

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Facultad de Ciencias e Ingeniería



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

DISEÑO DE UNA MÁQUINA DOMÉSTICA AUTOMÁTICA PARA GENERAR COMPOST A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecatrónico,
que presenta el bachiller:

Renzo Rogger Acosta Gonzales

ASESOR: Elizabeth Roxana Villota Cerna, PhD

Lima, abril del 2016

RESUMEN

Una de las alternativas para la reutilización de los residuos orgánicos generados por las personas, producto de las actividades industriales, comerciales y domésticas, es el compostaje, proceso por el cual se puede obtener un producto biológicamente estable (compost) que puede ser utilizado para el enriquecimiento de suelos y áreas verdes. A pesar de que gran parte de los residuos orgánicos son provenientes de las actividades domésticas, estos muchas veces son eliminados y no son tomados en cuenta para su reutilización mediante técnicas de compostaje, ya que se requiere de un constante control y monitoreo, lo cual demanda tiempo y esfuerzo a las personas. Al no realizarse el compostaje correctamente, un mal proceso puede ser causante de la formación de malos olores y atracción de fauna contaminante.

En el presente trabajo se plantea el diseño de una máquina doméstica capaz de generar compost a partir de residuos orgánicos. Para ello, el sistema posee las siguientes características. Una cámara multipropósito, la cual permite almacenar, separar, contener y trasladar los residuos orgánicos ingresados a lo largo de diferentes días. También, un módulo de medición y manipulación del proceso de compostaje, el cual es móvil pudiendo así ubicarse de manera independiente en los cinco compartimientos de la cámara multipropósito que alberga los residuos orgánicos. El módulo de medición y manipulación permite monitorear y controlar el proceso en cada compartimiento de la cámara por medio de la medición de la temperatura y el nivel de oxígeno, seguido de la manipulación de las variables mencionados por medio del accionamiento de la bomba, el calentador o el mezclador/triturador si el proceso lo requiere. Por último, al final de cada cinco días los residuos procesados caen de la cámara al depósito del sistema de donde el usuario puede recoger el producto terminado.

APROBACIÓN DE TEMARIO DE TESIS





A mis padres, mi hermano, mis abuelitos que en paz descansan, mis abuelitas y toda mi familia que siempre me apoyaron a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme salud y fuerza durante el tiempo de la elaboración de la tesis.

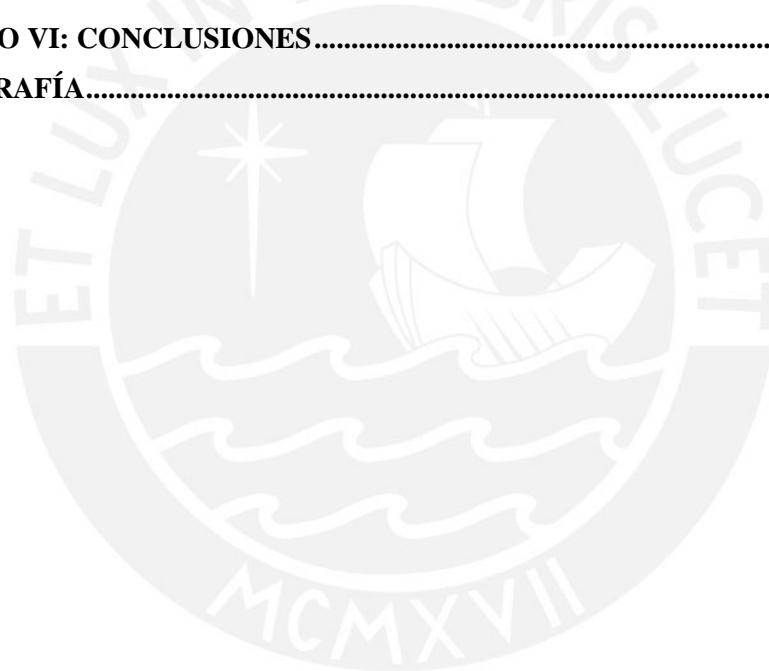
Agradezco a la Profesora Elizabeth Villota por su tiempo y sus consejos durante el desarrollo y revisión de la tesis y al Profesor César Lengua por su tiempo y colaboración en la revisión de los planos mecánicos.



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	2
APROBACIÓN DE TEMARIO DE TESIS	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTOS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Situación problemática.....	13
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo general.....	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
1.3 Justificación	16
1.4 Limitaciones.....	16
1.5 Organización	16
CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	18
2.1 Estado del arte.....	18
2.1.1 Productos comerciales y patentes.....	18
2.1.2 Investigaciones académicas y prototipos	20
2.2 Descripción del proceso	22
CAPÍTULO III. REQUERIMIENTOS Y DISEÑO CONCEPTUAL	24
3.1 Requerimientos	24
3.1.1 Requerimientos mecánicos.....	24
3.1.2 Requerimientos eléctricos-electrónicos.....	24
3.1.3 Requerimientos de control	25
3.1.4 Requerimientos de seguridad	25
3.1.5 Requerimientos de operación.....	25
3.2 Estructura de funciones.....	26
3.3 Matriz morfológica por dominio.....	30
3.4 Conceptos de solución	33
3.4.1 Primer concepto de solución	33
3.4.2 Segundo concepto de solución	35
3.5 Evaluación de los conceptos de solución	36
CAPITULO IV: DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO	38
4.1 Integración del sistema mecatrónico.....	38
4.2 Funcionamiento del sistema mecatrónico	39
4.3 Diseño electrónico.....	40

4.3.1 Diagrama de bloques.....	40
4.3.2 Componentes electrónicos y otros	40
4.3.3 Diagramas esquemáticos.....	54
4.4 Diseño mecánico	58
4.4.1 Planos de ensamble	58
4.4.2 Simulaciones de verificación mecánica	69
4.5 Diseño de control	75
4.5.1 Arquitectura de control	75
4.5.2 Diagramas de flujo.....	76
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE COSTOS.....	83
5.1 Costos de materiales.....	83
5.2 Costos de mano de obra	84
5.3 Costo de diseño	84
CAPITULO VI: CONCLUSIONES.....	86
BIBLIOGRAFÍA.....	87



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Generación de residuos sólidos urbanos en los años 2011 y 2012. Fuente: MINAM.	13
Figura 1.2. Composición física de los residuos sólidos urbanos en Lima. Fuente: MINAM	14
Figura 2.1. Compostador Nature Mill. Fuente: http://www.naturemill.net/	18
Figura 2.2. Compostador con sistema mezclado por medio de bandas. Fuente: [8]	19
Figura 2.3. Compostador con sistema de mezclado por paletas. Fuente: [8]	19
Figura 2.4. Modelado 3D del prototipo continuo automático para compostaje. Fuente [9].....	20
Figura 2.5. Diagrama de bloques del sistema mecatrónico. Fuente [10].	21
Figura 2.6. Sistema mecánico del compostador automatizado. Fuente [11].	21
Figura 2.7. Arquitectura del sistema de control del compostador automatizado. Fuente [11]. ...	21
Figura 2.8. Entradas y salidas en el proceso de compostaje. Fuente: http://www.conocimientosweb.net/	22
Figura 2.9. Etapas del proceso de compostaje	23
Figura 3.1. Bloque de energía del sistema. Fuente: Propia.	26
Figura 3.2. Bloque controlador del sistema. Fuente: Propia.	26
Figura 3.3. Bloque interfaz del sistema. Fuente: Propia.	27
Figura 3.4. Bloque de mecánica del sistema. Fuente: Propia.....	28
Figura 3.5. Bloque actuadores del sistema. Fuente: Propia.	29
Figura 3.6. Bloque sensores del sistema. Fuente: Propia.	29
Figura 3.7. Vista isométrica del primer concepto de solución	34
Figura 3.8. Vista de perfil del primer concepto de solución	34
Figura 3.9. Vista isométrica del segundo concepto de solución.	35
Figura 3.10. Vista de perfil del segundo concepto de solución.....	35
Figura 3.11. Análisis técnico económico de los conceptos de solución.....	37
Figura 4.1. Sistema mecatrónico. Fuente: Propia.....	38
Figura 4.2: Diagrama de bloques del sistema. Fuente: Propia.	41
Figura 4.3: ArduinoMega. Fuente: https://www.arduino.cc	42
Figura 4.4: Calentador tipo cartucho COMSTAT. Fuente: http://www.comstatinc.com/	43
Figura 4.5: Bomba de aire Parker T2-01. Fuente: http://ph.parker.com	44
Figura 4.6: Motor reductor WORMDRV V-G200. Fuente: https://www.motiondynamics.com.au	44
Figura 4.7: Motor a pasos Mercury SM-42BYG011. Fuente: https://www.sparkfun.com	45
Figura 4.8: Actuador lineal HDLS-8-50-12V. Fuente: https://www.servocity.com	46
Figura 4.9: Servo Dynamixel AX-12A. Fuente: http://www.trossenrobotics.com/	47
Figura 4.10: Probeta termocupla tipo T Watlow Flange Style 25. Fuente: https://www.watlow.com	48

