



Powered by
Arizona State University

ING. MECATRÓNICA

**Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero en
Mecatrónica.**

AUTOR: Erick Emilio
Andagoya Sánchez

TUTOR: Ing. Cristina Giselle
Oscullo Naranjo, Msc

**MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DE COMPOSTAJE A PARTIR DE
DESECHOS ORGÁNICOS DOMICILIARIOS**

CERTIFICACIÓN

El docente de la Facultad de Ciencias Técnicas, Escuela de Ingeniería Mecatrónica Ing. Cristina Giselle Oscullo Naranjo encargado de la revisión del documento final,

CERTIFICA QUE:

El proyecto de investigación denominado "MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA DE COMPOSTAJE A PARTIR DE DESECHOS ORGÁNICOS DOMICILIARIOS", fue desarrollado por el Sr. Erick Emilio Andagoya Sanchez y ha sido debidamente revisado y está en condiciones de ser entregado para que siga lo dispuesto por la carrera de Ingeniería Mecatrónica, correspondiente a la sustentación y defensa del mismo.



Firmado electrónicamente por:
**CRISTINA GISELLE
OSCULLO NARANJO**

Ing. Cristina Oscullo, MSc

DIRECTOR DE PROYECTO

Dedico a mis padres por su motivación y apoyo condicional a lo largo de mi carrera, a mi madre por siempre estar ahí con su amor incomparable, animándome cada vez que existía algún problema, a mi padre por todos los consejos que supo darme. Esperando que se sientan orgullosos de la personal en la que me he convertido, ya que gracias a ellos he logrado esta meta propuesta hace 6 años.

Agradecimientos

Agradezco a mis padres en primer lugar Emilio y Silvia por todo el apoyo que me brindaron, el cual me ha permitido cumplir una etapa más en mi vida; a mis hermanos Mauricio y Henry por siempre creer en mí y ser parte de esta etapa; a mi pareja Karol que en estos últimos años de estudio se ha convertido en mi apoyo, motivándome cada día más; a mis profesores que llegaron a ser parte de mi vida universitaria y me enseñaron a amar más mi carrera; a mi tutora de tesis por la ayuda en todos los aspectos para la culminación de este último proyecto; a mis compañeros de clase por el apoyo que siempre hubo entre todos; y a mis amigos, los cuales conocí a lo largo de esta hermosa etapa, por el apoyo y amistad generada.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	Tema	1
2.	Objetivos	1
2.1.	General	1
2.2.	Específicos	1
3.	Problema	1
4.	Hipótesis	2
5.	Estado del Arte	2
5.1.	Sistemas y Máquinas de Compostaje Propuestas en Universidades Locales	2
5.2.	Sistemas y Máquinas de Compostaje Propuestas en Universidades Internacionales	4
5.3.	Máquinas Compostadoras en el Mercado	4
6.	Estudio Teórico del Proceso de Compostaje	6
6.1.	Compostaje	6
6.2.	Compost	7
6.3.	Método de Compostaje Anaeróbica	7
6.4.	Método de Compostaje Aeróbico	7
6.5.	Factores a Controlar en el Proceso de Compostaje Aeróbico	9
6.6.	Normas en el Ámbito del Compostaje	11
7.	Diseño Conceptual	12
7.1.	Requerimientos Técnicos	12
7.2.	Normas Aplicadas al diseño de la máquina	13
7.3.	Estructura Funcional	13
7.4.	Matriz morfológica por dominio	14
7.5.	Concepto de solución	16
7.6.	Evaluación de los conceptos de solución	18
8.	Diseño Mecatrónico	20
8.1.	Criterios de Diseño Mecánico	20

8.2.	Dimensionamiento Mecánico	23
8.3.	Dimensionamiento Electrónico	72
8.4.	Desarrollo de la Programación	86
9.	Construcción	87
9.1.	Mecánico	88
9.2.	Eléctrico y electrónico	90
10.	Pruebas de funcionamiento	94
10.1.	Prueba 1: Funcionalidad	94
10.2.	Prueba 2: Proceso Compostaje	95
10.3.	Prueba Extra: Aceleración del proceso de compostaje	97
10.4.	Consumo de energía	101
10.5.	Costo de operación	102
11.	Conclusiones	102
12.	Recomendaciones	103

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Etapas de actividad microbiana respecto a la temperatura [6]	8
2. Etapas Proceso de Compostaje	14
3. Máquina Compostadora 3D	20
4. Factor de Acabado [28]	21
5. Confiabilidad [28]	22
6. Tolva	23
7. Factor de Seguridad Tolva	25
8. Tolva de ingreso	26
9. Trituradora	27
10. Eje Triturador Vista Isométrica	28
11. Eje Triturador Vista Lateral	28
12. Reacciones Eje Triturador	29
13. Eje Triturador Plano X-Z	30
14. Eje Triturador Plano Y-Z	31
15. Puntos a analizar	32
16. Eje Trituradora	33
17. Factor de Seguridad Eje Trituradora	34
18. Cuchilla de corte	34
19. Factor de Seguridad Cuchilla	35
20. Mezcladora	37
21. Contenedor Mezcladora	38
22. Análisis estático Contenedor Mezcladora	39
23. Eje Vista isométrica	40
24. Eje vista lateral	40
25. Reacciones en el Eje	41
26. Diagrama de esfuerzos y momentos Plano X-Z	42
27. Diagrama de esfuerzos y momentos Plano Y-Z	43
28. Momentos en el Eje	44

29. Factor de seguridad	47
30. Aspa Rectangular	48
31. Módulo de Sección forma Rectangular [28]	48
32. Diagrama de esfuerzos y momentos	50
33. Aspa Circular	51
34. Diagrama de esfuerzos y momentos	52
35. Eje Aspa Circular	53
36. Módulo de Sección forma Circular [28]	53
37. Diagrama de esfuerzos y momentos	54
38. Bocín	55
39. Unión Paleta Circular - Bocín	56
40. Área garganta paleta circular	56
41. Unión Paleta Rectangular - Bocín	58
42. Área garganta paleta rectangular	59
43. Rodamiento P2B 014-TF [35]	61
44. Deposito Compost	62
45. Engrane Recto	65
46. Diagrama de cuerpo libre engranes	66
47. Estructura máquina compostadora	69
48. Factor de seguridad Estructura	72
49. Diagrama de Procesos	73
50. Sensor capacitivo de humedad [37]	73
51. PT100 2 hilos [38]	74
52. Puente de Wheatstone	75
53. Amplificador de instrumentación	77
54. Amplificador de instrumentación, Simulación	78
55. Amplificador de instrumentación PCB	78
56. DEVKIT ESP32	79
57. Pantalla OLED 128x64	79
58. Ventilador DC Nidec Beta	80

59. Circuito de Control	80
60. Circuito de Control PCB	81
61. Circuito de Fuerza	82
62. Circuito de Mando	85
63. Diagrama de Flujo	87
64. Piezas Mezcladora	88
65. Motor monofásico y caja reductora	89
66. Modificación Estructura	90
67. Pruebas Protoboard	90
68. Circuito eléctrico y electrónico	91
69. Instalación cajetín	91
70. Circuito eléctrico y electrónico instalado	92
71. Cableado del Prototipo	92
72. Máquina Compostadora Vista Superior	93
73. Máquina Compostadora Vista Frontal	93
74. Pruebas Funcionalidad	95
75. Materia orgánica	96
76. Materia Café	96
77. Mezcla Materia	97
78. Resultado: Compost Semi Maduro	97
79. Resistencia eléctrica	98
80. Fase Mezclado	99
81. Fase Madurado	99
82. Resultado Final	100
83. Peso Compost	100
84. Medición temperatura y humedad	101
85. Medición pH	101

ÍNDICE DE TABLAS

1. Máquinas y Proyectos de procesos de Compostaje Nivel Nacional	3
2. Máquinas y Proyectos de procesos de Compostaje Nivel Internacional	4
3. Máquinas Compostadoras	5
4. Factores aceptados de acuerdo a normas	11
5. Requerimientos Técnicos	13
6. Normas Aplicables a la Máquina	13
7. Matriz morfológica Mecánica	15
8. Matriz morfológica Actuadores	15
9. Matriz morfológica Sensores	15
10. Matriz morfológica Control	15
11. Matriz morfológica Alimentación	15
12. Matriz morfológica Interfaz	16
13. Evaluación técnica de los conceptos de solución	19
14. Dimensiones Tolva	24
15. Datos para el diseño del engrane recto	65
16. Cargas base triturador	70
17. Cargas base mezclador	70
18. Cargas Chumaceras	70
19. Fuerzas Chumaceras	71
20. Cargas deposito compost	71
21. Cargas base motor mezclador	71
22. Cargas base motor triturador	71
23. Componentes Circuito Fuerza	82
24. Componentes Circuito Mando	85
25. Costos de construcción	94
26. Consumo de energía en kW/h	101

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Análisis Espesor Material	108
Anexo B: Características Técnicas Motor	109
Anexo C: Plano Estructura Construida	110
Anexo D: Planos Mecánicos	111
Anexo E: Plano Eléctrico	112
Anexo F: Plano Informático	113
Anexo G: Código Programación	114

MÁQUINA DE COMPOSTAJE

1. Tema

Máquina Semiautomática de Compostaje a partir de Desechos Orgánicos Domiciliarios.

2. Objetivos

2.1. General

Diseñar y construir un prototipo semiautomático de compostaje a partir de desechos orgánicos domésticos.

2.2. Específicos

- Investigar y documentar procesos para el compostaje de desechos orgánicos por parte de una máquina semiautomática de uso doméstico.
- Investigar sistemas o equipos similares al propuesto.
- Investigar y documentar estudios similares a nivel nacional e internacional.
- Documentar normas y estándares utilizados para procesos de compostaje.
- Diseñar y dimensionar los mecanismos y sistemas necesarios para el proceso de compostaje.
- Construir un prototipo para procesar hasta 2.5 kg (kilogramos) de residuos orgánicos.
- Establecer y ejecutar pruebas del funcionamiento del prototipo.

3. Problema

En el 2020 la Empresa Pública Metropolitana de Aseo de la ciudad de Quito (EMASEO EP) recolectó un promedio de 2200 a 2400 toneladas diarias de residuos sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) [1]. En la pandemia la generación de basura en el DMQ aumento un 40 %.

Cada día un ciudadano del DMQ genera un promedio de 0.85 kilogramos (kg) de desechos sólidos [2], en una familia de 5 personas se produce 4.25 kg de desechos sólidos aproximadamente. De esta cantidad el 60 % son desechos sólidos orgánicos, 13.12 % desechos plásticos, 8.15 % papel y 3.27 % vidrio, además solo el 8 % de todos los desechos sólidos se reciclan [3]. Provocando la acumulación en vertederos y generación de fenómenos de contaminación como emisiones de metano y de lixiviados que contaminan los suelos y aguas subterráneas [4].

Los desechos sólidos orgánicos son almacenados en el relleno sanitario del DMQ, el relleno sanitario es un espacio físico donde se deposita todo tipo de basura que ya no se utiliza [4], una de las funciones principales del complejo es el manejo de lixiviados [5].

El lixiviado es un líquido que se encuentra en los desechos sólidos orgánicos [6], debido a la sobresaturación (exceso de humedad) del residuo.

4. Hipótesis

La máquina semiautomática procesa desechos orgánicos de una familia promedio de 5 personas, la cual genera aproximadamente 2.5 kg de basura orgánica diaria, esta basura será procesada, obteniendo composta.

5. Estado del Arte

El compostaje es un método conocido en el Ecuador donde se han realizado algunos proyectos sobre el tema, tanto a gran escala (nivel mundial) como proyectos pilotos comunitarios con el objetivo del estudio y aprovechamiento del compostaje, como por ejemplo, la Fundación ecológica Puntos Verdes en la parroquia de Mindo, dedicada a la clasificación domiciliar de la basura orgánica, producción de lombricultura en lechos, tamizado del producto donde se procesa desechos biodegradables, esta fundación opera desde el 2000 [7].

5.1. Sistemas y Máquinas de Compostaje Propuestas en Universidades Locales

En la Tabla 1 se muestra tres proyectos de titulación propuestos en diferentes universidades del Ecuador en procesos de compostaje como referencia.

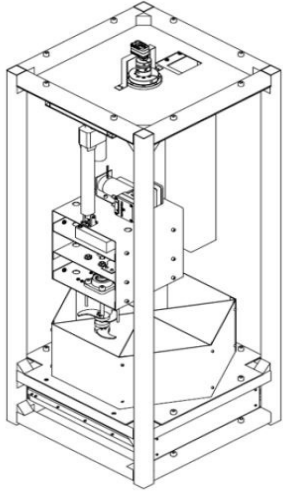

Tabla 1. Máquinas y Proyectos de procesos de Compostaje Nivel Nacional

Proyecto	Imagen
<p>“Elaboración de Compost a partir de estiércol de Cuy y su Aplicación en la Comuna Lumbisi” de la Universidad Central del Ecuador, el proyecto trata de la elaboración de compost utilizando mezclas de 50 % en desechos orgánicos y 50 % en estiércol de Cuy, donde se realiza un proceso de compostaje mediante fermentación aeróbica a temperaturas entre 25 – 55 °C, con resultados obtenidos en 50 y 65 días que duró el proceso [8].</p>	
<p>“Diseño y Construcción de una Máquina Semiautomática para el Procesamiento de Desechos Domésticos Orgánicos en la Elaboración de Abono” por la Universidad Técnica Equinoccial, el proyecto consiste en la implementación de una máquina mecatrónica donde se procesa desechos orgánicos transformándolo a abono, utiliza el método de proceso aeróbico de 14 días sin equipos externos ni activadores, se obtiene como resultado un abono semi maduro [9].</p>	
<p>“Diseño, Construcción y Operación de una Compostera Doméstica para el Tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos de la Ciudad de Quito” por la Escuela Politécnica del Ejército, el proyecto consiste en la implementación de una máquina compostadora doméstica para la transformación de desechos orgánicos a compost comercializable, el proyecto realizó pruebas en 3 domicilios obteniendo un compost de calidad, el cual puede ser comerciable [10].</p>	

5.2. Sistemas y Máquinas de Compostaje Propuestas en Universidades Internacionales

En la Tabla 2 se muestra dos proyectos de titulación propuestos Internacionalmente como referencia.

Tabla 2. Máquinas y Proyectos de procesos de Compostaje Nivel Internacional

Proyecto	Imagen
<p>“Diseño de una Máquina Doméstica Automática para Generar Compost a partir de Residuos Orgánicos”, por la Universidad Católica del Perú, el proyecto plantea el diseño de una máquina con capacidad de producir compost a partir de desechos orgánicos, con resultados obtenidos en 5 días de realizarse el proceso [11].</p>	
<p>“Optimización del Compostaje de Residuos Urbanos en Proceso de Serie Anaerobio – Aerobio”, por Universidad Politécnica de Madrid, el cual propone el estudio de la obtención de compost de calidad a partir de desechos sólidos urbanos mezclados con lodos digeridos, con resultados de que el uso de procesos de digestión anaeróbicos y aeróbicos combinados permiten el aprovechamiento máximo de los residuos [12]</p>	

5.3. Máquinas Compostadoras en el Mercado

En la Tabla 3 se muestran tres máquinas compostadoras que se encuentran en el mercado como referencia.

Tabla 3. Máquinas Compostadoras

Máquina	Imagen
<p>Máquina de compost de la marca Vertisa, esta máquina puede procesar de 75 – 1200 kg por semana. La máquina es totalmente automática, la cual produce compost en 24 horas llegando a una temperatura de hasta 100 °C [13].</p>	
<p>Equipos para el tratamiento de volúmenes considerables de residuos orgánicos por la empresa Kollvik, la cual realiza máquinas para compostaje, donde su sistema consiste en un proceso de triturado, mezcla, compostado, maduración y descarga del producto final, cuenta con composteras domesticas con capacidades de hasta 450 kg [14].</p>	

Máquina	Imagen
<p>La corporación Whirlpool lanzó al mercado en 2017 un artefacto de cocina que convierte el desperdicio de alimentos en fertilizante llamado el sistema Zera. Este producto convierte el desperdicio de alimentos de una semana en fertilizante casero en 24 horas, basado en un estimado de 3.5 kg de desechos por semana, reciclando la mayoría de alimentos orgánicos incluyendo carne y lácteos [15]. La compostadora tiene un tamaño de 11" (pulgadas) de ancho, 22" de profundidad y 33.75" de Altura, pesa alrededor de 53.8 kg con una capacidad de procesar hasta 3.2 kg de desechos orgánicos Fig. 6. Para su proceso se añade un aditivo (A) que sirve de ayuda para la descomposición de los desechos, además de un filtro de aire de carbón (H). Cuenta con un panel de control (E) para la interacción con el usuario, una tapa deslizante (B) que se sella cuando el proceso inicia, un compartimiento de mezcla (C), una cuchilla mezcladora (G) para el procesamiento de los desechos, está cuchilla gira mediante un motor (F), siendo el producto depositado en un compartimiento (D) [16].</p>	 <p>The image shows the Whirlpool Zera composting machine in two views. The top view is a photograph of the white, rectangular machine installed under a kitchen counter. The bottom view is a technical cutaway diagram of the machine, showing its internal components. The diagram is labeled with letters A through H: A is a small container for additives; B is the sliding lid; C is the mixing chamber; D is the collection bin at the bottom; E is the control panel on the top right; F is the motor; G is the mixing blade; and H is the carbon air filter.</p>

6. Estudio Teórico del Proceso de Compostaje

6.1. Compostaje

El reciclaje de los desechos sólidos orgánicos que genera la población es una forma viable para prevenir la acumulación de los mismos. La técnica de reciclaje más apropiada para este fin es mediante el proceso de compostaje.

El compostaje es una forma sencilla de reutilizar cualquier tipo de residuo biodegradable.

Con ayuda de microorganismos se produce tierra humus (compost) de los residuos sólidos orgánicos, el cual puede reducirse al 50 % del tamaño de los residuos iniciales.

Este proceso se puede aplicar a gran escala como de forma individual (en el jardín de un hogar) [7]. La producción del compost puede ser aeróbica o anaeróbica, el método aeróbico produce un compost de mejor calidad y no contiene malos olores.

6.2. Compost

El compost es un abono orgánico, resultado del proceso biológico de tipo aeróbico y descomposición de los desechos sólidos orgánicos bajo condiciones de temperatura, humedad, relación C/N (Carbono Nitrógeno) y aeración [17]. Se obtiene un producto inofensivo y libre de sustancias fitotóxicas, con nutrientes vegetales que se usa para mejorar la calidad del suelo en sus propiedades fisicoquímicas y biológicas [18], beneficiando al medio ambiente, además en el área de la agricultura sirve de fertilizante sólido para cultivos.

6.3. Método de Compostaje Anaeróbica

Este proceso ocurre con la ausencia de oxígeno, el cual no requiere de un mantenimiento y solo depende de la actividad microbiana anaeróbica para descomponer los residuos biodegradables [18]. El método es de bajo costo y no requiere la inversión de tiempo a comparación de un método aeróbico, el cual depende de una aireación constante y un control de humedad, sin embargo, este tipo de procesos conllevan más tiempo, además de la generación de malos olores, por lo que sería eficaz para lugares abiertos.

6.4. Método de Compostaje Aeróbico

En el compostaje aeróbico existe grandes cantidades de oxígeno, donde los microorganismos aeróbicos descomponen los residuos sólidos orgánicos produciendo dióxido de carbono (CO_2), amoníaco, agua, calor y humus, por lo que se obtiene un producto final relativamente estable [18].

El proceso del compostaje comienza con la mezcla de materia orgánica verde rica en nitrógeno (N) y materia café compuesta de carbono (C) [17], con estos compuestos el microorganismo presente puede producir su propia biomasa, generando calor y una materia

con menos C y N, pero más estable, a esto se lo llama compost. Al descomponer el carbono, nitrógeno y la materia inicial los microorganismos generan calor con variaciones a lo largo del tiempo. Esta temperatura generada se la puede clasificar en tres fases principales del compostaje, además de una fase de maduración, estas son; fase mesófila, fase termófila, fase de enfriamiento y fase de maduración Figura 1 [6].

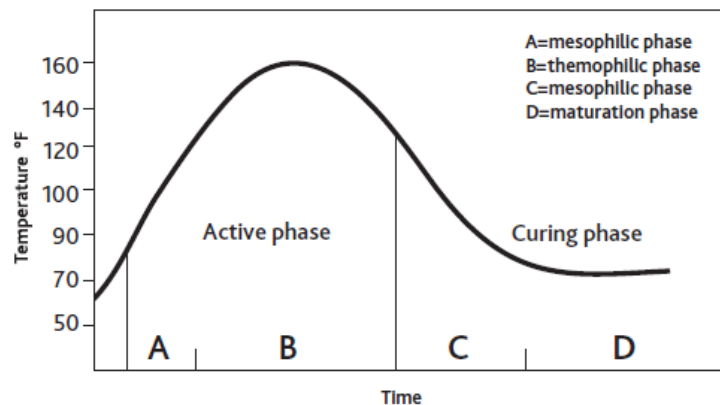


Figura 1. Etapas de actividad microbiana respecto a la temperatura [6]

Los microorganismos mesofílicos en un rango de temperatura para su crecimiento óptimo de 20-45 grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$) [18], se multiplican rápidamente elevando la temperatura hasta aproximadamente 40°C iniciando el proceso de compostaje [19]. Este incremento de temperatura se debe a la actividad microbiana que existe, donde los microorganismos aprovechan las fuentes de C y N, aumentando su temperatura hasta un punto donde sus propias actividades se eliminan. La disgregación de compuestos solubles como azúcares producen ácidos orgánicos por lo que el pH baja hasta 4.0 o 4.5. Esta fase puede durar entre dos y ocho días con condiciones normales [6].

Cuando la materia sobrepasa los 45°C algunos hongos termofílicos y varias bacterias termofílicas en un rango de temperatura para su crecimiento óptimo de $50 - 70^{\circ}\text{C}$ [18], actúan para la descomposición de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. El proceso continúa elevando la temperatura hasta 65°C eliminando patógenos, hemicelulosas y compuestos de C complejos, además estos microorganismos convierten el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH incrementa [6]. El tiempo de duración de esta fase depende de las condiciones climáticas, del lugar donde se encuentre la materia y la cantidad de la pila (Mezcla de materia verde y café) [19].

Al terminarse las fuentes de C y N en la materia, la temperatura disminuye hasta los 40 °C aproximadamente [19]. Los microorganismos mesofílicos recolonizan la pila entrando a una etapa de curado, donde continúa la descomposición de polímeros como celulosa. El pH disminuye levemente, pero se mantiene ligeramente alcalino, el tiempo de enfriamiento puede durar algunas semanas con condiciones normales [6].

La temperatura disminuye a la temperatura ambiente, para ese momento la pila de materia es más uniforme y menos activa biológicamente [10]. Donde se generan reacciones secundarias de condensación y proliferación de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos [6].

La materia se vuelve más oscura, las partículas reducen su tamaño y son consistentes similares a la del suelo. Luego de este proceso la cantidad de humus aumenta, la proporción de C/N disminuye, el pH se neutraliza y la capacidad de intercambio de la materia incrementa [18].

Durante el proceso de la actividad microbiana se debe controlar ciertos factores que influyen en la pila. Los factores más esenciales son; Oxígeno (O_2), Temperatura, Humedad, Relación C/N y pH [19].

6.5. Factores a Controlar en el Proceso de Compostaje Aeróbico

1. Oxígeno

Debido a que el tipo de proceso es aeróbico se necesita de grandes cantidades de O_2 , una aireación adecuada permite el crecimiento de los microorganismos aeróbicos [18], además que impide que la materia se compacte y permita la eliminación excesiva de calor, vapor de agua y gases atrapados en la pila, principalmente en la fase termofílica [6].

A pesar de que la atmosfera contiene el 21 % de O_2 , los microorganismos aeróbicos pueden sobrevivir en concentraciones bajas de O_2 del 5 % y concentraciones no más del 10 %, estas son consideradas óptimas para la materia [19]. Un valor elevado de aireación provoca el descenso de temperatura y mayor pérdida de humedad por evaporación deteniendo el proceso por escasez de agua. Por el contrario, un valor bajo de aireación impide la evaporación, incrementando la humedad y provocando un am-

biente anaeróbico produciendo malos olores y líquidos lixiviados [6].

2. Humedad

La humedad es un factor fundamental para apoyar la actividad metabólica de los microorganismos, el valor óptimo para el compost es del 55 %, aunque este valor es variable según el estado físico y tamaño de la partícula [6]. En el compostaje la materia debe estar entre el 40 – 60 % de humedad, si la pila está muy seca el proceso ocurre lentamente, en cambio si la humedad es mayor la cantidad de O₂ es limitado entrando en condiciones anaeróbicas [18].

La humedad adecuada para el crecimiento microbiano se encuentra entre el 50 – 70 %, la actividad biológica desciende si la humedad baja por menos del 30 % [20].

3. Temperatura

El compost inicia a una temperatura ambiente y puede incrementarse hasta los 65 °C sin necesidad de un calentamiento externo [6]. Se menciona tres fases en el proceso de descomposición aeróbica donde se involucran 2 rangos de temperatura, de 15 – 40 °C para los microorganismos mesófilos y 40 – 70 °C para los termofílicos [20].

Los patógenos se eliminan a 55 °C aproximadamente, mientras que la eliminación de semillas de maleza a 62 °C. El volteo de la mezcla y la aireación son métodos para regular la temperatura [18].

4. Relación Carbono y Nitrógeno C/N

En el crecimiento microbiano es fundamental que exista un equilibrio entre carbono y nitrógeno, ya que son los macro nutrientes principales. Los microorganismos utilizan 30 partes del C por cada N. Una relación óptima es de 19 – 30 C/N [19].

5. pH

El pH del compost depende de las materias de origen y este varía en cada fase del proceso, el pH influye directamente en el compostaje debido al dinamismo en las fases. En las primeras fases el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase de termófila, por la conversión del amonio en amoníaco, el pH incrementa y se alcaliniza, para finalmente estabilizarse en valores neutros [6]. El nivel del pH no

debe exceder de ocho, porque se produciría gas amoníaco perdiéndose en la atmósfera [18]. Por lo que el valor óptimo para un compost es de 6,5 – 8 del pH, un valor bajo indicaría fenómenos anaeróbicos [20].

6.6. Normas en el Ámbito del Compostaje

En la Tabla 4 se presenta una comparación de valores correspondientes para un compost de calidad de acuerdo a normas.

Tabla 4. Factores aceptados de acuerdo a normas

Factores	NADF-020-AMBT-2011 [21]	NCh2880 [22]	NOP 5021 [23]	NTE-006-SMA-RS-2006 [24]	NTE INEN 2640 [25]
Humedad	25-35 %	30-45 %	-	-	50 - 55 %
Temperatura	A una profundidad mayor 50 cm $\leq 10^{\circ}\text{C}$	-	Por 3 días de 55°C a 77°C	-	-
pH	6,7 - 7,5	5 - 8,5	-	6,5 - 8,0	7 - 8,2
Materia orgánica	>20 %	$\geq 20\%$	-	>15%	-
Relación C/N	<15	≤ 25	Inicio 25:1 - 40:1	<12	Inicio 10 - 40

NADF-020-AMBT-2011: Norma ambiental que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales.

NCh2880: Requisitos analíticos del compost y de las materias primas para compostaje, según la norma chilena.

NOP 5021: Orientación sobre compost en la producción de cultivos orgánicos.

NTE-006-SMA-RS-2006: Norma técnica estatal ambiental que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos.

NTE INEN 2640: Método de ensayo para determinar la biodegradación aeróbica de materiales bajo condiciones controladas de compostaje

7. Diseño Conceptual

7.1. Requerimientos Técnicos

■ Sistema Mecánico

1. El peso de la mezcla será de 3 kg máximo de materia.
2. En mezcladoras para compostaje se considera una velocidad adecuada entre 30 - 40 rpm (revolución por minuto) [26].
3. Debido al proceso de compostaje se trabajará a temperaturas entre 15°C a 70°C y una humedad de hasta el 70%, por lo que el material de los componentes seleccionado deben ser resistentes a la corrosión y a temperaturas cercanas a los valores mencionados.
4. Los componentes requeridos deben ser posibles de manufacturar y que se encuentren en el mercado local.

■ Sistema Eléctrico

1. Conexión a red eléctrica 110V – 120V AC.
2. Componentes adecuados para la recepción de señales provenientes de sensores.
3. Interfaz amigable con el usuario, que facilite la operación de la máquina.

■ Sistema de control

1. Se requiere un procesador capaz de regular la humedad y temperatura de la mezcla, cumpliendo el ciclo de descomposición de la materia de una manera adecuada.
2. Para el sensado de las variables se contará con sensores de temperatura y humedad, adecuados para la aplicación.

Resumen de los requerimientos de la máquina a considerar para su diseño. Se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. Requerimientos Técnicos

Parámetro	Requerimiento
Capacidad	3 kg
Automatización	Semiautomática
Temperatura máxima de mezclado	100 °C
Humedad	50 - 70 %
Tipo de desecho a procesar	Desechos orgánicos con excepción de: Desechos cárnicos y huesos
Tipo de uso de la máquina	Doméstico

7.2. Normas Aplicadas al diseño de la máquina

En el Ecuador existen normas aplicables al diseño de máquinas, mencionadas en la Tabla 6. Los cuales tratan sobre la seguridad en las máquinas para la evaluación de riesgos, recomendaciones de diseño en niveles de ruido y requisitos de higiene para el diseño.

Tabla 6. Normas Aplicables a la Máquina

Norma	Tema
NTE INEN-ISO/TR 11688-1:2014	ACÚSTICA. PRÁCTICA RECOMENDADA PARA EL DISEÑO DE MÁQUINAS Y EQUIPOS DE BAJO NIVEL DE RUIDO PARTE 1: PLANIFICACIÓN.
NTE INEN-ISO 12100:2014	SEGURIDAD DE LAS MÁQUINAS. PRINCIPIOS GENERALES PARA EL DISEÑO. EVALUACIÓN DEL RIESGO Y REDUCCIÓN DEL RIESGO
NTE INEN-ISO 14121-1:2014	SEGURIDAD DE LAS MÁQUINAS. EVALUACIÓN DEL RIESGO. PARTE 1: PRINCIPIOS
NTE INEN-ISO 14159:2014	SEGURIDAD DE LAS MÁQUINAS. REQUISITOS DE HIGIENE PARA EL DISEÑO DE LAS MÁQUINAS

7.3. Estructura Funcional

La máquina compostadora está compuesta de 4 etapas principales de proceso como se muestra en la Figura 2, desde la introducción de la materia prima hasta la obtención del producto final. Las etapas son las siguientes:

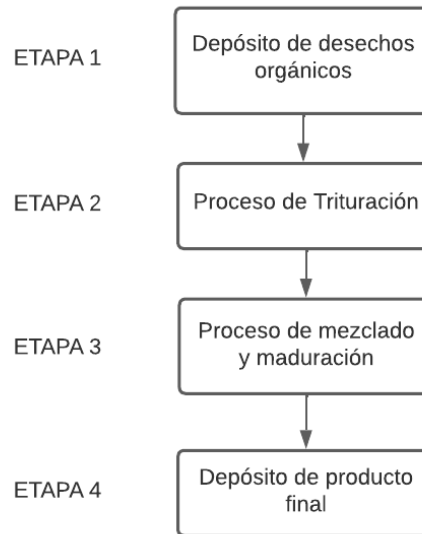


Figura 2. Etapas Proceso de Compostaje

- Etapa 1 (Depósito de desechos orgánicos): Esta etapa comprende al almacenamiento de los desechos orgánicos a procesar.
- Etapa 2 (Proceso de Triturado): Los desechos almacenados empiezan a ser triturados, con el fin de disminuir su tamaño lo que permite acelerar el proceso de compostaje.
- Etapa 3 (Proceso de Mezclado y Maduración): El resultado de la trituración es mezclada con materia en alto carbono como: aserrín, pellets de madera, viruta de madera. La mezcla de estos dos componentes es fundamental para la maduración del compost.
- Etapa 4 (Depósito Compost): Una vez terminada la maduración del compost, podrá ser evacuada en el depósito seleccionado.

7.4. Matriz morfológica por dominio

Una vez obtenida la estructura funcional de la máquina se procede a realizar una matriz morfológica, donde se muestran las opciones de componentes para el sistema para determinar la mejor combinación para resolución del problema.

Se presenta esta matriz mediante dominios tales como: Mecánica, Sensores, Control, Actuadores, Alimentación e Interfaz.

1. Mecánica: En la Tabla 7 se muestra las alternativas que permitan cumplir con las funciones mecánicas.

Tabla 7. Matriz morfológica Mecánica

Función	Alternativa 1	Alternativa 2
Contenedor residuos	Tolva	Contenedor rectangular
Trituración residuos	Caja de cuchillas	Rejilla picadora
Mezclado residuos	De paletas o brazos	Hélices
Flujo de aire	Ventilación natural	Extractor

2. Actuadores: En la Tabla 8 se muestra las alternativas que permitan accionar las funciones mecánicas.

Tabla 8. Matriz morfológica Actuadores

Función	Alternativa 1	Alternativa 2
Accionar Triturador	Motorreductor	Acción manual
Accionar Mezclador	Motorreductor	Acción manual
Traslado de residuos	Servo motor	Gravedad, Acción manual

3. Sensores: En la Tabla 9 se muestra las alternativas de tipos de sensores.

Tabla 9. Matriz morfológica Sensores

Función	Alternativa 1	Alternativa 2
Medir Temperatura	Termopar	Tipo RTD
Medir Humedad	Resistivo	Capacitivo

4. Control: En la Tabla 10 se muestra las alternativas de microprocesadores para el control del prototipo.

Tabla 10. Matriz morfológica Control

Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Control de actuadores, sensado de Temperatura y humedad	Arduino	Raspberry Pi	ESP32

5. Alimentación: En la Tabla 11 se muestra las alternativas para la alimentación de energía a los circuitos.

Tabla 11. Matriz morfológica Alimentación

Función	Alternativa 1	Alternativa 2
Acondicionamiento Energía	Fuente de poder con valor de salida único	Fuente de poder ATX

6. Interfaz: En la Tabla 12 se muestra las alternativas para la interfaz del usuario.

Tabla 12. Matriz morfológica Interfaz

Función	Alternativa 1	Alternativa 2
Encender, apagado, inicio de proceso	Pantalla táctil	Interruptores
Visualización de valores, indicar estados de variables medibles.	Pantalla LCD, Oled	Leds, alarmas

7.5. Concepto de solución

A partir de las alternativas propuestas, se realiza una combinación adecuada para la solución a los requerimientos establecidos para la máquina. Satisfaciendo cada una de las etapas del proceso.

1. Primer concepto de solución

- Este concepto no incluye las etapas de 1 y 2, ya que se ingresa los desechos orgánicos directamente a la mezcladora, los desechos pueden ser triturados previamente de manera manual o sin realizarle algún proceso. Sin embargo, el tamaño de la partícula influirá en el tiempo de descomposición de esta.
- Mezcladora: Diseño de los componentes de la mezcladora que consta de una caja que tiene en su interior un eje con paletas que mezclan el material verde triturado con el material café dosificado. Las paletas se diseñarán de manera que en el giro mezclen homogéneamente los trozos de materia verde con el material café. El eje en donde se fijarán las paletas, se conectará a rodamientos en sus extremos y estos estarán dentro de una chumacera. El eje girará por la acción de un sistema de transmisión de movimiento conectado a un motor eléctrico.
- Depósito del producto final: Diseño de un recipiente con una configuración, dimensiones y material apropiado para recibir la mezcla homogénea. La caja se instalará y sujetará en la estructura de la máquina, ubicada en la parte inferior.

2. Segundo concepto de solución

- Este concepto no incluye la etapa 1, los desechos van directamente al proceso de trituración.

- Trituradora: Diseño de un triturador manual, el cual consta de un mecanismo de presión por palanca hacia una base tipo rejilla, donde los desechos depositados reducirán su tamaño previo al ingreso a la mezcladora.
- Depósito para materia café (Aserrín, Viruta de madera): Diseño de una tolva con una configuración, dimensiones y material apropiado para recibir el peso y el volumen de 0.2 kg de materia café (aserrín), y que permita posteriormente dosificar el producto a la mezcladora. La caja se instalará y sujetará mediante soldadura a la estructura de la máquina junto a la trituradora.
- Mezcladora: Diseño de los componentes de la mezcladora que consta de una caja que tiene en su interior un eje con paletas que mezclan el material verde triturado con el material café dosificado. Las paletas se diseñarán de manera que en el giro mezclen homogéneamente los trozos de materia verde con el material café. El eje en donde se fijarán las paletas, se conectará a rodamientos en sus extremos y estos estarán dentro de una chumacera. El eje girará por la acción de un sistema de transmisión de movimiento conectado a un motor eléctrico.
- Depósito del producto final: Diseño de un recipiente con una configuración, dimensiones y material apropiado para recibir la mezcla homogénea. La caja se instalará y sujetará en la estructura de la máquina, ubicada en la parte inferior.

3. Tercer concepto de solución

- Depósito de desechos orgánicos (Materia Verde): Diseño de una tolva con una configuración, dimensiones y material apropiado para recibir el peso y el volumen de 2.5 kg de material verde, permitiendo posteriormente dosificar el producto a la trituradora. La tolva se instalará y sujetará mediante soldadura a la estructura de la máquina en la parte superior.
- Trituradora: Diseño de los componentes de la trituradora que consta de una caja que tiene en su interior dos eje con paletas que Trituran el material verde. Las paletas se diseñarán de manera que en el giro corten la materia verde en trozos pequeños. El eje en donde se fijarán las paletas, se conectará a rodamientos en sus extremos y estos estarán dentro de un cojinete. El eje girará por la acción de

un sistema de transmisión de movimiento conectado a un motor eléctrico.

- Depósito para materia café (Aserrín, Viruta de madera): Diseño de una tolva con una configuración, dimensiones y material apropiado para recibir el peso y el volumen de 0.2 kg de materia café (aserrín), y que permita posteriormente dosificar el producto a la mezcladora. La caja se instalará y sujetará mediante soldadura a la estructura de la máquina junto a la trituradora.
- Mezcladora: Diseño de los componentes de la mezcladora que consta de una caja que tiene en su interior un eje con paletas que mezclan el material verde triturado con el material café dosificado. Las paletas se diseñarán de manera que en el giro mezclen homogéneamente los trozos de materia verde con el material café. El eje en donde se fijarán las paletas, se conectará a rodamientos en sus extremos y estos estarán dentro de una chumacera. El eje girará por la acción de un sistema de transmisión de movimiento conectado a un motor eléctrico.
- Depósito del producto final: Diseño de un recipiente con una configuración, dimensiones y material apropiado para recibir la mezcla homogénea. La caja se instalará y sujetará en la estructura de la máquina, ubicada en la parte inferior.

7.6. Evaluación de los conceptos de solución

En la Tabla 14 se muestra la evaluación técnica entre los diferentes conceptos de solución bajo criterios globales de la máquina a fabricar.

Tabla 13. Evaluación técnica de los conceptos de solución

Concepto de solución		Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
Nr	Criterios de evaluación	g	g	gp	g	gp	g	gp	g	gp
1	Función principal	4	4	16	4	16	4	16	4	16
2	Forma	2	3	6	3	6	3	6	4	8
3	Seguridad	4	2	8	3	12	4	16	4	16
4	Ergonomía	4	2	8	2	8	3	12	4	16
5	Fabricación	3	3	9	3	9	3	9	4	12
6	Electrónica y control	3	3	9	3	9	4	12	4	12
7	Costo	4	3	12	3	12	2	8	4	16
8	Reemplazo de piezas	3	3	9	3	9	3	9	4	12
Puntaje máximo		23	79	24	81	26	88	32	108	

Leyenda

p: puntaje de 0 a 4

0 = No satisface, 1 = Aceptable, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)

g: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación

Luego del análisis resuelto se determina que la solución 3 es la mas adecuada para cumplir con los requerimientos propuestos. Con un diseño compacto donde la intervención del usuario será mínima, el cual combina los distintos procesos propuestos previamente.

A continuación se muestra en Figura 3 un bosquejo en 3D de la alternativa seleccionada.

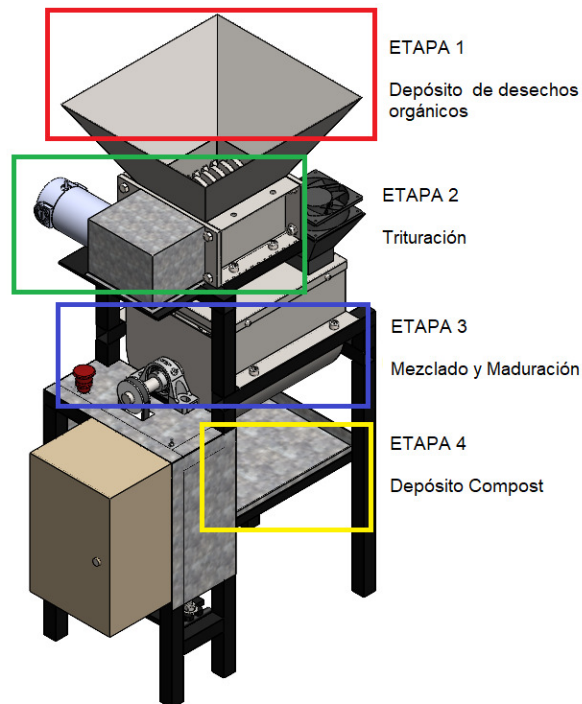


Figura 3. Máquina Compostadora 3D

8. Diseño Mecatrónico

8.1. Criterios de Diseño Mecánico

1. *Elementos a dimensionar:* Se analiza y dimensiona los elementos sometidos a diferentes cargas y se toma en cuenta los elementos importantes para el funcionamiento de la máquina. Las partes estéticas y de recubrimiento se considera en los acabados, ya que no influirán en el desempeño de la máquina, pero si en la vida útil.
2. *Factor de Diseño:* La máquina está compuesta por materiales dúctiles, donde varios elementos se encuentran sometidos a cargas dinámicas, por ende, se considera un factor de diseño (N_d), con los lineamientos empleados según [27]; Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en los datos de diseño o con incertidumbre acerca de las cargas.

$$N_d = 2,5$$

3. *Selección de material:* La máquina contendrá una mezcla húmeda y puede llegar a tener temperaturas altas, se selecciona como material un acero inoxidable AISI 304,

debido a su resistencia a la corrosión y ser funcional a extremas temperaturas.

