

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Robot Multifuncional para Pesaje y Vacunación Avícola**

**José Martín Cevallos Arturo**

**Ingeniería Mecánica**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico

Quito, 22 de diciembre de 2020

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Robot Multifuncional para Pesaje y Vacunación Avícola**

**José Martín Cevallos Arturo**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Marco Francisco León Dunia, M.Sc**

Quito, 22 de diciembre de 2020

## **DERECHOS DE AUTOR**

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: José Martín Cevallos Arturo

Código: 00131764

Cédula de identidad: 1725251464

Lugar y fecha: Quito, diciembre de 2020

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

## RESUMEN

En Ecuador, la industria avícola aporta un 2% al producto interno bruto y se ha generado un aumento productivo en este sector en los últimos años (CONAVE, 2020). Sin embargo, uno de los mayores problemas que los avicultores han observado al criar aves de engorde es la dificultad de poder medir el peso promedio de los pollos de manera adecuada y eficiente en un galpón (W. Ma, 2020). Debido a esta necesidad, se ha desarrollado la idea de un robot modular capaz de desplazarse de forma independiente por todo el lugar, con la función de recolectar diferentes valores de peso de las aves y almacenar los datos digitalmente. Adicionalmente, dado que el robot también fue concebido para tener un diseño modular, se consideró para este proyecto un sistema de vacunación para facilitar la difusión de la medicina y simplificar el trabajo de los avicultores. Para posteriores diseños se plantea la idea de implementar un sistema de reconocimiento de las aves a partir del uso de cámaras para observar en tiempo real las condiciones del galpón, además, de tomar otros datos como la pigmentación de las aves. De igual manera, se propone desarrollar un módulo automático de remoción de tierra si fuera necesario.

**Palabras clave:** Pollo, robot, pesaje, autónomo, modular, movimiento, vacunación, fluido.

## ABSTRACT

In Ecuador, the poultry industry contributes 2% to the gross domestic product and there has been an increase in this sector in the recent years (CONAVE, 2020). However, one of the biggest problems that poultry farmers have seen in raising broilers is the difficulty of being able to control the average weight of the chickens adequately and efficiently in a barn (W. Ma, 2020). In this way, producers need to be able to deliver a batch of chicken with a standard weight as requested by buyers. Due to this need, the idea of a modular robot capable of moving independently throughout the place has been developed, with the function of collect different weight values of the chickens and storing them for future review, in this way, being able to efficiently control the growth of the chickens in the barn. However, since it also was conceived to have a modular design, a vaccination system to facilitate the spread of medicine and simplify the work of poultry farmers was also considered for this project.

**Key words:** Chicken, robot, weighing, autonomous, modular, movement, vaccination, fluid.

**TABLA DE CONTENIDOS**

ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE TABLAS .....	16
INTRODUCCIÓN .....	20
Planteamiento del problema .....	21
Ideas de diseño y selección .....	24
Soluciones para el sistema principal de movimiento .....	26
Gestión del proyecto.....	35
Estándares Ingenieriles.....	37
MÉTODOS Y MATERIALES .....	39
Selección de materiales y componentes .....	39
Diseño de Manufactura .....	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	43
Reporte de diseño .....	43
Plan de testeo de prototipo .....	47
Seguridad del diseño .....	50
Resultados, discusión y conclusión.....	53
Trabajo futuro.....	55
Referencias .....	57
APÉNDICE A – DIBUJOS INGENIERILES .....	60

APÉNDICE B: CÁLCULOS DETALLADOS .....	98
Cálculo del Torque para el Sistema Principal de Movimiento.....	98
Diseño del sistema de suspensión para la oruga .....	104
Cálculos en el Módulo de Pesaje.....	112
Análisis de Estructura de Soporte .....	112
Torque Necesario para levantar la Balanza.....	121
Selección de bomba en el módulo de vacunación.....	123
Sistema de Transmisión .....	132
Análisis de Selección de Cadena de Transmisión.....	134
Análisis de esfuerzos y diseño del eje motriz .....	138
Simulación para el sistema de suspensión.....	148
Simulación del módulo de vacunación.....	158
Cálculo de capacidad de batería .....	167
Simulación para el módulo de balanza.....	171
Circuitos de conexión eléctrica .....	176
Circuito de potencia .....	179
Circuitos de Control .....	181
APÉNDICE C: MANEJO DE PROYECTO .....	189
Diagrama de Gantt .....	189
Presupuesto total del robot multifuncional.....	190

Tablas de selección de componentes.....	191
Diseño de manufactura – Hojas de procesos.....	199
APÉNDICE D: MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN .....	226
Manual de mantenimiento.....	226
Manual de operación .....	237

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista isométrica del sistema de tracción con ruedas .....	26
Figura 2. Vista isométrica del sistema de oruga .....	27
Figura 3. Vista isométrica de la articulación .....	28
Figura 4. Vista isométrica del módulo de vacunación opción a .....	29
Figura 5. Vista isométrica del módulo de vacunación opción b .....	30
Figura 6. Vista isométrica módulo de vacunación opción c .....	31
Figura 7. Vista isométrica módulo de pesaje con balanza suspendida .....	32
Figura 8. Vista isométrica de balanza tipo montacarga .....	33
Figura 9. Vista superior del sistema de balanza tipo bandeja retráctil.....	34
Figura 10. Diagrama de manufactura del robot multifuncional avícola .....	41
Figura 11. Vista isométrica del módulo de vacunación .....	44
Figura 12. Vista isométrica del módulo de pesaje .....	45
Figura 13. Vista isométrica del módulo de movimiento.....	46
Figura 14. Vista isométrica del sistema de oruga .....	47
Figura 15. Diagrama de cuerpo libre para el vehículo.....	99
Figura 16. Gráfica comparativa entre distancia de interacción y velocidad del robot (Parajuli et al., 2018) .....	100
Figura 17. Gráfica comparativa entre el coeficiente de fricción y el contenido de humedad del suelo (Manuwa, 2012).....	101
Figura 18. Diagrama de cuerpo libre para una rueda intermedia (U.S. Army Tank-Automotive Command,1968).....	105

Figura 19. Diagrama de cuerpo libre para una rueda inicial o final (U.S. Army Tank-Automotive Command,1968).....	105
Figura 20. Vista lateral del diagrama de cuerpo libre para un vehículo de orugas (U.S. Army Tank-Automotive Command,1968) .....	106
Figura 21. Vista frontal del diagrama de cuerpo libre para un vehículo de orugas (U.S. Army Tank-Automotive Command,1968) .....	106
Figura 22. Vista lateral del desplazamiento del centro de masa del vehículo (U.S. Army Tank-Automotive Command,1968) .....	107
Figura 23. Vista frontal del desplazamiento del centro de masa del vehículo (U.S. Army Tank-Automotive Command,1968) .....	108
Figura 24. diagrama de dimensiones para un resorte helicoidal (Budynas, 2011) .....	110
Figura 25. Distribución geométrica de la suspensión de una rueda de soporte (U.S. Army Tank-Automotive Command,1968) .....	111
Figura 26. Esquema de la distribución del sistema de suspensión .....	112
Figura 27. Montacarga de mano de la marca Vestil ALLW-2020-FW. (Amazon, 2020) .....	113
Figura 28. Montacarga de mano de la marca Vestil ALLW-2020-FW. (Amazon, 2020) .....	113
Figura 29. Vista isométrica de la balanza tipo montacarga .....	114
Figura 30. Vista lateral del sistema de balanza tipo montacarga .....	114
Figura 31. Vista superior del sistema de balanza tipo montacarga .....	115
Figura 32. Vista complementaria del sistema de balanza tipo montacarga. ....	115
Figura 33. Vista lateral del esquema de la balanza .....	116
Figura 34. Vista superior con las dimensiones de la balanza .....	116
Figura 35. Aplicación de fuerzas sobre balanza de pollos .....	117

Figura 36. Diagrama de aplicación de fuerzas en el programa.....	118
Figura 37. Diagrama de fuerza cortante.....	119
Figura 38. Diagrama de momento flector.....	119
Figura 39. Diagrama DCL del sistema de balanza tipo montacarga.....	121
Figura 40. Torque y potencia del shaft. ....	123
Figura 41. Recorrido realizado por el robot durante vacunación.....	124
Figura 42. Referencia máxima distancia a la que trabajará la bomba en módulo de vacunación. .....	129
Figura 43. Resultados obtenidos con el software EES .....	130
Figura 44. Opción de bomba MARCO UP8-P .....	131
Figura 45. Electroválvula (NC) NBR 50930 .....	131
Figura 46. Curva de Torque-Velocidad para el motor NEMA 34 M. Obtenido de Servotronix. ....	132
Figura 47. Dimensiones para la catalina impulsada.....	138
Figura 48. Dimensiones para la catalina impulsadora .....	138
Figura 49. Conexión entre el sistema el eje del motor Nema y el del eje motriz de la rueda.....	139
Figura 50. Disposición de los elementos en el eje motriz.....	140
Figura 51. Diagrama del eje motriz .....	140
Figura 52. Triángulo de distancias de las catalinas.....	141
Figura 53. Diagrama de fuerzas en el eje simplificado.....	143
Figura 54. Diagrama de Cortante y Momentos para el eje y .....	144
Figura 55. Diagrama de Cortante y Momentos para el eje z .....	145
Figura 56. Esquema del Sistema de suspensión.....	148
Figura 57. Diagrama de cuerpo libre para la masa conectada al sistema de suspensión .....	149

Figura 58. Ejemplo de diagrama de bloques de un sistema dinámico .....	150
Figura 59. Respuesta frente a un estímulo de tipo step.....	153
Figura 60. Respuesta frente a un estímulo de tipo impulso .....	154
Figura 61. Respuesta frente a un estímulo de tipo rampa .....	154
Figura 62. Mapa de polos del sistema.....	155
Figura 63. Diagrama de bode para el sistema.....	157
Figura 64. Respuesta del sistema frente a la frecuencia de resonancia .....	157
Figura 65. Configuración ANSYS.....	158
Figura 66. Vista frontal del mallado de sección lateral módulo de vacunación .....	159
Figura 67. Vista isométrica del mallado de sección lateral módulo de vacunación .....	159
Figura 68. Diagrama de dimensiones de la boquilla.....	160
Figura 69. Resultados de la simulación, volumen de salida. (10 km/h) .....	161
Figura 70. Resultados simulación, vista lateral volumen de salida (10 km/h). .....	161
Figura 71. Resultados de la simulación, volumen de salida. (20 km/h) .....	162
Figura 72. Resultados simulación, vista lateral volumen de salida (20 km/h) .....	162
<i>Figura 73. Convergencia de parámetros de masa y momento (10 km/h y 20 km/h) .....</i>	<i>163</i>
Figura 74. Convergencia de turbulencia (10 km/h y 20 km/h).....	164
Figura 75. Grafica velocidad vs posición. (vel. Salida = 10 km/h) .....	165
Figura 76. Grafica velocidad vs posición. (vel. Salida = 20 km/h) .....	166
Figura 77. Consumo de corriente en 1 hora con el sistema de vacunación .....	169
Figura 78. Consumo de corriente en 1 hora con el sistema de pesaje .....	169
Figura 79. Batería de 12 V y 20 Ah de la marca Expert Power.....	170
Figura 80. Vista isométrica del módulo de balanza.....	171

Figura 81. Vista Lateral del módulo de balanza .....	172
Figura 82. Vista superior del módulo de balanza. ....	172
Figura 83. Propiedades del material de la estructura del módulo de balanza .....	173
Figura 84 Vista isométrica de la plancha en L del módulo de balanza con las condiciones de borde. .....	173
Figura 85. Simulación de esfuerzo a la vista isométrica de la plancha en L .....	174
Figura 86. Simulación de esfuerzo a la vista lateral de la plancha en L .....	174
Figura 87. Simulación de esfuerzo a la vista inferior de la plancha en L .....	175
Figura 88. Reductor de DC a DC.....	176
Figura 89. Conexión del sistema de carga de la batería de ácido .....	177
Figura 90: Especificaciones de carga de la 12V 20 AH de la marca Expert Power para uso cíclico .....	178
Figura 91. Esquemática del circuito de potencia .....	179
Figura 92. PCB Layout del circuito de potencia.....	179
Figura 93. Visualización 3D del circuito de potencia.....	180
Figura 94. Camino del circuito impreso .....	180
Figura 95. PCB en blanco y negro para la impresión del circuito .....	180
Figura 96. Circuito de conexión del motor Nema 34 M (1) y su driver de control .....	181
Figura 97. Circuito de conexión del motor Nema 34 M (2) y su driver de control .....	182
Figura 98. Circuito de conexión del motor Nema 17 y su driver de control .....	183
Figura 99. Circuito de conexión de las celdas de carga con el amplificador HX711 .....	184
Figura 100. Circuito de conexión de la bomba Marco con su relé de control .....	185
Figura 101. Circuito de conexión de la electroválvula con su relé de control.....	186

Figura 102. Circuito de conexión del sensor de nivel de agua .....	187
Figura 103. Circuito de conexión de la pantalla LCD .....	188
Figura 104. Circuito de conexión del sistema de medición de voltaje de las baterías.....	188
Figura 105. Robot multifuncional de vacunación y pesaje de pollos RVP1 vista ampliada .....	230
Figura 106. Vista expandida del sistema de movimiento .....	231
Figura 107. Vista expandida del sistema de movimiento .....	232
Figura 108. Vista isométrica del sistema de movimiento acoplado el módulo de vacunación ..	234
Figura 109. Vista expandida del módulo de vacunación .....	234
Figura 110. Vista isométrica del sistema de movimiento acoplado el módulo de pesaje.....	235
Figura 111. Vista expandida del módulo de pesaje .....	236
Figura 112. Interruptor de encendido.....	238
Figura 113. LCD robot RVP1.....	239
Figura 114. Sockets del módulo de pesaje.....	239
Figura 115. Sockets del módulo de vacunación.....	240
Figura 116. Configuración WIFI del robot multifuncional .....	241
Figura 117. Interfaz de la aplicación para el control del robot multifuncional.....	241

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requerimiento del cliente .....	24
Tabla 2. Diagrama de Gantt cronograma del proyecto .....	35
Tabla 3 . Presupuesto del proyecto .....	36
Tabla 4. Cronograma de pedidos de producción .....	42
Tabla 5. Elementos que se deben de evaluar en la construcción de un prototipo.....	48
Tabla 6. Riesgos aplicados en la selección del diseño.....	50
Tabla 7. Evaluación del impacto y probabilidad de los riesgos.....	51
Tabla 8. Monitoreo de los riesgos considerados para el diseño.....	51
Tabla 9. Datos correspondientes al moisture content.....	101
Tabla 10: Eficiencias de los componentes mecánicos de un sistema de orugas (U.S. Army Tank-Automotive Command,1968) .....	103
Tabla 11. Eficiencia de la banda del sistema de orugas en base a la velocidad de desplazamiento (U.S. Army Tank-Automotive Command,1968) .....	103
Tabla 12. Factores de corrección $k_1$ para el numero de dientes de la catalina impulsadora. Obtenido de Shigley - Capítulo 17. ....	135
Tabla 13. Factores de corrección $k_2$ para el número de hileras múltiples. Obtenido de Shigley - Capítulo 17.....	136
Tabla 14. Capacidad nominal de potencia de cadenas de paso único de torón sencillo de una catalina de 17 dientes.....	137
Tabla 15 Valores de los polos del sistema.....	155
Tabla 16. Resultados de la simulación (vel. Salida = 10 km/h).....	166
Tabla 17. Resultados de la simulación (vel. Salida = 20 km/h).....	167

Tabla 18. Características componentes eléctricos .....	167
Tabla 19. Tabla de consumo máximo estimado usando el módulo de vacunación por uso diario .....	168
Tabla 20. Tabla de consumo máximo estimado usando el módulo de pesaje por uso diario .....	168
Tabla 21. Descarga constante de la corriente. Tabla obtenida de los datos técnicos del fabricante de la batería. ....	170
Tabla 22. Diagrama de Gantt para la elaboración del robot multifuncional avícola .....	189
Tabla 23. Presupuesto del proyecto .....	190
Tabla 24. Costo total del robot multifuncional avícola.....	191
Tabla 25. Tabla selección evaluación de criterios a tomar en cuenta.....	191
Tabla 26. Criterios de selección de energía de las diferentes soluciones .....	191
Tabla 27. Criterios de selección de movilidad de las diferentes soluciones .....	192
Tabla 28. Criterio de selección de ruido de las diferentes soluciones .....	192
Tabla 29. Criterio de selección de peso de las diferentes soluciones .....	192
Tabla 30. Criterio de selección de hermeticidad de las diferentes soluciones.....	193
Tabla 31. Criterio de selección de precio de las diferentes soluciones.....	193
Tabla 32. Conclusiones sobre la solución de movilidad.....	193
Tabla 33. Tabla selección evaluación de criterios a tomar en cuenta en módulo de vacunación	194
Tabla 34. Criterio de selección de energía de las diferentes soluciones.....	194
Tabla 35. Criterio de selección de peso de las diferentes soluciones .....	195
Tabla 36. Criterio de selección de ruido de las diferentes soluciones .....	195
Tabla 37. Criterio de selección de precio de las diferentes soluciones.....	195
Tabla 38. Conclusiones sobre la solución de vacunación.....	196

Tabla 39. Tabla selección evaluación de criterios a tomar en cuenta en módulo de pesaje .....	196
Tabla 40. Criterio de selección de estabilidad de las diferentes soluciones .....	197
Tabla 41. Criterio de selección de fiabilidad de las diferentes soluciones .....	197
Tabla 42. Criterio de selección de hermeticidad de las diferentes soluciones .....	197
Tabla 43. Criterio de selección de precio de las diferentes soluciones.....	198
Tabla 44. Conclusiones sobre el módulo de pesaje .....	198
Tabla 45. Hoja de procesos catalina conectada a eje motriz.....	199
Tabla 46. Verificación de dimensiones catalina - eje motriz.....	200
Tabla 47. Hoja de procesos catalina impulsadora del motor Nema.....	202
Tabla 48. Verificación de dimensiones Catalina impulsadora del motor Nema.....	203
Tabla 49. Hoja de procesos eje catalina motriz .....	205
Tabla 50. Verificación de dimensiones eje catalina motriz .....	206
Tabla 51. Hoja de procesos eje guía .....	207
Tabla 52. Verificación de dimensiones eje guía .....	208
Tabla 53. Hoja de procesos ajuste eje guía .....	209
Tabla 54. Verificación de dimensiones ajuste eje guía.....	210
Tabla 55. Hoja de procesos seguros motores nema 34 .....	211
Tabla 56. Verificación de dimensiones seguros motores nema .....	212
Tabla 57. Hoja de procesos cobertura load cell .....	213
Tabla 58. Verificación de dimensiones de cobertura load cell .....	213
Tabla 59. Hoja de procesos tapa de la cobertura load cell.....	214
Tabla 60. Verificación de dimensiones cobertura del load cell .....	214
Tabla 61. Hoja de procesos polea superior .....	215

Tabla 62. Verificación de dimensiones polea superior.....	216
Tabla 63. Hoja de procesos polea inferior .....	217
Tabla 64. Verificación de dimensiones polea inferior .....	218
Tabla 65. Hoja de procesos eje polea superior .....	219
Tabla 66. Verificación de dimensiones eje polea superior .....	219
Tabla 67. Hoja de procesos brazos de soporte.....	220
Tabla 68. Verificación de dimensiones brazo de soporte .....	221
Tabla 69. Hoja de procesos rueda principal.....	222
Tabla 70. Verificación de dimensiones Rueda principal .....	223
Tabla 71. Hoja de procesos rueda de soporte .....	224
Tabla 72. Verificación de dimensiones rueda de soporte .....	225
Tabla 73: Programación de mantenimiento. ....	229
Tabla 74. Parámetros de funcionamiento.....	230
Tabla 75. Lista de piezas del sistema de movimiento.....	231
Tabla 76. Lista de piezas del sistema de movimiento.....	233
Tabla 77. Lista de piezas del módulo de vacunación.....	235
Tabla 78. Lista de piezas del módulo de pesaje.....	237

## INTRODUCCIÓN

El sector avícola representa un modo de producción de dinero a base de la crianza de distintas aves como pollos o pavos, los cuales luego son vendidos y procesados. El uso de un sistema para obtener distintos datos de peso de las aves de la manera más aleatoria y precisa posible puede llegar a significar un dato muy importante a la hora de conocer tanto el peso promedio de las aves dentro del galpón, como, la cantidad que se debe proveer de alimento para regular su dieta diaria. Así mismo, otro de los ámbitos en los que se puede mejorar, es el aspecto de la vacunación, ya que normalmente este es realizado manualmente por trabajadores, lo que lleva a una inversión de tiempo y de personal que puede ser aprovechados de mejor manera. En este trabajo de titulación, se diseñó un sistema modular tipo robot con la capacidad de recopilar y almacenar datos de peso de las aves, y vacunarlos mediante aspersion intraocular.

El diseño del robot fue dividido en tres subsistemas. El módulo principal de movimiento, que permite la libre movilidad del vehículo mediante un sistema propulsado por motores eléctricos y el uso de ruedas de tracción tipo oruga. Por otro lado, el módulo de pesaje cuenta con una balanza con diseño similar a los montacargas en el que se puede regular su altura en base a la edad de las aves. Por último, se tiene el módulo de vacunación que, mediante una bomba eléctrica y boquillas de aspersion, se logra vacunar al menos el 80% de la población de aves que se encuentren dentro del galpón. De esta forma, se espera automatizar los procesos y generar una mejor eficiencia tanto en el pesaje como vacunación de las aves.

En el presente documento se detalla una explicación del diseño ingenieril para cada subsistema o módulo que conforma el robot multifuncional avícola. El material principal del diseño será el aluminio 6061, ya que el objetivo es maximizar la resistencia mecánica del robot y disminuir su peso, además, el aluminio presenta buenas propiedades contra la corrosión y humedad

que están presentes en un galpón de crianza de aves. De igual manera un controlador de raspberry fue utilizado para el manejo del robot mediante un dispositivo móvil controlado por el usuario.

Debido a las condiciones actuales generadas por la pandemia del Covid-19, la construcción del robot fue postergada, sin embargo, mediante un análisis de costos tanto de materiales como manufactura, se prevé un costo de \$3,550.44 dólares americanos. Una vez que se termine la emergencia sanitaria se procederá a construir el robot multifuncional siguiendo el proceso planteado en este documento. Para el trabajo futuro se plantea utilizar cámaras para detección de las aves, y la creación de un módulo de remoción de tierra, que será fácilmente acoplable al sistema.

### **Planteamiento del problema**

La industria avícola está basada principalmente en la explotación y el fomento de la reproducción de las aves de corral. En el Ecuador, este sector aporta el 2% al producto interno bruto (PIB) nacional y su capacidad creció un 42% entre el 2006 y el 2015 (CONAVE, 2020). Así mismo, la producción de aves de engorde de más de 1800 granjas del país generó 525,000.00 toneladas de carne de pollo, además de 3.9 millones de huevos por año (CONAVE, 2020). A medida que se vaya desarrollando esta industria, la labor humana requerirá tiempos excesivos de operación, por lo cual, la automatización de un sistema puede llegar a ser la solución para cumplir con las actividades periódicas de gran importancia tales como el pesaje y vacunación de las aves.

Uno de los aspectos más importantes en la producción dentro de las granjas avícolas es la recopilación de información vital de las aves de engorde. Entre ellos, el peso es una característica relevante para poder tener una retroalimentación sobre como la dosificación del alimento afecta la ganancia de peso corporal (Adom C. C. lee, 2015). Así también, el pesaje de las aves de engorde

refleja la efectividad de los productos alimenticios que se implementan en su dieta balanceada diaria. Por ende, para disminuir la cantidad de desperdicios y mejorar el nivel de producción, los avicultores deben modificar la ingesta de alimento para poder llegar a un peso objetivo en un tiempo determinado. Cualquier desviación que pueda existir del peso previsto, puede ser evidencia de alguna enfermedad o problema en el lote de aves que se está analizando. Obtener información rápida sobre estos cambios en el peso, permiten identificar de manera más eficiente la existencia de un problema en la crianza de las aves de corral. Una lectura precisa del peso promedio y del rango de distribución del peso de las aves, puede ser una herramienta útil para que el avicultor pueda planificar de mejor manera el proceso de faenamiento de los pollos (W. Ma, 2020).

Generalmente, el pesaje de los pollos se lo ha realizado manualmente, es decir, una persona encargada toma al ave de engorde y lo coloca dentro de una balanza para la recopilación de datos. Este proceso demanda mucho tiempo y esfuerzo físico de los trabajadores, además, se genera estrés debido a la manipulación humana (Huang P Parajuli, 2020). Un método de pesaje más actual se basa en el uso de cámaras que permiten el pesaje de varios pollos a la vez. No obstante, también se determinó que el movimiento de las alas de los pollos generaba una fluctuación en la medición del peso, y los algoritmos usados para la estimación de peso no otorgaban resultados muy confiables. Otro de los métodos usados para el pesaje, es el uso de balanzas estáticas posicionadas en diferentes partes del galpón de crianza, en el cual, se espera que los pollos suban de manera no forzada a las balanzas y poder registrar su peso evitando el estrés generado en las aves y el consumo de tiempo de los trabajadores. Sin embargo, al tener las balanzas fijas estas subestiman los datos reales, especialmente a partir del día 36 ya que son pocos los pollos que ingresan en la balanza, existiendo una desviación estándar promedio del 19.4% entre los pollos que usan el dispositivo de pesaje y los que no (Chedad A, 2000).

Otro de los aspectos más importantes en la industria avícola es la vacunación de las aves de engorde y ponedoras. Dada la escala de aves que existe en la industria ecuatoriana, una enfermedad altamente contagiosa puede incurrir en una reducción significativa de la población del galpón y por consiguiente en pérdidas económicas para la empresa (Purswell, 2019). De igual manera, el contacto entre humano y ave puede representar un riesgo biológico en el caso de que las aves se encuentren contagiadas. El poder realizar el proceso de vacunación mediante aspersión desde sistemas automatizados mejora la seguridad de los trabajadores, la uniformidad de la aplicación e incrementa las tasas de vacunación con lo cual se aumenta la productividad. También, para el alcance correcto de la vacunación por aspersión es importante mantener volúmenes de aerosol controlados para cada ave, siendo este de 1 [ml] por ave (Purswell, 2019).

Actualmente, la empresa ecuatoriana MEGAVES utiliza balanzas estáticas sujetas al techo para el pesaje y recopilación de datos en sus galpones de crianza. No obstante, han presentado ciertos inconvenientes a la hora de realizar esta labor. En primer lugar, estas balanzas necesitan una conexión continua a la corriente eléctrica para poder funcionar, por lo que su funcionamiento está restringido a la existencia de los tomacorrientes del galpón. En segundo lugar, debido a que están ancladas al techo, su movilidad es restringida totalmente, por lo que se necesitaría varias balanzas para poder recopilar una muestra significativa que permita poder determinar el peso promedio actual de los pollos. En tercer lugar, los dispositivos instalados en el galpón no están diseñados para soportar las condiciones de funcionamiento del lugar, por lo que se generan varios problemas en el funcionamiento de los componentes electrónicos, siendo las principales causas la gran cantidad de polvo en el galpón y la humedad en el ambiente. Adicionalmente, la empresa no cuenta con un sistema de vacunación de aves eficiente, es decir, lo continúan haciendo

manualmente mediante los trabajadores y horas extensas de trabajo por los métodos tradicionales tales como absorción de líquidos y vía ocular.

El propósito del presente proyecto es plantear el diseño de un sistema automatizado modular que sea capaz de movilizarse a través de todo el galpón para recopilar datos de pesos de pollos en distintos puntos, además de vacunarlos por aspersión, utilizando una fuente de energía móvil capaz de suministrar la corriente necesaria para el correcto funcionamiento de los componentes. El sistema contará con una base principal de acople y dos diferentes módulos, siendo el primer módulo el encargado del pesaje y el segundo diseñado para la aspersión de la medicina durante el proceso de vacunación de las aves.

*Tabla 1. Requerimiento del cliente*

Autonomía	Sistema hermético	Control de datos	Sistema modular
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Libre Movilidad.</li> <li>• Energía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia al polvo y al agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacenamiento de datos.</li> <li>• Recepción de datos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de pesaje.</li> <li>• Sistema de vacunación.</li> </ul>

### **Ideas de diseño y selección**

El objetivo del diseño del robot que se va a usar en el galpón de crianza de pollos es que sea multifuncional, y para ello se propone un sistema modular. De esta manera, los módulos pueden acoplarse según la función a desempeñarse, o incluso en un futuro podría diseñarse nuevos módulos para el sistema de conexión principal. Para cumplir los requerimientos del cliente para el proyecto se consideró 3 sistemas: un módulo de balanza para el pesaje de los pollos de engorde, un módulo de vacunación por aspersión, y el sistema principal de movimiento que será donde se acoplen los módulos antes mencionados.

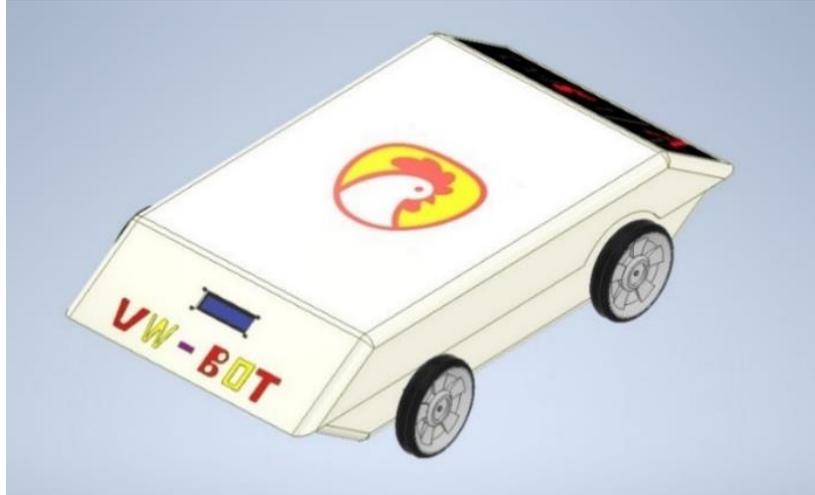
Los criterios que se usarán para escoger las soluciones son:

- a) Poco ruido, debido a que los pollos de crianza son sensibles a los estímulos externos.
- b) Movilidad, el robot debe poder moverse en terreno irregular.
- c) Energía, el robot debe tener autonomía de energía y la mayor eficiencia para funcionar de manera continua durante aproximadamente una jornada laboral.
- d) Hermeticidad, los componentes electrónicos deben estar protegidos contra partículas pequeñas y gotas de agua.
- e) Estabilidad, el robot debe mantenerse firme cuando los pollos suban a la balanza.
- f) Precio, el robot debe tener el menor precio posible para cubrir de manera rentable las necesidades de la empresa.
- g) Peso, el robot debe ser lo más liviano posible.
- h) Fiabilidad en la recolección de datos.

De estos criterios, se escogerán los que se relacionen con las soluciones que se explican a continuación.

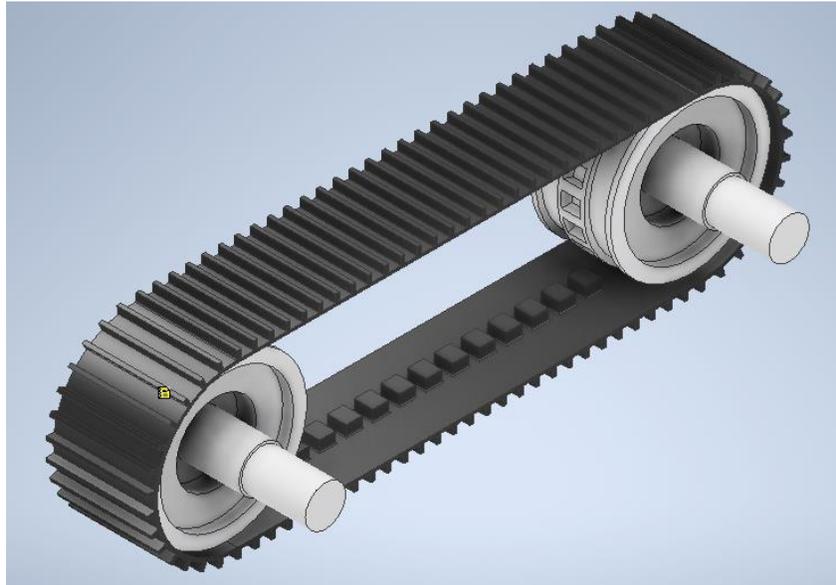
## Soluciones para el sistema principal de movimiento

### a) Movimiento generado por ruedas o llantas



*Figura 1. Vista isométrica del sistema de tracción con ruedas*

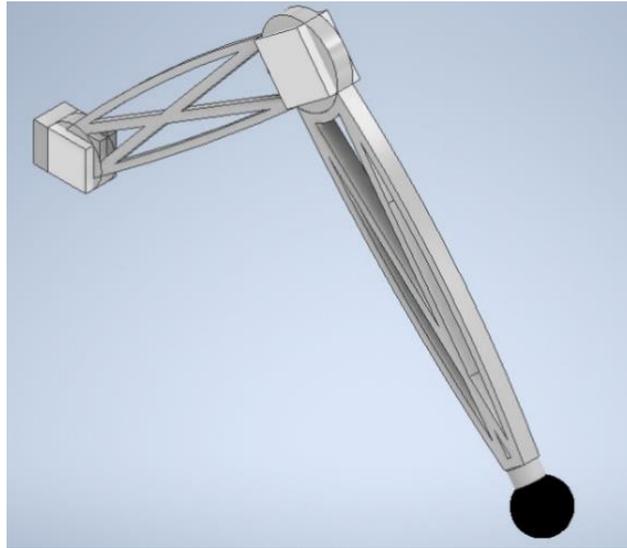
El módulo mostrado en las figuras 1 es la parte principal del sistema. Este dispositivo, diseñado para moverse mediante ruedas, contiene la fuente de energía y la placa de control para todos los actuadores móviles que se usarán en los módulos de pesaje y vacunación. Un problema con las ruedas es que, aunque su diseño es sencillo, ceden con mayor probabilidad ante obstáculos.

**b) Movimiento generado por tracción de tipo oruga**

*Figura 2. Vista isométrica del sistema de oruga*

El sistema de tracción de tipo oruga representa una alternativa posible a utilizarse para la implementación del sistema autónomo, teniendo en cuenta que el terreno en el cual se va a utilizar es desempeñar el vehículo resulta tener un perfil irregular. La geometría que se utiliza en la tracción de oruga permite superar los pequeños obstáculos sin que haya un deslizamiento y así mismo la flexibilidad de la banda permite adaptarse a la forma del terreno.

c) **Tracción de un robot articulado tipo “araña”**



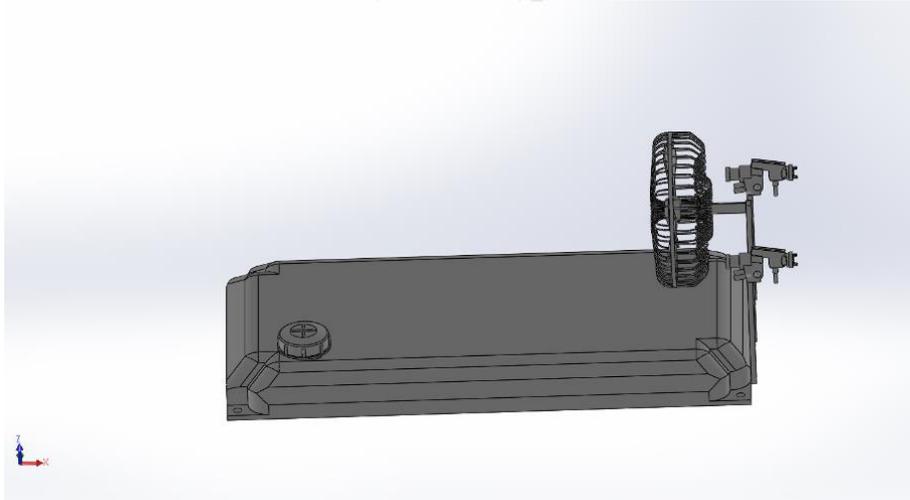
*Figura 3. Vista isométrica de la articulación*

Este sistema de tracción es bastante popular en sistemas robóticos debido a su facilidad para adaptarse al terreno de manera más dinámica como lo realizaría un arácnido sin la necesidad de un sistema de suspensión. Así mismo, la independencia de cada articulación le permite desplazarse a través de terrenos con irregularidades más importantes.

Los pasos del método ordinario de criterios ponderados que se utilizan para determinar la solución adecuada en base a los criterios de selección se encuentran en el apéndice C. Una vez realizada la comparación, se determina que la mejor opción es la solución B, que hace referencia al sistema de movimiento en base a ruedas tipo oruga.

## Soluciones para el módulo de vacunación

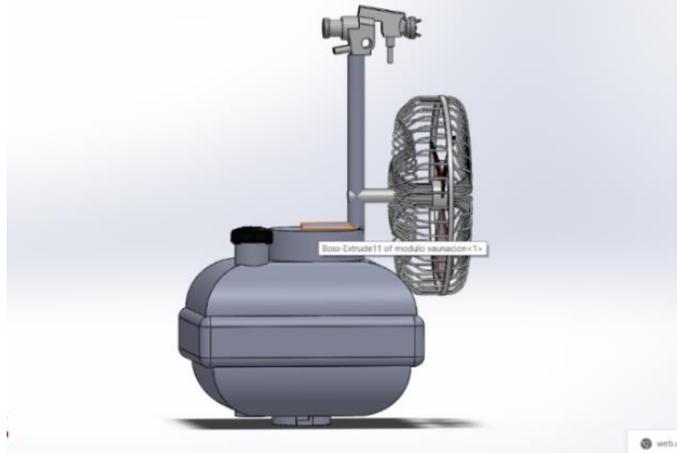
- a) **Aspersión impulsada por dos válvulas en una dirección con tanque en la sección inferior.**



*Figura 4. Vista isométrica del módulo de vacunación opción a*

El módulo de vacunación cuenta con dos sistemas de aspersión. Estos deben estar a la altura de la cabeza de las aves, para que las gotas del líquido esparcido ingresen directamente a los ojos de las aves, además en la parte inferior se debe dejar un espacio para que se puedan conectar los cables. El tanque debe ser de aproximadamente 10 litros, para que pueda llevarse a cabo la vacunación con dos recargas.

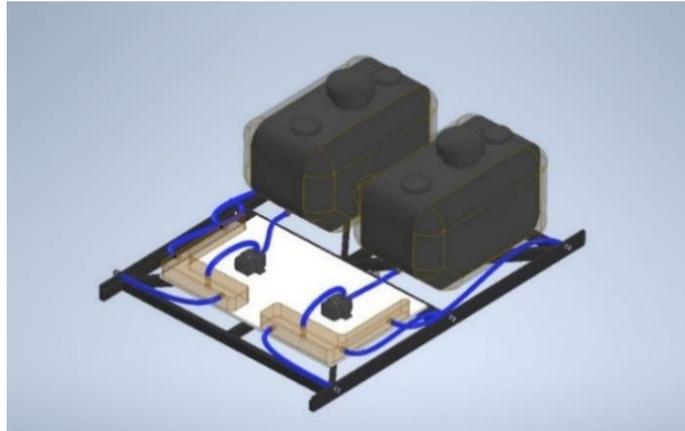
**b) Aspersión impulsada por una válvula giratoria con tanque cúbico.**



*Figura 5. Vista isométrica del módulo de vacunación opción b*

La opción b) del módulo de vacunación cuenta con un solo sistema de aspersión el cual gira de lado a lado con un mecanismo de engranajes. En adición, esta opción tiene mayor rango de esparcimiento utilizando un ventilador. También se optó por un tanque de capacidad menor a la opción a) para disminuir el peso, pero se necesitará mayor cantidad de recargas en el momento de realizar la vacunación.

c) **Aspersión lateral por medio de 6 boquillas con dos tanques de 2.5 galones.**



*Figura 6. Vista isométrica módulo de vacunación opción c*

La opción c) del módulo de vacunación cuenta con dos tanques de 2.5 galones, y se conforma de una estructura metálica soldada con un acople en la parte inferior que permite conectarse al módulo de movimiento. El sistema distribuye el agua de los tanques principales hacia las 6 boquillas que se encuentran en los lados del módulo.

Los pasos del método ordinario de criterios ponderados que se utilizan para determinar la solución adecuada en base a los criterios de selección se encuentran en el apéndice C. Una vez realizada la comparación, se determina que la mejor opción es la solución C, que hace referencia al módulo de vacunación de aspersión lateral.

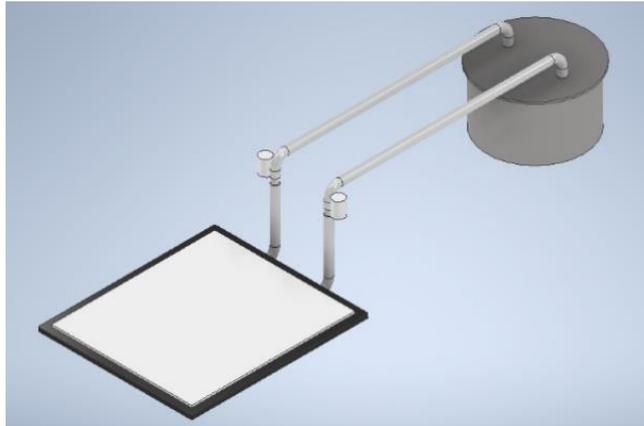
## Soluciones para el módulo de pesaje

### a) Balanza suspendida



*Figura 7. Vista isométrica módulo de pesaje con balanza suspendida*

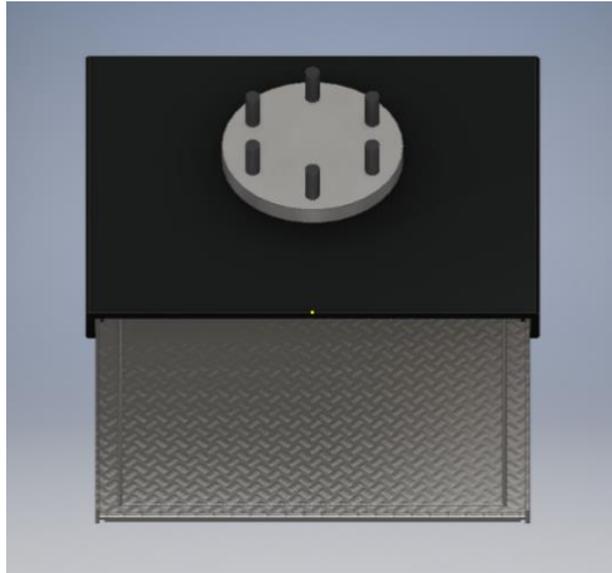
Este diseño se basa en la elaboración de una balanza sujeta a un eje horizontal que se encuentra empotrado en una columna metálica hueca. El diseño cuenta con 6 pernos en la base para poder ser conectado al carro principal. Además, las mediciones son recopiladas por un dispositivo especializado que se encarga de discretizar los datos y almacenarlos. Cabe mencionar que el eje vertical puede ser nivelado dependiendo de la altura que se requiera.

**b) Balanza de tipo montacarga**

*Figura 8. Vista isométrica de balanza tipo montacarga*

Este prototipo se tomó como alternativa frente al uso de un módulo de balanza suspendida, como es el de la sección previa. La idea de este prototipo de módulo es que se evite el efecto de péndulo que puede ocasionar el otro dispositivo cuando se esté en movimiento, de tal manera que este diseño se encuentra correctamente apoyado en la estructura móvil sin la posibilidad de oscilar. Así mismo, para que la altura pueda ser regulada se pueden utilizar pistones eléctricos para desempeñarse correctamente en función de la edad de los pollos.

c) **Balanza de bandeja retráctil**



*Figura 9. Vista superior del sistema de balanza tipo bandeja retráctil*

Este diseño de balanza cuenta con una bandeja retráctil que es colocada en la parte inferior del sistema de movimiento. El acople es mediante pernos que se sujetan dentro del cuerpo principal. En este diseño, la balanza se ubica dentro de la bandeja retráctil la cual entra y sale mediante la ayuda de motores que permiten la movilidad de la bandeja por los rieles de un costado.

Los pasos del método ordinario de criterios ponderados que se utilizan para determinar la solución adecuada en base a los criterios de selección se encuentran en el apéndice C. Una vez realizada la comparación, se determina que la mejor opción es la solución B, que hace referencia al módulo de pesaje tipo montacarga.

## Gestión del proyecto

La planificación del proyecto se llevará a cabo según el siguiente esquema:

*Tabla 2. Diagrama de Gantt cronograma del proyecto*

Semanas	Septiembre					Octubre					Noviembre					Diciembre				
Actividades	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Identificar las necesidades del cliente	■	■																		
Bibliografía relacionada al tema		■	■																	
Diseñar 3 diferentes soluciones				■	■															
Análisis de riesgo					■	■														
Calculos						■	■	■												
Reporte de progresos										■	■									
Dibujos técnicos											■	■	■							
Calculos y simulaciones												■	■	■						
Simulación final del prototipo														■	■	■				
Presentación final																		■		
Presentación Portafolio																			■	

El presupuesto del proyecto será el siguiente, y está sujeto a cambios según se vaya refinando el mismo.

Tabla 3 . Presupuesto del proyecto

Robot de Vacunacion y pesaje (RVP1)					
Piezas	Cantidad	Pesos (kg)	Total (kg)	Precio unitario	Precio total
Aluminum Alloy Metal Wheel 65mm	8	0.12	0.96	\$9.07	\$72.56
Anticorrosivo	2		0	\$3.99	\$7.98
Arandela M8 AS127	2	0.001	0.002		\$-
Base acrilica zona electrica	1	0.348	0.348		\$-
Bateria Seca AGM 12 V y 20 A.	2	5.9	11.8	\$52.00	\$104.00
Brazo de la Rueda Aluminio	16		0	\$15.00	\$240.00
Brida de fuerza	4	0.7	2.8		\$-
Cadenas y catalina acero	2	0.5	1		\$-
Cargador Bateria	1	0.22	0.22	\$19.90	\$19.90
Chumacera UCP 202	4	0.63	2.52	\$13.00	\$52.00
Collares CNS120	2	0.056	0.112		\$-
Convertidor DC a DC	1	0.05	0.05	\$5.00	\$5.00
Driver DM860I	2	0.55	1.1	\$39.52	\$79.04
Ejes 16 mm diametro 2 m de largo	1	1.48	1.48	\$42.41	\$42.41
LCD Arduino JHD162G	1	0.162	0.162	\$7.00	\$7.00
NEMA 34M IP20	2	3.05	6.1	\$51.83	\$103.66
Perno M4X8 SOCKET HEAD	44	0.002	0.088		\$-
Perno M5X20 SOCKET HEAD	26	0.005	0.13		\$-
Perno M8X35 HEX HEAD	6	0.02	0.12		\$-
Pernos M10 X50 HEX HEAD	2	0.042	0.084		\$-
Plancha de aluminio Cobertura	3	0	3.598	\$23.08	\$69.24
Powerlide Nordic 150 mm Aluminium R	4	0.236	0.944	\$26.97	\$107.88
RASPBERRY PI Zero W	1	0.113	0.113	\$27.00	\$27.00
Robot tracks – H	2	1.9	3.8	\$120.00	\$240.00
Rodamiento BS 290 SKF SKF 7202 BE	2	0.038	0.076		\$-
Seguros eje guia	2	0.152	0.304		\$-
Seguros motores	4	0.053	0.212		\$-
Sensor temperatura y humedad	1	0.013	0.013	\$34.90	\$34.90
Socket 2 pines	2	0.053	0.106	\$19.89	\$39.78
Socket 3 pines	1	0.053	0.053	\$19.89	\$19.89
Socket 4 pines	3	0.053	0.159	\$19.89	\$59.67
STN 02 1449	2	0.025	0.05		\$-
Suspensión Rear Shock set Mini - T 2.0	4	0.02	0.08	\$18.99	\$75.96
Tubo 20x20 Largo total 2804 mm Alumi	1	0.843	0.843	\$36.00	\$36.00
Tuerca AS1112 M10 TYPE 5	2	0.011	0.022		\$-
Tuerca AS1112 M8 TYPE 5	26	0.006	0.156		\$-
Tuerca AS1112 M4 TYPE 5	20	0.001	0.02		\$-
Boquillas de aspercion	4	0.01	0.04	\$3.00	\$12.00
Chasis	1	1.9	1.9	\$40.00	\$40.00
Cobertura Modulo (Plastico)	1	1.19	1.19		
Electrovalvula solenoide 24V	1	0.19	0.19	\$15.92	\$15.92
Marco UP8P	1	4	4	\$200.00	\$200.00
Manguera 1/4 para el sistema de asper	1	0.44	0.44	\$11.33	\$11.33
Racores en T	3	0.09	0.27	\$10.00	\$30.00
Seguros electrovalcula	2	0.003	0.006	\$-	\$-
Sensor Flotador Nivel De Agua	1	0.05	0.05	\$15.00	\$15.00
Tanque de 10 Litros de plastico	1	10	10	\$12.00	\$12.00
NEMA 17 12V y 1.5A	1	0.4	0.4	\$18.00	\$18.00
Plancha de aluminio Balanza	1	3.5	3.5	\$25.80	\$25.80
Mano de obra taller	1			\$500.00	\$500.00
Tubo rectangular de acero espesor 1.5r	2	0.2	0.4	\$13.26	\$26.52
Conocimiento ingenieril	1			\$1,000.00	\$1,000.00
<b>Total</b>		<b>62.011</b>			<b>\$3,350.44</b>

## **Estándares Ingenieriles**

### **Guía Técnica para diseño de tanques de guerra (Tank Theory, 1967)**

La guía técnica hace referencia al trabajo teórico y experimental desarrollado por Binowitsch, Grudsjew, Iwanow y Prokofiew y publicado por el “U.S. Army Tank-Automotive Command” (U.S. Army Tank-Automotive Command,1968). La norma se puede utilizar para determinar el esfuerzo de tracción requerido, la estabilidad del sistema, la capacidad de giro, el diseño del sistema de oruga y suspensión, así como la posibilidad de adaptarse a otros medios. En esta guía se incluyen una serie de ecuaciones y consideraciones ingenieriles útiles para alcanzar un diseño mecánico satisfactorio que sea capaz de operar en su entorno correspondiente. Para el diseño se utiliza concretamente la sección para la determinación del esfuerzo de tracción, de tal forma que se puede determinar el torque necesario para desplazar al sistema bajo diferentes condiciones de operación (bajo 50 kg a 3.635 N-m, y bajo 80 kg a 10.179 N-m). Así mismo, se considera la sección del diseño del sistema de oruga y suspensión para establecer parámetros como el número de suspensiones individuales, el tipo de resortes que es necesario ocupar, la distribución del sistema de suspensión en cada oruga y la disposición geométrica de cada uno de estos elementos mencionados.

### **Norma IP ANSI**

La norma IP hace referencia a la norma IEC 60529 “Degrees of protection” desarrollada por la International Electrotechnical Commission (IEC). Las siglas IP vienen de “Ingress Protection”. Esta norma es utilizada para poder identificar los distintos niveles de protección que deben proporcionar o cumplir los contenedores o cubiertas que se encargan de proteger ciertos

equipos y herramientas eléctricas o electrónicas ante diferentes tipos de sólidos o líquidos que puedan llegar a ingresar y dañar los componentes.

La norma se basa en el uso de letras y números para indicar que grado o tipo de protección puede llegar a ofrecer cierto producto. Un ejemplo claro de esta norma es IP67, donde se puede identificar la abreviación de protección de ingreso y dos números. El primero número hace referencia al nivel de protección que se tiene contra elementos sólidos, en este caso ingreso de polvo, mientras que el segundo número hace referencia al nivel de protección que se tiene contra elementos líquidos, en este caso contra la inmersión completa en agua. Se debe tomar en cuenta que mientras más alto sea el valor, mayor será la protección. A continuación, se presenta una tabla con las diferentes opciones de protección. (IP-ANSI, 2015)

Para el caso de diseño, se selecciona la protección IP65 debido a que esta permite evitar el ingreso de polvo y chorros de agua al sistema, lo cual podría llegar a dañar los componentes electrónicos.

### **Norma ISO 14001:2015**

En el presente trabajo se utiliza la Norma ISO 14001:2015 “Sistemas de gestión ambiental – Requisitos con orientación para su uso”, esta normativa proporciona a las organizaciones una referencia de la manera en la cual se debe conservar el medio ambiente, procurando el equilibrio de las necesidades socioeconómicas. La presente norma establece las bases del desarrollo sostenible, permitiendo mejorar aspectos de prevención, mitigación y mejora de desempeño en asuntos ambientales relacionados a nuestro producto. La norma ISO 14001 es la base para tener un robot amigable con el ambiente, y para conseguir este propósito se usa el modelo planificar – hacer – verificar – actuar (ISO, 2015).

## **Norma ANSI B29.1-1975 para sistemas de transmisión de cadenas de rodillos**

Esta norma establece los tamaños adecuados para seleccionar la cadena que va a transmitir la potencia de los motores a las orugas, así también como el diseño de las catalinas o piñones para mejorar la eficiencia. Es importante utilizar esta norma ya que así se puede garantizar la correcta fabricación o compra del sistema de cadena catalina al usar tamaños en los que ya existen ensayos que aseguran su correcto funcionamiento, y las recomendaciones de mantenimiento para extender la vida útil de los componentes.

## **MÉTODOS Y MATERIALES**

### **Selección de materiales y componentes**

Para la selección de materiales se procedió con un método de iteración de prueba y error. La estructura principal del robot, es decir su chasis, es de aluminio 6061 de 20 x 20 mm con un espesor de 1.5 mm, este material fue elegido debido a sus características mecánicas de buena resistencia con un peso bajo, además de su tolerancia a la oxidación en ambientes húmedos. El peso antes mencionado es un factor fundamental en el diseño del robot modular, pues entre mayor es este valor, el torque necesario para moverse aumenta y por lo tanto la robustez del motor. Para el presente trabajo los motores seleccionados para dar tracción son 2 motores paso a paso Nema 34M IP20, los cuales mediante un sistema de transmisión nos dan el torque necesario de 8.75 N-m.

Para el control de robot, se seleccionó un controlador Raspberry Pi Zero W, este fue seleccionado debido a sus características como la velocidad de su microprocesador, la memoria de almacenamiento y sus múltiples pines de entrada y salida de datos. En adición, este componente

electrónico fue escogido sobre otros debido a que el lenguaje de programación que usa es conocido por los integrantes del grupo.

Para el módulo de vacunación, el principal dato de diseño fue la velocidad y presión necesaria en la boquilla para que se logre un tamaño de gota ideal para la absorción ocular de la medicina en los pollos. Mediante este dato, sumado a suposiciones de la velocidad de avance del vehículo, tiempo de aspersión y caudal necesario, se escogió una bomba de 24V UP8-P la cual tiene un caudal de 5 L/min y una presión de 4 bar.

Diseño de Manufactura

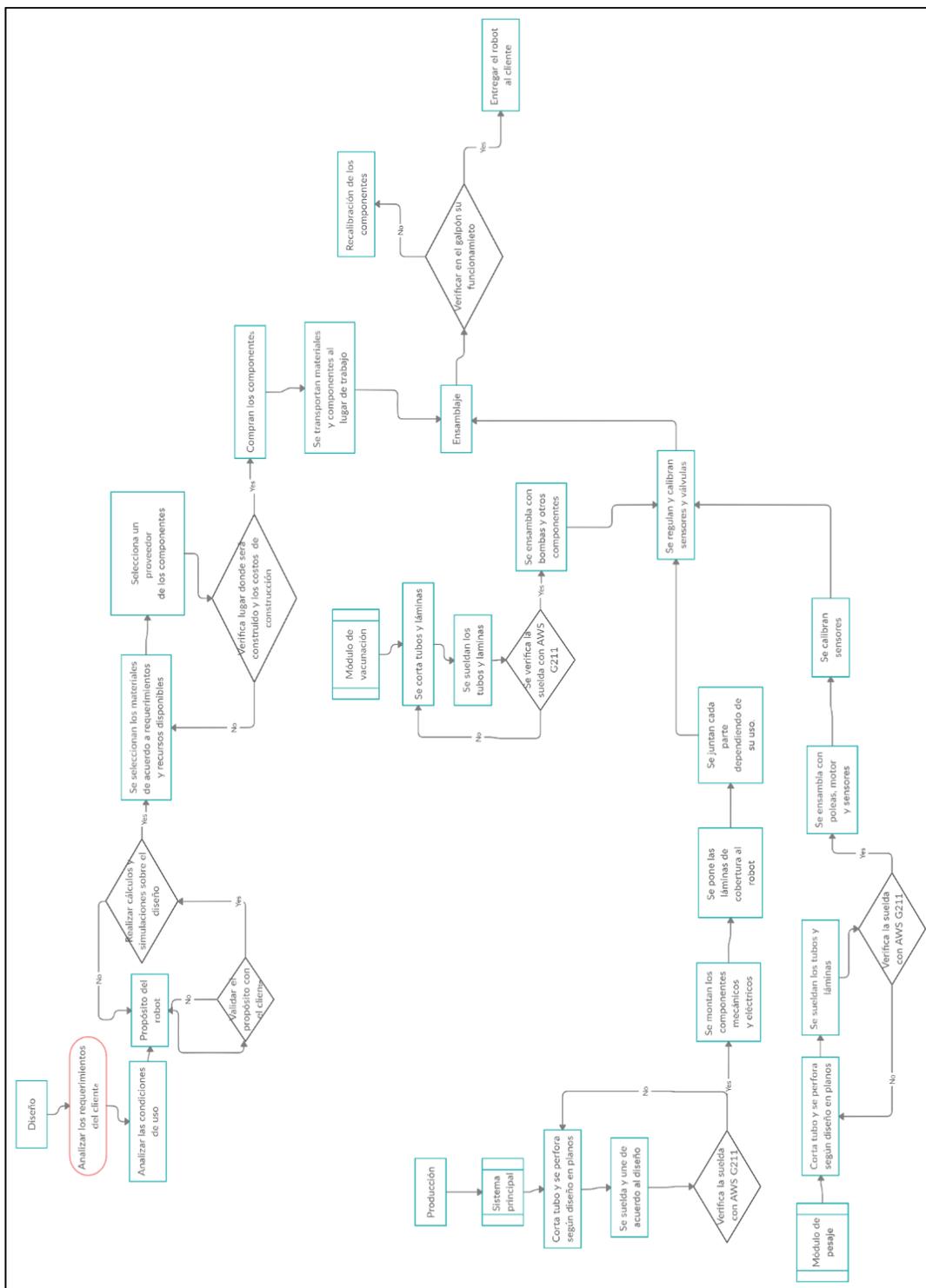


Figura 10. Diagrama de manufactura del robot multifuncional avícola

Para el robot de pesaje y vacunación avícola es necesario la fabricación de varias piezas, por lo que en la figura 35 se muestra el diagrama de flujo de fabricación y ensamble de las diferentes piezas, además en la siguiente tabla se muestra las características de las piezas que fueron diseñadas y necesitan maquinación.

*Tabla 4. Cronograma de pedidos de producción*

<b>Cronograma de pedidos y producción</b>						
<b>Pieza</b>	<b>Material</b>	<b>Tolerancia (mm)</b>	<b>Responsable</b>	<b>Posible empresa de manufactura</b>	<b>Tiempo de elaboración</b>	<b>Supervisor</b>
Seguro Motor Nema	Aluminio 6061	± 1	Nicolas Iglesias	Pedimetal	30 minutos	Alejandro González
Chasis Vacunación	Aluminio 6061	± 0.5	Nicolas Iglesias	Pedimetal	4 horas	Alejandro González
Chasis sistema de movimiento	Aluminio 6061	± 1	Nicolas Iglesias	Pedimetal	7 horas	Alejandro González
Cubierta lateral	Aluminio 6061	± 0.1	Alejandro González	Metaltronic	20 minutos	Kevin Camacho
Cubierta inferior	Aluminio 6061	± 0.1	Alejandro González	Metaltronic	20 minutos	Kevin Camacho
Cubierta superior	Aluminio 6061	± 0.1	Alejandro González	Metaltronic	20 minutos	Kevin Camacho
Eje motriz	Acero 1018	± 0.1	Kevin Camacho	Corpei	30 minutos	Esteban Mendia
Eje guía	Acero 1018	± 0.1	Kevin Camacho	Corpei	40 minutos	Esteban Mendia
Ajuste eje guía	Aluminio 6061	± 0.1	Kevin Camacho	Corpei	52 minutos	Esteban Mendia
Montacarga de la balanza	Aluminio 6061	± 1	Esteban Mendia	Pedimetal	2 horas	José Cevallos
Rieles de la balanza	Aluminio 6061	± 1	Esteban Mendia	Pedimetal	20 minutos	José Cevallos
Placa de conexión	Aluminio 6061	± 1	Esteban Mendia	Pedimetal	35 minutos	José Cevallos
Placa superior de la balanza	Aluminio 6061	± 1	Esteban Mendia	Corpei	30 minutos	José Cevallos
Parte superior rieles	Aluminio 6061	± 1	Nicolas Iglesias	Corpei	20 minutos	Alejandro González
Cubierta del load cell	PLA	± 0.1	Nicolas Iglesias	Corpei	90 minutos	Alejandro González
Tapa de la cobertura del load cell	PLA	± 0.1	Alejandro González	Pedimetal	20 minutos	Kevin Camacho
Polea Superior	Aluminio 6061	± 1	Alejandro González	Pedimetal	35 minutos	Kevin Camacho
Polea Inferior	Aluminio 6061	± 1	Kevin Camacho	Pedimetal	35 minutos	Esteban Mendia
Pasador Polea Superior	Aluminio 6061	± 1	Kevin Camacho	Pedimetal	25 minutos	Esteban Mendia

Sujetador Nema Balanza	Aluminio 6061	$\pm 1$	Esteban Mendia	Pedimetal	30 minutos	José Cevallos
Brazo Rueda Soporte	Aluminio 6061	$\pm 0.1$	José Cevallos	Pedimetal	43 minutos	Nicolas Iglesias
Resorte	-	$\pm 0.1$	José Cevallos	Pedimetal	43 minutos	Nicolas Iglesias
Rueda Principal	Aluminio 6061	$\pm 1$	José Cevallos	Pedimetal	68 minutos	Nicolas Iglesias
Rueda Soporte	Aluminio 6061	$\pm 1$	José Cevallos	Pedimetal	37 minutos	Nicolas Iglesias

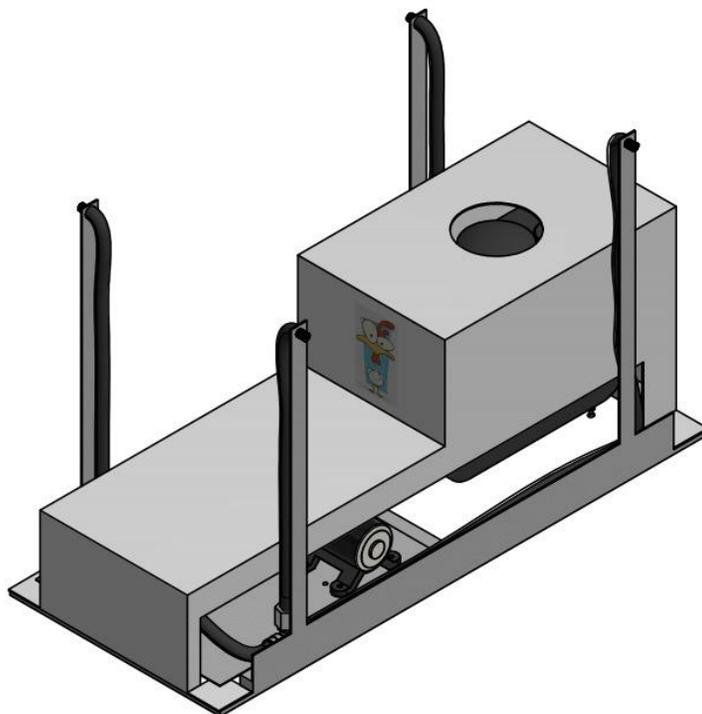
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Reporte de diseño

#### Módulo de vacunación

Para la vacunación total de la población del galpón son necesarios 20L de medicamento, debido a que el fluido hace que el peso del robot sea excedido, se optó por simplemente poner un tanque de 10 L. Además, debido a que cada pollo necesita 1mL y se estima, según el cliente, que en el galpón hay 20 000 pollos, se necesita realizar 2 pasadas del medicamento para alcanzar una vacunación del 80% de las aves. Este porcentaje se verifica teniendo un alcance del robot lineal y lateral de 133.3 m y 11 m respectivamente, para obtener más información de los cálculos ir al Apéndice B - Selección del Módulo de Vacunación. Cabe recalcar, que el diseño es tal que cuenta con 2 boquillas a cada lado, de esta forma se asegura de tener una aspersion pareja en ambos lados del robot, y abarcando el mayor rango posible. El diseño tiene esta forma ya que es el módulo que mayor carga causa en el robot, aumentando su peso en más de 10 kg, por lo que todos los perfiles son de aluminio. Para la selección de la bomba se utilizó el criterio de energías de Bernoulli, considerando las caídas de presión en la tubería, y asumiendo una presión de 4 Bar en la boquilla, estos cálculos mostrados en el Apéndice B - Selección del Módulo de Vacunación permiten

escoger finalmente una bomba MARCO UP8-P la cual posee un punto de operación de 5 L/min y una cabeza de 39.2 m.