Figura 4.12: Tarjeta basado en el MAX31856. Fuente: http://www.playingwithfusion.com/	49
Figura 4.13: Sensor de oxígeno Winsensor ME3. Fuente: http://www.winsensor.com/	49
Figura 4.14: Encoder absoluto AMCI ME15. Fuente: http://www.amci.com/	50
Figura 4.15: Controlador A4988. Fuente: http://www. https://www.pololu.com	51
Figura 4.16: Driver VNH50119. Fuente: https://www.pololu.com	52
Figura 4.17: Interruptor de fin de carrera Galco 54-416-BP. Fuente: http://www.galco.com/ ...	52
Figura 4.18: Fuente conmutada SANPU PS600. Fuente: http://es.aliexpress.com/	53
Figura 4.19: Fuente conmutada ANTRIX AP-B450R00. Fuente: https://www.mesajilhnos.com	53
Figura 4.20: Diagrama esquemático del sensor de oxígeno. Fuente: Propia.	54
Figura 4.21. Diagrama amplificador estandarizado. Fuente: National Instruments.....	54
Figura 4.22. Diagrama sensores de fuerza tipo resistencia. Fuente: Propia.	55
Figura 4.23. Conexiones del encoder con el arduino. Fuente: Propia.....	55
Figura 4.25. Diagrama esquemático del servomotor Dynamixel. Fuente: Propia.....	56
Figura 4.26. Diagrama esquemático del motor a pasos. Fuente: Propia.	56
Figura 4.27. Diagrama esquemático del motor reductor. Fuente: Propia.....	56
.....	57
Figura 4.28. Diagrama esquemático de la bomba de aire y calentador. Fuente: Propia.	57
Figura 4.29. Diagrama esquemático de LEDS indicadores. Fuente: Propia.	57
Figura 4.30. Vista isométrica a la derecha y vista frontal a la izquierda del ensamble general. Fuente: Propia.	58
Figura 4.31. Vista de sección A-A del ensamble general. Fuente: Propia.	59
Figura 4.32. Vista isométrica a la derecha y vista frontal a la izquierda del subensamble estructura de soporte. Fuente: Propia.	60
Figura 4.33. Vista de sección A-A del subensamble estructura de soporte. Fuente: Propia.	61
Figura 4.34. Vista isométrica de la plataforma de movimiento del módulo de medición y manipulación. Fuente: Propia.....	62
Figura 4.35. Vista en sección A-A de la plataforma de movimiento. Fuente: Propia.....	63
Figura 4.36. Vista de detalle D de la plataforma de movimiento del módulo. Fuente: Propia. ..	64
Figura 4.37. Vista frontal a la izquierda y vista isométrica a la derecha del subensamble del módulo de medición y manipulación. Fuente: Propia.....	65
Figura 4.38. Vista en sección A-A del módulo de medición y manipulación. Fuente: Propia. ..	66
Figura 4.39. Vista isométrica de la cámara multipropósito. Fuente: Propia.	67
Figura 4.40. Vista frontal de la cámara multipropósito. Fuente: Propia.	67
Figura 4.41. Vista superior de la plataforma de la cámara. Fuente: Propia.	68
Figura 4.42. Vista en sección A-A de la plataforma de la cámara. Fuente: Propia.....	68
Figura 4.43. Vista superior y vista isométrica de las paredes giratorias de la cámara. Fuente: Propia.	69
Figura 4.44. Estado de esfuerzos de la plancha cubierta. Fuente: Propia.	70

Figura 4.45. Desplazamiento de la plancha cubierta. Fuente: Propia.	70
Figura 4.46. Factor de seguridad de la plancha cubierta. Fuente: Propia.....	70
Figura 4.47. Estados de esfuerzos de la plancha soporte de la plataforma. Fuente: Propia.	71
Figura 4.48. Desplazamiento de la plancha soporte de la plataforma. Fuente: Propia.....	71
Figura 4.49. Factor de seguridad de la plancha soporte de la plataforma. Fuente: Propia.....	72
Figura 4.50. Estado de esfuerzos del plato circular de la cámara multipropósito. Fuente: Propia.	72
Figura 4.51. Desplazamiento del plato circular. Fuente: Propia.	73
Figura 4.52. Factor de seguridad del plato circular. Fuente: Propia.	73
Figura 4.53. Estados de esfuerzos de la plancha de depósito. Fuente: Propia.	74
Figura 4.54. Desplazamiento de la plancha de depósito. Fuente: Propia.	74
Figura 4.55. Factor de seguridad de la plancha de depósito. Fuente: Propia.	74
Figura 4.56. Arquitectura de control del sistema. Fuente: Propia.	75
Figura 4.57. Diagrama de flujo general. Fuente: Propia.	76
Figura 4.58. Diagrama de flujo de control de movimiento de la cámara multipropósito. Fuente: Propia.	77
Figura 4.59. Diagrama de flujo de la interrupción por tiempo. Fuente: Propia.	78
Figura 4.60. Diagrama de flujo para determinar la presencia de los residuos orgánicos en los compartimientos de la cámara multipropósito. Fuente: Propia.	79
Figura 4.61. Diagrama de flujo del control de secuencia del movimiento de la plataforma. Fuente: Propia.	80
Figura 4. 62. Diagrama de flujo del control del proceso de compostaje. Fuente: Propia.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Generación Per cápita de Residuos Sólidos Urbanos. Fuente: MINAM.	14
Tabla 3.1. Matriz morfológica – Sensores. Fuente: Propia.	30
Tabla 3.2. Matriz morfológica – Control. Fuente: Propia.	30
Tabla 3.3. Matriz morfológica – Mecánica. Fuente: Propia.	31
Tabla 3.4. Matriz morfológica – Actuadores. Fuente: Propia.	32
Tabla 3.5. Matriz morfológica – Energía. Fuente: Propia.	32
Tabla 3.6. Matriz morfológica – Interfaz. Fuente: Propia.	33
Tabla 3.7. Evaluación técnica de los conceptos de solución. Fuente: Propia.	36
Tabla 3.8. Evaluación económica de los conceptos de solución. Fuente: Propia.	36
Tabla 4.1. Requerimientos para la selección del microcontrolador. Fuente: Propia.	40
Tabla 4.2. Principales microcontroladores encontrados. Fuente: Propia.	40
Tabla 4.3. Características adicionales del ArduinoMega. Fuente: Propia.	42
Tabla 4.4. Requerimientos para la selección del calentador. Fuente: Propia.	42
Tabla 4.5. Principales calentadores eléctricos encontrados. Fuente: Propia.	42
Tabla 4.6. Características adicionales del calentador Comstat MCH1. Fuente: Propia.	43
Tabla 4.7. Requerimientos para la selección de la bomba de aire. Fuente: Propia.	43
Tabla 4.8. Principales bombas de aire encontradas. Fuente: Propia.	43
Tabla 4.9. Características adicionales de la bomba de aire Parker T2-01. Fuente: Propia.	44
Tabla 4.10. Requerimientos para la selección del motor reductor. Fuente: Propia.	44
Tabla 4.11. Principales motores eléctricos encontrados. Fuente: Propia.	44
Tabla 4.12. Características principales del motor reductor WormG200. Fuente: Propia.	44
Tabla 4.13. Requerimientos para la selección del motor pasos. Fuente: Propia.	45
Tabla 4.14. Principales motores a paso encontrados. Fuente: Propia.	45
Tabla 4.15. Características adicionales del motor Mercury SM-42BYG011. Fuente: Propia. ...	45
Tabla 4.16. Requerimientos para la selección del actuador lineal. Fuente: Propia.	46
Tabla 4.17. Principales servoactuadores lineales encontrados. Fuente: Propia.	46
Tabla 4.18. Características adicionales del servo actuador lineal HDLS-8-50-12V. Fuente: Propia.	46
Tabla 4.19. Requerimientos para la selección del servomotor. Fuente: Propia.	46
Tabla 4.20. Principales servomotores encontrados. Fuente: Propia.	47
Tabla 4.21. Características adicionales del servo Dynamixel AX-12A. Fuente: Propia.	47
Tabla 4.22. Principales sensores encontrados. Fuente: Propia.	47
Tabla 4. 23. Características adicionales de la termocupla tipo T Watlow F-25. Fuente propia. .	48
Tabla 4. 24. Principales adaptadores de señal para termocupla encontrados. Fuente propia.	48
Tabla 4.25. Características adicionales del MAX31856. Fuente: Propia.	49

Tabla 4.26. Principales sensores de oxígeno encontrados. Fuente: Propia.	49
Tabla 4.27. Características adicionales del sensor de oxígeno Winsensor ME3-02.	49
Fuente: Propia.	49
Tabla 4.28. Requerimientos para la selección del sensor de ángulo. Fuente: Propia.	50
Tabla 4.29. Principales encoders absolutos encontrados. Fuente: Propia.	50
Tabla 4.30. Características adicionales del encoder AMI ME15. Fuente: Propia.	50
Tabla 4.31. Requerimientos para la selección del controlador del motor a pasos. Fuente: Propia.	50
Tabla 4.32. Principales controladores para el motor a pasos encontrados. Fuente: Propia.	51
Tabla 4.33. Características adicionales del controlador A4988. Fuente: Propia.	51
Tabla 4.34. Requerimientos para la selección del controlador. Fuente: Propia.	51
Tabla 4.35. Principales controladores para el motor reductor encontrados. Fuente: Propia.	51
Tabla 4.36. Características adicionales del controlador VNH5019. Fuente: Propia.	52
Tabla 4.37. Requerimientos para la selección del interruptor final de carrera. Fuente: Propia. .	52
Tabla 4.38. Principales interruptores de final de carrera encontrados. Fuente: Propia.	52
Tabla 4.39. Características adicionales del final de carrera Galco 54-416-BP. Fuente: Propia. .	52
Tabla 4.40. Requerimiento para la selección de la fuente de alimentación. Fuente: Propia.	53
Tabla 4.41. Características de la fuente conmutada SANPU PS600. Fuente: Propia.	53
Tabla 4.42. Características de la fuente conmutada ANTRIX AP-B450R00. Fuente: Propia. ...	53
Tabla. 4.43. Componentes principales del ensamble general del sistema. Fuente: Propia.	59
Tabla. 4.44. Componentes principales del subensamble de la estructura de soporte. Fuente: Propia.	60
Tabla 4.45. Componentes principales de la plataforma de movimiento del módulo de medición y manipulación. Fuente: Propia.	64
Tabla 4.46. Componentes principales del módulo de medición y manipulación. Fuente: Propia.	66
Tabla 4.47. Componentes principales de la cámara multipropósito. Fuente: Propia.	67
Tabla 4.48. Componentes principales de la plataforma de la cámara. Fuente: Propia.	68
Tabla 4.49. Componentes principales de las paredes giratorias de la cámara. Fuente: Propia. ..	69
Tabla 5.1. Costos de materiales importados. Fuente: Propia.	83
Tabla 5.2. Costos de materiales nacionales. Fuente: Propia.	84
Tabla 5.3. Estimación de los costos de fabricación de los ejes. Fuente: Propia.	84
Tabla 5.4. Estimación de los costos de fabricación de las planchas. Fuente. Propia	85

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo, se presenta la situación problemática existente en torno a los residuos sólidos urbanos que anima el desarrollo de la tesis. También, se precisa el problema técnico a resolverse y se fijan los objetivos de la tesis y la justificación del mismo. Además, se especifica el alcance de la tesis y, finalmente, se resumen los temas a desarrollarse en los siguientes capítulos.