Se realiza el cálculo de la resistencia a la fluencia dada por (1) como calculo previo al diseño de los diferentes componentes.

Las fórmulas y cálculos a continuación están basados según [27] y [28].

$$Se = k_a k_b k_c k_d k_e k_f \cdot Se' \quad (1)$$

Donde:

$$Se' = 0,5 \cdot Sut \rightarrow Sut \leq 1400MPa$$

Se calcula los factores modificadores:

k_a → Factor de acabado superficial

k_b → Factor de tamaño

k_c → Factor de carga

k_d → Factor de temperatura

k_e → Factor de confiabilidad

k_f → Factor de efectos varios

- Factor de acabado superficial mediante (2):

$$k_a = a \cdot Sut^b \quad (2)$$

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{utr} kpsi	S_{utr} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Figura 4. Factor de Acabado [28]

Se considera los componentes laminados en frío.

$$k_a = 4,51(520)^{-0,265} = 0,86$$

- Factor de tamaño mediante: Al desconocer el tamaño se supone (0.85)

- Factor de carga: No es considerado debido a que se tiene una combinación de modos de falla y posteriormente se utilizará el esfuerzo de Von Mises.
- Factor de temperatura mediante (3):

Como el proceso de compostaje puede llegar a tener temperaturas de hasta 80 °C, se considera y se toma una temperatura máxima de 100 °C(212 °F).

$$k_d = 0,975 + 0,43210^{-3}T_F - 0,11510^{-5}T_F^2 + 0,10410^{-8}T_F^3 - 0,59510^{-12}T_F^4 \quad (3)$$

$$k_d = 0,975 + 0,43210^{-3}(212) - 0,11510^{-5}(212)^2 + 0,10410^{-8}(212)^3 - 0,59510^{-12}(212)^4$$

$$k_d = 1,024$$

- Factor de confiabilidad:

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_α	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Figura 5. Confiabilidad [28]

Se asume una confiabilidad del 95 %, por lo que:

$$k_e = 0,868$$

- Factor de efectos varios:

$$k_f = 1$$

- a) Cálculo de la resistencia a la fluencia para planchas:

Características mecánicas de planchas AISI 304 [29]:

Resistencia Mécanica (Sut) = 481 MPa

Punto de Fluencia (Sy) = 177 MPa

$$Se' = 0,5 \cdot Sut = 240,5MPa$$

$$S_e = 0,86 \cdot 0,85 \cdot 1,024 \cdot 0,868 \cdot 240,5 MPa = 156,26 MPa$$

b) Cálculo de la resistencia a la fluencia para ejes:

Características mecánicas de ejes AISI 304 [29]:

Resistencia Mécanica (S_{ut}) = 520 MPa

Punto de Fluencia (S_y) = 220 MPa

$$S_e' = 0,5 \cdot S_{ut} = 260 MPa$$

$$S_e = 0,86 \cdot 0,85 \cdot 1,024 \cdot 0,868 \cdot 260 MPa = 168,94 MPa$$

8.2. Dimensionamiento Mecánico

Los elementos mecánicos a ser dimensionados en base a la ingeniería conceptual son los siguientes:

1. *Tolva para desechos orgánicos o materia verde*: Se realiza el diseño de una tolva donde serán depositados los residuos a procesar, en la Figura 6 se observa el esquema, y en la Tabla 14 se determinan las dimensiones respectivas.

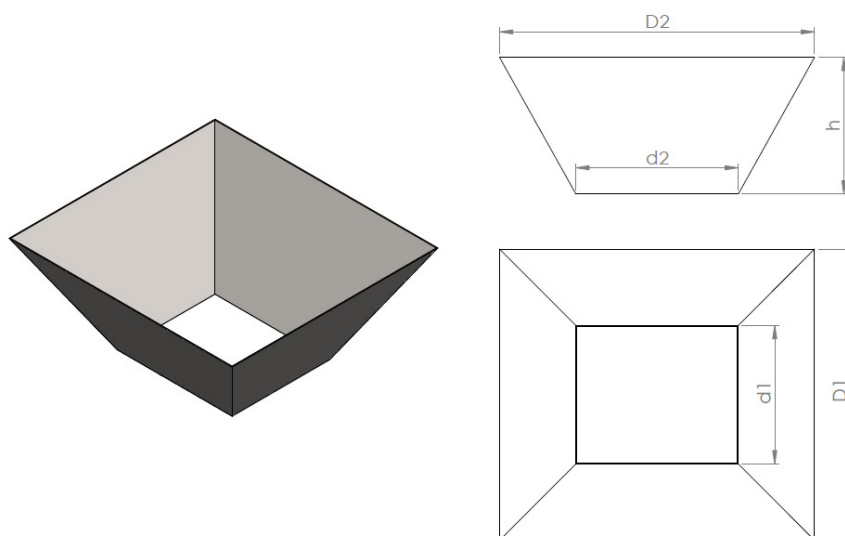


Figura 6. Tolva

Tabla 14. Dimensiones Tolva

Parámetro dimensional	Valor [cm]
D1	36
D2	39
d1	17
d2	20
h	18

Se calcula el volumen mediante (4):

$$V = \frac{h}{3} \cdot (A1 + A2 + \sqrt{A1 \cdot A2}) + A1 \cdot h \quad (4)$$

Donde:

$$A1 = \frac{(D1 + d1) \cdot h}{2}$$

$$A1 = \frac{(36 + 18) \cdot 18}{2} = 486cm^2$$

$$A2 = \frac{(D2 + d2) \cdot h}{2}$$

$$A2 = \frac{(39 + 20) \cdot 18}{2} = 531cm^2$$

$$V = \frac{18cm}{3} \cdot (486cm^2 + 531cm^2 + \sqrt{486cm^2 \cdot 531cm^2}) + 486cm^2 \cdot 18cm$$

$$V = 17898cm^3$$

Una vez calculado el volumen, se determina la capacidad de la tolva mediante (5).

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (5)$$

Donde:

$V \rightarrow$ Volumen

$m \rightarrow$ Masa

$\rho \rightarrow$ Densidad

Densidad desechos (ρ_d) = $166 \frac{kg}{m^3}$

$$V = \frac{m_{desechos}}{\rho_d}$$

$$17898cm^3 = \frac{m_{desechos}}{166 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{1^3m^3}{100^3cm^3}}$$

$$m_{desechos} = 2,97kg$$

La tolva está diseñada para una capacidad de 2.97 *kg* de desechos. Se escoge un espesor de 2 *mm* de la plancha de acero AISI 304 para una mejor soldabilidad, la unión de los lados se realizará por soldadura a tope. Se realiza un análisis estático con el software SOLIDWORKS con los siguientes parámetros:

- Sujeción fija en la base.
- Fuerza sobre la tolva de 30 *N* (Newton), equivalentes al peso de la materia a colocar.

Como se observa en la Figura 7, se obtiene un factor mínimo de seguridad de 42, comprobando el correcto dimensionamiento.

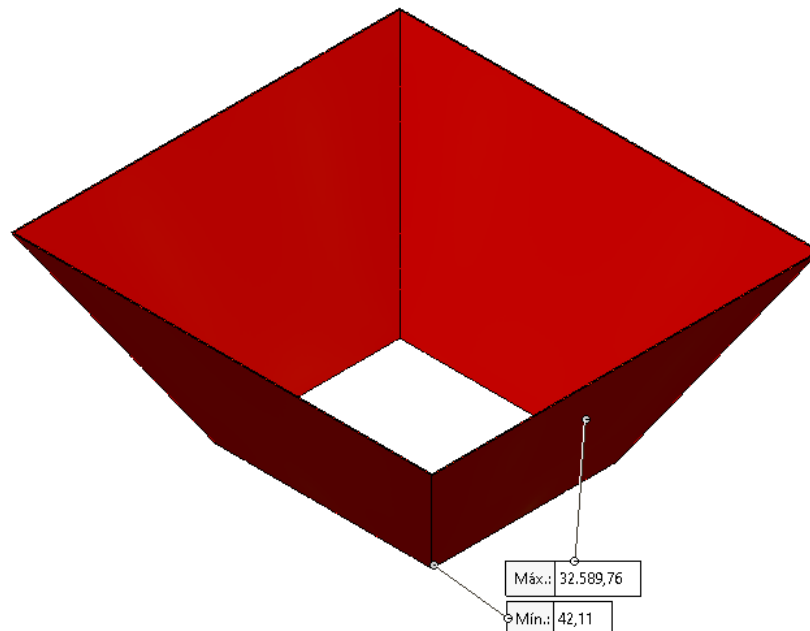


Figura 7. Factor de Seguridad Tolva

2. *Tolva materia café:* Se realiza el diseño de una tolva para el ingreso de materia café como se observa en la Figura 8, con un espesor de 2 *mm* en acero ASTM A36, la

unión de los lados se realizará con soldadura.

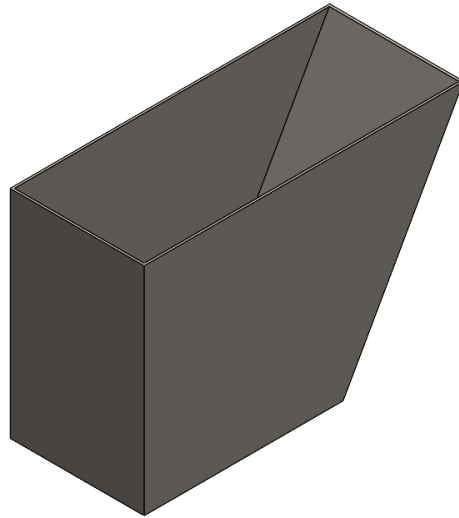


Figura 8. Tolva de ingreso

Como materia café para este caso se selecciona aserrín debido a la alta composición de carbono que contiene y la facilidad de adquirirla en el mercado. Es necesario conocer la cantidad de aserrín a mezclar, se lo detallada a continuación:

- Cálculo cantidad de aserrín.

A partir de la relación C/N óptima para un buen compost, se determina la cantidad en kg de aserrín a usar mediante (6).

$$Masa_{orgnica} + Masa_{cafe} = Masa_{total} \quad (6)$$

Donde:

- La masa orgánica representa a la cantidad de desechos orgánicos, en este caso 2.5 kg .
- La masa café representa a la cantidad de aserrín, se realiza iteraciones del valor para determinar una relación de C/N óptima (19-30 C/N). Se asume un valor de 0.2 kg .

$$2,5kg + 0,2kg = 2,7kg \rightarrow 100\%$$

Se representa en porcentaje a cada valor:

Materia Orgánica (2.5 kg) = 92,59 %

Materia Café (0.2 kg) = 7,41 %

Se obtiene la relación C/N para cada materia:

Residuos de Comida (C/N) = $\frac{15}{1}$ [30]

Aserrín (C/N) = $\frac{200}{1}$ [31]

Se multiplica el porcentaje de cada materia de la mezcla por su respectiva relación C/N y se las suma.

$$0,9259 \cdot 15 + 0,0741 \cdot 200 = 28,7 \text{ C/N}$$

Como resultado se obtiene una relación C/N de 28.7, como se encuentra en el rango óptimo no se realiza otra iteración y se mantiene la cantidad de 0.2 kg de aserrín la cual se debe añadir a la mezcla.

3. *Trituradora*: Se procede al dimensionamiento del triturador perteneciente a la máquina, el cual está compuesto por: Par de ejes (1), sistema de transmisión por engranes (2), rodamientos (3) y cuchillas de corte (4), como se observa en Figura 9, estos mismos serán dimensionados teóricamente y por simulación por software.

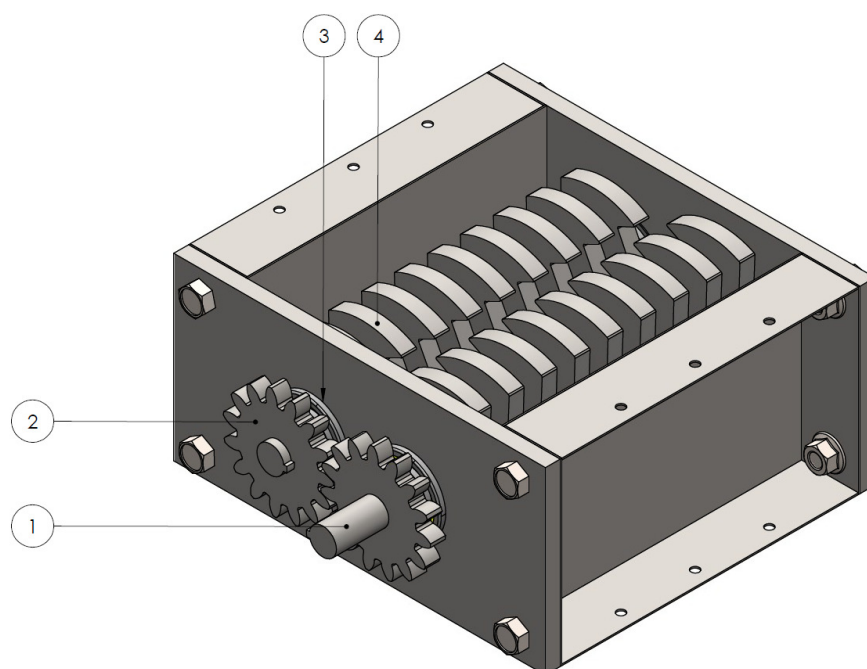


Figura 9. Trituradora

a) Eje:

Al eje están sujetadas nueve (9) cuchillas, rodamientos y un engrane, como se muestra en las Figuras 10 y 11, Para el análisis de fuerzas se asume que todas las cuchillas están sometidas a la vez.

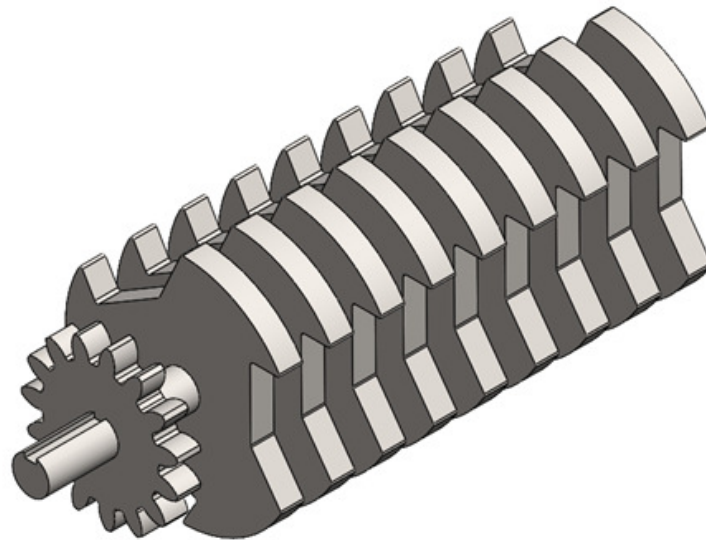


Figura 10. Eje Triturador Vista Isométrica

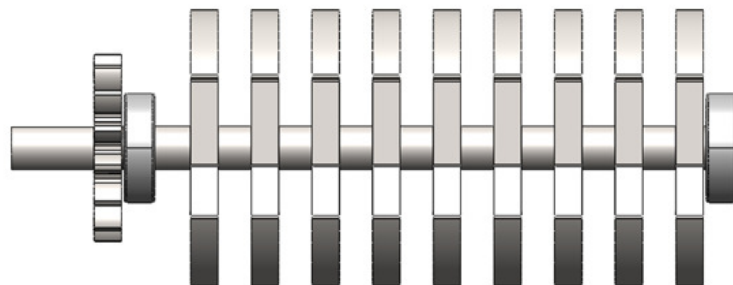


Figura 11. Eje Triturador Vista Lateral

En cada una de las cuchillas se ejercerá una fuerza proporcionada por los desechos, esto provoca una reacción distributiva a lo largo del eje como se representa en la Figura 12.

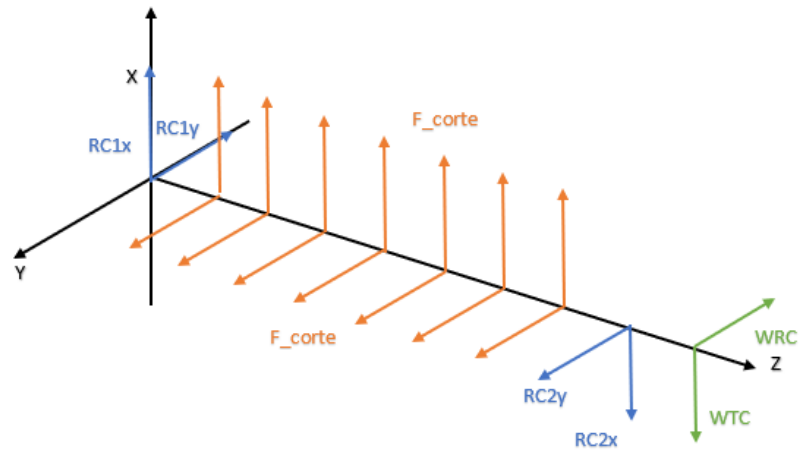


Figura 12. Reacciones Eje Tritador

Donde:

RC1x, RC1y, RC2x, RC2y: Reacciones en los rodamientos.

Fcorte: Reacción provocadas por las cuchillas.

WRC: Carga radial provocado por el engrane.

WTC: Carga tangencial provocado por el engrane.

Al conocer las cargas aplicadas al eje, se determina las reacciones que se producen en cada uno de los rodamientos mediante el uso del software MD Solid .

Distancia entre puntos:

$$C1-C2 = 215 \text{ mm}$$

$$C2 - \text{Engrane} = 19 \text{ mm}$$

Se analiza en el plano X – Z, como se observa en la Figura 13.

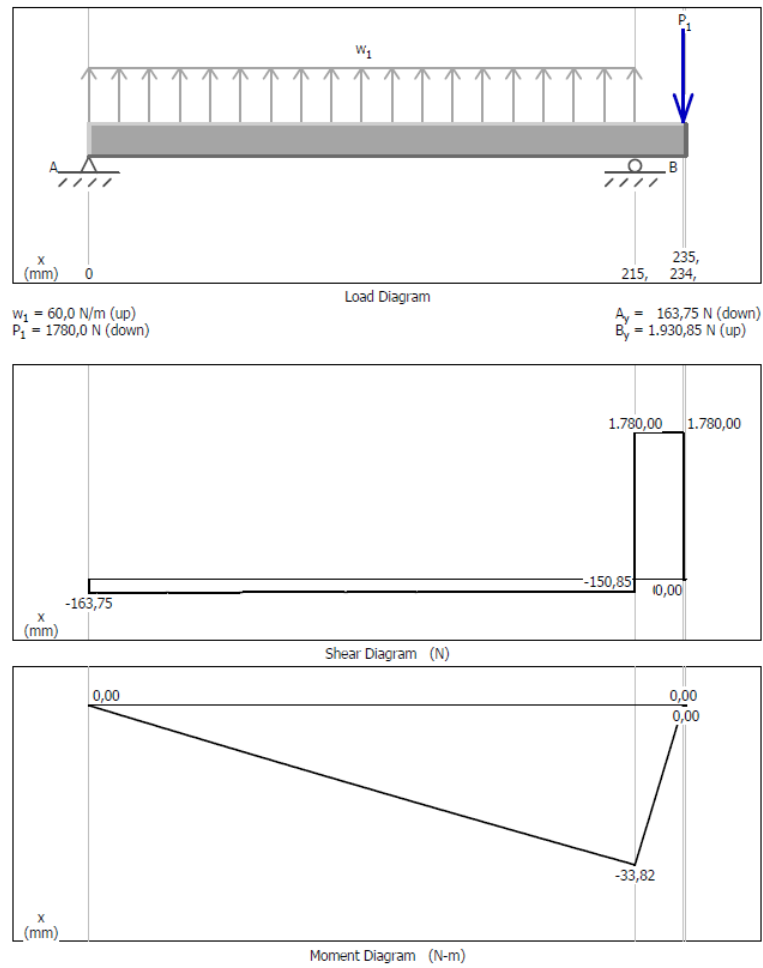


Figura 13. Eje Triturador Plano X-Z

Se obtienen las reacciones de cada rodamiento:

$$RC1x = -163,75N$$

$$RC2x = 1629,15N$$

Se analiza en el plano Y – Z, como se observa en la Figura 14.

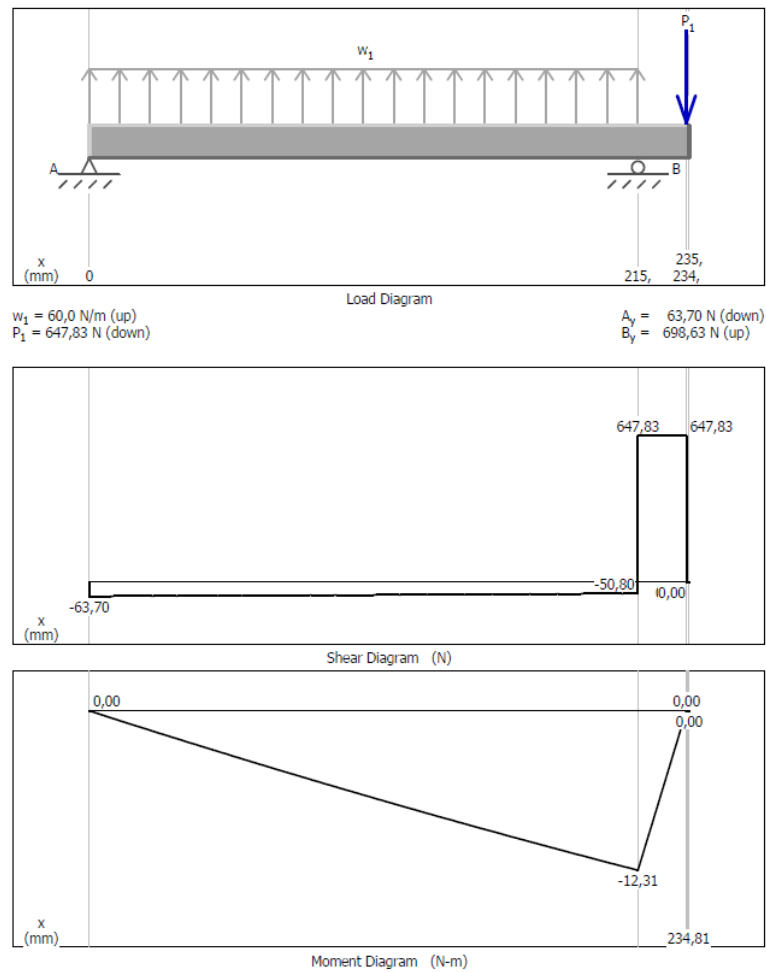


Figura 14. Eje Triturador Plano Y-Z

Se obtienen las reacciones de cada rodamiento:

$$RC_{1y} = -63,7N$$

$$RC_{2y} = 597,03N$$

Se determina el diámetro mínimo para cada punto como se observa en la Figura 15, mediante (7).

$$D = \left[\frac{32 \cdot N_d}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{Kt \cdot M^2}{Se} + \frac{3}{4} \cdot \frac{T^2}{S_y}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

Donde:

M, Momento flector

T, Momento torsor

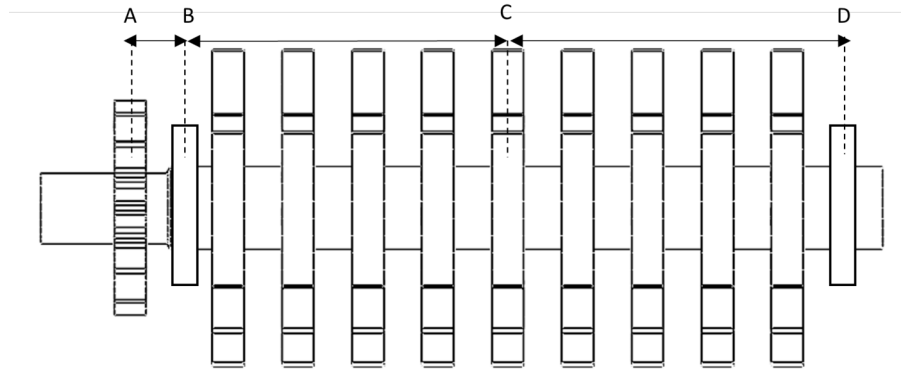


Figura 15. Puntos a analizar

Punto A: A la izquierda del punto no existen cargas, por lo que el momento a flexión es igual a 0. Y al no existir concentradores de esfuerzos $K_t = 1$.

$$D = \left[\frac{32 \cdot 2,5}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{3}{4} \cdot \frac{27Nm^2}{220MPa}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 0,014m \rightarrow 14mm$$

Punto B: Es el lugar del rodamiento, donde si existe un momento a flexión el cual es el resultante de los componentes rectangulares M_{xz} y M_{yz} previamente determinados. Además, contiene un chaflan bien redondeado por lo que el concentrador de esfuerzos $K_t = 1.5$.

$$D = \left[\frac{32 \cdot 2,5}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{1,5 \cdot 36Nm^2}{168,94MPa} + \frac{3}{4} \cdot \frac{27Nm^2}{220MPa}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 0,020m \rightarrow 20mm$$

Punto C: De igual manera que en punto B se calcula para un momento a flexión, sin embargo, aquí se tiene un chaflan agudo por lo que $K_t = 2.5$.

$$D = \left[\frac{32 \cdot 2,5}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{2,5 \cdot 18Nm^2}{168,94MPa} + \frac{3}{4} \cdot \frac{27Nm^2}{220MPa}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 0,0194m \rightarrow 19,4mm$$

Punto D: En este punto solo existe una fuerza cortante vertical ejercida sobre el

rodamiento, por lo que el diámetro mínimo se determina mediante (8).

$$D = \sqrt{\frac{2,94 \cdot V \cdot N_d \cdot Kt}{S_e}} \quad (8)$$

Donde:

V, Fuerza cortante

Esta fuerza es la resultante de los componentes rectangulares previamente obtenidos.

$$V = \sqrt{163,75^2 + 63,7^2} = 175,7N$$

Se tiene un chaflan agudo por lo que $Kt = 2.5$.

$$D = \sqrt{\frac{2,94 \cdot 175,7N \cdot 2,5 \cdot 2,5}{168,84MPa}}$$

$$D = 0,0043m \rightarrow 4,3mm$$

Se selecciona un eje de acero inoxidable AISI 304 de 1 pulgada de diámetro, equivalente a 25.4 mm [29], el cual será torneado para obtener la forma deseada del eje según los diámetros calculados, como se observa en la Figura 16.



Figura 16. Eje Trituradora

Se realiza un análisis estático con el software SOLIDWORKS con los siguientes parámetros:

- Sujeción por rodamientos en los extremos.
- Fuerzas de torsión provocados por las cuchillas
- Fuerza de flexión provocada por el sistema de engranes.

Como se muestra en la Figura 17 se obtiene un factor de seguridad superior a 3.

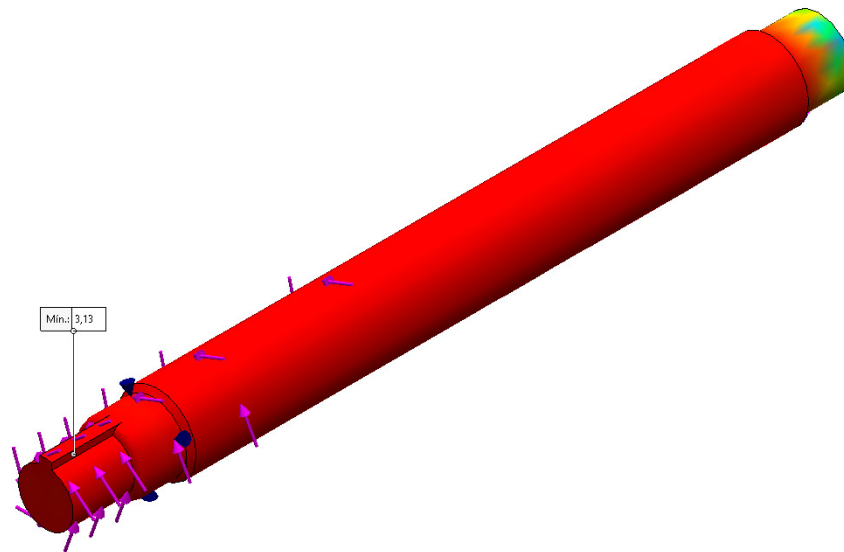


Figura 17. Factor de Seguridad Eje Trituradora

b) Cuchillas de corte:

Se realiza un diseño de cuchilla con acero inoxidable AISI 304 a un espesor de 10 mm, como se observa en la Figura 18, cada cuchilla será sujeta al eje mediante soldadura.

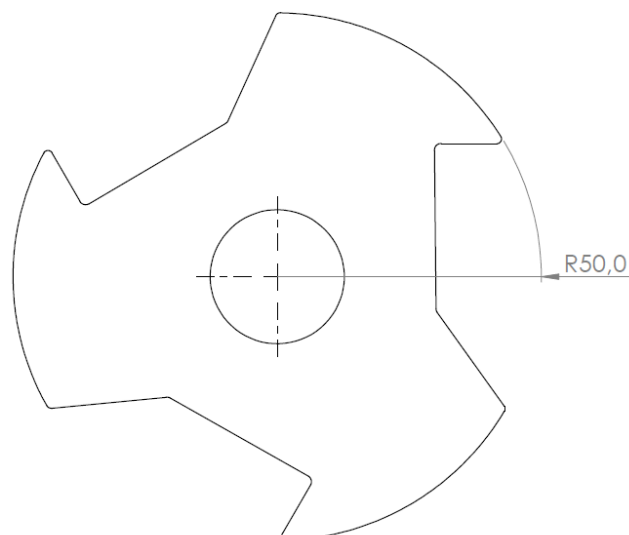


Figura 18. Cuchilla de corte

Se realiza un análisis estático con el software SOLIDWORKS para determinar un factor de seguridad aceptable asegurando que la pieza no presente deformaciones o rupturas. Para este análisis se determina la fuerza necesaria para cortar los desechos, para este caso se considera dentro de estos desechos a las frutas,

como las más resistentes al momento de realizar un corte, según un estudio realizado [32]. La fuerza de corte necesaria para las frutas es 60 N aproximadamente. Con este valor se procede a realizar la simulación.

Se utiliza los siguientes parámetros:

- Sujeción fija en la base.
- Fuerza de corte 60 N .

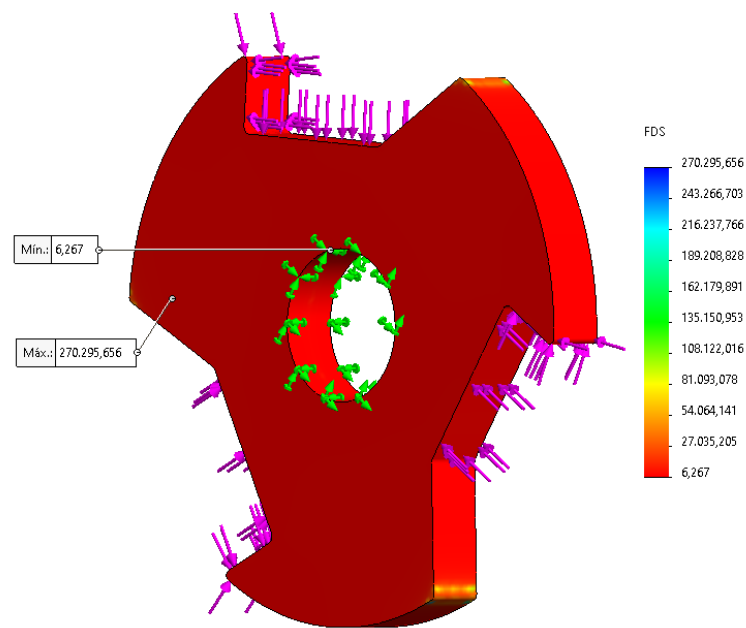


Figura 19. Factor de Seguridad Cuchilla

Como se observa en la Figura 19, el factor de seguridad es igual a 6, garantizando el corte de los desechos sin problemas.

c) Cojinetes:

Se selecciona un rodamiento de bolas rígido, el cual será dimensionado verificando su correcta elección.

Según [33], la vida nominal para máquinas con uso intermitente durante breves periodos de 3000 horas.

Si se lo lleva a una velocidad constante de giro del eje aproximado a 40 rpm, se determina la vida útil L_{10} .

$$L_{10} = 3000h \cdot 40 \frac{rev}{min} \cdot 60 \frac{min}{h}$$

$$L_{10} = 4,8x10^6 rev$$

Mediante (9) [27], se determina el valor de carga dinámica necesaria para el rodamiento.

$$C = P_d \left(\frac{L_{10}}{10^6} \right)^{\frac{1}{K}} \quad (9)$$

Donde:

K , constante para rodamientos de bolas igual a 3

P_d , Carga dinámica

En el eje solo actúa una carga radial, por lo tanto se selecciona la fuerza que se aplica en C2, debido a que resulta ser la más crítica.

$$P = 1735,1N$$

$$C = 1735,1N \left(\frac{4,8x10^6}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 2,92kN$$

Se requiere un rodamiento con una C (Capacidad de carga dinámica) de 2.92 kN .

4. *Mezcladora*: Se procede al dimensionamiento de la mezcladora perteneciente a la máquina, el cual está compuesto por: Un contenedor y un eje de mezclado como se observa en la Figura 20, estos mismos serán dimensionados teóricamente y por simulación por software.

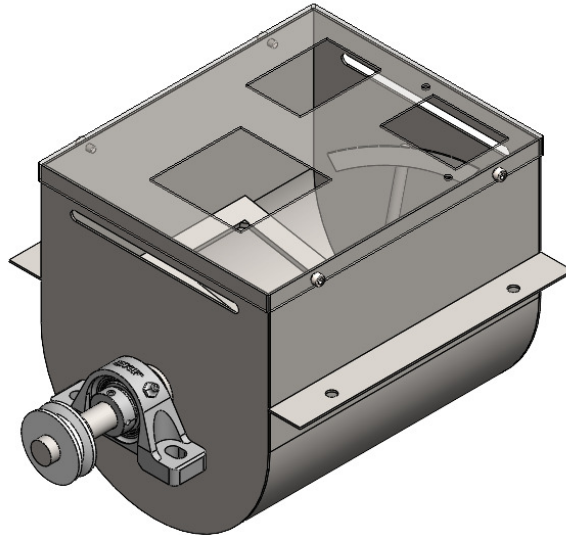


Figura 20. Mezcladora

a) Recipiente:

Se determina las medidas del recipiente como se observa en la Figura 21, el cual está conformado por una base donde su unión se la realiza por soldadura (1), 2 tapas laterales (3) unidas por soldadura a la base, una tapa superior (2) sujeta con tornillos, una tapa posterior (4) para el desalojo de los desechos. El volumen requerido mediante (5), está conformado por 2.5 *kg* de materia orgánica (Desechos orgánicos) y 0.2 *kg* de materia café (Aserrín).

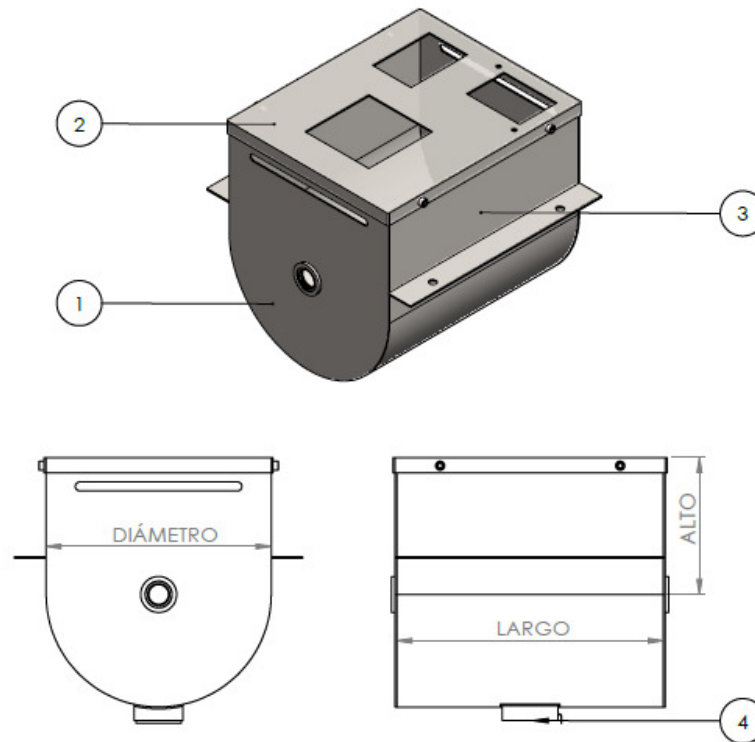


Figura 21. Contenedor Mezcladora

$$V = \frac{m_{desechos}}{\rho_d} + \frac{m_{aserrin}}{\rho_{aserrin}}$$

Donde:

$$\text{Densidad Aserrín } (\rho_{aserrin}) = 167 \frac{kg}{m^3}$$

$$V = \frac{2,5kg}{166 \frac{kg}{m^3}} + \frac{0,2kg}{167 \frac{kg}{m^3}}$$

$$V = 16257,85cm^3$$

Se requiere que el recipiente tenga un volumen de 16257.85 cm^3 para la mezcla, por lo que se realiza el diseño de este con las siguientes dimensiones: Diámetro (25 cm), Largo (30 cm), Altura (16 cm).

Se calcula el volumen del recipiente diseñado:

$$V = \frac{A_{cilindro} \cdot Largo}{2} + (A_{rectangulo} \cdot Largo)$$

$$V = \frac{\pi \cdot 12,5^2 \cdot 30}{2} + (25 \cdot 15 \cdot 30)$$

$$V = 18613,10 \text{ cm}^3$$

Se selecciona un espesor de 2 *mm* de plancha de acero inoxidable AISI 304. Se realiza un análisis estático la base del recipiente ① con el software SOLIDWORKS, donde estará concentrada toda la carga para determinar su factor de seguridad

Se utiliza los siguientes parámetros:

- Sujeción fija en los laterales de la base.
- Fuerza de 30 *N*, equivalente al peso de la mezcla.
- Temperatura de 70 °C.

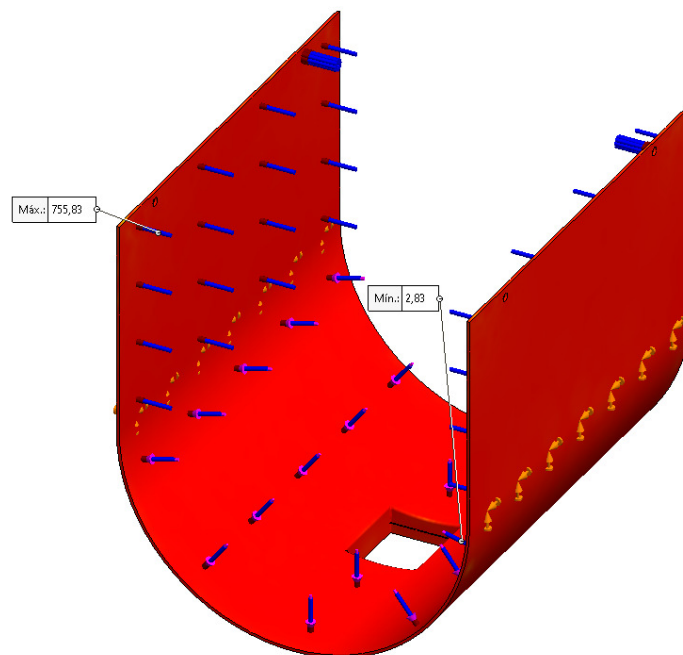


Figura 22. Análisis estático Contenedor Mezcladora

Como se observa en la Figura 22, se obtiene un factor de seguridad de 3.

b) Eje:

Al eje de la mezcladora está compuesto por una polea ①, 2 paletas circulares ② sujetadas a presión mediante tornillos, una paleta rectangular ③ sujetada a presión mediante tornillos y chumaceras con rodamientos ④ apoyados a la

estructura de la mezcladora, como se muestra en las Figuras 23 y 24, esta configuración de paletas permite mover el material de compostaje de una manera uniforme. Para el análisis de fuerzas se considera que todas las paletas están sometidas a la vez.