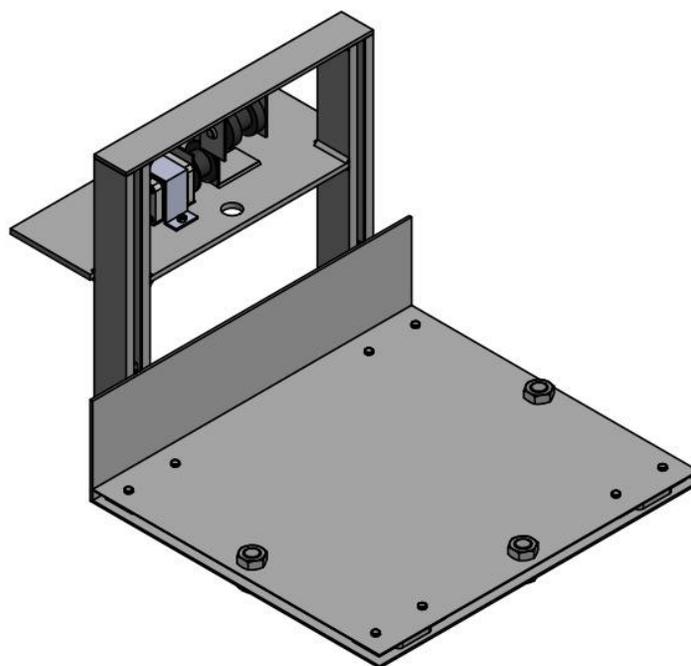


*Figura 11. Vista isométrica del módulo de vacunación*

### **Módulo de pesaje**

El módulo de pesaje se acopla al módulo de movimiento mediante bridas de fuerza sujetas a una plancha de aluminio de 310 x 200 mm. En adición, en este sistema, se usa una plancha de aluminio en forma de L donde se van a colocar los 4 sensores de pesaje, un sensor en cada esquina, y se colocará una plancha delgada encima de estos para que pueda funcionar como base de la balanza. Se selecciona también el material aluminio para la elaboración de todo el sistema, ya que al realizar una simulación de esfuerzos considerando una carga puntual en un extremo de la plancha con un valor de 70.54 N, se obtuvo un esfuerzo máximo de 73.29 MPa (ver Apéndice B –

Simulación para el módulo de balanza), obteniéndose un factor de seguridad de 3.274, lo cual proporciona la certeza de tener un material adecuado para nuestro proceso. Además, tal material se selecciona con el fin de lograr reducir el peso del módulo para evitar complicaciones en el sistema de movimiento. Cabe considerar que algunas partes del sistema deben estar soldadas ya que consiste en la unión de planchas de aluminio para poder elaborar el sistema de pesaje.



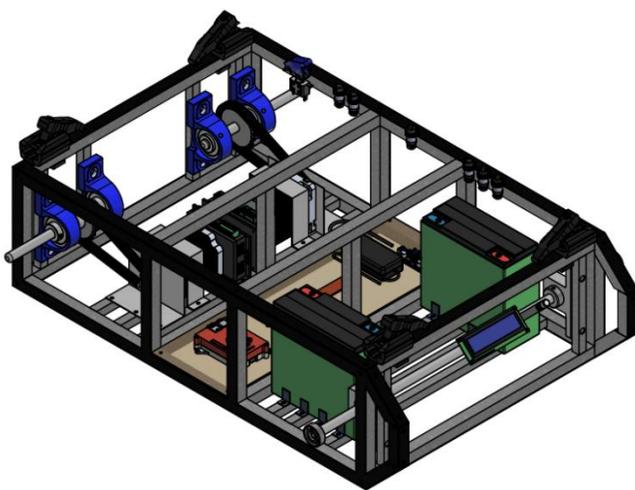
*Figura 12. Vista isométrica del módulo de pesaje*

El módulo de balanza cuenta con dos tubos rectangulares huecos donde se ubican las ruedas de la placa trasera para poder ajustar la altura de la balanza. Este sistema cuenta con dos ruedas en cada lado que facilitan el movimiento de la plancha en L para poder alcanzar la altura deseada. Estos tubos se unen mediante una placa rectangular en forma horizontal en la parte superior donde se coloca una polea que está sujeta con dos placas verticales y paralelas entre sí. Las placas verticales que sujetan la polea están soldadas a la parte superior del sistema para poder generar una mejor sujeción. El cable para elevar la balanza se conecta a un gancho ubicado en la parte

central trasera de la plancha en L, y esta es movida mediante un motor Nema 17 de torque de 0.27 Nm (elegido mediante los cálculos mostrados en el Apéndice B – Torque necesario para levanta la balanza) que está conectado a una polea ubicada en la plancha de aluminio que se utiliza para sujetar el módulo de balanza en el módulo de movimiento.

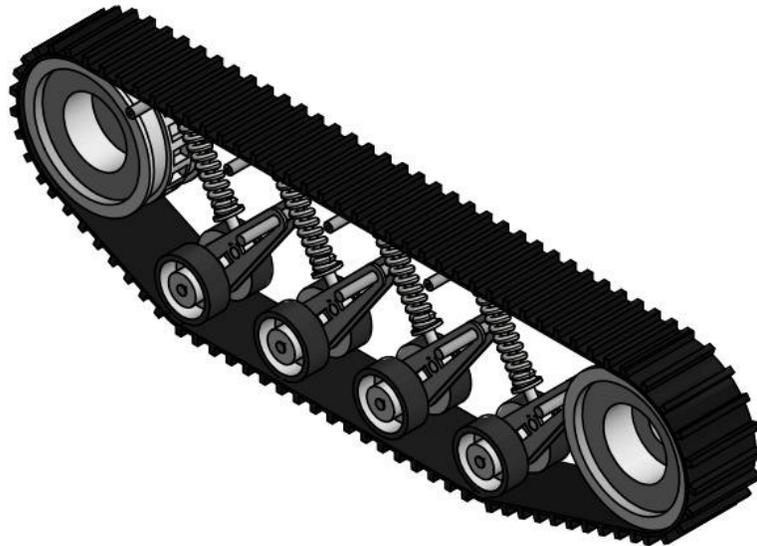
### **Módulo de movimiento (Chasis y Orugas)**

Para el módulo de movimiento se consideró un chasis rígido fabricado con “frames” de aluminio para brindarle resistencia y un peso reducido que sea capaz de soportar principalmente el peso del módulo de vacunación, siendo este mayor que el módulo de pesaje y por ende más crítico, así como el peso de los componentes electrónicos y mecánicos que no forman parte de los módulos, y si parte del sistema de movimiento. Además, ya que el peso es un factor fundamental en la selección de los motores de tracción, se usó un rango de valores de peso para los cuales se obtuvo un torque necesario promedio de 8.272 Nm, el cual a su vez permitió el diseño de un sistema de transmisión de relación 2.5, estos resultados y cálculos se muestran en el Apéndice B – Sistema de transmisión.



*Figura 13. Vista isométrica del módulo de movimiento*

Posteriormente, con el fin de lograr estabilidad y buena tracción en el robot considerando todos sus sistemas, se realizaron cálculos para el diseño de un sistema de oruga junto con su suspensión (ver Apéndice B - Simulación para sistema de suspensión), lo cual permitió determinar el comportamiento ante un impulso del sistema, tanto como la cantidad de resortes y amortiguadores necesarios para nuestro robot ( $n=4$ ). Una idea del sistema de oruga se muestra en la figura a continuación.



*Figura 14. Vista isométrica del sistema de oruga*

### **Plan de testeo de prototipo**

En la siguiente tabla se encuentran los elementos que deben validarse su funcionamiento para asegurar un correcto desempeño del sistema total:

*Tabla 5. Elementos que se deben de evaluar en la construcción de un prototipo*

<b>Elemento</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>Módulo Perteneciente</b>
Estructura de soporte	Resistencia a la fluencia	Pesaje
Sensores de balanza	Tolerancia de 1% de error	Pesaje
Bomba de liquido	Presión de fluido de entre 3-4 bar	Vacunación
Electroválvula de liquido	Control del flujo de un valor de 5 l/min a 1.8 l/min	Vacunación
Boquillas de aspersión de liquido	Verificación del alcance máximo de 6 m de manera lateral	Vacunación
Transmisión cadena catalina	Correcta transmisión de potencia con relación de 1 a 2.5 con velocidad constante de 0.4 m/s	Movimiento
Baterías	Tiempo de funcionamiento de 47.2 minutos en vacunación y 13.4 horas en pesaje. Tiempo de carga de alrededor de 8 horas.	Movimiento

### **Prueba de estructura de soporte**

Para verificar la estabilidad de la estructura donde se coloca la balanza y subirán los pollos, se realiza una simple prueba colocando una carga puntual de un peso de 7.2 kg, para comprobar que no exista ninguna deformación en la estructura. En teoría, la estructura debe estar fabricada para soportar 3 veces el peso antes mencionado, por lo que no debería existir ningún cambio en la misma. Sin embargo, hay que verificar cualquier desperfecto en la fabricación de la estructura de soporte, ya que se puede disminuir el factor de seguridad calculado, creando concentradores de esfuerzo que a largo plazo comprometerían la estabilidad del módulo de pesaje.

### **Prueba de sensores de balanza**

Es importante que los sensores de la balanza sean calibrados para tomar un correcto dato sobre el peso de los pollos. Esto hay que verificarlo mediante prueba y error, ajustando la

interpretación de los valores de los sensores mediante el controlador Raspberry Pi. Para esta tarea, es importante usar una balanza comercial como referencia. Los sensores de la balanza deben proporcionar un valor con una diferencia del 1% como máximo, en comparación con la balanza comercial. Si es que existe una desviación más alta simplemente se vuelve a calibrar los sensores desde el código del controlador.

### **Prueba de bombas y electroválvula de líquido**

Es recomendable hacer ambas pruebas a la vez ya que estos elementos pertenecen a un mismo sistema conectado. Para medir cambio de la presión de la tubería se utilizará un manómetro que indique el aumento de presión del líquido, y verificar si es correcto. De igual manera se colocará a la salida de la electroválvula un medidor de flujo. Ambos valores deben coincidir con los establecidos en la tabla de requerimientos, de lo contrario el alcance de aspersión del líquido de la vacuna será deficiente. Cabe resaltar que los instrumentos de medición se los debe conseguir por separado y no estarán conectados permanentemente en el módulo, ya que solo se usarían para regular la bomba y la electroválvula en estas pruebas.

### **Prueba de boquillas de aspersión de líquido**

Para esta prueba se necesita estar en un terreno plano en donde se posicionará al robot con su módulo de vacunación. La prueba consistirá en encender la bomba como si se estuviera trabajando en condiciones normales, y medir el alcance máximo de la aspersión de la vacuna por las boquillas a partir del rastro que deja el líquido en el suelo. Con esto se puede comprobar si es que las presión y caudal de líquido son suficientes, o si es que las boquillas tienen algún fallo u obstrucción.

### **Prueba de baterías**

Esta prueba es muy sencilla y consiste en someter al sistema al máximo funcionamiento de sus módulos por separado, y verificar el tiempo de encendido máximo del robot hasta que las baterías se agoten. De igual manera se debe verificar que, mediante un uso normal, los componentes no se sobrecalienten, ya que puede reducir la vida útil de los mismos. Además, una vez que se agoten las baterías se las recargará y se tomará el tiempo de carga, para comprobar el funcionamiento del circuito de carga. Para estas tareas se necesita de un multímetro para medir el voltaje de las baterías y calibrar el circuito de medición de voltaje del Raspberry PI mediante código, para que las baterías se mantengan siempre al 80% de su capacidad total. De esta manera, el robot deberá apagarse cuando las baterías tengan un 20% de carga restante. Esta práctica es recomendable ya que aumenta considerablemente la vida útil de las baterías de ácido.

## Seguridad del diseño

### Lista de riesgos considerados para el diseño

*Tabla 6. Riesgos aplicados en la selección del diseño*

<b>Riesgos</b>
Riesgo 001) La bomba del aspersor de vacunación falle por falta de líquido en el sistema
Riesgo 002) Las ruedas tipo oruga de la maquina fallen por la suciedad
Riesgo 003) Por acción de la fatiga fallen las conexiones del módulo de balanza
Riesgo 004) Descomposición de los componentes eléctricos del sistema por un mal aislamiento
Riesgo 005) La tracción de banda del sistema de oruga falle por el desgaste con el suelo
Riesgo 006) Los componentes eléctricos se quemen por una sobrecarga
Riesgo 007) El dispositivo en movimiento afecte físicamente a algún pollo de crianza
Riesgo 008) Corrosión de los materiales a causa del entorno
Riesgo 009) Las uniones modulares se separen por movimientos bruscos o efectos de vibración
Riesgo 010) Falta de energía en el sistema por pérdida de autonomía en las baterías
Riesgo 011) Taponamiento de las válvulas de aspersion del sistema de vacunación
Riesgo 012) Sensores de la balanza descalibrados debido al uso constante
Riesgo 013) Vuelco de la máquina debido a una gran cantidad de pollos sobre la balanza

## Evaluación de Riesgos

Tabla 7. Evaluación del impacto y probabilidad de los riesgos

<b>Impacto</b>	<b>5</b>	001,006,012	004	002	011	
	<b>4</b>	003				
	<b>3</b>	005	010	008		
	<b>2</b>	009		007		
	<b>1</b>			013		
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Probabilidad</b>						

## Monitoreo de Riesgos

Tabla 8. Monitoreo de los riesgos considerados para el diseño

Código	Prioridad = Impacto x Probabilidad	Responsable	Decisión tomada	Estatus	Observación
001	5 x 1 = 5	José Iglesias	Poner sensores y calibrarlos correctamente de manera automática.	Revisado	Aumento de costo y complejidad de código.
002	5 x 3 = 15	José Cevallos	Colocar protecciones a las rudas tipo oruga, y realizar mantenimiento periódico.	Revisado	Realizar un diseño que permita un mantenimiento fácil.
003	4 x 1 = 4	Esteban Mendía	Verificar la soldadura y realizar un diseño a fatiga con ciclo infinito.	Revisado	Verificar que no exista defectos de fabricación.
004	5 x 2 = 10	Kevin Camacho	Utilizar sellos apropiados para minimizar la tolerancia en el ajuste.	Revisado	Basarnos en los estándares IP.
005	3 x 1 = 3	José Cevallos	Elegir un material que no sea rígido para las bandas.	Revisado	Buscar implementar bandas con patrones similares a las de las llantas de autos.
006	5 x 1 = 5	Kevin Camacho	Escoger baterías de calidad que entreguen la corriente necesaria y justa. Escoger circuitos que tengan protecciones contra subidas y bajadas de tensión.	Revisado	Verificar la corriente proporcionada a los componentes en máxima y mínima carga.

007	$2 \times 3 = 6$	Esteban Mendía	Diseñar una velocidad máxima que sea inofensiva para los animales.	Revisado	Verificar que la velocidad no sea perjudicial para los pollos de crianza.
008	$3 \times 3 = 9$	José Iglesias	Diseñar utilizando materiales que eviten la corrosión o con un tratamiento superficial que evite la evite.	Revisado	Incrementa los costos del chasis del robot, disminuir corrosión con pinturas especiales.
009	$2 \times 1 = 2$	Alejandro González	Diseñar los sistemas de conexión modular con ajuste perfecto y programar el arranque de motores de movimiento, pesaje o vibración con salida suave.	Revisado	Poseer un sistema de acople el cual actúe al estar unido como solo un equipo y no como un transportador. Tener un control de arranque.
010	$3 \times 2 = 6$	Alejandro González	Determinar mediante cálculos y de manera experimental la vida útil.	Revisado	Implementar en el plan de mantenimiento la fecha de reemplazo de las baterías.
011	$5 \times 4 = 20$	José Iglesias	Realizar un plan programa de mantenimiento y cambio de válvulas para evitar el taponamiento.	Revisado	Verificar que las piezas sean de fácil acceso para el mantenimiento y ver que el reemplazo de los componentes no aumente demasiado el costo.
012	$5 \times 1 = 5$	Kevin Camacho	Realizar un plan programa de mantenimiento y calibración de sensores.	Revisado	Cotizar sensores con condiciones de trabajo en ciclos extensos y ambientes húmedos a polvorientos.
013	$1 \times 3 = 3$	Kevin Camacho	Colocar los componentes de mayor peso, como las baterías y los motores DC, lo más alejado de la balanza, para equilibrar los torques.	Revisado	Es posible hacer el arreglo de baterías en la parte delantera del vehículo ya que la balanza iría en la parte trasera.

Para evitar que el robot multifuncional pise accidentalmente un ave de crianza se consideró velocidades bajas para evitar el atropellamiento de las aves, de esta manera, cuando el robot se acerca a las aves, estas se deberían alejar por instinto. De igual manera se implementó una cubierta en el sistema de vacunación que impiden que los pollos puedan dañar el sistema eléctrico y evitar contaminación en el líquido de vacunación.

## **Resultados, discusión y conclusión**

### **Sistema de movimiento y transmisión de potencia**

El análisis ingenieril del sistema modular del robot indica que, para las condiciones en las que se va a utilizar, un sistema de tracción continua o de tipo oruga es el más favorable. El diseño del módulo principal de movimiento fue realizado en base a la norma del diseño de tanques de guerra de Estados Unidos, lo que permite seleccionar un motor adecuado en base al rango de pesos y el torque necesario en el robot para los mismos, siendo este un promedio de 8.3 [Nm]. El motor NEMA 34 M IP 20 cumple con estos requerimientos al conectar un sistema de transmisión tipo cadena-catalina para cada oruga, en el que se usa una relación de transmisión de 2.5 para aumentar el torque de 3.5 [Nm] a 8.75 [Nm] y reducir la velocidad angular de 127.5 [rpm] a 51[rpm], valor en el cual el robot puede avanzar a 0.4 [m/s]. Debido a las bajas cargas en los ejes de transmisión de potencia, estos se seleccionan en base al menor tamaño de cojinete que se pueda encontrar en el mercado, siendo usado en el presente proyecto un diámetro de 15 [mm].

### **Selección de material**

El módulo de balanza es el sistema que más tiempo estará operando; sin embargo, el módulo de vacunación es el que proporciona las cargas más críticas que se consideraron en el diseño de los componentes. Al buscar que el sistema tenga el menor costo y peso posible se utiliza en mayor cantidad el aluminio como material principal, debido a su gran resistencia mecánica y tolerancia en ambientes húmedos. Es importante recalcar que en el diseño se usan tubos cuadrados de aluminio de 20x20 y 15x15 [mm] con espesor de 1.5 [mm] y planchas de aluminio de espesor de 1 [mm].

### **Control electrónico**

El controlador que se seleccionó para esta aplicación es el de la marca Raspberry, concretamente el modelo PI Zero W, ya que proporciona una alta fiabilidad y estabilidad de funcionamiento durante las largas jornadas de operación del robot. Además de ser un controlador universal, muchos de los sensores que se utilizan para el funcionamiento del dispositivo se pueden hallar y configurar fácilmente. Al ser un sistema modular la ventaja es que a futuro se pueden diseñar nuevos módulos que cumplan distintas funciones y tanto el controlador Raspberry como el ajuste mecánico ya diseñado podrán usarse para acoplarlos al sistema principal.

### **Selección de baterías**

Las baterías se seleccionaron mediante un análisis de consumo de cada módulo, y su conexión es en serie debido al voltaje máximo necesario en los componentes electrónicos. Se usa 2 baterías ExpertPower de 12 V 20 Ah, las cuales dan una autonomía de 13.42 horas y 47.2 minutos al módulo de pesaje y vacunación respectivamente. Es importante recalcar, que, aunque para el diseño se establece el uso de 2 baterías, existe el espacio para ampliar a 4 unidades de batería, otorgando por lo tanto el doble de tiempo de autonomía antes mencionado.

### **Sistema de vacunación**

La bomba seleccionada, se obtuvo con el fin de ahorrar en costos de medicamento usado y favoreciendo al alcance de vacunación al 80 % de las aves del galpón aproximadamente. Mediante los cálculos realizados se estableció que el robot funciona con un alcance lineal de 133 metros en el galpón y un alcance lateral de 6 metros por lado en 1 pasada. El tiempo de aspersión se estableció como 5.5 minutos y el caudal requerido para el proceso de 1.8 [litros/min]. Con estos parámetros y comparando la curva del sistema con la de la bomba, se establece la adquisición de una bomba

MARCO UP8-P de 24 V, pues además de otorgar un caudal óptimo, entrega la presión necesaria para la formación de la gota en su tamaño ideal para la vacunación intraocular.

### **Conclusión**

El diseño elaborado del robot propone una solución a los requerimientos del cliente para maximizar la productividad en cuanto a la crianza de pollos de engorde en un galpón, especialmente en la recolección de datos sobre el peso de estos animales y en la vacunación de la mayor parte de la población de aves mediante aspersion. El costo de los componentes seleccionados para la fabricación del robot es meramente referencial, debido a las circunstancias de pandemia en las que se realiza el diseño de este proyecto es complicado obtener información de la existencia y precio de las piezas en el mercado ecuatoriano, por lo que varios de estos datos se obtuvieron de páginas web y empresas online especialmente de los Estados Unidos.

### **Trabajo futuro**

#### **Construcción del Prototipo**

Debido a la pandemia del Covid-19 que ha afectado a la población mundial, se ha postergado la construcción del robot multifuncional debido a estas circunstancias actuales. Por ende, queda como trabajo futuro la construcción del robot multifuncional a base de aluminio y componentes resistentes a la corrosión de las condiciones climáticas. Para realizar la construcción de este diseño se debe referir a los planos adjuntos donde se indica al detalle las medidas y procesos de fabricación. De esta forma, verificar su completa funcionalidad puesto a prueba en el lugar de trabajo.

### **Detección de la pigmentación**

En un trabajo futuro, se implementará una cámara en el sistema de movimiento para la detección de la pigmentación de los pollos, un punto importante a considerar en la comercialización de aves de engorde. Para realizar esto, se necesitará realizar una programación en el RaspBerry específica para garantizar el correcto funcionamiento de la cámara.

### **Módulo de arado de tierra**

Se plantea la posibilidad de elaborar e implementar distintos módulos en el robot para realizar distintas tareas dependiendo de las necesidades de los usuarios. Una propuesta es un módulo de arado de tierra para evitar el trabajo manual y automatizar el trabajo.

### **Aplicación móvil**

Diseñar y programar la aplicación móvil que servirá para controlar el robot multifuncional tanto de manera manual como automática. Para esto, se deberá diseñar la aplicación en base al sistema Android e incluir todos los aspectos previamente comentados para garantizar la correcta funcionalidad del Robot multifuncional.

## Referencias

- Adom C. C. lee, M. A. (12 de 2015). Optimizacion de la energia consumida por las extremidades de un robot caminante. *Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, págs. 338-349.
- Amazon. (2020). Obtenido de <https://www.amazon.com/-/es/ALLW-2020-FW-Cabrestante-elevaci%C3%B3n-aluminio-pulgadas/dp/B08G1W3MXS>
- Beer, F., Johnston, R., DeWolf, J., & Mazurek, D. (2015). *Mechanics of Materials*. New York: McGraw Hill.
- BENE. (20 de Diciembre de 2020). *Bene inox*. Obtenido de <https://www.bene-inox.com/gb/electrovanne-commande-directe-nf-ouverture-sous-tension-taraudage-gaz-membrane-nbr-laiton-50930/>
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2015). *Shigley's Mechanical Engineering Design*. New York: McGraw Hill.
- C.C.Lee et al. (2019). Automated Chicken Weighing System Using Wireless Sensor Network for Poultry Farmers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Malaysia.
- Callister, W. D. (2014). *Material science and Engieniering*. Iowa: Wiley plus.
- Chedad A, V. E.-M. (2000). Behaviours of Chickens Towards Automatic Weighing Systems. *IFAC Proceedings* , págs. 207-212.
- CONAVE. (2020). *La industria avícola genera más de 200 mil empleos*. Obtenido de <https://www.conave.org/la-industria-avicola-genera-mas-de-200-mil-empleos/>

Engineering ToolBox. (12 de Febrero de 2003). Obtenido de [https://www.engineeringtoolbox.com/surface-roughness-ventilation-ducts-d\\_209.html](https://www.engineeringtoolbox.com/surface-roughness-ventilation-ducts-d_209.html)

Garcia, C. E. (21 de Septiembre de 2016). Consideraciones acerca de la vacunacion por aspersión. pág. 32.

Huang P Parajuli, T. Y. (2020). *Comparative Evaluation of poultry-human and poultry-robot avoidance distance*. . Obtenido de Transactions of the ASABE : <https://doi.org/10.13031/trans.13644>

IngeMecanica. (6 de Mayo de 2015). *Escalas de Medición de la Dureza de los Materiales*. Obtenido de [https://ingemecanica.com/tutoriales/tabla\\_dureza.html](https://ingemecanica.com/tutoriales/tabla_dureza.html)

IP-ANSI. (22 de Septiembre de 2015). *¿Qué son las Normas IP?* Obtenido de <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-de-medicion/que-son-las-normas-ip>

International Organization for Standarization. (2015). Sistemas de gestion ambiental - requisitos con orientacion para su uso. *Norma Internacional ISO 14001, 2015*, 48.

Manuwa, S. I. (2012). *Effect of moisture content on rubber, steel and tetrafluoroethylene materials sliding on textured soils*. *Modern Applied Science*, 6(4), 117–121. <https://doi.org/10.5539/mas.v6n4p117>

MARCO. (2006). *ELETTROPOMPA AUTOADESCANTE*. Brescia: Marco S.P.A.

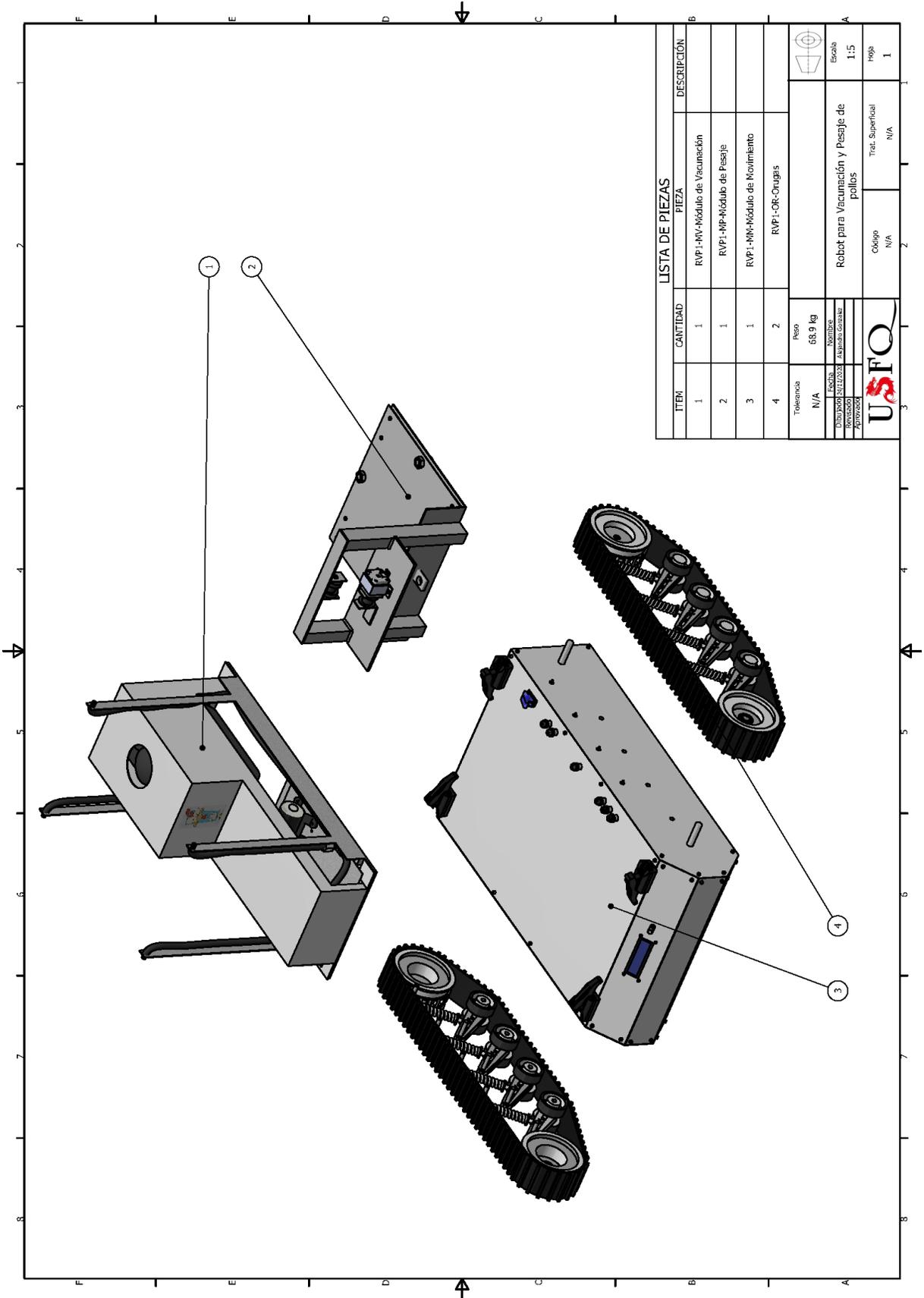
Penoncello, S. G. (2018). *Thermal Energy Systems: Design and Analysis, Second Edition (2nd ed.)*. CRC Press.

Purswell, J. L. (28 de Enero de 2019). Performance of an automated whole-house spray vaccination system. *Journal of Applied Poultry Research*, págs. 215-220, <https://doi.org/10.3382/japr/pfy060>.

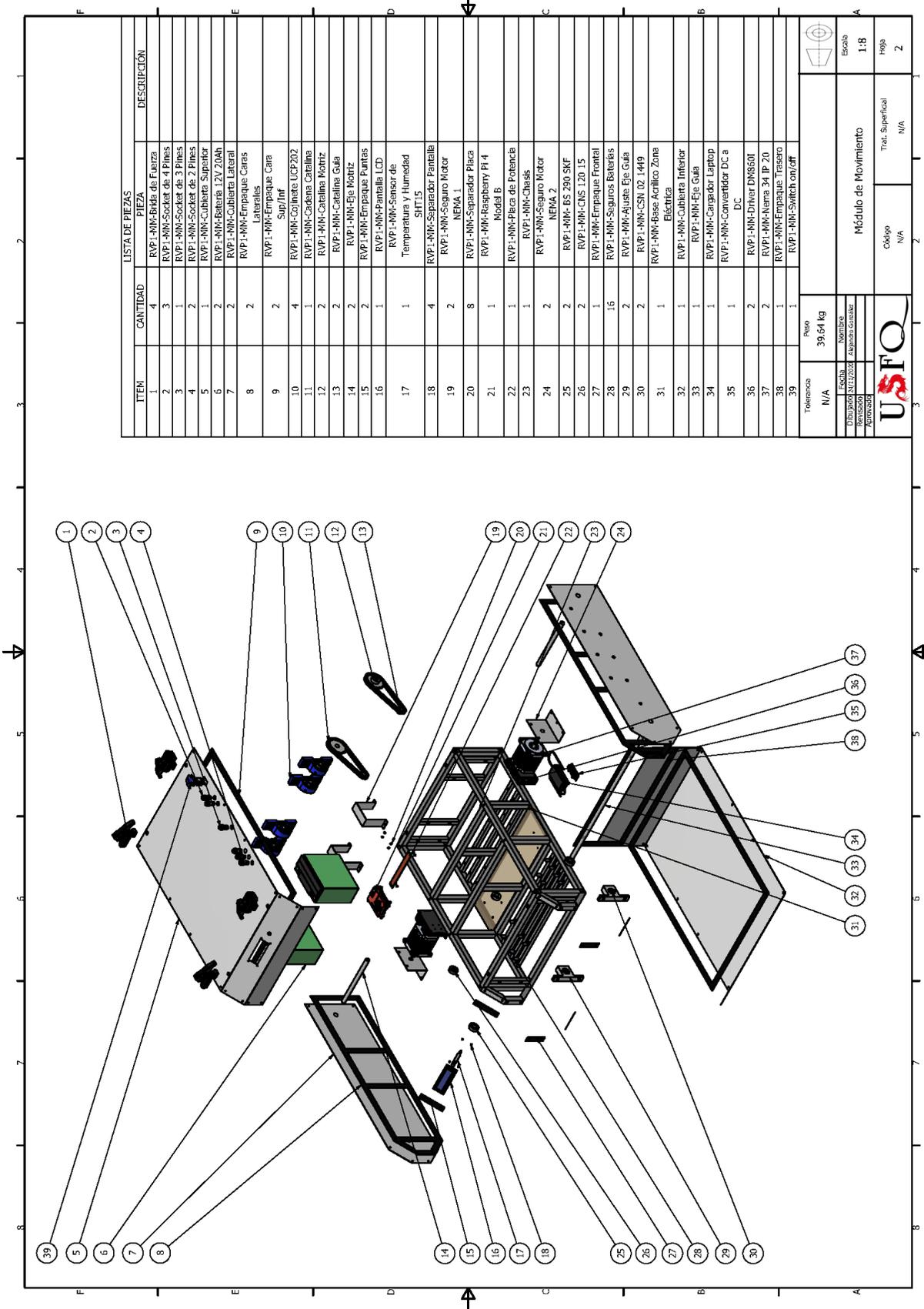
U.S. Army Tank-Automotive Command (1968). *Tank Theory*. Gaylord Publications. Warren, Michigan, United States of America.

W. Ma, L. Q. (2020). Automated Chicken Wieghing System Using Wireless Sensor Network for Poultry Farmers. *IOP Conference: Material Science and Engineering*, págs. 1-6. Obtenido de <http://doi.org/10.1088/1757-899X/557/1/012017>

**APÉNDICE A – DIBUJOS INGENIERILES**



LISTA DE PIEZAS			DESCRIPCIÓN
ITEM	CANTIDAD	PIEZA	
1	1	RVP1-MV-Módulo de Vacunación	
2	1	RVP1-MP-Módulo de Pesaje	
3	1	RVP1-MMA-Módulo de Movimiento	
4	2	RVP1-OR-Organs	
Tolerancia			
Peso			
68.9 kg			
Nombre			
Fecha			
Dibujado			
Aprobado			
Autorizado			
			
Robot para Vacunación y Pesaje de pollos		Código	N/A
		Titol. Superficial	N/A
		Página	1

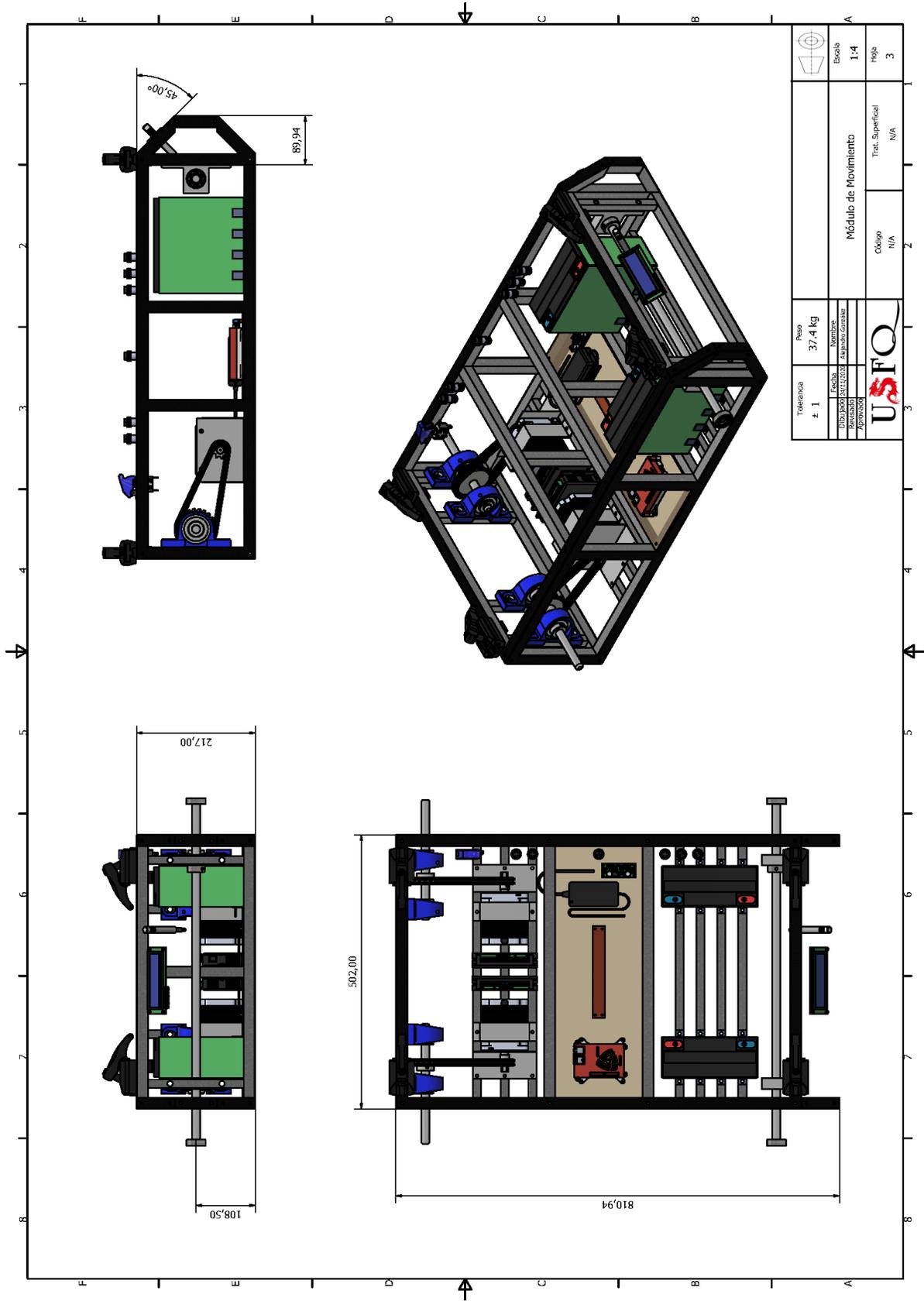


LISTA DE PIEZAS			DESCRIPCIÓN
ITEM	CANTIDAD	PIEZA	
1	4	RVP1-MM-Birra de Fuerza	
2	3	RVP1-MM-Socket de 4 Pines	
3	1	RVP1-MM-Socket de 3 Pines	
4	2	RVP1-MM-Socket de 2 Pines	
5	1	RVP1-MM-Cubierta Superior	
6	2	RVP1-MM-Baterías 12V 20Ah	
7	2	RVP1-MM-Cubierta Lateral	
8	2	RVP1-MM-Empaque Caras Laterales	
9	2	RVP1-MM-Empaque Cara Sup/Inf	
10	4	RVP1-MM-Coinmate LICP202	
11	1	RVP1-MM-Cadena Catalina	
12	2	RVP1-MM-Catillos Montz	
13	2	RVP1-MM-Catillina Guía	
14	2	RVP1-MM-Eje Motriz	
15	2	RVP1-MM-Empaque Puntas	
16	1	RVP1-MM-Pantalla LCD	
17	1	RVP1-MM-Sensor de Temperatura y Humedad SHT15	
18	4	RVP1-MM-Separador Pantalla NEMA 1	
19	2	RVP1-MM-Seguro Motor NEMA 1	
20	8	RVP1-MM-Separador Placa Model B	
21	1	RVP1-MM-Raspberry Pi 4	
22	1	RVP1-MM-Placa de Protección	
23	1	RVP1-MM-Chasis NEMA 2	
24	2	RVP1-MM-Seguro Motor NEMA 2	
25	2	RVP1-MM-BS 200 SKF	
26	2	RVP1-MM-CMS T20 L5	
27	1	RVP1-MM-Empaque Frontal	
28	16	RVP1-MM-Seguros Baterías	
29	2	RVP1-MM-Ajuste Eje Guía	
30	2	RVP1-MM-CSN 02-1449	
31	1	RVP1-MM-Base Acrílico Zona Eléctrica	
32	1	RVP1-MM-Cubierta Inferior	
33	1	RVP1-MM-Eje Guía	
34	1	RVP1-MM-Cargador Laptop	
35	1	RVP1-MM-Convertidor DC a DC	
36	2	RVP1-MM-Driver DM8501	
37	2	RVP1-MM-Neoma 34 IP 20	
38	1	RVP1-MM-Empaque Trazero	
39	1	RVP1-MM-Switch on/off	

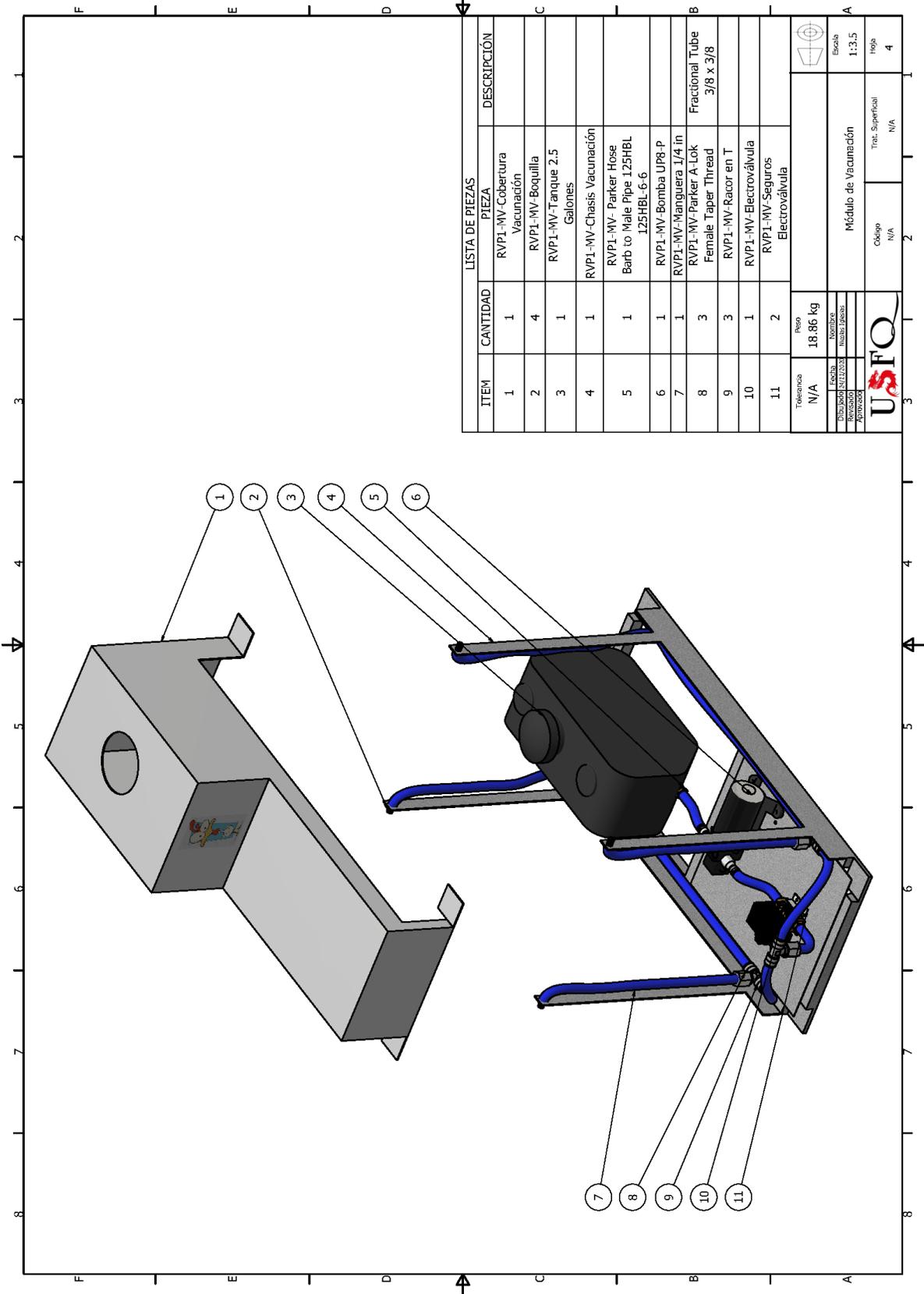
Tolerancia	Peso	39.64 kg
N/A		
Fecha	Montaje	
03/05/2023		
Revisión	Asignos Costas	
01/05/2023		
Autorevisión		



Módulo de Movimiento		Titol: Superficial
Código	N/A	N/A
Peso	2	
Escala	1:8	



Tolerancias # 1	Peso 37,4 Kg	Escala 1:4	
Fecha 12/12/2013	Nombre Alfonso Gonzalez	Módulo de Movimiento	
Aprobado		Código N/A	Trat. Superficial N/A
<b>USFO</b>		Hoja 3	



LISTA DE PIEZAS		
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	RVPI-MV-Cobertura Vacunación
2	4	RVPI-MV-Boquilla
3	1	RVPI-MV-Tanque 2.5 Galones
4	1	RVPI-MV-Chasis Vacunación
5	1	RVPI-MV- Parker Hose Barb to Male Pipe 1.25HBL 1.25HBL-6-6
6	1	RVPI-MV-Bomba UP8-P
7	1	RVPI-MV-Manguera 1/4 In
8	3	RVPI-MV-Parker A-Lok Fractional Tube 3/8 x 3/8
9	3	Female Taper Thread
10	1	RVPI-MV-Racor en T
11	2	RVPI-MV-Electroválvula RVPI-MV-Seguros Electroválvula

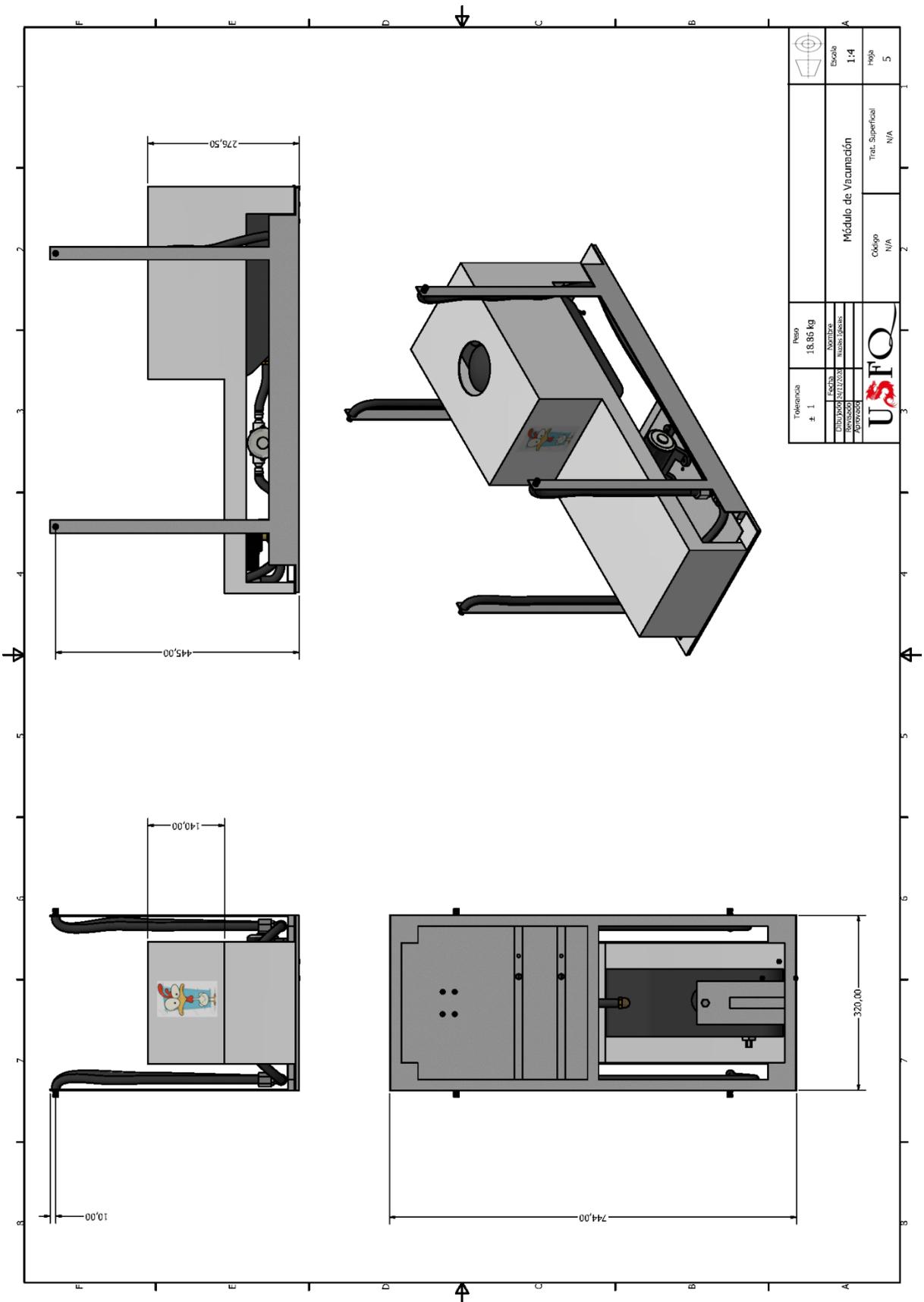
  

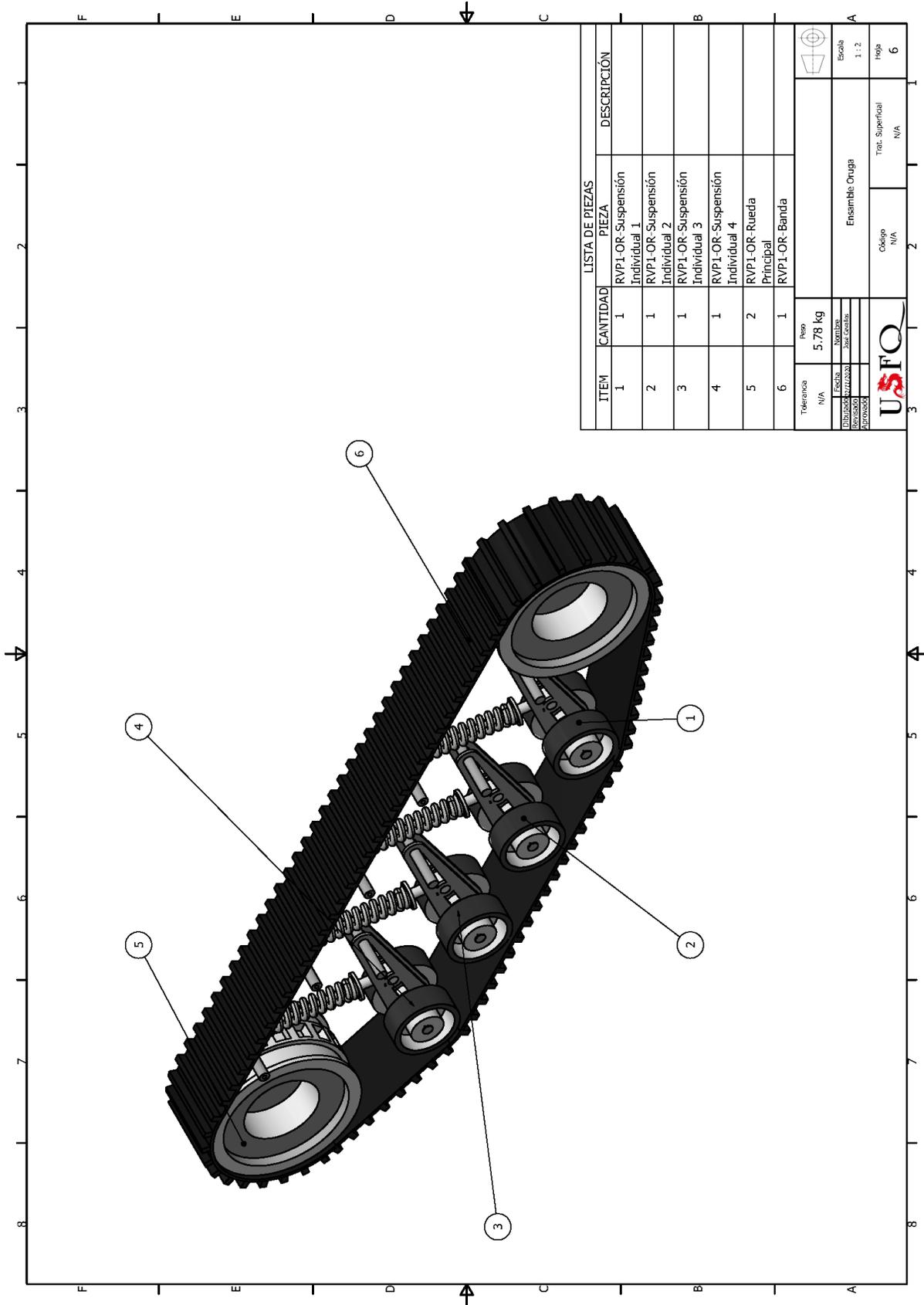
Tolerancia	N/A	Peso	18.86 kg
Dibujo No.	N/A	Nombre	
Revisión		Fecha	
Proyecto		Modulo Vacuna	

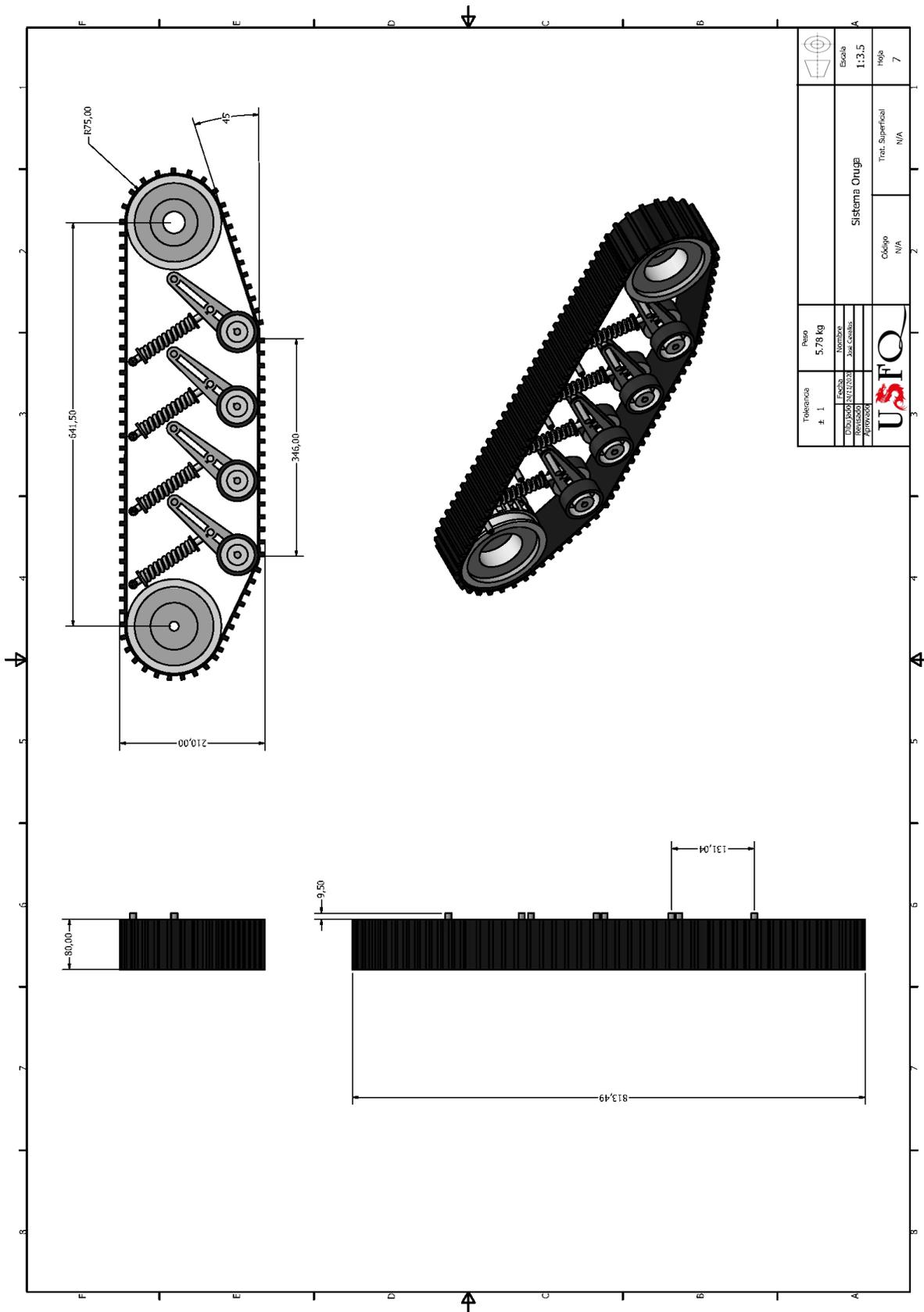
Módulo de Vacunación		Código	N/A	2
Escala		Tnt. Superficial	N/A	4
1:3.5				

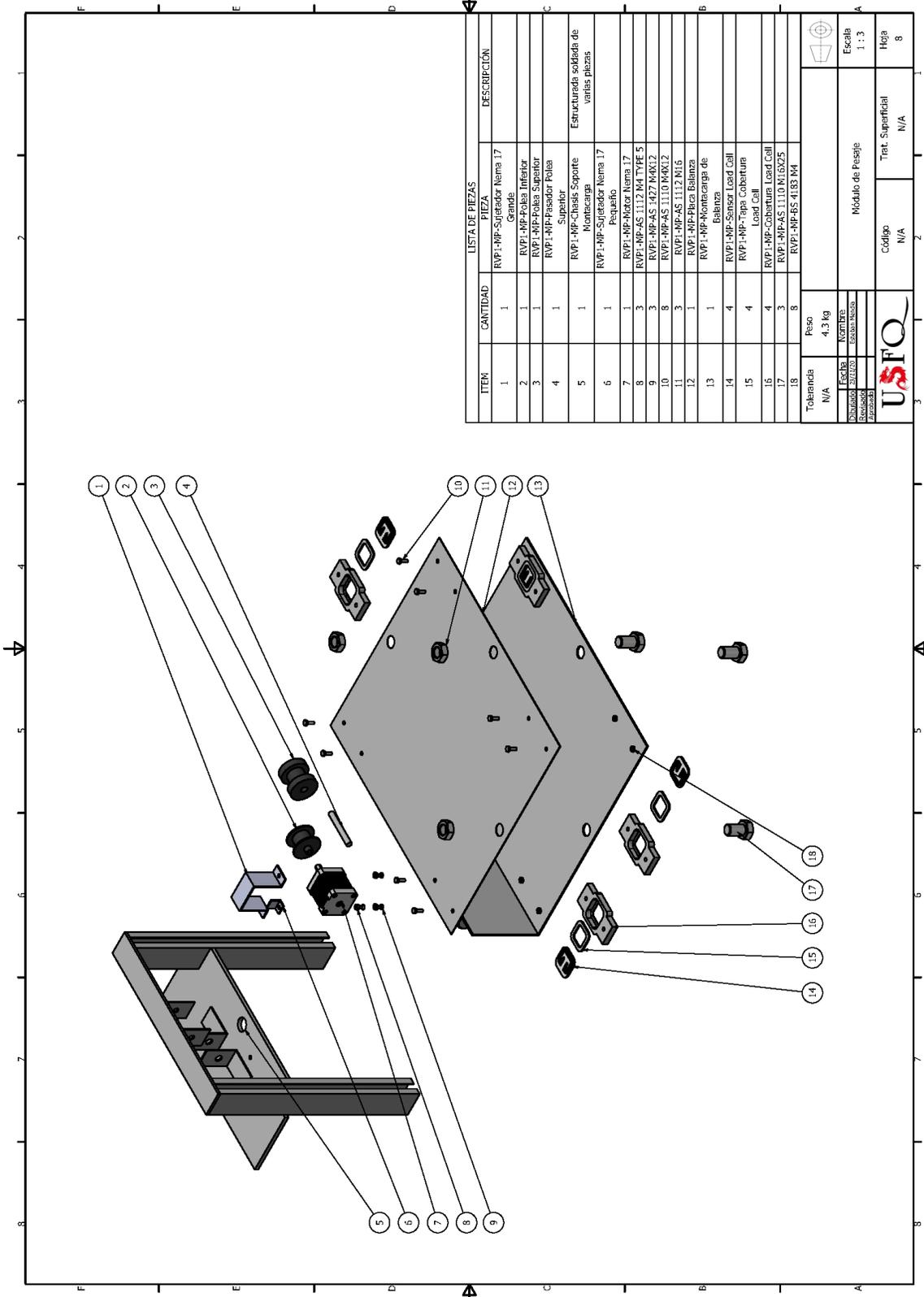






LISTA DE PIEZAS			
ITEM	CANTIDAD	PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	RVPI-OR-Suspensión Individual 1	
2	1	RVPI-OR-Suspensión Individual 2	
3	1	RVPI-OR-Suspensión Individual 3	
4	1	RVPI-OR-Suspensión Individual 4	
5	2	RVPI-OR-Rueda Principal	
6	1	RVPI-OR-Banda	
Tolerancia		Peso	
N/A		5,78 kg	
ESTADO		REVISADO	
DISEÑADOR		APROBADO	
REVISADO		APROBADO	
Ensamble Oruga			Escala
Código			1:1:2
Trat. Superficial			Hoja
N/A			6





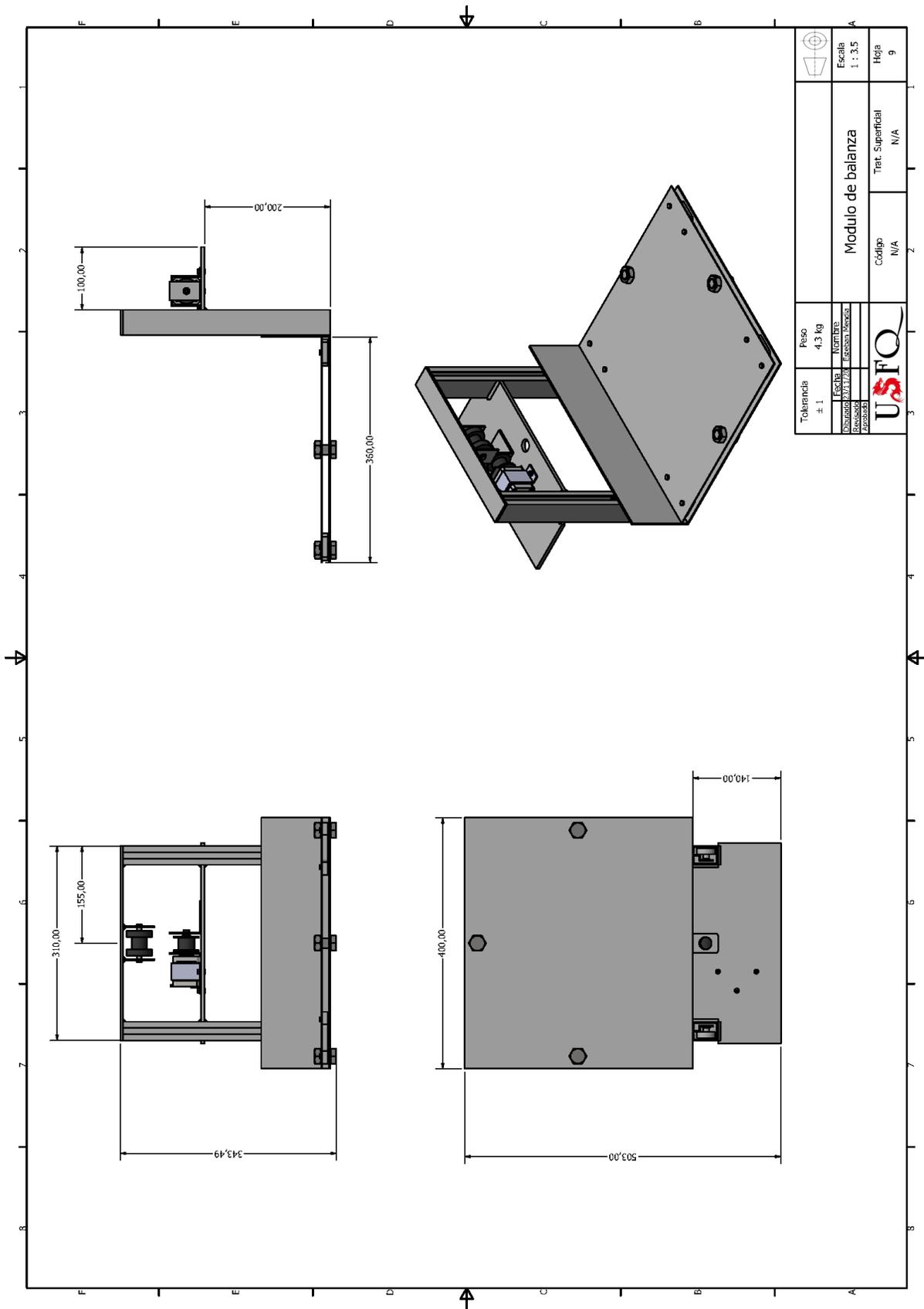
ITEM	CANTIDAD	PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	RVP1-MP-Sujatazor Nema 17 Grande	
2	1	RVP1-MP-Polea Inferior	
3	1	RVP1-MP-Polea Superior	
4	1	RVP1-MP-Pasador Polea Superior	
5	1	RVP1-MP-Chasis Soporte Manecarga	Estructurada soldada de varias piezas
6	1	RVP1-MP-Sujatazor Nema 17 Pequeño	
7	1	RVP1-MP-Motor Nema 17	
8	3	RVP1-MP-AS 1112 M4 TYPE 5	
9	3	RVP1-MP-AS 1427 R4K12	
10	8	RVP1-MP-AS 1110 R4K12	
11	3	RVP1-MP-AS 1112 M16	
12	1	RVP1-MP-Pieza Balanza	
13	1	RVP1-MP-Manecarga de Balanza	
14	4	RVP1-MP-Sensor Load Cell	
15	4	RVP1-MP-Tapa Cobertura Load Cell	
16	4	RVP1-MP-Cobertura Load Cell	
17	3	RVP1-MP-AS 1110 M16X25	
18	8	RVP1-MP-AS 4133 M4	