1.1 Situación problemática

La gestión inadecuada de residuos sólidos es un problema existente en las ciudades del país y en el resto del planeta. Evidencias de una mala gestión son la mala disposición y falta de tratamiento de los residuos sólidos [1]. Como resultado de esta situación, ocurre la generación de fauna nociva junto con la transmisión de enfermedades infecciosas, y la contaminación de recursos naturales como el aire, el agua y el suelo que originan problemas de salud pública [2].

Por lo mencionado, en la actualidad se buscan diferentes alternativas de tratamiento de los residuos sólidos. Gran parte de estos esfuerzos van dirigidos a los residuos sólidos urbanos, debido a las grandes cantidades que se generan y a su alto porcentaje de contenido orgánico en su composición física. Para evidenciar las grandes cifras de residuos generados, se presenta en la Figura 1.1 los datos mostrados por el Ministerio de Ambiente (MINAM) respecto a la generación de residuos sólidos urbanos en los departamentos del Perú en los años 2011 y 2012. Las unidades de las cifras son toneladas/año.

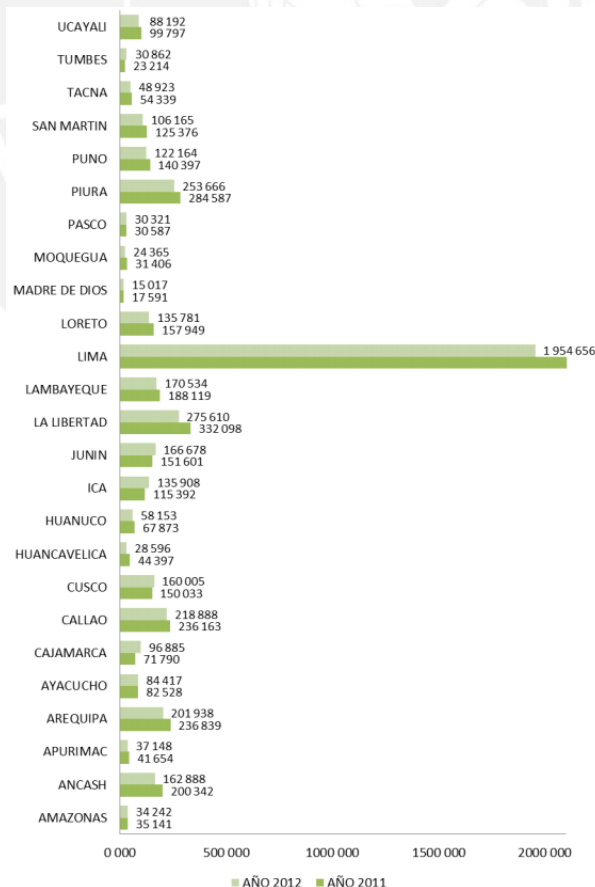


Figura 1.1. Generación de residuos sólidos urbanos en los años 2011 y 2012. Fuente: MINAM.

De la Figura 1.1 se puede observar un incremento en la generación de residuos del año 2011 al 2012 en la mayoría de departamentos del Perú. El departamento Huancavelica tuvo el mayor incremento de residuos orgánicos del 2011 al 2012 con una cifra del 55.26%. Además, se muestra claramente que Lima posee la mayor cifra de generación de residuos orgánicos.

Otro indicador más específico es la generación per-cápita (GPC) de residuos sólidos municipales cuyo valor fue 0.52 kg/hab/día en el año 2010 y 0.61 kg/hab/día en el año 2011 en promedio [3]. A continuación, en la Tabla 1.1 se muestran los valores del GPC en los años 2010 y 2011. Como se puede observar también existe un incremento en los valores del GPC del año 2010 al 2011 en la mayoría de departamentos del Perú.

Tabla 1.1. Generación Per cápita de Residuos Sólidos Urbanos. Fuente: MINAM.

Región	Año 2010			Año 2011		
	Generación de Residuos (kg/día)	Población ⁵ (hab)	GPC prom. (kg/hab/día)	Generación de Residuos (kg/día)	Población ⁵ (hab)	GPC prom. (kg/hab/día)
AMAZONAS	27 758	53 035	0,523	27 758	53 035	0,523
ANCASH	101 677	196 225	0,518	176 823	239 151	0,739
APURIMAC	71 078	155 090	0,458	31 131	55 991	0,556
AREQUIPA	64 563	161 928	0,399	387 582	682 204	0,568
AYACUCHO	72 019	105 445	0,683	50 416	90 638	0,556
CAJAMARCA	94 983	168 265	0,564	14 743	39 846	0,370
CALLAO	186 327	337 590	0,552	357 102	538 045	0,664
CUSCO	220 517	336 967	0,654	36 970	63 742	0,580
HUANCVELICA	S/D	S/D	S/D	8 380	11 026	0,760
HUANUCO	62 203	139 902	0,445	127 690	247 911	0,515
ICA	38 879	87 629	0,444	102 691	227 313	0,452
JUNIN	98 624	176 659	0,558	52 177	112 869	0,462
LA LIBERTAD	156 211	312 422	0,500	412 370	611 259	0,675
LAMBAYEQUE	122 622	213 697	0,574	259 533	483 987	0,536
LIMA	1 224 959	2 365 205	0,518	3 327 064	5 191 411	0,641
LORETO	68 030	124 143	0,548	147 001	235 524	0,624
MADRE DE DIOS	27 008	68 806	0,393	27 339	69 565	0,393
MOQUEGUA	S/D	S/D	S/D	67 946	117 586	0,578
PASCO	9 350	19 438	0,481	34 484	76 413	0,451
PIURA	353 057	655 425	0,539	397 263	692 788	0,573
PUNO	222 403	475 259	0,468	73 404	135 933	0,540
SAN MARTIN	87 392	151 025	0,579	125 751	206 650	0,609
TACNA	38 133	124 918	0,305	56 988	113 594	0,502
TUMBES	32 697	104 798	0,312	32 697	104 798	0,312
UCAVALI	98 446	144 138	0,683	131 582	201 663	0,652
Total/ Promedio	3 478 937	6 678 009	0,521	6 466 885	10 602 942	0,610

Respecto a su composición física, los residuos sólidos urbanos presentan en promedio un contenido orgánico del 50% del total; sin embargo, existirá variaciones alrededor del valor medio, ya que esta cifra depende mucho de las los hábitos familiares en cada hogar [4]. En la Figura 1.2 se muestra la composición física de los residuos sólidos urbanos en el departamento de Lima. Como se puede observar el valor de su contenido orgánico es 51.81% del total.

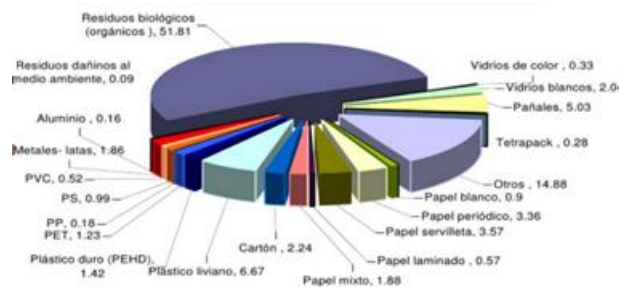


Figura 1.2. Composición física de los residuos sólidos urbanos en Lima. Fuente: MINAM

Diferentes alternativas de solución para el tratamiento de los residuos sólidos requiere contar con un soporte tecnológico. En esta línea, el gobierno peruano no es ajeno a contribuir con el desarrollo tecnológico; por ejemplo, el Ministerio del Ambiente con la participación del Ministerio de Relaciones Exteriores, el Ministerio de Economía y Finanzas y el Centro Nacional de Planeamiento Estratégico dirigen el programa de Planificación ante el Cambio Climático que busca construir las bases técnicas y científicas así como las capacidades para explorar la factibilidad de un desarrollo limpio [5].

Como iniciativa de solución, en la COP20, el Plan CC propuso respecto al tratamiento de residuos sólidos la segregación de residuos orgánicos en fuente (domicilios y mercados del distrito), parques y jardines, para luego ser tratados mediante métodos de compostaje.

Tomando como alternativa el proceso de compostaje para ser parte activa en la solución de la problemática planteada se propone diseñar una máquina automática que permita la obtención de compost a través de la preparación de los residuos orgánicos y del posterior monitoreo y control del proceso de compostaje para poder así favorecer la obtención de un producto biológicamente estable, el cual puede ser utilizado a nivel doméstico para el enriquecimiento de los suelos y áreas verdes. Con ello no solo se logra la reutilización de material considerado como desperdicio, sino nos permite contar con una tecnología comprometida con el cuidado del medio ambiente y el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos municipales.

El diseño de una máquina automática de uso doméstico capaz de generar compost requiere conocer las características del proceso y como se le puede controlar y favorecer desde un enfoque mecatrónico. Por ello, en el capítulo 2 se describirá algunos estudios realizados respecto al proceso de compostaje y como ello nos puede ayudar algunos requerimientos en el diseño de la máquina.

1.2 Objetivos

En esta sección se describe el objetivo general de la tesis y los objetivos específicos necesarios para alcanzarlo.

1.2.1 Objetivo general

El objetivo general es diseñar una máquina automática que permita obtener compost previa preparación de los residuos orgánicos y posterior monitoreo y control del proceso de compostaje favoreciendo así la obtención de un producto biológicamente estable.