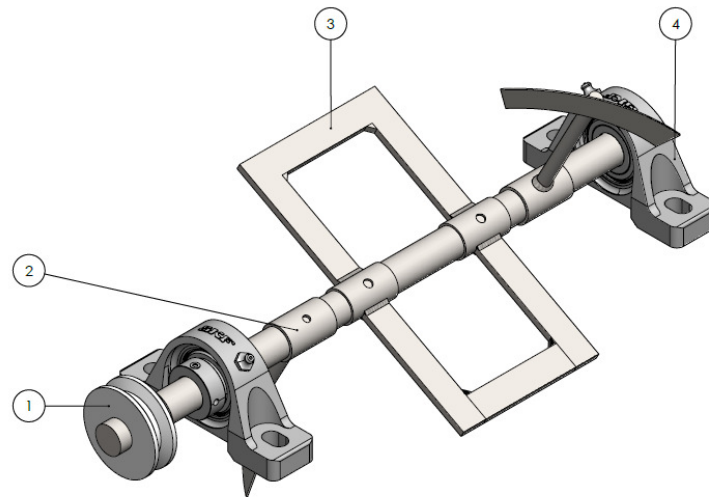


Figura 23. Eje Vista isométrica

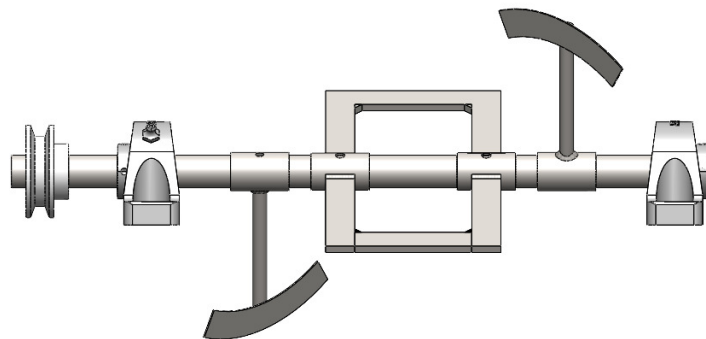


Figura 24. Eje vista lateral

En cada una de las paletas se ejercerá una fuerza proporcionada por el material de mezcla, esto provoca reacciones como se representa en Figura 25. No existen reacciones a lo largo del eje z, debido a la posición de las paletas las cuales anulan estas reacciones axiales.

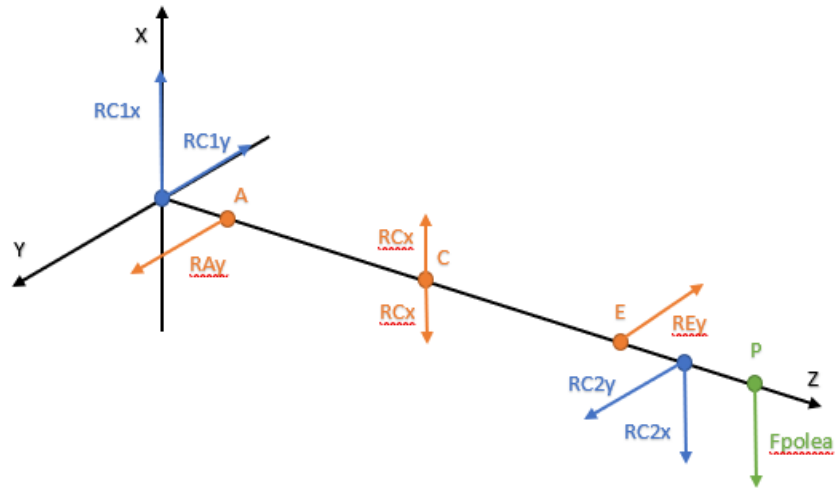


Figura 25. Reacciones en el Eje

Donde:

$RC1x$, $RC1y$, $RC2x$, $RC2y$: Reacciones en los rodamientos.

RAy , RCx , REy : Reacción provocadas por las paletas.

Al conocer las fuerzas de las paletas, se determina las reacciones que se producen en cada uno de los rodamientos.

Distancia entre puntos:

$$C1-A = 74 \text{ mm}$$

$$A-C = 105 \text{ mm}$$

$$C-E = 105 \text{ mm}$$

$$E-C2 = 74 \text{ mm}$$

$$C2 - Polea = 76 \text{ mm}$$

Se analiza en el plano X – Z, como se observa en la Figura 26.

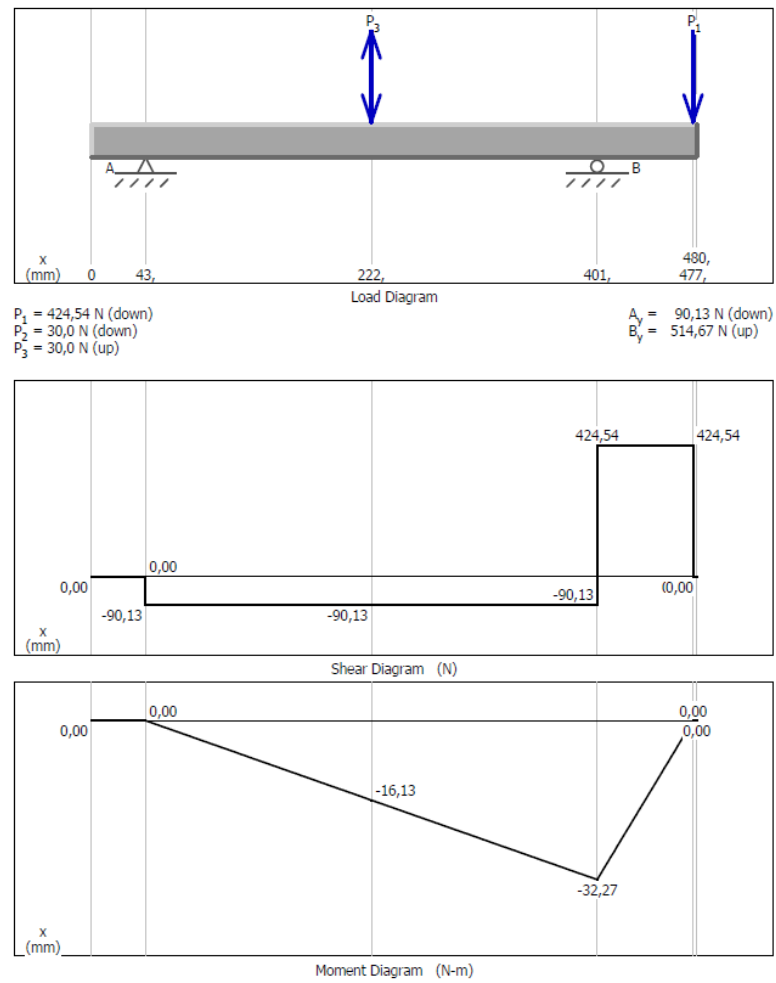


Figura 26. Diagrama de esfuerzos y momentos Plano X-Z

Se obtienen las reacciones de cada rodamiento:

$$RC1x = -90,13N$$

$$RC2x = 424,54N$$

Se analiza en el plano Y – Z, como se observa en la Figura 27.

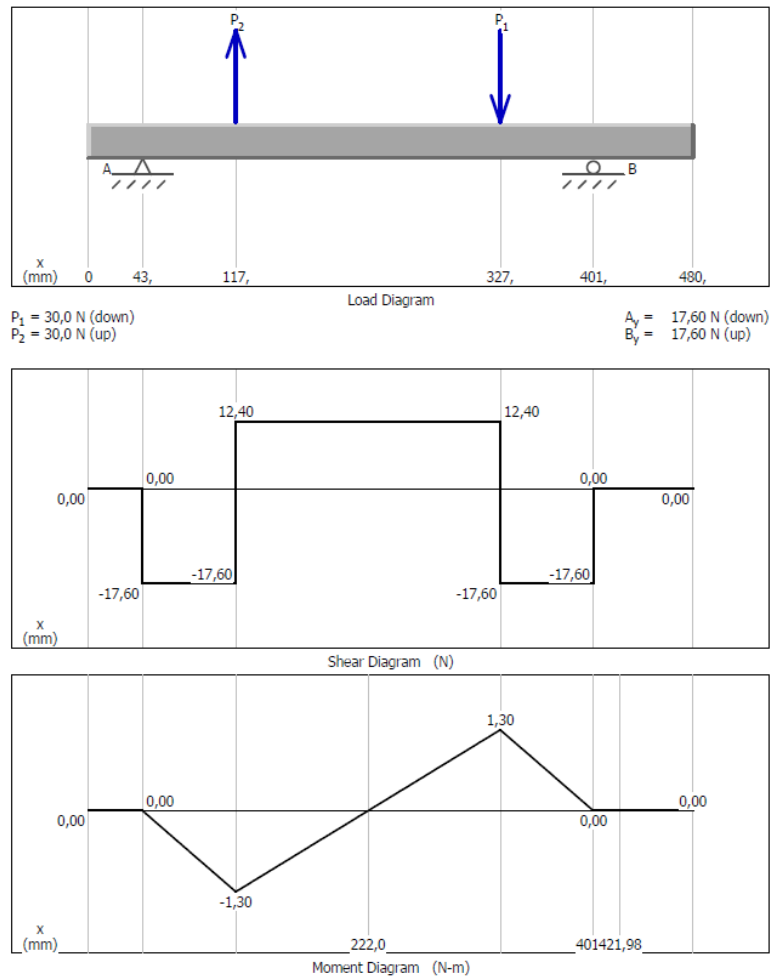


Figura 27. Diagrama de esfuerzos y momentos Plano Y-Z

Se obtienen las reacciones de cada rodamiento:

$$RC1y = -17,6N$$

$$RC2y = -17,6N$$

También se representa en la Figura 28, los momentos producidos tanto por las paletasm, como la del motor.

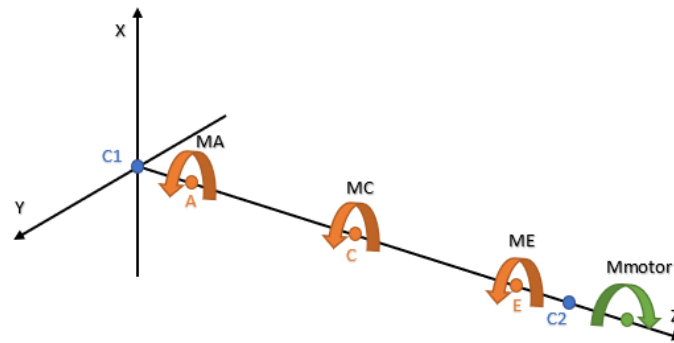


Figura 28. Momentos en el Eje

Para determinar un diámetro mínimo del eje se analiza en el punto C2, donde se encuentra el punto más crítico. Mediante (7) el cual se utiliza cuando el eje está sometido a flexión y torsión al mismo tiempo.

Donde:

M, momento flector igual a 32.27 Nm

T, momento torsor igual a 8.986 Nm

El eje no contiene ningún concentrador de esfuerzo, por lo tanto, $K_t = 1$.

$$D = \left[\frac{32 \cdot 2,5}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{1 \cdot 32,27 \text{ Nm}^2}{168,94 \text{ MPa}} + \frac{3}{4} \cdot \frac{8,986 \text{ Nm}^2}{220 \text{ MPa}}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 0,017 \text{ m} \rightarrow 17 \text{ mm}$$

Se selecciona un eje de acero inoxidable AISI 304 de 7/8 pulgada de diámetro, equivalente a 22.225 mm [29], cumpliendo con la dimensión requerida para el eje.

Una vez determinado los momentos y esfuerzos en el eje se realiza un diseño a fatiga, ya que el eje gira provocando la condición de funcionamiento más crítica. Se calcula los esfuerzos que existen en el eje.

Esfuerzos:

El Torsor viene dado por (10):

$$\tau = \frac{Tr}{J} = \frac{16 \cdot M_T}{\pi \cdot d^3} \quad (10)$$

Se escoge un diámetro de eje igual a 7/8 de pulgada equivalente a (22.225 mm)

$$\tau = \frac{16 \cdot 8,986 Nm}{\pi \cdot (22,225 mm \cdot (\frac{1m}{1000mm}))^3} = 4,17 MPa$$

El flector viene dado por (11):

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{32 \cdot M_F}{\pi \cdot d^3} \quad (11)$$

$$\sigma = \frac{32 \cdot 32,27 Nm}{\pi \cdot (22,225 mm \cdot (\frac{1m}{1000mm}))^3} = 29,95 MPa$$

Los esfuerzos presentes en el punto C2 se consideran completamente reversibles, aquí se permite sólo un tipo de carga, y el esfuerzo medio debe ser cero.

Se calcula la resistencia a fatiga que viene dado por (1).

Se calcula los factores modificadores de la resistencia a fatiga, en este caso se conoce el diámetro del eje.

- Factor de acabado superficial (k_a): Se considera que el eje es laminado en frío.

$$k_a = 4,51(520)^{-0,265} = 0,86$$

- Factor de tamaño (k_b):

$$k_b = 1,24(22,225)^{-0,107} = 0,89$$

- El factor de carga (k_c) no es considerado debido a que se tiene una combinación de modos de falla y posteriormente se utilizará el esfuerzo de Von Mises.

- Factor de temperatura (k_d):

Como el proceso de compostaje puede llegar a tener temperaturas de hasta 80 °C, se considera y se toma una temperatura máxima de 100 °C(212 °F).

$$k_d = 1,024$$

- Factor de confiabilidad (k_e): Se asume una confiabilidad del 95 %, por lo que:

$$k_e = 0,868$$

- Factor de efectos varios (k_f):

$$k_f = 1$$

Límite a la resistencia a la fatiga:

$$S_e = 0,86 \cdot 0,89 \cdot 1,024 \cdot 0,868 \cdot 260MPa = 176,88MPa$$

Para determinar los esfuerzos alternantes y medios se aplica la combinación de modos de falla (von Mises) dada por (12):

$$\sigma'_a = \sqrt{(K_f \cdot \sigma)^2 + 3(K_{fs} \cdot \tau)^2} \quad (12)$$

Debido a que en el eje no existe cambios de área, los factores de concentradores de esfuerzos se les considera con el valor de 1.

$$\sigma'_a = \sqrt{(1 \cdot 4,17MPa)^2 + 3(1 \cdot 29,95MPa)^2}$$

$$\sigma'_a = 52,04MPa$$

$$\sigma'_m = 0$$

Se aplica el criterio de falla Goodman-Modificado dado por (13)

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (13)$$

$$\frac{52,04MPa}{176,88MPa} + \frac{0}{520MPa} = \frac{1}{n}$$

$$n = 3,39$$

Se debe asegurar un factor de diseño superior a 2.5, en este caso se obtiene un factor de seguridad (n) superior al indicado por lo que el diámetro del eje esta seleccionado correctamente.

Se realiza un análisis estático con el software SOLIDWORKS con los siguientes parámetros:

- Sujeción por rodamientos en los extremos.
- Fuerzas de torsión provocados por las paletas sujetas al eje
- Fuerza de flexión provocada por la banda y polea.

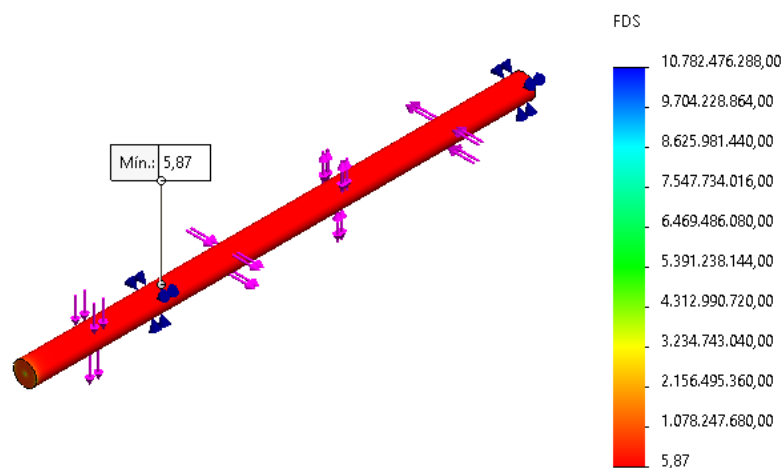


Figura 29. Factor de seguridad

Como se observa en la Figura 29, donde se asegura un factor de seguridad de 5.

c) Paletas de mezclado:

Se realiza el dimensionamiento de las aspadas adheridas al eje de la mezcladora, se determina el espesor y diámetro mínimo dependiendo del aspa. El eje contiene un aspa rectangular Figura 30 y una circular Figura 32

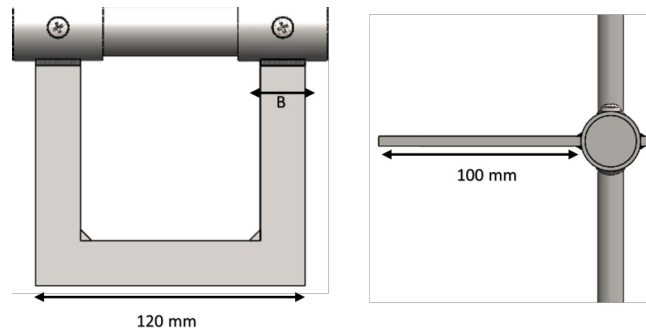


Figura 30. Aspa Rectangular

En la paleta actúa un esfuerzo máximo dado por (14):

$$\sigma_{max} = \frac{M}{Z} \quad (14)$$

Donde: $Z = \frac{I}{C}$, llamado módulo de sección [28].

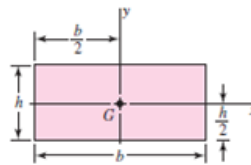


Figura 31. Módulo de Sección forma Rectangular [28]

$$Z = \frac{B \cdot H^2}{6}$$

$$B = 20mm \rightarrow 0,02m$$

$$\sigma_{mx} = \frac{6 \cdot M}{B \cdot H^2}$$

$$\sigma_{min} = 0$$

Se calcula es esfuerzo medio dado por (15):

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{mx} + \sigma_{min}}{2} \quad (15)$$

$$\sigma_m = \frac{\frac{6 \cdot M}{B \cdot H^2} + 0}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{3 \cdot M}{B \cdot H^2}$$

El esfuerzo medio y alternante son iguales debido a que el esfuerzo mínimo es cero.

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{3 \cdot M}{B \cdot H^2}$$

Mediante el criterio de falla Goodman-Modificado (13), se determina el espesor mínimo a usar para mantener un factor de diseño superior a 2.5:

Se calcula el momento flector mediante (16)

$$M = F \cdot d \quad (16)$$

La fuerza que se aplica a las paletas viene dada por la masa de desechos a mezclar igual a 2.5 kg, se considera una masa de 3 kg.

$$F = 3kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 29,43N$$

$$M = 29,43N \cdot 113mm \cdot \frac{1}{1000m}$$

$$M = 3,32Nm$$

Mediante el uso del Software MD Solid se pueden obtener los diagramas de esfuerzos y momentos en Figura 32 para la comprobación de los resultados.

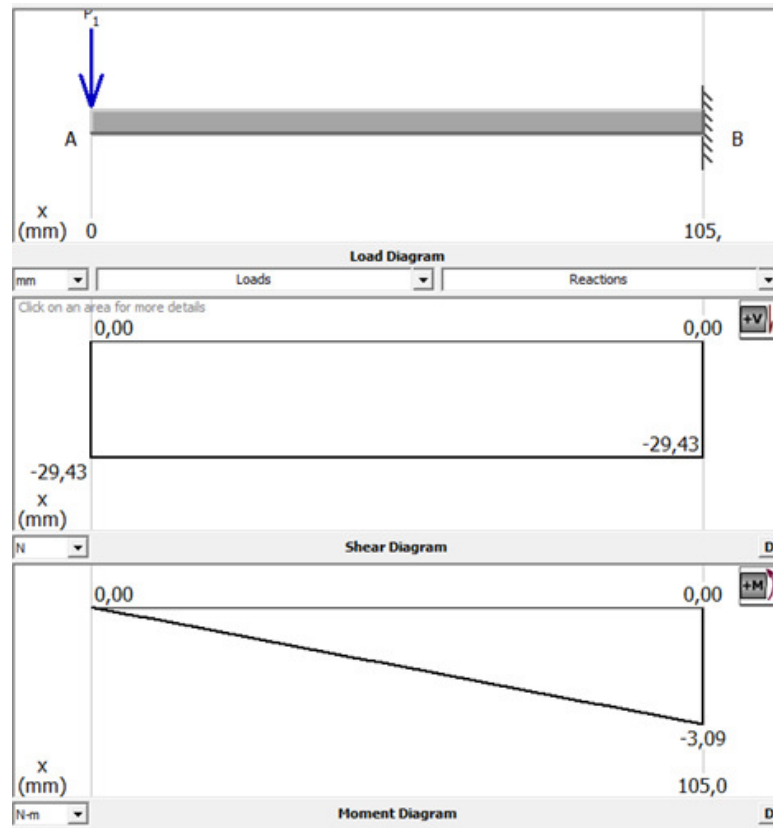


Figura 32. Diagrama de esfuerzos y momentos

Se reemplaza en (13):

$$\frac{3 \cdot 3,32 \text{ Nm}}{0,02 \text{ m} \cdot H^2} + \frac{3 \cdot 3,32 \text{ Nm}}{0,02 \text{ m} \cdot H^2} = \frac{1}{2,5}$$

$$H = 3,25 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow 3,25 \text{ mm}$$

Se requiere que el espesor del aspa rectangular sea de un valor mínimo de 3.25 mm.

El aspa helicoidal se encuentra a 45° lo que disminuye el impacto sobre la mezcla. Se determina el espesor de la platina y el diámetro del eje al cual está sujeta.



Figura 33. Aspa Circular

En la paleta actúa un esfuerzo máximo dado por (14).

$$Z = \frac{B \cdot H^2}{6}$$

$$B = 20mm \rightarrow 0,02m$$

$$\sigma_{max} = \frac{6 \cdot M}{B \cdot H^2}$$

$$\sigma_{min} = 0$$

Se calcula es esfuerzo medio dado por (15):

$$\sigma_m = \frac{\frac{6 \cdot M}{B \cdot H^2} + 0}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{3 \cdot M}{B \cdot H^2}$$

Es esfuerzo medio y alternante son iguales debido a que el esfuerzo mínimo es cero.

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{3 \cdot M}{B \cdot H^2}$$

Se calcula el momento flector mediante (16)

$$M = 20,81N \cdot 60mm \cdot \frac{1}{1000m}$$

$$M = 1,25Nm$$

Mediante el uso del software MD Solid, se puede calcular los momentos y reacciones que existen en la platina, ubicando la fuerza puntual en el punto más crítico.

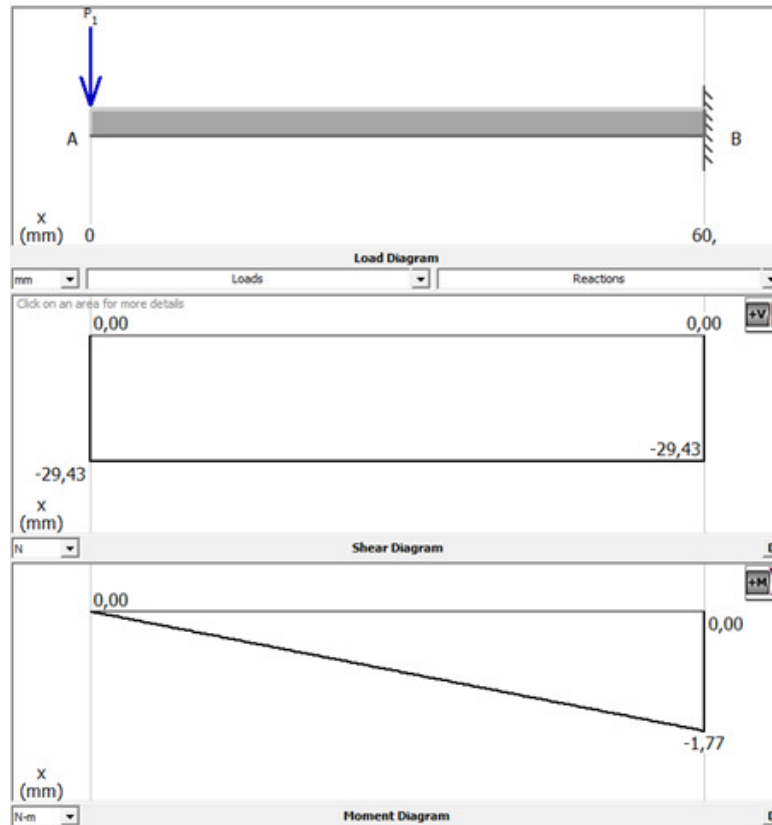


Figura 34. Diagrama de esfuerzos y momentos

Como se observa en los diagramas en Figura 34 se tiene un momento de 1.77 Nm. Se realiza el mismo cálculo de la paleta rectangular para determinar el espesor mínimo, mediante el criterio de falla Goodman-Modificado (13).

$$\frac{\frac{3 \cdot 1,25 \text{ Nm}}{0,02 \text{ m} \cdot H^2}}{156,26 \text{ MPa}} + \frac{\frac{3 \cdot 1,25 \text{ Nm}}{0,02 \text{ m} \cdot H^2}}{481 \text{ MPa}} = \frac{1}{2,5}$$

$$H = 1,99 \times 10^{-3} \text{ m} \rightarrow 2 \text{ mm}$$

Se requiere que el espesor de la placa del aspa rectangular sea de un valor mínimo de 2 mm.

Se determina el diámetro mínimo del eje de la paleta como se observa en Figura

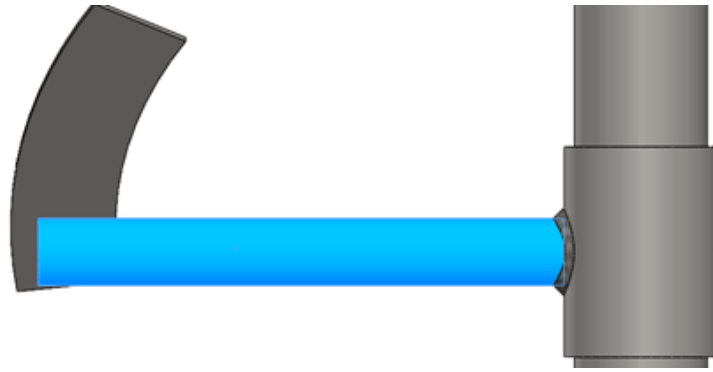


Figura 35. Eje Aspa Circular

En la paleta actúa un esfuerzo máximo dado por (14):

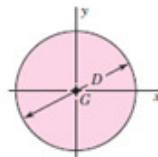


Figura 36. Módulo de Sección forma Circular [28]

$$Z = \frac{\pi \cdot D^3}{32}$$

$$\sigma_{max} = \frac{32 \cdot M}{\pi \cdot D^3}$$

$$\sigma_{min} = 0$$

Se calcula es esfuerzo medio dado por (15):

$$\sigma_m = \frac{\frac{32 \cdot M}{\pi \cdot D^3} + 0}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{16 \cdot M}{\pi \cdot D^3}$$

Es esfuerzo medio y alternante son iguales debido a que el esfuerzo mínimo es cero

$$\sigma_m = \sigma_a = \frac{16 \cdot M}{\pi \cdot D^3}$$

Se calcula el momento flector mediante (16)

$$M = 29,43N \cdot 113mm \cdot \frac{1}{1000m}$$

$$M = 3,32Nm$$

En Figura se observa los diagramas de esfuerzos y momento flector, comprobando los resultados obtenidos

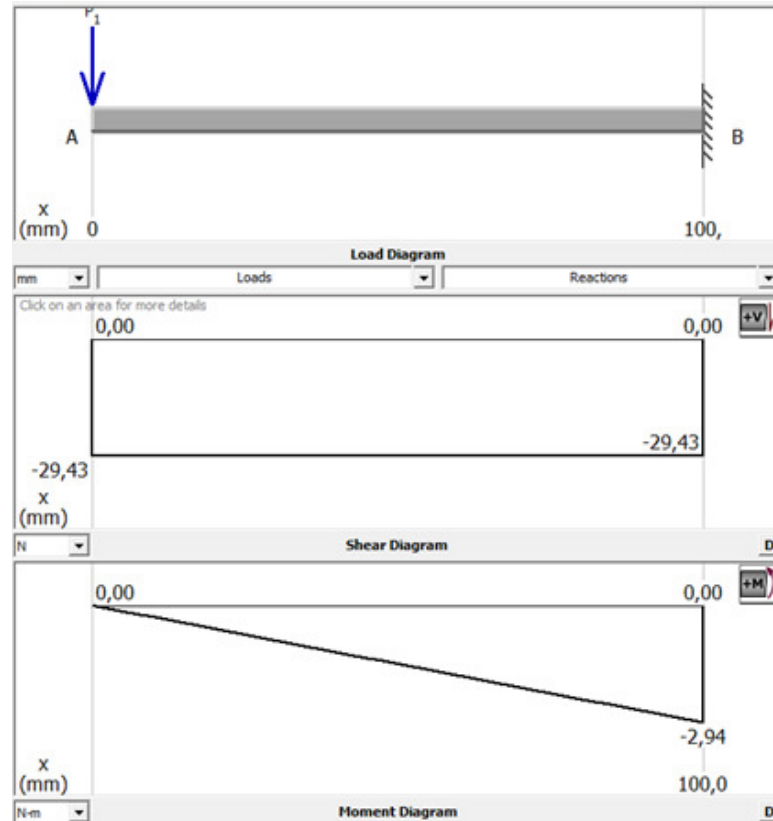


Figura 37. Diagrama de esfuerzos y momentos

Se realiza el cálculo para determinar el diámetro mínimo, mediante el criterio de falla Goodman-Modificado (8).

$$\frac{3 \cdot 3,32Nm}{\pi \cdot D^3} + \frac{3 \cdot 3,32Nm}{\pi \cdot D^3} = \frac{1}{2,5}$$

$$D = 3,96 \times 10^{-3}m \rightarrow 3,96mm$$

Se requiere que el diámetro del aspa sea de un valor mínimo de 3.96 mm. Se selecciona un eje de acero inoxidable AISI 304 de 3/8 pulgadas, equivalente a 9.52 mm [29].

Las paletas para ser sujetadas al eje dependerán de un bocín al cual estará soldada a cada una de ellas, se diseña el bocín en acero inoxidable AISI 304, como se muestra en la Figura 38.

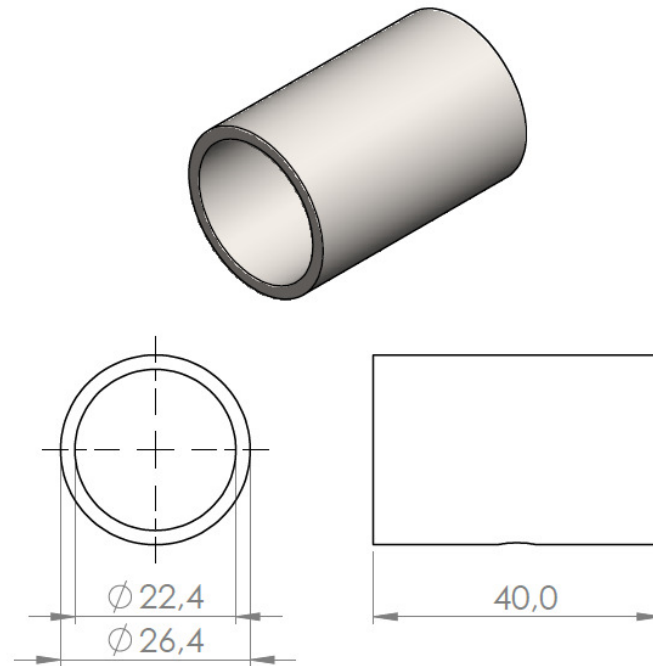


Figura 38. Bocín

Además se realiza el dimensionamiento de la soldadura que une estos dos componentes detalladas a continuación:

- Soldadura paleta circular:

Se realiza un cordón tipo filete para la unión del bocín con el brazo de la paleta de mezclado como se muestra en la Figura 39, se utiliza un electrodo inoxidable E-308L-16. El cordón de soldadura está sometido a flexión debido al empuje que existe por la carga de la mezcla al momento de gira el eje.

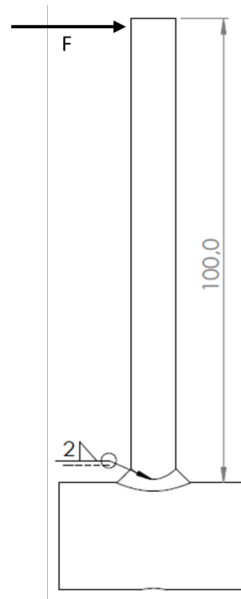


Figura 39. Unión Paleta Circular - Bocín

Se determina el factor de seguridad del cordón como se detallada a continuación: La fuerza aplicada sobre el brazo viene dada por la masa de la mezcla igual a 3 kg , por lo tanto, F es equivalente a 29.43 N .

Las características mecánicas del electrodo E308-16 [34] son:

$$S_{ut} = 520 \text{ MPa}$$

$$S_y = 320 \text{ MPa}$$

Al ser una unión sujeta a flexión, se tiene una fuerza cortante V y una reacción de momento M . La fuerza cortante produce un cortante primario en las soldaduras y viene dado por (17).

$$\tau' = \frac{V}{A} \quad (17)$$

Donde: A , es el área total de la garganta.

El área de la garganta para esta unión es de forma circular como se observa en Figura 40 [28].

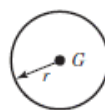


Figura 40. Área garganta paleta circular

Y viene dada por (18).

$$A = 1,414 \cdot \pi \cdot h \cdot r \quad (18)$$

$$A = 1,414 \cdot \pi \cdot 2mm \cdot 4,76mm$$

$$A = 42,28mm^2$$

$$\tau' = \frac{29,43N}{42,28mm^2}$$

$$\tau' = 0,69MPa$$

El momento provoca un cortante secundario que viene dado por (19):

$$\tau'' = \frac{M \cdot r}{I} \quad (19)$$

Donde:

I es el segundo momento del área, con base en el área de la garganta de soldadura lu, y viene dado por (20).

$$I = 0,707 \cdot h \cdot I_u \quad (20)$$

$$I_u = \pi \cdot r^3$$

$$I = 0,707 \cdot h \cdot \pi \cdot r^3$$

$$I = 0,707 \cdot 2mm \cdot \pi \cdot (4,76mm)^3$$

$$I = 479,09mm^4$$

$$\tau'' = \frac{29,43N \cdot 100mm \cdot 4,76mm}{479,09mm^4}$$

$$\tau'' = 29,24MPa$$

Se determina la magnitud del cortante τ , mediante Pitágoras.

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2}$$

$$\tau = \sqrt{0,69MPa^2 + 29,24MPa^2}$$

$$\tau = 29,25MPa$$

Con base en una resistencia mínima y el criterio de energía de distorsión, el factor de seguridad viene dado por (21).

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau} \quad (21)$$

$$n = \frac{0,577 \cdot S_y}{\tau}$$

$$n = \frac{0,577 \cdot 320MPa}{29,25MPa}$$

$$n = 6,31$$

Se obtiene un factor de seguridad de 6.31.

- Soldadura paleta rectangular.

Se realiza un cordón tipo filete para la unión del bocín con el brazo de la paleta de mezclado como se muestra en la Figura 41, se utiliza un electrodo inoxidable E-308L-16.



Figura 41. Unión Paleta Rectangular - Bocín

El dimensionamiento es similar a la paleta circular aplicando el cortante primario (17) y cortante secundario (19), sin embargo, el área de la garganta

para la unión es de la forma que se muestra en la Figura 42 [28].

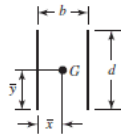


Figura 42. Área garganta paleta rectangular

Y viene dada por (22).

$$A = 1,414 \cdot h \cdot d \quad (22)$$

$$A = 1,414 \cdot 2mm \cdot 20mm$$

$$A = 177,69mm^2$$

Por lo tanto, el cortante primario es:

$$\tau' = \frac{29,43N}{177,69mm^2}$$

$$\tau' = 0,165MPa$$

El segundo momento del área, con base en el área de la garganta de soldadura I_u , y viene dado por (23).

$$I_u = \frac{d^3}{6} \quad (23)$$

$$I = 0,707 \cdot h \cdot \frac{d^3}{6}$$

$$I = 0,707 \cdot 2mm \cdot \frac{(20mm)^3}{6}$$

$$I = 1885,33mm^4$$

Por lo tanto, el cortante secundario es:

$$\tau'' = \frac{29,43N \cdot 100mm \cdot 10mm}{1885,33mm^4}$$

$$\tau'' = 15,6MPa$$

Se determina la magnitud del cortante τ , mediante Pitágoras.

$$\tau = \sqrt{0,165MPa^2 + 15,6MPa^2}$$

$$\tau = 15,6MPa$$

Con base en una resistencia mínima y el criterio de energía de distorsión, el factor de seguridad viene dado por (21).

$$n = \frac{0,577 \cdot 320MPa}{15,6MPa}$$

$$n = 11,83$$

Se obtiene un factor de seguridad de 11.83.

d) Cojinetes y Chumaceras:

Se escoge un rodamiento con chumacera de piso con ajuste por tornillos, el cual será dimensionado verificando su correcta elección.

Según [33], la vida nominal para máquinas con uso intermitente durante breves periodos de 3000 horas.

Si se lo lleva a una velocidad constante de giro del eje aproximado a 40 rpm, se determina la vida útil L_{10} .

$$L_{10} = 3000h \cdot 40 \frac{rev}{min} \cdot 60 \frac{min}{h}$$

$$L_{10} = 4,8 \times 10^6 rev$$

Mediante (9) [27], se determina el valor de carga dinámica necesaria en la chumacera seleccionada.

En el eje solo actúa una carga radial, por lo tanto se selecciona la fuerza que se

aplica en C2 debido a que resulta ser la más crítica.

$$P = 421,9N$$

$$C = 421,9N \left(\frac{4,8 \times 10^6}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 0,71kN$$

Se requiere un rodamiento con una C (Capacidad de carga dinámica) de 0.71 kN . Se selecciona el rodamiento P2B 014-TF Figura 43 [35], el cual cumple con los requisitos previamente calculados.

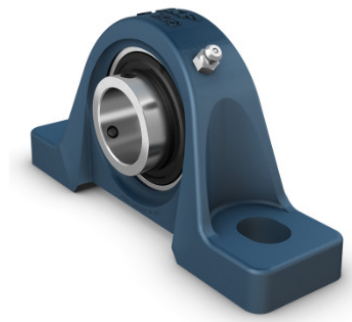


Figura 43. Rodamiento P2B 014-TF [35]

Datos del rodamiento [35]:

C (Capacidad carga dinámica) = 14 kN

Co (Capacidad de carga estática) = 7.8 kN

5. Recipiente para compost:

Se realiza el diseño de un deposito para el almacenamiento de 1 kg de compost, realizada en acero galvanizado de 2 mm de espesor, como se muestra en la Figura 44. Se calcula el volumen necesario mediante (5) y se comprueba con el volumen del deposito diseñado.

$$V = \frac{m_{desechos}}{\rho_c}$$

Donde:

Densidad Compost (ρ_c) = $700 \frac{kg}{m^3}$ [36]

$$V = \frac{1kg}{700 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{1^3 m^3}{100^3 cm^3}}$$

$$V = 1428,58 cm^3$$

Se necesita un deposito con un volumen igual a $4285.71 cm^3$.



Figura 44. Deposito Compost

Se calcula el volumen del deposito diseñado con dimensiones: alto ($26 mm$), ancho ($252 mm$) y largo ($376 mm$), mediante (24).

$$V = Ancho \cdot Largo \cdot ancho \quad (24)$$

$$V = 26mm \cdot 252mm \cdot 376mm$$

$$V = 2463552mm^3 \rightarrow 2463,55cm^3$$

Se obtiene un volumen superior al necesario.

6. Mecanismos de transmisión de movimiento:

a) Selección del motor eléctrico y diámetro del eje de salida para el triturador:

Se determina la potencia necesaria del motor mediante (25), donde se necesita conocer el torque necesario para el giro del eje.

$$P = T \cdot \omega \quad (25)$$

Donde:

T, torque ejercen las cuchillas sobre el eje

ω , velocidad angular, igual a 40 rpm $\rightarrow 4.2 \frac{rad}{s}$

El torque requerido para girar el eje con las 9 cuchillas viene determinado por (26):

$$\sum M_{eje} = F \cdot d \quad (26)$$

Se conoce cada uno de los momentos que ejerce cada paleta, por lo tanto:

$$\sum M_{eje} = 9 \cdot (F_{corte} \cdot d)$$

$$\sum M_{eje} = 9 \cdot (60N \cdot 0,05m)$$

$$\sum M_{eje} = 27Nm = T$$

Se procede a determinar la potencia requerida en el motor. Al ser dos ejes se duplica el momento ejercido por el eje.

$$P = 2 \cdot 27Nm \cdot 4,2 \frac{rad}{s}$$

$$P = 226,8W = 0,3Hp$$

En valores de potencia en el mercado se determina un motor de 1/2 hp como requerimiento mínimo para el movimiento rotacional del eje. Se selecciona un motorreductor ortogonal a una salida de 40 rpm para un diámetro de eje de 7/8 de pulgada.

b) Selección del motor eléctrico y diámetro del eje de salida para la mezcladora:

Se determina la potencia necesaria del motor mediante (25), donde se necesita conocer el torque necesario para el giro del eje.

El torque requerido para girar el eje con las 5 paletas viene determinado por (26):

Se conoce cada uno de los momentos que ejerce cada paleta, por lo tanto:

$$\sum M_{eje} = M_{paletarectangular} + 2 \cdot M_{paletarahel}$$

$$\sum M_{eje} = 3,1Nm + 2 \cdot 2,943Nm$$

$$\sum M_{eje} = 8,986Nm = T$$

Se determina la potencia requerida en el motor.

$$P = 8,986Nm \cdot 4,2 \frac{rad}{s}$$

$$P = 37,75W = 0,05Hp$$

En valores de potencia en el mercado se determina un motor de 1/8 hp como requerimiento mínimo para el movimiento rotacional del eje. Se selecciona un motorreductor coaxial a una salida de 40 rpm.

c) Sistema de engranes para el triturador:

El sistema de transmisión para el movimiento de dos ejes viene dado por dos engranes rectos a un ángulo de presión de 20 grados. Se determina las medidas del engrane para posteriormente ser diseñado en 3D, mediante el software Solid-Works.

