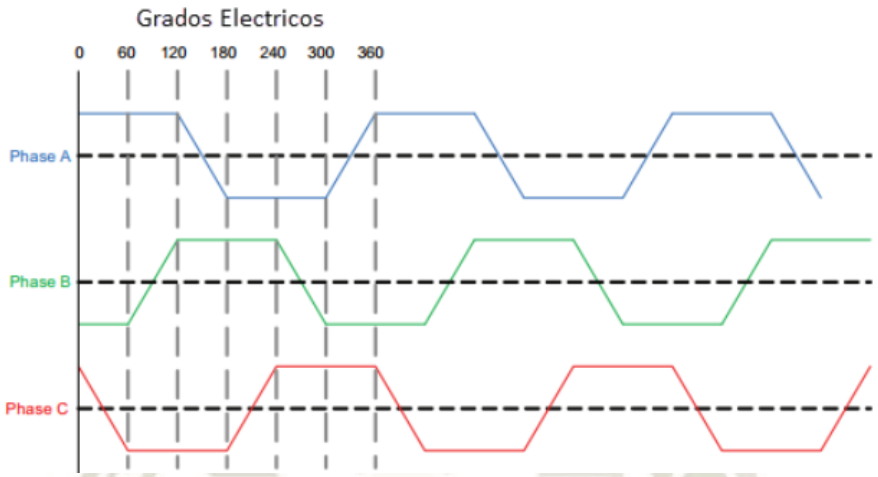


Figura 19. Conmutación trapezoidal
Fuente: Jaime Eduardo Jimbo Tacuri

A continuación, se muestra un ejemplo de una secuencia a realizar por el controlador para que el motor gire en el sentido de las agujas del reloj:

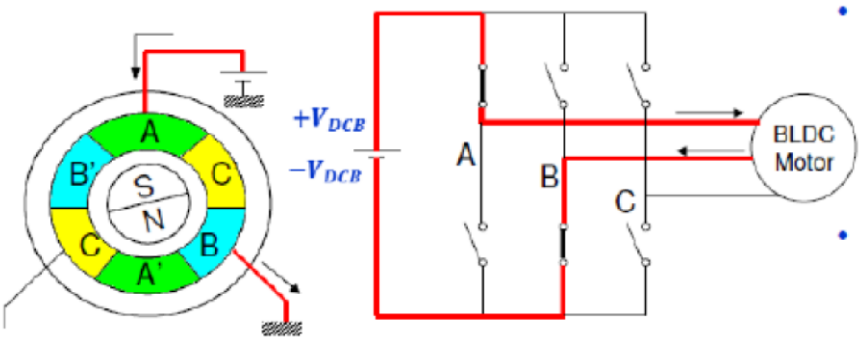


Figura 20. Primera secuencia del inversor
Fuente: Minguela Benito Iván

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

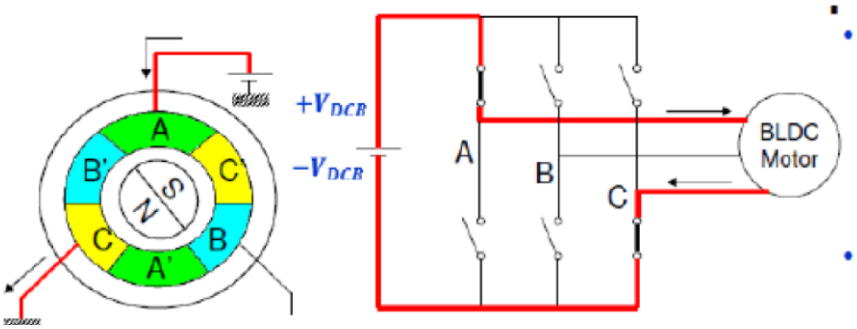


Figura 21. Segunda secuencia del inversor
Fuente: Minguela Benito Iván

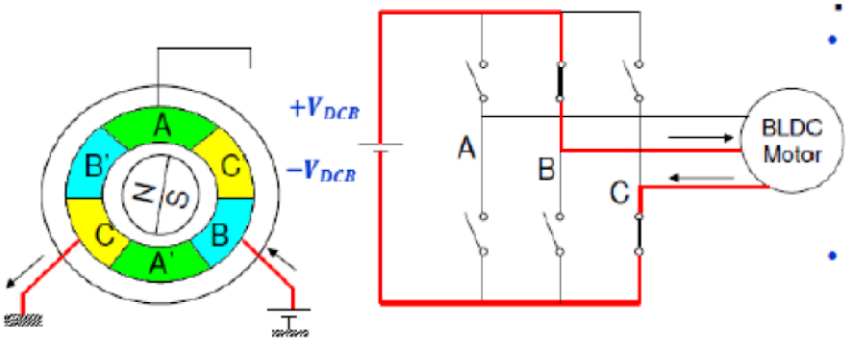


Figura 22. Tercera secuencia del inversor
Fuente: Minguela Benito Iván

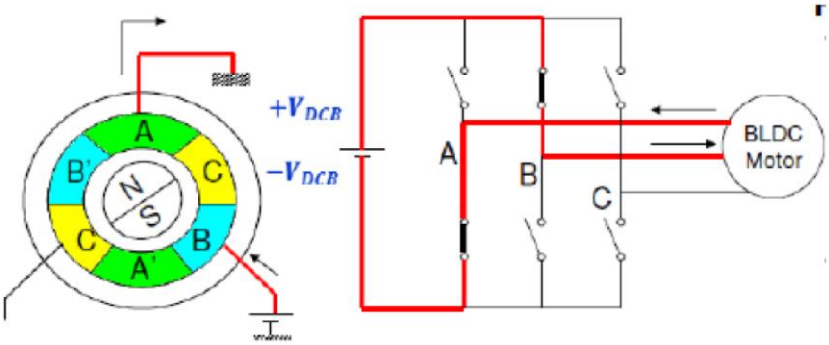


Figura 23. Cuarta secuencia del inversor
Fuente: Minguela Benito Iván

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

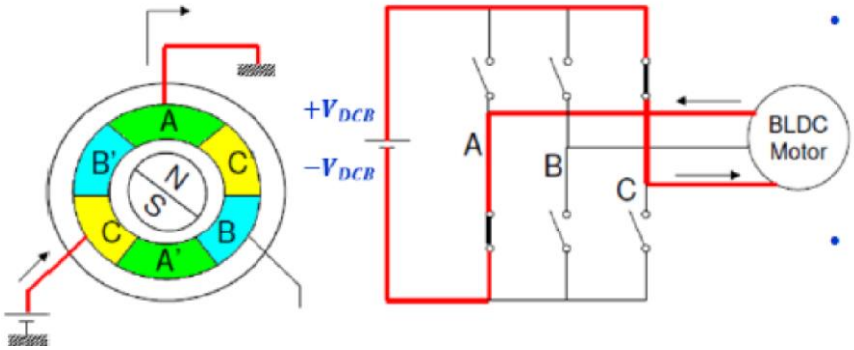


Figura 24. Quinta secuencia del inversor
Fuente: Minguela Benito Iván

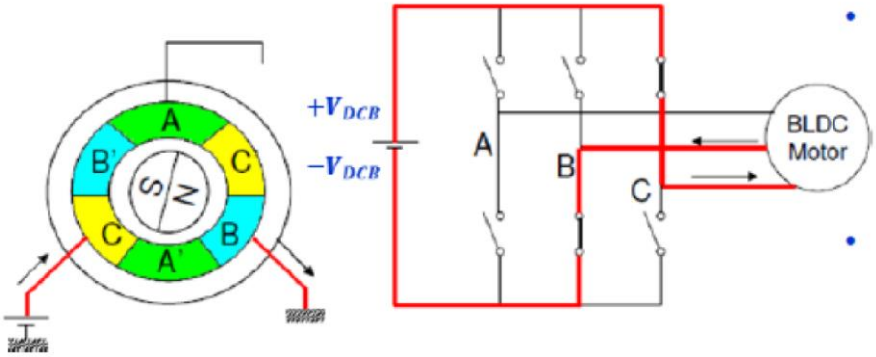


Figura 25. Sexta secuencia del inversor
Fuente: Minguela Benito Iván

1.3.5.5 Escenarios del tipo de control para motores BLDC

Según el autor Juan Miguel García Haro, existen los siguientes escenarios de control aplicados a los motores BLDC que se describen a continuación:

- **Escenario de control de motores con carga constante:** En este tipo de escenario, se tiene que conservar una velocidad variable del motor precisa en el tiempo por medio de un control a lazo abierto como el caso del control de ventiladores, bombas y sopladores.
- **Escenario de control de motores con carga variable:** En este tipo de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

escenario, la carga aplicada al motor varía según el rango de velocidad del mismo, por lo que es necesario un sistema de control con respuesta de alta velocidad de forma dinámica en lazo cerrado, como es el caso de los vehículos eléctricos.

1.3.6 Motores Halbach

Según los autores B. Merritt y R. Post, este tipo de motores son propuestos para aplicaciones de alta potencia y alta eficiencia tanto para generadores eléctricos como motores; y que se refleja en las propiedades especiales de los llamados "vectores Halbach"

1.3.6.1 Arreglo dipolar

Según los mismos autores, Klaus Halbach propone la construcción de máquinas eléctricas a partir de campos multi – polo que permite alcanzar altas velocidades. La siguiente figura muestra la vista del dipolo Halbach con las direcciones correspondientes a los imane de las barras

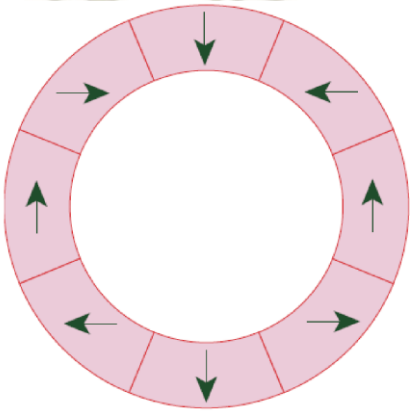


Figura 26. Direcciones de los imanes de las barras
Fuente: B. Merritt y R Post

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la siguiente figura se muestra un cuadrante de las líneas de fuerza calculadas producidas por la matriz. Se observa el campo altamente uniforme dentro de la matriz, y el campo cercano a la cancelación del campo fuera de la matriz.

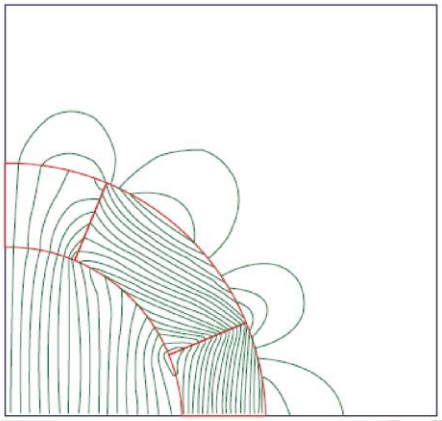


Figura 27. Campo dentro y fuera de la matriz
Fuente: B. Merritt y R Post

Excepto cerca de los extremos del vector, o muy cerca de su interior, el campo dipolo dentro de un vector de este tipo viene dado por la expresión derivada por Halbach

$$B_o = B_r C_N \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$$

Donde r_1 y r_2 indican los radios interior y exterior del conjunto de imanes, respectivamente, y Br representa el campo remanente del material de imán permanente. Si M es el número de segmentos en el imán tenemos:

$$C_N = \frac{\sin\left(\frac{2\pi}{M}\right)}{\left(\frac{2\pi}{M}\right)}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Según los autores B. Merritt y R. Post, un arreglo de Halbach de imanes permanentes crea un campo más fuerte en un lado mientras reduce el campo en el otro lado a casi cero. Esto se logra a partir de orientar los imanes de manera que sus polos estén fuera de fase, típicamente en 90°, lo que redirecciona el campo magnético por debajo de la estructura al plano por encima de la estructura.

Un motor eléctrico con configuración Halbach puede ser construido tanto con el conjunto de imanes estacionarios con los devanados girando o por lo contrario con los imanes como elemento giratorio con los devanados estacionarios que también es denominada configuración "adentro hacia afuera" y que puede ser usado para motores de corriente continua sin escobillas o BLDC.

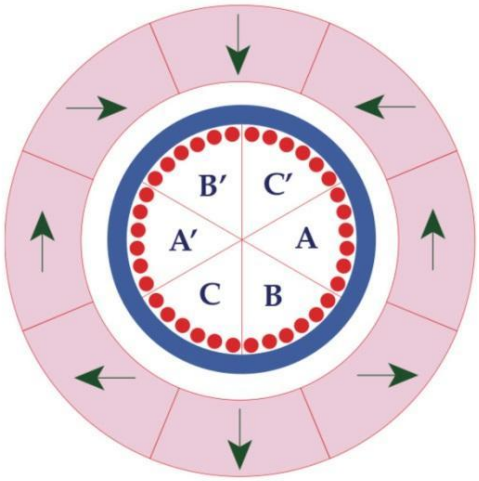


Figura 28. Devanado trifásico insertado en el campo de vectores de Halbach
Fuente: B. Merritt y R Post

Para poder calcular el campo magnético, se debe considerar el caso de un bobinado con una sola vuelta, donde el momento producido se da con un devanado estacionario y conjunto de imanes rotatorios producido por el campo de Hablach debido al movimiento relativo del motor dado por:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

$$B(t) = B_o \cos(\omega t)$$

Debido a la linealidad del sistema, la tensión producida en el inducido es dado por:

$$V(t) = \frac{d\Phi}{dt}$$

Donde Φ corresponde al producto del dipolo de la intensidad de campo magnético y el área A de los devanados con una pequeña corrección, normalmente de orden del 10 al 20 por ciento. Dependiendo de la longitud relativa de los bobinados y los imanes, la tensión corresponde a la siguiente fórmula:

$$V(t) = B_0(A)\omega \sin(\omega t)$$

Para el caso de varias vueltas por bobinado, la tensión se convierte en:

$$V(t) = K(N)B_0 \sin(\omega t)$$

Donde N es el número de vueltas y K es un valor geométrico constante y cercano a la unidad. Eso explica que el devanado tenga un ancho físico que se extiende desde un arco a lo largo de la circunferencia del cilindro en el cual las bobinas están conectadas. Para un bobinado distribuido de manera angular, el factor K viene dado por la siguiente expresión:

$$K = \frac{2\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\alpha}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Al tener un sistema sin hierro, las inductancias y las caídas resistivas son bajas, por lo tanto, la potencia de salida y la eficiencia es muy alta a comparación de una máquina de hierro con dimensiones simnilares. Considerando un devanado de una sola vuelta y sólo una fase, la fuerza vectorial en el conductor viene dada por:

$$F = 2I\ (L \times B)$$

Donde I es la corriente en el conductor, L es el vector camino a lo largo del conductor y B es el vector magnético campo. El par de torsión es entonces:

$$T = r \times F$$

Donde r es el radio. Para un devanado rectangular de una sola vuelta con longitud L, en un campo dipolar, la magnitud del pico el par de torsión se convierte en:

$$T = 2r(L)(I)B_0$$

Y para el caso de múltiples vueltas, el par torsión está dado por:

$$T = 2r(L)(I)(B_0)(K)N$$

Donde K es el factor geométrico como antes y N es el factor número de vueltas. Si el voltaje de salida RMS de cada uno de los devanados es Vo, la inductancia del devanado es Lo, y su resistencia es Ro, entonces la potencia de salida de cada fase viene dada por la ecuación:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

$$P = \frac{{V_0}^2}{R_L}\left\{\frac{1}{\left[1+\left(\frac{R_o}{R_L}\right)\right]^2+\left[\frac{\omega L_o}{R_L}\right]^2}\right\}$$

La eficiencia es entonces dada por la expresión:

$$\eta = \frac{R_L}{R_o + R_L}$$

1.3.7 Sistemas de suspensión en automóviles

Según el autor Rubén Oliva Domínguez, los sistemas de suspensión en los automóviles están formados por un elemento flexible tales como muelles, barra de torsión, muelle de goma, gas o aire, y un elemento amortiguación, y que cumple la función de neutralizar las oscilaciones de la masa suspendida.

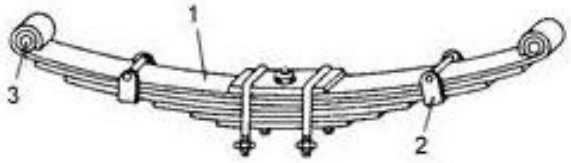
1.3.7.1 Ballestas

Según el autor Francisco Javier García, las ballestas están formadas por un conjunto de hojas o láminas de acero unidas mediante unas abrazaderas que permiten el deslizamiento entre las hojas cuando éstas se deforman por el peso que soportan; donde la hoja superior u hoja maestra va curvada en sus extremos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



1.- Hoja maestra
2.- Abrazadera
3.- Casquilla de bronce

Figura 29. Ballesta
Fuente: Rubén Oliva Domínguez

1.3.7.2 Muelles helicoidales

Son elementos mecánicos que sustituyen a las ballestas, al tener la ventaja de conseguir una mayor elasticidad debido al recorrido del resorte, además de ocupar un menor espacio y tener menor peso.

Figura 30. Muelles helicoidales
Fuente: Rubén Oliva Domínguez

1.3.7.3 Barra de torsión

Es un tipo de resorte utilizado para sistemas de suspensión independiente; y que se construye por medio de una varilla de acero elástico sujeta por uno de sus extremos al que se aplica un esfuerzo de torsión al lado contario, y que producirá

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

que esta varilla se retuerza hasta que vuelva a su forma original cuando se quite este esfuerzo de torsión.

Figura 31. Barra de torsión
Fuente: Rubén Oliva Domínguez

1.3.7.4 Barra estabilizadora

Son dispositivos que se usan para estabilizar al vehículo cuando este pasa por una curva, y se presenta una fuerza centrífuga que genera una carga por el peso del vehículo sobre las ruedas exteriores.

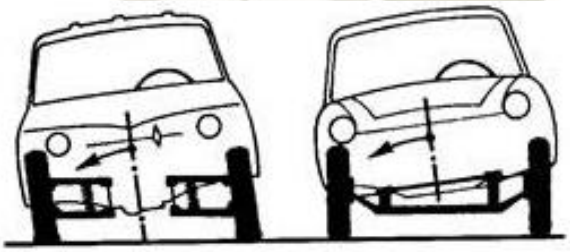


Figura 32. Barras estabilizadoras en vehículos
Fuente: Francisco Javier García

Es por ello, que se instalan estas barras estabilizadoras sobre los ejes delantero y trasero, que corresponde a una barra de acero elástico en el cual se fija la suspensión de la rueda a cada extremo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

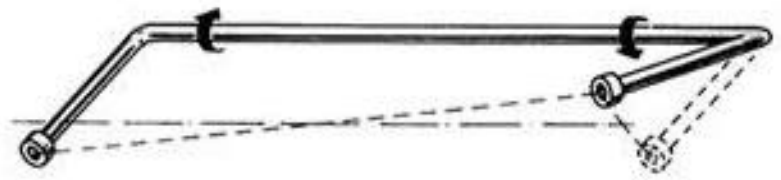


Figura 33. Principio de funcionamiento de la barra estabilizadora
Fuente: Francisco Javier García

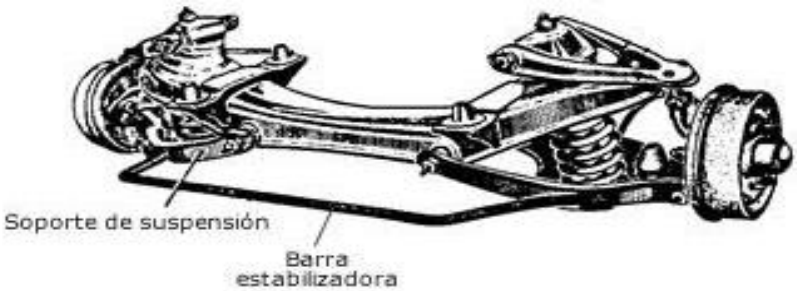


Figura 34. Montaje de barra estabilizadora
Fuente: Francisco Javier García

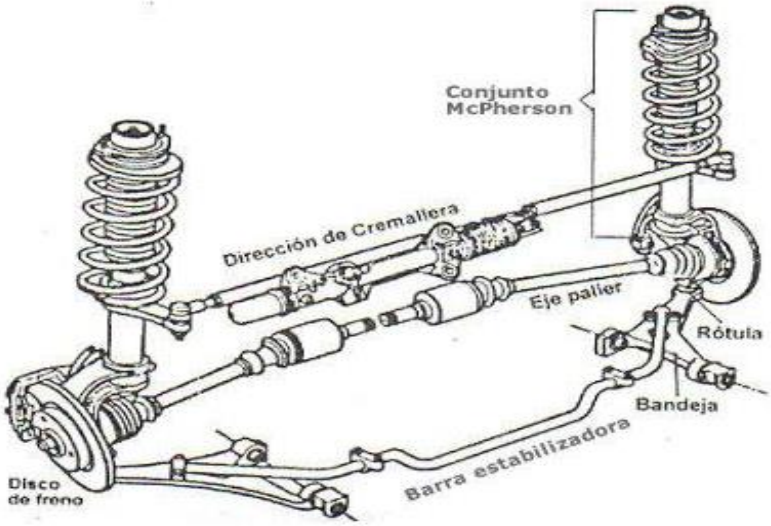


Figura 35. Barra estabilizadora completa
Fuente: Francisco Javier García

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.3.7.5 Rótulas

Son elementos que permiten la unión y fijación del sistema de suspensión a la dirección por medio de tornillos o roscas exteriores, y que permite el pivote y giro de las ruedas.

Figura 36. Rótulas
Fuente: Rubén Oliva Domínguez

1.3.7.6 Brazos de suspensión

Son brazos articulados que soportan al vehículo a través de la suspensión y que cumplen la fusión de soportar los esfuerzos generados por el movimiento del vehículo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 37. Brazos de suspensión de Dion
Fuente: Francisco Javier García

Figura 38. Brazos de suspensión de doble triángulo
Fuente: Francisco Javier García

Figura 39. Brazos de suspensión multi-link
Fuente: Francisco Javier García

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 40. Brazos de suspensión MacPherson
Fuente: Francisco Javier García

1.3.8 Amortiguadores

Según el autor Rubén Oliva Domínguez, son elementos encargados de absorber las vibraciones y que convierten el calor la energía generada por las oscilaciones. Por lo tanto, cuando la rueda para por un obstáculo, el amortiguador se comprime o se estira para recoger la energía mecánica producida por el choque, y que se devuelve a continuación, con el rebote elástico sobre la carrocería.

Figura 41. Amortiguador en sistema de suspensión
Fuente: Francisco Javier García

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.3.8.1 Amortiguadores hidráulicos convencionales

Son aquellos en los que la fuerza de amortiguación se obtiene forzando el paso de un fluido a través de un cilindro con pasos calibrados con el fin de obtener la flexibilidad necesaria para controlar la posición del vehículo en diferentes estados.

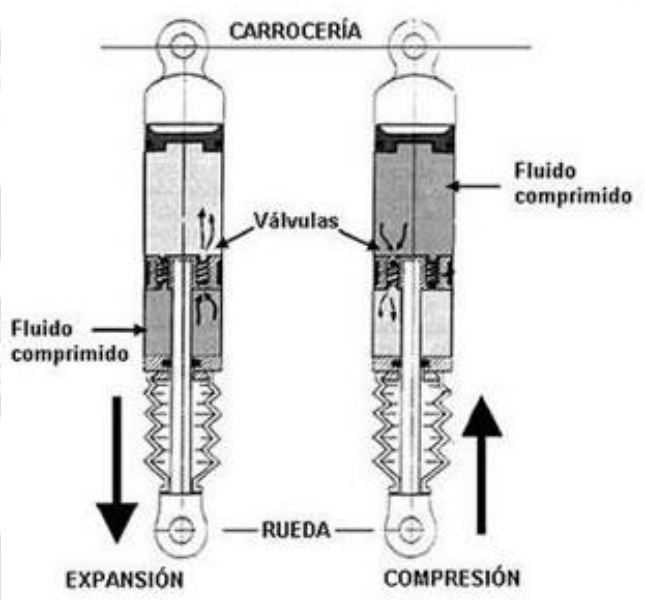


Figura 42. Amortiguador hidráulico
Fuente: Francisco Javier García

1.3.8.2 Amortiguadores a gas

Estos amortiguadores usan gas nitrógeno de alta presión trabajan de forma similar a los equivalentes hidráulicos. Un pistón flotante separa al gas del aceite para evitar que se mezclen. Al desplazarse el vástago el aceite contenido comprime el gas que sufre una variación de volumen que permite dar una respuesta instantánea de una manera silenciosa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

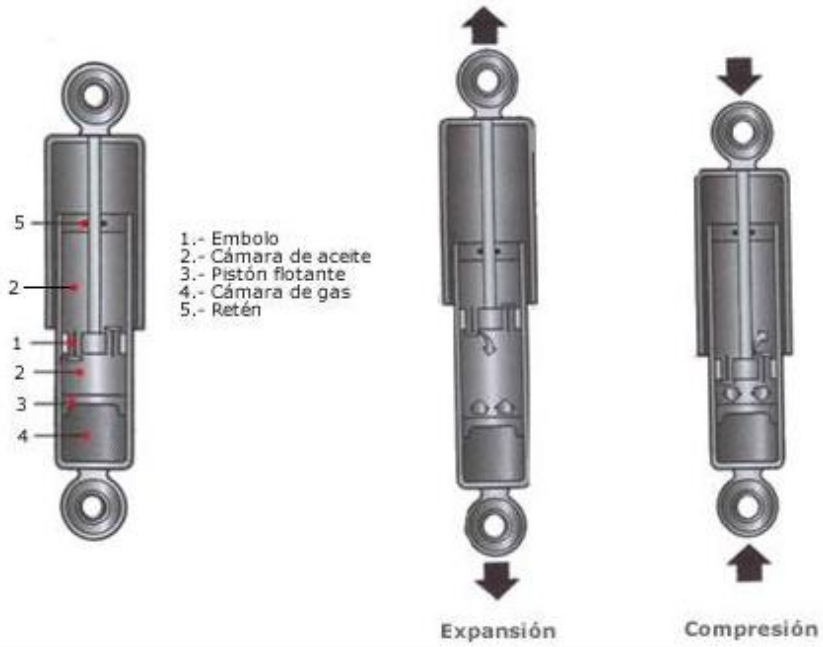


Figura 43. Amortiguador a gas
Fuente: Francisco Javier García

1.3.8.3 Amortiguadores de gas no regulables

Suelen ser amortiguadores monotubo resistente a los golpes y de alta resistencia a la pérdida de eficiencia a consecuencia del aumento de temperatura de trabajo. Es un amortiguador de alta calidad y es recomendable para vehículos de alta gama.

1.3.8.4 Amortiguadores de gas regulables

Son amortiguadores monotubo, con o sin botella exterior. Es un tipo de amortiguador de alta tecnología, con un alto costo y eficiencia, y que es usado en vehículos de competición y de alta gama.

1.3.8.5 Amortiguadores oleo neumáticos telescópicos

Según el autor Rubén Oliva Domínguez, estos amortiguadores están constituidos por un sistema cilindro-pistón y por una cámara que contiene nitrógeno

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

comprimido que permite controlar las variaciones volumétricas debidas a la introducción y extracción del vástago por medio de una cámara neumática con el fin de disminuir la presencia de vacío cuando se tienen movimientos rápidos.

1.3.9 Ruedas independientes

Según el autor Rubén Oliva Domínguez, los mayores inconvenientes en las suspensiones delanteras de eje rígido, se dieron por la inestabilidad en la marcha y la dificultad de conducción por terrenos accidentados. Debido al movimiento giroscópico daba lugar a imprevistos golpes de la dirección, mientras por efecto del peso del eje, el más leve rebote se plasmaba en una pérdida de adherencia.

1.3.9.1 Movimientos telescópicos

Consisten en una guía cilíndrica vertical sobre la cual se mueve el pivote, permitiendo el vaivén vertical de la rueda. Con el coche en asentamiento plano las ruedas mantienen un ángulo constante respecto al terreno, y la traza del neumático describe un segmento vertical manteniendo constante la anchura de vía.

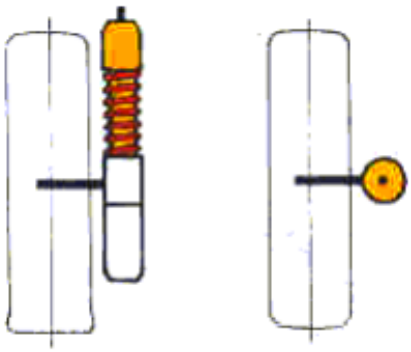


Figura 44. Ruedas de movimiento telescópico
Fuente: Ricardo Montes de la Torre

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.3.9.2 Cuadrilátero deformable

Las más difundidas, comprendiendo dos brazos formados por uno o más elementos colocados sobre dos planos transversales, unidos mediante rótulas al lado del bastidor y con el montante en el lado de la rueda.

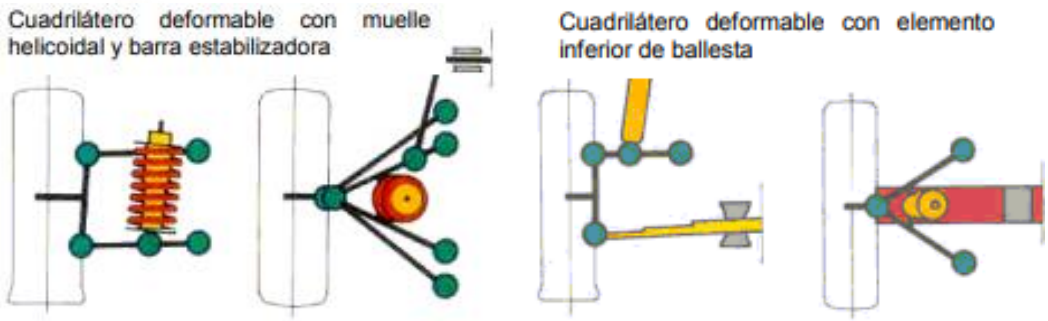


Figura 45. Ruedas de cuadrilátero deformable
Fuente: Ricardo Montes de la Torre

1.3.9.3 Brazos longitudinales paralelos

Están constituidos por dos bielas con eje de rotación transversal y oscilante sobre el plano longitudinal. Los extremos de las bielas están unidos entre sí con el montante de la mangueta. Todos los elementos están hechos con acero forjado.

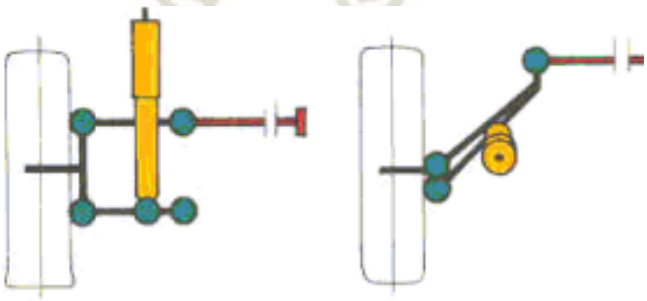


Figura 46. Brazos longitudinales paralelos
Fuente: Ricardo Montes de la Torre

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.3.9.4 Brazo longitudinal sencillo

Se trata de una simplificación de la suspensión de brazos paralelos y está representada por el brazo longitudinal, también son aplicados en fundición.

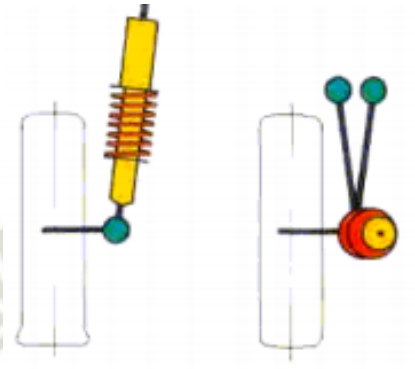


Figura 47. Brazos longitudinales sencillos
Fuente: Ricardo Montes de la Torre

1.3.9.5 Brazo transversal

Está constituido por un brazo de un elemento, o de dos elementos con superficie en forma de V oscilante transversalmente y en cuyo extremo externo está unida rígidamente la rueda.

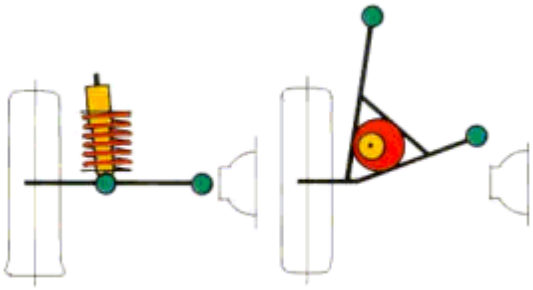


Figura 48. Brazo transversal
Fuente: Ricardo Montes de la Torre

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.3.9.6 Brazo compuesto y eje oblicuo de rotación

Es un compromiso entre el brazo longitudinal sencillo y el brazo transversal. Formado casi siempre de una V en la superficie, con articulaciones cuyos ejes forman un ángulo oblicuo respecto al eje transversal del vehículo.

1.3.10 Aplicaciones de motores eléctricos en vehículos

Los vehículos eléctricos son más eficientes que los de a gasolina, por su mejor rendimiento en cualquier velocidad y sin contaminar de manera activa.

El ingeniero Ian Foley, en los últimos años ha centrado su atención en la movilidad eléctrica con su compañía Equipmake. Así, esta compañía ha creado un motor eléctrico que tiene imanes puestos como si fueran radios alrededor de un buje. Gracias a esta disposición, Foley puede afirmar que ofrecen un par superior, una mayor densidad, y una mejor refrigeración, ocupando menos espacio en el motor y siendo más barato de fabricar.

Figura 49. Motor eléctrico con imanes
Fuente: Ian Foley

En la actualidad, los motores eléctricos con imanes los tienen dispuestos en forma de V alrededor del buje. Este diseño fue creado por Toyota hace ya más de 20 años con el Prius,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

y desde entonces el resto de fabricantes lo han copiado o han creado versiones similares. Este diseño presenta como inconveniente la refrigeración, ya que es difícil disponer el líquido refrigerante cerca de ellos si están operando en alto rendimiento.

Por ello, el motor eléctrico mide su rendimiento en dos formas: el rendimiento máximo que puede alcanzar con el pedal al fondo, y cuanto tiempo pueden aguantar ese rendimiento sin sobrecalentarse y tener que reducir el rendimiento o apagarse. Esto ocurre sobre todo en motos eléctricas, donde es normal ir por mucho tiempo con el acelerador al máximo, y el rendimiento se limita pasado un breve rato para evitar que la temperatura se dispare.

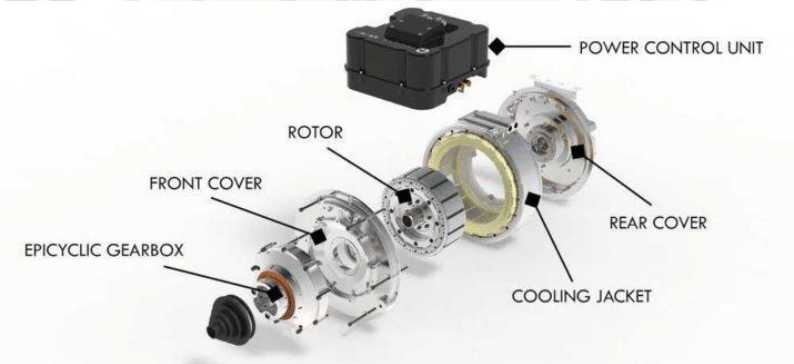


Figura 50. Brazo transversal
Fuente: Ian Foley

Mencionando la forma del motor, es posible que los imanes estén en la parte superior del buje, por lo que se puede verter líquido en él para refrigerar los imanes directamente y que el rendimiento no disminuya. Esto permite usar imanes baratos, y no caros resistentes a altas temperaturas y adecuarlos a la función establecida

La forma del motor en si recuerda a los radios de una rueda, donde los imanes están dispuestos a un ángulo de 90 grados sobre el buje. Además, al haber laminación entre los

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

radios pueden conseguir el mismo par que un motor actual usando un 25% menos de imanes, o usar el mismo y obtener un 25% más de rendimiento.

Figura 51. Motor con controlador
Fuente: Ian Foley

Mientras los mejores motores ofrecen 5 kW/kg, el de Equipmake ofrece hasta 9 kW/kg. En total, calculan que su motor ocupa un 50% menos volumen y pesa un 20% menos y obtiene amplios beneficios con respecto al espacio.

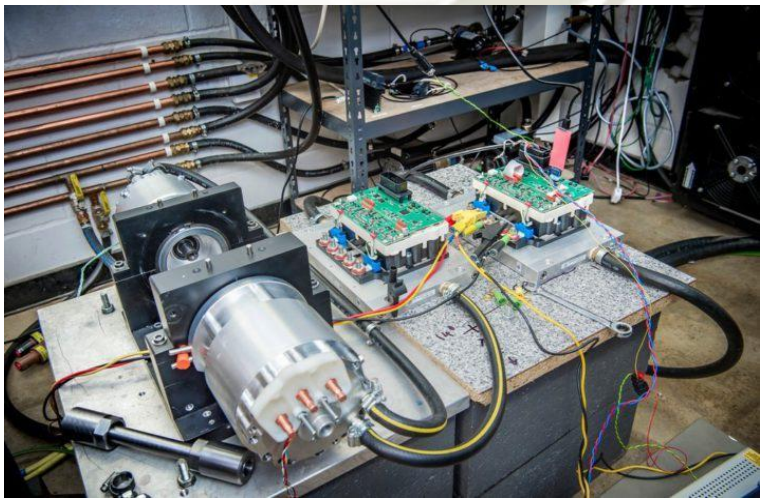


Figura 52. Diseño de motor eléctrico acoplado a controladores
Fuente: Ian Fole

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO 2

PLANEAMIENTO DE LA OPERACIÓN

2.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1.1 Técnicas

Las técnicas usadas para el desarrollo de esta propuesta son:

- **Documental:** Se recolectará información de libros, revistas indexadas, papers acorde a los temas de diseño y construcción de motores brushless, control de motores brushless, diseño mecánico y de mecanismos.
- **Monumental:** Se construirá un motor brushless outrunner de arreglo Halbach pequeño para comprobar experimentalmente los valores teóricos y una rueda adaptable al motor.

2.1.2 Instrumentos

Algunos de los instrumentos usados son:

- Computadora con sistema operativo Windows 7 u 8, o Linux Ubuntu.
- Programas de programación de alto nivel como Python, MATLAB o GNU Octave.
- Programa de CAD como SolidWorks o Autodesk Inventor.

2.2 CAMPO DE VERIFICACIÓN

2.2.1 Campo

La investigación pertenece a las ciencias físicas y formales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.2.2 Área

El área corresponde a la ingeniería mecatrónica.

2.2.3 Línea

La línea de investigación corresponde al diseño y control de motores eléctricos.

2.2.4 Diseño

El diseño es experimental.

2.2.5 Periodo

El periodo es prospectivo.

2.3 TÉCNICAS E ISNTRUMENTOS

2.3.1 Técnicas

Las técnicas usadas para el desarrollo de esta propuesta son:

- **Documental:** Se recolectará información de libros, revistas indexadas, papers acorde a los temas de diseño y construcción de motores brushless, control de motores brushless, diseño mecánico y de mecanismos.
- **Monumental:** Se construirá un motor brushless outrunner de arreglo Halbach pequeño para comprobar experimentalmente los valores teóricos y una rueda adaptable al motor.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

2.4.1 Alcances

Para el presente proyecto de tesis, se consideran los siguientes alcances:

- La fabricación de un motor brushless impreso en 3D en base a las especificaciones de motores impresos similares.
- La determinación de los parámetros básicos experimentales tales como las revoluciones por minuto, torque y consumo eléctrico del motor fabricado.
- Comparación de resultados experimentales del motor fabricado con los valores teóricos calculados en base a la bibliografía.
- Construcción de un banco de pruebas para obtener los parámetros experimentales del motor fabricado.
- Diseño y fabricación de un modelo a escala de una rueda adaptable a un motor brushless outrunner.
- Diseño y fabricación de un modelo a escala de un mecanismo de suspensión y transmisión independiente para la rueda adaptable.
- Construcción de un banco de pruebas para el sistema de transmisión y pruebas de movilidad de la rueda adaptable.
- Propuesta de diseño de un motor brushless outrunner adaptable a una rueda de vehículo para cargas pequeñas (sacos de papas, etc).

2.4.2 Limitaciones

Para el presente proyecto de tesis, se consideran las siguientes limitaciones:

- Las dimensiones del motor a fabricar se limitarán a las capacidades de fabricación

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

volumétrica de la impresora 3D a ser usada.

- El hardware necesario para el bobinado y los magnetos estará limitado a los disponibles en el mercado y a las capacidades de fabricación volumétrica de la impresión 3D a ser usada.
- Las dimensiones de la rueda a fabricar estarán limitadas a una escala pequeña en base a la capacidad de fabricación volumétrica de la impresora 3D a ser usada y de las dimensiones del motor fabricado.
- Las dimensiones del sistema de transmisión y movilidad estarán limitadas a una escala pequeña limitadas a comprobar la funcionalidad que pueda ser extrapolada a un diseño final.
- El sistema de control del motor brushless estará en base a hardware comercial que pueda ser adquirido en el mercado.
- El diseño final sólo será propuesto mas no fabricado.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.4.3 Cronograma

El cronograma se muestra a continuación:

Tabla 2. *Cronograma de actividades*

CRONOGRAMA							
Plazo	**6 meses**						
Ítem	**Actividades**	**Mes 1**	**Mes 2**	**Mes 3**	**Mes 4**	**Mes 5**	**Mes 6**
1	Revisión bibliográfica y teórica de los temas relacionados	x					
2	Fabricación de un motor brushless usando fabricación digital		x				
3	Diseño y fabricación de un controlador en lazo abierto para motores brushless		x	x			
4	Determinación de los valores de funcionamiento del motor construido de manera experimental			x			
5	Diseño de una rueda en base al motor brushless de referencia				x		
6	Diseño de un sistema de suspensión				x		
7	Fabricación de un modelo a escala referencial de la rueda propuesta					x	
8	Propuesta de mejoras					x	
9	Documentación					x	x

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE CONTROLADOR ELECTRÓNICO

3.1 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

Para el caso del controlador de velocidad, diseñaremos uno de uso general con interfaz por pantalla con las siguientes características:

- Medición de la corriente de consumo del motor.
- Medición de las revoluciones por minuto del motor.
- Cambio de giro del motor (Horario y anti-horario).
- Capacidad de arrancar y parar el motor.
- Selección del porcentaje de velocidad (0 a 100%)
- Mostrar los datos por pantalla.
- Interacción con el controlador por medio de botones.

Es por eso que se deben de seleccionar y dimensionar las siguientes partes:

- Sensores.
- Actuadores.
- Procesador de datos.
- Interfaz gráfica e interacción humano – máquina.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3.2 SELECCIÓN DE SENSORES

3.2.1 Sensor de corriente ACS712-30A

Es el sensor encargado de medir la corriente de consumo general del motor, el modelo usado es el ACS712 que es un sensor de corriente de efecto Hall que realiza las mediciones por medio del campo magnético que se produce por la inducción que circula por la línea que se está midiendo

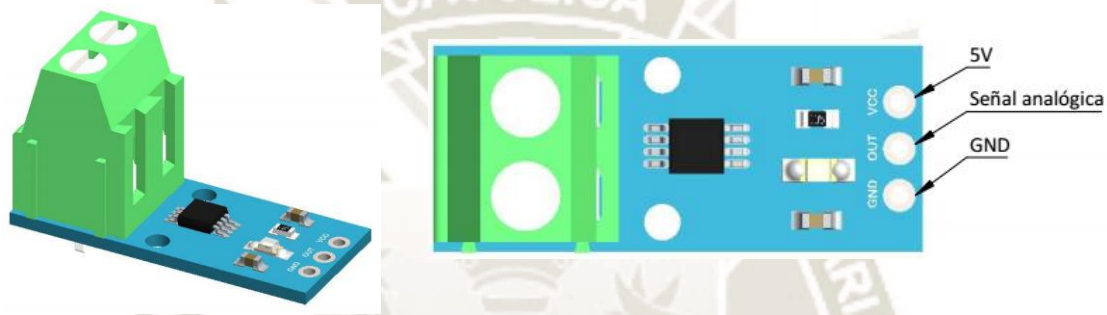


Figura 53. Sensor de efecto Hall ACS712 – 30A
Fuente: BeetleCraft SAC

Las características del sensor son las siguientes:

- Rango de medición (Ip): ± 30 A.
- Voltaje de alimentación (Vcc): 8V máximo.
- Voltaje nominal de alimentación (Vcc): 5V.
- Sensibilidad: 66 mV/A.
- Voltaje unipolar de salida a corriente cero (Vout): 2.5V.

La corriente medida por el sensor está afectada por la sensibilidad de dicho sensor además del offset del mismo, por lo que se utiliza la siguiente fórmula para interpretar el valor de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

la corriente real.

$$I_{medida-sensor} = \frac{V_{medida-sensor} - 2.5}{Sensibilidad}$$

La conexión para el módulo de sensor con el microcontrolador se muestra en la siguiente figura.

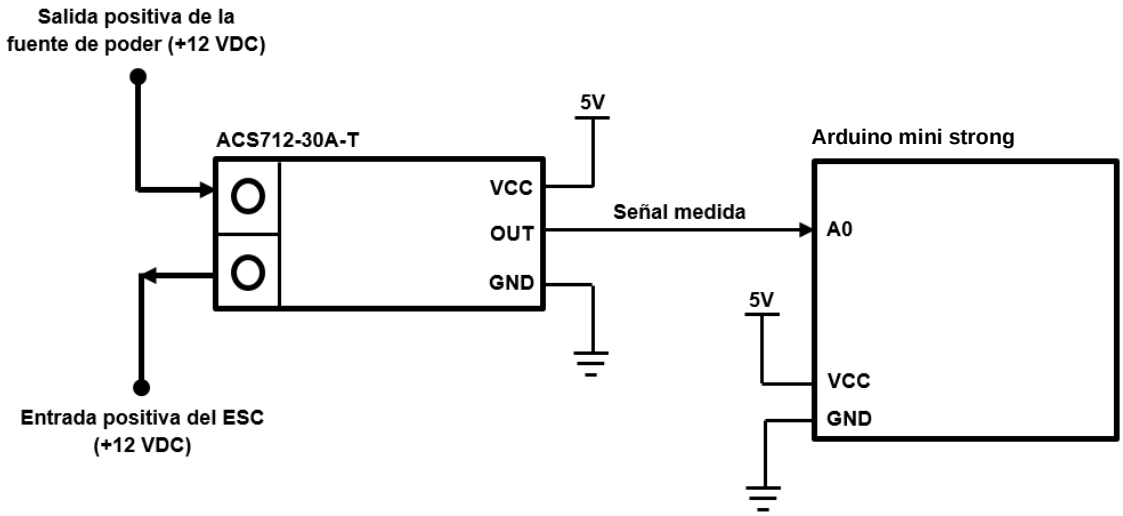


Figura 54. Conexión del sensor de corriente ACS712 – 30A
Fuente: Elaboración propia

Para leer la corriente se debe considerar que el punto medio es 2.5V que determinar una corriente igual a 0A, en cambio cuando esta mayor a dicho valor, la corriente obtenida es proporcional de 0 a 30A, si por lo contrario el valor está por debajo de dicho valor, la corriente obtenida es proporcional de 0 a -30A.

Para disminuir más el ruido, se aplica un filtro pasa bajos aplicando un promedio de muestras de lectura que se aplica al momento de realizar la programación.

Otro factor a considerar es la calibración. Para ello se debe utilizar una carga de corriente

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

fija o un simulador de carga ya que la sensibilidad del sensor puede variar de un componente a otro ligeramente, la forma de realizar el este procedimiento se hace por medio de programación directa y ajuste de valores predeterminados. La forma en que se conecta el sensor para determinar este valor se muestra en la figura.

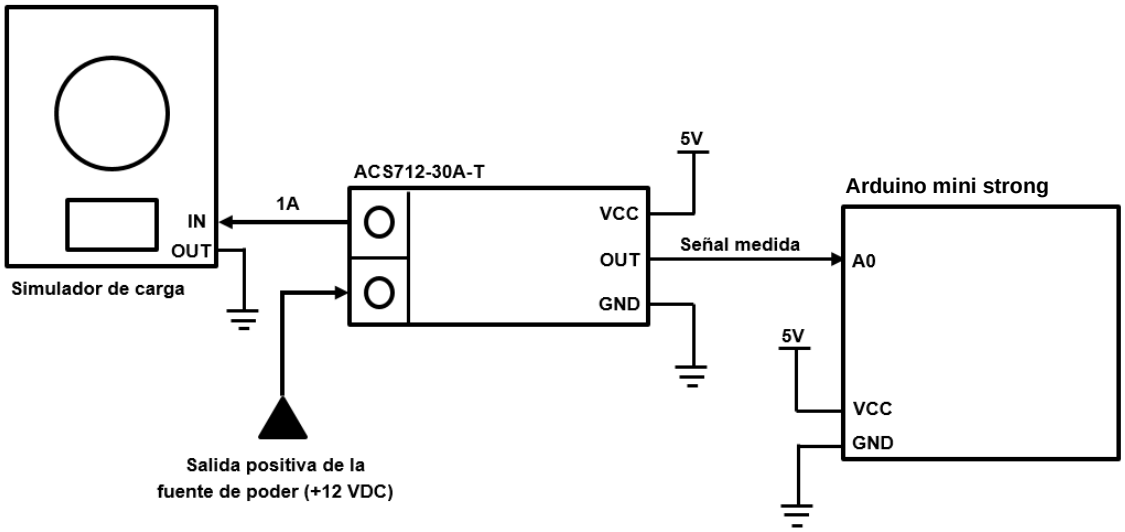


Figura 55. Procedimiento de calibración del sensor de corriente ACS712 – 30A
Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Sensor de lectura de RPMs (infrarrojo) TCRT5000

Es el sensor encargado de medir las RPMs del motor a través de un sensor óptico (reflexivo), el cual emite una luz y el mismo recepciona la señal para detectar el cambio de color de una cinta reflexiva a una superficie opaca. El módulo consta de un led infrarrojo y un receptor por fototransistor, el TCRT5000 y un inversor CMOS Schmitt 74HC14.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

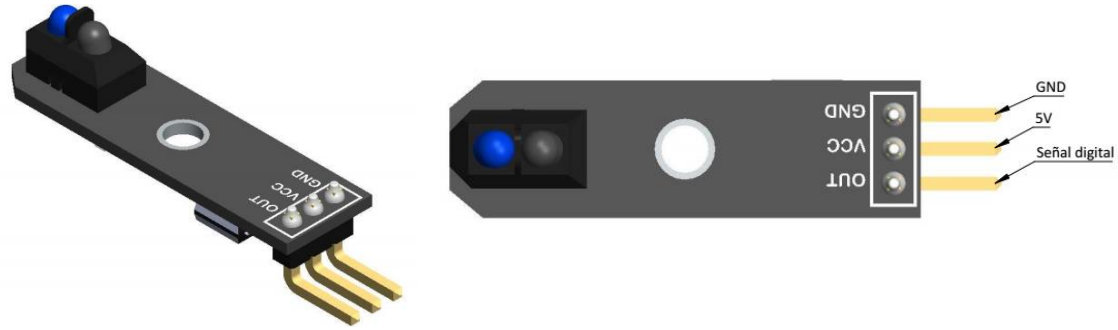


Figura 56. Sensor de lectura de RPMs (infrarrojo) TCRT5000
Fuente: BeetleCraft SAC

Las características eléctricas de dicho sensor son las siguientes:

- Voltaje de alimentación: 5 VDC.
- Receptor: Fototransistor.
- Emisor: Led infrarrojo.
- Longitud de onda: 950 nm.
- Rango de operación: 0.2 mm a 15 mm.

La conexión del módulo del sensor de medición de RPMs se muestra en el siguiente diagrama.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

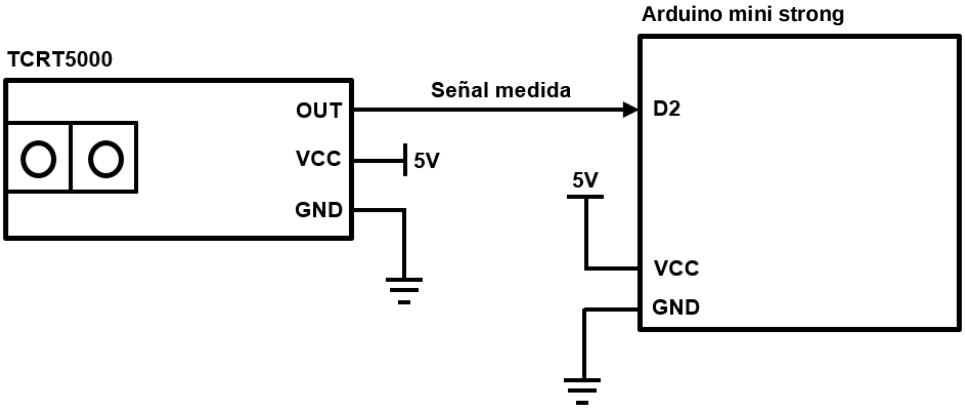


Figura 57. Conexión de lectura de RPMs (infrarrojo) TCRT5000
Fuente: Elaboración propia

Para poder leer las RPMs del motor deberemos colocar una cinta que logre reflejar la señal del sensor como se muestra en la figura.

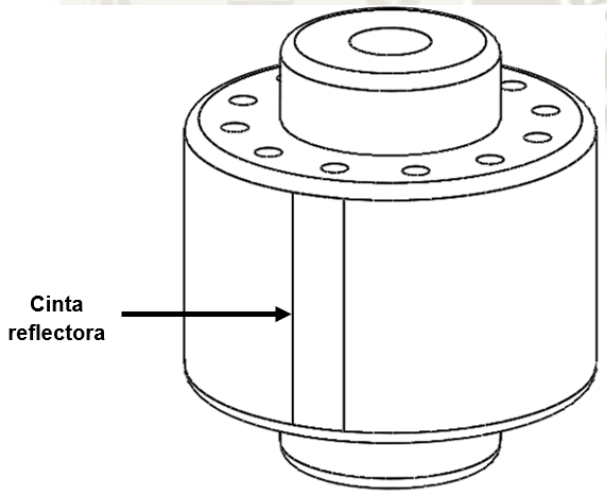


Figura 58. Cinta reflectora para lectura en el motor
Fuente: Elaboración propia

Para calibrar el valor de las RPMs medidas procesadas por el software usamos un tacómetro digital con el cual se contrastó la medida obtenida en el instrumento y con ellos se ajustaron los valores de cálculo en el microcontrolador.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

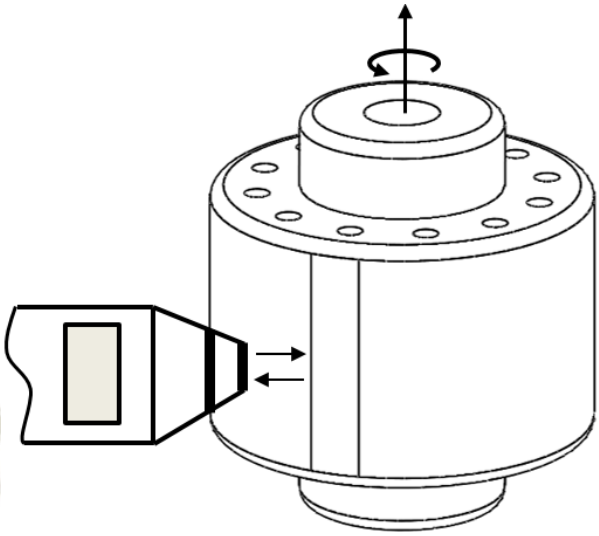


Figura 59. Representación de toma de lectura con tacómetro
Fuente: Elaboración propia

3.3 SELECCIÓN DE ACTUADORES

3.3.1 Controlador de velocidad ESC-HW-30A

El circuito está diseñado con el propósito de variar la velocidad del motor eléctrico al igual que frenarlo por medio de un freno dinámico. El controlador se encarga de generar las tres fases eléctricas para controlar el motor. Es decir, se crea una fuente de poder AC trifásica a partir de una entrada de voltaje DC. En este caso, su aplicación es para controlar la velocidad de un motor brushless outrunner.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

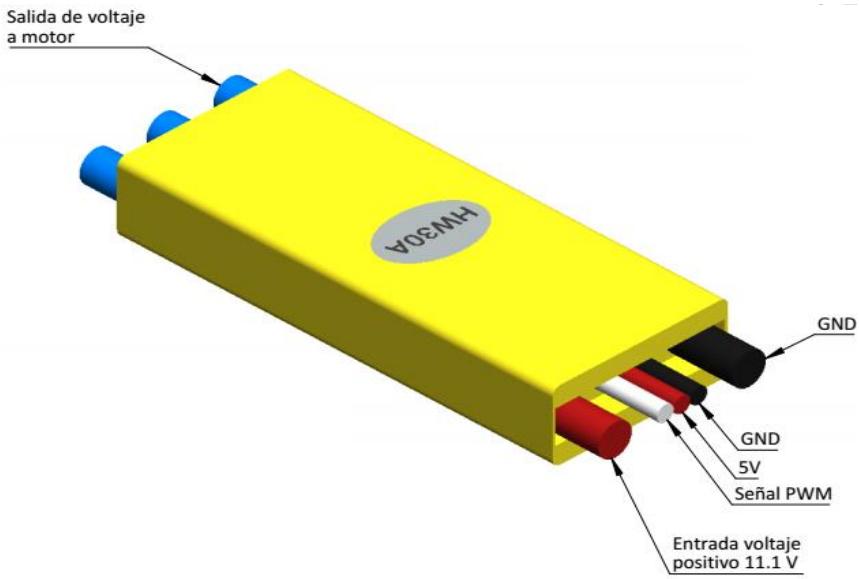


Figura 60. Controlador de velocidad ESC – HW – 30A
Fuente: BeetleCraft SAC

Las características eléctricas de dicho controlador son las siguientes:

- Máxima corriente continua: 30ª.
- BEC (Battery Eliminator Circuit): 2A.
- Batería: 2 - 3 polímero de litio.
- Batería: 4 - 10 NiCD / NiMH.
- Resistencia: 0.005 ohm.
- Fets: 12.
- Temperatura de protección: 110°C.
- PWM: 8 KHz.
- Máxima RPMs: 20000 RPM (Motor de 14 polos).
- Voltaje de corte en batería de litio: 3V / celda.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La conexión del controlador se muestra en el siguiente diagrama.

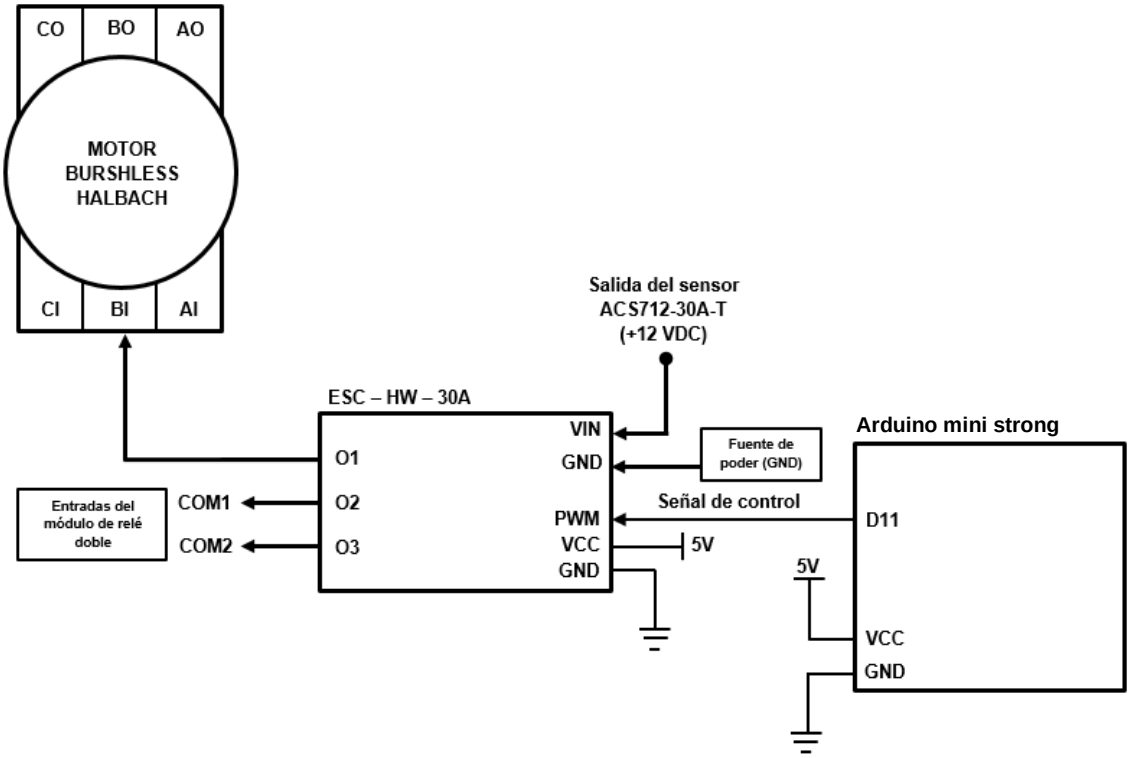


Figura 61. Conexión del controlador de velocidad ESC – HW – 30A
Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Módulo de relé doble

El módulo está compuesto por dos relés electromecánicos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

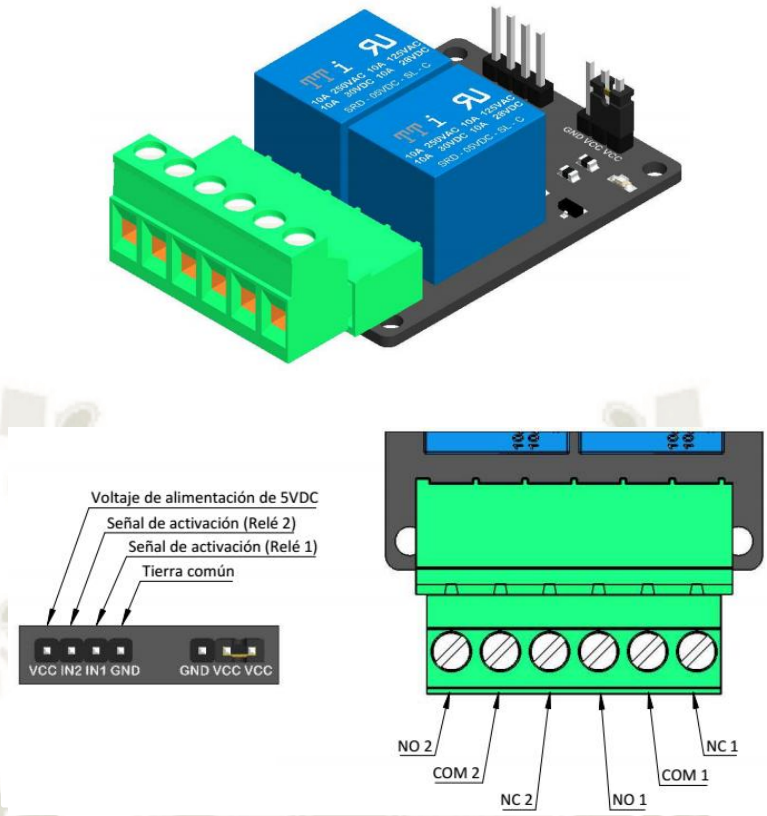


Figura 62. Módulo de relé doble
Fuente: BeetleCraft SAC

Las características eléctricas de dicho módulo son las siguientes:

- Señal de activación: Octoacoplada.
- Voltaje de activación: 5V (IN1 e IN2).
- Capacidad de carga: 10A.
- Capacidad máxima de voltaje: 250VAC / 30VDC.
- VCC: 5V.

La conexión del módulo se muestra en el siguiente diagrama.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

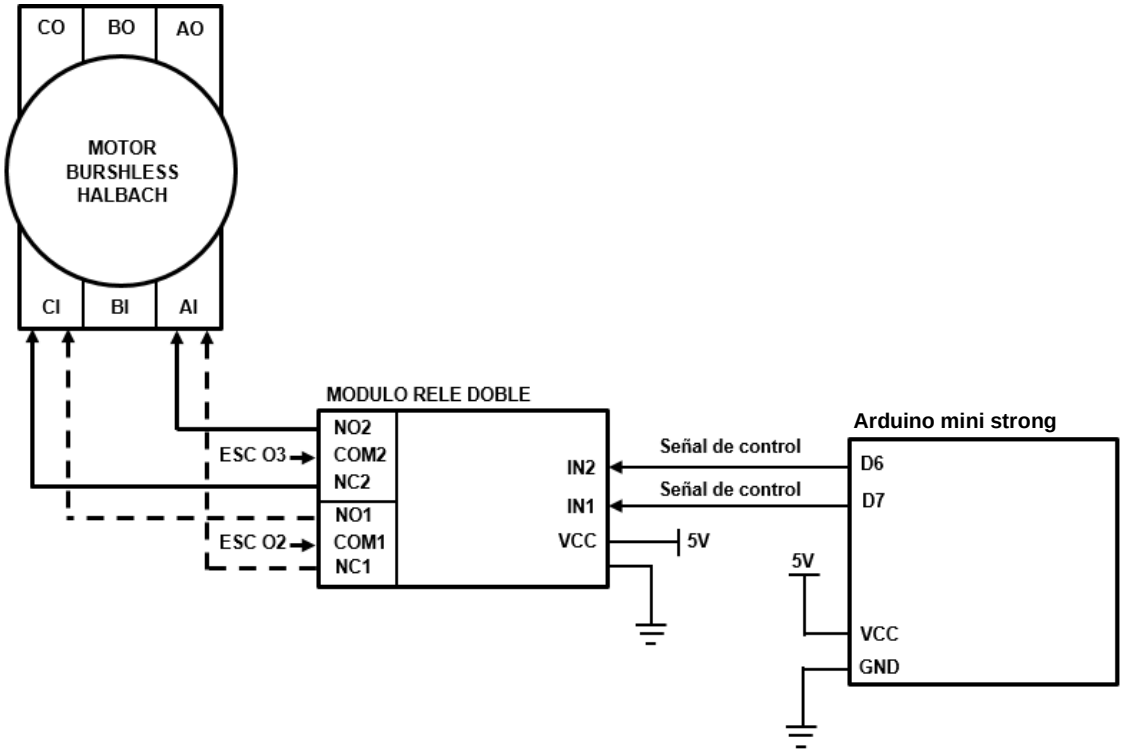


Figura 63. Conexión del módulo de relé doble
Fuente: Elaboración propia

3.4 PROCESAMIENTO DE DATOS

3.4.1 Microcontrolador Arduino Mini Strong

El microcontrolador usado para esta aplicación está basado en el Arduino Uno que posee un microcontrolador ATmega328 de 8 bits con una velocidad de procesamiento de 16MHz, pero con la característica de poseer sus puertos de salida ya adecuados para la utilización de sensores sin la necesidad de utilizar un shield de expansión de señales. De igual manera, su empaquetamiento es más pequeño lo que permite ser usando sin ocupar tanto espacio dentro de una carcasa de protección.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

Figura 64. Microcontrolador Arduino Mini Strong
Fuente: BeetleCraft SAC

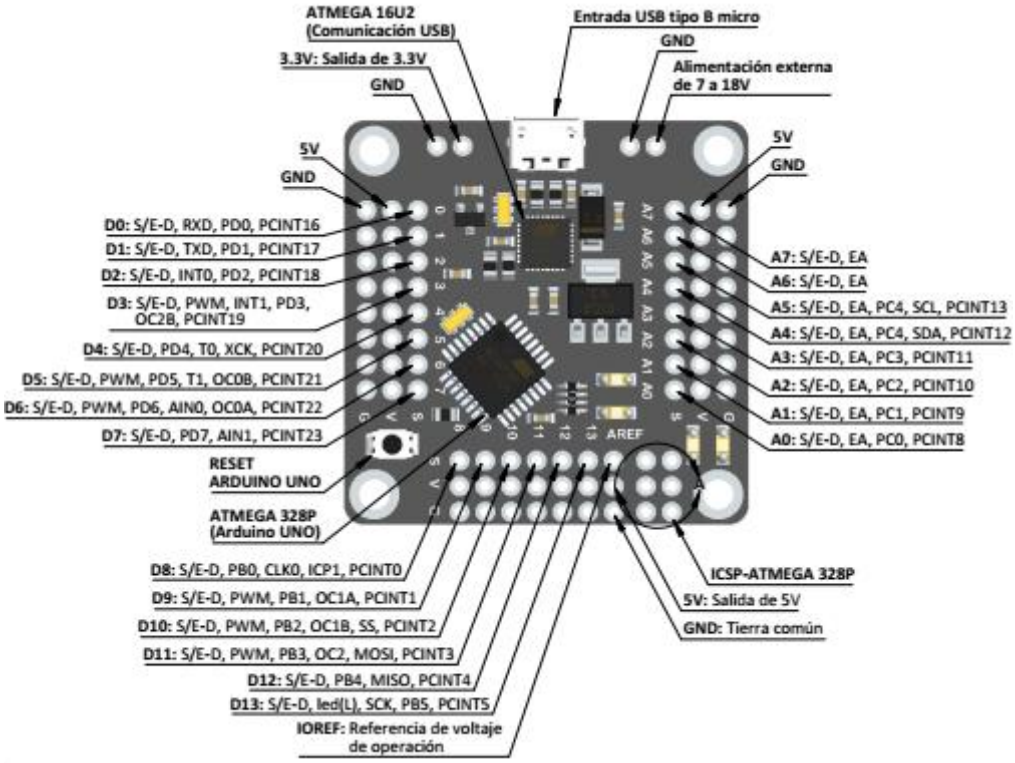


Figura 65. Periféricos del microcontrolador Arduino Mini Strong
Fuente: BeetleCraft SAC

Las características eléctricas y de procesamiento del módulo son las siguientes:

- Velocidad de reloj: 16MHz.

- Voltaje de trabajo: 5V.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- Voltaje de alimentación externo: 7 – 18V.
- Salidas / entradas digitales: 14.
- Salidas PWM: 6.
- Entradas analógicas: 6.
- Memoria Flash: 32 KB.
- Memoria SRAM: 2 KB.
- Memoria EEPROM: 1 KB.
- Corriente máxima absoluta por pin: 40mA.
- Corriente máxima del paquete entero: 200mA.

El módulo es usado para hacer los siguientes procesos:

- Procesamiento de la señal analógica de consumo de corriente del motor enviada del sensor ACS712 – 30A para su conversión y cálculo dentro del rango de -30 a 30A y la entrada analógica A0.
- Procesamiento de la señal digital de lectura de RPMs del motor por medio del sensor TCRT5000 para cálculo de pulsos a valores en RPM y la entrada digital con interrupción D2.
- Control de la velocidad del motor brushless por señal PWM usando el controlador ESC-HW-30A usando la salida PWM del microcontrolador D11.
- Control de inversión de giro del motor brushless por medio de un módulo de relé doble intercambiando dos fases usando las salidas digitales D6 y D7 y las entradas de control del módulo de relé IN1 e IN2.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- Interfaz Humano-Máquina usando un controlador PCF8574 por comunicación I2C y una pantalla LCD 16x2 usando los pines de comunicación A4 y A5 (SDA y SCL).
- Interfaz Humano-Máquina para el control de la velocidad del motor brushless usando un potenciómetro y la entrada analógica A3 del microcontrolador.
- Interfaz Humano-Máquina para el control de pantallas e inversión de giro del motor brushless usando la entrada digital D3.
- Interfaz Humano-Máquina para el control de Start / Stop del motor brushless usando la entrada digital D4

La conexión del microcontrolador se muestra en el siguiente diagrama.

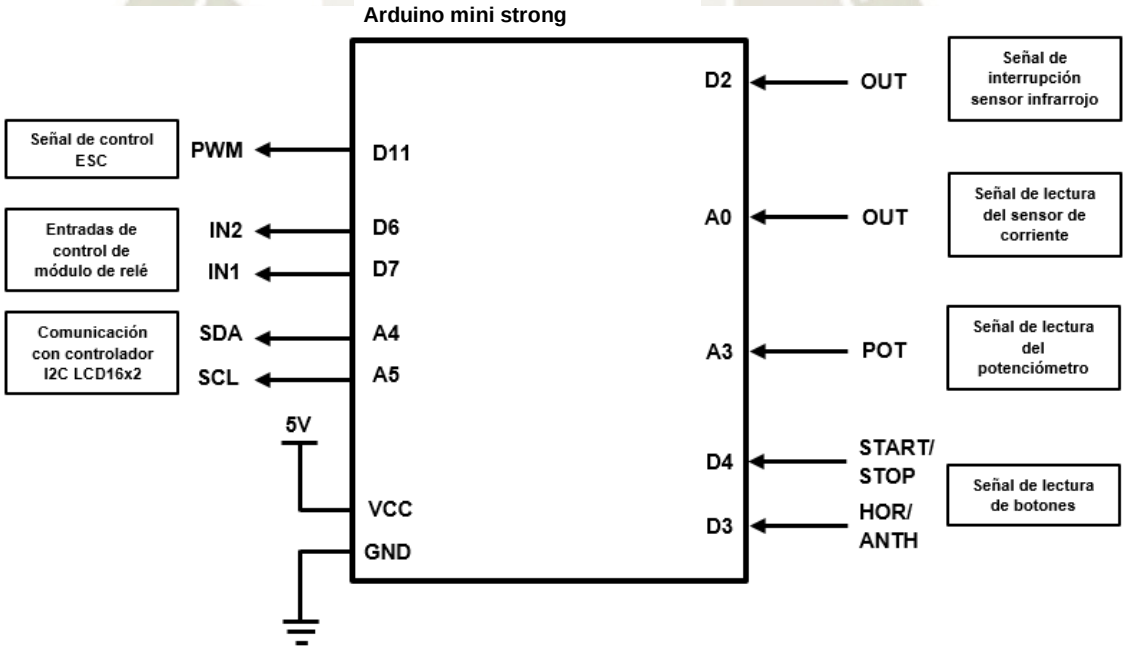


Figura 66. Salidas y entradas del módulo
Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3.5 PERIFÉRICOS HMI

3.5.1 Controlador de LCD 16x2 por I2C

El controlador PCF8574 utiliza comunicación I2C para poder establecer los comandos de control que ayudan a establecer los caracteres alfanuméricos en la pantalla LCD16x2. El controlador utiliza los pines SDA y SCL para conectarse con el microcontrolador. Además, para poder configurar el contraste de la pantalla se usa el potenciómetro que tiene el módulo al igual que el jumper para poder activar el led de iluminación de la pantalla.

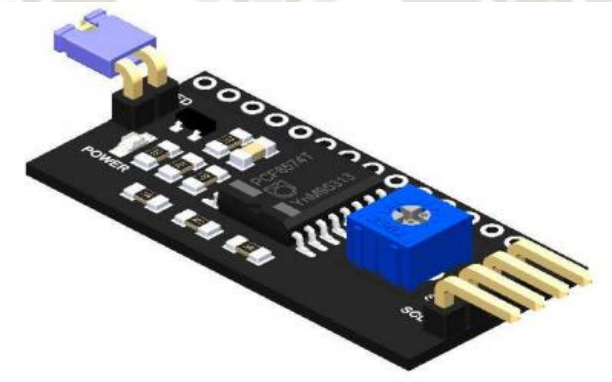


Figura 67. Controlador I2C para pantalla LCD16x2
Fuente: BeetleCraft SAC

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

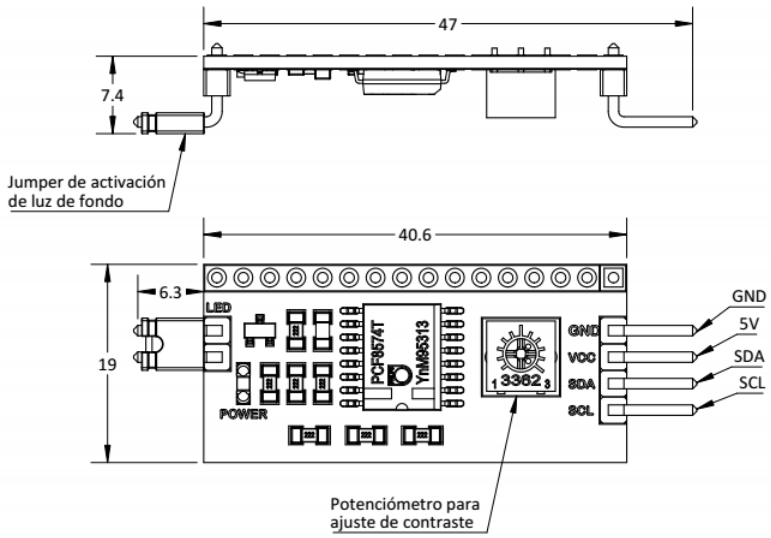


Figura 68. Controlador I2C para pantalla LCD16x2
Fuente: BeetleCraft SAC

Las características eléctricas y de procesamiento del módulo son las siguientes:

- Voltaje de alimentación: 5V (máx. 5.5V).
- Caracteres: 16 (2 líneas).
- Controlador: PCF8574.
- Dirección I2C: 0x3F (También 0x27).
- Comunicación: Protocolo I2C.

La conexión del módulo se muestra en el siguiente diagrama.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

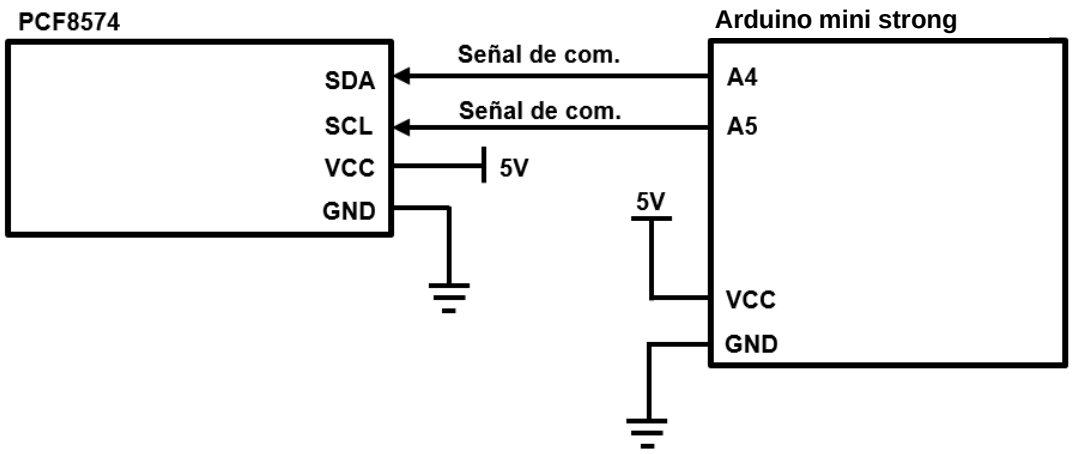


Figura 69. Conexión del controlador I2C para pantalla LCD16x2
Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Pantalla LCD 16x2

Para la visualización del menú al igual que los datos obtenidos por las lecturas de los sensores se una pantalla LCD 16x2 cuya característica principal es la muestra de datos alfanuméricos en dos líneas que posee la pantalla con 16 espacios por cada una de estas. En esta interfaz se presentarán los siguientes datos:

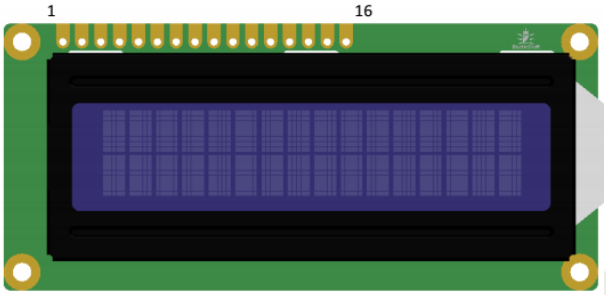
- Menú inicial para inicialización del programa
- Datos de entrada
    - Velocidad angular del motor en RPMs.
    - Corriente de consumo del motor en amperios.
    - Porcentaje de velocidad del motor establecida de 0 a 100%.
- Datos de salida
    - Estado del motor encendido o apagado
    - Estado de giro del motor (Giro horario o antihorario)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- Pantalla de espera para inicializar menú principal



PIN	NOMBRE	FUNCIÓN	PIN	NOMBRE	FUNCIÓN
1	VSS	0V	9	DB2	Bus de datos (8 bits)
2	VDD	5V	10	DB3	Bus de datos (8 bits)
3	V0	Voltaje de constraste	11	DB4	Bus de datos (4 bits)
4	RS	Selección de registro	12	DB5	Bus de datos (4 bits)
5	R/W	Leer / escribir	13	DB6	Bus de datos (4 bits)
6	E	Habilitar señal	14	DB7	Bus de datos (4 bits)
7	DB0	Bus de datos (8 bits)	15	BLA	Backligth 5V
8	DB1	Bus de datos (8 bits)	16	BLK	Backligth 0V

Figura 70. Pantalla LCD16x2
Fuente: BeetleCraft SAC

Las características eléctricas y de procesamiento del módulo son las siguientes:

- Voltaje de alimentación: 5V (máx. 5.5V).
- Caracteres: 16 (2 líneas).
- Consumo: 18mA.
- Potenciómetro para contraste 10kohm - 20koh.
- Datos de entrada.

La conexión del módulo se muestra en el siguiente diagrama.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

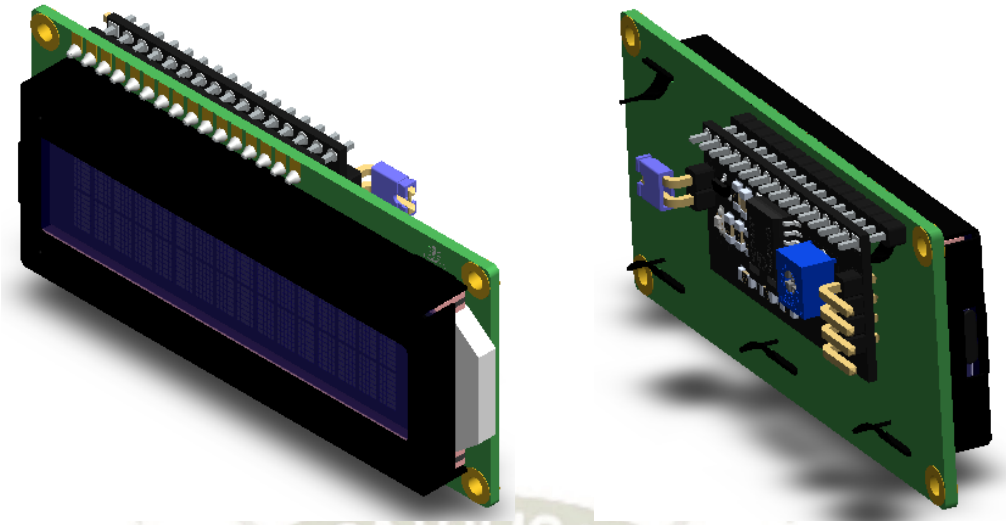


Figura 71. Conexiones de la pantalla LCD16x2 con controlador I2C
Fuente: BeetleCraft SAC

3.5.3 Potenciómetro

Para simular un pedal que ayuda a acelerar o frenar el vehículo utilizamos un potenciómetro de 10 kohm que simula dicho proceso. El potenciómetro permite establecer el porcentaje de velocidad deseada en el motor que va desde 0 a 100% de la velocidad permitida.

Figura 72. Potenciómetro
Fuente: Amazon

La conexión del potenciómetro se muestra en el siguiente diagrama.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

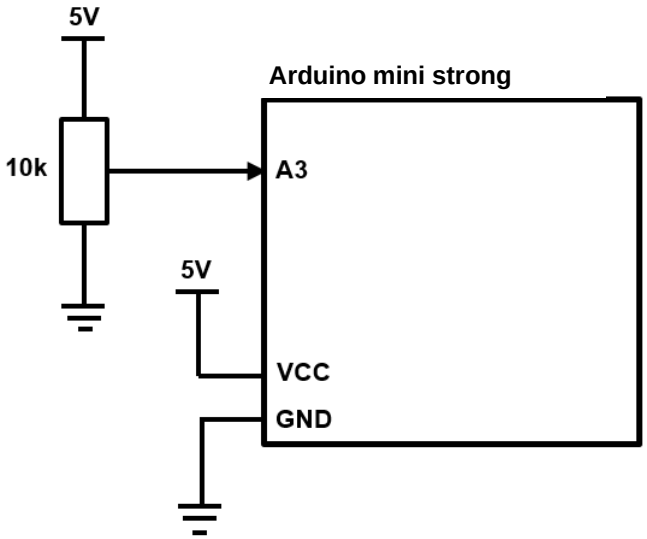


Figura 73. Conexión del potenciómetro
Fuente: Elaboración propia

3.5.4 Botones

Para poder iniciar el proceso o poderlo parar se usan botones electromecánicos que se roscan a la caja del controlador. De la misma manera se usa un botón similar para poder cambiar el giro del motor de un giro angular horario a uno antihorario. Los botones están normalmente abiertos por lo que la señal digital de lectura estará establecida por el cambio a una señal de 5V en la entrada del puerto digital del microcontrolador.

Figura 74. Botón
Fuente: Amazon

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La conexión de los botones se muestra en el siguiente diagrama.

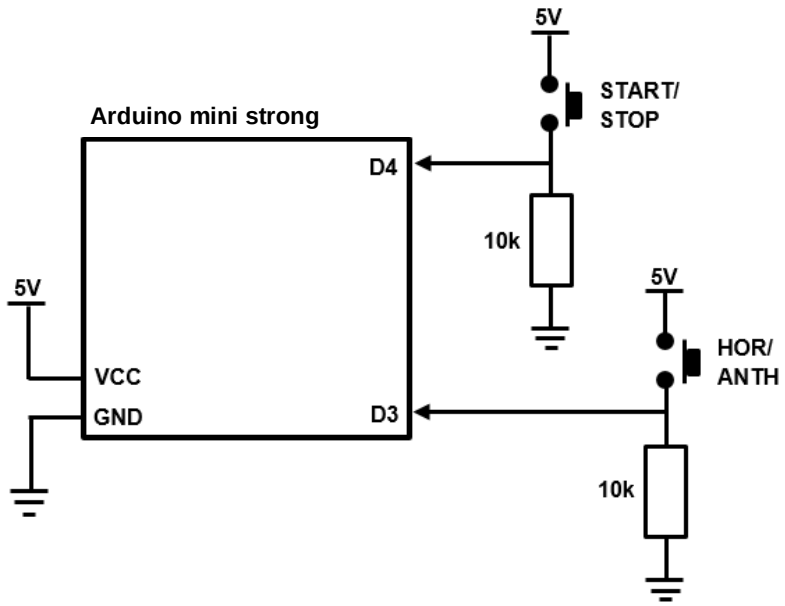


Figura 75. Conexión de los botones
Fuente: Elaboración propia

3.6 INTERACCIÓN HUMANO - MÁQUINA

En la pantalla inicial aparece un mensaje de bienvenida y configuración general en el que se establecen los valores máximos y mínimos de funcionamiento del ESC o rango de trabajo que se muestra.

Inicio A: E.P.L. >>>>>>>>>>>

Figura 76. Pantalla de bienvenida y configuración del controlador
Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La pantalla principal muestra un menú de espera de botón de arranque, en esta se puede establecer la velocidad del motor, la cual no podrá ser alcanzada hasta una confirmación por botón. Las partes principales de esta pantalla son:

- %V: Porcentaje de velocidad del 0 a 100%.
- EST: Estado de espera y STOP.

%V: 23
EST: ESP / STOP

Figura 77. Pantalla principal de inicio del controlador
Fuente: Elaboración propia

En el siguiente menú se asignan los valores de orientación de giro. Las partes principales de esta pantalla son:

- %V: Porcentaje de velocidad del 0 a 100%
- G: Giro del motor, + para giro Horario y – para giro Antihorario
- E: Estado de encendido o apagado del motor ON y OFF

%V: 23 G: + E: ON

Figura 78. Primera pantalla del menú principal
Fuente: Elaboración propia

Una vez arrancado el botón de arranque, en la pantalla del menú se mostrará la velocidad de giro, el porcentaje y la lectura de la corriente de consumo de una de las fases en tiempo real. Las partes principales de esta pantalla son:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- I: Corriente de consumo del motor en tiempo real

- R: RPMs leídas por el motor

%V: 23 G: + E: ON

Figura 79. 1ra pantalla (Menú principal) – Giro Horario
Fuente: Elaboración propia

Cuando el botón de cambio de giro es presionado, el motor empezará a frenar hasta llegar a parar y en la pantalla aparecerá –E, indicando el cambio de orientación en espera de una confirmación. Las partes principales de esta pantalla son:

%V: 23 G: + E: ON

Figura 80. 1ra pantalla (Menú principal) – Giro anti-horario / Espera
Fuente: Elaboración propia

Una vez que se vuelva a presionar el botón de orientación, el motor empezará a girar en sentido anti-horario con las lecturas correspondientes en tiempo real.

%V: 22 G: - E: ON

Figura 81. 1ra pantalla (Menú principal) – Giro anti-horario / Confirmación
Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En caso de apretar el botón de stop (arranque), el motor empezará a disminuir la velocidad hasta frenar completamente de manera pausada.

%V: 22	**E:**
OFF	

Figura 82. 2da pantalla (Menú principal) – Parada de motor
Fuente: Elaboración propia

3.7 LÓGICA DE FUNCIONAMIENTO DEL CONTROLADOR

3.7.1 Funcionamiento del controlador

El microcontrolador tiene la función de realizar las mediciones, las acciones de control de encendido y cambio de giro del motor.

El potenciómetro determina el set point de velocidad de giro del motor de 0 al 100 % e ingresa este valor al microcontrolador. Inicialmente la lectura tiene un rango de medición de 0 a 1023 que luego es reconvertido de 0 al 100%.

Un ESC controla la velocidad de giro del motor, una señal PWM ingresa al mismo partir del microcontrolador y esta regula la velocidad de giro que adoptará el motor.

Una placa de dos relays controlan la orientación de giro (horario o antihorario) del motor al invertir la posición de las fases de la fase B a la C y viceversa, esta señal de inversión de giro la asigna el microcontrolador.

Una placa de sensor de corriente toma la corriente total que ingresa al controlador de velocidad ESC para determinar la corriente total de consumo y envía dicha información al microcontrolador para ser procesada.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Un sensor infrarrojo sensa las rotaciones del motor y dicha información es enviada al microcontrolador. La lectura se determina a partir de una banda que se coloca al motor y refleja la señal infrarroja enviada por parte del sensor.

Una pantalla LCD muestra la data y funciona como interfaz humano/máquina esta es controlada directamente por el microcontrolador.

El diagrama de flujo de funcionamiento y el programa para el microcontrolador se pueden revisar en el Anexo 1 y 2 respectivamente.