Tolerancia	Peso
N/A	4.3 kg
Fecha	Nombre
23/07/20	ESCALA
Revisión	ESCALA
01	1:3

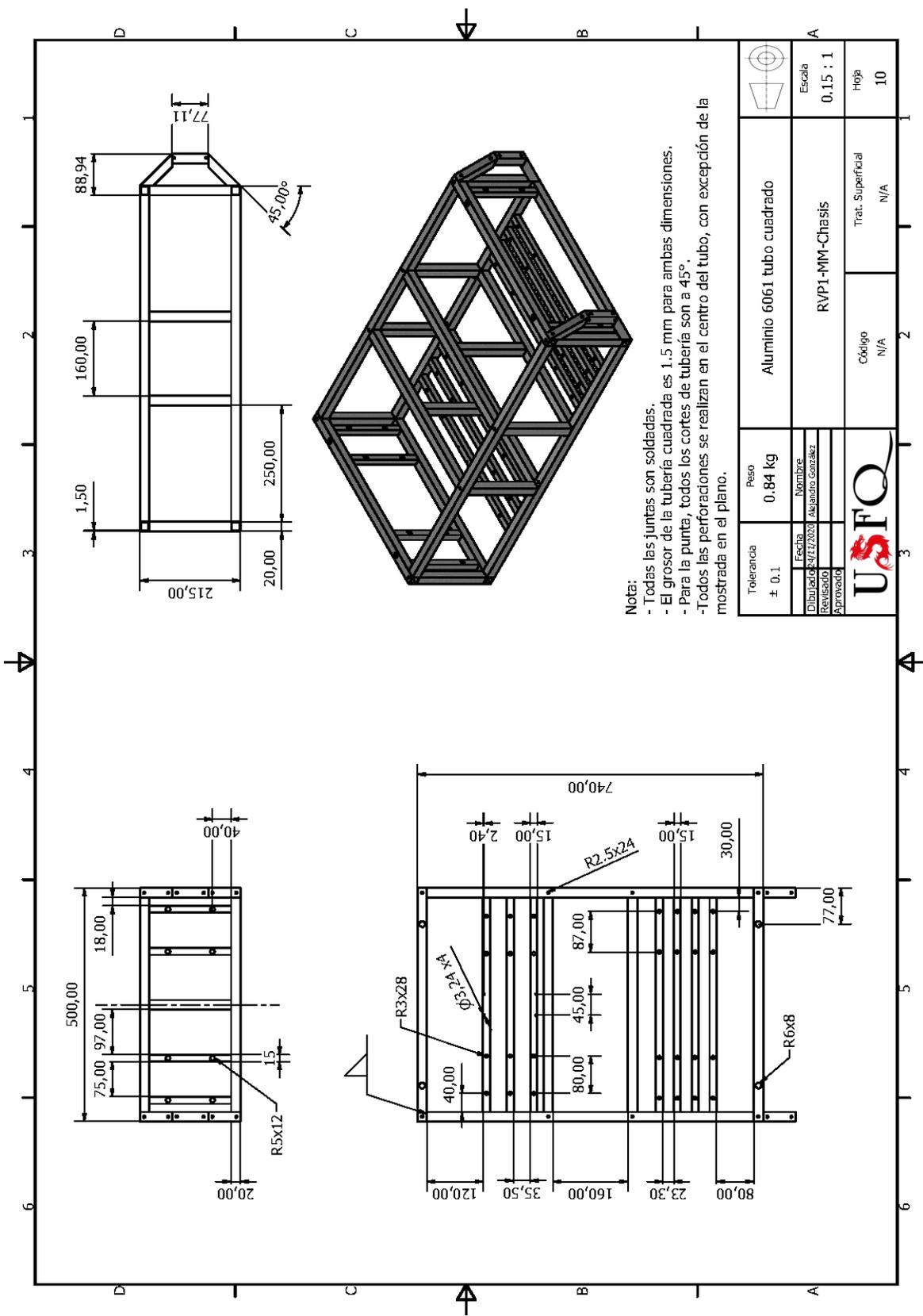
Módulo de Pesaje	
Código	Treat. Superficial
N/A	N/A



Escala	Nº de Hojas
1:3	8

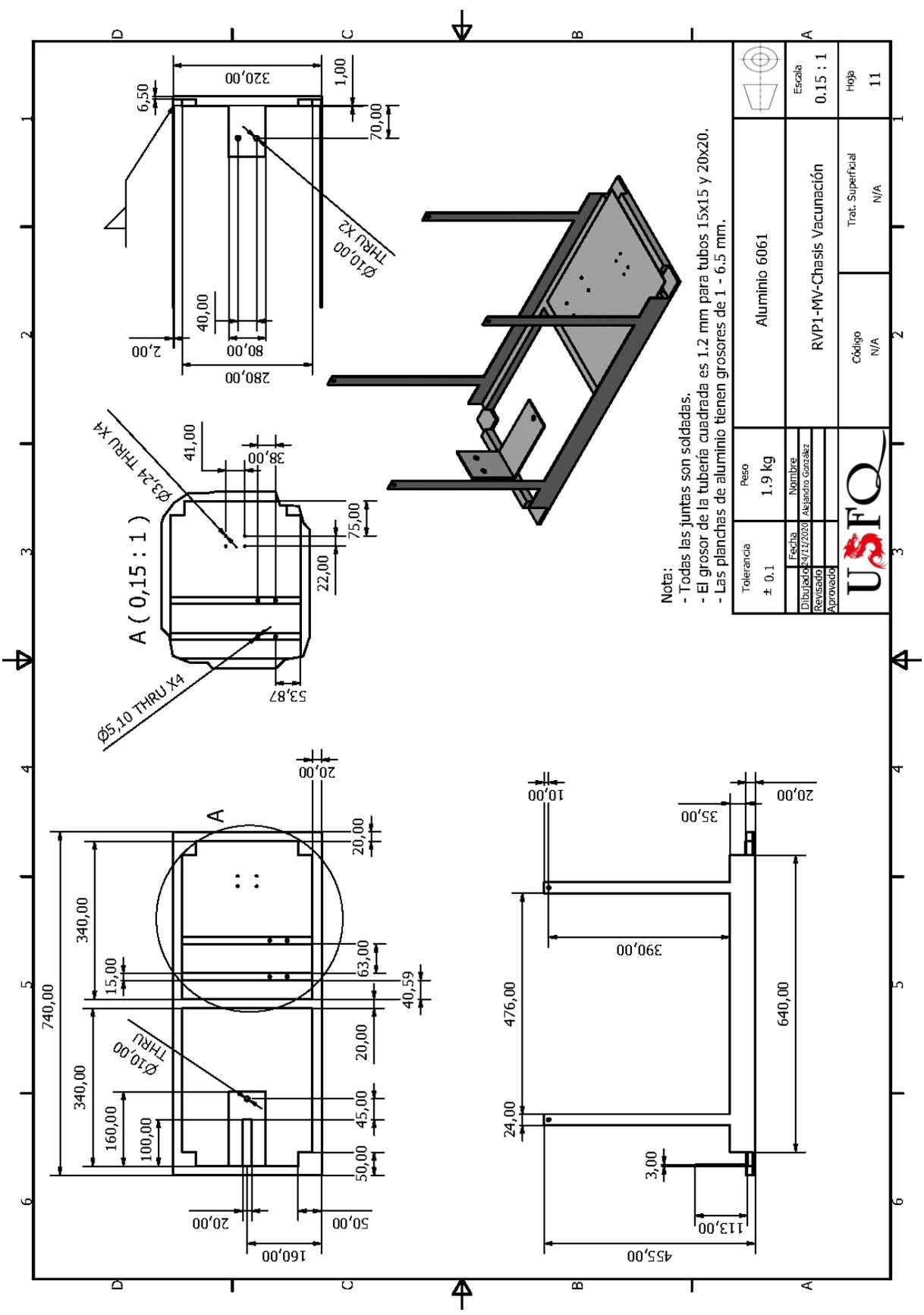


Tolerancia	± 1	Peso	4,3 kg		
ESTRUC.	NO FERROS				
DIMENSIONES	310x155x360				
REVISADO	PROBADO				
Modulo de balanza		Código	N/A	Trat. Superficial	N/A
					Hoja
					9



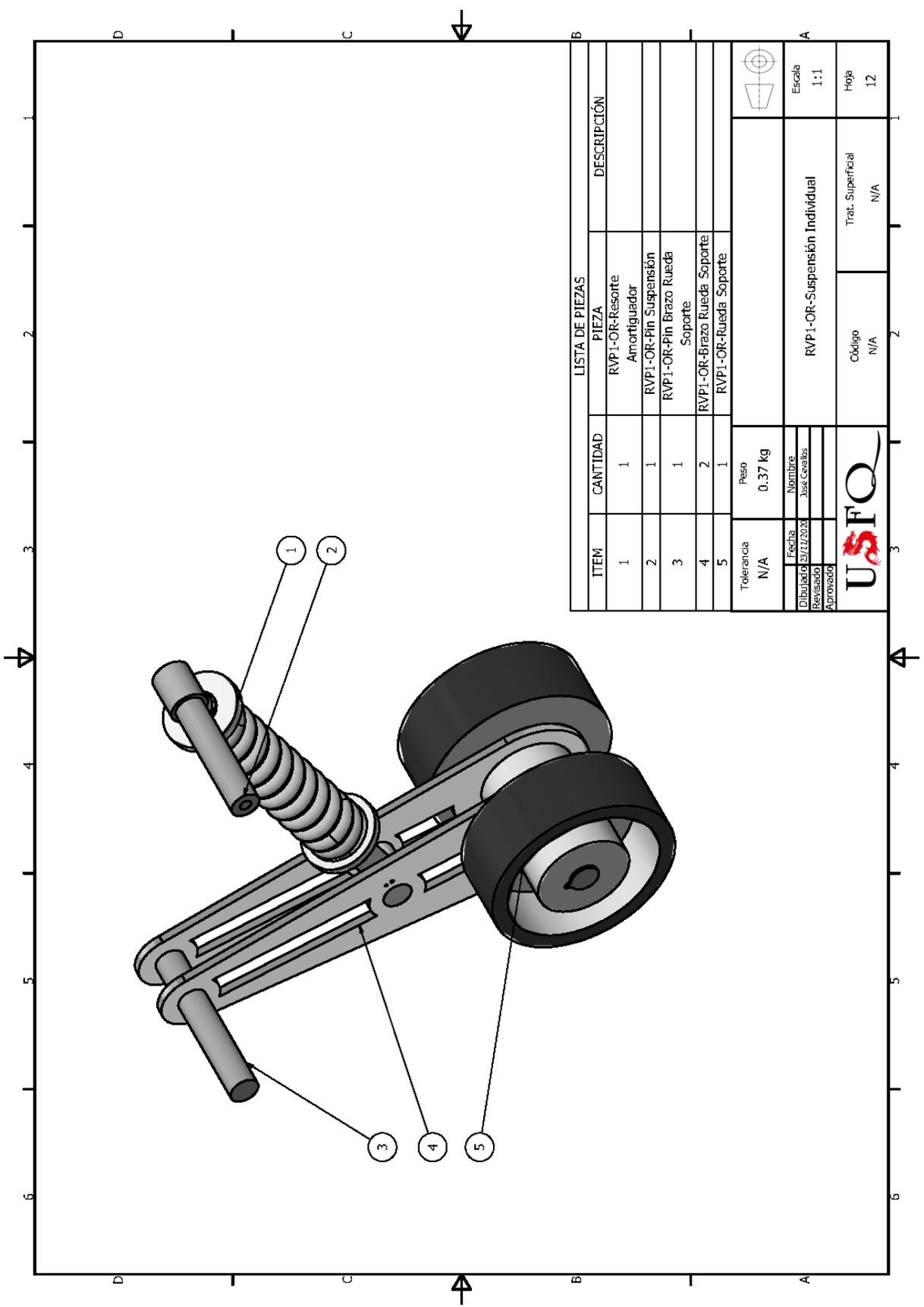
Nota:  
 - Todas las juntas son soldadas.  
 - El grosor de la tubería cuadrada es 1.5 mm para ambas dimensiones.  
 - Para la punta, todos los cortes de tubería son a 45°.  
 - Todos las perforaciones se realizan en el centro del tubo, con excepción de la mostrada en el plano.

Tolerancia	Peso	Aluminio 6061 tubo cuadrado	Escala	Hoja
± 0.1	0.84 kg			
Dibujado	Nombre	RVP1-MM-Chasis	Trat. Superficial	N/A
Revisado	Apellido			
Aprobado	Logo			



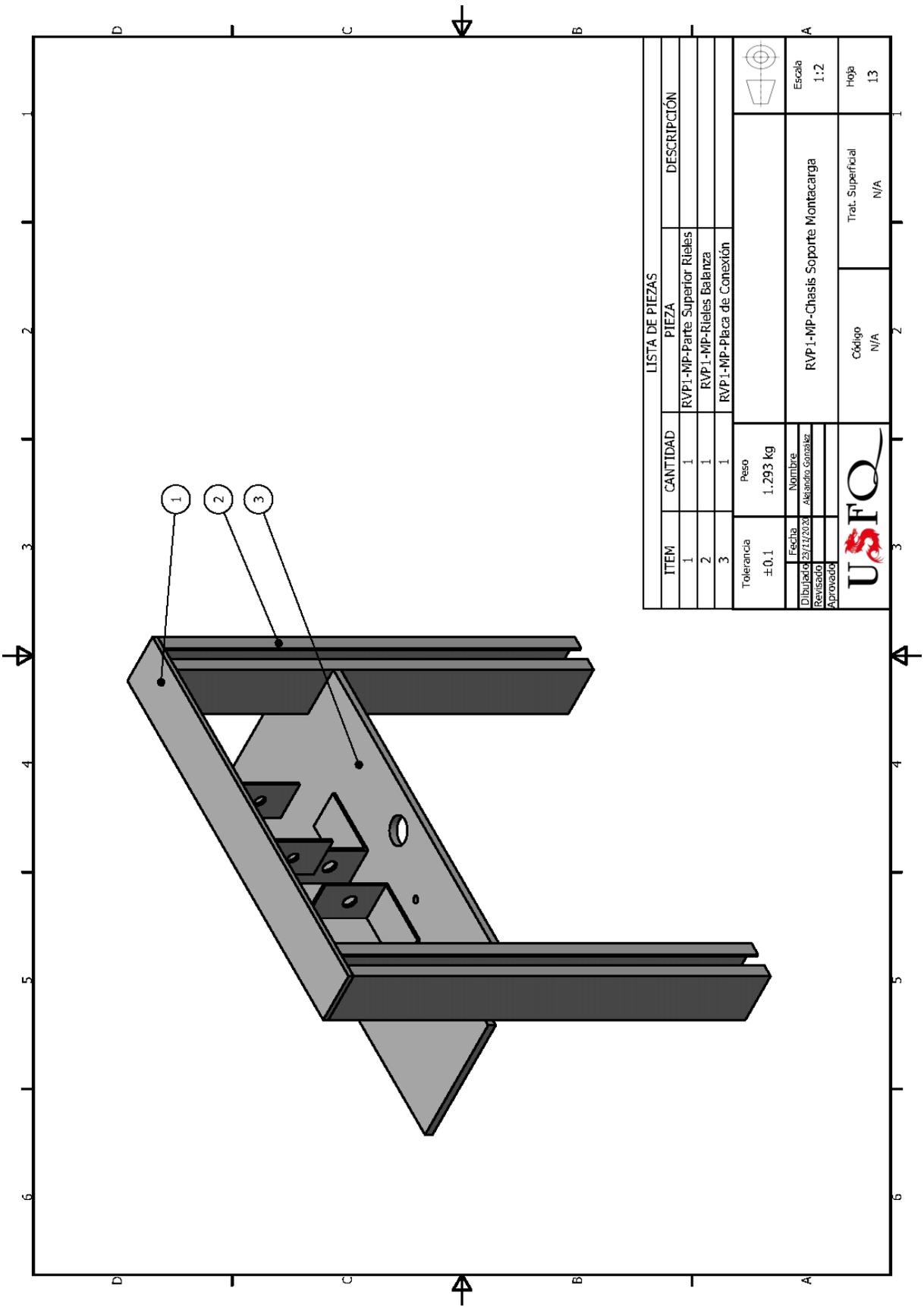
Nota:  
 - Todas las juntas son soldadas.  
 - El grosor de la tubería cuadrada es 1.2 mm para tubos 15x15 y 20x20.  
 - Las planchas de aluminio tienen grosores de 1 - 6.5 mm.

Tolerancia	± 0.1	Peso	1.9 kg	Material	Aluminio 6061
Dibujado	4/17/2020	Nombre	Alejandro González	Código	N/A
Revisado		Fecha		Treat. Superficial	N/A
Aprobado					
			RVP1-MV-Chasis Vacunación		Hoja 11
			Escala 0.15 : 1		



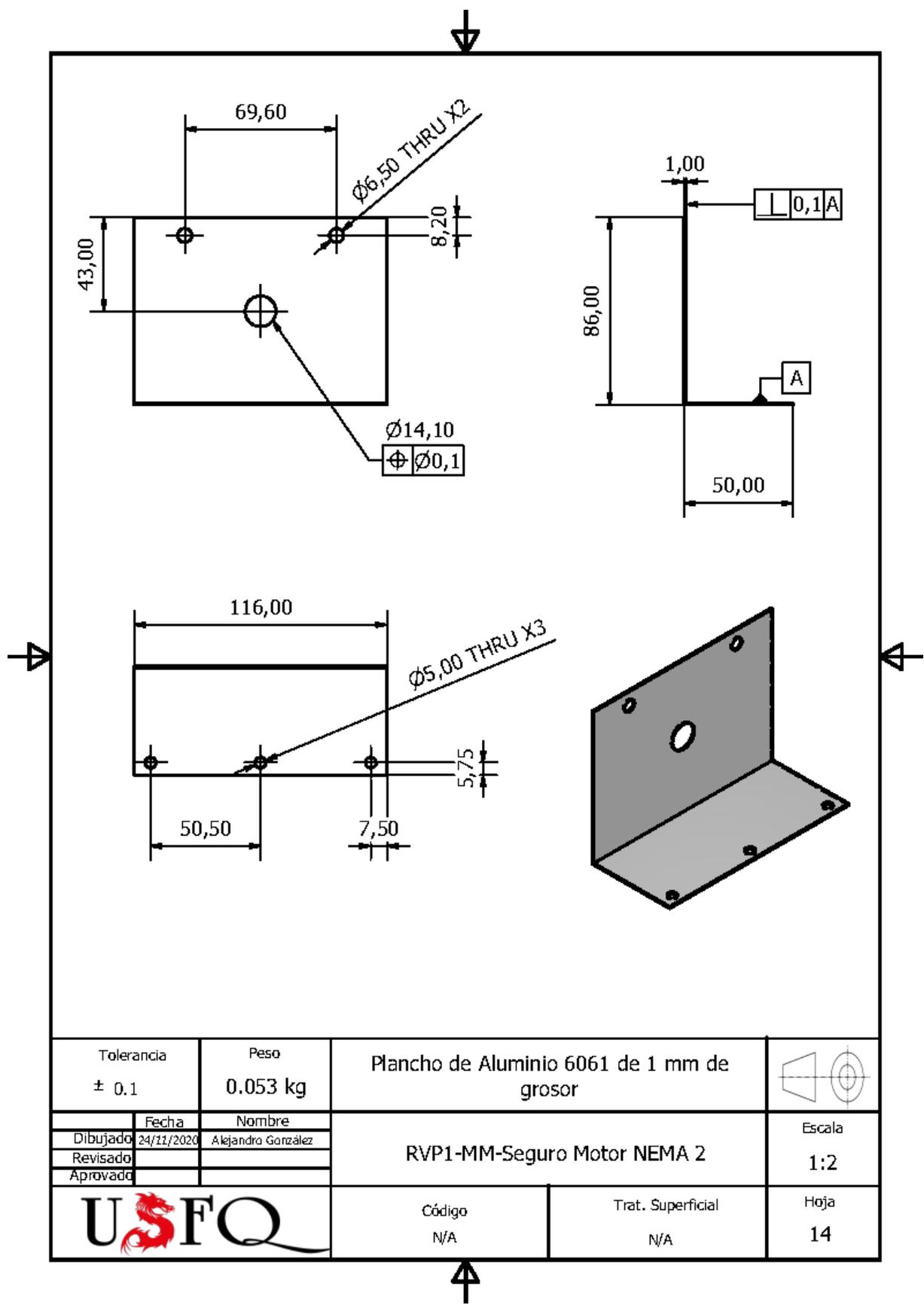
LISTA DE PIEZAS			
ITEM	CANTIDAD	PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	RVP1-OR-Resorte Amortiguador	
2	1	RVP1-OR-Pin Suspensión	
3	1	RVP1-OR-Pin Brazo Rueda Soporte	
4	2	RVP1-OR-Brazo Rueda Soporte	
5	1	RVP1-OR-Rueda Soporte	
Tolerancia	Peso		
N/A	0.37 kg		
Dibujado	Fecha	Nombre	Escala
Revisado	23/11/2023	José Cevallos	1:1
Aprobado			Hoja
		RVP1-OR-Suspensión Individual	12
		Código	Trat. Superficial
		N/A	N/A



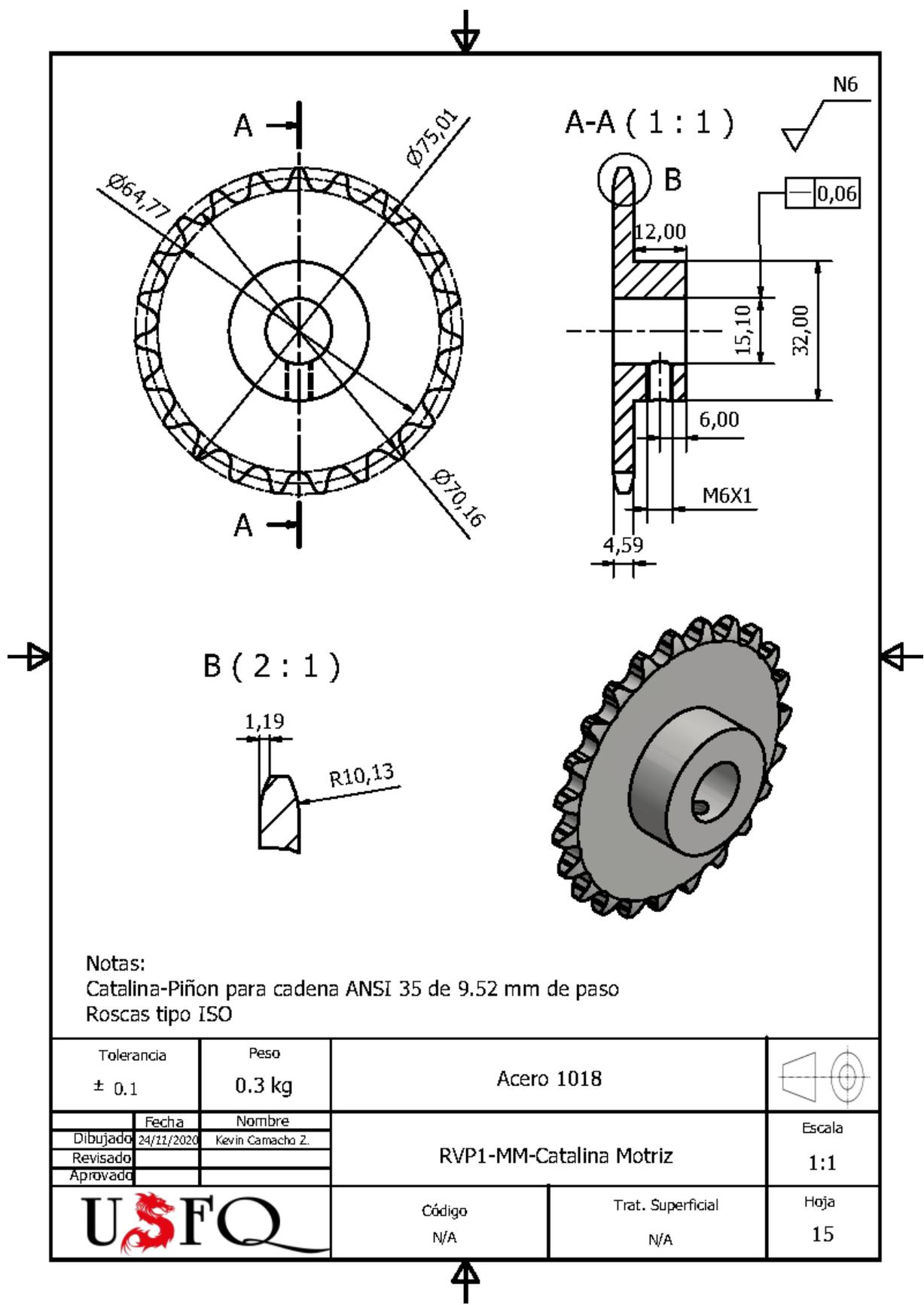


LISTA DE PIEZAS			
ITEM	CANTIDAD	PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	RVP1-MP-Parte Superior Rieles	
2	1	RVP1-MP-Rieles Balanza	
3	1	RVP1-MP-Placa de Conexión	
Tolerancia		Peso	
±0.1		1.293 kg	
Fecha		Nombre	
29/11/2020		Akando Somakz	
Dibujado		Revisado	
Aprobado			
Escala		RVP1-MP-Chasis Soporte Montacarga	
1:2		Código	
Hoja		N/A	
13		Trat. Superficial	
		N/A	



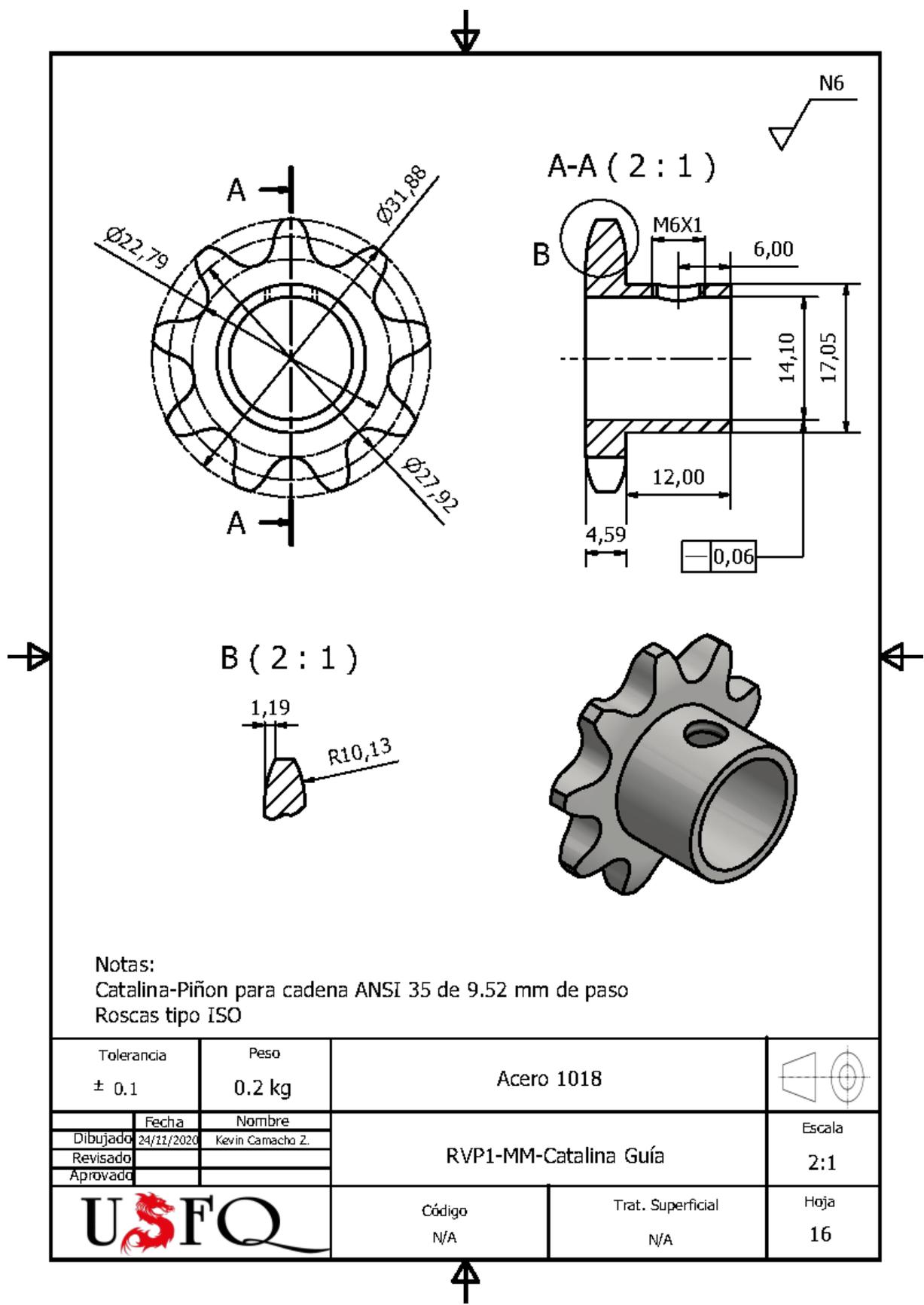


Tolerancia $\pm 0.1$	Peso 0.053 kg	Plancho de Aluminio 6061 de 1 mm de grosor	
Dibujado	Fecha	Nombre	Escala
Revisado	24/11/2020	Alejandro González	1:2
Aprovado			
		Código N/A	Trat. Superficial N/A
			Hoja 14



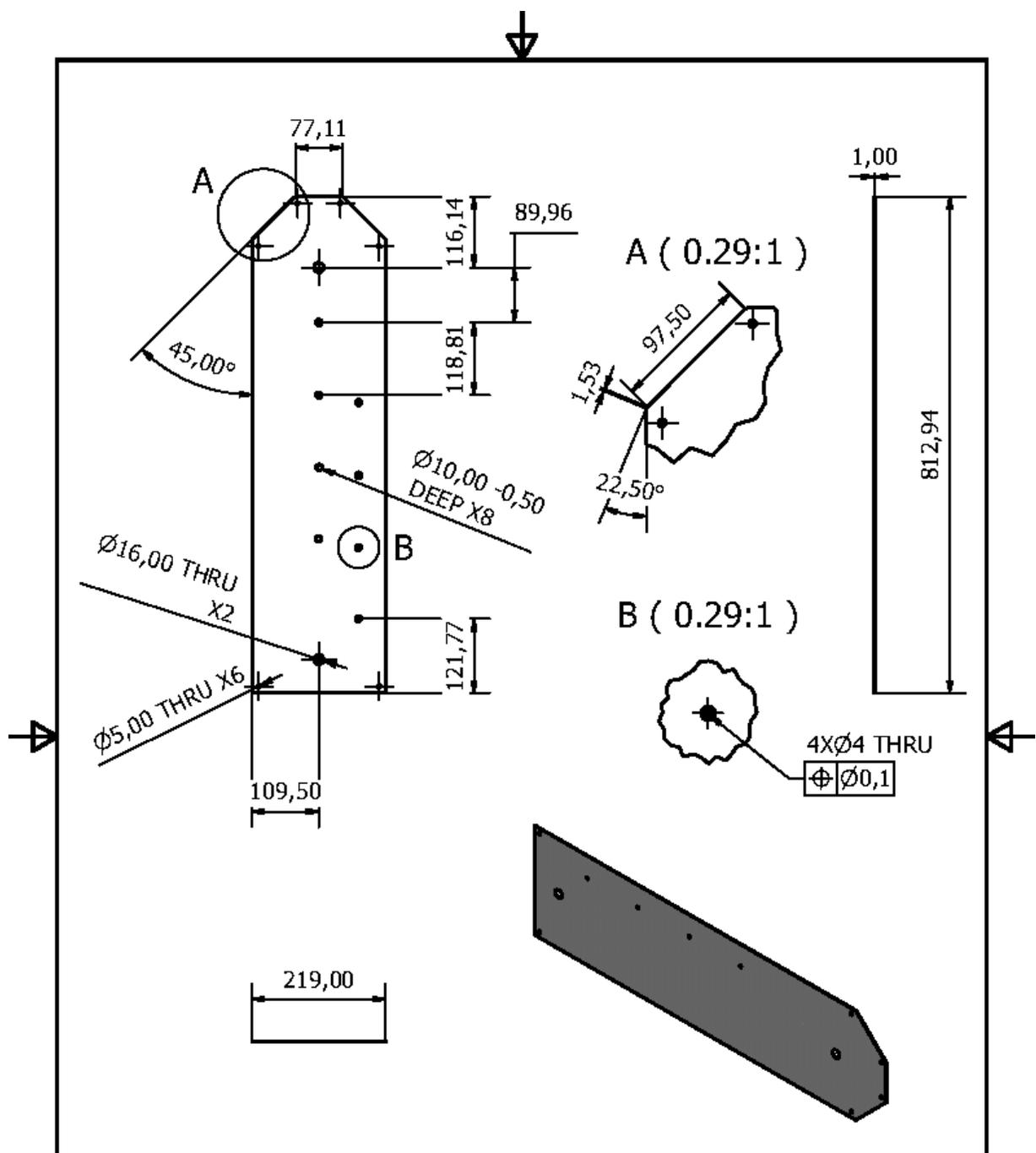
Notas:  
 Catalina-Piñon para cadena ANSI 35 de 9.52 mm de paso  
 Roscas tipo ISO

Tolerancia ± 0.1	Peso 0.3 kg	Acero 1018	
Fecha 24/11/2020	Nombre Kevin Camacho Z.	RVP1-MM-Catalina Motriz	Escala 1:1
Dibujado			
Revisado			
Aprovado			
		Código N/A	Trat. Superficial N/A
			Hoja 15



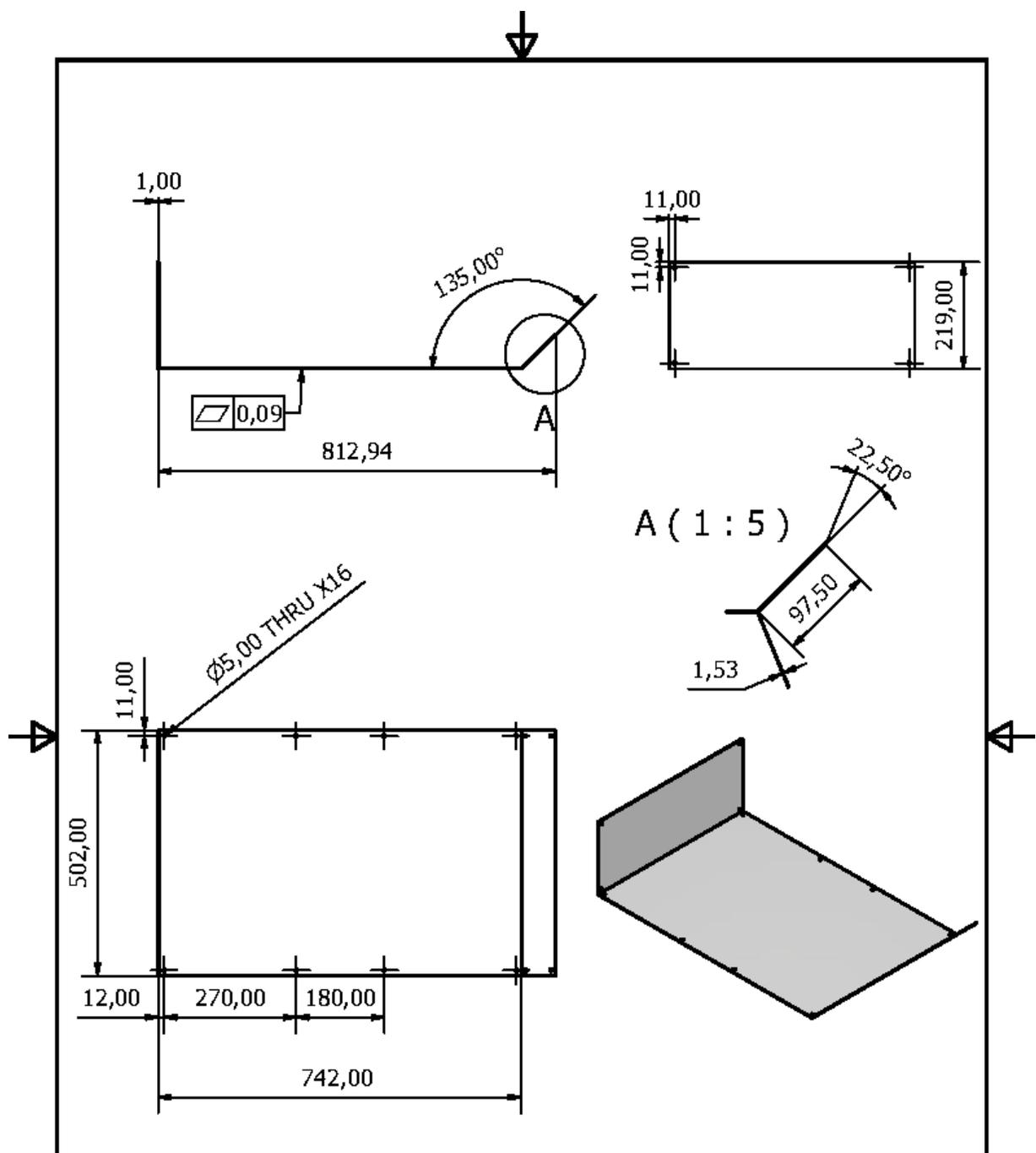
Notas:  
 Catalina-Piñon para cadena ANSI 35 de 9.52 mm de paso  
 Roscas tipo ISO

Tolerancia $\pm 0.1$	Peso 0.2 kg	Acero 1018	
Dibujado	Fecha	Nombre	Escala
Revisado	24/11/2020	Kevin Camacho Z.	2:1
Aprovado			
		Código N/A	Trat. Superficial N/A
			Hoja 16



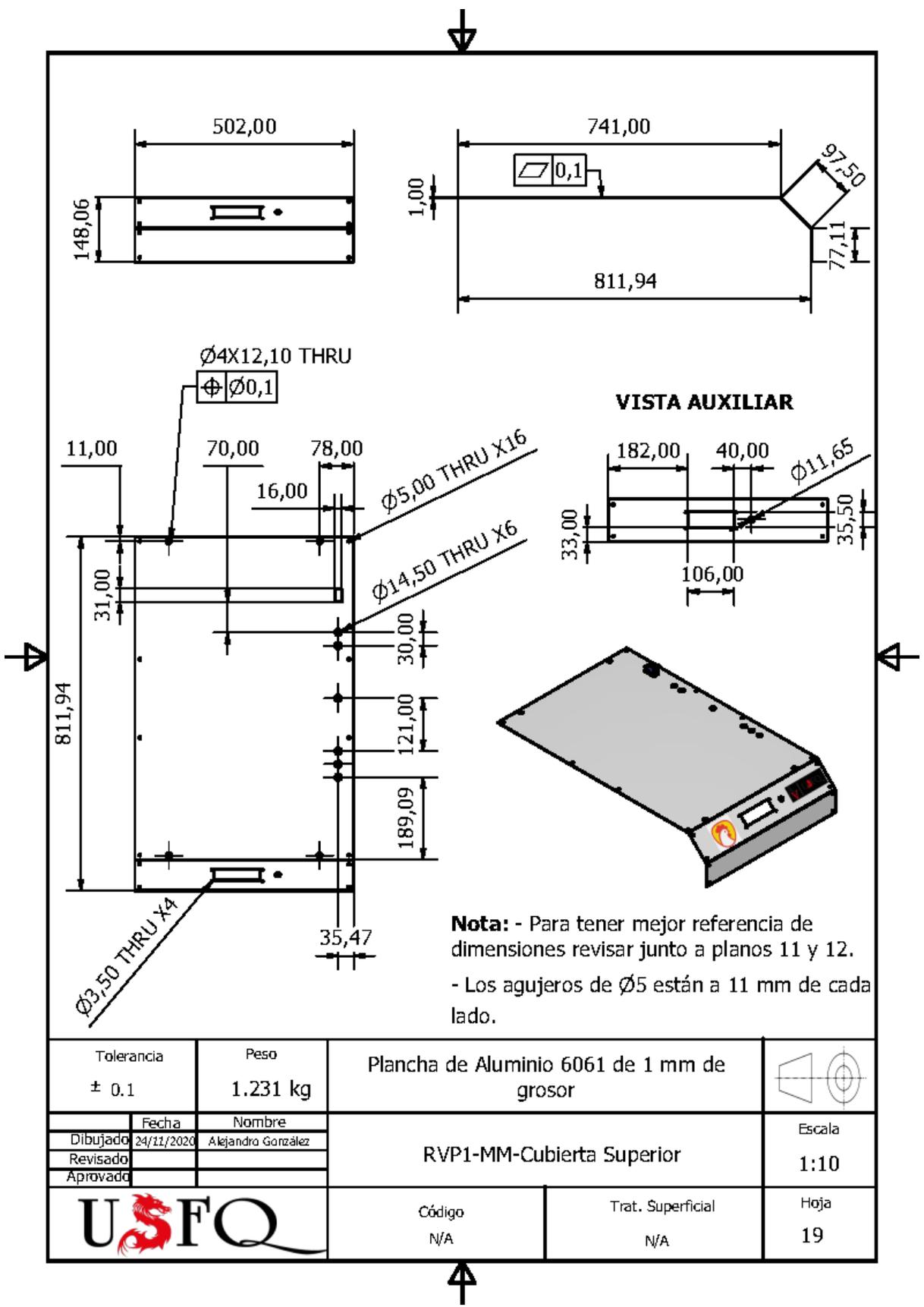
Tolerancia ± 0.1	Peso 0.466 kg	Plancha de Aluminio 6061 de 1 mm de grosor		
Dibujado	Fecha 24/11/2020	Nombre Nicolas Iglesias	Escala 1:8	
Revisado			RVP1-MM-Cubierta Lateral	
Aprovado			Código N/A	Trat. Superficial N/A
				Hoja 17



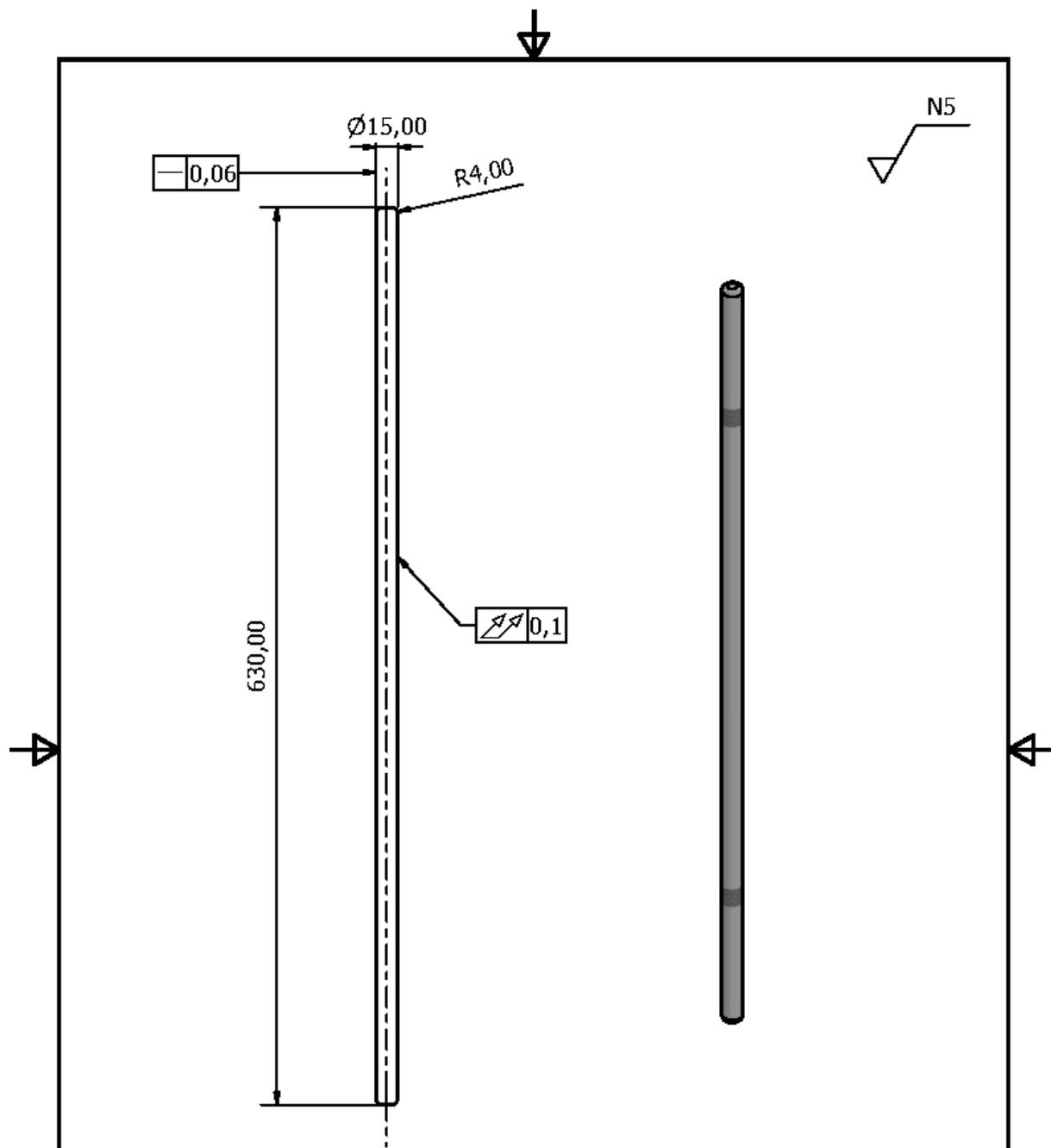


Tolerancia ± 0.1	Peso 1.435 kg	Plancha de Aluminio 6061 de 1 mm de grosor	
Dibujado	Fecha 24/11/2020	Nombre Nicolas Iglesias	Escala 1:10
Revisado		RVP1-MM-Cubierta Inferior	
Aprovado		Código N/A	Trat. Superficial N/A
			Hoja 18

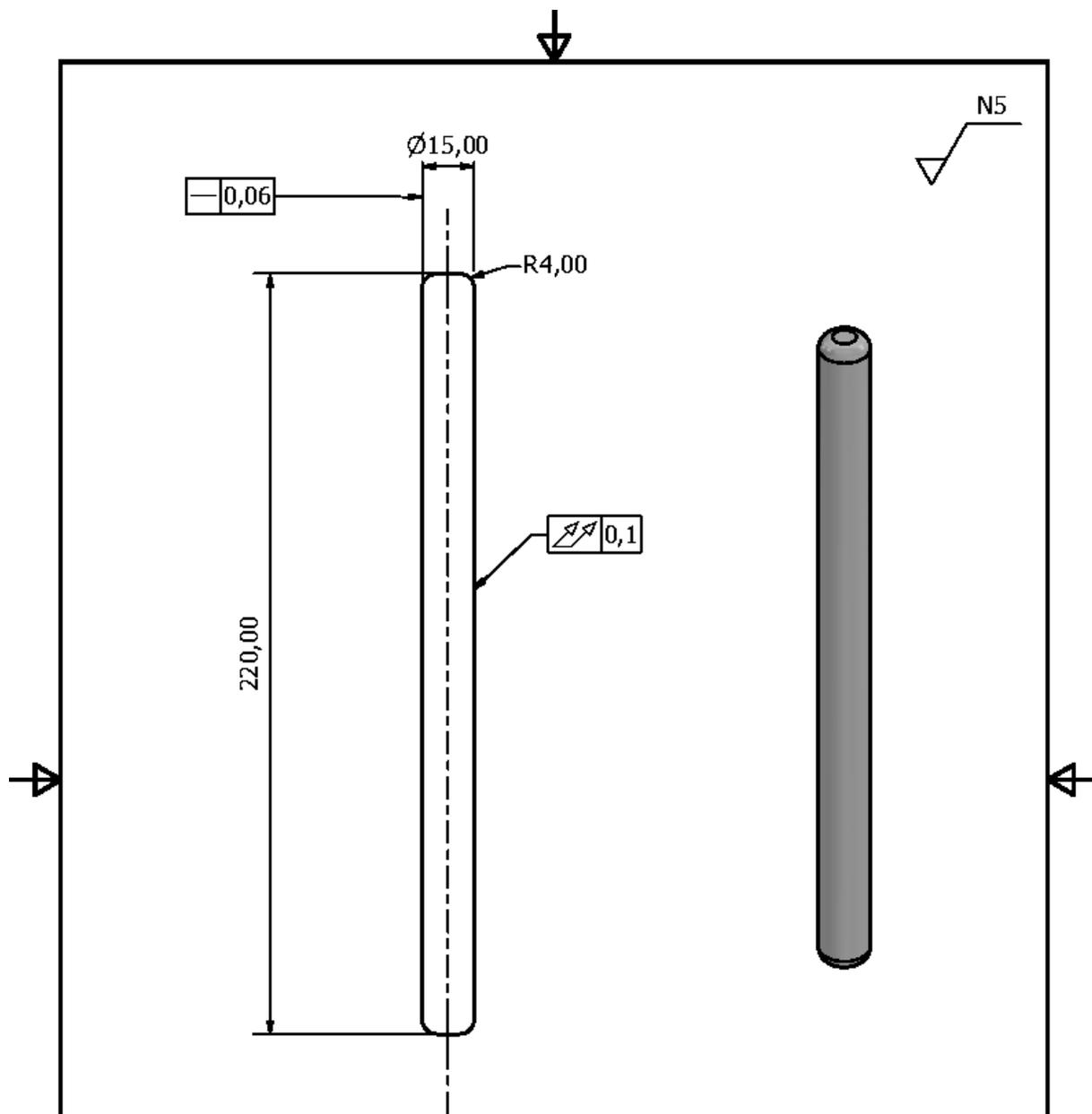




Tolerancia ± 0.1	Peso 1.231 kg	Plancha de Aluminio 6061 de 1 mm de grosor	
Fecha 24/11/2020	Nombre Alejandro González	RVP1-MM-Cubierta Superior	Escala 1:10
Revisado			
Aprovado			
		Código N/A	Trat. Superficial N/A
			Hoja 19

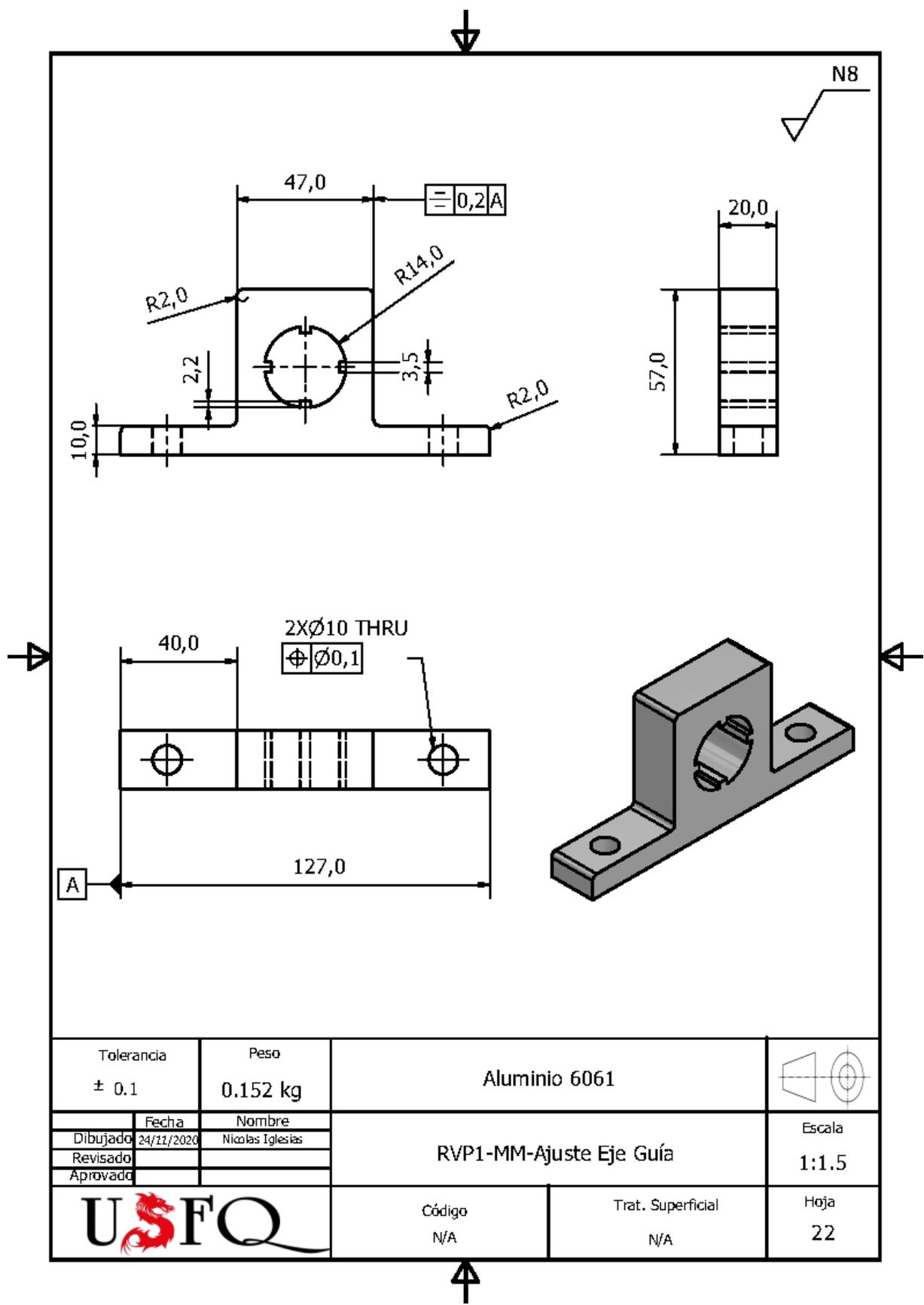


Tolerancia ± 0.1		Peso 0.74 kg		Acero 1018			
Fecha 24/11/2020		Nombre Alejandro González		RVP1-MM-Eje Guía		Escala 1:3.5	
Dibujado		Revisado				Hoja 20	
Aprovado							
				Código N/A		Trat. Superficial Pulido - Machuelado	

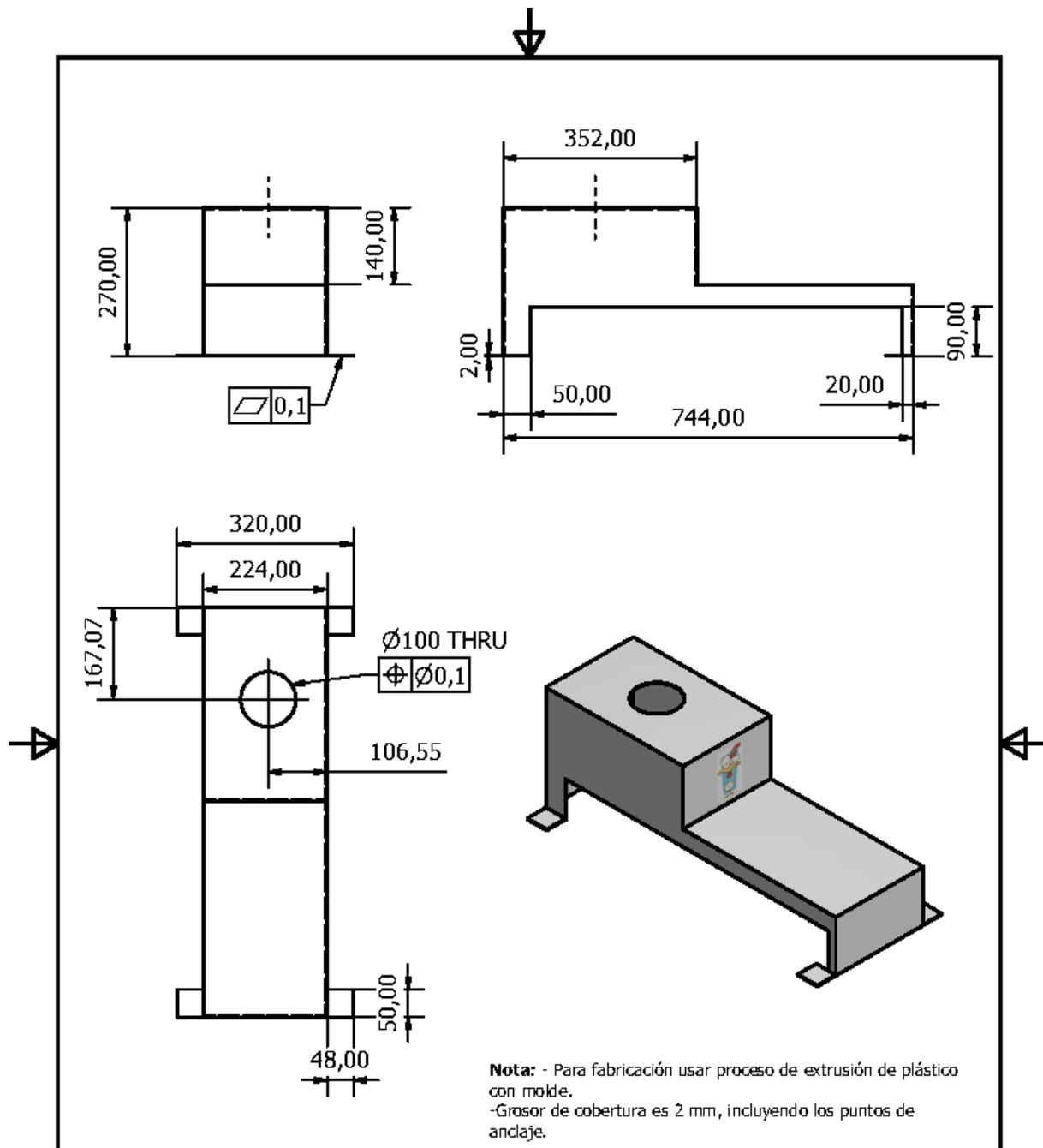


Tolerancia $\pm 0.1$	Peso 0.74 kg	Acero 1018	
Dibujado	Fecha	Nombre	Escala
Revisado	24/11/2020	Alejandro González	1:1.5
Aprovado			
		Código N/A	Trat. Superficial Pulido - Superficie lisa
			Hoja 21



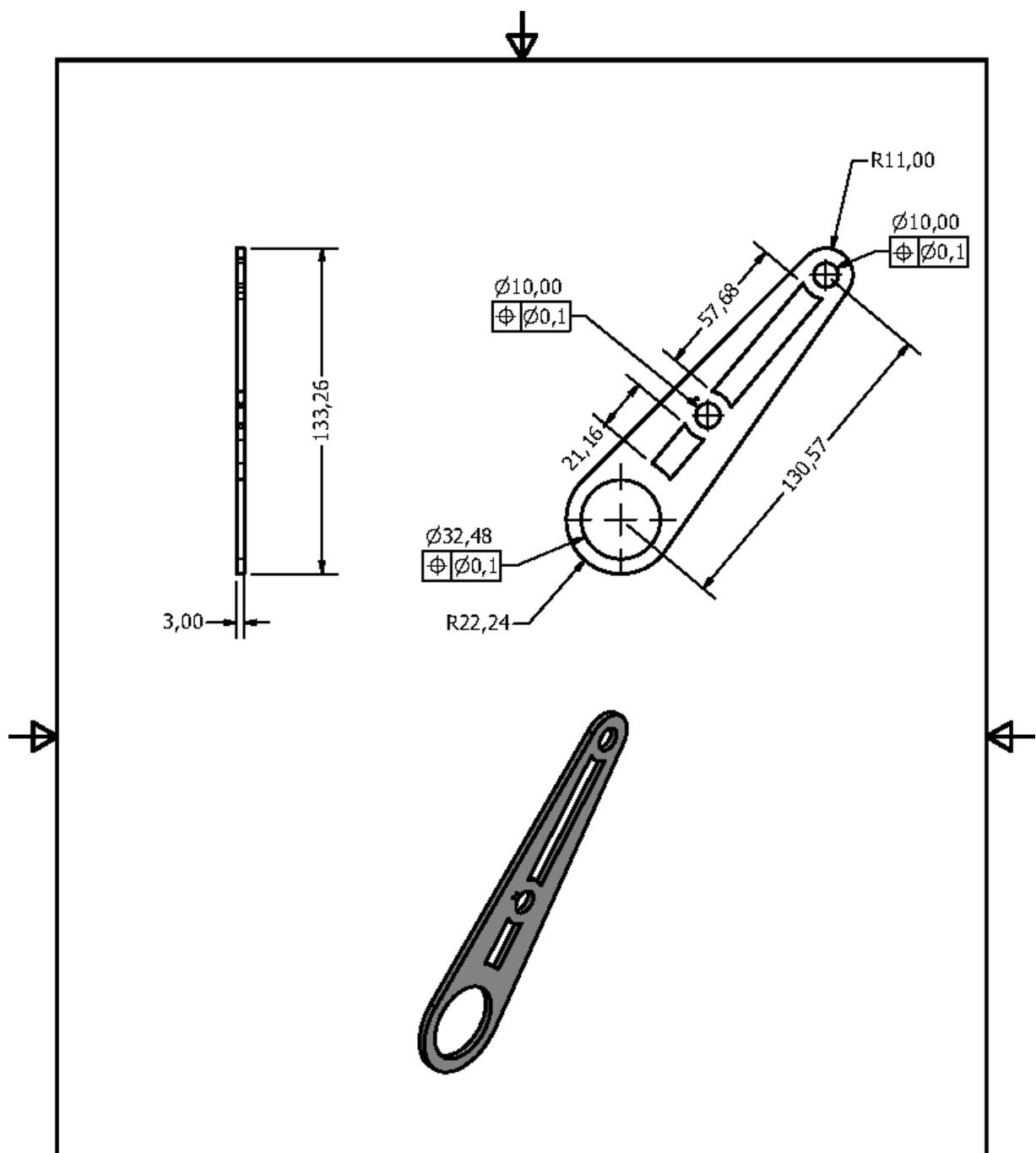


Tolerancia ± 0.1	Peso 0.152 kg	Aluminio 6061	
Dibujado	Fecha	Nombre	Escala
Revisado	24/11/2020	Nicolas Iglesias	1:1.5
Aprovado			
		Código N/A	Hoja 22
		Trat. Superficial N/A	



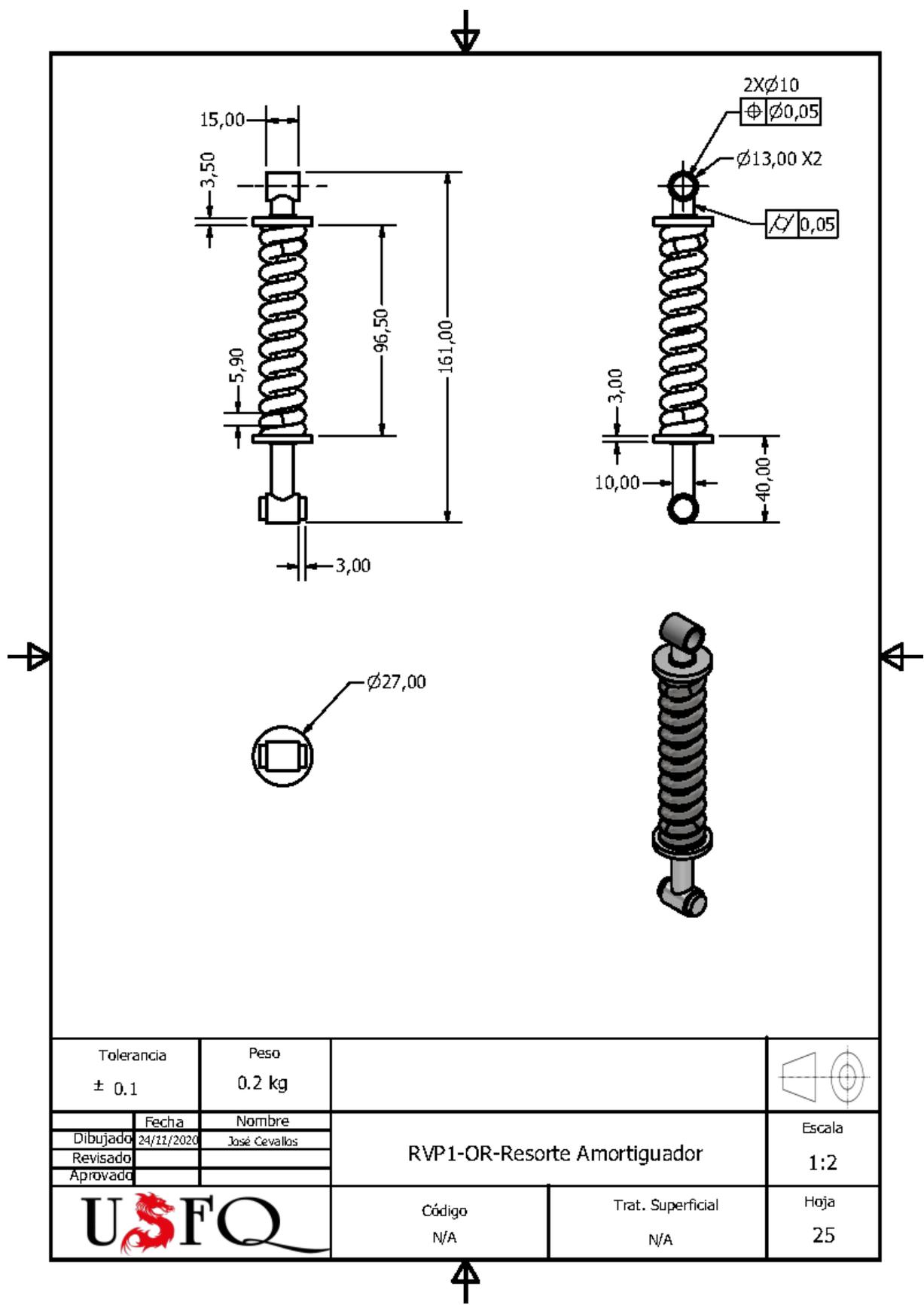
Tolerancia ± 1	Peso 1.19 kg	Plástico Moldeable	
Dibujado	Fecha	Nombre	Escala
Revisado	24/11/2020	Alejandro González	2:1
Aprovado			
		Código N/A	Trat. Superficial N/A
			Hoja 23