1.2.2 Objetivos específicos

- a. Revisar estudios realizados respecto al proceso de compostaje
- b. Realizar una revisión del estado del arte de manera que se pueda obtener información importante para el establecimiento de los requerimientos del diseño del sistema.
- c. Definir los requerimientos de diseño del sistema considerando la influencia del proceso de compostaje en el sistema mecánico, electrónico y control.
- d. Realizar el diseño conceptual empleando metodologías de diseño para alcanzar el concepto de solución óptimo.
- e. Diseñar la estructura y los sistemas mecánicos que permitan dar soporte al sistema.
- f. Seleccionar los sensores, procesador y componentes electrónicos que permitan medir y acondicionar las variables de estado del sistema y las variables externas (proceso de

- compostaje), procesar la información y enviar la información de salida a los actuadores para la manipulación de las variables.
- g. Seleccionar los actuadores necesarios que permitan dar movimiento a los sistemas mecánicos en base a las solicitudes externas.
 - h. Identificar las estrategias de control que permitan controlar de manera automática al sistema y al proceso de compostaje asociado.
 - i. Calcular los costos totales del sistema considerando los costos de los componentes utilizados, estimando los costos de fabricación empleados en la realización del proyecto y el costo de diseño.

1.3 Justificación

En el mercado, existen productos comerciales domésticos con una capacidad promedio 10 litros que permiten realizar el proceso de compostaje de los residuos orgánicos generados; sin embargo, la mayor parte de estos productos no están diseñados para alimentar de manera diaria a la máquina con los desperdicios orgánicos sino que se debe esperar que el proceso de compostaje culmine, el cual dura un promedio de tres días dentro de la máquina. De esta manera, se exige al usuario agrupar residuos orgánicos durante cierto intervalo de días pudiendo ocasionar la atracción de fauna contaminante, contaminación del ambiente y/o generación de malos olores. Otra opción a tomar sería enviar los residuos orgánicos a la basura perdiendo así eficiencia en el tratamiento de estos. En el caso de forzar el ingreso de residuos orgánicos en los productos comerciales puede ocasionar la obtención de un producto no homogéneo y de baja calidad.

El presente trabajo se diferencia de los productos comerciales existentes, ya que su configuración mecánica permite la alimentación diaria de residuos orgánicos durante varios intervalos de una jornada y evita la mezcla de los desperdicios generados en diferentes días. La máquina permite realizar un control del proceso de compostaje a cada grupo diario de residuos de manera independiente. Evitando así trabajo al usuario, eliminando potenciales causantes de contaminación y mejorando la eficiencia en el tratamiento.

1.4 Limitaciones

Según lo mencionado anteriormente, el objetivo general del proyecto es realizar solo el diseño de la máquina, por lo que no se presenta ningún prototipo ni pruebas realizadas.

Por otro lado, la máquina realiza el control del proceso de compostaje solo por medio de la medición de dos variables de estado del proceso que son la temperatura y la concentración de oxígeno, las cuales son normalmente las más influyentes en el proceso. Otras variables como la humedad, el pH, la relación C/N y medición de otros gases permitiría aumentar aún más la eficiencia del proceso; sin embargo, estas variables no son tomadas en cuentas, ya que implicaría incrementar bastante la complejidad del diseño.

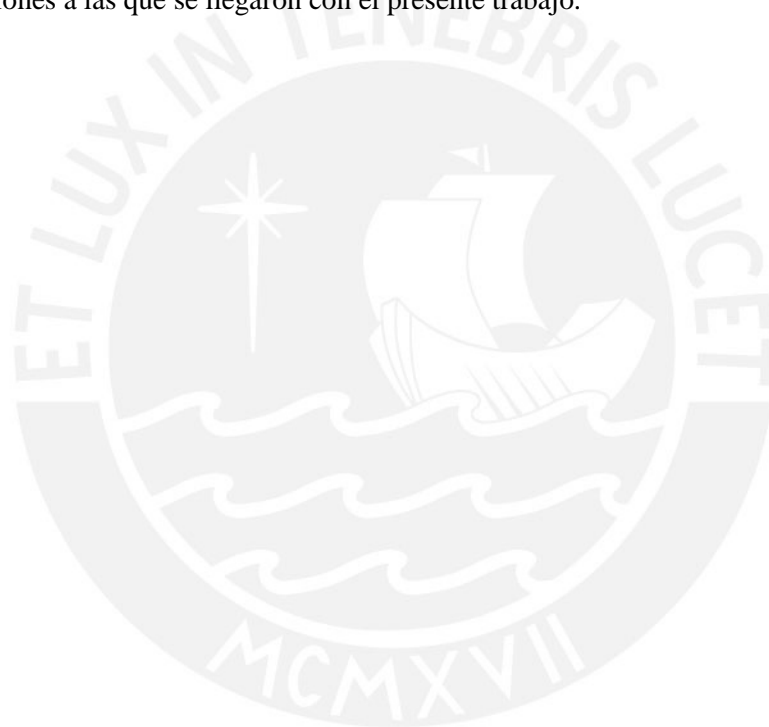
1.5 Organización

La presente tesis se encuentra organizada en seis capítulos dentro de los cuales se incluye la introducción presentada a lo largo del primer capítulo. Se continúa con el Capítulo II, en el cual se describe, en primer lugar, el proceso de compostaje y se muestran algunas investigaciones realizadas en torno al tema. Luego, se presenta el estado tecnológico, el cual incluye información de patentes y productos comerciales así como prototipos e investigaciones académicas. El objetivo del contenido de este capítulo es tener conocimientos respecto al tema y poder tomarlos en consideración en la etapa de diseño.

A partir del Capítulo III, se empieza el proceso de diseño en ingeniería. Este capítulo se divide en requerimientos del sistema y diseño conceptual. En la primera parte, se presenta las consideraciones tomadas en cuenta desde cuatro enfoques: mecánico, electrónico, control, seguridad y operación. En la segunda parte, se describen las ideas propuestas partiendo de la estructura de funciones, la matriz morfológica, las alternativas de solución propuestas y la evaluación del concepto óptimo.

El capítulo IV comprende el desarrollo del sistema mecatrónico. Primero, se empieza mostrando y describiendo el funcionamiento del todo el sistema mecatrónico. Luego, se describe el diseño electrónico, el cual comprende el diagrama de bloques del sistema, la selección de componentes electrónicos y la presentación de los diagrama esquemáticos. Continúa, con el diseño mecánico donde se muestran y describen los planos de ensamble y despiece de los componentes del sistema así como algunas simulaciones. Finalmente, en el diseño de control se presenta la arquitectura de control propuesta y se desarrolla los diagramas de flujo correspondientes.

En el capítulo V, se analizan los costos del sistema y, finalmente, en capítulo VI se mencionan las conclusiones a las que se llegaron con el presente trabajo.



CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

2.1 Estado del arte

En el presente capítulo se describen los productos comerciales existentes y patentes respecto a máquinas de compostaje para uso doméstico.

2.1.1 Productos comerciales y patentes

- NatureMill - Compost Made Easy [7]

Es una empresa norteamericana que brinda soluciones de compostaje automatizado en el sector doméstico desde el año 2004. Su última y tercera línea de productos llamada ECO Series (ver Figura 2.1) ofrece las siguientes nuevas características con el objetivo de atender a las necesidades de sus consumidores y proveedores:

- Tecnología de filtro de aire patentado permite que los malos olores no escapen
- Operación silenciosa permitiendo el compostaje dentro de casa.
- Material duradero y eficientemente energético, debido a que el proceso de compostaje es realizado en caliente para garantizar altas velocidades en el proceso.
- Gran capacidad
- Fácil operación

El sistema cuenta con dos cámaras. La primera se encarga de calentar, mezclar y oxigenar ayudando a que los microorganismos degraden los residuos en pocos días. Luego, los residuos son trasladados a otra cámara donde continúa el proceso de compostaje por una semana; así, se puede ir utilizando la primera cámara para otros residuos orgánicos.

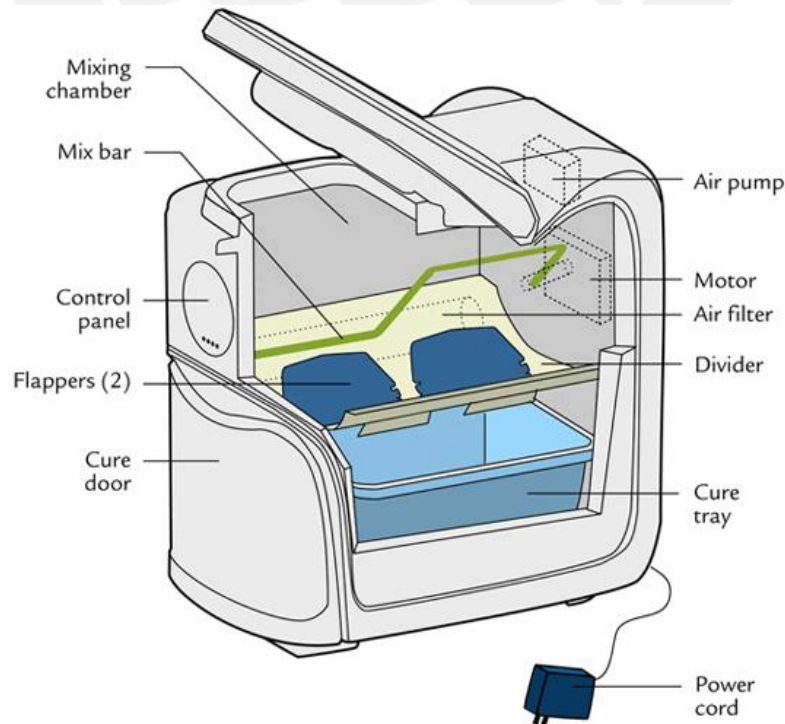


Figura 2.1. Compostador Nature Mill. Fuente: <http://www.naturemill.net/>.

- Compostador automatizado a pequeña escala [8]

El siguiente compostador doméstico mostrado en la Figura 2.2 está compuesto de una entrada (36) para los residuos orgánicos, una cámara de mezclado (12), una cámara de compostaje (14) y una salida para el compost (52). La conexión entre la cámara de mezclado y compostaje se da a través de una compuerta articulada (23). El sistema de mezclado es realizado por bandas (32). El flujo de aire para la ventilación sigue el recorrido desde su entrada (56) pasando a través de los agujeros (20) de la puerta articulada siguiendo por los orificios (54) de la base de la cámara de compostaje y saliendo por espacio hueco mostrado por las flechas de la figura 1, el cual cuenta con un biofiltro para evitar el mal olor y el escape de componente tóxicos producidos durante el proceso de compostaje hacia el medio ambiente. En la Figura 2.3 presenta como alternativa un sistema de mezclado realizado por paletas.