Como datos conocidos se tiene:

$$D_c \text{ (Diámetro entre centros)} = 60 \text{ mm}$$

$$N_e \text{ (Número de dientes)} = 15$$

Se calcula el diámetro primitivo (D_p), que viene dado por (27). Al tener una relación de transmisión igual a 1, los diámetros son iguales.

$$D_c = \frac{D_{p1} + D_{p2}}{2} \quad (27)$$

$$60mm = \frac{2 \cdot D_p}{2}$$

$$D_p = 60mm$$

Conocido D_p , se calcula el módulo del engrane dado por (28)

$$D_p = M \cdot N \quad (28)$$

$$60mm = M \cdot 15$$

$$M = 4$$

Se determina el diámetro exterior (D_e) mediante (29) y diámetro interior (D_i) mediante (30).

$$D_e = D_p + 2M \quad (29)$$

$$D_e = 60mm + 2 \cdot 4 = 68mm$$

$$D_i = D_p - 2,4 * M \quad (30)$$

$$D_i = 60mm - 2,4 \cdot 4 = 50,4mm$$

Una vez obtenidos los datos que se muestran en la Tabla 15, se procede a diseñarlo como se observa en la Figura 45.

Tabla 15. Datos para el diseño del engrane recto

Número de dientes	15
Módulo	4
Diámetro externo	68 mm
Diámetro primitivo	60 mm
Diámetro interno	50.4 mm
Ángulo de presión	20 °

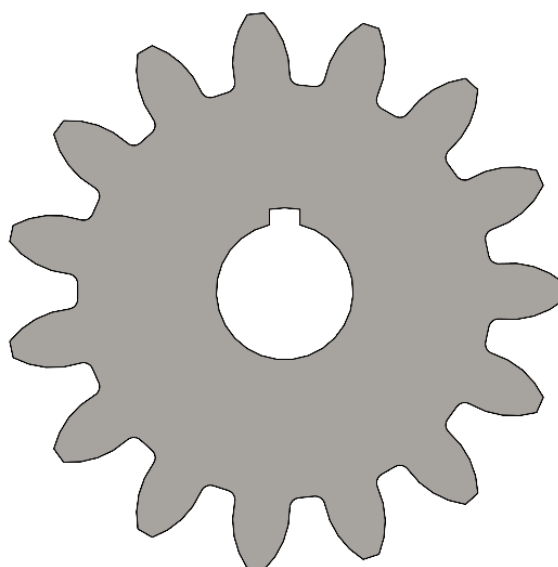


Figura 45. Engrane Recto

Se calculan las fuerzas que ejercen sobre el eje. Mediante un diagrama de cuerpo

libre se puede determinar las fuerzas como se observa en la Figura 46.

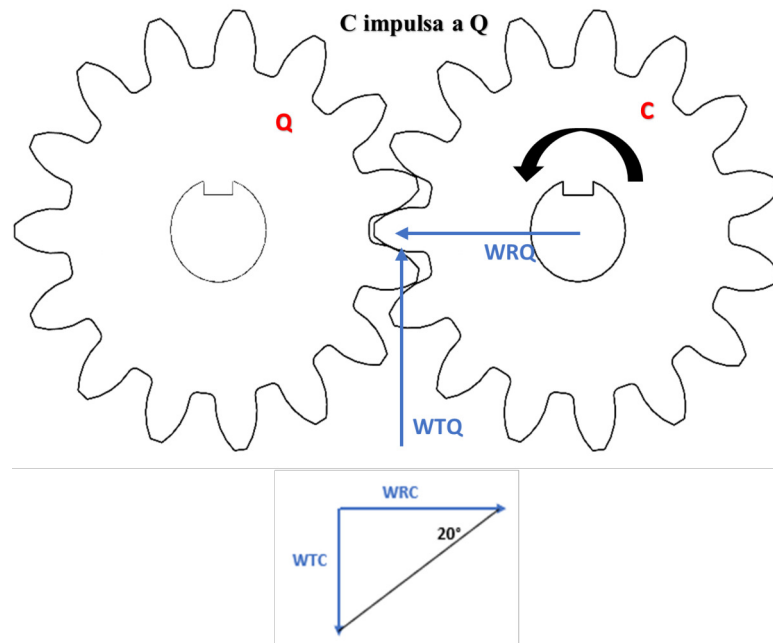


Figura 46. Diagrama de cuerpo libre engranes

Se calcula las cargas W_{RC} (Carga radial) y W_{TC} (Carga tangencial) mediante (31).

$$W_{TC} = \frac{T}{\frac{D}{2}} \quad (31)$$

Donde:

T , Par torsional dado por (32)

$$T = \frac{63000 \cdot P}{n} \quad (32)$$

$$T = \frac{63000 \cdot 0,3Hp}{40rpm}$$

$$T = 472,5lb \cdot pulg \rightarrow 53,4Nm$$

$$W_{TC} = \frac{53,4Nm}{\frac{0,06m}{2}}$$

$$W_{TC} = 1780N$$

$$\tan(20^\circ) = \frac{W_{RC}}{W_{TC}}$$

$$W_{RC} = 647,86N$$

Para un ancho de cara igual a 10 mm, se determina los factores de seguridad de flexión (S_F) y salpicadura (S_H).

$$S_F = 3,96N$$

$$S_H = 12,86N$$

d) Sistema de poleas y correas para el mezclador:

Para la selección se considera que la velocidad y la potencia se mantienen entre ambas poleas. La relación de velocidad viene dada por (33).

$$\frac{N_p}{n_p} = \frac{D}{d} \quad (33)$$

Donde:

N_p , Velocidad polea motriz

n_p , Velocidad polea impulsada

D , Diámetro polea motriz

d , Diámetro polea impulsada

Al mantener la misma velocidad para ambas poleas, se tiene que:

$$\frac{N_p}{n_p} = 1$$

Por lo tanto:

$$D = d$$

Se selecciona una polea de 2.5 pulgadas de diámetro que equivale a 0.0635 m.

Se determina la fuerza que ejerce la polea sobre el eje, que viene dada por (34).

$$F_B = 1,5F_N \quad (34)$$

Donde:

F_N , Fuerza neta impulsora dada por (35).

$$F_N = \frac{2T}{D} \quad (35)$$

$$F_N = \frac{2 \cdot 8,986 Nm}{0,0635m} = 283,02N$$

$$F_B = 1,5 \cdot 283,02N$$

$$F_B = 424,54N$$

Se calcula la longitud de paso mediante (36) para una distancia entre centros menor a 300 mm, para determinar el tipo de banda a seleccionar.

$$L_p = 2C + \frac{\pi \cdot (D + d)}{2} + \frac{(D - d)^2}{4C} \quad (36)$$

Donde:

L_p , Longitud de paso

C , Diámetro entre centros

$$L_p = 2 \cdot 300mm + \frac{\pi \cdot (63,5mm + 63,5mm)}{2} + \frac{(63,5mm - 63,5mm)^2}{4 \cdot 300mm}$$

$$L_p = 800mm \rightarrow 31,5pulg$$

Por lo que se escoge una banda A30.

7. Estructura

En la Figura 47 se muestra la estructura diseñada con tubo cuadrado de 30 mm en acero ASTM A36 para los soportes del triturador, mezclador, chumaceras marcadas en la figura con los números 1,2,3; para el depósito de compost se utiliza ángulos AL 20X2 marcadas con el número 4, se diseña un templador de banda en una placa de acero ASTM 36 de 5mm en espesor donde se apoyará el motorreductor que acciona el mezclador marcado con el número 5 y una placa de acero ASTM 36 de 5 mm de espesor mostrada con el número 6 para la base del motorreductor para el triturador [29]. Las uniones de la estructura son soldadas y la sujeción de la trituradora y mezclador

a la estructura es mediante tornillos M10 tipo Alen.

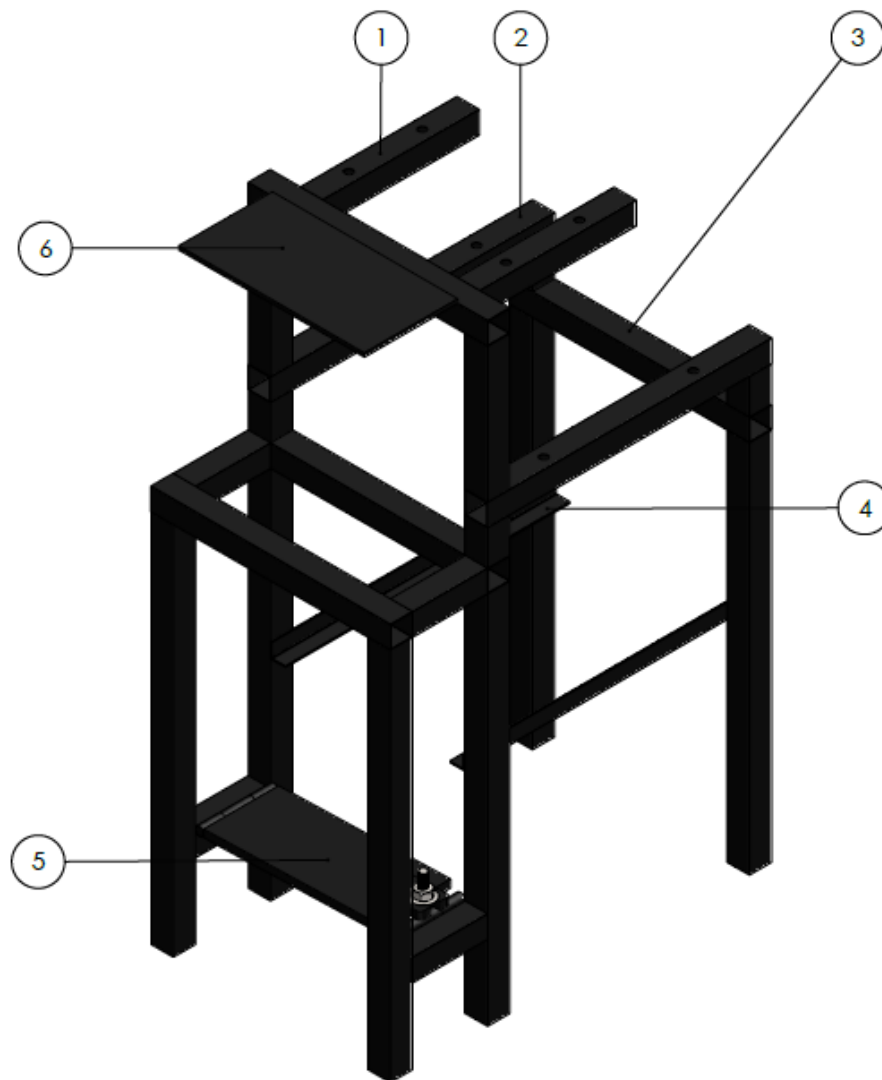


Figura 47. Estructura máquina compostadora

Se realiza un análisis por elementos finitos para garantizar la seguridad de la estructura, donde se proporcionarán las respectivas cargas y fuerzas que existen, se detallan a continuación:

En la Tabla 16 se muestran las cargas que afectan a la viga número 1, la cual está sujeta a la estructura mediante tornillos. Se tiene un peso total de 17 Kgf, equivalente a una fuerza de 166.77 N.

Tabla 16. Cargas base triturador

Elemento	Peso [Kgf]
Tolva	1.83
Cubierta trituradora	4.88
Ejes con cuchillas	9.76
Rodamientos	0.48
Tornillería	0.048
Total	17

En la Tabla 17 se muestran las cargas que afectan a la viga número 2, la cual es apoyada en la estructura y sujeta mediante tornillos. Se tiene un peso total de 10.81 Kgf, equivalente a una fuerza de 106.05 N.

Tabla 17. Cargas base mezclador

Elemento	Peso [Kgf]
Base Recipiente	3.26
Tapas laterales	1.92
Tapa superior	1.18
Soportes	0.34
Tapa inferior	0.12
Tornillería	0.014
Extractor	0.365
Tolva materia café	0.21
Tolva guía	0.48
Materia para mezclar	3
Total	10.81

En la Tabla 18 se muestran las cargas que afectan a la viga número 3, esta será distribuida en los dos soportes de las chumaceras. Se tiene un peso total de 3.23 Kgf, equivalente a una fuerza de 31.68 N, en cada soporte existe una fuerza de 15.84 N.

Tabla 18. Cargas Chumaceras

Elemento	Peso [Kgf]
Eje	1.51
Chumaceras	0.74
Paletas Circulares	0.26
Paleta Rectangular	0.6
Polea	0.12
Total	3.23

En la Tabla 19 se muestran las fuerzas actuantes por chumaceras que afectan a la viga número 3.

Tabla 19. Fuerzas Chumaceras

Fuerza	Valor [N]
Rodamiento C1	91.83
Rodamiento C2	456.81

En la Tabla 20 se muestran las cargas que afectan a la viga número 4. Se tiene un peso de 2.09 Kgf, provocando una fuerza de 20.05 N, la cual es distribuida en los soportes del depósito.

Tabla 20. Cargas deposito compost

Elemento	Peso [Kgf]
Deposito	2.09

En la Tabla 21 se muestran las cargas que afecta a número 5. Se tiene un peso de 5.68 Kgf, provocando una fuerza de 55.72 N.

Tabla 21. Cargas base motor mezclador

Elemento	Peso [Kgf]
Polea	0.68
Motor	5
Total	5.68

En la Tabla 22 se muestran las cargas que afecta a número 6. Se tiene un peso de 5 Kgf, provocando una fuerza de 49.05 N.

Tabla 22. Cargas base motor triturador

Elemento	Peso [Kgf]
Motor	5

Se introducen las cargas respectivas en el software SOLIDWORKS mediante un análisis estático y se verifica un factor de seguridad superior a 2.5, como se muestra en la Figura 48 se obtiene un valor de 2.94.

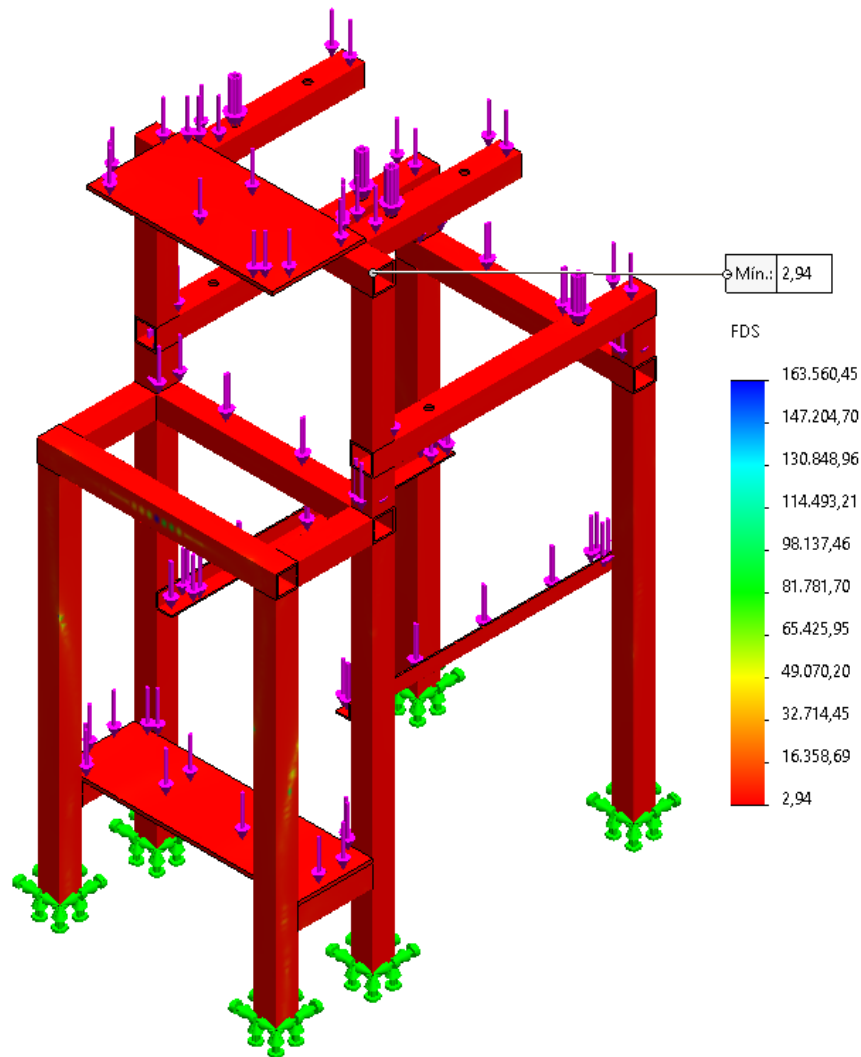


Figura 48. Factor de seguridad Estructura

8.3. Dimensionamiento Electrónico

Se realiza el diseño del sistema electrónico de la máquina, donde se describen cada uno de sus componentes, se lo divide como circuito de control y circuito de potencia.

1. Circuito eléctrico.

En la Figura 49 se presenta un diagrama de procesos del control de la máquina compostadora, donde se parte de un microcontrolador, el cual recibe las señales medidas, con estas variables se procede a dar la acción a los actuadores, de los equipos eléctricos: Ventilador controlando su velocidad mediante PWM y un motor monofásico para el cual se envía una señal de encendido y apagado. El circuito esta alimentado por una fuente de poder DC (Corriente Continua) de varias salidas de valores de voltaje.

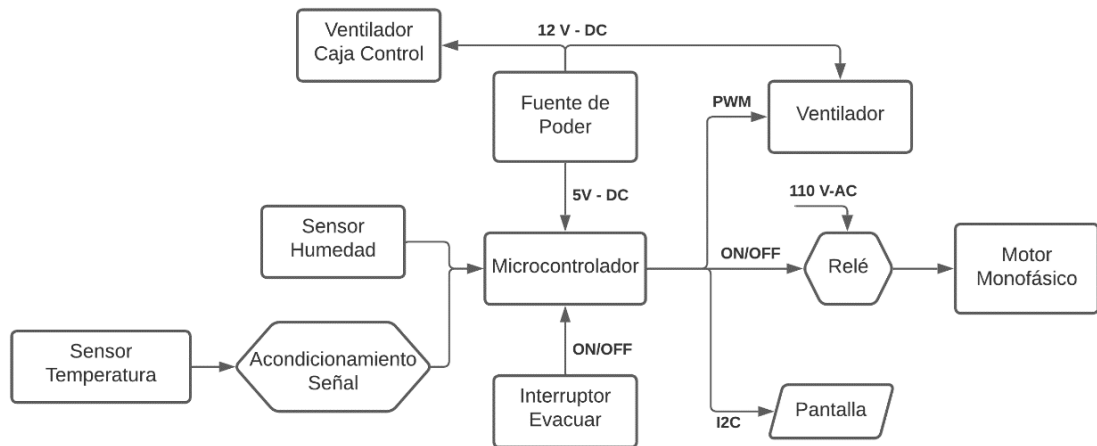


Figura 49. Diagrama de Procesos

A continuación, se detalla cada uno de los componentes representados en el diagrama.

a) Sensores

- **Sensor capacitivo de humedad de suelo:** Este sensor permite medir la humedad mediante el principio de capacitancia entre electrodos. El sensor posee una capa de protección ante la corrosión, evitando el contacto directo de sus terminales con la materia, alargando la vida útil Figura 50 [37].



Figura 50. Sensor capacitivo de humedad [37]

El funcionamiento del sensor se basa en medir el valor de capacitancia entre 2 electrodos, este valor dependerá de la humedad de la materia, con esto si la humedad es muy alta se tiene una capacitancia baja y para una materia

muy seca la capacitancia es muy alta. Los electrodos van a conectados a un circuito de acondicionamiento la cual entrega una salida analógica en valores de voltaje entre 0V – 5V, facilitando su uso en un microcontrolador [37].

- Sensor de temperatura PT100: El sensor de temperatura WZP PT100 es un dispositivo termo resistivo, tiene un cuerpo cerámico protegido por un tubo de acero inoxidable que contiene un pequeño alambre de resistencia de platino, haciéndolo muy útil para diferentes ambientes de trabajo [38].

Existen pt100 de hasta 4 hilos, entre más hilos más preciso es el sensor, sin embargo, para la aplicación se utiliza un sensor de 2 hilos debido a su bajo costo y su conexión más sencilla Figura 51 [38].



Figura 51. PT100 2 hilos [38]

El principio de funcionamiento esta basado en el cambio de resistencia que mantiene el platino, por lo que a 0 °C el platino tiene una resistencia de 100 Ω y al aumentar la temperatura su resistencia aumentara, este tipo de sensor es un RTD, el cual consiste en una resistencia variable en función de la temperatura. A pesar de no ser lineal es creciente y puede calcularse de una manera sencilla, además de ser compatible con cualquier microcontrolador. Para obtener una señal clara para la lectura en un microcontrolador, es necesario implementar un circuito de acondicionamiento a la señal emitida por

el sensor.

1) Acondicionamiento de señal.

Existen 3 formas de acondicionar un sensor resistivo, las cuales son:

- Divisor de tensión.
- Fuente de corriente.
- Puente de Wheatstone.

La PT100 es un transductor de pequeña señal esto implica en que una variación de temperatura provoca una variación muy pequeña en la resistencia de salida, por lo que el circuito de acondicionamiento para este tipo de transductores es el puente de Wheatstone, el cual sirve para determinar cambios relativos en la resistencia.

2) Puente de Wheatstone.

Consiste en una configuración de divisores de voltaje, donde se obtiene como salida un voltaje diferencial Figura 52, este tipo de voltajes presentan mayor inmunidad al ruido con respecto a circuitos referenciados a tierra, además que es ideal para variaciones de voltaje muy pequeños.

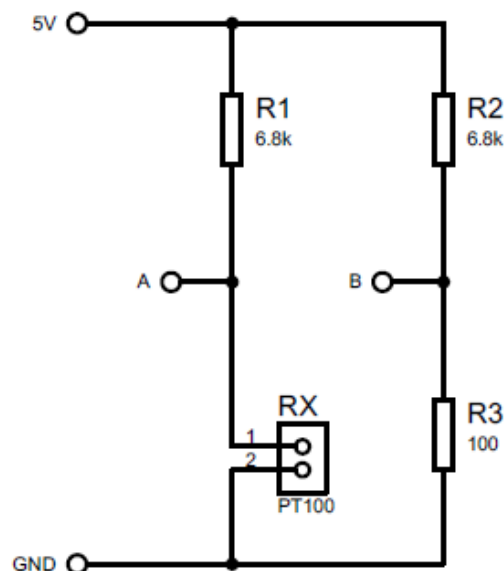


Figura 52. Puente de Wheatstone

Se desea acondicionar la señal para medir entre 0 °C – 100 °C y una salida de voltaje de 0 V- 3.3 V. Mediante una tabla de relación entre resis-

tencia y temperatura [39], se obtienen los siguientes datos.

$$0^{\circ}C \rightarrow 100\Omega$$

$$100^{\circ}C \rightarrow 138,5\Omega$$

Según Figura 52 se obtiene la ecuación (37)

$$V_{out} = V_A - V_B \quad (37)$$

Cada uno de los voltajes es un divisor de tensión, por lo tanto:

$$V_A = \frac{V_{cc} \cdot RX}{R1 + RX}$$

$$V_B = \frac{V_{cc} \cdot R3}{R2 + R3}$$

Para los valores de R2 y R1 se escoge un valor de $6.8 \text{ k}\Omega$ para mantener una corriente menor a 1 mA sobre el circuito [38], debido a que si esta corriente es elevada existirá mayor disipación de potencia lo que conlleva a producir calor en el circuito provocando autocalentamiento afectando a la medición de la temperatura.

El valor de R3 es de 100Ω para obtener un V_{out} de 0 V , cuando RX sea igual a 100Ω , esto quiere decir cuando la PT100 detecte $0^{\circ}C$.

Se analiza el circuito con los valores seleccionados previamente.

Caso 1: Temperatura igual a $0^{\circ}C$

$$V_A = \frac{5V \cdot 100\Omega}{6,8k\Omega + 100\Omega} = 0,0725V$$

$$V_B = \frac{5V \cdot 100\Omega}{6,8k\Omega + 100\Omega} = 0,0725V$$

$$V_{out} = 0,0725V - 0,0725V = 0V$$

Caso 2: Temperatura igual a $100^{\circ}C$

$$V_A = \frac{5V \cdot 138,5\Omega}{6,8k\Omega + 138,5\Omega} = 0,099V$$

$$V_B = \frac{5V \cdot 100\Omega}{6,8k\Omega + 100\Omega} = 0,0725V$$

$$V_{out} = 0,099V - 0,0725V = 0,0265V$$

Como se observa se tiene voltajes muy pequeños, por lo que se debe amplificar los valores de voltaje para que pueda ser adaptado a un micro-controlador.

3) Amplificador de instrumentación.

Al tener una salida diferencia la opción ideal es utilizar un amplificador de instrumentación Figura 53.

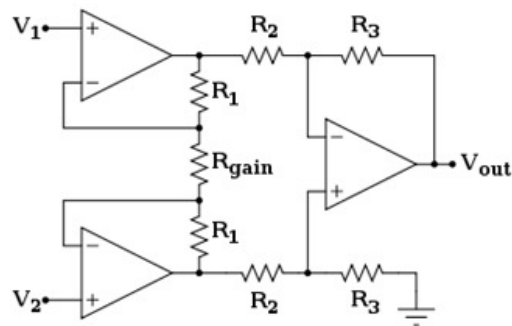


Figura 53. Amplificador de instrumentación

Donde el voltaje de salida viene dado por (38).

$$V_{out} = (V_2 - V_1) \cdot \text{Ganancia} \quad (38)$$

$$\text{Ganancia} = \left(1 + \frac{2 \cdot R_1}{R_G}\right) \cdot \left(\frac{R_3}{R_2}\right)$$

Se puede obtener la ganancia mediante el valor de voltaje deseado, en este caso es de 3.3 V.

$$V_{out} = (0,099V - 0,0725V) \cdot \text{Ganancia}$$

$$\text{Ganancia} = 124,53$$

Para determinar el valor de la resistencia de ganancia (RG), se asume los valores de R1, R2, R3.

$$R1 = R2 = R3 = 20 \text{ k}\Omega$$

$$\text{Ganancia} = \left(1 + \frac{2 \cdot 20 \text{ k}\Omega}{RG}\right) \cdot \left(\frac{20 \text{ k}\Omega}{20 \text{ k}\Omega}\right)$$

$$RG = 323,8 \approx 330 \Omega$$

Se reemplaza los valores de resistencia y además se utiliza el amplificador operacional TL084 para la implementación del circuito, como se observa en Figura 54.

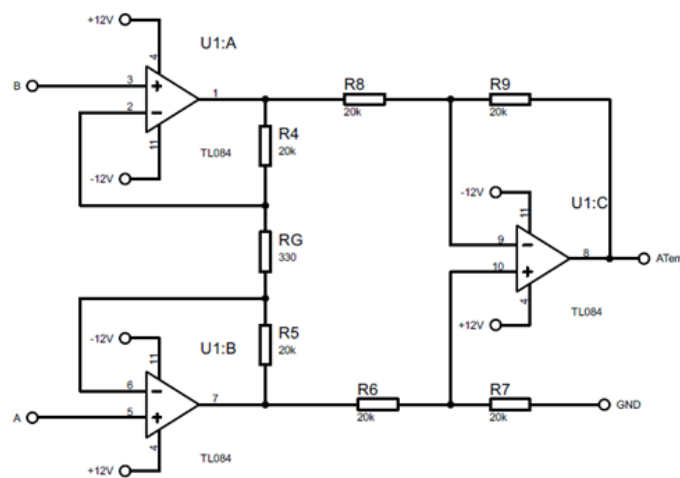


Figura 54. Amplificador de instrumentación, Simulación

Se presenta el PCB a realizar del circuito de acondicionamiento Figura 55.

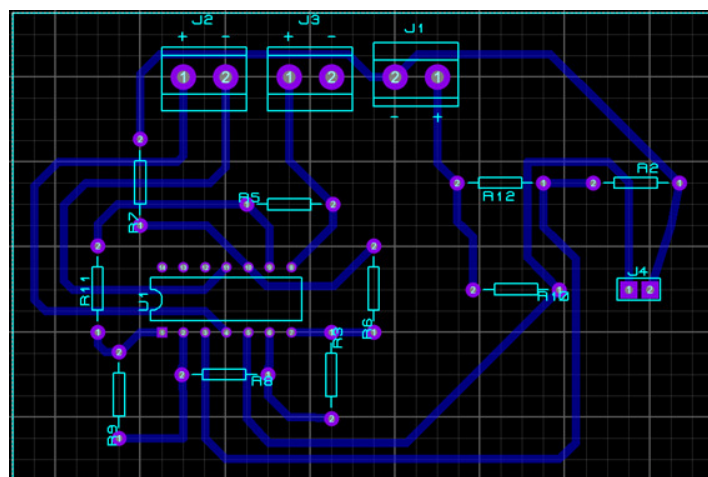


Figura 55. Amplificador de instrumentación PCB

b) Microcontrolador: Se escoge el microcontrolador ESP32 debido a su bajo costo,

tamaño y su gran versatilidad en diferente tipo de aplicaciones Figura 56.



Figura 56. DEVKIT ESP32

- Alimentación: 5 V
 - Pin IN/OUT: 3.3 V
 - Procesador Dual-Core 32-bit
 - Frecuencia de operación 240Mhz
- c) Pantalla OLED SSD1306: Pantalla que utiliza diodos orgánicos emisores de luz la cual produce una imagen brillante y nítida. Se la escoge debido a su tamaño, bajo costo y conexión sencilla, Figura 57. Donde se visualiza el estado del proceso, además de los valores de las variables medidas.



Figura 57. Pantalla OLED 128x64

- Voltaje de operación 3.3 V - 5 V
- Protocolos de comunicación I2C - SPI
- Diversos tamaños
- Grafica cualquier tipo de carácter

- d) Ventilador: Se utiliza para proporcionar flujo de aire dentro del recipiente del mezclado, con lo cual ayudará a la disminución de temperatura, y una mejor aireación en la mezcla. Para esto se busca un ventilador con volumen de aire superior a 0.1862 m^3 correspondientes al contenedor de la mezcladora, por lo que se selecciona el ventilador DC Nidec Beta de 33 Watts (W) de potencia con un flujo volumétrico de 450. Figura 58. Su velocidad es controlada por PWM.



Figura 58. Ventilador DC Nidec Beta

En la Figura 59 se muestra el circuito esquemático realizado en proteus.

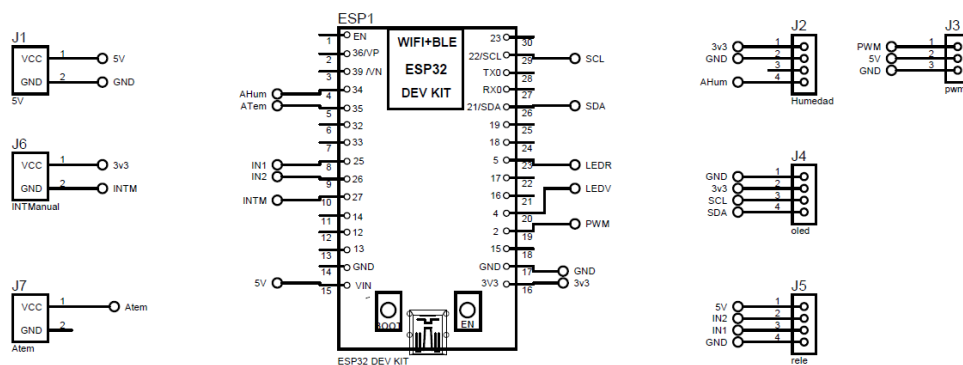


Figura 59. Circuito de Control

Se presenta el esquema PCB a realizarse Figura 60.

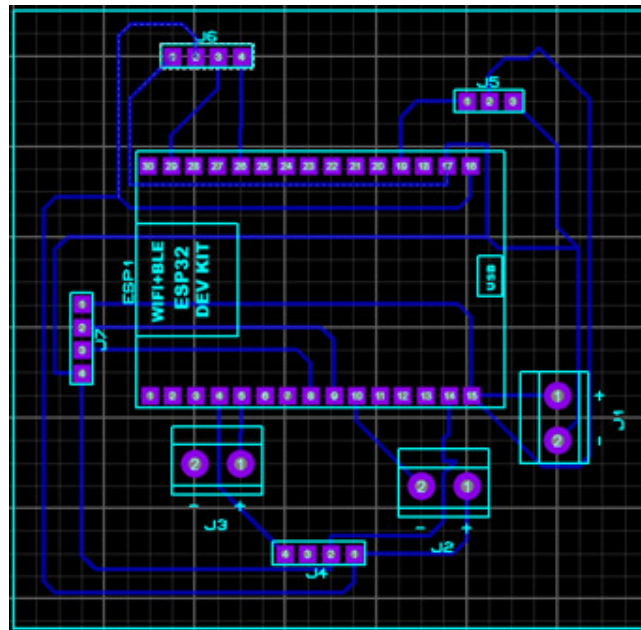


Figura 60. Circuito de Control PCB

2. Circuito de Potencia.

Para el control de los motorreductores monofásicos implementados, los cuales son: Motorreductor Trituradora (M1) y Motorreductor Mezcladora (M2). Se realiza una configuración de fuerza y mando para cada uno de los motorreductores.

a) Circuito de fuerza.

Como se observa en la Figura 61, la representación esquemática de un arranque directo para un motorreductor, cada componente se detalla en la Tabla 23.

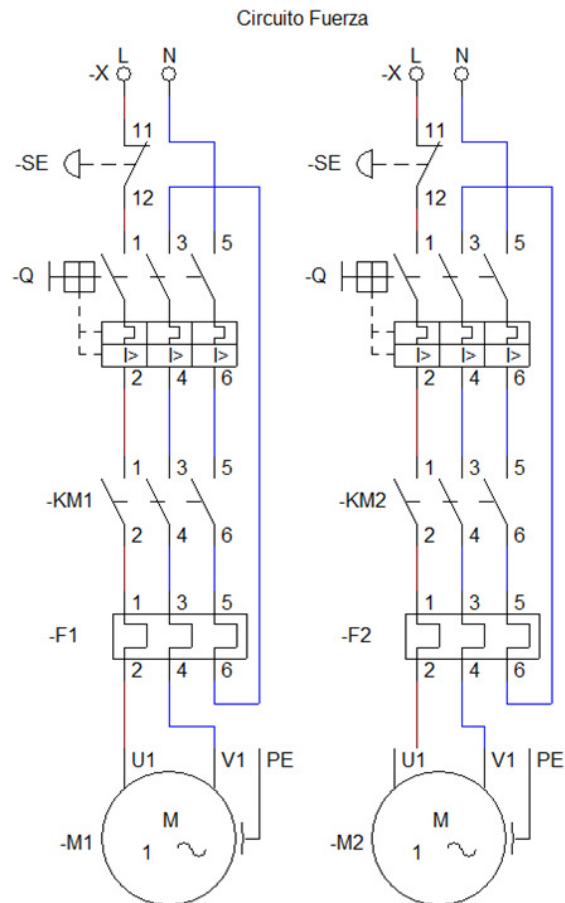




Figura 61. Circuito de Fuerza

Tabla 23. Componentes Circuito Fuerza

Nomenclatura	Componente	Función	Imagen
SE	Botón tipo hon-go	Paro directo, emergencia	
Q	Disyuntor	Interruptor, Protección corrientes altas	

KM	Contactador	Abrir y cerrar circuito	
F	Relé Térmico	Protección sobre cargas o calentamientos en el motor	
M1	Motorreductor	Triturar	
M2	Motorreductor	Mezclar	

Se realiza los cálculos respectivos de los componentes eléctricos según las características del motor monofásico, las cuales son:

- Voltaje Nominal (V): 110 V
- Intensidad Nominal (IN)= 8.4 A

1) Disyuntor:

Se determina la corriente mínima que deberá soportar el disyuntor mediante (39).

$$IT = IN \cdot 1,2 \quad (39)$$

$$IT = 8,4A \cdot 1,2$$

$$IT = 10,08A$$

En valores de mercado se selecciona un disyuntor de 16 A.

2) Contactor:

La corriente del contactor (S_c) debe ser mayor a la nominal, por lo tanto:

$$S_c > IN$$

En valores de mercado se selecciona un contactor de 18 A.

3) Relé térmico:

La corriente del relé (R_t) debe ser mayor a la nominal, por lo tanto:

$$R_t > IN$$

En valores de mercado se selecciona un relé térmico de 9 - 13 A.

4) Calibre de cable:

Se selecciona un calibre 14 AWG, el cual soporta un paso de corriente de 15 A a 60 °C.

b) Circuito de Mando.

Como se observa en la Figura 62, la representación esquemática del control de cada uno de los motorreductores. Para M1 se realiza un circuito de marcha y paro ya que se controla el motor mediante un interruptor ON/OFF, en cambio para M2 el control depende la señal enviada desde un microcontrolador mediante un relé (K1), cada componente se detalla en la Tabla 24.

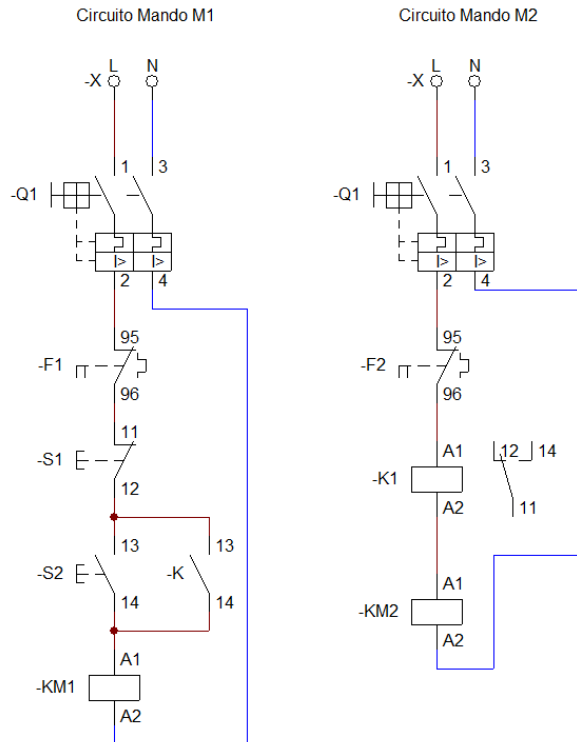



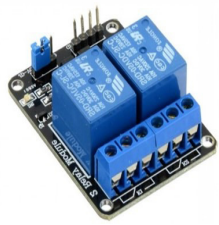


Figura 62. Circuito de Mando

Tabla 24. Componentes Circuito Mando

Nomenclatura	Componente	Función	Imagen
Q	Disyuntor	Interrup- tor, Pro- tección corrien- tes altas	
F	Contacto NC relé térmico	Abre el circui- to si se detec- ta alguna sobre- carga o calenta- miento	
S1, S2	Botón paro, Bo- tón marcha	Abrir y cerrar circuito	

K1	Relé	Abre o cierra el circuito dependiendo de la señal enviada	
KM	Bobina Contactor	Permite abrir o cerrar el contactor	

8.4. Desarrollo de la Programación

Se realiza el control del motorreductor de la mezcladora, su funcionamiento depende de las variables de humedad y temperatura, además estas mismas determinan la velocidad de giro del ventilador que airea la mezcla. Entre más humedad exista en la mezcla, el motor se mantendrá girando, mientras que el ventilador incrementara su velocidad dependiendo de la cantidad de humedad medida, con el propósito de evitar una mezcla anaeróbica.

La programación se la realiza en el IDE Arduino, ya que es un entorno compatible con el microcontrolador ESP32 seleccionado previamente. Se detalla la programación en el diagrama de flujo Figura 63, el diagrama completo se encuentra en Anexo F.

Como se observa se aprovecha los dos núcleos del microcontrolador para un mejor proceso. En el Core principal se realiza el control de los motores dependiendo de los valores adquiridos, y se las imprime en una pantalla, en cambio, en el Core 0 se realiza la adquisición y tratamiento de las señales enviadas por los sensores, esto permite que los sensores no lleguen a tener interrupciones y siempre estén midiendo.