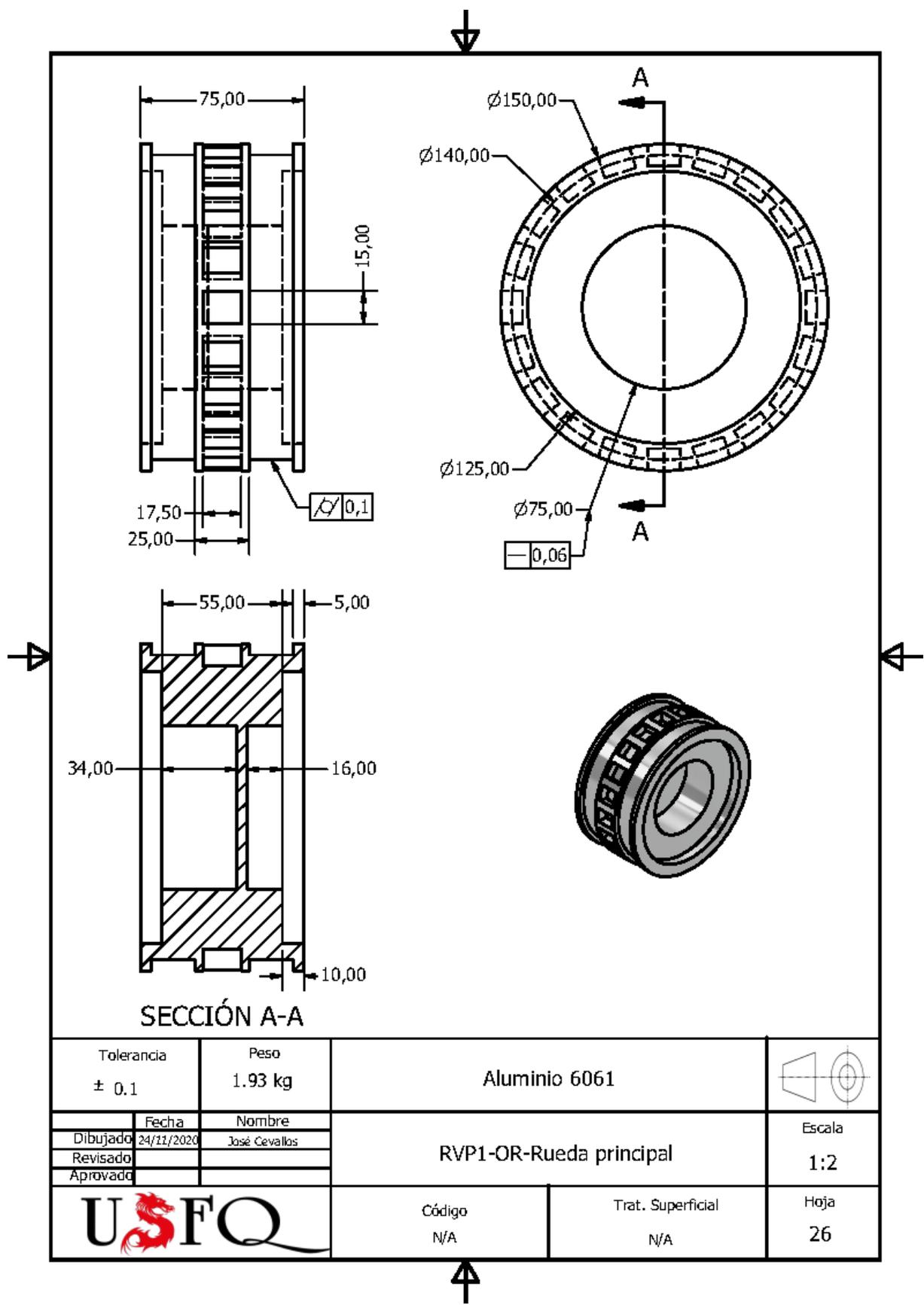


Tolerancia ± 0.1	Peso 0.012 kg	Nylon		
Dibujado	Fecha 24/11/2020	Nombre José Cevallos	RVP1-OR-Brazo Rueda Soporte	
Revisado				
Aprobado				
		Código N/A	Trat. Superficial N/A	Escala 1:2
				Hoja 24



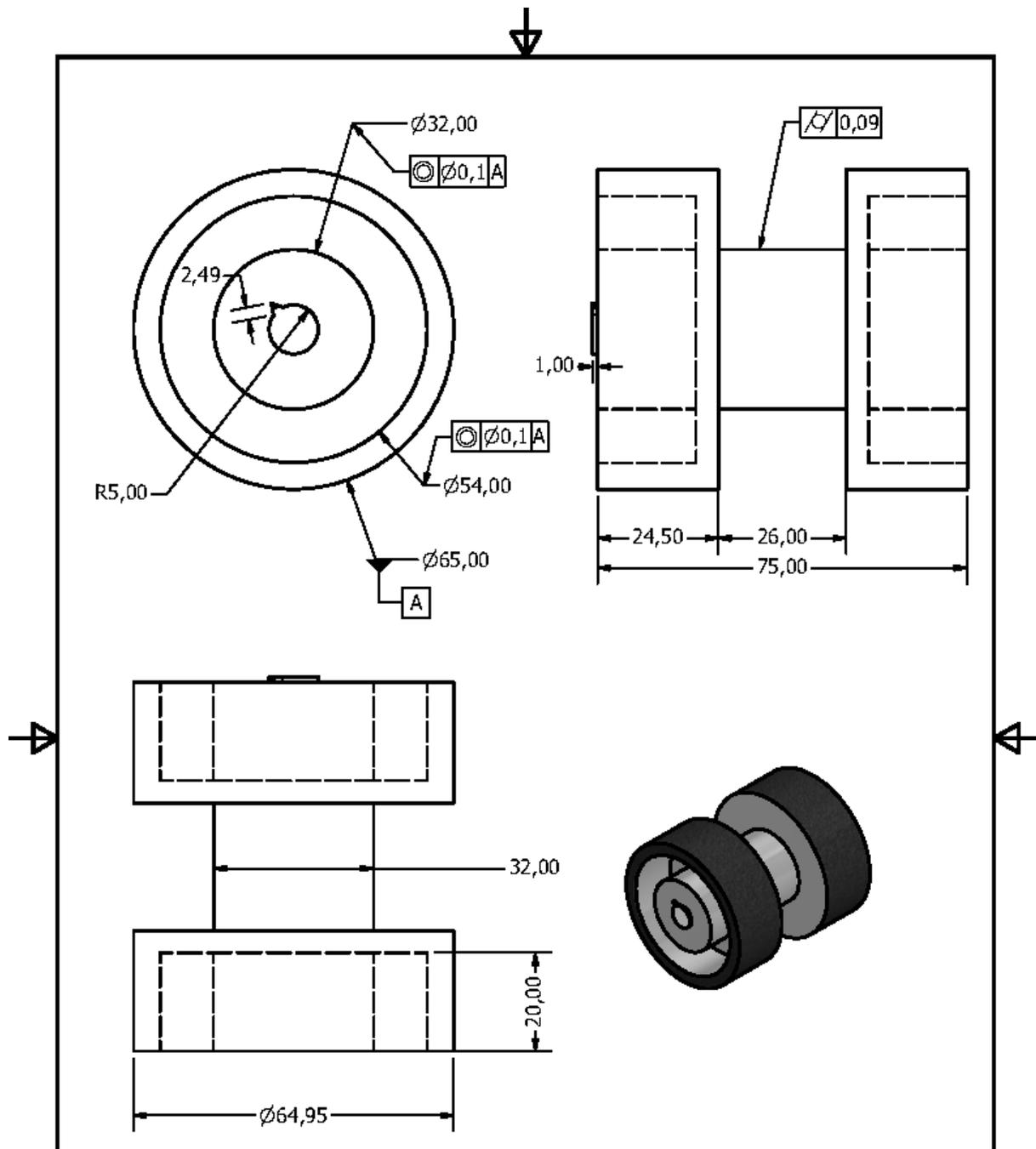


Tolerancia ± 0.1		Peso 0.2 kg			
Fecha 24/11/2020		Nombre José Cevallos			
Dibujado		Revisado		RVP1-OR-Resorte Amortiguador	
Aprovado					
		Código N/A		Trat. Superficial N/A	
				Hoja 25	

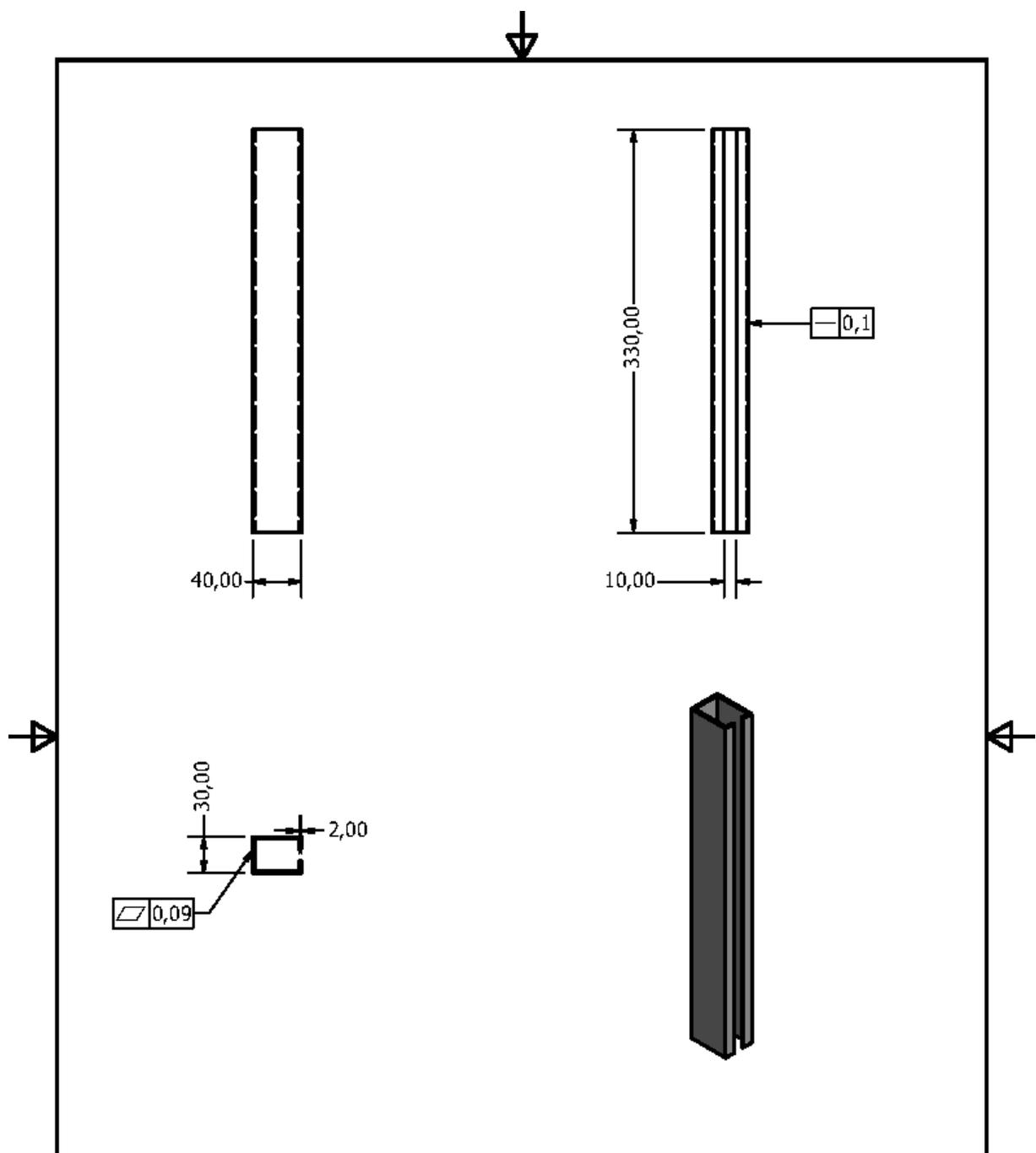


SECCIÓN A-A

Tolerancia $\pm 0,1$	Peso 1.93 kg	Aluminio 6061	
Dibujado	Fecha 24/11/2020	Nombre José Cevallos	Escala 1:2
Revisado		RVP1-OR-Rueda principal	
Aprobado		Código N/A	Hoja 26
		Trat. Superficial N/A	

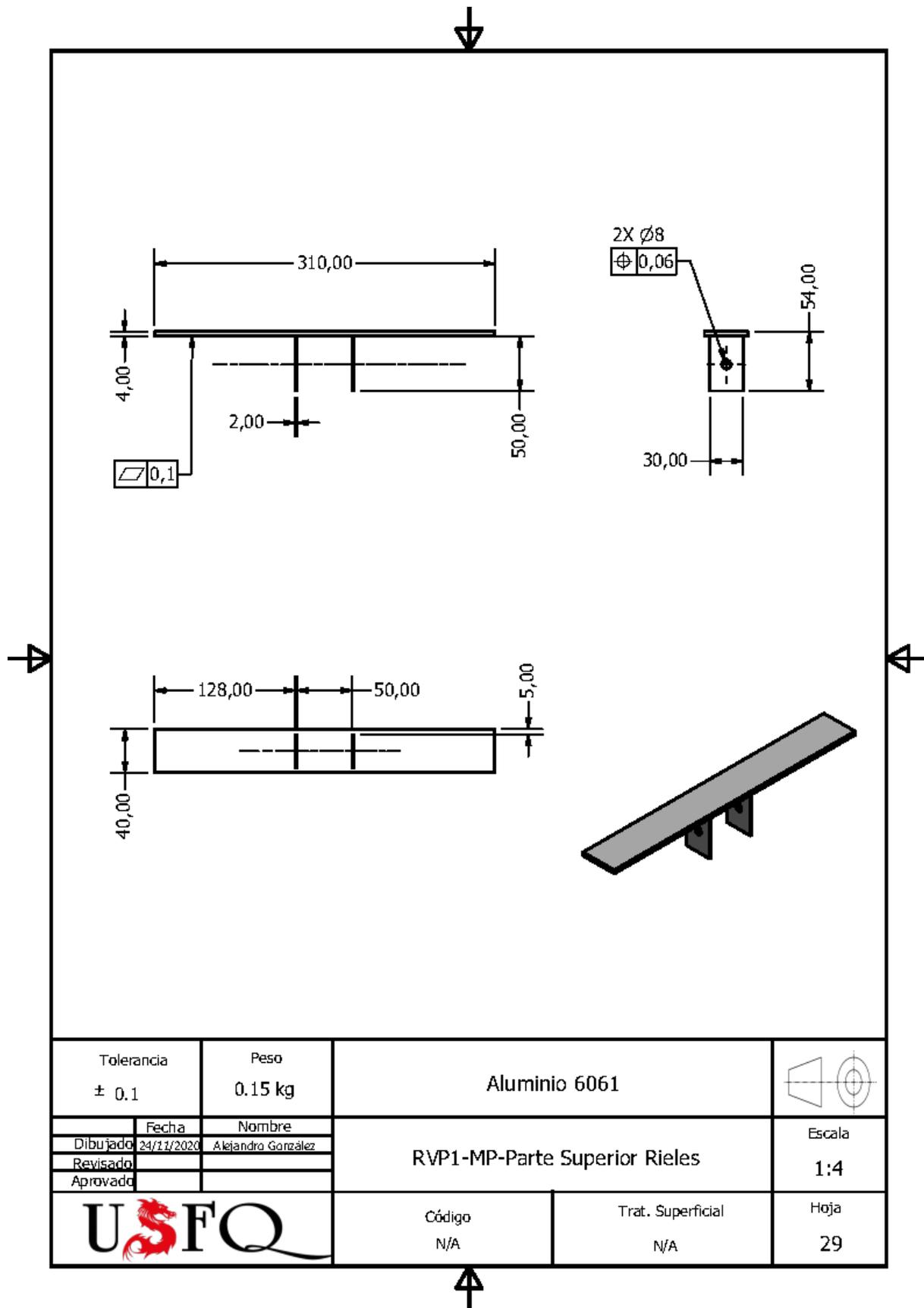


Tolerancia $\pm 0,1$	Peso 0.33 kg	Aluminio 6061		
Dibujado	Fecha 24/11/2020	Nombre José Cevallos	RVP1-OR-Rueda Soporte	
Revisado				
Aprobado				
		Código N/A	Trat. Superficial N/A	Escala 1:1
				Hoja 27

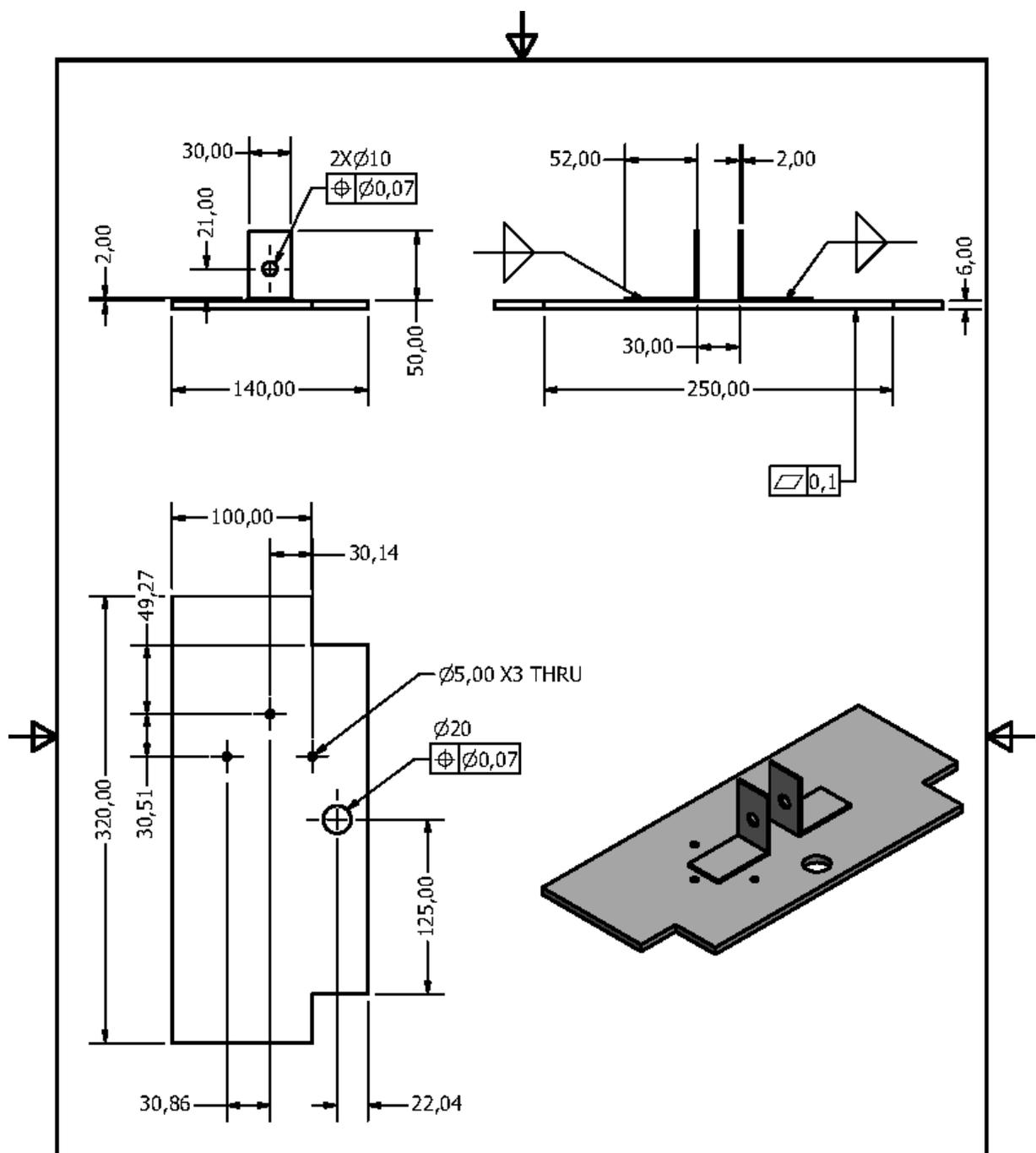


Tolerancia ± 0.1	Peso 0.43 kg	Aluminio 6061		
Dibujado	Fecha 24/11/2020	Nombre Eesteban Mendia	RVP1-MP-Rieles Balanza	
Revisado				
Aprovado				
		Código N/A	Trat. Superficial N/A	Escala 1:4
				Hoja 28



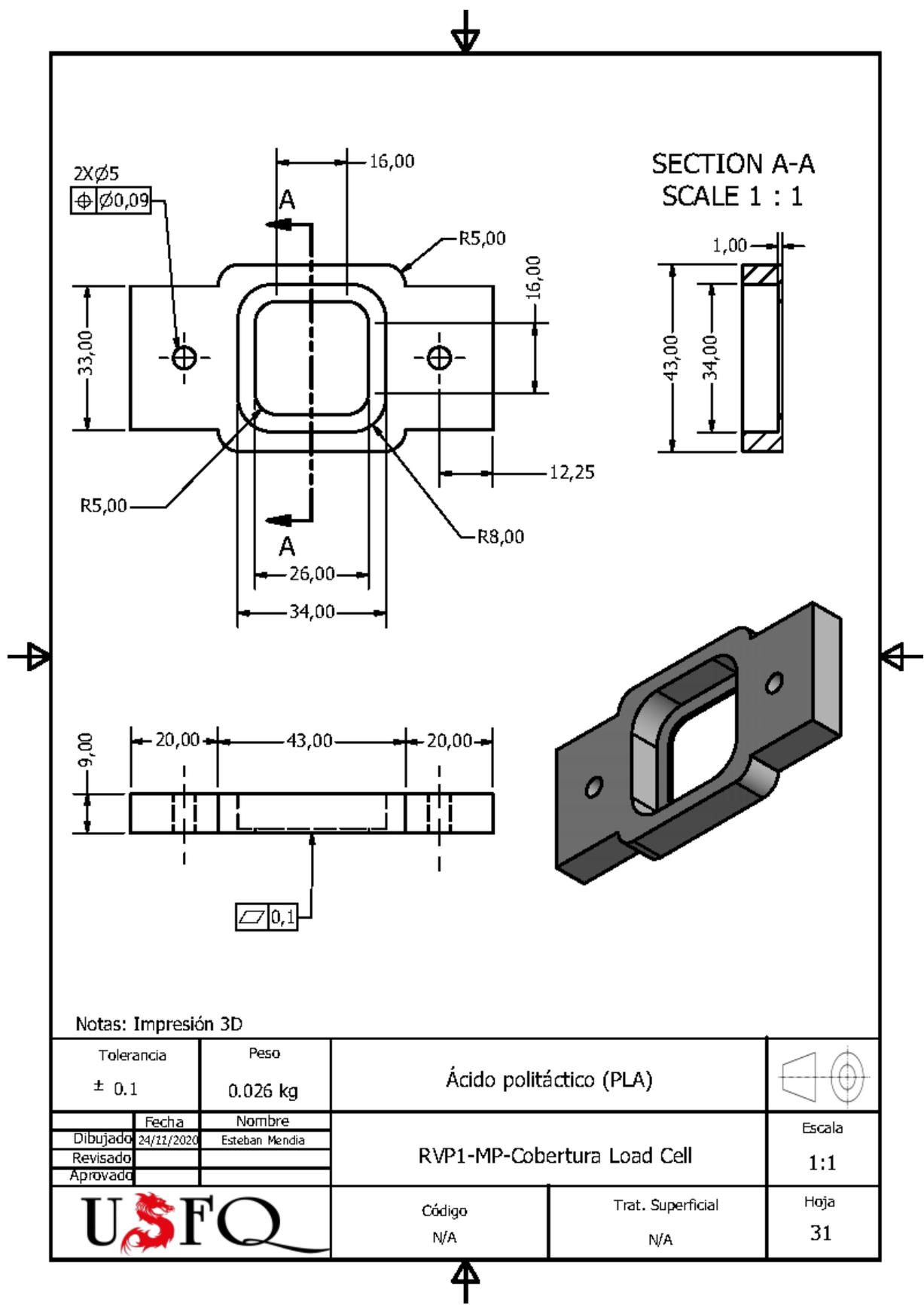


Tolerancia $\pm 0.1$	Peso 0.15 kg	Aluminio 6061	
Dibujado	Fecha 24/11/2020	Nombre Alejandro González	Escala 1:4
Revisado			
Aprobado			
		Código N/A	Trat. Superficial N/A
			Hoja 29



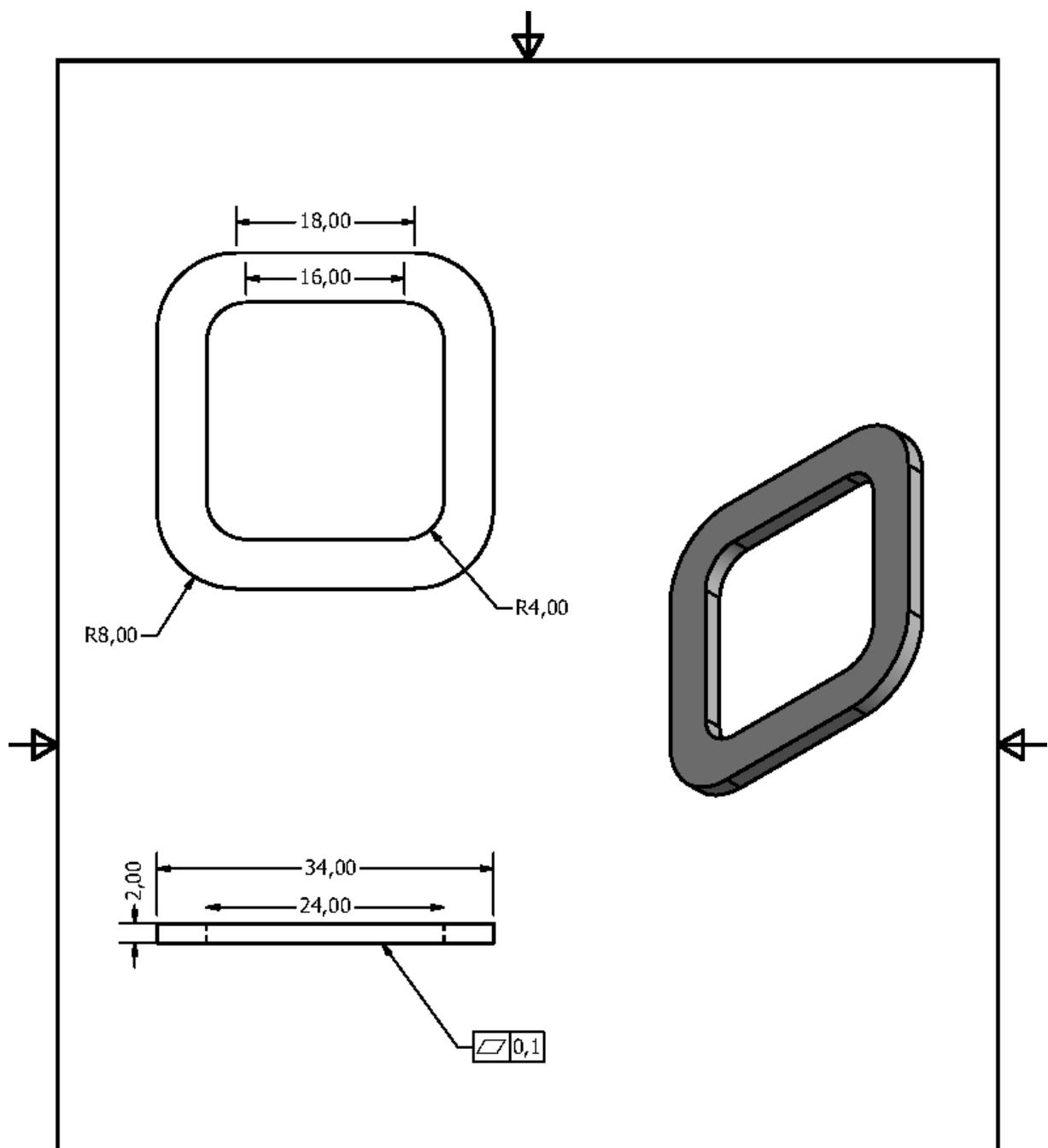
Tolerancia $\pm 0.1$	Peso 0.525 kg	Aluminio 6061	
Fecha 23/11/20	Nombre Esteban Mendia	RVP1-MP-Placa de Conexión	Escala 1 : 3.5
Dibujado			
Revisado			
Aprobado		Código N/A	Trat. Superficial N/A
			Hoja 30





Notas: Impresión 3D

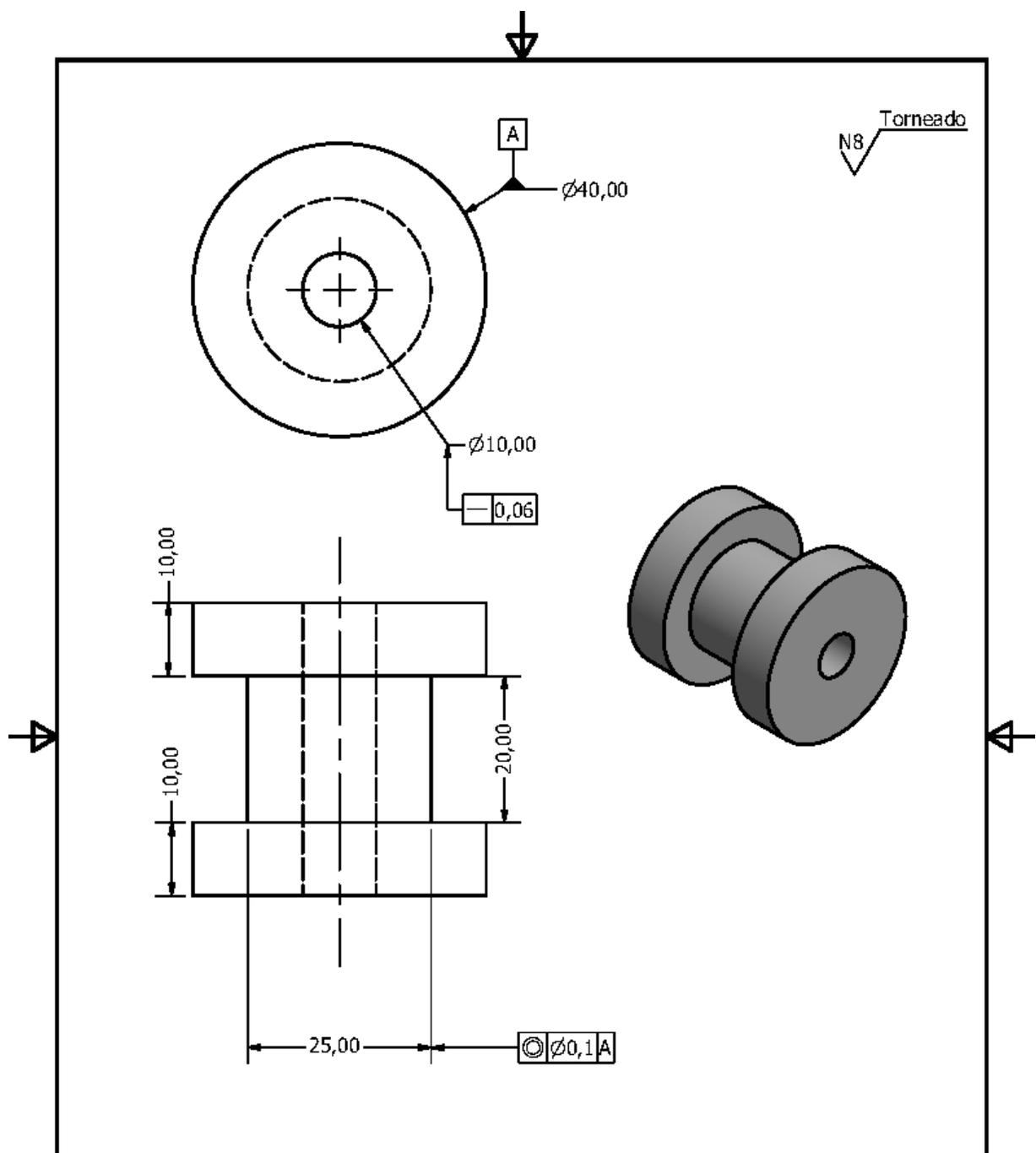
Tolerancia ± 0.1	Peso 0.026 kg	Ácido poliláctico (PLA)		
Dibujado	Fecha	Nombre		Escala
Revisado	24/11/2020	Esteban Mendia		1:1
Aprovado				
		Código N/A	Trat. Superficial N/A	Hoja 31



Notas: Impresión 3D

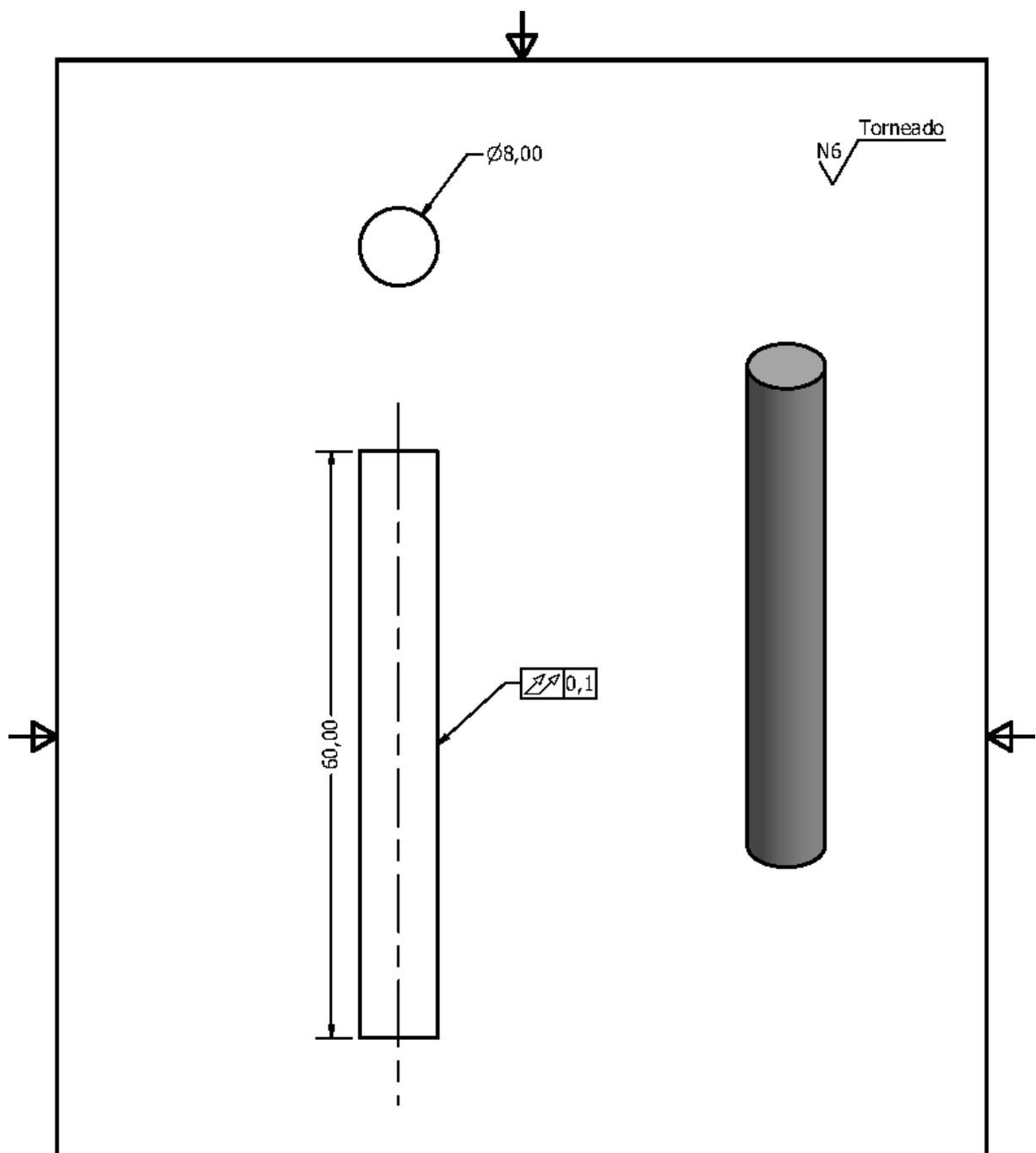
Tolerancia ± 0.1	Peso 0.001 kg	Aluminio 6061	
Dibujado	Fecha	Nombre	Escala
Revisado	24/11/2020	Esteban Mendia	2:1
Aprovado			
		Código N/A	Trat. Superficial N/A
			Hoja 32





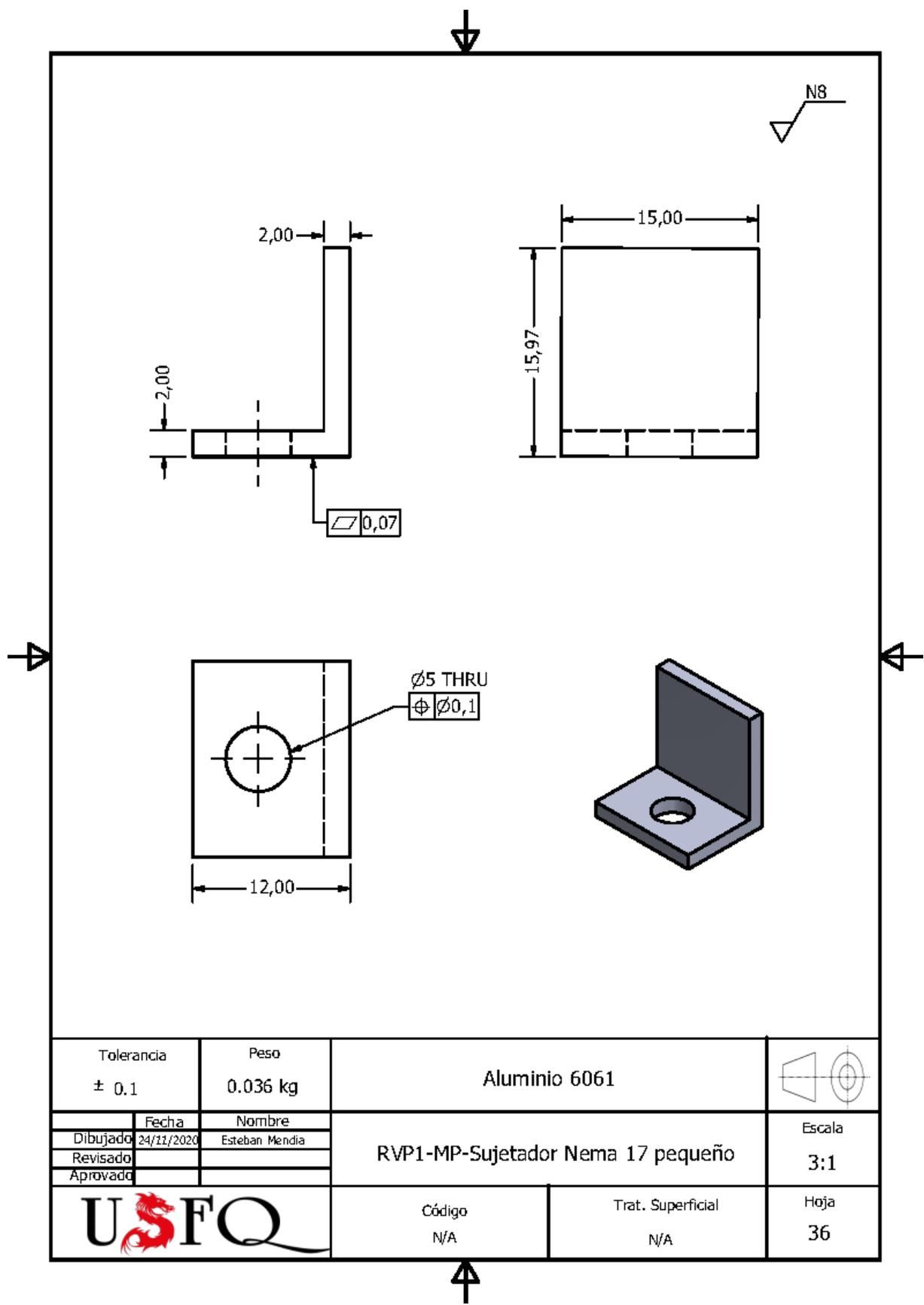
Tolerancia $\pm 0.1$	Peso 0.085 kg	Aluminio 6061	
Dibujado	Fecha	RVP1-MP-Polea superior	Escala
Revisado	Nombre		1.5:1
Aprobado	Esteban Mendia		
		Código N/A	Trat. Superficial N/A
			Hoja 33





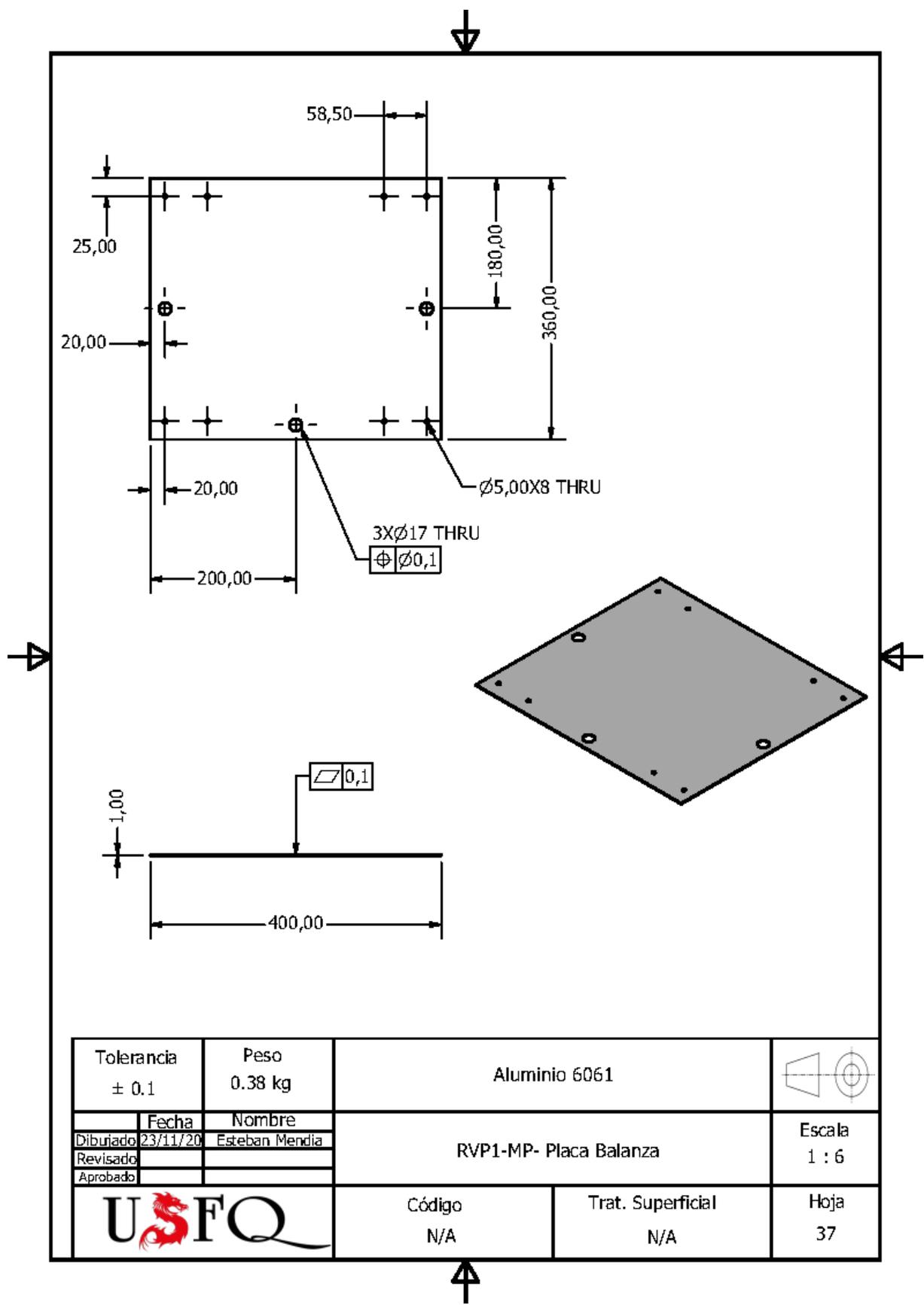
Tolerancia ± 0.1	Peso 0.42 kg	Aluminio 6061	
Fecha 24/11/2020	Nombre Esteban Mendia	RVP1-MP-Pasador Polea Superior	Escala 2:1
Dibujado			
Revisado			
Aprobado			
		Código N/A	Trat. Superficial N/A
			Hoja 35





Tolerancia ± 0.1	Peso 0.036 kg	Aluminio 6061	
Dibujado	Fecha	Nombre	Escala
Revisado	24/11/2020	Esteban Mendia	3:1
Aprovado			
		Código N/A	Trat. Superficial N/A
			Hoja 36





## APÉNDICE B: CÁLCULOS DETALLADOS

### Cálculo del Torque para el Sistema Principal de Movimiento

Para determinar el torque requerido por el motor para poder desplazar el vehículo sin problema alguno, la guía técnica *Tank Theory* (U.S. Army Tank-Automotive Command, 1968) nos explica cómo conseguir el valor de este torque en base a una serie de cálculos en los que intervienen varios parámetros como se explica a continuación:

El torque requerido ( $M$ ) se puede expresar en función del esfuerzo de tracción ( $P_d$ ) expresada en [kgf] y del radio ( $r$ ) de la rueda motriz del vehículo:

$$P_d = \frac{M}{r} \quad (1)$$

$$M = P_d r \quad (2)$$

El esfuerzo de tracción ( $P_d$ ) viene determinado por la siguiente expresión, donde ( $N_e$ ) representa la potencia efectiva en [hp], ( $\eta$ ) la eficiencia mecánica del sistema de tracción y ( $v$ ) la velocidad lineal a la que se desplaza el vehículo en [km/h]

$$P_d = \frac{75 * 3.6 * N_e * \eta}{v} = \frac{270 * N_e * \eta}{v} \quad (3)$$

Realizando un diagrama de cuerpo libre podemos determinar las fuerzas que actúan sobre nuestro dispositivo para poder alcanzar una expresión que nos sea útil al obtener la fuerza efectiva que se aprovecha para desplazar nuestro vehículo.

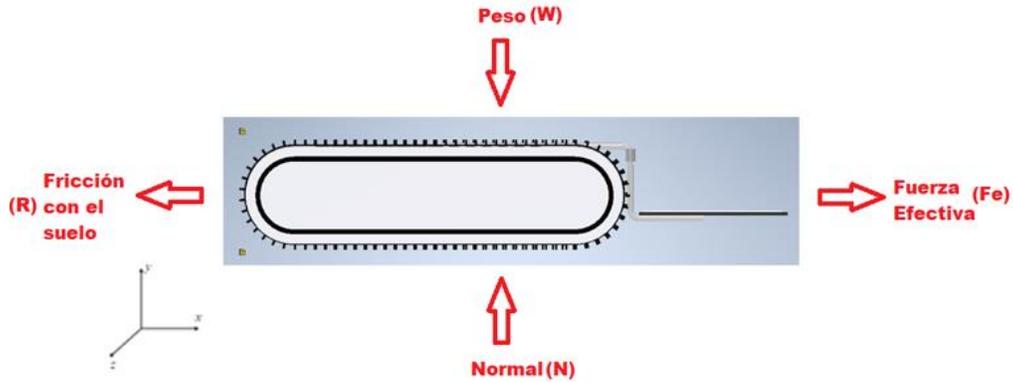


Figura 15. Diagrama de cuerpo libre para el vehículo

De tal manera que la sumatoria de fuerzas en los ejes vertical (y) y horizontal (x) queda de la siguiente manera:

$$\Sigma F_y = 0 \quad (4)$$

$$N - W = 0 \quad (5)$$

$$N = mg \quad (6)$$

$$\Sigma F_x = ma \text{ (asumiendo velocidad constante)}$$

$$\Sigma F_x = 0 \quad (7)$$

$$F_e - R = 0 \quad (8)$$

$$F_e = R = \mu N = \mu mg \quad (9)$$

La velocidad lineal utilizada para este cálculo se tomó teniendo en cuenta que este factor es clave para determinar la distancia de interacción entre las aves de corral y el robot, de tal manera que se debe considerar un parámetro que interfiera lo menos posible en el comportamiento de los pollos y puedan crecer y engordar de forma óptima, por lo que en base al estudio publicado por

(Parajuli et al., 2018) podemos ver en la siguiente gráfica que la velocidad lineal, así como la edad de las aves tienen influencia en esta distancia.

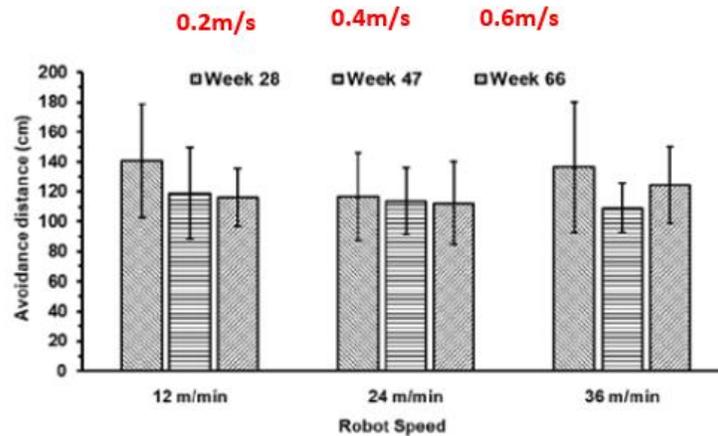


Figura 16. Gráfica comparativa entre distancia de interacción y velocidad del robot (Parajuli et al., 2018)

De tal manera que se escogió para esta iteración la velocidad intermedia del gráfico para reducir la distancia entre los pollos y el robot.

$$v = 0.40 \frac{m}{s} = 1.44 \frac{km}{h}$$

$$N_e(\text{effective power}) = F_e v \quad (10)$$

$$F_e(\text{effective force}) = \mu mg \quad (11)$$

Ahora para poder determinar el coeficiente de fricción del suelo, se recurrió al estudio *Effect of moisture content on rubber, steel and tetrafluoroethylene materials sliding on textured soils* (Manuwa, 2012), para poder establecer un valor aproximado que pueda aplicarse a nuestro caso:

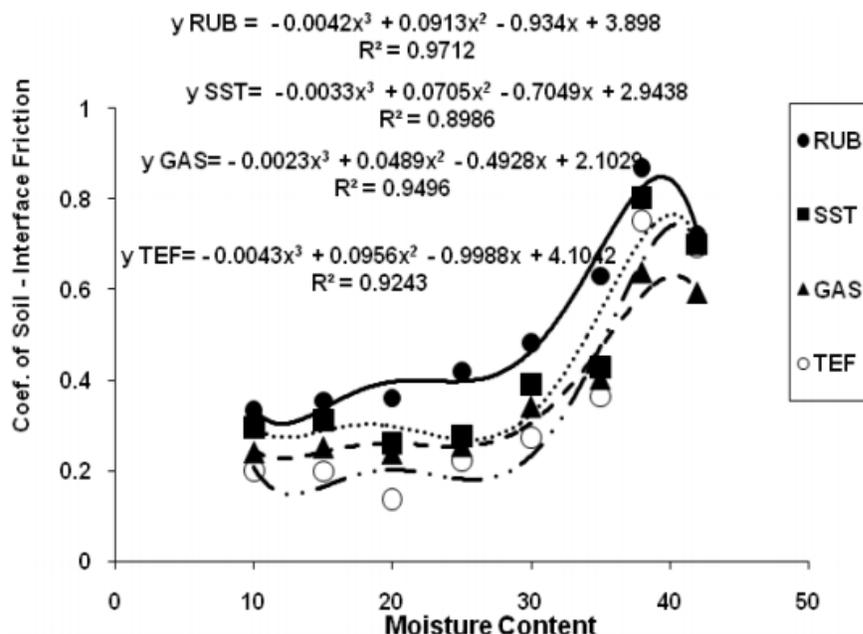


Figura 17. Gráfica comparativa entre el coeficiente de fricción y el contenido de humedad del suelo (Manuwa, 2012)

Utilizando la ilustración 3 y asumiendo una humedad del 20% en el suelo, debido a que el suelo que se tendrá en el galpón es arcilloso, y que el material de la banda del robot es de caucho, tenemos un coeficiente de fricción ( $\mu$ ) con un valor aproximado de 0.4

Ahora, tenemos dos casos importantes a considerar para la determinación del torque. Debido a que es un sistema modular se toma en cuenta un caso con un peso mínimo y un peso máximo, de 50 y 80 kg respectivamente.

Tabla 9. Datos correspondientes al moisture content

Moisture Content	Coeficiente de fricción	Masa [kg]
20 %	0.4	50
20 %	0.4	80

$$F_{e(m=50\text{ kg})} = (0.4)(50)(9.81) = 196.2 \text{ [N]}$$

$$F_{e(m=80\text{ kg})} = (0.4)(80)(9.81) = 313.92 \text{ [N]}$$

$$N_{e(m=50\text{ kg})} = 78.48 \text{ [W]} = 0.105 \text{ [hp]}$$

$$N_{e(m=80\text{ kg})} = 125.568 \text{ [W]} = 0.168 \text{ [hp]}$$

Con el valor de la potencia efectiva determinado es necesario calcular la eficiencia del sistema, la cual se puede expresar como:

$$\eta = \frac{N_e - N_\eta}{N_e} \quad (12)$$

Donde  $N_\eta$  representa las pérdidas energéticas en el elemento de fuerza.

La misma expresión se puede escribir como el producto de las eficiencias de cada componente mecánico del sistema motriz que está conectado en serie:

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \dots \eta_n \quad (13)$$

Estas partes pueden ser engranajes rectos, engranajes cónicos, engranajes helicoidales o la banda del vehículo. En el caso de nuestro vehículo únicamente consideramos la banda y un engranaje recto para la transmisión. Tomando en cuenta además en consideración los valores que se proponen en la Tabla 1, usando el valor mínimo de cada rango pensando en que en un escenario real lo más probable es encontrar la menor eficiencia posible, alejándonos de lo meramente ideal.

Tabla 10: Eficiencias de los componentes mecánicos de un sistema de orugas (U.S. Army Tank-Automotive Command, 1968)

<u>Efficiencies of Tank-Power Plant Parts</u>	
<u>Name of the Components</u>	<u>Efficiency</u>
Spur Gears	0.97 - 0.95
Bevel Gears	0.95 - 0.93
Worm Gears	0.91 - 0.85
Track	0.90 - 0.75

Así mismo la eficiencia de la banda depende también de la velocidad lineal:

Tabla 11. Eficiencia de la banda del sistema de orugas en base a la velocidad de desplazamiento (U.S. Army Tank-Automotive Command, 1968)

<u>Efficiency of the Track (according to Karatschian)</u>	
<u>Traveling Speed in km/h</u>	<u>Efficiency</u>
0 - 5	0.95 - 0.90
5 - 10	0.90 - 0.85
10 - 20	0.80 - 0.75

$$\eta = \eta_{track}\eta_{spur} \quad (14)$$

$$\eta = (0.9)(0.95) = 0.855$$

Tomando en cuenta los valores determinados de potencia, velocidad y eficiencia, se obtiene la fuerza de la siguiente forma:

$$P_{d(m=50 \text{ kg})} = \frac{75 * 3.6 * N_e \eta}{v} = \frac{75 * 3.6 * (0.105)(0.855)}{1.4} = 17.313 \text{ [kgf]}$$

$$P_{d(m=80 \text{ kg})} = \frac{75 * 3.6 * N_e \eta}{v} = \frac{75 * 3.6 * (0.168)(0.855)}{1.4} = 27.702 \text{ [kgf]}$$

Se consideró un valor de 7.5 cm de radio para la rueda motriz de la oruga, tomando en cuenta la altura de la estructura del robot.

$$r = 7.5 \text{ [cm]}$$

El momento analizado se multiplica por dos ya que en el diseño se tendrá dos motores, uno para cada sistema de oruga, por lo que:

$$2M = P_{d(m=50 \text{ kg})} r = (17.313)(0.075) = 1.298 \text{ [kgf - m]}$$

$$M_{(m=50 \text{ kg})} = 0.649 \text{ [kgf - m]}$$

$$\mathbf{M}_{(m=50 \text{ kg})} = \mathbf{6.365} \text{ [N - m]}$$

$$2M = P_d r = (27.702)(0.075) = 2.077 \text{ [kgf - m]}$$

$$M_{(m=80 \text{ kg})} = 1.038 \text{ [kgf - m]}$$

$$\mathbf{M}_{(m=80 \text{ kg})} = \mathbf{10.179} \text{ [N - m]}$$

### **Diseño del sistema de suspensión para la oruga**

Para el diseño de este sistema es necesario considerar factores geométricos de los componentes que conforman la oruga, de tal manera que se puede determinar el número de ruedas de soporte que va a necesitar cada oruga y demás características del sistema de suspensión.

Primeramente, hay que tener en consideración las fuerzas a las que se ve sometida una oruga, ubicadas en los siguientes diagramas para cada rueda de soporte.

Para una rueda de soporte intermedia, básicamente tenemos fuerzas de reacción entre la rueda y la banda ( $Q_i'$ ), entre la rueda y el eje de soporte ( $N_i'$ ), fricción entre rueda y banda ( $fQ_i'$ ) y una fuerza cortante entre eje y rueda ( $P_i'$ )

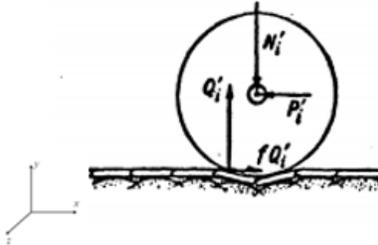


Figura 18. Diagrama de cuerpo libre para una rueda intermedia (U.S. Army Tank-Automotive Command,1968)

En el caso de las ruedas de soporte iniciales y finales tenemos además presente la tensión en la banda ( $P'$ ) como se muestra en la figura.

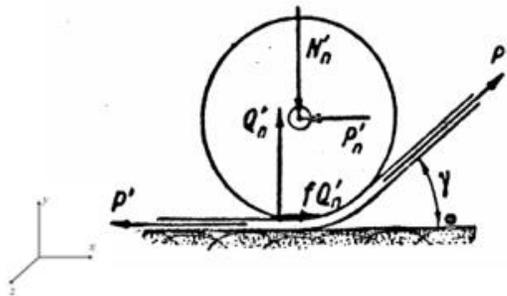


Figura 19. Diagrama de cuerpo libre para una rueda inicial o final (U.S. Army Tank-Automotive Command,1968)

En el caso de una rueda final de la sucesión de ruedas de soporte hay que tomar en cuenta la presencia de un ángulo ( $\gamma$ ) entre la banda y el suelo como se observa en la figura, el cual es importante considerar al momento de determinar el número de ruedas de soporte que se utilizarán

en nuestro sistema. Así mismo, podemos establecer un diagrama general para la interacción entre las fuerzas en la oruga.

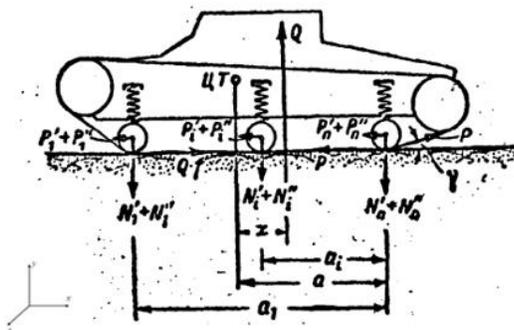


Figura 20. Vista lateral del diagrama de cuerpo libre para un vehículo de orugas (U.S. Army Tank-Automotive Command, 1968)

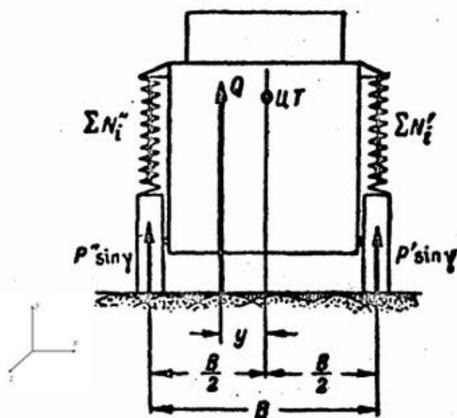


Figura 21. Vista frontal del diagrama de cuerpo libre para un vehículo de orugas (U.S. Army Tank-Automotive Command, 1968)

Así mismo hay que considerar una fuerza de reacción resultante  $Q$  producto de las contribuciones de todas las ruedas de soporte, que, a su vez, debido a la distribución no uniforme

de masa en el vehículo tendrá un desplazamiento tanto  $x$  como en  $y$  con respecto al centro de masa de este.

Para el diseño de la suspensión del robot es necesario considerar las condiciones a las que va a operar el vehículo, de tal manera que es importante determinar como el vehículo va a modificar su posición dependiendo del terreno, de esta forma hay que considerar la inclinación del robot en cada uno de los ejes ( $x,y,z$ ) para calcular de manera apropiada el resto de parámetros del sistema de amortiguamiento.

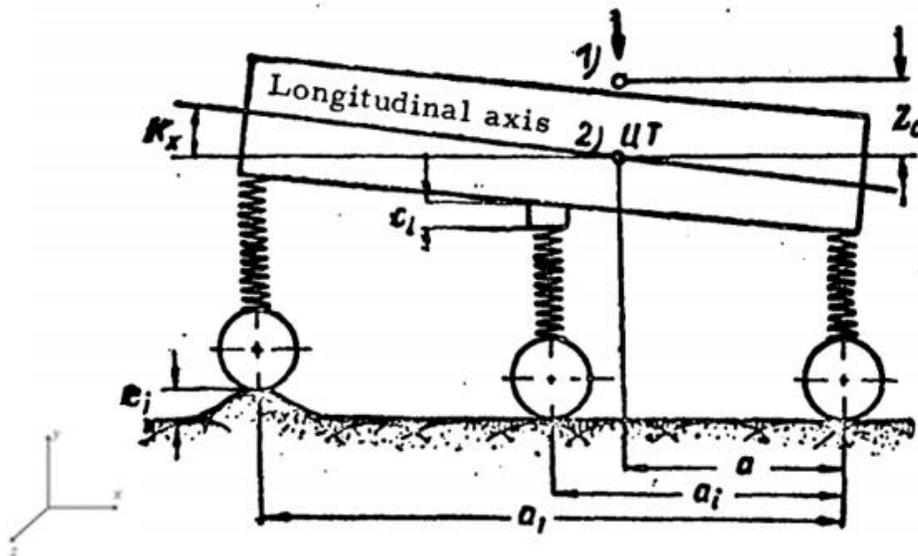


Figura 22. Vista lateral del desplazamiento del centro de masa del vehículo (U.S. Army Tank-Automotive Command, 1968)

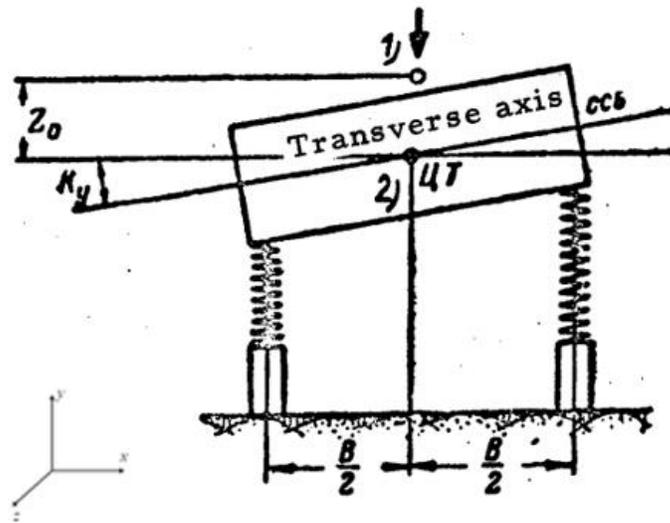


Figura 23. Vista frontal del desplazamiento del centro de masa del vehículo (U.S. Army Tank-Automotive Command, 1968)

Tomando en cuenta estas consideraciones, se puede determinar el número de ruedas de soporte que necesitará el sistema de suspensión de oruga.

$$f = \mu \text{ (coeficiente de fricción del suelo)} \quad (15)$$

$$(16)$$

$$h = k_{\text{resorte}}$$

Partiendo de la siguiente ecuación propuesta por (U.S. Army Tank-Automotive Command, 1968), se puede despejar la variable que se desea encontrar tomando en cuenta ciertas suposiciones.

$$k_y = \frac{hB\Sigma(e_i' + e_i'') + 2Q_y(1 + f\sin(\gamma))}{hnB^2} \quad (17)$$

$$n = \frac{hB\Sigma(e_i' + e_i'') + 2Q_y(1 + f\sin(\gamma))}{hk_yB^2} \quad (18)$$

En la ecuación (18)  $n$  representa el número de ruedas de soporte,  $B$  representa la distancia entre los planos medios de las ruedas motrices de las orugas como se observa en la figura ,  $\Sigma(e_i' + e_i'')$  es la sumatoria de los desplazamientos individuales de cada una de las suspensiones del sistema de orugas en caso de haberlas,  $Q_y$  representa la fuerza de reacción total del robot,  $\gamma$  es el ángulo entre la banda y el suelo en la última rueda de soporte, y  $k_y$  es la desviación angular del vehículo en el eje y como se puede observar en la figura.