3.7.2 Partes del controlador

Las partes principales del controlador se muestran en la siguiente figura.

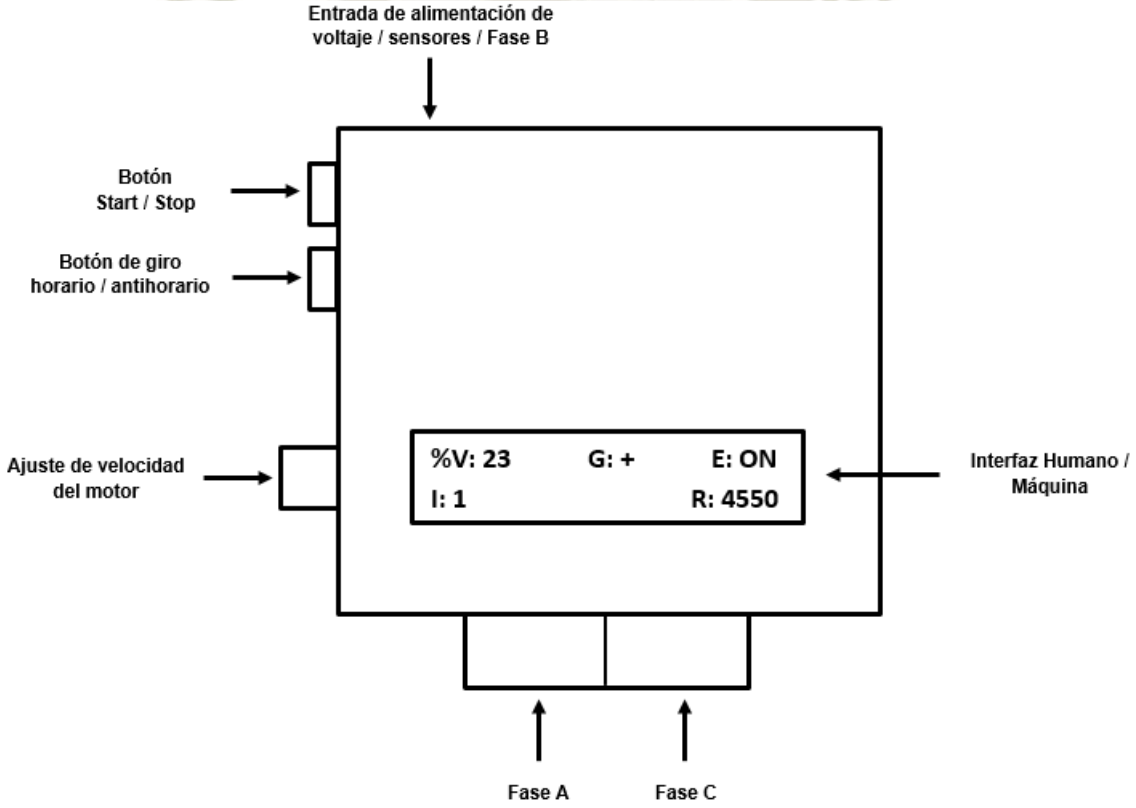


Figura 83. Partes principales del controlador de motores brushless
Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Las características del controlador son las siguientes:

- La interfaz Humano / Máquina permite visualizar
    - Menú principal.
    - Variables de medición de consumo de corriente, RPMs y giro del motor.
    - Estado del motor ON / OFF.
    - Variable de control de velocidad angular del motor.
- Potenciómetro de ajuste de variable de control de la velocidad angular del motor
- Botón de Start / Stop del controlador
- Botón de variable de control de giro del motor (Horario / Antihorario)
- Bornera de salida para conexión con la Fase A y C del motor
    - El conector de Fase A corresponde a: Fase A / ESC O2 / Fase C
    - El conector de Fase C corresponde a: Fase C / ESC O3 / Fase A
- Salida y entrada de línea de alimentación, sensores externos y conexión con la Fase B del motor

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

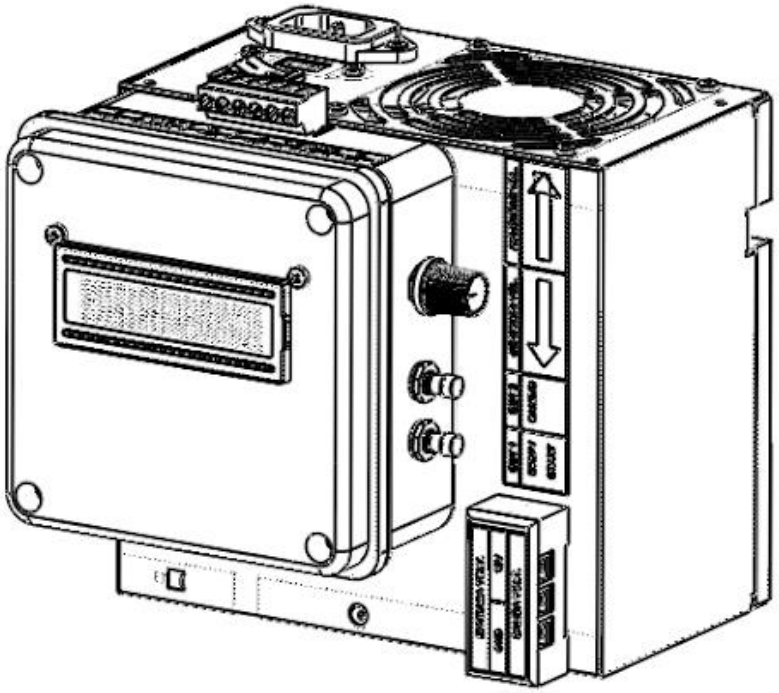


Figura 84. Controlador de motores brushless
Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO 4

PRUEBA EXPERIMENTAL DE MOTORES HALBACH

4.1 CONSTRUCCIÓN

Se usó como referencia para esta parte el motor de prueba Halbach impreso en 3D de Christoph Laimer (http://www.laimer.ch/).

Es un motor de corriente continua sin escobillas cuya estructura está impresa con una impresora 3D. En teoría el motor es de una potencia de 600 W y con una eficiencia del 80%. Algunas de las partes principales de este motor son:

- Rotor
- Estator
- Imanes
- Bobinado de alambre de cobre
- Rodamientos de bolas

Las características teóricas de este motor se presentan en la siguiente tabla:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 3. *Características generales del motor Halbach*

Característica	Valor
Potencia máxima (prueba)	600 W
Voltaje Nominal	30 V
Corriente Nominal	20 A
Revoluciones por voltaje	255 RPM/V
Eficiencia	80 %
Peso Total	900 g
Diámetro	105 mm
Longitud (sin eje)	85 mm
Diámetro del eje	8 mm

Fuente: Christoph Laimer

Los materiales de construcción del motor son los siguientes:

- Magnetos de neodimio (40mm x 10mm x 4mm): 18 magnetos
- Magnetos de neodimio (20mm x 5mm x 3mm): 36 magnetos
- Cable de cobre esmaltado de 0.45 mm de diámetro
- Rodamiento de bolas 688ZZ: DI 8mm x DE 16mm x E 5mm
- Rodamiento de bolas 6710ZZ: DI 50mm x DE 62mm x E 5mm
- Eje de acero de diámetro de 8mm y 200mm de longitud

La estructura impresa del motor se encuentra dividido en tres partes que corresponden a un rotor, un núcleo del estator y el montaje del estator. Las características de impresión se muestran en la siguiente tabla:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 4. *Características de impresión del motor Halbach de Christoph Laimer*

Componente	Material	Capa	Espesor	Rellenado	Soporte
Rotor Halbach A	PLA	0.15 mm	4 mm	80 %	No
Rotor Halbach B	PLA	0.15 mm	2 mm	50 %	No
Collar 8 mm – 13	PLA	0.15 mm	3 mm	90 %	Si
Montaje del estator A	PLA	0.15 mm	3 mm	90 %	No
Montaje del estator B	PLA	0.15 mm	3 mm	90 %	No
Núcleo del estator A	PLA	0.15 mm	2 mm	95 %	No
Núcleo del estator B	PLA	0.15 mm	2 mm	95 %	No

Fuente: Christoph Laimer

4.1.1 Rotor

Está compuesto por dos partes. Este componente contiene las ranuras para los magnetos designados y los mantiene en su lugar, además que ayuda a establecer en una posición el eje del motor.

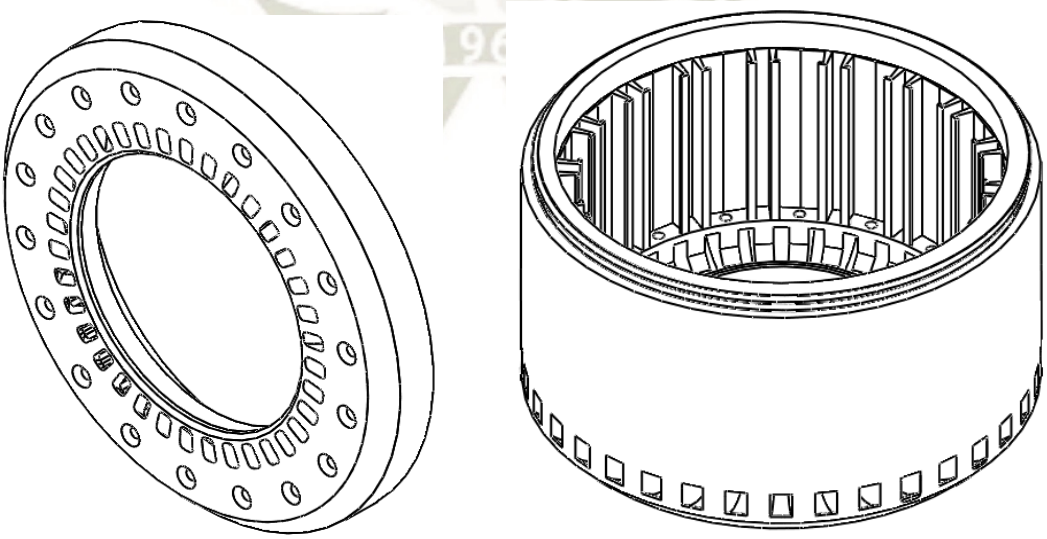


Figura 85. Modelo de rotor para motor Halbach de Christoph Laimer
Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.1.2 Núcleo del estator

Está compuesto por dos partes. Este componente es la que contiene el alambre de cobre esmaltado y que dan la forma al bobinado.

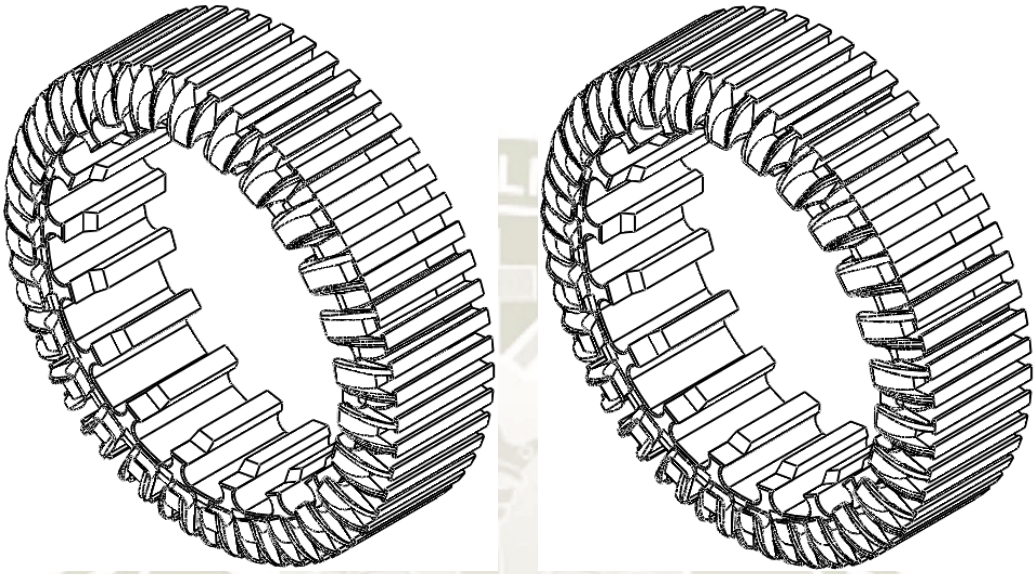


Figura 86. Núcleo del estator para motor Halbach de Christoph Laimer
Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Montaje del estator

Está compuesto por tres partes. Este componente es que bloquea el núcleo del estator y permite que el rotor sea la parte móvil. Además, que ayuda a establecer en una posición el eje del motor. Otra de sus funciones es absorber la vibración y el torque.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

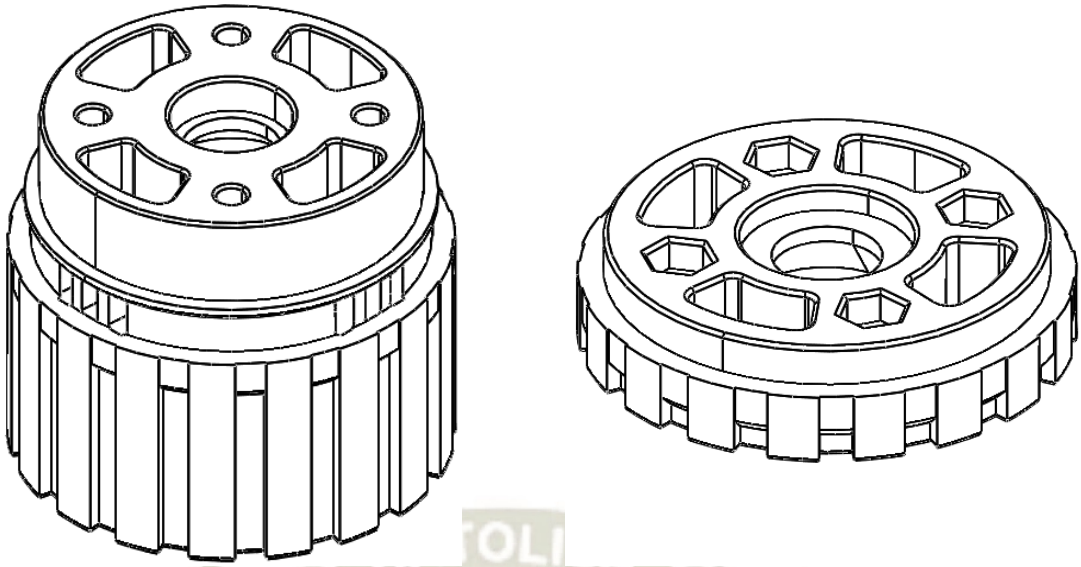


Figura 87. Montaje del estator para motor Halbach de Christoph Laimer
Fuente: Elaboración propia

4.2 CABLEADO

Se deben preparar tres cables de 5 metros cada uno para las diferentes tres fases. Estos cables se deben segmentar en seis tiras que combinadas corresponden a la fase; para ello, se debe girar de 20 a 30 veces para generar el cable para las 3 fases. Los conectores finales se dejan abiertos para cambiar la configuración en delta o estrella.

En la figura se muestran las fases pintadas de amarillo, rojo y azul. Los cables son puestos alternando las fases y la dirección. Cada fase consiste en 9 pequeñas bobinas puestas alrededor del estator.

Los pasos de implementación a seguir se describen a continuación:

- **Fase A:** Para esta fase se colocará una bobina en el orificio del estator y se dejaran dos espacios para ser colocada la siguiente bobina en el tercer lugar. Este mismo procedimiento se repetirá 3 veces.

- **Fase B:** Repetir el paso anterior, pero comenzando dos espacios después de la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

primera bobina de la fase A.

- **Fase C:** Repetir lo mismo de la fase B pero comenzando dos espacios después de la segunda bobina de la fase B.

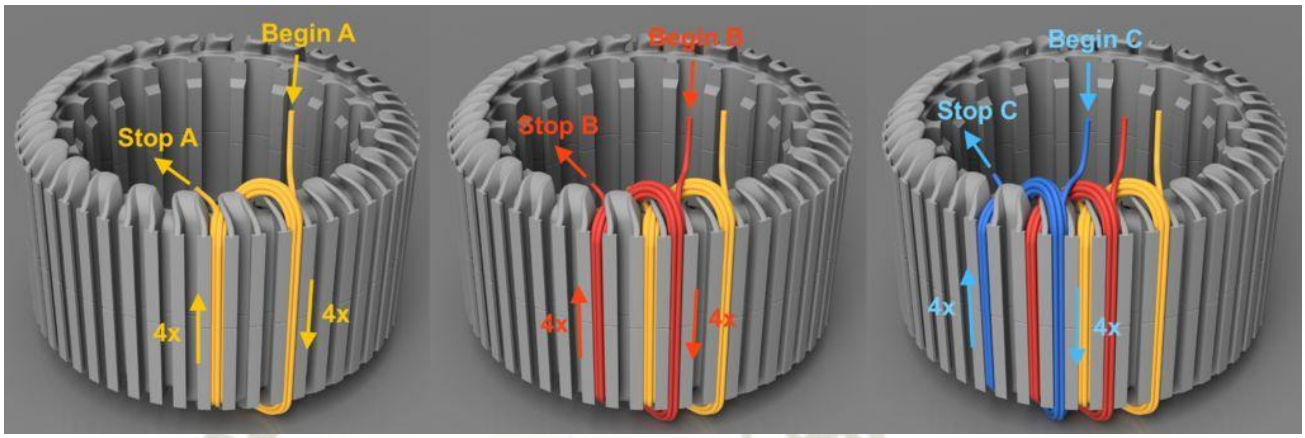


Figura 88. Cableado inicial para motor Halbach de Christoph Laimer
Fuente: Elaboración propia

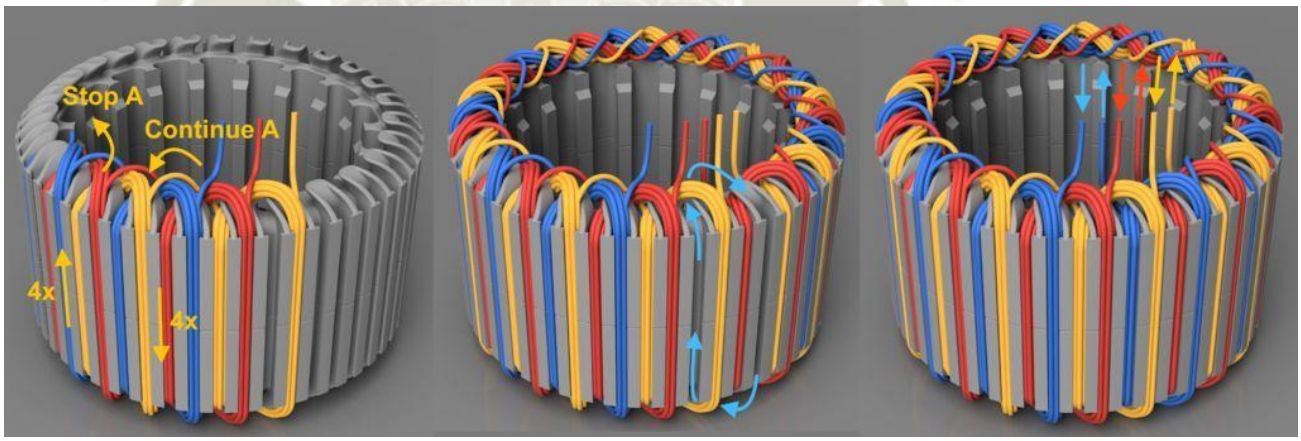


Figura 89. Cableado final para motor Halbach de Christoph Laimer
Fuente: Elaboración propia

4.3 MONTAJE DE LOS IMANES

Los imanes usados para el motor se dividen en dos tipos.

- Magnetos de neodimio (40mm x 10mm x 4mm): 18 magnetos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- Magnetos de neodimio (20mm x 5mm x 3mm): 36 magnetos

Para poder ser instalados en el motor primero deben pasar un proceso de medición de fuerza magnética, con esto podremos verificar que imanes se encuentran dentro de un rango cercano que no genere un desequilibrio en el motor. El proceso de medición se muestra en la figura.

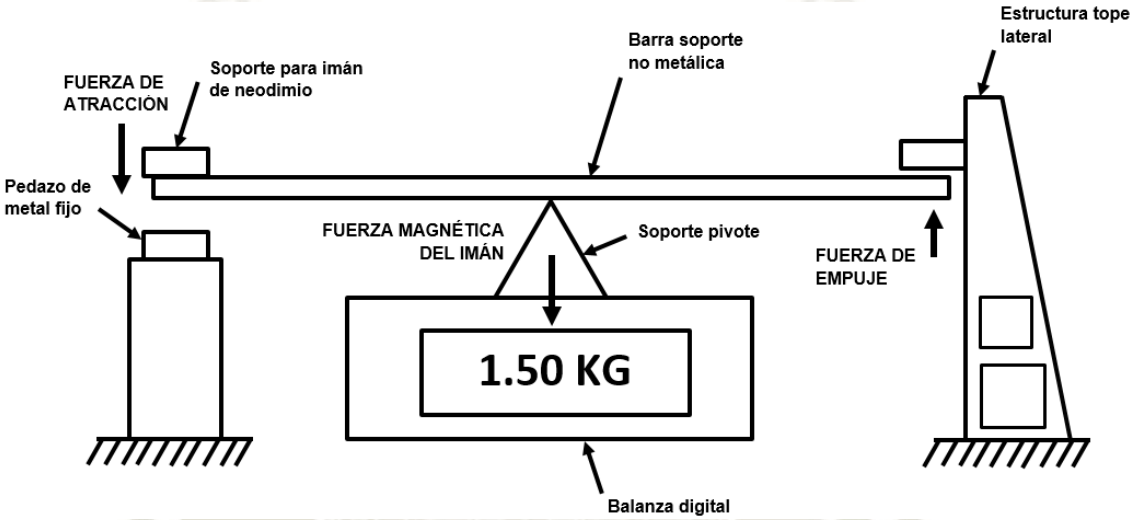


Figura 90. Proceso de medición de fuerza magnética de los magnetos de neodimio
Fuente: Elaboración propia

La fuerza magnética de los magnetos de neodimio largos de 40 x 10 x 4 mm se muestra en la siguiente tabla donde:

- Item: Cantidad de magnetos medidos
- Ident: Identificador dado al magneto (algunos no se encuentran por estar defectuosos)
- M1 a M5: Medida del magneto
- Prom: Promedio de las medidas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 5. *Fuerza magnética de los magnetos de neodimio de 40 x 10 x 4 mm*

Item	Ident	M1	M2	M3	M4	M5	Prom
1	A1	113.28	113.36	113.40	113.30	113.58	113.38
2	A2	143.84	143.82	143.85	143.93	143.97	143.88
3	A3	124.12	124.16	124.2	124.28	124.36	124.22
4	A4	125.21	125.26	125.58	125.51	125.38	125.39
5	A5	122.38	122.24	122.30	122.33	122.28	122.31
6	A6	137.70	137.63	137.78	137.93	137.80	137.77
7	A7	137.09	137.23	137.28	137.33	137.32	137.25
8	A8	123.69	123.72	123.73	123.90	123.78	123.76
9	A10	141.50	141.48	141.62	141.59	141.68	141.57
10	A11	152.33	152.37	152.30	152.21	152.28	152.30
11	A12	135.31	135.36	135.41	135.48	135.49	135.41
12	A13	132.04	132.14	132.18	132.20	132.21	132.15
13	A14	148.39	148.42	148.47	148.51	148.63	148.48
14	A15	144.73	144.78	144.81	144.82	144.87	144.80
15	A16	131.62	131.66	131.70	131.74	131.79	131.70
16	A17	133.43	133.46	133.48	133.5	133.54	133.48
17	A18	135.17	135.23	135.30	135.33	135.37	135.28
18	A19	135.93	135.97	136.00	136.03	136.07	136.00
19	A22	139.65	139.72	139.84	139.97	140.02	139.84
20	A23	124.67	124.79	124.62	124.68	124.71	124.69
21	A24	132.76	132.69	132.71	132.75	132.77	132.74
22	A25	153.42	153.43	153.40	153.39	153.35	153.40
23	A26	135.25	135.22	135.21	135.29	135.31	135.26
24	A27	142.56	142.59	142.52	142.51	142.60	142.56
25	A28	136.89	136.93	136.92	136.86	136.95	136.91
26	A29	125.61	125.68	125.59	125.63	124.64	125.43
27	A30	132.24	132.26	132.29	132.21	132.34	132.27
28	A31	131.24	131.29	131.32	131.25	131.23	131.27

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

29	A32	137.43	137.39	137.38	137.41	137.45	137.41
30	A33	142.97	142.99	143.02	143.1	142.98	143.01
31	A34	138.76	138.72	138.71	138.69	138.79	138.73
32	A35	142.52	142.57	142.51	142.60	142.56	142.55
33	A36	132.45	132.48	132.5	132.47	132.49	132.48
34	A37	135.32	135.33	135.29	135.28	135.35	135.31
35	A38	134.78	134.81	134.83	134.77	134.85	134.81
36	A39	144.51	142.59	142.58	142.49	142.55	142.94
37	A40	122.98	122.99	122.96	123.02	122.92	122.97
						Promedio general (g-f)	**135.24**

Fuente: Elaboración propia

La gráfica obtenida para dicha tabla se muestra en la figura. Los magnetos usados para la construcción del motor son aquellos que se acerquen a la línea promedio o tendencia, se deben escoger los 18 más cercanos.

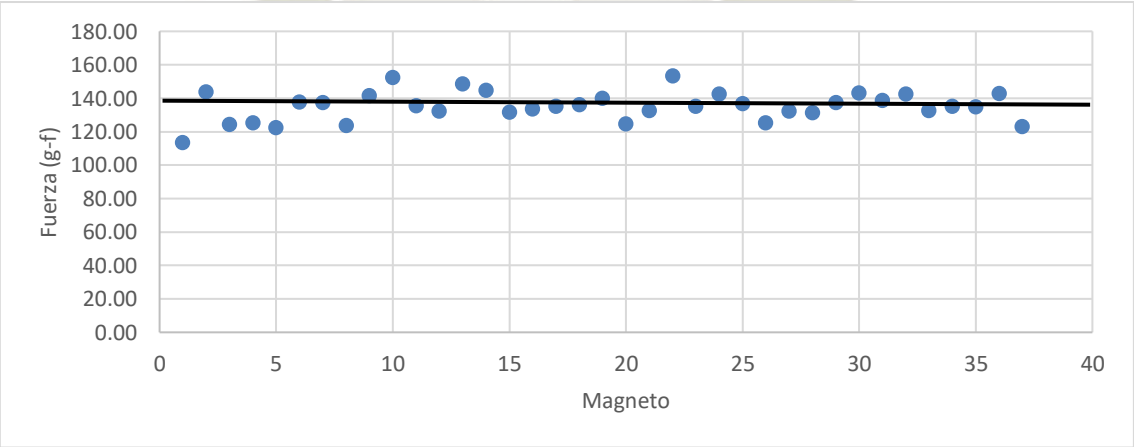


Figura 91. Dispersión de la fuerza magnética para magnetos 40x10x4 mm
Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los magnetos de neodimio pequeños de 20 x 5 x 3 mm, la fuerza magnética se muestra en la siguiente tabla.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 6. *Fuerza magnética de los magnetos de neodimio de 20 x 5 x 3 mm*

Item	Ident	M1	M2	M3	M4	M5	Prom
1	B1	25.01	25.03	25.10	24.98	24.97	25.02
2	B2	24.96	24.99	25.04	25.06	25.01	25.01
3	B3	24.94	25.02	25.00	25.00	24.98	24.99
4	B4	25.02	25.04	24.99	24.94	25.03	25.00
5	B5	24.99	24.95	25.01	24.96	24.89	24.96
6	B6	25.00	25.37	26.54	25.40	25.98	25.66
7	B7	25.17	25.07	25.02	25.05	24.98	25.06
8	B8	24.62	24.65	24.69	24.89	24.77	24.72
9	B9	25.28	25.40	25.00	24.98	25.02	25.14
10	B10	25.48	25.50	25.60	25.63	25.40	25.52
11	B11	24.77	24.84	24.50	24.58	24.71	24.68
12	B12	24.67	24.70	24.67	24.94	24.81	24.76
13	B13	24.65	24.80	24.67	24.75	24.72	24.72
14	B14	24.59	24.71	24.76	24.57	24.60	24.65
15	B15	24.46	24.50	24.42	24.54	24.41	24.47
16	B16	24.53	24.56	24.5	24.59	24.60	24.56
17	B17	24.20	24.41	24.16	24.51	24.32	24.32
18	B18	25.01	24.70	24.73	24.98	25.02	24.89
19	B19	24.99	25.10	24.96	25.00	25.01	25.01
20	B20	24.88	24.97	24.82	24.85	24.80	24.86
21	B21	24.63	24.71	24.79	24.86	24.69	24.74
22	B22	24.88	24.91	24.54	24.59	24.71	24.73
23	B23	24.54	24.65	24.50	24.62	24.48	24.56
24	B24	25.00	24.97	25.05	25.09	24.96	25.01
25	B25	24.64	24.73	24.77	24.86	24.80	24.76
26	B26	24.39	24.43	24.7	24.64	24.60	24.55
27	B27	24.30	24.32	24.26	24.29	24.36	24.31
28	B28	24.65	24.63	24.52	24.58	24.60	24.60

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

29	B29	25.11	25.06	24.84	24.88	25.00	24.98
30	B30	24.61	24.6	24.57	24.63	24.69	24.62
31	B31	24.78	24.92	25.00	25.02	24.95	24.93
32	B32	24.95	24.91	24.88	24.96	24.80	24.90
33	B33	21.51	21.56	21.28	21.24	21.49	21.42
34	B34	24.67	24.76	24.71	24.7	24.71	24.71
35	B35	24.49	24.54	24.58	24.53	24.61	24.55
36	B36	24.72	24.76	24.69	24.74	24.75	24.73
37	B37	24.67	24.67	24.62	24.61	24.65	24.64
38	B38	24.39	24.42	24.57	24.47	24.45	24.46
39	B39	24.53	24.57	24.52	24.66	24.50	24.56
40	B40	24.98	25.00	24.85	24.89	24.92	24.93
41	B41	24.77	24.73	24.55	24.58	24.69	24.66
42	B42	24.68	24.76	24.80	24.72	24.92	24.78
43	B43	24.62	24.65	24.70	24.59	24.77	24.67
44	B44	24.35	24.49	24.39	24.52	24.43	24.44
45	B45	24.38	24.33	24.24	24.27	24.31	24.31
46	B46	24.56	24.53	24.78	24.75	24.80	24.68
47	B47	24.29	24.34	24.32	24.29	24.34	24.32
48	B48	24.28	24.37	24.41	24.25	24.30	24.32
49	B49	24.34	24.3	24.57	24.52	24.57	24.46
50	B50	24.2	24.29	24.33	24.37	24.32	24.30
51	B51	24.96	24.78	24.80	24.91	24.79	24.85
52	B52	24.82	24.79	24.89	24.93	24.86	24.86
53	B53	24.72	24.76	24.80	24.84	24.75	24.77
54	B54	24.48	24.64	24.69	24.72	24.53	24.61
55	B55	24.63	24.59	24.67	24.56	24.71	24.63
56	B56	24.53	24.57	24.74	24.78	24.80	24.68
57	B57	24.69	24.72	24.77	24.71	24.81	24.74
58	B58	24.39	24.31	24.5	24.68	24.40	24.46

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

59	B59	24.20	24.28	24.31	24.48	24.55	24.36
60	B60	24.71	24.72	24.75	24.74	24.80	24.74
61	B61	24.51	24.60	24.64	24.68	24.58	24.60
62	B62	24.55	24.58	24.61	24.80	24.74	24.66
63	B63	24.62	24.49	24.50	24.69	24.61	24.58
64	B64	24.39	24.47	24.55	24.62	24.41	24.49
65	B65	24.25	24.48	24.50	24.45	24.51	24.44
66	B66	24.65	24.73	24.76	24.80	24.69	24.73
67	B67	24.81	24.84	24.72	24.76	24.80	24.79
68	B68	24.70	24.68	24.76	24.77	24.74	24.73
69	B69	24.37	24.44	24.40	24.48	24.53	24.44
70	B70	24.74	24.81	24.88	24.85	24.92	24.84
71	B71	24.70	24.74	24.77	24.68	24.79	24.74
72	B72	24.51	24.59	24.63	24.71	24.64	24.62
73	B73	24.67	24.65	24.74	24.81	24.78	24.73
74	B74	23.57	23.60	23.56	23.61	23.65	23.60
75	B75	24.63	24.67	24.70	24.71	24.68	24.68
76	B76	24.17	24.15	24.21	24.23	24.19	24.19
77	B77	24.23	24.18	24.34	24.17	24.16	24.22
78	B78	24.92	24.98	25.00	24.94	25.01	24.97
79	B79	24.62	24.75	24.71	24.72	24.70	24.70
80	B80	24.19	24.23	24.26	24.21	24.3	24.24
81	B81	24.82	24.80	24.86	24.82	24.78	24.82
82	B82	24.89	24.85	24.90	24.84	24.89	24.87
83	B83	24.88	24.90	24.99	25.00	25.02	24.96
84	B84	24.18	24.14	24.2	24.12	24.14	24.16
85	B85	24.61	24.71	24.75	24.80	24.55	24.68
86	B86	24.24	24.32	24.36	24.31	24.43	24.33
87	B87	24.59	24.57	24.81	24.76	24.73	24.69
88	B88	24.58	24.63	24.55	24.60	24.65	24.60

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

89	B89	24.81	24.78	24.72	24.71	24.75	24.75
90	B90	24.52	24.57	24.61	24.58	24.51	24.56
91	B91	24.45	24.49	24.39	24.41	24.49	24.45
92	B92	24.60	24.63	24.65	24.61	24.43	24.58
93	B93	24.89	24.82	24.80	24.90	24.82	24.85
94	B94	24.44	24.48	24.45	24.62	24.63	24.52
95	B95	24.82	24.78	24.74	24.79	24.70	24.77
96	B96	24.82	24.90	24.88	24.89	24.83	24.86
97	B97	24.70	24.76	24.81	24.79	24.81	24.77
98	B98	24.34	24.38	24.41	24.37	24.45	24.39
				Promedio general (g-f)			**24.64**

Fuente: Elaboración propia

La gráfica obtenida para dicha tabla se muestra en la figura. Los magnetos usados para la construcción del motor son aquellos que se acerquen a la línea promedio o tendencia, se deben escoger los 36 más cercanos.

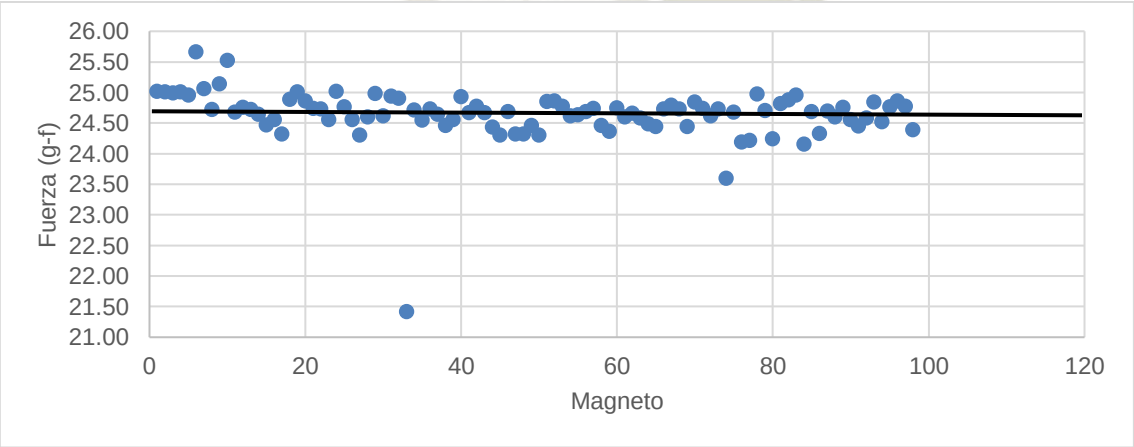


Figura 92. Dispersión de la fuerza magnética para magnetos 20x5x3 mm
Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.4 BANCO DE PRUEBA PARA MOTOR HALBACH

Para poder testear las características de funcionamiento del motor debemos construir un banco de pruebas; para ello se fabricó un marco de aluminio con conectores impresos en 3D para poder ubicar el motor en su eje y poder instalar los sensores al igual que los conectores eléctricos. El banco de prueba se muestra en la figura.

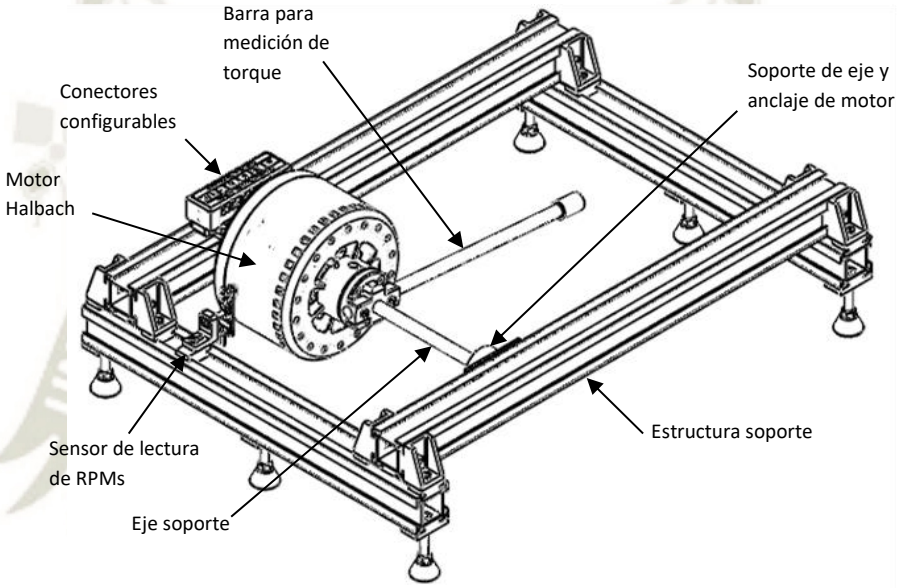


Figura 93. Banco de prueba para motor Halbach de Christoph Laimer
Fuente: Elaboración propia

Las partes principales del banco de pruebas del motor Halbach tiene las siguientes partes principales:

- **Estructura:** Estructura principal de perfiles de aluminio con conectores impresos.
- **Pie ajustable:** Adaptador de perno con pie impreso con el que se puede ajustar la altura de la estructura.
- **Sensor de lectura de RPMs:** Sensor y adaptador para ajustar la posición del sensor.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- **Soporte de anclaje del motor:** Soporte impreso y tubo de aluminio que coloca en posición el estator del motor.

- **Guías de soporte:** Guías de aluminio que sirve como apoyos para el soporte de anclaje del motor.

- **Eje soporte:** Eje macizo principal de soporte del motor.

- **Conectores configurables:** Conector eléctrico para configuración de las fases de salida y entrada del motor, para poder realizar la configuración delta o en estrella del mismo.

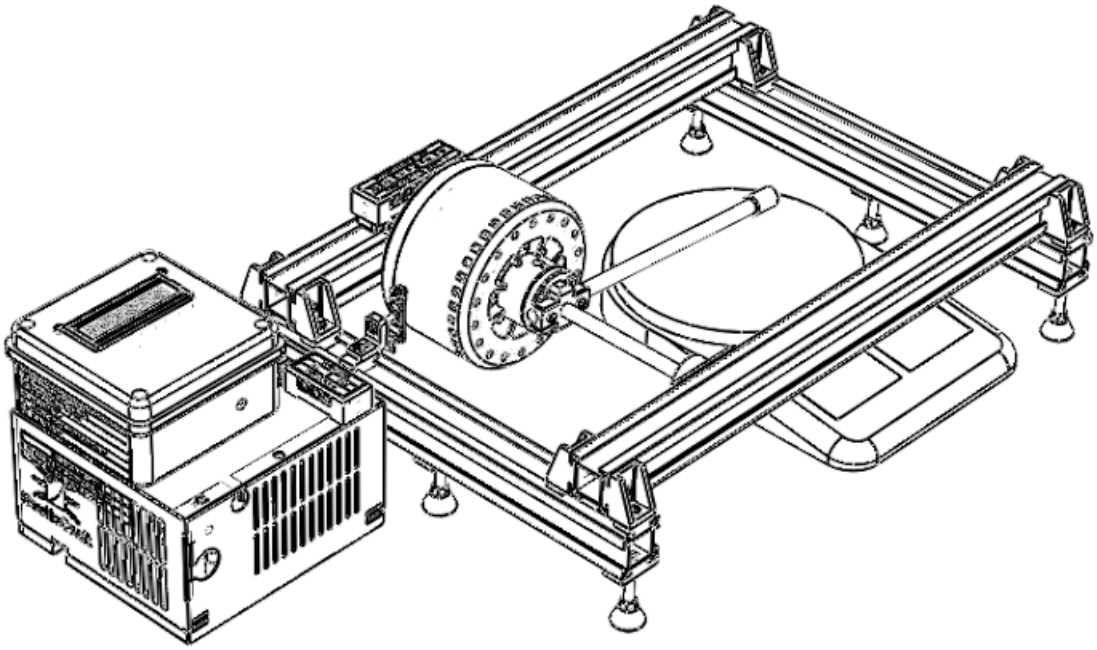


Figura 94. Banco de prueba total diseñada
Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.5 PRUEBAS DE CONSUMO DE CORRIENTE, VELOCIDAD Y TORQUE

4.5.1 Pruebas en arreglo estrella

Se realizaron pruebas de consumo de corriente respecto a la velocidad angular del motor en RPMs para una configuración en estrella del motor que se muestra en la figura.

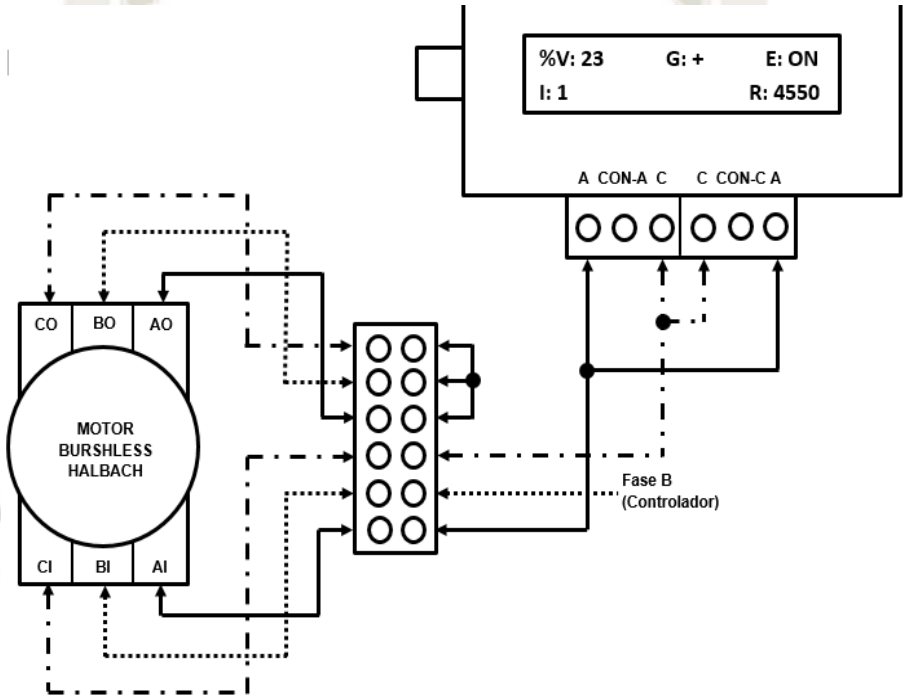


Figura 95. Conexión en estrella para banco de prueba
Fuente: Elaboración propia

Los resultados de lectura de velocidad y corriente se muestran en la siguiente tabla

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 7. *Lecturas de velocidad y corriente en arreglo "Estrella"*

Porcentaje de velocidad (%)	RPMs	Consumo corriente (A)
0	0	0.32
5	636	0.47
10	1111	0.61
15	1693	0.74
20	1850	0.92
25	2063	0.97
30	2330	1.07
35	2590	1.13
40	2751	1.20
45	2960	1.24
50	3121	1.28
55	3227	1.35
60	3336	1.39
65	3436	1.45
70	3495	1.47
75	3548	1.49
80	3555	1.50

Fuente: Elaboración propia

El gráfico de la corriente respecto de las RPMs del motor se muestra en la siguiente figura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

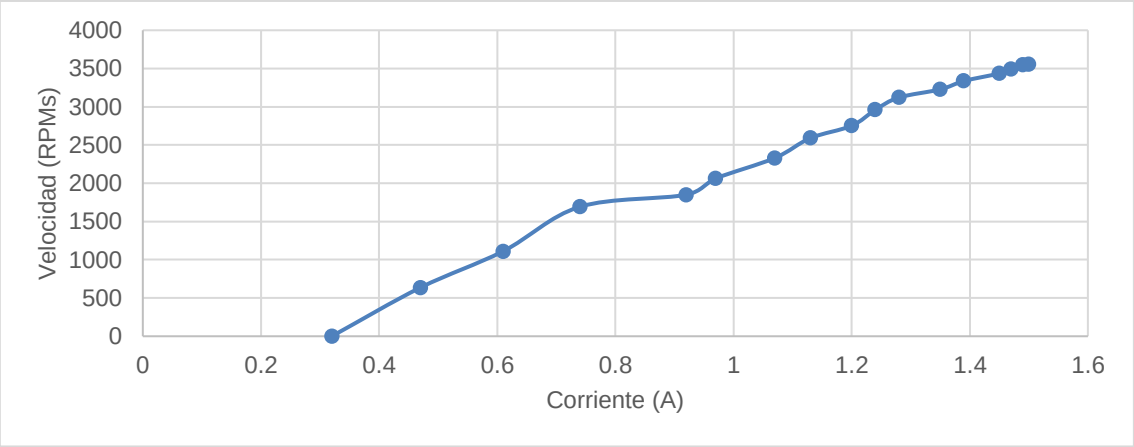


Figura 96. RPMs vs corriente para motor de prueba en arreglo "Estrella"
Fuente: Elaboración propia

Los resultados de lectura de velocidad y corriente se muestran en la siguiente tabla

Tabla 8. *Lecturas de torque y corriente en arreglo "Estrella"*

Porcentaje de velocidad (%)	Torque (g-cm)	Consumo corriente (A)
0	0	0.20
5	0.42	0.69
10	0.71	1.04
15	0.96	1.63
20	1.17	2.36
25	1.46	2.95
30	1.75	3.54
35	2.04	4.13
40	2.33	4.72
45	2.63	5.31
50	2.92	5.90

Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El gráfico de la corriente respecto de las RPMs del motor se muestra en la siguiente figura.

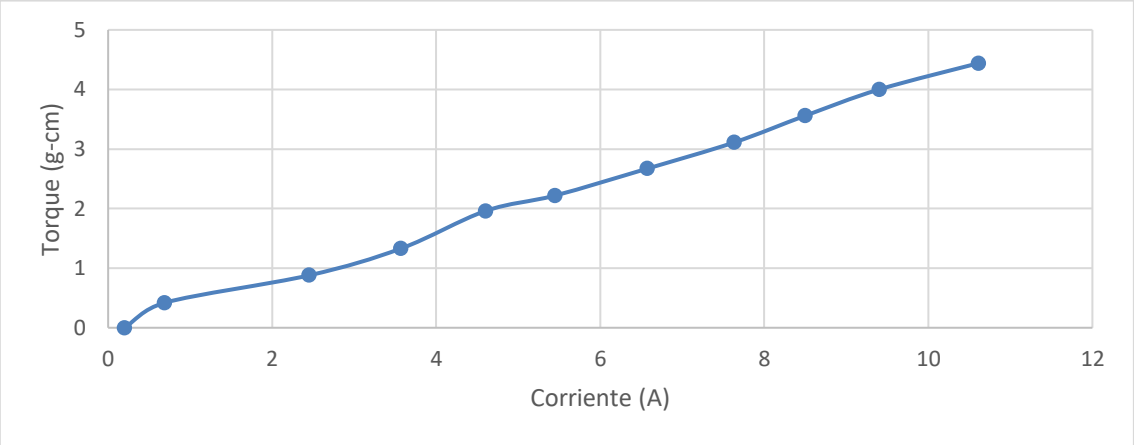


Figura 97. Torque vs corriente para motor de prueba en arreglo "Estrella"
Fuente: Elaboración propia

4.5.2 Pruebas en arreglo delta

Se realizaron pruebas de consumo de corriente respecto a la velocidad angular del motor en RPMs para una configuración en estrella del motor que se muestra en la figura.

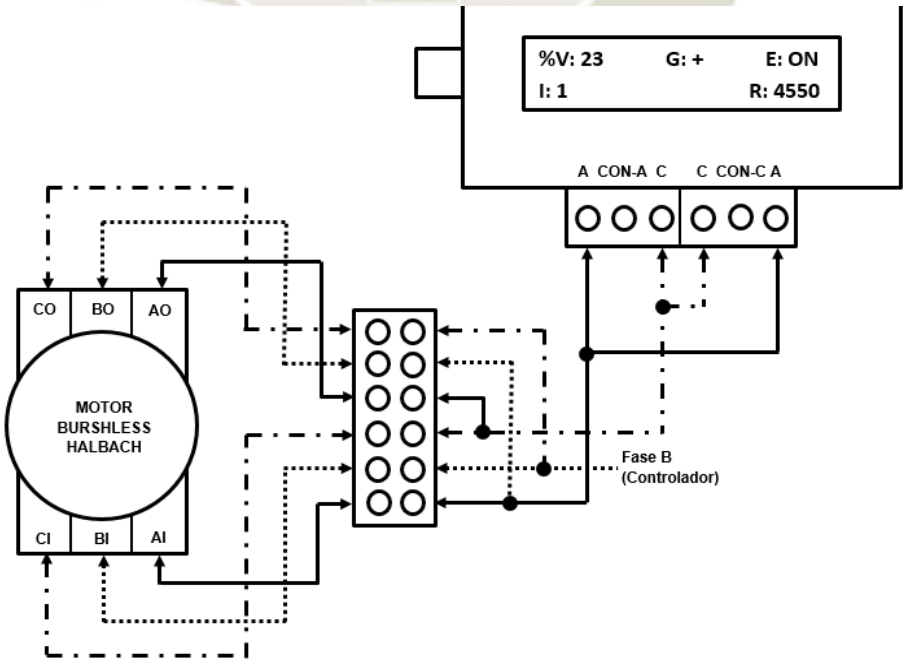


Figura 98. Conexión en delta para banco de prueba
Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 9. *Resultados de prueba de funcionamiento en arreglo "Delta"*

Porcentaje de velocidad (%)	RPMs	Consumo corriente (A)
0	0	0.33
5	530	0.71
10	1112	1.16
15	1955	1.85
20	2488	2.42
25	3068	2.98
30	3600	3.42
35	3756	3.57
40	4126	3.90
45	4280	4.24
50	4444	4.50
55	4490	4.59
60	4600	4.76
65	4867	4.92
70	4973	5.65
75	5079	5.69

Fuente: Elaboración propia

El gráfico de la corriente respecto de las RPMs del motor se muestra en la siguiente figura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

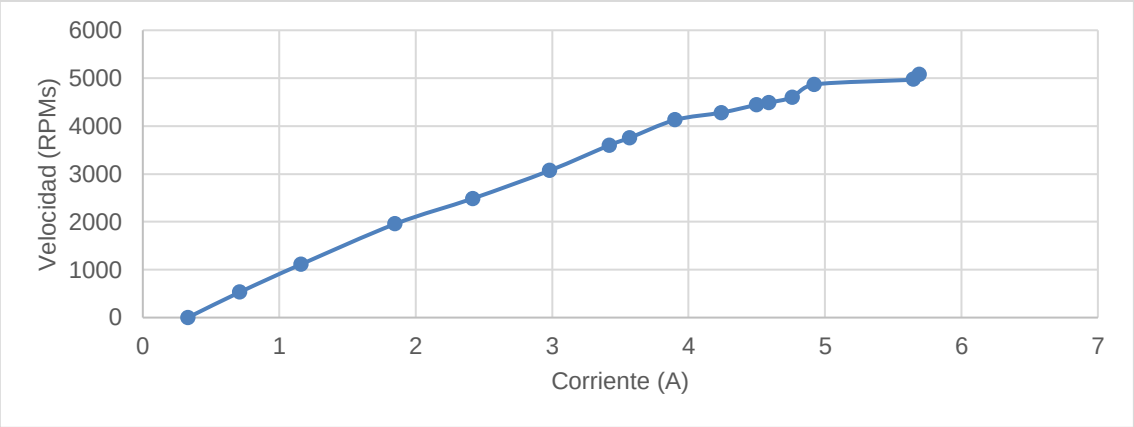


Figura 99. RPMs vs corriente para motor de prueba en arreglo "Delta"
Fuente: Elaboración propia

Los resultados de lectura de velocidad y corriente se muestran en la siguiente tabla

Tabla 10. *Lecturas de torque y corriente en arreglo "Delta"*

Porcentaje de velocidad (%)	Torque (g-cm)	Consumo corriente (A)
0	0	0.19
5	0.42	1.45
10	0.88	2.45
15	1.33	3.57
20	1.96	4.60
25	2.22	5.45
30	2.67	6.57
35	3.11	7.63
40	3.56	8.50
45	4	9.40
50	4.44	10.61

Fuente: Elaboración propia

El gráfico de la corriente respecto de las RPMs del motor se muestra en la siguiente figura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

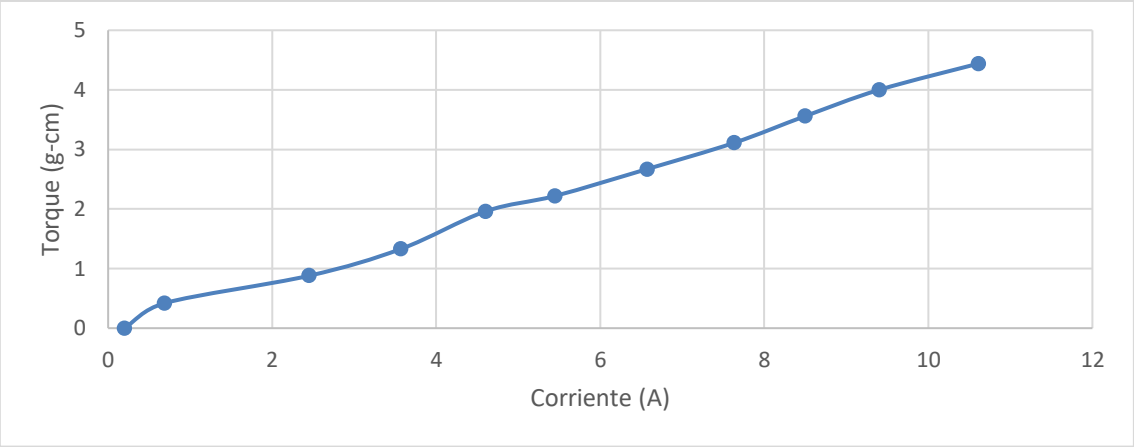


Figura 100. Torque vs corriente para motor de prueba en arreglo "Delta"
Fuente: Elaboración propia

4.5.3 Resumen de datos

A partir de las pruebas hechas y las pruebas realizadas por el proponente del motor (Christoph Laimer), se tienen las siguientes características correspondientes al motor:

- **Poder máximo:** 600 Watts
- **Eficiencia:** 80%
- **RPM máximo:** 6650 rpm
- **Torque calculado:** 0.68 N-m
- **Torque medido:** 0.697 N-m

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO 5

DISEÑO DE LA RUEDA MOTOR HALBACH

5.1 CONSIDERACIONES INICIALES

Para poder diseñar el concepto de la rueda de para el sistema automotriz de transporte debemos considerar las siguientes cosas:

- Funciones a cumplir.
- Aplicación.
- Medio ambiente o externalidades.

En el caso de la aplicación, está pensado parar el sector agrícola enfocado al transporte de productos tales como costales de cosechas, productos usados para el sembrío, instrumentos agrícolas (hoz, palas, etc). En referencia a lo anterior, está enfocado al transporte de materiales al igual que la posibilidad de su conducción por parte de un pasajero. Para el caso del medio ambiente y las externalidades, el sistema debe ser capaz de aguantar cambios de terreno, pero de pequeña pendiente o valles y montes no tan pronunciados.

El concepto para el vehículo es el que se muestra en la siguiente figura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

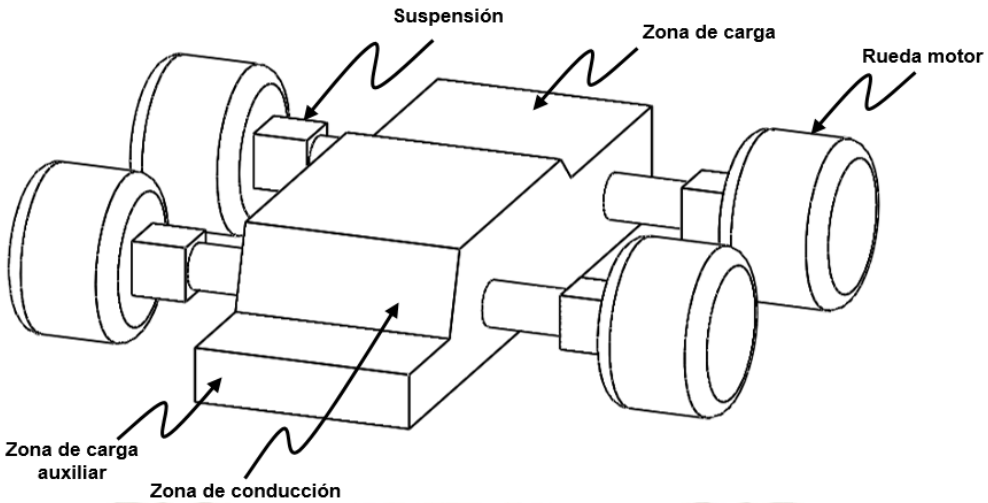


Figura 101. Concepto del vehículo de transporte
Fuente: Elaboración propia

5.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Para el caso del diseño debemos considerar la carga aplicada. Como se observó en la parte anterior, se considera el transporte de productos de cosecha en el campo. Es por ello que se debe considerar el peso de un costal de algún producto como referencia, para este caso usaremos como producto las papas. Por reglamento de la Dirección General de Negocios Agrarios, los sacos que se utilicen para papa deben pesar como máximo 50kg. El vehículo está pensado para poder llevar como máximo una carga de 160kg máximo que puede ser utilizado para llevar sacos o un pasajero. El peso, por lo tanto, se distribuye en dos secciones con un total de por sección de 80kg como se observa en la figura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

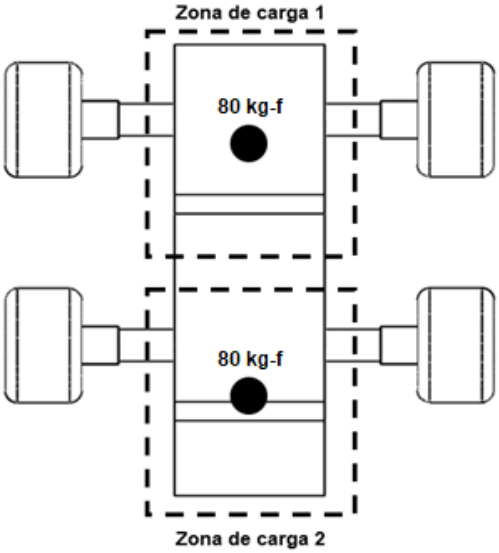


Figura 102. Zonas de carga para concepto de vehículo de transporte
Fuente: Elaboración propia

En caso de la velocidad que el vehículo debe alcanzar, se estima hasta 50 mph u 80 kph. Otro aspecto importante es el formato de la rueda a prospectar; para ello, utilizaremos como referencia la siguiente figura.

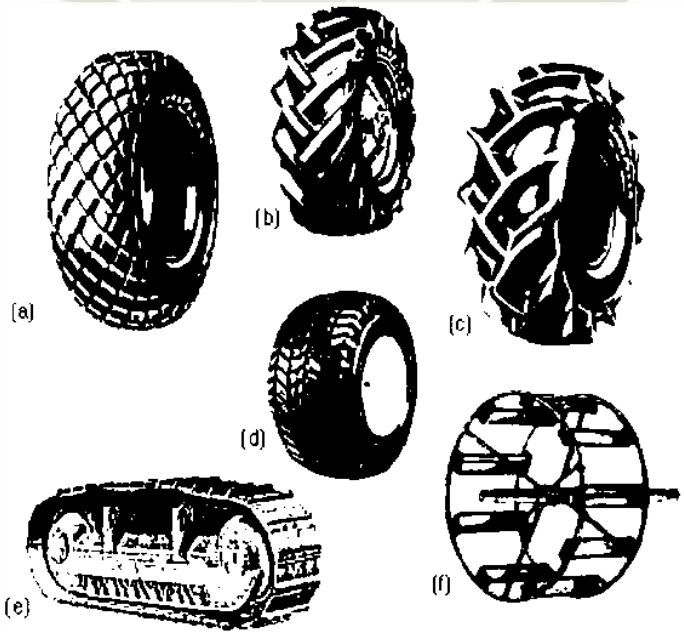


Figura 103. Tipos de ruedas
Fuente: The mechanics of tractor – R. H. Macmillan

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En base a la figura tenemos los siguientes tipos de rueda según su construcción:

- Rueda de área grande, banda de rodadura poco profunda con alta presión.
- Rueda de banda de rodadura de profundidad intermedia y pesada.
- Rueda de rodadura profunda.
- Rueda amplia de baja presión.
- Rueda con pistas como en un tractor rastreador.
- Rueda de jaula de metal, con orejetas en ángulo como extensiones de llantas normales.

Según a cada tipo de rueda, pueden ser aplicados en los siguientes casos:

- Superficies duras como carreteras.
- Trabajo agrícola normal, suelo seco.
- Suelos agrícolas suaves y húmedos.
- Céspedes, se requiere bajo hundimiento.
- Suelo seco, cargas pesadas como en movimiento de tierras.
- Suelos saturados y charcos.

El tipo de rueda al que trataremos de orientar el diseño es la rueda de banda de rodadura de profundidad intermedia y pesada. Este tipo de ruedas se pueden subdividir en las siguientes: Llantas diagonales y llantas radiales.

Las llantas diagonales se construyen a partir de hilos con orientación entre 40 a 45 grados respecto al plano medio.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

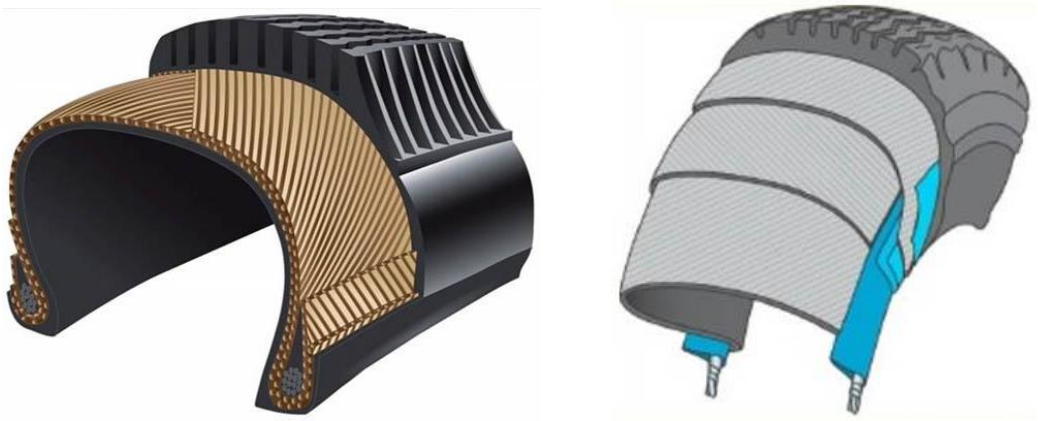


Figura 104. Llantas diagonales para tractor
Fuente: TIREX agroneumáticos

En el caso de las llantas diagonales se tienen las siguientes ventajas:

- Mayor estabilidad en suelos inclinados
- Fáciles de reparar
- Resisten perforaciones
- Económicas

Tiene las siguientes desventajas:

- Menor tracción
- No se pueden usar con presión baja
- Desgaste mayor y menor duración

Las llantas radiales se construyen a partir de hilos de forma perpendicular respecto al plano de la llanta. Posee un área de contacto amplia, y con mayor resistencia al rodamiento.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

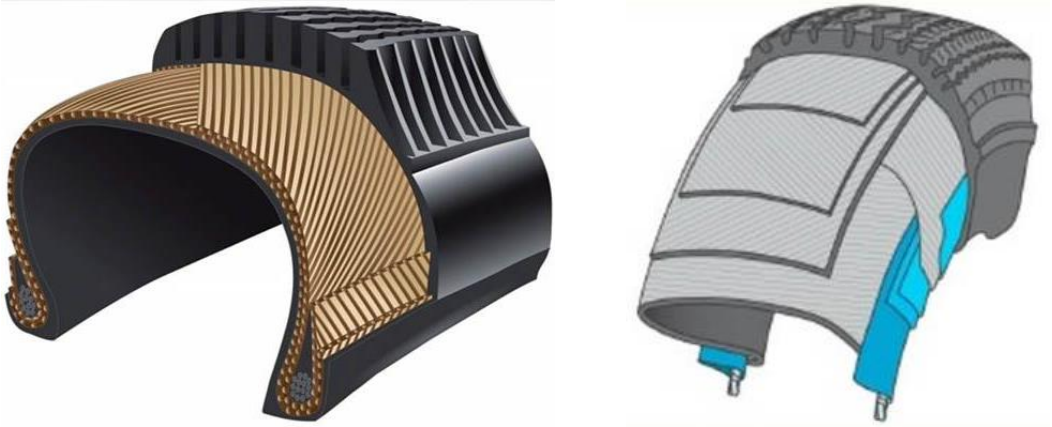


Figura 105. Llantas radiales para tractor
Fuente: TIREX agroneumáticos

En el caso de las llantas radiales se tienen las siguientes ventajas:

- Compactación de suelo bajo.
- Área de contacto amplia.
- Necesita baja presión de inflado.
- Tiene alta tracción.
- Su durabilidad es alta a comparación de las llantas diagonales.

Tiene las siguientes desventajas:

- Menor resistencia a las perforaciones.
- Es difícil de reparar.
- Su costo es elevado.

La referencia gráfica del tipo de rueda a utilizar para el diseño se muestra en la siguiente figura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

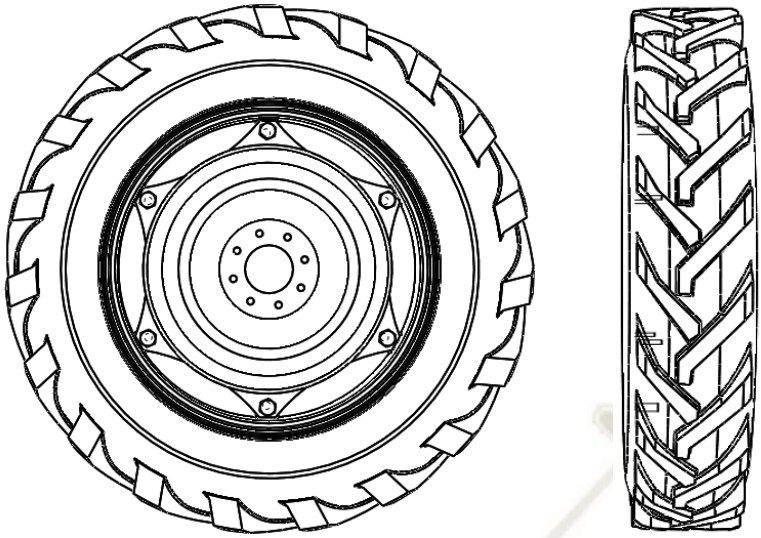


Figura 106. Modelo de llanta radia para tractor de referencia
Fuente: Grabcad

5.3 CÁLCULO DE MOTOR

5.3.1 Cálculo de imanes

Se toma como referencia los estándares de llantas, para lo cual se selecciona un aro 15 con una llanta de 215/65, donde la llanta tendrá un diámetro de 215mm con 65mm de altura respecto al diámetro del aro. Por lo tanto, para la escala se usará una llanta 215/65 R15.

Para la construcción del motor de prueba, se tiene dos tipos de magnetos con las siguientes dimensiones:

- 40 x 10 x 4 mm (18 unidades).
- 20 x 5 x 3 mm (36 unidades).

Estos en conjunto producen un par de 0.68 N-m o 680 N-mm. Además, en referencia a las cargas propuestas de carga para el vehículo, se aplica una carga por llanta de 40 kg-f

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

(160 kg-f divido entre 4 llantas). Al tener un aro de 15 pulgadas de diámetro, el par aplicado por llanta está dado por:

$$T_{aplicado} = R_{aro}(F_{aplicada})$$

$$T_{aplicado} = 190.5\ \text{mm}\ (40\ \text{kg} - \text{f})(9.81\ \text{m/s}^2)$$

$$T_{aplicado} = 74752.2\ \text{N} - \text{mm}$$

Por otra parte, podemos generar una relación entre el par generado y el volumen total de los imanes del motor de prueba, que viene dado por:

$$R_{T/V} = \frac{T_{generado}}{V_{total\ de\ imanes}}$$

$$R_{T/V} = \frac{680\ \text{N} - \text{mm}}{18(40\ \text{mm})(10\ \text{mm})(4\ \text{mm}) + 36(20\ \text{mm})(5\ \text{mm})(3\ \text{mm})}$$

$$R_{T/V} = 1.72\ \text{x}\ 10^{-2}\ \text{N/mm}^2$$

Por lo que la relación que existe entre el volumen escalado y el volumen del motor de prueba está dado por:

$$R_{T/V} = \frac{T_{aplicado}(Fs)(Fe)}{V_{nuevo\ de\ imanes}}$$

Donde:

- Fs : Factor de seguridad de 50% adicional de carga o 1.5.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- Fe : Factor de corrección por eficiencia del motor de 80% o 1.25.

$$R_{T/V} = \frac{74752.2\ \mathrm{N-mm}(1.5)(1.25)}{V_{\text{nuevo de imanes}}}$$

$$1.72 \text{ x } 10^{-2}\ \mathrm{N/mm^2} = \frac{140160.38\ \mathrm{N-mm}}{V_{\text{nuevo de imanes}}}$$

$$V_{\text{nuevo de imanes}} = 4346058.14\ \mathrm{mm^3}$$

Las dimensiones de los imanes tienen que cumplir una relación en base a la siguiente fórmula:

$$\frac{V_{\text{nuevo de imanes}}}{V_{\text{magneto 1}} + V_{\text{magneto 2}}} \leq 1$$

$$\frac{4346058.14\ \mathrm{mm^3}}{18(40\text{mm x } 5)(10\text{mm x } 4)(4\text{mm x } 6) + 36(20\text{mm x } 5)(5\text{mm x } 6)(3\text{mm x } 4)} \leq 1$$

$$0.915 \leq 1$$

El cumplimiento de esta relación nos permite definir los nuevos magnetos y dimensiones:

- 200 x 40 x 24 mm (18 unidades).
- 100 x 30 x 12 mm (36 unidades).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Finalmente, verificamos que los imanes puedan encajar con las nuevas dimensiones del motor, para ello, nos apoyamos de un software de modelado para verificar esto. Lo podemos constatar con la siguiente figura.

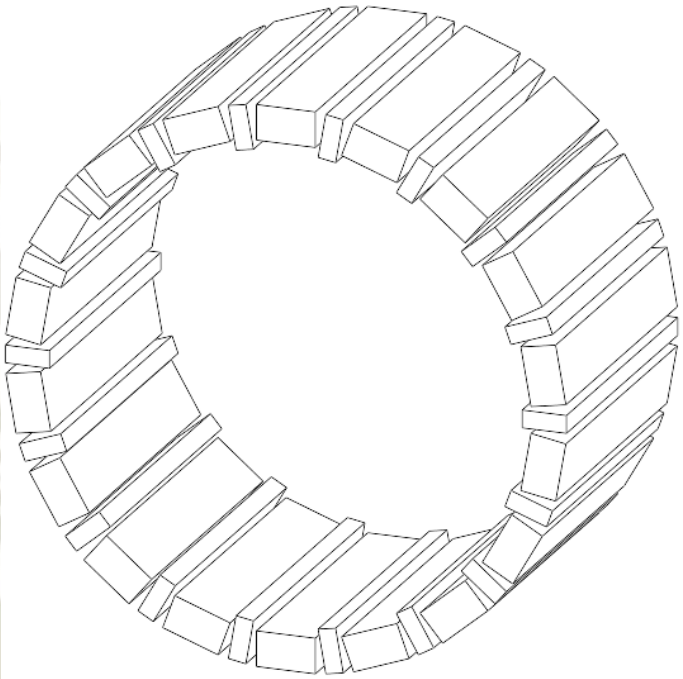


Figura 107. Verificación de la geometría de los imanes en el motor
Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Cálculo de calibre de cable

Se toma como referencia la relación de volúmenes de magnetos para poder tener una relación aproximada para el calibre del cable. Para ello, tenemos que:

$$R_{V/V} = \frac{V_{\text{nuevo de imanes}}}{V_{\text{total de imanes}}}$$

$$R_{V/V} = \frac{4752000\ \text{mm}^3}{39600\ \text{mm}^3}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

$$R_{V/V} = 120$$

Para el caso del motor de prueba, por fase se necesitan 6 cables juntos de calibre 0.45mm de diámetro con una longitud de 5m. Por lo tanto, el nuevo volumen está dado por:

$$V_{\text{cable nuevo}} = \frac{\pi}{4} D_{\text{mot. prueba}}{}^{2}(L_{\text{mot. prueba}})(C_{\text{mot. prueba}})(R_{V/V})$$

Donde:

- $D_{\text{mot. prueba}}$: Diámetro del cable del motor de prueba.
- $C_{\text{mot. prueba}}$: Cantidad de cables por fase del motor de prueba.
- $L_{\text{mot. prueba}}$: Longitud del cable por fase del motor de prueba.
- $V_{\text{cable nuevo}}$: Volumen del cable nuevo.

$$V_{\text{cable nuevo}} = \frac{\pi}{4} 0.45^{2}(5000)(6)(120)$$

$$V_{\text{cable nuevo}} = 572555.26 \text{ mm}^{3}$$

En caso de las dimensiones del cable se tiene que cumplir la siguiente relación:

$$V_{\text{cable nuevo}} = \frac{\pi}{4} D_{\text{cable nuevo}}{}^{2}(L_{\text{cable nuevo}})(C_{\text{cable nuevo}})$$

$$572555.26 \text{ mm}^{3} = \frac{\pi}{4} D_{\text{nuevo}}{}^{2}(25000 \text{ mm})(12)$$

$$D_{\text{nuevo}} = 1.6 \text{ mm}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Se utilizará un cable por fase de 25m de largo compuesto por 6 cables unidos de 1.6mm de diámetro por cada uno.

5.3.3 Diseño del rotor

Como parte del diseño del rotor, se tomó como consideración la utilización de software de diseño de CAD para poder ubicar y llenar el espacio de alojamiento con relación al diseño del motor de prueba. En base a este criterio y tomando como base espesores no mayores a 3mm o 1/8pulg que luego puedan ser modificadas u optimizadas utilizando modelos por elementos finitos, se logró aterrizar un diseño que se muestra en la siguiente figura.

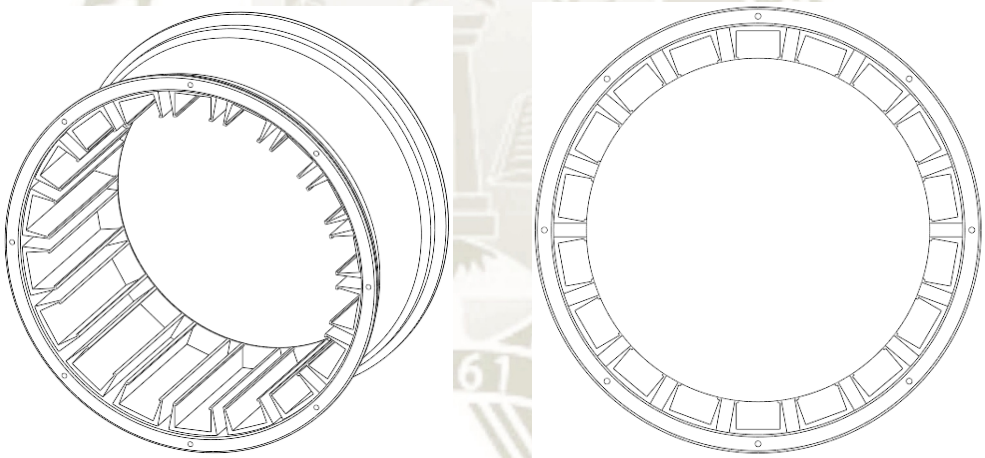


Figura 108. Primer diseño de rotor para motor rueda Halbach
Fuente: Elaboración propia

Utilizando este mismo criterio, se plantea el diseño de dos tapas que cumplan la función de protección ante el polvo y salpicadura y que sirva de alojamiento a los rodamientos que permitan la rotación respecto al estator. El diseño se muestra en la siguiente figura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

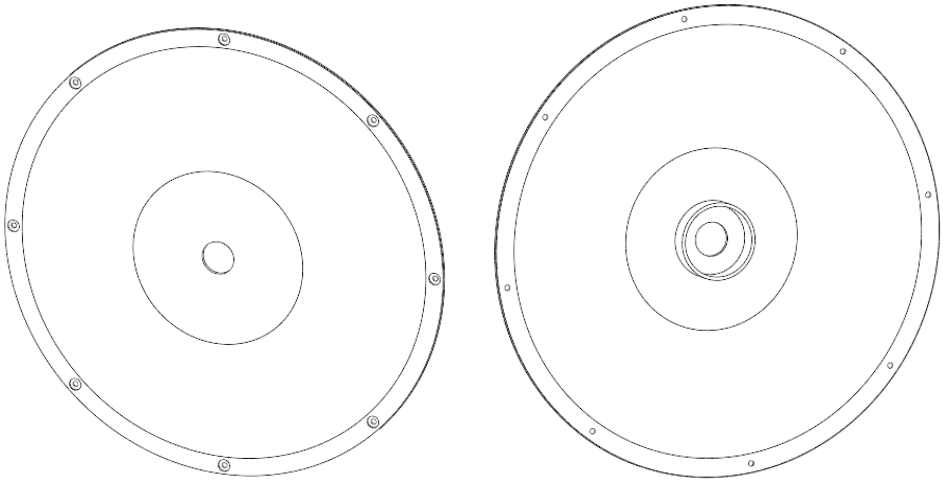


Figura 109. Primer diseño de tapas para rotor para motor rueda Halbach
Fuente: Elaboración propia

Para comprobar su resistencia optimizar los espesores, utilizamos la combinación de cargas por el sistema LRFA, el cual nos da la siguiente combinación de cargas.

$$U = 1.2\ D + 1.6\ L + 0.5\ (Lr\ o\ S\ o\ R)$$

Donde:

- D : Carga muerta.
- L : Carga viva.
- Lr : Carga viva en techos.
- S : Carga por nieve.
- R : Carga por lluvia.

En base a esto, tenemos que la carga muerta se relaciona a los sacos de papas o el peso de la misma estructura y que suponemos llegue a 80 kg, y la carga viva corresponde a la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

persona que puede ser piloto con un peso promedio de 80kg. Por lo tanto, la carga última está dada por:

$$U = 1.2\ (80 \text{ x } 3) + 1.6\ (80)$$

$$U = 416 \text{ kg}$$

$$U = 4080.96 \text{ N}$$

Por lo que cada rueda experimentará una fuerza aplicada de 1020.24 N. Usamos, por lo tanto, este último dato para poder realizar nuestro modelo por elementos finitos cuyo resultado se muestra a continuación.

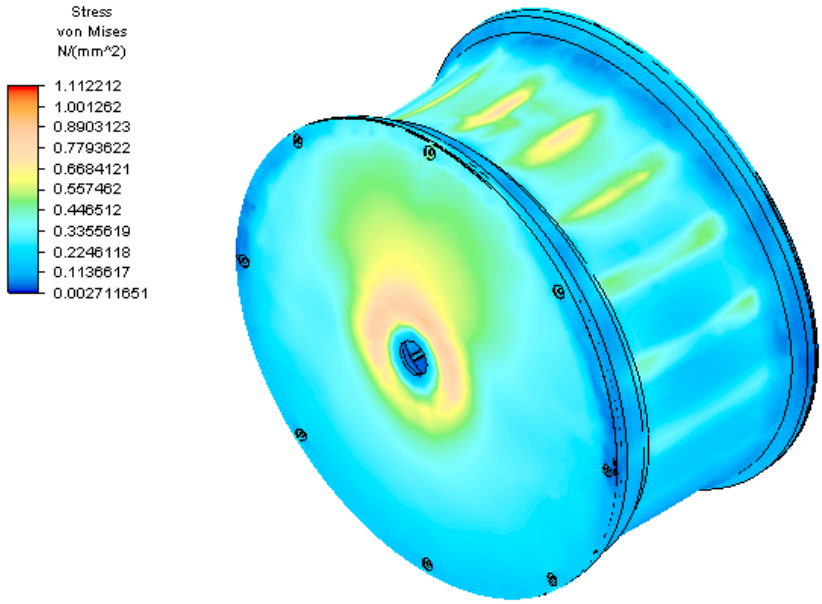


Figura 110. Esfuerzos en el primer modelo de rotor para motor Halbach
Fuente: Elaboración propia

El material usado para el diseño es el aluminio 1060 para las dos partes. Se debe cumplir que el factor se seguridad sea mayor a 2. Lo que es confirmado por nuestro modelo por elementos finitos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

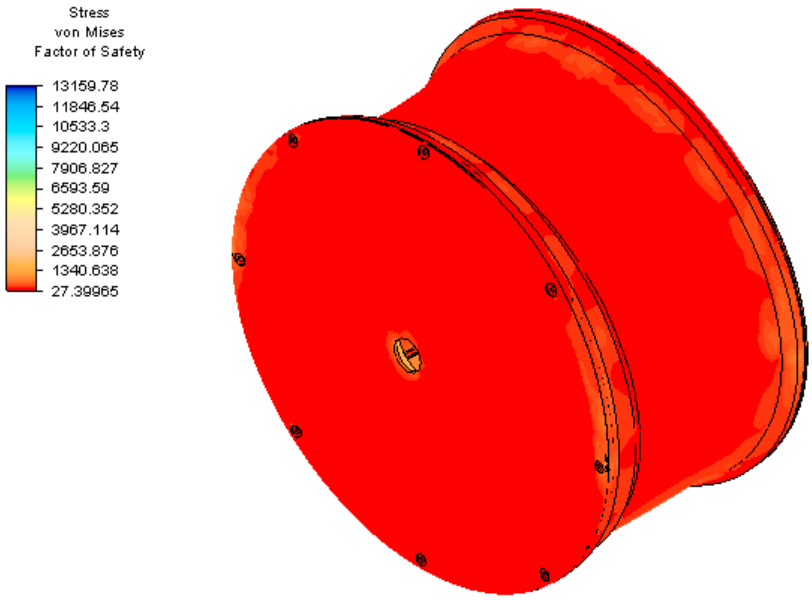


Figura 111. Factor de seguridad en el primer modelo de rotor para motor Halbach
Fuente: Elaboración propia

Se cumple entonces:

$$F.S. > 2$$

$$27.4 > 2$$

Al tener un factor de seguridad tan alto, podemos optimizar el modelo mecánico. Para lo cual modificaremos el espesor de las paredes correspondiente a las tapas y el rotor a la mitad en ciertas ubicaciones que no afecta el alojamiento de los imanes. Al pasar este nuevo modelo por el método de los elementos finitos nos da los siguientes resultados.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

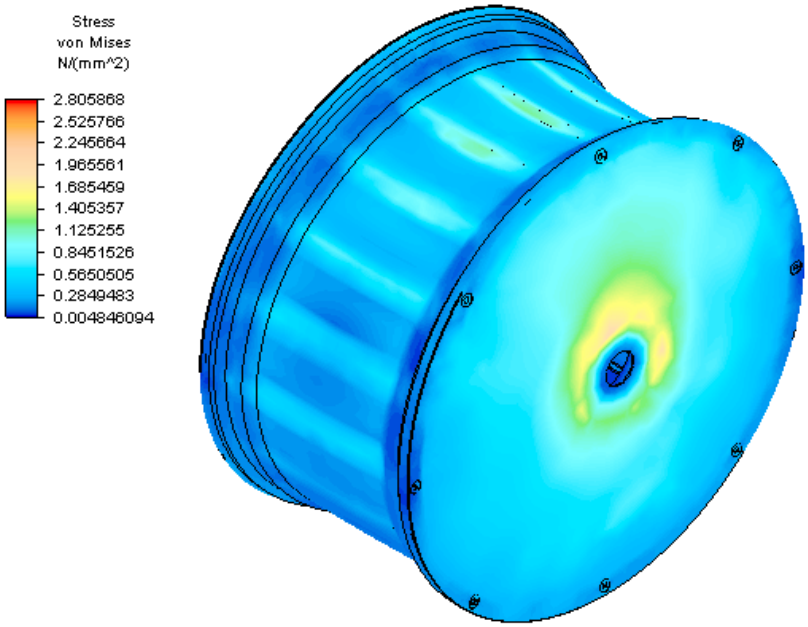


Figura 112. Esfuerzos en el segundo modelo de rotor para motor Halbach
Fuente: Elaboración propia

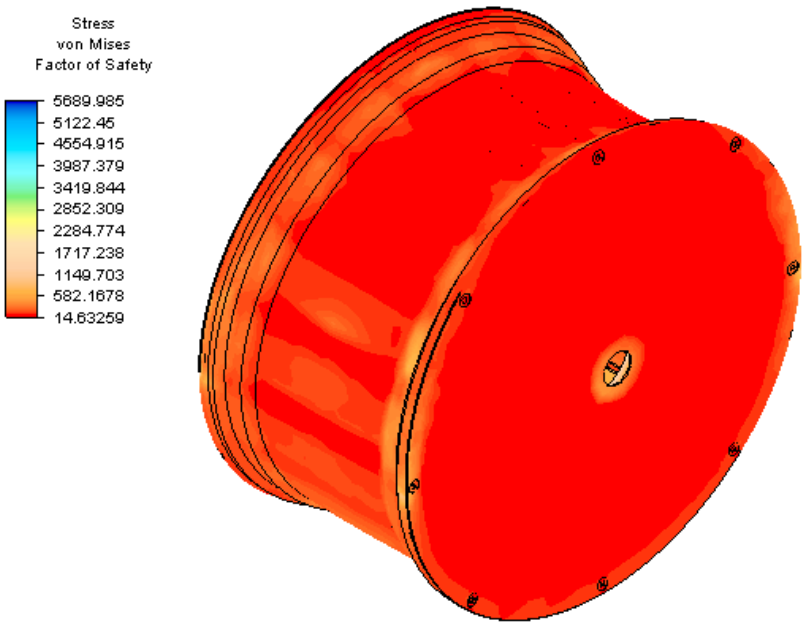


Figura 113. Factor de seguridad en el segundo modelo de rotor para motor Halbach
Fuente: Elaboración propia

Se cumple entonces:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

$$F.S. > 2$$

$$14.63 > 2$$

Modificando el modelo para ser aplicado con reacciones elásticas a causa del caucho de las llantas que tiene una rigidez promedio de 150 N/mm produce el siguiente esfuerzo y factor seguridad.

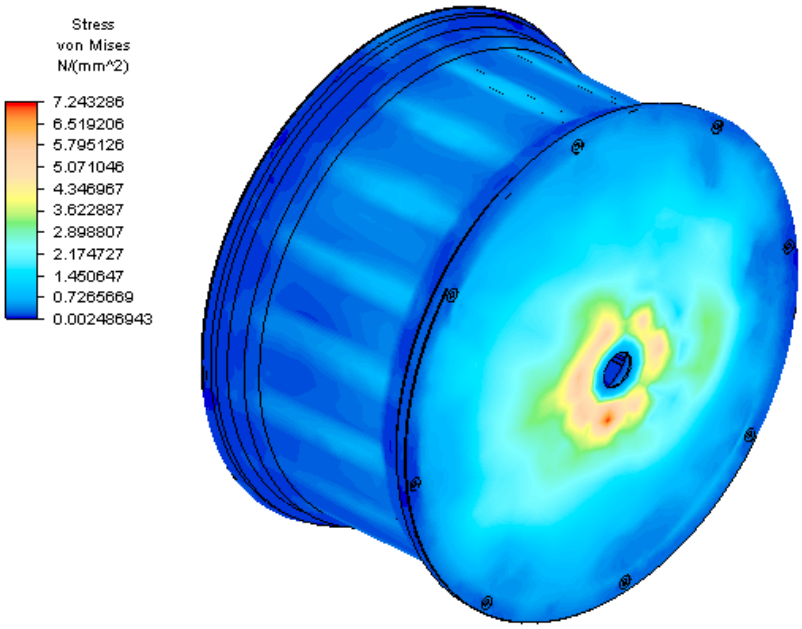


Figura 114. Esfuerzos en el segundo modelo de rotor y rigidez del neumático
Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

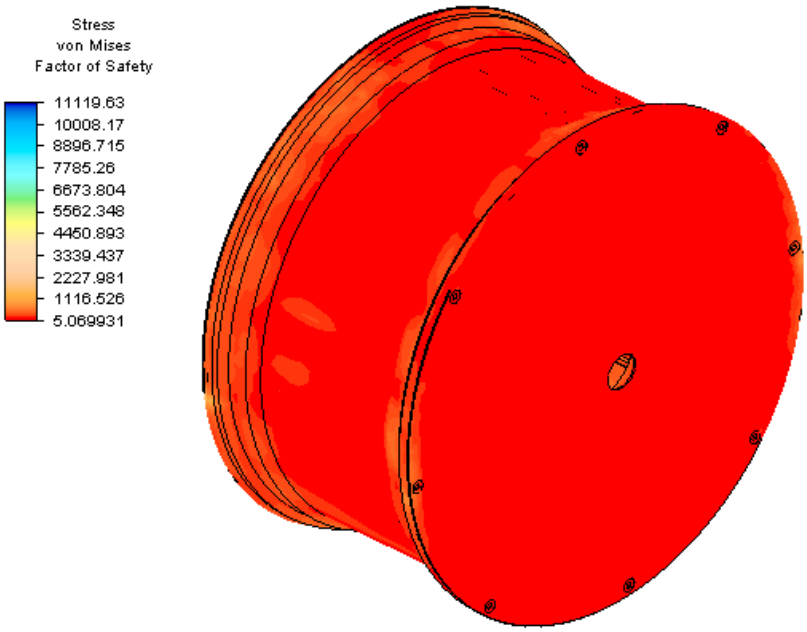


Figura 115. Factor de seguridad del rotor considerando rigidez del neumático
Fuente: Elaboración propia

Se cumple entonces:

$$F.S. > 2$$

$$5.07 > 2$$

Aunque se observa una caída importante del factor de seguridad este aún se encuentra dentro de los parámetros permitidos, por lo tanto, podemos suponer que el diseño propuesto y los materiales utilizados se ajustan a los requerimientos de nuestro sistema.