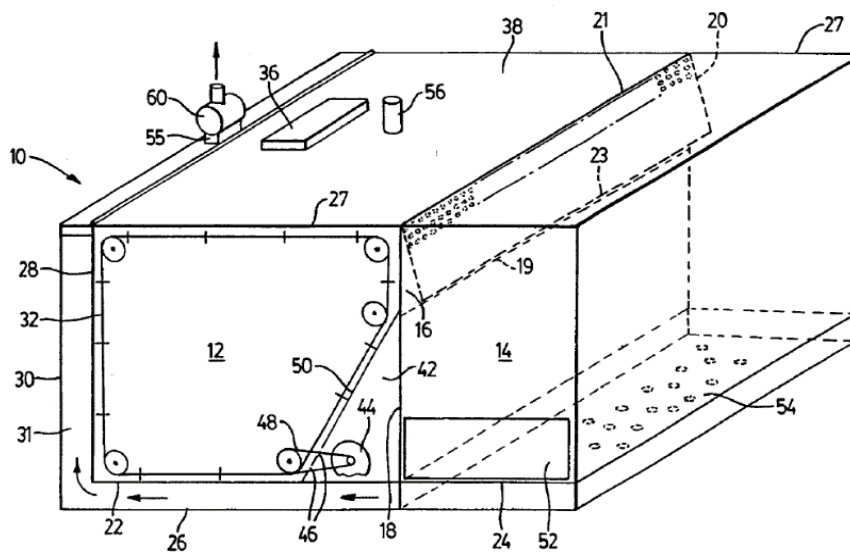


Figura 2.2. Compostador con sistema mezclado por medio de bandas. Fuente: [8]

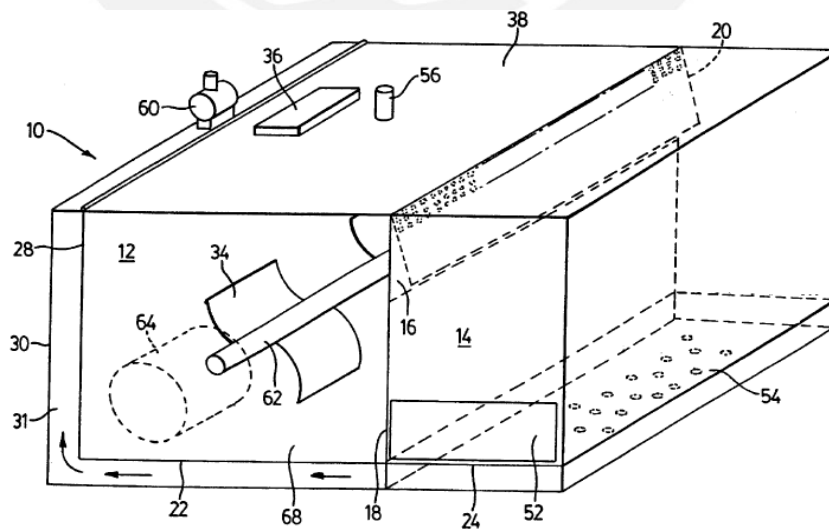


Figura 2.3. Compostador con sistema de mezclado por paletas. Fuente: [8]

2.1.2 Investigaciones académicas y prototipos

- Diseño, construcción y prueba de un prototipo automático para compostaje [9]

Este diseño se presenta un sistema continuo de compostaje capaz de procesar 3 kg de residuos sólidos orgánicos. Los residuos introducidos al prototipo permanecen en el compostador por un tiempo de 30 días. Los residuos sólidos orgánicos en el prototipo tienen el siguiente flujo. Se inicia con la introducción del material por la puerta de alimentación cayendo sobre la primera banda que se desplaza 133 mm por día garantizando que el material permanezca por un periodo de 7.5 días antes de caer a la segunda banda. La primera flecha con aspas permite desmenuzar y facilitar la caída del material a la siguiente banda. La segunda banda recibe el material que cae de la primera banda y lo transporta a 95 mm por día manteniendo a los residuos por un periodo de 10.5 días antes de caer a la tercera banda. La flecha con aspas al final de la segunda banda cumple la misma función que la anterior. Los residuos que caen de la tercera banda son transportados a 83 mm por día permitiendo que el material permanezca durante 12 días antes que caiga al recipiente recolector. Al final de la banda también se cuenta con una flecha con aspas que la realiza la misma función que las dos primeras. El material que cae de la tercera banda es recibido por un recipiente recolector que tiene una capacidad de recibir el material procesado de siete días. En la Figura 2.4 se muestra el modelado 3D del prototipo continuo automático para compostaje.

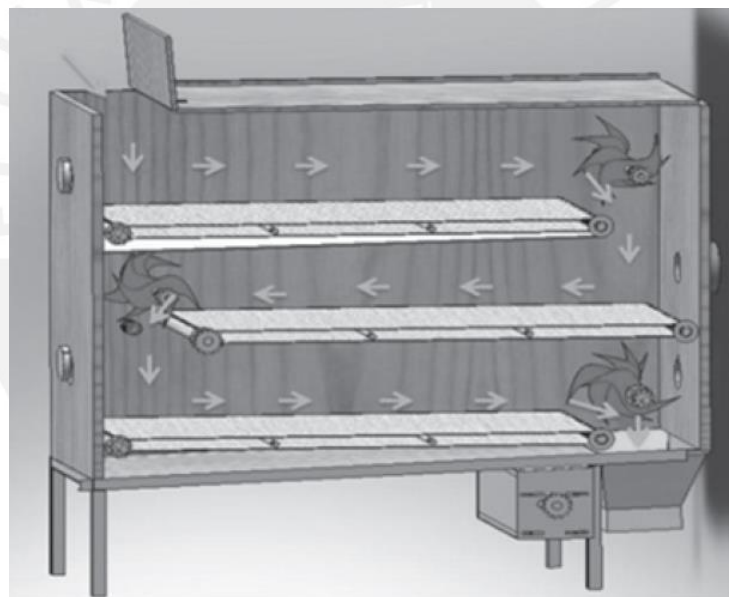


Figura 2.4. Modelado 3D del prototipo continuo automático para compostaje. Fuente [9].

- Diseño y construcción de un compostador para uso doméstico [10]

Este artículo describe los principales aspectos a tener en cuenta en el diseño y construcción de un compostador para uso doméstico. Debido a que el proceso de compostaje es un proceso bioquímico el objetivo del sistema mecatrónico es proveer las condiciones óptimas para el desarrollo del proceso. Una importante característica del sistema es que la alimentación de energía es realizada por celdas fotoeléctricas. Los factores que participan en el proceso de compostaje son temperatura, humedad, aireación y balance de nutrientes. En la Figura 2.5 se muestra el diagrama de bloques del sistema mecatrónico de un compostador doméstico en cual se muestra el uso de un sensor de temperatura y humedad, un sistema mecánico de volteo; además, de un sistema de monitoreo de las variables y la fuente de alimentación.

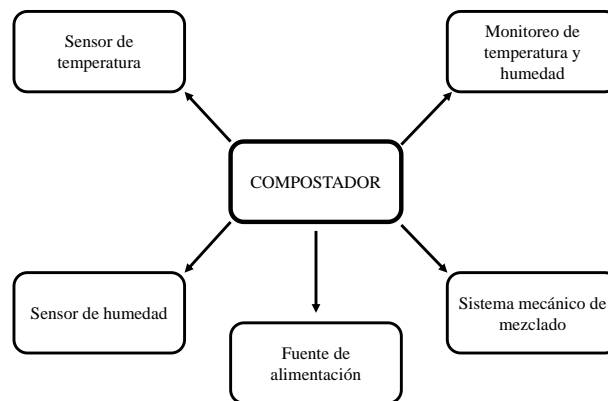


Figura 2.5. Diagrama de bloques del sistema mecatrónico. Fuente [10].

- Proyecto Compostador automatizado [11]

Este proyecto de la Universidad Nacional de Río Negro tiene como objetivo desarrollar un prototipo que permita automatizar el proceso de tratamiento de residuos sólidos orgánicos mediante la tecnología de compostaje. En la Figura 2.6 se muestra el modelo 3D del sistema mecánico propuesto, el cual consta de un tornillo de Arquímedes para el transporte y mezclado de residuos orgánicos así para facilitar la ventilación del mismo.

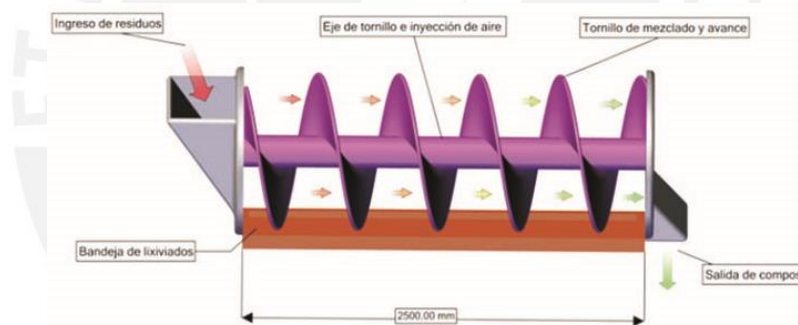


Figura 2.6. Sistema mecánico del compostador automatizado. Fuente [11].

En la Figura 2.7 se muestra la arquitectura de control del compostador automatizado, el cual está conformado por un sensor de temperatura, una válvula para regular el flujo de aire, un sistema de control y adquisición de datos, y un sistema de análisis de los gases de salida.

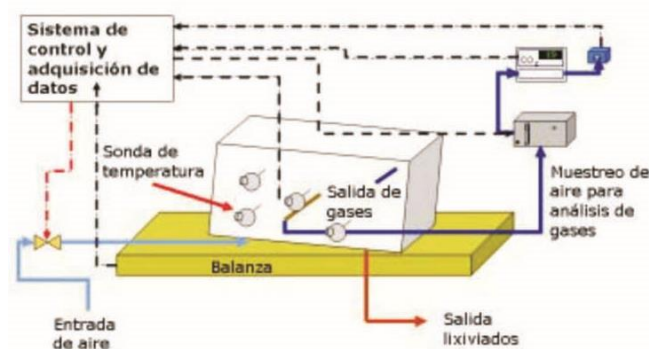


Figura 2.7. Arquitectura del sistema de control del compostador automatizado. Fuente [11].