Para este caso, considerando que cada resorte de la suspensión va a estar instalado al mismo nivel que el resto, sin existir una diferencia entre sus posiciones, se puede asumir:

$$* \Sigma(e_i' + e_i'') = 0 \quad (19)$$

$$* hB\Sigma(e_i' + e_i'') = 0 \quad (20)$$

Debido a que en nuestro diseño se utilizó un ángulo para la última rueda de soporte estándar de  $45^\circ$ :

$$* \gamma = 45^\circ$$

Con lo que la expresión original se simplifica a:

$$n = \frac{2Q_y(1 + f \sin(\gamma))}{hk_y B^2} \quad (21)$$

Para los términos que se van a operar en esta ecuación, se utilizaron las siguientes suposiciones:

Debido a que desconocemos el valor de la fuerza de reacción resultante con el suelo de todo el sistema, podemos asumir que esta será aproximada al valor del peso del sistema:

$$* Q_y \approx 80 [kgf]$$

$$* f = 0.4$$

La inclinación del sistema en la dirección y puede ser despreciable, acercándose a cero, pero tomando un valor que no permita la anulación matemática de términos:

$$* k_y \approx 0.0001$$

El valor de B se tomó como parte del diseño propuesto:

$$* B = 60.5 [cm]$$

Para poder determinar la rigidez de los resortes que se utilizarán en la suspensión se puede utilizar la relación de Castigliano, propuesta en el libro Shigley's Mechanical Engineering Design (Budynas, 2011), a través del siguiente método:

$$* h_p = \frac{d^4 G}{8D^3 N} = \frac{(0.006 [m])^4 (79e09 [Pa])}{8(0.015[m])^3 (10)} = 3.79e05 \left[ \frac{N}{m} \right] = 386.676 \left[ \frac{kgf}{cm} \right] \quad (22)$$

\*N representa el número de espiras activas, G representa el módulo de cizalladura (en este caso se utilizó para un acero inoxidable A-36), y el resto de los parámetros se pueden encontrar en la siguiente figura:

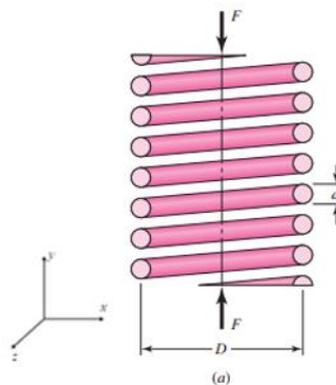


Figura 24. diagrama de dimensiones para un resorte helicoidal (Budynas, 2011)

Debido a que la geometría del diseño que propone la literatura para el diseño de tanques de guerra es diferente a un caso sencillo de resorte con masa es necesario aplicar un factor geométrico para obtener la verdadera rigidez de los resortes:

$$* h = h_p \frac{a^2}{b^2} \quad (23)$$

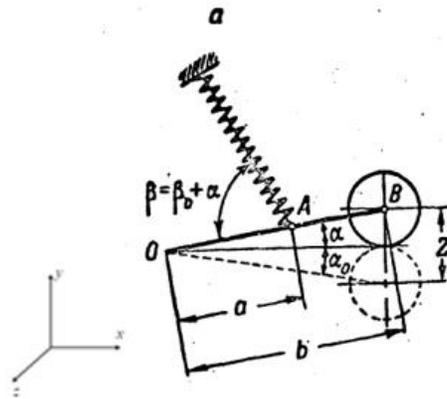


Figura 25. Distribución geométrica de la suspensión de una rueda de soporte (U.S. Army Tank-Automotive Command, 1968)

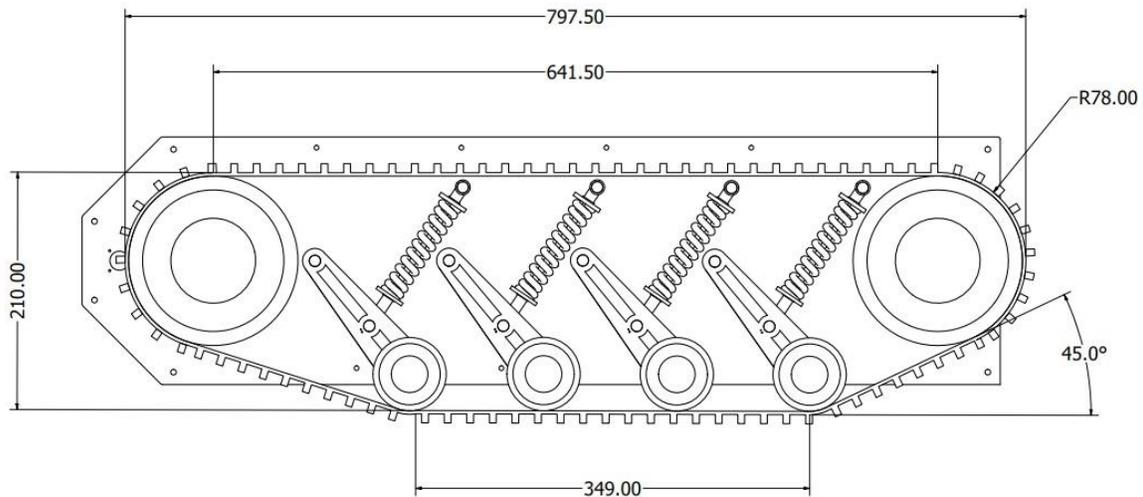
$$* h = (298.36) \frac{(7.5)^2}{(13.05)^2} = 127.57 \left[ \frac{kgf}{cm} \right]$$

De esta forma reemplazando los valores previamente obtenidos se puede determinar el número de ruedas de soporte que necesita la oruga:

$$n = \frac{2(80)(1 + 0.4 \sin(45))}{(127.57)(0.0001)(60.5)^2}$$

$$n = 4.39 \Rightarrow n = 4$$

Con este parámetro podemos establecer una visión preliminar de como iría distribuido el sistema de la suspensión para nuestro diseño:



*Figura 26. Esquema de la distribución del sistema de suspensión*

## **Cálculos en el Módulo de Pesaje**

### **Análisis de Estructura de Soporte**

El diseño que se realizó finalmente para poder tener una balanza regulable en altura simula los montacargas manuales que se venden comercialmente, ya que el sistema que se utilizará será usando un sencillo sistema de poleas como se observa en las siguientes imágenes:

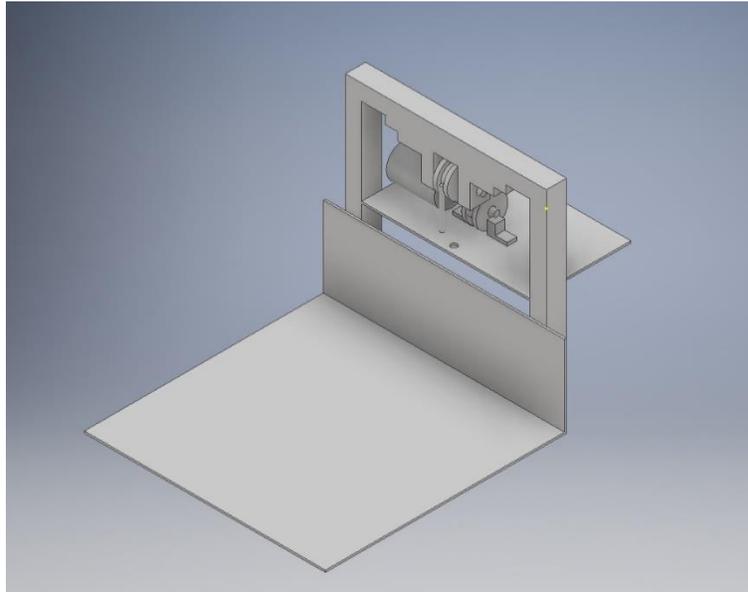


*Figura 27. Montacarga de mano de la marca Vestil ALLW-2020-FW. (Amazon, 2020)*

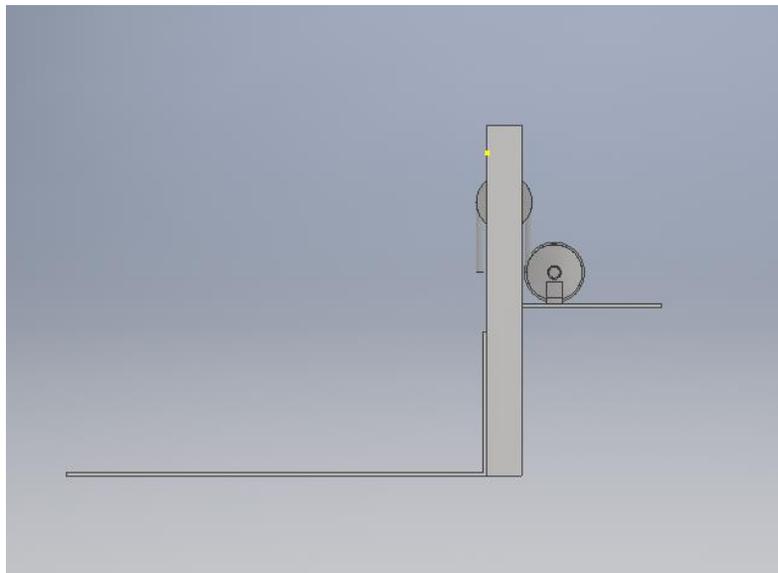


*Figura 28. Montacarga de mano de la marca Vestil ALLW-2020-FW. (Amazon, 2020)*

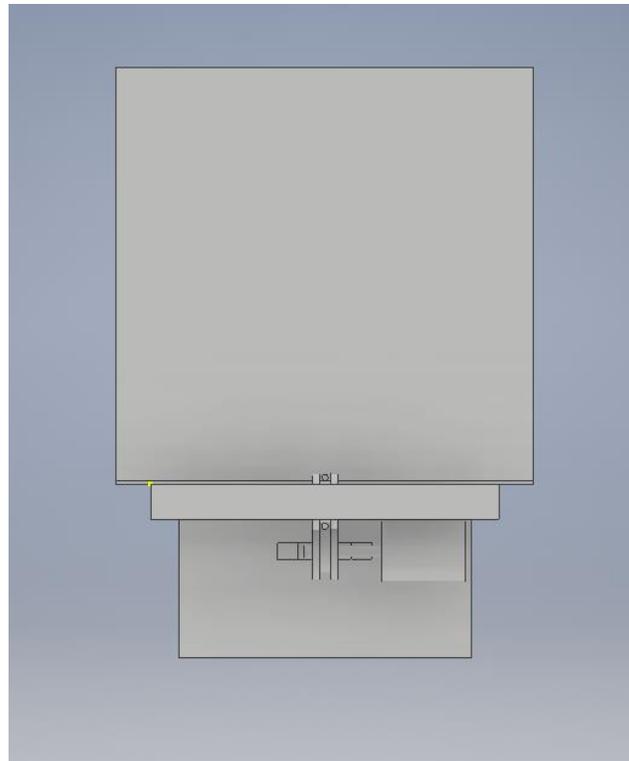
En inventor se realizó el siguiente CAD:



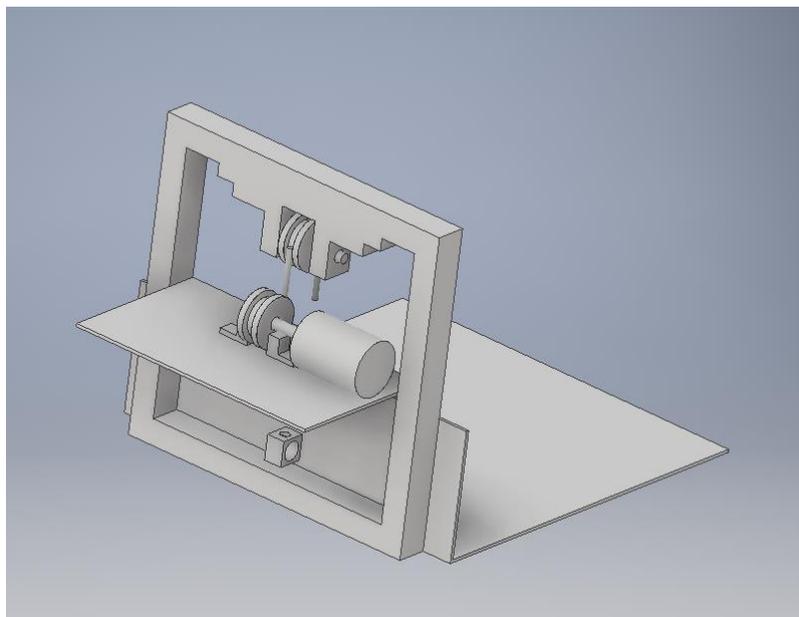
*Figura 29. Vista isométrica de la balanza tipo montacarga*



*Figura 30. Vista lateral del sistema de balanza tipo montacarga*

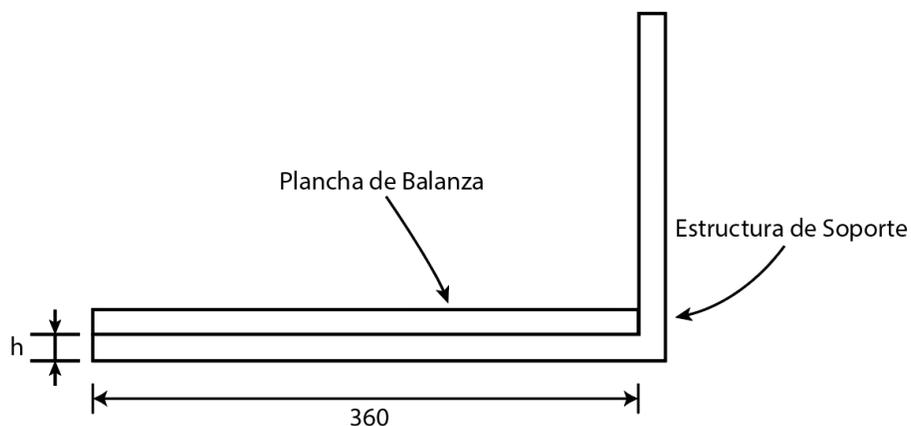


*Figura 31. Vista superior del sistema de balanza tipo montacarga.*

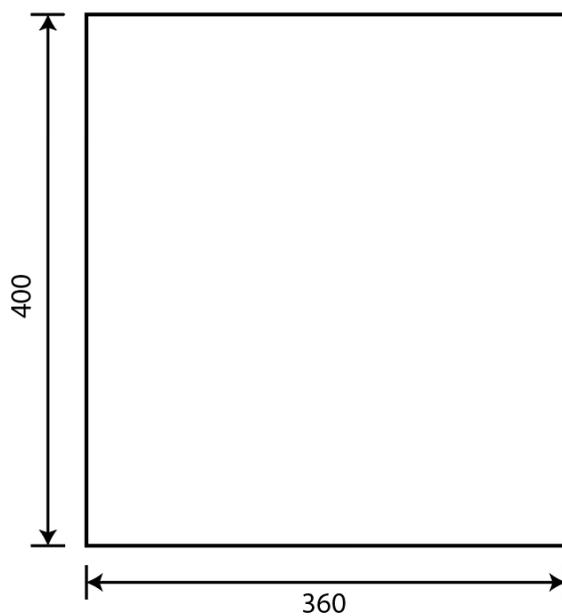


*Figura 32. Vista complementaria del sistema de balanza tipo montacarga.*

Uno de los cálculos que se debe realizar es determinar a la altura de la plancha base de la estructura de soporte, ya que esta será la que soporte el sistema de balanza y el peso de los pollos cuando estos suban. De manera general el esquema de la estructura de soporte y la plancha de la balanza sería el siguiente:

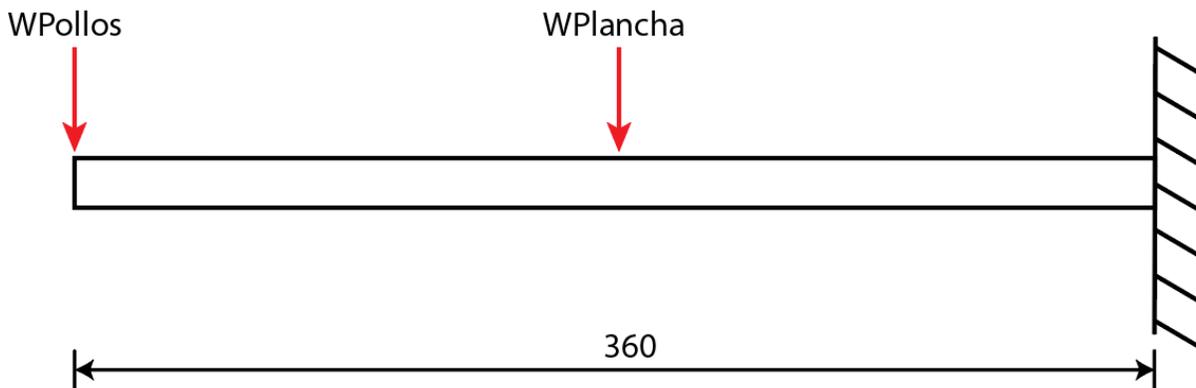


*Figura 33. Vista lateral del esquema de la balanza*



*Figura 34. Vista superior con las dimensiones de la balanza*

Para encontrar el valor de  $h$ , se considerará el caso extremo, en el que 4 pollos de 1.8 kg cada uno se suban a la balanza y generan un momento en el extremo de la estructura de soporte debido a su peso. Los pollos cuentan con este peso en las etapas finales de su crecimiento, antes de su sacrificio (C.C.Lee et al, 2019). En la realidad los pollos tendrán su peso distribuido aleatoriamente sobre la estructura de soporte, pero para realizar un diseño conservativo se considerará su peso de manera puntual en el extremo del soporte. Así mismo se considerará que la plancha tiene un espesor de 1 mm, y es de aluminio 6061 T-6, ya que es uno de los más comerciales y de mayor resistencia. Esto se resume en el siguiente análisis:



*Figura 35. Aplicación de fuerzas sobre balanza de pollos*

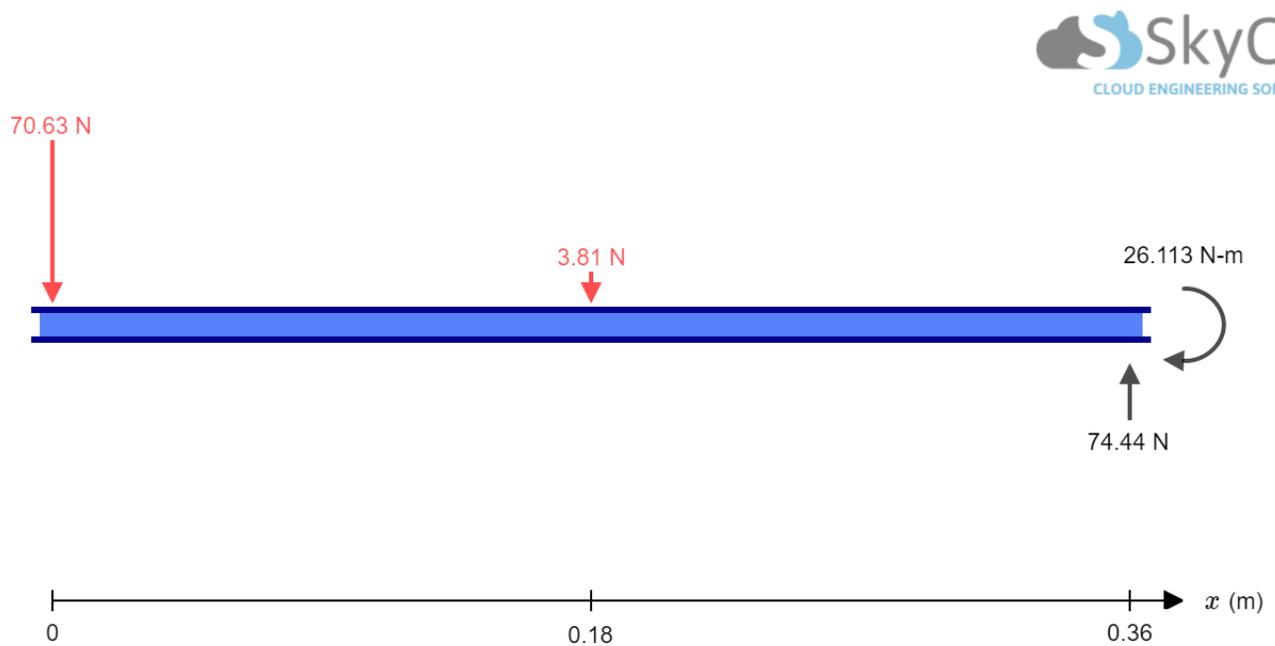
Se calculan los pesos de los elementos que ejercen fuerzas sobre la estructura:

$$W_{pollos} = (7.2 \text{ kg}) \left( 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 70.63 \text{ N}$$

Para determinar el peso del aluminio se considera su densidad de  $2700 \text{ Kg/m}^3$

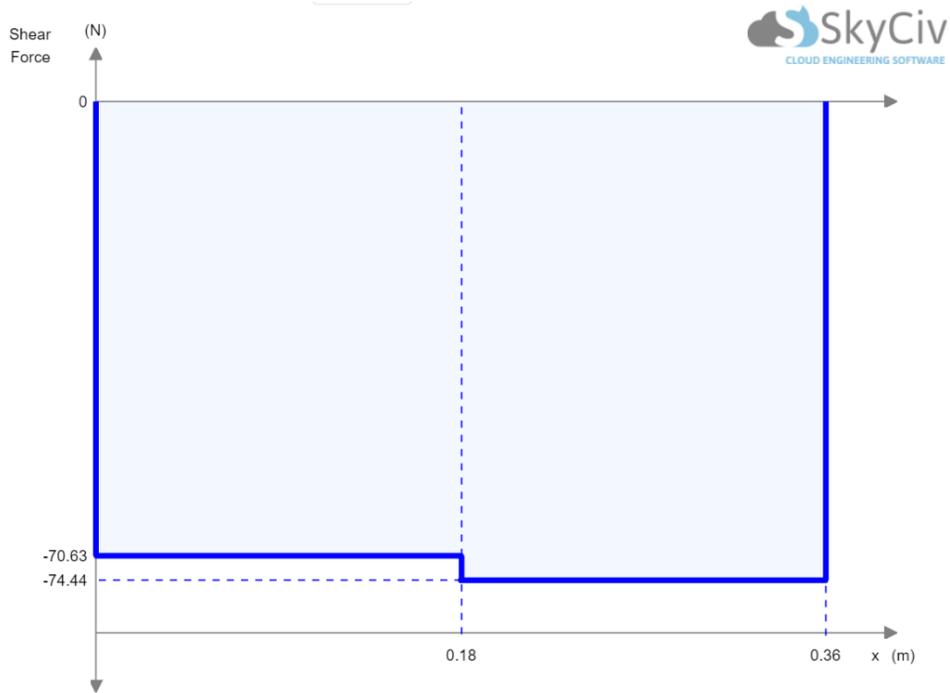
$$W_{plancha} = (0.36 \text{ m} \times 0.40 \text{ m} \times 0.001 \text{ m}) (2700 \text{ Kg/m}^3) \left( 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 3.81 \text{ N}$$

Para hallar el momento máximo que sufre la plancha es necesario realizar un análisis de diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores. Esto puede realizarse mediante un software ya que el cálculo es muy sencillo, y para este caso se utilizó la página “Sky Civ Free Online Beam Calculator”. Los diagramas y las soluciones que se plantean en la calculadora son los siguientes:

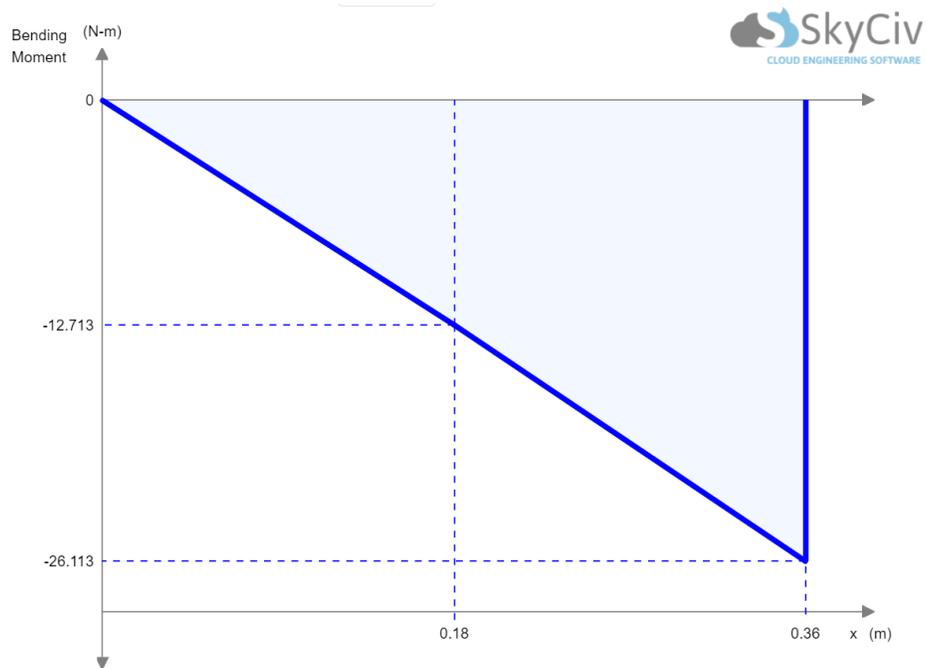


*Figura 36. Diagrama de aplicación de fuerzas en el programa*

Sus respectivos diagramas de fuerza cortante y momento flector son los siguientes:



*Figura 37. Diagrama de fuerza cortante*



*Figura 38. Diagrama de momento flector*

Se puede observar en la figura anterior que el momento máximo es en el extremo de la plancha opuesta a la posición en la que se encuentran las cargas, con un valor de 26.113 Nm.

Ahora se calcula los esfuerzos de flexión generado con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (24)$$

El momento de inercia para un rectángulo es:

$$I = \frac{1}{12}bh^3 \quad (25)$$

Además, la distancia con respecto al plano neutro es de:

$$c = \frac{h}{2} \quad (26)$$

Se reemplaza y se obtiene

$$\sigma_{Total} = \frac{(26.113 \text{ Nm}) \left(\frac{h}{2}\right)}{\frac{1}{12} (0.4 \text{ m})h^3}$$

Ya que esta estructura de soporte debe ser levantada por el sistema de poleas que se mostró anteriormente, es preferible que tenga el menor peso posible para que el motor que lo levante ejerza el menor trabajo posible. Para ello a la estructura de soporte también se considerará de aluminio 6061-T6, que tiene un esfuerzo de cedencia de  $\sigma_y = 240 \text{ MPa}$  (Beer, Johnston, DeWolf, & Mazurek, 2015). También se considerará para este análisis un factor de seguridad de 3, ya que el módulo de balanza es el que más se usará y tendrá que operar durante varias horas todos los días. Por lo tanto, el esfuerzo total máximo que tendría que soportar la estructura es de:

$$\sigma_{Total} = \frac{\sigma_y}{FS} = \frac{240 \text{ MPa}}{3} = 80 \text{ MPa} \quad (27)$$

La ecuación final para resolver sería:

$$80 \text{ MPa} = \frac{(26.113 \text{ Nm}) \left(\frac{h}{2}\right)}{\frac{1}{12} (0.4 \text{ m}) h^3}$$

Resolviendo para  $h$  se obtiene un valor de:

$$h = 2.21 \text{ mm}$$

### Torque Necesario para levantar la Balanza

El análisis se resume en un diagrama de cuerpo libre, como se observa a continuación.

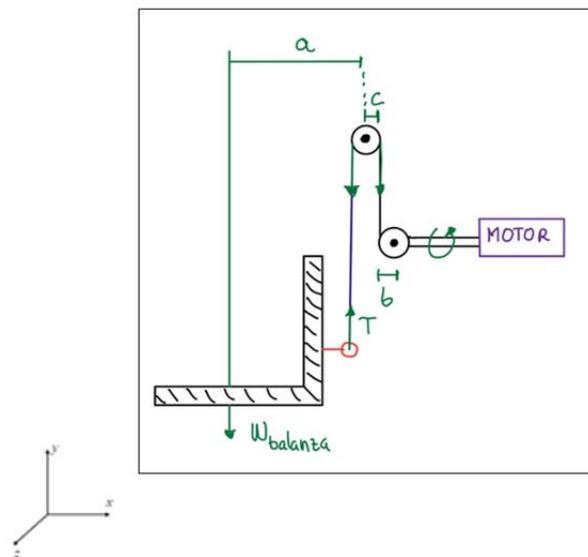


Figura 39. Diagrama DCL del sistema de balanza tipo montacarga.

Para simplificar el análisis no se considerará lo siguiente:

- Masa de poleas
- Masa de cuerda
- Rozamiento entre cuerda y polea

- Rozamiento de los rodamientos de los sistemas de rieles

Considerando que el sistema de poleas se moverá a velocidad constante, la sumatoria de fuerzas da el siguiente resultado.

$$\sum F_y = 0 \quad (28)$$

$$W_{plancha} + W_{estructura} - Tension = 0 \quad (29)$$

$$Tension = W_{plancha} + W_{estructura} \quad (30)$$

La masa de la estructura se encuentra formado por dos rectángulos en volumen, multiplicando por la densidad del aluminio.

$$Vol_{estructura} = (0.360 + 0.0021 \text{ m})(0.0021 \text{ m})(0.4 \text{ m}) + (0.1 \text{ m})(0.0021 \text{ m})(0.4 \text{ m})$$

$$Vol_{estructura} = 3.882 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m_{estructura} = Vol_{estructura} \times densidad \quad (31)$$

$$m_{estructura} = (3.882 \times 10^{-4} \text{ m}^3)(2700 \text{ Kg/m}^3) = 1.05 \text{ Kg}$$

Con ello, la tensión será de:

$$Tension = 3.81 \text{ N} + (1.05 \text{ Kg}) \left( 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$Tension = 14.11 \text{ N}$$

Hay que considerar que el sistema se diseñará para regular la altura de la balanza cuando no haya pollos sobre esta. De esta manera, el motor que usará será menos potente lo que reduce el precio del sistema. El torque simplemente es multiplicar esta tensión calculada para el radio del eje conectado al cable. Para este caso se considera un radio de 1.5 cm, que dependerá del sistema

de poleas que se adquiriera, sin embargo, este valor es muy similar a lo que se puede encontrar. Por lo tanto:

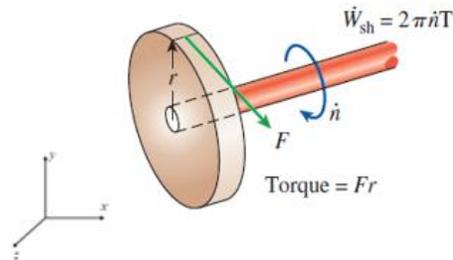


Figura 40. Torque y potencia del shaft.

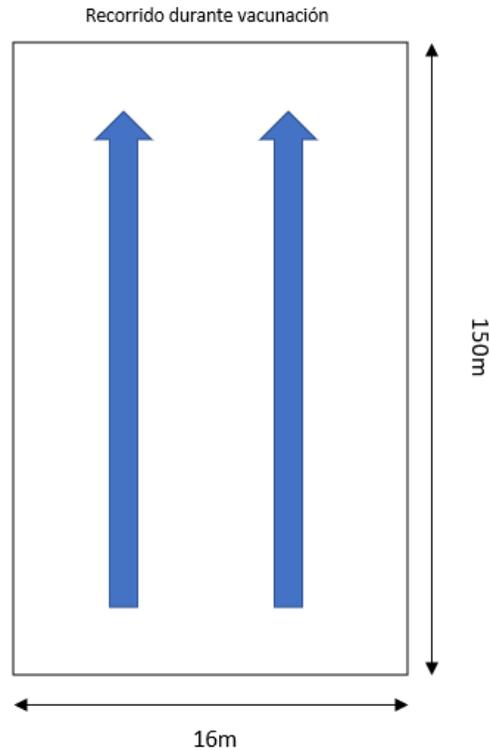
$$\sum T = 0 \quad (32)$$

$$\text{Torque} = \text{Tension} \times r \quad (33)$$

$$\text{Torque} = (14.11 \text{ N}) \times (0.015 \text{ m}) = 0.212 \text{ Nm}$$

### Selección de bomba en el módulo de vacunación.

Para los cálculos del módulo de vacunación se utilizó el software “EES”. Lo primero que se realizó es establecer el sistema de referencia, para poder determinar la altura a la que estarían los tanques, los cuales estarían a 0.424[m] y 0.012[m], después se plantearon los datos que se pudieron obtener del galpón donde habitan los pollos, siendo este de 150[m] de largo x 15[m] de ancho, conociendo estas dimensiones se calculó el tiempo que debería tomar el robot en vacunar las 20000 aves a una velocidad de 0,4[m/s] realizando un recorrido de 300[m] como se muestra en la ilustración 23 ya que requiere de dos pasadas, por la cantidad de medicamento que el robot puede cargar.



*Figura 41. Recorrido realizado por el robot durante vacunación.*

Utilizando esta información y mediante dos sistemas de aspersión sabemos que el caudal necesario de salida sería de 0.45[litros/min], este caudal es necesario para poder obtener un tamaño de gota con una boquilla TP11001 (Garcia, 2016). Después se utiliza la fórmula de la ecuación de la energía de Bernoulli para obtener una presión que necesitamos para que la bomba alcance a 3 [bar] en la boquilla, y una electroválvula solenoide para controlar el flujo de caudal en la boquilla, la cual se hizo en fases para poder ver las caídas de presión en cada punto del sistema.

$$H_p = \left( \frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + \left( \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \right) + (z_2 - z_1) + \frac{\left( f * \frac{L}{D} + \sum K \right) V^2}{2g} \quad (34)$$

Siendo K, la suma de los coeficientes de válvulas, empalmes y contracción repentina y gradual con un ángulo de contracción de 45 grados, beta es la relación entre diámetro de la boquilla

y diámetro de la manguera, asumiendo que el diámetro de la boquilla es 20% el diámetro de la manguera, además, siendo  $y_b$  igual a 2 y  $M$  igual a  $0.3(2y_b - 1)$ .

$$k_{boquilla} = \frac{\left(0.8 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)(1 - \beta^2)\right)}{\beta^4} \quad (35)$$

$$k_{run} = My_b^2 \quad (36)$$

$$k_{diafragma} = 39f_T \quad (37)$$

$$k_{branch} = G_g \left(1 + H\left(\frac{y_b}{\beta_b}\right)^2 - J\left(\frac{y_b}{\beta_b}\right)\cos(\alpha)\right) \quad (38)$$

Con un Alpha de 90 grados y siendo  $G_g = 1 + 0.3y_b^2$ , además para el k del diafragma se debe tomar en cuenta que el  $f_T$  es “Straight through” el cual es de:

$$f_T = 0.25 / \left(\frac{\log_{10}\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)}{3.7}\right)^2 \quad (39)$$

Como en nuestro módulo de vacunación se tienen 4 boquillas el caudal de salida total es de 1.8 [litros/min], el tanque de medicamento tiene capacidad de 10 [litros] para el caudal total, se conoce que el robot tardara en vacunar la mitad del galpón en 5.55 [min], teniendo un alcance de 133.2 [m], con un alcance a cada lado del robot de 3 [m], lo que es un tiempo apropiado para la vacunación, ya que si tomara más de 15 [min] el medicamento deja de ser efectivo en los pollos.

Se considero además que para que el medicamento tenga un ingreso intraocular apropiado se necesita que las boquillas estén por encima de las aves, a 70 [cm] del suelo

## Código de cálculo - EES

```

"Selección de Bomba de Vacunación"
"La tubería es plástico de 1/4 in std"
"El galpón tiene dimensiones de 144x16 [m]"
" Toda la información fue obtenida de la web y del libro de
Penoncello"
"Referencia en altura es base"
P_boquilla=4[bar]
P_1=P_boquilla
P_1=P_2
epsilon=0.00000425[m] "rugosidad de plástico"
D=0.00635 [m] "valor de inventar para 1/4, tubería es
constante en todo circuito"

"Calculo de caudal necesario, tiempo de uso y avance de
vehículo"
Q_boquilla=0.45 [L/min]
Q_bomba=Q_boquilla*4
Vol_tanque=10[L]
Q_bomba=Vol_tanque/tiempo_aspersion
vel_robot=0.4[m/s]
vel_robot*convert(m/s,m/min)=alcance/tiempo_aspersion

"Propiedades fluido"
f$='Steam_IAPWS' "Fluido es agua"
x_f=0 "Calidad 0 porque es líquido"
T_f=20[C] "Temperatura es ambiente"
rho=density(f$,T=T_f,x=x_f)
mu = viscosity(f$,T=T_f,x=x_f)

"Constantes"
g=9.81[m/s^2]
gamma=rho*g

"Sección 1-3"
Q_boquilla*convert(L/min,m^3/s)=vel_tub*A_tub
A_tub=(pi*D^2)/4
vel_tub=vel_3
vel_1=2.63[m/s]
L_tub13=0.930433 [m]
z_1=0.424 [m]
z_3=0.012[m]

"Fricción1-3"
Re=rho*vel_tub*D/mu

```

```

RR=epsilon/D
f=moodychart (Re,RR)

"Valvulas y fittings 1-3"
D_boquilla=0.0004 [m]
SUMK13=k_boquilla+k_run13
Beta_1=D/D_boquilla
thetha=45[deg] "Ver apendice de Penoncello, thetha es
angulo de estrechamiento de boquilla"
k_boquilla=(0.8*sin(thetha/2)*(1-Beta_1^2))/Beta_1^4
k_run13=M*y_b^2
y_b=2
Beta_b=1
M=0.3*(2*y_b -1)

"Ecuacion de energia"
(P_3r*convert(bar,kg/m-
s^2))/gamma+vel_3^2/(2*g)+z_3=(P_1*convert(bar,kg/m-
s^2))/gamma+vel_1^2/(2*g)+z_1+(f*(L_tub13/D)+SUMK13)*(vel_tub^2/
(2*g))
P_drop13=P_3r-P_1

"Seccion 2-3"
vel_2=vel_1
L_tub23=0.374035 [m]
z_1=z_2

"Friccion2-3"
"Igual al previo"

"Valvulas y fittings 2-3"
SUMK23=k_boquilla+k_branch23
k_branch23=G_g*(1+H*(y_b/Beta_b^2)^2-
J*(y_b/Beta_b^2)*cos(alpha))
alpha=90[deg]
G_g=1+0.3*y_b^2
H=0.3
J=0

"Ecuacion de energia"
(P_3b*convert(bar,kg/m-
s^2))/gamma+vel_3^2/(2*g)+z_3=(P_2*convert(bar,kg/m-
s^2))/gamma+vel_2^2/(2*g)+z_2+(f*(L_tub23/D)+SUMK23)*(vel_t
ub^2/(2*g))
P_drop23=P_3b-P_1

"Seccion 3-4"

```

```

vel_4=vel_tub34
Q_34=Q_boquilla*2
Q_34*convert(L/min,m^3/s)=vel_tub34*A_tub
L_tub34=0.168408 [m]
z_4=0.049 [m]
P_3=P_1+P_drop23+P_drop13

"Friccion3-4"
Re34=rho*vel_tub34*D/mu
f34=moodychart(Re34,RR)

"Valvulas y fittings 3-4"
SUMK34=k_branch34
k_branch34=k_branch23

"Ecuacion de energia"
(P_4b*convert(bar,kg/m-
s^2))/gamma+vel_4^2/(2*g)+z_4=(P_3*convert(bar,kg/m-
s^2))/gamma+vel_3^2/(2*g)+z_3+(f34*(L_tub34/D)+SUMK34)*(vel
_tub34^2/(2*g))
P_drop34=P_4b-P_3
P_4=P_1+2*(P_drop23+P_drop13+P_drop34)

"Seccion 4-5"
Q_45=Q_bomba
Q_45*convert(L/min,m^3/s)=vel_tub45*A_tub
L_tub45=0.0161275 [m]
z_5=0.195[m]

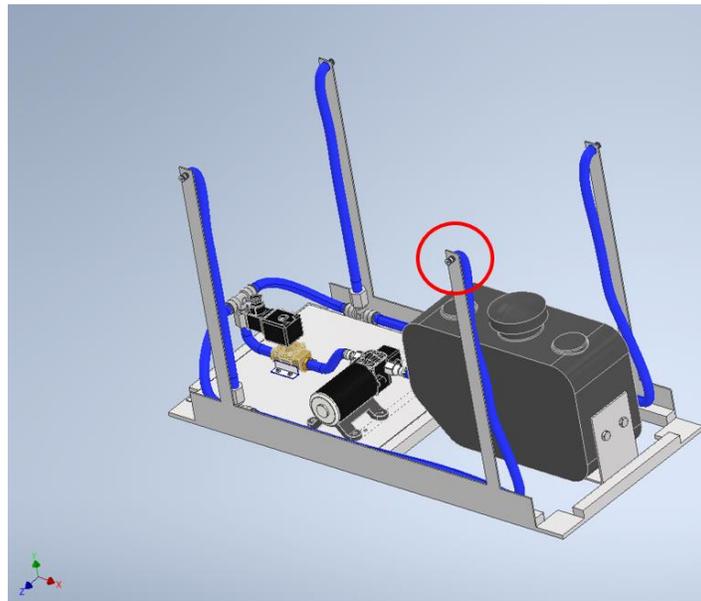
"Friccion4-5"
Re45=rho*vel_tub45*D/mu
f45=moodychart(Re45,RR)

"Valvulas y fittings 4-5"
SUMK45=k_ent+k_diafragma
k_ent=0.78
k_diafragma=39*f_T "staright throguh"
f_T=0.25/(LOG10(epsilon/D)/3.7)^2

"Ecuacion de energia"
P_5=1.01 [bar] "atmosfera"
(P_5*convert(bar,kg/m-
s^2))/gamma+z_5+H_p=(P_4*convert(bar,kg/m-
s^2))/gamma+vel_4^2/(2*g)+z_4+(f45*(L_tub45/D)+SUMK45)*(vel
_tub45^2/(2*g))
P_bomba=gamma*H_p*convert(kg/m-s^2,bar)
P_droptotal=2*(P_drop23+P_drop13+P_drop34)

```

Se tomo la distancia total de las mangueras de plástico con coeficiente de rugosidad obtenido de (Engineering ToolBox, 2003), para que sea el caso más crítico de caída de presión de la bomba, el cual es el de la boquilla señalada en la ilustración 25. Otra suposición que se realizó es que la aspersión se realiza cuando el robot alcanza velocidad constante de 0.4[m/s]. También se consideró como primera iteración que las propiedades del fluido que se utiliza en la vacunación son muy similares a las del agua, ya que se utiliza medicamento diluido al 10%.



*Figura 42. Referencia máxima distancia a la que trabajará la bomba en módulo de vacunación.*

Utilizando esos datos se obtuvieron los siguientes resultados:

**Unit Settings: SI C bar kJ mass deg**

alcance = 133.3 [m]	$\alpha = 90$ [deg]	$A_{tub} = 0.00003167$ [m <sup>2</sup> ]	$\beta_1 = 15.88$
$\beta_b = 1$	$D = 0.00635$ [m]	$D_{boquilla} = 0.0004$ [m]	$\varepsilon = 0.00000425$ [m]
$f = 0.04271$	$f\$ = 'Steam\_IAPWS'$	$f_{34} = 0.04345$	$f_{45} = 0.03679$
$f_T = 0.3396$	$g = 9.81$ [m/s <sup>2</sup> ]	$\gamma = 9792$ [kg/m <sup>2</sup> -s <sup>2</sup> ]	$G_g = 2.2$
$H = 0.3$	$H_p = 34.24$ [m]	$J = 0$	$k_{boquilla} = -0.00121$
$k_{branch23} = 4.84$	$k_{branch34} = 4.84$	$k_{diafragma} = 13.25$	$K_{ent} = 0.78$
$k_{run13} = 3.6$	$L_{tub13} = 0.9304$ [m]	$L_{tub23} = 0.374$ [m]	$L_{tub34} = 0.1684$ [m]
$L_{tub45} = 0.01613$ [m]	$M = 0.9$	$\mu = 0.001002$ [kg/m-s]	$P_1 = 4$ [bar]
$P_2 = 4$ [bar]	$P_3 = 4.154$ [bar]	$P_{3b} = 4.077$ [bar]	$P_{3r} = 4.077$ [bar]
$P_4 = 4.312$ [bar]	$P_{4b} = 4.156$ [bar]	$P_5 = 1.01$ [bar]	$P_{bomba} = 3.353$ [bar]
$P_{boquilla} = 4$ [bar]	$P_{drop13} = 0.07734$ [bar]	$P_{drop23} = 0.07664$ [bar]	$P_{drop34} = 0.002246$ [bar]
$P_{droptotal} = 0.3125$ [bar]	$Q_{34} = 0.9$ [L/min]	$Q_{45} = 1.8$ [L/min]	$Q_{bomba} = 1.8$ [L/min]
$Q_{boquilla} = 0.45$ [L/min]	$Re = 1499$	$Re_{34} = 2997$	$Re_{45} = 5994$
$\rho = 998.2$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$RR = 0.0006693$	$SUMK13 = 3.599$	$SUMK23 = 4.839$
$SUMK34 = 4.84$	$SUMK45 = 14.03$	$\theta = 45$ [deg]	$tiempo_{aspersion} = 5.556$ [min]
$T_f = 20$ [C]	$vel_1 = 2.63$ [m/s]	$vel_2 = 2.63$ [m/s]	$vel_3 = 0.2368$ [m/s]
$vel_4 = 0.4736$ [m/s]	$vel_{robot} = 0.4$ [m/s]	$vel_{tub} = 0.2368$ [m/s]	$vel_{tub34} = 0.4736$ [m/s]
$vel_{tub45} = 0.9473$ [m/s]	$Vol_{tanque} = 10$ [L]	$x_f = 0$	$y_b = 2$
$z_1 = 0.424$ [m]	$z_2 = 0.424$ [m]	$z_3 = 0.012$ [m]	$z_4 = 0.049$ [m]
$z_5 = 0.195$ [m]			

*Figura 43. Resultados obtenidos con el software EES*

Una vez obtenido un  $H_p$  de 34.24 [m] se escogió una bomba que cumpla con los requerimientos establecidos, de presión y caudal, obteniendo como posible opción viable la bomba MARCO-UP8-P a 24V con caudal de  $Q=0.9$  [litros/min]. La cual trabaja a 4 [bar], la presión necesaria para obtener el tamaño de gota esperada (MARCO, 2006)



*Figura 44. Opción de bomba MARCO UP8-P*

La electroválvula solenoide que se utilizará, se seleccionó por el caudal necesario y que funcionará a 24V, este tipo de válvula se controla su apertura con un perno manual, y obteniendo finalmente la salida de caudal de  $Q=1.8[L/min]$  el cual será repartido en cada una de las boquillas (BENE, 2020).



*Figura 45. Electroválvula (NC) NBR 50930*

## Sistema de Transmisión

Para el sistema de movimiento en la primera sección de cálculos, se halló un torque de  $6.365 \text{ Nm}$  para una masa de  $50 \text{ kg}$ , y un torque de  $10.179 \text{ Nm}$  para una masa de  $80 \text{ kg}$ . Ya que se desconoce el peso exacto del sistema, se tomó el valor promedio entre este intervalo para seleccionar el motor, que es de  $8.272 \text{ Nm}$ . Este valor condujo a seleccionar un motor eléctrico de paso modelo Nema 34 M, el mismo que cuenta con las siguientes características de torque y velocidad:

### NEMA 34 Medium (IP20)

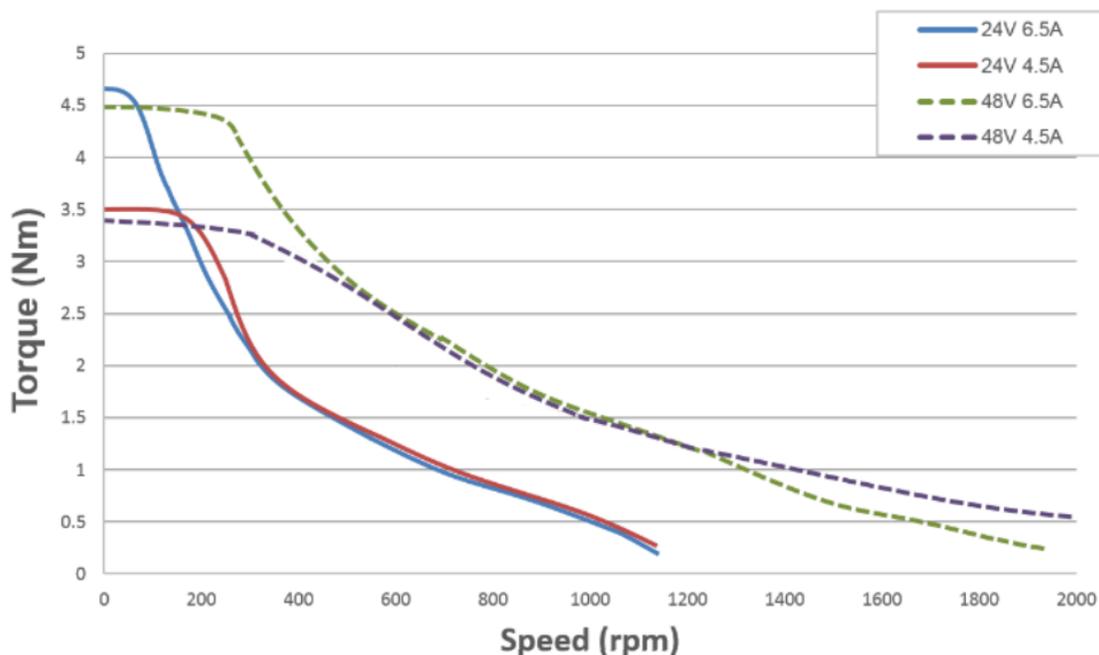


Figura 46. Curva de Torque-Velocidad para el motor NEMA 34 M. Obtenido de Servotronix.

En el sistema de movimiento, se proporcionará al motor 24 V a 4.5 A, que corresponde a la curva en color rojo. Como se observa en la gráfica se tiene un torque constante de  $3.5 \text{ Nm}$  en un intervalo desde 0 hasta 200 rpm, aproximadamente. Este intervalo de velocidades es el que se usará

para las condiciones de trabajo en las que se desempeñará el robot. Por lo tanto, las características del motor serán las siguientes:

$$\text{Torque} = 3,5 \text{ Nm}$$

$$\text{Voltaje} = 24 \text{ V}$$

$$\text{Corriente} = 4.5 \text{ A}$$

$$\text{Velocidad} = 200 \text{ rpm}$$

Este motor Nema 34 M proporciona un torque menor al necesario, sin embargo, se realizó un sistema reductor de cadena catalina para aumentar el torque que llega al eje motriz y disminuir las revoluciones por minuto. Por otro lado, el robot está a máxima carga cuando el módulo de vacunación está conectado y funcionando. Para ello, en la anterior sección de cálculos se explicó que la velocidad de movimiento necesaria es de  $0.4 \text{ m/s}$ , por lo que al tener una rueda de  $7.5 \text{ cm}$  de radio, se necesita que la rueda gire a una velocidad angular de  $51 \text{ rpm}$ . La relación entre engranes del piñón del eje del motor y el del eje motriz del robot se calcula a partir de la relación de engranes.

$$R = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (40)$$

Debido a que las revoluciones por minuto del motor pueden variar manteniendo un torque constante de  $3.5 \text{ Nm}$ , la relación utilizada tomando en cuenta el torque promedio necesario es de:

$$R = \frac{8.272 \text{ Nm}}{3.5 \text{ Nm}} = 2.36 \approx 2.5$$

Por lo tanto, el torque máximo al que se podrá llegar con el motor es de:

$$T_{m\acute{a}x} = (2.5)(3.5 \text{ Nm}) = 8.75 \text{ Nm}$$

Para alcanzar la velocidad de 51 rpm en el eje motriz, el motor NEMA debe girar a una velocidad de:

$$V_{motor} = (2.5)(51 \text{ rpm}) = 127.5 \text{ rpm}$$

### **Análisis de Selección de Cadena de Transmisión**

Para seleccionar la cadena, que es el elemento mecánico que transmite el movimiento del motor hacia el eje, se debe calcular en cuenta la potencia tabulada. Para ello se usa la siguiente ecuación obtenida de la literatura de Diseño Mecánico de Shigley.

$$H_{tab} = \frac{n_d k_s H_{nom}}{k_1 k_2} \quad (41)$$

Donde:

- $n_d$  es el factor de diseño.
- $k_s$  es el factor de servicio.
- $H_{nom}$  es la potencia nominal entregada por el motor en hp.
- $k_1$  es el factor de corrección para un número de dientes distinto de la 17.
- $k_2$  es el factor de corrección por el número de hileras en la cadena.

El factor de diseño se tomó como la recomendación de la literatura del libro de Shigley, con un valor de  $n_d = 1.2$ . Considerando un impacto bajo para la aplicación que se va a tener, se puede tomar como factor de servicio  $k_s = 1$ .

La potencia nominal del motor Nema 34 M se calcula de la siguiente manera tomando en cuenta el voltaje y la corriente:

$$\text{Voltaje} = 24 \text{ V}$$

$$\text{Corriente} = 4.5 \text{ A}$$

$$H_{\text{nom}} = V \times I = 108 \text{ W} = 0.145 \text{ hp}$$

La catalina impulsadora, que es la que va conectada al motor, tendrá un número de dientes igual a 9. Este número de dientes es estándar considerando el tamaño del eje del motor Nema 34 M, y tomando como referencia los catálogos de piñones y catalinas.

Para el factor de corrección  $k_1$  se usa la siguiente tabla:

Tabla 12. Factores de corrección  $k_1$  para el número de dientes de la catalina impulsadora.

Obtenido de Shigley - Capítulo 17.

Number of Teeth on Driving Sprocket	$K_1$ Pre-extreme Horsepower	$K_1$ Post-extreme Horsepower
11	0.62	0.52
12	0.69	0.59
13	0.75	0.67
14	0.81	0.75
15	0.87	0.83
16	0.94	0.91
17	1.00	1.00
18	1.06	1.09
19	1.13	1.18
20	1.19	1.28
$N$	$(N_1/17)^{1.08}$	$(N_1/17)^{1.5}$

Se aplica la relación para la potencia de pre-extremo. Por lo tanto:

$$k_1 = (N_1/17)^{1.08} = (9/17)^{1.08} = 0.50 \quad (43)$$

Por otro lado, para el valor de  $k_2$  se usa la siguiente tabla:

Tabla 13. Factores de corrección  $k_2$  para el número de hileras múltiples. Obtenido de Shigley -  
Capítulo 17.

Number of Strands	$K_2$
1	1.0
2	1.7
3	2.5
4	3.3
5	3.9
6	4.6
8	6.0

Al ser una cadena sencilla se tiene únicamente 1 hilera.

$$k_2 = 1.0$$

Al reemplazar todos los datos en la ecuación inicial se obtiene el siguiente resultado:

$$H_{tab} = \frac{(1.2)(1)(0.145 \text{ hp})}{(0.50)(1)} = 0.348 \text{ hp}$$

Para hallar la cadena adecuada hay que referirse a la norma ANSI B19.1-1975, pero debido a que no se tiene acceso libre a los estándares, se usará las tablas proporcionadas en el libro de Shigley para catalinas impulsadoras de 17 dientes.

Tabla 14. Capacidad nominal de potencia de cadenas de paso único de torón sencillo de una catalina de 17 dientes.

Table 17-20

Rated Horsepower  
Capacity of Single-  
Strand Single-Pitch  
Roller Chain for a  
17-Tooth Sprocket

Source: Compiled from ANSI  
B29.1-1975 information only  
section, and from B29.9-1958.

Sprocket Speed, rev/min	ANSI Chain Number					
	25	35	40	41	50	60
50	0.05	0.16	0.37	0.20	0.72	1.24
100	0.09	0.29	0.69	0.38	1.34	2.31
150	0.13*	0.41*	0.99*	0.55*	1.92*	3.32
200	0.16*	0.54*	1.29	0.71	2.50	4.30
300	0.23	0.78	1.85	1.02	3.61	6.20
400	0.30*	1.01*	2.40	1.32	4.67	8.03
500	0.37	1.24	2.93	1.61	5.71	9.81
600	0.44*	1.46*	3.45*	1.90*	6.72*	11.6
700	0.50	1.68	3.97	2.18	7.73	13.3
800	0.56*	1.89*	4.48*	2.46*	8.71*	15.0
900	0.62	2.10	4.98	2.74	9.69	16.7
1000	0.68*	2.31*	5.48	3.01	10.7	18.3
1200	0.81	2.73	6.45	3.29	12.6	21.6
1400	0.93*	3.13*	7.41	2.61	14.4	18.1
1600	1.05*	3.53*	8.36	2.14	12.8	14.8
1800	1.16	3.93	8.96	1.79	10.7	12.4
2000	1.27*	4.32*	7.72*	1.52*	9.23*	10.6
2500	1.56	5.28	5.51*	1.10*	6.58*	7.57
3000	1.84	5.64	4.17	0.83	4.98	5.76
	<b>Type A</b>	<b>Type B</b>		<b>Type C</b>		

\*Estimated from ANSI tables by linear interpolation.

Note: Type A—manual or drip lubrication; type B—bath or disk lubrication; type C—oil-stream lubrication.

Considerando una velocidad de 127.5 rpm en la catalina impulsadora, la cadena ANSI número 35 puede funcionar. Se realiza una interpolación en la tabla entre 100 y 150 rpm para encontrar la potencia que soportaría la cadena a 127.5 rpm:

$$\frac{100 - 127.5}{100 - 150} = \frac{0.29 - x}{0.29 - 0.41}$$

$$x = 0.356 \text{ hp} > 0.348 \text{ hp}$$

Se selecciona la cadena ANSI 35, que utilizara lubricación tipo A (manual o de goteo)

### Análisis de esfuerzos y diseño del eje motriz

Usando el sistema de creación rápido de Inventor, y con el eje del motor Nema, se puede tener una aproximación del tamaño de los piñones y del número de dientes de cada uno, como se ve en las siguientes imágenes:

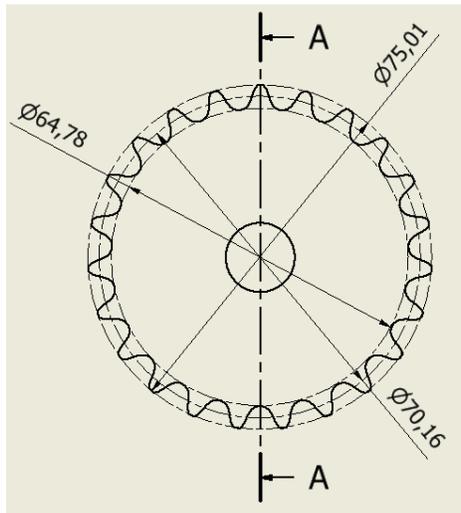


Figura 47. Dimensiones para la catalina impulsada

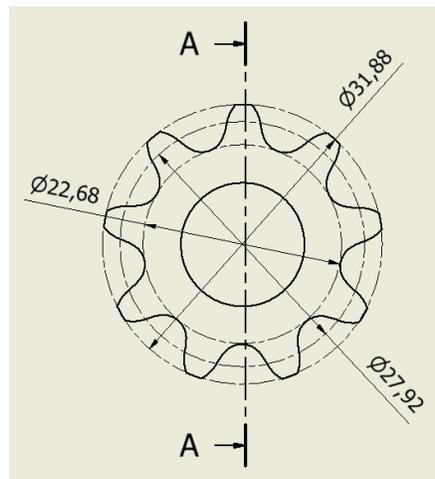
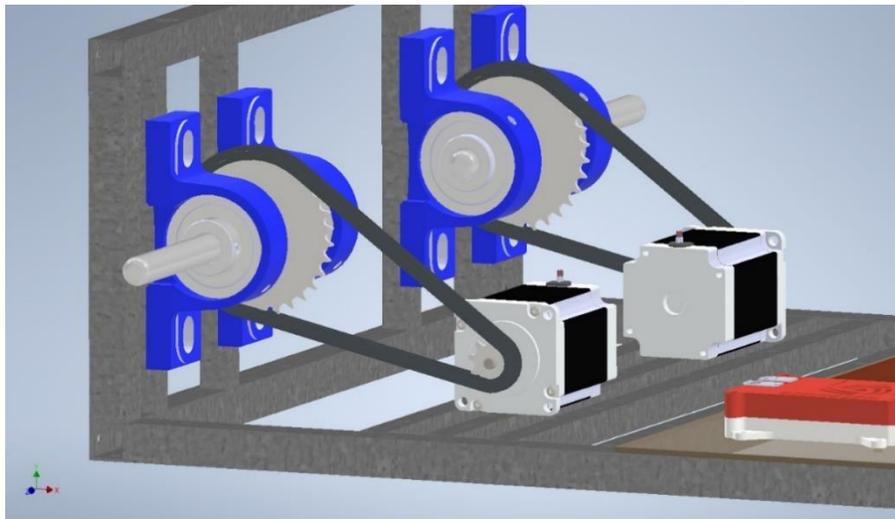


Figura 48. Dimensiones para la catalina impulsadora

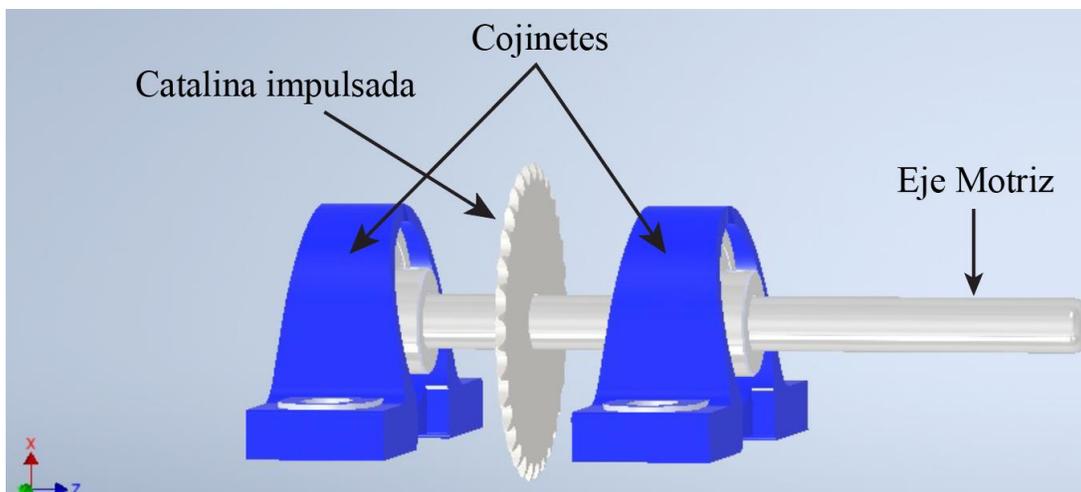
La catalina mayor que va conectado al eje motriz tiene 23 *dientes*, y un diámetro de paso de 70.16 *mm*. La catalina o piñón más pequeño, que es el impulsador cuenta con 9 *dientes* y un diámetro de paso de 27.92 *mm*.

El sistema de cadena catalina estaría conectado de la siguiente manera en los motores:



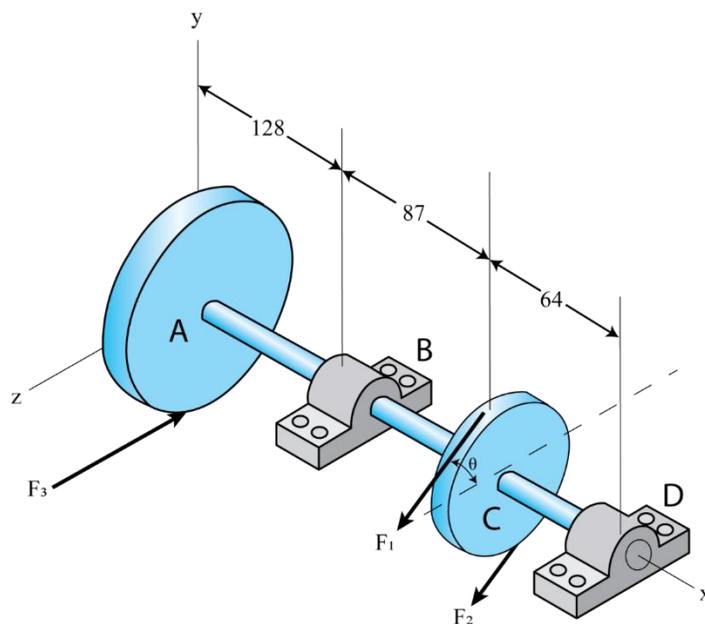
*Figura 49. Conexión entre el sistema el eje del motor Nema y el del eje motriz de la rueda*

Cada eje conectado a la rueda motriz del sistema de tracción tipo oruga necesitará dos cojinetes para que el eje esté fijo y así evitar vibraciones, y la catalina conducida por el motor. De manera general estos componentes se ubicaron así:



*Figura 50. Disposición de los elementos en el eje motriz*

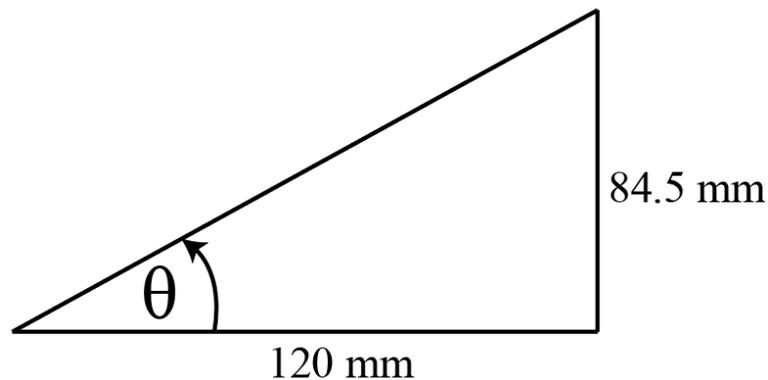
Para observar de mejor manera el sistema a analizar se realizó un diagrama con las fuerzas:



*Figura 51. Diagrama del eje motriz*

En el diagrama se puede observar que en la catalina C hay dos fuerzas paralelas que tienen un ángulo con respecto al eje z. Esta es la fuerza generada por la cadena que une a la catalina del eje del motor con la mostrada en el diagrama, y el ángulo  $\theta$  se debe a la posición relativa en la que se encuentran la catalina del motor con la catalina del eje, tal como se observa en la ilustración 1. Al usar una cadena para transmitir el movimiento se tienen dos fuerzas, una que representa la fuerza de la cadena del lado más tenso, mientras que la otra del lado más flojo. Decidir cuál de estas es  $F_1$  y  $F_2$  es trivial, ya que esto dependerá de si el motor está girando en sentido horario o antihorario. En ambos casos, las fuerzas ocasionadas siempre generaran los mismos esfuerzos. Sin embargo, para este caso de estudio se tomará a la fuerza  $F_1$  como la del lado más tenso, mientras que  $F_2$  como la del más flojo.

Para hallar el ángulo  $\theta$  se hallan las distancias relativas entre catalinas. Esto genera un triángulo como el que se muestra a continuación:



*Figura 52. Triángulo de distancias de las catalinas*

Por lo tanto, el ángulo es:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{84.5}{120}\right) = 35.15^\circ$$

Para simplificar los cálculos, se asumirá que este ángulo es el mismo tanto para  $F_1$ , como para  $F_2$ . Una buena aproximación que se usa en el libro de Diseño Mecánico de Shigley es tomar la siguiente relación entre fuerzas de la cadena:

$$F_2 = 0.15F_1$$

Debido a que el torque de  $8.75Nm$  es aplicado en la catalina del eje, se puede calcular las fuerzas usando la siguiente relación:

$$F_1 - F_2 = \frac{T}{r_p} \quad (44)$$

De las anteriores dos ecuaciones se despeja  $F_1$  y  $F_2$ .

$$F_1 - 0.15F_1 = \frac{8.75 \text{ Nm}}{(0.07016/2) \text{ m}}$$

$$F_1 = 293.45 \text{ N}$$

$$F_2 = 0.15(293.45 \text{ N}) = 44.01 \text{ N}$$

La fuerza resultante es:

$$F_R = F_1 + F_2 = 293.45 \text{ N} + 44.01 \text{ N} = 337.46 \quad (45)$$

Debido a que el torque se mantiene constante a lo largo del eje, se calcula la fuerza  $F_3$  a partir de  $T$  y del radio de la rueda motriz que es de  $7.5 \text{ cm}$ :

$$F_3 = \frac{8.75 \text{ Nm}}{0.075 \text{ m}} = 116.67 \text{ N}$$

Al simplificar el efecto de los cojinetes, la catalina y la rueda motriz se tiene el siguiente diagrama:

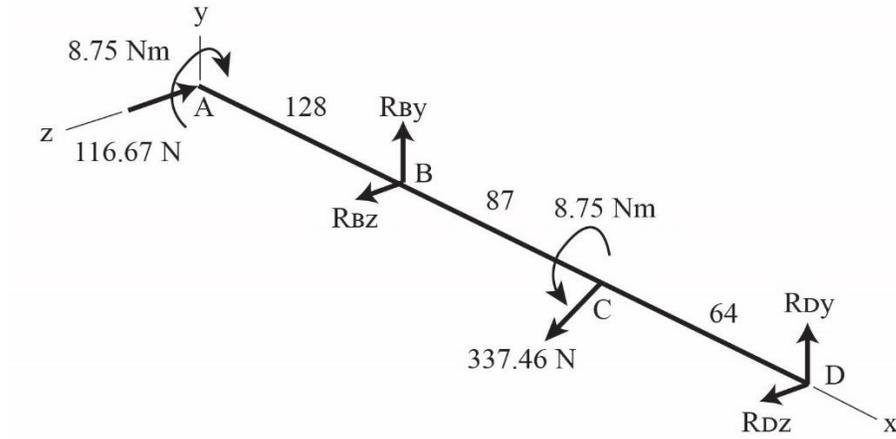


Figura 53. Diagrama de fuerzas en el eje simplificado

Se encuentran las reacciones de los cojinetes mediante sumatoria de fuerzas y de momentos como se ve a continuación:

$$\sum M_{Bz} = 0 \quad (46)$$

$$-(337.46 \text{ N})(\text{sen } 35.15)(0.087 \text{ m}) + R_{Dy}(0.151 \text{ m}) = 0$$

$$R_{Dy} = 111.94 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \quad (47)$$

$$R_{By} - (337.46 \text{ N})(\text{sen } 35.15) + R_{Dy} = 0$$

$$R_{By} = 82.34 \text{ N}$$

$$\sum M_{By} = 0 \quad (48)$$

$$(116.67 \text{ N})(0.128 \text{ m}) + (337.46 \text{ N})(\text{cos } 35.15)(0.087 \text{ m}) + R_{Dz}(0.151 \text{ m}) = 0$$

$$R_{Dz} = -257.87 \text{ N}$$

$$\sum F_z = 0 \quad (49)$$

$$-116.67 + R_{Bz} + (337.46 \text{ N})(\cos 35.15) + R_{Dz} = 0$$

$$R_{Bz} = 98.62 \text{ N}$$

Ahora se grafican los diagramas de cortante y momento para los dos ejes analizados.