5.3.4 Diseño del estator

Para el caso de este componente utilizaremos también aluminio 1060 para la construcción del alojamiento de los cables, y para el eje de sujeción se considera un tubo hueco de acero AISI 1020. El estator propio debe ser lo más ligero posible para no generar una

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

carga adicional al eje de sujeción, se debe limitar a poder alojar los rodamientos 6710ZZ que tiene unas medidas de 50 x 62 x 6mm que se usará para que el rotor puede girar respecto al estator. Además, se planea utilizar anillos de retención para mantener en posición a los rodamientos y el eje principal, y usaremos prisioneros para poder mantener estático el estator respecto a la carrocería. El diseño obtenido es el que se muestra en la siguiente figura.

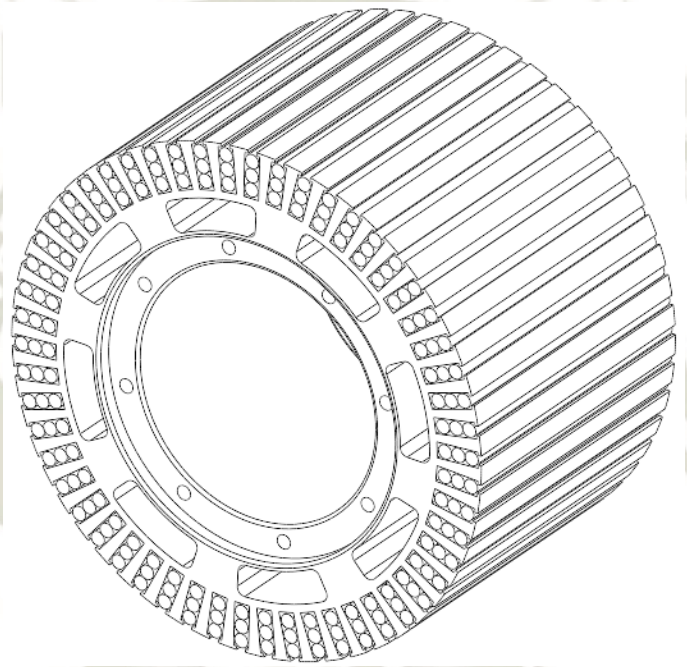


Figura 116. Estator con bobinado para motor rueda Halbach
Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

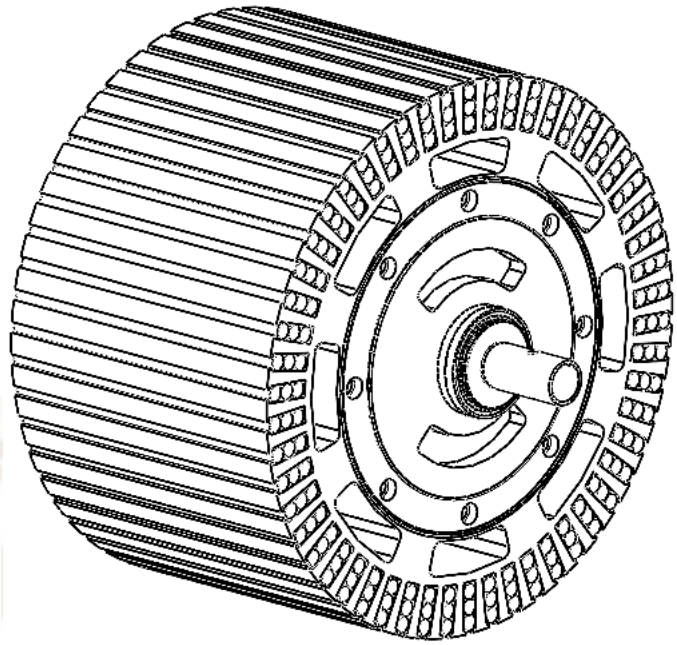


Figura 117. Estator con bobinado acoplado a eje con rodamientos
Fuente: Elaboración propia

Para comprobar su resistencia, aplicaremos el modelo anterior con la misma carga para el caso que considera la rigidez elástica del neumático. Los esfuerzos obtenidos se muestran a continuación.

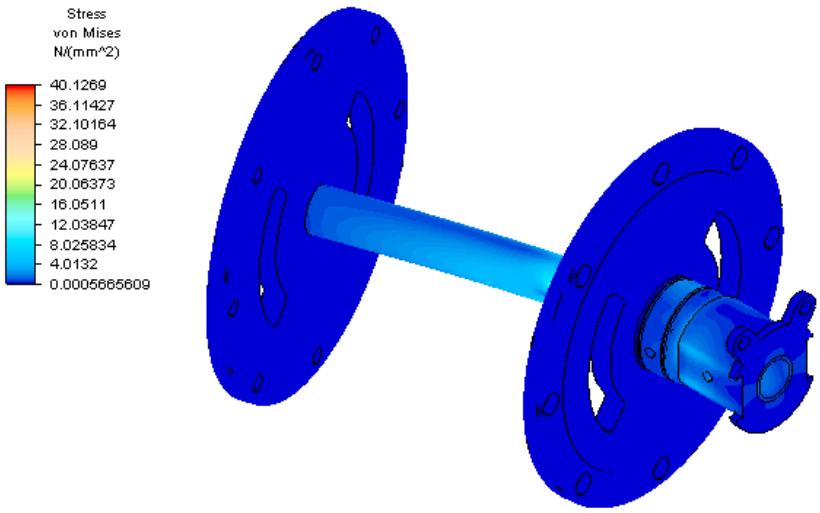


Figura 118. Esfuerzos en el segundo modelo de estator y rigidez del neumático
Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Se debe cumplir que el factor se seguridad sea mayor a 2. Lo que es confirmado por nuestro modelo por elementos finitos.

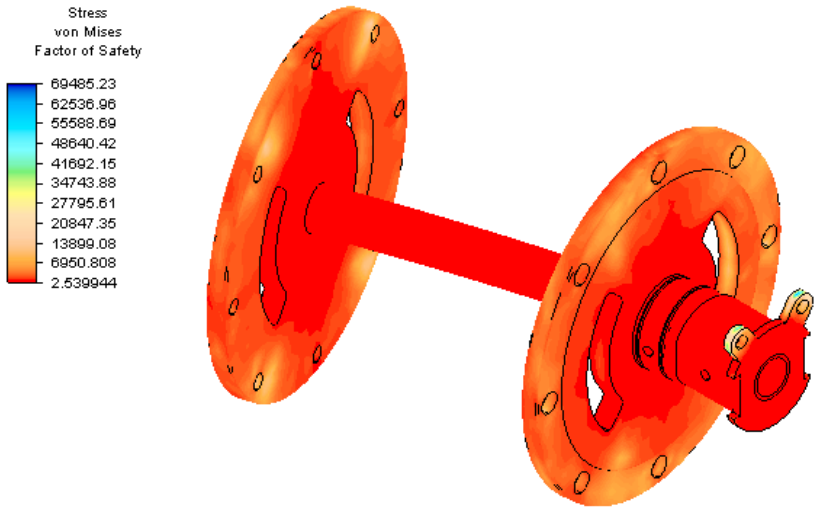


Figura 119. Factor de seguridad del estator considerando rigidez del neumático
Fuente: Elaboración propia

Se cumple entonces:

$$F.S. > 2$$

$$2.54 > 2$$

Por lo tanto, el diseño cumple con los requerimientos. Debemos anotar, para el caso de los anillos de retención se puedan colocar en ejes de 50mm y 25mm, para ello utilizamos el catálogo de Rotorclip del tipo DSR para montaje externo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

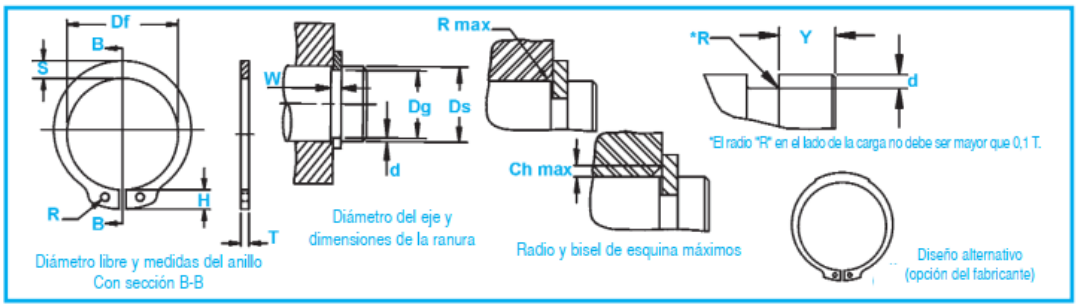
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Montados Axialmente, Externos, Métricos

Este anillo para trabajos pesados ofrece al usuario una capacidad mayor de carga de empuje

Anillos DSR



NO. DE ANILLO	EJE	TAMAÑO DE RANURA				TAMAÑO Y PESO DEL ANILLO								DATOS SUPLEMENTARIOS					
	DIA.	DIÁMETRO		ANCHURA	PROFUN-DIDAD	ESPESOR ***		DIÁMETRO LIBRE		ALTURA DE LA OREJETA	SECCIÓN MAX.	DIÁMETRO DEL AGUJERO.	PESO	MARGEN DEL BORDE	CARGA DE EMPUJE Anillo	CARGA DE EMPUJE Ranura	Radio y bisel admisibles Cham.	Carga máx. c/ R/Ch. Máx.	LÍMITES DE RPM
	Ds	Dg	Tol.	W Min.	d	T	Tol.	Df	Tol.	H Max.	S Ref.	R Min.	kg/ 1000	Y Min.	Pr kN	Pg kN	R/Ch Max.	P'r kN	
DSR-12	12	11,5		1,60	0,25	1,50		11,0		3,4	1,8	1,7	0,75	0,7	11,30	1,53	1,0	4,5	75000
DSR-15	15	14,3		1,60	0,35	1,50		13,8	+0,10	4,8	2,4	2,0	1,20	0,7	15,50	3,20	1,0	4,5	50000
DSR-16	16	15,2	-0,11	1,60	0,40	1,50		14,7	-0,36	5,0	2,5	2,0	1,20	1,2	16,70	3,26	1,0	4,5	48000
DSR-17	17	16,2		1,60	0,40	1,50		15,7		5,0	2,6	2,0	1,24	1,2	18,00	4,32	1,0	4,5	46000
DSR-18	18	17,0		1,60	0,50	1,50	-0,06	16,5		5,1	2,7	2,0	1,54	1,5	26,60	5,50	1,5	5,8	43000
DSR-19	19	18,0		1,60	0,50	1,50		17,5		5,1	2,7	2,0	1,45	1,5	26,60	5,78	1,5	5,9	28000
DSR-20	20	19,0	-0,13	1,85	0,50	1,75		18,5		5,5	3,0	2,0	2,25	1,5	36,30	5,60	1,5	8,2	32000
DSR-22	22	21,0		1,85	0,50	1,75		20,5		6,0	3,1	2,0	2,30	1,5	36,00	5,60	1,5	8,1	29000
DSR-24	24	22,9		1,85	0,55	1,75		22,2		6,3	3,2	2,0	2,70	1,7	34,20	7,95	1,5	7,6	29000
DSR-25	25	23,9		2,15	0,55	2,00		23,2	+0,21	6,4	3,4	2,0	3,35	1,7	45,00	8,30	1,5	10,3	25000
DSR-26	26	24,4		2,15	0,80	2,00		23,6	-0,42	6,6	3,3	2,0	3,65	2,4	44,00	10,70	1,5	10,0	27000
DSR-27	27	25,5	-0,21	2,15	0,75	2,00		24,7		6,6	3,4	2,0	3,85	2,3	45,50	10,30	1,5	10,6	25000
DSR-28	28	26,6		2,15	0,70	2,00		25,9		6,5	3,5	2,0	3,90	2,1	57,00	10,00	1,5	13,4	22000
DSR-29	29	27,6		2,15	0,70	2,00		26,9		6,5	3,8	2,0	4,30	2,1	56,50	10,40	1,5	13,3	22000
DSR-30	30	28,6		2,15	0,70	2,00		27,9		6,5	4,1	2,0	5,00	2,1	57,00	10,70	1,5	13,6	21000
DSR-32	32	30,3		2,15	0,85	2,00		29,6		6,5	4,1	2,5	5,40	2,5	57,00	12,90	1,5	13,6	20000
DSR-34	34	32,3		2,65	0,85	2,50	-0,07	31,5	+0,25	6,6	4,2	2,5	6,80	2,5	87,00	16,40	1,5	15,6	18000
DSR-35	35	33,0		2,65	1,00	2,50		32,2	-0,50	6,7	4,2	2,5	7,10	3,0	86,00	17,80	1,5	15,4	17000
DSR-36	36	34,0		2,65	1,00	2,50		33,2		6,7	4,2	2,5	7,50	3,0	101,50	20,10	2,0	18,3	16000
DSR-38	38	36,0		2,65	1,00	2,50		35,2		6,8	4,3	2,5	8,00	3,0	101,00	21,20	2,0	18,6	15000
DSR-40	40	37,5		2,65	1,25	2,50		36,5		7,0	4,4	2,5	8,20	3,8	104,00	25,30	2,0	19,3	14000
DSR-42	42	39,5	-0,25	2,65	1,25	2,50		38,5		7,2	4,5	2,5	9,60	3,8	102,00	26,70	2,0	19,2	13000
DSR-44	44	41,5		2,65	1,25	2,50		40,5	+0,39	7,2	4,5	2,5	10,40	3,8	101,00	27,90	2,0	19,1	12000
DSR-45	45	42,5		2,65	1,25	2,50		41,5	-0,90	7,5	4,7	2,5	10,80	3,8	100,00	28,60	2,0	19,1	11000
DSR-48	48	45,5		2,65	1,25	2,50		44,5		7,8	5,0	2,5	12,20	3,8	101,00	30,70	2,0	19,5	10000
DSR-50	50	47,0		3,15	1,50	3,00		45,8		8,0	5,1	2,5	14,80	4,5	165,00	38,20	2,0	32,4	11000
DSR-52	52	49,0		3,15	1,50	3,00		47,8		8,2	5,2	2,5	15,40	4,5	165,00	39,70	2,5	26,0	10000
DSR-55	55	52,0		3,15	1,50	3,00	-0,08	50,8		8,5	5,4	2,5	17,00	4,5	161,00	42,00	2,5	25,6	9000
DSR-58	58	55,0		3,15	1,50	3,00		53,8		8,8	5,6	2,5	19,40	4,5	160,00	44,30	2,5	26,0	8000
DSR-60	60	57,0		3,15	1,50	3,00		55,8		9,0	5,8	2,5	20,00	4,5	156,00	46,00	2,5	25,4	8000
DSR-65	65	62,0	-0,30	4,15	1,50	4,00		60,8	+0,46	9,3	6,3	3,0	31,00	4,5	346,00	49,80	2,5	58,0	7000
DSR-70	70	67,0		4,15	1,50	4,00		65,5	-1,10	9,5	6,6	3,0	32,20	4,5	343,00	53,80	2,5	59,0	7000
DSR-75	75	72,0		4,15	1,50	4,00		70,5		9,7	7,0	3,0	39,80	4,5	333,00	57,60	2,5	58,0	6000
DSR-80	80	76,5		4,15	1,75	4,00	-0,10	74,5		9,8	7,4	3,0	42,40	5,3	328,00	71,60	3,0	50,0	6000
DSR-85	85	81,5		4,15	1,75	4,00		79,5		10,0	7,8	3,5	47,00	5,3	383,00	76,30	3,0	59,4	6000
DSR-90	90	86,5	-0,35	4,15	1,75	4,00		84,5	+0,54	10,2	10,2	3,5	55,60	5,3	386,00	80,80	3,0	61,0	5000
DSR-95	95	91,5		4,15	1,75	4,00		89,5	-1,30	10,2	8,6	3,5	61,20	5,3	378,00	85,50	3,5	52,0	5000
DSR-100	100	96,5		4,15	1,75	4,00		94,5		10,5	9,0	3,5	72,00	5,3	368,00	90,00	3,5	51,6	4000

Figura 120. Anillos de retención DSR
Fuente: Rotorclip

5.3.5 Selección del sistema de suspensión

Para el sistema de suspensión, usaremos un sistema estándar de cuadrilátero deformable con amortiguador como se muestra en la figura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

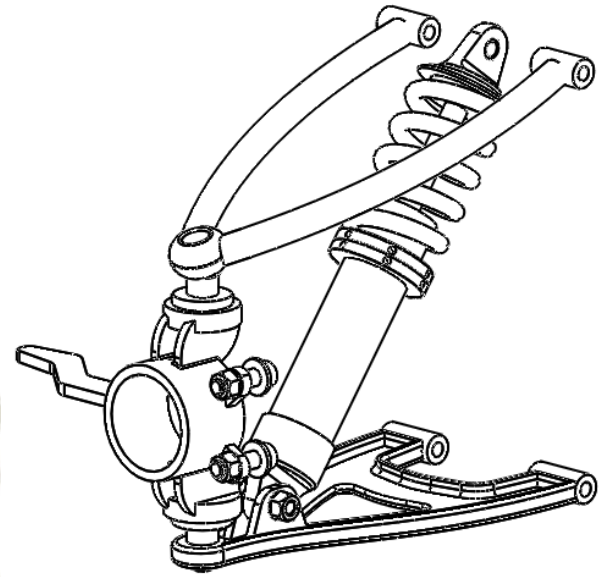


Figura 121. Sistema de suspensión
Fuente: Elaboración propia

El cuadrilátero deformable debe estar en relación al amortiguador, para este último usaremos como referencia amortiguadores para Fórmula Estudiante de la empresa ZF. El seleccionado es el 881700007751 cuya capacidad de extensión de es 250mm y longitud no extendida de 50mm que puede ser ajustado hasta 30 posiciones de rebote y 10 posiciones de amortiguación. La velocidad de amortiguación en base a la carga de 80 kg u 800 N puede ser determinado usando la siguiente gráfica.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

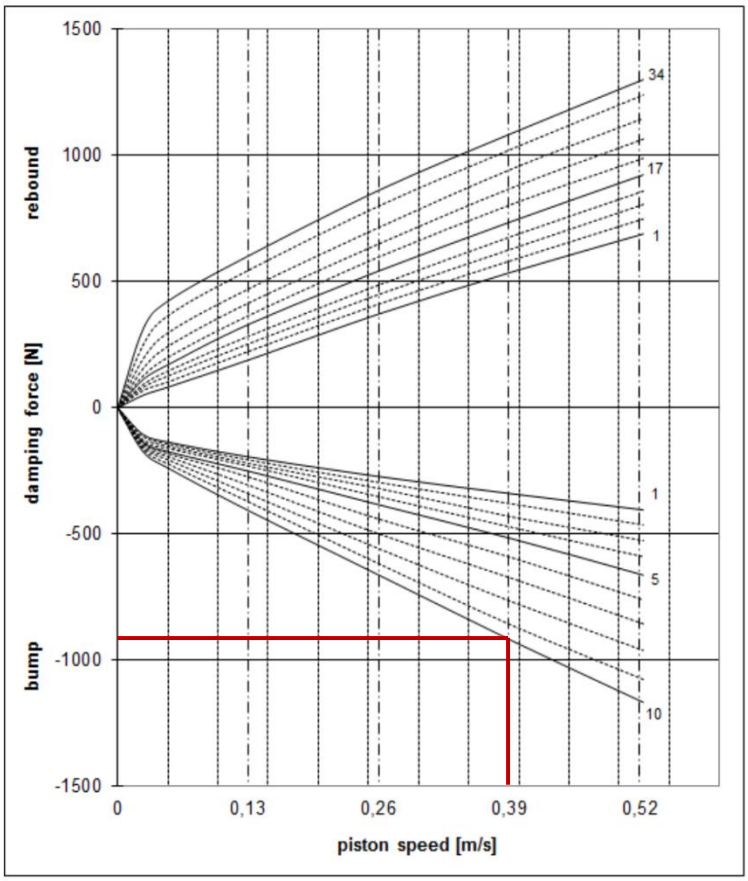


Figura 122. Velocidad de amortiguación
Fuente: ZF

La velocidad de amortiguación es de 0.39 m/s.

5.3.6 Integración

Para poder integrar la rueda al sistema de suspensión usaremos un acople que se referencie a la quijada del cuadrilátero deformable. Para ello se ha diseñado un acople que se ajuste al tubo hueco y que se posicione usando prisioneros M6 o ¼ pulg. El acople montado se muestra en la siguiente figura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

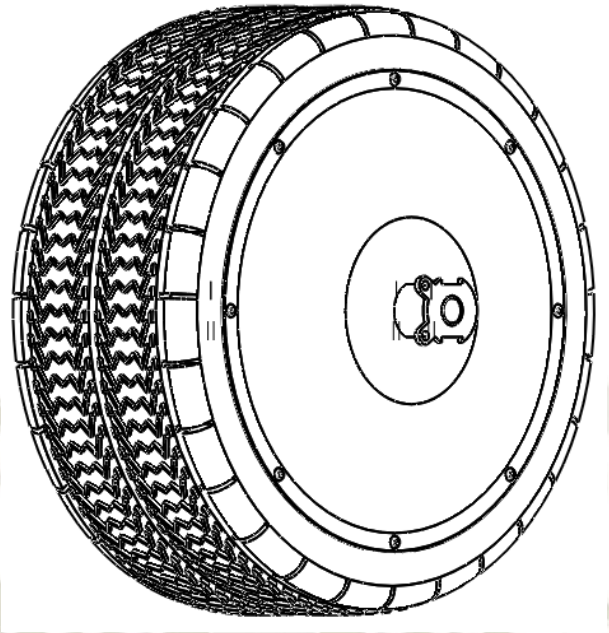


Figura 123. Acople a sistema de supensión
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el sistema de suspensión integrado se muestra en la siguiente figura.

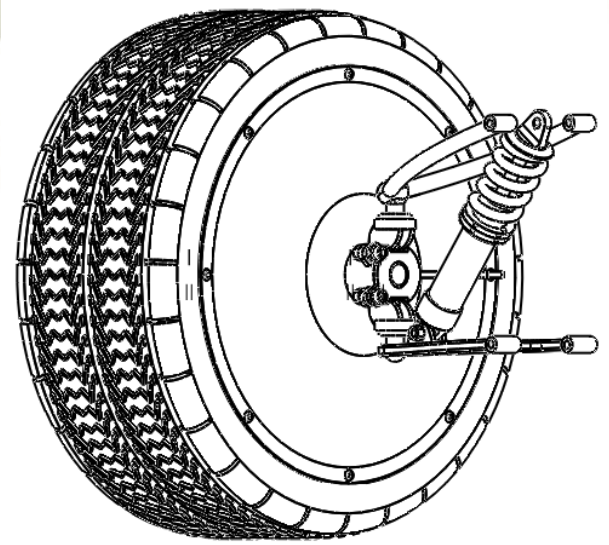


Figura 124. Acople y sistema de suspensión
Fuente: Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CONCLUSIONES

1. Las pruebas realizadas al motor impreso nos permiten afirmar que es posible usar el arreglo Halbach para aplicaciones automotrices; sin embargo, su complejidad de construcción es un obstáculo que puede ser resuelto por nuevos métodos de fabricación digital como la impresión 3D de metales.

2. Los nuevos controladores y métodos de prototipado rápido permiten establecer prototipos rápidos y de fácil acceso, sobre todo a escala, con la finalidad de evaluar la viabilidad del diseño propuesto y su modificación rápida.

3. Es factible el diseño e implementación de una rueda funcional para vehículos terrestres de cuádruple tracción en base a un motor eléctrico con arreglo Halbach en reemplazo a los modelos de motores de combustión tradicionales, y que pueden ser aplicados al sector agrícola como vehículos de pequeña carga. Se debe considerar también que la eficiencia de un motor a combustión es de 25% a 40% y la del motor eléctrico es de 80% medido.

4. Para mejorar el modelo es necesario incorporar sistemas de reducción y aumento de par para reducir el peso del bloque del motor.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer mejoras en la estructura del motor para poder disminuir el peso de las partes correspondientes al estator y el rotor para poder implementar un prototipo funcional.
2. Se recomienda a implementar un modelo de carro completo a escala para comprobar otros factores como la capacidad de realizar maniobras, la reacción a los diferentes tipos de terreno.
3. Es recomendable incorporar sistemas de reducción de velocidad e incremento de par para poder reducir el tamaño de los imanes y reducir el peso de la estructura del estator.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

REFERENCIAS

G. Budynas, Richard; Nisbett, J Keith; Ríos Sánchez, Miguel Angel. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Editorial Mc Graw Hill. México.

P. Beer, Ferdinand; Johnston, E. Russell; T DeWolf, John; F. Mazurek, David. Mecánica de materiales. Editorial Mc Graw Hill. México.

Aguilar Gamarra, Harry Nick (2014). Diseño de un motor síncrono con imanes de ferritas para motocicleta eléctrica. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.

Uygun, Durmus; Solmaz, S. (2015). Design and dynamic study of a 6 kW external rotor permanent magnet Brushless DC motor for electric divretrains. Gediz University. Izmir, Turquía.

Hanselman, Duane. Brushless permanent magnet motor design. Editorial Magna Physics Publishings. Estados Unidos.

Fitzgerald, A. E; Jr. Kingsley, Charles; Umans, Stephen D. Electric machinery. Editorial Mc Graw Hill. Estados Unidos.

Fraile Mora, Jesús. Máquinas eléctricas. Editorial Mc Graw Hill. España.

Kostenko, M. P; Piotrovski, L. M. Máquinas eléctricas 1 y 2. Editorial MIR. Moscú, Federación Rusa.

Chapman, Stephen J. Máquinas eléctricas. Editorial Mc Graw Hill. España.

Zhao, Jian; Yu, Yangwei (2011). Brushless DC motor fundamentals application note. Monolitihic Power Systems. Estados Unidos.

Laimer, Christoph (2017). 600 Watt 3D printed Halbach array brushless DC electric motor. Suiza. https://www.instructables.com/600-Watt-3d-printed-Halbach-Array-Brushless-DC-Ele/

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Margolis, Michael; Jepson, Brian; Weldin, Nicholas Robert. Arduino cookbook. Editorial O'Reilly. Estados Unidos.

Boxall, John. Arduino workshop. Editorial No Starch Press. Estados Unidos.

García Pablo, Francisco Javier. Diseño de suspensión hidráulica para un vehículo todo terreno. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. España.

Merritt, B. T; Post, E. F.; Dreifuerst, G. R.; Bender, D. A. Halbach array motor/generators a novel generalized electric machine. Lawrence Livermore National Laboratory. Estados Unidos.

Jimbo Tacuri, Jaime Eduardo. Caracterización del funcionamiento de un motor eléctrico de corriente continua sin escobillas brushless con 1000 Watts de potencia. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Ecuador.

Fondo de Formación. Motores de corriente continua. Fondo de Formación - FPE. España.

Biblioteca virtual. Suspensiones Vehiculares. Tipos y descripción de las suspensiones en los vehículos automóviles. Escuela Politécnica de la Universidad Carlos III de Madrid. España.

Patiño V., Jorge L. Motores de corriente continua. Instituto Profesional y Técnico de Veraguas. Panamá.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXOS

ANEXO N° 1: Mediciones de rendimiento de motor Halbach referenciales

3d-printed Halbach brushless Motor Performance Measurements

Performance Measurement								
Voltage [V]	Current [A]	Speed [rpm]	Force [g]	Lever [mm]	Torque [Nm]	Shaft Power [W]	Input Power [W]	Efficiency %
12	0.11	400	4	200	0.008	0	1	25%
12	0.22	680	7.1	200	0.014	1	3	38%
16	0.29	950	12.8	200	0.025	2	5	54%
16	0.3	955	12.9	200	0.025	3	5	53%
20	0.4	1184	14	200	0.027	3	8	43%
12	0.67	1292	15.9	200	0.031	4	8	52%
16	0.92	1670	26	200	0.051	9	15	61%
16	0.92	1675	26.5	200	0.052	9	15	62%
12	1.17	1675	24.1	200	0.047	8	14	59%
35.9	0.59	1863	32	200	0.063	12	21	58%
12	1.64	1950	31.3	200	0.061	13	20	64%
36.31	0.69	2010	34	200	0.067	14	25	56%
20	1.23	2020	33.3	200	0.065	14	25	56%
16	1.64	2130	37.4	200	0.073	16	26	62%
16	1.64	2130	39.5	200	0.077	17	26	66%
12	2.05	2134	37.2	200	0.073	16	25	66%
12	2.39	2286	41	200	0.080	19	29	67%
12	2.7	2403	44.8	200	0.088	22	32	68%
16	2.37	2474	50.5	200	0.099	26	38	68%
12	2.97	2499	48.1	200	0.094	25	36	69%
20	2.18	2558	52	200	0.102	27	44	63%
20	2.2	2560	52	200	0.102	27	44	62%
12	3.18	2571	49.5	200	0.097	26	38	69%
12	3.34	2633	52.4	200	0.103	28	40	71%
34.98	1.95	2944	73	200	0.143	44	68	65%
34.67	1.99	2952	73	200	0.143	44	69	64%
20	3.17	2955	68.8	200	0.135	42	63	66%
35.52	1.97	2972	72	200	0.141	44	70	63%
35.81	2.29	3165	79	200	0.155	51	82	63%
34.45	3.62	3653	111	200	0.218	83	125	67%
34.2	3.63	3655	108	200	0.212	81	124	65%
35.01	3.62	3752	108	200	0.212	83	127	66%
33.89	5.4	4221	145	200	0.284	126	183	69%
33.7	5.41	4256	142	200	0.279	124	182	68%
34.46	5.52	4288	146	200	0.286	129	190	68%
33.39	7.14	4630	175	200	0.343	166	238	70%
33.92	7.26	4704	176	200	0.345	170	246	69%

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

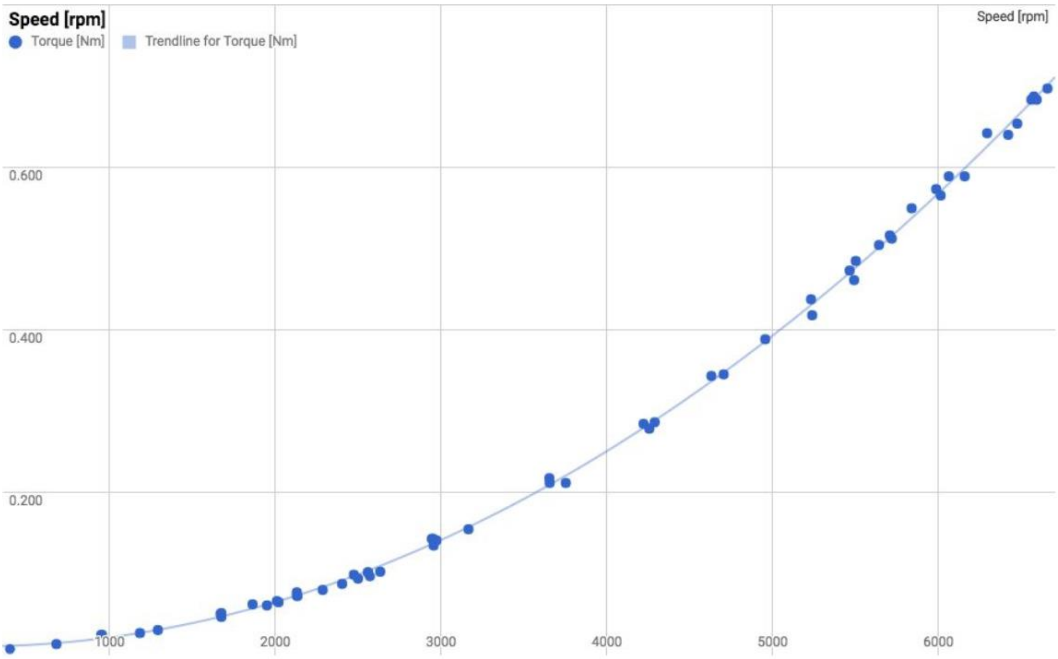
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

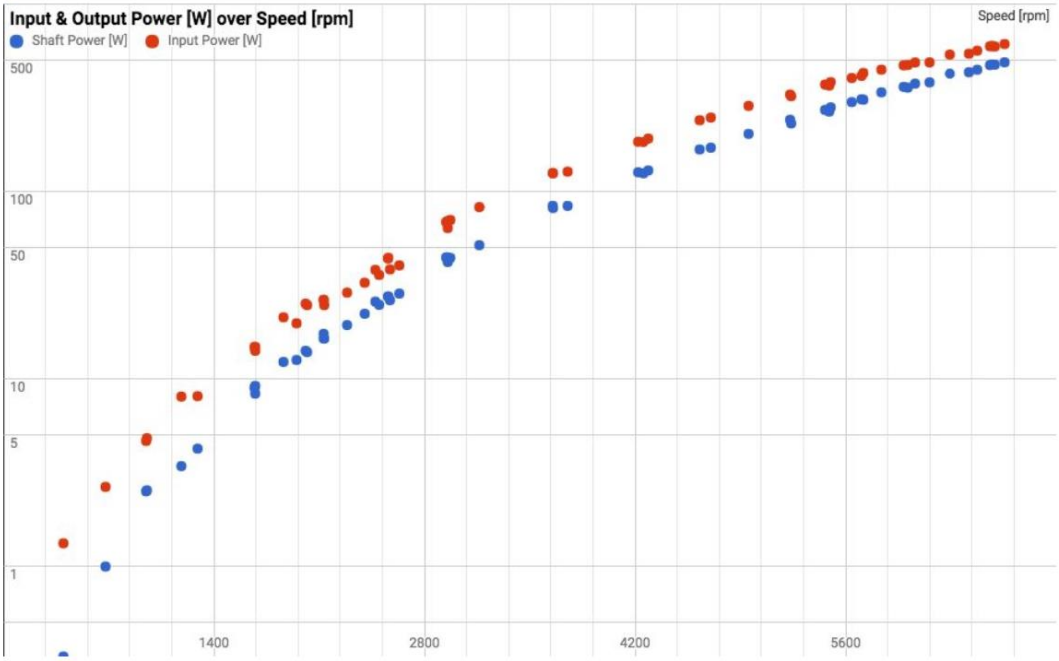
32.79	8.67	4955	198	200	0.388	202	284	71%
32.37	10.09	5231	223	200	0.438	240	327	73%
33.2	9.65	5238	213	200	0.418	229	320	72%
32.16	11.48	5464	241	200	0.473	271	369	73%
32.69	11.16	5491	235	200	0.461	265	365	73%
32.46	11.73	5501	247	200	0.485	279	381	73%
31.7	12.63	5641	257	200	0.504	298	400	74%
32.07	12.82	5706	263	200	0.516	308	411	75%
32.73	13.01	5718	261	200	0.512	307	426	72%
31.7	13.99	5838	280	200	0.549	336	443	76%
31.39	14.9	5986	292	200	0.573	359	468	77%
31.5	14.91	6013	288	200	0.565	356	470	76%
30.88	15.69	6062	300	200	0.589	374	485	77%
31.15	15.57	6158	300	200	0.589	380	485	78%
30.34	17.59	6293	327	200	0.642	423	534	79%
30.55	17.66	6420	326	200	0.640	430	540	80%
30.45	18.39	6475	333	200	0.653	443	560	79%
29.85	19.81	6560	348	200	0.683	469	591	79%
29.93	19.85	6575	350	200	0.687	473	594	80%
29.92	19.71	6592	348	200	0.683	471	590	80%
30.34	20.03	6657	355	200	0.697	486	608	80%

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

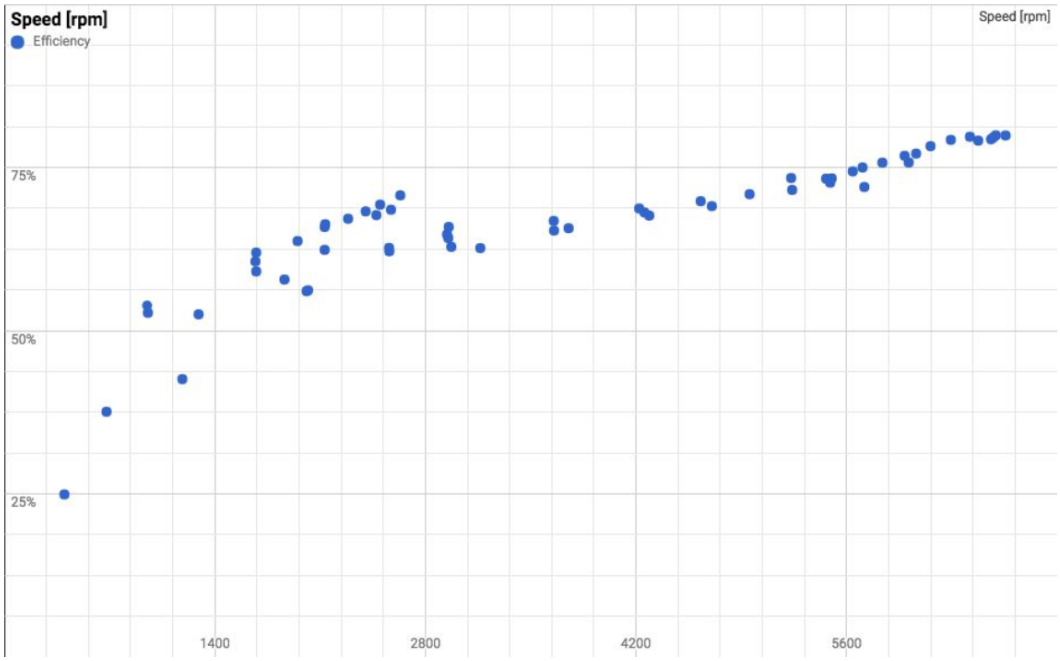


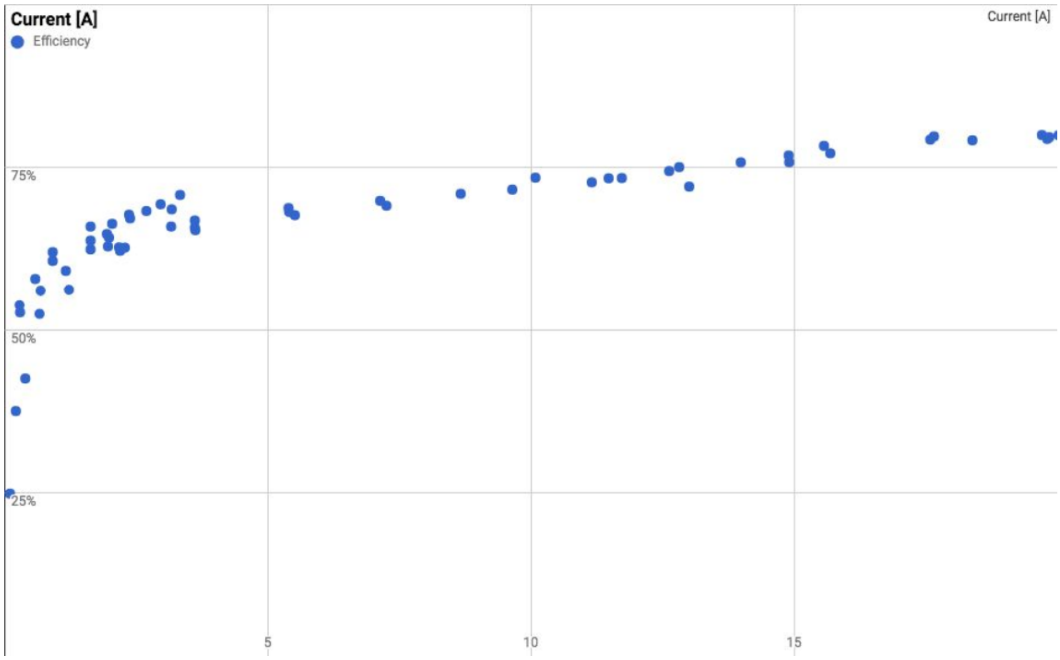


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA





Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO N° 2: Amortiguador ZF FS 03

Formula Student Dämpfer mit Anbauteilen
Formula Student Damper with Additional Parts

Nadellagerkit (1St./Dämpfer)
Bestellnr.: 001770001914
Needle Bearing Kit (1pc./damper)
Order No.: 001770001914

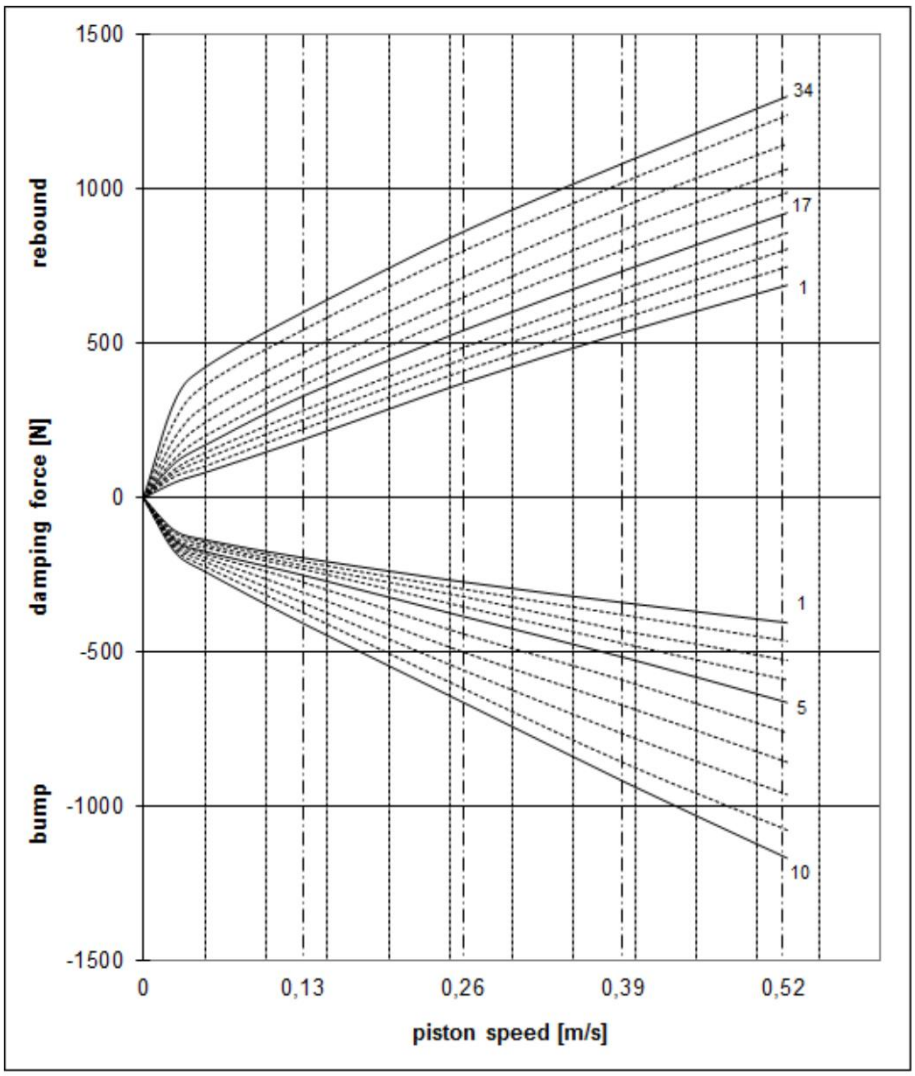
F3 Federn
Di=36mm
Wir empfehlen
Federn von H&R
F3 Springs
Di=36mm
We recommend
springs from H&R

Formula Student Dämpfer
Bestellnr.: 881700007751 Setting FS 02
Formula Student Damper
Order No.: 881700007751 Setting FS 02

Bestellnr.: 881700011236 Setting FS 03
Formula Student Damper
Order No.: 881700011236 Setting FS 03

Status: September 2014

© ZF Friedrichshafen AG, 2014

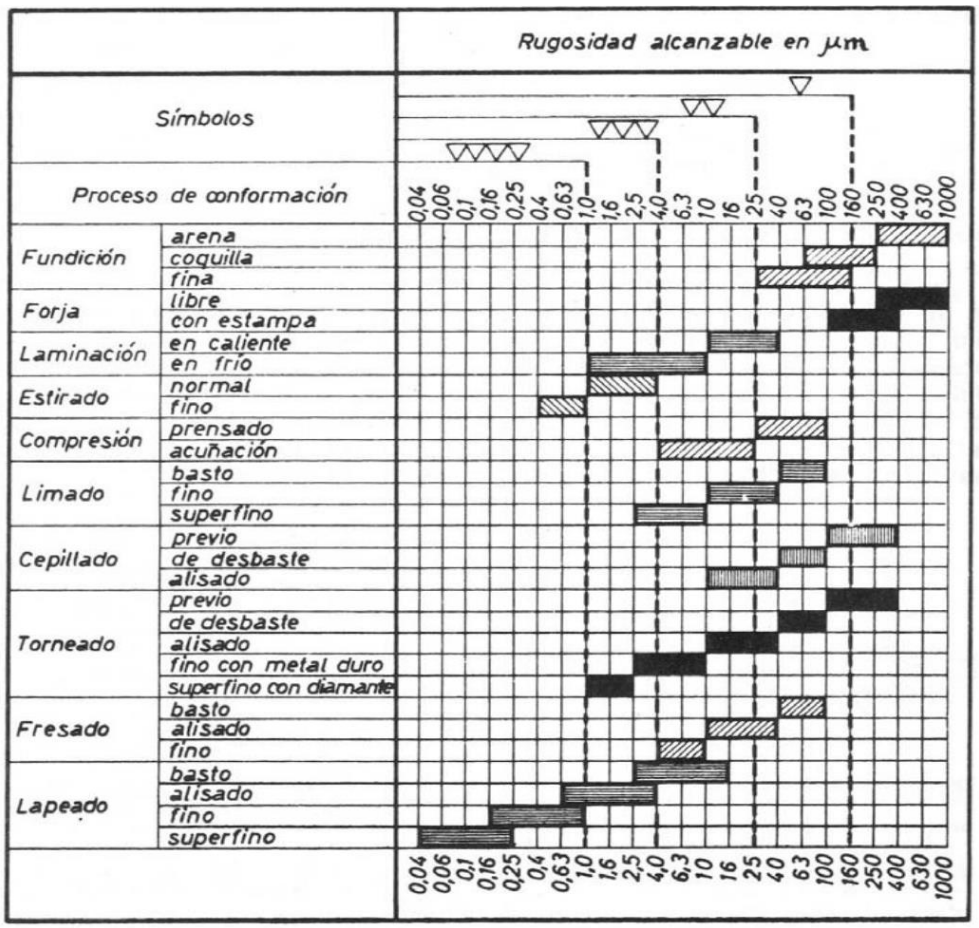


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO N° 3: Calidades superficiales por proceso de conformación

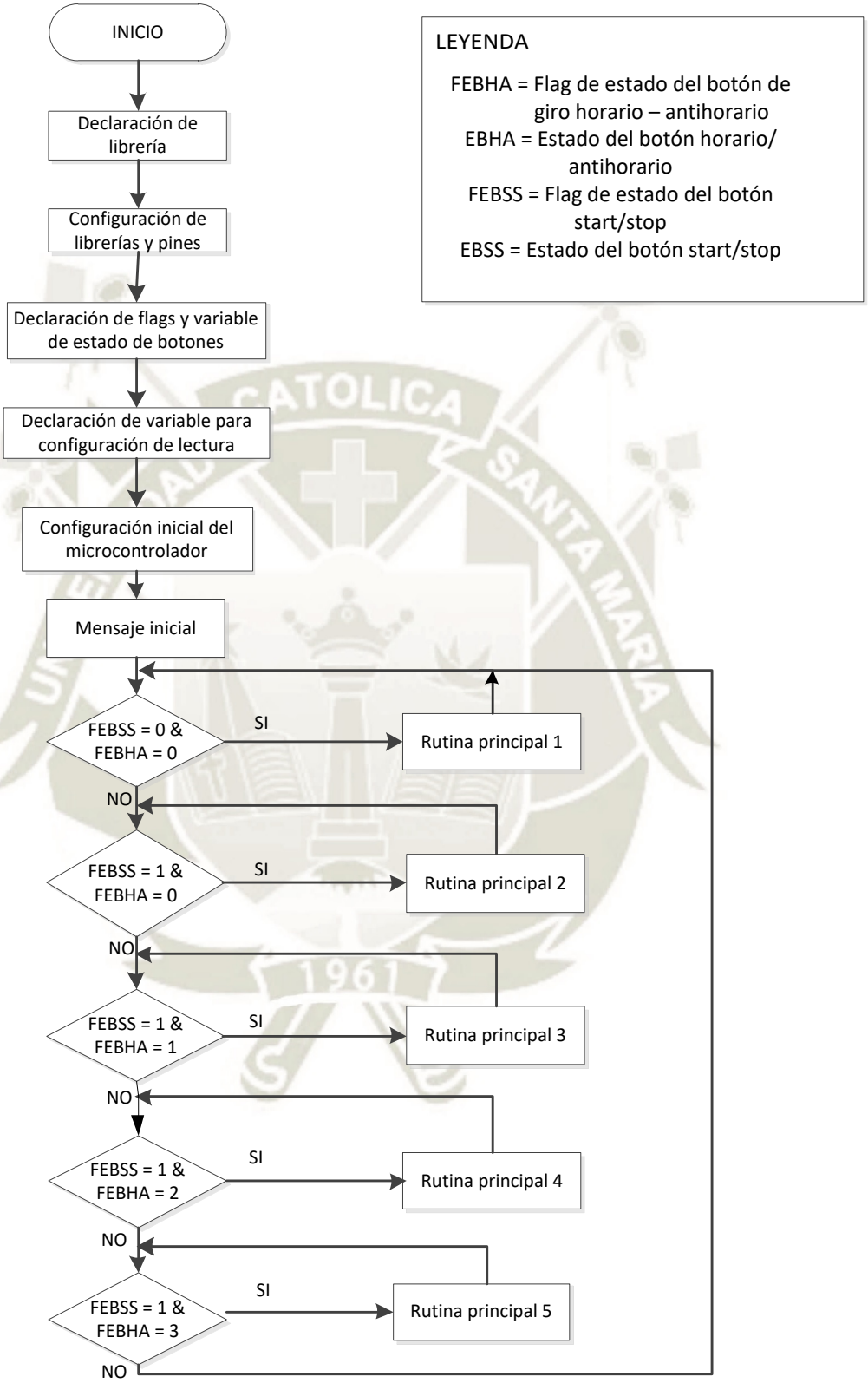


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO N° 4: Diagramas de flujo

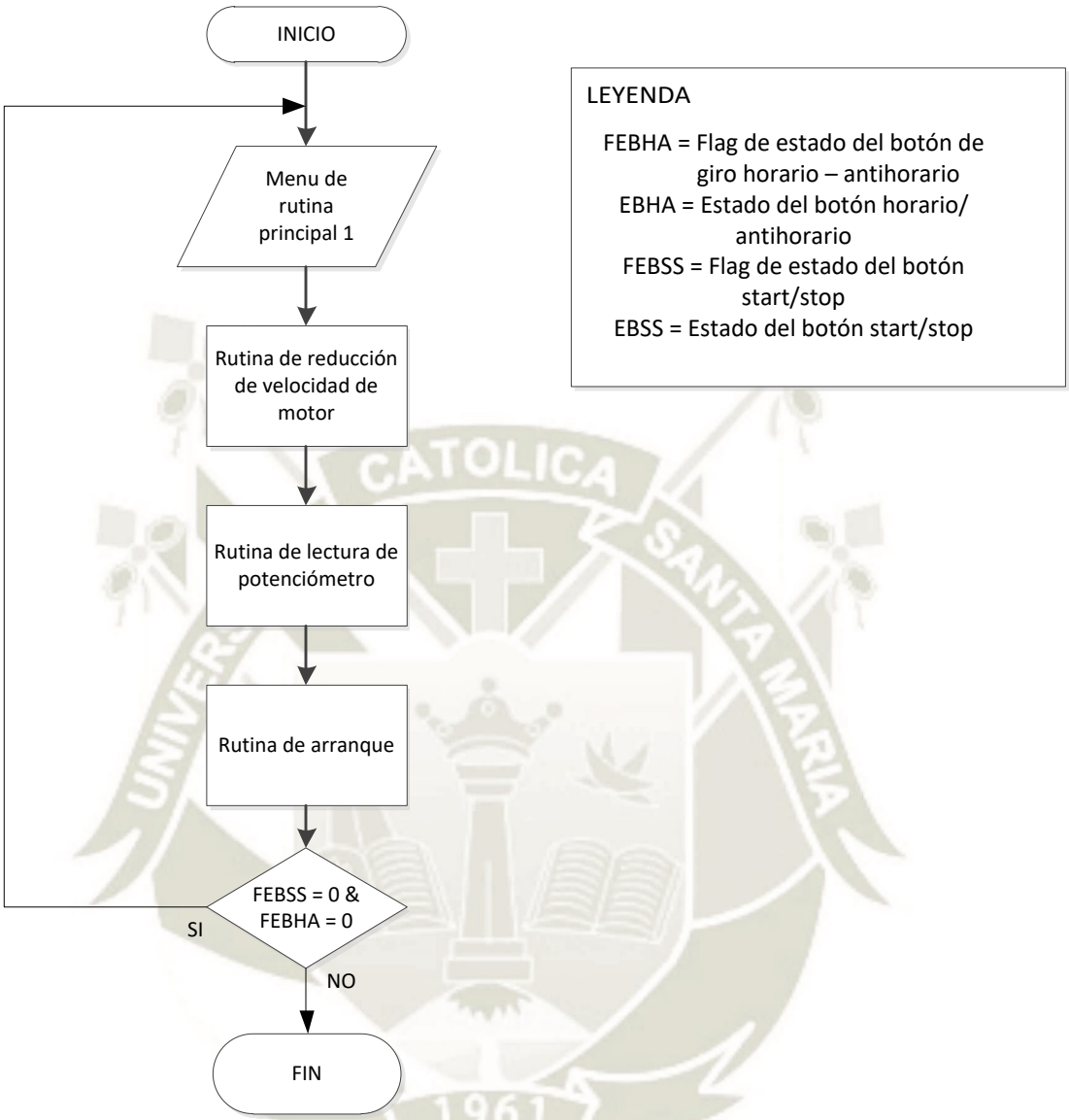


Programa principal 1 / Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

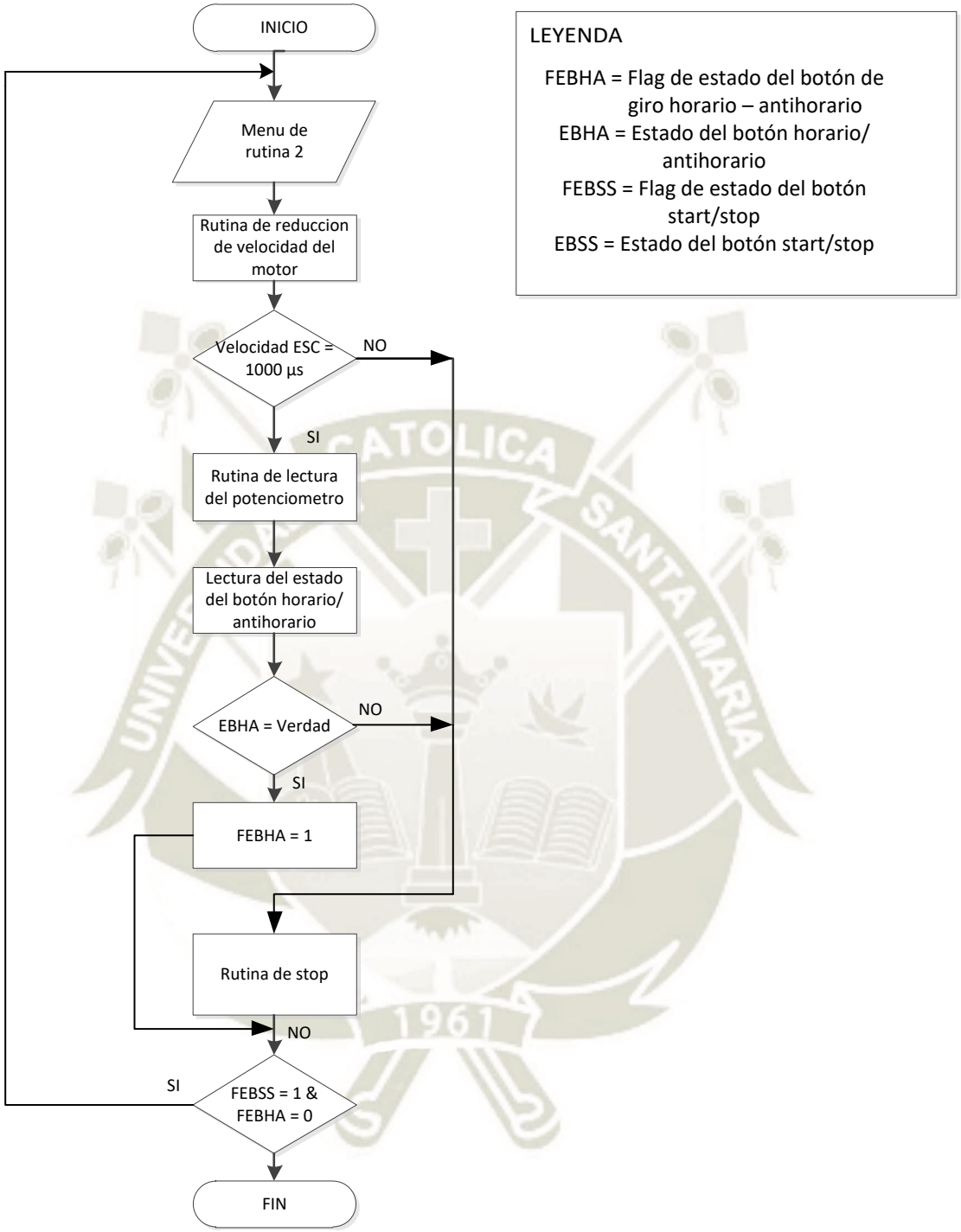


Rutina principal 1 / Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

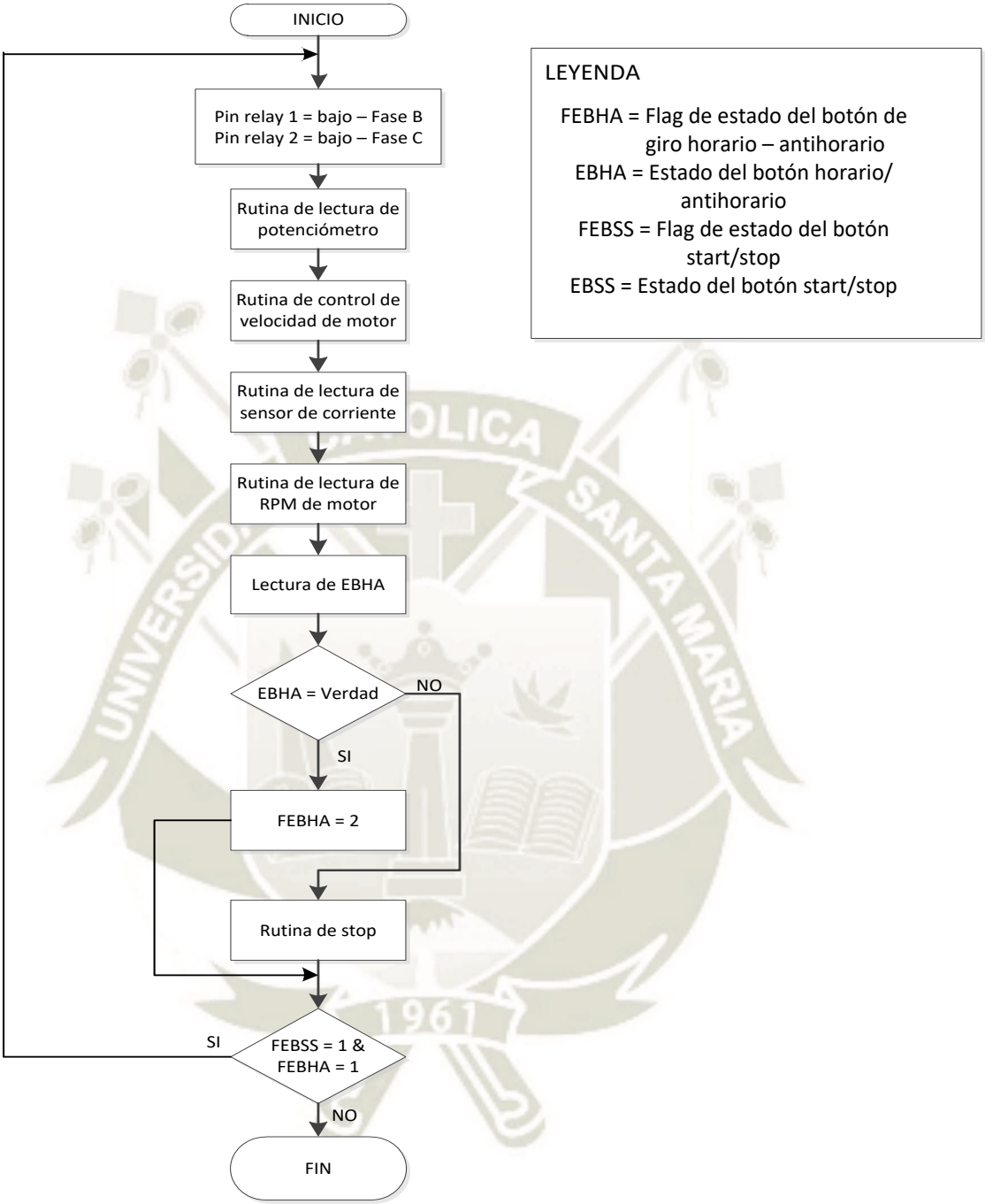


Rutina principal 2 / Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

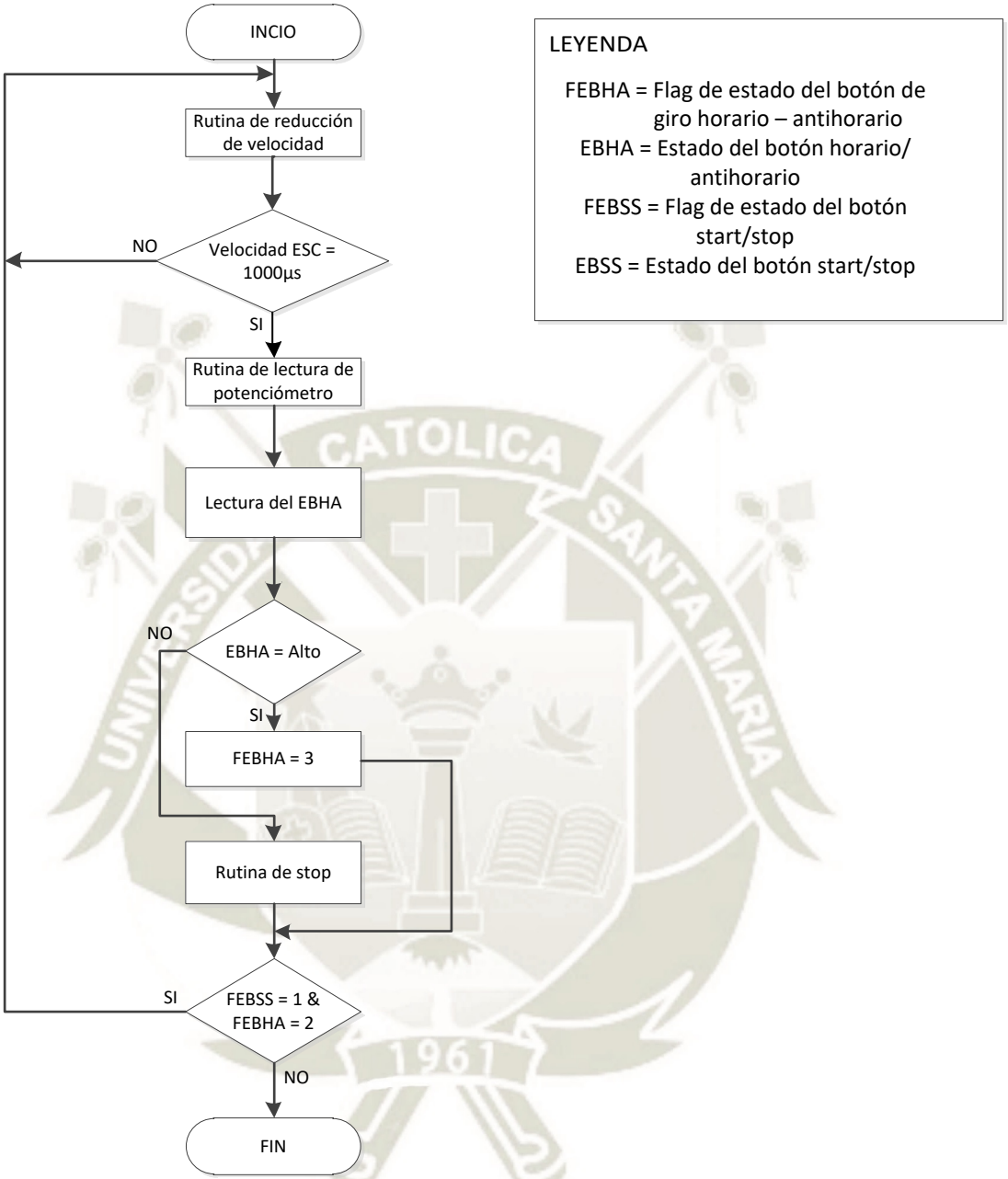


Rutina principal 3 / Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

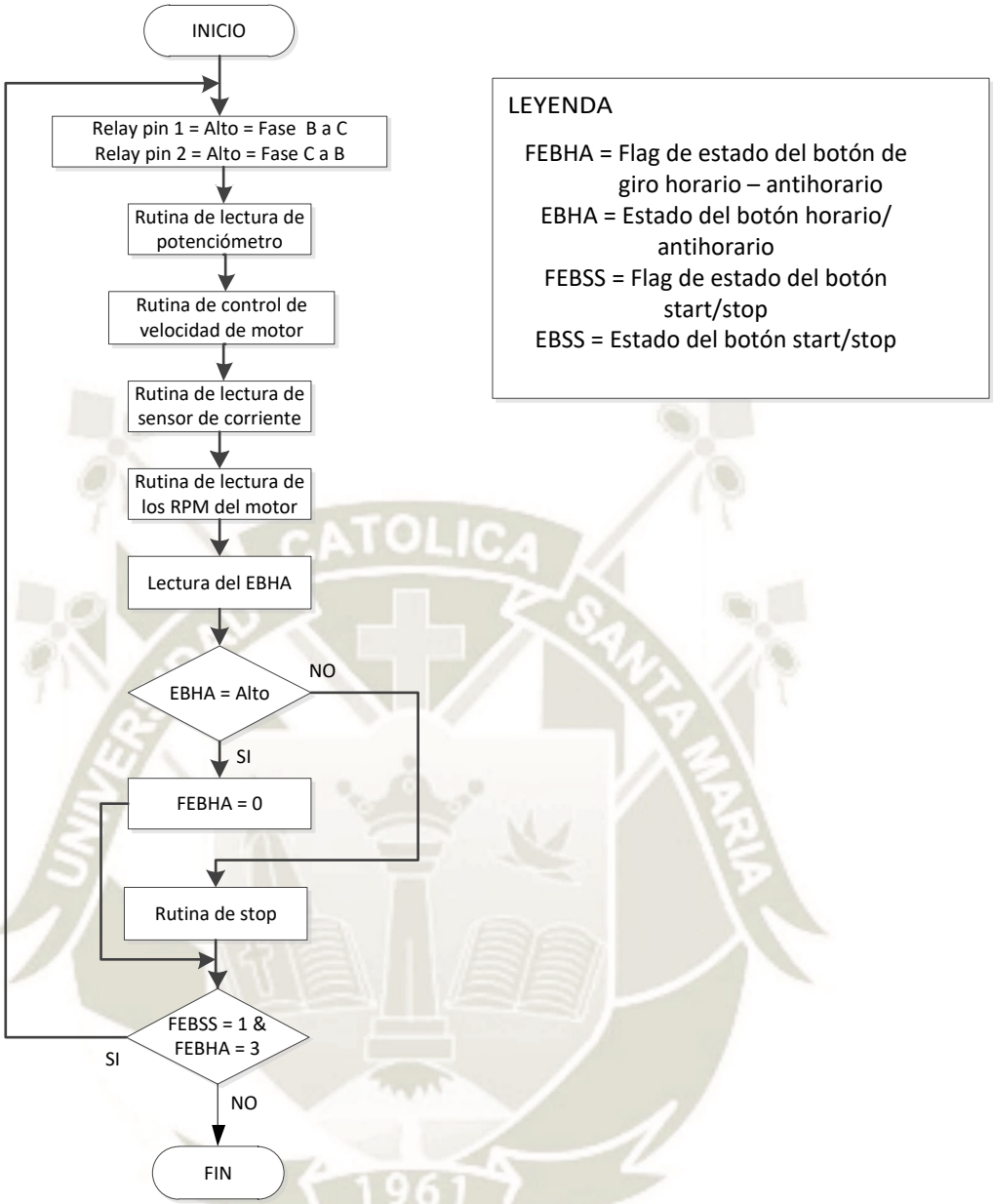


Rutina principal 4 / Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



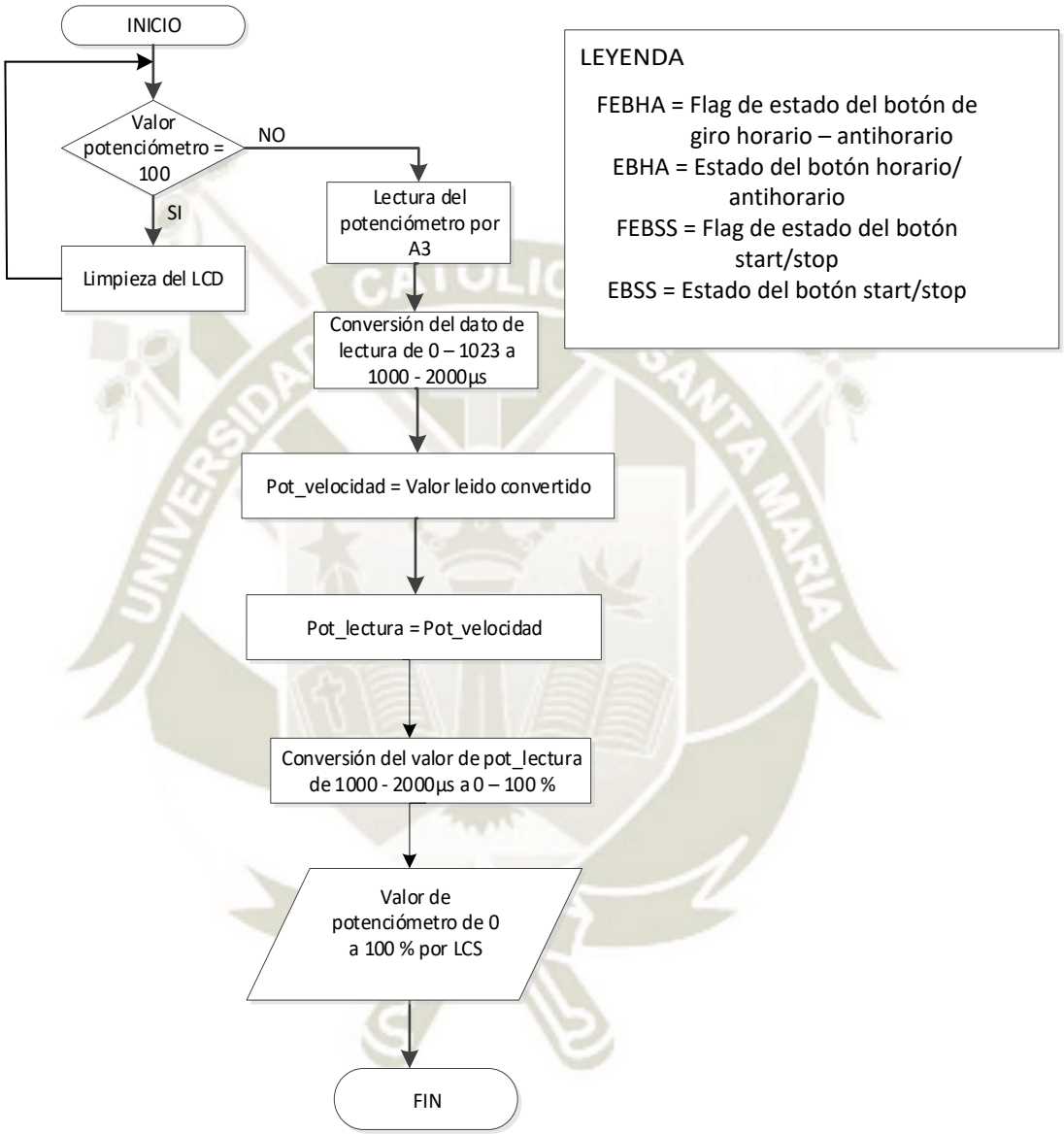
Rutina principal 5 / Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La subrutina de lectura de potenciómetro para control de velocidad se muestra a continuación:



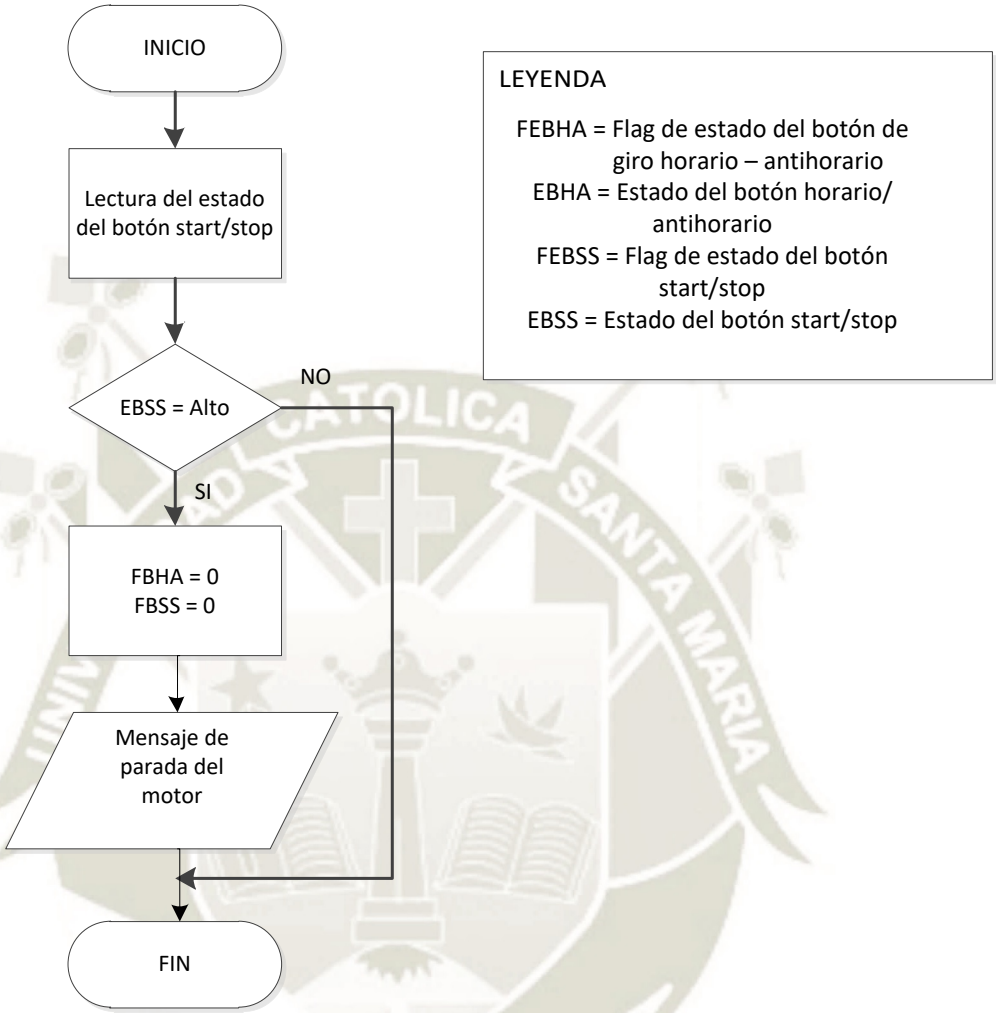
Subrutina secundaria – Lectura del potenciómetro / Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La subrutina de START del motor se muestra a continuación:



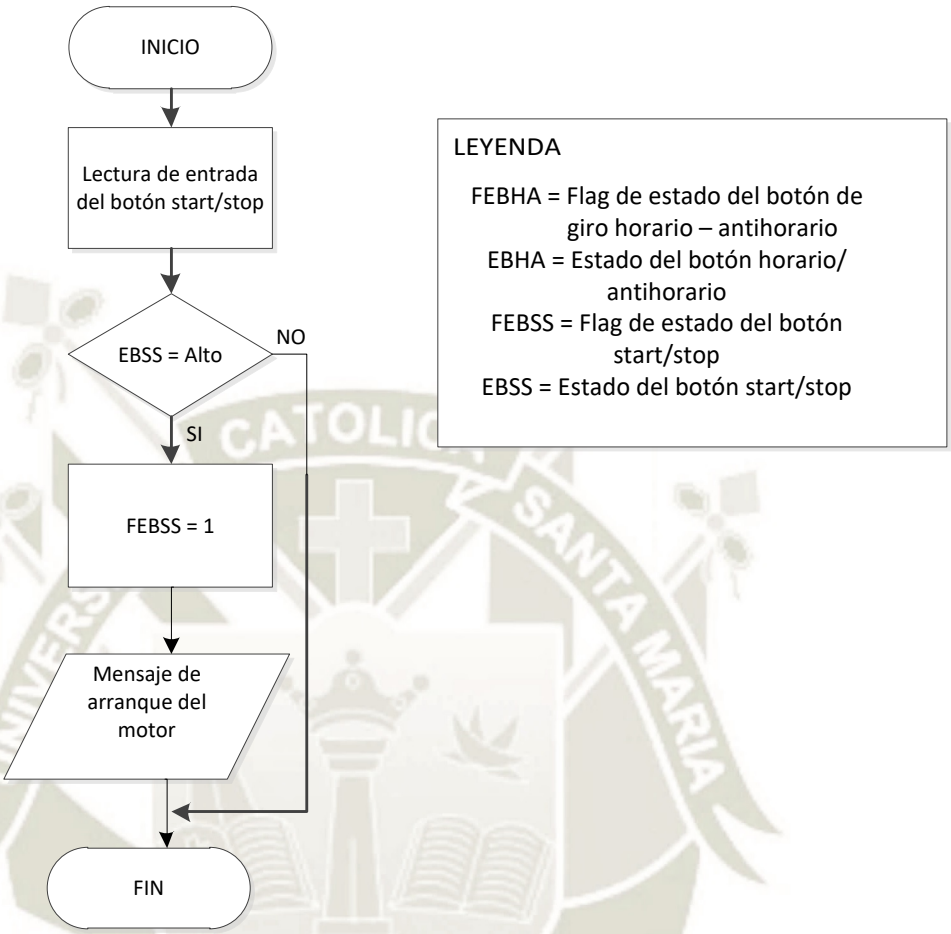
Subrutina secundaria – Rutina de START del motor / Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La subrutina de STOP del motor se muestra a continuación:



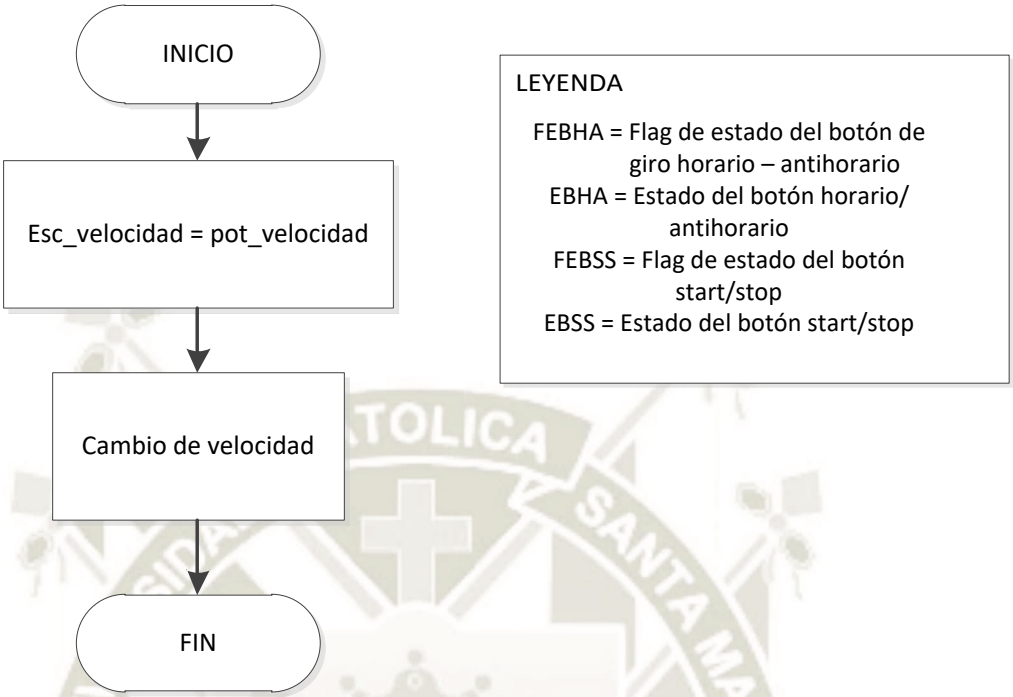
Subrutina secundaria – Rutina de STOP del motor / Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La rutina secundaria de control de velocidad del motor se muestra a continuación:



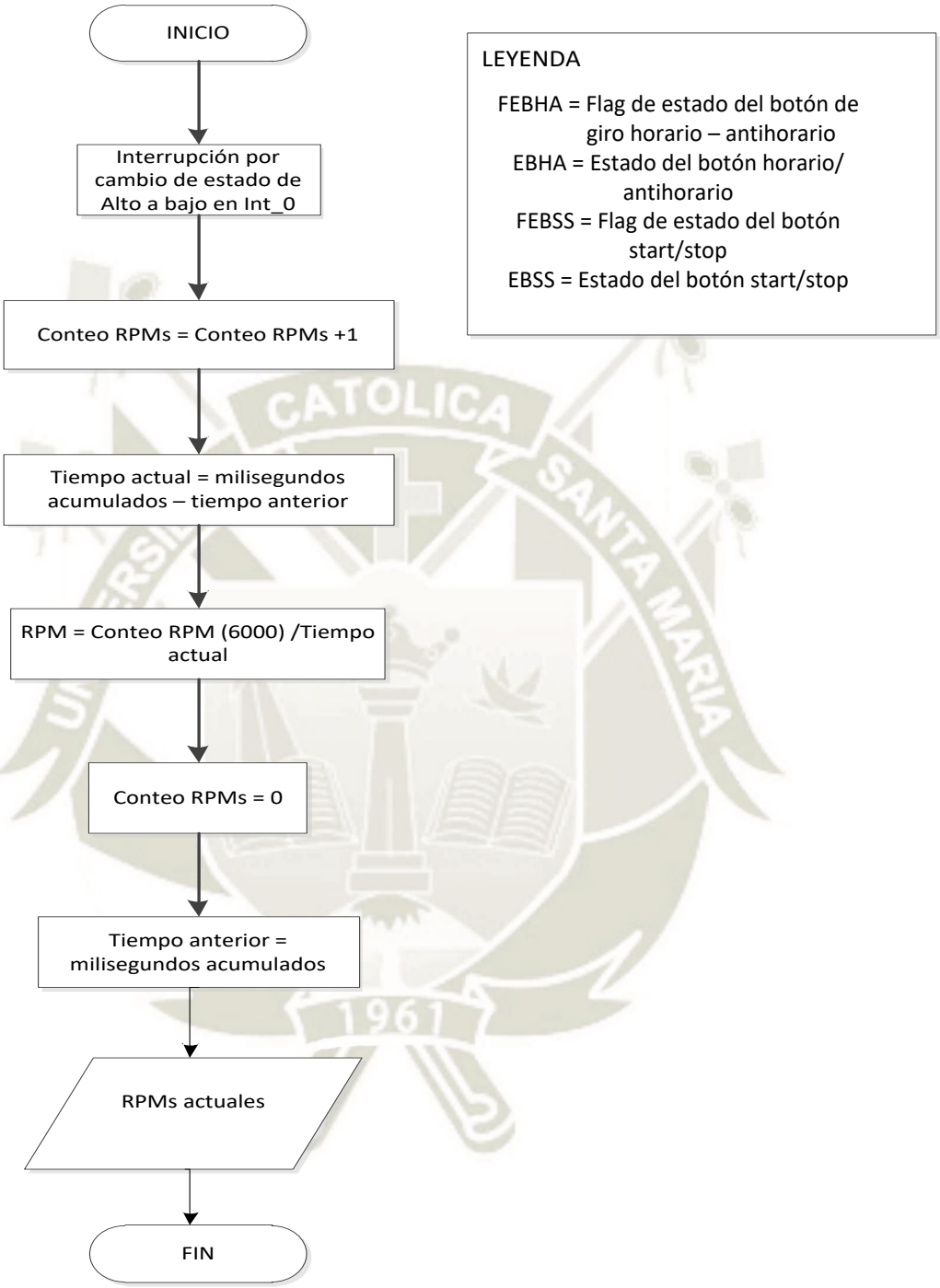
Rutina secundaria – Control de velocidad / Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La subrutina secundaria de lectura de RPMs del motor se muestra a continuación:



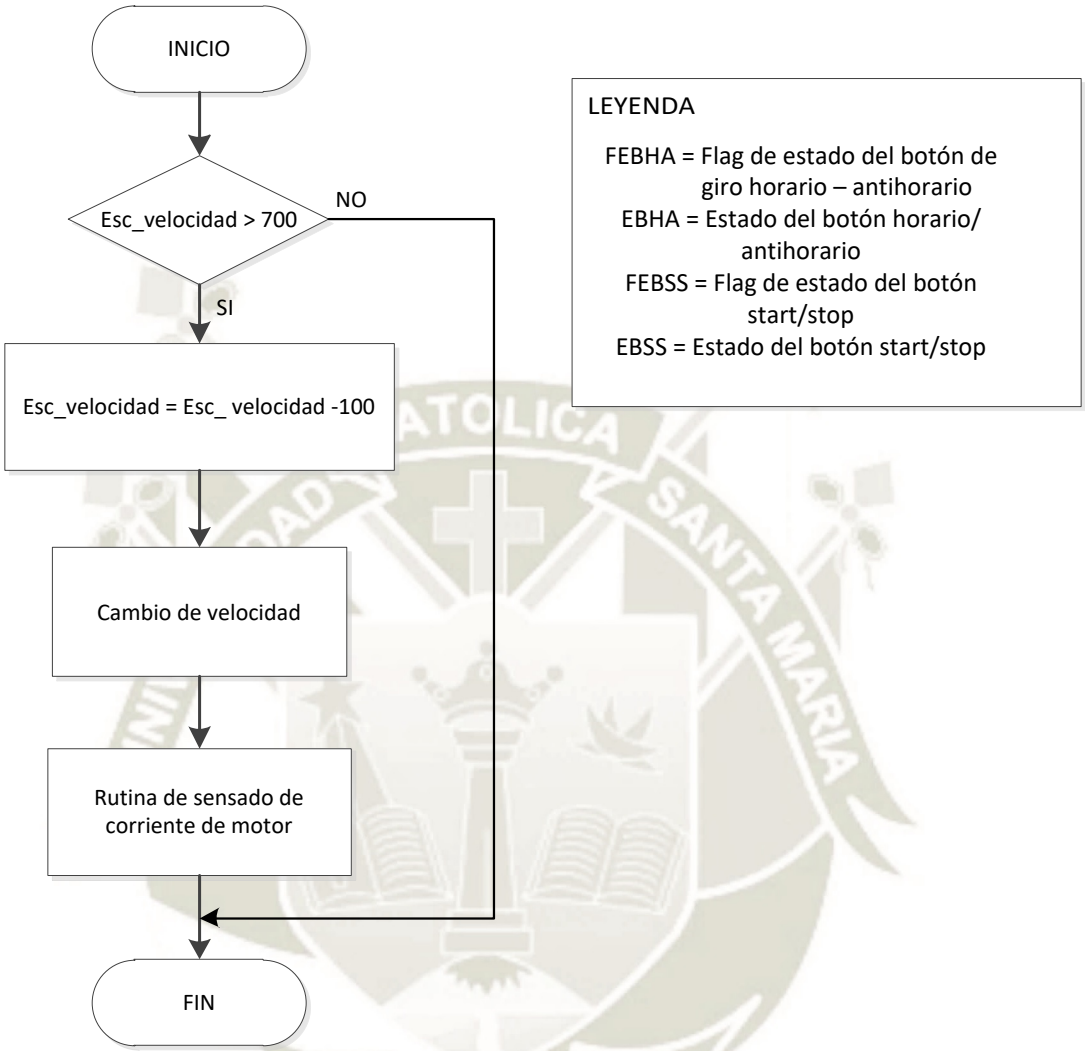
Subrutina secundaria – Lectura de RPMs / Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La subrutina secundaria de reducción de velocidad del motor se muestra a continuación:



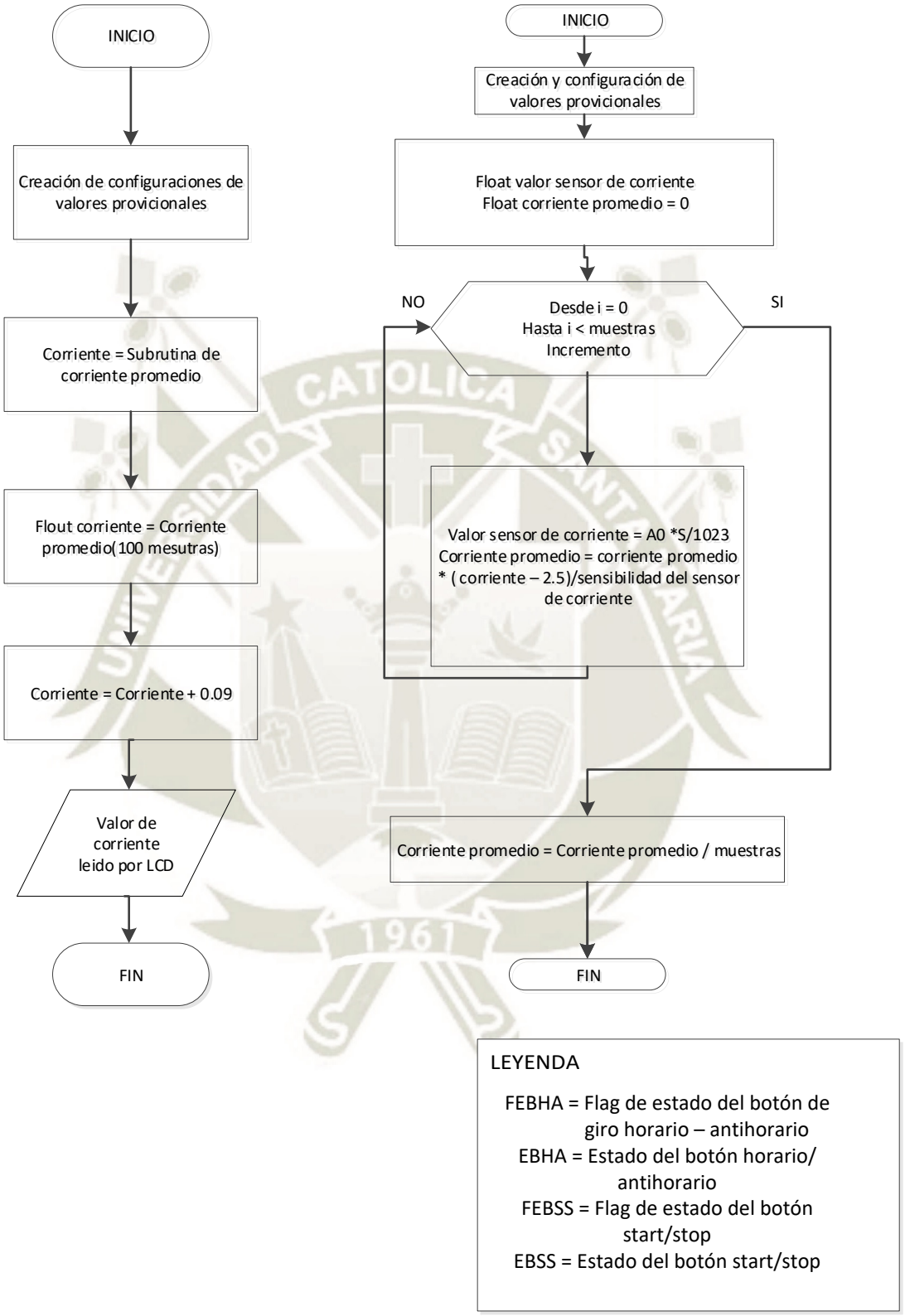
Subrutina secundaria – Reducción de velocidad / Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La subrutina secundaria de lectura de corriente del motor se muestra a continuación:



Subrutina secundaria – Lectura de corriente / Elaboración propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXO N° 5: Programa de control y HMI

```
/*
  ************************************************************************************************
  PROGRAMA DE CONTROL Y TESTEO DE MOTORES BRUSHLESS
  ************************************************************************************************

  El siguiente programa permite controlar la velocidad de un motor Brushless de tres fases y la
  lectura de sus parametros como velocidad (RPM), corriente de funcionamiento de una fase y la
  direccion de giro (Horario o anti-horario)

  CONEXIONES:
  ************************************************************************************************
  LCD 16x2: Muestra los datos de ingreso y salida por pantalla
  Driver: Modulo I2C LCD
  Pines: SDA - SDA = SDA - A4
         SCL - SCL = SCL - A5
         GND - GND
         VCC - 5V

  Lectura de entrada de velocidad: Pedal de control de velocidad de 0% a 100%
  Driver: Ponteciometro de 10kohm
  Pines: VCC - 5V
         SEN - A3
         GND - GND

  Control de velocidad del motor: Controlador ESC de velocidad del motor
  Driver: ESC 30A
  Pines: PWM - 11
         VCC - 5V
         GND - GND

  Cambio de direccion (Horario / anti-horario): Relay de cambio de direccion, cambio de fase
                                                (B a C, C a B)
  Driver: Placa de relay doble
  Pines: VCC - 5V
         IN1 - 7
         IN2 - 6
         GND - GND

  Lectura de RPMs: Sensor infrarrojo basado en el inversor Schmitt CMOS para lectura de RPMs
  Driver: Sensor infrarrojo 74HC14D
  Pines: VCC - 5V
         SEN - 2
         GND - GND

  Boton Stop / Start: Boton de inicio de funcionamiento y parada del motor
  Driver: Boton normalmente abierto
  Pines: VCC - 5V
         SEN - 4
         GND - GND

  Boton de cambio Horario / anti-horario: Boton para cambio de fase (cambio de direccion)
  Driver: Boton normalemnte abierto
  Pines: VCC - 5V
         SEN - 3
         GND - GND

  Lectura de entrada de la corriente de fase
  Driver: ACS712-05
  Pines: VCC - 5V
         SEN - A0
         GND - GND

  DATOS:
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
  ************************************************************************************************
  Autor: Eduardo Pilco Lazarte
  Version: 1.0
  Fecha: Junio 2018
  Tesis: Comprobacion experimental de parametros y propuesta de diseno para un
       motor brushless adaptable a una rueda para vehiculos de baja carga
  Universidad: Universidad Catolica de Santa Maria
  Facultad: Ciencias e Ingenierias Fisicas y Formales
  Escuela Profesional: Ingenieria Mecanica, Mecanica Electrica y Mecatronica
  Restricciones: Todos los derechos reservados
*/

// LIBRERIAS INCLUIDAS
// ************************************************************************************************

#include <Wire.h>  // Libreria de comunicacion I2C
#include <Servo.h> // Libreria de control de servos

#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Libreria de control de pantallas LCD por I2C
                               // https://github.com/fdebrabander/Arduino-LiquidCrystal-I2C-library
                               // Autor: Joao Pedro Sao Gregorio Silva

// CONFIGURACION DE LIBRERIAS Y PINES
// ************************************************************************************************

LiquidCrystal_I2C LCD(0x27, 16, 2); // Inicializacion de la libreria LiquidCrystal_I2C
                                    // Nombre: LCD (Direccion: 0x27, columnas: 16, filas: 2)
Servo ESC; // Inicializacion de la libreria Servo
           // Nombre: ESC

const int ESC_pin = 11;      // Pin de senal PWM (ESC) - 11
const int relay1_pin = 7;    // Pin de placa de relay doble - Fase A - IN1 - 7
const int relay2_pin = 6;    // Pin de placa de relay doble - Fase C - IN2 - 6
const int bot_ahor_pin = 3;  // Pin de boton de cambio de fase - Horario / anti-horario - 3
const int bot_start_pin = 4; // Pin de boton de Stop / Start - 4

// FLAGS Y VARIABLES DE ESTADO PARA BOTONES
// ************************************************************************************************

int bot_ahor_estado = 0;  // Estado del boton de cambio de fase - Horario / anti-horario
int bot_start_estado = 0; // Estado del boton de Stop / Start

int flag_start_stop = 0; // Flag de estado del boton de Stop / Start
int flag_ahor = 0;       // Flag de estado del boton de cambio de fase - Horario / anti-horario

// VARIABLES PARA CONFIGURACION Y LECTURA
// ************************************************************************************************

const int ESC_max = 2000; // Valor maximo de configuracion para el controlador ESC - microsegundos
const int ESC_min = 1000; // Valor minimo de configuracion para el controlador ESC - microsegundos
int ESC_velocidad = 0;    // Valor del PWM en microsegundos del controlador ESC

int pot_velocidad = 0; // Valor de lectura analoga de 0 - 1023 con cambio a 1000 - 2000us - Pin A3
int pot_lectura = 0;   // Valor de cambio de lectura de 1000 - 2000us a 0 - 100%

float s_sen_cor = 0.068;      // Valor de sensibilidad del sensor de corriente
float offset_sen_cor = 0.100; // Valor del offset de lectura del sensor de corriente

volatile byte RPM_cont = 0;  // Valor del contador de pulsos del sensor infrarrojo
unsigned int RPM = 0;        // Valor en RPM de lectura de pulsos
unsigned int tiempo_ant = 0; // Valor del tiempo de lectura antiguo en milisegundos
unsigned int tiempo_act = 0; // Valor del tiempo de lectura actual en milisegundos

// CONFIGURACION INICIAL DEL MICROCONTROLADOR
// ************************************************************************************************
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
void setup() {

  // Comfiguracion de los pines de salida y entrada
  pinMode(relay1_pin, OUTPUT); // Pin de placa de relay doble - Fase A - IN1 - Salida
  pinMode(relay2_pin, OUTPUT); // Pin de placa de relay doble - Fase C - IN2 - Salida

  pinMode(bot_ahor_pin, INPUT);  // Pin de boton de cambio de fase - Entrada
  pinMode(bot_start_pin, INPUT); // Pin de boton de Stop / Start - Entrada

  // Comfiguracion de comunicacion
  Serial.begin(9600); // Velocidad de comunicacion 9600bps

  // Comfiguracion de comunicacion del LCD 16x2 por I2C
  LCD.begin();     // Inicializacion de la comunicacion por I2C con el LCD 16x2
  LCD.backlight(); // Inicializacion de la luz trasera
  LCD.clear();     // Borrado de la pantalla

  // Comfiguracion del ESC
  ESC.attach(ESC_pin);            // Configuracion del pin de senal PWM (ESC)
  ESC.writeMicroseconds(ESC_min); // Inicializacion del controlador ESC con el valor minimo 1000us

  // Configuracion del sensor infrarrojo de lectura de RPMs
  attachInterrupt(0, RPM_contador, FALLING); // Inicializacion de lectura por interrupcion 1
                                             // Interrupcion 0 (Pin 2) - Variable de lectura - Caida

  // Mensaje inicial (Una sola vez)
  Serial.println("Inicio A:E.P.L."); // Mensaje inicial por puerto serial
  LCD.setCursor(0, 0);               // Ubicacion del mensaje LCD - Columna 1 - Fila 1
  LCD.print("Inicio A:E.P.L.");      // Mensaje inicial por LCD 16x2
  LCD.setCursor(0, 1);               // Ubicacion del mensaje LCD - Columna 1 - Fila 2

  // Envio de la senal de inicializacion ">>>>" para configuracion del ESC
  for (int i = 0; i < 16; i++){
    delay(157);        // Tiempo de receso
    Serial.print(">"); // Mensaje ">>>>" por puerto serial
    LCD.print(">");    // Mensaje ">>>>" por LCD 16x2
    delay(157);        // Tiempo de receso 157ms
  }

  Serial.println(" "); // Salto de linea con fila en blanco
  LCD.clear();         // Borrado de la pantalla
}

// PROGRAMA PRINCIPAL
// ************************************************************************************************************

void loop() {
  runita_principal_1(); // Rutina principal 1
  runita_principal_2(); // Rutina principal 2
  runita_principal_3(); // Rutina principal 3
  runita_principal_4(); // Rutina principal 4
  runita_principal_5(); // Rutina principal 5
}

// SUBRUTINAS PRINCIPALES
// ************************************************************************************************************
/*
   # FBSS : Flag de estado del boton Start / Stop
   # FBHA : Flag de estado del boton Horario / Anti-horario
*/

void runita_principal_1() { // SUBRUTINA PRINCIPAL 1

  // Condicion de la subrutina principal - Rutina principal 1 - FBSS = 0 && FBHA = 0
  while (flag_start_stop == 0 && flag_ahor == 0) {
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

```
    // Menu de la rutina principal 1 - LCD 16x2
    LCD.setCursor(0, 1);   // Ubicacion del mensaje LCD - Columna 1 - Fila 2
    LCD.print("EST:");     // Mensaje por LCD 16x2
    LCD.setCursor(4, 1);   // Ubicacion del mensaje LCD - Columna 5 - Fila 2
    LCD.print("ESP/STOP"); // Mensaje por LCD 16x2

    reduccion_velocidad();   // Rutina de reduccion de velocidad del motor
    lectura_potenciometro(); // Rutina de lectura del potenciometro
    rutina_start();          // Rutina de arranque
  }
}

void runita_principal_2() { // SUBRUTINA PRINCIPAL 2

  // Condicion de la subrutina principal - Rutina principal 2 - FBSS = 1 && FBHA = 0
  while (flag_start_stop == 1 && flag_ahor == 0) {

    // Mensaje de giro horario en espera
    LCD.setCursor(6, 0); // Ubicacion del mensaje LCD - Columna 7 - Fila 1
    LCD.print("G:+E");   // Mensaje por LCD 16x2

    reduccion_velocidad(); // Rutina de reduccion de velocidad del motor

    // Condicion de validacion de parada de motor - 1000us
    if (ESC_velocidad = 1000){
      lectura_potenciometro(); // Rutina de lectura del potenciometro

      bot_ahor_estado = digitalRead(bot_ahor_pin); // Lectura del estado del boton Horario / Anti-horario

      // Condicion de discriminacion de estado del boton Horario / anti-horario
      if (bot_ahor_estado == HIGH) {
        LCD.setCursor(6, 0); // Ubicacion del mensaje LCD - Columna 7 - Fila 1
        LCD.print("G:+ ");   // Mensaje por LCD 16x2
        flag_ahor = 1;       // FBHA = 1
        delay(1000);         // Tiempo de receso 1000ms
      }
    }

    rutina_stop(); // Rutina de stop
  }
}

void runita_principal_3() { // SUBRUTINA PRINCIPAL 3

  // Condicion de la subrutina principal - Rutina principal 3 - FBSS = 1 && FBHA = 1
  while (flag_start_stop == 1 && flag_ahor == 1) {

    digitalWrite(relay1_pin, LOW); // Salida del relay 1 = 0V - Fase A
    digitalWrite(relay2_pin, LOW); // Saluda del relay 2 = 0V - Fase C

    lectura_potenciometro(); // Rutina de lectura del potenciometro
    control_velocidad();     // Rutina de control de velocidad del motor
    sensor_corriente();      // Rutina de lectura del sensor de corriente
    tacometro();             // Rutina de lectura de RPMs del motor

    bot_ahor_estado = digitalRead(bot_ahor_pin); // Lectura del estado del boton Horario / Anti-horario

    // Condicion de discriminacion de estado del boton Horario / anti-horario
    if (bot_ahor_estado == HIGH) {
      LCD.setCursor(6, 0); // Ubicacion del mensaje LCD - Columna 7 - Fila 1
      LCD.print("G:-E");   // Mensaje por LCD 16x2
      flag_ahor = 2;       // FBHA = 2
      delay(1000);         // Tiempo de receso 1000ms
    }

    rutina_stop(); // Rutina de stop
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
  }
}

void runita_principal_4() { // SUBRUTINA PRINCIPAL 4

  // Condicion de la subrutina principal - Rutina principal 4 - FBSS = 1 && FBHA = 2
  while (flag_start_stop == 1 && flag_ahor == 2) {

    reduccion_velocidad(); // Rutina de reduccion de velocidad del motor

    // Condicion de validacion de parada de motor - 1000us
    if (ESC_velocidad = 1000){

      lectura_potenciometro(); // Rutina de lectura del potenciometro

      bot_ahor_estado = digitalRead(bot_ahor_pin); // Lectura del estado del boton Horario / Anti-horario

      // Condicion de discriminacion de estado del boton Horario / anti-horario
      if (bot_ahor_estado == HIGH) {
        LCD.setCursor(6, 0); // Ubicacion del mensaje LCD - Columna 7 - Fila 1
        LCD.print("G:- ");   // Mensaje por LCD 16x2
        flag_ahor = 3;       // FBHA = 3
        delay(1000);         // Tiempo de receso 1000ms
      }
    }

    rutina_stop(); // Rutina de stop
  }
}

void runita_principal_5() { // SUBRUTINA PRINCIPAL 5

  // Condicion de la subrutina principal - Rutina principal 5 - FBSS = 1 && FBHA = 3
  while (flag_start_stop == 1 && flag_ahor == 3) {

    digitalWrite(relay1_pin, HIGH); // Salida del relay 1 = 5V - Cambio de Fase A a C
    digitalWrite(relay2_pin, HIGH); // Salida del relay 2 = 5V - Cambio de Fase C a A

    lectura_potenciometro(); // Rutina de lectura del potenciometro
    control_velocidad();     // Rutina de control de velocidad del motor
    sensor_corriente();      // Rutina de lectura del sensor de corriente
    tacometro();             // Rutina de lectura de RPMs del motor

    bot_ahor_estado = digitalRead(bot_ahor_pin); // Lectura del estado del boton Horario / Anti-horario

    // Condicion de discriminacion de estado del boton Horario / anti-horario
    if (bot_ahor_estado == HIGH) {
      flag_ahor = 0; // FBHA = 0
      delay(1000);   // Tiempo de receso 1000ms
    }

    rutina_stop(); // Rutina de stop
  }

// SUBRUTINAS SECUNDARIA - LECTURA DE RPMs DEL MOTOR
// ***********************************************************************************************************

void RPM_contador(){ // Subrutina de contador de pulsos
  RPM_cont++; // Suma de pulsos para calculo de RPM por interrupcion
}

void tacometro(){ // Subrutina de algoritmo de calculo de RPM

  delay(915); // Tiempo de espera de referencia para el calculo

  // Limpieza del mensaje de lectura de las RPM
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

```
  LCD.setCursor(10,1);
  LCD.print("      ");

  // Algoritmo de calculo de las RPM
  tiempo_act = millis() - tiempo_ant;  // Calculo del tiempo actual de referencia
  RPM = RPM_cont * 60000 / tiempo_act; // Calculo de las RPM
  RPM_cont = 0;                        // Limpieza del contador de RPM

  tiempo_ant = millis(); // Lectura del tiempo pasado de referencia

  // Mensaje de lectura de las RPM del motor
  Serial.print("Pulsos: ");    // Mensaje de pulsos contados
  Serial.print(RPM_cont);
  Serial.print(" || T_ant: "); // Mensaje de tiempo pasado de referencia
  Serial.print(tiempo_ant);
  Serial.print(" || T_act: "); // Mensaje de tiempo presente de referencia
  Serial.print(tiempo_act);
  Serial.print(" || RPM: ");   // Mensaje de RPM calculado
  Serial.println(RPM);

  LCD.setCursor(8,1);
  LCD.print("R:");
  LCD.setCursor(10,1);
  LCD.print(RPM);
}

// SUBRUTINAS SECUNDARIA - CONTROL DE VELOCIDAD
// ************************************************************************************************

void control_velocidad(){

  ESC_velocidad = pot_velocidad; // Lectura del potenciometro covertido de 1000 a 2000 us

  ESC.writeMicroseconds(ESC_velocidad); // Envio del dato PWM (microsegundos) al controlador

  // Mensaje del valor PWM del controlador en microsegundos
  Serial.print("PWM de ESC (microsegundos): ");
  Serial.println(ESC_velocidad);
}

// SUBRUTINAS SECUNDARIA - LECTURA DE LA CORRIENTE DE CONSUMO DEL MOTOR
// ************************************************************************************************

void sensor_corriente(){ // Subrutina de ajuste de lectura de corriente

  // Limpieza del mensaje de lectura de corriente
  LCD.setCursor(2,1);
  LCD.print("     ");

  // Ajuste de lectura de corriente
  float corriente = corriente_prom(500); // Muestreo de 500 lecturas de corriente
  corriente = corriente + 0.09;          // Ajuste de la lectura final de corriente

  // Mensaje de lectura de corriente
  Serial.print("Corriente: ");
  Serial.println(corriente,3);

  LCD.setCursor(0,1);
  LCD.print("I:");
  LCD.setCursor(2,1);
  LCD.print(corriente,2);

}

float corriente_prom(int muestras){ // Subrutina de lectura y calculo de corriente
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

```
  float v_sen_cor;    // Variable auxiliar de almacenamiento del dato de lectura del sensor
  float cor_prom = 0; // Variable auxiliar de almacenamiento para calculo por offset del sensor

  // Acondicionamiento y calculo de promedio de datos de lectura de corriente
  for (int i = 0; i < muestras; i++){

    v_sen_cor = analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0); // Lectura y acondicionamiento del dato
    cor_prom = cor_prom + (v_sen_cor - 2.5) / s_sen_cor; // Calculo de ajuste por offset del sensor
  }

  cor_prom = cor_prom / muestras; // Promedio de lectura entre cantidad de muestras

  return(cor_prom); // Retorno del dato de lectura promedio
}

// SUBRUTINAS SECUNDARIA - LECTURA DE POTENCIOMETRO
// ***********************************************************************************************************

void lectura_potenciometro(){

  // Condicion de discriminacion del valor del potenciometro = 100%
  if (pot_lectura == 100){
    LCD.setCursor(3, 0); // Ubicacion del mensaje LCD - Columna 4 - Fila 1
    LCD.print("   ");    // Mensaje por LCD 16x2
  }

  // Lectura del potenciomero y conversion
  pot_velocidad = analogRead(A3); // Lectura del potenciometro - A3
  pot_velocidad = map(pot_velocidad, 0, 1023, 1000, 2000); // Cambio 0 - 1023 a 1000 - 2000us

  // Conversion de lectura de potenciometro
  pot_lectura = pot_velocidad; // Variable de conversion de lectura de potenciometro
  pot_lectura = map(pot_lectura, 1000, 2000, 0, 100); // Cambio de 1000 - 2000us a 0 - 100%

  // Mensaje de lectura del potenciometro
  LCD.setCursor(0,0);     // Ubicacion del mensaje LCD - Columna 1 - Fila 1
  LCD.print("%V: ");      // Mensaje por LCD 16x2
  LCD.setCursor(3,0);     // Ubicacion del mensaje LCD - Columna 4 - Fila 1
  LCD.print(pot_lectura); // Mensaje por LCD 16x2

  Serial.print("Pot: ");       // Valor del potenciometro - Puerto serial 1000 - 2000us
  Serial.print(pot_velocidad);
  Serial.print(" || Por: ");   // Valor del potenciometro - Puerto serial 0 - 100%
  Serial.println(pot_lectura);
}

// SUBRUTINAS SECUNDARIA - REDUCCION DE VELOCIDAD
// ***********************************************************************************************************

void reduccion_velocidad(){

  // Condicion para la disminucion de la velocidad del motor (PWM en microsegundos)
  while (ESC_velocidad > 1000) {

    ESC_velocidad = ESC_velocidad - 100;  // Disminucion del valor del PWM (Velocidad del motor)
    ESC.writeMicroseconds(ESC_velocidad); //  Envio del dato PWM (microsegundos) al controlador

    sensor_corriente(); // Subrutina de lectura de corriente del motor

    // Mensaje de lectura de senal PWM en microsegundos
    Serial.print("PWM de ESC (microsegundos): ");
    Serial.println(ESC_velocidad);
    delay(1);
  }
}
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

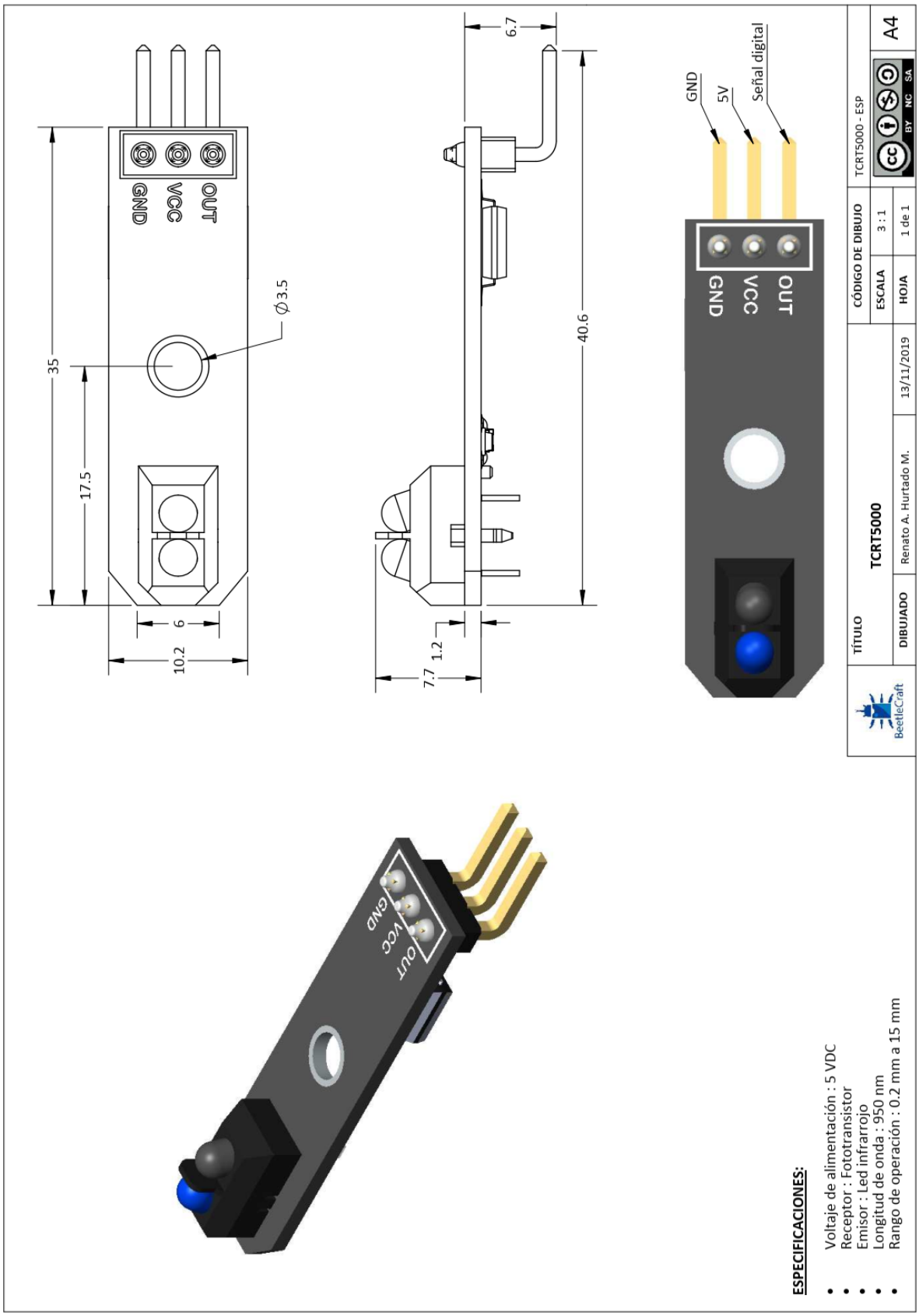
```
// SUBRUTINAS SECUNDARIA - RUTINA DE STOP DEL MOTOR
// ************************************************************************************************

void rutina_stop(){

  bot_start_estado = digitalRead(bot_start_pin); // Lectura del estado del boton Start / Stop

  // Condicion de discriminacion de estado del boton Start / Stop
  if (bot_start_estado == HIGH) {
    flag_ahor = 0;       // FBHA = 0
    flag_start_stop = 0; // FBSS = 0

    // Mensaje de parada del motor
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(11,0);
    LCD.print("E:");
    LCD.setCursor(13,0);
    LCD.print("OFF");

    delay(1000); // Tiempo de receso 1000ms
  }

  // Mensaje de estado de los flags FBHA y FBSS
  Serial.print("Flag start / stop: ");
  Serial.println(flag_start_stop);
  Serial.print("Flag Antihorario / horario: ");
  Serial.println(flag_ahor);
}

// SUBRUTINAS SECUNDARIA - RUTINA DE START DEL MOTOR
// ************************************************************************************************

void rutina_start(){

  bot_start_estado = digitalRead(bot_start_pin); // Lectura del estado del boton Start / Stop

  // Condicion de discriminacion de estado del boton Start / Stop
  if (bot_start_estado == HIGH) {
    flag_start_stop = 1; // FBSS = 1

    // Mensaje de arranque del motor
    LCD.clear();
    LCD.setCursor(11,0);
    LCD.print("E:");
    LCD.setCursor(13,0);
    LCD.print("ON");
    LCD.setCursor(15,0);
    LCD.print("   ");

    delay(1000); // Tiempo de receso 1000ms
  }

  // Mensaje de estado de los flags FBHA y FBSS
  Serial.print("Flag start / stop: ");
  Serial.println(flag_start_stop);
  Serial.print("Flag Antihorario / horario: ");
  Serial.println(flag_ahor);
}
```


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

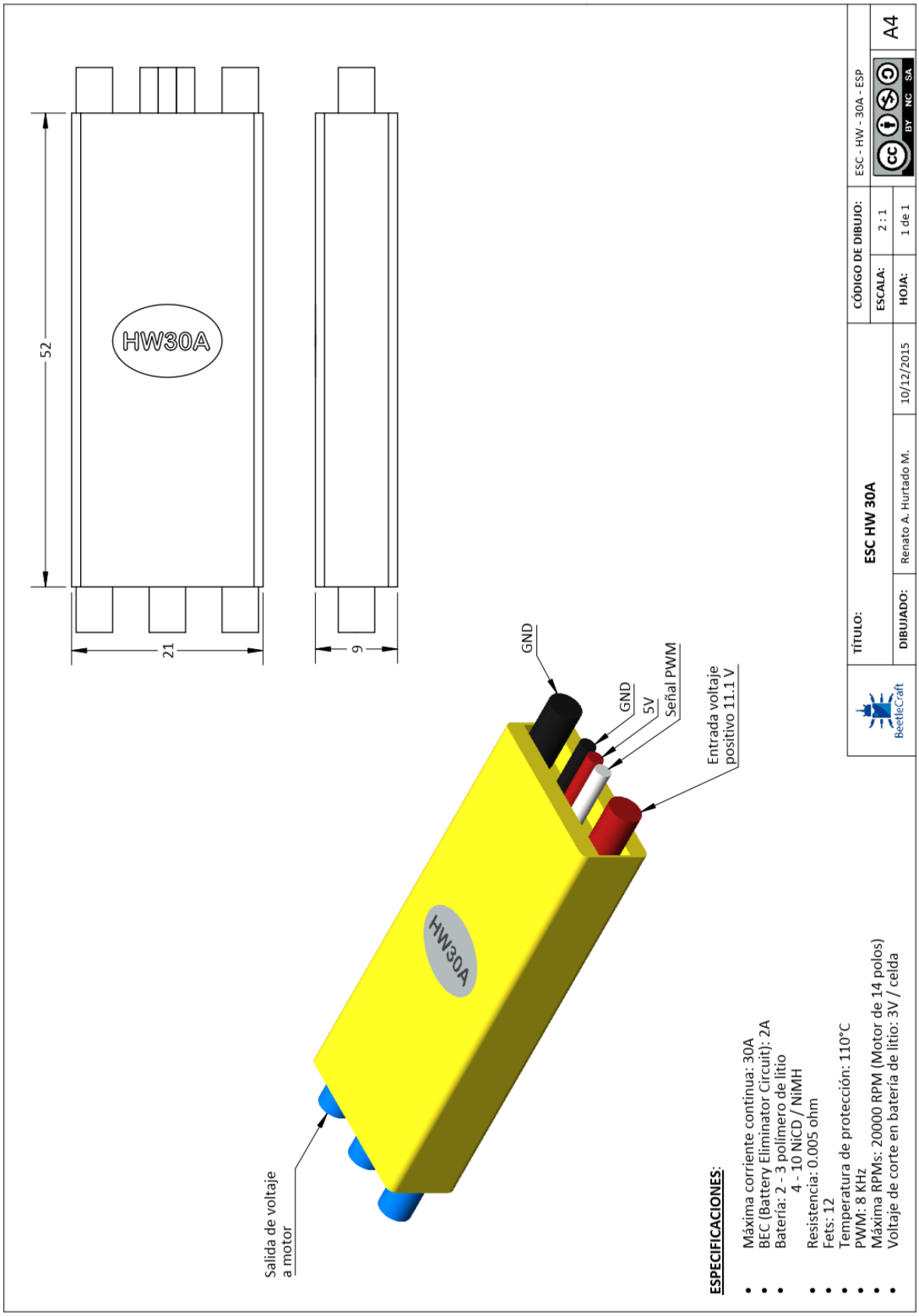
ANEXO N° 6: Sensores y actuadores



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

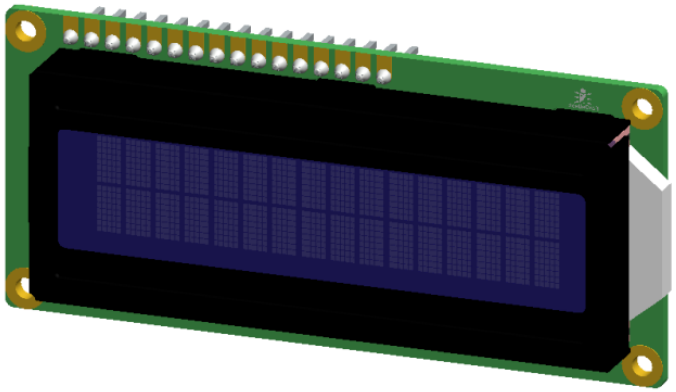
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

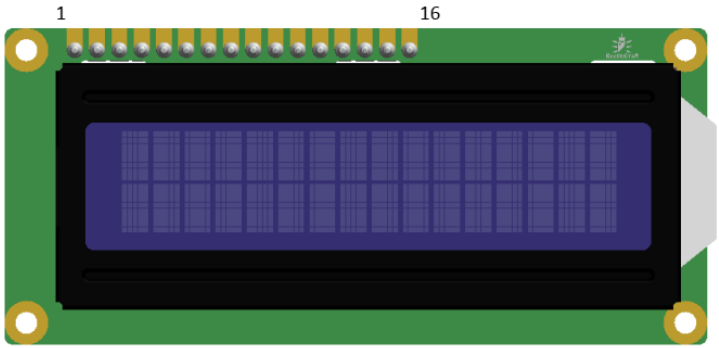
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

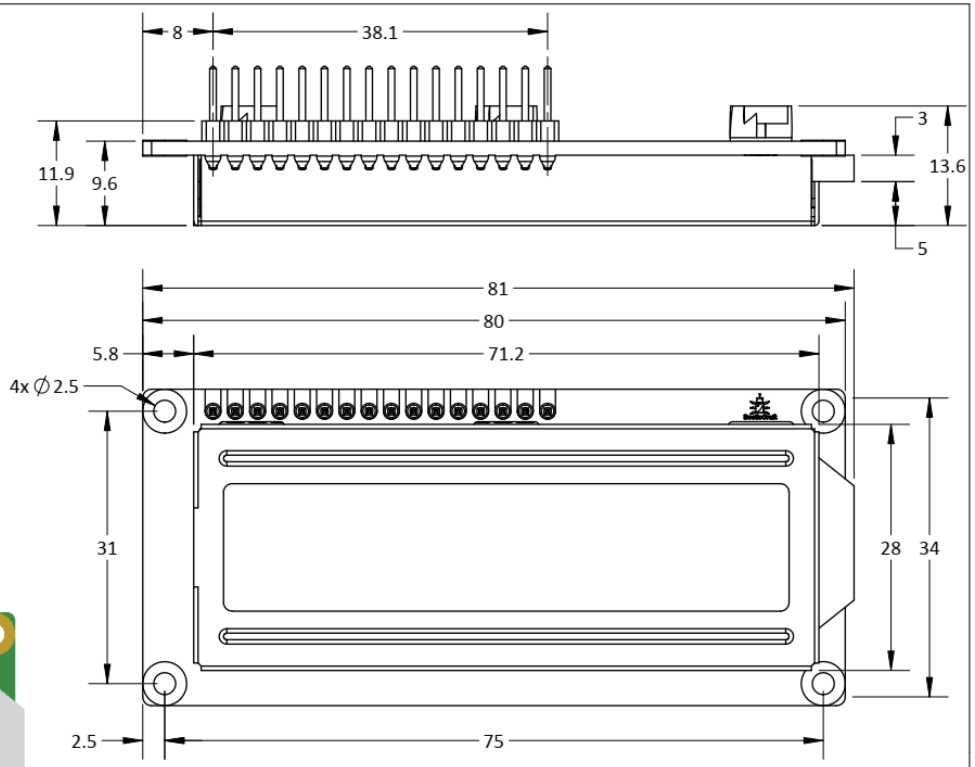


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis







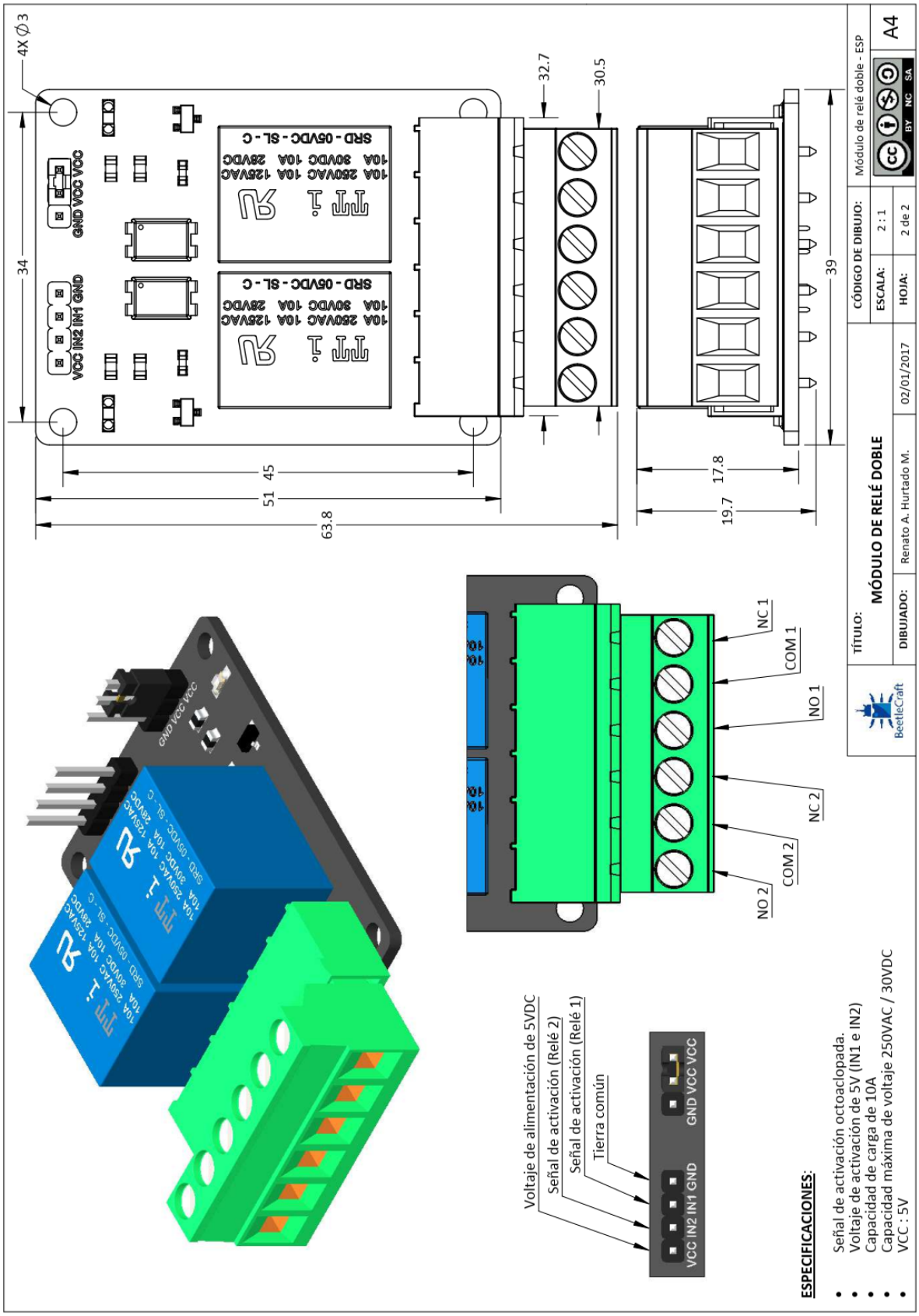
PIN	NOMBRE	FUNCIÓN	PIN	NOMBRE	FUNCIÓN
1	VSS	0V	9	DB2	Bus de datos (8 bits)
2	VDD	5V	10	DB3	Bus de datos (8 bits)
3	V0	Voltaje de constraste	11	DB4	Bus de datos (4 bits)
4	RS	Selección de registro	12	DB5	Bus de datos (4 bits)
5	R/W	Leer / escribir	13	DB6	Bus de datos (4 bits)
6	E	Habilitar señal	14	DB7	Bus de datos (4 bits)
7	DB0	Bus de datos (8 bits)	15	BLA	Backligth 5V
8	DB1	Bus de datos (8 bits)	16	BLK	Backligth 0V

ESPECIFICACIONES:

- Voltaje de alimentación: 5V (máx. 5.5V)
- Caracteres: 16 (2 líneas)
- Consumo: 18mA
- Potenciómetro para contraste 10kohm - 20kohm

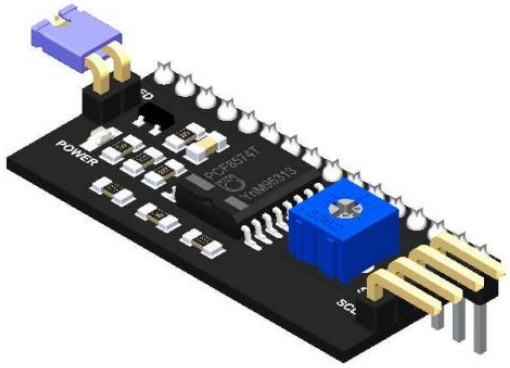
BeetleCraft	TÍTULO	LCD 16 x 2		CÓDIGO DE DIBUJO	LCD 16 x 2 - ESP	
				ESCALA	3 : 2	A4
	DIBUJADO	Renato A. Hurtado M.	23/01/2017	HOJA	1 de 1	

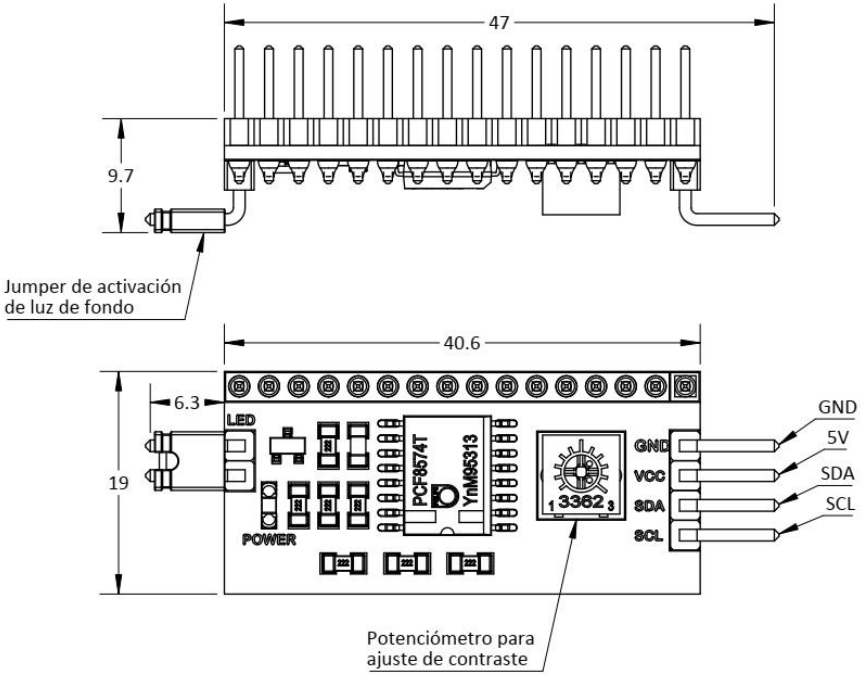
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

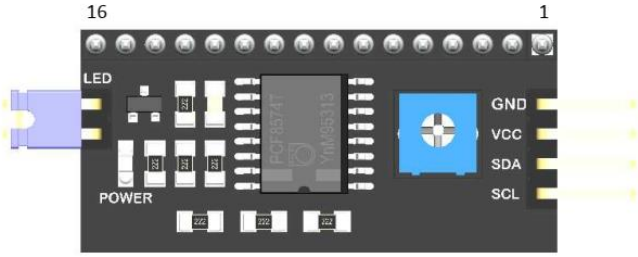


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis







ESPECIFICACIONES:

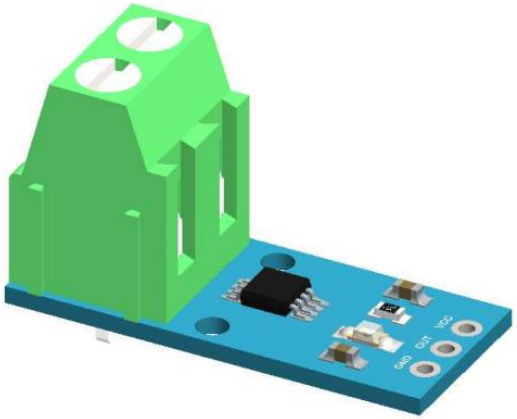
- Voltaje de alimentación: 5V (máx. 5.5V)
- Caracteres: 16 (2 líneas)
- Controlador: PCF8574
- Dirección I2C: 0x3F (También 0x27)
- Comunicación: Protocolo I2C

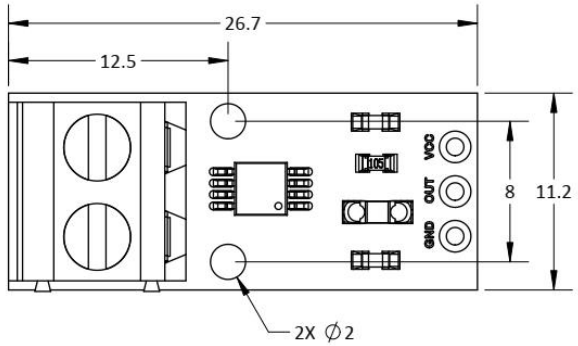
PIN	NOMBRE	FUNCIÓN	PIN	NOMBRE	FUNCIÓN
1	VSS	0V	9	DB2	Bus de datos (8 bits)
2	VDD	5V	10	DB3	Bus de datos (8 bits)
3	V0	Voltaje de constraste	11	DB4	Bus de datos (4 bits)
4	RS	Selección de registro	12	DB5	Bus de datos (4 bits)
5	R/W	Leer / escribir	13	DB6	Bus de datos (4 bits)
6	E	Habilitar señal	14	DB7	Bus de datos (4 bits)
7	DB0	Bus de datos (8 bits)	15	BLA	Backligth 5V
8	DB1	Bus de datos (8 bits)	16	BLK	Backligth 0V

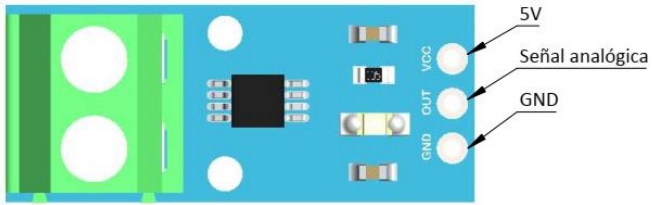
BeetleCraft	TÍTULO	LCD 16 x 2 - CONTROLADOR I2C		CÓDIGO DE DIBUJO	LCD 16 x 2 I2C - ESP	
				ESCALA	2 : 1	A4
	DIBUJADO	Renato A. Hurtado M.	01/11/2019	HOJA	1 de 1	

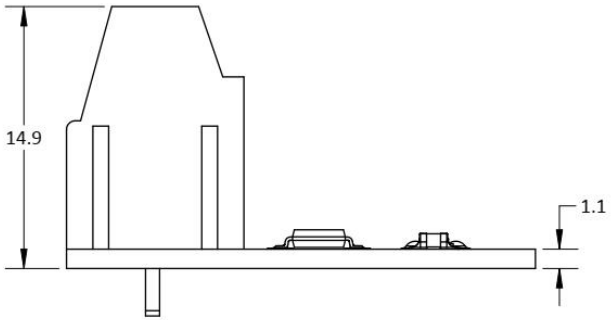
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis









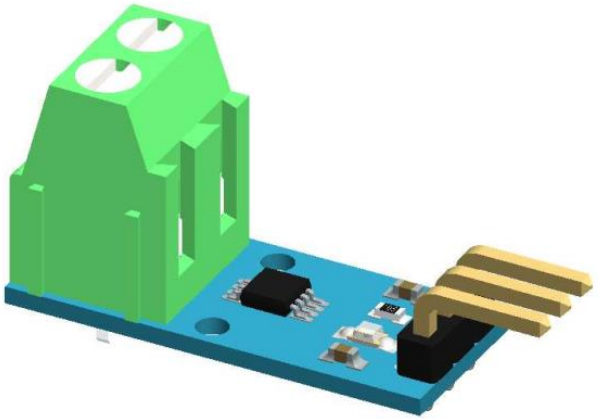
ESPECIFICACIONES:

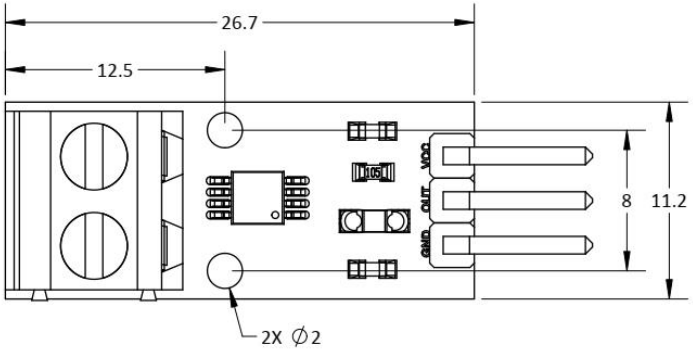
- Voltaje de alimentación : 5 VDC
- Rango de lectura :
  - # ACS712ELCTR-05B-T : -5 a 5 A
  - # ACS712ELCTR-20A-T : -20 a 20 A
  - # ACS712ELCTR-30A-T : -30 a 30 A
- Resolución de lectura :
  - # ACS712ELCTR-05B-T : 185 mV/A
  - # ACS712ELCTR-20A-T : 100 mV/A
  - # ACS712ELCTR-30A-T : 66 mV/A
- Offset de lectura : 2.5 V

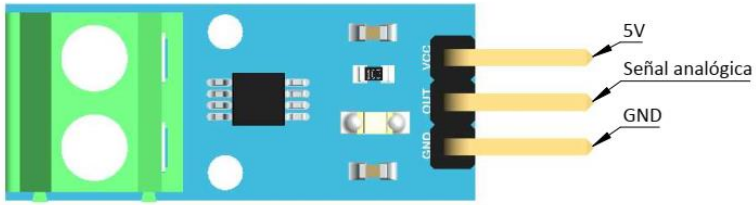
BeetleCraft	TÍTULO	ACS712		CÓDIGO DE DIBUJO	ACS712 - ESP	
				ESCALA	3 : 1	A4
	DIBUJADO	Renato A. Hurtado M.	12/11/2019	HOJA	1 de 1	

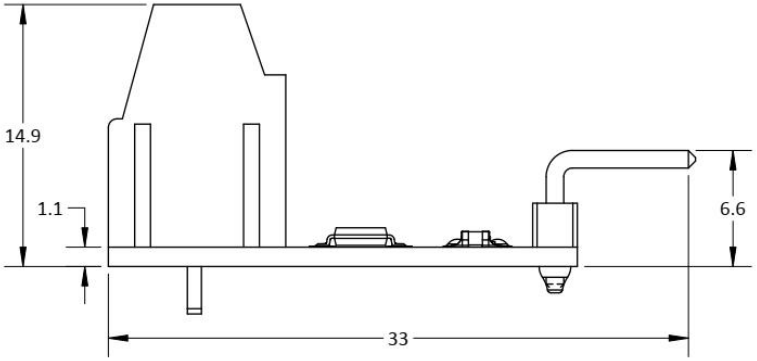
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis









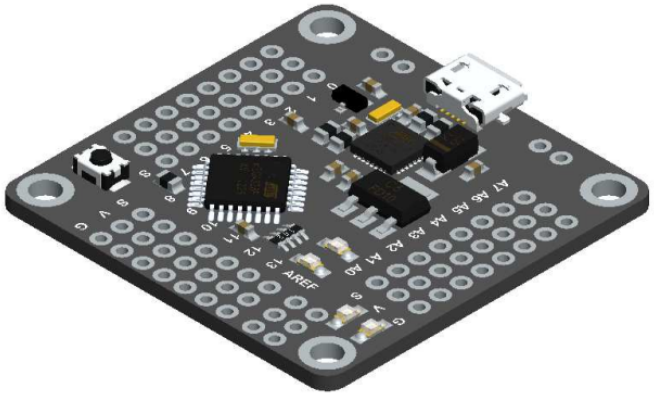
ESPECIFICACIONES:

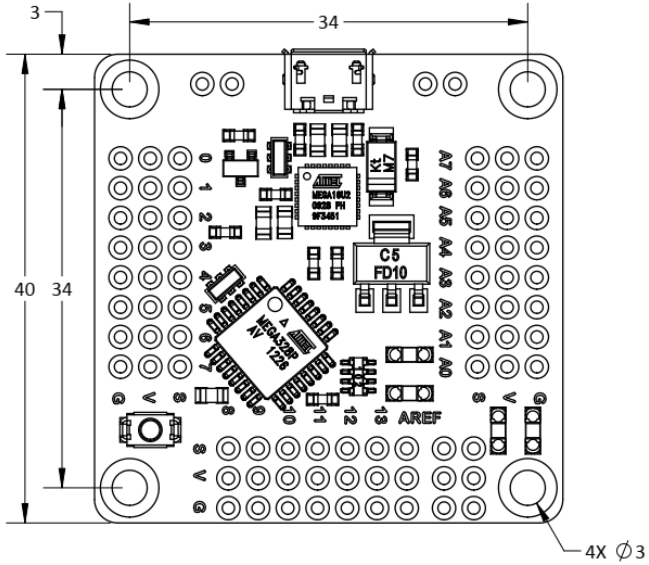
- Voltaje de alimentación : 5 VDC
- Rango de lectura :
  - # ACS712ELCTR-05B-T : -5 a 5 A
  - # ACS712ELCTR-20A-T : -20 a 20 A
  - # ACS712ELCTR-30A-T : -30 a 30 A
- Resolución de lectura :
  - # ACS712ELCTR-05B-T : 185 mV/A
  - # ACS712ELCTR-20A-T : 100 mV/A
  - # ACS712ELCTR-30A-T : 66 mV/A
- Offset de lectura : 2.5 V

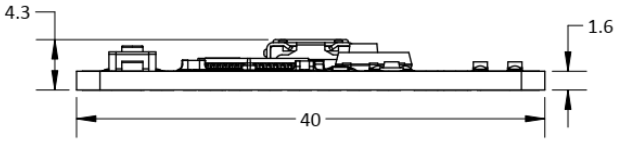
BeetleCraft	TÍTULO	ACS712		CÓDIGO DE DIBUJO	ACS712 - ESP	
				ESCALA	3 : 1	A4
	DIBUJADO	Renato A. Hurtado M.	12/11/2019	HOJA	1 de 1	

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis







ESPECIFICACIONES:

- Microntrolador Atmega 328.
- Velocidad del reloj de 16MHz.
- Voltaje de trabajo de 5V.
- Voltaje de alimentación externo de 7 - 18V (Límite de 6 - 20V).
- 14 salidas / entradas digitales.
- 6 salidas con PWM.
- 6 entradas analógicas.
- 32 KB de memoria Flash.
- 2 KB de memoria SRAM.
- 1 KB de EEPROM.

Recomendaciones:

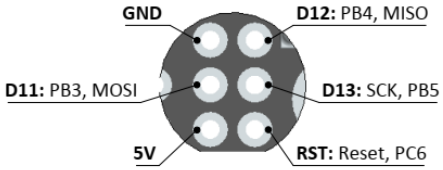
- Corriente máxima por puerto no debe de exceder los 100mA.
- Corriente máxima absoluta por pin de 40mA, recomendable sólo 20mA.
- Corriente máxima del paquete entero de 200mA.

BeetleCraft	TÍTULO	ARDUINO MINI STRONG - DM		CÓDIGO DE DIBUJO		Arduino mini strong - ESP
				ESCALA	2 : 1	A4
	DIBUJADO	Renato A. Hurtado M.	11/10/2019	HOJA	1 de 2	

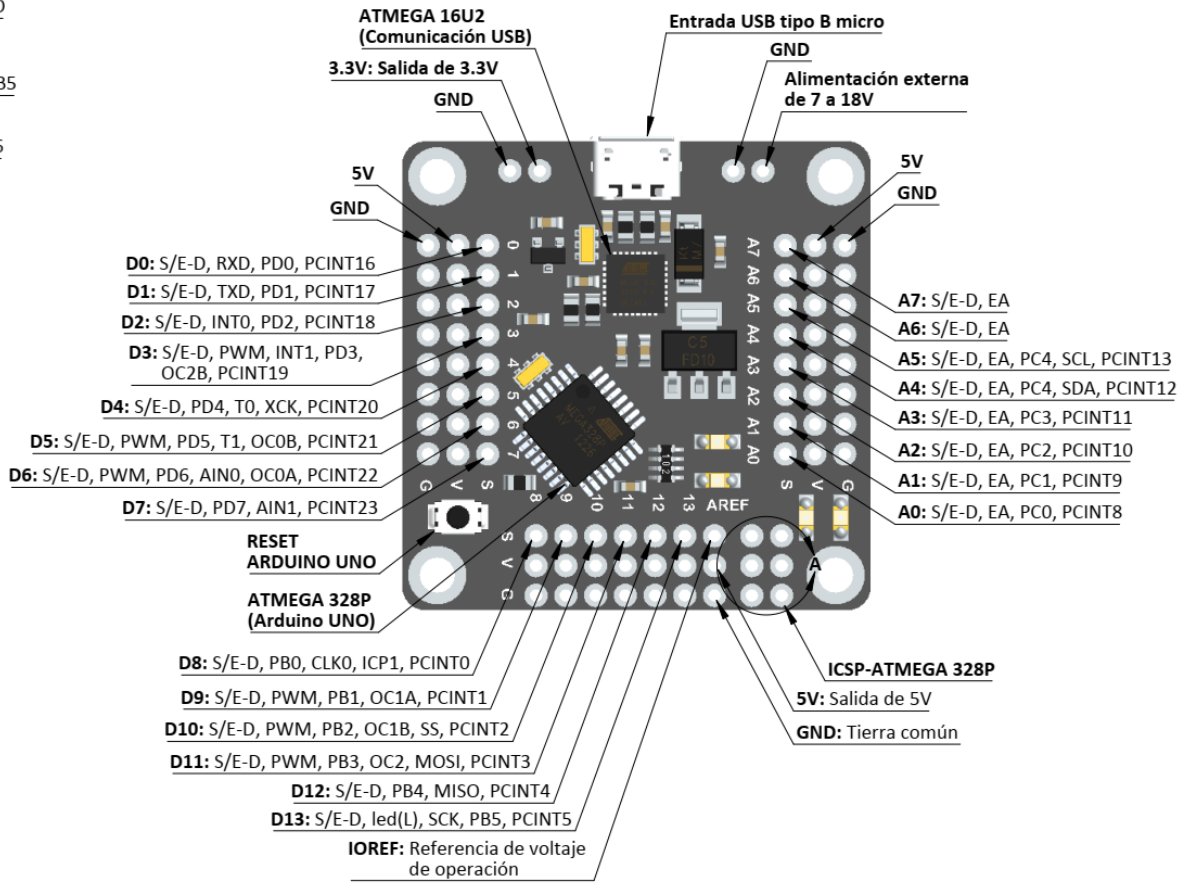
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM



Detalle A
Escala 3 : 1
(ICSP - ATMEGA 328P)



ESPECIFICACIONES:

- Microntrolador Atmega 328.
- Velocidad del reloj de 16MHz.
- Voltaje de trabajo de 5V.
- Voltaje de alimentación externo de 7 - 18V (Límite de 6 - 20V)
- 14 salidas / entradas digitales.
- 6 salidas con PWM.
- 6 entradas analógicas.
- 32 KB de memoria Flash.
- 2 KB de memoria SRAM.
- 1 KB de EEPROM.

S/E-D: Salida / entrada digital
EA: Entrada analógica

IOREF: Voltaje de referencia de operación del microcontrolador para seleccionar el voltaje adecuado.
3.3V: Brinda un voltaje de salida de 3.3V a 50 mA

Recomendaciones:
- Corriente máxima por puerto no debe de exceder los 100mA.
- Corriente máxima absoluta por pin de 40mA, recomendable sólo 20mA.
- Corriente máxima del paquete entero de 200mA.

BeetleCraft	TÍTULO	ARDUINO MINI STRONG - DM		CÓDIGO DE DIBUJO		Arduino mini strong - ESP
				ESCALA	2 : 1	A4
	DIBUJADO	Renato A. Hurtado M.	11/10/2019	HOJA	2 de 2	

CC BY NC SA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

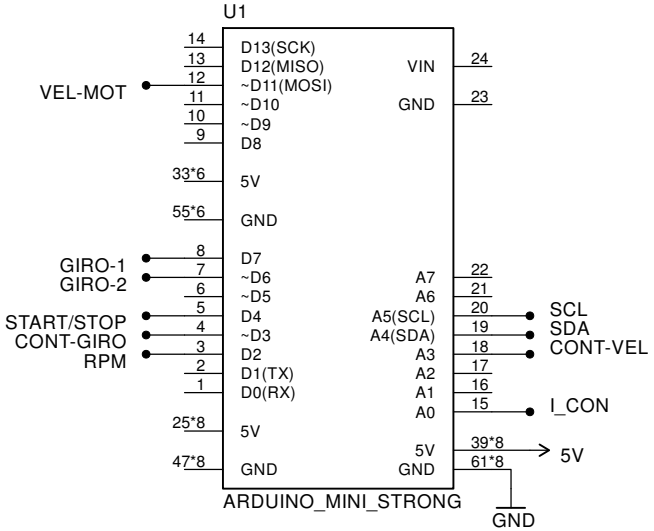
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

PLANOS

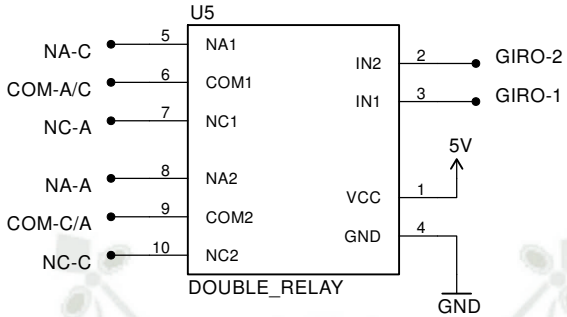
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

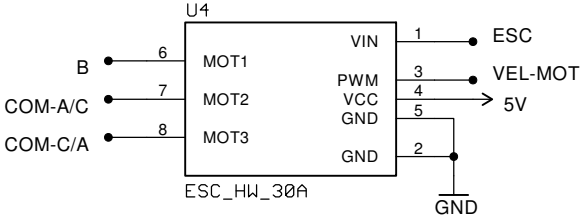
CONTROLADOR PRINCIPAL



Microntrolador : Atmega 328.
Velocidad del reloj : 16MHz.
Voltaje de trabajo : 5V.
Corriente máxima absoluta por pin : 20mA a 40mA

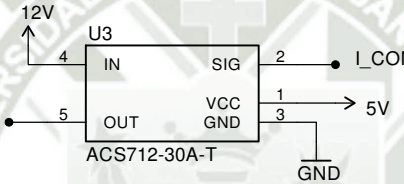
ACTUADORES

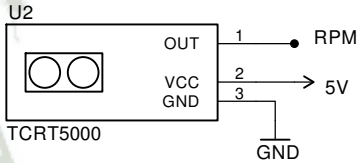




VEL-MOT: Control de velocidad de motor por PWM
NC-A / NA-A: Conectar a devanado A
NA-C / NC-C: Conectar a devanado C
GIRO-1: Control de giro 1
GIRO-2: Control de giro 2

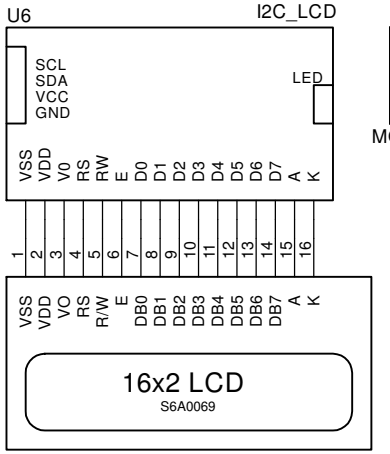
SENSORES

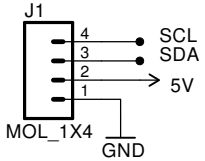


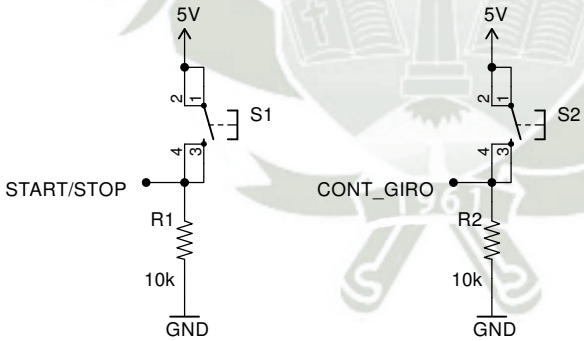


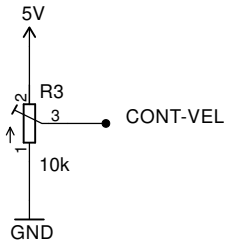
RPM: Medición de giro del motor en RPM
I_CON: Medición de corriente de consumo de motor

INTERFAZ HMI



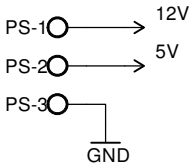






START/STOP: Botón de acción de encendido y parada
CONT-GIRO: Botón de control de giro horario y antihorario
CONT-VEL: Potenciómetro de control de giro del motor
I2C_LCD: Interfaz de control por pantalla LCD 16x2 con comunicación I2C

ALIMENTACIÓN DE PODER



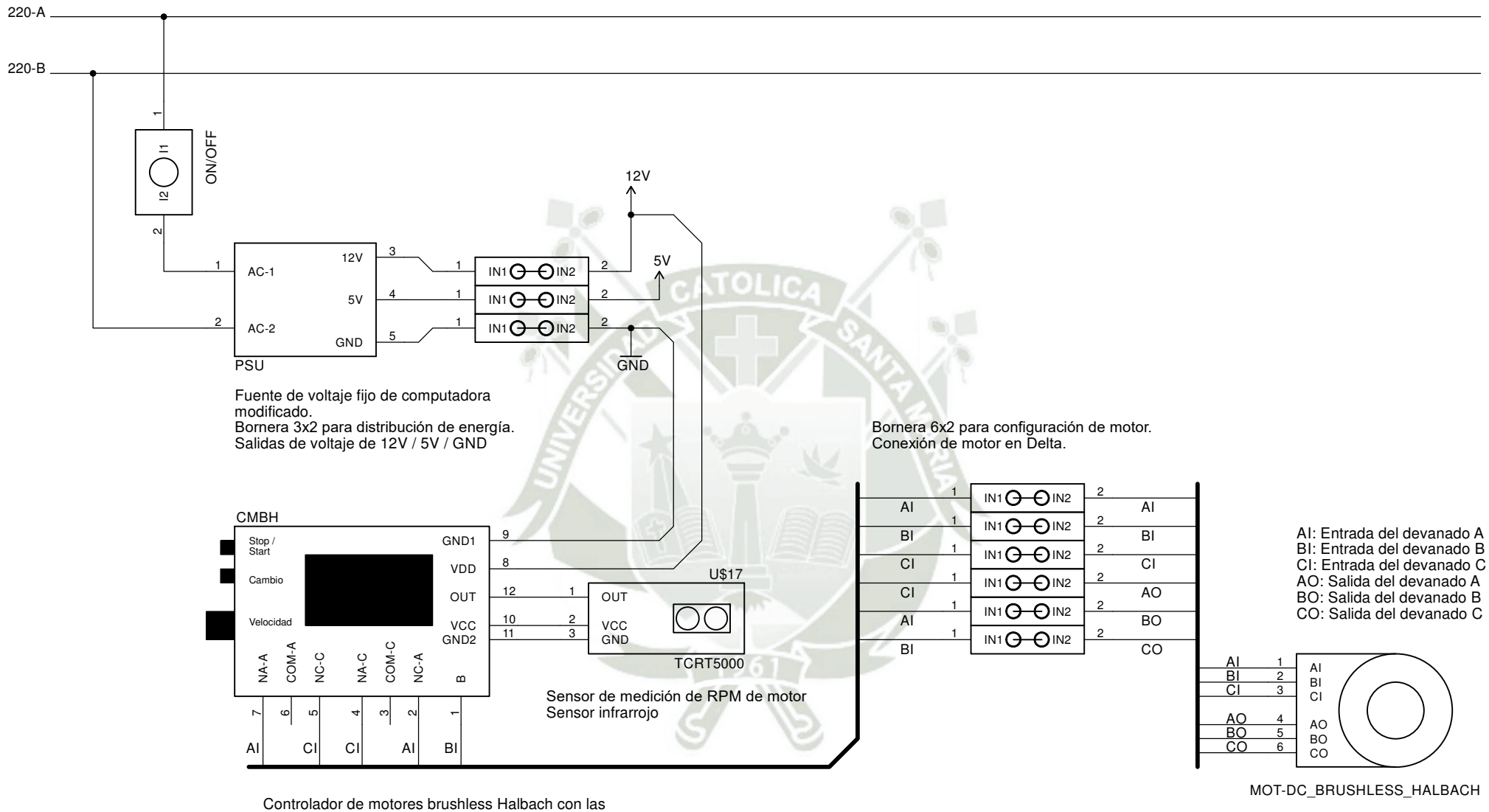
12v: Aliemtnación de voltaje de 12V
5V: Alimentación de voltaje de 5V
GND: Tierra común

MONTAJE

H1 MOUNT_HOLE_3.0
H2 MOUNT_HOLE_3.0
H3 MOUNT_HOLE_3.0
H4 MOUNT_HOLE_3.0

Dimensiones generales: 70 x 90 mm

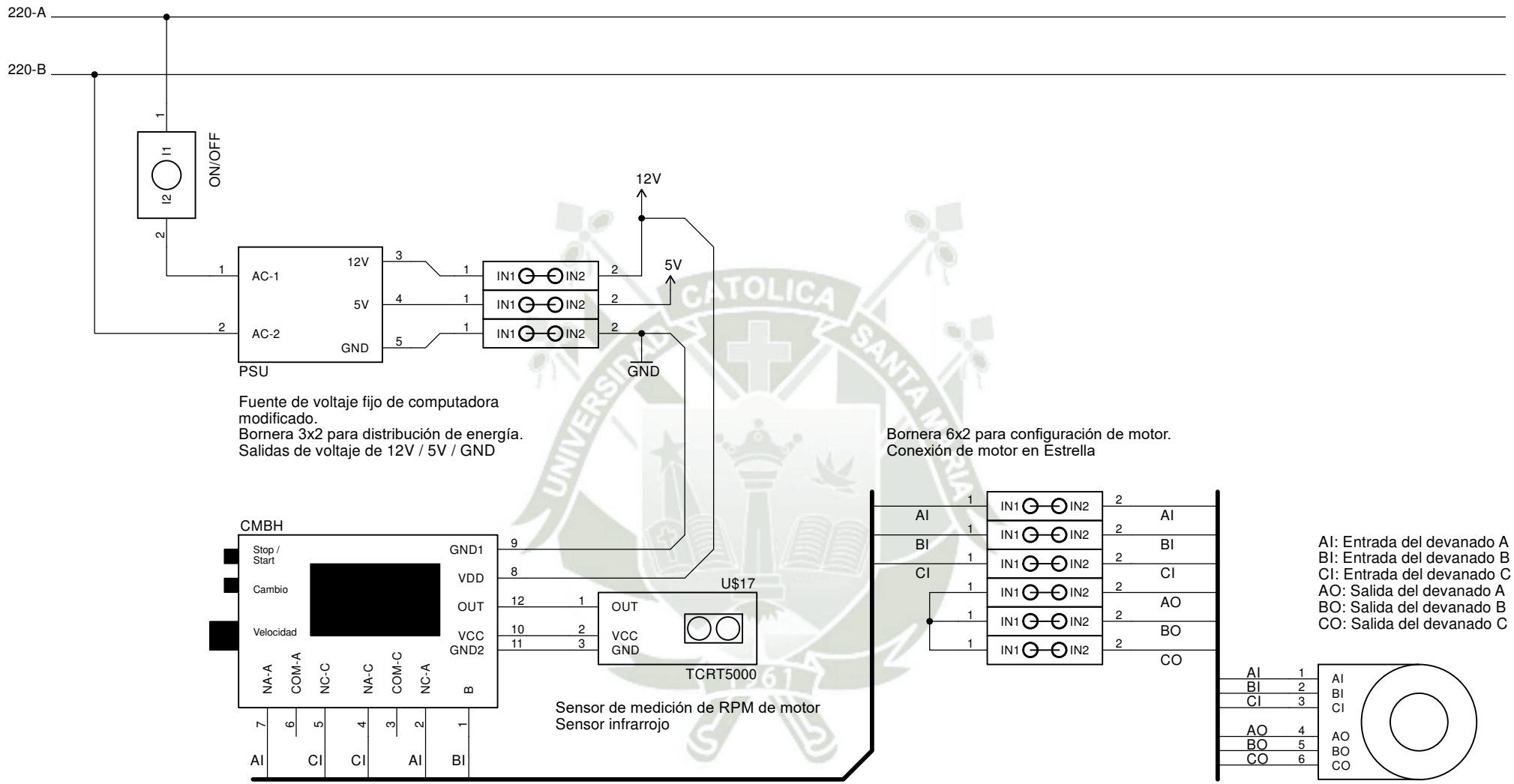
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	PLANO CONTROLADOR PARA MOTOR BRUSHLESS HALBACH	NOMBRE		FECHA	CODIGO DE DIBUJO: CMBH - CE0001	REVISION: 1.0
		DISEÑADO	Eduardo Martín Pilco Lazarte	Marzo 2020		
	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos.	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C.	Abril 2020	No escale el dibujo	A4
		REVISION	Eduardo Martín Pilco Lazarte	Abril 2020	HOJA: 1 de 1	



Controlador de motores brushless Halbach con las siguientes características:

* Control de motores brushless Halbach
* Control de velocidad / cambio de giro / medición de parámetros / HMI

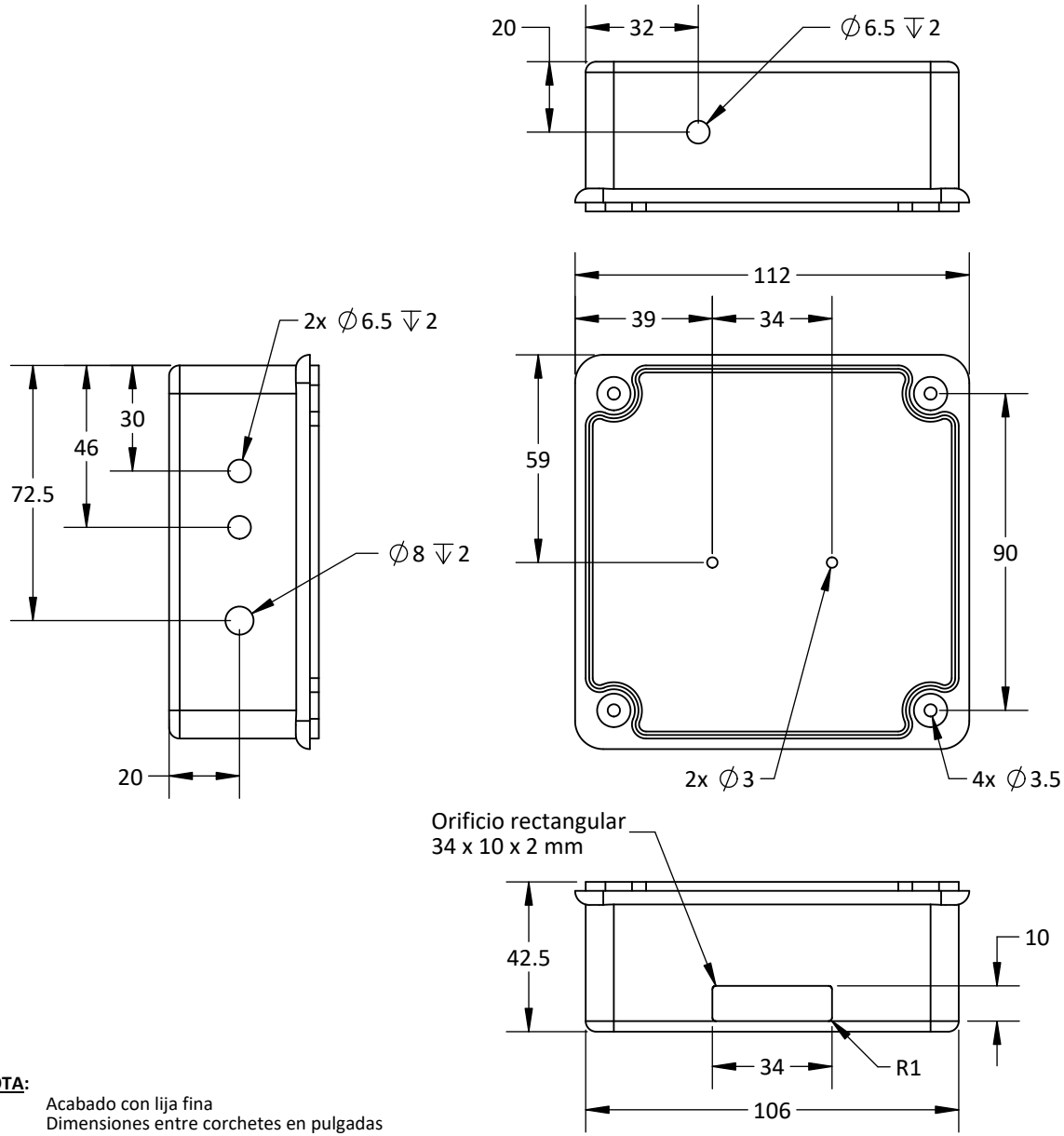
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA	PLANO	NOMBRE		FECHA	CODIGO DE DIBUJO	REVISION
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	TESTEADOR DE MOTORES BRUSHLESS HALBACH - DELTA	DISEÑADO	Eduardo Martín Pilco Lazarte	Marzo 2020	TMBH - CE0001	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos.	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C.	Abril 2020	No escale el dibujo	A4
		REVISION	Eduardo Martín Pilco Lazarte	Abril 2020	HOJA 1 de 2	

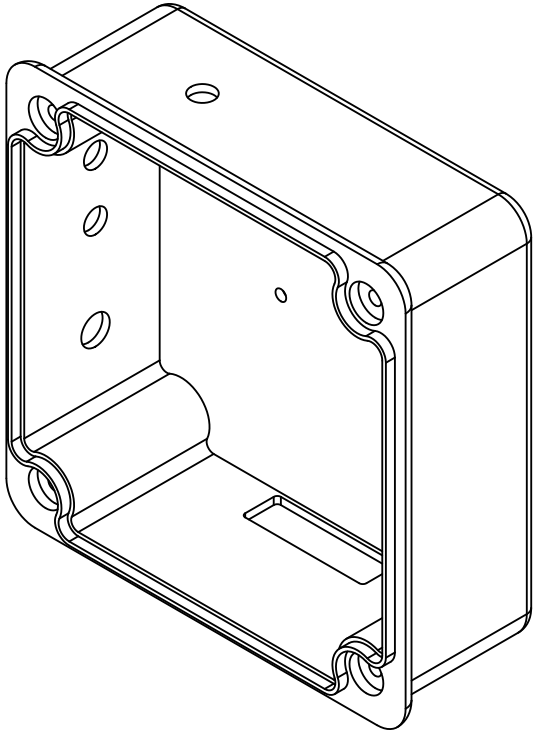


Controlador de motores brushless Halbach con las siguientes características:

* Control de motores brushless Halbach
* Control de velocidad / cambio de giro / medición de parámetros / HMI

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA	PLANO	NOMBRE		FECHA	CODIGO DE DIBUJO	REVISION
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	TESTEADOR DE MOTORES BRUSHLESS HALBACH - ESTRELLA	DISEÑADO	Eduardo Martín Pilco Lazarte	Marzo 2020	TMBH - CE0001	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos.	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C.	Abril 2020	No escale el dibujo	A4
		REVISION	Eduardo Martín Pilco Lazarte	Abril 2020	HOJA 2 de 2	



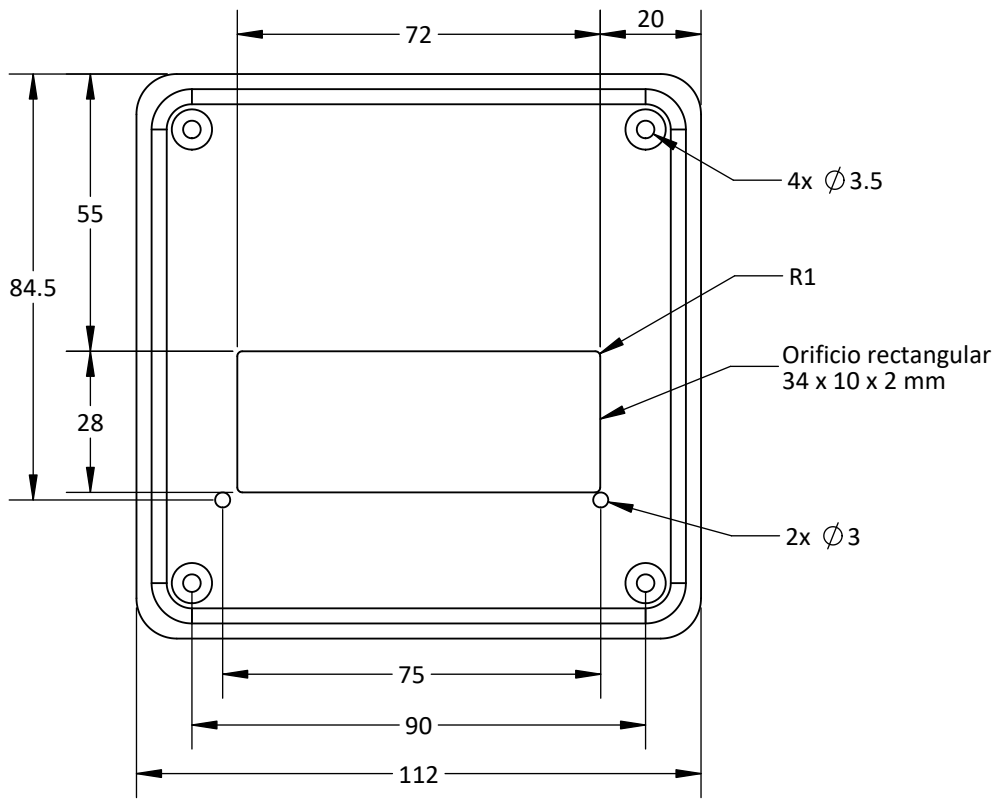


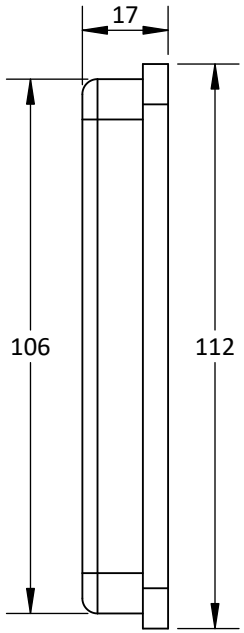
ESCALA 2 : 3

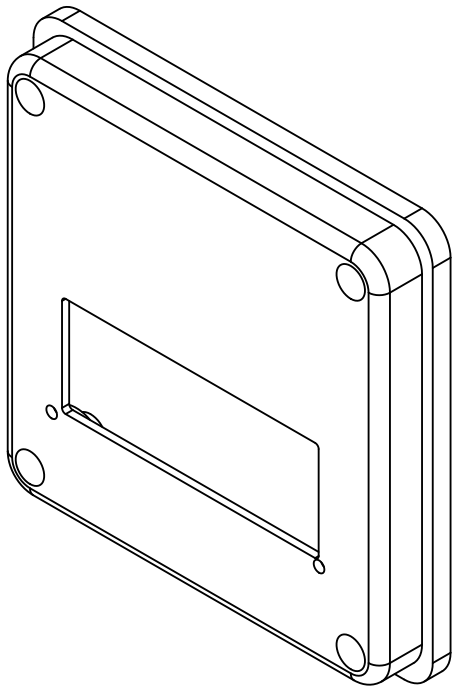
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	CMBH - PM0001	**ACABADO**	Rebarbar y romper las aristas vivas	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**SOPORTE DE CONTROLADOR - 1**	**MATERIAL**	PVC	**PESO**	104 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN**	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	1 : 2	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 1

A4

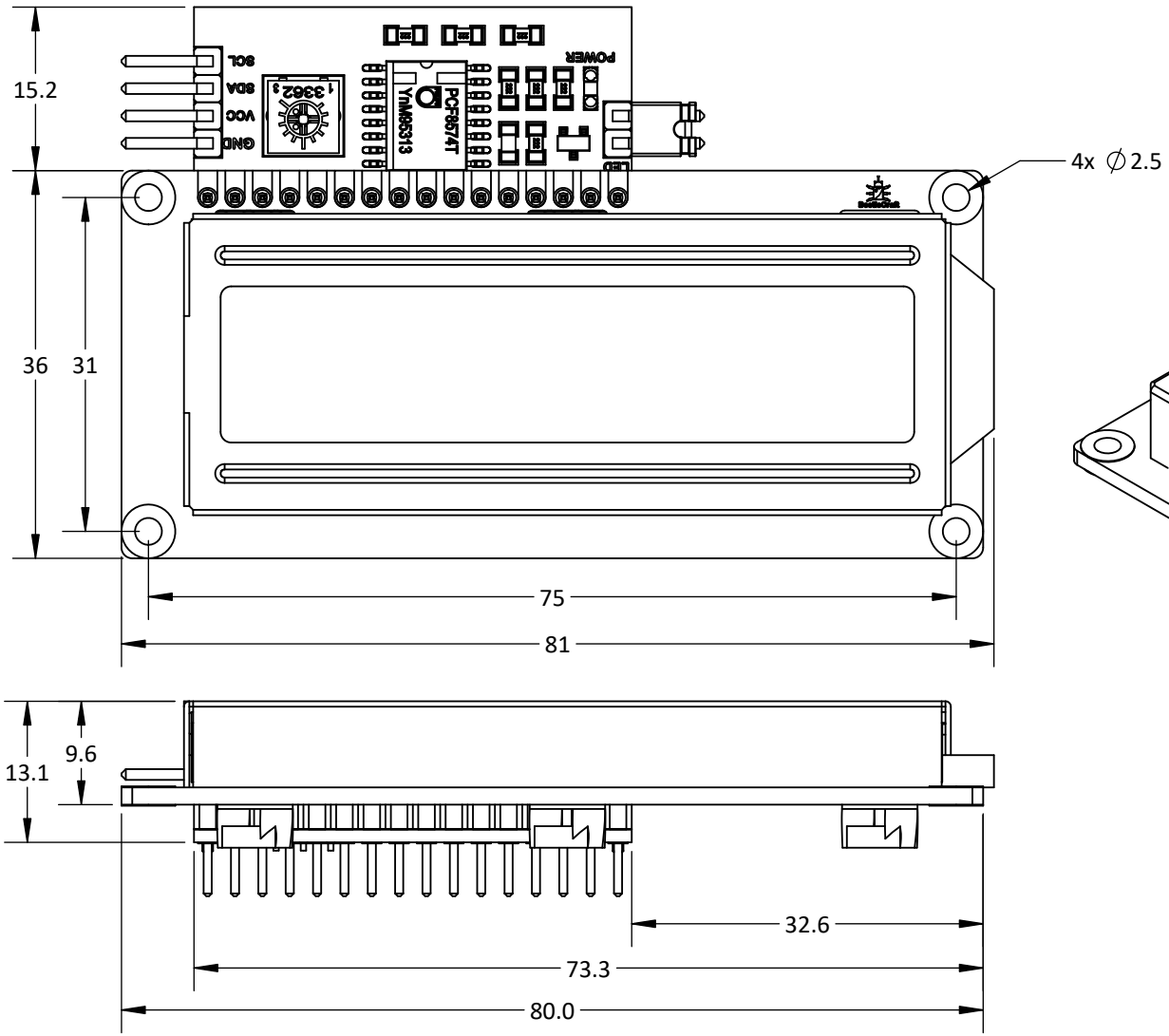


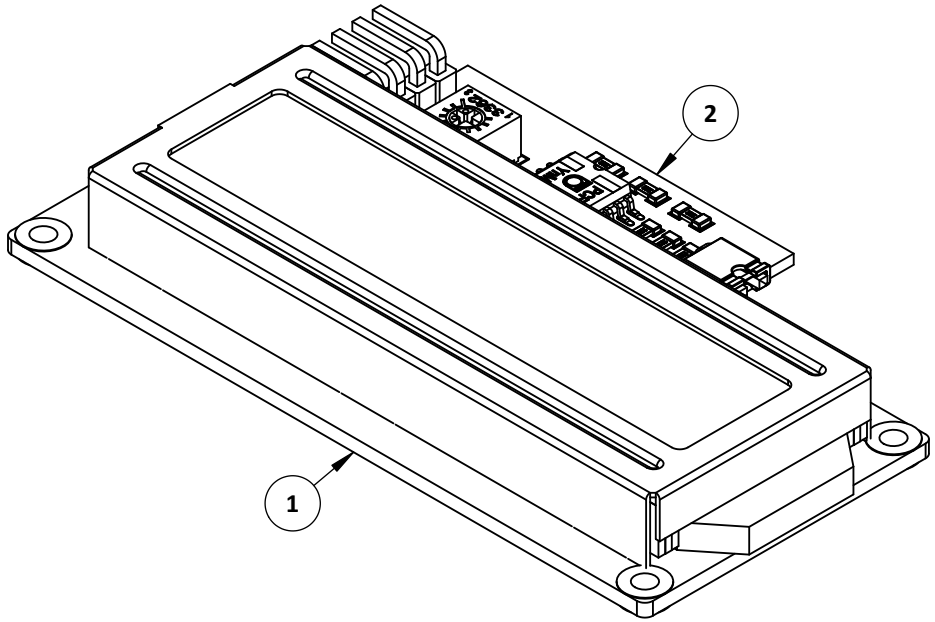




NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	CMBH - PM0002	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas		MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO	SOPORTE DE CONTROLADOR - 2	MATERIAL	PVC		PESO	47 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020						REVISIÓN	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009	A4
						ESCALA	2 : 3	No escale el dibujo	HOJA	1 de 1