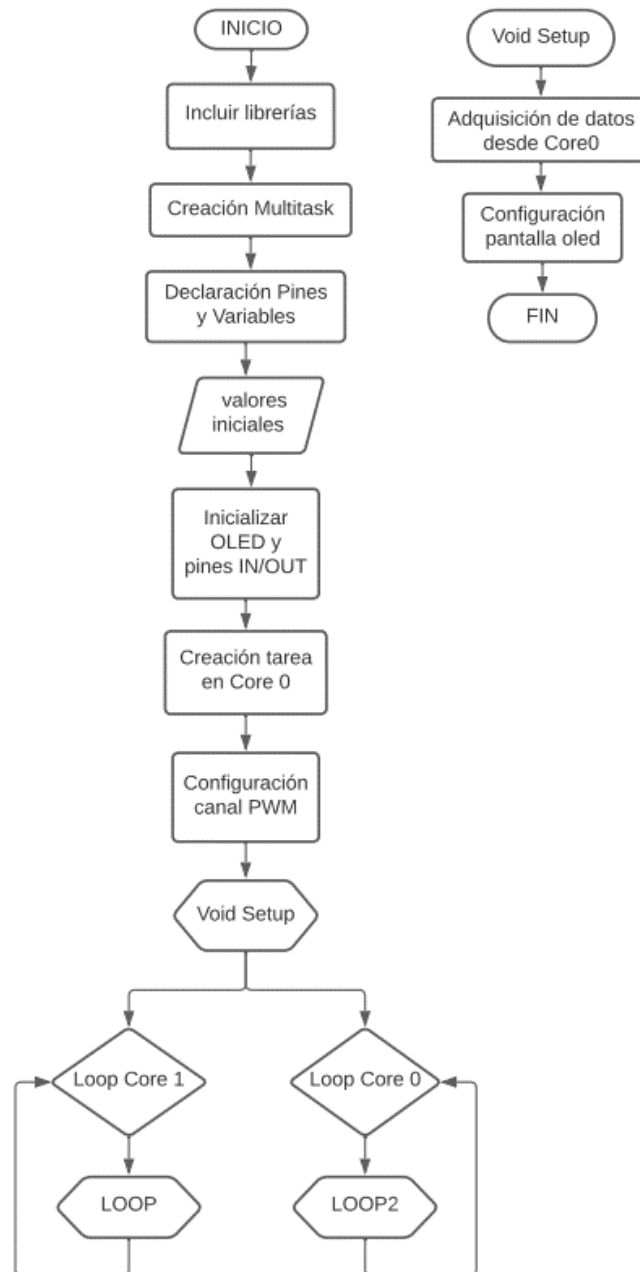


Figura 63. Diagrama de Flujo

9. Construcción

or temas presupuestarios, las etapas de recepción de residuos sólidos y trituración no se ha construido conforme al diseño, además de que algunos materiales han sido cambiados por disponibilidad en el mercado local y costos, los cuales serán detallados más adelante. La construcción de la estructura fue realizado en un taller mecánico local.

9.1. Mecánico

En la parte mecánica se realizaron los siguientes cambios en su construcción:

- Material mezcladora: En la Figura 64 se muestran las piezas de la mezcladora, para su construcción el material se cambia por un Acero ASTM A36 debido al costo y mejor soldabilidad por electrodos, sin embargo, para prevenir la corrosión se le realizará un proceso de galvanizado. El galvanizado consiste en la inmersión de piezas de acero en zinc fundido para protegerlas de la corrosión y potenciar su fortaleza mecánica a los golpes y a la abrasión. Se adjunta en el Anexo A el análisis con el material A36 para determinar su espesor.



Figura 64. Piezas Mezcladora

- Motor mezcladora: En el mercado el precio de motorreductores previstos para el diseño son muy elevados comparados al presupuesto del proyecto, por lo que se busca una alternativa económica y conservando las características previamente dimensionadas, reemplazando un motorreductor por un (1) motor monofásico marca WEG (110V - 60Hz) a una velocidad angular de 1720 RPM y una (1) caja reductora con relación

40:1 como se observa en la Figura 65, el cual nos da una salida de 43 RPM para la rotación del eje de mezclado. En el Anexo B se muestra las características técnicas del motor monofásico.

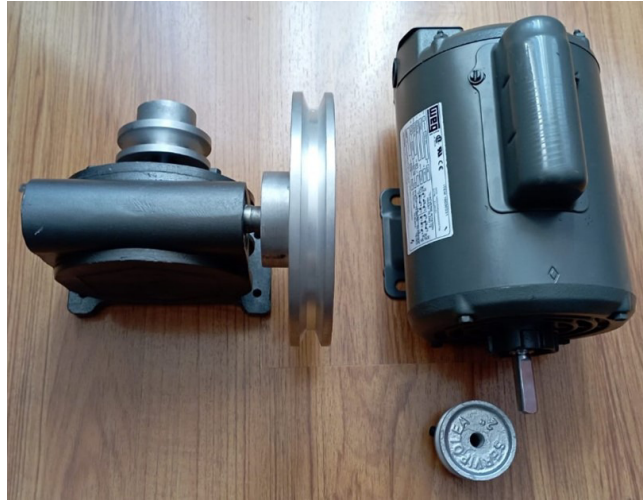


Figura 65. Motor monofásico y caja reductora

- Estructura de la máquina: Debido al cambio del motor se tiene que modificar el ancho de la estructura para poder montarlo, como se observa en la Figura 66. En Anexo C: plano “Estructura Construida” se indican las dimensiones que son 960 x 500 x 660 mm.

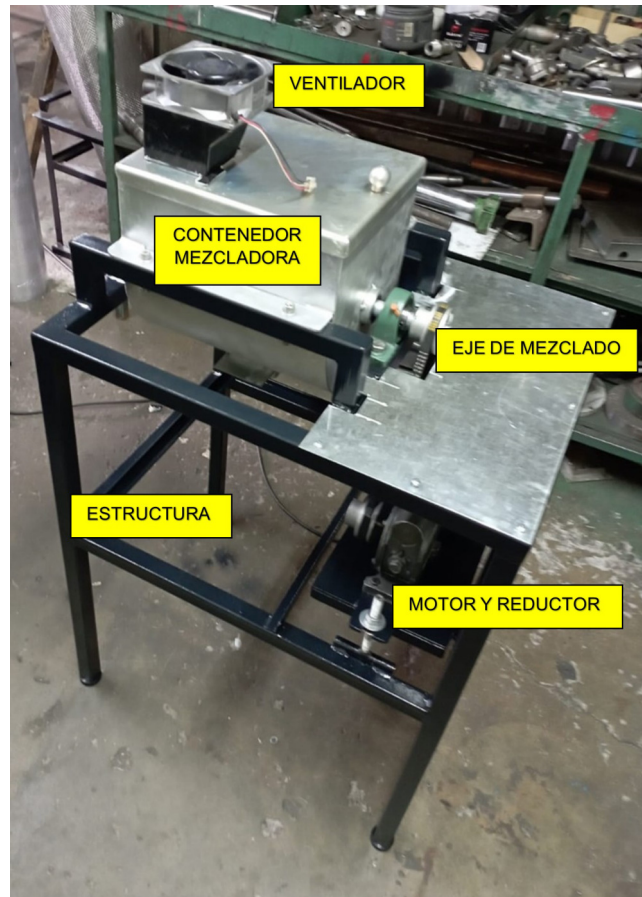


Figura 66. Modificación Estructura

9.2. Eléctrico y electrónico

No se considera la instalación de los componentes eléctricos y electrónicos de la trituradora, debido a que no se la construye, por los motivos de presupuesto señalados anteriormente, por lo cual no se añade la parte del circuito eléctrico de esta.

En la electrónica se mantiene el diseño previo, como primer paso se realiza las pruebas pertinentes en una protoboard como se observa en la Figura 67.

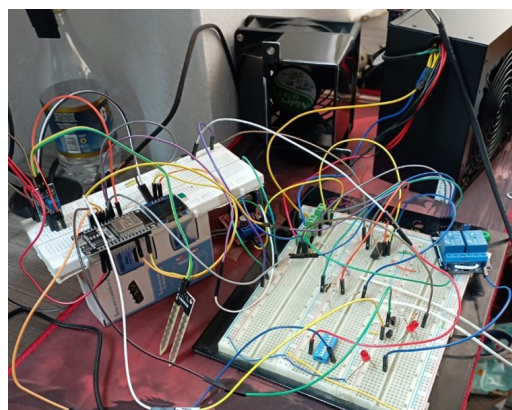


Figura 67. Pruebas Protoboard

Una vez obtenido el circuito, se los realiza en PCBs y se une las dos partes del circuito, la parte de fuerza y la parte de control, como se observa en la Figura 68.

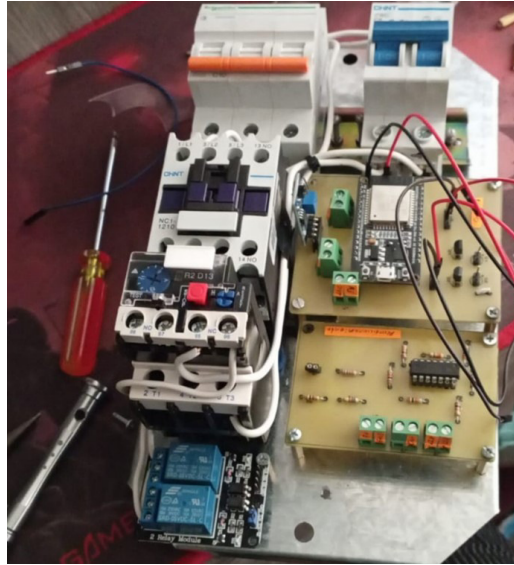


Figura 68. Circuito eléctrico y electrónico

Se procede a incorporar el circuito en un cajetín para su protección y se lo instala en la parte frontal de la máquina, como se observa en la Figura 69 y Figura 70.



Figura 69. Instalación cajetín



Figura 70. Circuito eléctrico y electrónico instalado

Instalado el cajetín, se procede a realizar el cableado respectivo como se observa en la Figura 71, se mantiene un orden y señalización.



Figura 71. Cableado del Prototipo

Finalmente, se observa en la Figura 72 y Figura 73, la máquina construida en su totalidad, posteriormente se realiza las pruebas pertinentes.



Figura 72. Máquina Compostadora Vista Superior



Figura 73. Máquina Compostadora Vista Frontal

En la Tabla 25 se detalla los costos de la construcción del prototipo.

Tabla 25. Costos de construcción

Razón	Valor [\$]
Recipiente Mezcladora	60
Estructura	50
Mano de obra y Piezas extras	150
Motor - Reductor	220
Material eléctrico	100
Material electrónico	100
PCBs	20
Total	700

10. Pruebas de funcionamiento

Una vez construido el prototipo se comprueba su respectivo funcionamiento, donde realizará el proceso de compostaje de forma semiautomática, esperando obtener resultados aceptables.

10.1. Prueba 1: Funcionalidad

Como primera prueba se comprobará la funcionalidad correcta de los siguientes componentes: Giro del eje de mezclado, lectura correcta de sensores, y giro del ventilador.

Al conectar el prototipo a la red eléctrica se enciende la pantalla OLED donde se indican los valores de los sensores, para comprobar el giro del eje se lo enciende manualmente mediante un interruptor, el ventilador se enciende automáticamente. En la Figura 74 se observa las siguientes acciones.

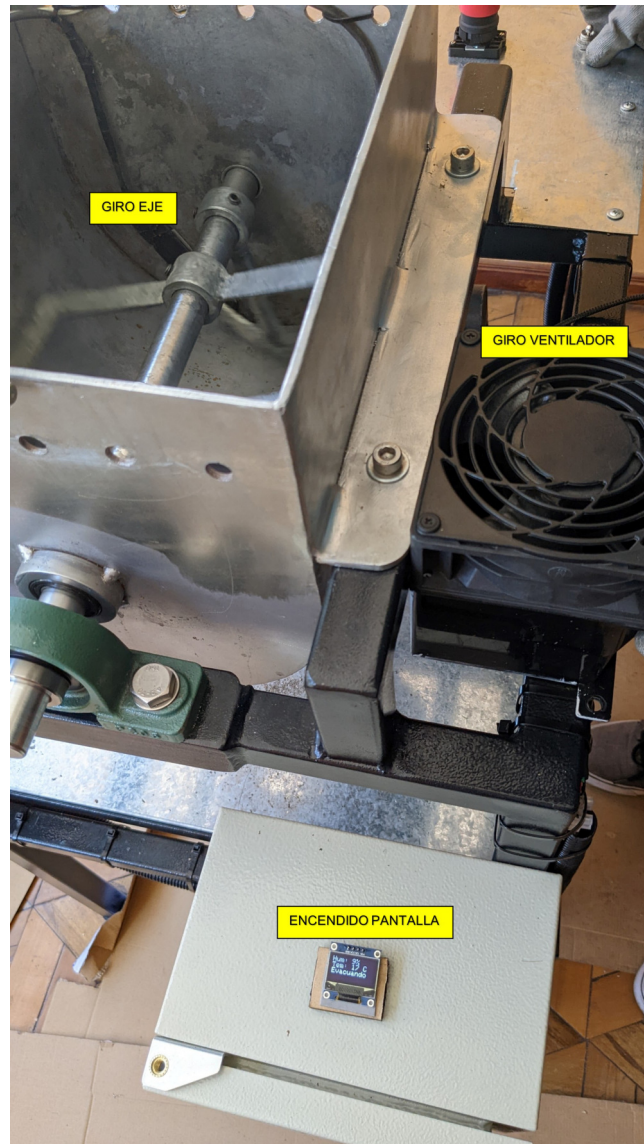


Figura 74. Pruebas Funcionalidad

10.2. Prueba 2: Proceso Compostaje

Esta prueba representa la realización de compost de forma tradicional, la cual pretende un proceso sin acelerantes solamente con el volteo y aireación de la mezcla con la ayuda de la máquina. Al no construirse la tolva para la recepción de los residuos ni el proceso de triturado, se colocará los residuos directamente en la cámara de la mezcladora, los cuales deben ser picados previamente de manera manual.

- Se deposita los desechos orgánicos de un día, equivalente a 2.5 kg Figura 75, los cuales fueron reducidos de tamaño como proceso previo. A esto se le agrega 200 g de aserrín Figura 76, para la estabilización de la mezcla.



Figura 75. Materia orgánica



Figura 76. Materia Café

- Al ser de manera tradicional, esto requiere un volteo de mezcla para mantener el rango de humedad por debajo del 80 % evitando condiciones anaeróbicas. En la Figura 77 se observa este proceso.



Figura 77. Mezcla Materia

Este proceso tarda de 1 a 2 meses dependiendo de la materia a descomponer. En la Figura 78, se observa el resultado luego de 15 días de repetir el proceso, donde se observa una materia con un tono café oscuro y pedazos de materia aun sin descomponer, además de que la pila mantiene una humedad superior al 50%. Este tipo de compost se lo conoce como semi maduro, por lo que faltaría más tiempo de proceso para obtener un compost totalmente madurado.



Figura 78. Resultado: Compost Semi Maduro

10.3. Prueba Extra: Aceleración del proceso de compostaje

En la actualidad existen prototipos de máquinas de compostaje donde se utiliza un método de aceleración del proceso de compostaje, reduciendo la descomposición de la materia en cuestión de horas, para ello es necesario calentar la mezcla a 60 °C aproximadamente

por una cierta cantidad de tiempo, este tiempo dependería de la cantidad y materia a mezclar.

Por lo que, se propone implementar un calentamiento externo al prototipo construido, para la realización de pruebas y obtención de nuevos resultados, los cuales podrán ser tomados en cuenta como aporte extra para una futura mejora en la máquina diseñada.

Para realizar esta prueba se corrigen detalles de la anterior prueba para acelerar el proceso, uno de ellos es reducir uniformemente el tamaño de las partículas de la materia orgánica, y se añade para el calentamiento externo una resistencia de 700W disponible en el mercado a un costo de \$68, la cual permite llegar a la temperatura deseada, esta es colocada en la parte superior del contenedor Figura 79, donde se calienta la mezcla mediante irradiación y convección con la ayuda del ventilador.



Figura 79. Resistencia eléctrica

- Se depositan 2.5 kg de materia orgánica y 200 g de aserrín, misma cantidad usada en la anterior prueba.
- Con el calentamiento integrado, la programación del prototipo sigue un proceso dividido en 3 fases; Fase de calentamiento, donde la mezcla alcanza los 70 °C los actuadores inician apagados, al alcanzar esta temperatura se inicia la siguiente fase; Fase de mezclado, aquí se enciende el motor monofásico para el inicio del mezclado

donde se mantiene la mezcla en una temperatura de 55 °C a 65 °C Figura 80 con la ayuda del ventilador, el cual varía su velocidad dependiendo de la temperatura que se detecte, esta fase dura alrededor de 3 horas, al llegar este tiempo se desconecta el calentamiento y se procede a la siguiente fase; Fase de maduración, se descende la temperatura a los 30 °C para estabilizar la mezcla Figura 81, una vez descendido este rango de temperatura los actuadores se apagan dejando reposar la mezcla.



Figura 80. Fase Mezclado



Figura 81. Fase Madurado

- El proceso dura entre 3 a 4 horas de forma continua, en la Figura 82 se tiene el resultado final. El cual es muy diferente al resultado de la anterior prueba, el compost es muy parecido a la tierra natural con un color café claro sin indicios de humedad. Se obtiene al rededor de 900 g de compost Figura 83.



Figura 82. Resultado Final



Figura 83. Peso Compost

- Por último se comprueba sus valores de temperatura ($18\text{ }^{\circ}\text{C}$), humedad (35%) Figura 84 y pH (Promedio de 6.8) Figura 85. Esto determina si el resultado obtenido está en buen estado para su uso.



Figura 84. Medición temperatura y humedad



Figura 85. Medición pH

10.4. Consumo de energía

Tabla 26. Consumo de energía en kW/h

Componente	Potencia (W)	Horas al día	Consumo [kW/h]
Motor	372,85	3	1,12
Resistencia eléctrica	700	3	2,1
Ventilador	45	4	0,18
Circuito Control	2,5	4	0,01
Total			3,4

10.5. Costo de operación

Se considera que la máquina trabaja los 30 días del mes, se tiene un consumo mensual de 102 kWh/mes. La tarifa nacional promedio del servicio eléctrico es de 9,2 centavos de dólar por cada Kilovatio-hora (USD/kWh) [40]. Por lo tanto se tiene un costo mensual de operación de \$9.99.

11. Conclusiones

La máquina diseñada con medidas 1105 mm X 383 mm X 685 mm, dispone de 2 procesos para la realización de compostaje: Triturado y Mezclado, además de depósitos para las materias a procesar y un depósito para el producto final. Capaz de procesar 2,5 Kilogramos (kg) de desecho orgánico y 200 gramos (g) de materia café (aserrín), el proceso es de forma semiautomática, ya que depende del usuario para el control de este. La máquina está diseñada para temperaturas máximas de 100 °C.

Se construye un prototipo referente a la máquina diseñada para la realización de pruebas, se utiliza el método de prueba y error para la obtención de resultados deseables. Por temas económicos no se logra la construcción del proceso de trituración, por lo que la reducción del tamaño de la materia se lo realiza de manera manual.

Se ejecuta una prueba en el prototipo siguiendo el proceso de compostaje respectivo, en el cual luego de 15 días se obtuvo un compost semi maduro, un compost totalmente madurado puede llevar alrededor de 30 a 60 días. Por temas de tiempo no se logra culminar con las pruebas realizadas, sin embargo, se aplica una prueba extra donde se añade un elemento externo a lo diseñado para tratar de acelerar el proceso.

Se ejecutan 2 pruebas extras, donde se añade una resistencia de 700 Watts (W), la cual permite calentar el contenedor de la mezcladora, donde la mezcla llega hasta los 60 °C, este proceso se lo actúa por 4 horas, como resultado se obtiene una materia de color café, sin rastros de desechos orgánicos y un pH neutro. En la primera prueba se ingresa 2,5 kg de desechos y 200 gramos de aserrín, obteniendo 900 g de compost; en la segunda prueba se ingresa 1,7 kg de desechos y 100 g de aserrín, obteniendo 400 g de compost. Reduciendo la materia entre un 60 y 80 % de la inicial.

Se propone la alternativa de añadir el calentamiento para acelerar el proceso, sin embargo,

de manera natural, tal como se la diseñó, el prototipo funciona correctamente. Por lo que se puede considerar para trabajos futuros este método probado.

El costo total del prototipo construido rodea los \$760. Los elevados costos de materiales de construcción y componentes en el Ecuador, provocan que se busque alternativas menos costosas para la realización del proyecto, además se toma en cuenta que el costo será mayor si se construye una sola unidad.

El consumo de energía eléctrica de la máquina es de 100 KWh por mes, llegando a tener un valor de operación de \$9.8. Siendo una alternativa viable para el reciclaje de desechos orgánicos.

12. Recomendaciones

Es recomendable previo a usar la máquina, utilizar la indumentaria adecuada y además de la instrucción previa para su uso adecuado, evitando accidentes en el operador y daños en la máquina.

Al probar el proceso con calentamiento, se obtienen mejores resultados, por lo que para trabajos futuros se propone la idea de aumentar este método al diseño previo.

Al ser una alternativa renovable para el reusó de desechos, se lo puede llevar a la industria, donde se necesitaría un rediseño dependiendo de la capacidad requerida, pero manteniendo el concepto sugerido. Además, se puede mejorar la parte de electrónica y control realizando un sistema donde no sea necesario un operador, una máquina totalmente autónoma. Solo se necesitaría al operador para la introducción de la materia y el retiro del resultado final.

Se puede profundizar en el tema de compostaje y degradación de materia orgánica, para buscar opciones de componentes que ayuden a obtener un compost de alta calidad en cuestión de horas, llevando este tipo de máquinas al mercado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ENTRE 2200 Y 2400 TONELADAS DE RESIDUOS SE RECOLECTAN DIARIAMENTE EN QUITO. [En línea]. Disponible: <http://www.emaseo.gob.ec> [Fecha de consulta: Junio 2020]
- [2] Cifras. [En línea]. Disponible: <http://www.emaseo.gob.ec/servicios-de-gente-para-gente/cifras/> [Fecha de consulta: Junio 2020]
- [3] EMASEO EP, “PLAN DE SERVICIOS DE ASEO ADMINISTRACION ZONAL CALDERON,” EMASEO, Quito, Tech. Rep., 2010. [En línea]. Disponible: http://www.emaseo.gob.ec/documentos/planes_aseo/plandeaseocalderon.pdf
- [4] M. R. Hernandez, *Manual para el manejo de residuos sólidos. GEM, TIES Cuencas Sanas y Modos de Vida Sustentable Series de Manuales de Capacitación*, University of Windsor, Canadá, 2008.
- [5] RELLENO SANITARIO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO. [En línea]. Disponible: <https://www.emgirs.gob.ec/index.php/zentools/zentools-slideshow> [Fecha de consulta: Junio 2020]
- [6] P. Román, M. M. Martínez, y A. Pantoja, *MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR*, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Santiago de Chile, 2013.
- [7] E. Röben, *Manual de Compostaje Para Municipios*, DED/ Ilustre Municipalidad de Loja, Loja, 2002.
- [8] M. E. Q. SACANCELA, “ELABORACIÓN DE COMPOST A PARTIR DEL ESTIÉRCOL DE CUY (*Calvia Porcellus*) Y SU APLICACIÓN EN LA COMUNA LUMBISÍ (SECTOR CUMBAYÁ),” TRABAJO DE TITULACIÓN, UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, 2017.
- [9] B. Plazarte, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA EL PROCESAMIENTO DE DESECHOS DOMÉSTICOS ORGÁNICOS EN LA

- ELABORACIÓN DE ABONO,” Proyecto de Titulación, Universidad Técnica Equinoccial, 2019.
- [10] K. Guerrero, “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA COMPOSTERA DOMÉSTICA PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DELA CIUDAD DE QUITO,” Proyecto de Titulación, Escuela Politécnica del Ejército, 2013.
- [11] R. Acosta, “DISEÑO DE UNA MÁQUINA DOMÉSTICA AUTOMÁTICA PARA GENERAR COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS,” Proyecto de Titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2016.
- [12] A. Comando, “OPTIMIZACIÓN DEL COMPOSTAJE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN PROCESO DE SERIE ANAEROBIO - AERIBIO,” Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2006.
- [13] Máquina de Compostaje. [En línea]. Disponible: <https://www.kompostcihazi.com/maquina-de-compostaje/> [Fecha de consulta: Junio 2020]
- [14] Equipos para el tratamiento de volúmenes considerables de residuos orgánicos. [En línea]. Disponible: <http://www.kollvik.com/productos/>
- [15] Whirlpool Corporation Debuts New Zera™ Food Recycler on Indiegogo. [En línea]. Disponible: <https://www.whirlpoolcorp.com/whirlpool-corporation-debuts-new-zera-food-recycler-on-indiegogo/> [Fecha de consulta: Junio 2020]
- [16] Zera Food Recycler. [En línea]. Disponible: https://wlabinnovations.com/pages/zera-how-it-works?sscid=61k4_c8h1t& [Fecha de consulta: Junio 2020]
- [17] Instituto Nacional de Industrial Tecnología, *Instructivo para la producción de Compost Domiciliario*, INTI, Córdoba.
- [18] R. Misra, R. Roy, y H. Hiraoka, “On-farm composting methods,” 2003.
- [19] L. Chen, M. D. H. Marti, A. Moore, y C. Falen, “The Composting Process.”
- [20] J. Moreno y R. Moral, *Compostaje*, mundi-pren ed., Madrid, 2008.

- [21] M. D. Peralta, "NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-020-AMBT-2011, QUE ESTABLECE LOS REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOSTA A PARTIR DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, AGRÍCOLAS, PECUARIOS Y FORESTALES, ASÍ COMO LAS ESPECIFI," Mexico, 2012.
- [22] A. Sadzawka, "REQUISITOS ANALÍTICOS DEL COMPOST Y DE LAS MATERIAS PRIMAS PARA COMPOSTAJE, SEGÚN LA NORMA CHILENA NCh 2880," Santiago de Chile, 2004.
- [23] National Organic Program, "Guidance Compost and Vermicompost in Organic Crop Production NOP 5021," Washington, DC, 2011.
- [24] M. Matamoros, "Norma Técnica Estatal Ambiental NTE-006-SMA-RS-2006," Toluca de Lerdo, 2006.
- [25] Instituto Ecuatoriano de Normalización, "Método de ensayo para determinar la biodegradación aeróbica de materiales bajo condiciones controladas de compostaje NTE INEN 2640," Quito, 2012.
- [26] J. C. Rodriguez, "Mezclado y mezcladoras," *Nutrimentos Concentra S.a. De C.V.*, 2016.
- [27] R. L. Mott, *Dieño de elementos de máquinas*, cuarta ed ed., PEARSON EDUCACIÓN, Ed., México.
- [28] R. Budynas y K. Nisbett, *Dieño de elementos de máquinas*, octava ed ed., MC Graw Hill, Ed., México.
- [29] Importaceros, "Catalogo De Productos Importaceros," Tech. Rep., 2021. [En línea]. Disponible: <https://www.importaceros.com/wp-content/uploads/2021/01/Catalogo-importaceros-2021-web.pdf>
- [30] Relación Carbono-Nitrógeno en el compost - Agromática. [En línea]. Disponible: <https://www.agromatica.es/relacion-cn-en-el-compost/> [Fecha de consulta: Agosto 2021]

- [31] RELACIÓN CARBONO NITROGENO (C/N) EN LOS ABONOS ORGÁNICOS. [En línea]. Disponible: <https://urbanisme.paeria.es/sostenibilitat/fitxers/a21e/RelacioicalculCN.pdf> [Fecha de consulta: Agosto 2021]
- [32] C. Manangón Cualchi, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA CORTADORA DE MANZANAS, PLÁTANOS, PIÑA Y PAPAYA CON DIMENSIONES DE 40 cm. x 40 cm. x 150 cm. PARA LA EMPRESA EL SALINERITO.” *Tesis*, p. 46, 2019.
- [33] Grupo SKF, “Rodamientos rígidos de bolas,” Tech. Rep., 2019.
- [34] JET-ARCO, “ELECTRODO REVESTIDO ACERO INOXIDABLE E308L-16,” España, 2022.
- [35] SKF, “P2B 014-TF Unidades de rodamientos de bolas con soporte de pie,” Tech. Rep., 2022.
- [36] F. Gordillo y E. Chávez, “Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros,” *Centro de Investigación Científica y Tecnológica*, pp. 1–10, 2010. [En línea]. Disponible: [https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/9112/1/Evaluación Comparativa de la calidad del compost.pdf](https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/9112/1/Evaluación%20Comparativa%20de%20la%20calidad%20del%20compost.pdf)
- [37] NAYLAMP MECHATRONICS, “SENSOR DE HUMEDAD DE SUELO CAPACITIVO,” 2022. [En línea]. Disponible: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/538-sensor-de-humedad-del-suelo-capacitivo.html>
- [38] F. L. Shore, “PT-100 Platinum RTDs,” vol. 642, pp. 100–102, 1988.
- [39] A. control e instrumentación, “Pt100 Operación, instalacion y tablas,” *ARIAN Control Instrumentación*, vol. 4, pp. 1–6, 2011. [En línea]. Disponible: <http://www.arian.cl>
- [40] EEQ Empresa Eléctrica Quito, “Tarifa nacional promedio del servicio eléctrico,” 2022. [En línea]. Disponible: <http://www.eeq.com.ec>

Anexo A: Análisis Espesor Material

Se escoge un espesor de 3mm para facilitar la soldadura, se realiza un análisis estático para validar este espesor, se tiene un factor de seguridad de 2,66 como se observa en la Figura 1.

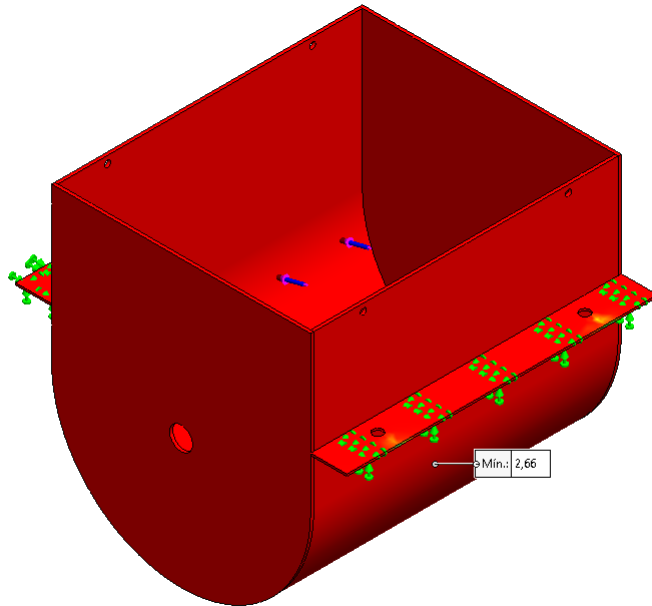


Figura 1. Análisis Estático ASTM A36

Anexo B: Características Técnicas Motor

Se adquiere un motor monofásico de 1/2 HP de potencia de la marca WEG con una velocidad de 1720 RPM, en la Figura 2 se observa las características técnicas.

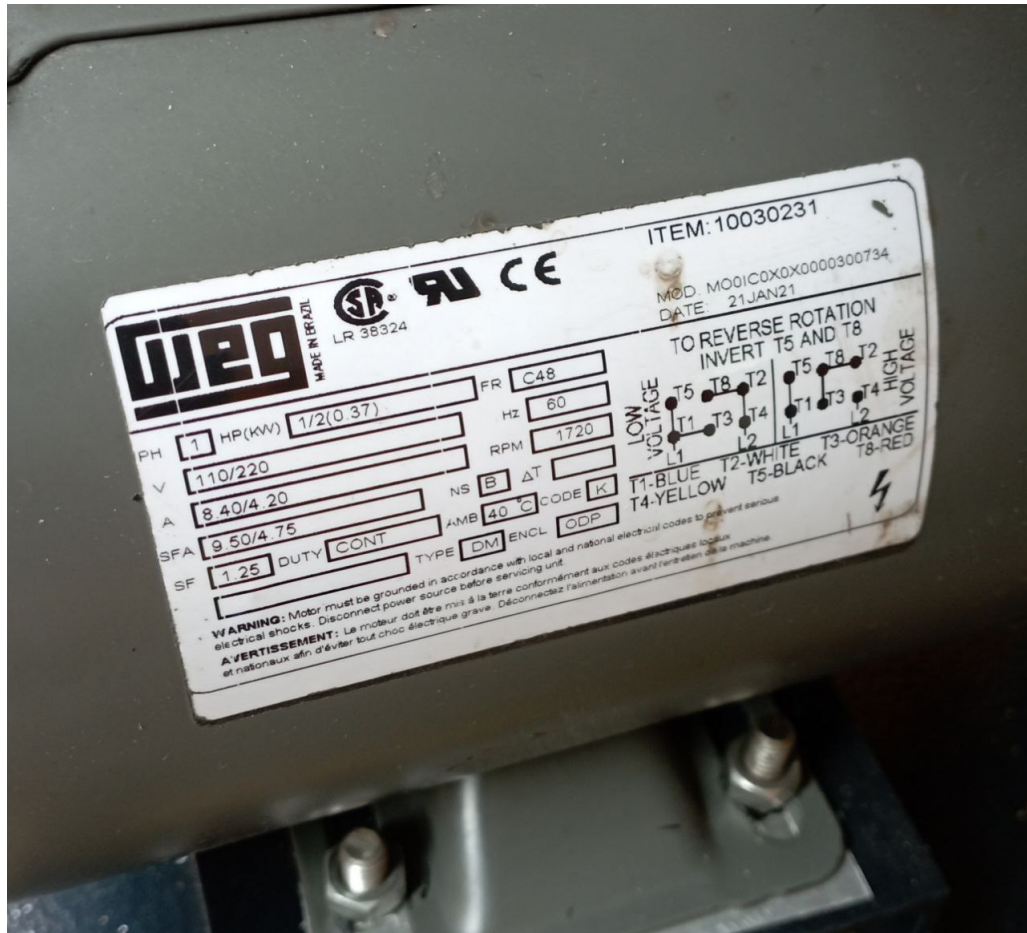
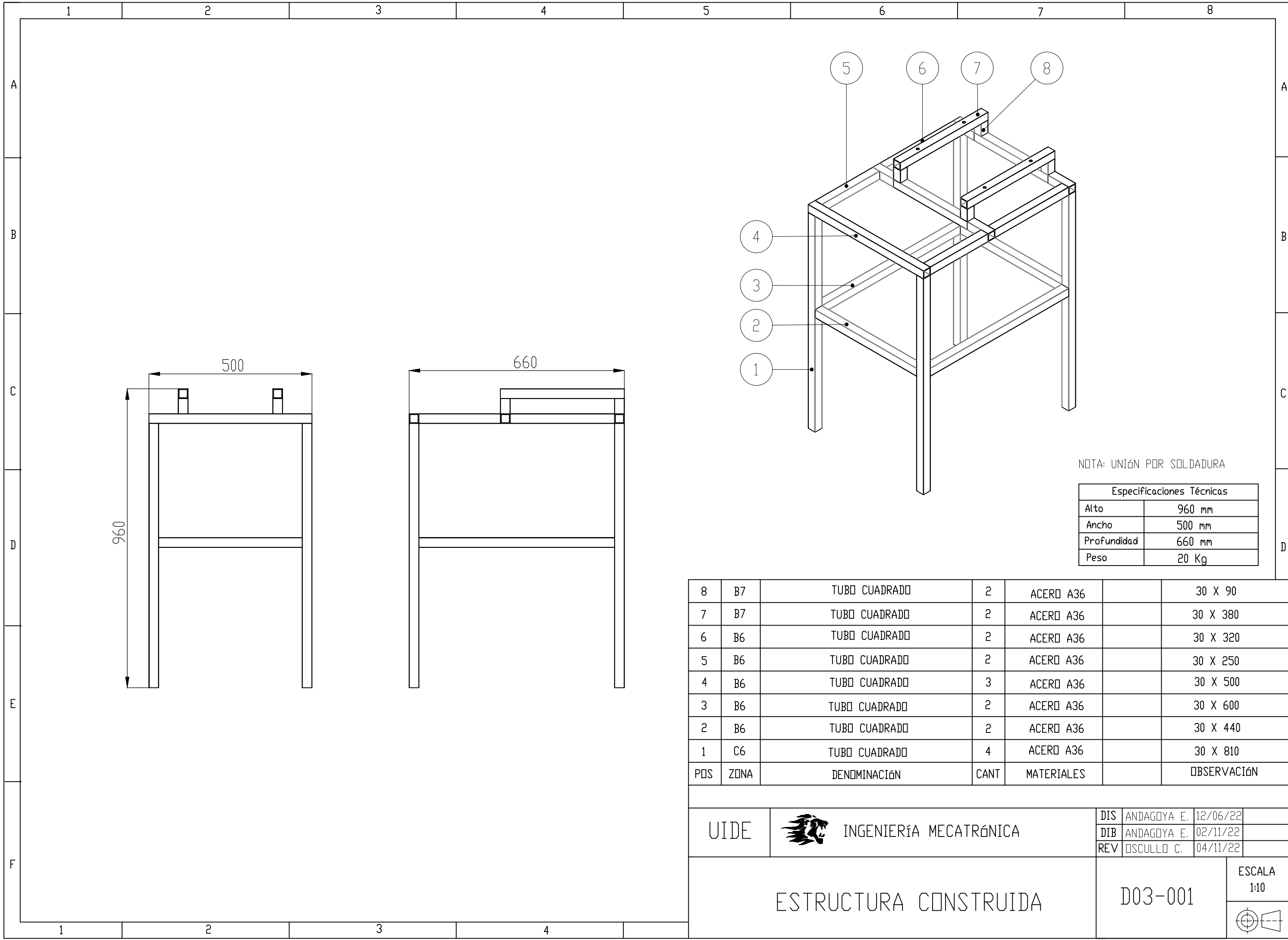