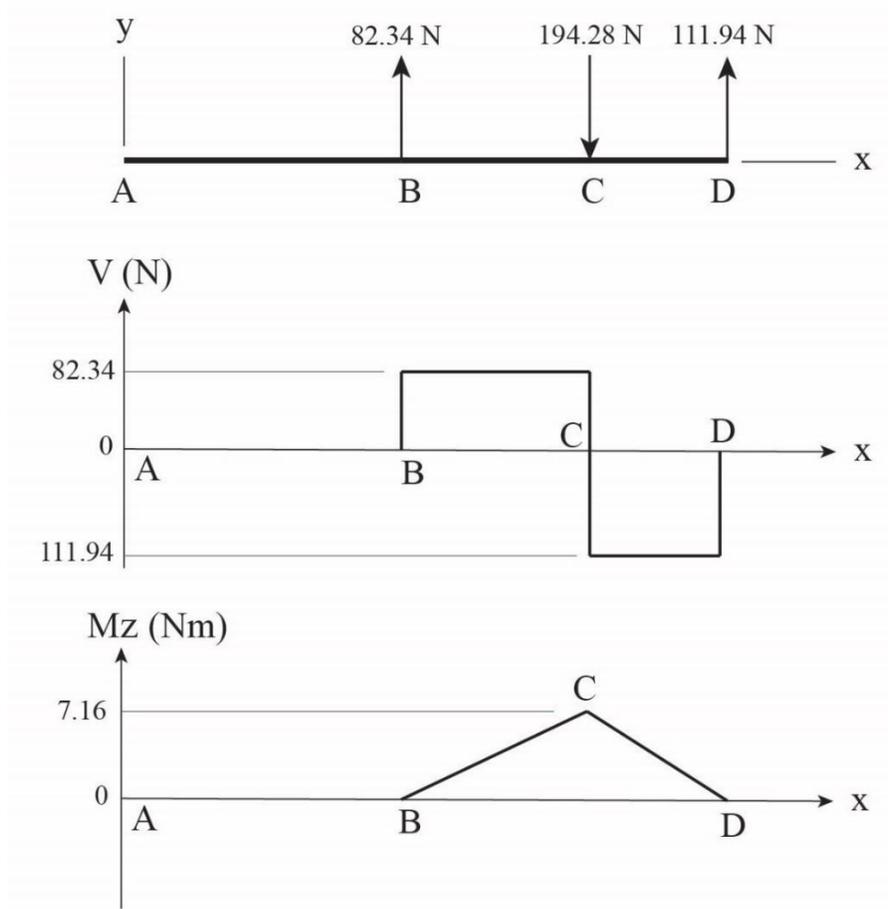


Figura 54. Diagrama de Cortante y Momentos para el eje y

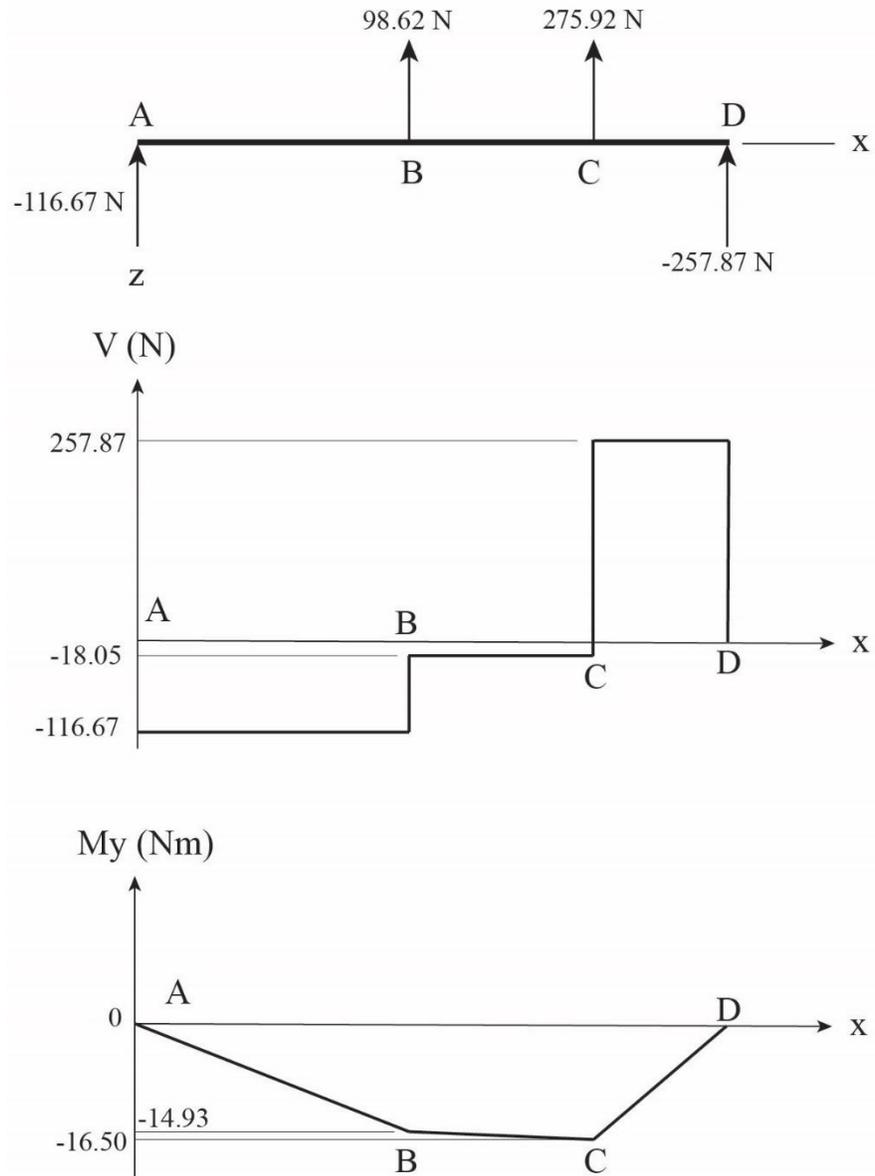


Figura 55. Diagrama de Cortante y Momentos para el eje z.

Con ambos diagramas en ambos ejes se puede destacar que en el punto C, que es donde se encuentra la catalina es donde el eje soporta una mayor cantidad de momentos. Para combinar ambos momentos se los toma como vectores, por lo que:

$$M_C = M_{m\acute{a}x} = \sqrt{(7.16 \text{ Nm})^2 + (-16.50 \text{ Nm})^2} = 17.98 \text{ Nm} \quad (50)$$

Para diseñar el eje, se considerará la falla a fatiga. En este caso el momento es fluctuante mientras que la torsión es constante. Eso quiere decir que:

$$M_a = 17.98 \text{ Nm}$$

$$T_m = 8.75 \text{ Nm}$$

$$M_m = T_a = 0$$

Se usará la expresión del criterio de Ed-Goodman, que se encuentra en el capítulo 7 del libro de Shigley, con un factor de seguridad de 1.2.

$$d = \left( \frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{Se} \left[ 4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{Sut} \left[ 4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3} \quad (51)$$

Se determina  $Se$ , considerando como material un acero 1018 CD con las siguientes propiedades mecánicas:

$$S_y = 370 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 440 \text{ MPa}$$

Para los factores para calcular  $Se$ , se tiene que el eje será maquinado:

$$k_a = a(S_{ut})^b = 4.51(440 \text{ MPa})^{-0.265} = 0.8988 \quad (52)$$

Debido a no se conoce el tamaño del eje los demás factores serán igual a 1:

$$k_b = k_c = k_d = k_e = k_f = 1 \quad (53)$$

El valor de  $Se$  es:

$$Se = k_a(0.5S_{ut}) = 0.8988(0.5(440 \text{ MPa})) = 197.74 \text{ MPa} \quad (54)$$

No se tienen concentradores de esfuerzo, por lo que  $K_f$  y  $K_{fs}$  son iguales a 1.

Reemplazando en la ecuación de Ed-Goodman se obtiene un resultado de:

$$d = 0.01097 \text{ m} = 1.09 \text{ cm}$$

Debido a que se trata de un eje de un tamaño muy pequeño, se debe ajustar el diámetro del eje al tamaño de los cojinetes más pequeños que se pueden hallar en el mercado, que son de 1.5 cm. Por lo tanto, el eje que se escogerá para el sistema motriz será también de 1.5 cm. Con ello, resolviendo la ecuación de Goodman para  $n$ , el nuevo factor de seguridad será de:

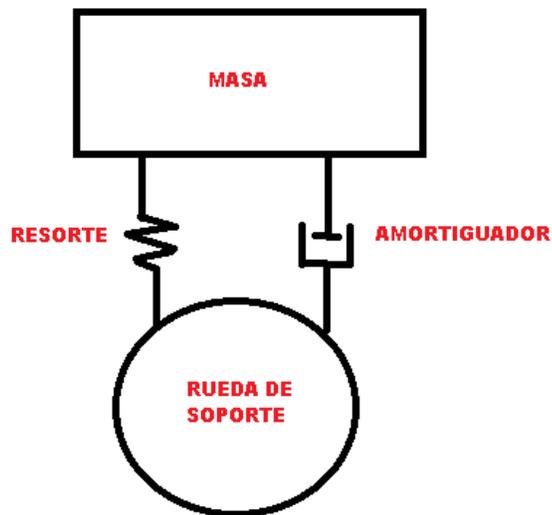
$$d_{real} = 1.5 \text{ cm}$$

$$n_{real} = 3.06$$

Para ajustar de manera firme las catalinas a los ejes y demás elementos, es complicado maquinar diseños con chaveteros por el tamaño del propio eje, por lo que se utilizará acoplamiento de eje flexible con amortiguación de vibraciones, que se colocan como sellos entre los sistemas que se quieran conectar al eje. Esto permite evitar las vibraciones que pueden aflojar el ajuste entre los componentes con el eje.

## Simulación para el sistema de suspensión

Para analizar el comportamiento del sistema de suspensión frente a diferentes tipos de estímulos mecánicos se optó por considerarlo como un sistema dinámico constituido por una masa, un resorte y su respectivo amortiguador. La metodología utilizada consiste en determinar una función transferencia en el dominio de Laplace para poder obtener gráficas desplazamiento vs tiempo que nos permitan visualizar el comportamiento del sistema. Por consiguiente, primeramente, se procedió a establecer el modelo físico del sistema considerando las fuerzas que actúan sobre el sistema, obteniendo el siguiente diagrama de cuerpo libre:



*Figura 56. Esquema del Sistema de suspensión*

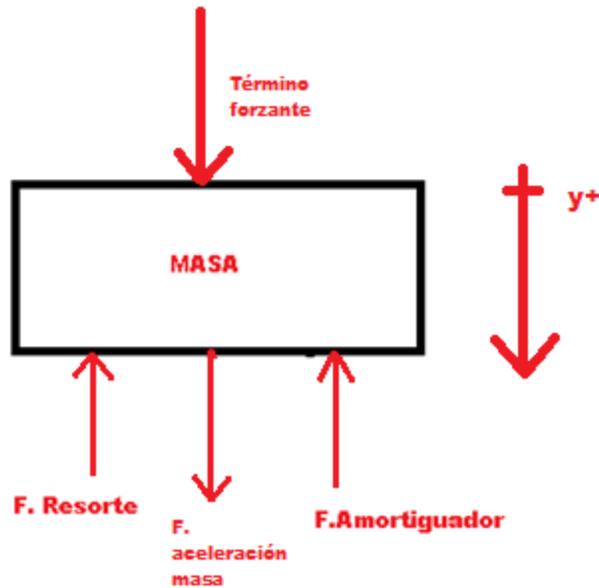


Figura 57. Diagrama de cuerpo libre para la masa conectada al sistema de suspensión

Teniendo un modelo físico planteado, a través de la segunda ley de Newton se puede determinar el modelo matemático del sistema en forma de una ecuación diferencial que puede ser traducida al dominio de Laplace para facilitar el trabajo, de la siguiente manera:

$$\Sigma F_y = m\ddot{y}(t) \quad (55)$$

$$F(t) - F. Resorte - F. Amortiguador = m\ddot{y}(t) \quad (56)$$

$$m\ddot{y}(t) + ky(t) + c\dot{y}(t) = F(t) \quad (57)$$

Donde  $F(t)$  es el termino forzante que se utiliza para evaluar la respuesta del sistema y que puede ser una función paso, impulso o delta de Dirac, rampa, etc.

Una vez determinada la ecuación diferencial debemos tener en cuenta la definición de la función transferencia, escrita como:

$$H(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{\text{salida}(s)}{\text{entrada}(s)} \quad (58)$$

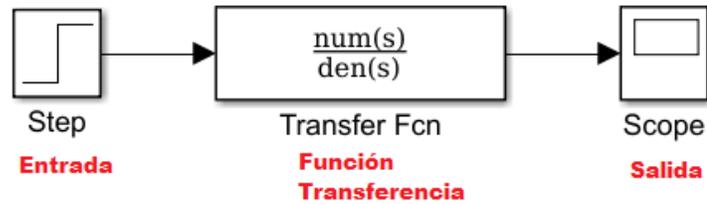


Figura 58. Ejemplo de diagrama de bloques de un sistema dinámico

Ahora, aplicando la transformada de LaPlace para ambos lados de la ecuación diferencial previamente determinada:

$$\mathcal{L}\{m\ddot{y}(t) + c\dot{y}(t) + ky(t)\} = \mathcal{L}\{F(t)\}$$

$$m\mathcal{L}\{\ddot{y}(t)\} + c\mathcal{L}\{\dot{y}(t)\} + k\mathcal{L}\{y(t)\} = \mathcal{L}\{F(t)\}$$

$$m(s^2X(s) - sf(0) - f'(0)) + c(sX(s) - f(0)) + kX(s) = F(s)$$

De esa manera, asumiendo condiciones iniciales  $f(0) = 0$  y  $f'(0) = 0$

$$ms^2X(s) + csX(s) + kX(s) = F(s)$$

$$X(s)(ms^2 + cs + k) = F(s)$$

Podemos determinar la función transferencia del sistema como:

$$H(s) = \frac{1}{(ms^2 + cs + k)} = \frac{1}{(10s^2 + 100s + 73216)} \quad (59)$$

Implementando la función transferencia en un script de MATLAB podemos determinar la respuesta del sistema de distintas maneras para simular la forma en que se comporta, para este caso

analizaremos cómo se comporta frente a un estímulo de tipo step, de tipo impulso, y de tipo rampa, así como se puede determinar el mapa de polos, el diagrama de bode y la respuesta del sistema frente a la respuesta de resonancia:

Así mismo las funciones que se definieron para cada caso son las siguientes:

Step:

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } 0 > t \\ 100 & \text{si } 0 \leq t \end{cases}$$

Impulso o delta de Dirac:

$$\delta(t) = \begin{cases} 100 & \text{si } t = 0 \\ 0 & \text{si } t \neq 0 \end{cases}$$

Rampa:

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } 0 > t \\ 100t & \text{si } 0 \leq t \end{cases}$$

*Código implementado en MATLAB*

```
%% simulacion suspension
% 29/10/2020

k = 73216; %rigidez del resorte [N/m]
c = 100; % Constante de amortiguamiento [Ns/m]
m = 80/8; %Masa [kg] / se usan 8 resorte-amortiguadores para
distribuir una masa total de 80 kg

%funcion transferencia del sistema dinamico
H = tf(1,[m c k])

%frecuencia natural
```

```

w_o = sqrt(k/m) %rad/s

%gráficas de respuesta

% respuesta step
subplot(2,2,1);
opt_step = stepDataOptions('StepAmplitude',100);
[y,t]=step(H,opt_step)
plot(t,y)
grid on
ylabel('Respuesta (m)')
xlabel('Time (seconds)')
title('Step Response')
xlim([0 1]);

%respuesta impulso
subplot(2,2,2);
impulse(H)
grid on
ylabel('Respuesta (m)')

%mapa de polos
subplot(2,2,3)
polos=pole(H) %polos del sistema
pzmap(H)

%diagrama de bode
subplot(2,2,4);
bode(H)

%respuesta rampa
figure
subplot(2,2,1);
t_ramp=0:0.001:1.2;
pendiente = 100;
rampa=pendiente*t_ramp;
[y_rampa,t_ramp]=lsim(H,rampa,t_ramp)
plot(t_ramp,y_rampa)
title('Ramp Response')
ylabel('Respuesta (m)')

```

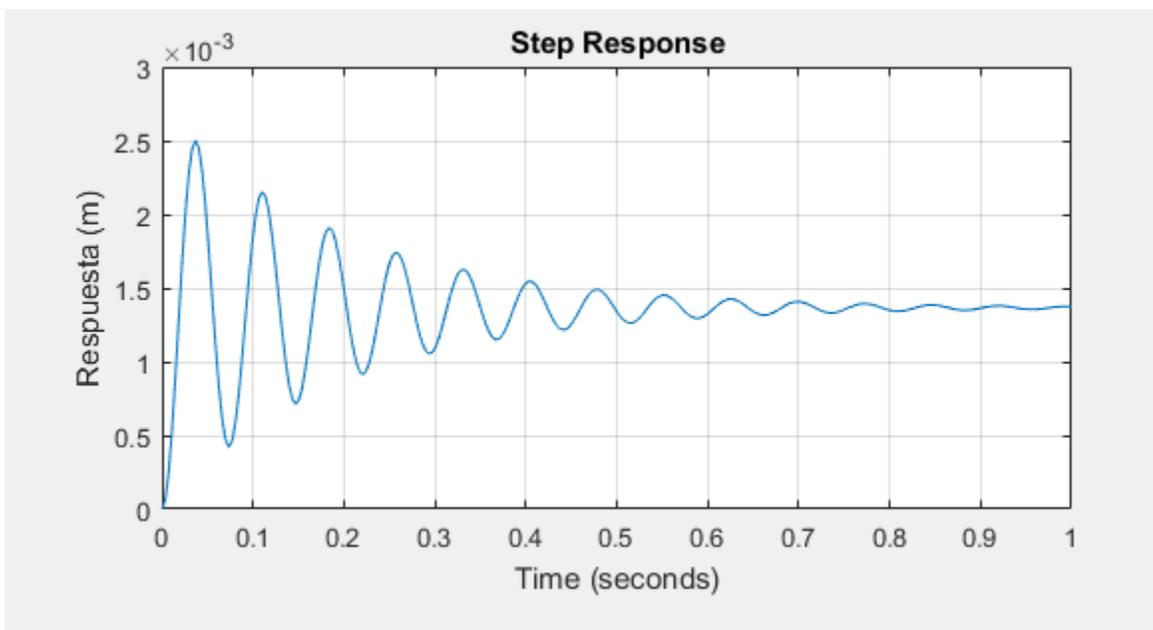
```

xlabel('Time (seconds)')
grid on

%respuesta frente a frecuencia de resonancia
subplot(2,2,2);
seno_fr=sin(w_o*t_ramp);
[y_fr,t_ramp]=lsim(H,seno_fr,t_ramp)
plot(t_ramp,y_fr)
title('Respuesta - frecuencia de resonancia')
ylabel('Respuesta (m)')
xlabel('Time (seconds)')
grid on

```

De esa manera se obtuvieron los siguientes resultados:



*Figura 59. Respuesta frente a un estímulo de tipo step*

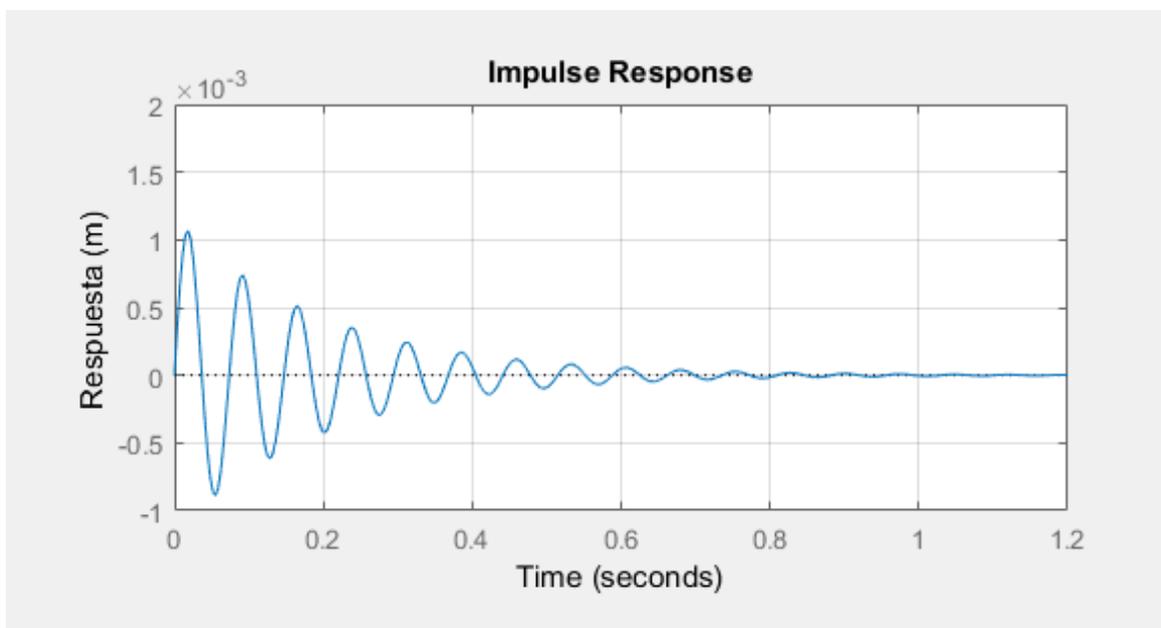


Figura 60. Respuesta frente a un estímulo de tipo impulso

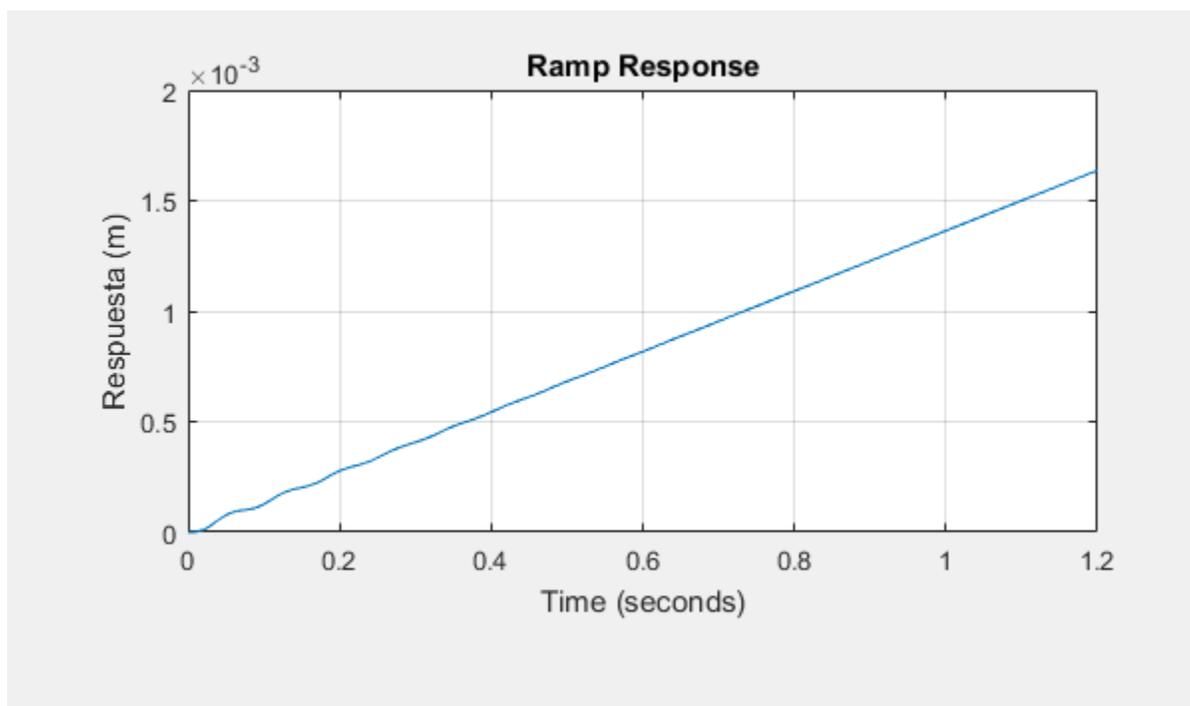


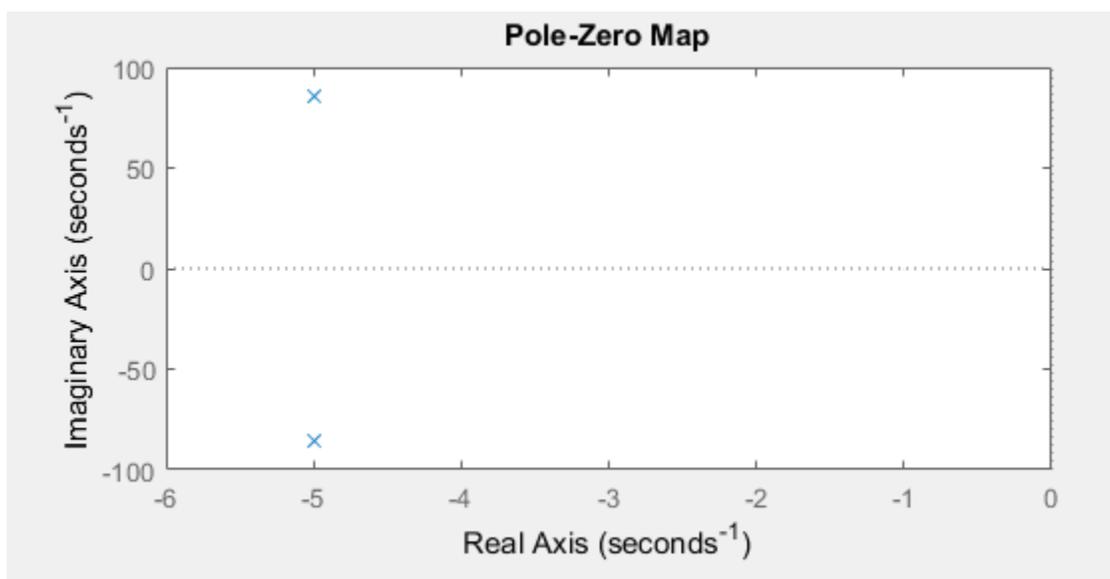
Figura 61. Respuesta frente a un estímulo de tipo rampa

En base a estos resultados podemos concluir que frente a un estímulo de tipo step, el sistema tiende a desplazarse en el orden de los milímetros, alcanzando un movimiento oscilatorio que se regula alrededor de los 1.4 mm en la dirección en un periodo de análisis de 1 segundo. De esa manera, si el sistema se somete a un estímulo de tipo impulso este oscilará en su posición inicial a lo largo del tiempo, y finalmente para un estímulo de tipo rampa, el sistema seguirá desplazándose de forma casi lineal a medida que pasa el tiempo.

Utilizando la función poles de MATLAB, se puede determinar las coordenadas específicas para los polos del sistema, que en este caso son:

*Tabla 15 Valores de los polos del sistema*

Primer Polo	$-5.000 + 85.42i$
Segundo Polo	$-5.000 - 85.42i$



*Figura 62. Mapa de polos del sistema*

Ahora en base al mapa de polos, se conoce que para que un sistema sea estable es necesario que se cumpla la condición:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n C_i e^{P_i t} = 0 \quad (60)$$

En donde  $P_i$  representa los polos del sistema, de tal manera que si uno de los polos tiene una componente real positiva el límite no convergerá hacia el cero y por ende se considerará un sistema estable. Como se puede ver en la figura donde se muestran los polos, ninguno de los 2 polos posee una componente real positiva, por ende, se puede considerar como un sistema estable.

Así mismo, se puede determinar la frecuencia natural del sistema utilizando la siguiente expresión:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{73216}{10}} = 85.56 \frac{rad}{s} = 13.61 Hz \quad (61)$$

De esa manera, se puede verificar en el diagrama de Bode donde se ve marcada esta frecuencia con la que el sistema entra en resonancia:

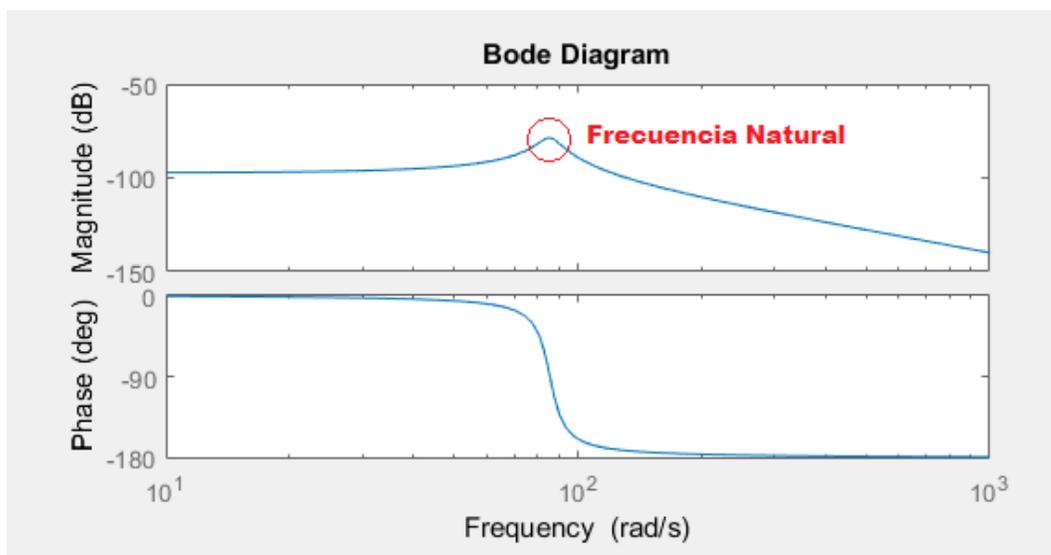


Figura 63. Diagrama de bode para el sistema

Por otra parte, el diagrama de borde nos indica que a mayores frecuencias (en este caso superiores a  $10^2 \frac{rad}{s}$ ) la respuesta del sistema no se verá afectada en gran medida si se altera la frecuencia de este, de igual manera confirmando que se trata de un sistema estable.

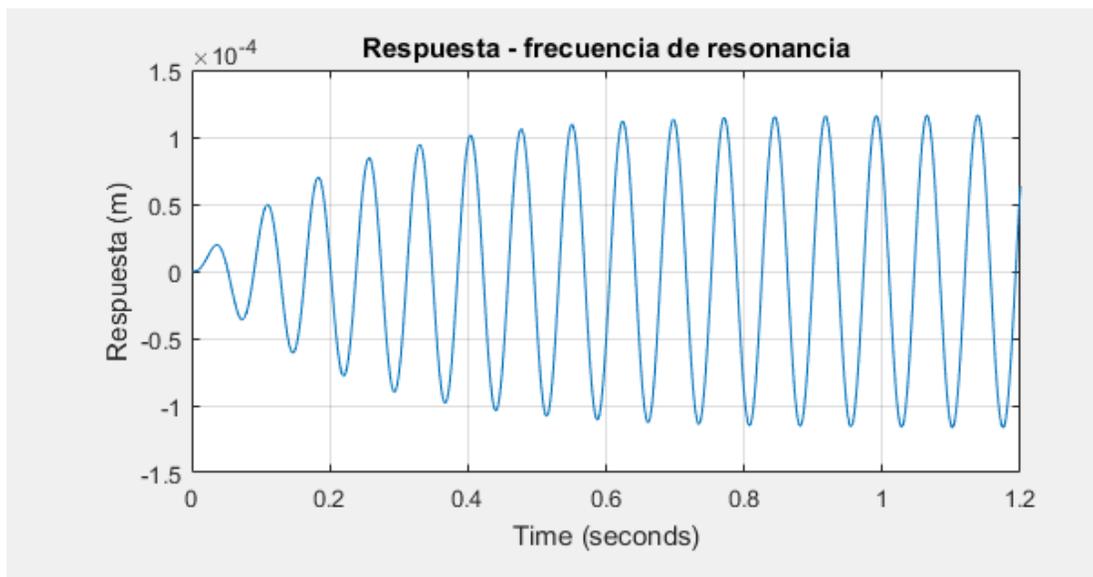


Figura 64. Respuesta del sistema frente a la frecuencia de resonancia

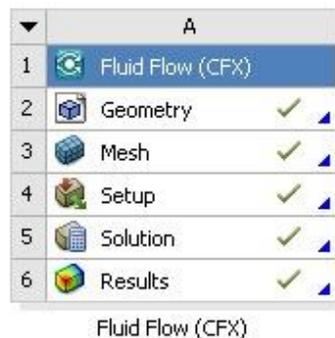
Finalmente, como parte de la sección de simulación para el sistema de suspensión, se puede emular el comportamiento del sistema frente a un estímulo sencillo de tipo sinusoidal con una frecuencia igual a la frecuencia natural del sistema, observándose perfecta periodicidad en la manera en que se encontrará vibrando después de haber transcurrido un periodo de tiempo determinado. Este comportamiento es importante a considerar para evitar posibles fallas en los componentes si llega a operar de esta forma una vez que el dispositivo sea construido para su implementación.

### **Simulación del módulo de vacunación.**

Para poder analizar el alcance que tendrá el módulo de vacunación se realizó una simulación para comprobar que efectivamente con los parámetros que estamos trabajando se obtenga un resultado favorable.

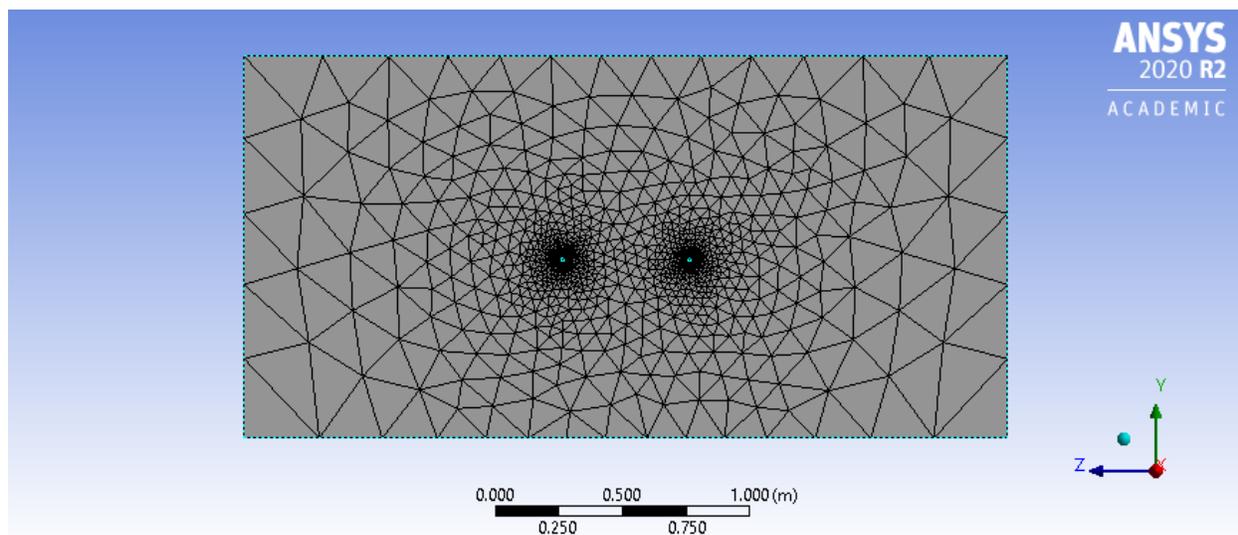
Para la simulación se utilizó el software ANSYS para simulaciones en CFD (Computational Fluid Dynamics) con las siguientes configuraciones:

Se configuró un modelo sencillo en el módulo Fluid Flow (CFX) el cual permite crear un mapa operativo con simples procesos integrales.

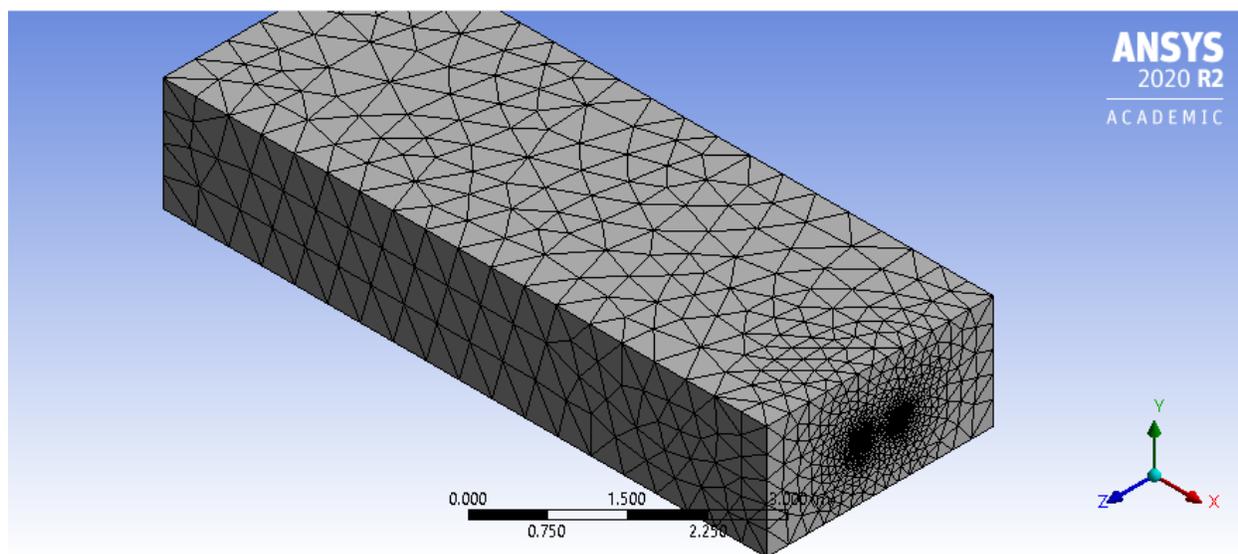


*Figura 65. Configuración ANSYS*

Se procedió a realizar una discretización de uno de los lados del módulo de vacunación, actuando sobre él, solamente 2 pulverizadores en un medio rectangular con un largo de 10 m para asegurar resultados favorables. De tal forma, se obtuvo el siguiente mallado:



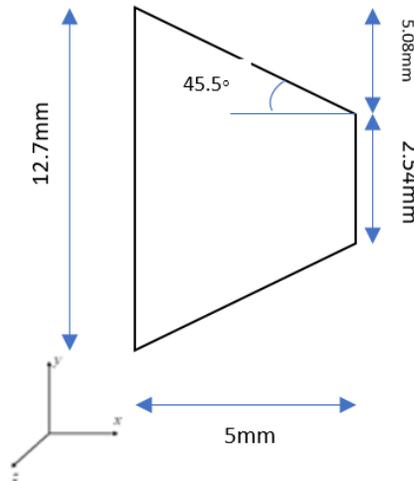
*Figura 66. Vista frontal del mallado de sección lateral módulo de vacunación*



*Figura 67. Vista isométrica del mallado de sección lateral módulo de vacunación*

Para tener una aproximación lo más cercana posible a la realidad se procuró que el mallado sea lo más fino posible, con 12 000 nodos y 70 000 elementos.

Previamente se analizó el cambio de área en la boquilla, considerándolo como una tobera, con las siguientes dimensiones:



*Figura 68. Diagrama de dimensiones de la boquilla*

Se establecieron dos velocidades de salida para realizar los ensayos computacionales, con una velocidad de salida de cada boquilla de 10 km/h y 20 km/h como parte de las velocidades estándar que se manejan en esta aplicación en concreto, y además como ya se conoce la boquilla que se va a utilizar, se tiene claro que es una boquilla naranja, según el estándar para sistemas de riego, la cual tiene un tamaño de gota fina de 2 micras. Con estos parámetros se puede continuar para obtener los resultados se utilizó modelo VOF para flujo multifásico, considerando 2 fluidos en este caso: El fluido de la vacuna y aire.

Finalmente, se obtuvieron los siguientes resultados:

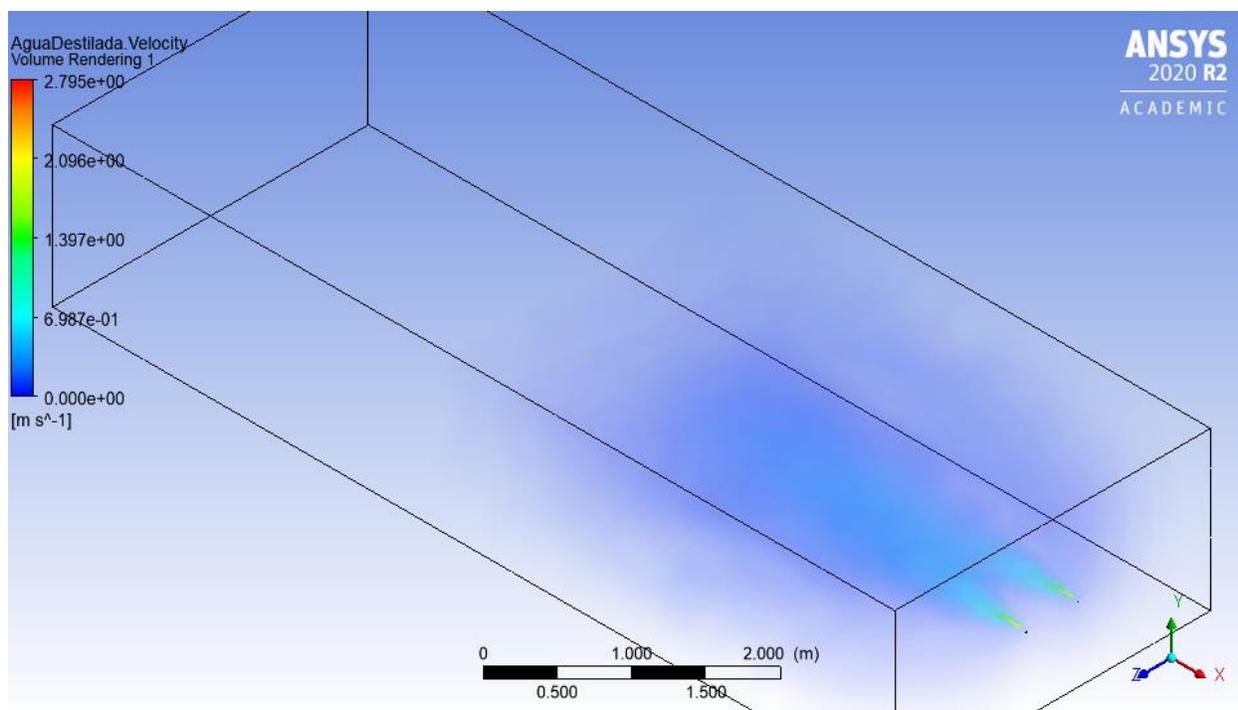


Figura 69. Resultados de la simulación, volumen de salida. (10 km/h)

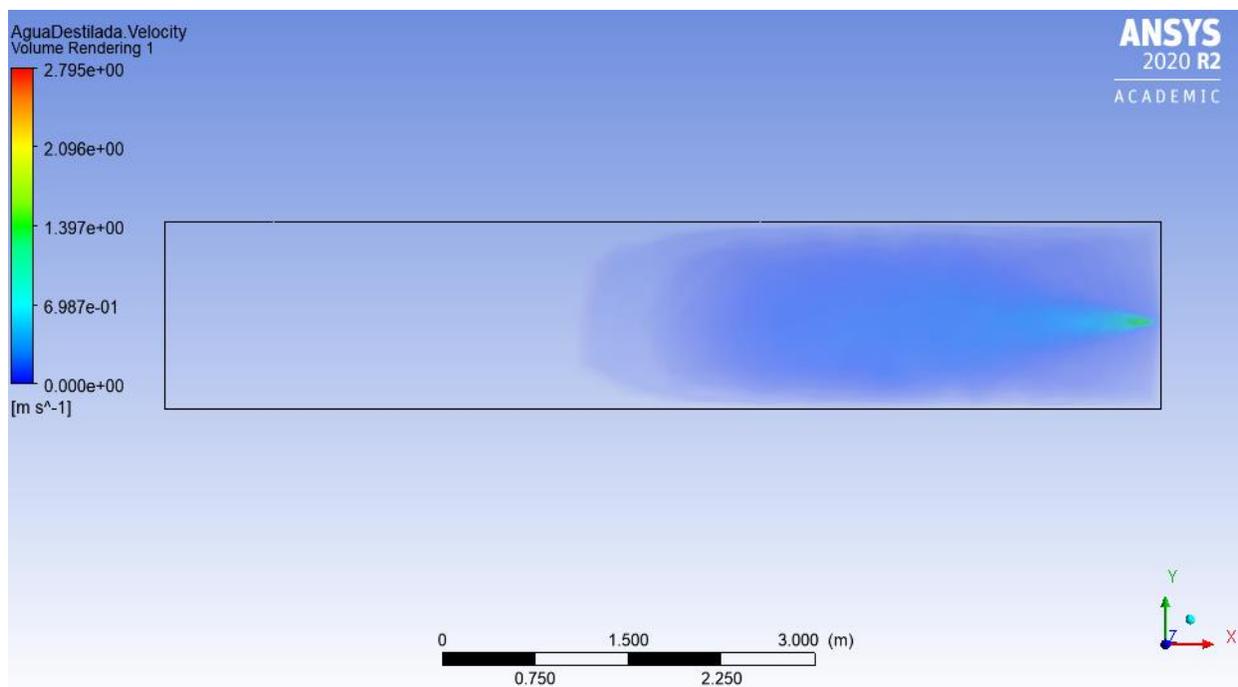


Figura 70. Resultados simulación, vista lateral volumen de salida (10 km/h).

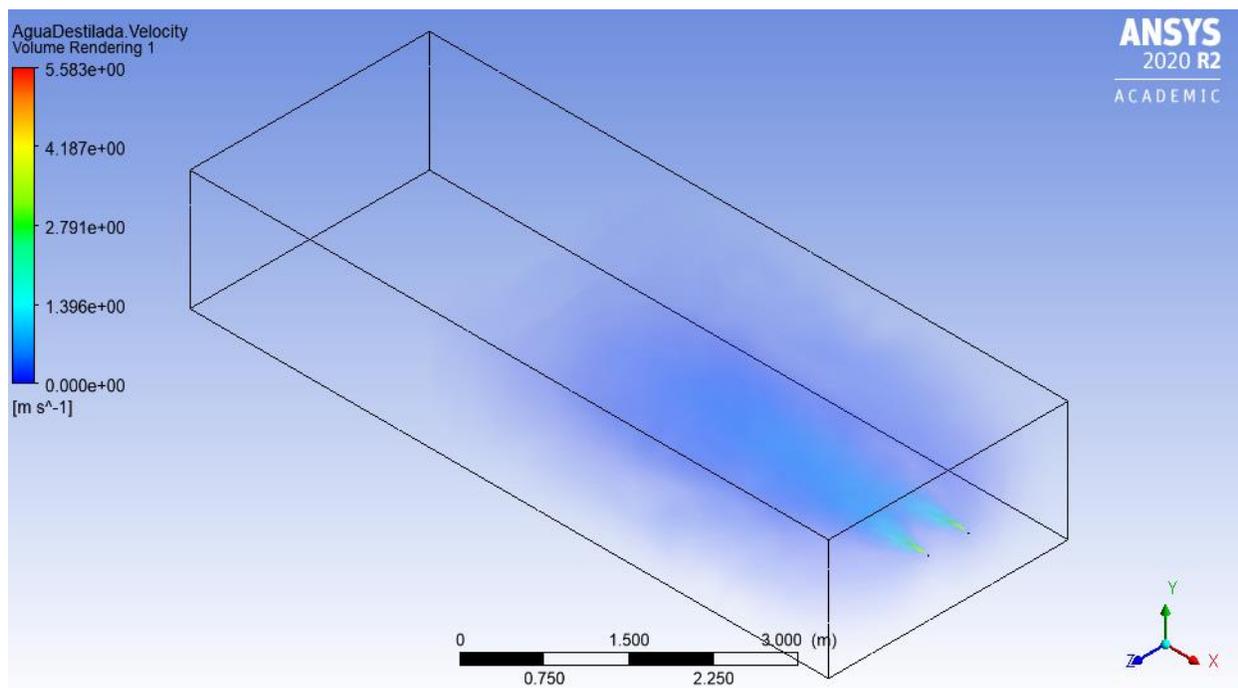


Figura 71. Resultados de la simulación, volumen de salida. (20 km/h)

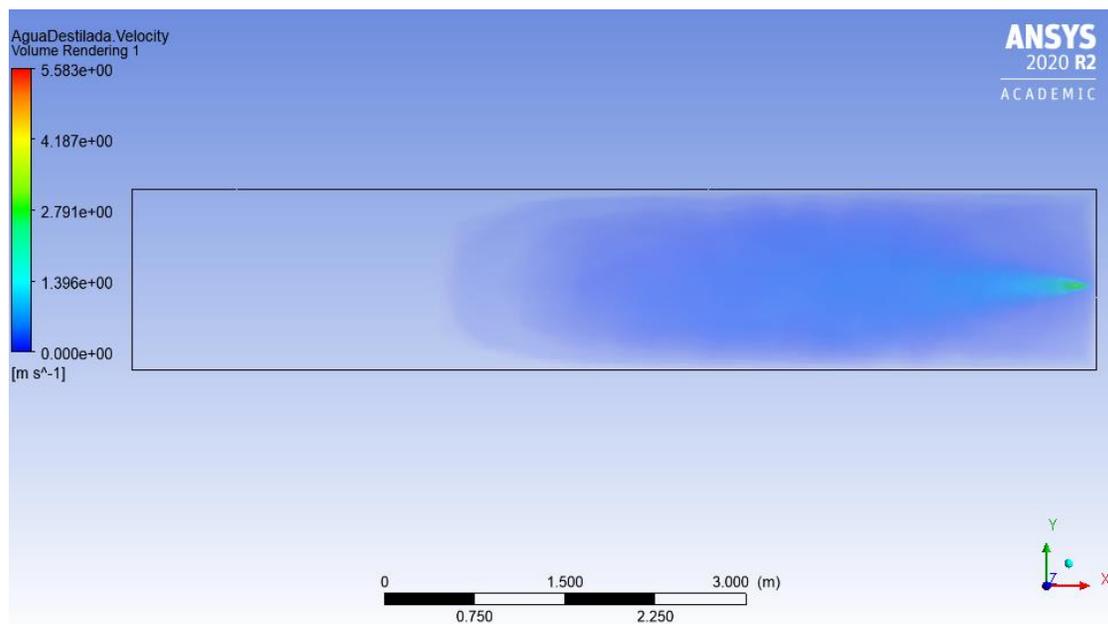


Figura 72. Resultados simulación, vista lateral volumen de salida (20 km/h)

Para poder comprobar que la simulación marchó de manera apropiada se realizó un análisis de convergencia de los datos obteniendo los siguientes resultados:

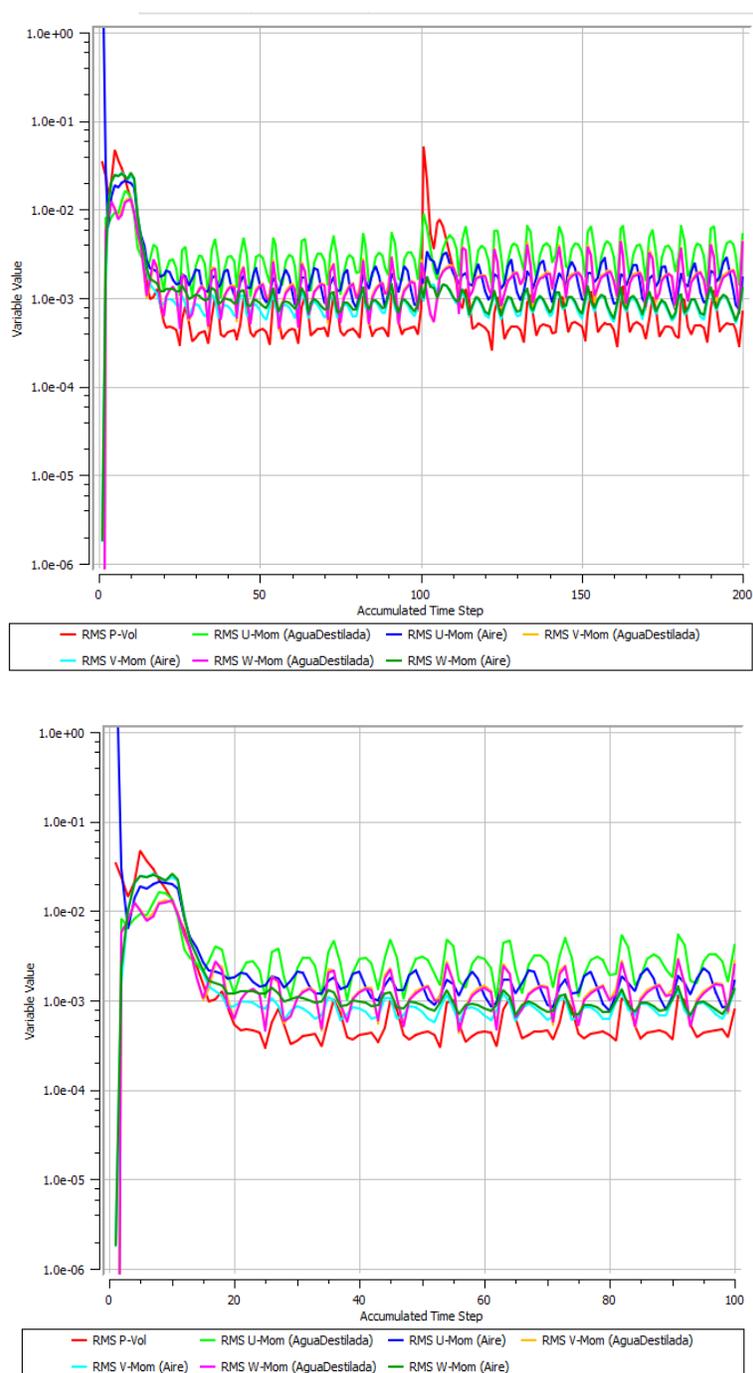


Figura 73. Convergencia de parámetros de masa y momento (10 km/h y 20 km/h)

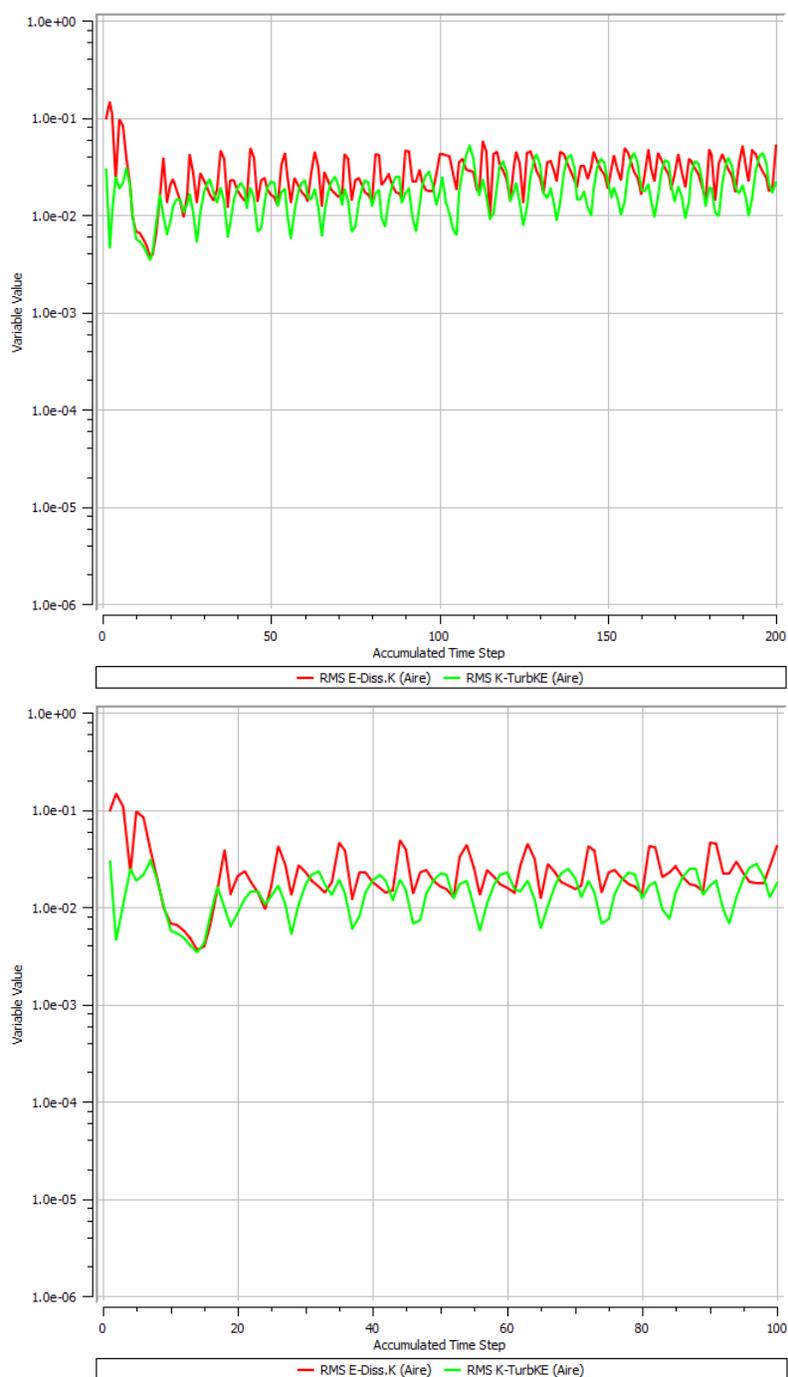


Figura 74. Convergencia de turbulencia (10 km/h y 20 km/h)

Las tres graficas se utilizan para asegurarse que los valores a pesar de en un inicio oscilar en un rango, terminen convergiendo hacia un valor en específico mientras se realiza el proceso

iterativo. En el eje X se encuentra representada las iteraciones, mientras que en el eje Y es el valor de la variable, estas variables se utilizaron para configurar la simulación como valores iniciales, lo que representa el porcentaje de error que existe.

Finalmente se obtiene del programa una gráfica que relaciona la velocidad del fluido respecto su posición en el sistema.

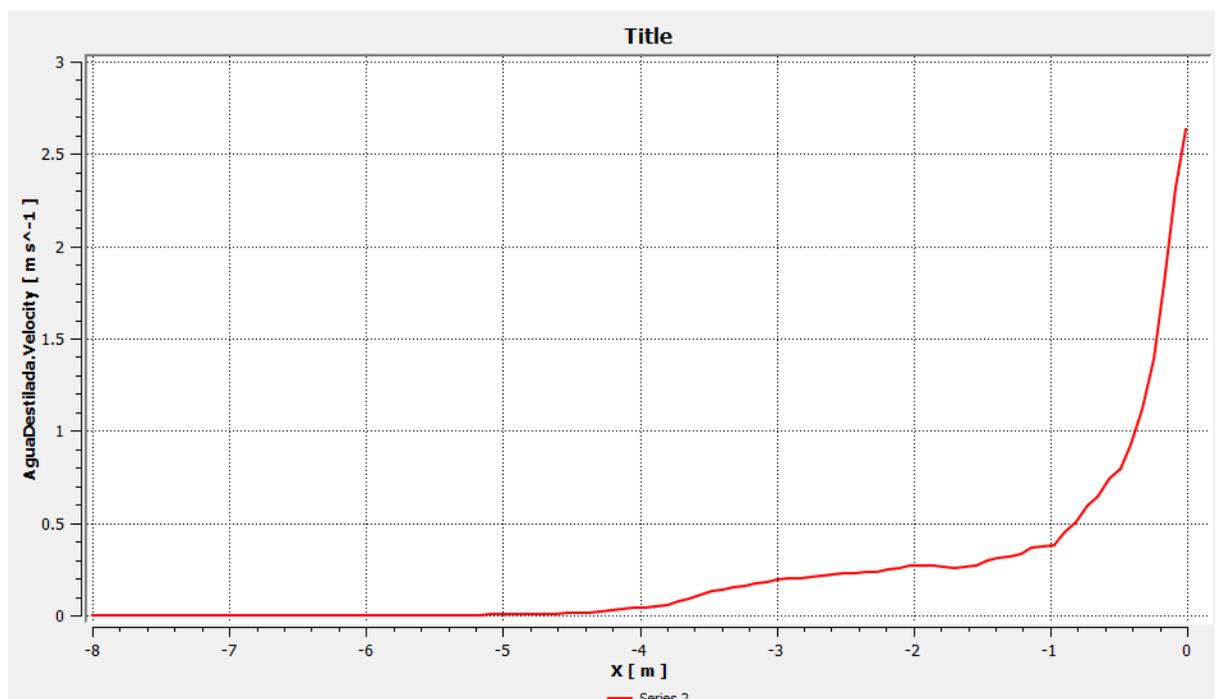


Figura 75. Gráfica velocidad vs posición. (vel. Salida = 10 km/h)

Tabla 16. Resultados de la simulación (vel. Salida = 10 km/h)

X [ m ]	Agua Destilada.Velocity [m/s ]
-5.33E+00	2.07E-03
-5.41E+00	1.73E-03
-5.49E+00	1.39E-03
-5.58E+00	1.12E-03
-5.66E+00	0.00E+00
-5.74E+00	0.00E+00
-5.82E+00	0.00E+00
-5.90E+00	0.00E+00
-5.98E+00	0.00E+00

Con la información obtenida se determinó que el alcance máximo del chorro es de 5.66 [m]

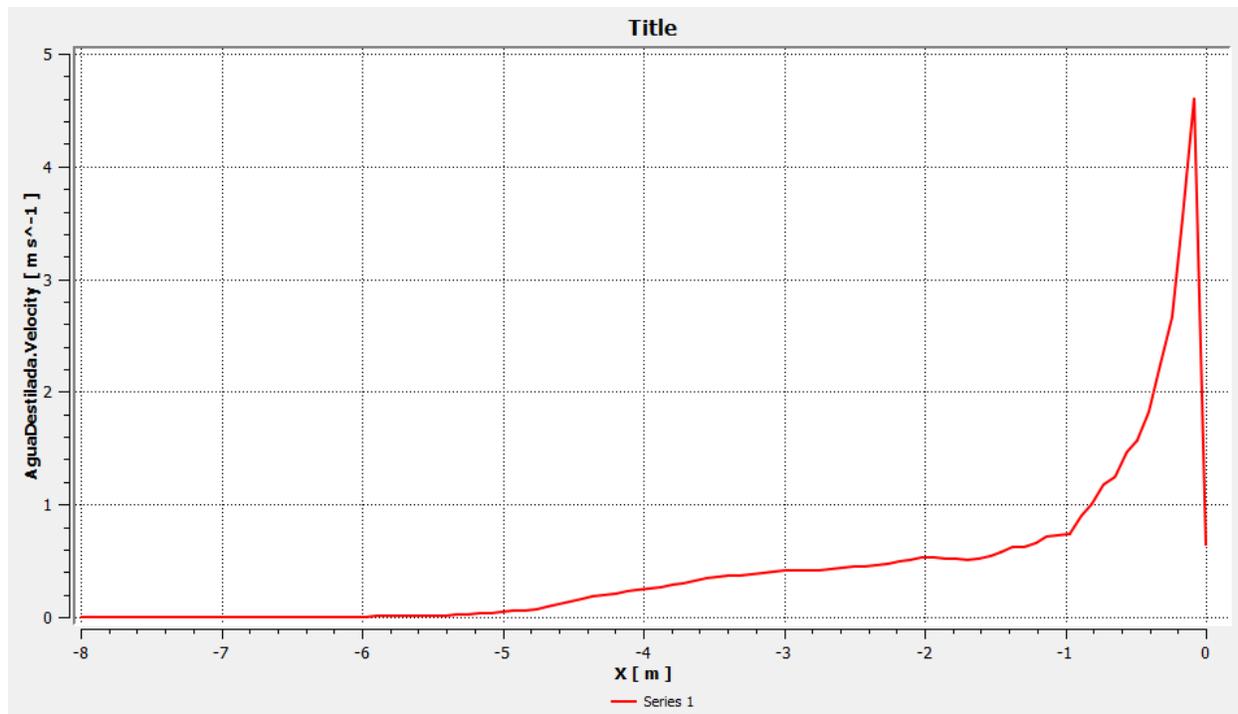


Figura 76. Grafica velocidad vs posición. (vel. Salida = 20 km/h)

Tabla 17. Resultados de la simulación (vel. Salida = 20 km/h)

X [ m ]	AguaDestilada.Velocity [ m s <sup>-1</sup> ]
-6.45E+00	1.65E-03
-6.53E+00	1.47E-03
-6.62E+00	1.27E-03
-6.70E+00	1.07E-03
-6.78E+00	0.00E+00
-6.86E+00	0.00E+00
-6.94E+00	0.00E+00
-7.02E+00	0.00E+00
-7.10E+00	0.00E+00

Con la información obtenida se determinó que el alcance máximo del chorro es de 6.78 [m]

### Cálculo de capacidad de batería

Para poder calcular la capacidad necesaria para que opere el robot primero se debe conocer las características de los componentes significativos en cuanto a consumo de corriente desde la batería.