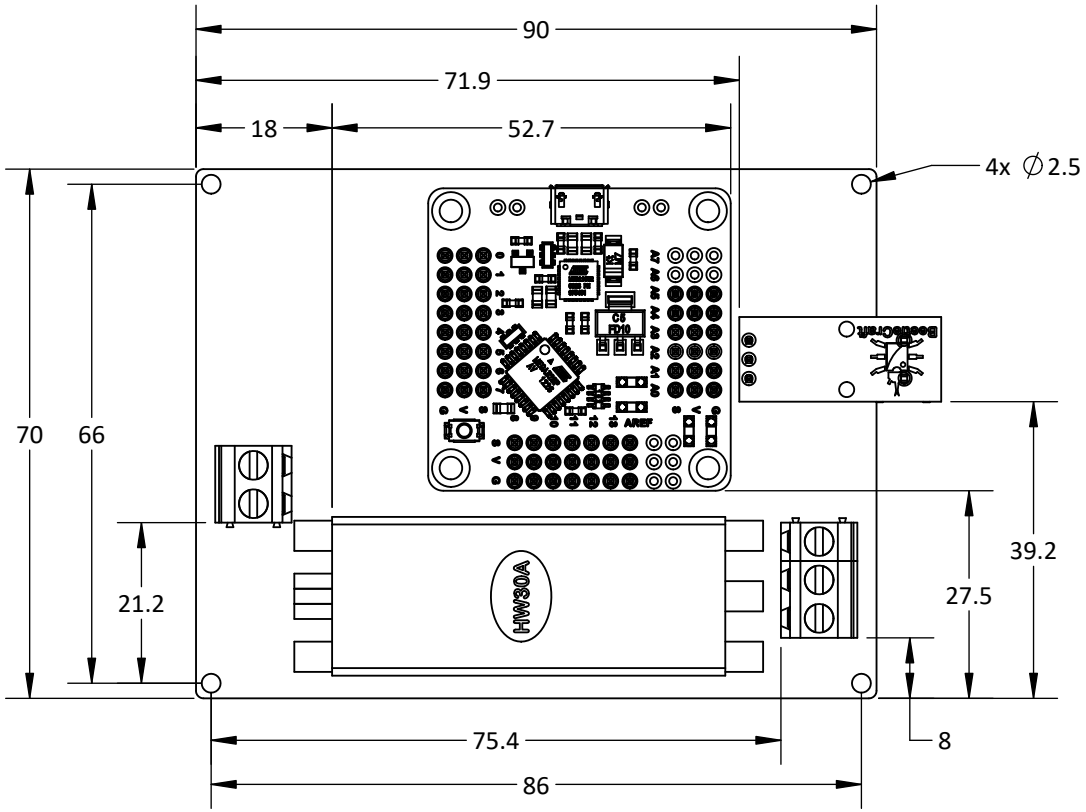


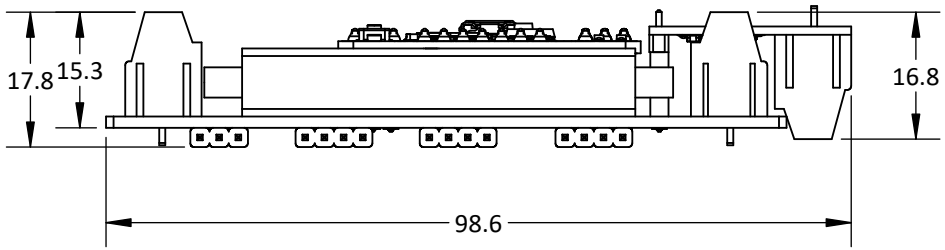
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

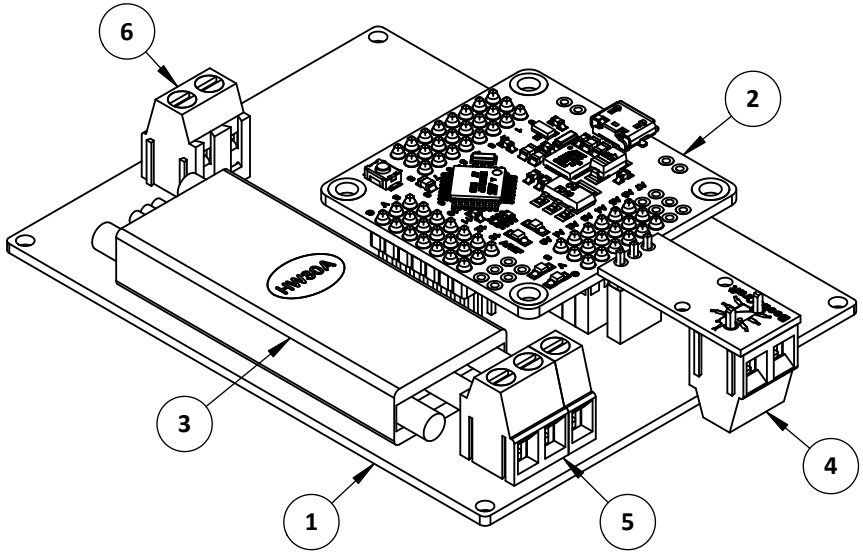
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	CANT.
1	LCD 16x2	LCD - 16x2 - ESP	1
2	Controlador I2C de LCD 16x2	LCD - 16x2 - I2C - ESP	1

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	CMBH - EE0001
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO	INTERFAZ GRÁFICA DE CONTROLADOR
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos	
	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020		

ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas			MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
MATERIAL	PCB FR4 1.6 mm			PESO	40 g
				REVISIÓN	1.0
DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009	A4	
ESCALA	3 : 2	No escale el dibujo	HOJA	1 de 1	



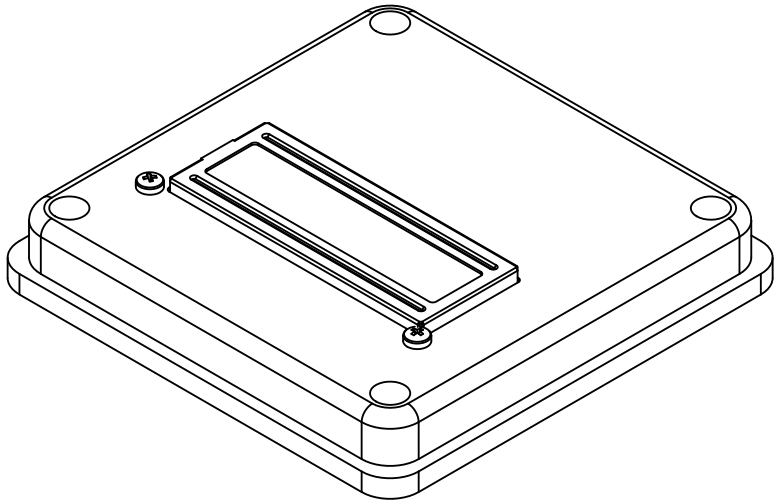


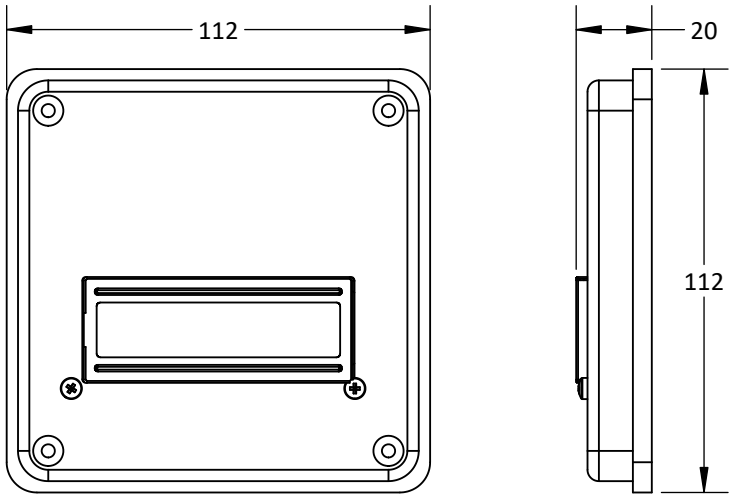


ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	CANT.
1	PCB 90 x 70 x 1.6 mm	-	1
2	Arduino mini strong	Arduino mini strong - ESP	1
3	ESC HW 30A	ESC - HW - 30A - ESP	1
4	ACS712	ACS712 - ESP	1
5	Bornera triple 5.08 mm	-	1
6	Bornera doble 5.08 mm	-	1

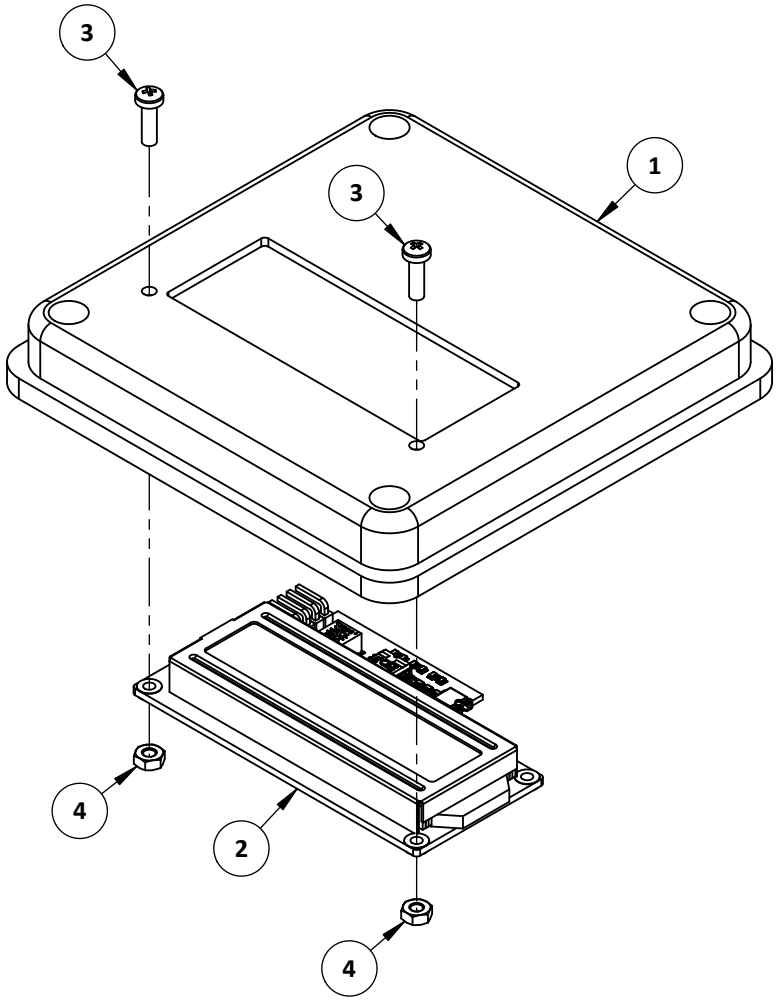
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	CMBH - EE0002	ACABADO: Rebarbar y romper las aristas vivas
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO: Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO: CONTROLADOR		MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO: Beetle Craft S.A.C	Abril 2020			MATERIAL: PCB FR4 1.6 mm; PESO: 60 g; REVISIÓN: 1.0
	REVISADO: Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		DIMENSIONES: mm; NORMA: ANSIY 14.5 - 2009; ESCALA: 1 : 1; No escale el dibujo; HOJA: 1 de 1; A4





ESCALA 1 : 2

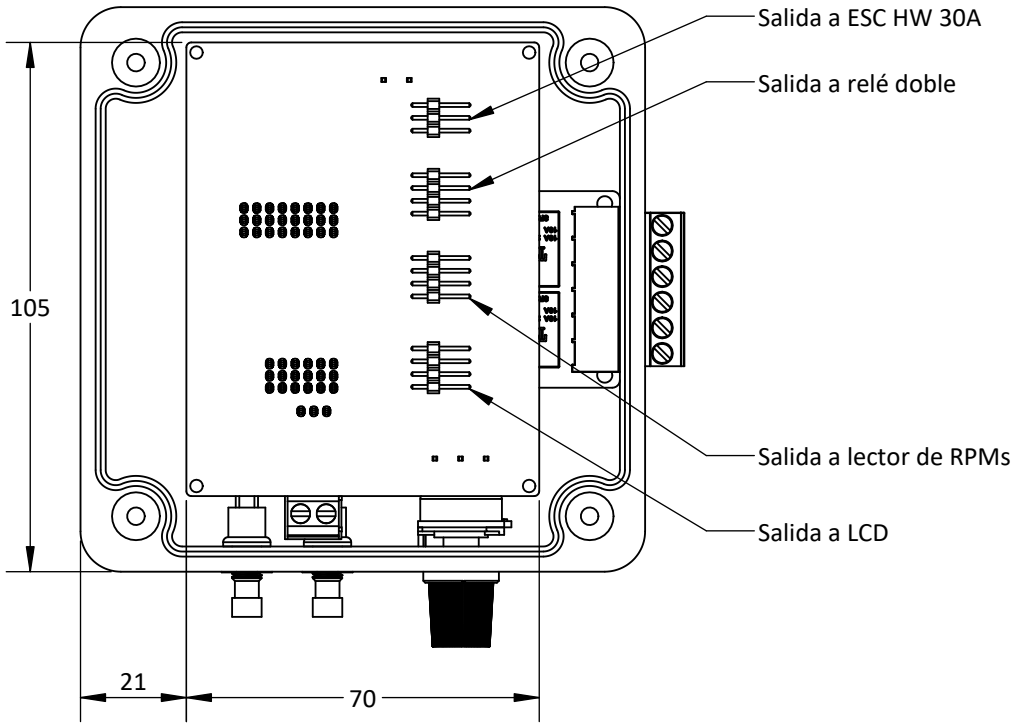


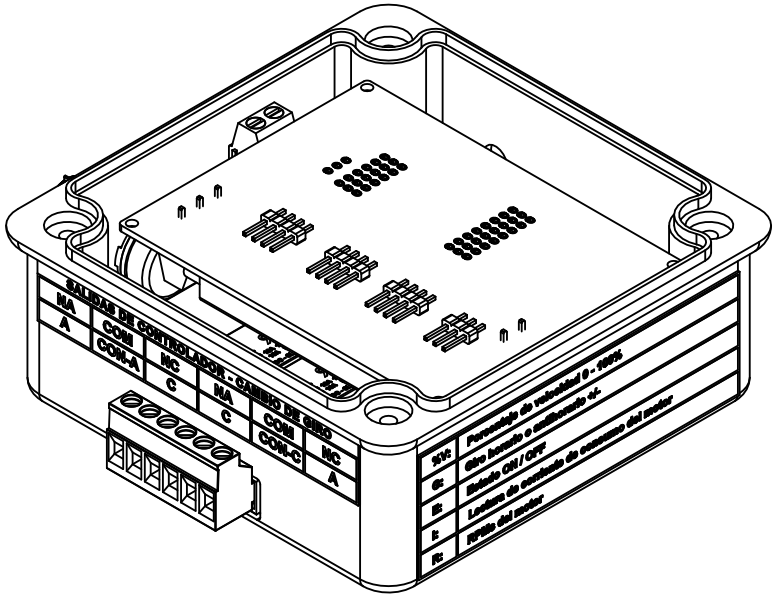
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Soporte de controlador - 2	CMBH - PM0002	PVC	47 g	1
2	Interfaz gráfica de controlador	CMBH - EE0001	PCB FR4	40 g	1
3	TORN CAB RED M3x10	-	A307	1 g	2
4	TUER HEX M3	-	A307	1 g	2

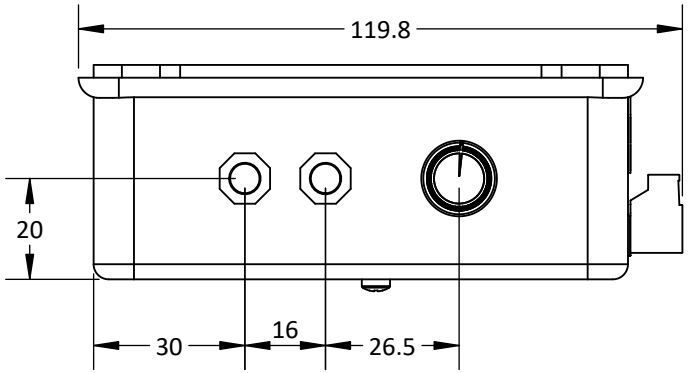
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

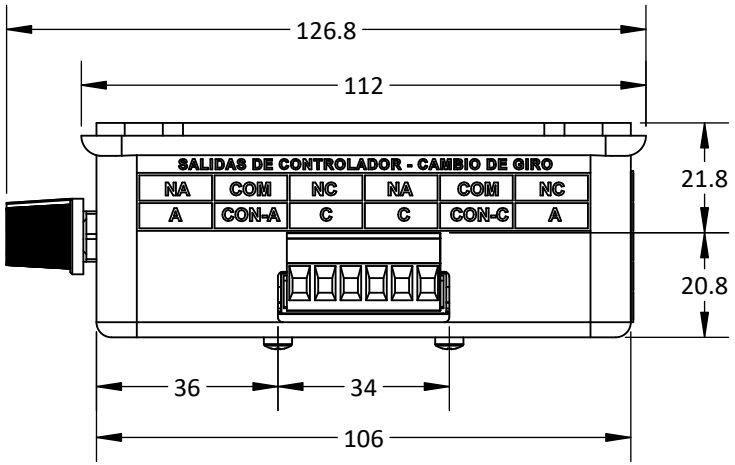
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	CMBH - EM0001
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO	CONTROLADOR - 1
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos	
	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020		

ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas			MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
MATERIAL	PVC / PCB FR4 1.6 mm			PESO	91 g
				REVISIÓN	1.0
DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009	A4	
ESCALA	2 : 3	No escale el dibujo	HOJA	1 de 1	









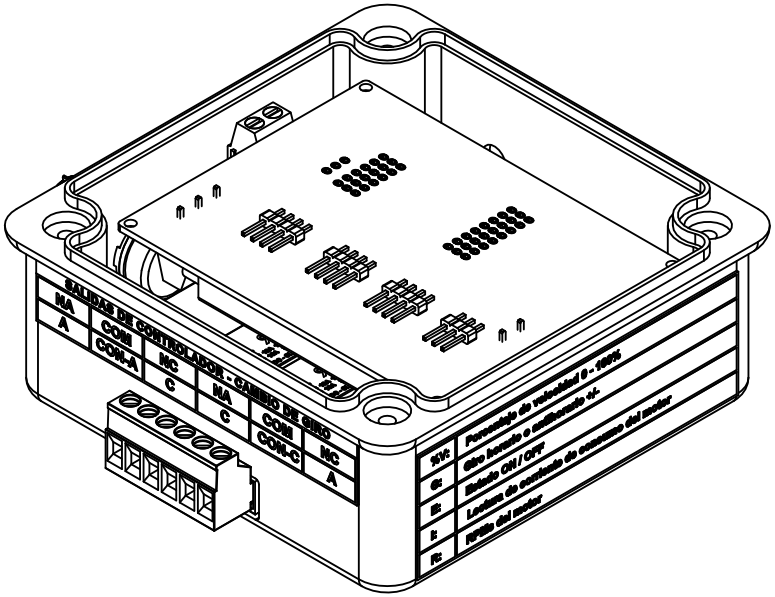
NOTA:

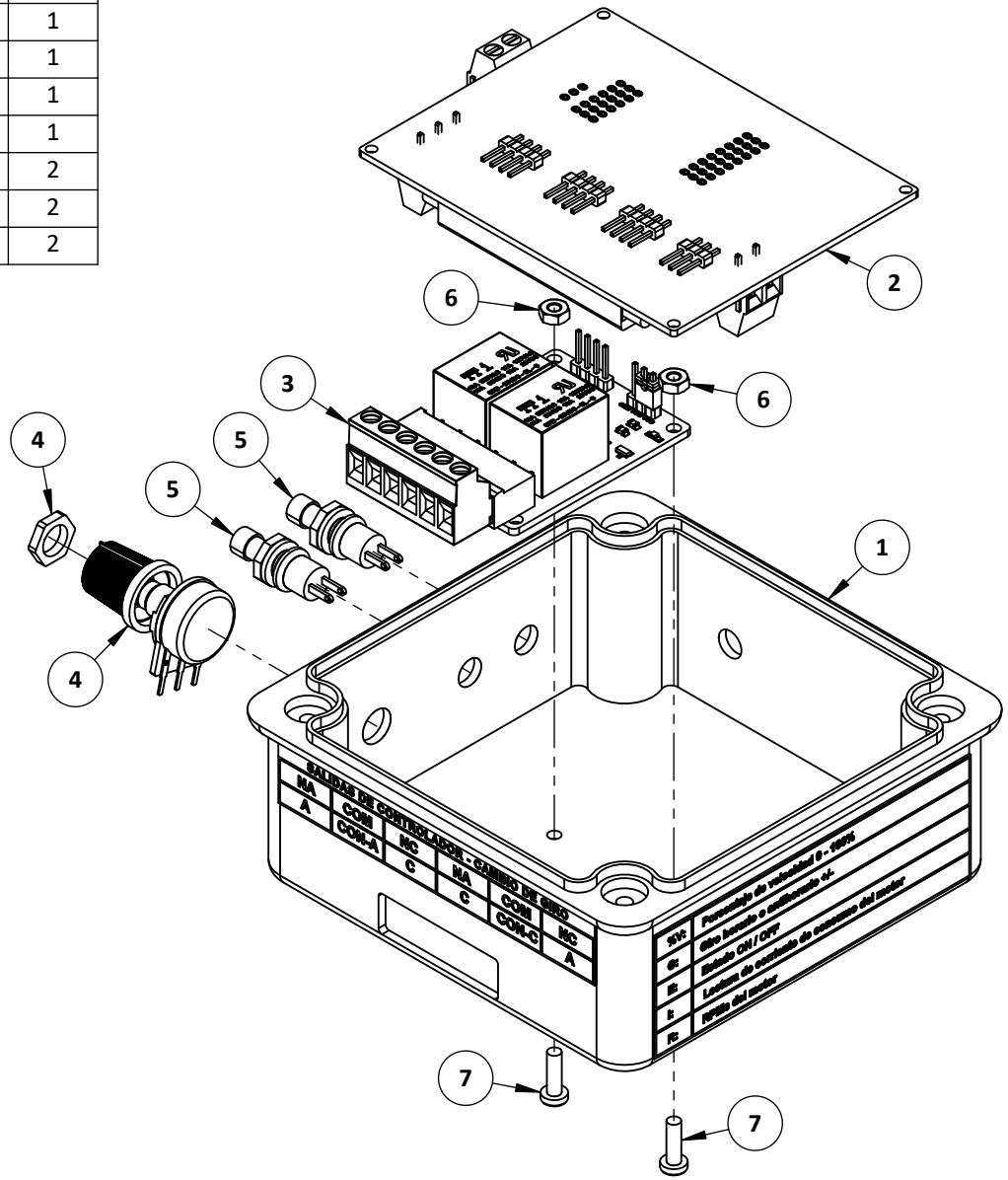
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	CMBH - EM0002	**ACABADO**	Rebarbar y romper las aristas vivas		**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**CONTROLADOR - 2**	**MATERIAL**	PVC / PCB FR4 1.6 mm	**PESO**	181 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN**	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	2 : 3	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 2

A4

ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Soporte de controlador - 1	CMBH - PM0001	PVC	104 g	1
2	Controlador	CMBH - EE0002	PCB FR4	40 g	1
3	Módulo de relé doble - ESP	Módulo de relé doble - ESP	PCB FR4	2 g	1
4	Potenciómetro	-	-	23 g	1
5	Pulsador SPST NA	-	-	4 g	2
6	TUER HEX M3	-	A307	1 g	2
7	TORN CAB RED M3x10	-	A307	1 g	2

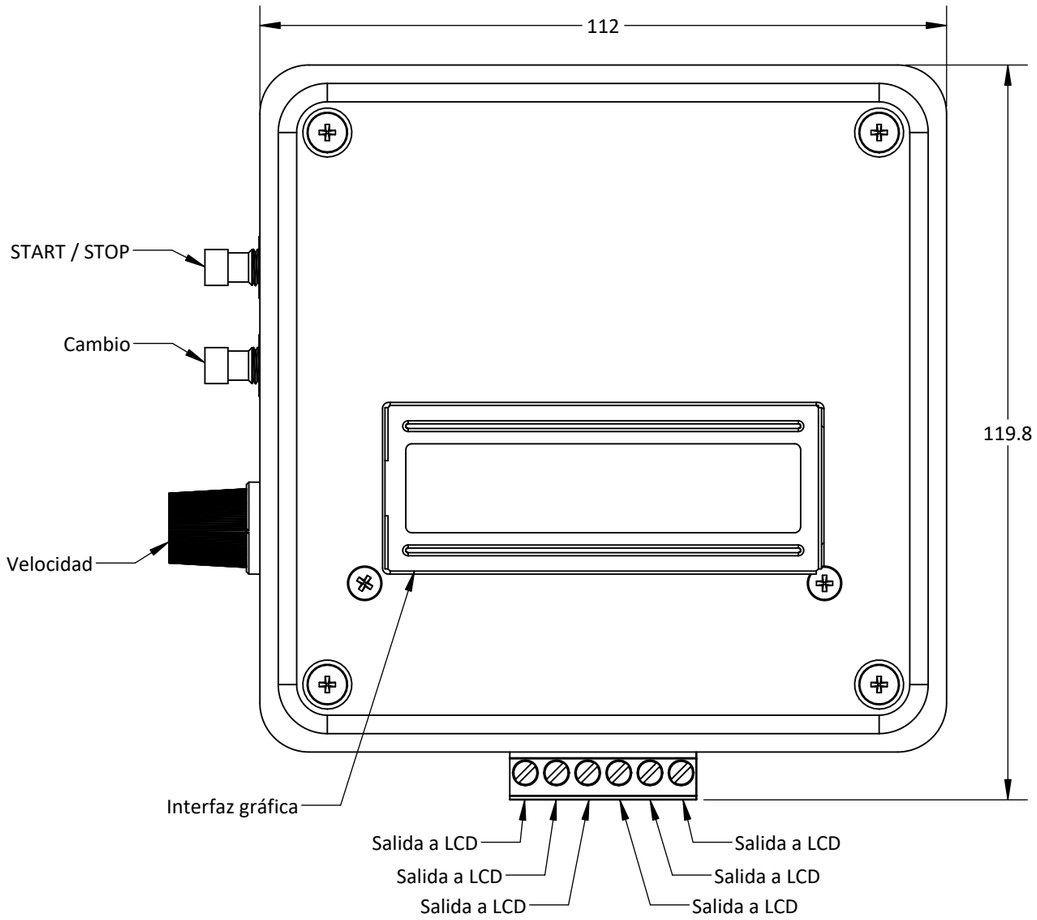


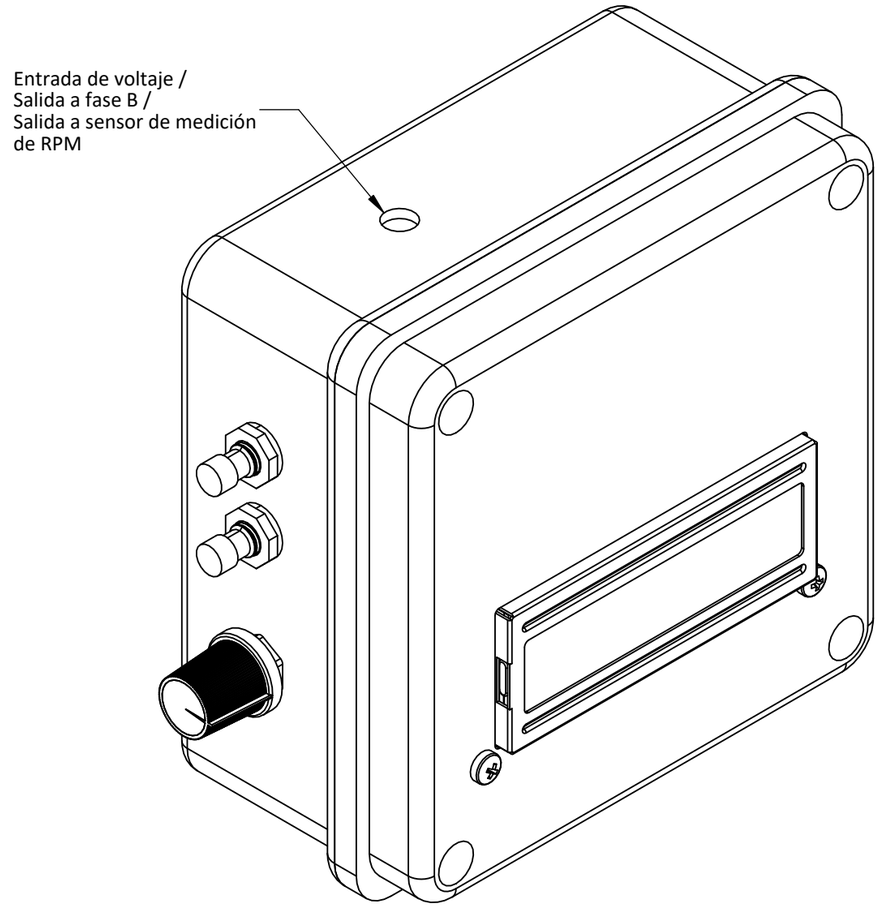


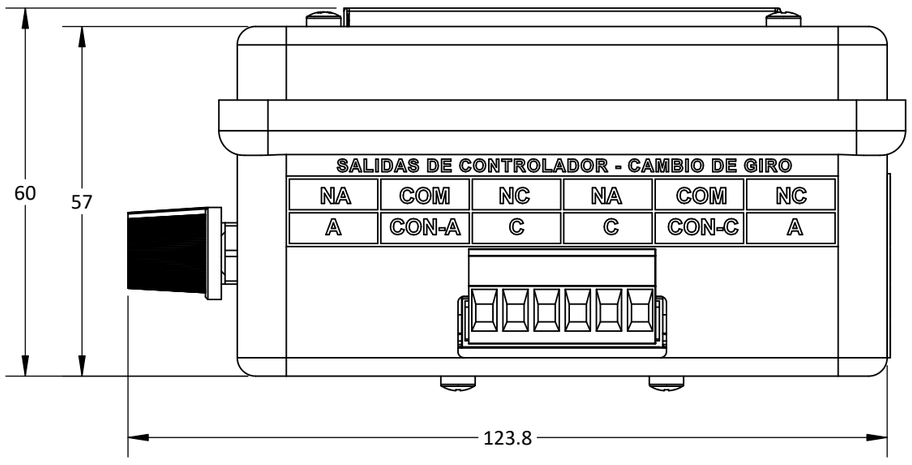
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

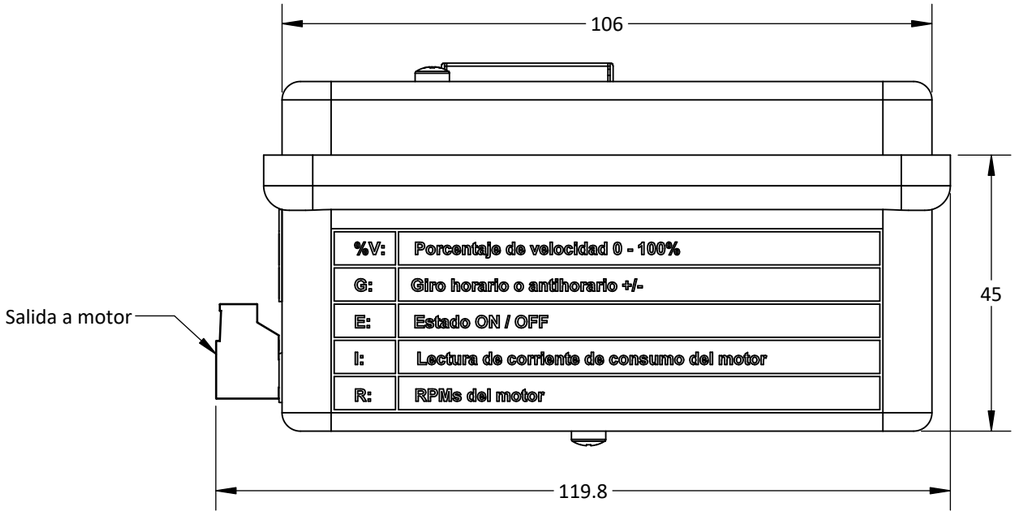
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	CMBH - EM0002	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas	MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO CONTROLADOR - 2		MATERIAL	PVC / PCB FR4 1.6 mm	PESO 181 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					REVISIÓN 1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		DIMENSIONES mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA 2 : 3	No escale el dibujo	HOJA 2 de 2

A4





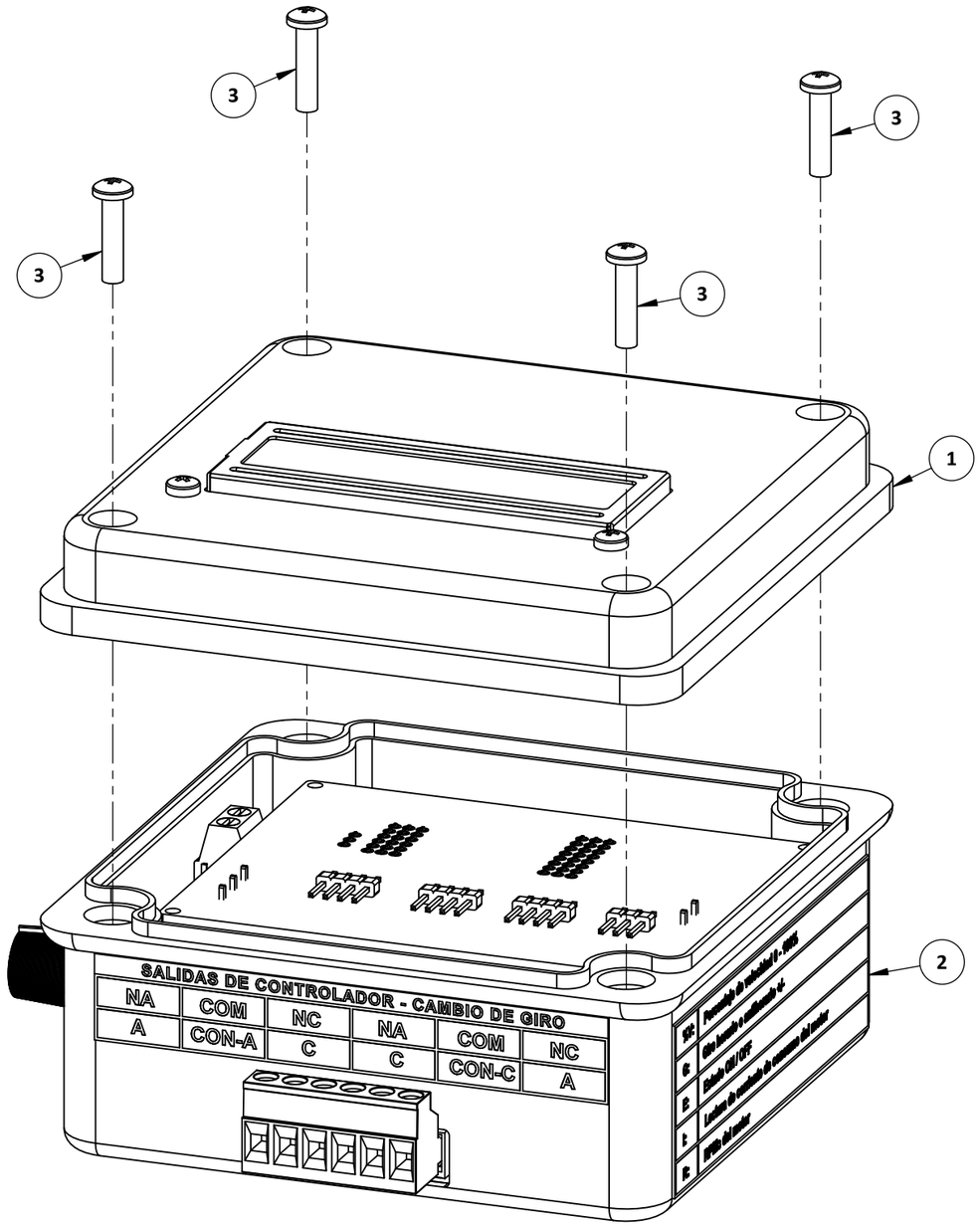


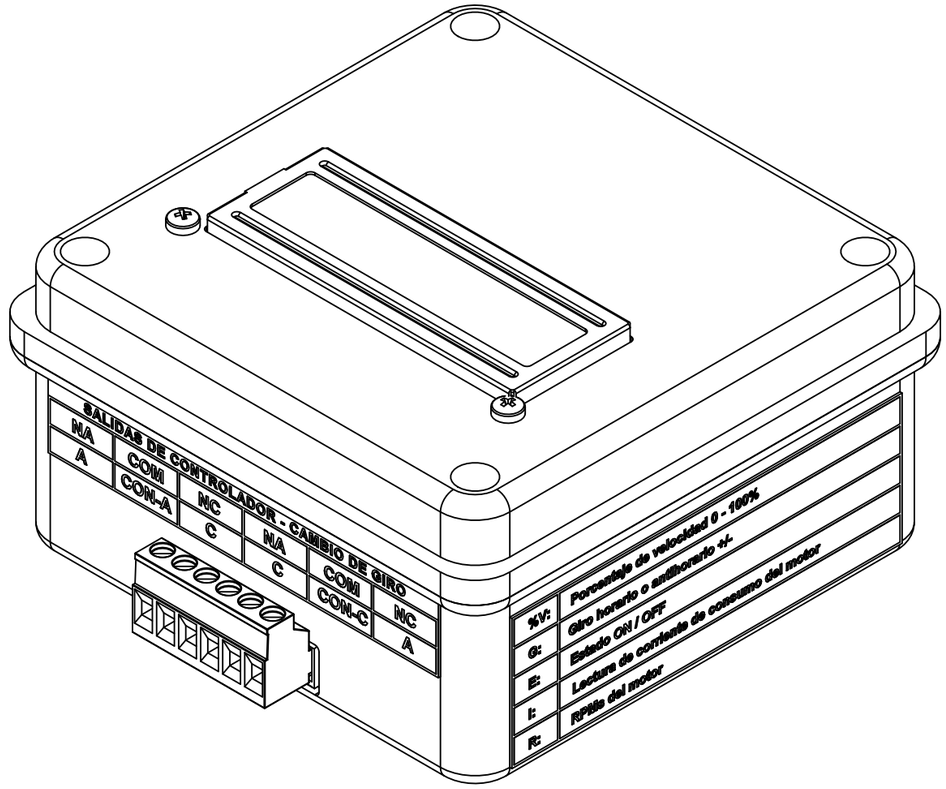


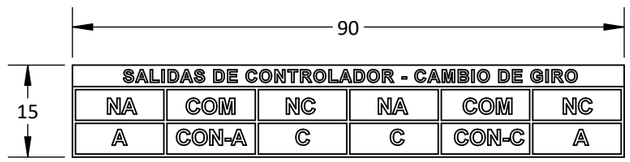
	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE		FECHA	CÓDIGO DIBUJO	CMBH - EM0003	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas		MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
	Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO	CONTROLADOR DE MOTOR BRUSHLESS HALBACH	MATERIAL	PVC / PCB FR4 1.6 mm / A307		PESO	280 g
	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		DIMENSIONES	mm	NORMA: ANSIY 14.5 - 2009	REVISIÓN	1.0
		REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020			ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	HOJA	1 de 2 A3

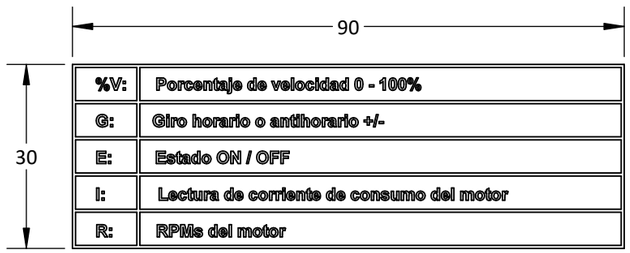
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Controlador - 1	CMBH - EM0001	PVC / PCB FR4 1.6 mm	91 g	1
2	Controlador - 2	CMBH - EM0002	PVC / PCB FR4 1.6 mm	181 g	1
9	TORN CAB RED M3.5x15	-	A307	2 g	4







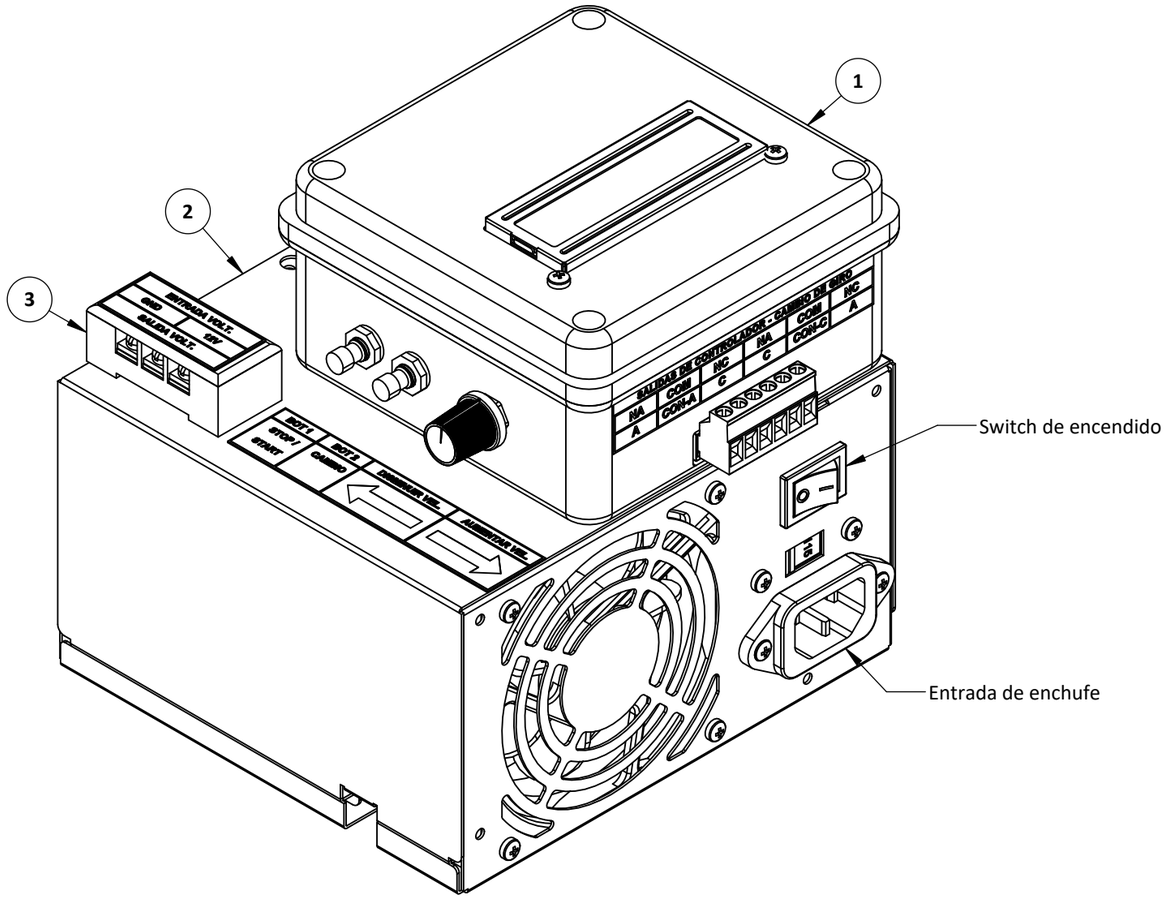


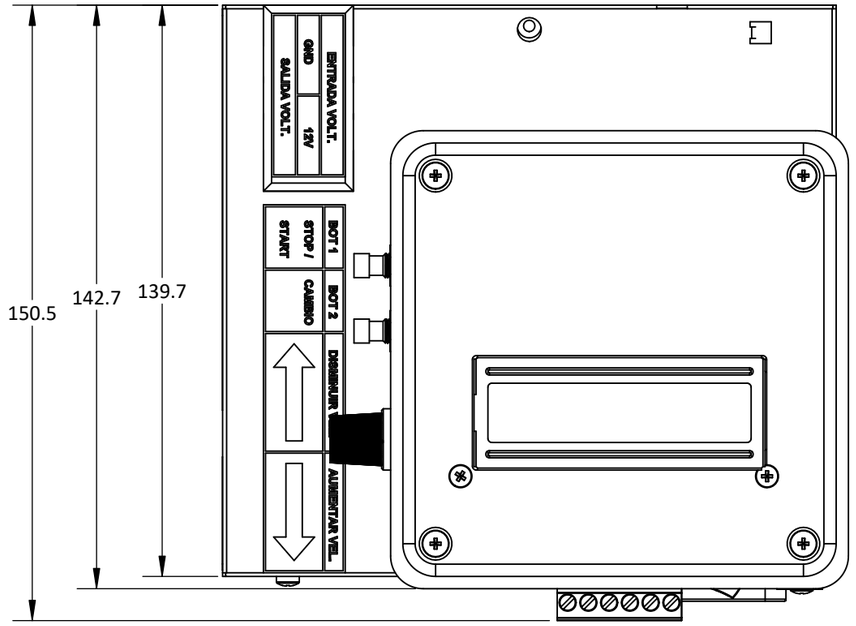
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE		FECHA	CÓDIGO DIBUJO	CMBH - EM0003
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO	CONTROLADOR DE MOTOR BRUSHLESS HALBACH
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020		
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos	

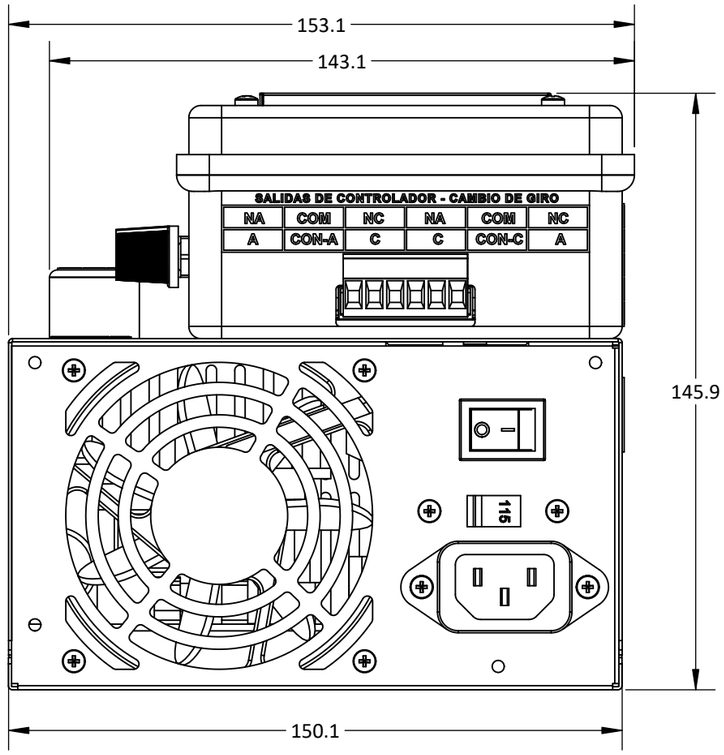
ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas			MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
MATERIAL	PVC / PCB FR4 1.6 mm / A307			PESO	280 g
DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009	REVISIÓN	1.0
ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo		HOJA	2 de 2 A3

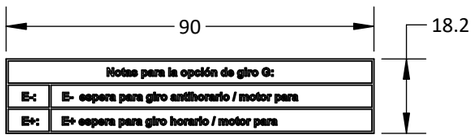
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

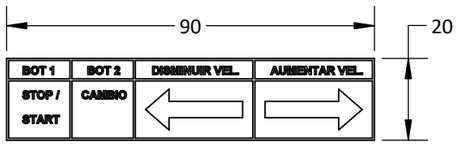
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Controlador de motor brushless Halbach	CMBH - EM0003	PVC / PCB FR4 1.6 mm / A307	280 g	1
2	PSU	-	-	1250 g	1
9	Bloque terminal 3x2	-	-	50 g	1

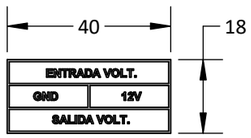






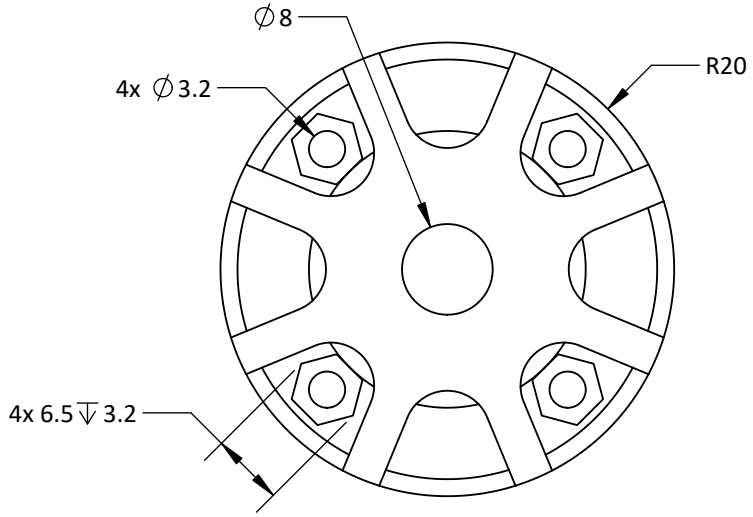


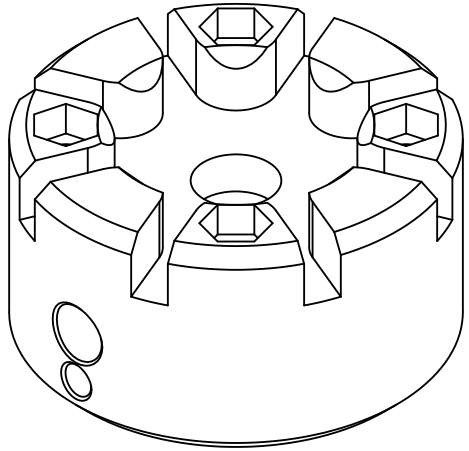


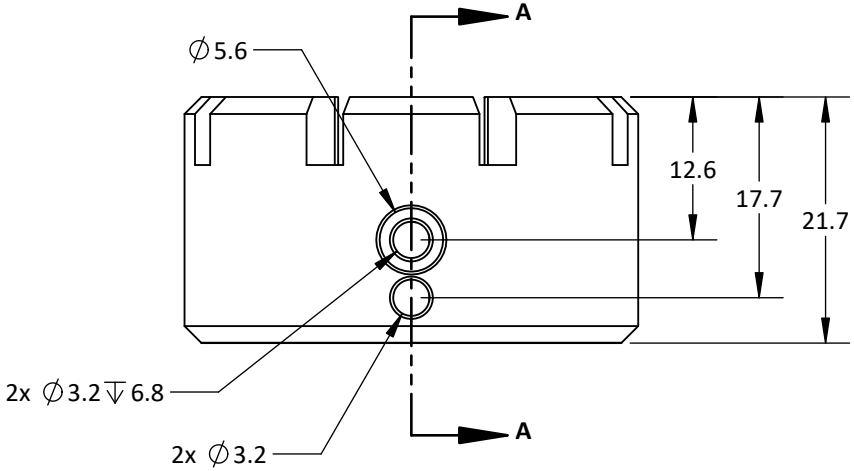


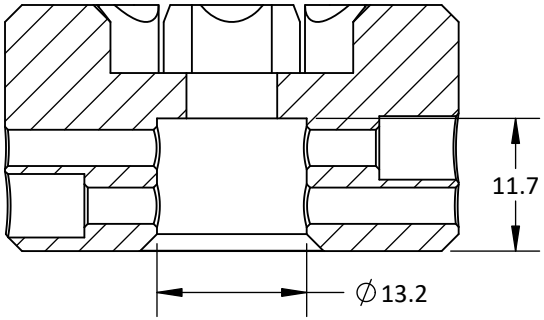
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE		FECHA	CÓDIGO DIBUJO	CMBH - EM0004	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas	MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO CONJUNTO DE CONTROLADOR		MATERIAL	PVC / PCB FR4 1.6 mm / A307	PESO	1580 g
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020			DIMENSIONES	mm / NORMA: ANSIY 14.5 - 2009	REVISIÓN	1.0
	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		ESCALA	2 : 3 / No escale el dibujo	HOJA	1 de 1 A3

NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas









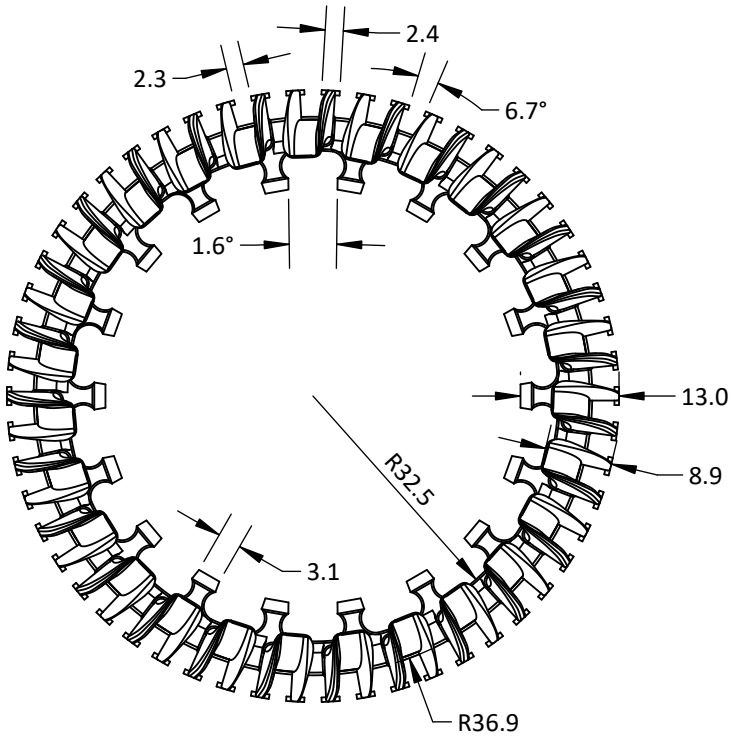
SECCIÓN A - A

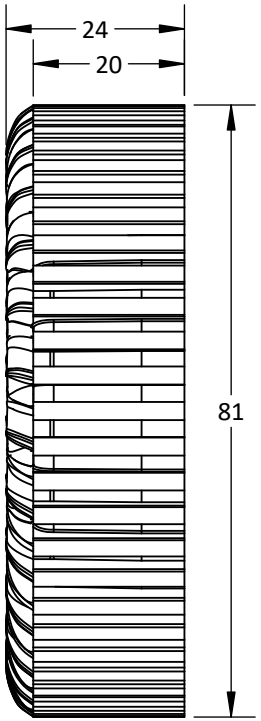
NOTA:

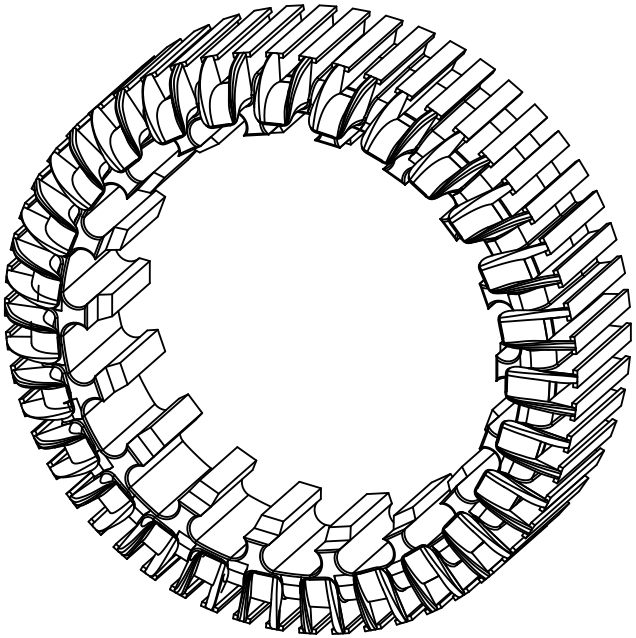
- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 3 horas 10 minutos
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	MBHL - PM0001	**ACABADO**	Impresión 3D - GP: 2mm, DR: 90%, R: 0.15	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**COLLAR 2X 8 x 13 mm**	**MATERIAL**	Filamento de PLA de 1.75 mm - blanco	**PESO** 30 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN** 1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES** mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA 3 : 2	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 1

A4





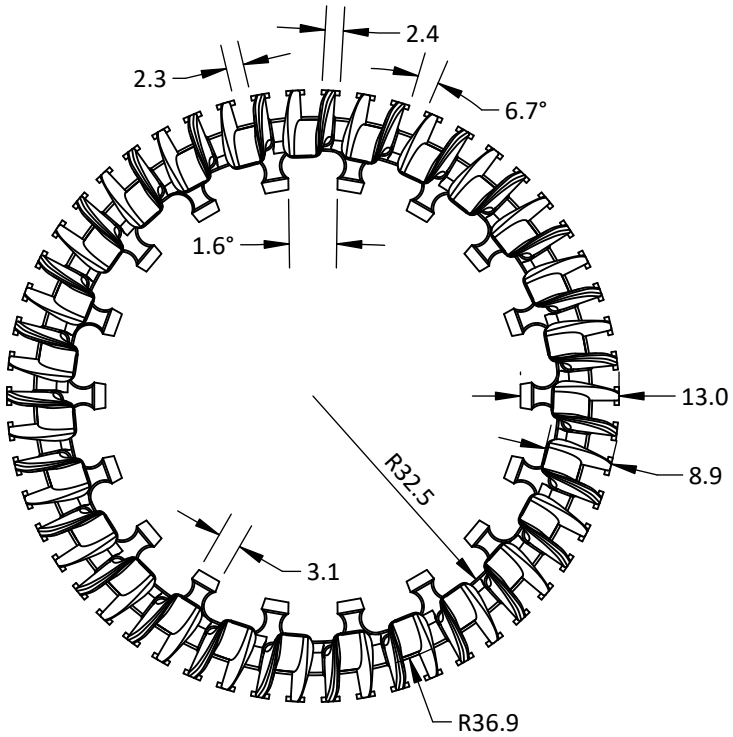


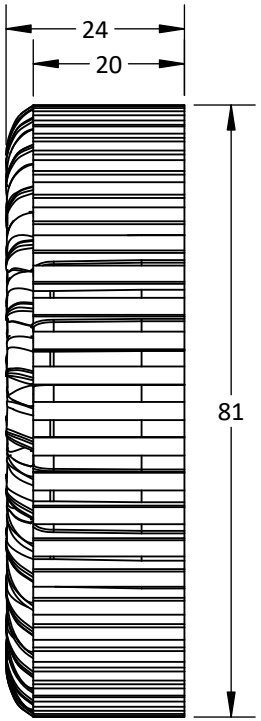
NOTA:

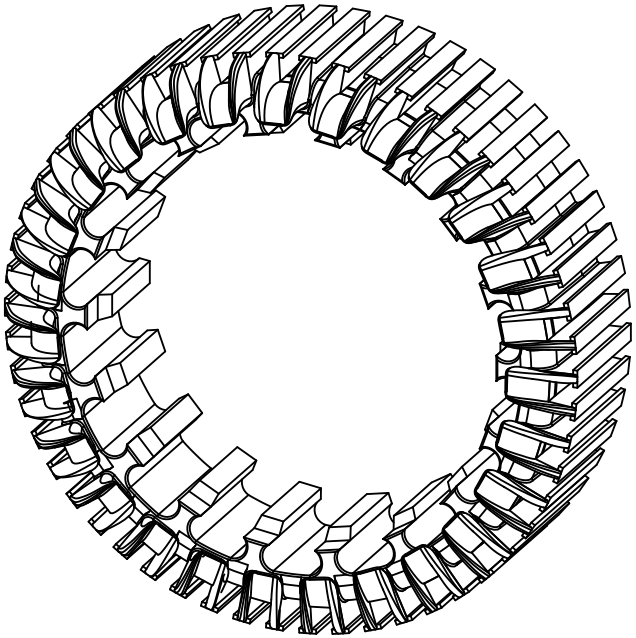
- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 7 horas
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	MBHL - PM0002	**ACABADO**	Impresión 3D - GP: 2mm, DR: 95%, R: 0.15		**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**NÚCLEO DE ESTATOR A**	**MATERIAL**	Filamento de PLA de 1.75 mm - gris	**PESO**	45 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN**	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 1

A4





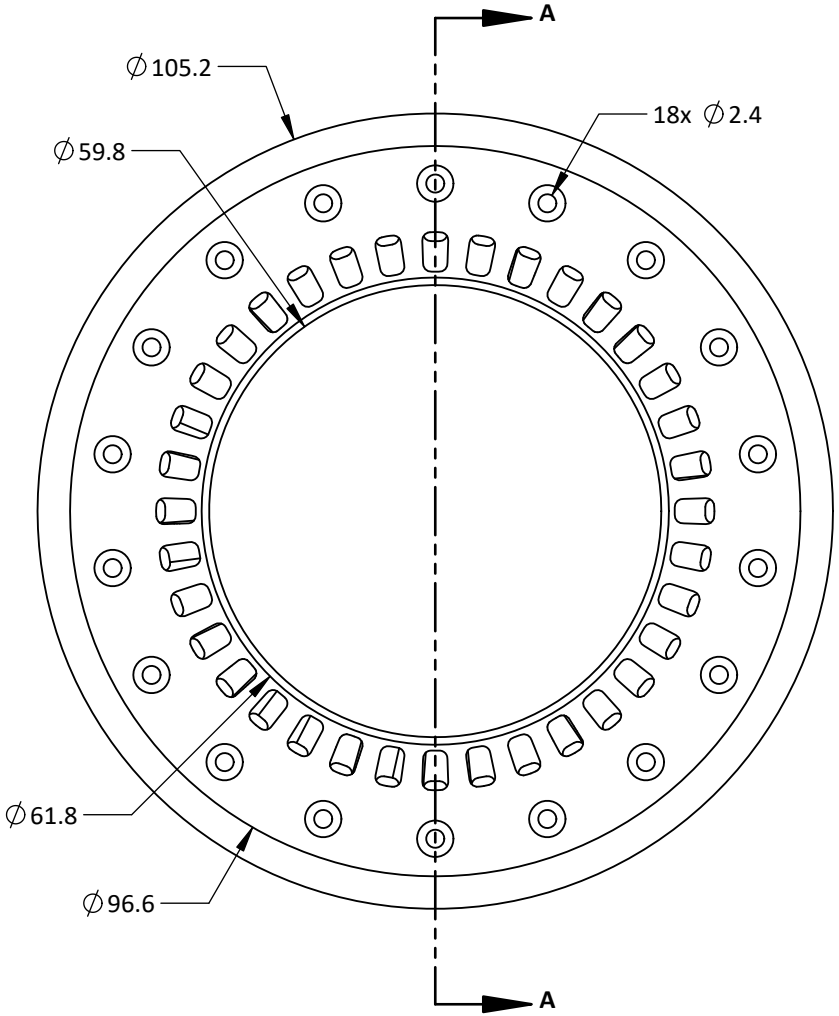


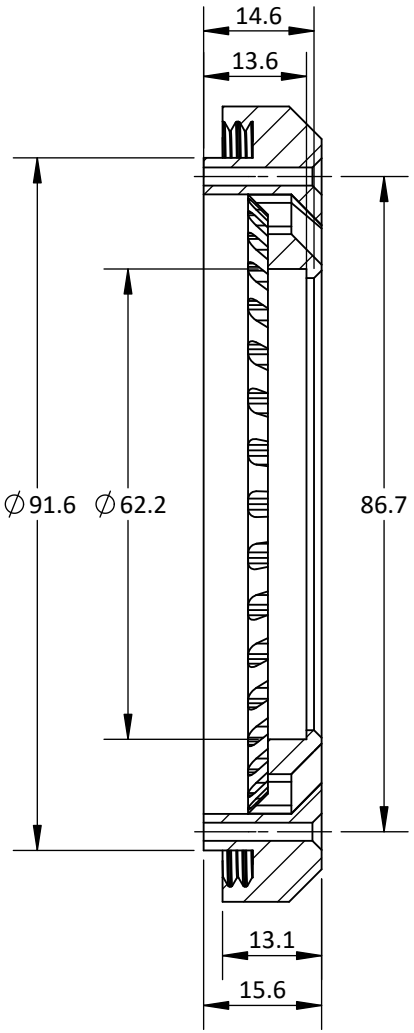
NOTA:

- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 7 horas
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

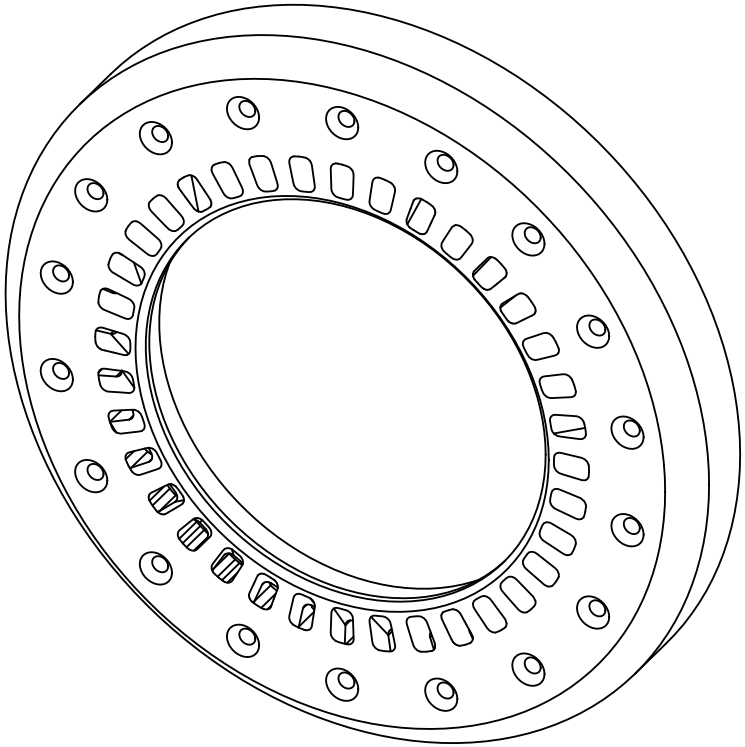
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	MBHL - PM0003	**ACABADO**	Impresión 3D - GP: 2mm, DR: 95%, R: 0.15		**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**NÚCLEO DE ESTATOR B**	**MATERIAL**	Filamento de PLA de 1.75 mm - gris	**PESO**	45 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN**	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 1

A4





SECCIÓN A - A

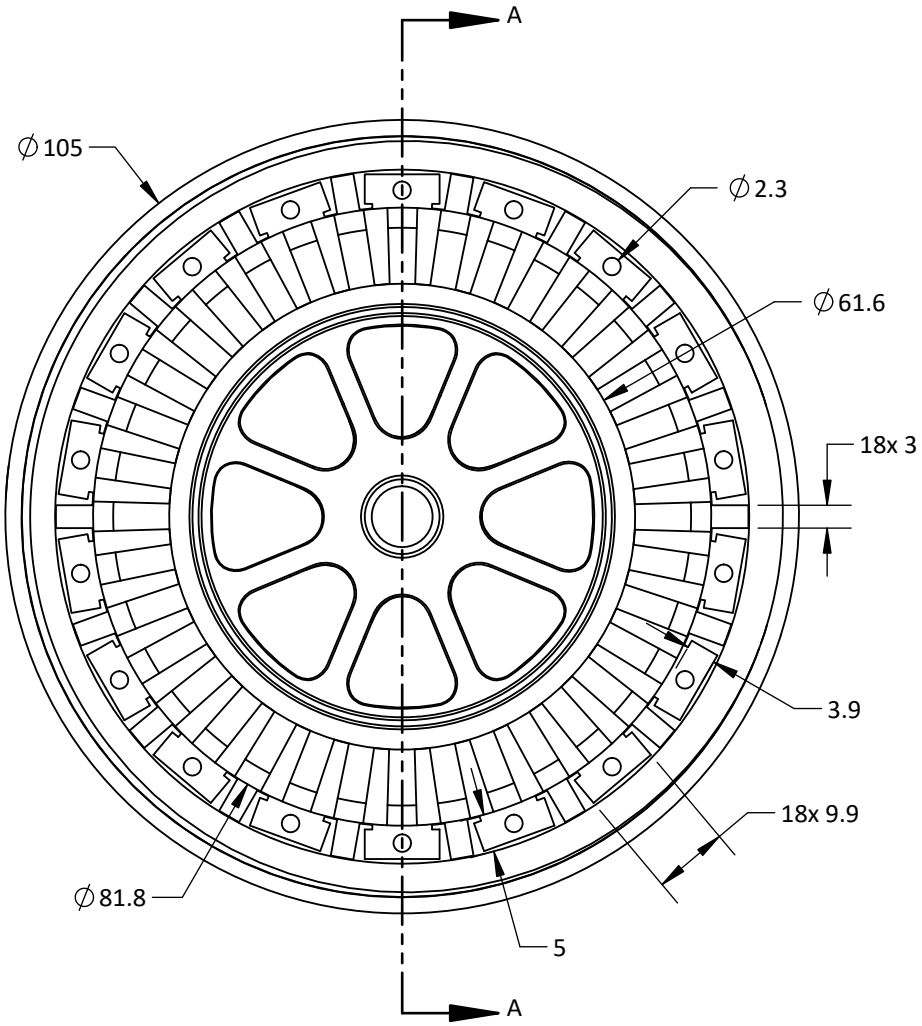


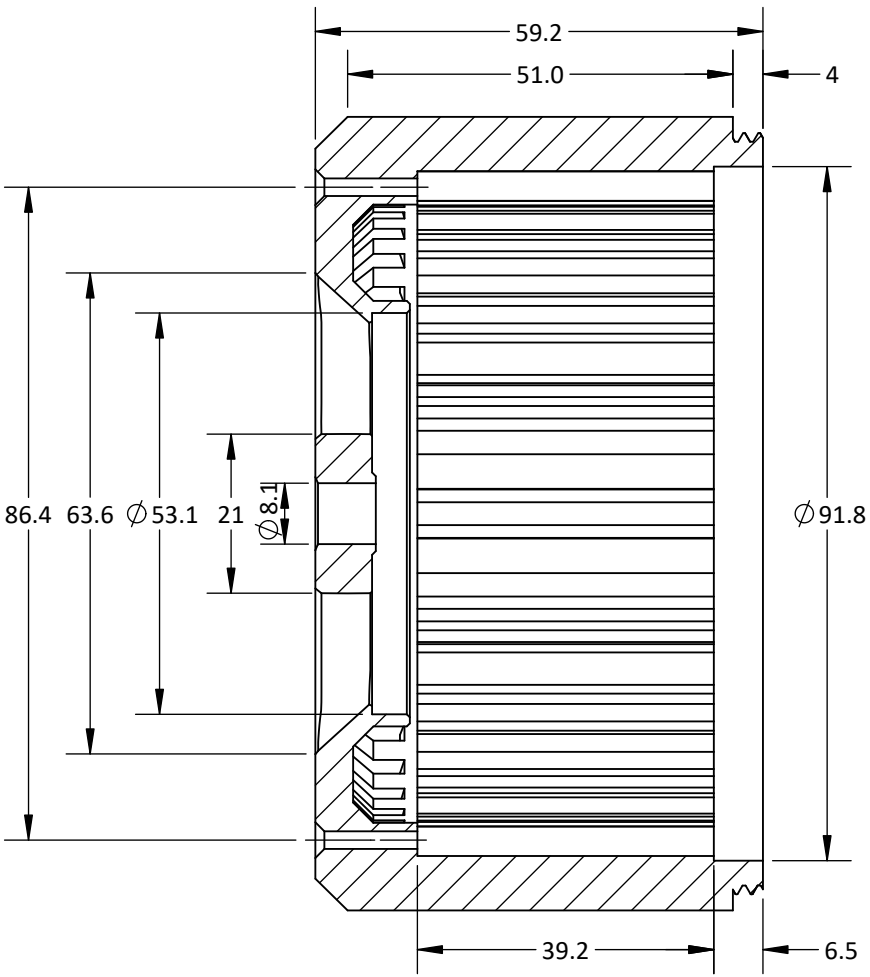
NOTA:

- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 7 horas 40 minutos
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	MBHL - PM0004	**ACABADO**	Impresión 3D - GP: 2mm, DR: 50%, R: 0.15	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**ROTOR B**	**MATERIAL**	Filamento de PLA de 1.75 mm - gris	**PESO** 60 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN** 1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES** mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA 1 : 1	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 1

A4





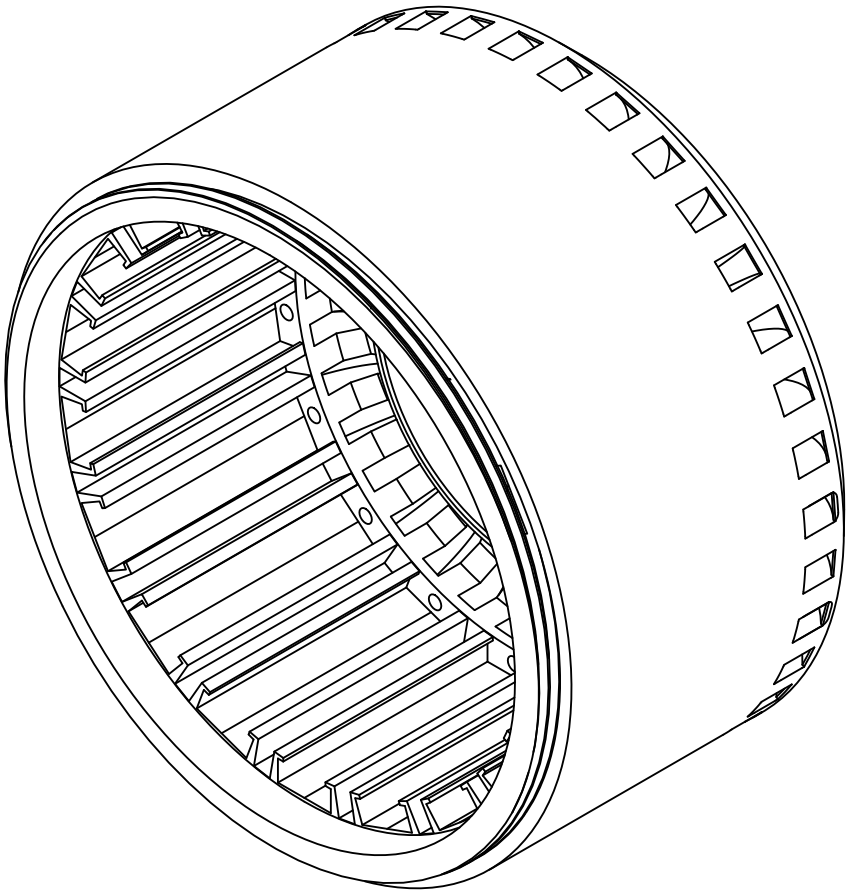
SECCIÓN A - A

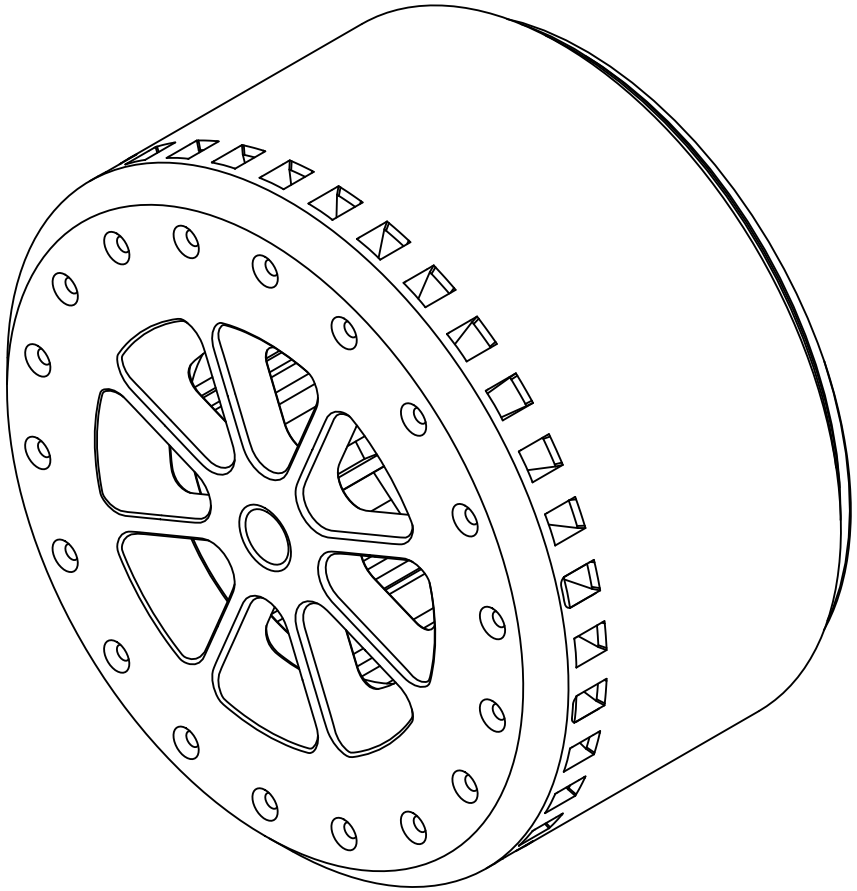
NOTA:

- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 23 horas 5 minutos
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	MBHL - PM0005	**ACABADO**	Impresión 3D - GP: 4mm, DR: 80%, R: 0.15	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**ROTOR A**	**MATERIAL**	Filamento de PLA de 1.75 mm - gris	**PESO** 185 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN** 1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES** mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA 1 : 1	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 2

A4

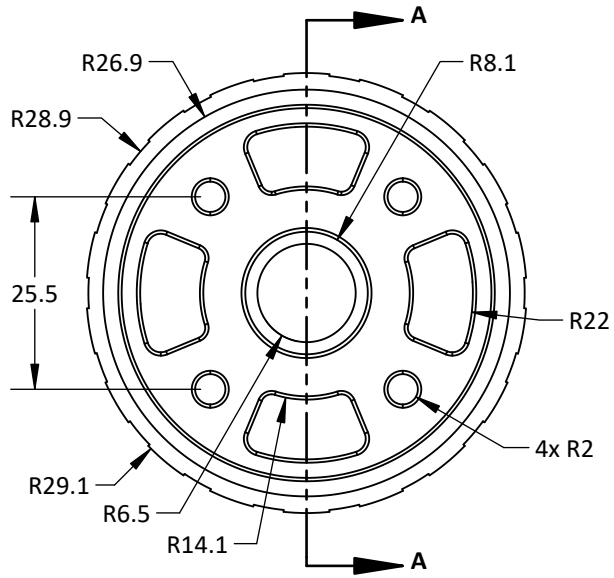


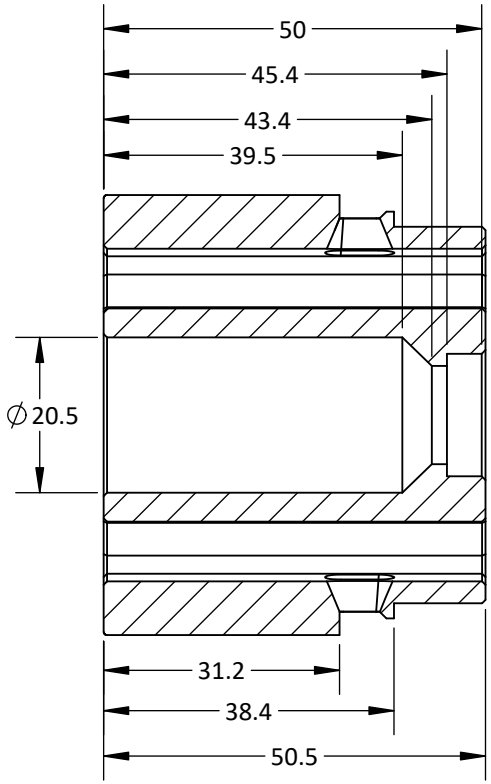


NOTA:

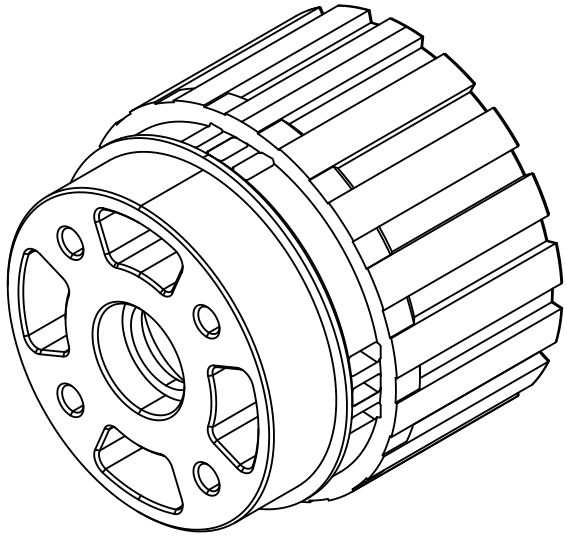
- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 23 horas 5 minutos
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	MBHL - PM0005	**ACABADO**	Impresión 3D - GP: 4mm, DR: 80%, R: 0.15		**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
	Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**ROTOR A**	**MATERIAL**	Filamento de PLA de 1.75 mm - gris		**PESO**	185 g
		DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020						**REVISIÓN**	1.0
	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009	A4
							ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	**HOJA**	2 de 2





SECCIÓN A - A

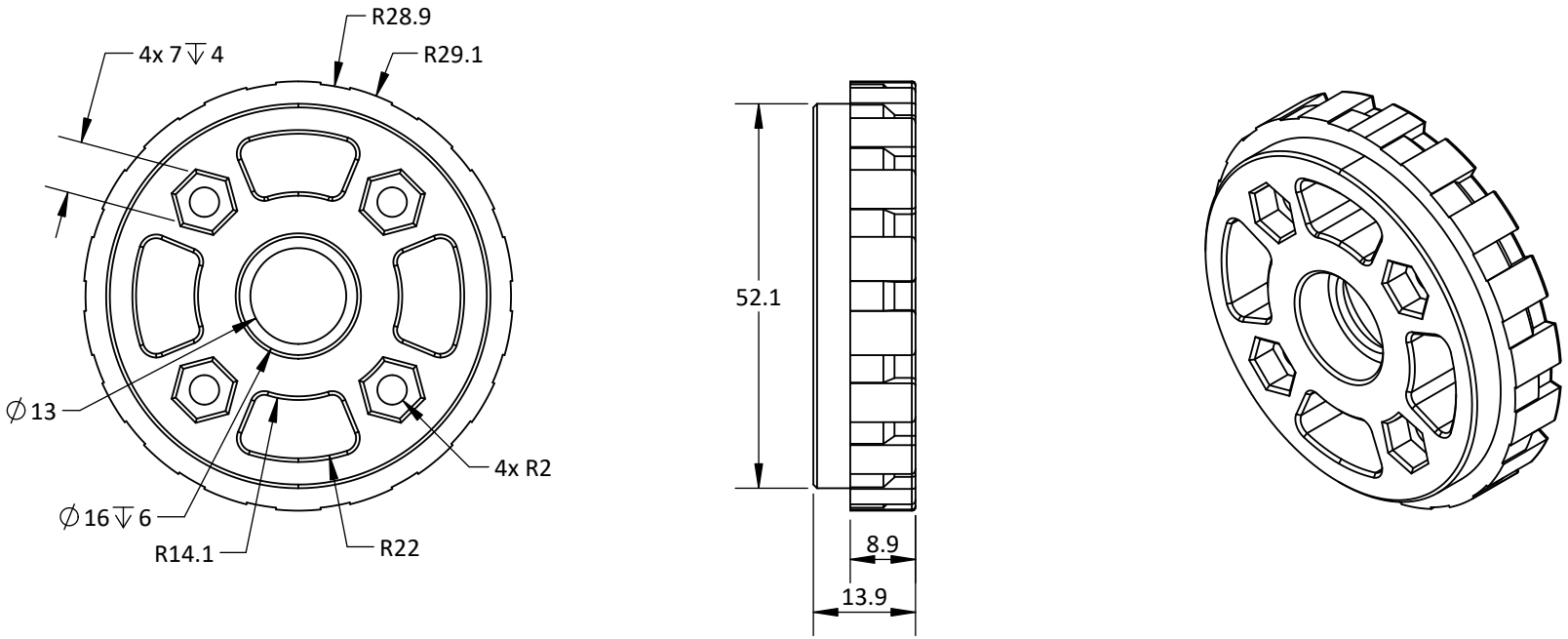


NOTA:

- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 12 horas 25 minutos
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	MBHL - PM0006	**ACABADO**	Impresión 3D - GP: 3mm, DR: 90%, R: 0.15	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**MONTAJE DE ESTATOR A**	**MATERIAL**	Filamento de PLA de 1.75 mm - gris	**PESO** 100 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN** 1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES** mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA 1 : 1	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 1

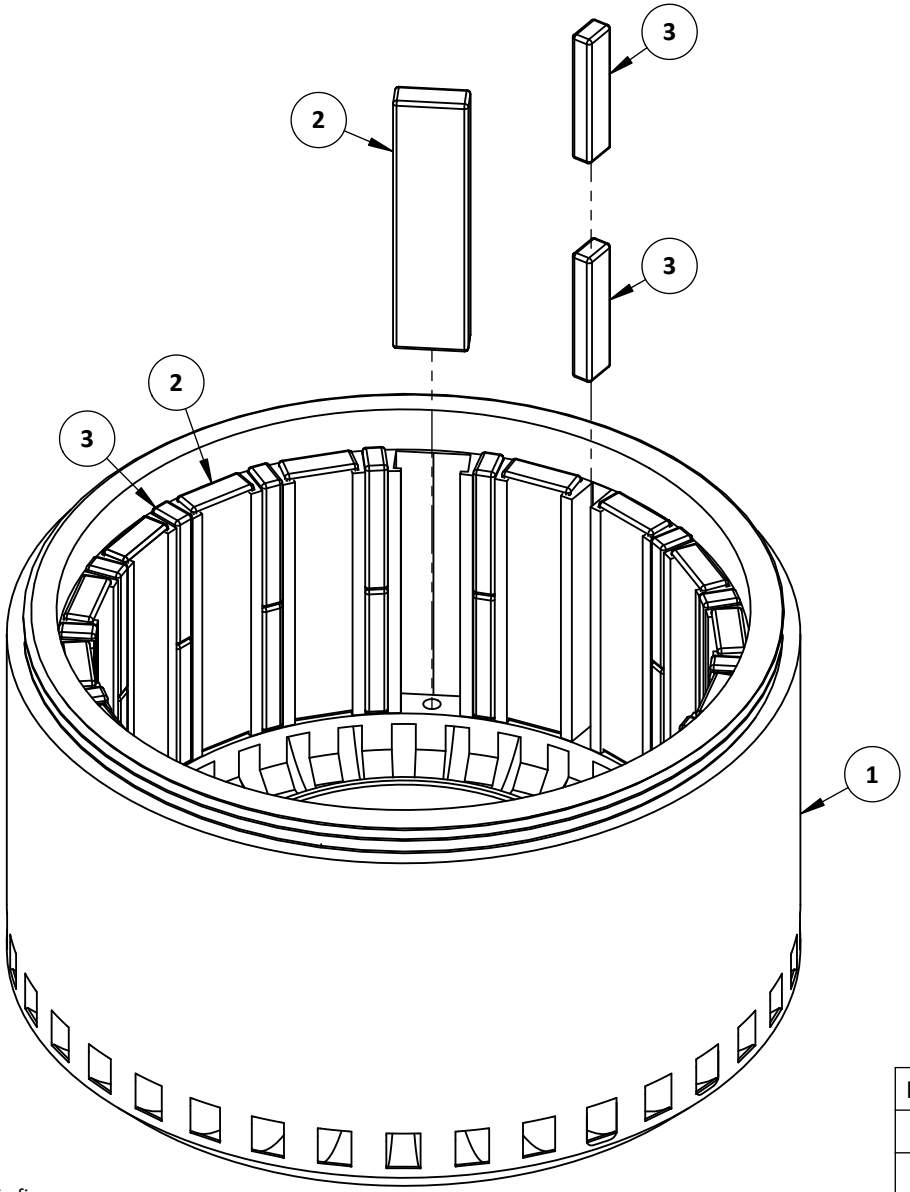
A4

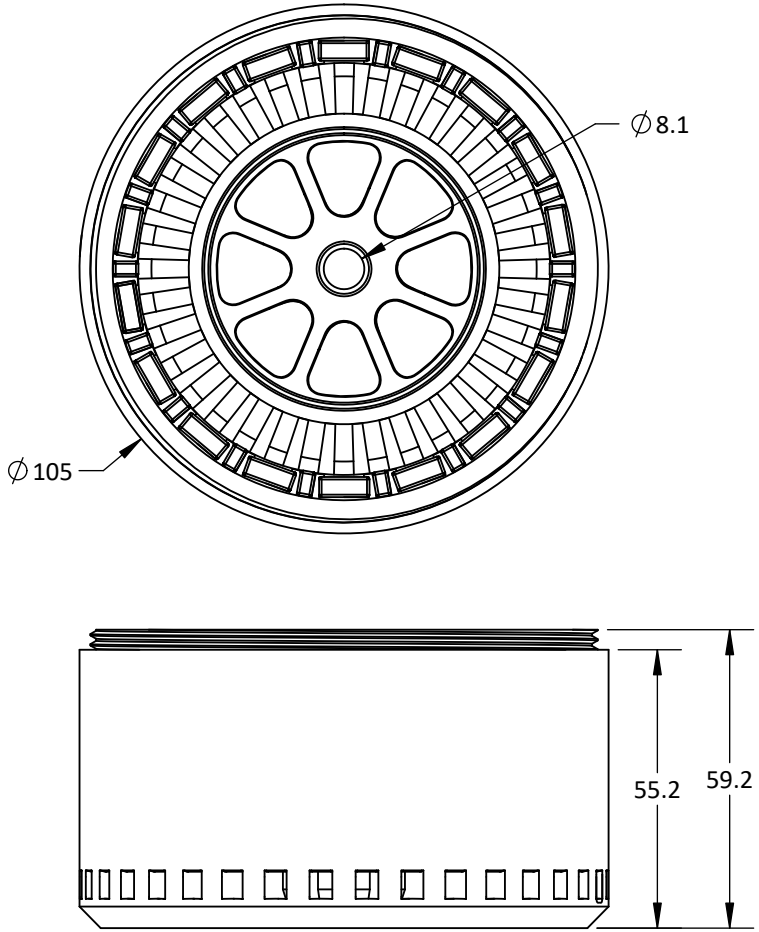


NOTA:

- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 3 horas 25 minutos
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	MBHL - PM0007	**ACABADO**	Impresión 3D - GP: 3mm, DR: 90%, R: 0.15		**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
	Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**MONTAJE DE ESTATOR B**	**MATERIAL**	Filamento de PLA de 1.75 mm - gris		**PESO**	30 g
		DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020						**REVISIÓN**	1.0
	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009	A4
							ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	**HOJA**	1 de 1