Figura 2. Características Técnicas


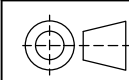
Anexo C: Plano Estructura Construida



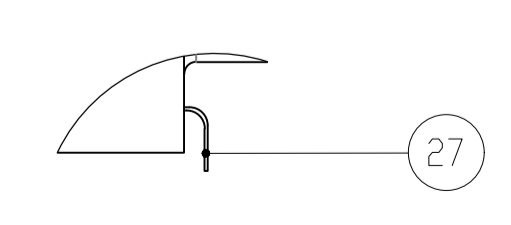
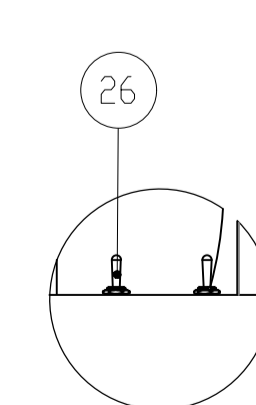
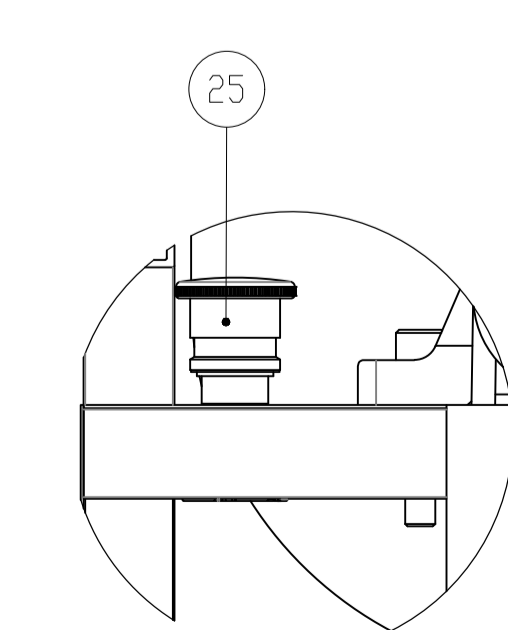
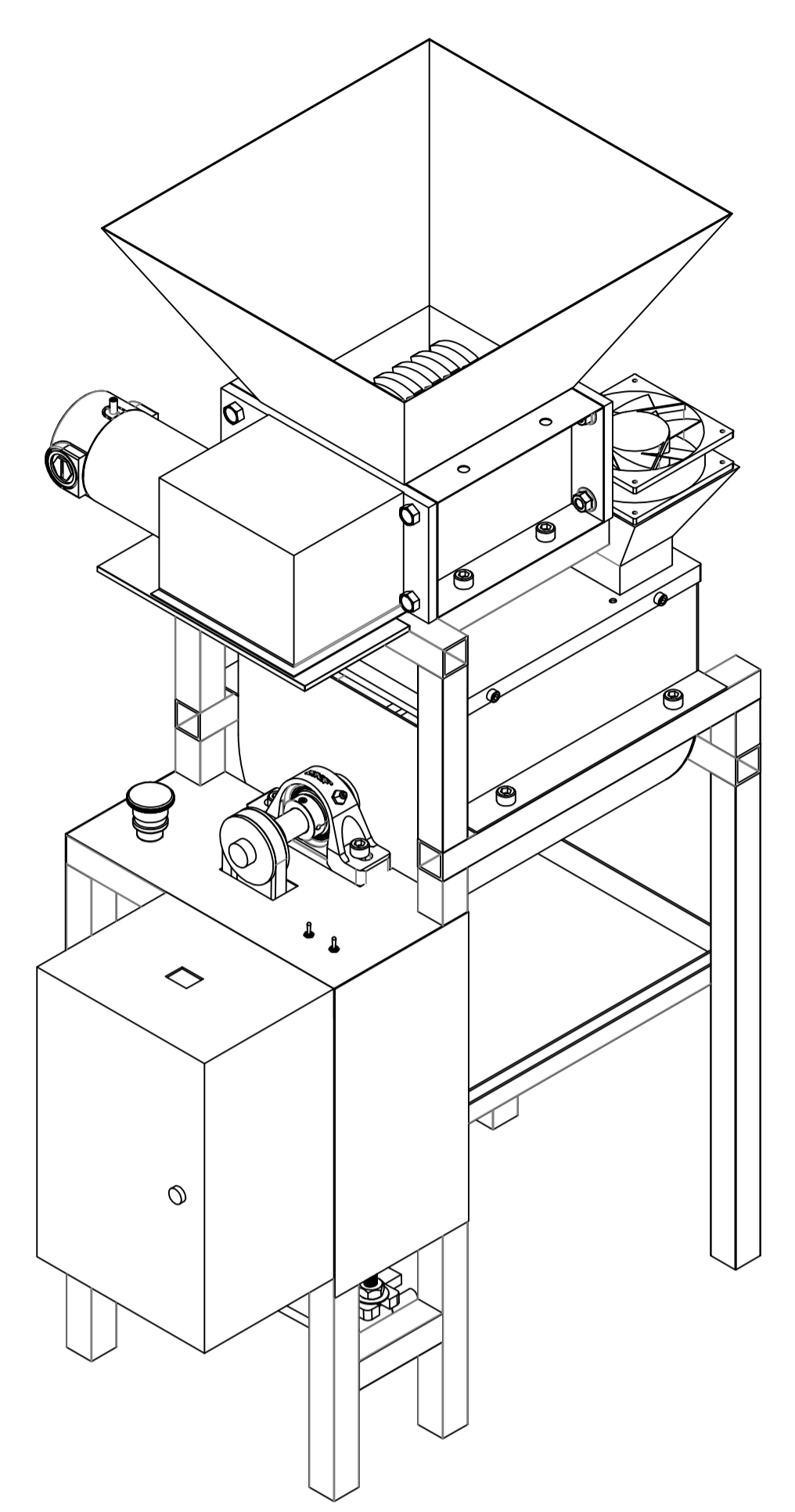
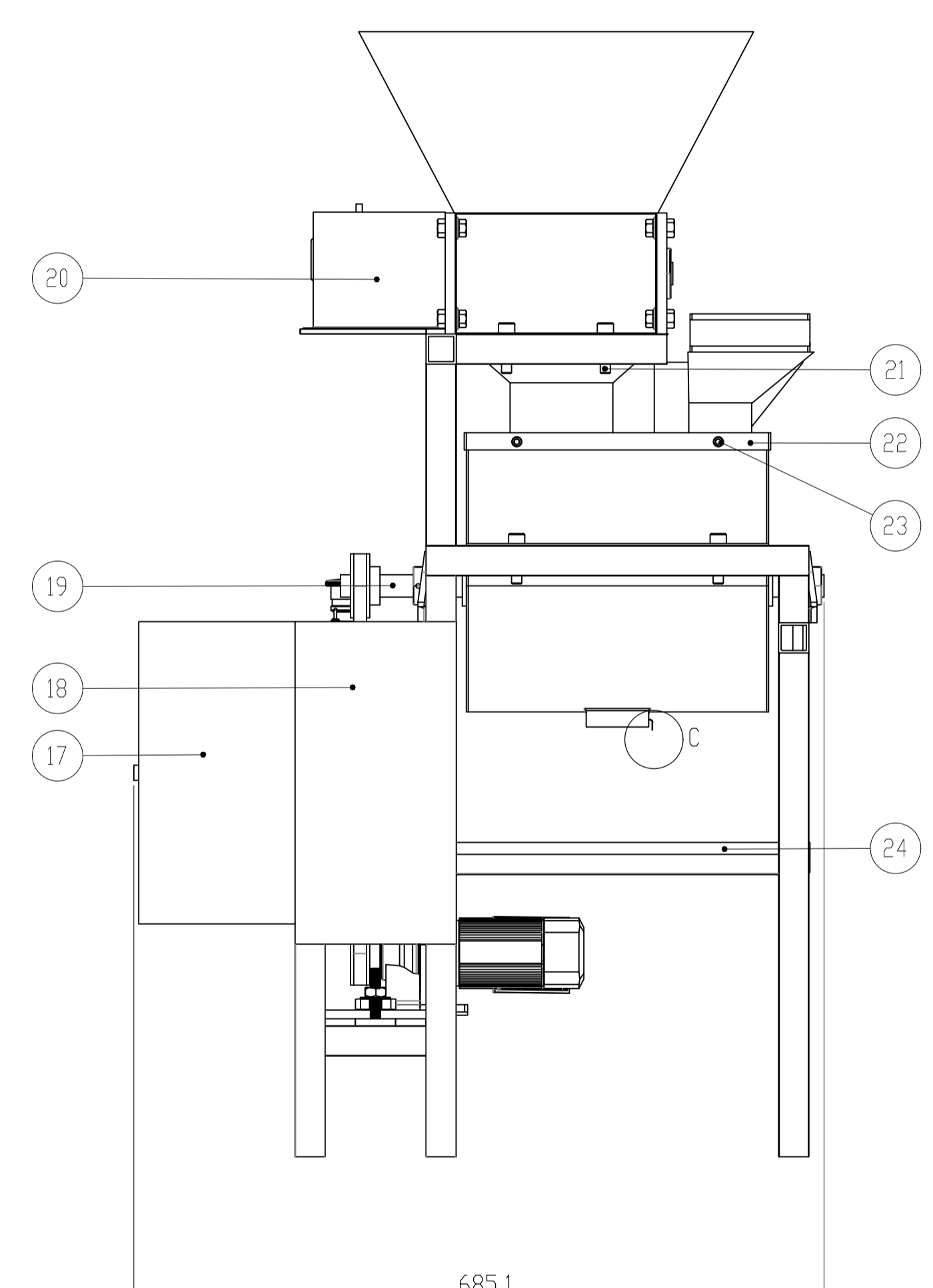
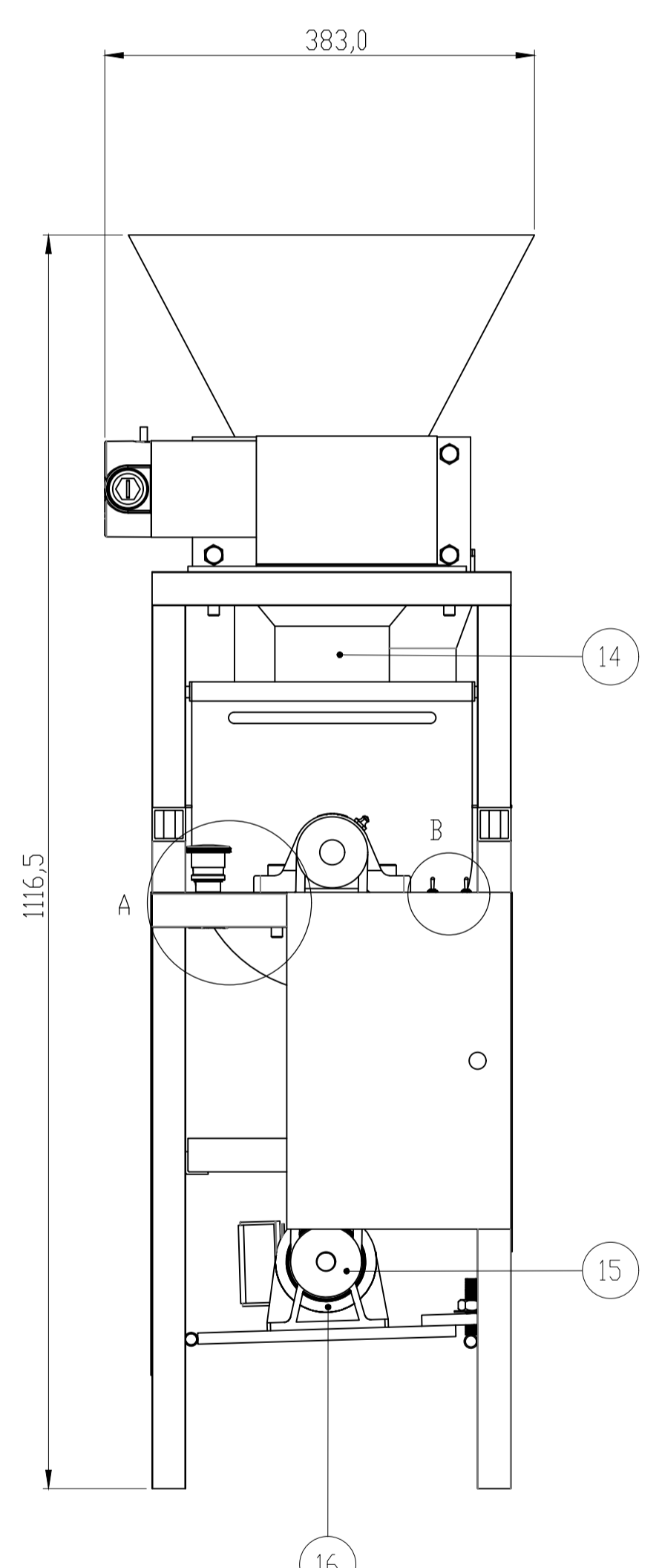
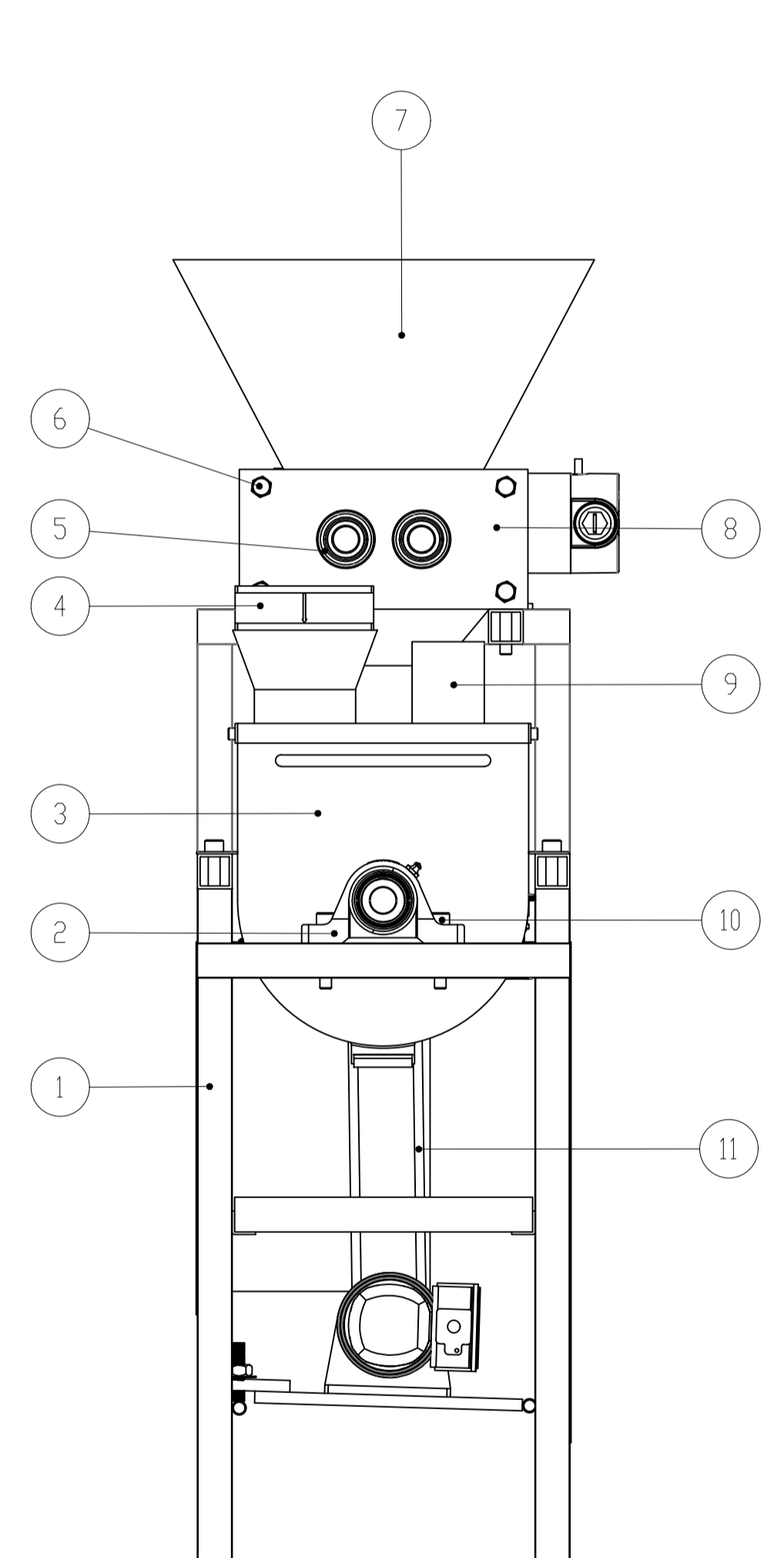
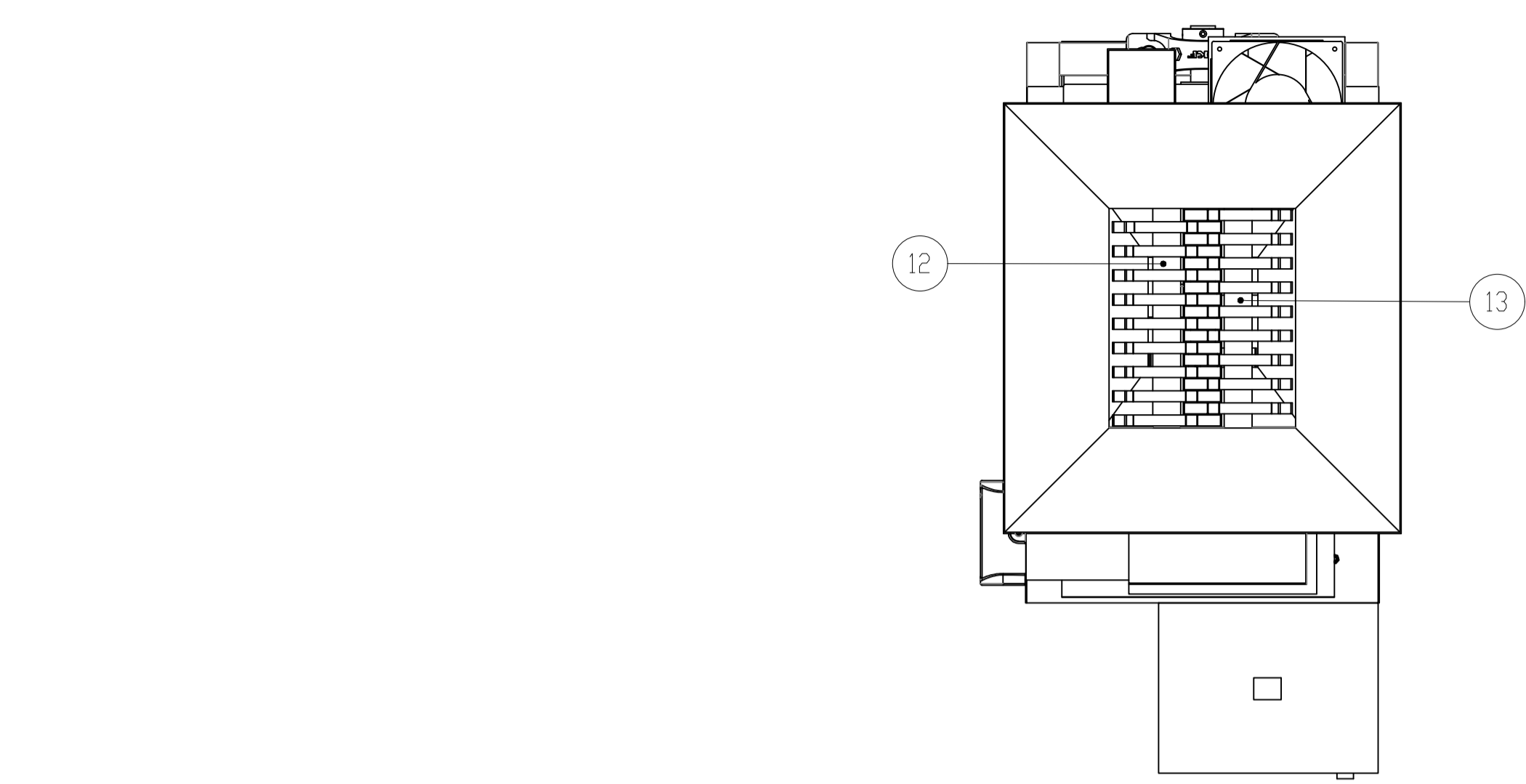
NOTA: UNIÓN POR SOLDADURA

Especificaciones Técnicas	
Alto	960 mm
Ancho	500 mm
Profundidad	660 mm
Peso	20 Kg

POS	ZONA	DENOMINACIÓN	CANT	MATERIALES	OBSERVACIÓN
8	B7	TUBO CUADRADO	2	ACERO A36	30 X 90
7	B7	TUBO CUADRADO	2	ACERO A36	30 X 380
6	B6	TUBO CUADRADO	2	ACERO A36	30 X 320
5	B6	TUBO CUADRADO	2	ACERO A36	30 X 250
4	B6	TUBO CUADRADO	3	ACERO A36	30 X 500
3	B6	TUBO CUADRADO	2	ACERO A36	30 X 600
2	B6	TUBO CUADRADO	2	ACERO A36	30 X 440
1	C6	TUBO CUADRADO	4	ACERO A36	30 X 810

UIDE	 INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIS	ANDAGOYA E.	12/06/22
		DIB	ANDAGOYA E.	02/11/22
		REV	OSCULO C.	04/11/22
ESTRUCTURA CONSTRUIDA		D03-001		ESCALA 1:10
				

Anexo D: Planos Mécánicos



DETALLE B
ESCALA 2 : 5

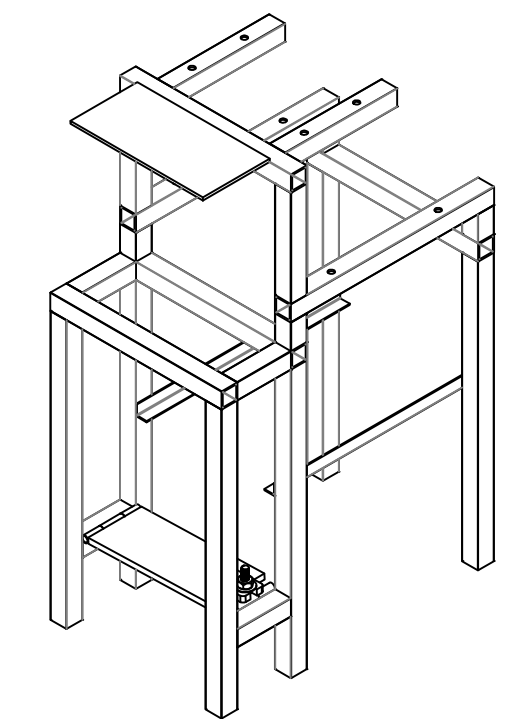
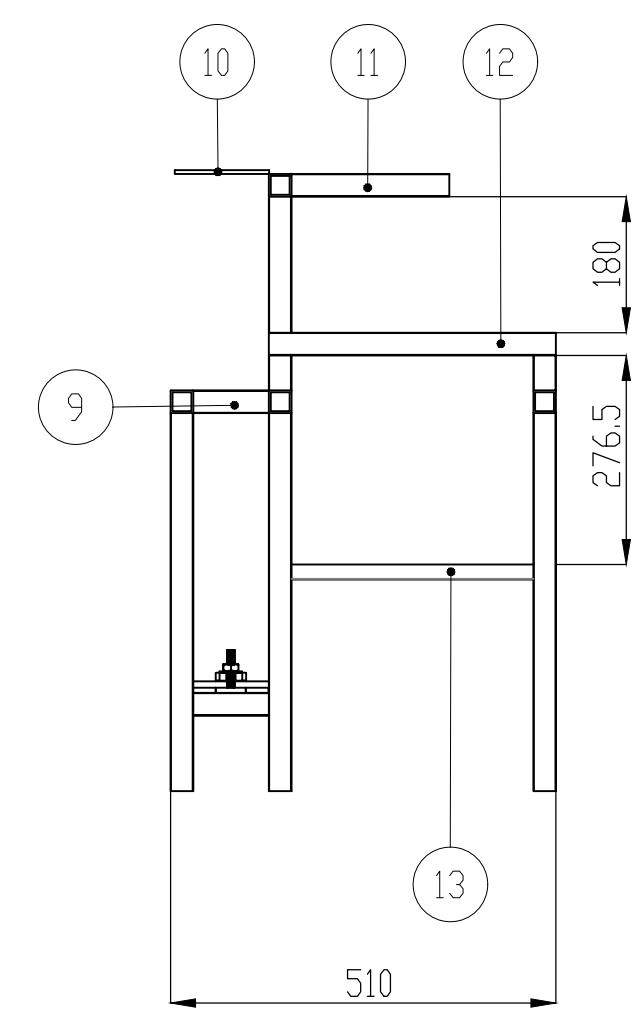
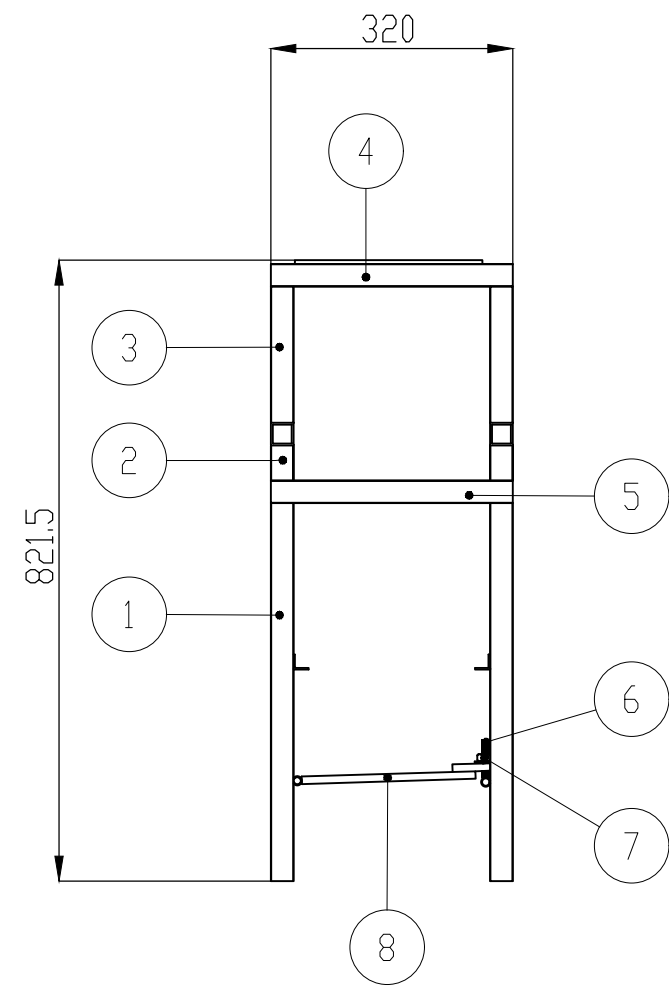
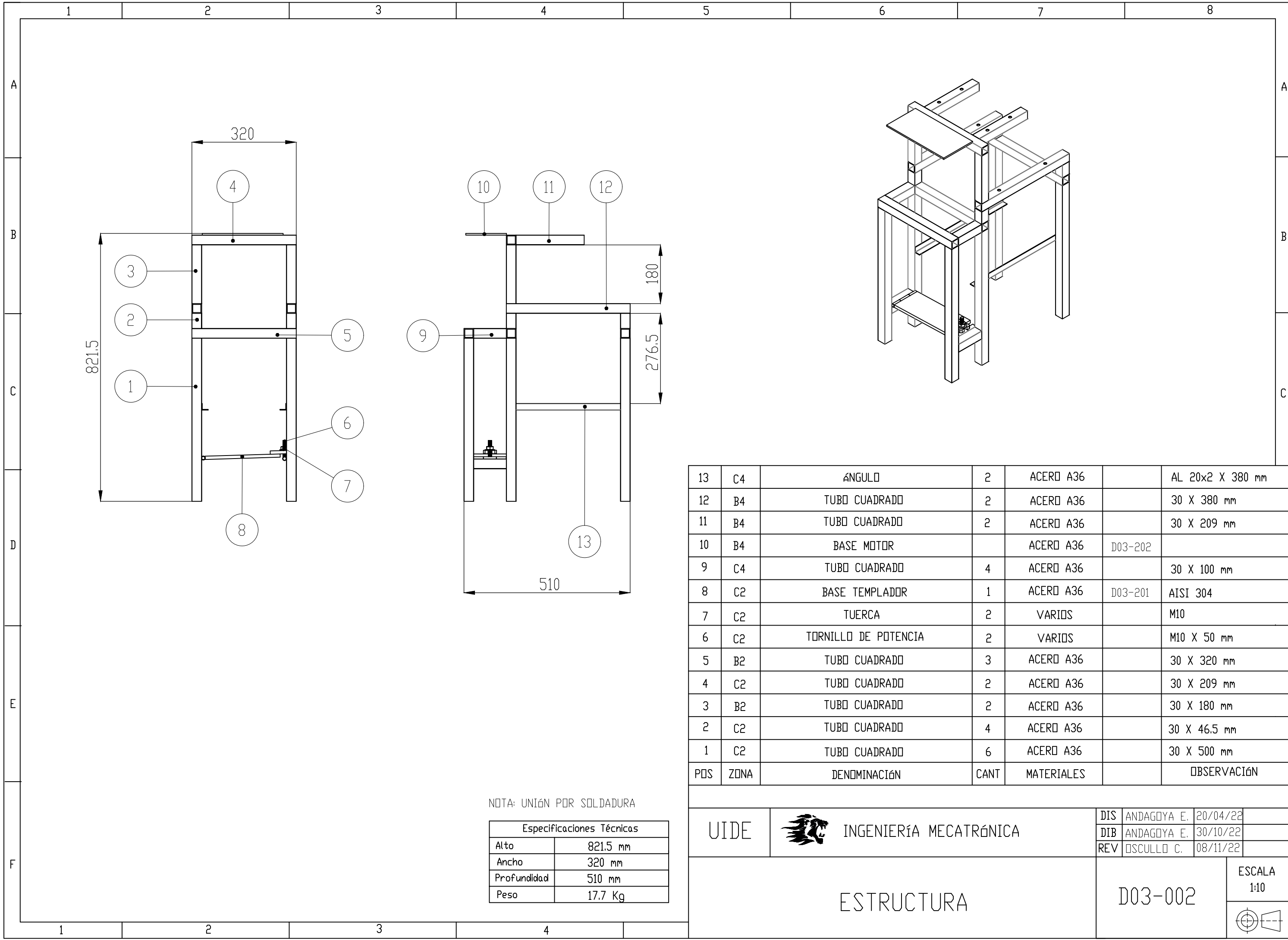
DETALLE C
ESCALA 2 : 2,5

DETALLE A
ESCALA 2 : 5

VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	
RED ELECTRICA	110 - 120 V
DIMENSIONES GENERALES	
ALTO	1106,5 mm
ANCHO	383 mm
PROFUNDIDAD	685,1 mm
PESO	
TOTAL APROXIMADO	68 Kg
CAPACIDAD DESECHOS	
MÁXIMA	2,5 Kg

27	E3	PUERTA DE SALIDA	1	ACERO AISI 304	D03-106	
26	D3	INTERRUPTOR MANUAL MOTOR	1	VARIOS		
25	D3	PULSADOR PARO	1	VARIOS		TIPO HONGO 110 V
24	C3	DEPOSITO FINAL	1	ACERO GALVANIZADO	D03-105	
23	B2	TORNILLO SUJECIÓN	4	VARIOS		TIPO ALEN M6X10
22	C2	CUBIERTA MEZCLADORA	1	ACERO AISI 304	D03-104	
21	D6	TUERA SUJECIÓN A ESTRUCTURA	8	VARIOS		TIPO ALEN M10X40
20	D6	MOTORREDUCTOR TRITURADORA	1	VARIOS		MONOFASICO 110 V, 1/2 HP, 40 RPM
19	C2	EJE MEZCLADORA	1	ACERO AISI 304	D03-007	
18	E3	CUBIERTA	3	ACERO GALVANIZADO		320 X 160 MM
17	E3	CAJA DE CONTROL	1	VARIOS		
16	F6	MOTORREDUCTOR MEZCLADORA	1	VARIOS		MONOFASICO 110 V, 1/2 HP, 40 RPM
15	E3	POLEA	2	ALUMINIO		2,5 PULGADAS
14	C3	TOLVA GUÍA	1	ACERO AISI 304	D03-103	
13	E3	EJE TRITURADORA ANTIHORARIO	1	ACERO AISI 304	D03-006	
12	E2	EJE TRITURADORA HORARIO	1	ACERO AISI 304	D03-005	
11	E6	BANDA	1	CAUCHO		TIPO V A30
10	D6	TUERA SUJECIÓN RODAMIENTOS DE PIE	4	VARIOS		TIPO ALEN M12
9	B3	TOLVA INGRESO MATERIA CAFÉ	1	ACERO ASTM 36	D03-102	
8	C3	BASE TRITURADORA	1	ACERO AISI 304	D03-004	
7	B3	TOLVA INGRESO MATERIA VERDE	1	ACERO AISI 304	D03-101	
6	C4	TUERA SUJECIÓN TRITURADORA	8	VARIOS		M10X20
5	C3	RODAMIENTO RIGIDO DE BOLAS CON SELLOS	2	VARIOS		1/2 DE PULGADA
4	D7	VENTILADOR	1	VARIOS		DC 12V/2,75A
3	C2	CONTENEDOR MEZCLADORA	1	ACERO AISI 304	D03-003	
2	C4	RODAMIENTO DE BOLAS CON SOPORTE DE PIE	2	VARIOS		1/2 DE PULGADA
1	D6	ESTRUCTURA	1	ACERO A36	D03-002	
PDS	ZONA	DENOMINACIÓN	CANT	MATERIALES		OBSERVACIÓN

UIDE		DIS	ANDAGÓYA E.	25/04/22
		DIB	ANDAGÓYA E.	24/10/22
		REV	OSULLO C.	07/12/22
MÁQUINA COMPOSTADORA				ESCALA 1:5
D03-001				

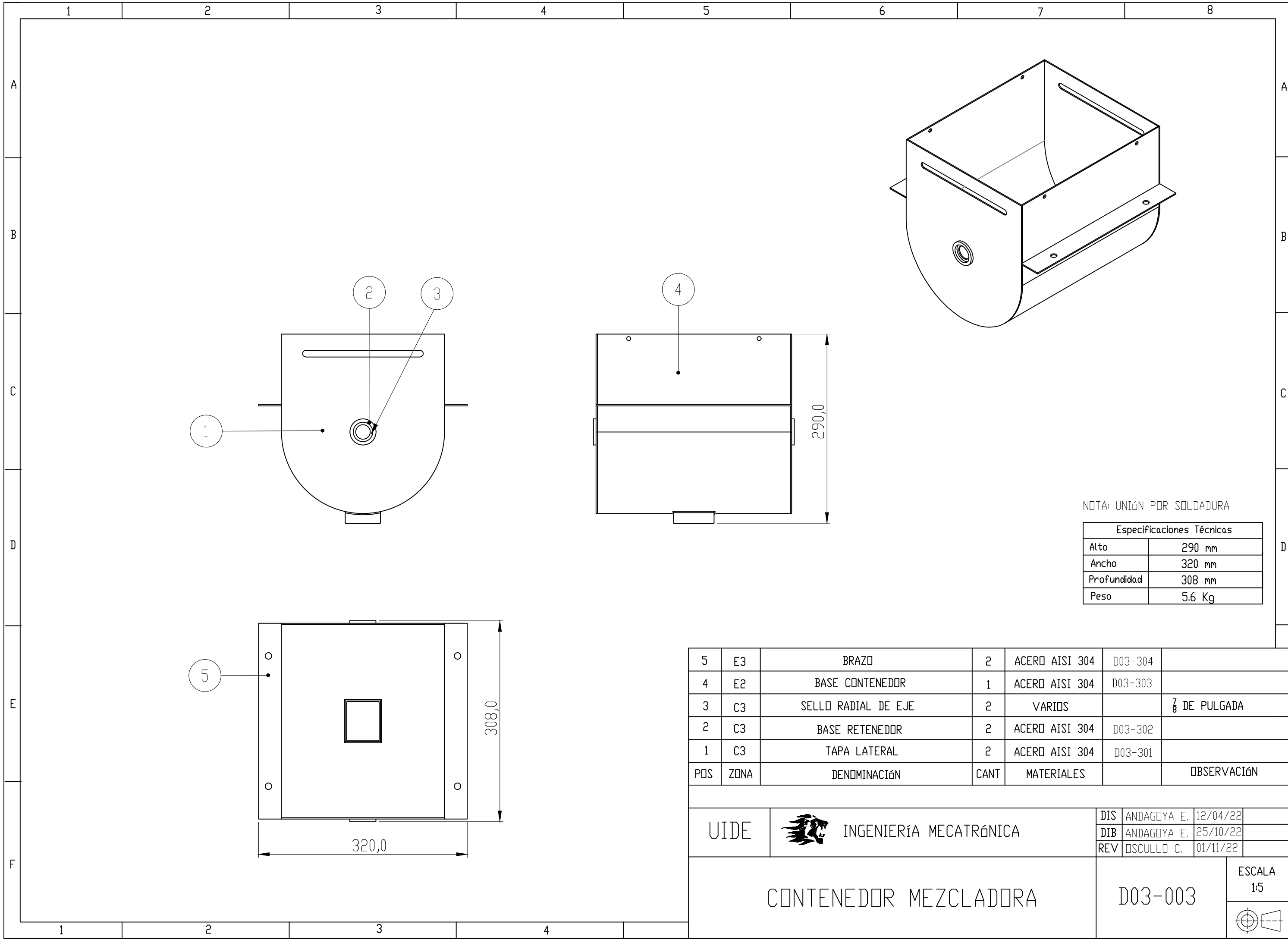


NOTA: UNIÓN POR SOLDADURA

Especificaciones Técnicas	
Alto	821.5 mm
Ancho	320 mm
Profundidad	510 mm
Peso	17.7 Kg

POS	ZONA	DENOMINACIÓN	CANT	MATERIALES	OBSERVACIÓN
13	C4	ÁNGULO	2	ACERO A36	AL 20x2 X 380 mm
12	B4	TUBO CUADRADO	2	ACERO A36	30 X 380 mm
11	B4	TUBO CUADRADO	2	ACERO A36	30 X 209 mm
10	B4	BASE MOTOR		ACERO A36	D03-202
9	C4	TUBO CUADRADO	4	ACERO A36	30 X 100 mm
8	C2	BASE TEMPLADOR	1	ACERO A36	D03-201 AISI 304
7	C2	TUERCA	2	VARIOS	M10
6	C2	TORNILLO DE POTENCIA	2	VARIOS	M10 X 50 mm
5	B2	TUBO CUADRADO	3	ACERO A36	30 X 320 mm
4	C2	TUBO CUADRADO	2	ACERO A36	30 X 209 mm
3	B2	TUBO CUADRADO	2	ACERO A36	30 X 180 mm
2	C2	TUBO CUADRADO	4	ACERO A36	30 X 46.5 mm
1	C2	TUBO CUADRADO	6	ACERO A36	30 X 500 mm

UIDE		INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIS	ANDAGOYA E.	20/04/22
			DIB	ANDAGOYA E.	30/10/22
			REV	OSULLO C.	08/11/22
ESTRUCTURA			D03-002		ESCALA 1:10



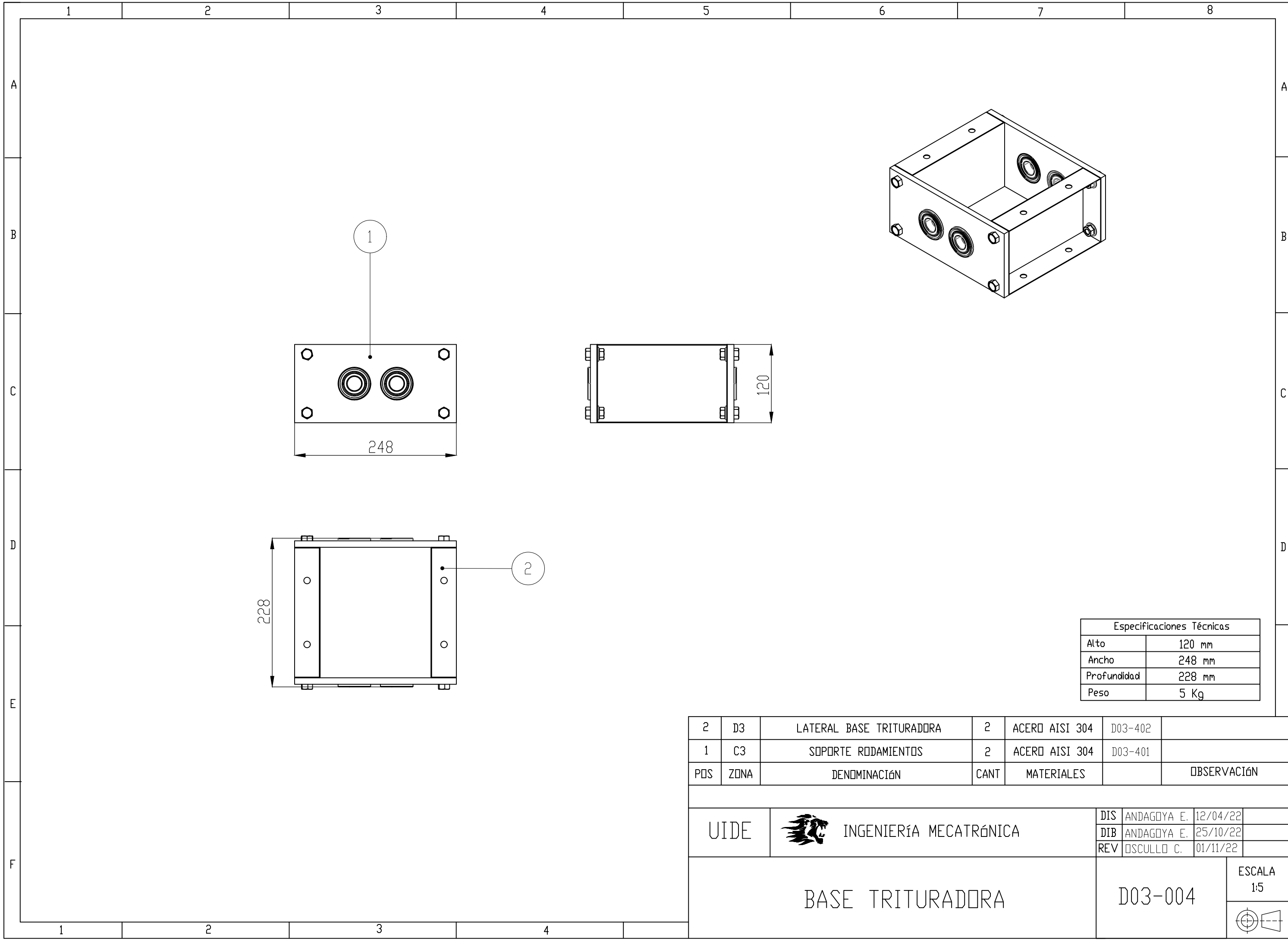
NOTA: UNIÓN POR SOLDADURA

Especificaciones Técnicas	
Alto	290 mm
Ancho	320 mm
Profundidad	308 mm
Peso	5.6 Kg

POS	ZONA	DENOMINACIÓN	CANT	MATERIALES	OBSERVACIÓN
5	E3	BRAZO	2	ACERO AISI 304	D03-304
4	E2	BASE CONTENEDOR	1	ACERO AISI 304	D03-303
3	C3	SELLO RADIAL DE EJE	2	VARIOS	7/8 DE PULGADA
2	C3	BASE RETENEDOR	2	ACERO AISI 304	D03-302
1	C3	TAPA LATERAL	2	ACERO AISI 304	D03-301

UIDE	 INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIS	ANDAGOYA E.	12/04/22
		DIB	ANDAGOYA E.	25/10/22
		REV	OSCULO C.	01/11/22

<h1>CONTENEDOR MEZCLADORA</h1>	<h2>D03-003</h2>	ESCALA 1:5 
--------------------------------	------------------	--

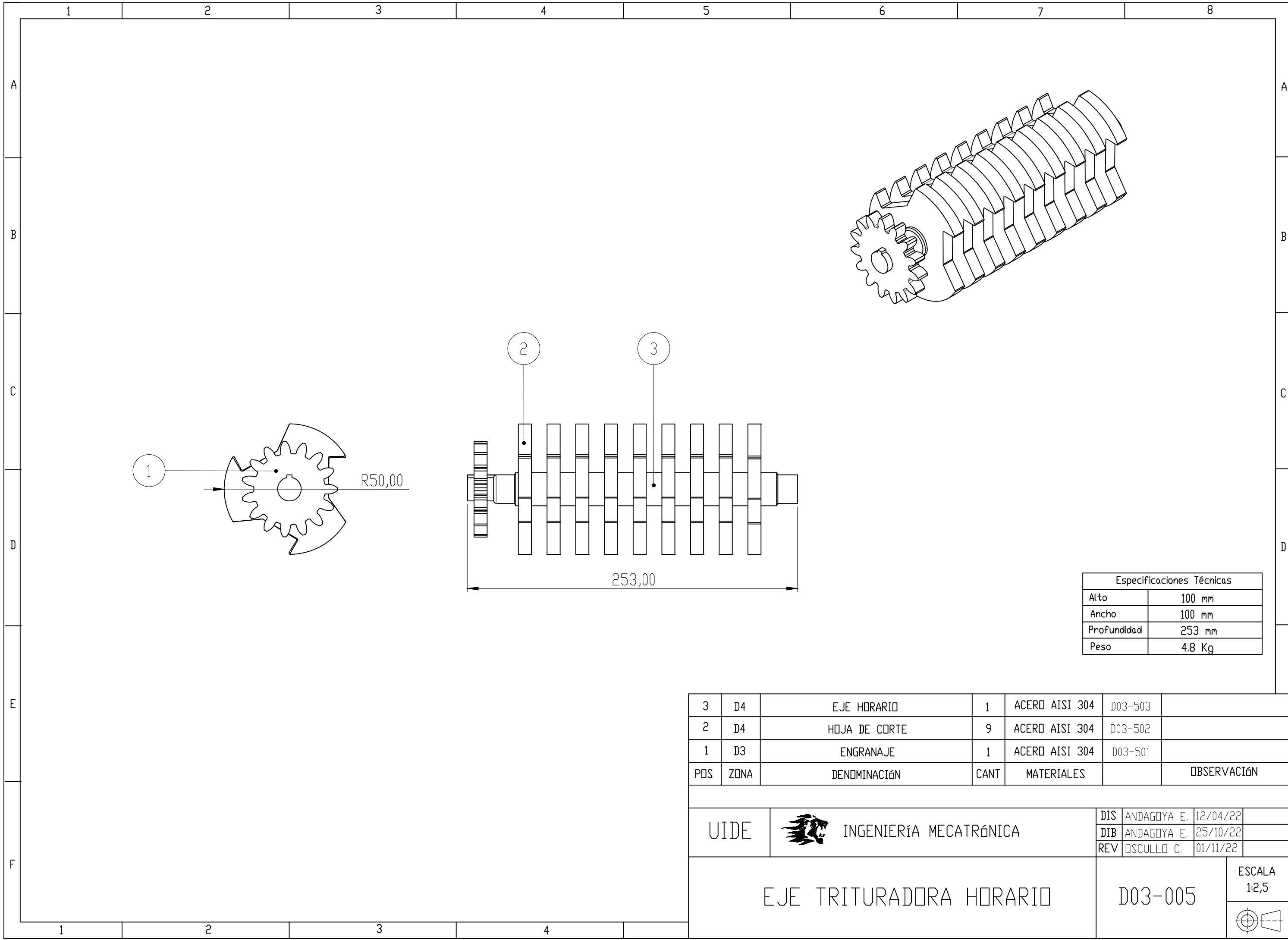


Especificaciones Técnicas	
Alto	120 mm
Ancho	248 mm
Profundidad	228 mm
Peso	5 Kg

POS	ZONA	DENOMINACIÓN	CANT	MATERIALES	OBSERVACIÓN
2	D3	LATERAL BASE TRITURADORA	2	ACERO AISI 304	D03-402
1	C3	SOPORTE RODAMIENTOS	2	ACERO AISI 304	D03-401