Tabla 18. Características componentes eléctricos

Componente	Cantidad	Corriente Individual (A)	Corriente Total (A)	Voltaje (V)	Potencia Total (W)
Motor Nema 34 M	2	4.5	9	24	216
Raspberry Pi ZERO	1	1.2	1.2	5	6
Micro bomba AD20P-1230	2	0.4	0.8	12	9.6
Sensor de nivel de líquido tipo switch	1	0.5	0.5	5	2.5
Electroválvula	2	0.250	0.5	12	6

Según los requerimientos del cliente, mientras se esté con el módulo de balanza, el robot debe moverse por un periodo de tiempo y quedarse inmóvil, para después activarse y cambiar de posición. Por otro lado, con el módulo de vacunación el robot debe moverse a una velocidad constante, para que las válvulas rocíen la vacuna a los pollos. Hay que comparar el consumo total del robot con cada módulo por separado, en el lapso de una hora, para así poder escoger cual es la energía promedio que se necesite. Por lo tanto, se ha estimado que el robot debe funcionar 0.75 horas (45 minutos) con el módulo de vacunación y 8 horas con el de pesaje.

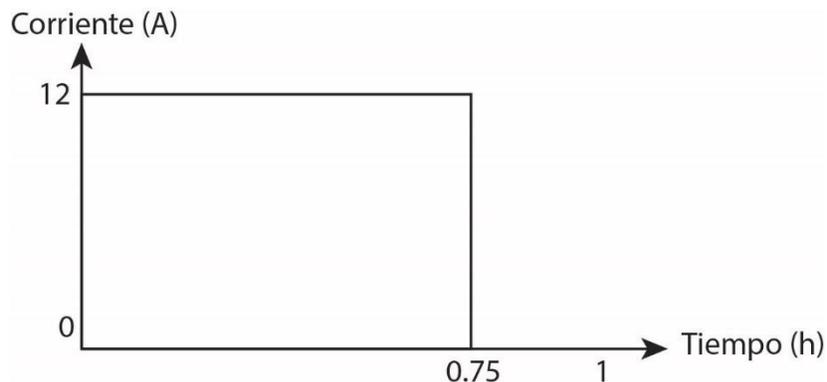
*Tabla 19. Tabla de consumo máximo estimado usando el módulo de vacunación por uso diario*

Componente	Tiempo diario de trabajo (h)	Tiempo de encendido por hora (h)	Tiempo total de funcionamiento diario (h)	Corriente total de uso (A)
Motor Nema 34 M	0.75	0.75	0.75	9
Raspberry Pi ZERO	0.75	0.75	0.75	1.2
Micro bomba AD20P-1230	0.75	0.75	0.75	0.8
Sensor de nivel de líquido tipo switch	0.75	0.75	0.75	0.5
Electroválvula	0.75	0.75	0.75	0.5
<b>Total</b>				<b>12</b>

*Tabla 20. Tabla de consumo máximo estimado usando el módulo de pesaje por uso diario*

Componente	Tiempo diario de Trabajo (h)	Tiempo de encendido por hora (h)	Tiempo total de funcionamiento diario (h)	Corriente total de uso (A)
Motor Nema 34 M	8	0.017	0.13	9
Raspberry Pi ZERO	8	1	8	1.2
<b>Total</b>				<b>10.2</b>

Con esto se grafican curvas de consumo de corriente por una hora:



*Figura 77. Consumo de corriente en 1 hora con el sistema de vacunación*



*Figura 78. Consumo de corriente en 1 hora con el sistema de pesaje*

La idea es encontrar la corriente de consumo promedio durante 1 hora para poder comparar ese dato con las tablas de fabricantes de las baterías y determinar cuál sería el tiempo de funcionamiento hasta que la batería se agote. El promedio de consumo del módulo de vacunación y pesaje son:

$$\bar{x}(\text{vacunación}) = \frac{13 \text{ A} \times 0.75 \text{ h}}{0.75 \text{ h}} = 13 \text{ A}$$

$$\bar{x}(\text{pesaje}) = \frac{(10.2 \text{ A} \times 0.017 \text{ h}) + (1.2 \text{ A} \times (1 - 0.017) \text{ h})}{1 \text{ h}} = 1.35 \text{ A}$$

La batería que se escogió es la siguiente:



Figura 79. Batería de 12 V y 20 Ah de la marca Expert Power

Tabla 21. Descarga constante de la corriente. Tabla obtenida de los datos técnicos del fabricante de la batería.

Constant Current Discharge(CC,Unit:A) at 25°C (77°F)												
F.V/Time	5Min	10Min	15Min	30Min	1Hr	2Hr	3Hr	4Hr	5Hr	6Hr	10Hr	20Hr
1.85V/Cell	65.76	38.82	30.51	19.89	11.61	6.71	5.15	4.231	3.467	2.826	1.853	0.963
1.80V/Cell	67.01	39.56	31.09	20.27	11.83	6.84	5.25	4.312	3.533	2.880	1.889	0.982
1.75V/Cell	68.27	40.30	31.67	20.65	12.05	6.97	5.35	4.392	3.599	2.934	1.924	1.000
1.70V/Cell	74.41	42.72	33.57	21.47	12.26	7.09	5.44	4.470	3.663	2.986	1.958	1.018
1.67V/Cell	81.92	46.35	36.43	22.67	12.39	7.16	5.50	4.518	3.702	3.018	1.979	1.029
1.60V/Cell	88.75	48.76	38.33	23.64	12.53	7.24	5.56	4.566	3.742	3.050	2.000	1.040

Con esta tabla se puede interpolar los datos para determinar la duración de la batería. Para un voltaje de 1.60 V/Celda, se tiene una duración de la batería de 59 minutos para el módulo de vacunación, mientras que dura 16.77 horas. Por recomendación, para alargar la vida útil de la batería no se debe descargarlo hasta menos del 20%, lo que quiere decir que se tendrá un tiempo de duración de las baterías reales de:

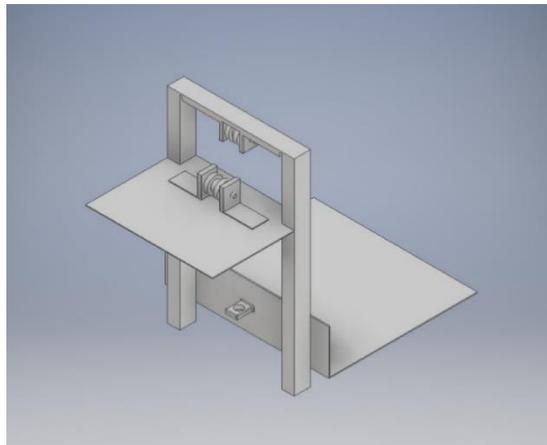
$$t_{vacunación} = 47.2 \text{ minutos}$$

$$t_{pesaje} = 13.41 \text{ horas}$$

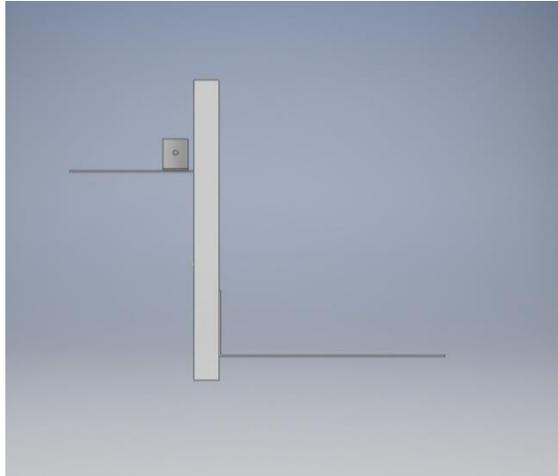
Cabe resaltar que se deben de conectar obligatoriamente 2 baterías en paralelo para así obtener un total de 24 V para alimentar los motores y otros componentes del sistema. Conectar las baterías en serie no afectan el amperaje, solo duplican el voltaje, por lo que los tiempos especificados anteriormente no se verían afectados. Si se quisiera hacer que el sistema estuviese encendido el doble de tiempo, se tienen que colocar 4 baterías en total. Obteniendo así una duración de 94.4 minutos para el módulo de vacunación y 26.82 horas con el de pesaje. De igual manera, la estructura del chasis está diseñado para almacenar hasta 4 baterías.

### **Simulación para el módulo de balanza**

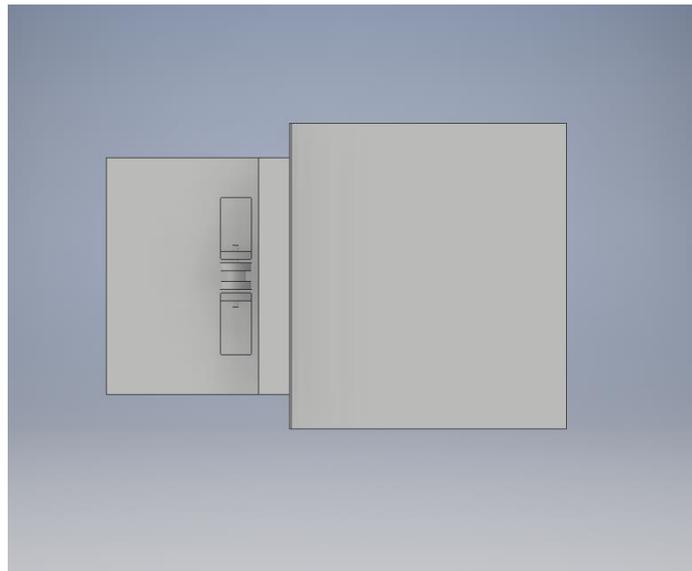
Se realiza el siguiente módulo de balanza que corresponde de manera adecuada a las medidas del módulo de movimiento para su correcto acople. Este diseño cuenta con una plancha en L que se moviliza mediante dos rieles con el uso de ruedas y debido a la tensión que genera una cuerda conectada a la parte posterior de la plancha y al sistema de poleas, el cual funciona con un motor nema 17. Para este diseño tenemos las siguientes vistas.



*Figura 80. Vista isométrica del módulo de balanza*



*Figura 81. Vista Lateral del módulo de balanza*



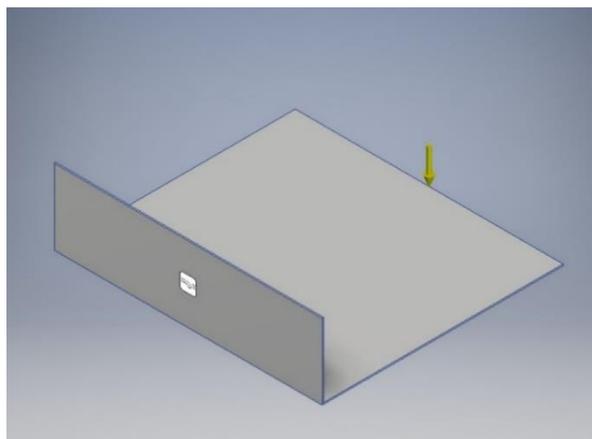
*Figura 82. Vista superior del módulo de balanza.*

Una vez definido las dimensiones del módulo de balanza, se selecciona el material para la estructura, el cual para este caso viene a ser el Aluminio 6066, con las siguientes propiedades.

Information	
▼ Basic Thermal	
Thermal Conductivity	1.670E+02 W/(m·K)
Specific Heat	0.897 J/(g·°C)
Thermal Exp...Coefficient	23.600 $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$
▼ Mechanical	
Behavior	Isotropic
Young's Modulus	68.900 GPa
Poisson's Ratio	0.33
Shear Modulus	25864.000 MPa
Density	2.700 $\text{g}/\text{cm}^3$
▼ Strength	
Yield Strength	240.000 MPa
Tensile Strength	260.000 MPa
	<input type="checkbox"/> Thermally Treated

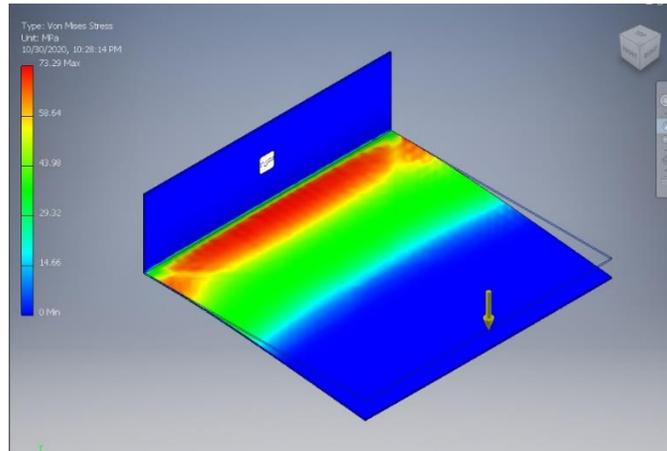
*Figura 83. Propiedades del material de la estructura del módulo de balanza*

Una vez definido las propiedades, se procede a establecer las condiciones de borde, para el cual asumimos que la plancha en vertical esta fija a una pared y la plancha en horizontal está sometida a una fuerza de 74.44 N tal como se indica en el siguiente gráfico.

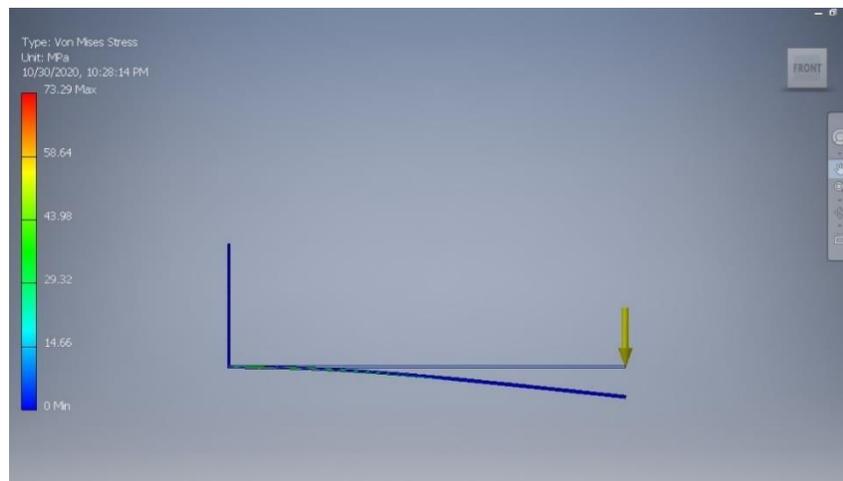


*Figura 84 Vista isométrica de la plancha en L del módulo de balanza con las condiciones de borde.*

Una vez puestas las condiciones de borde adecuadas, se procede a realizar un análisis de Von mises utilizando la opción de inventor “análisis de esfuerzo”, con el cual se obtiene las siguientes simulaciones.



*Figura 85. Simulación de esfuerzo a la vista isométrica de la plancha en L*



*Figura 86. Simulación de esfuerzo a la vista lateral de la plancha en L*

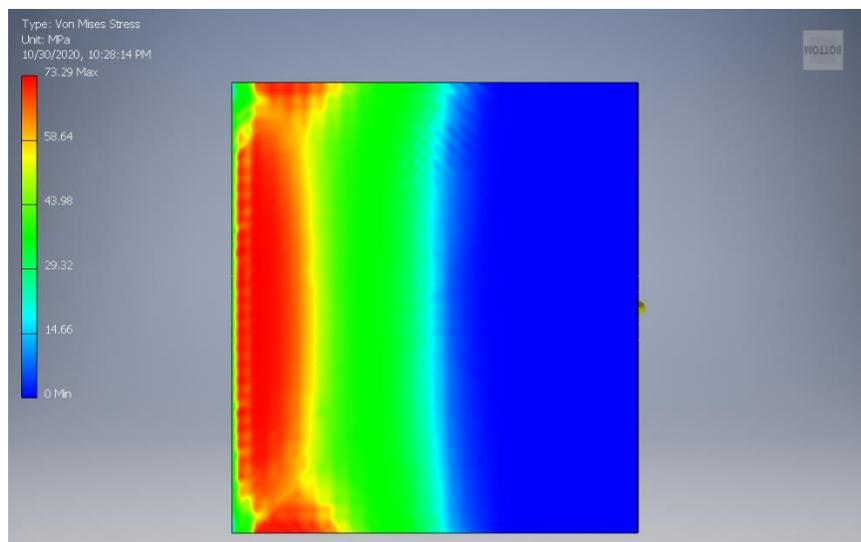


Figura 87. Simulación de esfuerzo a la vista inferior de la plancha en L

En la simulación anterior se encuentra el siguiente esfuerzo máximo:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 73.29 \quad (62)$$

Una vez obtenido el esfuerzo máximo mediante la simulación, se lo puede comparar con el esfuerzo de cedencia previamente determinado, el cual corresponde a 240 MPa tal como se observa en la figura 31. Por ende, el factor de seguridad encontrado va a ser de:

$$Fs = \frac{240 \text{ MPa}}{73.29 \text{ MPa}} = 3.274 \quad (63)$$

El valor hallado previamente concuerda con el cálculo realizado a mano en el anterior entregable. Se escogió este factor de seguridad para poder evitar que la plancha fleje debido a posibles golpes en el módulo de balanza o a un exceso de peso a causa de una acumulación de pollos.

## Circuitos de conexión eléctrica

### Método de carga de las baterías de ácido de 12 V 20 Ah

En la máquina es necesario un conjunto de mínimo 2 baterías conectadas en serie para así obtener un voltaje total de 24 V. Por lo que para cargar se necesitaría también 24 V como mínimo. Para el circuito de carga se utiliza un transformador de cargador de batería de laptop ya que estos son muy fáciles de encontrar, pero debe de tener un mínimo 24 V de salida. De igual manera se usará un reductor de DC a DC, que proporcionará la carga hacia las baterías.



*Figura 88. Reductor de DC a DC*

La corriente y el voltaje del reductor de DC a DC es ajustable y tiene las siguientes características:

- Input voltage range: 6-38 VDC (Note: input voltage not exceeding 38V)
- Output voltage range: 1.25-36VDC ajustable
- Output current: 0-5 A
- Output power: 75W
- High efficiency up to 96%

La conexión es muy simple ya que se debe de conectar los cables de positivo y negativo al reductor DC a DC, y de este a la batería. Debido a que el par de baterías de ácido estarán conectadas en serie basta con conectar el cargador a una sola batería. Como se muestra en la siguiente imagen:



*Figura 89. Conexión del sistema de carga de la batería de ácido*

La conexión en serie de las baterías entre sí, permitirá cargarla a ambas conectando solo una de ellas.

El amperaje necesario y tiempo de carga completa se obtienen de las especificaciones del fabricante de la batería. Para el modelo de batería de 12V 20 AH de la marca Expert Power, se tiene los siguientes datos para un uso cíclico (de carga y descarga):

## Battery Voltage and Charge Time for Cycle Use

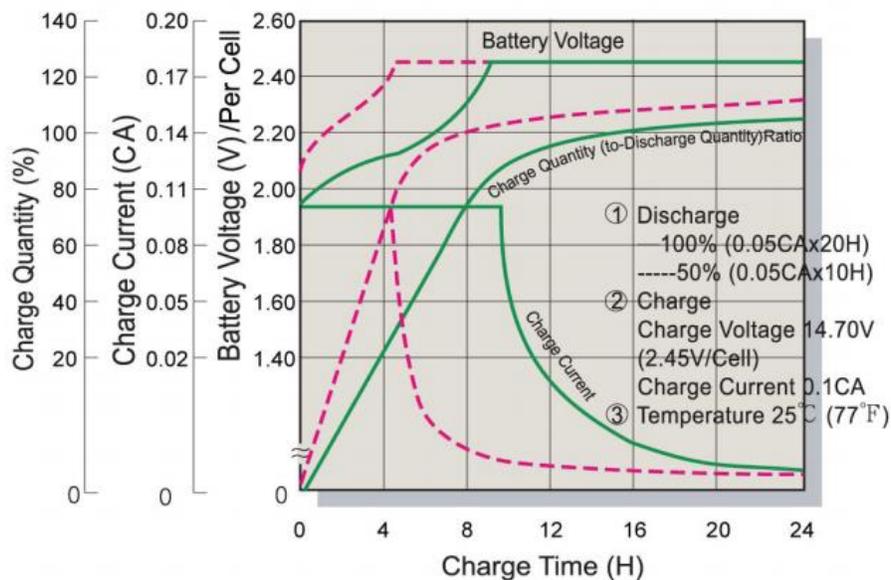


Figura 90: Especificaciones de carga de la 12V 20 AH de la marca Expert Power para uso cíclico

Como se observa en la figura, teniendo en cuenta dos baterías, el voltaje necesario se duplica por lo que es de 29.4 V, la corriente se mantiene en 2 A ( $0.1 \times 20 \text{ AH}$ ), y el tiempo de carga a un 80% es de alrededor de 8 horas, ya que la batería no debe descargarse más allá del 80% de su capacidad.

## Circuito de potencia

### Componentes

- Batería de 12 voltios
- Capacitores de 0.33uF
- Capacitores de 0.1uF
- Regulador de tensión lm7805
- Regulador de tensión lm7812

### Diseño esquemático del circuito de potencia

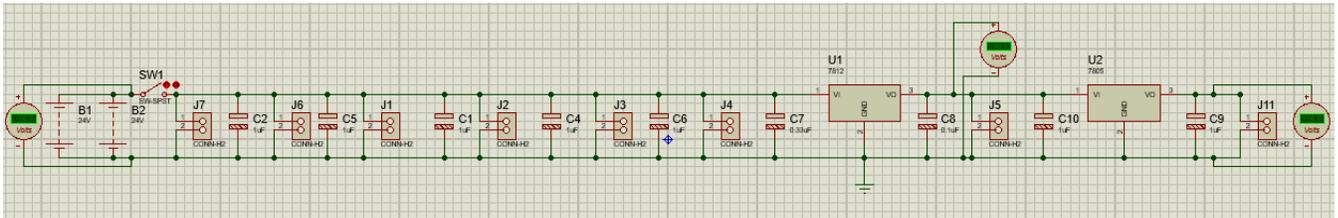


Figura 91. Esquemática del circuito de potencia

### PCB del circuito

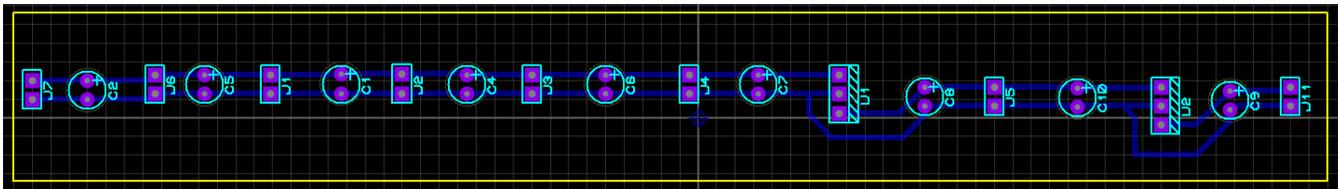
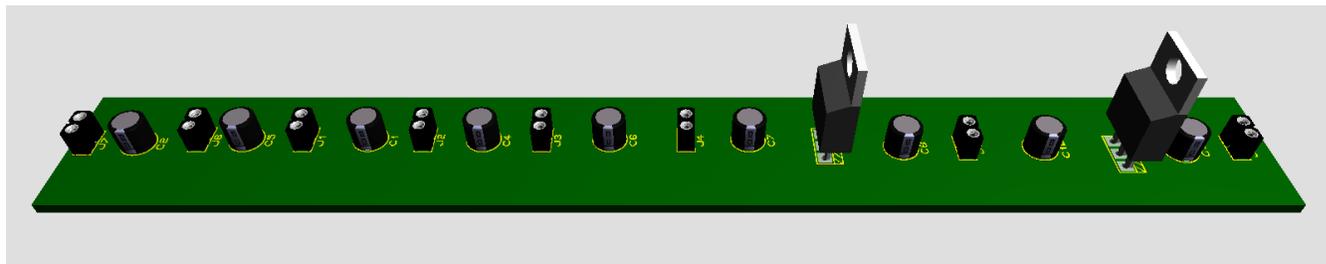
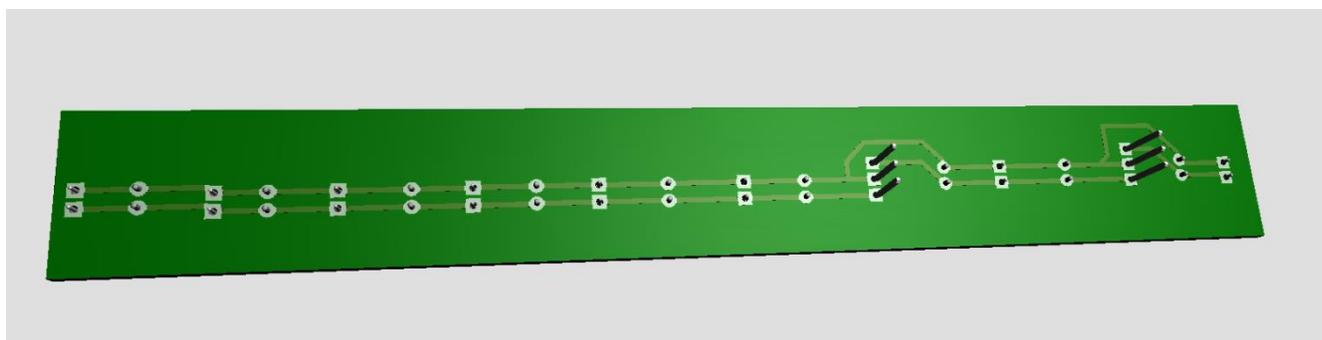


Figura 92. PCB Layout del circuito de potencia

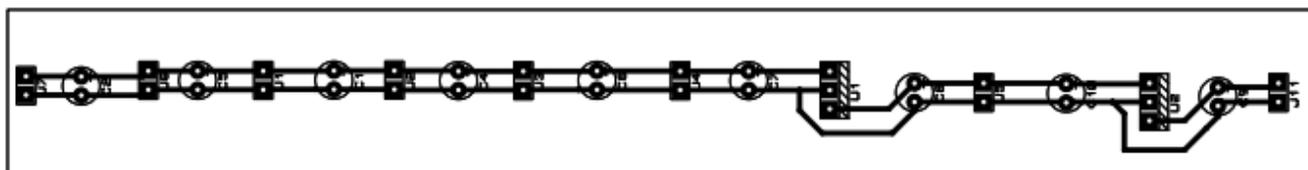
## Visualización 3D del circuito



*Figura 93. Visualización 3D del circuito de potencia*



*Figura 94. Camino del circuito impreso*



*Figura 95. PCB en blanco y negro para la impresión del circuito*



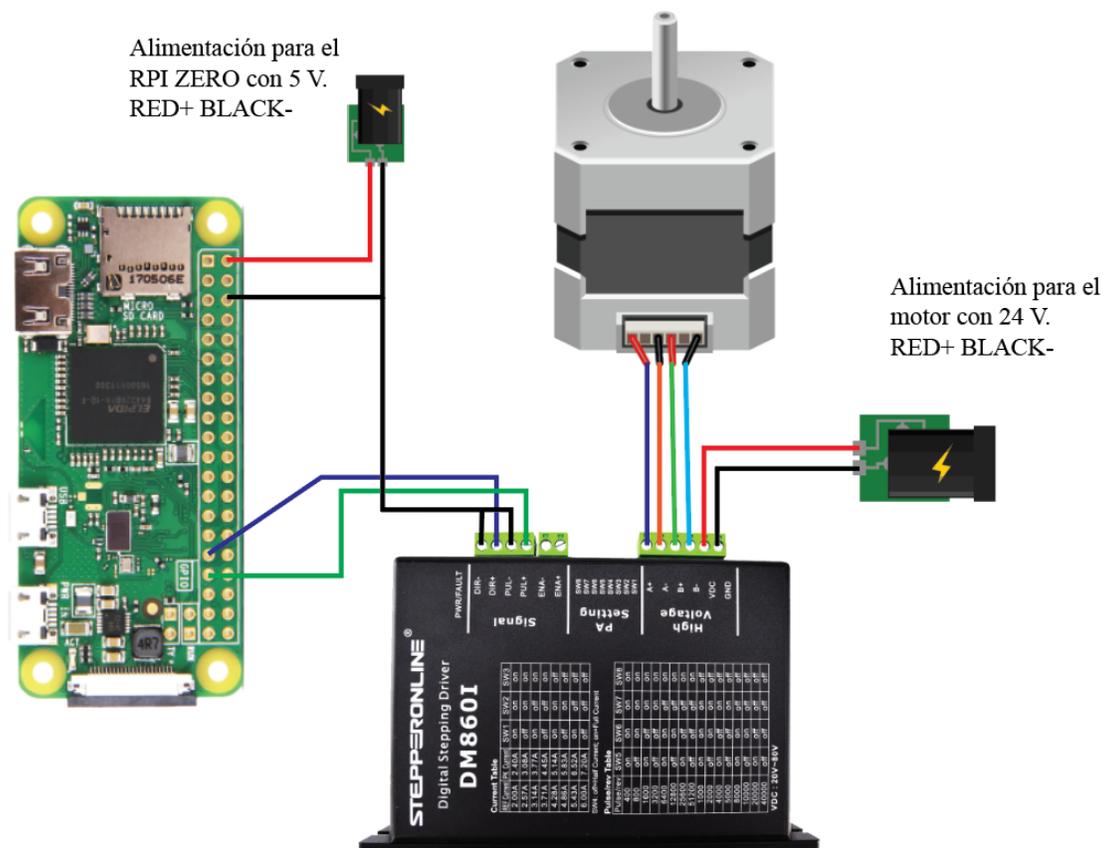


Figura 97. Circuito de conexión del motor Nema 34 M (2) y su driver de control

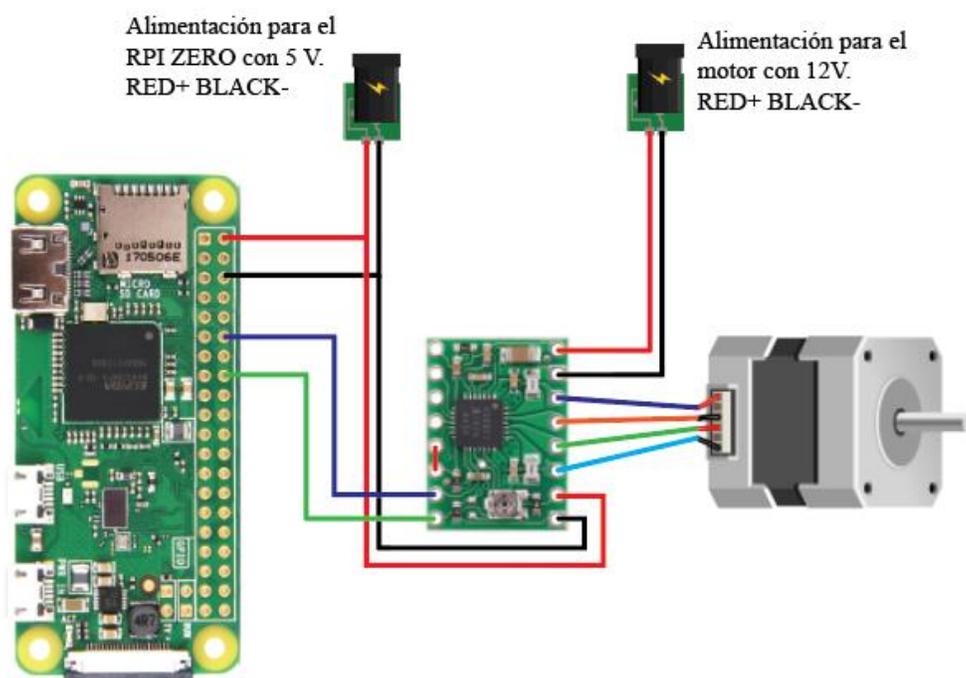


Figura 98. Circuito de conexión del motor Nema 17 y su driver de control

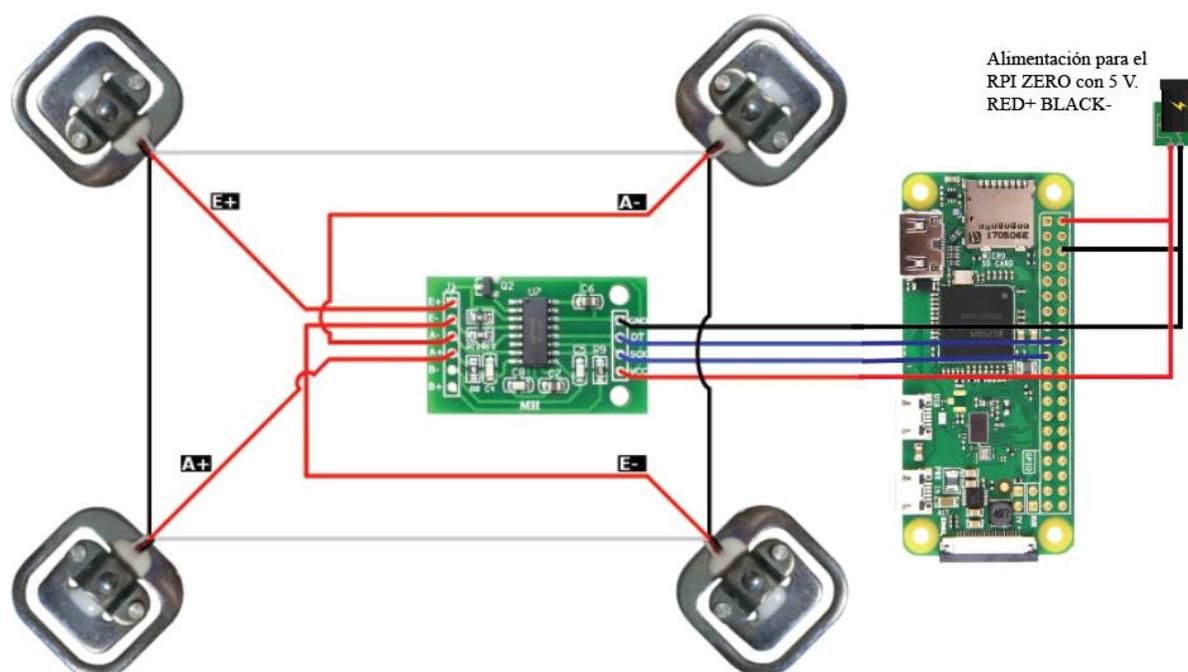


Figura 99. Circuito de conexión de las celdas de carga con el amplificador HX711

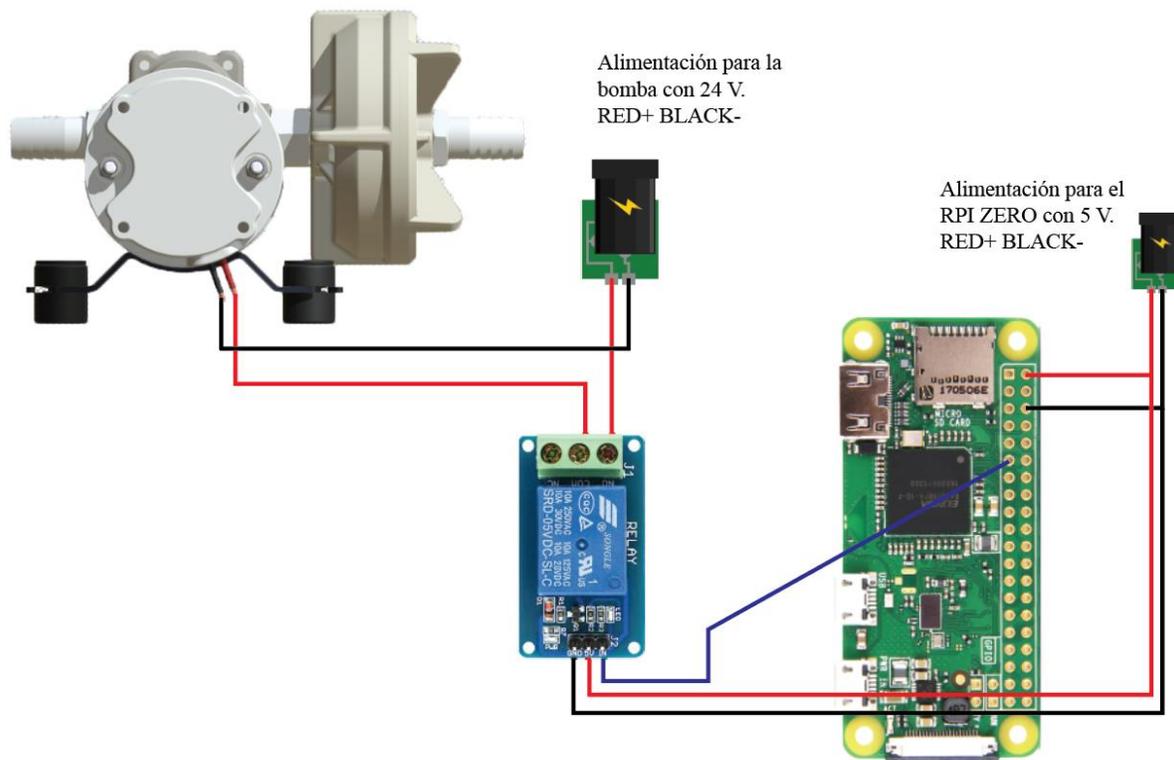


Figura 100. Circuito de conexión de la bomba Marco con su relé de control

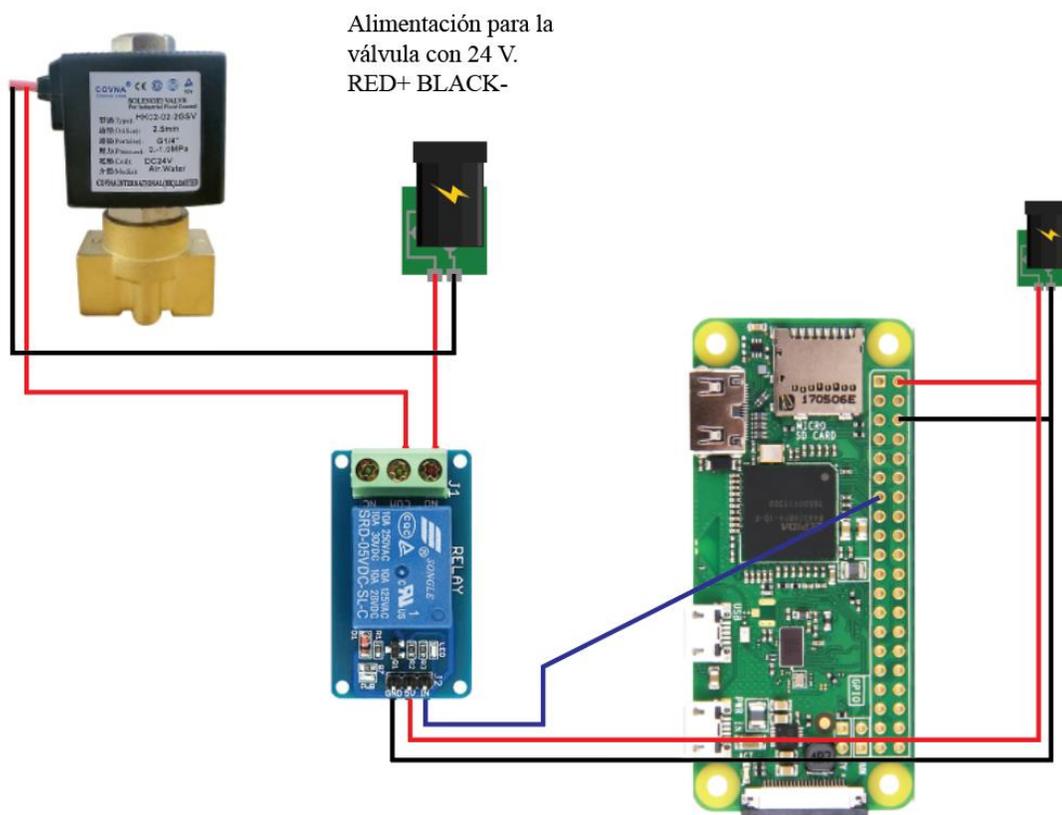
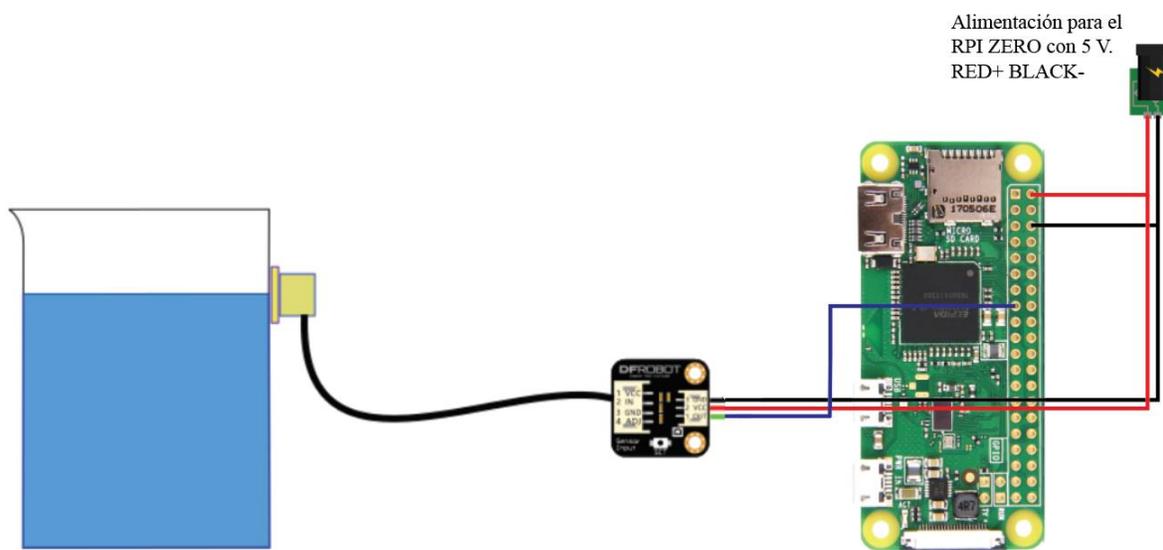


Figura 101. Circuito de conexión de la electroválvula con su relé de control



*Figura 102. Circuito de conexión del sensor de nivel de agua*



## APÉNDICE C: MANEJO DE PROYECTO

### Diagrama de Gantt

*Tabla 22. Diagrama de Gantt para la elaboración del robot multifuncional avícola*

Semanas	Septiembre					Octubre					Noviembre					Diciembre				
Actividades	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Identificar las necesidades del cliente																				
Bibliografía relacionada al tema																				
Diseñar 3 diferentes soluciones																				
Análisis de riesgo																				
Calculos																				
Reporte de progresos																				
Dibujos técnicos																				
Calculos y simulaciones																				
Simulación final del prototipo																				
Presentación final																				
Presentación Portafolio																				

## Presupuesto total del robot multifuncional

Tabla 23. Presupuesto del proyecto

Robot de Vacunacion y pesaje (RVP1)					
Piezas	Cantidad	Pesos (kg)	Total (kg)	Precio unitario	Precio total
Aluminum Alloy Metal Wheel 65mm	8	0.12	0.96	\$9.07	\$72.56
Anticorrosivo	2		0	\$3.99	\$7.98
Arandela M8 AS127	2	0.001	0.002		\$-
Base acrilica zona electrica	1	0.348	0.348		\$-
Bateria Seca AGM 12 V y 20 A.	2	5.9	11.8	\$52.00	\$104.00
Brazo de la Rueda Aluminio	16		0	\$15.00	\$240.00
Brida de fuerza	4	0.7	2.8		\$-
Cadenas y catalina acero	2	0.5	1		\$-
Cargador Bateria	1	0.22	0.22	\$19.90	\$19.90
Chumacera UCP 202	4	0.63	2.52	\$13.00	\$52.00
Collares CNS120	2	0.056	0.112		\$-
Convertidor DC a DC	1	0.05	0.05	\$5.00	\$5.00
Driver DM860I	2	0.55	1.1	\$39.52	\$79.04
Ejes 16 mm diametro 2 m de largo	1	1.48	1.48	\$42.41	\$42.41
LCD Arduino JHD162G	1	0.162	0.162	\$7.00	\$7.00
NEMA 34M IP20	2	3.05	6.1	\$51.83	\$103.66
Perno M4X8 SOCKET HEAD	44	0.002	0.088		\$-
Perno M5X20 SOCKET HEAD	26	0.005	0.13		\$-
Perno M8X35 HEX HEAD	6	0.02	0.12		\$-
Pernos M10 X50 HEX HEAD	2	0.042	0.084		\$-
Plancha de aluminio Cobertura	3	0	3.598	\$23.08	\$69.24
Powerlide Nordic 150 mm Aluminium R	4	0.236	0.944	\$26.97	\$107.88
RASPBERRY PI Zero W	1	0.113	0.113	\$27.00	\$27.00
Robot tracks – H	2	1.9	3.8	\$120.00	\$240.00
Rodamiento BS 290 SKF SKF 7202 BE	2	0.038	0.076		\$-
Seguros eje guia	2	0.152	0.304		\$-
Seguros motores	4	0.053	0.212		\$-
Sensor temperatura y humedad	1	0.013	0.013	\$34.90	\$34.90
Socket 2 pines	2	0.053	0.106	\$19.89	\$39.78
Socket 3 pines	1	0.053	0.053	\$19.89	\$19.89
Socket 4 pines	3	0.053	0.159	\$19.89	\$59.67
STN 02 1449	2	0.025	0.05		\$-
Suspensión Rear Shock set Mini - T 2.0	4	0.02	0.08	\$18.99	\$75.96
Tubo 20x20 Largo total 2804 mm Alumi	1	0.843	0.843	\$36.00	\$36.00
Tuerca AS1112 M10 TYPE 5	2	0.011	0.022		\$-
Tuerca AS1112 M8 TYPE 5	26	0.006	0.156		\$-
Tuerca AS1112 M4 TYPE 5	20	0.001	0.02		\$-
Boquillas de aspercion	4	0.01	0.04	\$3.00	\$12.00
Chasis	1	1.9	1.9	\$40.00	\$40.00
Cobertura Modulo (Plastico)	1	1.19	1.19		
Electrovalvula solenoide 24V	1	0.19	0.19	\$15.92	\$15.92
Marco UP8P	1	4	4	\$200.00	\$200.00
Manguera 1/4 para el sistema de asper	1	0.44	0.44	\$11.33	\$11.33
Racores en T	3	0.09	0.27	\$10.00	\$30.00
Seguros electrovalcula	2	0.008	0.006	\$-	\$-
Sensor Flotador Nivel De Agua	1	0.05	0.05	\$15.00	\$15.00
Tanque de 10 Litros de plastico	1	10	10	\$12.00	\$12.00
NEMA 17 12V y 1.5A	1	0.4	0.4	\$18.00	\$18.00
Plancha de aluminio Balanza	1	3.5	3.5	\$25.80	\$25.80
Mano de obra taller	1			\$500.00	\$500.00
Tubo rectangular de acero espesor 1.5r	2	0.2	0.4	\$13.26	\$26.52
Conocimiento ingenieril	1			\$1,000.00	\$1,000.00
<b>Total</b>		<b>62.011</b>			<b>\$3,350.44</b>

Tabla 24. Costo total del robot multifuncional avícola

Tipo	Costo
Costo ingenieril	\$ 1,200.00
Costo de fabricación	\$ 500.00
Costo total	\$ 3,550.44

### Tablas de selección de componentes

#### Selección de las soluciones del sistema de movimiento

Criterios que se tomarán en cuenta para la selección:

Energía = Movilidad > Ruido > Peso > Hermeticidad > Precio

Tabla 25. Tabla selección evaluación de criterios a tomar en cuenta

Criterio	Energía	Movilidad	Ruido	Peso	Hermeticidad	Precio	$\sum+1$	Ponderación
<b>Energía</b>	-----	0.5	1	1	1	1	5.5	0.262
<b>Movilidad</b>	0.5	-----	1	1	1	1	5.5	0.262
<b>Ruido</b>	0	0	-----	1	1	1	4	0.190
<b>Peso</b>	0	0	0	-----	1	1	3	0.142
<b>Hermeticidad</b>	0	0	0	0	-----	1	2	0.095
<b>Precio</b>	0	0	0	0	0	-----	1	0.048
						-		
						Suma	21	1

1. Evaluación del criterio energía

Solución B > Solución A > Solución C

Tabla 26. Criterios de selección de energía de las diferentes soluciones

Energía	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderado
<b>Solución A</b>	-----	0	1	2	0.333
<b>Solución B</b>	1	-----	1	3	0.500
<b>Solución C</b>	0	0	-----	1	0.167
			<b>Suma</b>	1	1

## 2. Evaluación del criterio movilidad

Solución B &gt; Solución C &gt; Solución A

Tabla 27. Criterios de selección de movilidad de las diferentes soluciones

Movilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución A	-----	0	0	1	0.167
Solución B	1	-----	1	3	0.500
Solución C	1	0	-----	2	0.333
			<b>Suma</b>	6	1

## 3. Evaluación del criterio ruido

Solución C &gt; Solución A = Solución B

Tabla 28. Criterio de selección de ruido de las diferentes soluciones

Ruido	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución A	-----	0.5	0	1.5	0.250
Solución B	0.5	-----	0	1.5	0.250
Solución C	1	1	-----	3	0.500
			<b>Suma</b>	6	1

## 4. Evaluación del criterio peso

Solución A &gt; Solución B &gt; Solución C

Tabla 29. Criterio de selección de peso de las diferentes soluciones

Peso	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución A	-----	1	1	3	0.500
Solución B	0	-----	1	2	0.333
Solución C	0	0	-----	1	0.167
			<b>Suma</b>	6	1

## 5. Evaluación hermeticidad

Solución B &gt; Solución C &gt; Solución A

Tabla 30. Criterio de selección de hermeticidad de las diferentes soluciones

Hermeticidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderado
<b>Solución A</b>	-----	0	0	1	0.167
<b>Solución B</b>	1	-----	1	3	0.500
<b>Solución C</b>	1	0	-----	2	0.333
			<b>Suma</b>	6	1

## 6. Evaluación criterio de precio

Solución A &gt; Solución B &gt; Solución C

Tabla 31. Criterio de selección de precio de las diferentes soluciones

Precio	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderado
<b>Solución A</b>	-----	1	1	3	0.500
<b>Solución B</b>	0	-----	1	2	0.333
<b>Solución C</b>	0	0	-----	1	0.167
			<b>Suma</b>	6	1

## 7. Tabla de Conclusiones

Tabla 32. Conclusiones sobre la solución de movilidad

Conclusión	Energía	Movilidad	Ruido	Peso	Hermeticidad	Precio	$\Sigma$	Prioridad
<b>Solución A</b>	0.333*0.262	0.167*0.262	0.250*0.190	0.500*0.142	0.167*0.095	0.500*0.048	0.2894	2
<b>Solución B</b>	0.500*0.262	0.500*0.262	0.250*0.190	0.333*0.142	0.500*0.095	0.333*0.048	0.4203	1
<b>Solución C</b>	0.167*0.262	0.333*0.262	0.500*0.190	0.167*0.142	0.333*0.095	0.167*0.048	0.2894	2

Analizando los cálculos se puede identificar que el sistema que tiene mejores características, para el movimiento del robot, es la solución B que es el de tracción de tipo oruga.

### Selección de las soluciones del sistema de vacunación

Criterios que se tomarán en cuenta para la selección:

Energía > Peso > Ruido > Precio

Tabla 33. Tabla selección evaluación de criterios a tomar en cuenta en módulo de vacunación

Criterio	Energía	Peso	Ruido	Precio	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Energía</b>	-----	1	1	1	4	0.400
<b>Peso</b>	0	-----	1	1	3	0.300
<b>Ruido</b>	0	0	-----	1	2	0.200
<b>Precio</b>	0	0	0	-----	1	0.100
				Suma	10	1

1. Evaluación del criterio energía

Solución C > Solución A > Solución B

Tabla 34. Criterio de selección de energía de las diferentes soluciones

Energía	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderado
<b>Solución A</b>	-----	1	0	2	0.333
<b>Solución B</b>	0	-----	0	1	0.167
<b>Solución C</b>	1	1	-----	3	0.500
			Suma	6	1

## 2. Evaluación del criterio peso

Solución C &gt; Solución B &gt; Solución A

Tabla 35. Criterio de selección de peso de las diferentes soluciones

Movilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución A	-----	0	0	1	0.167
Solución B	1	-----	0	2	0.333
Solución C	1	1	-----	3	0.500
			Suma	6	1

## 3. Evaluación del criterio ruido

Solución C &gt; Solución A = Solución B

Tabla 36. Criterio de selección de ruido de las diferentes soluciones

Ruido	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución A	-----	0.5	0	1.5	0.250
Solución B	0.5	-----	0	1.5	0.250
Solución C	1	1	-----	3	0.500
			Suma	6	1

## 4. Evaluación del criterio Precio

Solución A = Solución B = Solución C

Tabla 37. Criterio de selección de precio de las diferentes soluciones

Peso	Solución A	Solución B	Solución C	$\Sigma+1$	Ponderado
Solución A	-----	0.5	0.5	2	0.333
Solución B	0.5	-----	0.5	2	0.333
Solución C	0.5	0.5	-----	2	0.333
			Suma	6	1

## 5. Tabla de Conclusiones

Tabla 38. Conclusiones sobre la solución de vacunación

Conclusión	Energía	Peso	Ruido	Precio	$\Sigma$	Prioridad
<b>Solución A</b>	0.333*0.400	0.167*0.300	0.250*0.200	0.333*0.100	0.2666	2
<b>Solución B</b>	0.167 *0.400	0.333*0.300	0.250*0.200	0.333*0.100	0.2500	3
<b>Solución C</b>	0.500 *0.400	0.500*0.300	0.500*0.200	0.333*0.100	0.4833	1

Para este caso la solución que tiene la mayor prioridad es la solución C, que es el de Aspersión lateral por medio de 6 boquillas con dos tanques.

**Selección de las soluciones del sistema de pesaje**

Criterios que se tomarán en cuenta para la selección:

Estabilidad > Fiabilidad > Hermeticidad > Precio

Tabla 39. Tabla selección evaluación de criterios a tomar en cuenta en módulo de pesaje

Criterio	Estabilidad	Fiabilidad	Hermeticidad	Precio	$\Sigma+1$	Ponderación
<b>Estabilidad</b>	-----	1	1	1	4	0.400
<b>Fiabilidad</b>	0	-----	1	1	3	0.300
<b>Hermeticidad</b>	0	0	-----	1	2	0.200
<b>Precio</b>	0	0	0	-----	1	0.100
				<b>Suma</b>	10	1

## 1. Evaluación del criterio estabilidad

Solución B > Solución C > Solución A

Tabla 40. Criterio de selección de estabilidad de las diferentes soluciones

Estabilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderado
Solución A	-----	0	0	1	0.167
Solución B	1	-----	1	3	0.500
Solución C	1		-----	2	0.333
			<b>Suma</b>	6	1

2. Evaluación del criterio fiabilidad

Solución A = Solución B > Solución C

Tabla 41. Criterio de selección de fiabilidad de las diferentes soluciones

Fiabilidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderado
Solución A	-----	0.5	1	2.5	0.416
Solución B	0.5	-----	1	2.5	0.416
Solución C	0	0	-----	1	0.167
			<b>Suma</b>	6	1

3. Evaluación del criterio hermeticidad

Solución C > Solución A = Solución B

Tabla 42. Criterio de selección de hermeticidad de las diferentes soluciones

Hermeticidad	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderado
Solución A	-----	0.5	0	1.5	0.250
Solución B	0.5	-----	0	1.5	0.250
Solución C	1	1	-----	3	0.500
			<b>Suma</b>	6	1

4. Evaluación del criterio Precio

Solución C > Solución B > Solución A

*Tabla 43. Criterio de selección de precio de las diferentes soluciones*

Precio	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum+1$	Ponderado
Solución A	-----	0	0	1	0.167
Solución B	1	-----	0	2	0.333
Solución C	1	1	-----	3	0.500
			Suma	6	1

## 5. Tabla de Conclusiones

*Tabla 44. Conclusiones sobre el módulo de pesaje*

Conclusión	Estabilidad	Fiabilidad	Hermeticidad	Precio	$\sum$	Prioridad
Solución A	0.167*0.400	0.416*0.300	0.250*0.200	0.167*0.100	0.2583	3
Solución B	0.500 *0.400	0.416*0.300	0.250*0.200	0.333*0.100	0.4081	1
Solución C	0.333 *0.400	0.167*0.300	0.500*0.200	0.500*0.100	0.3333	2

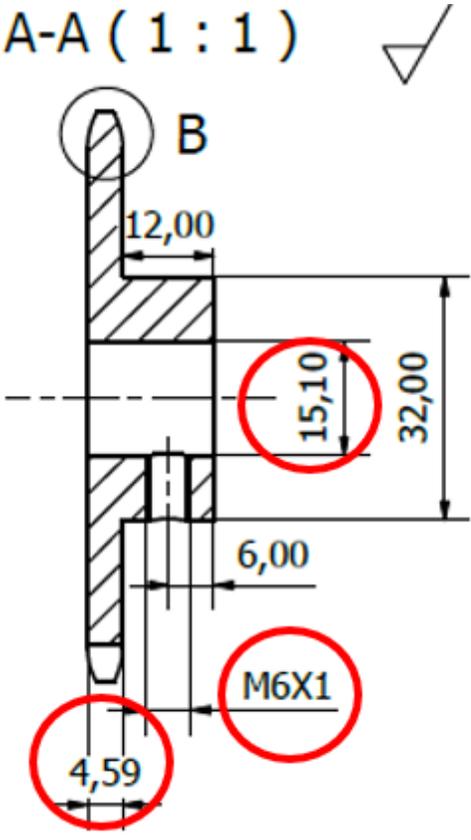
Considerando que el sistema de pesaje es la principal función del robot, se escogerá la solución B, de tipo montacarga, especialmente por la estabilidad que presenta la estructura y la facilidad para regular la altura de la balanza.

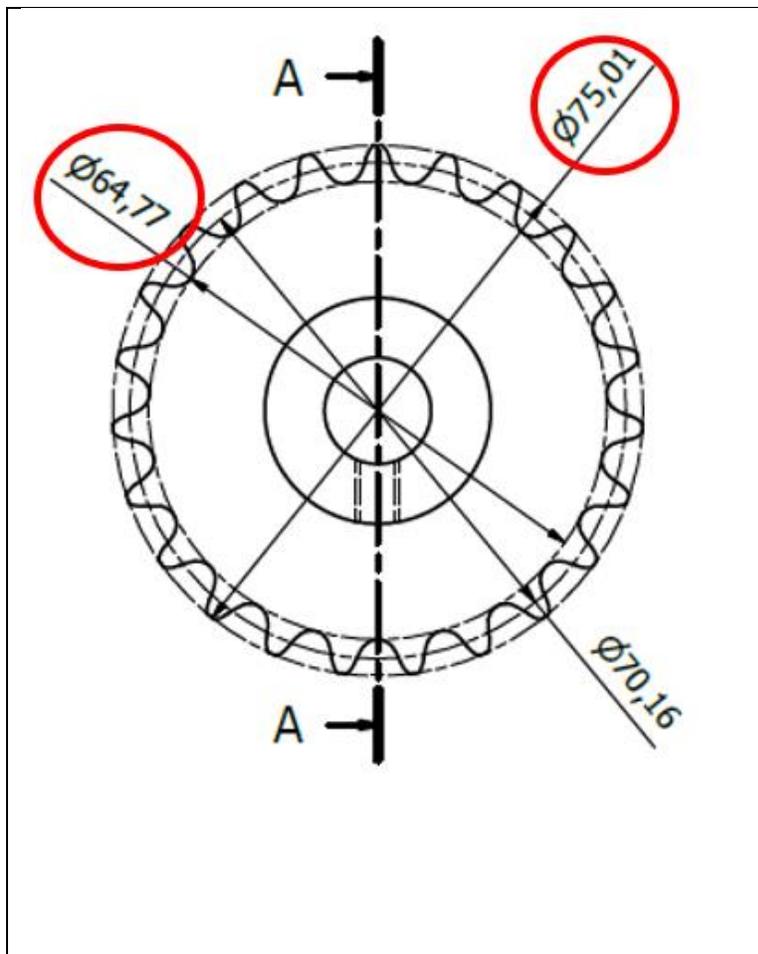
## Diseño de manufactura – Hojas de procesos

Tabla 45. Hoja de procesos catalina conectada a eje motriz

Hoja de proceso							
Descripción:	RVP1-MM-Catalina motriz			Plano N°	18	Cantidad:	2
Material:	Acero 1018	Responsable	Kevin Camacho				
Tarea	Herramienta	Operario	Tiempo en minutos	Herramienta de revisión	Parámetros de construcción		
Medición y trazado	Flexómetro y marcador	Empresa especializada	5 minutos	Flexómetro	Torno CNC: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 300 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 32 mm</li> <li>• Velocidad F: 0.03 m/min</li> </ul> Fresado: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diámetro herramienta: 9.52mm</li> <li>• Numero de dientes: 2</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Velocidad F: 0.2m/min</li> <li>• Velocidad giro: 1008 rpm</li> <li>• Velocidad corte 30 m/min</li> </ul> Taladrado 6 mm: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 1644 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 6 mm</li> <li>• Velocidad F: 0.17 m/min</li> </ul> Taladrado 15.1 mm: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 10 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 2101 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 15.1 mm</li> <li>• Velocidad F: 0.21 m/min</li> </ul> Roscado: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Machuelo:6mm x 1mm de paso.</li> </ul>		
Cortar	Sierra mecánica	Empresa especializada	5 minutos	Flexómetro			
Mecanizado	Torno CNC	Empresa especializada	10 minutos	Calibrador			
Mecanizado Con fresas de disco	Fresa de disco CNC	Empresa especializada	60 minutos	Calibrador			
Taladrado	Taladro de mesa	Empresa especializada	8 minutos	Calibrador			
Roscado	Machuelo	Empresa especializada	12 minutos	Calibrador			

Tabla 46. Verificación de dimensiones catalina - eje motriz

Verificación de cota en el Plano	Descripción
 <p>A-A ( 1 : 1 ) ✓</p> <p>B</p> <p>12,00</p> <p>32,00</p> <p>15,10</p> <p>6,00</p> <p>M6X1</p> <p>4,59</p>	<p>Los valores encerrados por círculos de color rojo son las dimensiones que debe verificar el responsable mediante el uso de un calibrador. La medida se debe verificar durante el proceso de fabricación y su tolerancia es de <math>\pm 0.1</math> mm. La dimensión del diámetro de taladrado 15.10 mm, es fundamental ya que debe permitir que el eje motriz entre casi encajado. Las dimensiones de M6X1 y 4.59 mm son importantes de igual manera ya que, el primer dato corresponde al perno de sujeción que se usará para fijar la catalina motriz, mientras el segundo dato, es el grosor del diente que debe tener la catalina para poder encajar en la cadena</p>

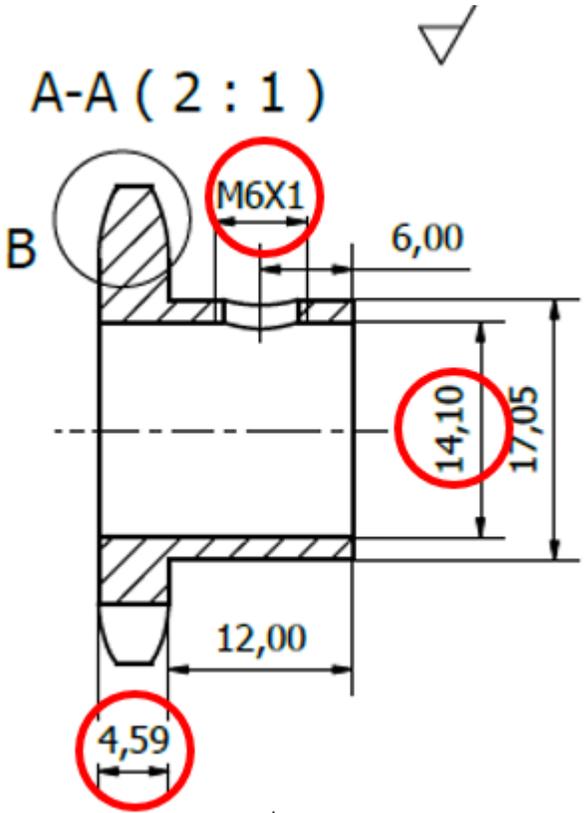


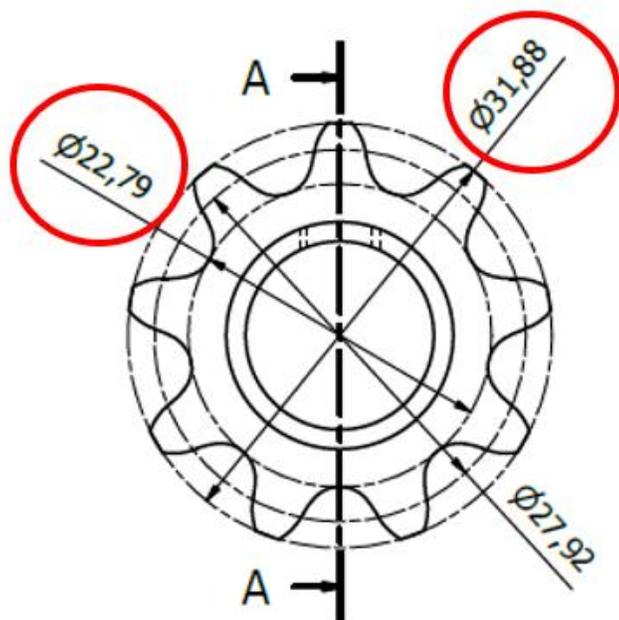
seleccionada. Finalmente, la dimensión de 64.77 mm es importante para el piñón ya que corresponde al diámetro de fondo, mientras el valor 75.01 mm es el diámetro exterior, siendo ambos valores necesarios en el proceso de fabricación. Es importante notar que en el plano de la pieza se menciona la cadena a usar, este dato permite fabricar los dientes de la catalina motriz de acuerdo con esta.