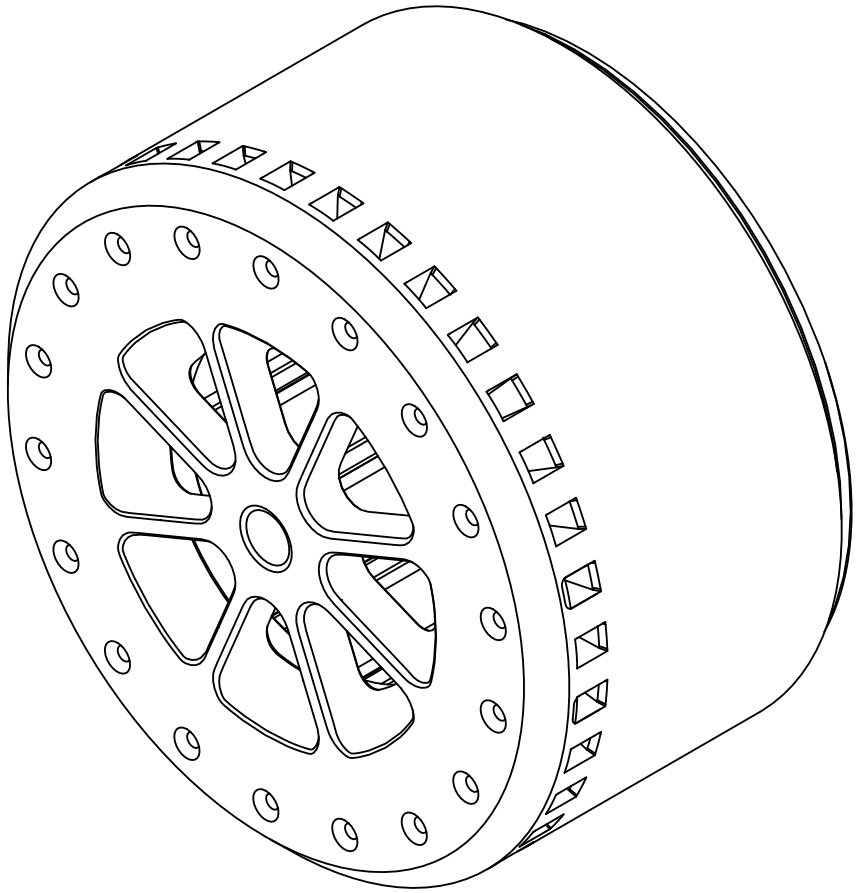
ESCALA 2 : 3

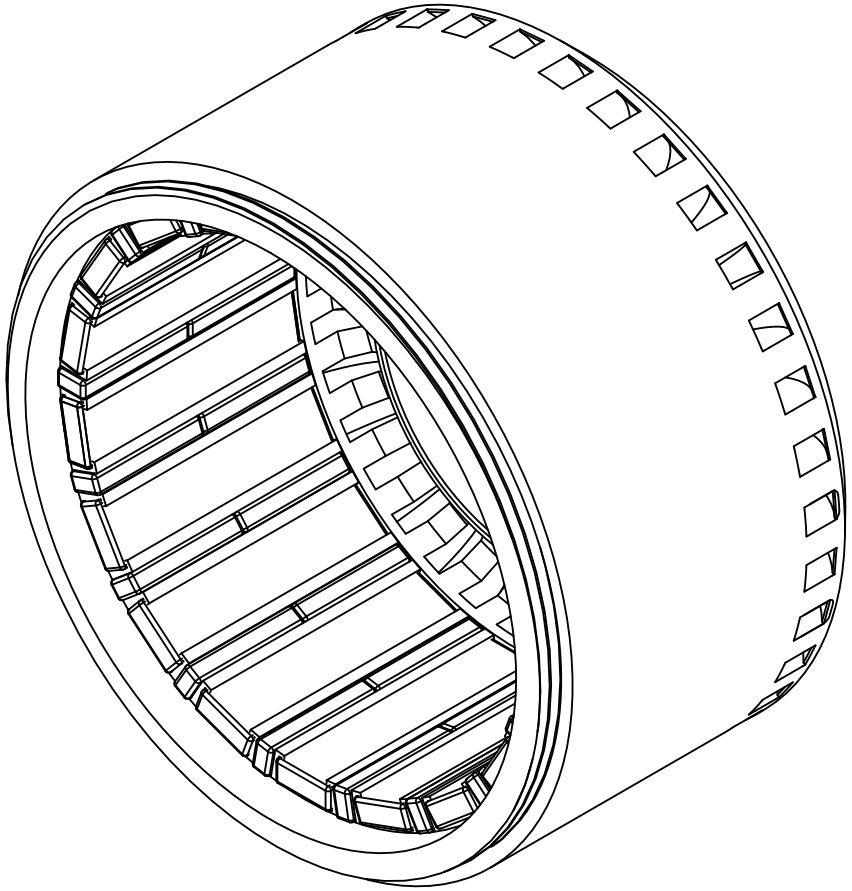
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Rotor A	MBHL - PM0005	PLA	185 g	1
2	Magneto 40 x 10 x 4 mm	-	Neodimio	11 g	18
3	Magneto 20 x 5 x 3 mm	-	Neodimio	2 g	36

NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	MBHL - EM0001
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**ROTOR A**
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020		
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos	

ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas		**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**		
MATERIAL	PLA / Neodimio		**PESO**	455 g	
			REVISIÓN	1.0	
DIMENSIONES	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009		A4
ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	**HOJA**	1 de 2	

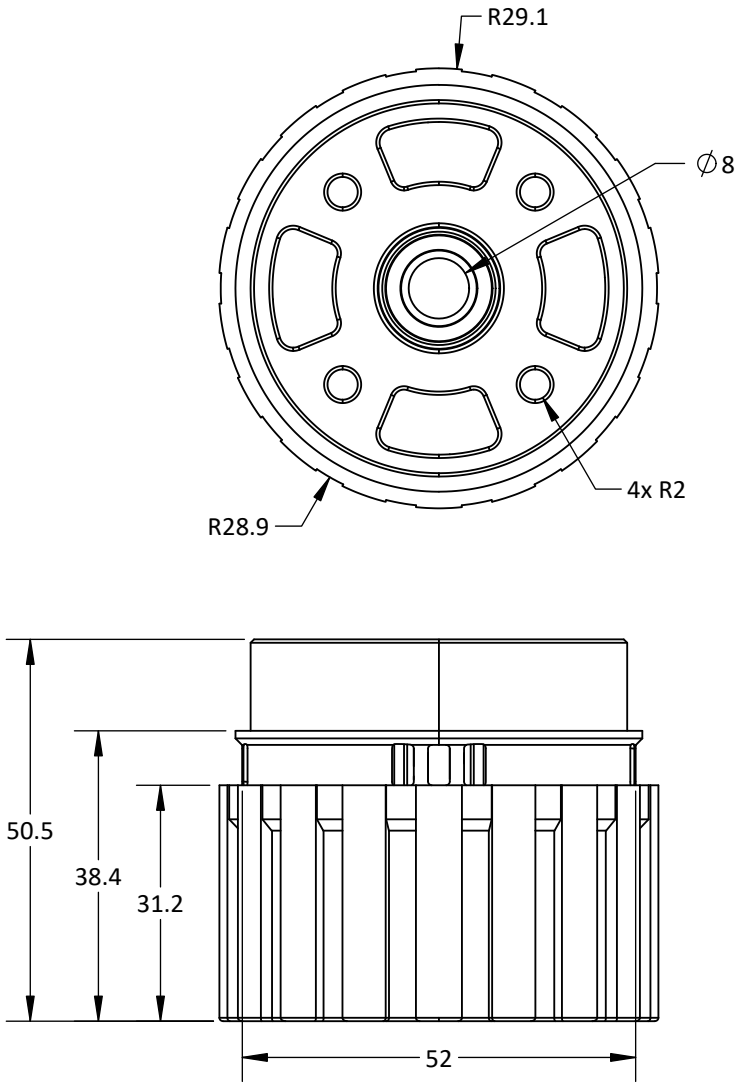


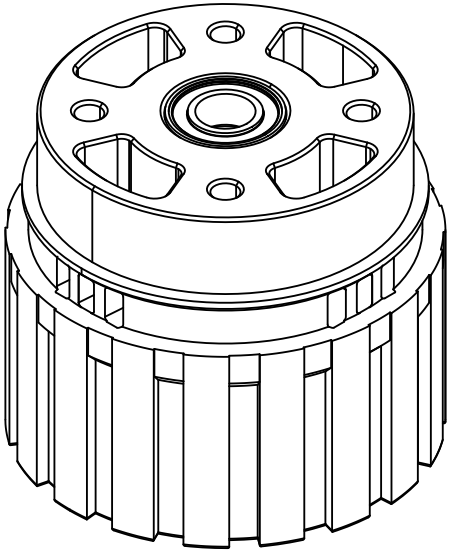


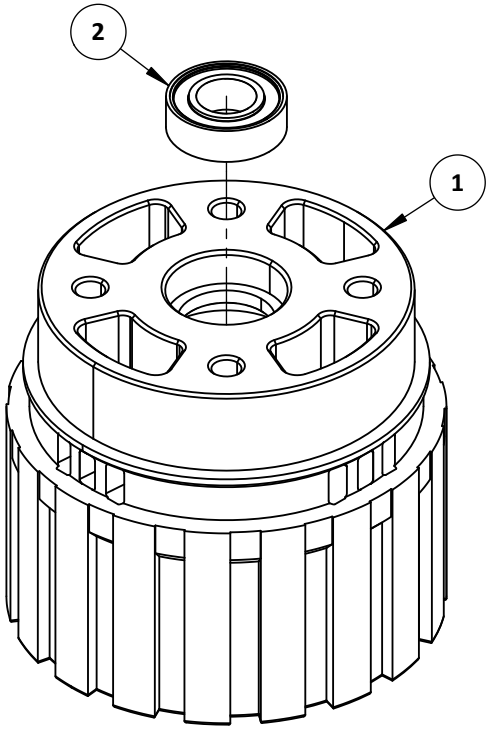
NOTA:

- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	MBHL - EM0001	**ACABADO**	Rebarbar y romper las aristas vivas		**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**		
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**ROTOR A**	**MATERIAL**	PLA / Neodimio		**PESO**	455 g	
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020						**REVISIÓN**	1.0	
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009		A4
						ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	**HOJA**	2 de 2	







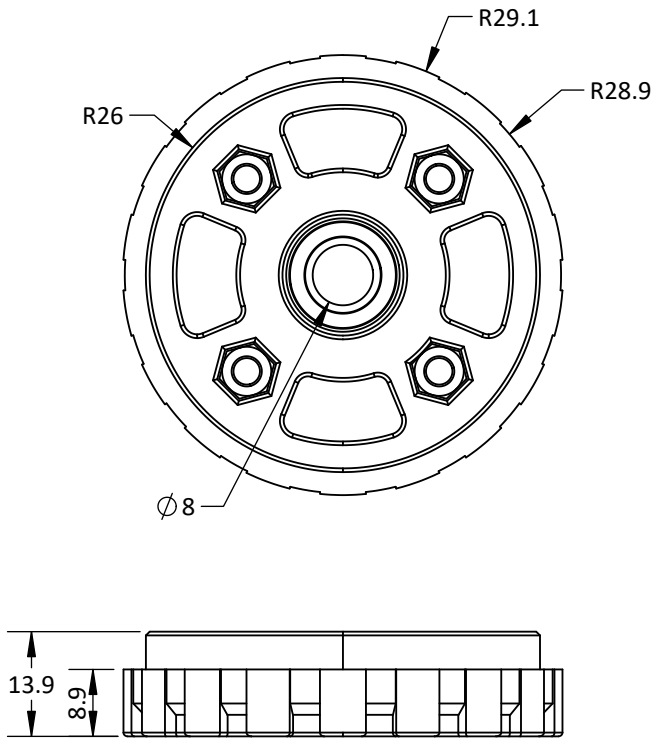
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

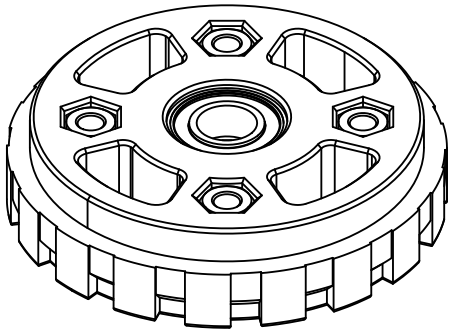
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Montaje de estator A	MBHL - PM0006	PLA	100 g	1
2	688ZZ	-	A307	5 g	1

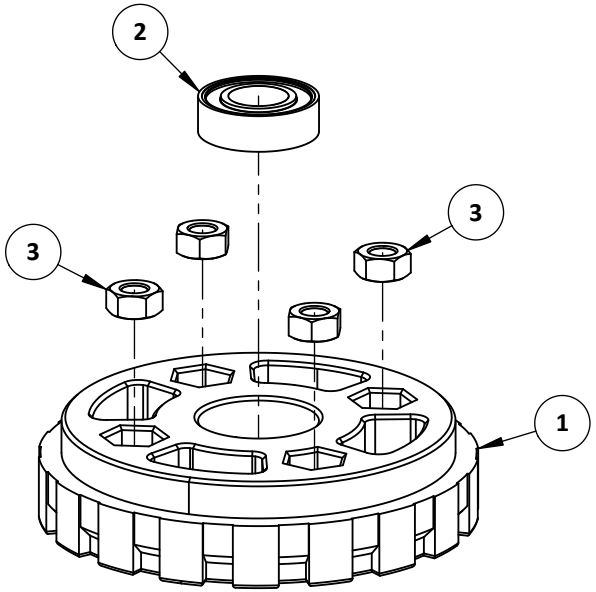
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	MBHL - EM0002	ACABADO: Rebarbar y romper las aristas vivas
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO: Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO: MONTAJE DE ESTATOR A		MATERIAL: PLA / A307
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO: Beetle Craft S.A.C	Abril 2020			DIMENSIONES: mm
	REVISADO: Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020			ESCALA: 1 : 1

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA			
PESO	105 g		
REVISIÓN	1.0		
NORMA	ANSIY 14.5 - 2009		A4
No escale el dibujo	HOJA	1 de 1	



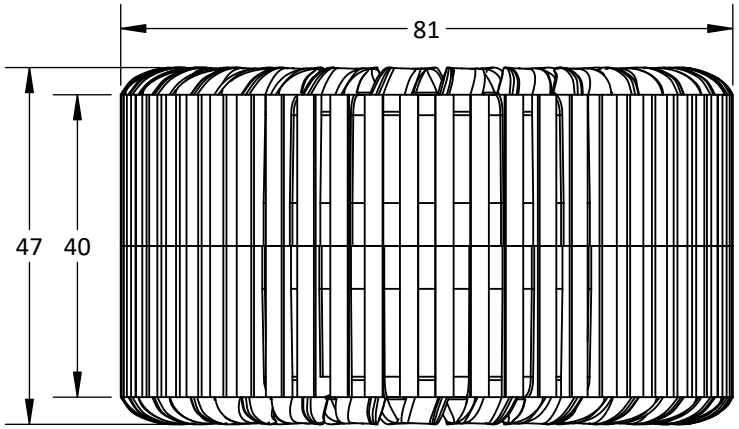


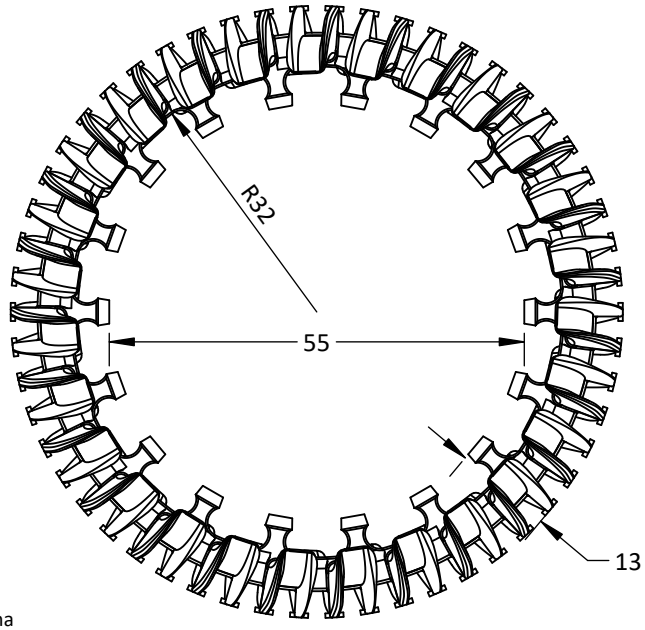


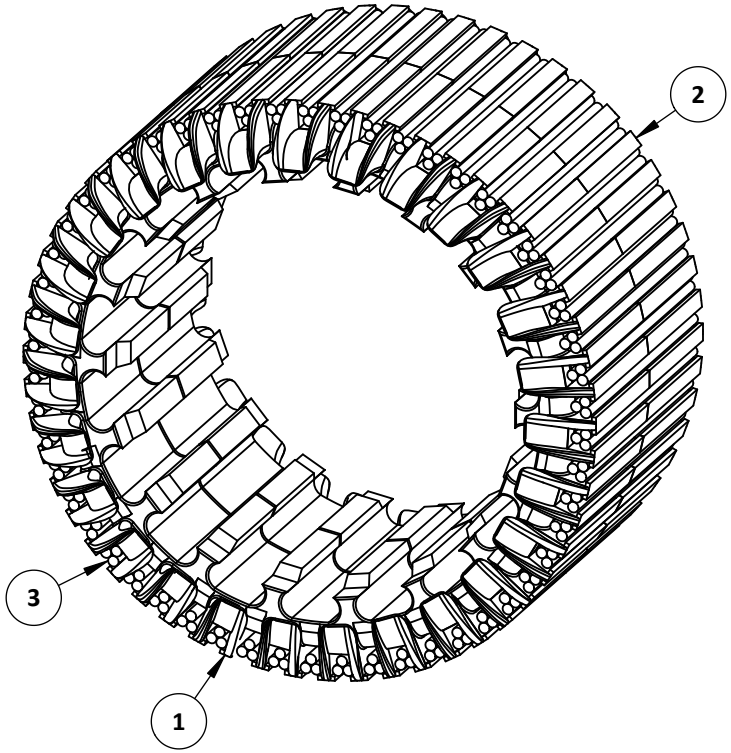
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Montaje de estator B	MBHL - PM0007	PLA	30 g	1
2	688ZZ	-	A307	5 g	1
3	TUER HEX M4	-	A307	1 g	4

NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	MBHL - EM0003	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas	MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO: Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO: MONTAJE DE ESTATOR B		MATERIAL	PLA / A307	PESO: 39 g
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO: Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos				REVISIÓN: 1.0
	REVISADO: Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020			DIMENSIONES: mm	NORMA: ANSIY 14.5 - 2009	A4
					ESCALA: 1 : 1	No escale el dibujo	HOJA: 1 de 1







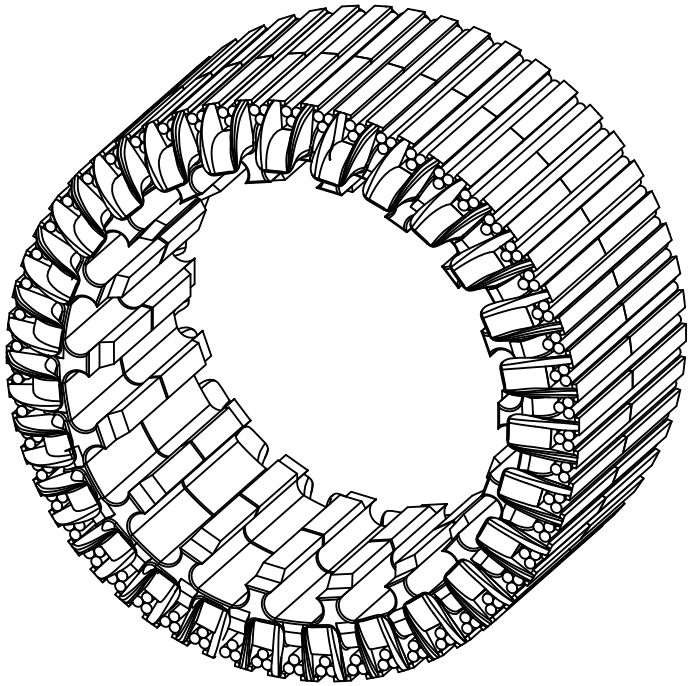
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

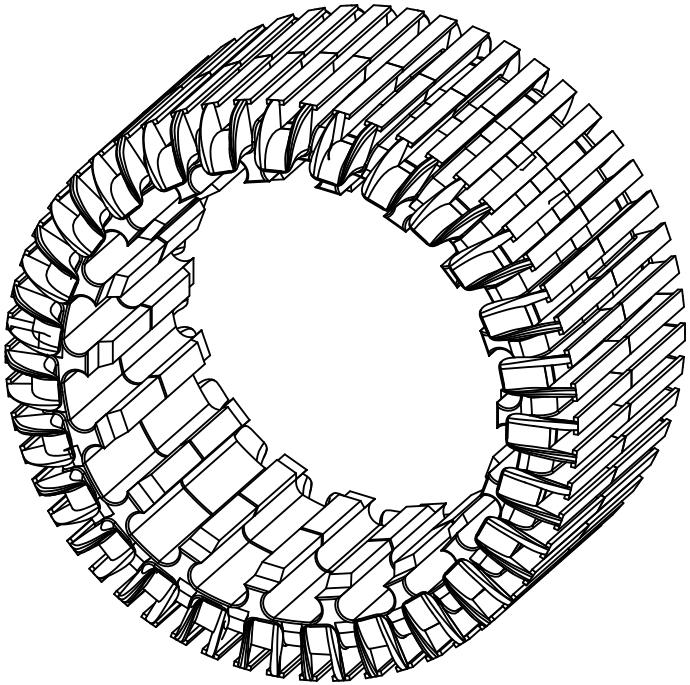
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Núcleo de estator A	MBHL - PM0002	PLA	45 g	1
2	Núcleo de estator B	MBHL - PM0003	PLA	45 g	1
3	Alambre de cobre ∅45mm	-	Cobre esmaltado	50 g	3

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	MBHL - EM0004
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO NÚCLEO DE ESTATOR	
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020		
	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020		

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas			MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
MATERIAL	PLA / Cobre esmaltado			PESO	240 g
				REVISIÓN	1.0
DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009	A4	
ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	HOJA	1 de 2	

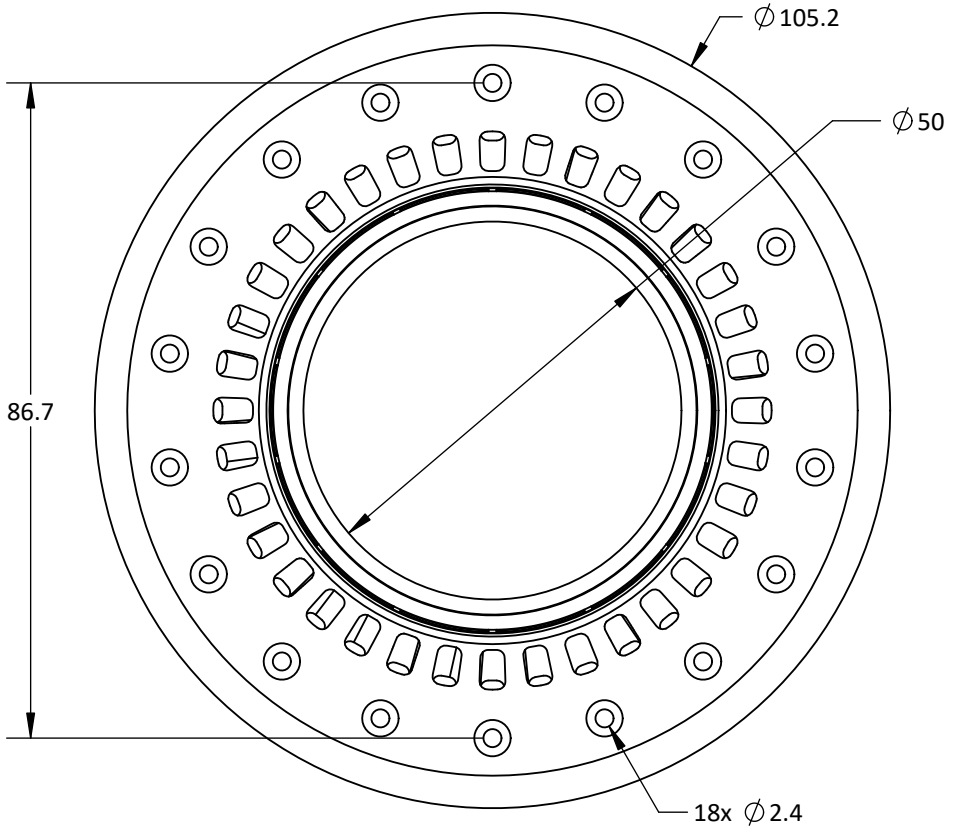


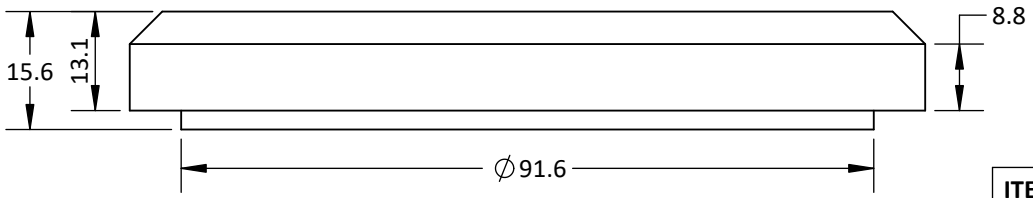


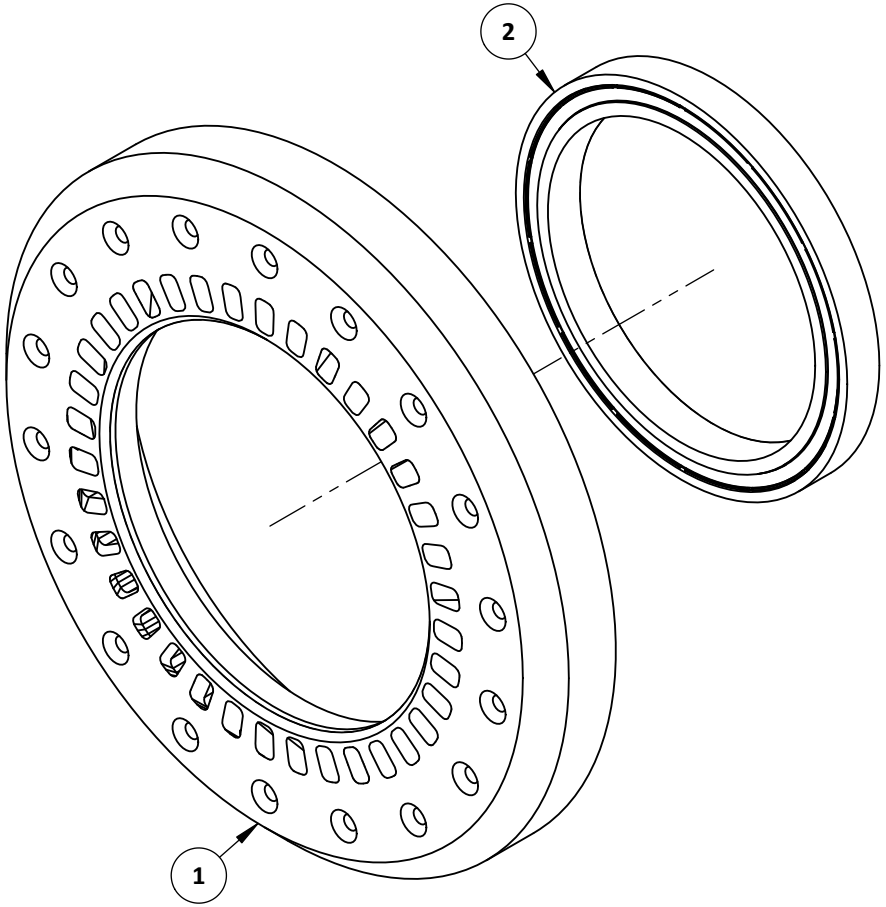
NOTA:

- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		NOMBRE		FECHA	CÓDIGO DIBUJO	MBHL - EM0004	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas	MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA		
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte		Marzo 2020	PLANO NÚCLEO DE ESTATOR		MATERIAL	PLA / Cobre esmaltado	PESO	240 g	
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C		Abril 2020					REVISIÓN	1.0	
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte		Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009	A4
							ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	HOJA 2 de 2	





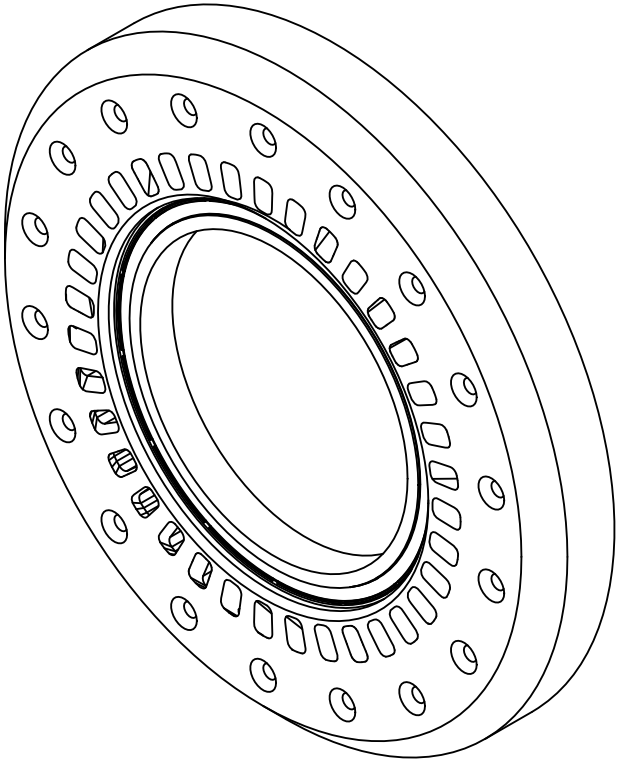


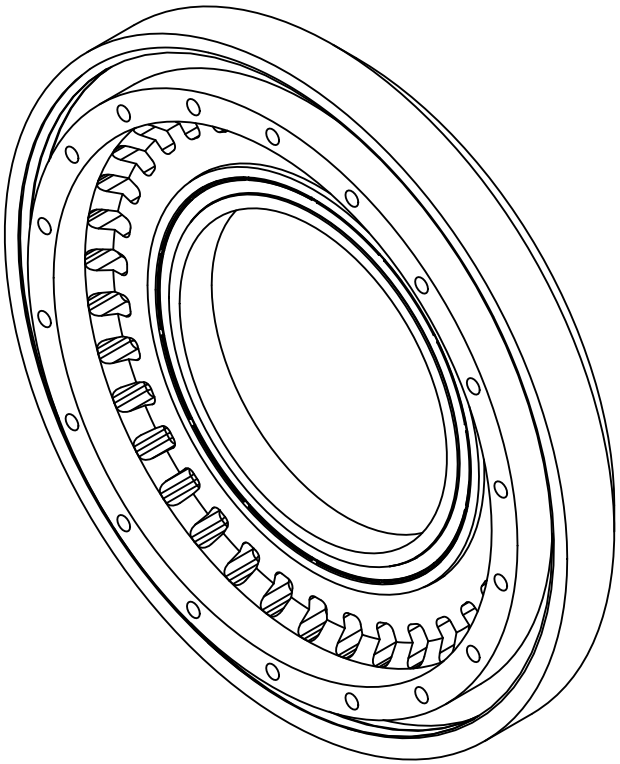
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Rotor B	MBHL - PM0004	PLA	60 g	1
2	6710ZZ	-	A307	37 g	1

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	MBHL - EM0005
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO	ROTOR B
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos	
	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020		

ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas			MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
MATERIAL	PLA / A307			PESO	97 g
				REVISIÓN	1.0
DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009	A4	
ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	HOJA	1 de 2	

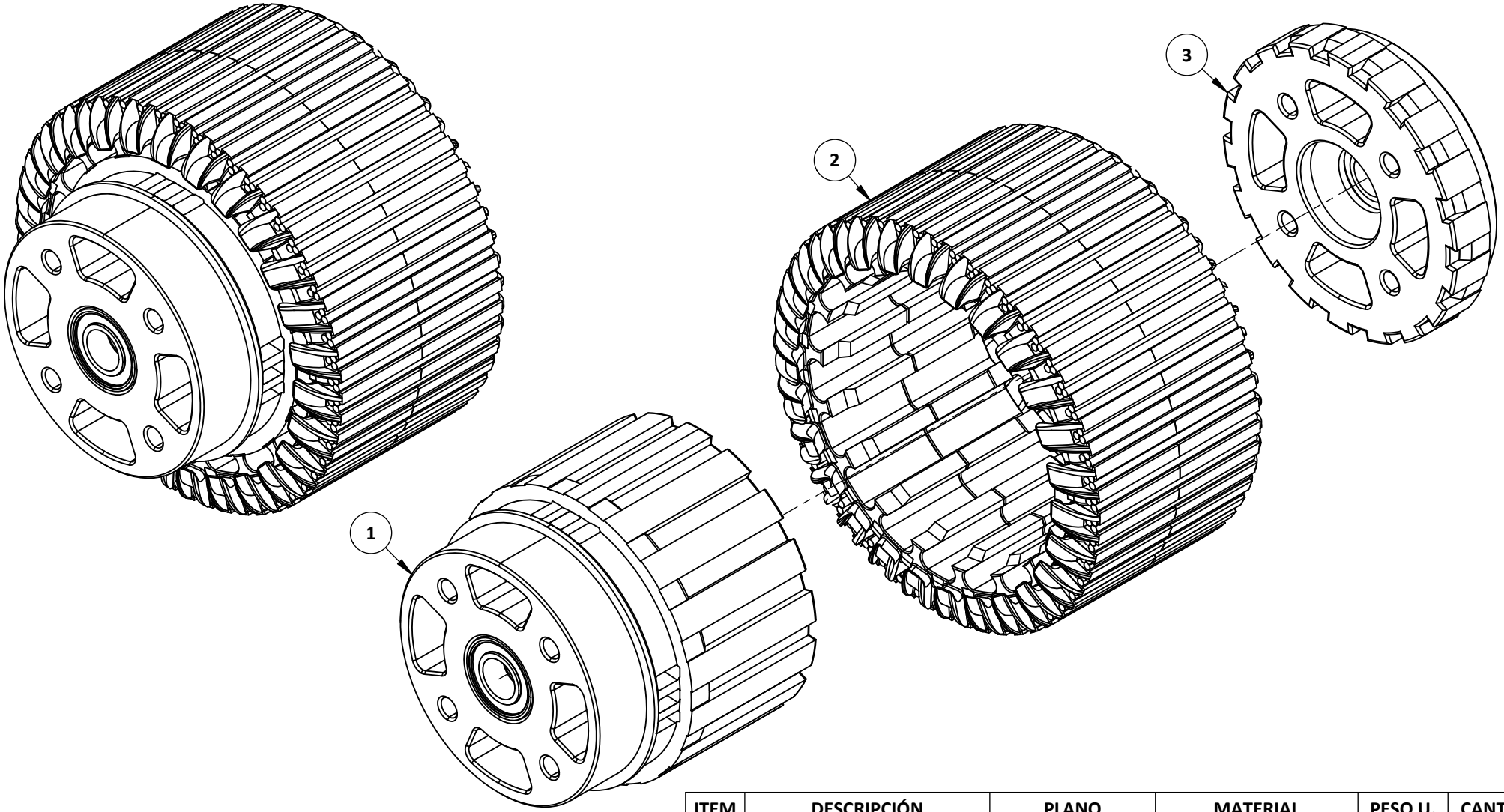




NOTA:

- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	MBHL - EM0005	**ACABADO**	Rebarbar y romper las aristas vivas		**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**		
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**ROTOR B**	**MATERIAL**	PLA / A307		**PESO**	97 g	
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020						**REVISIÓN**	1.0	
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009		A4
						ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	**HOJA**	2 de 2	



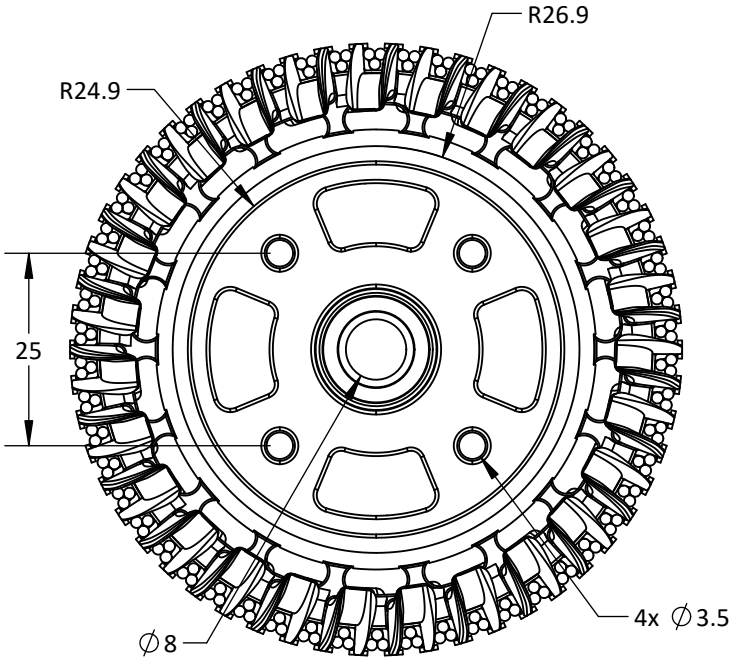
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Montaje de estator A	MBHL - EM0002	PLA / A307	105 g	1
2	Núcleo de estator	MBHL - EM0004	PLA / Cobre esmaltado	240 g	1
3	Montaje de estator B	MBHL - EM0003	PLA / A307	39 g	1

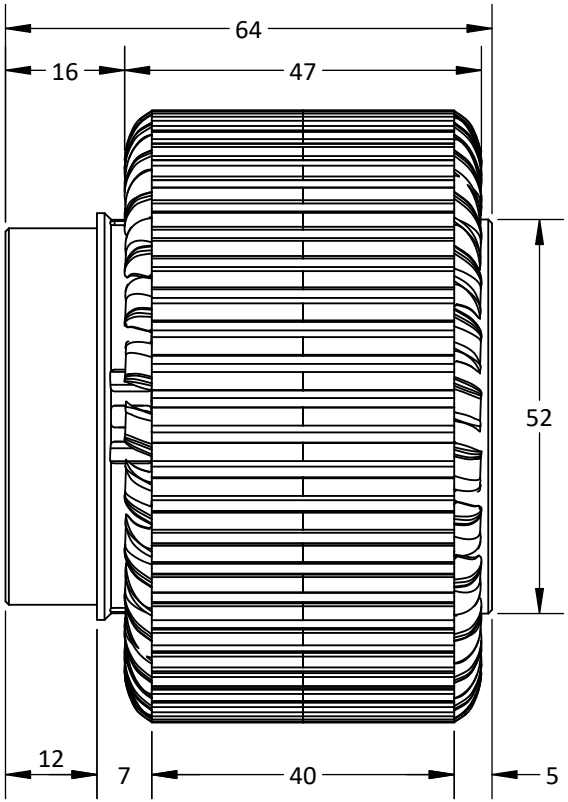
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020

CÓDIGO DIBUJO	MBHL - EM0006		
PLANO	**ESTATOR**		
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos			
ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas		
MATERIAL	PLA / A307 / Cobre esmaltado		
DIMENSIONES	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 2

MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA			
PESO	384 g		
REVISIÓN	1.0		
A4			

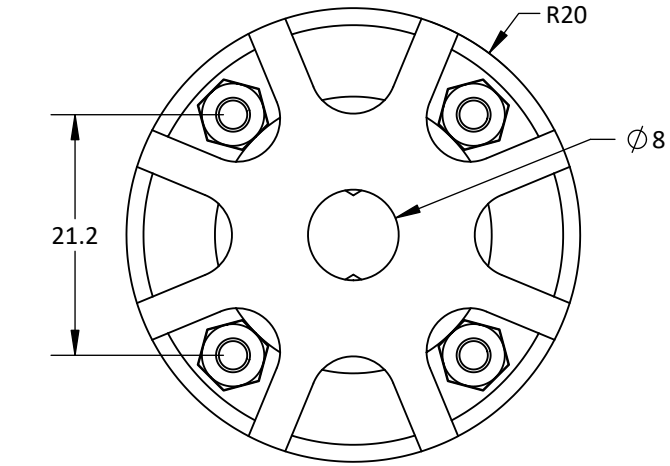


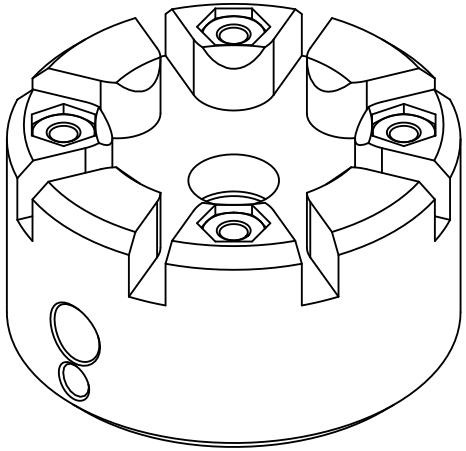


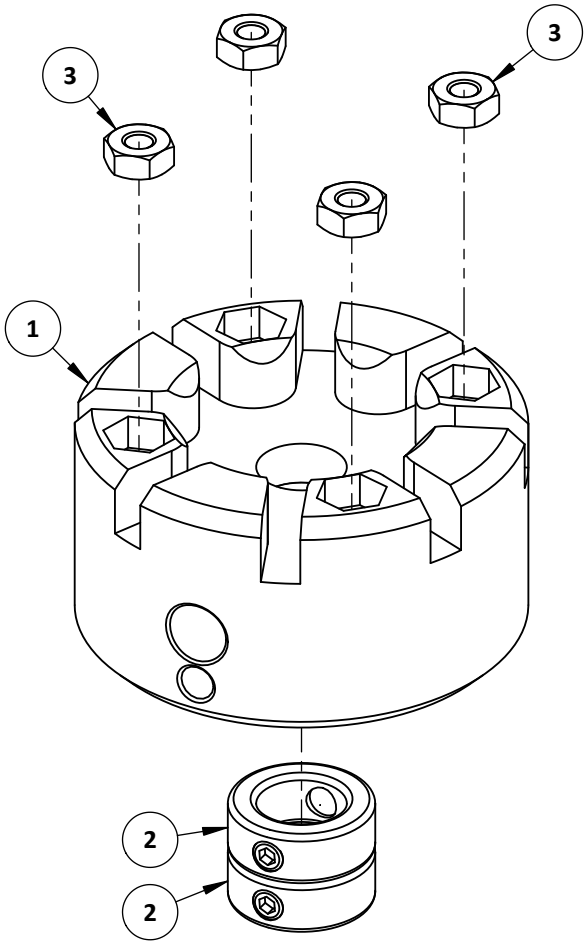
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

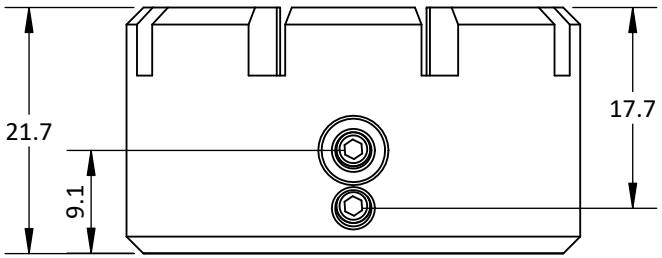
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE		FECHA	CÓDIGO DIBUJO	MBHL - EM0006	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas	MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO ESTATOR		MATERIAL	PLA / A307 / Cobre esmaltado	PESO	384 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					REVISIÓN	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	HOJA 2 de 2

A4







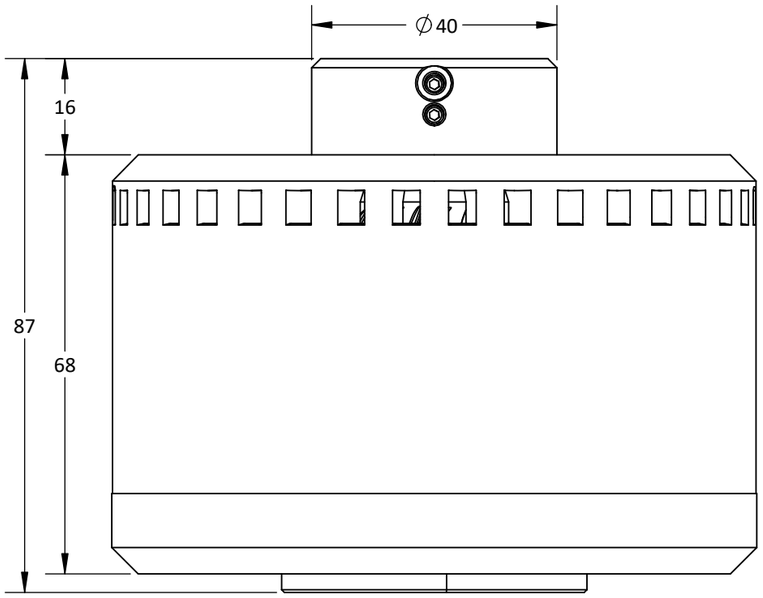


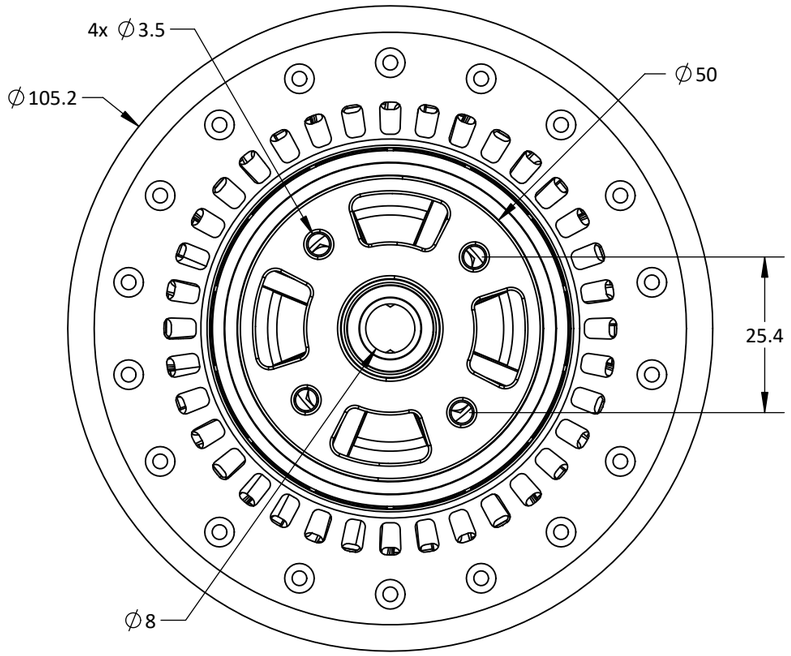
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Collar 2X 8 x 13 mm	MBHL - EM0001	PLA	30 g	1
2	BUJE 13x5 DIAM INT M8	-	A36	5 g	2
3	TUER HEX M3	-	A307	1 g	4

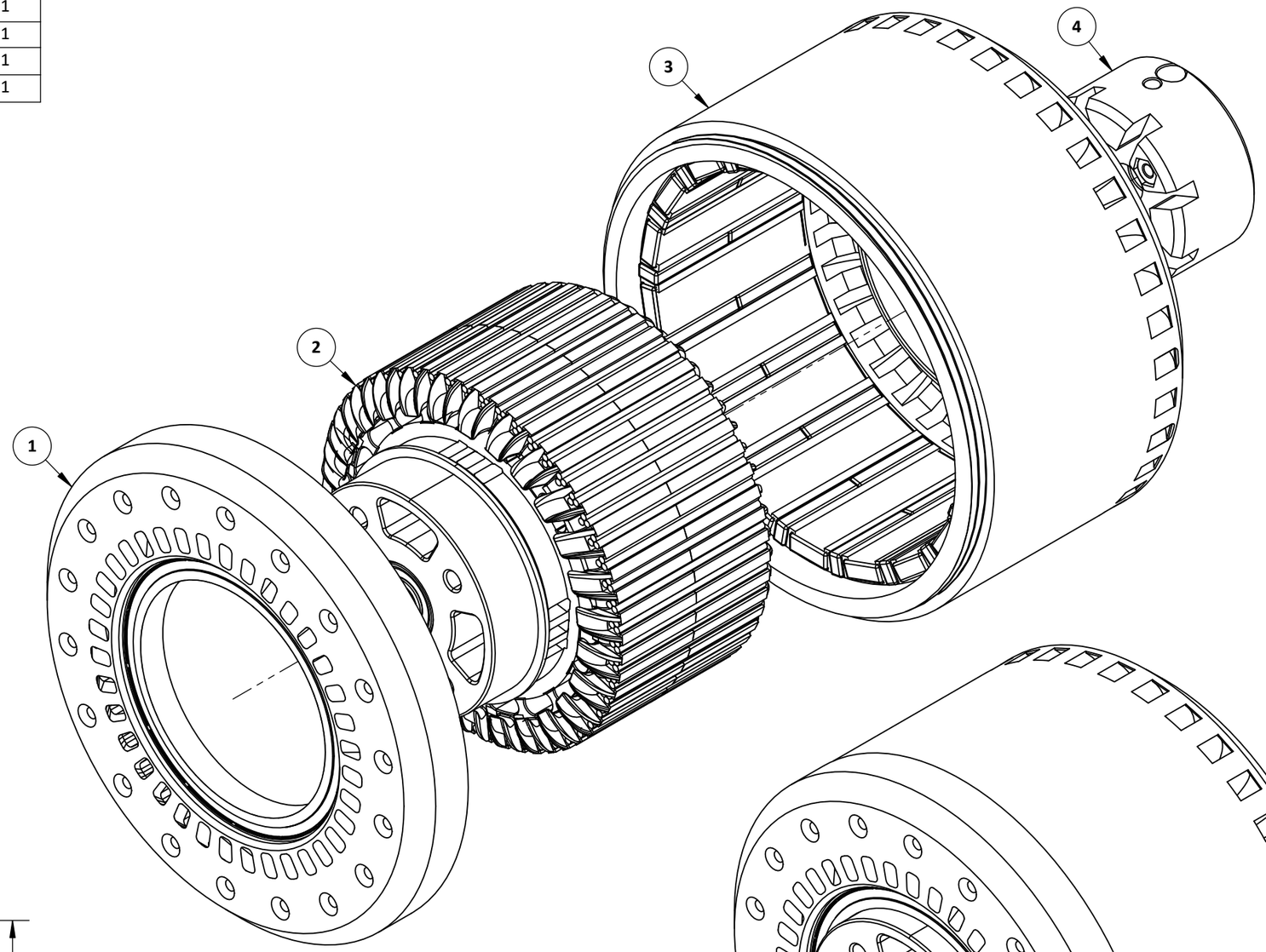
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

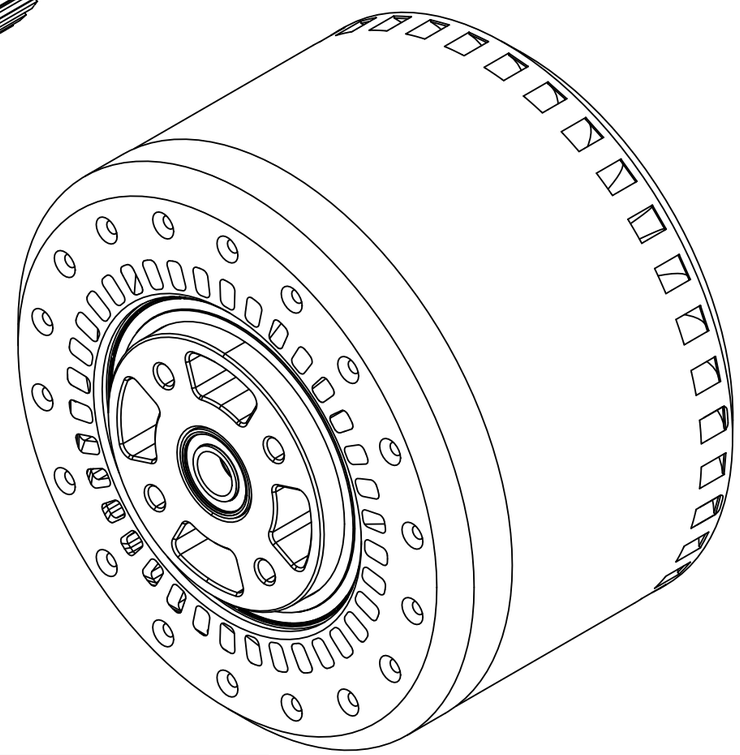
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	MBHL - EM0007	ACABADO: Rebarbar y romper las aristas vivas
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO: Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO: COLLAR		MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO: Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	MATERIAL: PLA / A307 / A36		PESO: 44 g
	REVISADO: Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		REVISIÓN: 1.0
			DIMENSIONES: mm	NORMA: ANSIY 14.5 - 2009	A4
			ESCALA: 3 : 2	No escale el dibujo	HOJA: 1 de 1

ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Rotor B	MBHL - EM0005	PLA / A307	97 g	1
2	Estator	MBHL - EM0006	PLA / A307 / Cobre esmaltado	384 g	1
3	Rotor A	MBHL - EM0001	PLA / Neodimio	455 g	1
4	Collar	MBHL - EM0007	PLA / A307 / A36	44 g	1







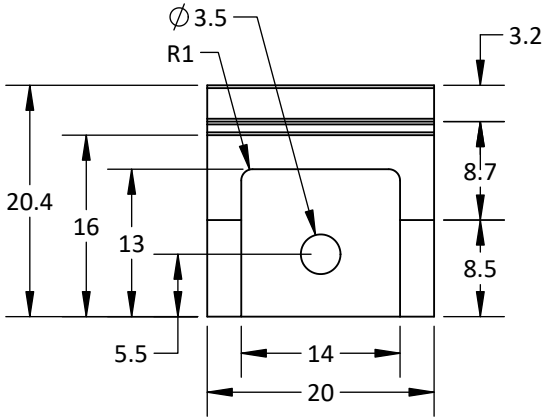


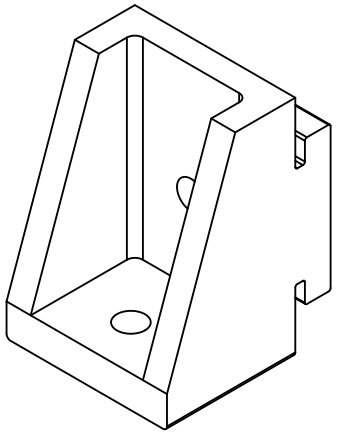
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE	FECHA	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO: Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	
	DIBUJADO: Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	REVISADO: Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	

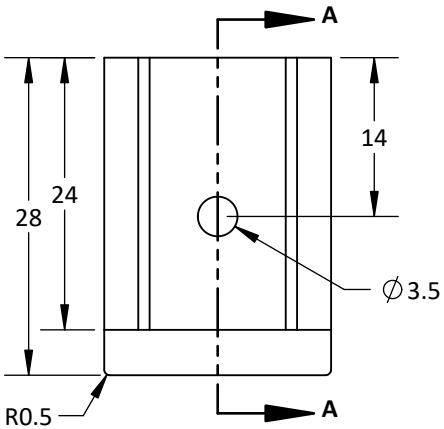
CÓDIGO DIBUJO	MBHL - EM0008		
PLANO	MOTOR BRUSHLESS DC CON ARREGLO HALBACH DE 600W		
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos			
ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas		
MATERIAL	PLA / A307 / A36 / Cobre esmaltado / Neodimio		
DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009
ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	

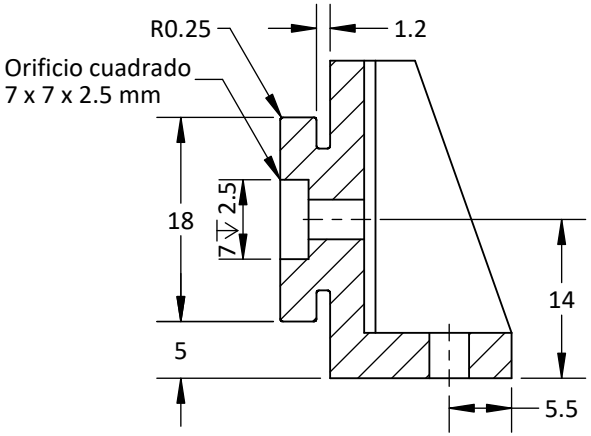
MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA		
PESO	980 g	
REVISIÓN	1.0	
HOJA	1 de 1	A3

NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas









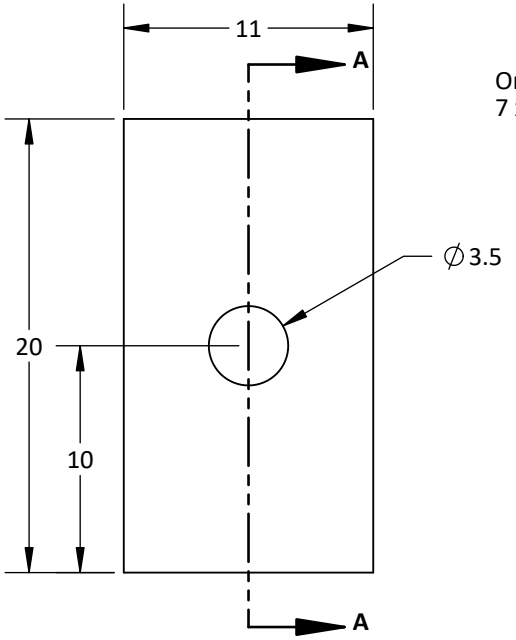
SECCIÓN A - A

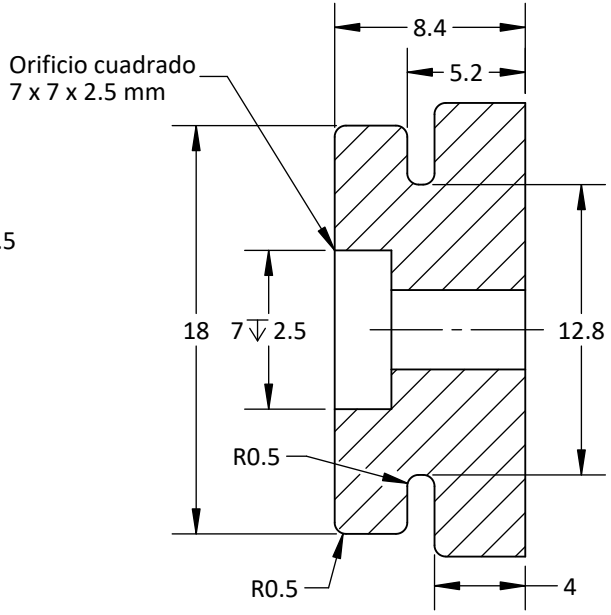
NOTA:

- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 55 minutos
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

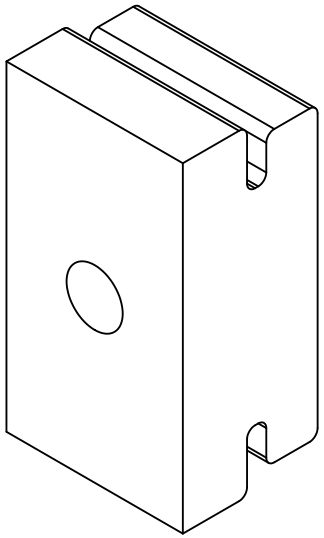
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	TMBH - PM0001	**ACABADO**	Impresión 3D - GP: 2mm, DR: 10%, R: 0.15	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**CONECTOR SOPORTE - 1**	**MATERIAL**	Filamento de PLA de 1.75 mm - blanco	**PESO**	10 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN**	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	3 : 2	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 1

A4





SECCIÓN A - A

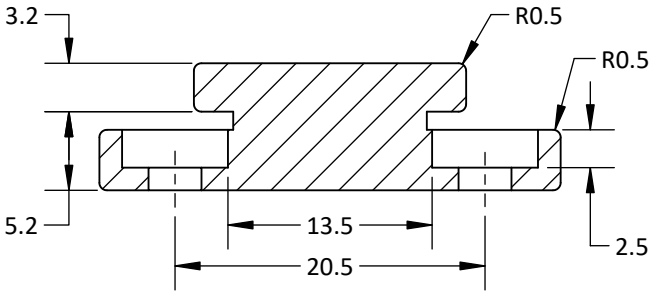


NOTA:

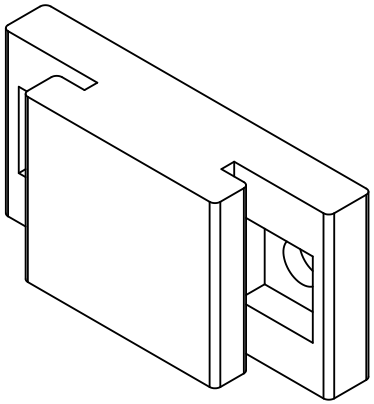
- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 20 minutos
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

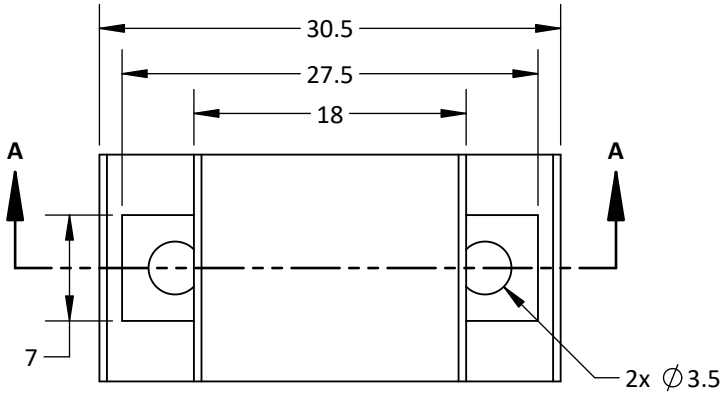
	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE		FECHA	CÓDIGO DIBUJO	TMBH - PM0002	ACABADO	Impresión 3D - GP: 2mm, DR: 10%, R: 0.15	MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA
	Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO CONECTOR SOPORTE - 2		MATERIAL	Filamento de PLA de 1.75 mm - blanco	PESO 5 g
		DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					REVISIÓN 1.0
	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		DIMENSIONES mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009
							ESCALA 3 : 1	No escale el dibujo	HOJA 1 de 1

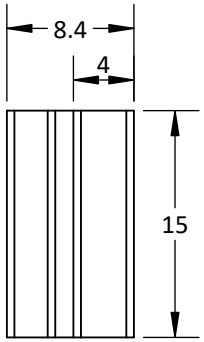
A4



SECCIÓN A - A





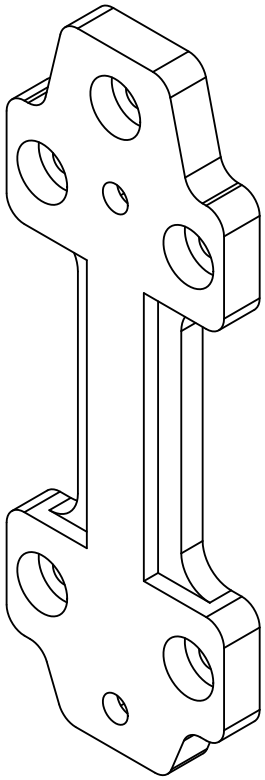


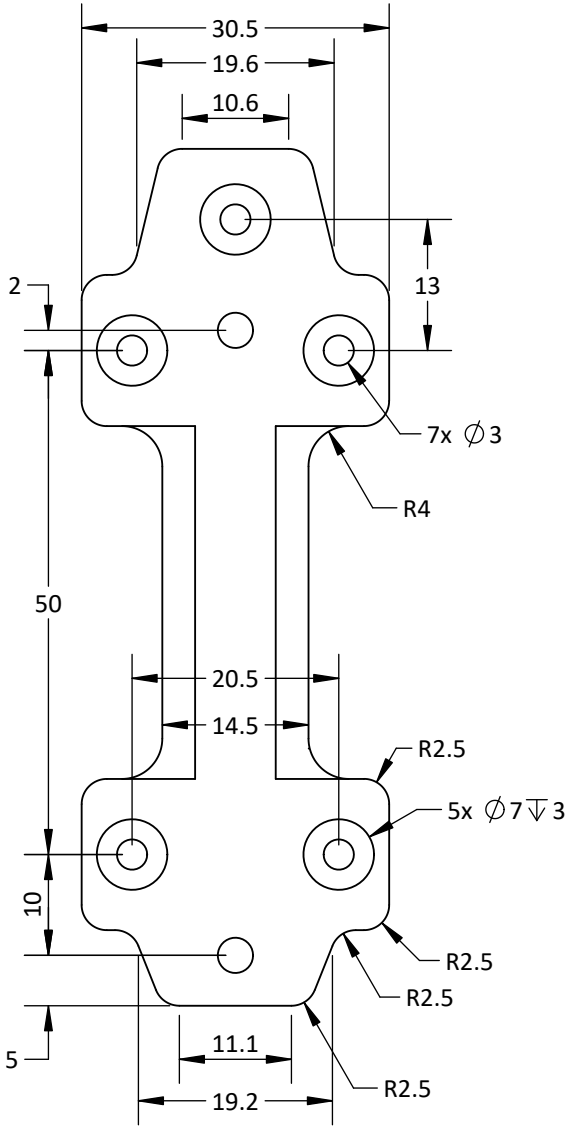
NOTA:

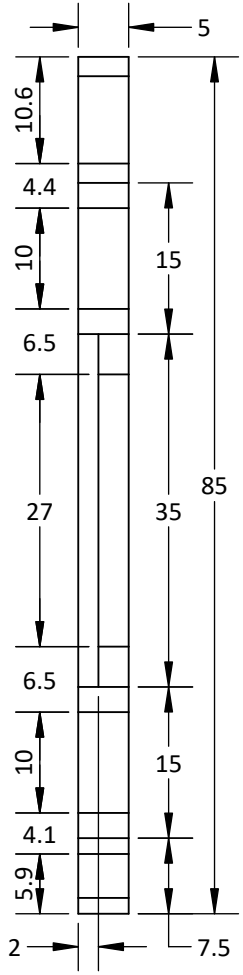
- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 25 minutos
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	TMBH - PM0003	**ACABADO**	Impresión 3D - GP: 2mm, DR: 10%, R: 0.15	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO** **SOPORTE DISTRIBUIDOR - 1**		**MATERIAL**	Filamento de PLA de 1.75 mm - blanco	**PESO**	5 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN**	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	2 : 1	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 1

A4





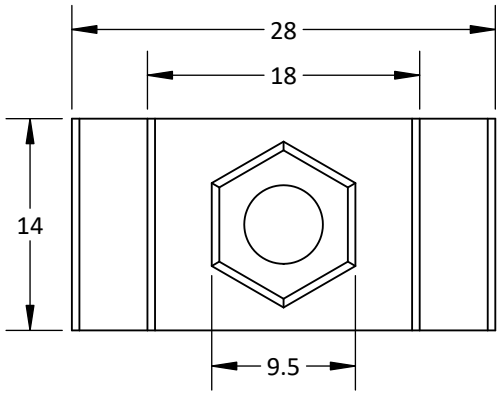


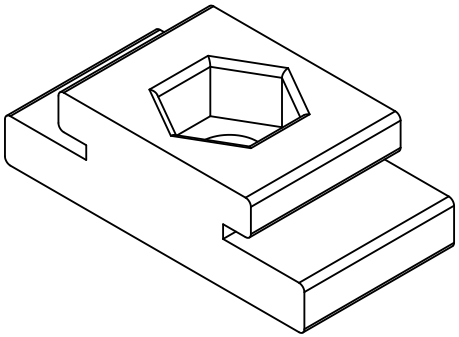
NOTA:

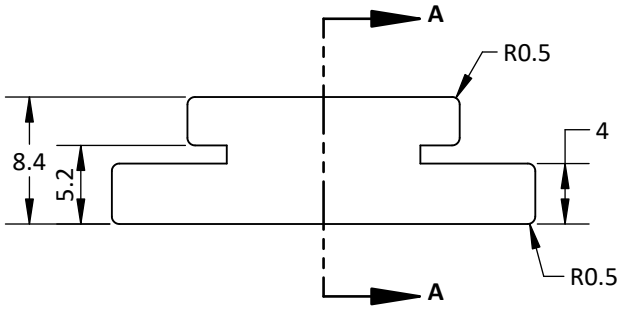
- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 1 hora
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

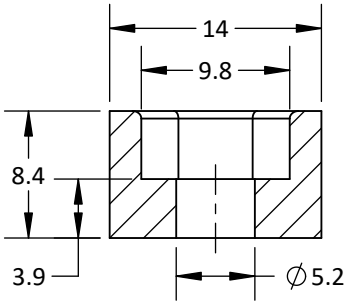
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	**NOMBRE**		**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	TMBH - PM0004	**ACABADO**	Impresión 3D - GP: 2mm, DR: 10%, R: 0.15
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO** **SOPORTE DISTRIBUIDOR - 2**		**MATERIAL**	Filamento de PLA de 1.75 mm - blanco
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**DIBUJADO**	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm
	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020			**ESCALA**	4 : 3

MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA			
PESO	10 g		
REVISIÓN	1.0		
NORMA	ANSIY 14.5 - 2009	A4	
No escale el dibujo	**HOJA**	1 de 1	









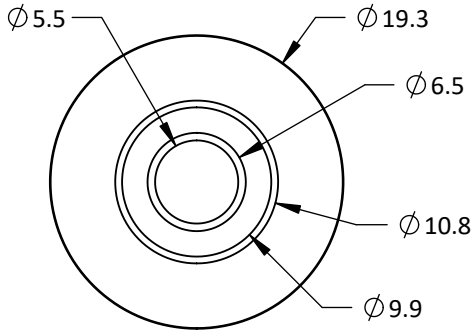
SECCIÓN A - A

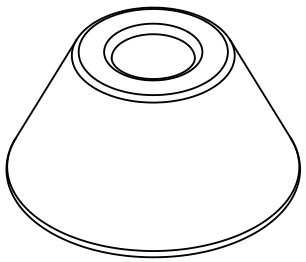
NOTA:

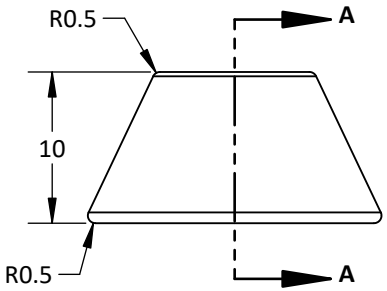
- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 25 minutos
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

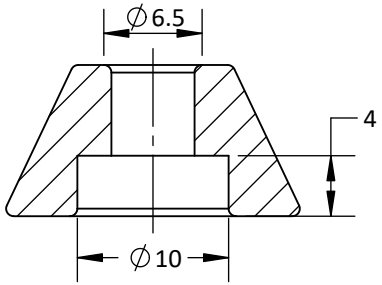
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	TMBH - PM0005	**ACABADO**	Impresión 3D - GP: 2mm, DR: 10%, R: 0.15	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**SOPORTE PIE - 1**	**MATERIAL**	Filamento de PLA de 1.75 mm - blanco	**PESO**	5 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN**	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	2 : 1	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 1

A4









SECCIÓN A - A

NOTA:

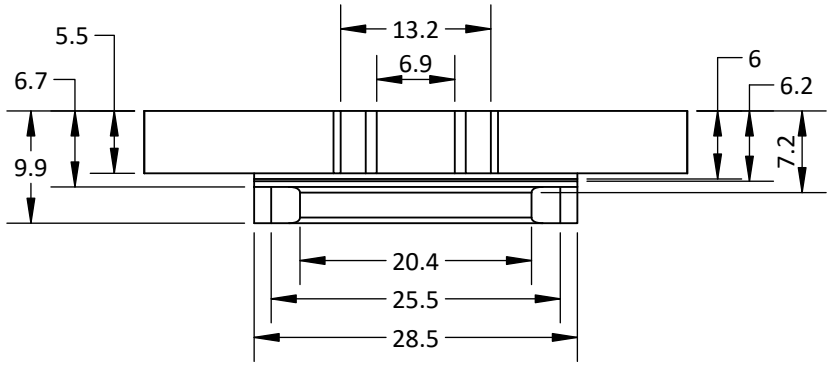
- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 20 minutos
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

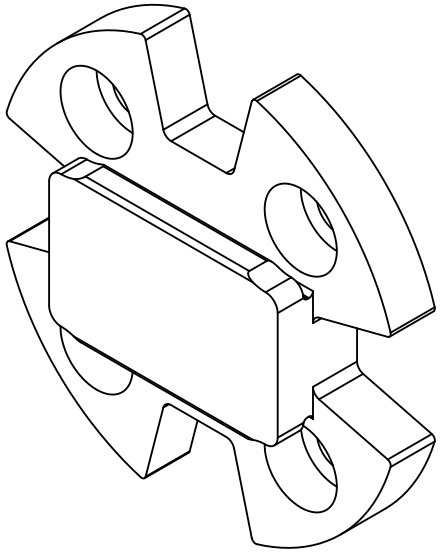
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	TMBH - PM0006	**ACABADO**	Impresión 3D - GP: 2mm, DR: 10%, R: 0.15		**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO** **SOPORTE PIE - 2**		**MATERIAL**	Filamento de PLA de 1.75 mm - blanco		**PESO** 5 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020						**REVISIÓN** 1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	2 : 1	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 1

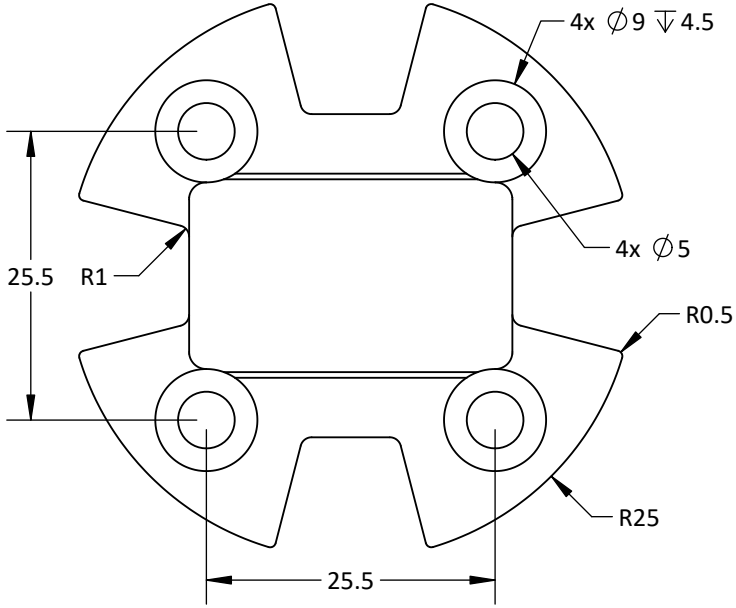
A4

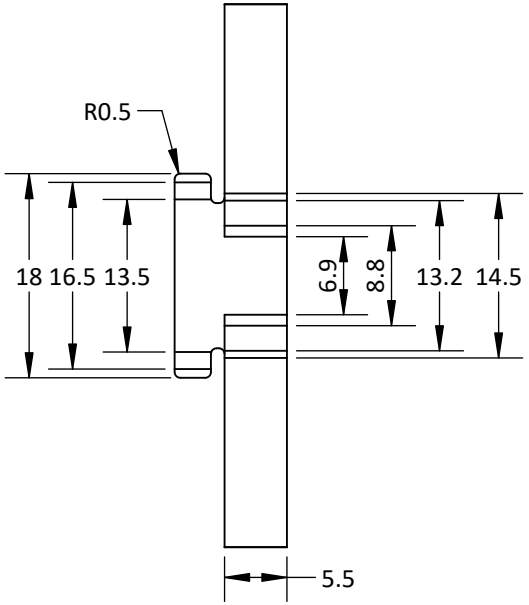
NOTA:

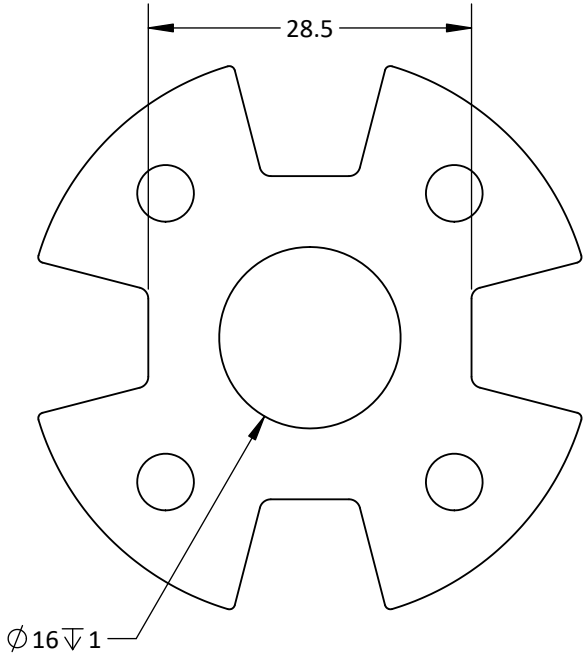
- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 1 hora
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas



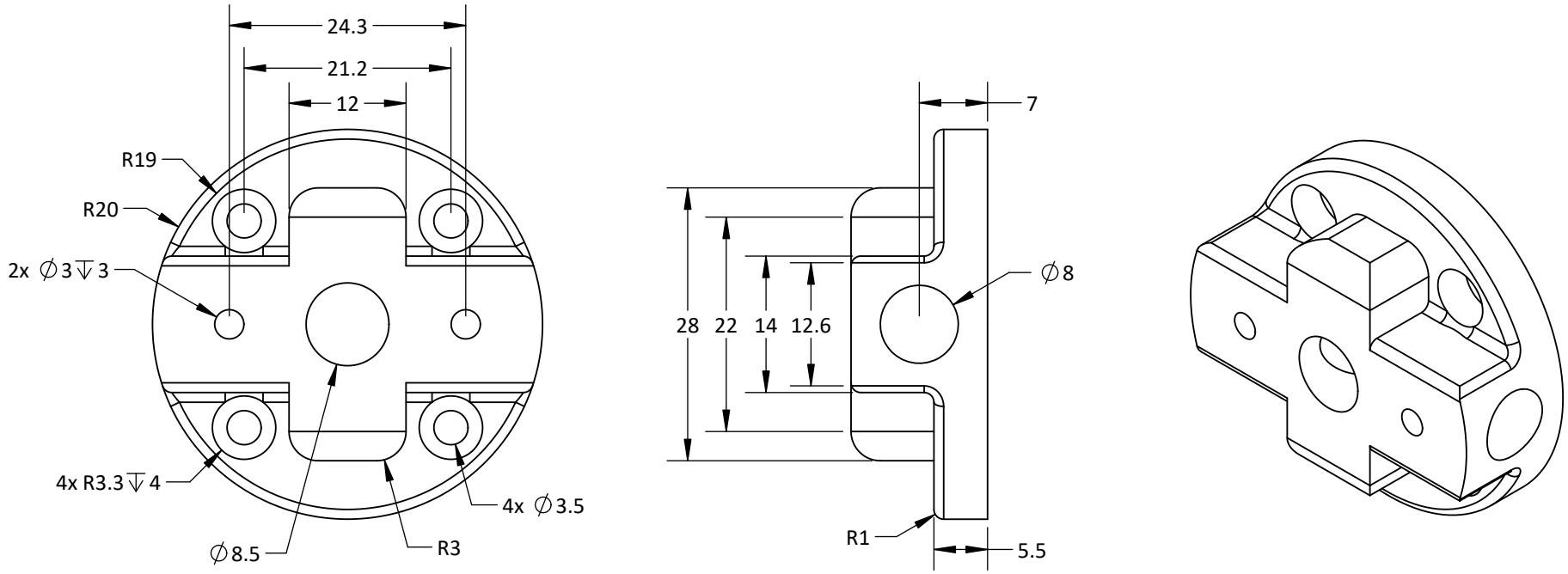








UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	TMBH - PM0007	ACABADO	Impresión 3D - GP: 2mm, DR: 10%, R: 0.15	MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO	SOPORTE DE MOTOR	MATERIAL	Filamento de PLA de 1.75 mm - blanco	PESO: 10 g
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos				REVISIÓN: 1.0
	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020			DIMENSIONES: mm	NORMA: ANSIY 14.5 - 2009	A4
						ESCALA: 3 : 2	No escale el dibujo	HOJA: 1 de 1

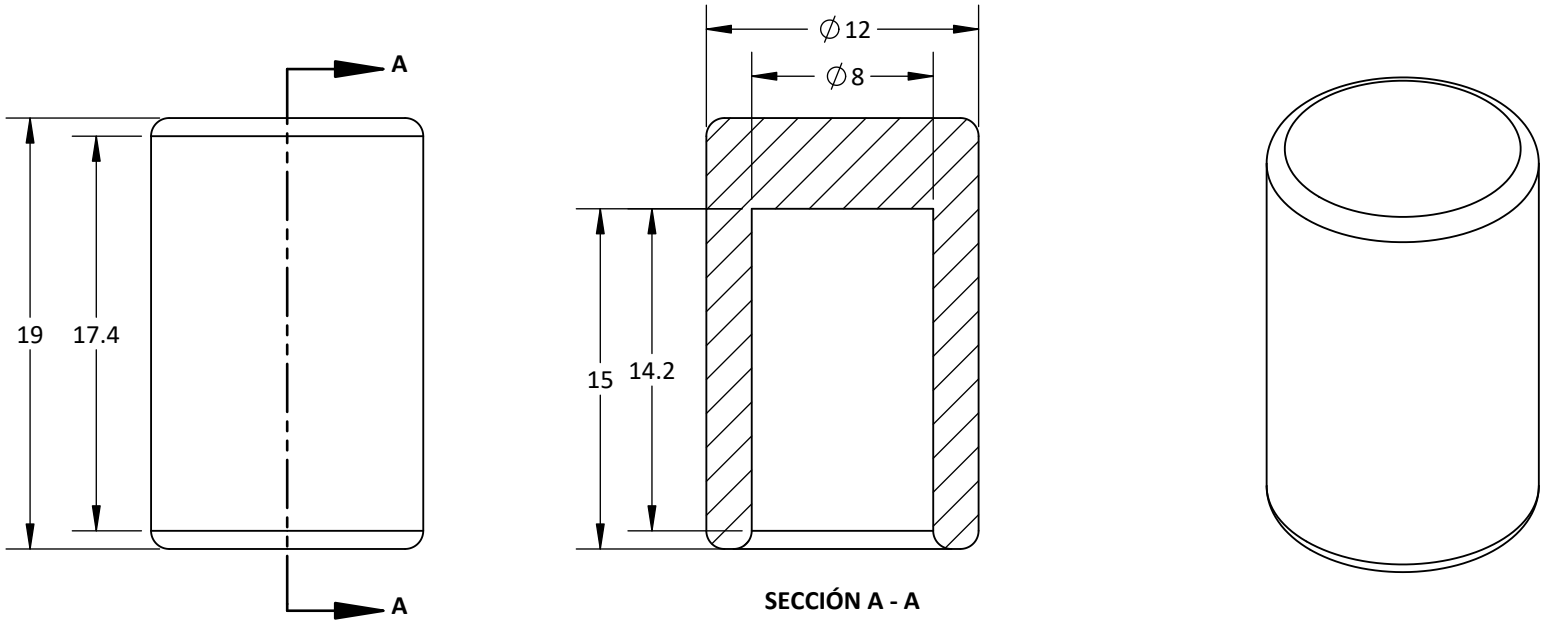


NOTA:

- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 1 hora 15 minutos
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	TMBH - PM0008	**ACABADO**	Impresión 3D - GP: 2mm, DR: 10%, R: 0.15	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**SOPORTE DE BRAZO**	**MATERIAL**	Filamento de PLA de 1.75 mm - blanco	**PESO**	15 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos				**REVISIÓN**	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020			**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	3 : 2	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 1

A4

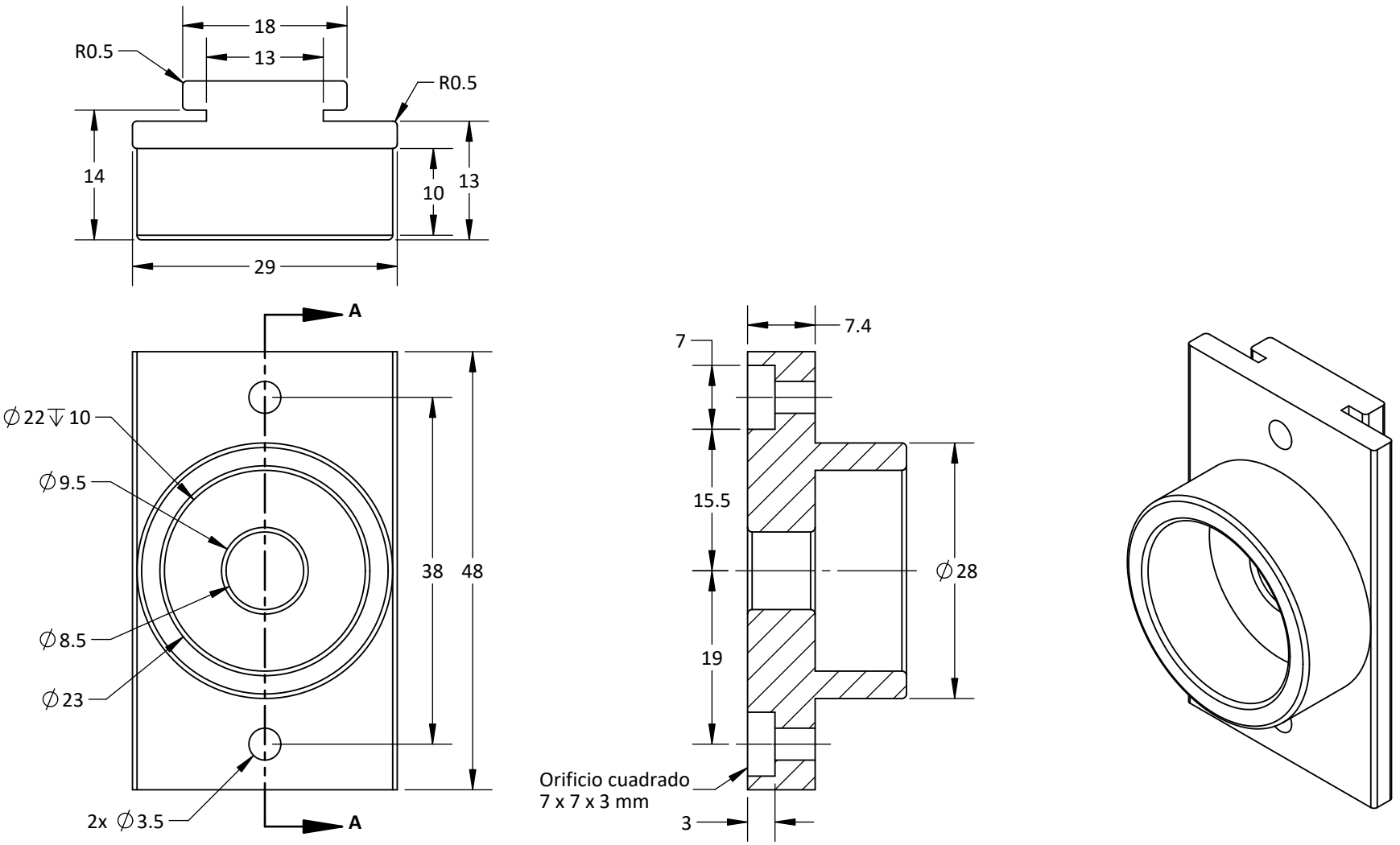


NOTA:

- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 30 minutos
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	TMBH - PM0009	**ACABADO**	Impresión 3D - GP: 2mm, DR: 10%, R: 0.15	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**PROTECTOR DE BRAZO**	**MATERIAL**	Filamento de PLA de 1.75 mm - blanco	**PESO**	3 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN**	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	3 : 1	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 1

A4



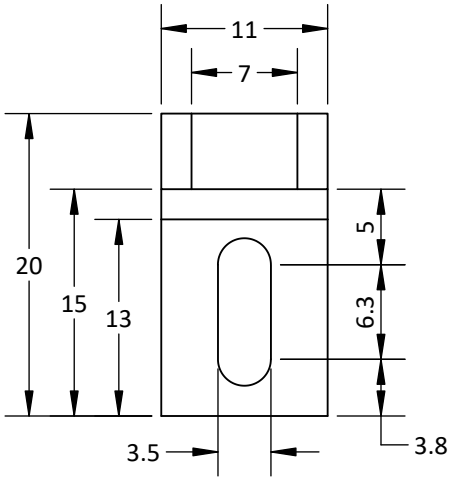
SECCIÓN A - A

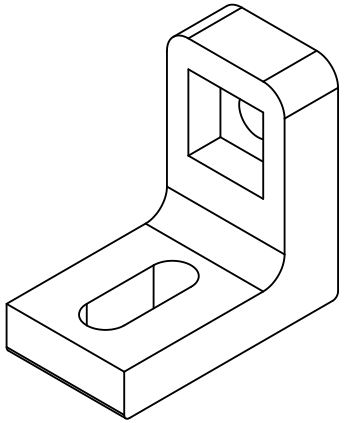
NOTA:

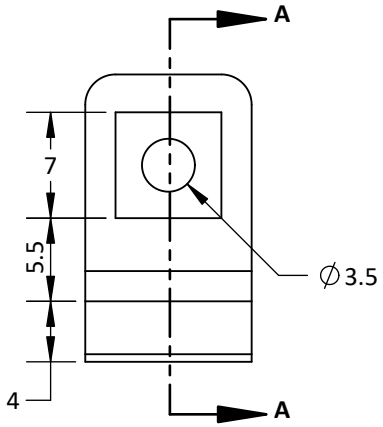
- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 1 hora 20 minutos
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

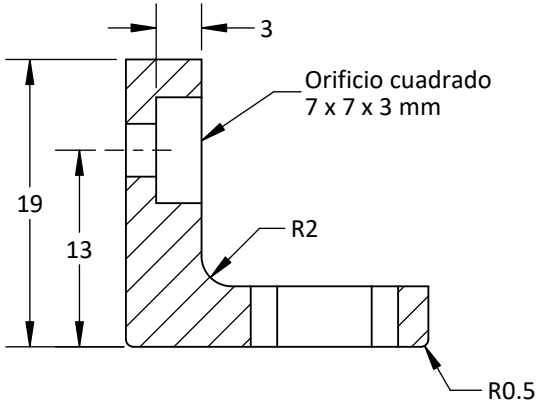
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	TMBH - PM0010	**ACABADO**	Impresión 3D - GP: 2mm, DR: 10%, R: 0.15	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**SOPORTE DE RODAMIENTO**	**MATERIAL**	Filamento de PLA de 1.75 mm - blanco	**PESO** 15 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN** 1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES** mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA 3 : 2	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 1