UIDE	 INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIS	ANDAGOYA E.	12/04/22
		DIB	ANDAGOYA E.	25/10/22
		REV	OSCUULLO C.	01/11/22

BASE TRITURADORA	D03-004	ESCALA 1:5
		

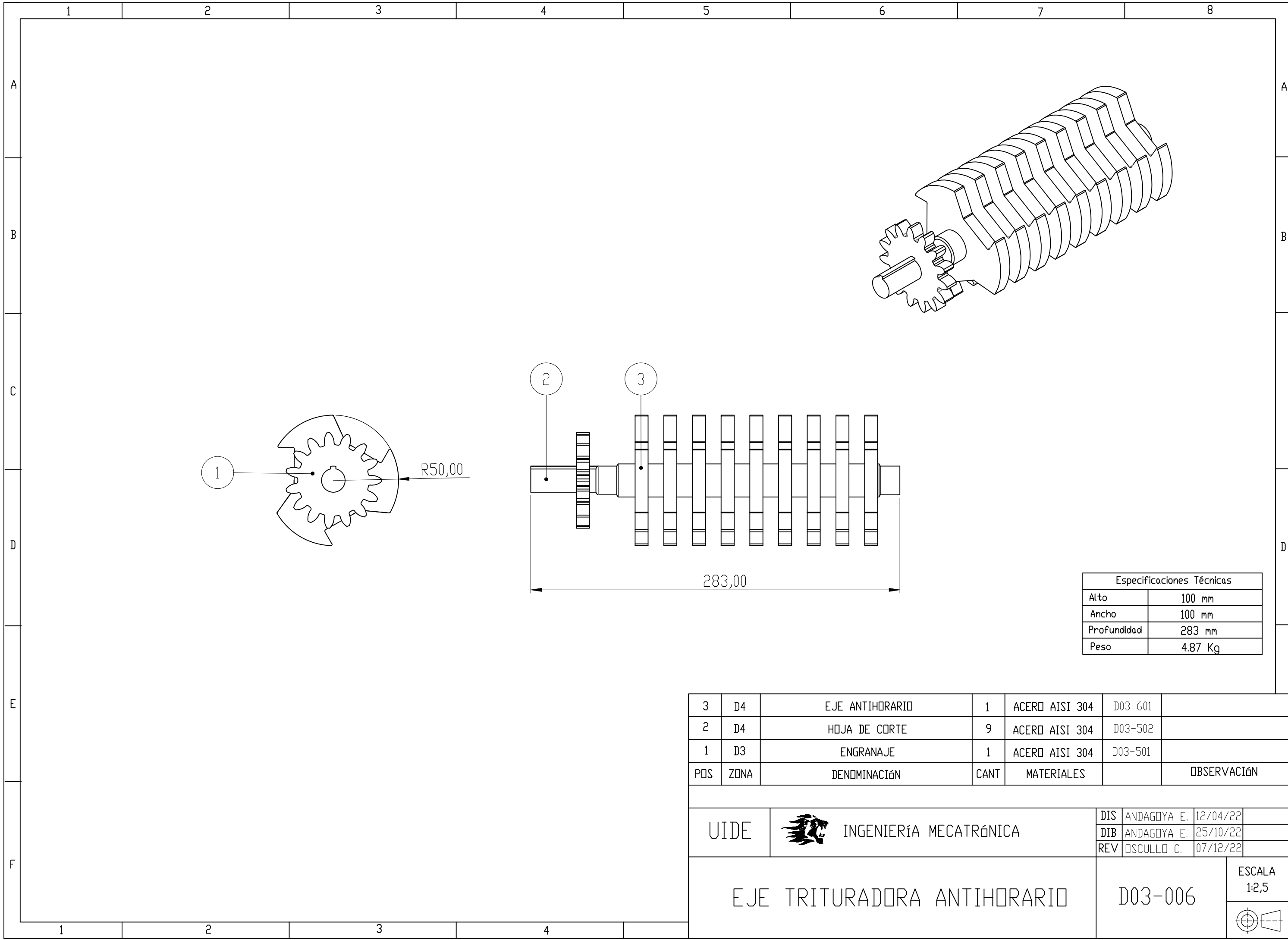


Especificaciones Técnicas	
Alto	100 mm
Ancho	100 mm
Profundidad	253 mm
Peso	4.8 Kg

POS	ZONA	DENOMINACIÓN	CANT	MATERIALES	OBSERVACIÓN
3	D4	EJE HORARIO	1	ACERO AISI 304	D03-503
2	D4	HOJA DE CORTE	9	ACERO AISI 304	D03-502
1	D3	ENGRANAJE	1	ACERO AISI 304	D03-501

UIDE	 INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIS	ANDAGOYA E.	12/04/22
		DIB	ANDAGOYA E.	25/10/22
		REV	OSULLO C.	01/11/22

EJE TRITURADORA HORARIO	D03-005	ESCALA 1:2,5 
-------------------------	---------	--

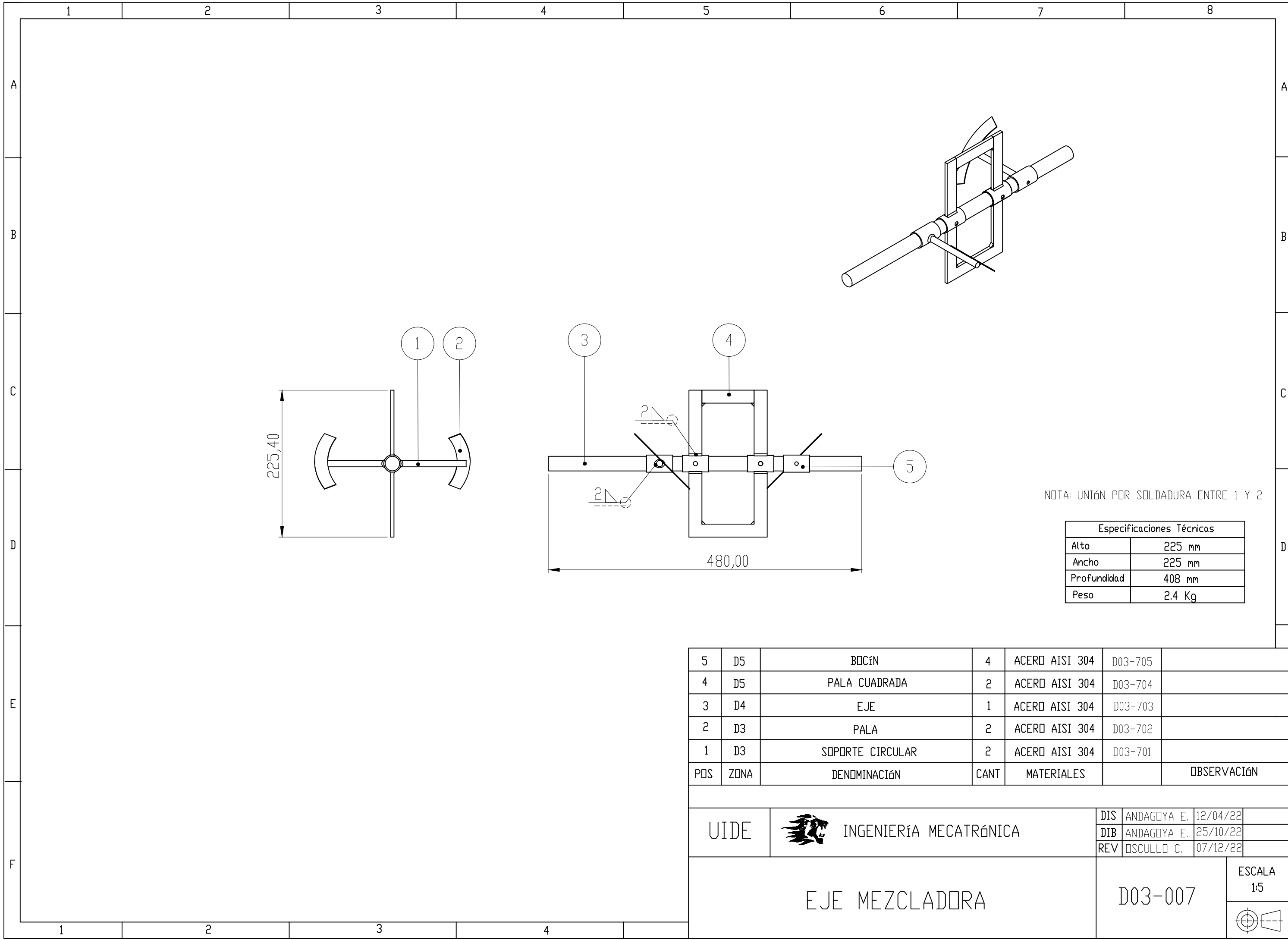


Especificaciones Técnicas	
Alto	100 mm
Ancho	100 mm
Profundidad	283 mm
Peso	4.87 Kg

POS	ZONA	DENOMINACIÓN	CANT	MATERIALES	OBSERVACIÓN
3	D4	EJE ANTIHORARIO	1	ACERO AISI 304	D03-601
2	D4	HOJA DE CORTE	9	ACERO AISI 304	D03-502
1	D3	ENGRANAJE	1	ACERO AISI 304	D03-501

UIDE	 INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIS	ANDAGOYA E.	12/04/22
		DIB	ANDAGOYA E.	25/10/22
		REV	OSULLO C.	07/12/22

EJE TRITURADORA ANTIHORARIO		D03-006	ESCALA 1:2,5
			



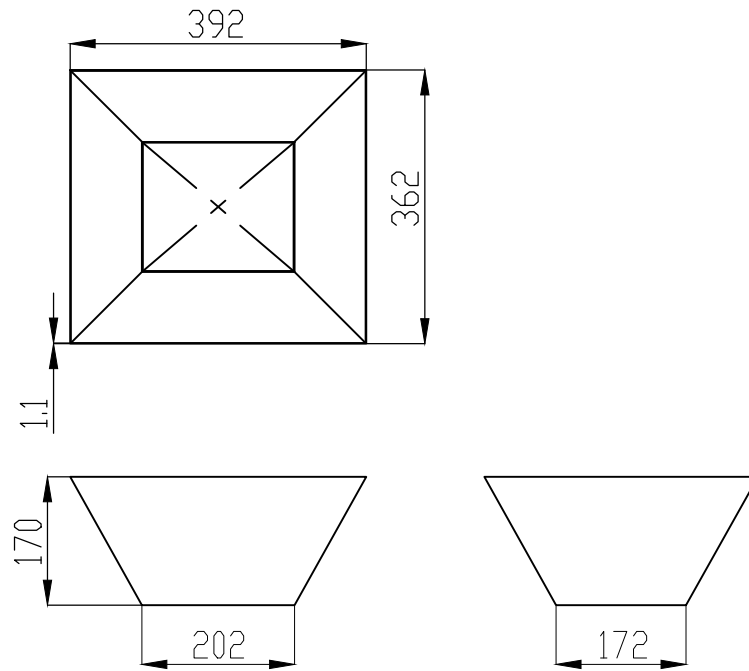
NOTA: UNIÓN POR SOLDADURA ENTRE 1 Y 2

Especificaciones Técnicas	
Alto	225 mm
Ancho	225 mm
Profundidad	408 mm
Peso	2.4 Kg

POS	ZONA	DENOMINACIÓN	CANT	MATERIALES	OBSERVACIÓN
5	D5	BOCÍN	4	ACERO AISI 304	D03-705
4	D5	PALA CUADRADA	2	ACERO AISI 304	D03-704
3	D4	EJE	1	ACERO AISI 304	D03-703
2	D3	PALA	2	ACERO AISI 304	D03-702
1	D3	SOPORTE CIRCULAR	2	ACERO AISI 304	D03-701

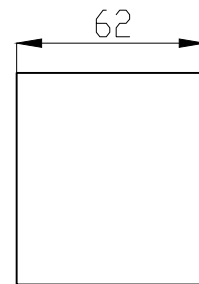
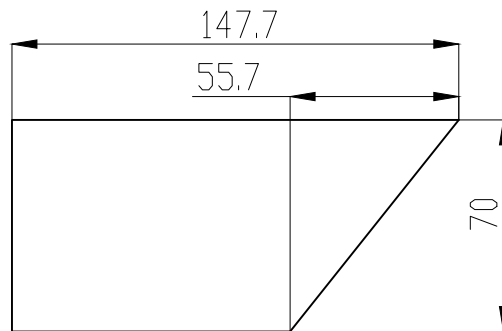
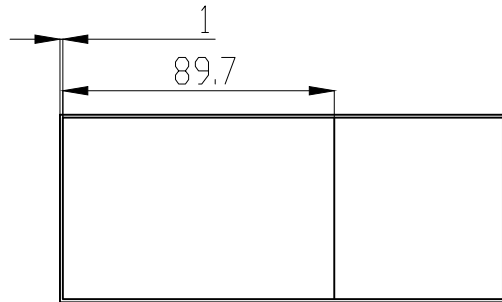
UIDE	 INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIS	ANDAGOYA E.	12/04/22
		DIB	ANDAGOYA E.	25/10/22
		REV	OSCULO C.	07/12/22

EJE MEZCLADORA	D03-007	ESCALA 1:5
		

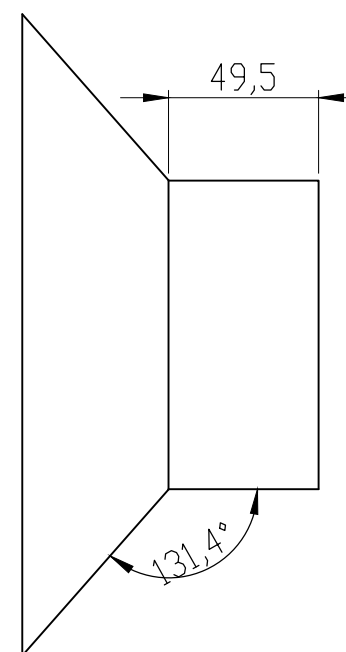
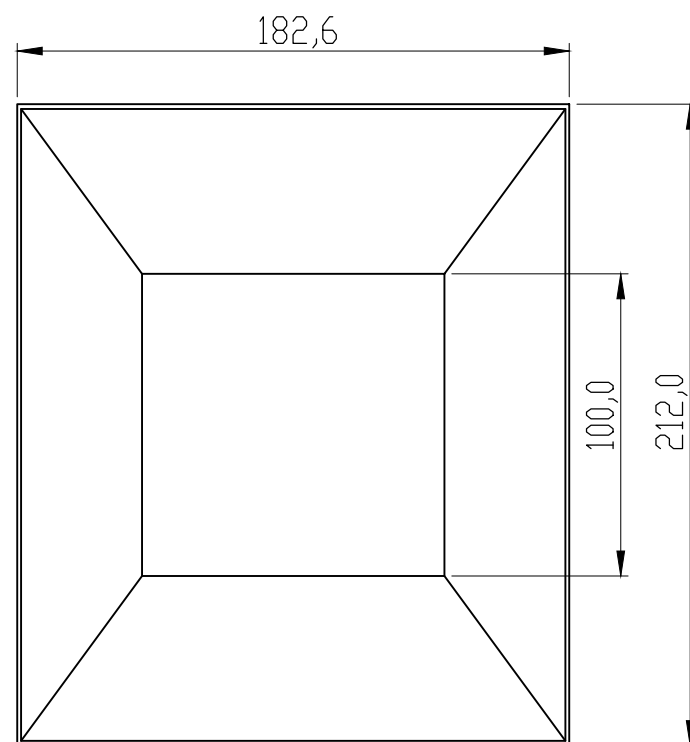


TRATAMIENTO		N/A		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO		N/A					
MATERIAL		TOL. GRAL.		ESCALA	DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22
AISI 304		±0.1		1:10	DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
					REV.	OSCULLO C.	01/11/22
TOLVA INGRESO				D03-101			



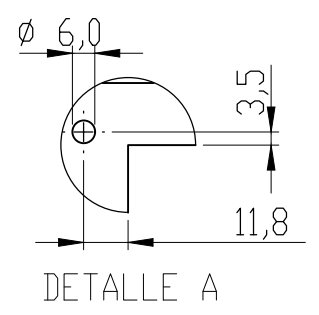
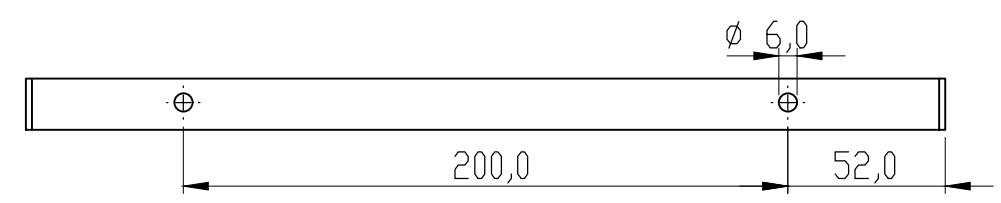
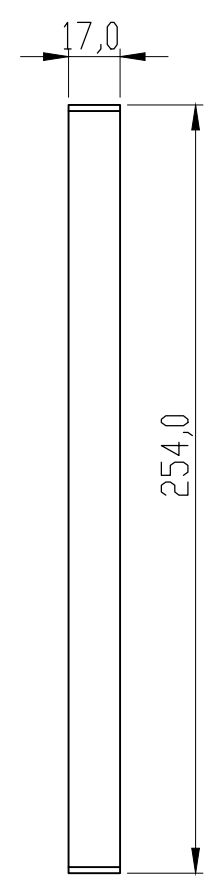
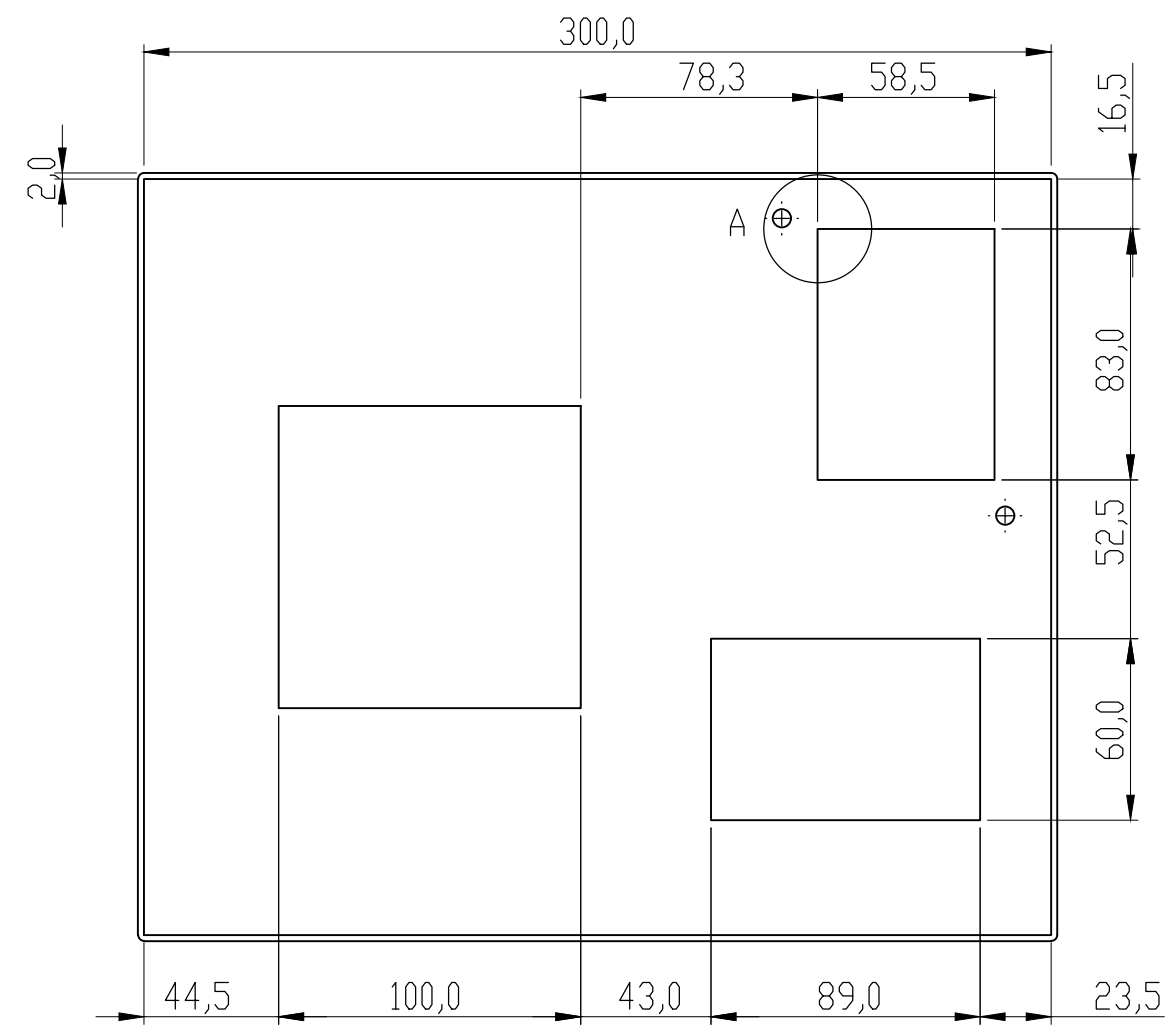


TRATAMIENTO		N/A		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO		N/A					
MATERIAL		TOL. GRAL.		ESCALA	DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22
ASTM 36		±0.1		1:2,5	DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
					REV.	OSCULLO C.	01/11/22
TOLVA INGRESO				D03-102			



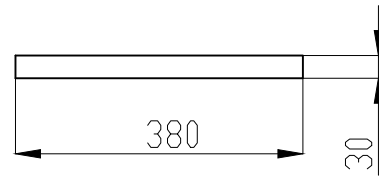
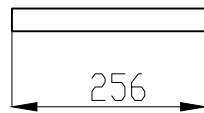
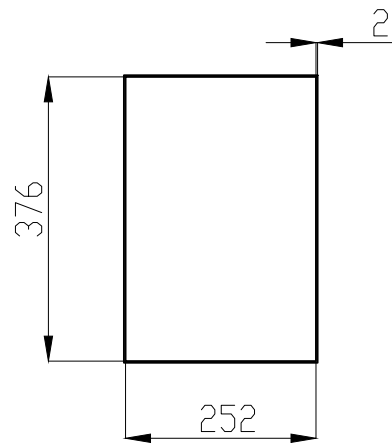
NOTA: ESPESOR 1 mm

TRATAMIENTO	N/A	UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
RECUBRIMIENTO	N/A		DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22	
MATERIAL	AISI 304	TOL. GRAL. ±0.1	ESCALA	DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
			1:2,5	REV.	OSULLO C.	07/12/22
			TOLVA GUÍA		D03-103	

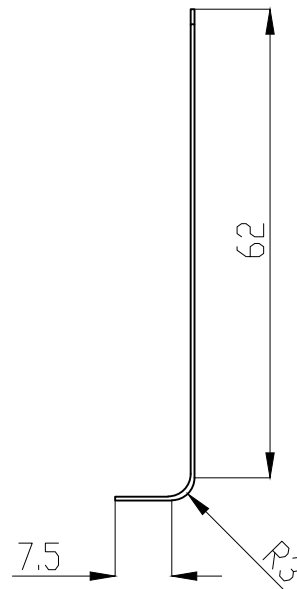
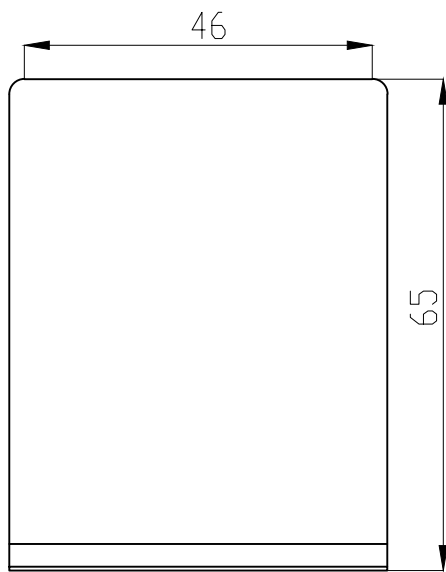
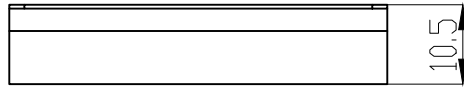


TRATAMIENTO	N/A	UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO	N/A				
MATERIAL	AISI 304	TOL. GRAL. ±0.1	ESCALA 1:2,5	DIB. ANDAGOYA E. 12/04/22	
				DIS. ANDAGOYA E. 25/10/22	
				REV. OSULLO C. 07/12/22	
CUBIERTA MEZCLADORA			D03-104		





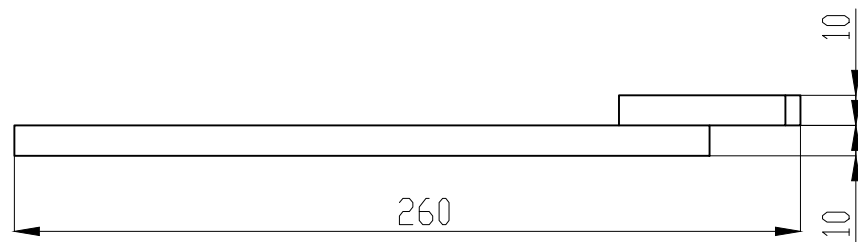
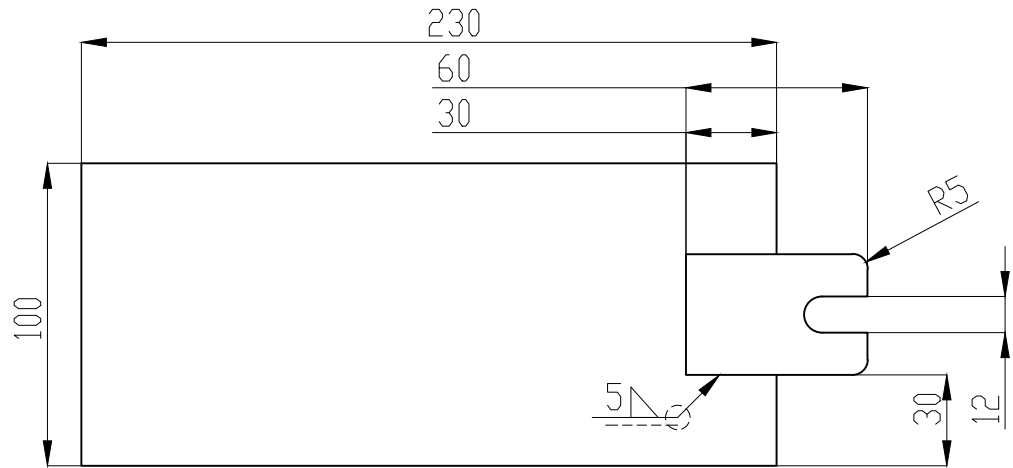
TRATAMIENTO		N/A		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO		N/A					
MATERIAL		TOL. GRAL.		ESCALA	DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22
ACERO GALVANIZADO		±0.1		1:10	DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
					REV.	OSCULLO C.	07/12/22
DEPÓSITO FINAL				D03-105			



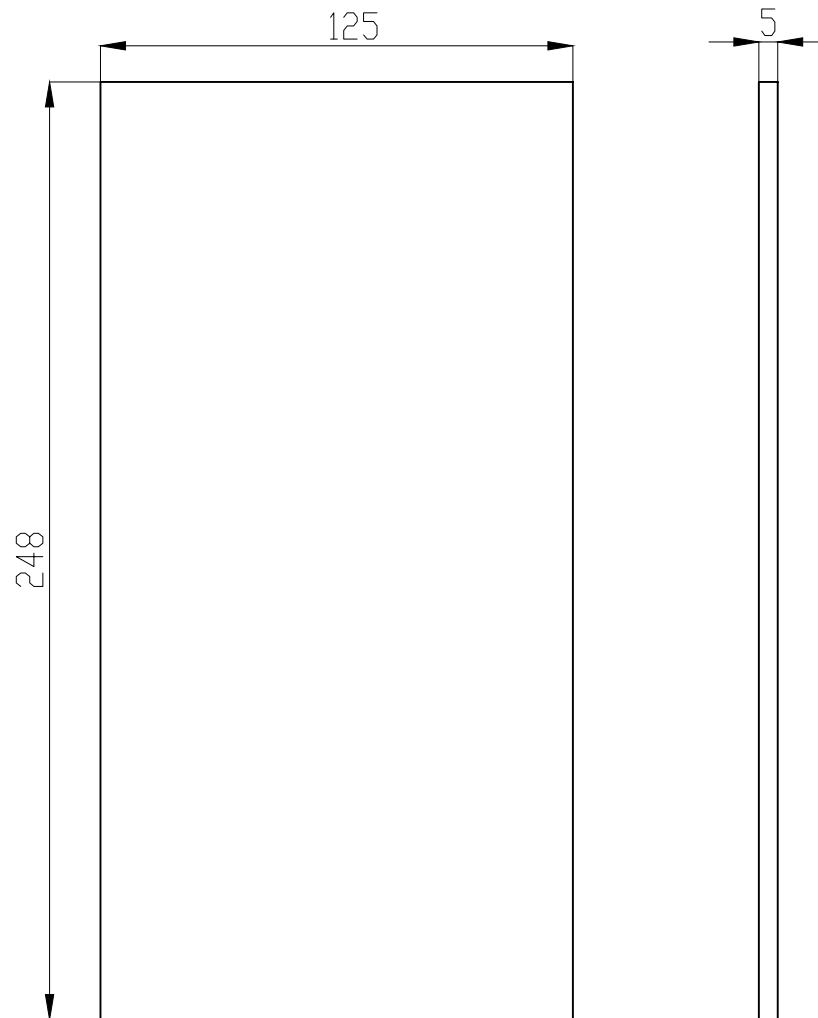
NOTA: REDONDEOS 2mm, ESPESOR 1mm

TRATAMIENTO		N/A	UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO		N/A				
MATERIAL	AISI 304	TOL. GRAL. ±0.1	ESCALA 1:1	DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22
				DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
				REV.	OSULLO C.	07/12/22
PUERTA DE SALIDA			D03-106			

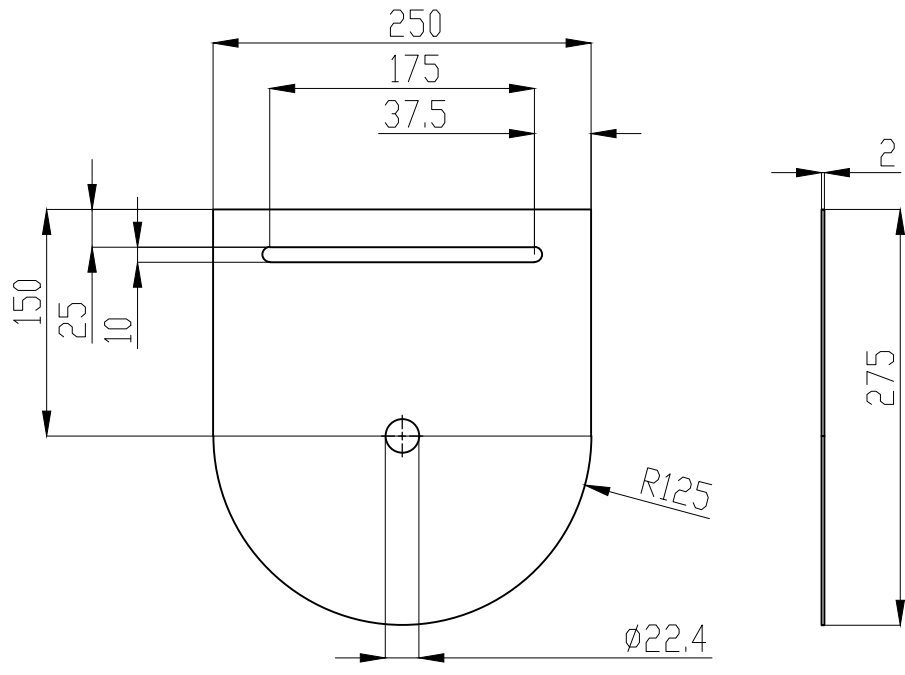
N7



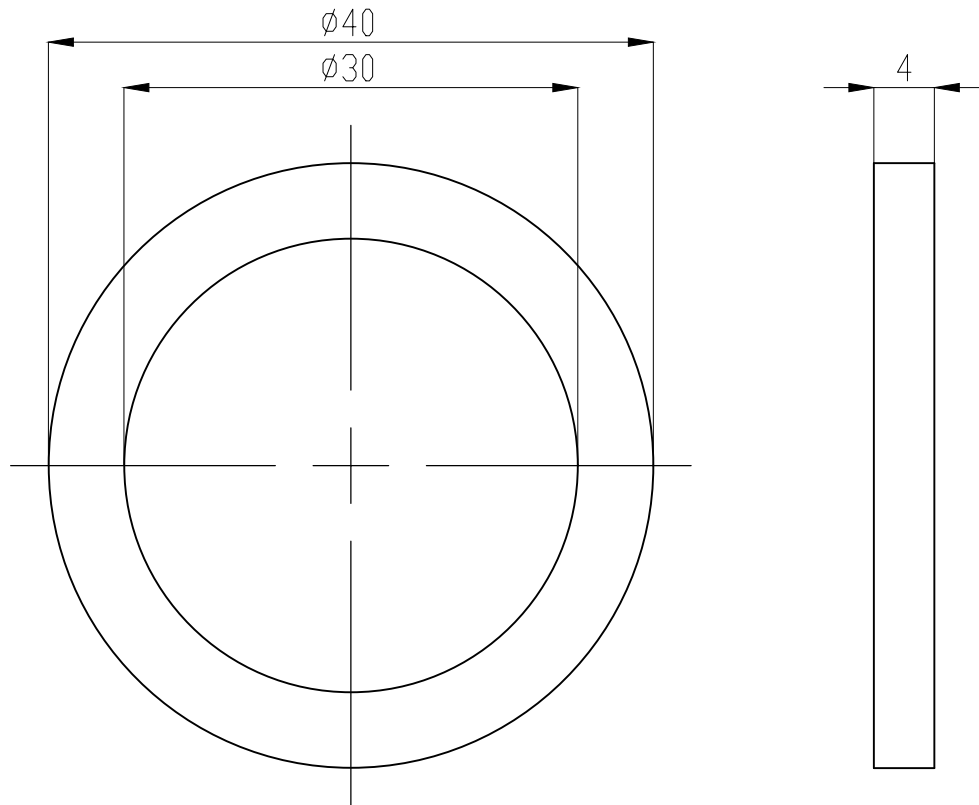
TRATAMIENTO		N/A		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO		N/A					
MATERIAL		TOL. GRAL.		ESCALA	DIB.	ANDAGOYA E.	20/04/22
ASTM A36		±0.1		1:2,5	DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
					REV.	OSCULLO C.	07/12/22
BASE TEMPLADOR				D03-201			



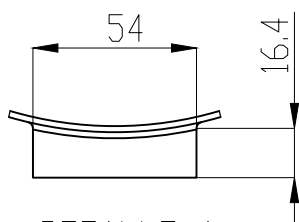
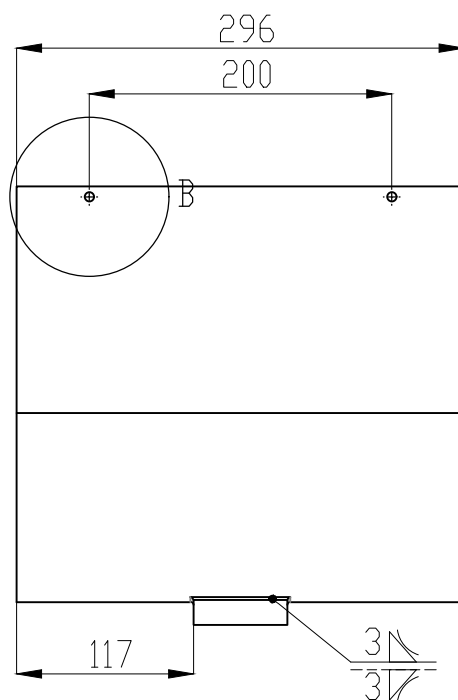
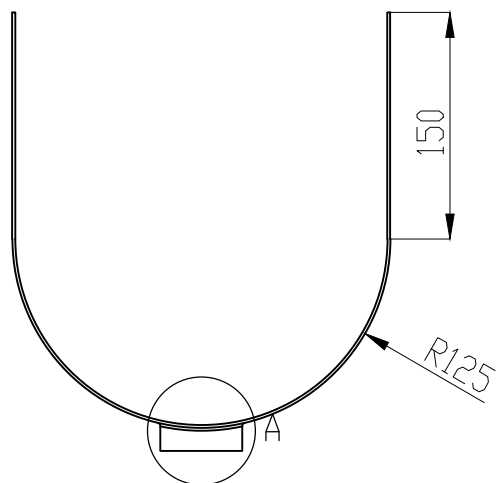
TRATAMIENTO		N/A		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO		N/A					
MATERIAL		TOL. GRAL.		ESCALA	DIB.	ANDAGOYA E.	20/04/22
ASTM A36		±0.1		1:2,5	DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
					REV.	OSCULLO C.	07/12/22
BASE MOTOR				D03-202			



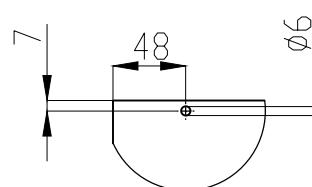
TRATAMIENTO		N/A		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO		N/A					
MATERIAL		TOL. GRAL.		ESCALA	DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22
AISI 304		±0.1		1:5	DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
					REV.	OSCULLO C.	07/12/22
TAPA LATERAL				D03-301			



TRATAMIENTO		N/A		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO		N/A					
MATERIAL		TOL. GRAL.		ESCALA	DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22
AISI 304		±0.1		1:1	DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
					REV.	OSCULLO C.	07/12/22
BASE RETENEDOR				D03-302			