Tabla 47. Hoja de procesos catalina impulsadora del motor Nema

Hoja de proceso							
Descripción:	RVP1-MM-Catalina Guía			Plano N°	19	Cantidad:	2
Material:	Acero 1018	Responsable	Kevin Camacho				
Tarea	Herramienta	Operario	Tiempo en minutos	Herramienta de revisión	Parámetros de construcción		
Medición y trazado	Flexómetro y marcador	Empresa especializada	5 minutos	Flexómetro	Torno CNC: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 564 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 17 mm</li> <li>• Velocidad F: 0.057 m/min</li> </ul> Fresado: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diámetro herramienta: 9.52mm</li> <li>• Numero de dientes: 2</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Velocidad F: 0.2m/min</li> <li>• Velocidad giro: 1008 rpm</li> <li>• Velocidad corte 30 m/min</li> </ul> Taladrado 6 mm: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 1644 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 6 mm</li> <li>• Velocidad F: 0.17 m/min</li> </ul>		
Cortar	Sierra mecánica	Empresa especializada	5 minutos	Flexómetro			
Mecanizado	Torno CNC	Empresa especializada	7 minutos	Calibrador			
Mecanizado Con fresas de disco	Fresa de disco CNC	Empresa especializada	45 minutos	Calibrador			
Taladrado	Taladro de mesa	Empresa especializada	8 minutos	Calibrador			
Roscado	Machuelo	Empresa especializada	12 minutos	Calibrador			

Tabla 48. Verificación de dimensiones Catalina impulsadora del motor Nema

Verificación de cota en el Plano	Descripción
	<p>Los valores encerrados por círculos de color rojo son las dimensiones que debe verificar el responsable mediante el uso de un calibrador. La medida se debe verificar durante el proceso de fabricación y su tolerancia es de <math>\pm 0.1</math> mm. La dimensión del diámetro de taladrado 14.10 mm, es fundamental ya que debe permitir que el eje motriz entre libre y pueda encajar. Las dimensiones de M6X1 y 4.59 mm son importantes de igual manera ya que, el primer dato corresponde al perno de sujeción que se usará para fijar la catalina motriz, mientras el segundo dato, es el grosor del diente que debe tener la catalina para poder encajar en la cadena</p>



seleccionada. Las dos dimensiones restantes corresponden al diámetro de fondo y exterior, estos valores sumados al dato de la cadena a usar permiten fabricar la catalina guía.

Tabla 49. Hoja de procesos eje catalina motriz

Hoja de proceso							
Descripción:	RVP1-MM-Eje Motriz			Plano N°	22	Cantidad:	2
Material:	Acero 1018	Responsable	Alejandro González				
Tarea	Herramienta	Operario	Tiempo en minutos	Herramienta de revisión	Parámetros de construcción		
Medición y trazado	Flexómetro y marcador	Empresa especializada	2 minutos	Flexómetro	Torno CNC: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 641 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 15 mm</li> <li>• Velocidad F: 0.65 m/min</li> </ul>		
Cortar	Sierra mecánica	Empresa especializada	3 minutos	Flexómetro			
Mecanizado	Torno CNC	Empresa especializada	10 minutos	Calibrador			
Acabado superficial	Pulidora automática	Empresa especializada	15 minutos	Visual y tacto			

Tabla 50. Verificación de dimensiones eje catalina motriz

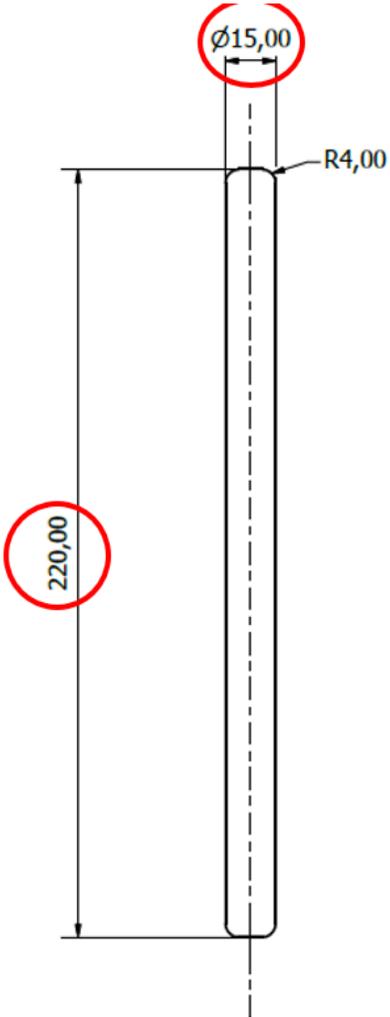
Verificación de cota en el Plano	Descripción
 <p>The diagram shows a vertical shaft with a dashed centerline. A dimension line on the left indicates a length of 220,00 mm, which is circled in red. At the top, a diameter dimension of <math>\varnothing 15,00</math> mm is shown, also circled in red. A fillet with a radius of R4,00 mm is indicated at the top edge of the shaft.</p>	<p>Los círculos de color rojo demarcan las dimensiones que debe verificar el ingeniero responsable durante la fabricación del eje motriz. La tolerancia que se debe tener es de <math>\pm 0.1</math> mm y la comprobación de la medida se realizará mediante flexómetro y calibrador. La dimensión de 15 mm de diámetro es importante, ya que el eje debe entrar y ajustarse dentro de dos cojinetes y la catalina motriz. Por otro lado, el valor de 22 mm, aunque menos fundamental en precisión, debe mantenerse con el fin de ubicar las orugas a la distancia correcta del módulo de movimiento.</p>

Tabla 51. Hoja de procesos eje guía

Hoja de proceso							
Descripción:	RVP1-MM-Eje Guía			Plano N°	23	Cantidad:	1
Material:	Acero 1018	Responsable	Nicolas Iglesias				
Tarea	Herramienta	Operario	Tiempo en minutos	Herramienta de revisión	Parámetros de construcción		
Medición y trazado	Flexómetro y marcador	Empresa especializada	2 minutos	Flexómetro	Torno CNC: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 641 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 15 mm</li> <li>• Velocidad F: 0.65 m/min</li> </ul>		
Cortar	Sierra mecánica	Empresa especializada	3 minutos	Flexómetro			
Mecanizado	Torno CNC	Empresa especializada	15 minutos	Calibrador			
Acabado superficial	Pulidora automática	Empresa especializada	20 minutos	Visual y Tacto			

Tabla 52. Verificación de dimensiones eje guía

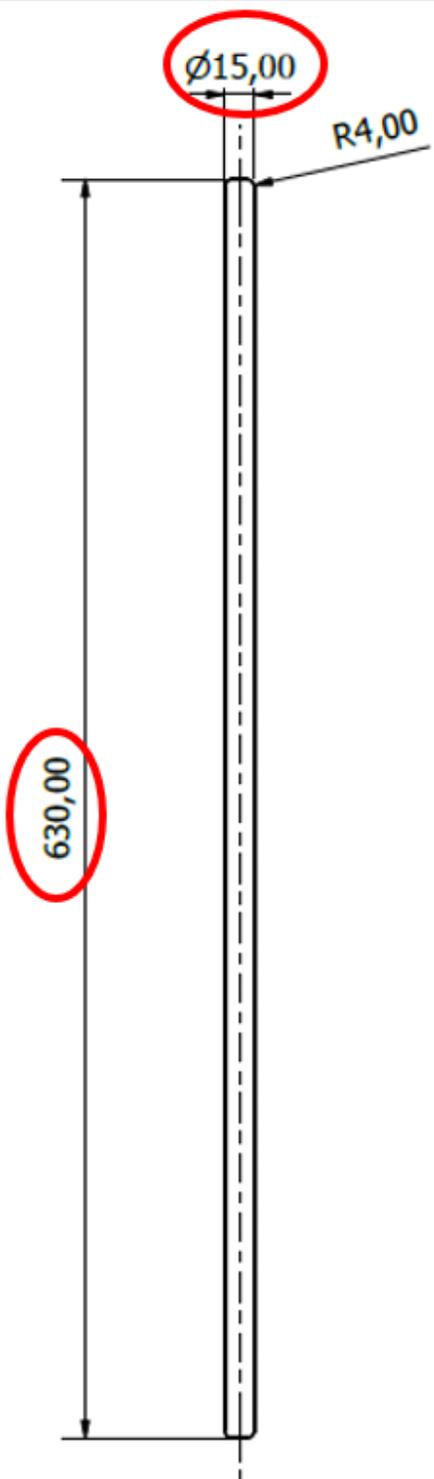
Verificación de cota en el Plano	Descripción
 <p>The diagram shows a vertical shaft with a dashed centerline. At the top, there is a circular feature with a diameter dimension of <math>\text{Ø}15,00</math> circled in red. Below this, a radius dimension of <math>R4,00</math> is indicated. The total length of the shaft is dimensioned as <math>630,00</math>, also circled in red. The shaft is drawn with a double-line outer boundary and a dashed centerline.</p>	<p>Los círculos de color rojo demarcan las dimensiones que debe verificar el ingeniero responsable durante la fabricación del eje guía. La tolerancia que se debe tener es de <math>\pm 0.1</math> mm y la comprobación de las medidas se realizarán mediante flexómetro y calibrador. Como en el eje motriz las dimensiones a verificar implican encaje y distancia correcta de posición de orugas, por lo tanto, su correcta medida es fundamental para el ensamble y sistema de movimiento del robot de vacunación y pesaje.</p>

Tabla 53. Hoja de procesos ajuste eje guía

Hoja de proceso							
Descripción:	RVP1-MM-Eje Guía			Plano N°	23	Cantidad:	1
Material:	Acero 1018	Responsable		Nicolas Iglesias			
Tarea	Herramienta	Operario	Tiempo en minutos	Herramienta de revisión	Parámetros de construcción		
Medición y trazado	Flexómetro y marcador	Empresa especializada	2 minutos	Flexómetro	Torno CNC: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 641 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 15 mm</li> <li>• Velocidad F: 0.65 m/min</li> </ul>		
Cortar	Sierra mecánica	Empresa especializada	3 minutos	Flexómetro			
Mecanizado	Torno CNC	Empresa especializada	15 minutos	Calibrador			
Acabado superficial	Pulidora automática	Empresa especializada	20 minutos	Visual y Tacto			

Tabla 54. Verificación de dimensiones ajuste eje guía

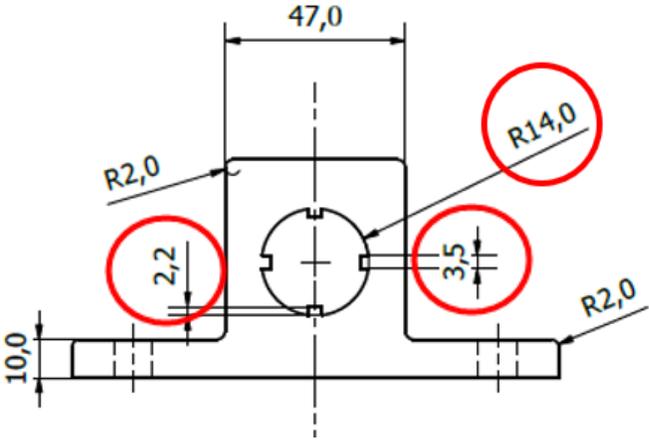
Verificación de cota en el Plano	Descripción
 <p>The technical drawing shows a mechanical part with a central hole. The overall width is 47,0 mm. The height of the main body is 10,0 mm. The thickness of the top flange is 2,2 mm. The thickness of the bottom flange is 3,5 mm. The top-left and bottom-right corners are rounded with a radius of R2,0. The central hole has a radius of R14,0. The dimensions 2,2, 3,5, and R14,0 are circled in red.</p>	<p>La dimensión encerrada en el círculo rojo corresponde a la medida principal que debe verificar el responsable durante el proceso de fabricación. La tolerancia que se considera es de <math>\pm 0.1</math> mm y el instrumento de revisión es el calibrador. Las dimensiones para considerar son fundamentales ya que el radio establecido permitirá que el eje con su collar de seguro entre perfectamente, mientras los datos restantes logran que el ajuste encaje con el collar.</p>

Tabla 55. Hoja de procesos seguros motores nema 34

Hoja de proceso					
Descripción:	RVP1-MM-Seguro Motor NEMA 2	Plano N°	17	Cantidad:	2
Material:	Aluminio 6061	Responsable	Kevin Camacho		
Tarea	Herramienta	Operario	Tiempo en minutos	Herramienta de revisión	Parámetros de construcción
Medición y trazado	Flexómetro y marcador	Empresa especializada	4 minutos	Calibrador	Taladrado 6.5 mm: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 1644 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 6 mm</li> <li>• Velocidad F: 0.17 m/min</li> </ul> Taladrado 14.1 mm: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 10 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 2292 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 14.1 mm</li> <li>• Velocidad F: 0.23 m/min</li> </ul>
Cortar	Sierra mecánica	Empresa especializada	5 minutos	Calibrador	
Taladrado	Taladro de mesa	Empresa especializada	5 minutos	Calibrador	

Tabla 56. Verificación de dimensiones seguros motores nema

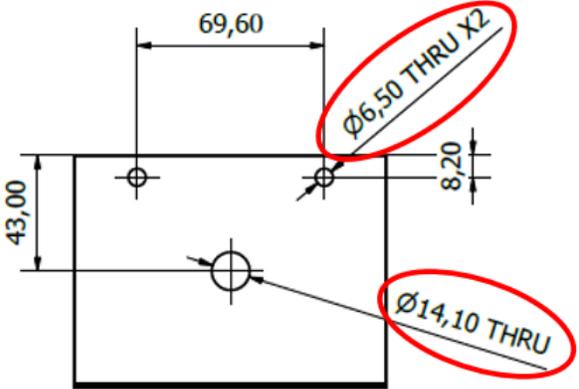
Verificación de cota en el Plano	Descripción
 <p>The drawing shows a rectangular motor housing. The total height is 43,00 mm. The total width is 69,60 mm. A hole is located on the top edge, 8,20 mm from the right edge. A hole is also shown on the front face. Two callouts are circled in red: 'Ø6,50 THRU X2' pointing to the top hole and 'Ø14,10 THRU' pointing to the front hole.</p>	<p>Las dimensiones encerradas por los círculos de color rojo deben ser verificada por el ingeniero responsable durante el proceso de fabricación. La tolerancia usada es <math>\pm 0.1</math> mm y el instrumento de revisión es el calibrador.</p> <p>Las dimensiones mostradas corresponden a los diámetros del eje del motor NEMA 34M IP 20 (14.10 mm) con una leve diferencia para su libre giro y los diámetros de pernos necesarios para ajuste con NEMA 34 (6.50 mm). Las otras dimensiones son referenciales de perforación y corresponden a las posiciones de ajuste que posee el motor.</p>

Tabla 57. Hoja de procesos cobertura load cell

Hoja de proceso							
Descripción:	RVP1-MP-Cobertura Load Cell			Plano N°	32	Cantidad:	4
Material:	PLA	Responsable	Esteban Mendía				
Tarea	Herramienta	Operario	Tiempo en minutos	Herramienta de revisión	Parámetros de construcción		
Impresión 3D	Impresora 3D	Empresa especializada	90 minutos	Calibrador	Impresión: - Porcentaje de relleno: 30%		

Tabla 58. Verificación de dimensiones de cobertura load cell

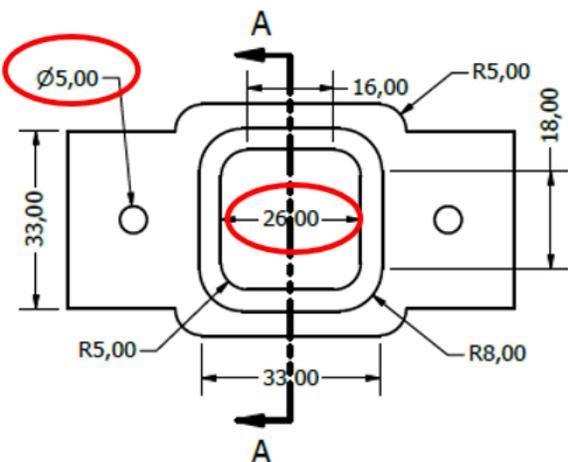
Verificación de cota en el Plano	Descripción
 <p>The drawing shows a technical drawing of a load cell cover plate. It features a central rectangular hole with rounded corners. Key dimensions include a total width of 33,00 mm, a total height of 33,00 mm, and a central hole width of 26,00 mm. A diameter of 5,00 mm is indicated for a hole on the left side. Radii of R5,00 and R8,00 are shown for the corners and the central hole. A section line A-A is drawn vertically through the center. Two red circles highlight the 5,00 mm diameter and the 26,00 mm width for verification purposes.</p>	<p>Los círculos de color rojo son las dimensiones que debe verificar el ingeniero responsable después del proceso de fabricación. La tolerancia usada es de <math>\pm 0.1</math> mm y el instrumento de revisión es el calibrador. La dimensión de 26 mm y 5 mm de diámetro son importantes debido a que, permiten ajustar la placa de balanza (donde se pararán los pollos) al sensor load cell en relación con el segundo valor, y logran que el sensor entre perfectamente en su cubierta en relación al primer dato.</p>

Tabla 59. Hoja de procesos tapa de la cobertura load cell

Hoja de proceso						
Descripción:	RVP1-MP-Tapa Cobertura Load Cell		Plano N°	33	Cantidad:	4
Material:	PLA	Responsable	Esteban Mendía			
Tarea	Herramienta	Operario	Tiempo en minutos	Herramienta de revisión	Parámetros de construcción	
Impresión 3D	Impresora 3D	Empresa especializada	20 minutos	Calibrador	Impresión: - Porcentaje de relleno: 30%	

Tabla 60. Verificación de dimensiones cobertura del load cell

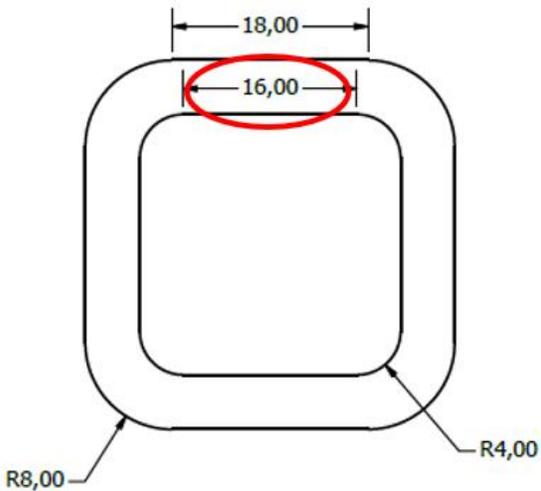
Verificación de cota en el Plano	Descripción
	<p>Los círculos de color rojo son las dimensiones que debe verificar el ingeniero responsable después del proceso de fabricación. La tolerancia usada es de <math>\pm 0.1</math> mm y el instrumento de revisión es el calibrador. La medida de 16 mm es fundamental para el ensamble, pues de su precisión depende el correcto funcionamiento del sensor load cell.</p>

Tabla 61. Hoja de procesos polea superior

Hoja de proceso						
Descripción:	RVP1-MP-Polea Superior		Plano N°	34	Cantidad:	1
Material:	Aluminio 6061	Responsable	Nicolas Iglesias			
Tarea	Herramienta	Operario	Tiempo en minutos	Herramienta de revisión	Parámetros de construcción	
Medición y trazado	Flexómetro y marcador	Empresa especializada	3 minutos	Calibrador	Torno CNC: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 241 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 40 mm</li> <li>• Velocidad F: 0.024 m/min</li> </ul> Taladrado 10 mm: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 945 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 10 mm</li> <li>• Velocidad F: 0.096 m/min</li> </ul>	
Cortar	Sierra mecánica	Empresa especializada	2 minutos	Calibrador		
Torneado	Torno CNC	Empresa especializada	20 minutos	Calibrador		
Taladrado	Taladro de mesa	Empresa especializada	10 minutos	Calibrador		

Tabla 62. Verificación de dimensiones polea superior

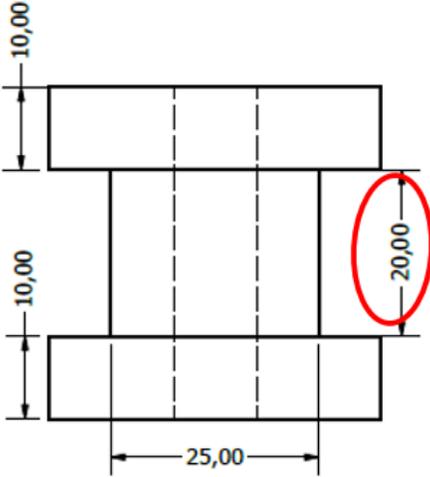
Verificación de cota en el Plano	Descripción
 <p>The diagram shows a technical drawing of a pulley with two V-shaped grooves. The top groove has a depth of 10,00 mm. The bottom groove has a depth of 10,00 mm. The distance between the vertical centerlines of the two grooves is 25,00 mm. The total width of the pulley body is 20,00 mm, which is circled in red. Dashed vertical lines indicate the centerlines of the grooves.</p>	<p>Los círculos de color rojo son las dimensiones que debe verificar el ingeniero responsable después del proceso de fabricación. La tolerancia usada es de <math>\pm 0.1</math> mm y el instrumento de revisión es el calibrador. La dimensión destacada debe ser comprobada debido a que la polea a usarse es igual o menor a dicha medida.</p>

Tabla 63. Hoja de procesos polea inferior

Hoja de proceso						
Descripción:	RVP1-MP-Polea Inferior		Plano N°	35	Cantidad:	1
Material:	Aluminio 6061	Responsable	Nicolas Iglesias			
Tarea	Herramienta	Operario	Tiempo en minutos	Herramienta de revisión	Parámetros de construcción	
Medición y trazado	Flexómetro y marcador	Empresa especializada	3 minutos	Calibrador	Torno CNC: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 241 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 40 mm</li> <li>• Velocidad F: 0.024 m/min</li> </ul> Taladrado 10 mm: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 945 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 10 mm</li> <li>• Velocidad F: 0.096 m/min</li> </ul>	
Cortar	Sierra mecánica	Empresa especializada	2 minutos	Calibrador		
Torneado	Torno CNC	Empresa especializada	20 minutos	Calibrador		
Taladrado	Taladro de mesa	Empresa especializada	10 minutos	Calibrador		

Tabla 64. Verificación de dimensiones polea inferior

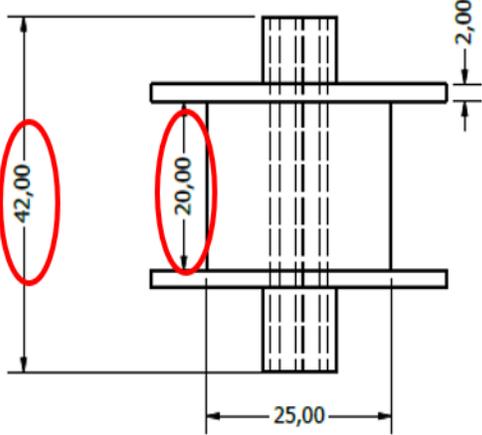
Verificación de cota en el Plano	Descripción
 <p>The drawing shows a pulley with a central shaft. The total height of the pulley is 42,00 mm. The diameter of the pulley is 20,00 mm. The width of the pulley is 25,00 mm. The thickness of the pulley is 2,00 mm. The dimensions 42,00 and 20,00 are circled in red.</p>	<p>Los círculos de color rojo son las dimensiones que debe verificar el ingeniero responsable después del proceso de fabricación. La tolerancia usada es de <math>\pm 0.1</math> mm y el instrumento de revisión es el calibrador. Las dimensiones destacadas deben ser comprobadas debido al encaje de acuerdo con la polea a usarse y por el ajuste al eje de rotación del motor NEMA 17.</p>

Tabla 65. Hoja de procesos eje polea superior

Hoja de proceso						
Descripción:	RVP1-MP-Pasador Polea Superior		Plano N°	36	Cantidad:	1
Material:	Aluminio 6061	Responsable	Esteban Mendía			
Tarea	Herramienta	Operario	Tiempo en minutos	Herramienta de revisión	Parámetros de construcción	
Medición y trazado	Flexómetro y marcador	Empresa especializada	2 minutos	Calibrador	Torno CNC: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 1204 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 8 mm</li> </ul>	
Cortar	Sierra mecánica	Empresa especializada	3 minutos	Calibrador		
Mecanizado	Torno CNC	Empresa especializada	5 minutos	Calibrador		
Acabado superficial	Pulidora automática	Empresa especializada	15 minutos	Calibrador		

Tabla 66. Verificación de dimensiones eje polea superior

Verificación de cota en el Plano	Descripción
	<p>El círculo rojo es la medida que el ingeniero debe verificar el ingeniero responsable después del proceso de fabricación. La tolerancia es de <math>\pm 1</math> mm y el instrumento para la revisión es el calibrador. La medida debe comprobarse debido a que se necesita que pueda ser insertada en un agujero ligeramente más grande va a servir como soporte para la polea superior del módulo de balanza.</p>

Tabla 67. Hoja de procesos brazos de soporte

Hoja de proceso							
Descripción:	RVP1-OR-Brazo Rueda Soporte			Plano N°	26	Cantidad:	1
Material:	Aluminio 6061	Responsable	José Cevallos				
Tarea	Herramienta	Operario	Tiempo en minutos	Herramienta de revisión	Parámetros de construcción		
Medición y trazado	Flexómetro y marcador	Empresa especializada	5 minutos	Calibrador	Fresado: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diámetro herramienta: 25.4mm</li> <li>• Numero de dientes: 2</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Velocidad F: 0.19m/min</li> <li>• Velocidad giro: 940 rpm</li> <li>• Velocidad corte 75 m/min</li> </ul>		
Cortar	Sierra mecánica	Empresa especializada	3 minutos	Calibrador			
Mecanizado	Fresadora CNC	Empresa especializada	20 minutos	Calibrador	Taladrado 10 mm: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 945 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 10 mm</li> <li>• Velocidad F: 0.096 m/min</li> </ul>		
Taladrado	Taladro de mesa	Empresa especializada	8 minutos	Calibrador			
Recubrimiento Superficial	Galvanizado	Empresa especializada	15 minutos	-	Taladrado 32.5 mm: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 2954 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 32.5 mm</li> </ul>		

Tabla 68. Verificación de dimensiones brazo de soporte

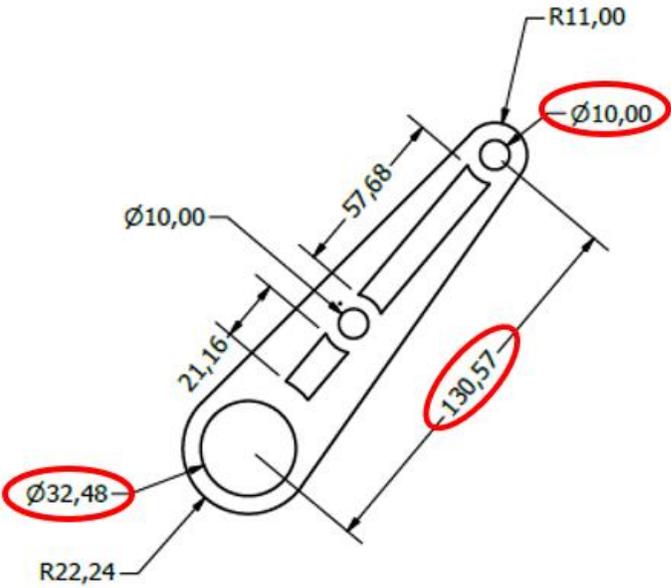
Verificación de cota en el Plano	Descripción
 <p>Technical drawing of a support arm. Dimensions shown include: <math>\text{Ø}10,00</math> (circled), 21,16, 57,68, R11,00, <math>\text{Ø}10,00</math> (circled), <math>\text{Ø}32,48</math> (circled), R22,24, and 130,57 (circled).</p>	<p>Las dimensiones encerradas en los óvalos rojos representan las dimensiones claves que hay que tomar en cuenta, el diámetro inferior (32.48 mm) es importante que tenga el ajuste apropiado para encajar con el eje de las ruedas de soporte, el superior (10 mm) para que se ajuste con uno de los pines que van al chasis. La cota de longitud (130.57 mm) es importante verificarse para que el ensamble tenga sentido. Se utilizará únicamente el calibrador para esta tarea.</p>

Tabla 69. Hoja de procesos rueda principal

Hoja de proceso							
Descripción:	RVP1-OR-Rueda Principal			Plano N°	29	Cantidad:	1
Material:	Aluminio 6061	Responsable	José Cevallos				
Tarea	Herramienta	Operario	Tiempo en minutos	Herramienta de revisión	Parámetros de construcción		
Medición y trazado	Flexómetro y marcador	Empresa especializada	5 minutos	Calibrador	Torno CNC: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 70 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 150 mm</li> <li>• Velocidad F: 0.0065 m/min</li> </ul> Fresado: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diámetro herramienta: 9.52mm</li> <li>• Numero de dientes: 2</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Velocidad F: 0.2m/min</li> <li>• Velocidad giro: 1008 rpm</li> <li>• Velocidad corte 30 m/min</li> </ul> Taladrado 75 mm: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 126 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 75 mm</li> </ul>		
Cortar	Sierra mecánica	Empresa especializada	3 minutos	Calibrador			
Mecanizado	Torno CNC	Empresa especializada	25 minutos	Calibrador			
Mecanizado	Fresadora CNC	Empresa especializada	20 minutos	Calibrador			
Taladrado	Taladro de mesa	Empresa especializada	8 minutos	Calibrador			
Recubrimiento Superficial	Galvanizado	Empresa especializada	15 minutos	-			

Tabla 70. Verificación de dimensiones Rueda principal

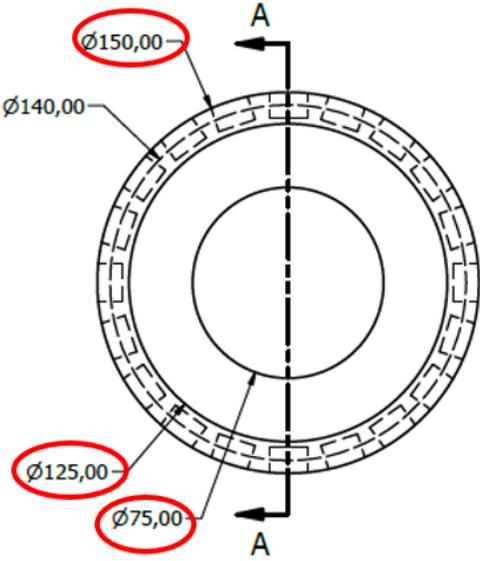
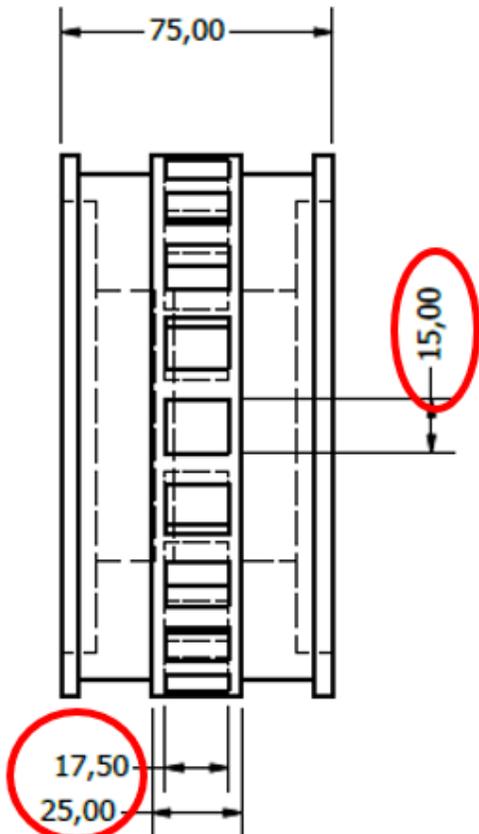
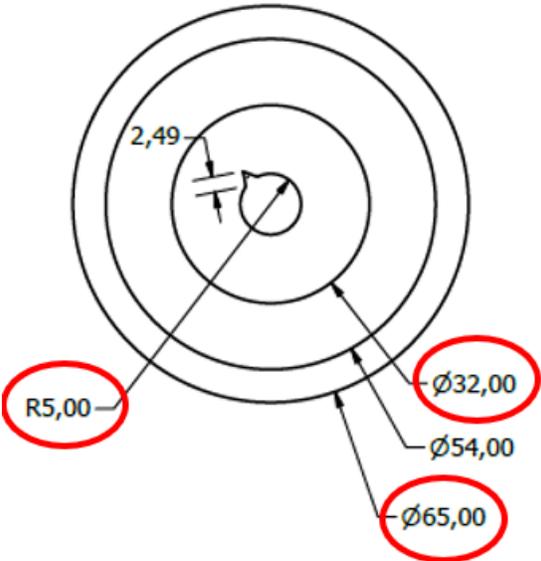
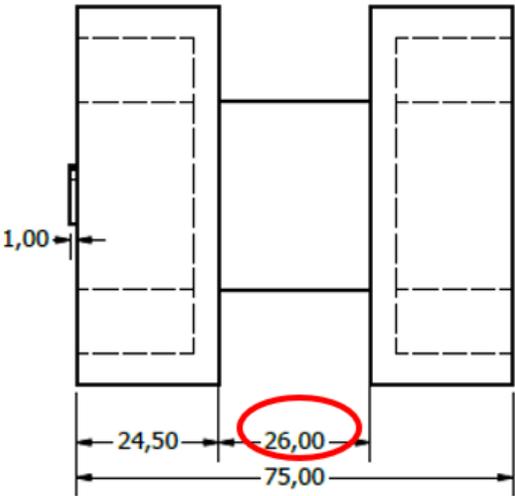
Verificación de cota en el Plano	Descripción
	<p>El diámetro superior (150 mm) marcado en un óvalo rojo es importante que tenga la medida apropiada para que pueda mantener la tensión apropiada en la banda. El diámetro intermedio (125 mm) y el inferior (75 mm) se deben considerar para que la rueda tenga una alineación adecuada. Para la verificación de estas medidas, de igual manera, se puede utilizar el calibrador.</p>
	<p>En el caso de esta vista, la cota superior (15 mm) marcada en un óvalo rojo es importante a considerar para que los sujetadores de la banda puedan embonar apropiadamente en la rueda y esta no pueda deslizarse. Las cotas inferiores (17.5 mm y 25 mm) son de igual manera importantes a considerar para evitar un desalineamiento con respecto a los sujetadores de la banda. De igual manera únicamente con un calibrador se pueden comprobar que estas dimensiones sean las apropiadas.</p>

Tabla 71. Hoja de procesos rueda de soporte

Hoja de proceso						
Descripción:	RVP1-OR-Rueda Soporte		Plano N°	28	Cantidad:	1
Material:	Aluminio 6061	Responsable	José Cevallos			
Tarea	Herramienta	Operario	Tiempo en minutos	Herramienta de revisión	Parámetros de construcción	
Medición y trazado	Flexómetro y marcador	Empresa especializada	5 minutos	Calibrador	Torno CNC: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 70 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 65 mm</li> <li>• Velocidad F: 0.0064 m/min</li> </ul> Taladrado 5 mm: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de corte: 30 m/min</li> <li>• Velocidad de giro: 945 rpm</li> <li>• F: 0.1mm</li> <li>• Diámetro de corte: 10 mm</li> <li>• Velocidad F: 0.096 m/min</li> </ul>	
Cortar	Sierra mecánica	Empresa especializada	2 minutos	Calibrador		
Mecanizado	Torno CNC	Empresa Especializada	15 minutos	Calibrador		
Taladrado	Taladro de mesa	Empresa especializada	8 minutos	Calibrador		
Recubrimiento Superficial	Galvanizado	Empresa Especializada	15 minutos	•		

Tabla 72. Verificación de dimensiones rueda de soporte

Verificación de cota en el Plano	Descripción
 <p>Technical drawing of a wheel support showing concentric circles and dimensions. A red oval highlights the dimensions R5,00, 2,49, 32,00, 54,00, and 65,00.</p>	<p>En este caso las dimensiones marcadas en un óvalo rojo deben ser verificadas con el calibrador para evitar irregularidades en la forma en que las ruedas de soporte interactúan con la banda de caucho. De igual manera se puede considerar una tolerancia de <math>\pm 0.1</math> mm.</p>
 <p>Technical drawing of a wheel support in a lateral perspective view. A red oval highlights the dimension 26,00.</p>	<p>Teniendo una perspectiva desde la vista lateral de la rueda de soporte, la cota más importante a considerar es la distancia entre las dos superficies de contacto con la banda (26 mm), como se puede ver en el extracto del plano, debido a que el diámetro mayor de los brazos de soporte embona en ese espacio, y la distancia marcada debe tener un valor preciso para permitir la simetría.</p>

Debido a que se desconoce el precio específico en el costo de cada componente, este dependerá de la empresa que se contrate. Sin embargo, una estimación en el mercado actual considerando que existen piezas fabricadas en aluminio, se tiene un precio total de manufactura de 500 USD.

## **APÉNDICE D: MANUAL DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN**

### **Manual de mantenimiento**

#### **Limpieza y mantenimiento preventivo**

##### **Limpieza:**

##### Sistema de movimiento

- Después de cada uso, es recomendable limpiar la superficie del sistema con un trapo húmedo y remover toda la suciedad posible.
- Limpiar el interior de las ruedas tipo oruga después de cada uso para evitar que la suciedad se acumule y se seque restos de eses o lodo en el interior.

##### Módulo de Balanza

- Limpiar la superficie de la balanza después de ser utilizada para evitar problemas en el cálculo del pesaje.
- Limpiar las ruedas de la balanza para evitar que esta se trabe al ascender o descender.
- Limpiar el exterior del motor nema y el interior de las poleas para garantizar su buen funcionamiento.

##### Módulo de Vacunación

- Limpiar el tanque después de cada uso para evitar su rápido deterioro.
- Limpiar las boquillas mensualmente para evitar un mal funcionamiento en ellas.

#### Sistema Electrónico

- Utilizar alcohol isopropílico para limpiar los componentes electrónicos sin generar daños o cortocircuitos.
- Utilizar brochas antiestáticas para remover la suciedad y polvo y la suciedad de los circuitos.
- Limpiar los cables para evitar una acumulación de polvo o suciedad.

#### Revisiones generales

- Revisar que las cadenas del sistema de transmisión se encuentren lubricadas por aceite de tipo A. En caso de que no lo estén, lubricarlas de manera manual p por goteo.
- Revisar que las cadenas están en perfectas condiciones, es decir, que no presente ruptura, que están en una correcta ubicación, etc. Para de esta forma cumplir un buen trabajo.
- Revisar el nivel de la batería antes de usar el Robot multifuncional. En caso de que este descargado, cargarlo antes de ser usado para evitar que este se detenga y provoque una complicación a la hora de moverlo hacia un punto de recarga.
- Revisar que los cables están correctamente conectados antes de usar cualquiera de los dos módulos para evitar posibles fallos en el sistema.
- Revisar que los cables eléctricos no se encuentren pelados ni rotos y que estén en buenas condiciones para garantizar la correcta funcionalidad y la seguridad del operario.

### **Desarme del Robot**

1. Retire cualquier modulo que este sujeto al chasis.
2. Retire la parte inferior o superior del chasis quitando los pernos y bridas.
3. Retire las coberturas del chasis para llegar al interior.
4. Limpie el interior del sistema.

### **Almacenamiento**

1. Cuando el robot no esté en uso o no vaya a ser utilizado, utilice el modo manual desde la aplicación RVP1 para moverlo a un lugar cubierto y coloque el robot multifuncional cerca de un tomacorriente para poder recargar las baterías en el caso de desgaste.
2. Si el robot multifuncional no va a ser utilizado en una gran cantidad de tiempo, asegúrese de que la batería se encuentra en un rango de 60 a 70% de carga antes que este sea apagado en su totalidad.
3. Almacene los módulos de pesaje y vacunación en un lugar cubierto para evitar que estos se deterioren. Recúbralos con un plástico impermeable y asegurarse que el lugar tenga ventilación para evitar que la humedad y condiciones del ambiente desgasten de manera rápida los módulos.

Tabla 73: Programación de mantenimiento.

<b>Pieza</b>	<b>Módulo</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Duración</b>	<b>Descripción</b>
Boquillas	Vacunación	Mensual	30 minutos	Desinstalar boquillas, limpiar cualquier tipo de obstrucción, si existe desgaste excesivo reemplazarla.
Cojinetes UCP-202	Movimiento	Semestral	2 horas	Desinstalar rodamiento, desengrasar, secar y lubricar, si se observa corrosión el rodamiento llegó al final de su de su vida útil.
Baterías 12V 20Ah	Movimiento	Anual	1 hora	Verificar mediante el uso de un multímetro el estado de carga máximo de las baterías. Se recomienda asistencia de un técnico.
Sistema cadena catalina	Movimiento	Semestral	30 minutos	Verificar de manera visual si es que existe desgaste de la cadena o catalinas, añadir lubricante mediante goteo si es necesario.
Polea	Pesaje	Trimestral	30 minutos	Verificar de manera visual si es que existe desgaste en la polea,

				añadir lubricante mediante goteo si es necesario.
Ejes Motriz y Guía	Movimiento	Anual	1 hora	Verificar si existe desgaste o corrosión, de ser necesario rectificar o reemplazar eje.

Tabla 74. Parámetros de funcionamiento

Característica	Descripción
Peso	40 – 60 kg
Número de Módulos	3
Velocidad de Avance	0.4 m/s
Tiempo de Aspersión	6 minutos
Capacidad de Almacenamiento de Líquido	10 L
Alcance Lineal en Aspersión	134 m
Alcance Lateral en Aspersión	11 m (5.5 m por lado)
Distancia de Cambio de Posición en Pesaje	15 m
Conexión de Carga	110 V (tomacorriente)
Tiempo de Autonomía en Pesaje	13.42 horas
Tiempo de Autonomía en Vacunación	47.2 minutos

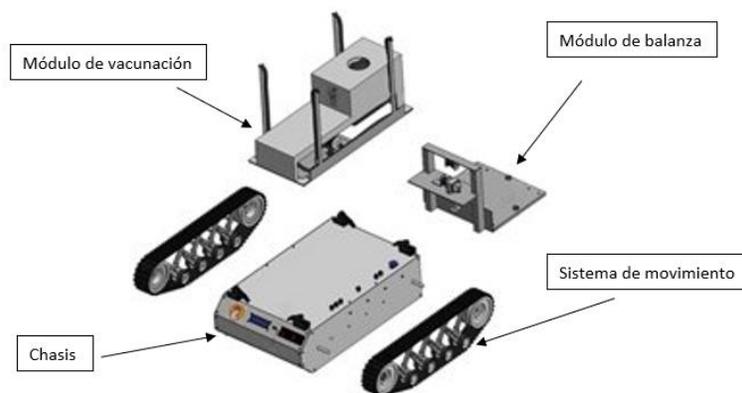


Figura 105. Robot multifuncional de vacunación y pesaje de pollos RVPI vista ampliada

## Sistema de movimiento

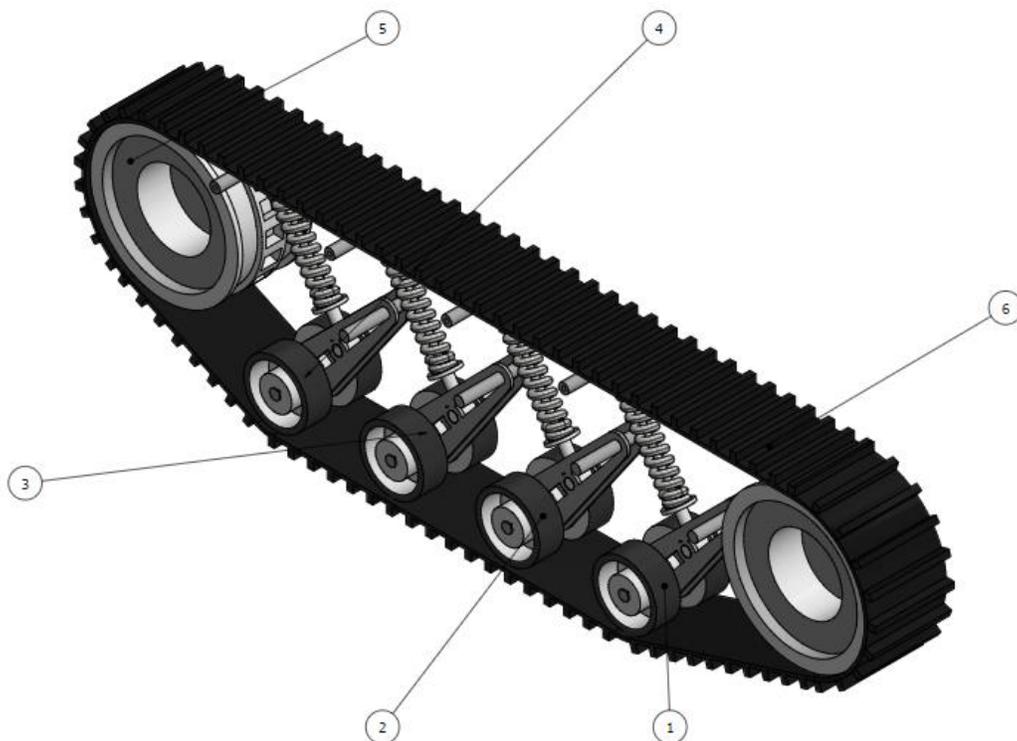


Figura 106. Vista expandida del sistema de movimiento

Tabla 75. Lista de piezas del sistema de movimiento

Lista de piezas		
ITEM	CANTIDAD	PIEZA
1	1	RVP1-OR-Suspensión Individual 1
2	1	RVP1-OR-Suspensión Individual 2
3	1	RVP1-OR-Suspensión Individual 3
4	1	RVP1-OR-Suspensión Individual 4
5	2	RVP1-OR-Rueda Principal
6	1	RVP1-OR-Banda

## Chasis del robot multifuncional

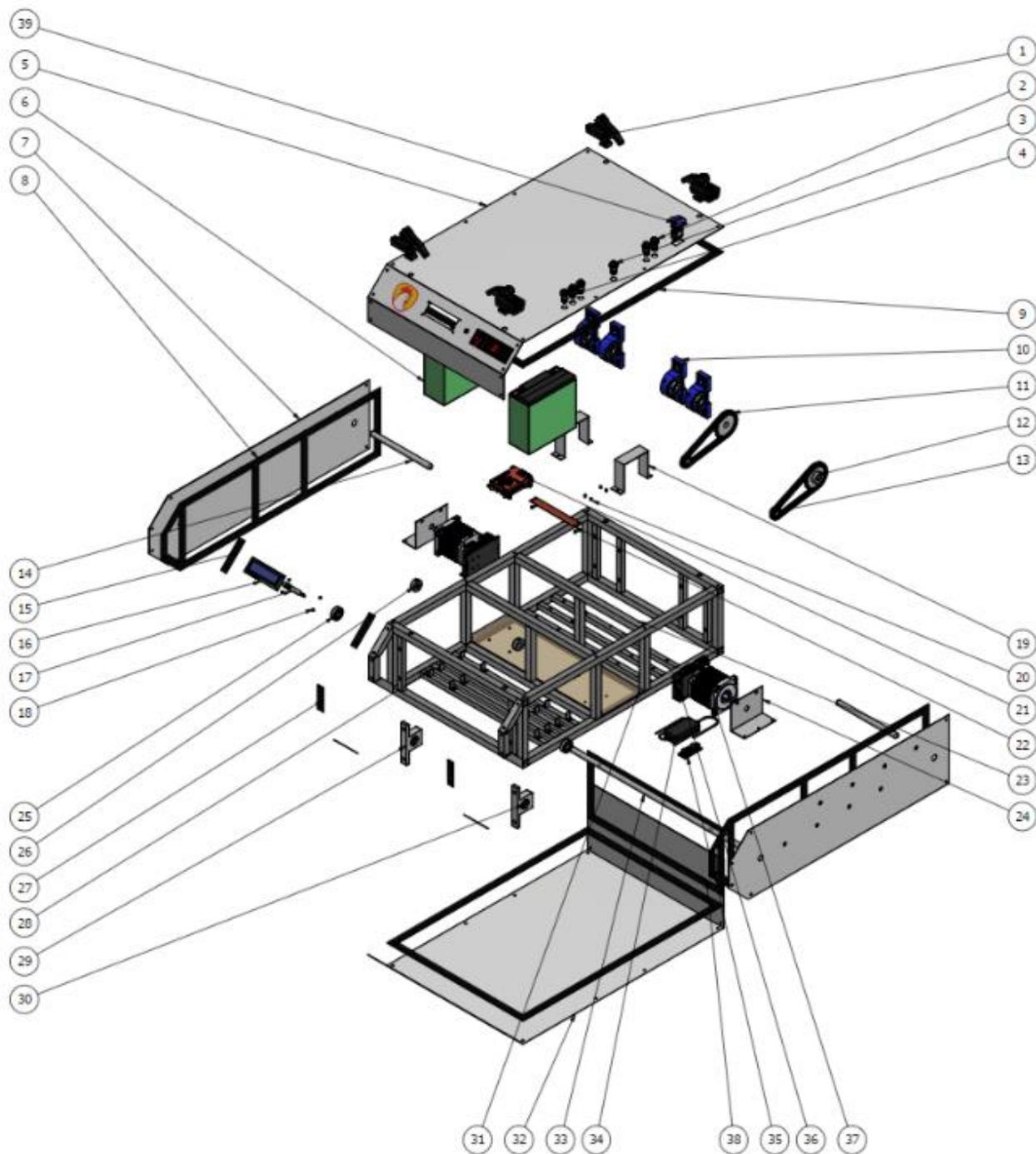


Figura 107. Vista expandida del sistema de movimiento

Tabla 76. Lista de piezas del sistema de movimiento

<b>LISTA DE PIEZAS</b>		
<b>ITEM</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PIEZA</b>
1	4	RVP1-MM-Brida de Fuerza
2	3	RVP1-MM-Socket de 4 Pines
3	1	RVP1-MM-Socket de 3 Pines
4	2	RVP1-MM-Socket de 2 Pines
5	1	RVP1-MM-Cubierta Superior
6	2	RVP1-MM-Batería 12V 20Ah
7	2	RVP1-MM-Cubierta Lateral
8	2	RVP1-MM-Empaque Caras Laterales
9	2	RVP1-MM-Empaque Cara Sup/Inf
10	4	RVP1-MM-Cojinete UCP202
11	1	RVP1-MM-Cadena Catalina
12	2	RVP1-MM-Catalina Motriz
13	2	RVP1-MM-Catalina Guia
14	2	RVP1-MM-Eje Motriz
15	2	RVP1-MM-Empaque Puntas
16	1	RVP1-MM-Pantalla LCD
17	1	RVP1-MM-Sensor de Temperatura y Humedad SHT15
18	4	RVP1-MM-Separador Pantalla
19	2	RVP1-MM-Seguro Motor NEMA 1
20	8	RVP1-MM-Separador Placa
21	1	RVP1-MM-Raspberry Pi 4 Model B
22	1	RVP1-MM-Placa de Potencia
23	1	RVP1-MM-Chasis
24	2	RVP1-MM-Seguro Motor NEMA 2
25	2	RVP1-MM- BS 290 SKF
26	2	RVP1-MM-CNS 120 15
27	1	RVP1-MM-Empaque Frontal
28	16	RVP1-MM-Seguros Baterías
29	2	RVP1-MM-Ajuste Eje Guía
30	2	RVP1-MM-CSN 02 1449
31	1	RVP1-MM-Base Acrílico Zona Eléctrica
32	1	RVP1-MM-Cubierta Inferior
33	1	RVP1-MM-Eje Guía
34	1	RVP1-MM-Cargador Laptop
35	1	RVP1-MM-Convertidor DC a DC
36	2	RVP1-MM-Driver DM860I
37	2	RVP1-MM-Nema 34 IP 20
38	1	RVP1-MM-Empaque Trasero
39	1	RVP1-MM-Switch on/off

## Módulo de vacunación

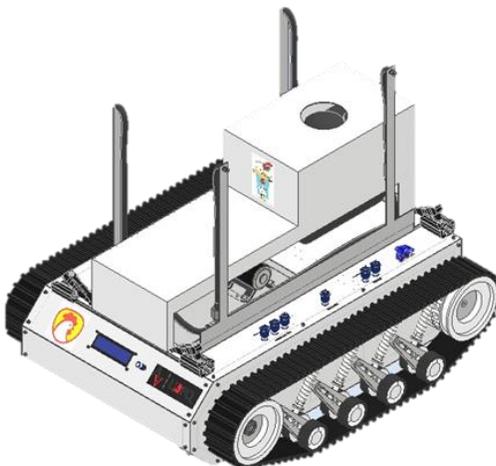


Figura 108. Vista isométrica del sistema de movimiento acoplado el módulo de vacunación

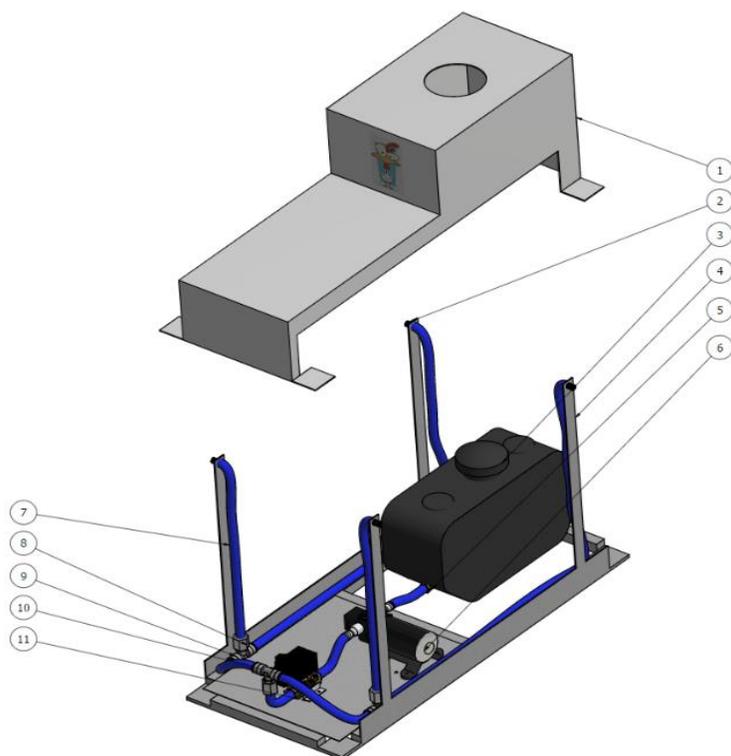


Figura 109. Vista expandida del módulo de vacunación

Tabla 77. Lista de piezas del módulo de vacunación

LISTA DE PIEZAS		
ITEM	CANTIDAD	PIEZA
1	1	RVP1-MV-Cobertura Vacunación
2	4	RVP1-MV-Boquilla
3	1	RVP1-MV-Tanque 2.5 Galones
4	1	RVP1-MV-Chasis Vacunación
5	1	RVP1-MV- Parker Hose Barb to Male Pipe 125HBL 125HBL-6-6
6	1	RVP1-MV-Bomba UP8-P
7	1	RVP1-MV-Manguera 1/4 in
8	3	RVP1-MV-Parker A-Lok Female Taper Thread
9	3	RVP1-MV-Racor en T
10	1	RVP1-MV-Electroválvula
11	2	RVP1-MV-Seguros Electroválvula

### Módulo de pesaje

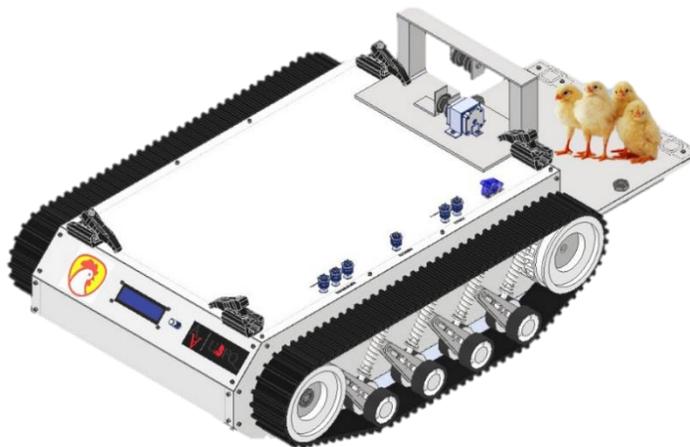
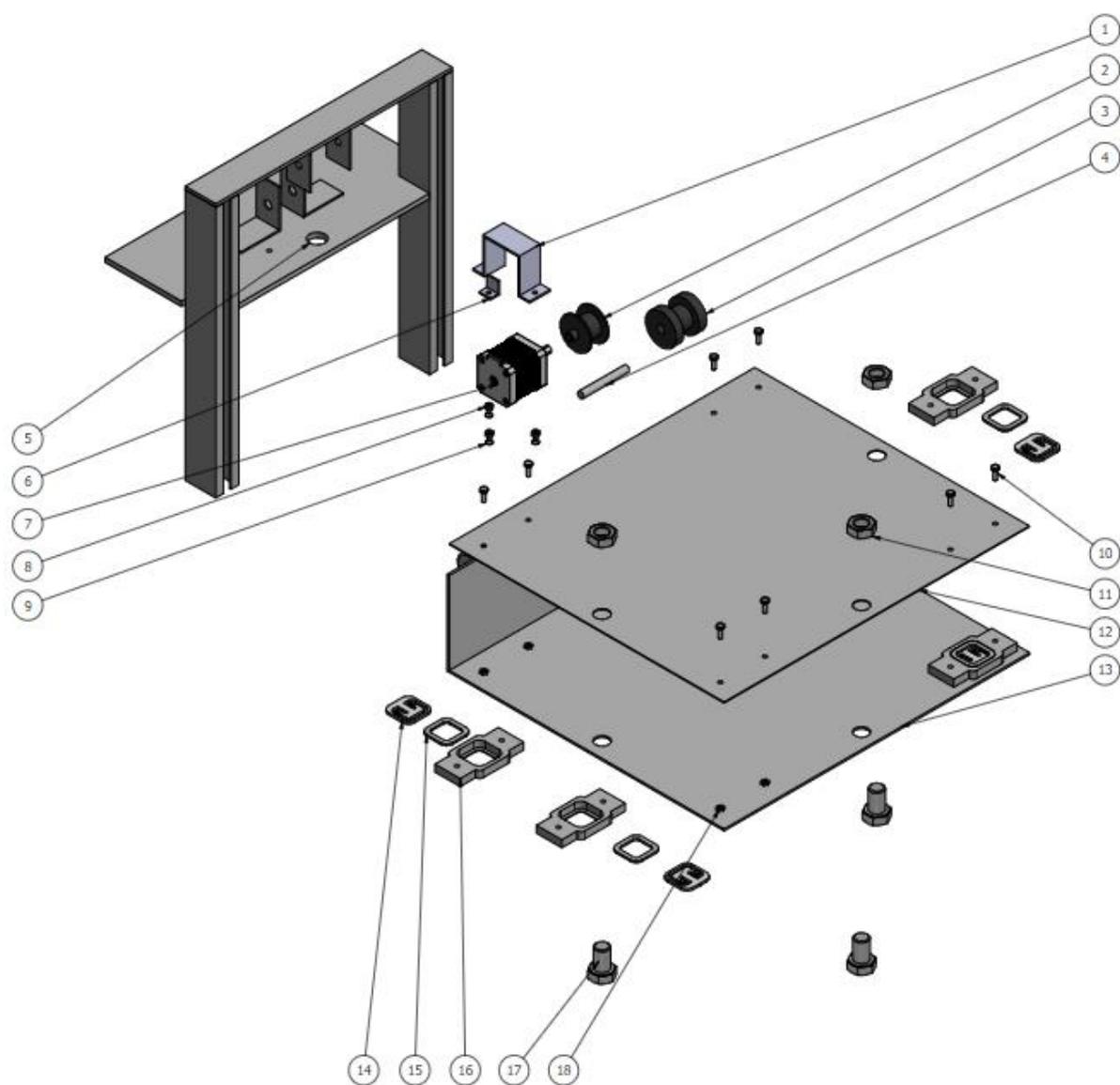


Figura 110. Vista isométrica del sistema de movimiento acoplado al módulo de pesaje



*Figura 111. Vista expandida del módulo de pesaje*

Tabla 78. Lista de piezas del módulo de pesaje

<b>LISTA DE PIEZAS</b>		
<b>ITEM</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PIEZAS</b>
1	1	RVP1-MP-Sujetador Nema 17 Grande
2	1	RVP1-MP-Polea Inferior
3	1	RVP1-MP-Polea Superior
4	1	RVP1-MP-Pasador Polea Superior
5	1	RVP1-MP-Chasis Soporte Montacarga
6	1	RVP1-MP-Sujetador Nema 17 Pequeño
7	1	RVP1-MP-Motor Nema 17
8	3	RVP1-MP-AS 1112 M4 TYPE 5
9	3	RVP1-MP-AS 1427 M4X12
10	8	RVP1-MP-AS 1110 M4X12
11	3	RVP1-MP-AS 1112 M16
12	1	RVP1-MP-Placa Balanza
13	1	RVP1-MP-Montacarga de Balanza
14	4	RVP1-MP-Sensor Load Cell
15	4	RVP1-MP-Tapa Cobertura Load Cell
16	4	RVP1-MP-Cobertura Load Cell
17	3	RVP1-MP-AS 1110 M16X25
18	8	RVP1-MP-BS 4183 M4

## Manual de operación

### Parámetros por revisar previo y posterior al uso del robot RVP1

Para que el robot RVP1 funcione correctamente se debe considerar los siguientes puntos antes de su funcionamiento:

1. Se debe observar que no exista ningún objeto que obstruya el funcionamiento de las orugas.
2. Se debe revisar que este el módulo a utilizar, bien conectada y con las bridas de fuerza bien sujetas.
3. Se debe revisar que los conectores de los módulos que no estén en uso este bien tapadas, y libres de exposición a cualquier agente externo.

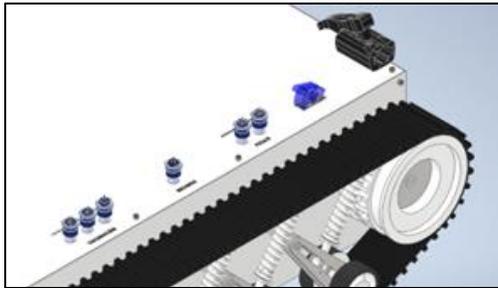
4. Se debe revisar el nivel de batería del robot.

#### **Después de su funcionamiento se debe:**

1. Que la temperatura del robot no haya excedido sus límites operacionales.
2. Limpiar cualquier suciedad del sistema de oruga.
3. Conectar el sistema a su cargador para cuidado de las baterías.
4. Revisar correcto funcionamiento de los sensores.

#### **Encendido**

1. Si el robot se encuentra cargándose, desconecte el cargador del toma corriente.
2. Encienda el interruptor ubicado en la parte superior del sistema de movimiento.



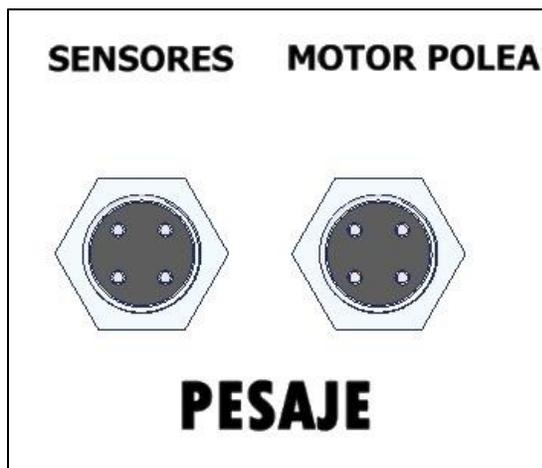
*Figura 112. Interruptor de encendido*

3. Si el LCD se enciende, el sistema se ha prendido correctamente. En caso contrario, asegúrese que el switch en el paso uno esté en la posición correcta.



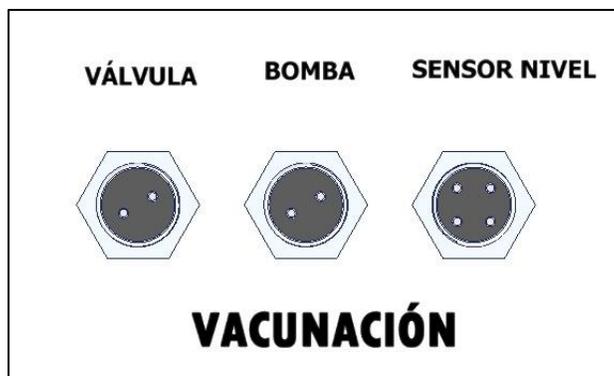
*Figura 113. LCD robot RVP1.*

4. Si se va a utilizar el módulo de pesaje, asegure el módulo en las bridas y conecte los cables de la balanza en los sockets de pesaje ubicados en el chasis.



*Figura 114. Sockets del módulo de pesaje*

5. Si se va a utilizar el módulo de vacunación, asegure el módulo en las bridas y conecte los cables del aspersor y la bomba en los sockets de vacunación en el chasis.



*Figura 115. Sockets del módulo de vacunación*

6. Una vez encendido el sistema y conectado los cables correspondientes, ingrese a la aplicación RVP1 y active el modo manual.
7. Con el modo manual, lleve el Robot multifuncional al punto de partida y cambie al modo automático.

### **Apagado**

1. Al finalizar las actividades con el Robot multifuncional, este se encontrará otra vez en el punto de partida. Active el control manual y llévalo a la estación de recarga.
2. Coloque el Robot cerca de un tomacorriente.
3. Apague el switch que se ubica en la parte superior del sistema de movimiento.
4. Conecte el interruptor a la pared.

### **Modo de uso y configuración**

El sistema de movimiento tiene un módulo de Raspberry Pi modelo ZERO W, que cuenta con una conexión Wifi. Para controlar el robot se necesitará de un teléfono móvil que cuente con el sistema operativo Android. Una vez se encienda el robot, aparecerá una red Wifi con el nombre “RVP1”, como se observa en la siguiente ilustración:



*Figura 116. Configuración WIFI del robot multifuncional*

La interfaz de la aplicación diseñada para controlar el robot es la siguiente:



*Figura 117. Interfaz de la aplicación para el control del robot multifuncional*

Mediante la interfaz se puede controlar el movimiento del robot tanto de forma manual para transportarlo al punto de partida, como de forma automática para que funcione de manera automática dentro del galpón durante el trabajo de pesaje y vacunación de las aves de corral. Con la aplicación móvil de Android se tiene tres modalidades, control manual, vacunación y pesaje, la cual se seleccionará dependiendo de la acción que se requiere realizar. En la modalidad de control manual, se puede operar el robot multifuncional para moverlo al punto de partida o guardarlo después de su uso. En la modalidad de vacunación, se puede iniciar y parar el proceso o encender y apagar la bomba de ser necesario. En la modalidad de pesaje, se puede iniciar y parar el recorrido del robot, definir la trayectoria, modificar la altura de la balanza o descargar los datos recopilados durante la jornada laboral.