2.2 Descripción del proceso

En esta sección, se explica el proceso de compostaje desde un punto de vista técnico y científico. También, se muestran investigaciones realizadas que describen la influencia de los parámetros físicos y químicos en el proceso de compostaje.

2.2.1 Definición del proceso de compostaje

Desde un punto de vista técnico y científico, el compostaje es un proceso dinámico en donde los microorganismos degradan la materia orgánica dando como resultado un fenómeno de transferencia de energía y masa involucrando complejos procesos químicos y físicos [12].

El proceso de compostaje empieza con la degradación de residuos orgánicos en partículas más pequeñas. Si es realizado de manera natural esta primera etapa de degradación es realizada por parte de las lombrices, nematodos e insectos de suelo, pero si es llevado a cabo en condiciones controladas la materia es cortada o molida por operadores o máquinas. Una vez que estas condiciones físicas han sido establecidas, los microbios colonizan la materia orgánica e inician el proceso de compostaje propiamente dicho [13]. La mayor parte de microorganismos encargadas de continuar con el proceso de biodegradación se encuentran presente en los mismos desperdicios; sin embargo, cabe la posibilidad de agregar otros microbios de tierra. En la Figura 2.8 se muestran las entradas y salidas típicas en un proceso de compostaje



Figura 2.8. Entradas y salidas en el proceso de compostaje. Fuente: <http://www.conocimientosweb.net/>

Para el proceso de biodegradación de los microorganismos los compuestos de carbono presentes en los materiales orgánicos son tomados por los microorganismos como fuente de energía y son transformados en dióxido de carbono. El oxígeno del entorno es consumido por los microorganismos y debe ser repuesto para prevenir cualquier proceso anaeróbico [14]. El proceso de compostaje suele dividirse en cuatro etapas en función del valor de la temperatura en el proceso. Estas fases son las siguientes: fase mesófila, fase termófila y fase de maduración. En la Figura 2.9 se muestra la representación gráfica de las fases mencionadas a lo largo del tiempo. La fase en donde la descomposición es más rápida es en la fase termófila dada a la naturaleza de los microorganismos resistentes a altas temperatura. Normalmente, se tiene control sobre la etapa de activación: fase mesófila y fase termófila, ya que la etapa de curado es un proceso que por naturaleza requiere largos periodos de tiempo.

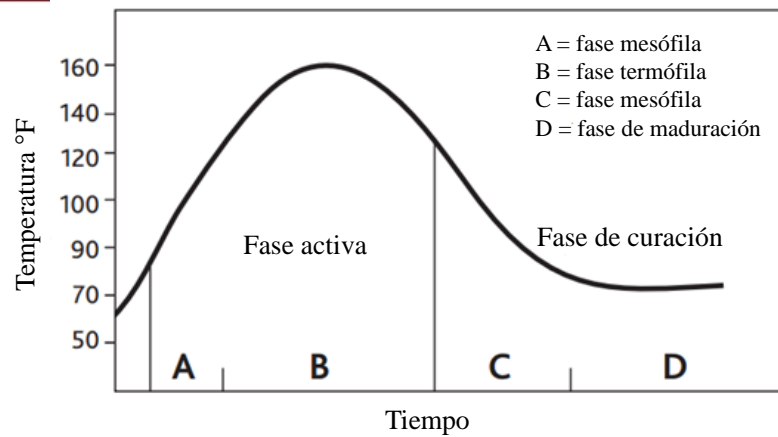


Figura 2.9. Etapas del proceso de compostaje

2.2.1 Factores que influyen en el proceso de compostaje

Las variables físicas y químicas más importantes que influyen en el proceso de compostaje se describen a continuación.

Temperatura

La temperatura influye la actividad y el crecimiento de los microorganismos afectando así la tasa de descomposición de la materia orgánica. Respecto a las altas temperaturas, favorece la degradación de componentes orgánicos y elimina los patógenos que existen en la materia. Sin embargo, temperaturas altas mayores a los 65°C pueden inhibir la actividad microbiana. Por ello, el rango de temperatura óptimo esta entre 50°C y 60°C.

Oxígeno

El compostaje es un proceso aeróbico, ya que los microorganismos encargados de realizar el proceso de compostaje requieren de oxígeno para sobrevivir. La concentración relativa de oxígeno en la atmosfera es del 21%; sin embargo, los microorganismos pueden sobrevivir a concentraciones de oxígeno bajas como el 5%. Un valor por encima del 10% se considera óptimo para el proceso de compostaje.

Tamaño de la partícula de materiales

La tasa de degradación de la materia orgánica aumenta para tamaños de partículas pequeñas, ya que los microorganismos cuentan una mayor superficie de ataque. El rango óptimo del tamaño de la partícula es de 1 a 2 cm.

Humedad

Para el proceso de compostaje, el nivel máximo de humedad debe ser controlado para asegurar un proceso aeróbico. De manera favorable, la materia orgánica contiene un porcentaje de humedad alrededor del 55%, lo cual favorece al proceso de compostaje.

CAPÍTULO III. REQUERIMIENTOS Y DISEÑO CONCEPTUAL

3.1 Requerimientos

Los requerimientos necesarios para el diseño de la máquina se separan en cinco grupos: mecánicos, electrónicos, control, seguridad y operación. A continuación, se detalla cada uno de ellos. La lista de exigencias se muestra en el Anexo A.

3.1.1 Requerimientos mecánicos

- El sistema debe contar con las siguientes dimensiones máximas: ancho 60 cm, largo 60 cm y altura 140 cm para pueda ser instalado con facilidad dentro de las casas.
- La capacidad volumétrica del sistema debe garantizar el espacio necesario para albergar a todos los componentes mecánicos (estructuras de soporte, elementos de transmisión de potencia, mecanismos, etc.) y componentes electrónicos (actuadores, sensores, drivers y procesadores). Además, se debe contar con el espacio suficiente para contener a los residuos orgánicos a procesar y para el producto obtenido.
- Los actuadores deben ser capaz de generar las magnitudes de fuerza y torques requeridas por las cargas de trabajo. Además, garantizar la dirección, sentido y tipo de movimiento requerido por los mecanismos de la máquina.
- Los elementos de unión entre los componentes deben garantizar el correcto funcionamiento de cada uno de ellos.
- Para el proceso de compostaje, el sistema de inyección de aire debe garantizar la correcta oxigenación de los microorganismos encargados de la degradación de los residuos orgánicos, así como una correcta ventilación de los desperdicios.
- Con respecto al proceso de compostaje, se debe contar con un sistema de trituración capaz de obtener un material fraccionado en tamaños de 1 a 5 cm para acelerar el proceso de compostaje.
- Debido que el proceso de compostaje trabajará con una temperatura máxima de 55°C, los materiales que interactúan de cerca deben ser térmicamente resistentes a este valor, o en todo caso estar aislados.
- Los elementos requeridos deben ser posibles de manufacturar o estar disponibles en el mercado.

3.1.2 Requerimientos eléctricos-electrónicos

- El sistema debe será alimentando con una toma de corriente, en Perú 220V AC; por ello, el sistema deberá contar con los componentes necesarios para la conversión de los voltajes para la alimentación de actuadores, sensores, procesadores, etc.

- El sistema debe contar con los componentes necesarios que sirvan de interfaz entre la etapa de control y potencia.
- El sistema debe contar con los elementos necesarios para adaptar las señales de información proveniente de los sensores, en caso de requerirlo, para que pueda ser correctamente interpretada por los procesadores.

3.1.3 Requerimientos de control

- El sistema debe contar con un procesador capaz de procesar todas las señales analógicas o digitales que recibe de los sensores y enviar las señales de control a todos los actuadores del sistema.
- El sistema debe contar con sensores que permitan conocer el estado propio del sistema e indicar de alguna manera al usuario el estado de la máquina para que así el dispositivo pueda ser utilizado correctamente.
- El sistema debe contar con un sistema de control de proceso de compostaje de los residuos orgánicos utilizando como información las variables de estado medidas en el proceso.
- Para la medición de las variables de estado se contarán con sensores de temperatura, oxígeno y presencia.

3.1.4 Requerimientos de seguridad

- El sistema de transmisión de potencia debe estar aislado y no permitir el contacto con el usuario.
- El sistema debe contar con los circuitos eléctricos y electrónicos totalmente aislados del usuario y del proceso.

3.1.5 Requerimientos de operación

- El dispositivo debe ser capaz de contener los residuos orgánicos producido por cada familia en promedio, cuyo valor máximo promedio es 1.5 kg.
- El dispositivo debe ser capaz de generar 4 litros de compost por día a partir de los residuos sólidos orgánicos originados producto de las actividades domésticas.

3.2 Estructura de funciones

A continuación, se presenta los bloques que conforman la estructura de funciones del sistema. Las funciones de cada bloque son descritas. Los bloques funcionales del sistema son los siguientes: energía, actuadores, sensores, controlador, mecánica e interfaz. Por motivos de espacio en el Anexo B, se muestra la estructura de funciones completa.

Bloque Energía

En la Figura 3.1, se muestra el bloque de energía del sistema. La función del bloque es acondicionar el voltaje de alimentación de entrada del sistema a los bloques de actuadores, sensores, controlador e interfaz.