A4









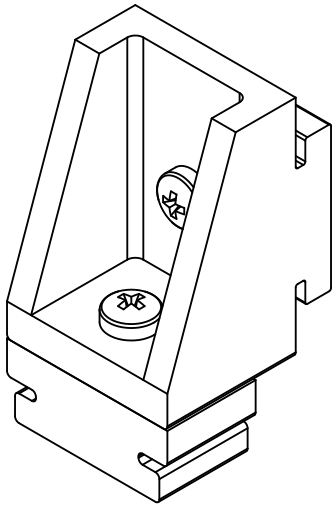
SECCIÓN A - A

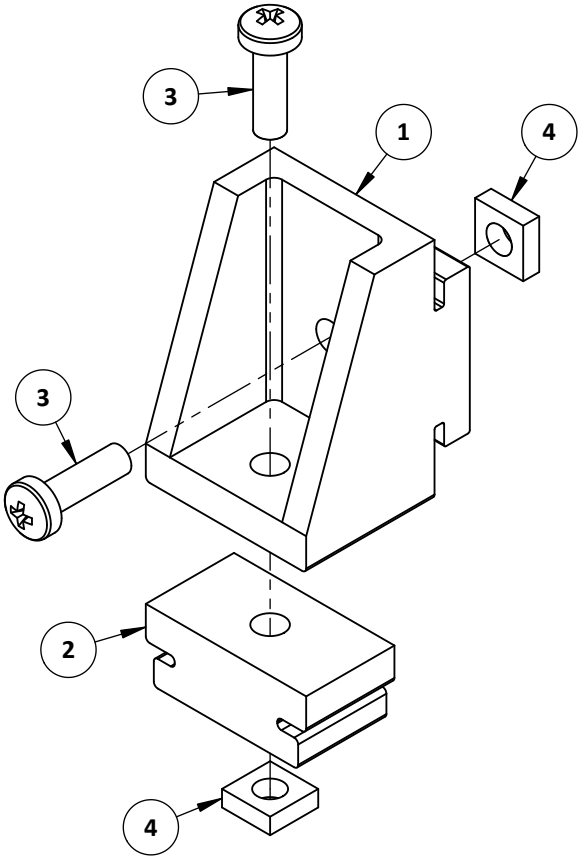
NOTA:

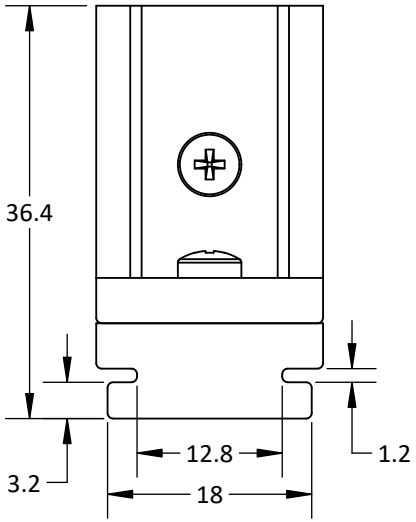
- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Acabado con lija fina
- GP = Grosor de pared, DR = Densidad de relleno, R = Resolución
- Tiempo de impresión: 25 minutos
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

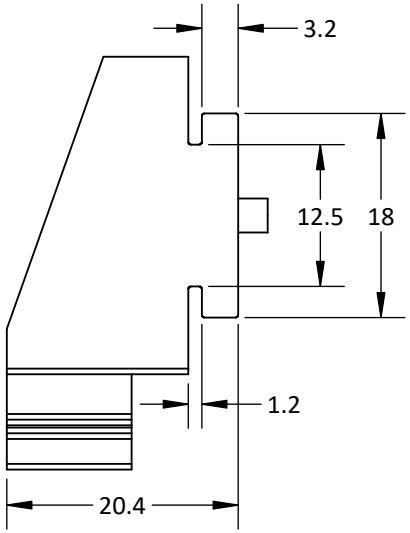
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	TMBH - PM0011	**ACABADO**	Impresión 3D - GP: 2mm, DR: 10%, R: 0.15	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**SOPORTE DE SENSOR**	**MATERIAL**	Filamento de PLA de 1.75 mm - blanco	**PESO**	3 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN**	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	2 : 1	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 1

A4





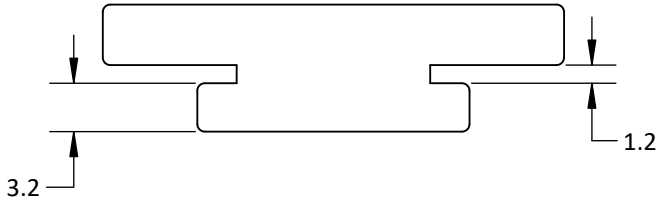


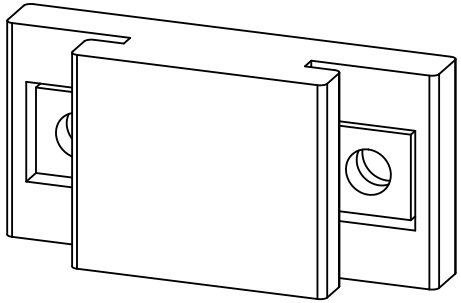


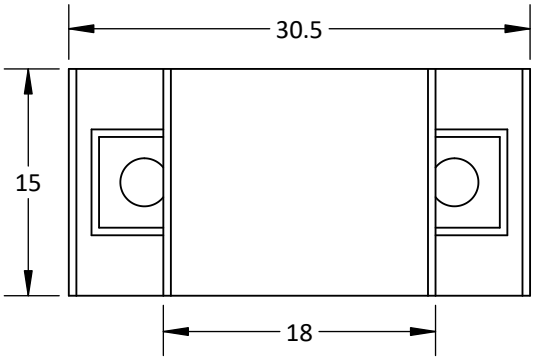
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Conector soporte - 1	TMBH - PM0001	PLA	10 g	1
2	Conector soporte - 2	TMBH - PM0002	PLA	5 g	1
3	TORN CAB RED M3x10	-	A307	1 g	2
4	TUER CUA M3	-	A307	1 g	2

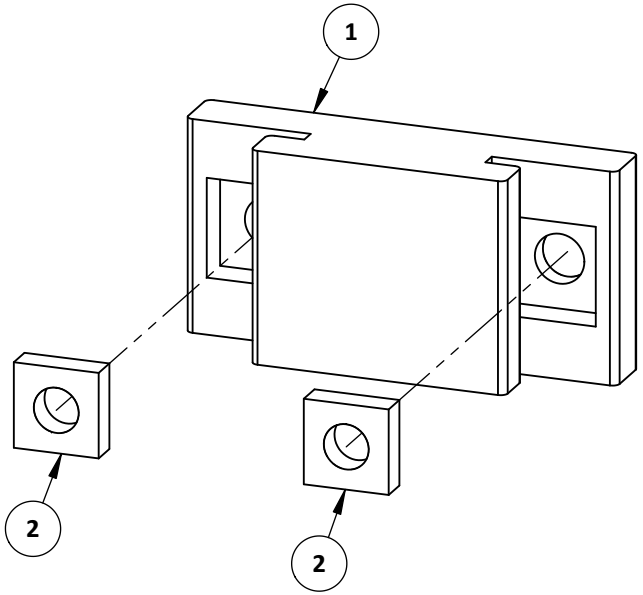
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	TMBH - EM0001	ACABADO: Rebarbar y romper las aristas vivas
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO: Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO: CONECTOR SOPORTE		MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO: Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	MATERIAL: PLA / A307		PESO: 19 g
	REVISADO: Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		REVISIÓN: 1.0
			DIMENSIONES: mm	NORMA: ANSIY 14.5 - 2009	A4
			ESCALA: 3 : 2	No escale el dibujo	HOJA: 1 de 1









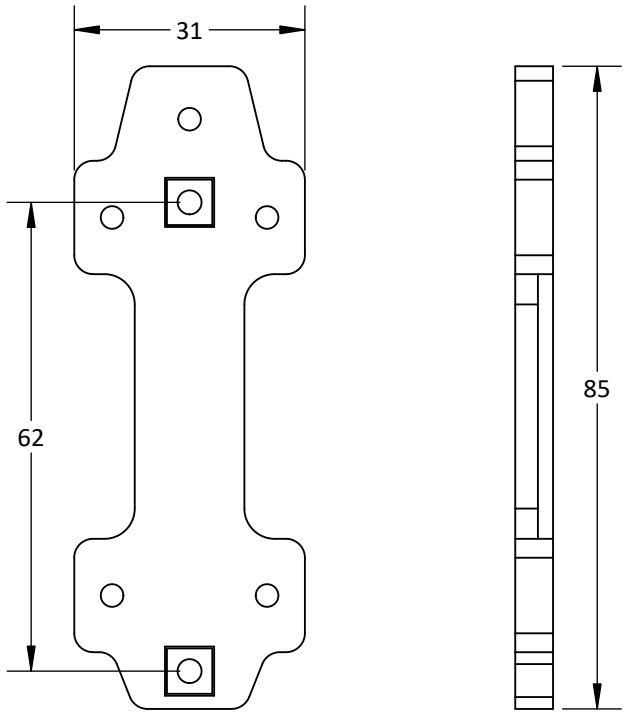
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

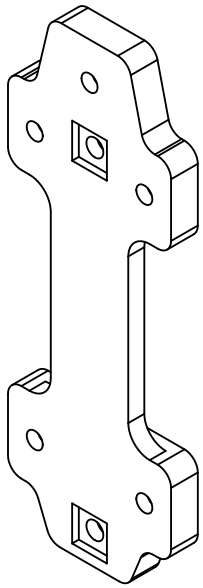
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Soporte de distribuidor - 1	TMBH - PM0003	PLA	5 g	1
2	TUER CUA M3	-	A307	1 g	2

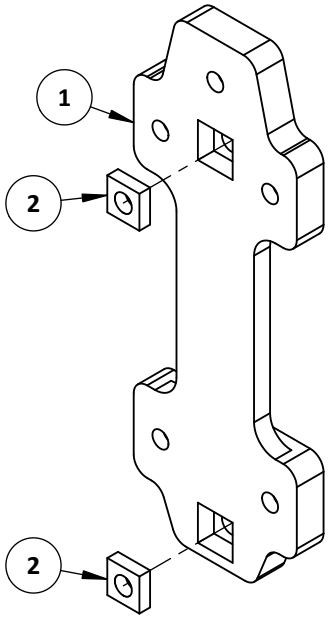
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	TMBH - EM0002
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO	SOPORTE DE DISTRIBUIDOR - 1
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020		
	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020		

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas			MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
MATERIAL	PLA / A307			PESO	7 g
				REVISIÓN	1.0
DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009		A4
ESCALA	2 : 1	No escale el dibujo	HOJA	1 de 1	







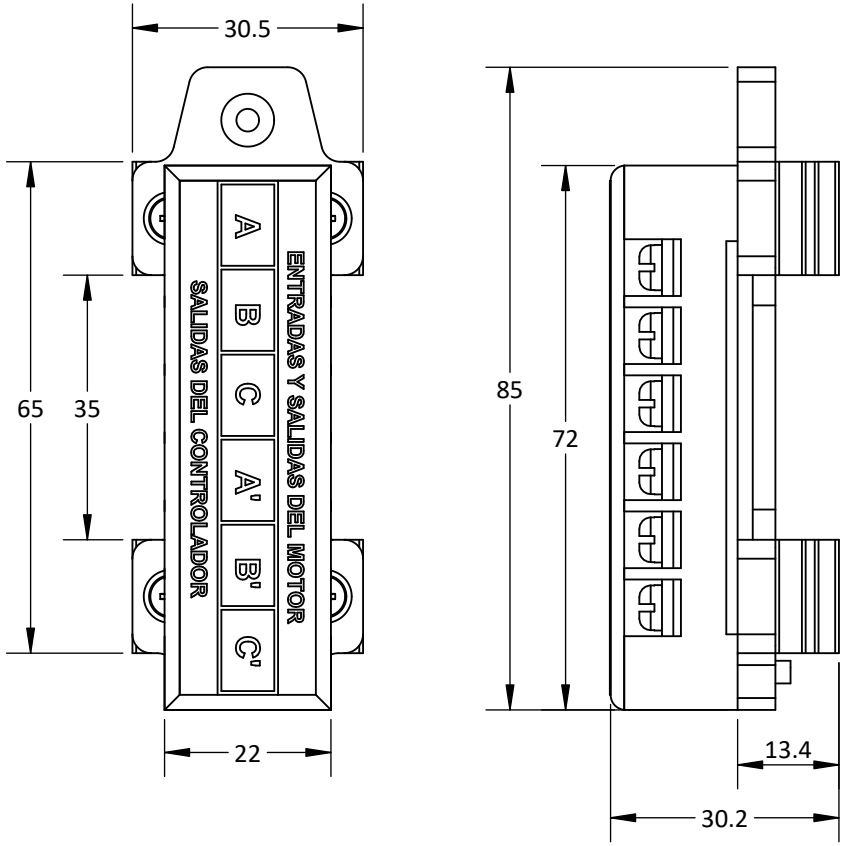
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

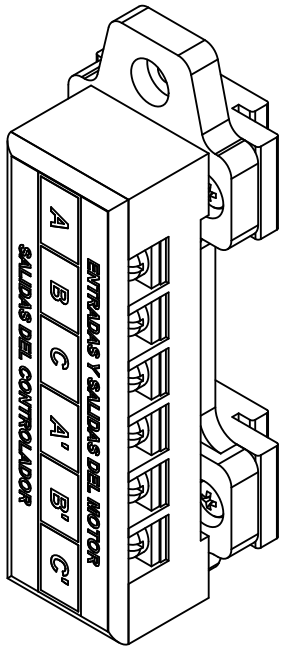
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Soporte de distribuidor - 2	TMBH - PM0004	PLA	10 g	1
2	TUER CUA M3	-	A307	1 g	2

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	TMBH - EM0003
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO	SOPORTE DE DISTRIBUIDOR - 2
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020		
	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020		

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas			MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
MATERIAL	PLA / A307			PESO	12 g
				REVISIÓN	1.0
DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009	A4	
ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	HOJA	1 de 1	

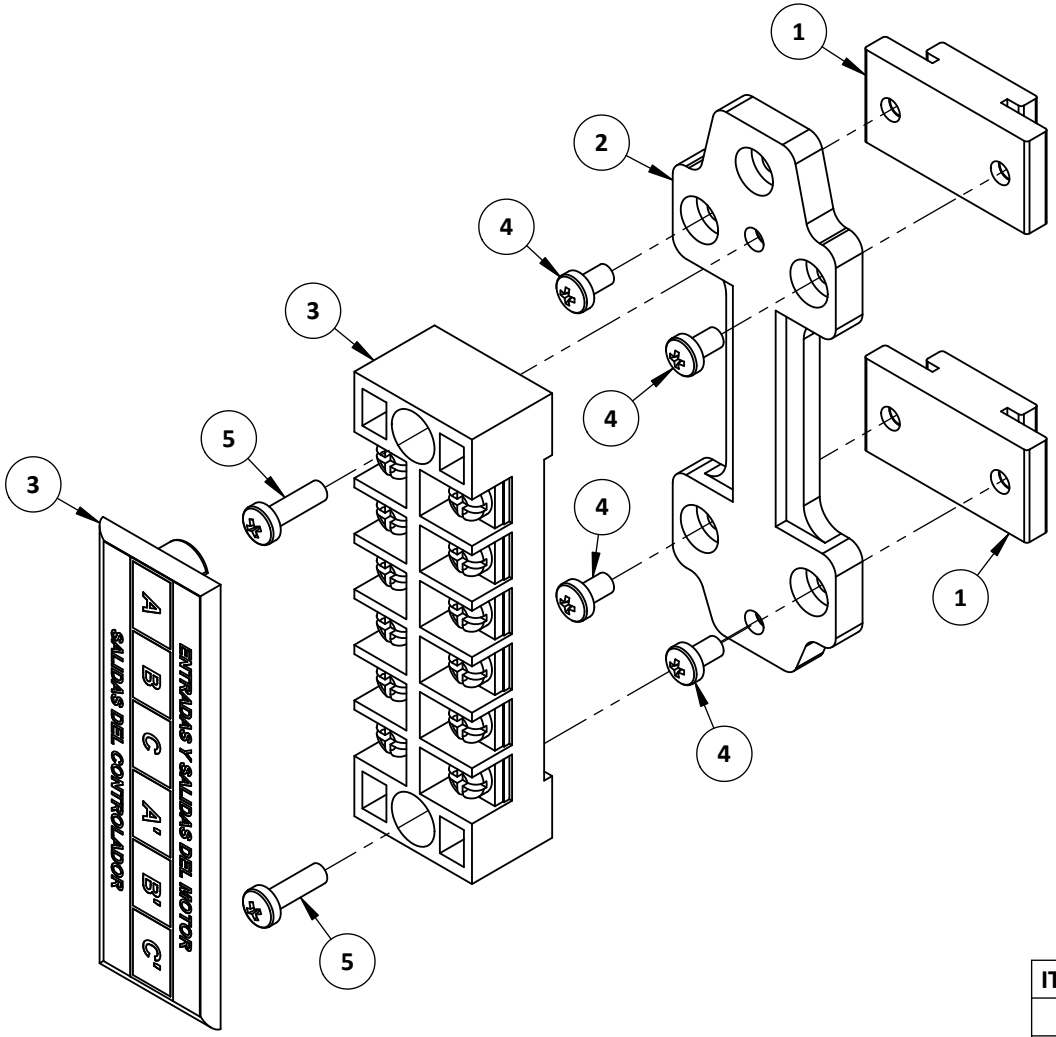


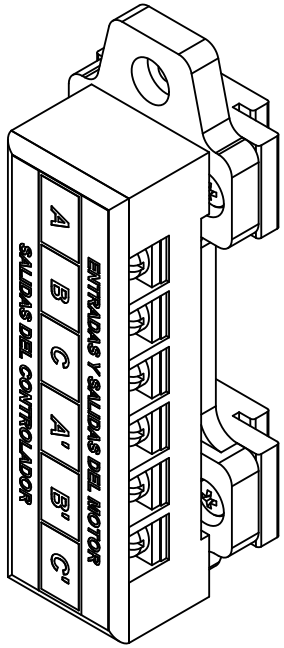


NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	TMBH - EM0004	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas	MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO DISTRIBUIDOR		MATERIAL	PLA / A307	PESO	85 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos				REVISIÓN	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020			DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	HOJA 1 de 2

A4

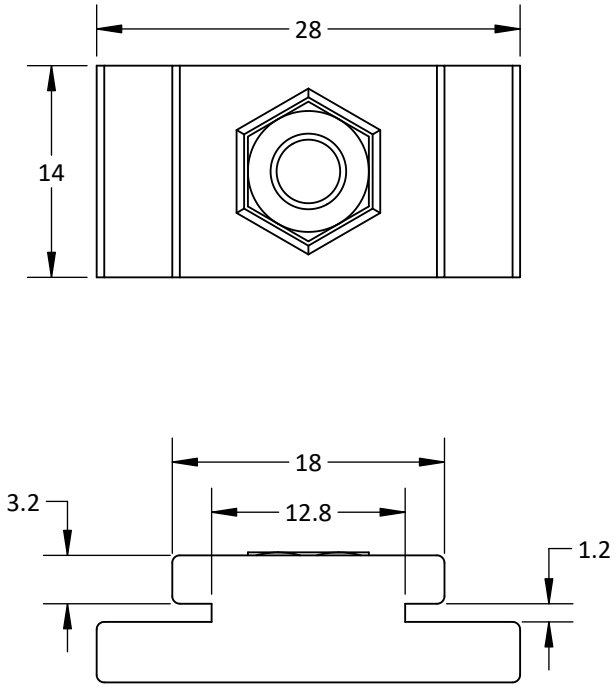


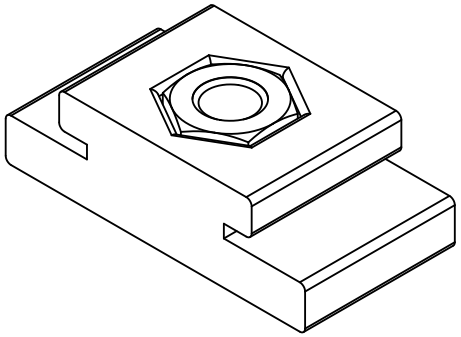


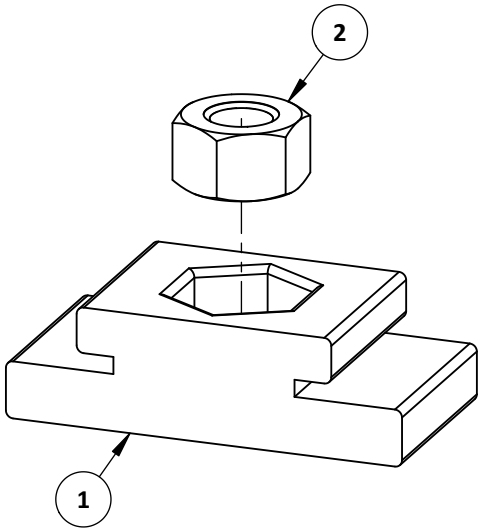
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Soporte de distribuidor - 1	TMBH - PM0002	PLA	7 g	2
2	Soporte de distribuidor - 2	TMBH - PM0003	PLA	12 g	1
3	Terminal doble de 6 pines	-	-	53 g	1
4	TORN CAB RED M3x5	-	A307	1 g	4
5	TORN CAB RED M3x10	-	A307	1g	2

NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	TMBH - EM0004	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas	MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO: Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO: DISTRIBUIDOR		MATERIAL	PLA / A307	PESO: 85 g
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO: Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos				REVISIÓN: 1.0
	REVISADO: Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020			DIMENSIONES: mm	NORMA: ANSIY 14.5 - 2009	A4
					ESCALA: 1 : 1	No escale el dibujo	HOJA: 2 de 2





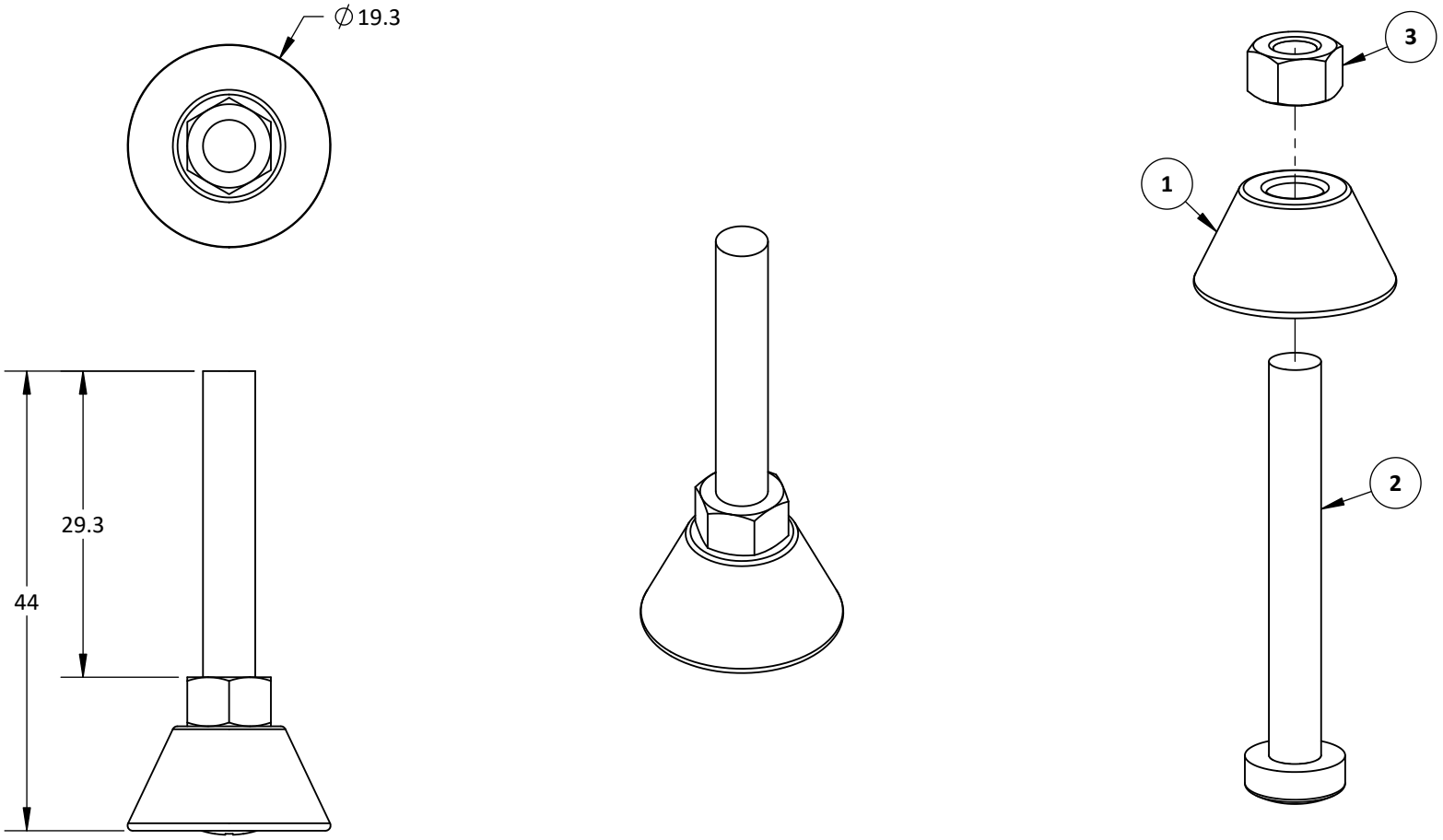


NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Soporte pie - 1	TMBH - PM0005	PLA	5 g	1
2	TUER HEX M5	-	A307	5 g	1

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE		FECHA	CÓDIGO DIBUJO	TMBH - EM0005	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO	SOPORTE PIE - 1	MATERIAL	PLA / A307
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		DIMENSIONES	mm
	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020			ESCALA	2 : 1

MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA			
PESO	10 g		
REVISIÓN	1.0		
NORMA	ANSIY 14.5 - 2009		A4
HOJA	1 de 1		

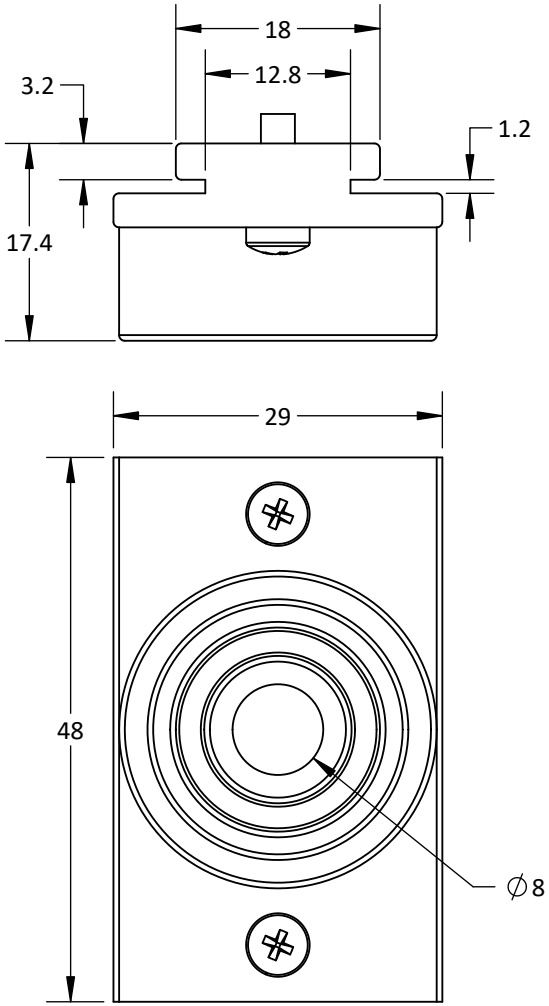


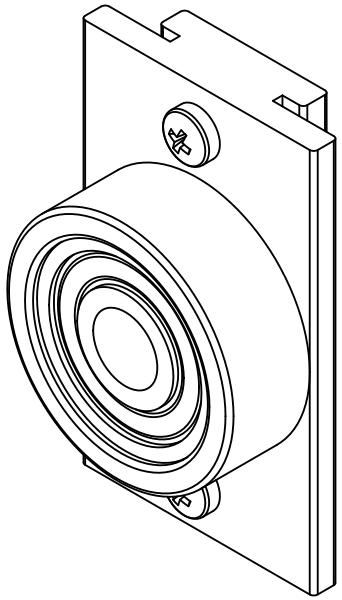
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Soporte pie - 2	TMBH - PM0006	PLA	5 g	1
2	TORN CAB RED M5x40	-	A307	10 g	1
3	TUER HEX M5	-	A307	5 g	1

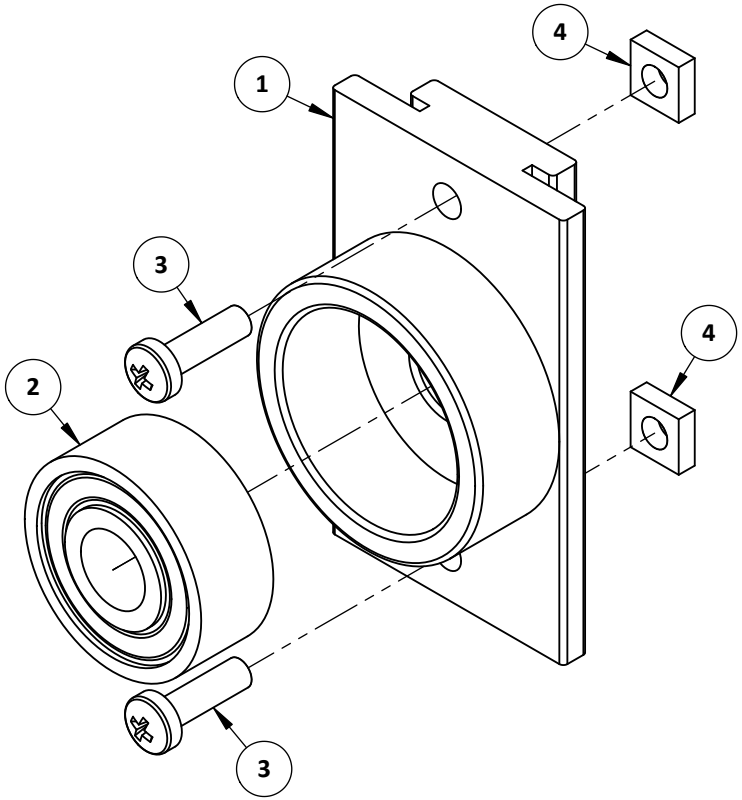
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	TMBH - EM0006
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**SOPORTE PIE - 2**
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020		
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos	

ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas		**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**		
MATERIAL	PLA / A307		**PESO**	20 g	
			REVISIÓN	1.0	
DIMENSIONES	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009		A4
ESCALA	3 : 2	No escale el dibujo	**HOJA**	1 de 1	







ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Soporte de rodamiento	TMBH - PM0010	PLA	15 g	1
2	6082RS	-	-	15 g	1
3	TORN CAB RED M3x10	-	A307	1 g	2
4	TUER CUA M3	-	A307	1 g	2

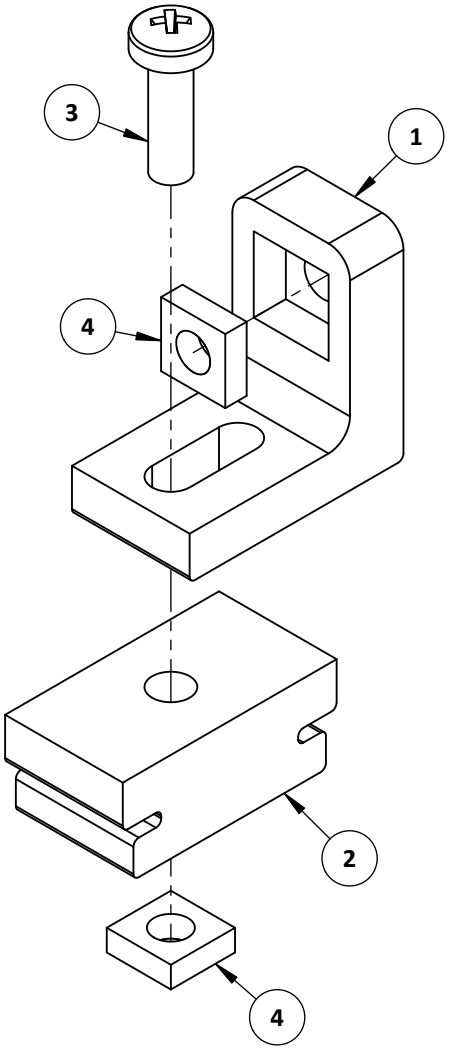
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

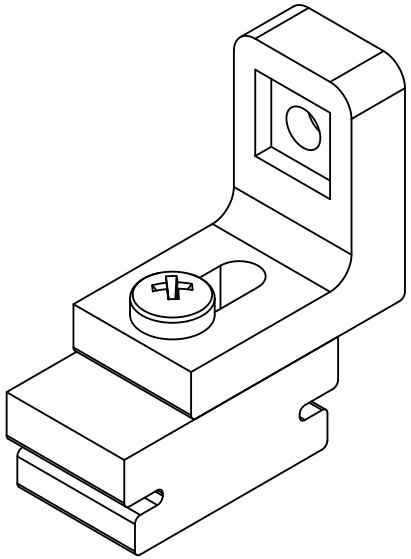
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	TMBH - EM0007	ACABADO: Rebarbar y romper las aristas vivas
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO: Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO: SOPORTE DE RODAMIENTO		MATERIAL: PLA / A307
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO: Beetle Craft S.A.C	Abril 2020			
	REVISADO: Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020			

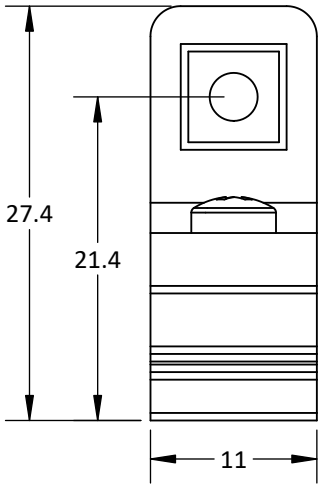
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

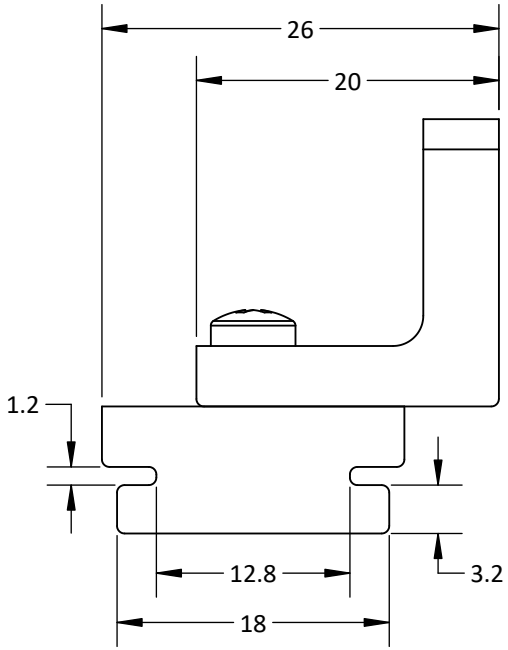
MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA			
PESO	32 g		
REVISIÓN	1.0		
DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009
ESCALA	3 : 2	No escale el dibujo	HOJA 1 de 1

A4







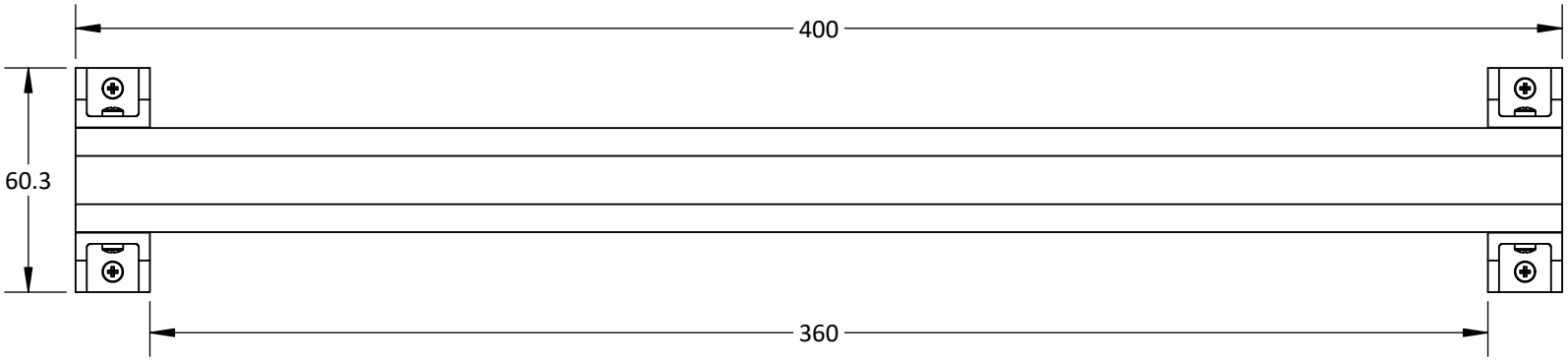


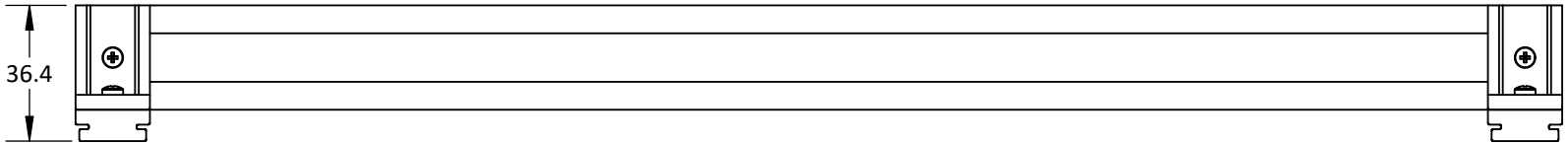
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Soporte de sensor	TMBH - PM0011	PLA	3 g	1
2	Conector soporte - 2	TMBH - PM0002	PLA	5 g	1
3	TORN CAB RED M3x10	-	A307	1 g	1
4	TUER CUA M3	-	A307	1 g	2

NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	TMBH - EM0008
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO	SOPORTE DE SENSOR
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020		
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos	

ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas			MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
MATERIAL	PLA / A307			PESO	11 g
				REVISIÓN	1.0
DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009	A4	
ESCALA	2 : 1	No escale el dibujo	HOJA	1 de 1	

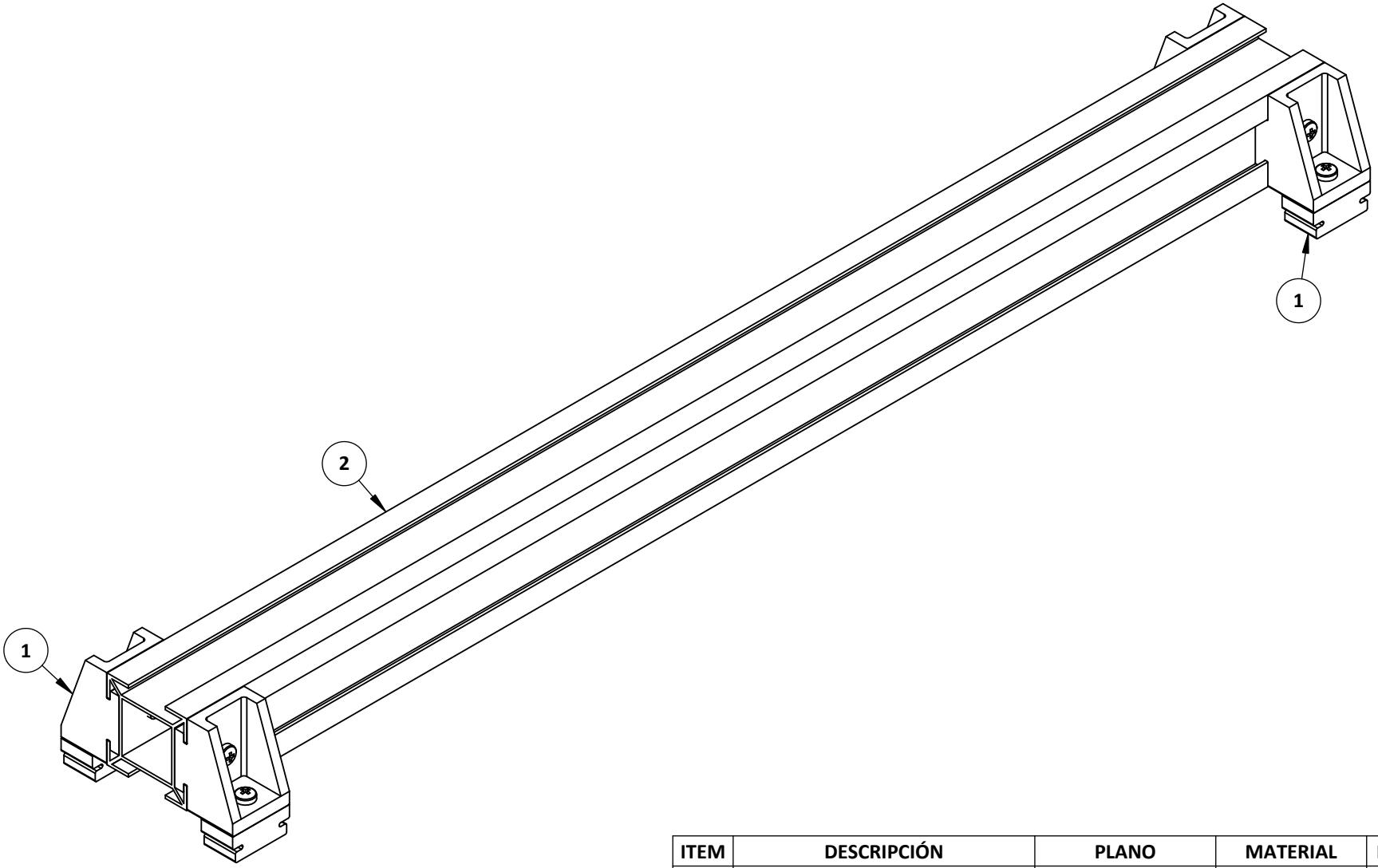




NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	TMBH - EM0009	**ACABADO**	Rebarbar y romper las aristas vivas	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO** **VIGA SOPORTE - 1**		**MATERIAL**	PLA / A307 / Aluminio PKF	**PESO**	396 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN**	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	1 : 2	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 2

A4



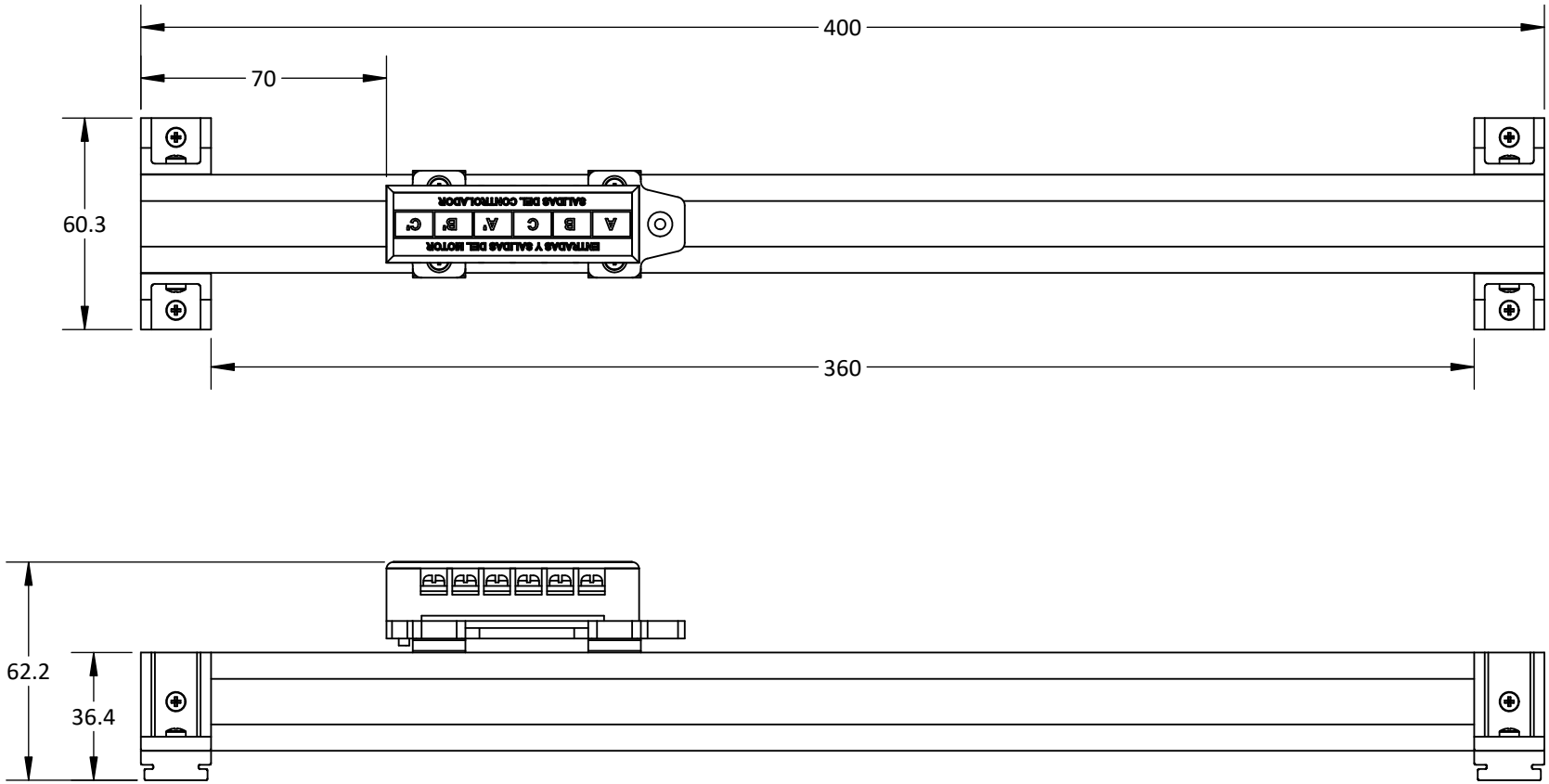
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Conector soporte	TMBH - EM0001	PLA / A307	19 g	4
2	Perfil estructural LIM-018, 28 x 12.8 mm - 400 mm de longitud	-	Aluminio PKF	320 g	1

NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO** TMBH - EM0009
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO** Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO** **VIGA SOPORTE - 1**
	DIBUJADO Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO** Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
MATERIAL	PLA / A307 / Aluminio PKF	**PESO**	396 g
		REVISIÓN	1.0
DIMENSIONES	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
ESCALA	2 : 3 No escale el dibujo	**HOJA**	2 de 2

A4



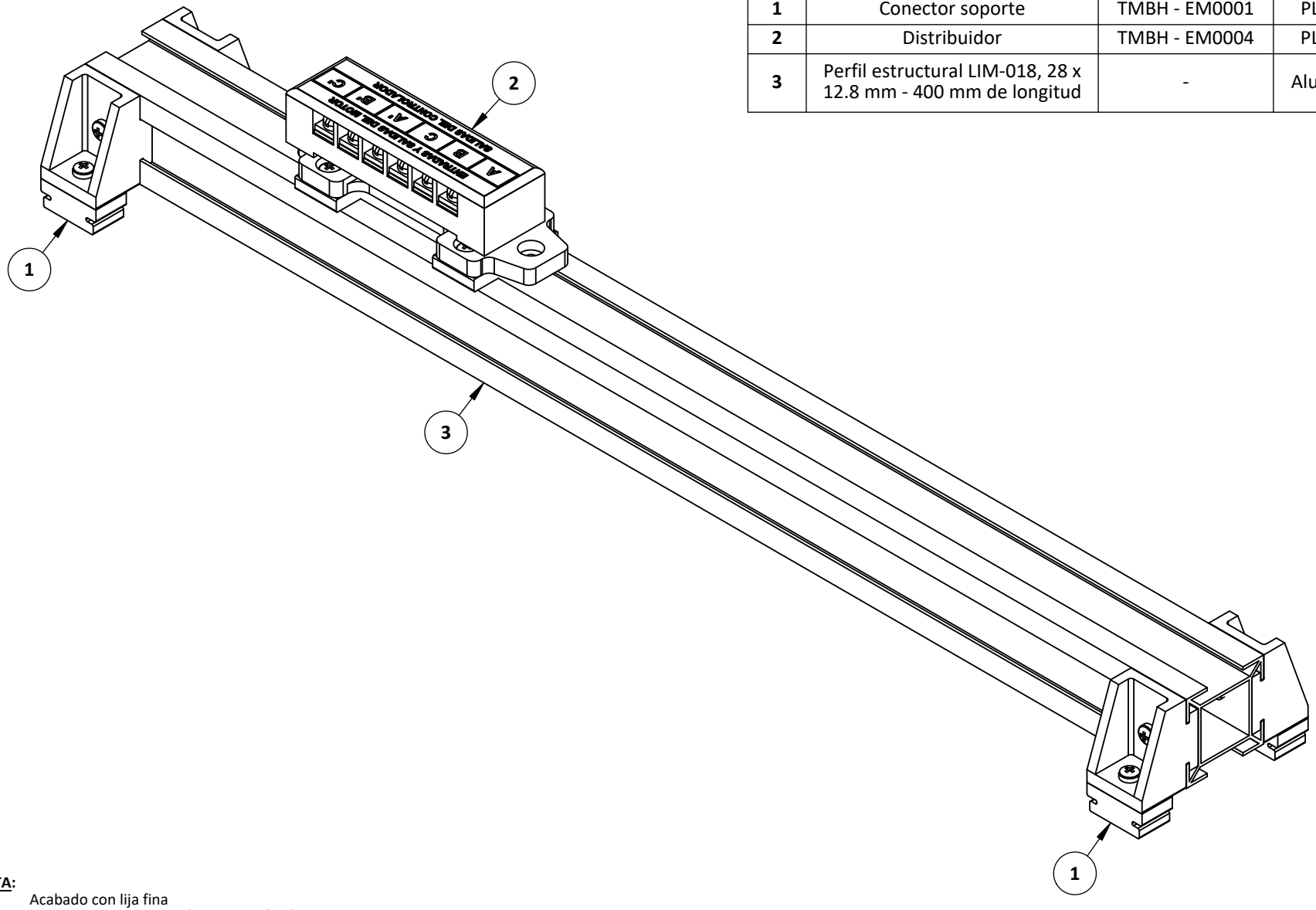
NOTA:

- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE		FECHA	CÓDIGO DIBUJO	TMBH - EM0010	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas	MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO VIGA SOPORTE - 2		MATERIAL	PLA / A307 / Aluminio PKF	PESO	481 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					REVISIÓN	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	1 : 2	No escale el dibujo	HOJA 1 de 2

A4

ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Conector soporte	TMBH - EM0001	PLA / A307	19 g	4
2	Distribuidor	TMBH - EM0004	PLA / A307	85 g	1
3	Perfil estructural LIM-018, 28 x 12.8 mm - 400 mm de longitud	-	Aluminio PKF	320 g	1

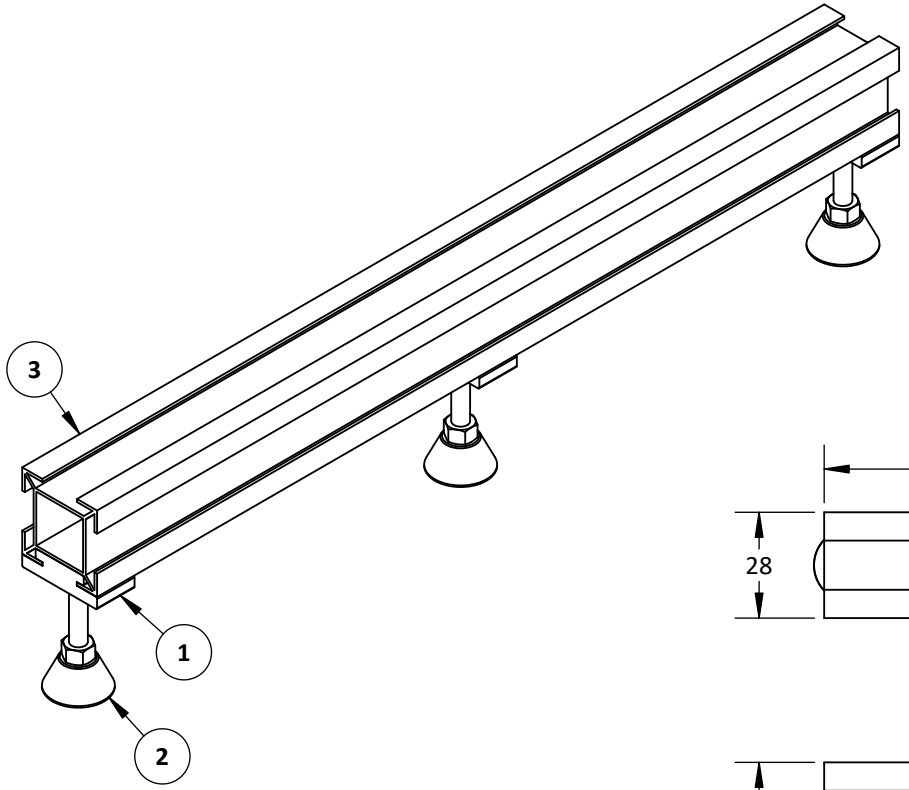


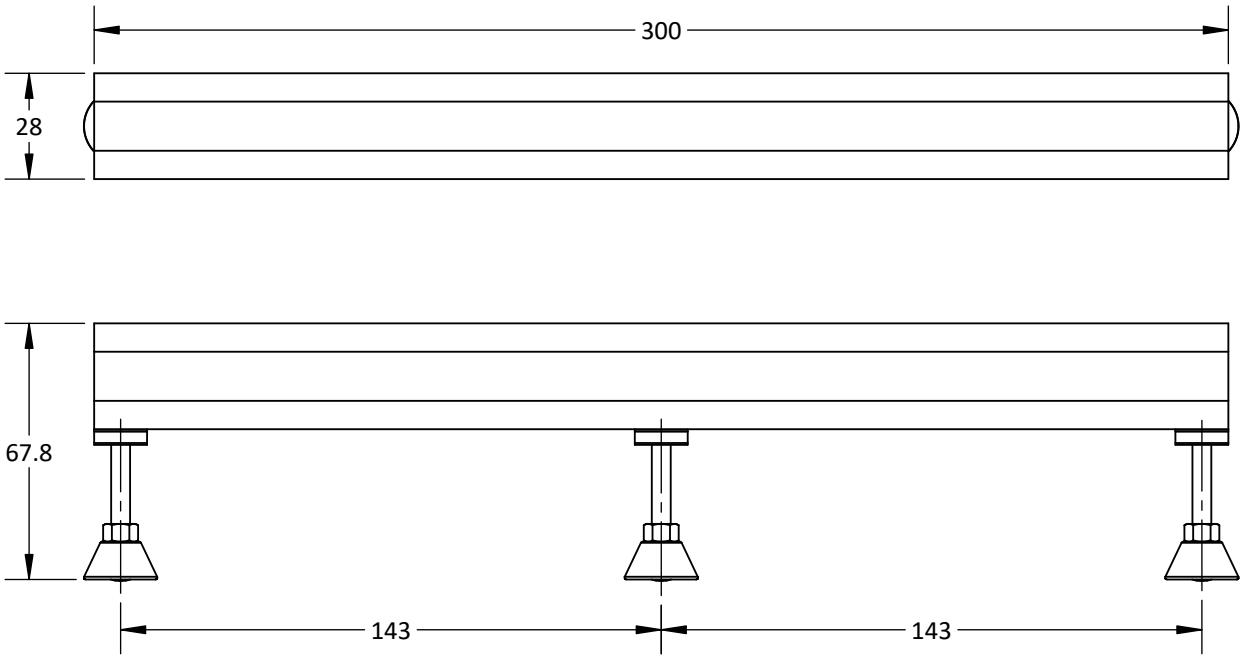
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE		FECHA	CÓDIGO DIBUJO	TMBH - EM0010
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO: VIGA SOPORTE - 2	
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020		
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos	

ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas			MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
MATERIAL	PLA / A307 / Aluminio PKF			PESO	481 g
				REVISIÓN	1.0
DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009	A4	
ESCALA	2 : 3	No escale el dibujo	HOJA	2 de 2	

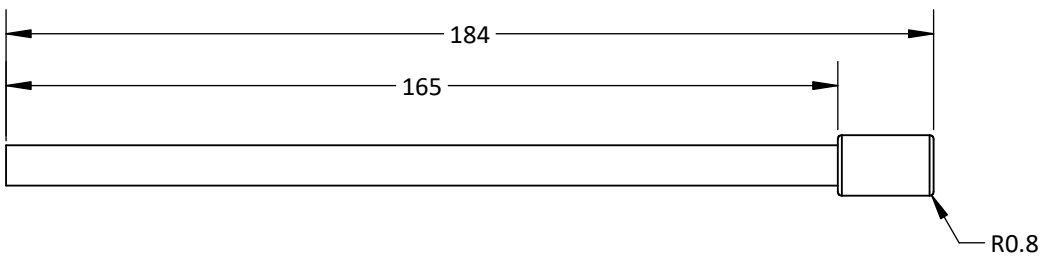
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Conector soporte	TMBH - EM0005	PLA / A307	10 g	3
2	Distribuidor	TMBH - EM0006	PLA / A307	20 g	3
3	Perfil estructural LIM-018, 28 x 12.8 mm - 300 mm de longitud	-	Aluminio PKF	240 g	1

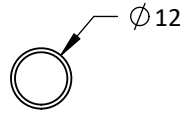


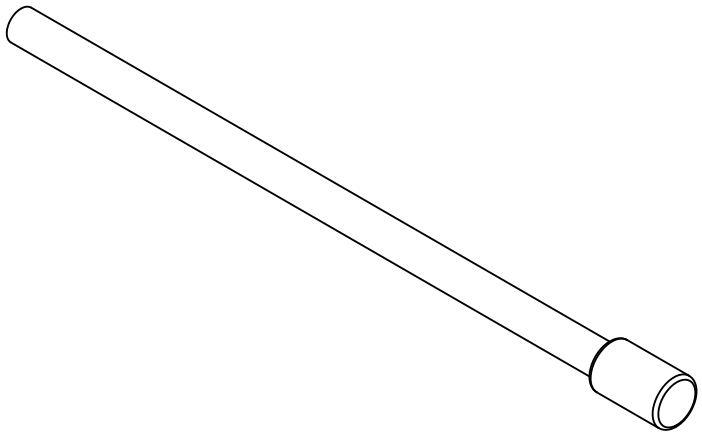


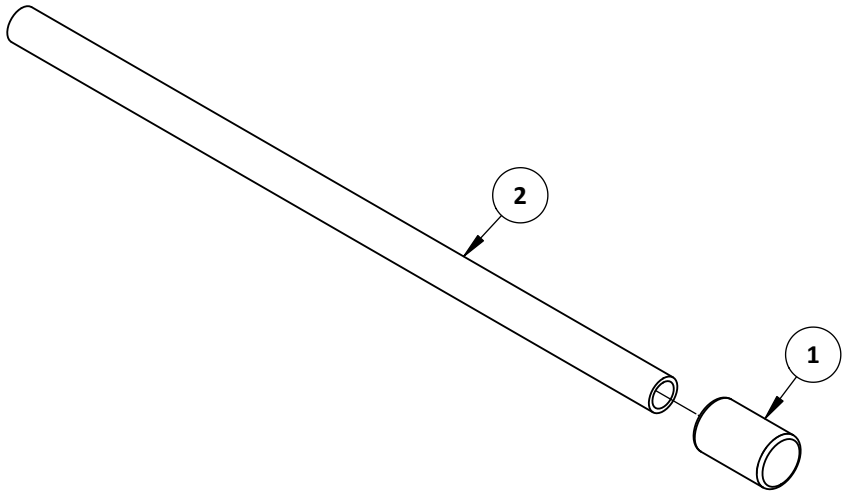
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	TMBH - EM0011	ACABADO: Rebarbar y romper las aristas vivas
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO: Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO: VIGA SOPORTE - 3		MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA
	DIBUJADO: Beetle Craft S.A.C	Abril 2020			MATERIAL: PLA / A307 / Aluminio PKF; PESO: 330 g; REVISIÓN: 1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	REVISADO: Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		DIMENSIONES: mm; NORMA: ANSIY 14.5 - 2009; ESCALA: 1 : 2; No escale el dibujo; HOJA: 1 de 1; A4







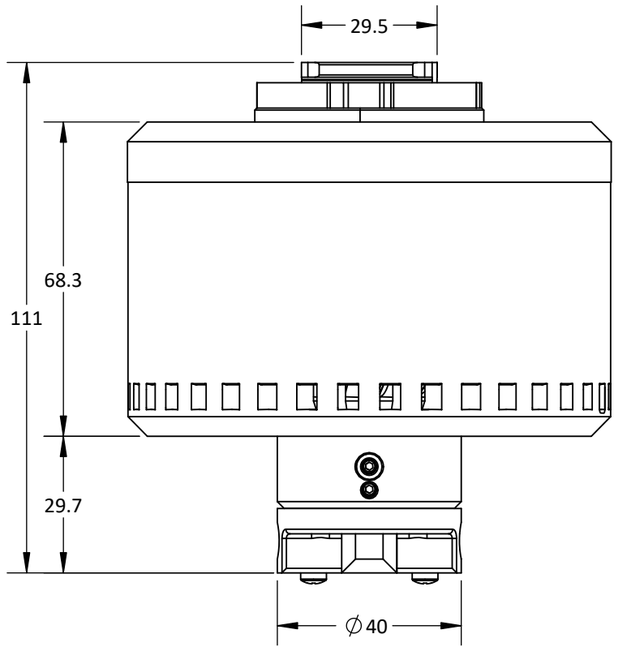


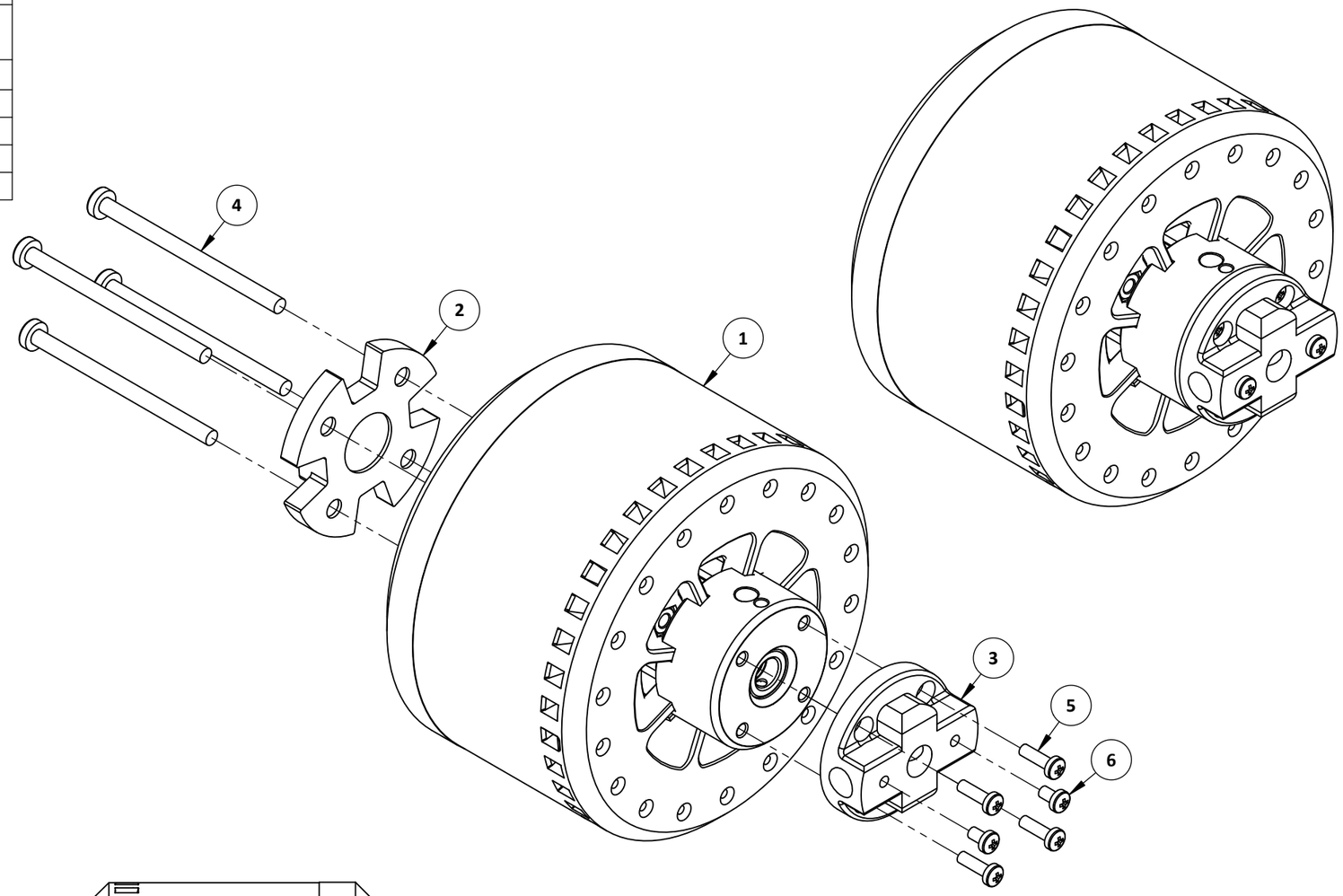
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Protector de brazo	TMBH - PM0009	PLA	3 g	1
2	Tubo estructural de 8 x 1 mm - 180 mm de longitud	-	Aluminio PKF	11 g	1

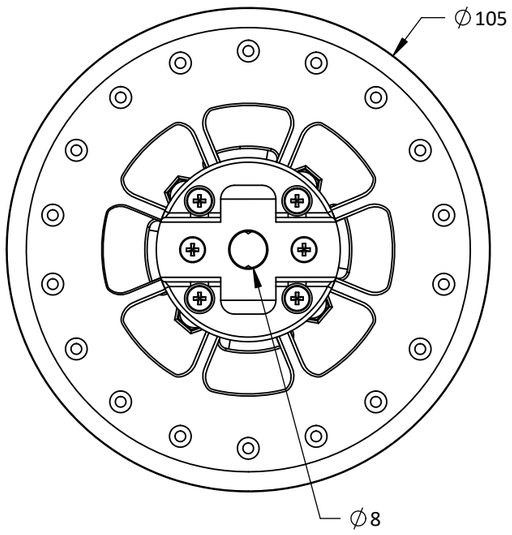
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

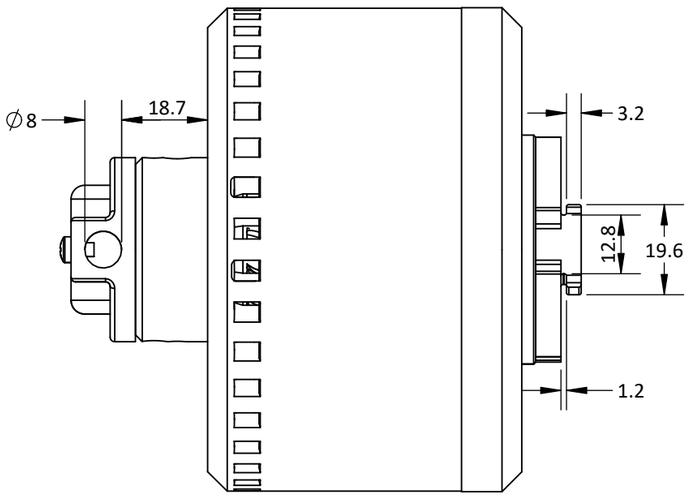
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	TMBH - EM0013	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO: Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO: BRAZO DE TESTEO	ACABADO: Rebarbar y romper las aristas vivas	MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA
	DIBUJADO: Beetle Craft S.A.C	Abril 2020		MATERIAL: PLA / Aluminio PKF	PESO: 14 g; REVISIÓN: 1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	REVISADO: Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos	DIMENSIONES: mm; NORMA: ANSIY 14.5 - 2009	A4
				ESCALA: 2 : 3 No escale el dibujo	HOJA: 1 de 1

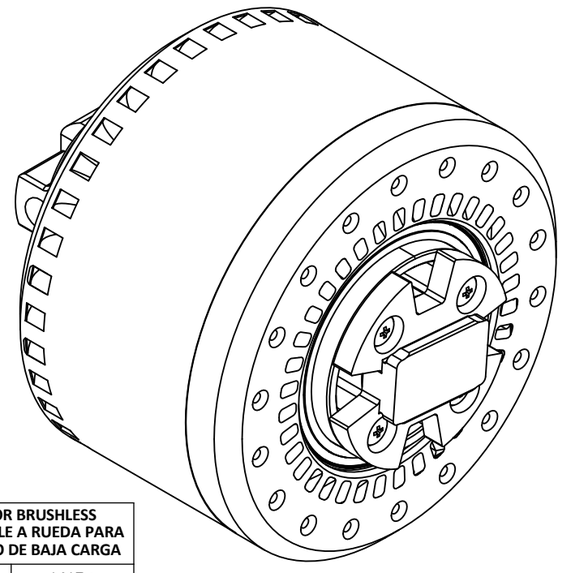
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Motor brushless DC con arreglo Halbach de 600W	MBHL - EM0008	PLA / A307 / A36 / Cobre esmaltado / Neodimio	980 g	1
2	Soporte de motor	TMBH - PM0007	PLA	384 g	1
3	Soporte de brazo	TMBH - PM0008	PLA	15 g	1
4	TORN CAB RED M4x60	-	A307	8 g	4
5	TORN CAB RED M3x10	-	A307	1 g	4
6	TORN CAB RED M3x5	-	A307	1 g	2







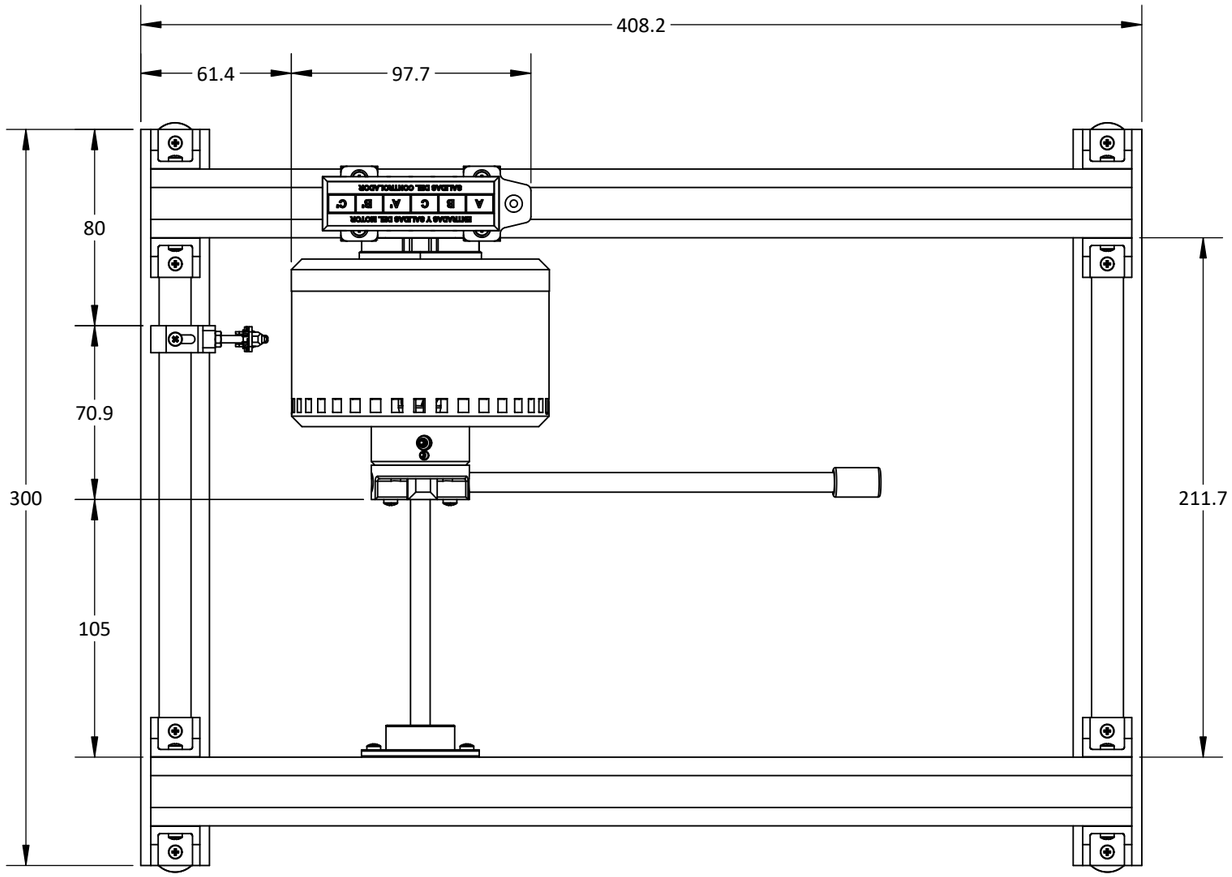


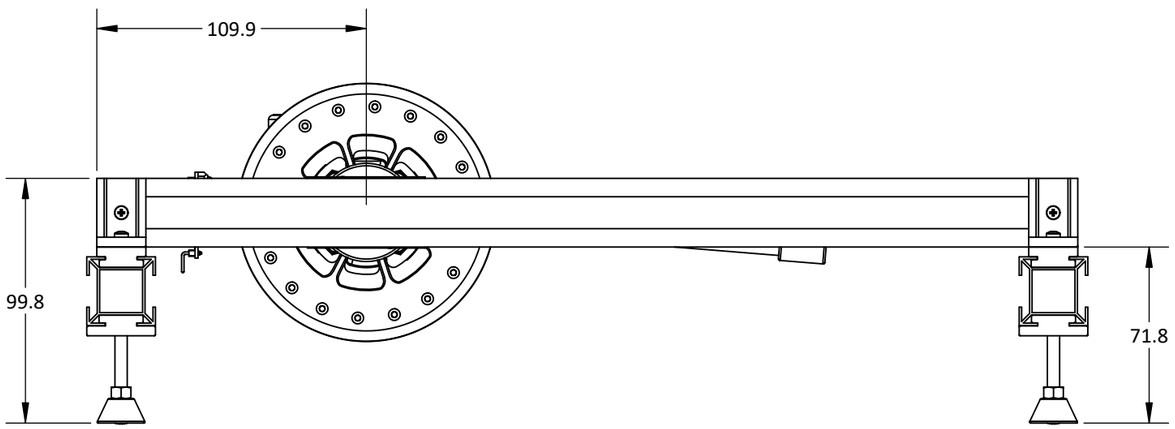


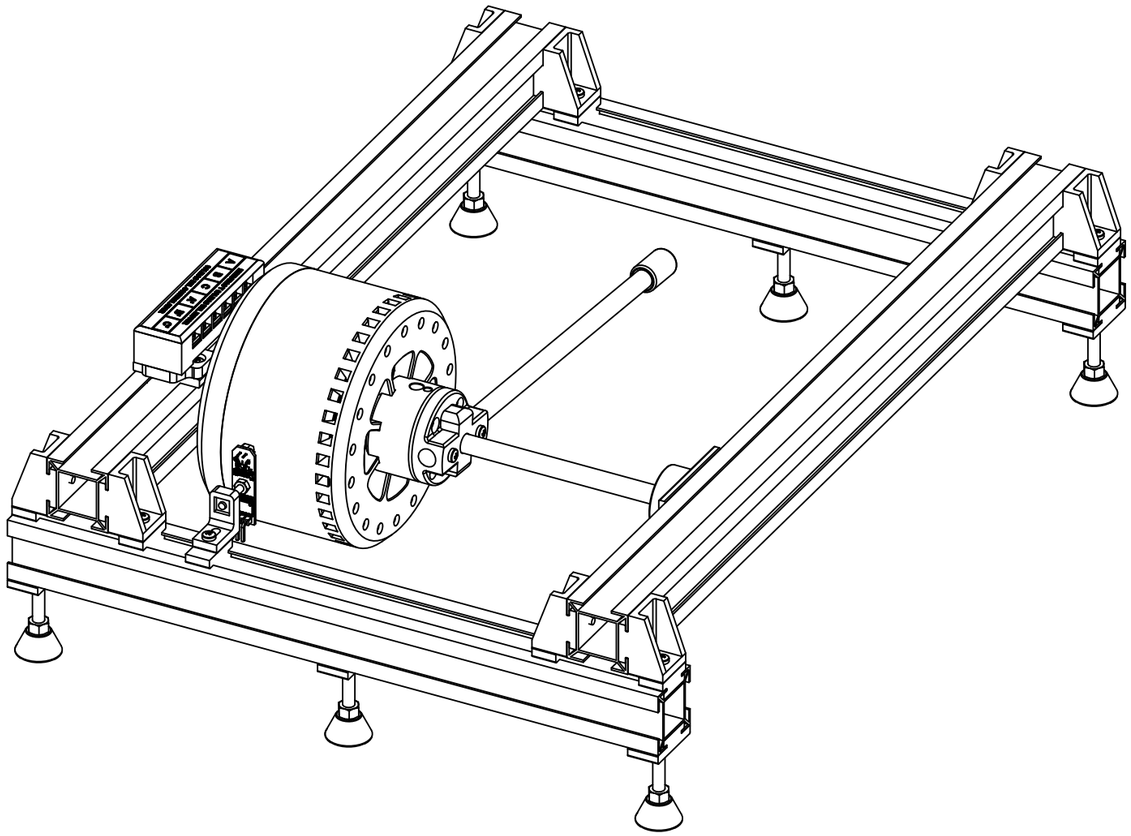
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE		FECHA	CÓDIGO DIBUJO	TMBH - EM0012
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO	MOTOR BRUSHLESS HALBACH DC DE 600W PARA TESTEO
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos	
	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020		

ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas			MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
MATERIAL	PLA / A307 / A36 / Cobre esmaltado / Neodimio			PESO	1417 g
DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009	REVISIÓN	1.0
ESCALA	3 : 4	No escale el dibujo		HOJA	1 de 1 A3

NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas



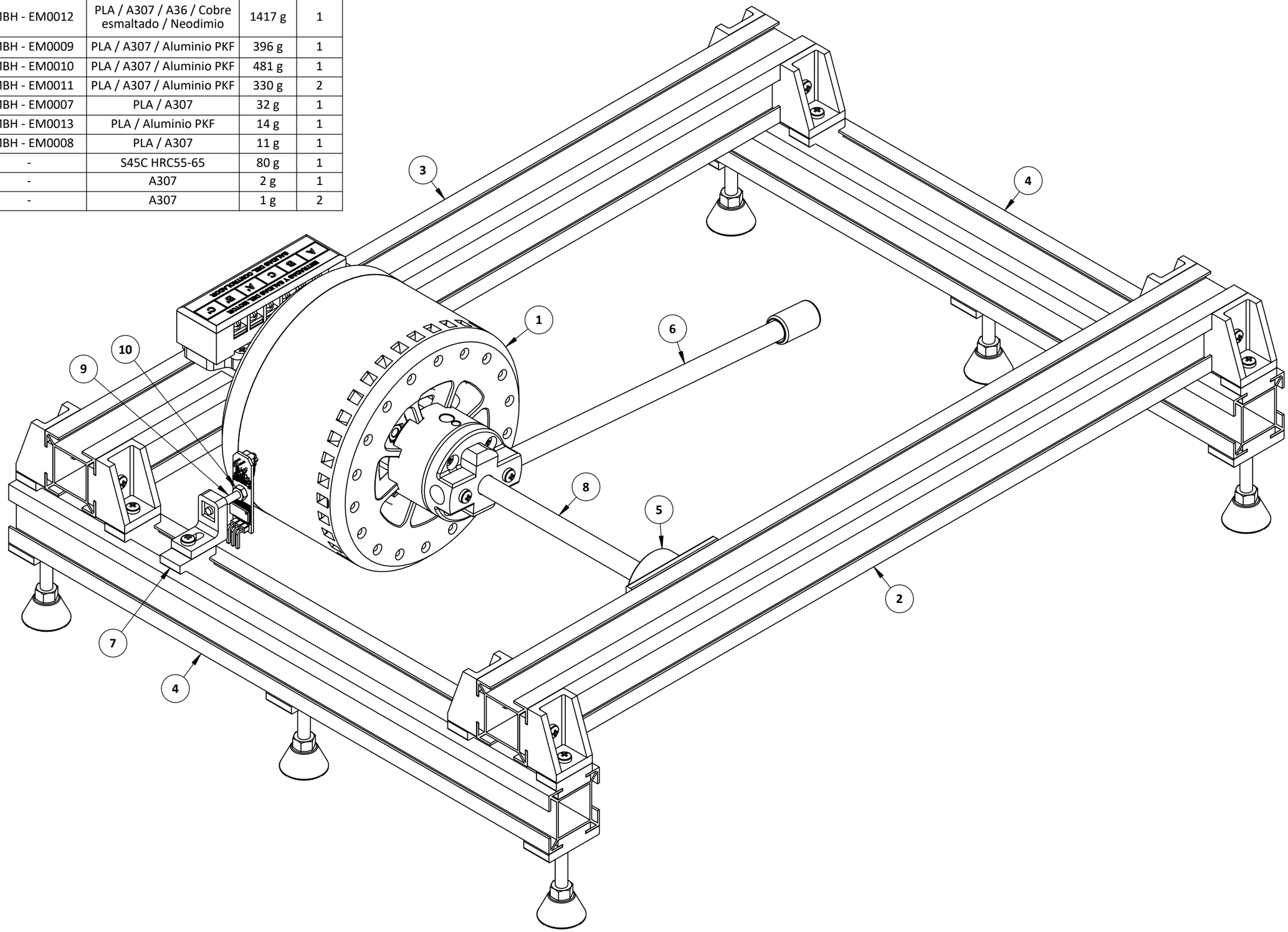




UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	TMBH - EM0014	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas			MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO	TESTEADOR DE MOTOR BRUSHLESS HALBACH	MATERIAL	PLA / A307 / A36 / Cobre esmaltado / Neodimio			PESO	2765 g
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009	REVISIÓN	1.0
	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020			ESCALA	2 : 5	No escale el dibujo		HOJA	1 de 4 A3

NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

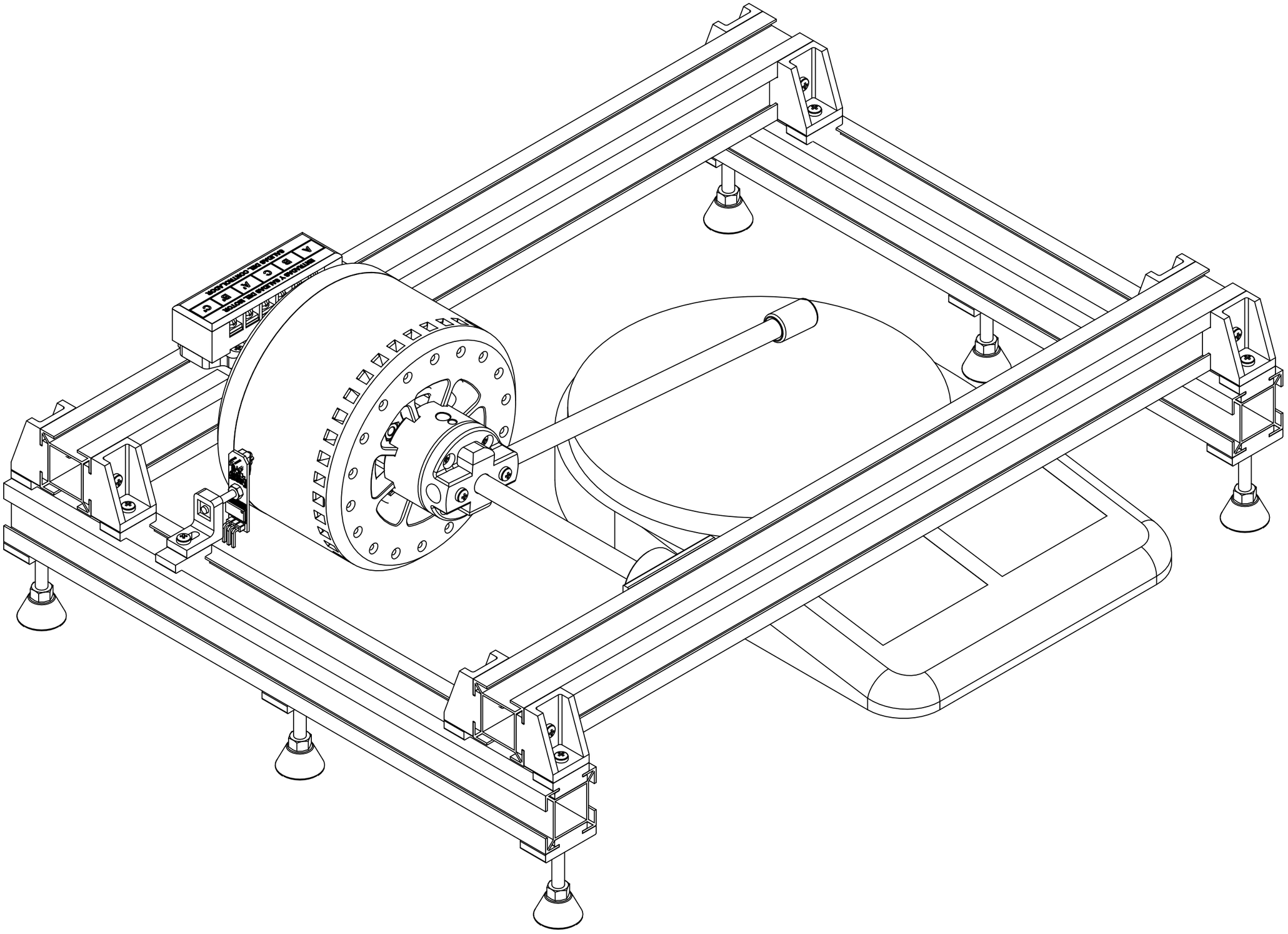
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Motor brushless Hallbach DC de 600W para testeo	TMBH - EM0012	PLA / A307 / A36 / Cobre esmaltado / Neodimio	1417 g	1
2	Viga soporte - 1	TMBH - EM0009	PLA / A307 / Aluminio PKF	396 g	1
3	Viga soporte - 2	TMBH - EM0010	PLA / A307 / Aluminio PKF	481 g	1
4	Viga soporte - 3	TMBH - EM0011	PLA / A307 / Aluminio PKF	330 g	2
5	Soporte de rodamiento	TMBH - EM0007	PLA / A307	32 g	1
6	Brazo de testeo	TMBH - EM0013	PLA / Aluminio PKF	14 g	1
7	Soporte de sensor	TMBH - EM0008	PLA / A307	11 g	1
8	Eje ∅8 mm x 200 mm	-	S45C HRC55-65	80 g	1
9	TORN CAB RED M3x20	-	A307	2 g	1
10	TUER HEX M3	-	A307	1 g	2



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE		FECHA	CÓDIGO DIBUJO	TMBH - EM0014
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO	TESTEADOR DE MOTOR BRUSHLESS HALBACH
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos	
	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020		

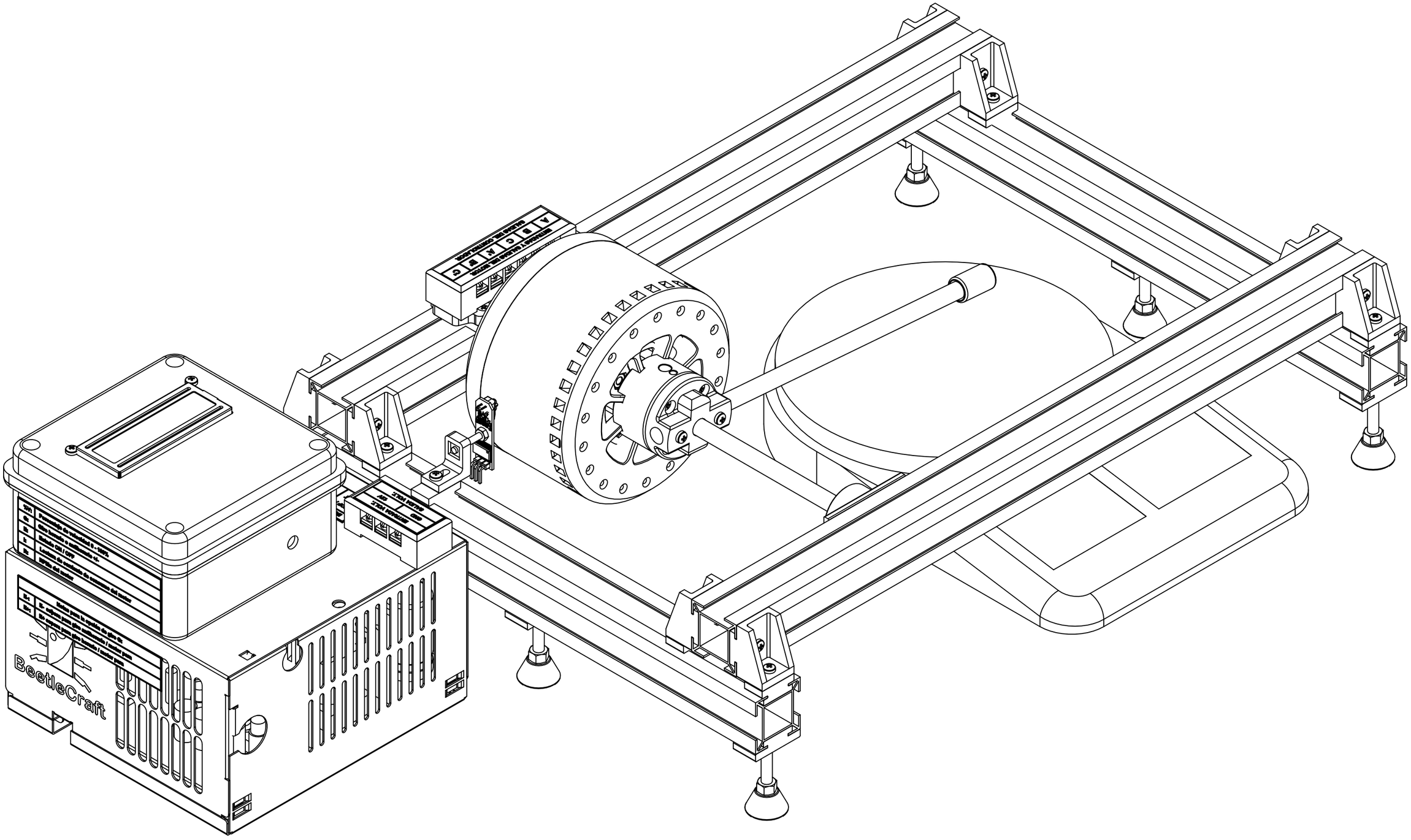
ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas			MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
MATERIAL	PLA / A307 / A36 / Cobre esmaltado / Neodimio			PESO	2765 g
DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009	REVISIÓN	1.0
ESCALA	2 : 3	No escale el dibujo		HOJA	2 de 4 A3

NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas



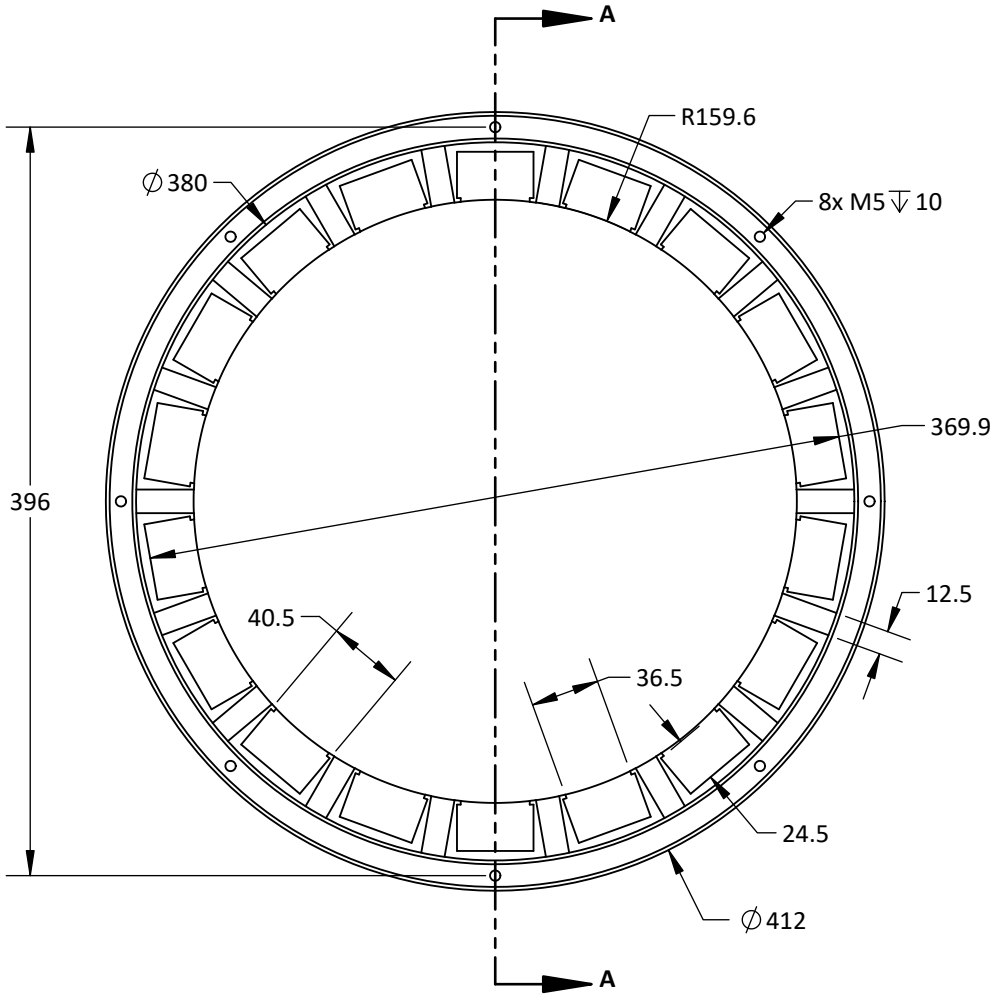
	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	TMBH - EM0014	**ACABADO**	Rebarbar y romper las aristas vivas			**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**		
	Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**TESTEADOR DE MOTOR BRUSHLESS HALBACH**	**MATERIAL**	PLA / A307 / A36 / Cobre esmaltado / Neodimio			**PESO**	2765 g	
	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**DIBUJADO**	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009	**REVISIÓN**	1.0	
		REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020			**ESCALA**	2 : 3	No escale el dibujo		**HOJA**	3 de 4	A3

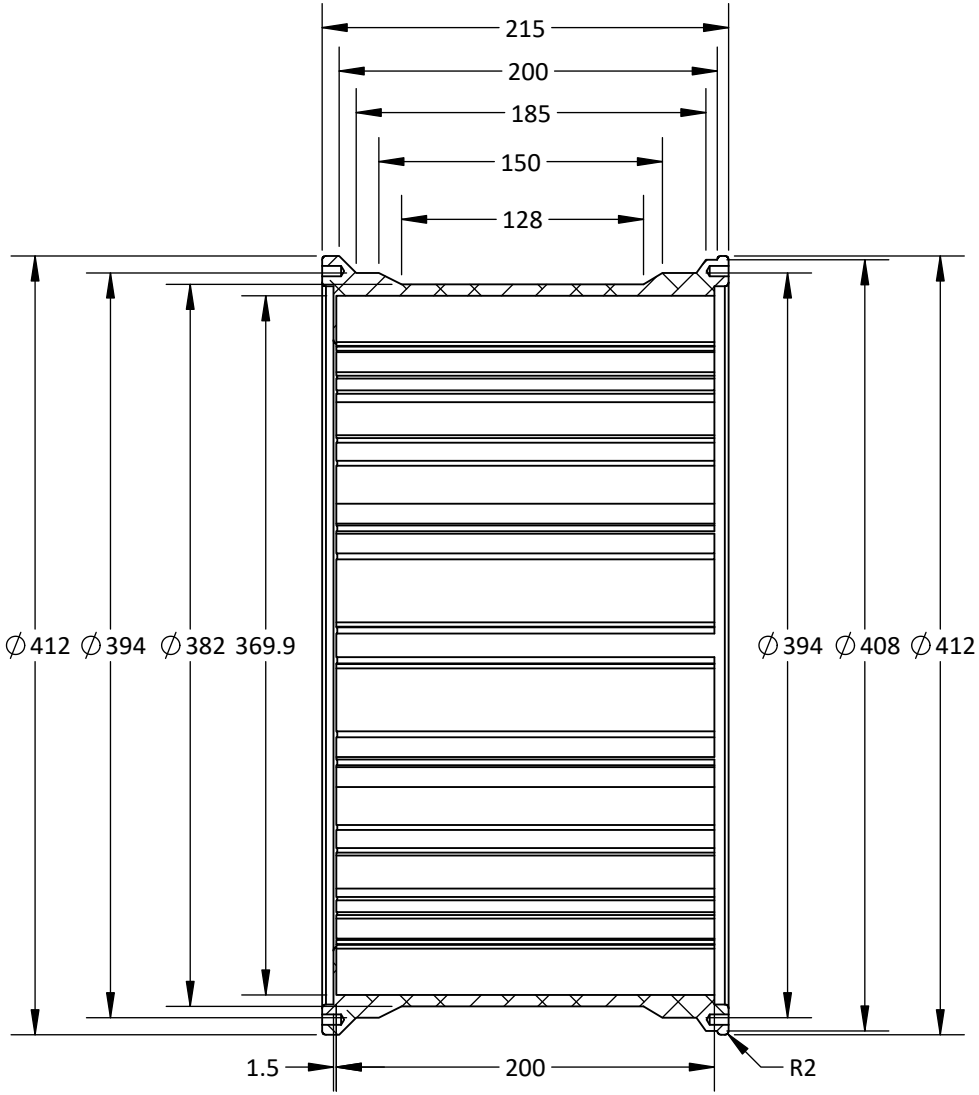
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE		FECHA	CÓDIGO DIBUJO	TMBH - EM0014	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas			MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO TESTEADOR DE MOTOR BRUSHLESS HALBACH		MATERIAL	PLA / A307 / A36 / Cobre esmaltado / Neodimio			PESO	2765 g
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009	REVISIÓN	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020			ESCALA	3 : 5	No escale el dibujo		HOJA	4 de 4 A3

NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas



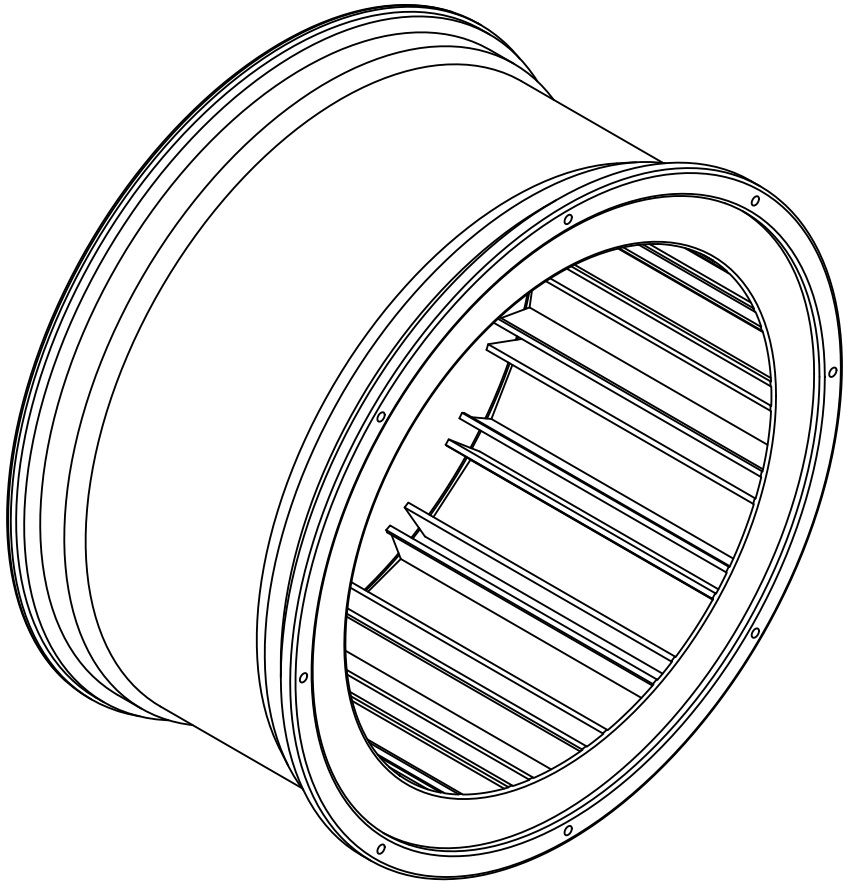


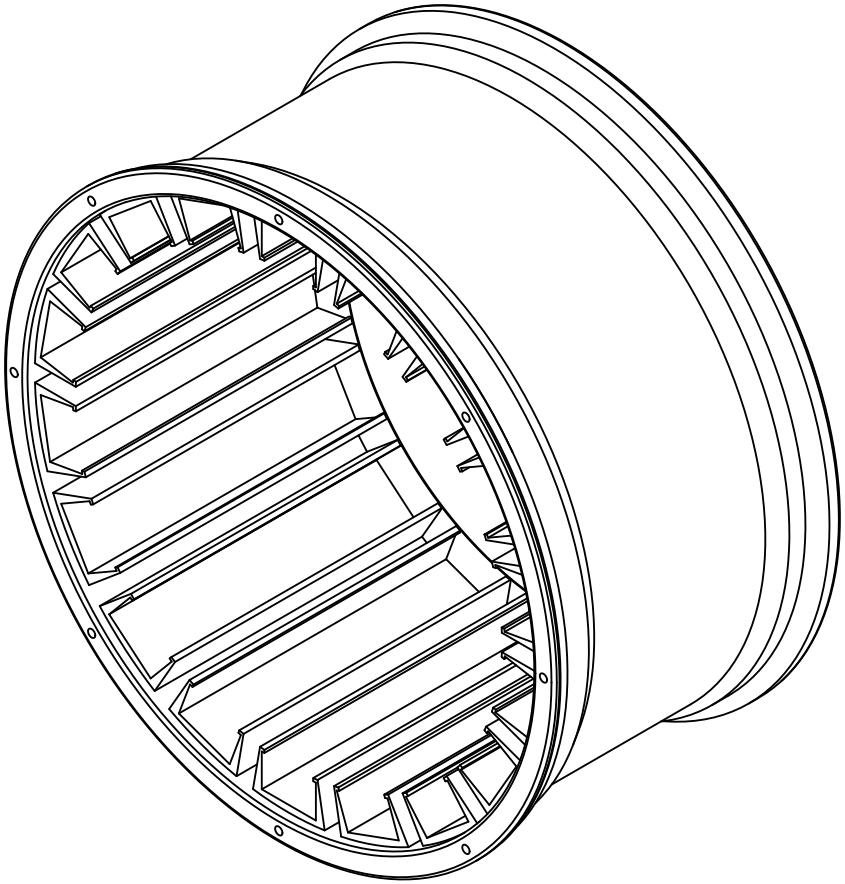
SECCIÓN A - A

NOTA:
- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	RMHL - PM0001	**ACABADO**	Satinado o mate	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO** **ROTOR**		**MATERIAL**	Aluminio 1060	**PESO**	7.4 kg
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN**	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	1 : 4	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 2

A4

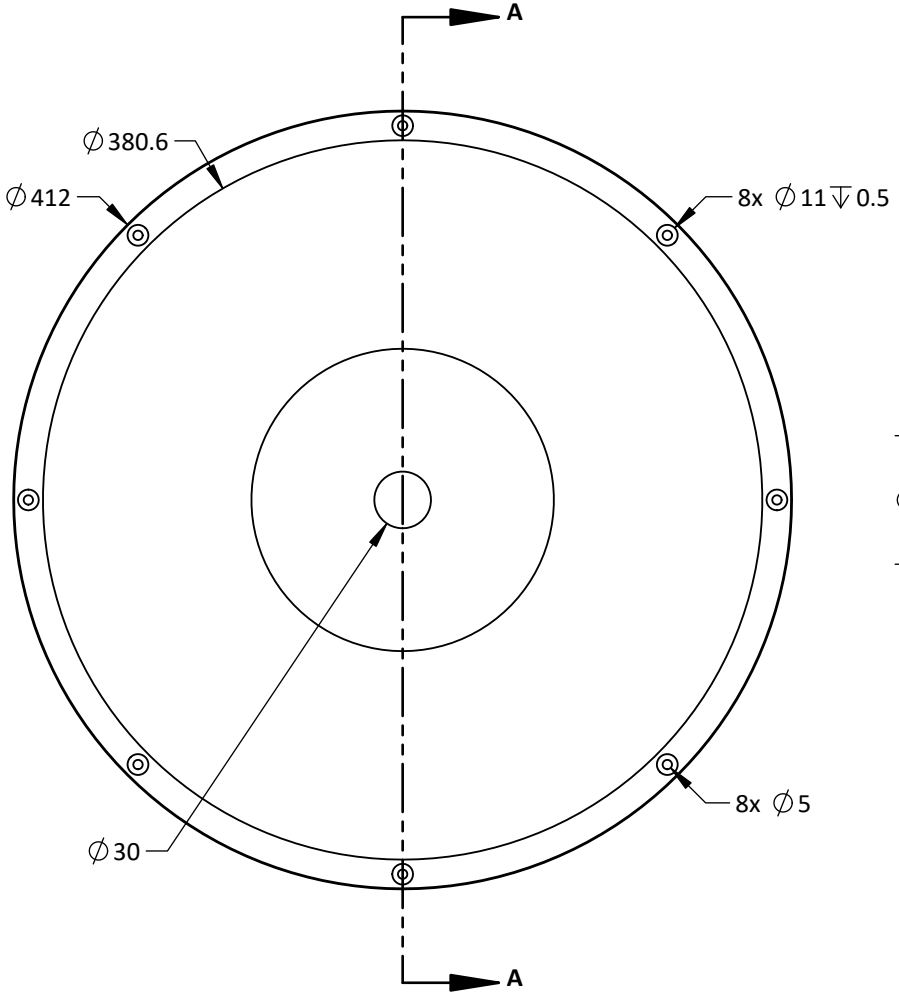


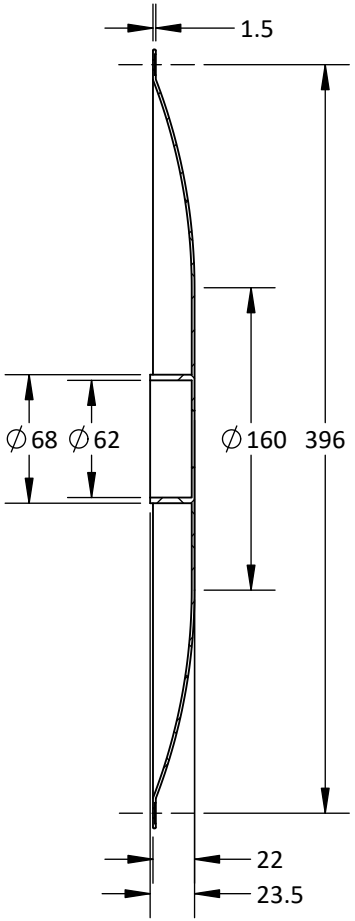


NOTA:

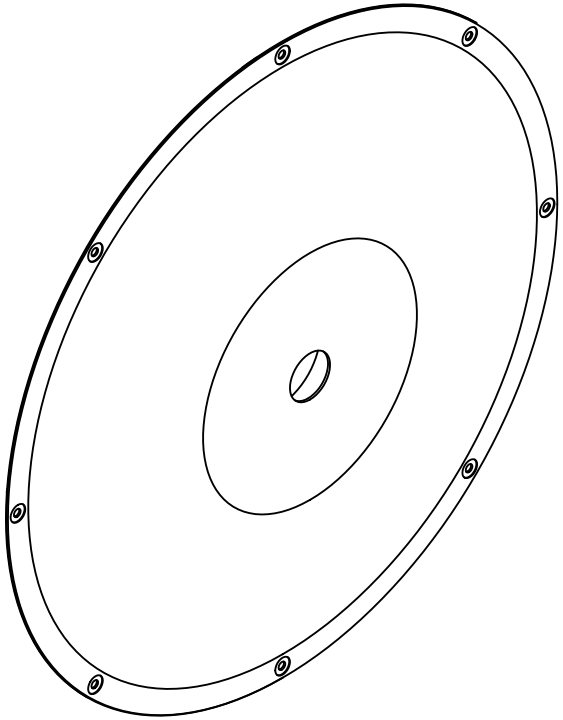
- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	RMHL - PM0001	**ACABADO**	Satinado o mate		**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**		
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO** **ROTOR**		**MATERIAL**	Aluminio 1060		**PESO**	7.4 kg	
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020						**REVISIÓN**	1.0	
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009		A4
						ESCALA	1 : 4	No escale el dibujo	**HOJA**	2 de 2	





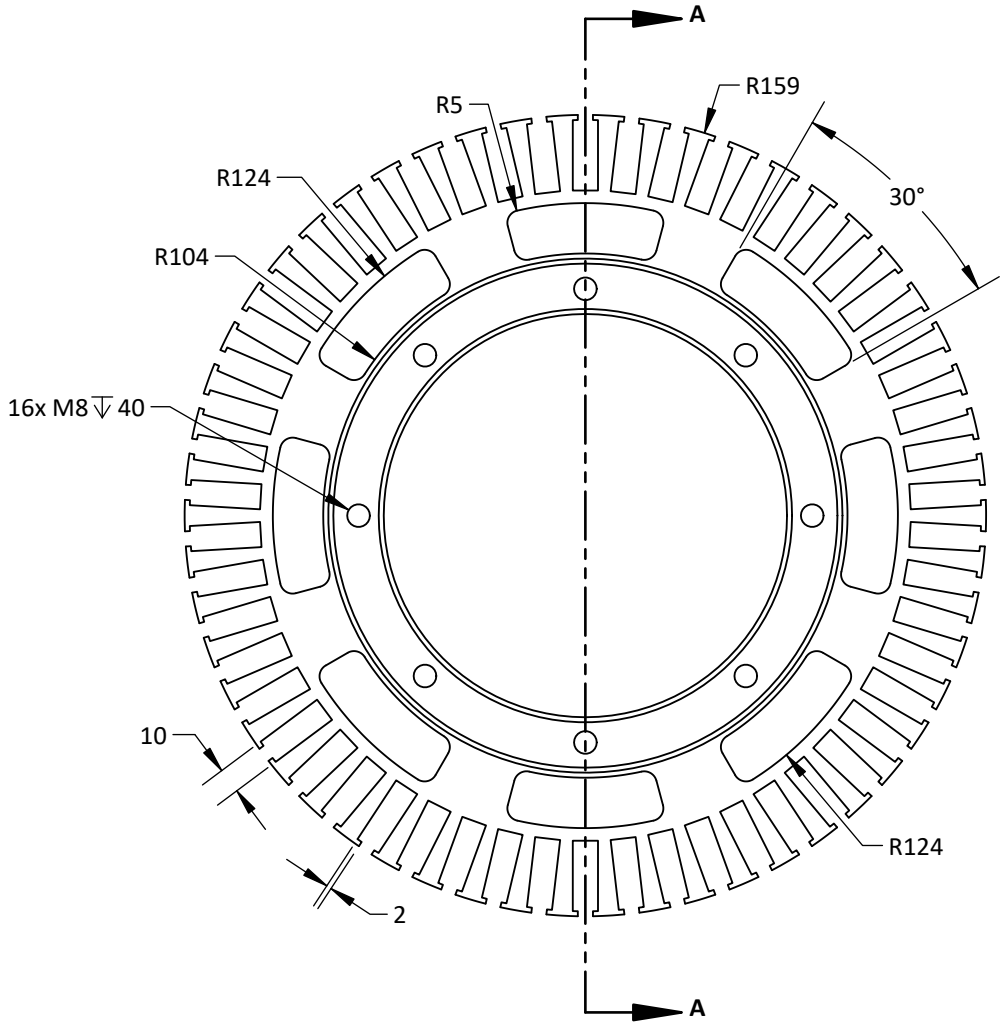
SECCIÓN A - A

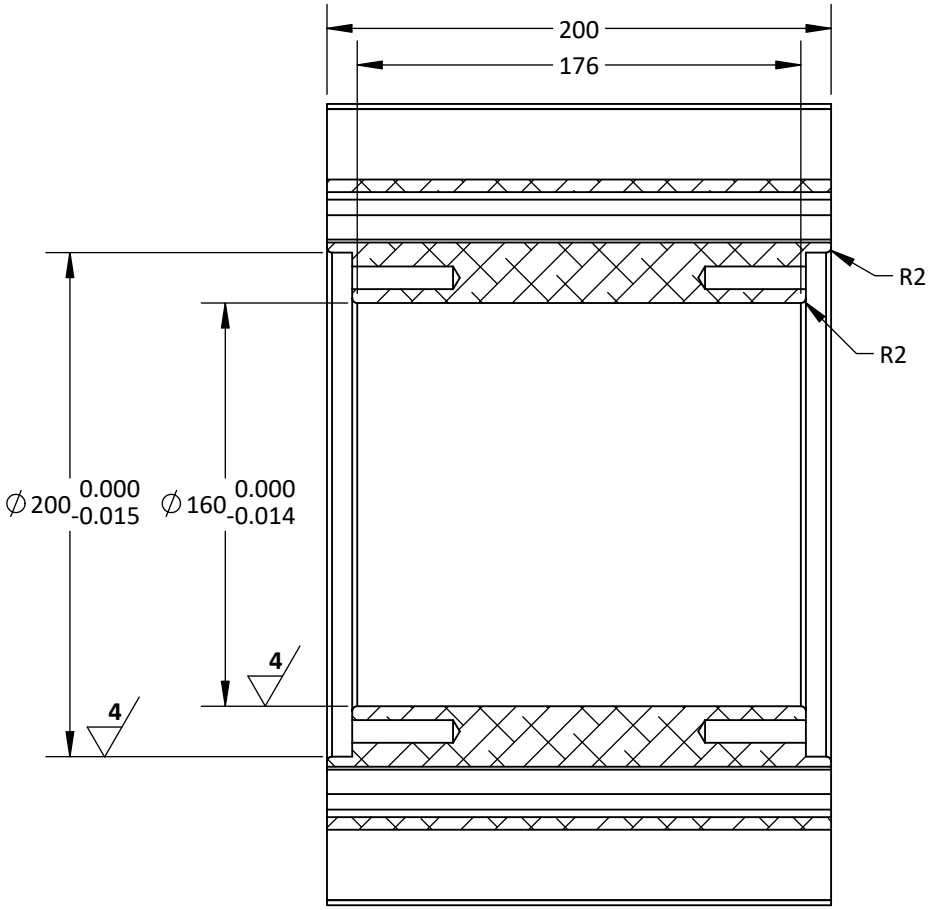


NOTA:
- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	RMHL - PM0002	**ACABADO**	Satinado o mate	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO** **TAPA LATERAL**		**MATERIAL**	Aluminio 1060	**PESO**	0.6 kg
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN**	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	1 : 4	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 1

A4



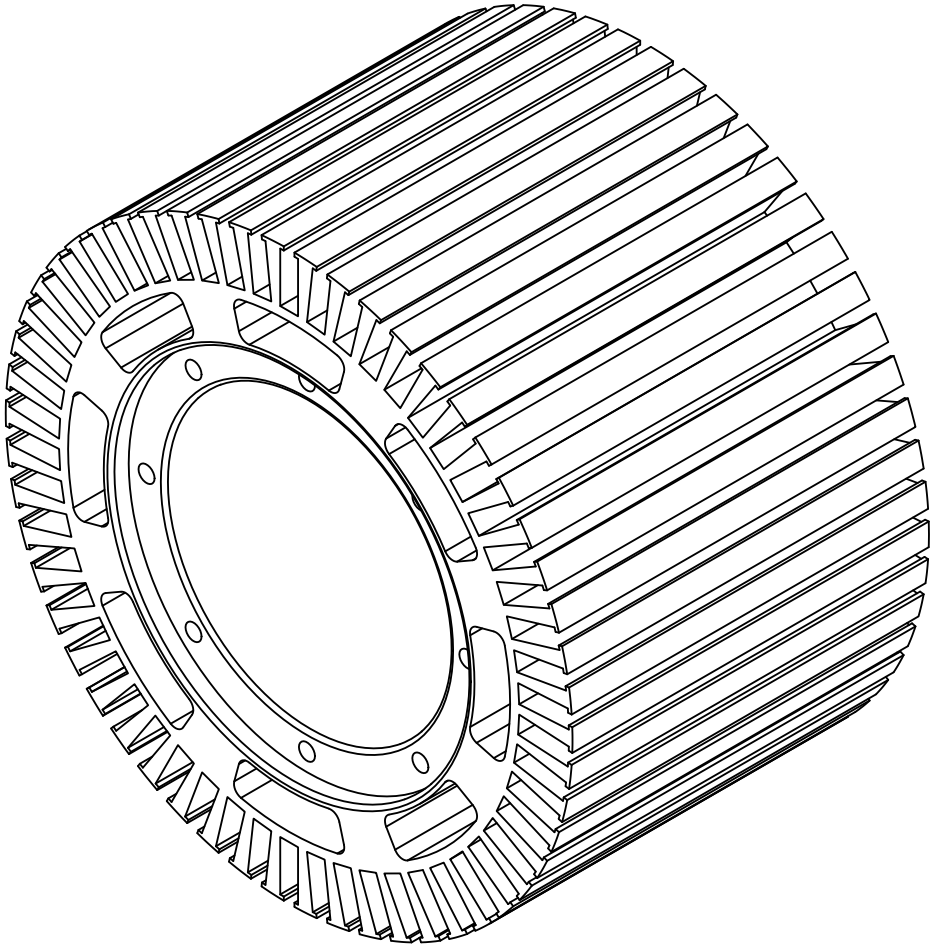


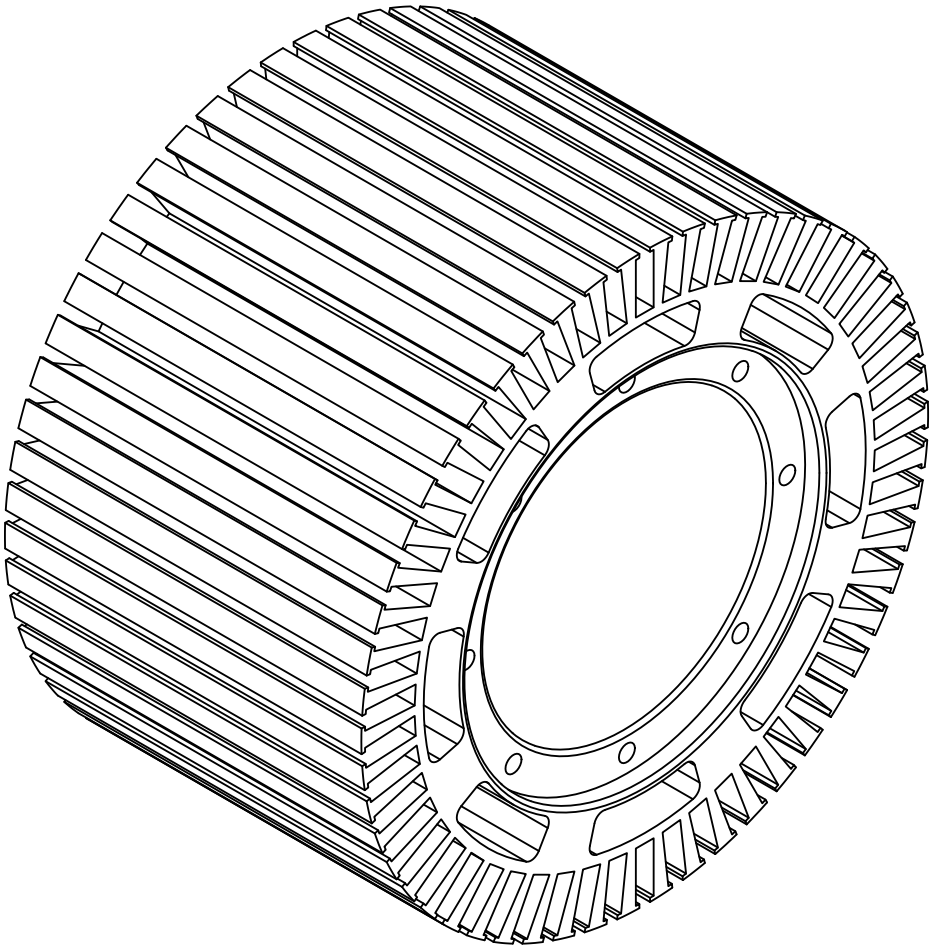
SECCIÓN A - A

NOTA:
- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	RMHL - PM0003	**ACABADO**	Limado fino o torneado fino con metal duro	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO** **ESTATOR**		**MATERIAL**	Aluminio 1060	**PESO**	17.8 kg
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN**	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	1 : 3	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 2

A4

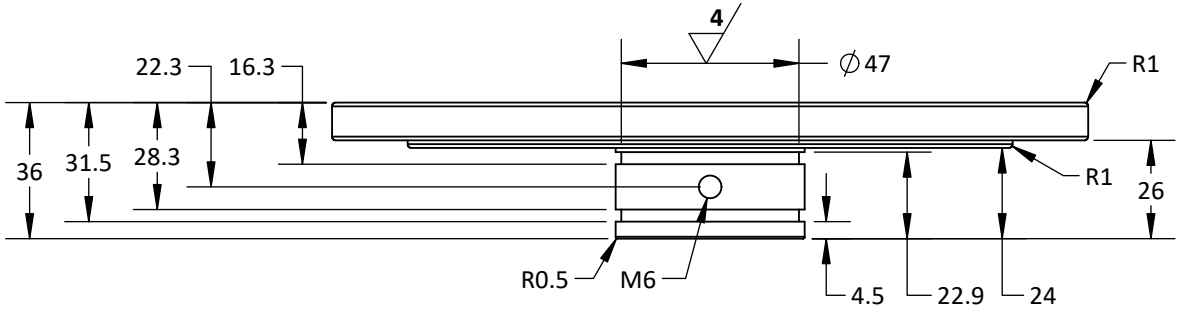


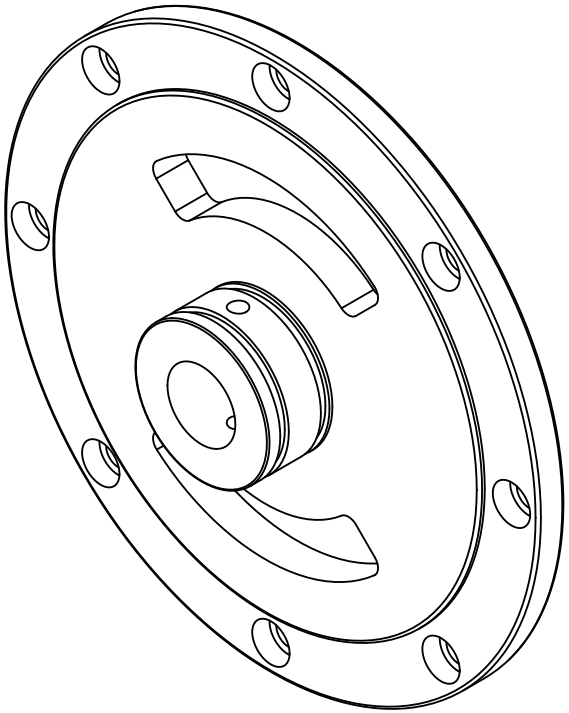


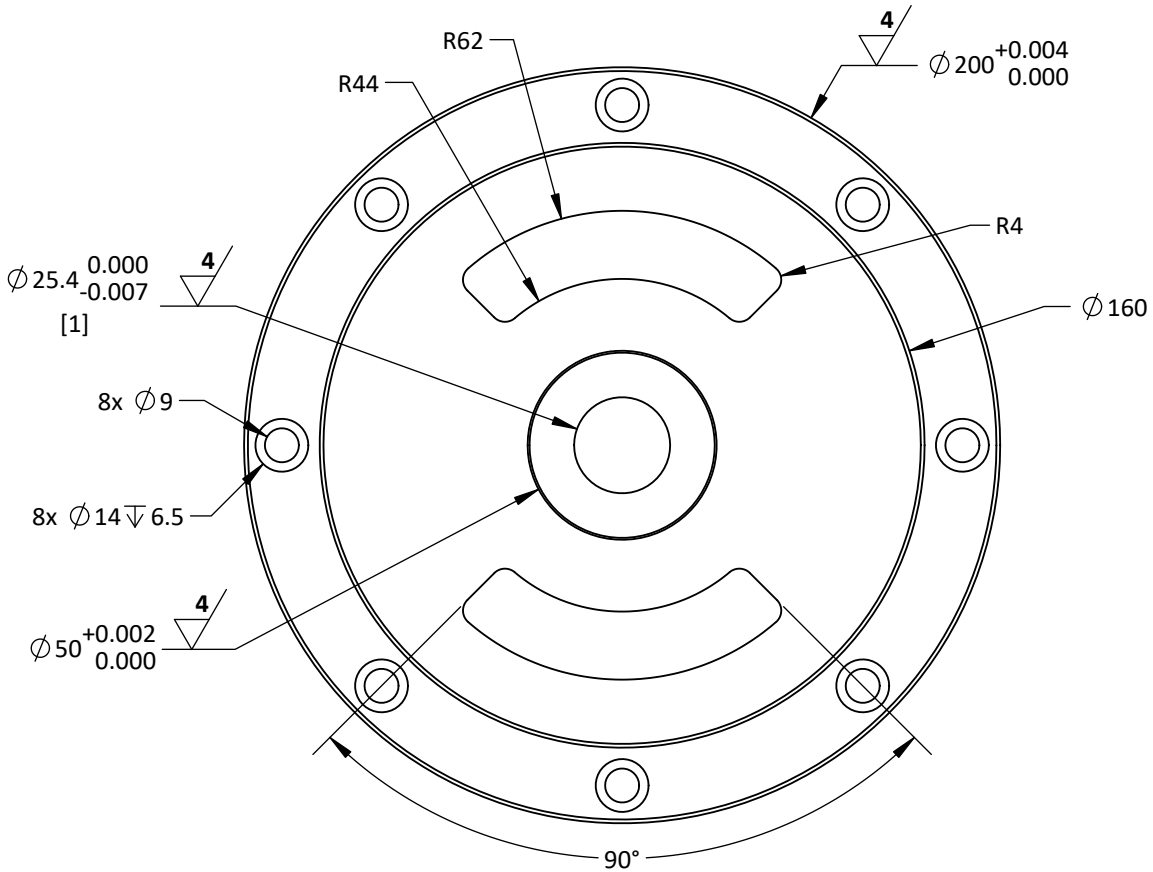
NOTA:

- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	RMHL - PM0003	**ACABADO**	Limado fino o torneado fino con metal duro		**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
	Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO** **ESTATOR**		**MATERIAL**	Aluminio 1060		**PESO** 17.8 kg	
		DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020						**REVISIÓN** 1.0	
	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009	A4
							ESCALA	1 : 3	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 2	





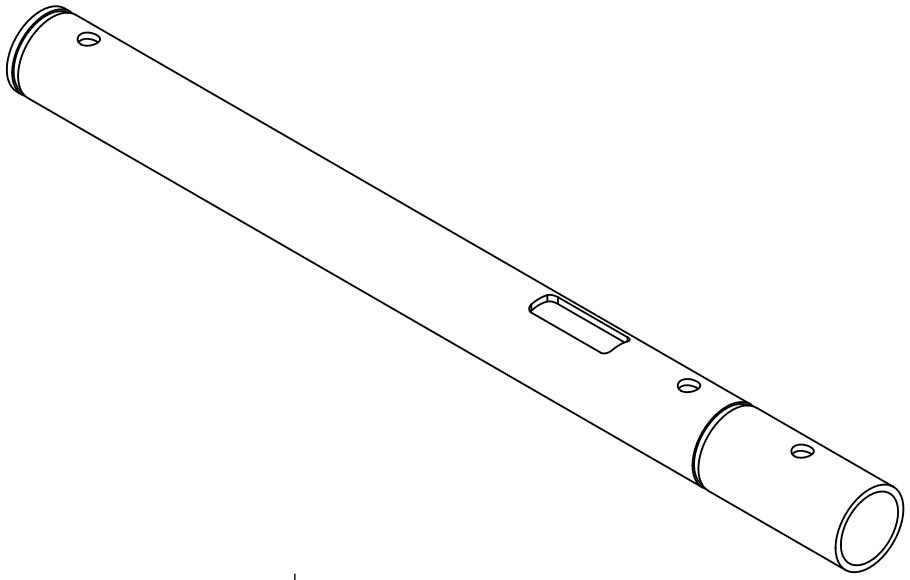


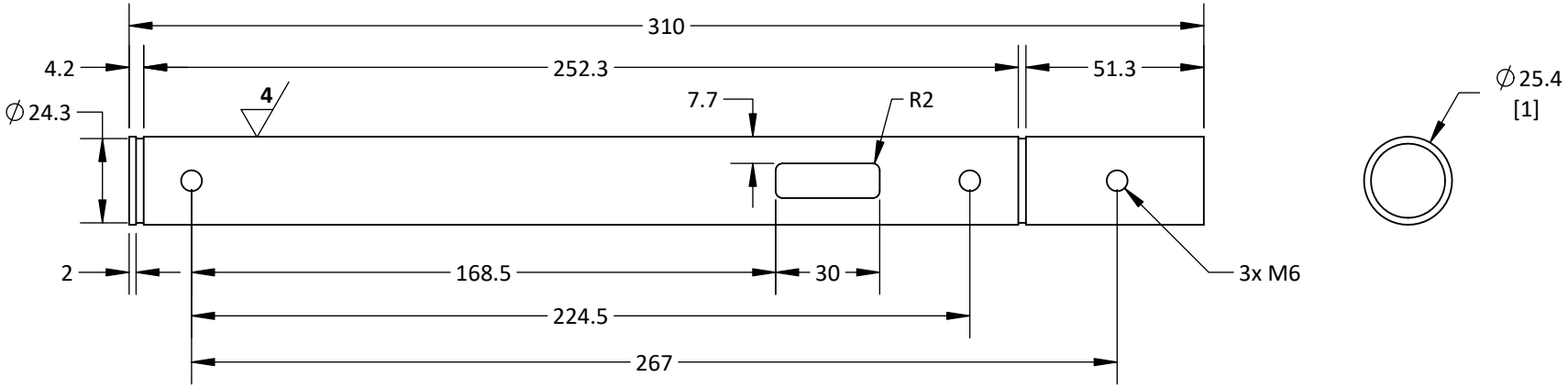
NOTA:

- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE		FECHA	CÓDIGO DIBUJO	RMHL - PM0004	ACABADO	Limado fino o torneado fino con metal duro	MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO PORTA ESTATOR		MATERIAL	Aluminio 1060	PESO 0.9 kg
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos				REVISIÓN 1.0
	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020			DIMENSIONES mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA 1 : 2	No escale el dibujo	HOJA 1 de 1

A4



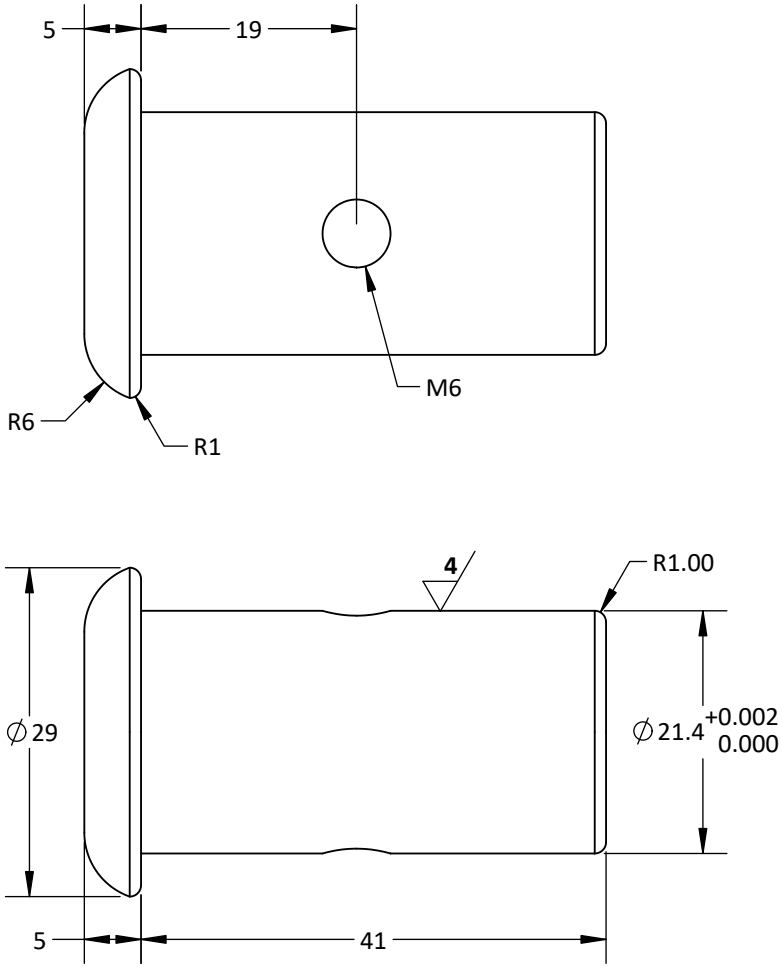


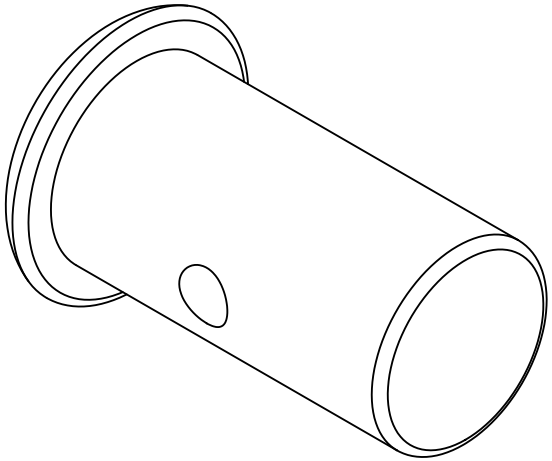
NOTA:

- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	RMHL - PM0005	ACABADO	Limado fino y rectificado	MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO EJE SOPORTE		MATERIAL	Tubo de acero AISI 1020 de 2mm de espesor	PESO	0.4 kg
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos				REVISIÓN	1.0
	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020			DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	1 : 2	No escale el dibujo	HOJA 1 de 1

A4

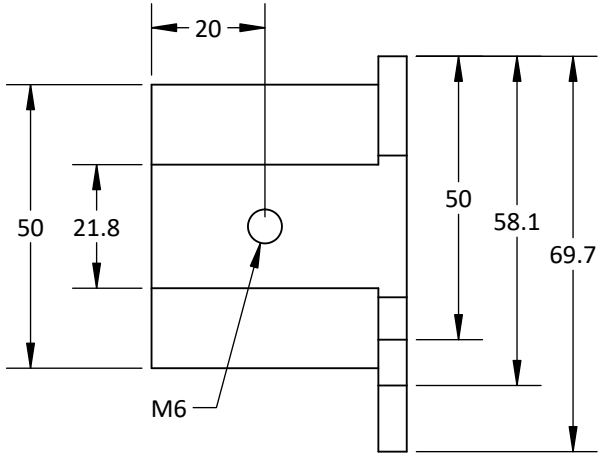


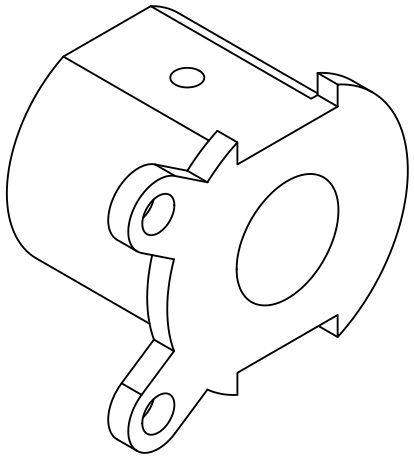


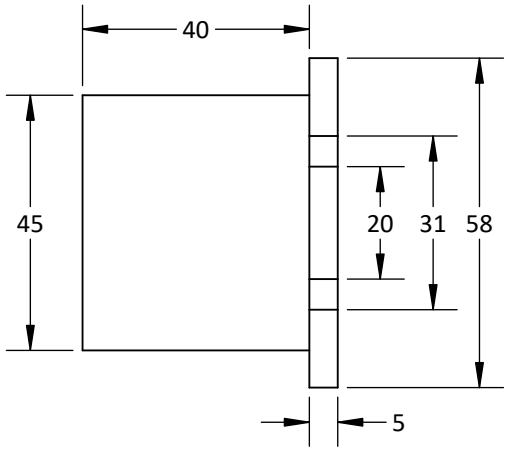
NOTA:
- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

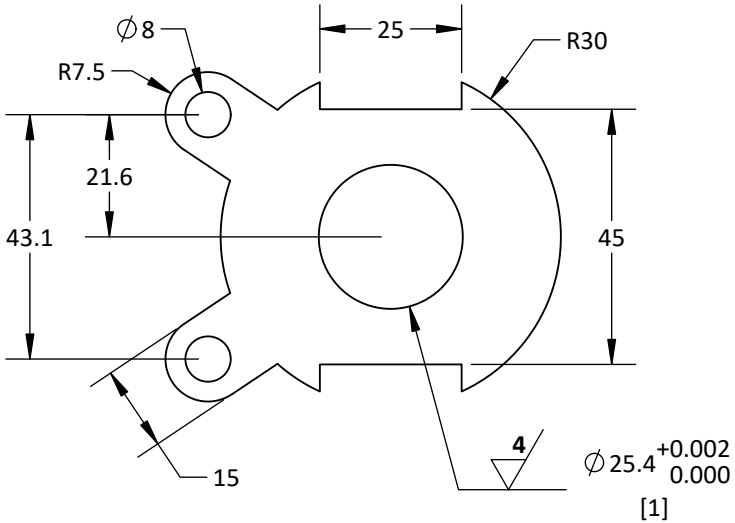
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	RMHL - PM0006	**ACABADO**	Limado fino o torneado fino con metal duro	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**TAPA LATERAL DE EJE**	**MATERIAL**	Acero AISI 1020	**PESO**	0.2 kg
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN**	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	3 : 2	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 1

A4



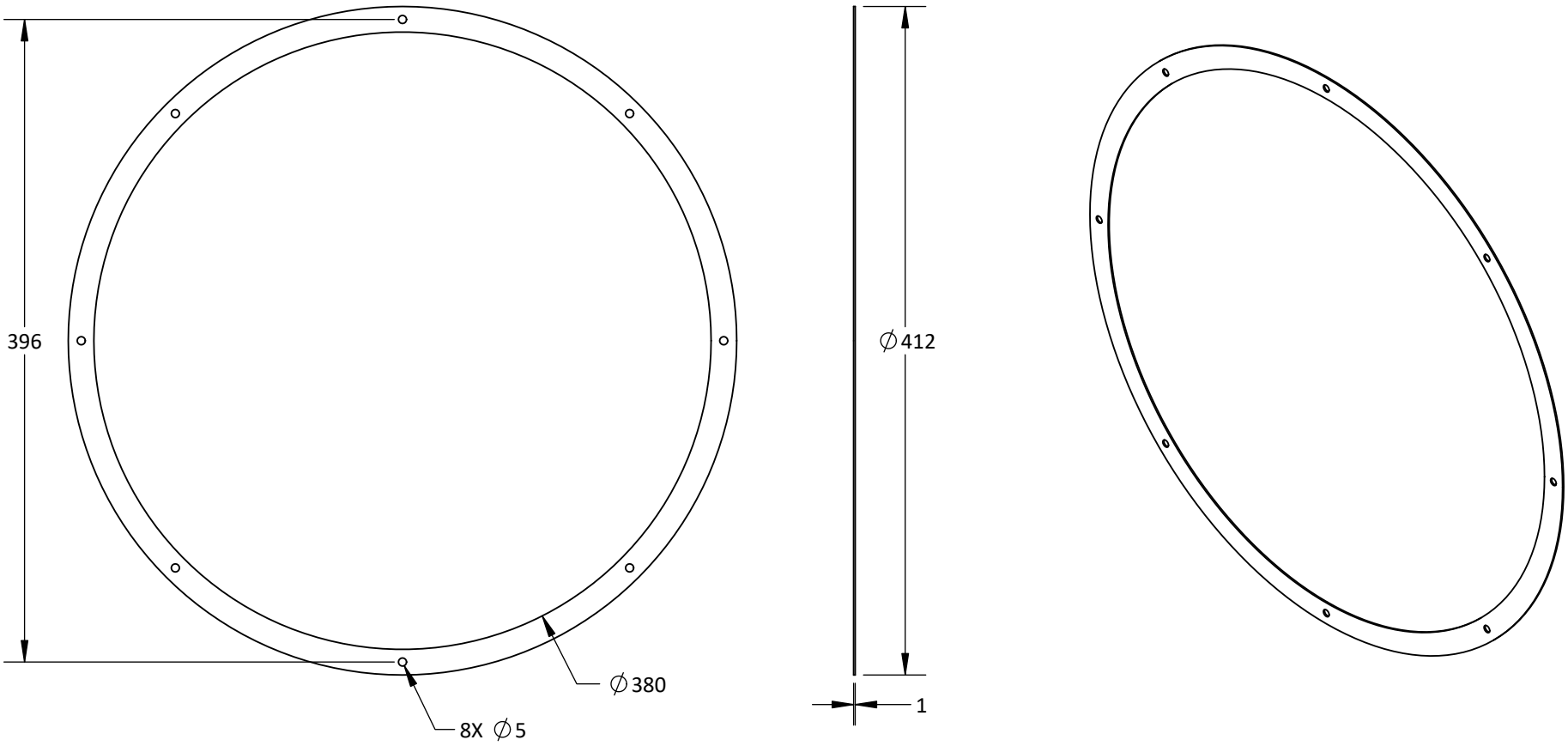






NOTA:
- Rebarbar y romper las aristas vivas
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

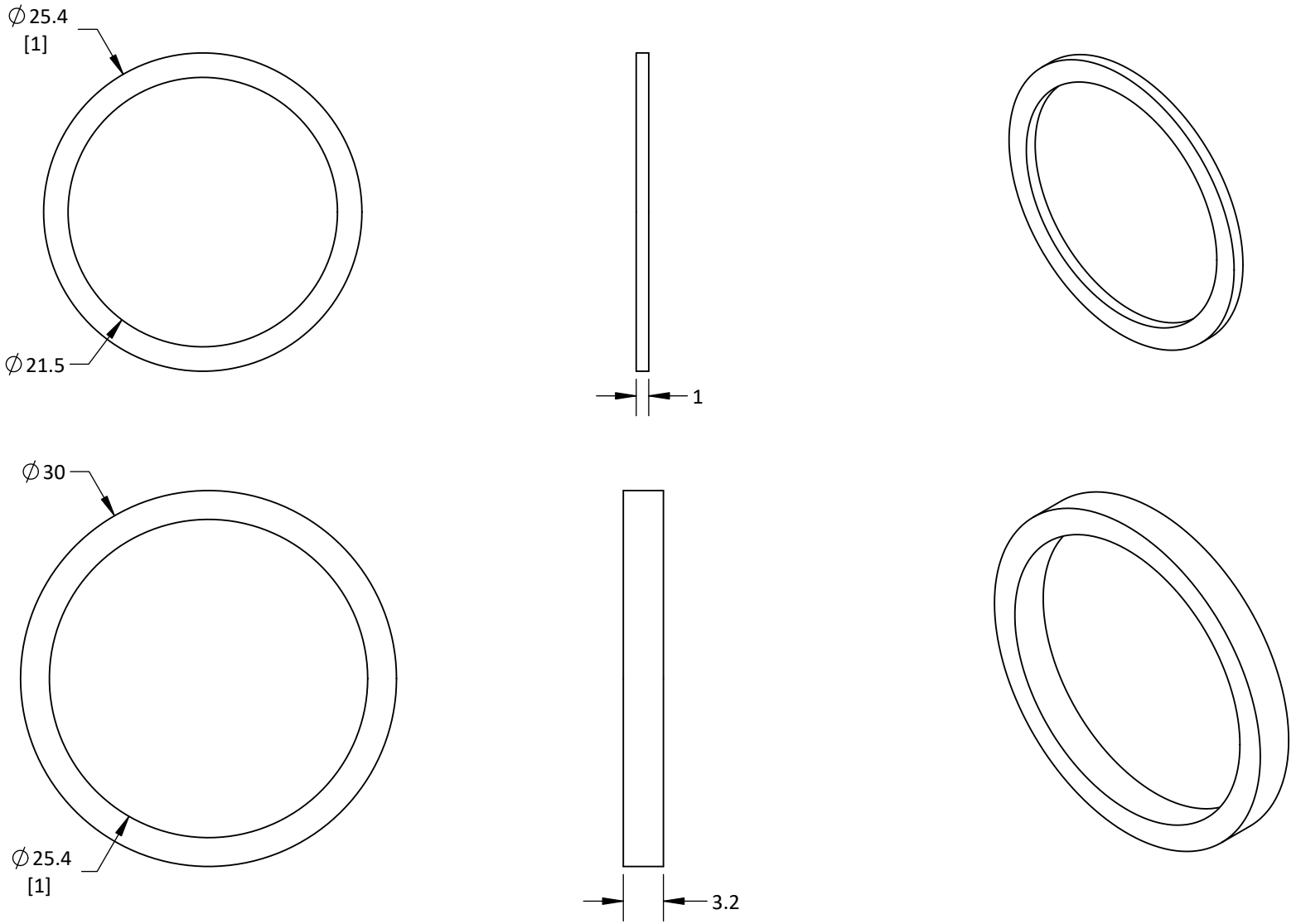
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	RMHL - PM0007	**ACABADO**	Limado fino o torneado fino con metal duro		**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**ACOPLE A SUSPENSIÓN**	**MATERIAL**	Aluminio 1060		**PESO**	0.2 kg
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020						**REVISIÓN**	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009	A4
						ESCALA	3 : 4	No escale el dibujo	**HOJA** 1 de 1	



NOTA:

- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

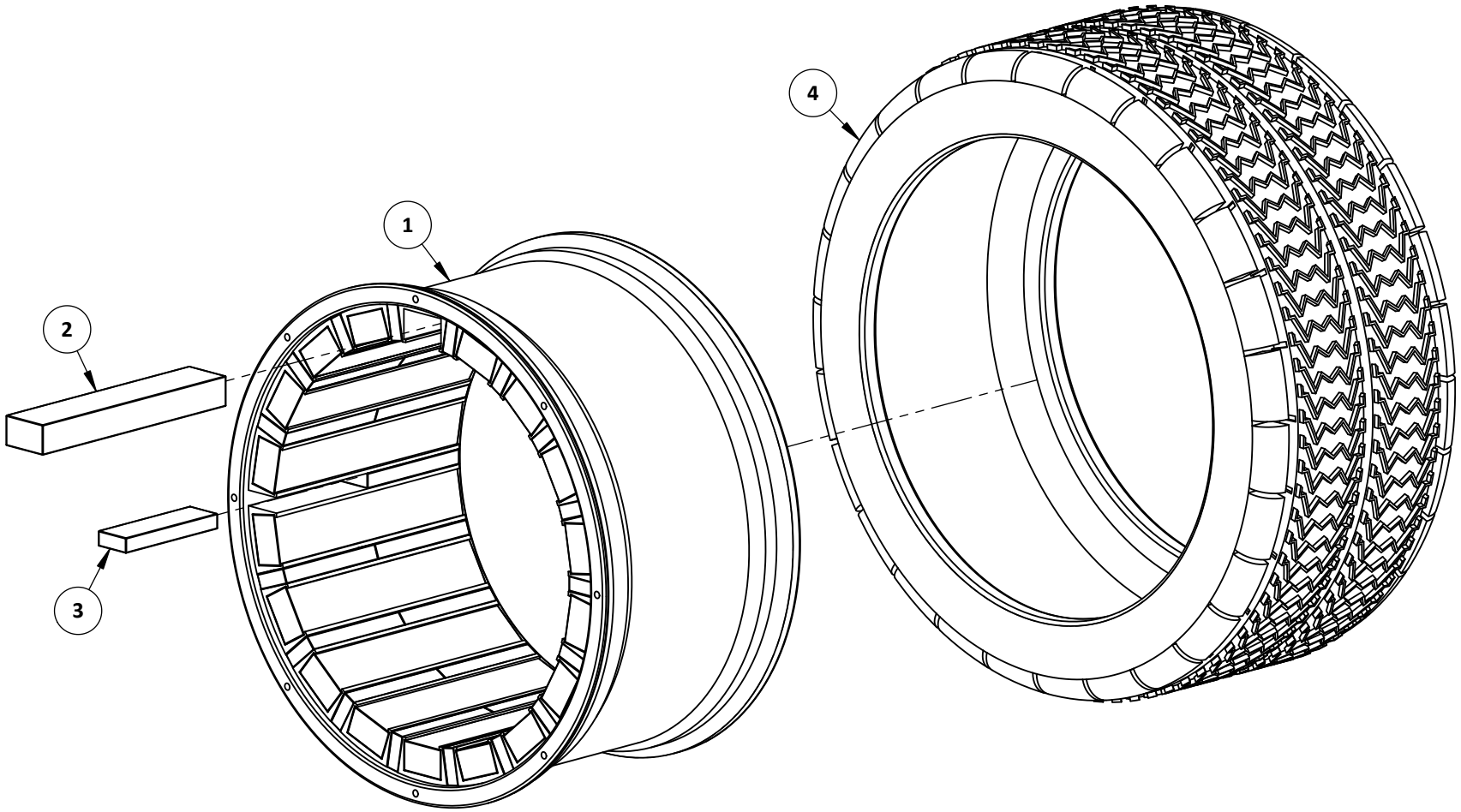
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	RMHL - PM0008	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas		MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO EMPAQUE DE TAPA		MATERIAL	Caucho siliconado		PESO	0.1 kg
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020						REVISIÓN	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009	A4
						ESCALA	1 : 4	No escale el dibujo	HOJA	1 de 1



NOTA:

- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	RMHL - PM0009/10	**ACABADO**	Rebarbar y romper las aristas vivas		**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**		
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO**	**EMPAQUE DE EJE 1 / EMPAQUE DE EJE 2**	**MATERIAL**	Caucho siliconado		**PESO**	0.05 kg / 0.05 kg	
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020						**REVISIÓN**	1.0	
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009		A4
						ESCALA	2 : 1	No escale el dibujo	**HOJA**	1 de 1	



ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Rotor	RMHL - PM0001	Aluminio 1060	7.4 kg	1
2	Magneto 200 x 40 x 24 mm	-	Neodimio	1.4 kg	18
3	Magneto 100 x 30 x 12 mm	-	Neodimio	0.3 kg	36
4	Neumático 215 65 R15	-	Caucho	9 kg	1

NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	**NOMBRE**	**FECHA**	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO** Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	
	DIBUJADO Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO** Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	

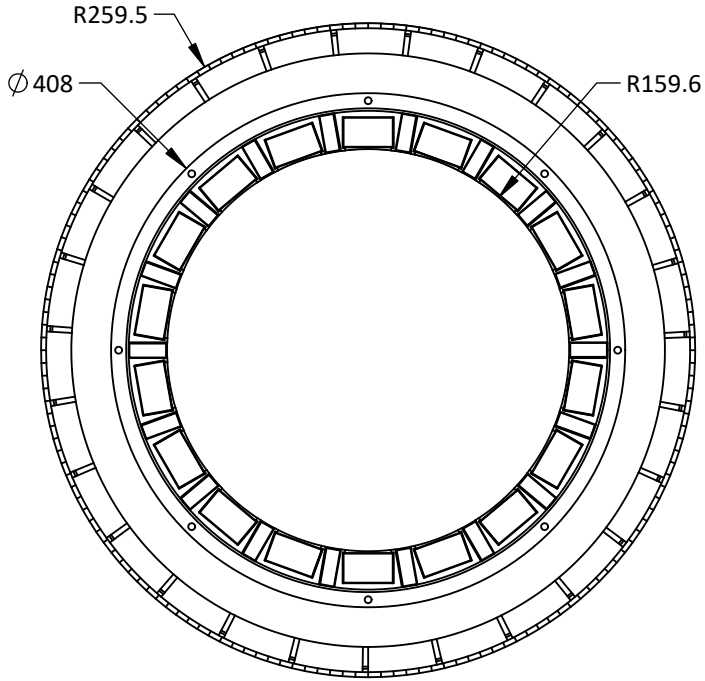
CÓDIGO DIBUJO RMHL - EM0001

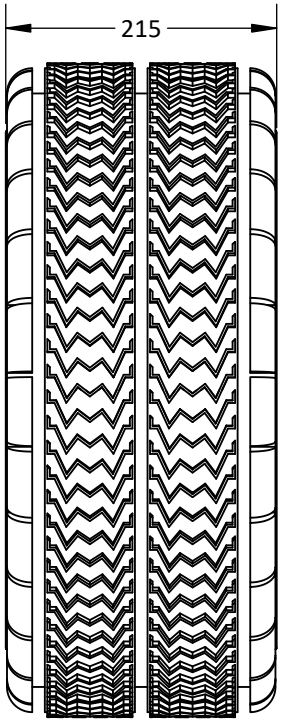
PLANO

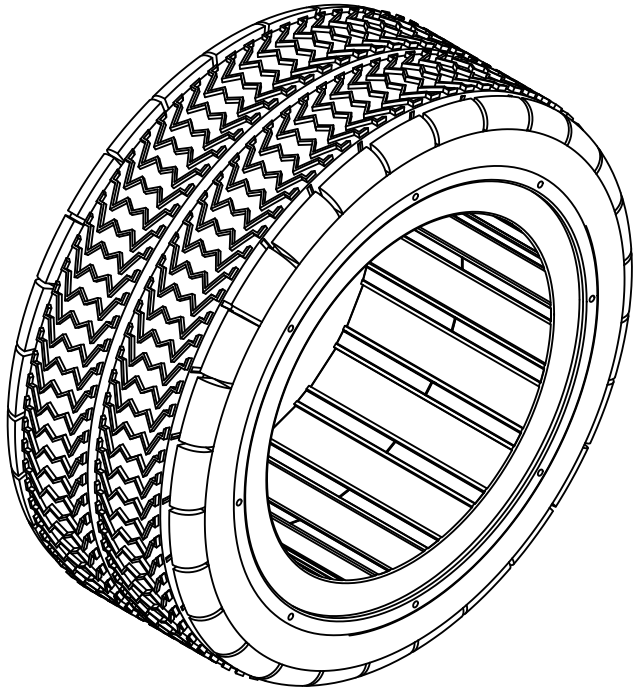
ROTOR NEUMÁTICO

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
MATERIAL	Aluminio 1060 / Neodimio / Caucho	**PESO**	52.4 kg
		REVISIÓN	1.0
DIMENSIONES	mm **NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009	A4
ESCALA	1 : 5 No escale el dibujo	**HOJA**	1 de 2





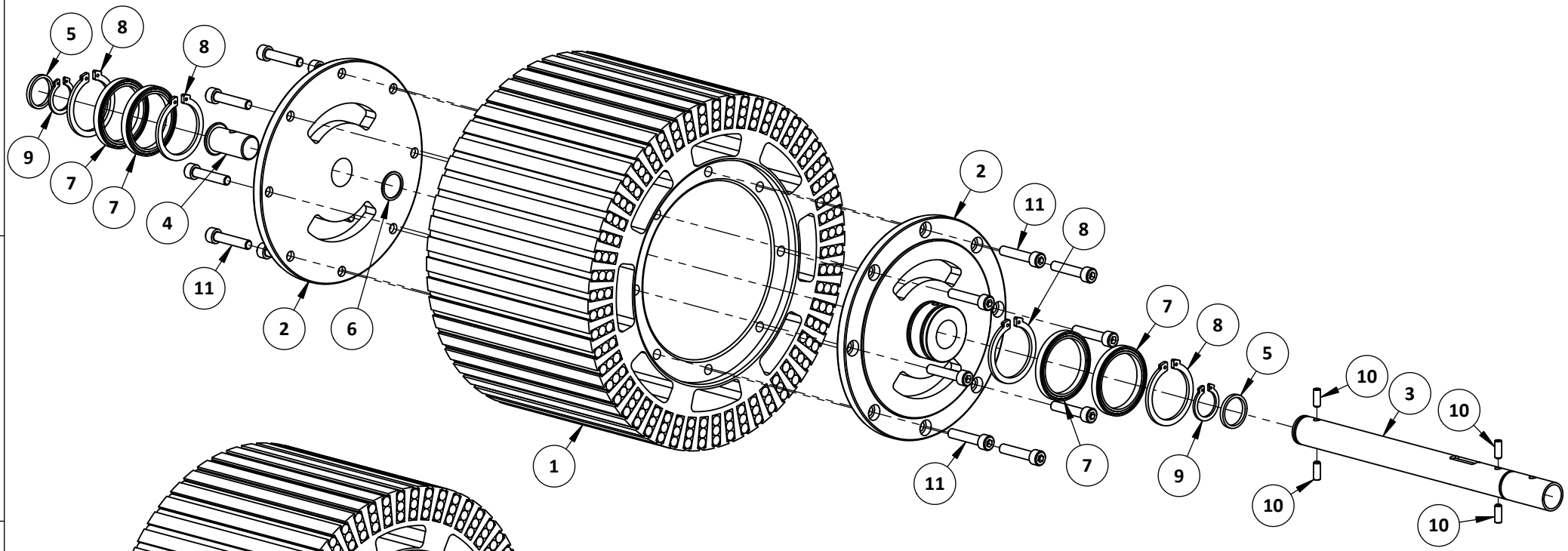


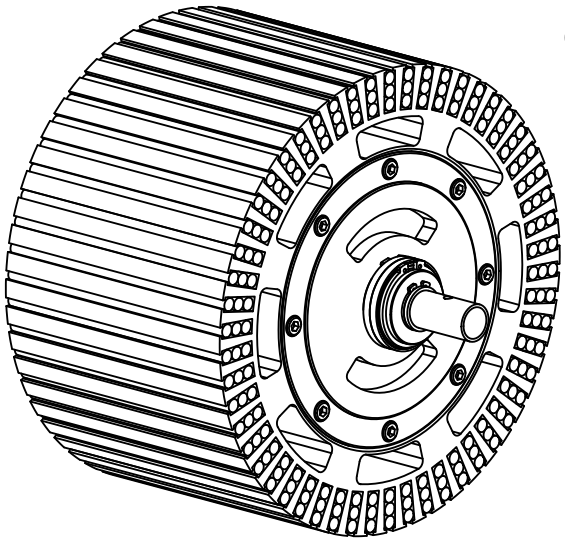
NOTA:

- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	RMHL - EM0001	**ACABADO**	Rebarbar y romper las aristas vivas	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO** **ROTOR NEUMÁTICO**		**MATERIAL**	Aluminio 1060 / Neodimio / Caucho	**PESO** 52.4 kg
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN** 1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA** ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	1 : 6	No escale el dibujo **HOJA** 2 de 2

A4



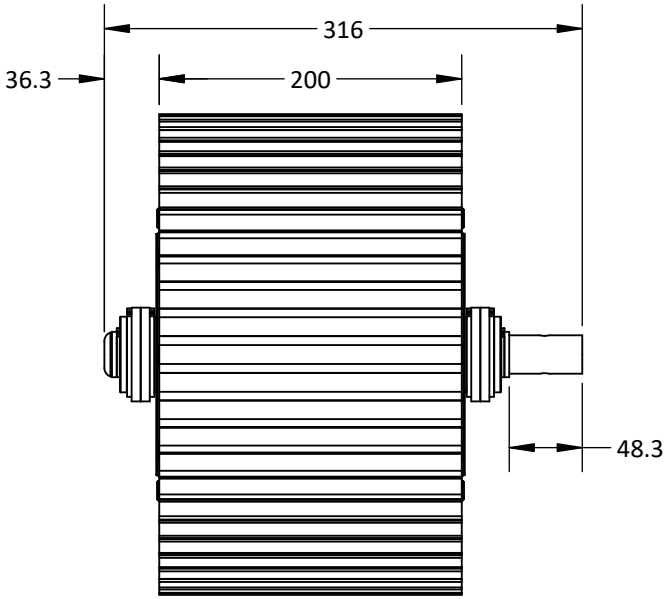


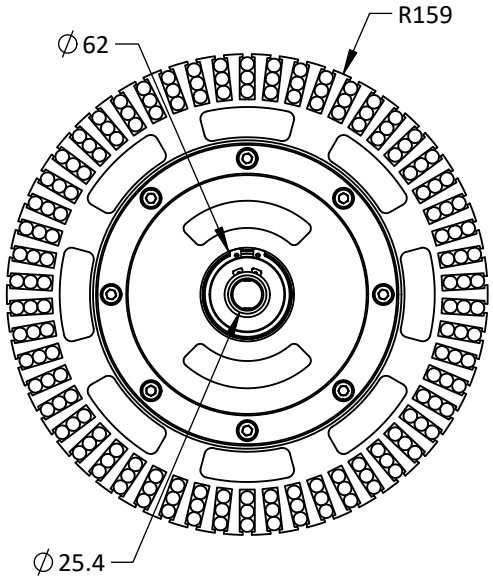
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Estator	RMHL - PM0003	Aluminio 1060	17.8 kg	1
2	Porta estator	RMHL - PM0004	Aluminio 1060	0.9 kg	2
3	Eje soporte	RMHL - PM0005	AISI 1020	0.4 kg	1
4	Tapa lateral de eje	RMHL - PM0006	AISI 1020	0.2 kg	1
5	Empaque de eje 2	RMHL - PM0010	Caucho	0.05 kg	2
6	Empaque de eje 1	RMHL - PM0009	Caucho	0.05 kg	1
7	6710ZZ	-	A307	0.04 kg	4
8	DSR-50	-	A307	0.01 kg	4
9	DSR-25	-	A307	0.01 kg	2
10	TORN PRIS CAB HEX M6x16	-	A307	0.01 kg	4
11	TORN CAB CIL M8x40	-	A307	0.01 kg	16

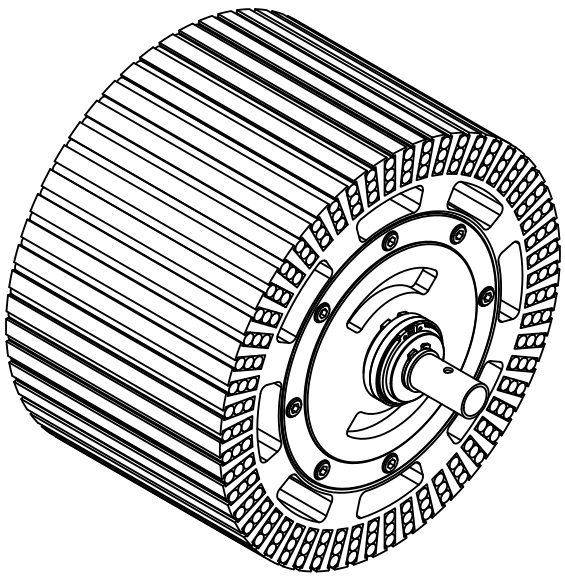
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	RMHL - EM0002
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO	ESTATOR NEUMÁTICO
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos	
	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020		

ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas		MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA		
MATERIAL	Aluminio 1060 / Cobre / AISI 1020 / Caucho / A307		PESO	20.75 kg	
			REVISIÓN	1.0	
DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009		A4
ESCALA	1 : 5	No escale el dibujo	HOJA	1 de 2	







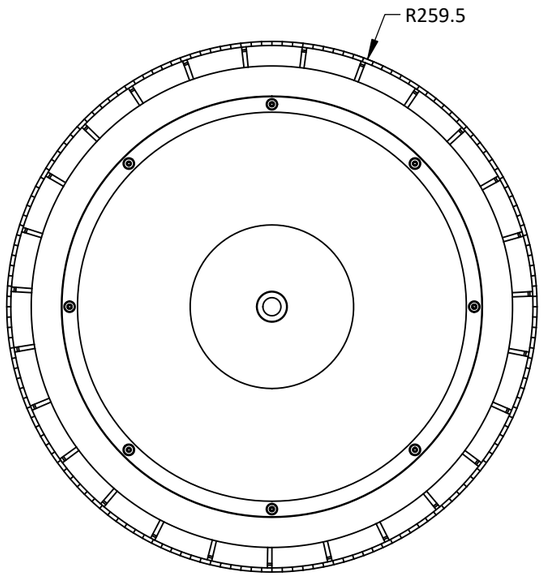
NOTA:

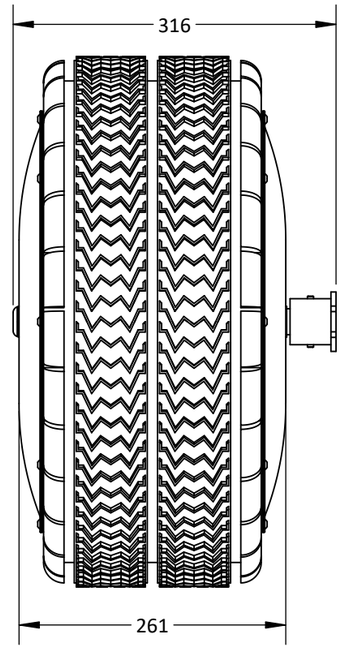
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

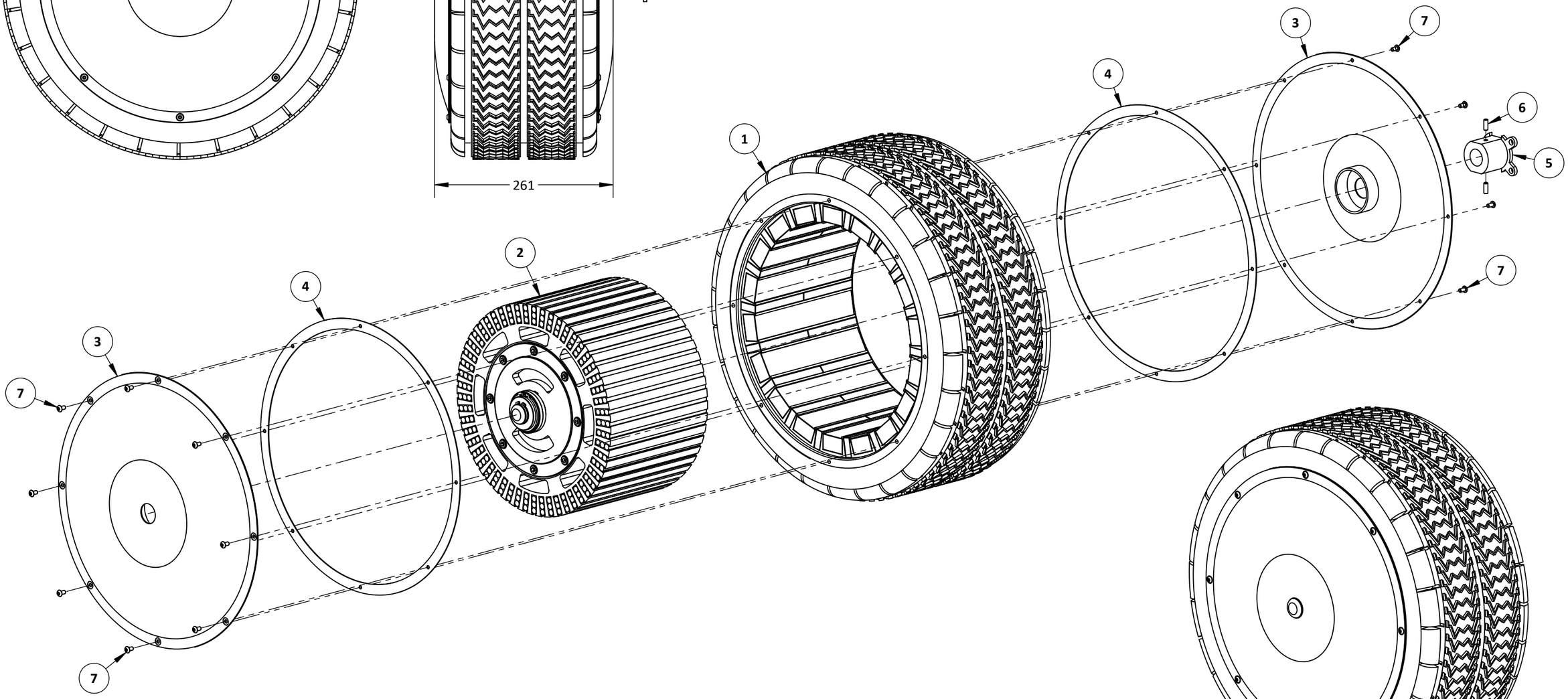
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		**NOMBRE**	**FECHA**	**CÓDIGO DIBUJO**	RMHL - EM0002	**ACABADO**	Rebarbar y romper las aristas vivas	**MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA**	
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	**DISEÑADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	**PLANO** **ESTATOR NEUMÁTICO**		**MATERIAL**	Aluminio 1060 / Cobre / AISI 1020 / Caucho / A307	**PESO**	20.75 kg
	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020					**REVISIÓN**	1.0
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	**REVISADO**	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020	**CONFIDENCIAL:** Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		**DIMENSIONES**	mm	**NORMA**	ANSIY 14.5 - 2009
						ESCALA	1 : 5	No escale el dibujo	**HOJA** 2 de 2

A4

ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Rotor neumático	RMHL - EM0001	Aluminio 1060 / Neodimio / Caucho	52.4 kg	1
2	Estator neumático	RMHL - EM0002	Aluminio 1060 / Cobre / AISI 1020 / Caucho / A307	20.75 kg	1
3	Tapa lateral	RMHL - PM0002	Aluminio 1060	0.6 kg	2
4	Empaque de tapa	RMHL - PM0008	Caucho siliconado	0.1 kg	2
5	Acople a suspensión	RMHL - PM0007	Aluminio 1060	0.2 kg	1
6	TORN PRIS CAB HEX M6x16	-	A307	0.01 kg	2
7	TORN CAB RED M5x10	-	A307	0.01 kg	16





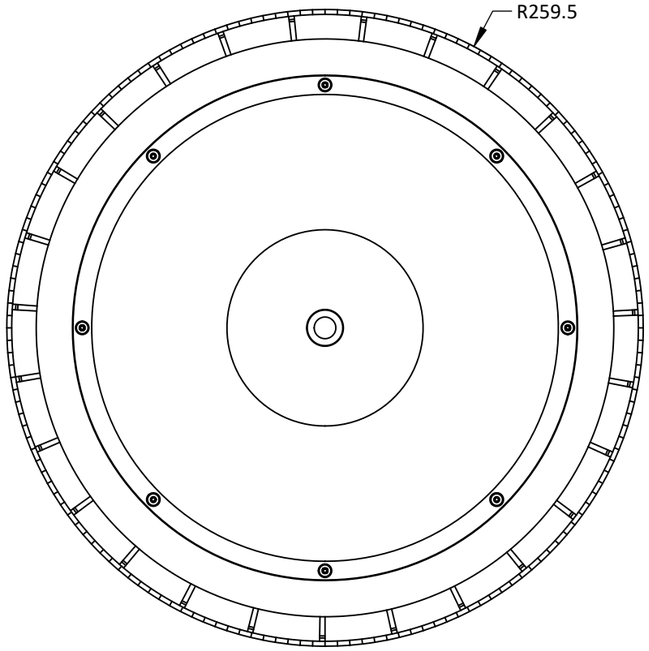


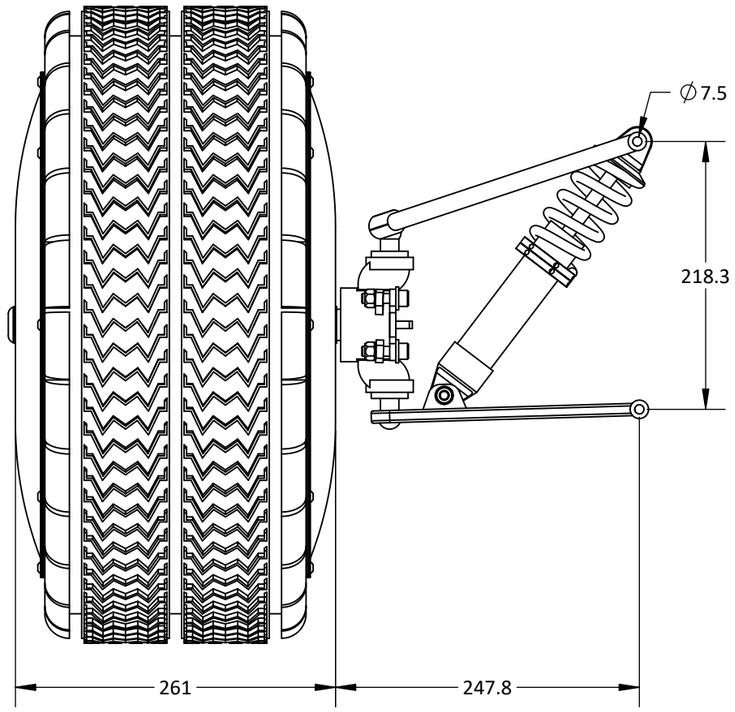
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA	NOMBRE		FECHA	CÓDIGO DIBUJO	RMHL - EM0003
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO	MOTOR RUEDA BRUSHLESS DC CON ARREGLO HALBACH
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos	
	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020		

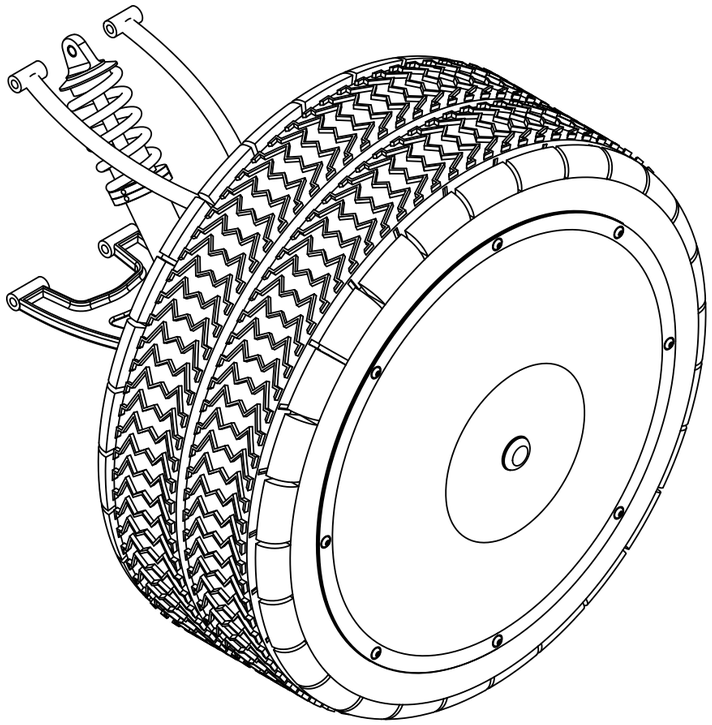
ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas			MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
MATERIAL	Aluminio 1060 / Neodimio / Caucho siliconado / Neodimio / Cobre esmaltado / AISI 1020 / A307			PESO	74.93 kg
DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009	REVISIÓN	1.0
ESCALA	1 : 6	No escale el dibujo		HOJA	1 de 1 A3

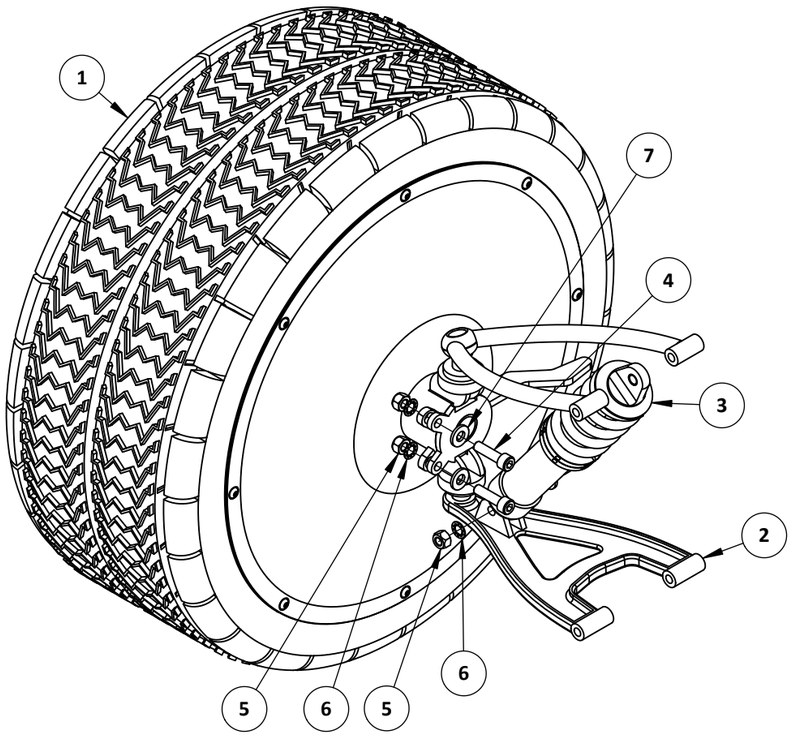
NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas

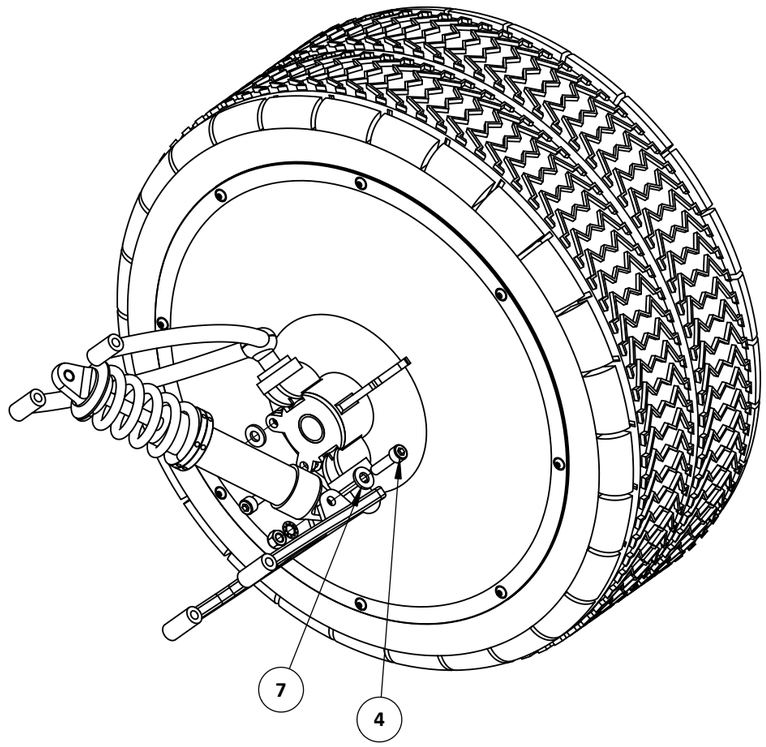
ITEM	DESCRIPCIÓN	PLANO	MATERIAL	PESO U.	CANT.
1	Motor rueda brushless DC con arreglo Halbach	RMHL - EM0003	Aluminio 1060 / Neodimio / Caucho siliconado / Neodimio / Cobre esmaltado / AISI 1020 / A307	74.93 kg	1
2	Cuadrilátero deformable	-	AISI 1020	2.2 kg	1
3	881700007751	-	AISI 1020	0.5 kg	1
4	TORN CAB CIL M8x30	-	A307	0.01 kg	3
5	TUER HEX M8	-	A307	0.01 kg	3
6	ARAN PRIS M8	-	A307	0.01 kg	3
7	ARAN PES M8	-	A307	0.01 kg	3











UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA		NOMBRE	FECHA	CÓDIGO DIBUJO	RMHL - EM0004
Facultad de Ciencias e Ingenierias Físicas y Formales	DISEÑADO	Eduardo Pilco Lazarte	Marzo 2020	PLANO	MOTOR RUEDA BRUSHLESS DC CON ARREGLO HALBACH Y SUSPENSIÓN
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DIBUJADO	Beetle Craft S.A.C	Abril 2020	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos	
	REVISADO	Eduardo Pilco Lazarte	Abril 2020		

ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas			MOTOR BRUSHLESS ADAPTABLE A RUEDA PARA VEHÍCULO DE BAJA CARGA	
MATERIAL	Aluminio 1060 / Neodimio / Caucho siliconado / Neodimio / Cobre esmaltado / AISI 1020 / A307			PESO	77.15 kg
DIMENSIONES	mm	NORMA	ANSIY 14.5 - 2009	REVISIÓN	1.0
ESCALA	1 : 5	No escale el dibujo		HOJA	1 de 1 A3

NOTA:
- Acabado con lija fina
- Dimensiones entre corchetes en pulgadas