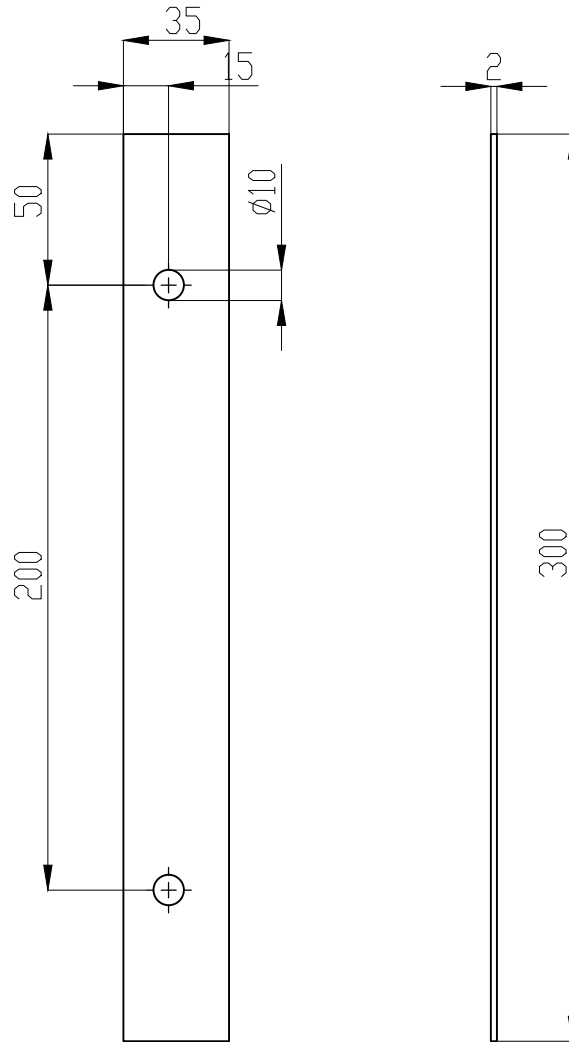



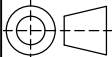
DETALLE A
ESCALA 1 : 2.5

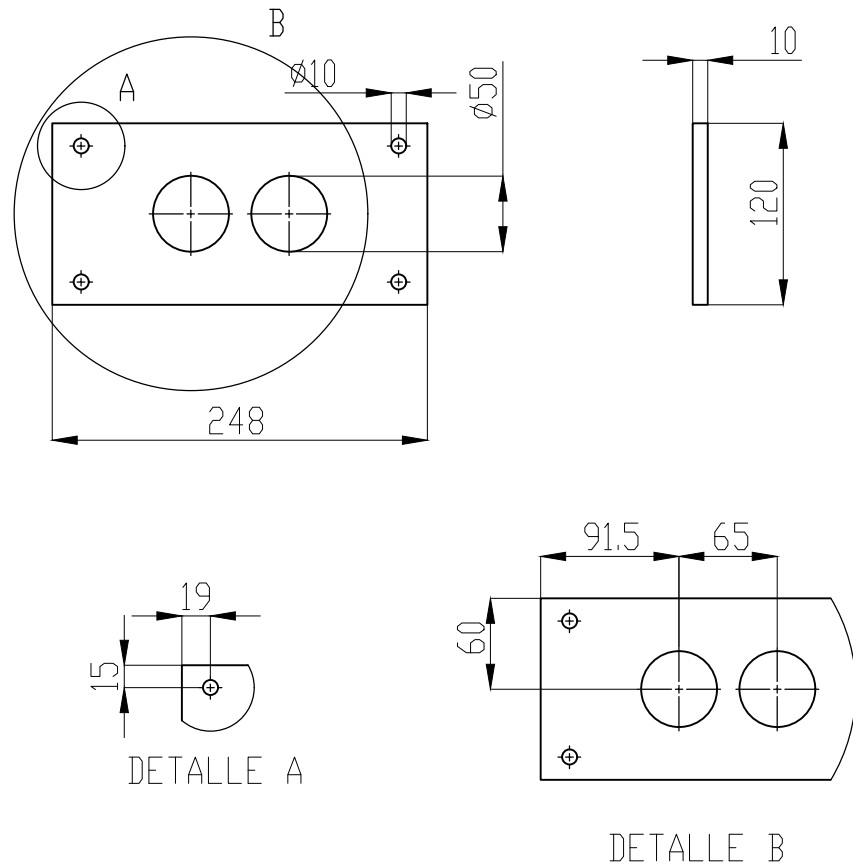


DETALLE B

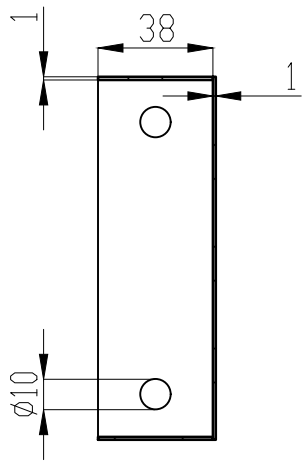
TRATAMIENTO		N/A		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO		N/A					
MATERIAL		TOL. GRAL.		ESCALA	DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22
AISI 304		±0.1		1:5	DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
					REV.	OSCULLO C.	07/12/22
BASE CONTENEDOR				D03-303			



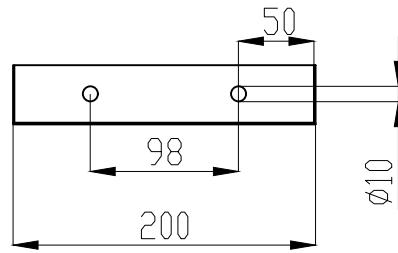
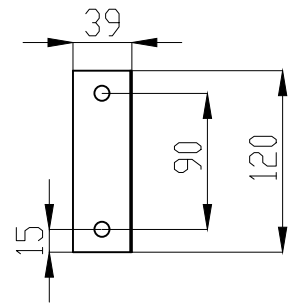
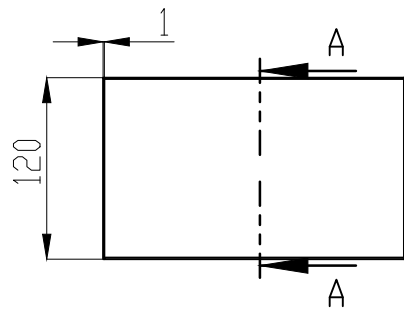
TRATAMIENTO		N/A		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO		N/A					
MATERIAL		TOL. GRAL.		ESCALA	DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22
AISI 304		±0.1		1:5	DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
					REV.	OSCULLO C.	07/12/22
BRAZO				D03-304			 



TRATAMIENTO		N/A		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO		N/A					
MATERIAL		TOL. GRAL.		ESCALA	DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22
AISI 304		±0.1		1:5	DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
					REV.	OSCULLO C.	07/12/22
SOPORTE RODAMIENTOS				D03-401			

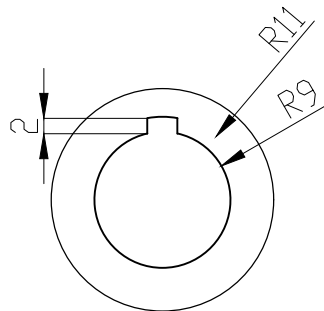
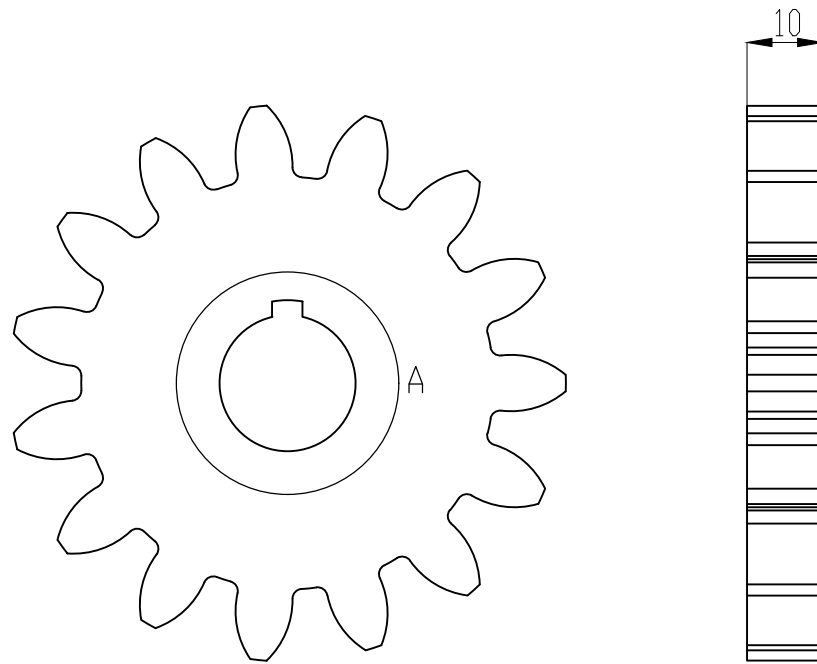


SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2.5



TRATAMIENTO		N/A		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO		N/A					
MATERIAL		TOL. GRAL.		ESCALA	DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22
AISI 304		±0.1		1:5	DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
					REV.	OSCULLO C.	07/12/22
LATERAL BASE TRITURADORA				D03-402			

N7

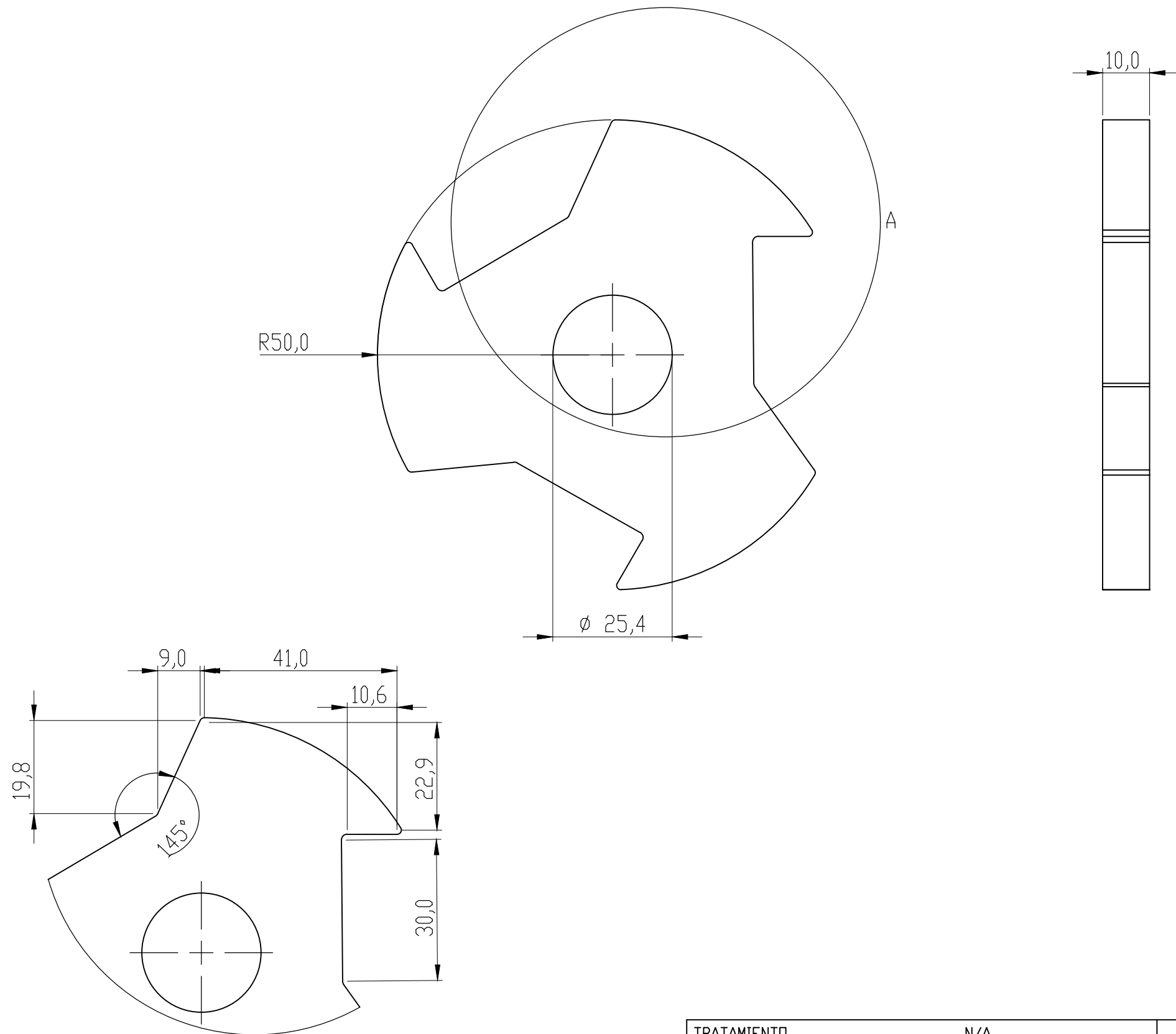


DETALLE A

DATOS DE DISEÑO	
NÚMERO DE DIENTES	15
MÓDULO	4.33
DIÁMETRO EXTERNO	73.66 mm
DIÁMETRO PRIMITIVO	65 mm
DIÁMETRO INTERNO	54.6 mm
ÁNGULO DE PRESIÓN	20 grados

TRATAMIENTO		N/A	UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA				
RECUBRIMIENTO		N/A						
MATERIAL	AISI 304	TOL. GRAL.	ESCALA	DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22		
		±0.1	1:1	DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22		
				REV.	OSCULLO C.	07/12/22		
ENGRANAJE			D03-501					

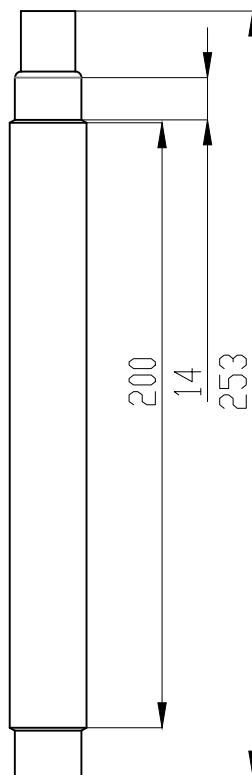
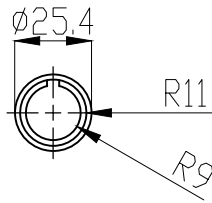
N7



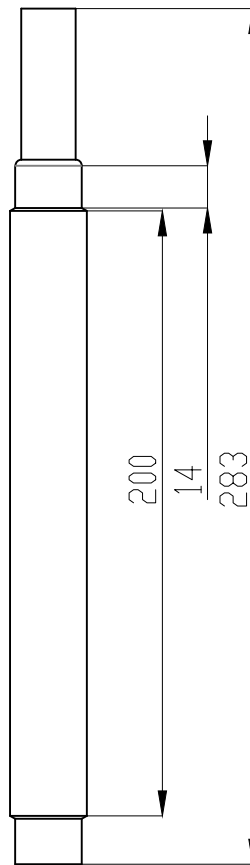
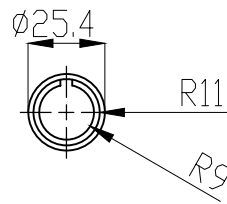
DETALLE A

TRATAMIENTO	N/A	UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
RECUBRIMIENTO	N/A					
MATERIAL	AISI 304	TOL. GRAL.	ESCALA	DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22
		±0.1	1:1	DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
				REV.	OSULLO C.	07/12/22
HOJA DE CORTE			D03-502			

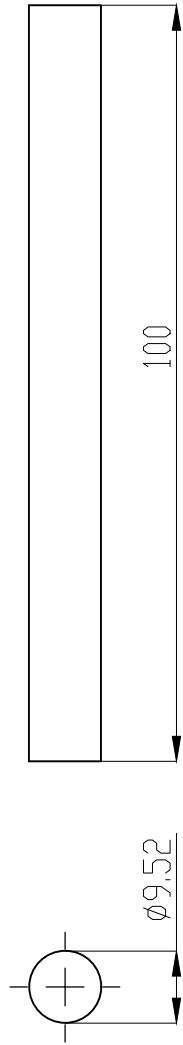




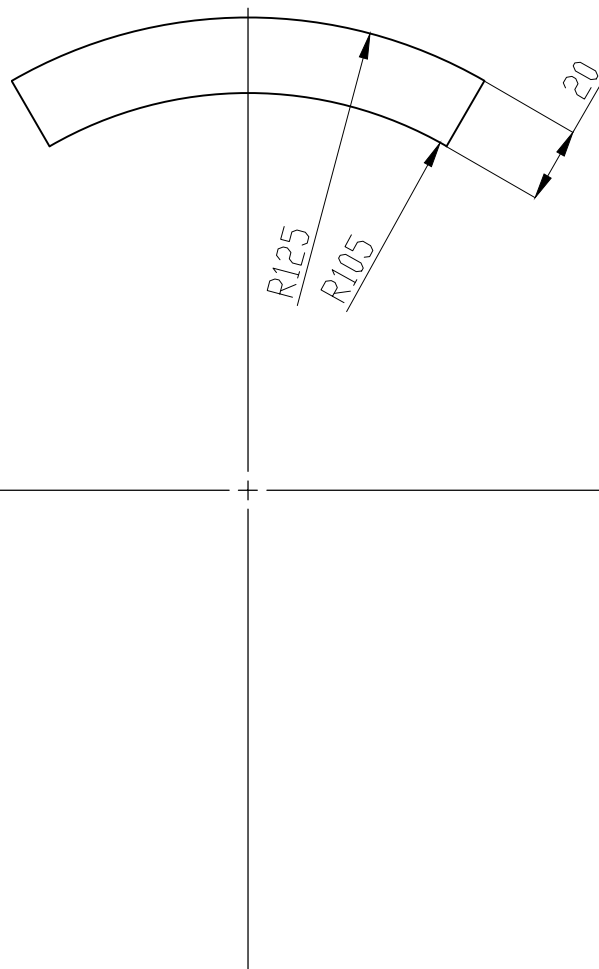
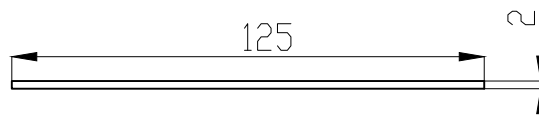
TRATAMIENTO		N/A	UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO		N/A				
MATERIAL	AISI 304	TOL. GRAL. ±0.1	ESCALA 1:2,5	DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22
				DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
				REV.	OSCULLO C.	07/12/22
EJE HORARIO			D03-503			



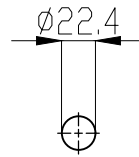
TRATAMIENTO		N/A	UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO		N/A				
MATERIAL	AISI 304	TOL. GRAL. ±0.1	ESCALA 1:2,5	DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22
				DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
				REV.	OSCULLO C.	07/12/22
EJE ANTIHORARIO			D03-601			



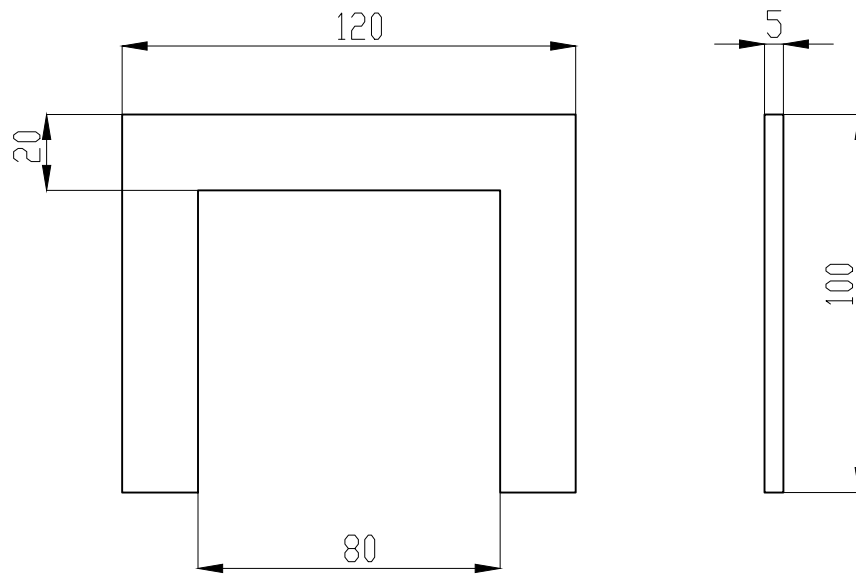
TRATAMIENTO		N/A	UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO		N/A				
MATERIAL		TOL. GRAL.	ESCALA	DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22
AISI 304		±0.1	1:1	DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
				REV.	OSCULLO C.	07/12/22
SOPORTE CIRCULAR			D03-701			



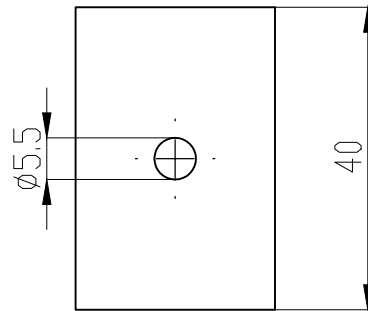
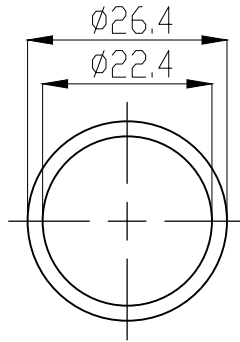
TRATAMIENTO		N/A		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO		N/A					
MATERIAL		TOL. GRAL.		ESCALA	DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22
AISI 304		±0.1		1:2,5	DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
					REV.	OSCULLO C.	07/12/22
PALA				D03-702			



TRATAMIENTO		N/A		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA			
RECUBRIMIENTO		N/A						
MATERIAL		TOL. GRAL.		ESCALA		DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22
AISI 304		±0.1		1:5		DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
						REV.	OSCULLO C.	07/12/22
EJE				D03-703				

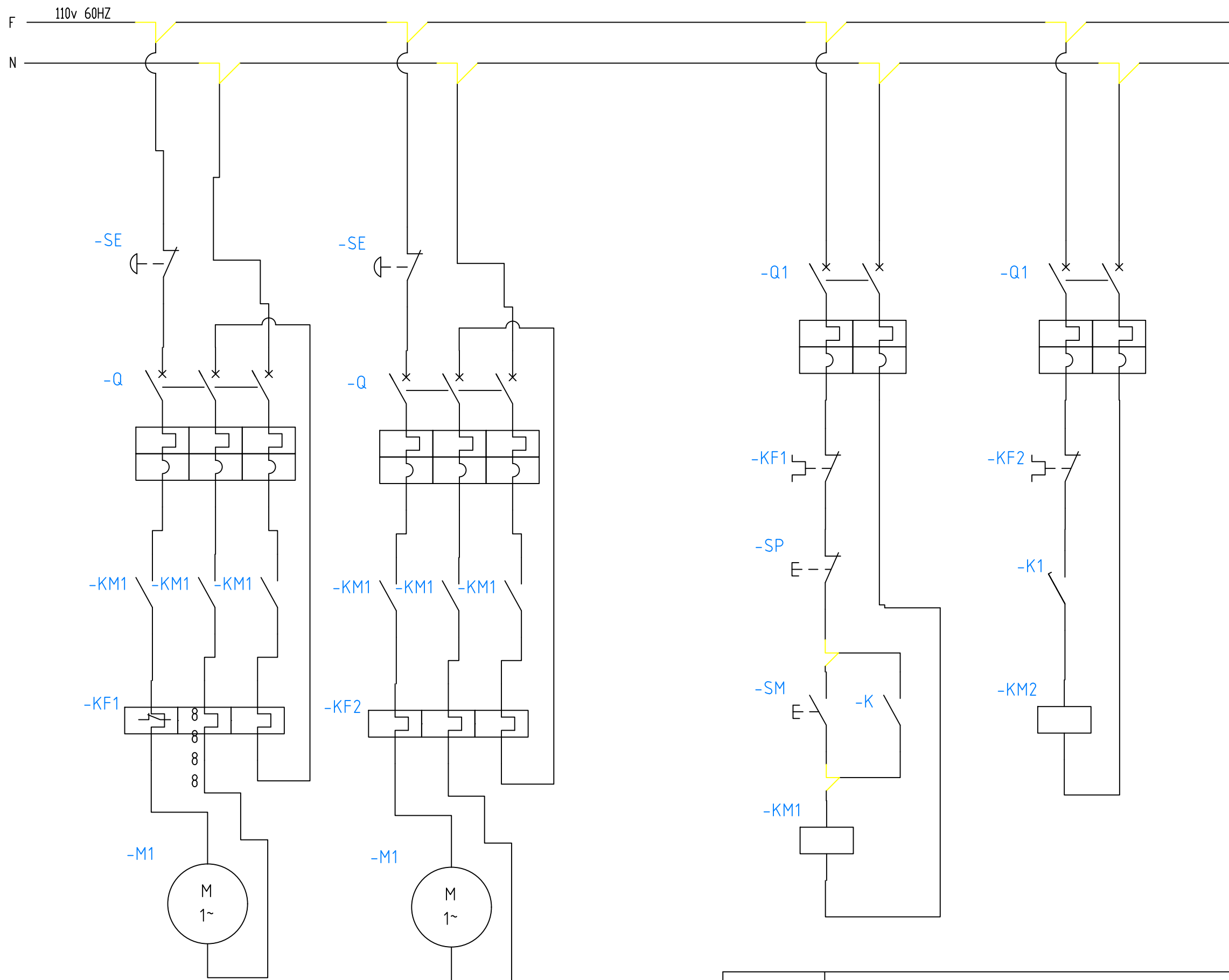


TRATAMIENTO		N/A		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO		N/A					
MATERIAL		TOL. GRAL.		ESCALA	DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22
AISI 304		±0.1		1:2,5	DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
					REV.	OSCULLO C.	07/12/22
PALA CUADRADA				D03-704			

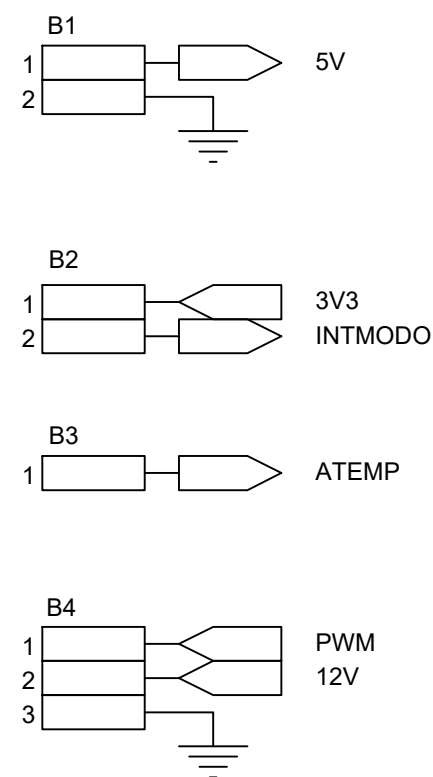


TRATAMIENTO		N/A		UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA		
RECUBRIMIENTO		N/A					
MATERIAL		TOL. GRAL.		ESCALA	DIB.	ANDAGOYA E.	12/04/22
AISI 304		±0.1		1:1	DIS.	ANDAGOYA E.	25/10/22
					REV.	OSCULLO C.	07/12/22
BUCÍN				D03-705			

Anexo E: Plano Eléctrico



UIDE	 INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIB.	ANDAGOYA E.	27/09/22	
		DIS.	ANDAGOYA E.	07/11/22	
		REV.	OSULLO C.	08/11/22	
MÁQUINA COMPOSTADORA CIRCUITO DE FUERZA Y MANDO		D02-001		ESCALA	
				N/A	
				N/A	

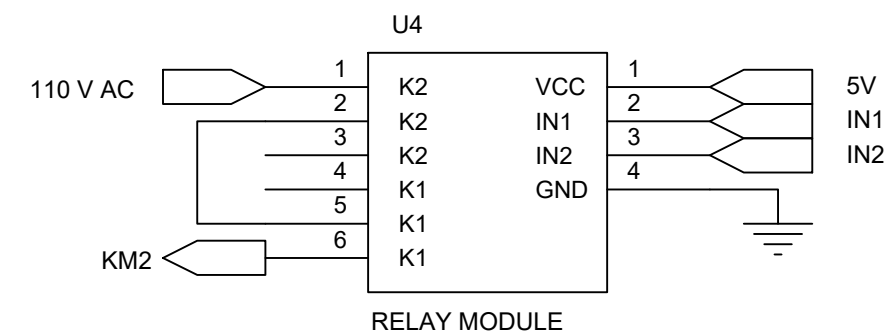
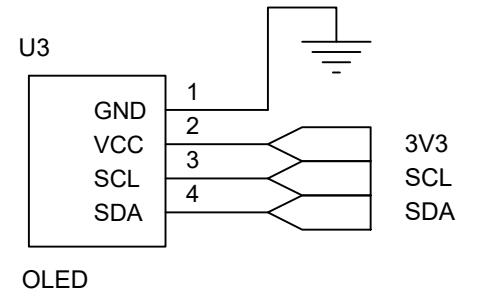
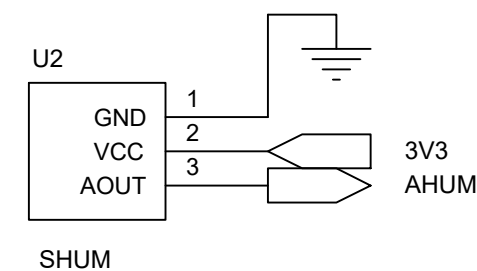
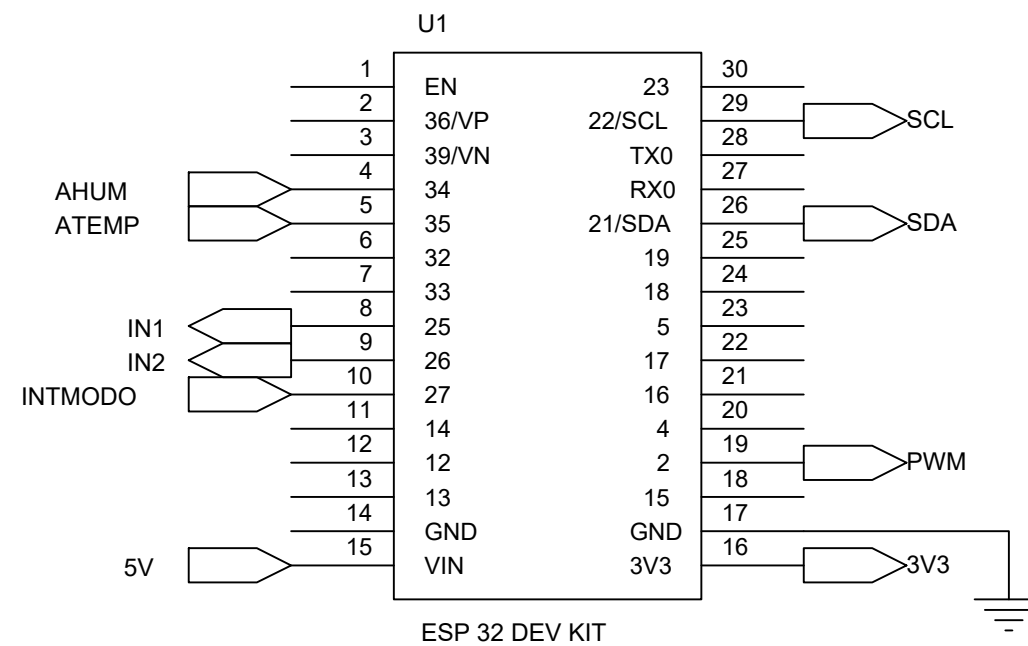


B1	
FUENTE ATX	
1	5V-12V
2	GND

B2	
BORNERA 2 PINES	
1	3V3
2	INTmodo

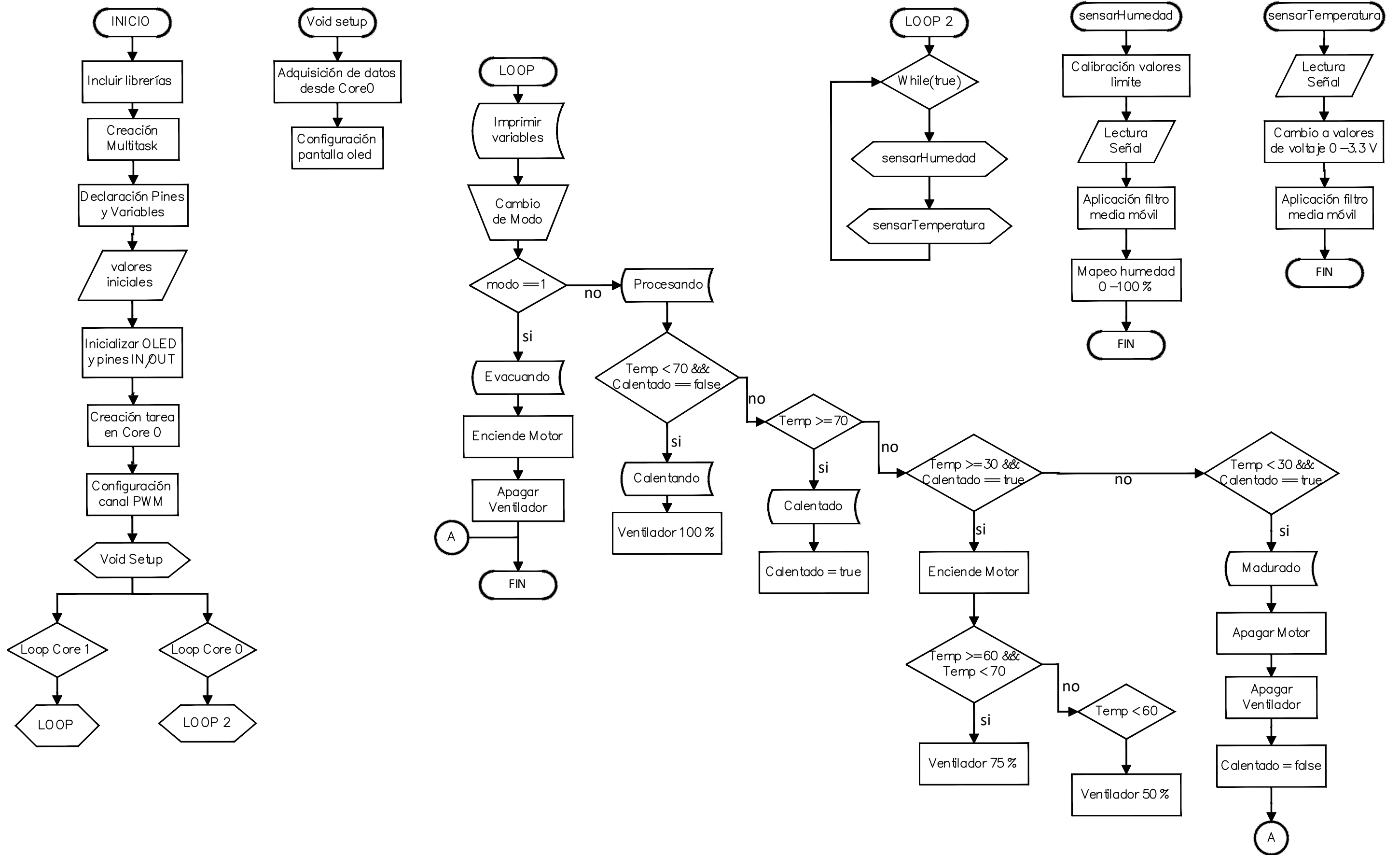
B3	
PT100	
1	ATEMP

B4	
VENTILADOR DC	
1	PWM
2	12 V
3	GND



UIDE	INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIB.	ANDAGOYA E.	27/09/22	
		DIS.	ANDAGOYA E.	07/11/22	
		REV.	OSULLO C.	08/11/22	
MÁQUINA COMPOSTADORA CIRCUITO DE CONTROL		D02-002		ESCALA	N/A
				N/A	

Anexo F: Plano Informático



UIDE	 INGENIERÍA MECATRÓNICA	DIB.	ANDAGOYA E.	27/09/22	
		DIS.	ANDAGOYA E.	07/11/22	
		REV.	OSULLO C.	08/11/22	
MÁQUINA COMPOSTADORA DIAGRAMA DE FLUJO		D01-001		ESCALA	N/A
				N/A	

Anexo G: Código Programación

```

#include <Wire.h> //i2c

#include <WiFi.h>

#include <Adafruit_GFX.h>

#include <Adafruit_SSD1306.h>

#define SCREEN_WIDTH 128 // OLED display width, in pixels
#define SCREEN_HEIGHT 64 // OLED display height, in pixels

#define OLED_RESET -1 // Reset pin # (or -1 if sharing Arduino reset pin)

#define SCREEN_ADDRESS 0x3C ///< See datasheet for Address; 0x3D for 128x64, 0x3C for
128x32

Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);

// -----Creacion Multitarea-----

TaskHandle_t taskCore0;

//-----VARIABLES GLOBALES-----

int contconexion = 0;

String header; // Variable para guardar el HTTP request

//----- Declaracion Pines -----

// Pines Sensores

const int HumPin = 34;

const int TemPin = 35;

// Pines rele

```

```
const int RelePinParo = 25;
```

```
const int RelePinMarcha = 26;
```

```
// Pin INTManual
```

```
const int ManualPin = 27;
```

```
// Pines Luces Indicadores
```

```
const int IndicadorPinMarcha = 4;
```

```
const int IndicadorPinParo = 5;
```

```
// Pin PWM
```

```
const int VentPin = 2;
```

```
// ----- Declaracion Variables -----
```

```
//Sensores
```

```
int humValor;
```

```
int humValor_s = 0;
```

```
float TempValor;
```

```
int TempValor_s;
```

```
float temp;
```

```
int valorFL;
```

```
// PWM ventilador
```

```
const int frecuencia = 120000;
```

```
const int canal = 0;
```

```
const int resolucion = 8;
```

```
int dutyCycle = 0;
```

```
// Control motor
```

```
int modo;
```

```

// Flags
bool listo_temp = false;
bool listo_humedad = false;
bool Flag = false;
bool Calentado = false;

//-----SETUP-----

void setup()
{
  Serial.begin(115200);

  // Creacion primera tarea en Core0
  xTaskCreatePinnedToCore
  (
    loop2,
    "SensorTemperatura_Humedad",
    1000,
    NULL,
    1,
    &taskCore0,
    0);

  // Conexión WIFI
  WiFi.begin(ssid, password);
  //Cuenta hasta 50 si no se puede conectar lo cancela
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED and contconexion <50)
  {
    ++contconexion;
    delay(500);
  }
}

```



```
    Serial.print(".");
}
if (contconexion <50)
{
//  para usar con ip fija
//  IPAddress ip(192,168,1,180);
//  IPAddress gateway(192,168,100,1);
//  IPAddress subnet(255,255,255,0);
//  WiFi.config(ip, gateway, subnet);

    Serial.println("");
    Serial.println("WiFi conectado");
    Serial.println(WiFi.localIP());
    server.begin(); // iniciamos el servidor
}
else
{
    Serial.println("");
    Serial.println("Error de conexion");
}

// Comprobar funcionalidad oled
if(!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, SCREEN_ADDRESS))
{
    Serial.println(F("SSD1306 allocation failed"));
}

// Inicializacion Pines
```

```

pinMode(RelePinParo, OUTPUT);
pinMode(RelePinMarcha, OUTPUT);
pinMode(IndicadorPinMarcha, OUTPUT);
pinMode(IndicadorPinParo, OUTPUT);
pinMode(ManualPin, INPUT_PULLDOWN);

//configuramos la funcionalidad PWM
ledcSetup(canal, frecuencia, resolucion);
//Asociamos el canal al GPIO
ledcAttachPin(VentPin, canal);
}

// -----Core0-----

// -----Adquisicion de señales-----
void loop2(void *parameter)
{
// valores humedad
while(true)
{
sensarHumedad();
listo_humedad = true;
sensarTemperatura();
listo_temp = true;
delay(100);
}
vTaskDelay(10);
}
}

```

```
//----- Lectura sensores -----
```

```
void sensorHumedad()
{
  const int valorAire = 3220;
  const int valorAgua = 1970;
  float alpha = 0.05;
  int valorSen;

  valorSen = analogRead(HumPin);
  valorFL = (alpha*valorSen)+((1-alpha)*valorFL);

  if (valorFL >= valorAgua && valorFL <= valorAire)
  {
    humValor = map(valorFL, valorAire, valorAgua, 0 , 100);
  }
  else
  {
    if (valorFL > valorAire)
    {
      humValor = 0;
    }
    else if (valorFL < valorAgua)
    {
      humValor = 100;
    }
  }
}
```

```

void sensarTemperatura()
{
    float alpha = 0.03;
    float dato;
    float voltaje;

    dato = (float)analogRead(TempPin);
    voltaje = 3.3*dato/4095;
    temp = voltaje*100/3.5;

    // filtro movil media pasa bajos
    TempValor = (alpha*temp)+((1-alpha)*TempValor);

}

// -----Core1-----
void loop()
{
    //Adquisicion de datos desde Core0
    if(listo_humedad == true)
    {
        humValor_s = humValor;
        Serial.print(humValor_s);
        listo_humedad = false;
    }
    if(listo_temp == true)
    {
        TempValor_s = TempValor;
        Serial.println("\t\t" + String(TempValor_s));
    }
    // Serial.print(temp);
    // Serial.print(",");
}

```

```
// Serial.println(TempValor_s);
    listo_temp = false;
}

// Configuracion pantalla oled
display.clearDisplay();
display.setTextSize(2);
display.setTextColor(WHITE);
display.setCursor(0,0);

// Imprimir variables
display.print("Hum: ");
display.print(humValor_s);
Serial.println(humValor_s);
display.println("%");
display.print("Tem: ");
display.print(TempValor_s);
display.println(" C");

modo = digitalRead(ManualPin);

if (modo == 1)
{
    display.println("Evacuando");
    //encender motor
    digitalWrite(RelePinMarcha, LOW);
    digitalWrite(RelePinParo, HIGH);

    //apagar ventilador
    dutyCycle = 0;
    ledcWrite(canal, dutyCycle);
```

```

}
else
{
    display.println("Procesando");

    //----- Fase 1: Calentamiento-----

    if(TempValor_s < 70 && Calentado == false)
    {
        display.println("Calentando");

        //apagar motor
        Serial.println("Apagar");
        digitalWrite(RelePinMarcha, HIGH);
        digitalWrite(RelePinParo, LOW);

        //encender ventilador 100%
        dutyCycle = 255;
        ledcWrite(canal, dutyCycle);
    }
    else if (TempValor_s >= 70)
    {
        display.println("Calentado");
        Calentado = true;
    }

    //----- Fase 2: Proceso-----

    if (TempValor_s >= 30 && Calentado == true)
    {
        display.println("Mezclado");

        //encender motor
        digitalWrite(RelePinMarcha, LOW);
    }
}

```

```

digitalWrite(RelePinParo, HIGH);
if (TempValor_s >= 60 && TempValor_s < 70)
{
  //encender ventilador 75%
  dutyCycle = 191;
  ledcWrite(canal, dutyCycle);
}
if (TempValor_s < 60)
{
  //encender ventilador 50%
  dutyCycle = 127;
  ledcWrite(canal, dutyCycle);
}
}
//----- Fase 3: Madurado-----
if(TempValor_s < 30 && Calentado == true)
{
  //apagar motor
  Serial.println("Apagar");
  digitalWrite(RelePinMarcha, HIGH);
  digitalWrite(RelePinParo, LOW);

  //apagar ventilador 0%
  dutyCycle = 0;
  ledcWrite(canal, dutyCycle);
  Calentado = false;
}
}
display.display();
delay(1000);
}

```