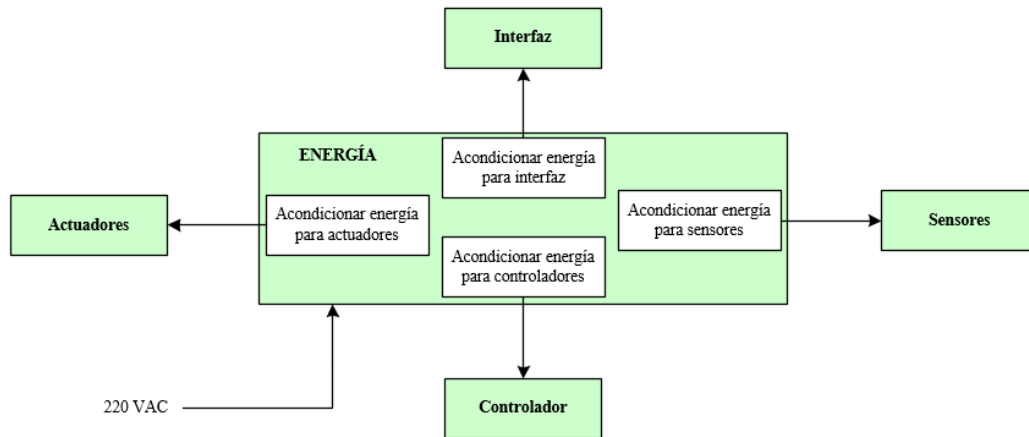


Figura 3.1. Bloque de energía del sistema. Fuente: Propia.

Bloque Controlador

En la Figura 3.2 se presenta el bloque controlador. La función “Lógica secuencial del proceso” (LSP)” se encarga de enviar las señales de control a los actuadores; además se encarga de leer de los sensores las variables de estado propias de la máquina e interpretarlas. La función “Controlar temperatura” se encarga de leer de los sensores la variable temperatura, procesar la información y enviar la señal de control a la función LSP; además, se puede enviar la información de temperatura a una interfaz para monitorear la variable. La función “Controlar nivel de oxígeno” se encarga de leer de los sensores la concentración de oxígeno, procesar la información y enviar la señal de control a la función LSP, también, se puede enviar el valor de la variable a la interfaz para fines de monitoreo.

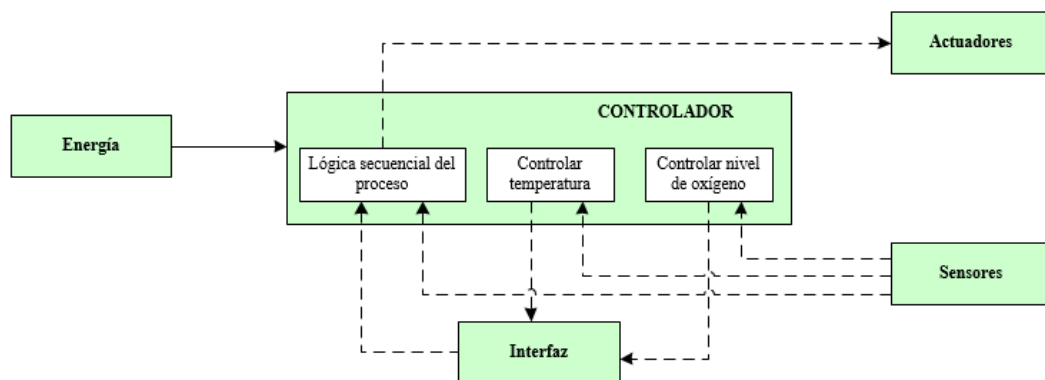


Figura 3.2. Bloque controlador del sistema. Fuente: Propia.

Bloque de interfaz

En la Figura 3.6 se muestra el bloque interfaz del sistema. Los nombres las funciones las describen claramente. La función “Visualizar valores de variables” puede servir para mostrar al usuario las variables de estado del proceso de compostaje.

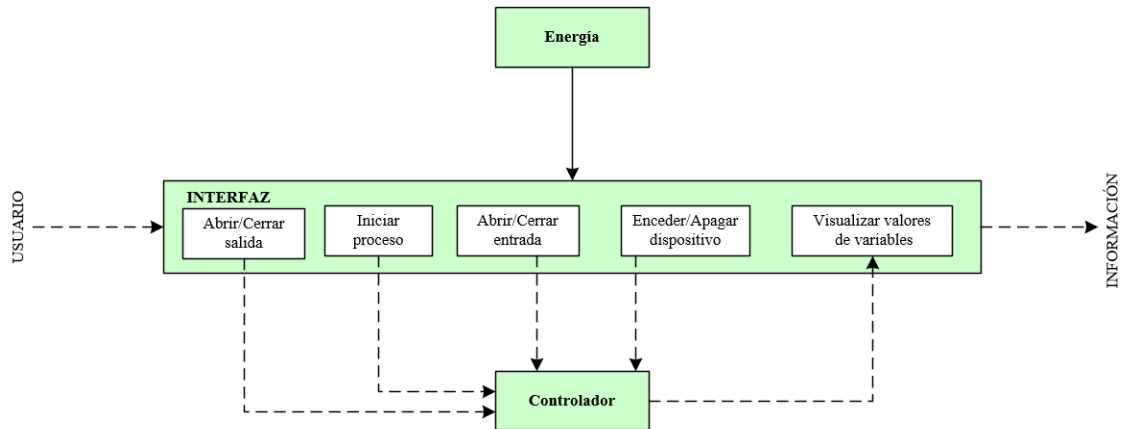


Figura 3.3. Bloque interfaz del sistema. Fuente: Propia.

Bloque mecánica

En la Figura 3.3, que motivos de espacio se encuentra en la siguiente página, se muestra el bloque de mecánica del sistema. Dado que la mayoría de las funciones son bastantes claras, se explicará el flujo que sigue los residuos orgánicos y el aire.

Los residuos orgánicos ingresan a la máquina y son contenidos. El procesamiento empieza con la trituración seguido del traslado a la cámara de degradación. En dicha cámara los residuos son mezclados, oxigenados y ventilados. Luego, son trasladados a una cámara de maduración donde se realiza un proceso similar al anterior. Finalmente, son trasladados y almacenados para luego permitir la salida del producto obtenido (compost). Varios de los funciones requieren de la energía de los actuadores. En las funciones “Contener residuos triturados” y “Contener residuos degradados” que albergan los residuos orgánicos, las variables de estado son medidas por los sensores.

En el caso aire de entrada, este es inyectado y conducido hacia los residuos. El aire producido a la salida del proceso es conducido, filtrado y expulsado.

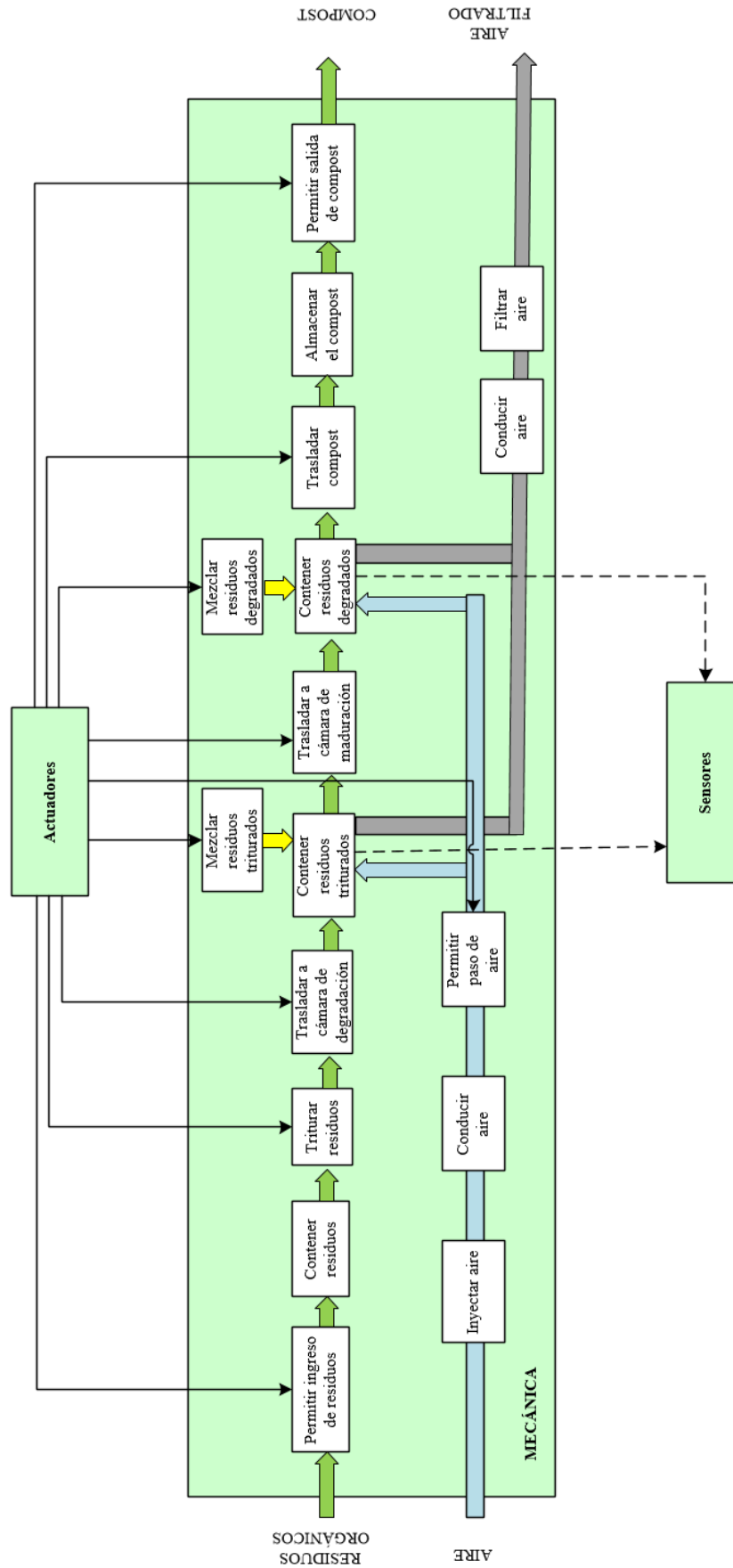


Figura 3.4. Bloque de mecánica del sistema. Fuente: Propia.

Bloque actuadores

En la Figura 3.4 se presenta el bloque actuadores. Todas las funciones del bloque tienen como objetivo accionar la parte mecánica del sistema. La potencia requerida por los actuadores es entregada por el bloque de energía y señales de control son recibidas del controlador.

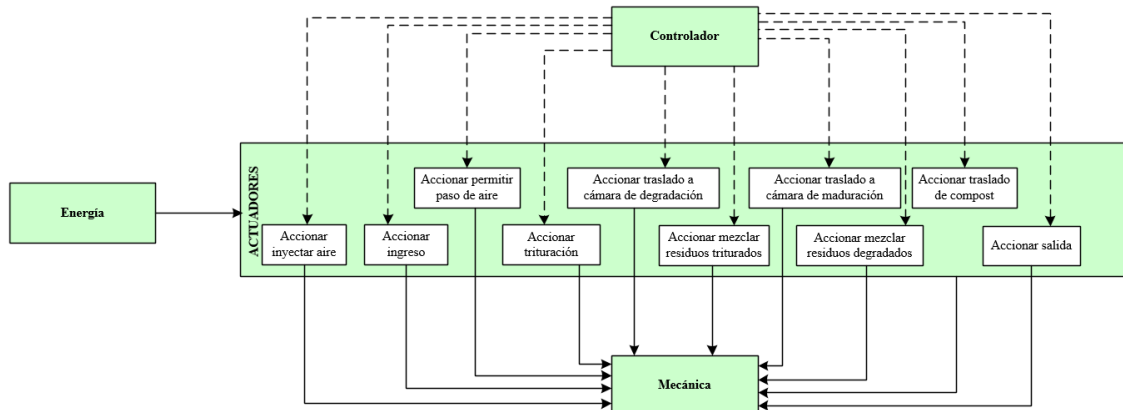


Figura 3.5. Bloque actuadores del sistema. Fuente: Propia.

Bloque de sensores

En la Figura 3.5 se muestra el bloque de sensores. Las funciones “Medir temperatura” y “Medir nivel de oxígeno” de la cámara de degradación y de maduración miden las variables de estado del proceso de compostaje y envían la información al controlador. La función “Detectar presencia” de ambas cámaras tiene hacerle saber al sistema si existe residuos orgánicos dentro de la máquina.

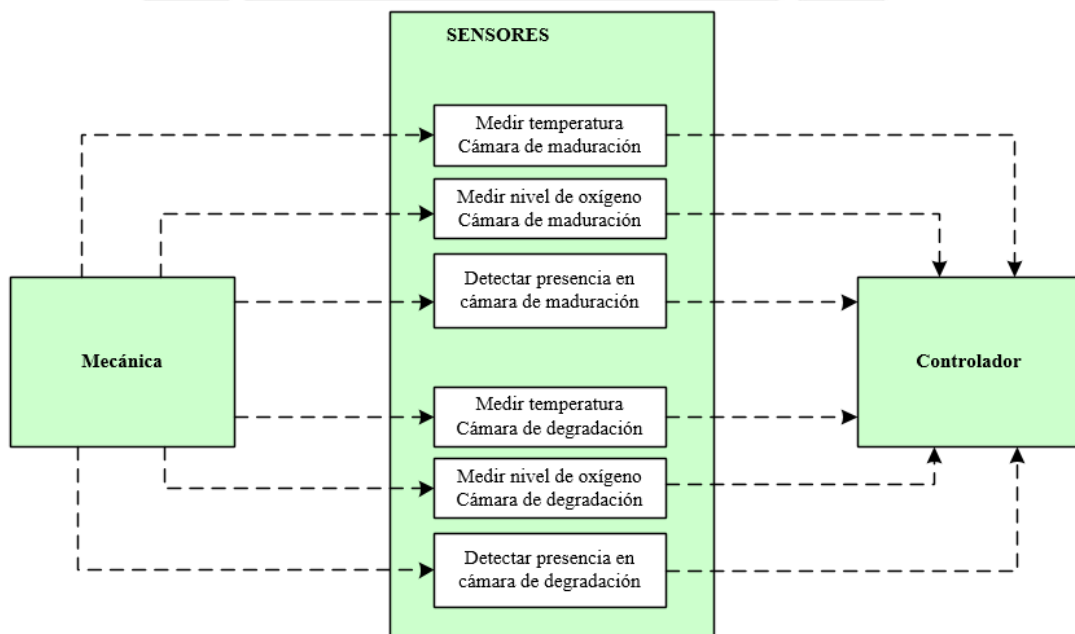


Figura 3.6. Bloque sensores del sistema. Fuente: Propia.

3.3 Matriz morfológica por dominio









Teniendo en cuenta la estructura de funciones antes descrita, se realiza la búsqueda de componentes que puedan cumplir con cada una de las funciones requeridas. Con este fin, se elabora una matriz morfológica, la cual muestra las opciones de componentes que se pueden emplear. La combinación adecuada de las diferentes alternativas permitirá obtener posteriormente los conceptos de solución.

La matriz morfológica se divide en los siguientes dominios: sensores, control, mecánica, actuadores, energía e interfaz. Cada dominio es mostrado por separado; y la matriz morfológica completa se presenta en el Anexo C.

Sensores

La matriz morfológica correspondiente al dominio de sensores se presenta en la Tabla 3.1. Las diferentes alternativas planteadas se diferencian básicamente por su principio de funcionamiento.




Tabla 3.1. Matriz morfológica – Sensores. Fuente: Propia.

TIPO	FUNCION	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
SENSORES	Medir temperatura	Sonda Termocupla 	Sonda termistor 	Sonda RTD 
	Medor nivel de oxígeno	Sonda electroquimica 	Sonda Nerst 	
	Detectar presencia	Sensores de proximidad capacitivos 	Sensores de fuerza resistivos planos 	Sensores fotoeléctricos 

Control

La matriz morfológica de la parte de control se muestra en la Tabla 3.2. Se muestran tres alternativas de micro controladores.

Tabla 3.2. Matriz morfológica – Control. Fuente: Propia.

TIPO	FUNCION	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
CONTROL	Controlar temperatura, nivel de oxígeno, lógica secuencial	Arduino 	Raspberry Pi 	BeagleBone 

Mecánica

En la Tabla 3.3 se muestra las alternativas que pueden cumplir con las funciones mecánicas del sistema.







TIPO	FUNCION	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
MECÁNICA	Permitir ingreso de residuos	Puerta tipo fuelle 	Puerta corrediza 	Orificio metálico
	Contener residuos	Placa soporte 	Chapa metálica 	Recipiente de plástico
	Triturar residuos orgánicos	Trituradora de doble rodillo 	Rodillo con barras dentadas 	Eje con cuchillas de corte
	Trasladar residuos orgánicos	Paleta con aspas 	Banda transportadora 	Placa con orificios
	Mezclar residuos orgánicos	Tornillo de Arquímedes 	Eje con cuchillas de corte 	Eje con aspas
	inyectar aire	Ventilación natural 	Extractor 	Mini Bomba de aire
	Conducir aire	Tuberías 	Ductos flexibles 	Ductos sólidos
	Filtrar aire	Filtro electrostático 	Filtro carbón activado 	Filtro de fibra de vidrio
	Almacenar el compost	Chapa metálica 	Bolsas Big-Bag 	Cajas con orificios

Tabla 3.3. Matriz morfológica – Mecánica. Fuente: Propia.

Actuadores

En la Tabla 3.4 se visualiza las alternativas funcionales correspondientes a la sección de actuadores.

Tabla 3.4. Matriz morfológica – Actuadores. Fuente: Propia.

TIPO	FUNCION	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
ACTUADORES	Accionar ingreso y salida	Cilindro neumático 	Motor solenoide 	Manual
	Accionar trituración y mezclado de residuos orgánicos	Motor reductor AC 	Motor reductor DC de engranajes 	Moto reductor DC planetario 
	Accionar traslado de residuos orgánicos	Fuerza de la gravedad 	Servomotor 	Motor a pasos 

Energía

En la Tabla 3.5 se presenta la matriz morfológica correspondiente a la parte de energía. Las alternativas consisten en fuente de poderes de un solo tipo canal o de tres tipos de canales de salida.

Tabla 3.5. Matriz morfológica – Energía. Fuente: Propia.




TIPO	FUNCION	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
ENERGÍA	Acondicionar energia	Fuente de poder con tres valores de voltaje de salida 	Fuente de poder con un solo valor de voltaje de salida 	

Interfaz

La Tabla 3.6 muestra la matriz morfológica correspondiente a la sección de interfaz. Las alternativas presentan a diferentes componentes con lo el usuario puede interactuar con la máquina.

Tabla 3.6. Matriz morfológica – Interfaz. Fuente: Propia.

TIPO	FUNCION	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
INTERFAZ	Abrir/Cerrar entrada Abrir/Cerrar salida Encender/Apagar Iniciar Proceso	Pulsadores 	Interruptores 	Pantalla táctil 
INTERFAZ	Visualizar valores de variables Indicar estados del sistema	Pantalla LCD 	LEDES 	Alarmas 

Alternativa de solución 1	
Alternativa de solución 2	
Alternativa de solución 3	

3.4 Conceptos de solución

Los conceptos de solución del sistema son generados a partir de la una combinación de las alternativas presentadas en la matriz morfológica y los requerimientos del sistema en conjunto con la creatividad del diseñador. A continuación se describe y se muestra los dos conceptos de solución más trabajados en esta etapa.

3.4.1 Primer concepto de solución

En la Figura 3.7 se muestra la vista isométrica del primer concepto de solución y las partes principales del primer concepto de solución se muestran en la Figura 3.8.

El primer componente es la cámara multipropósito rotatoria (1), la cual permite contener, separar y transportar los residuos orgánicos en procesamiento correspondientes a diferentes días de ingreso a la máquina; además del giro concéntrico, la cámara puede desplazarse verticalmente, ya que se encuentra unida a un gato (2).

El segundo componente es el módulo de medición y manipulación del proceso de compostaje (3), el cual es giratorio y se puede posicionar por encima de los diferentes compartimientos de la cámara multipropósito. En este módulo se encuentran los sensores que miden las variables de estado del proceso de compostaje así como los actuadores que permiten manipular el proceso.

El tercer componente es la tolva de alimentación (4) que permite el ingreso de los residuos.

El último componente es el depósito del producto obtenido luego del procesamiento de compostaje (5). Este depósito es accionado por un actuador lineal (6), el cual le permite desplazarse linealmente cuando se requiera recoger el producto del depósito.

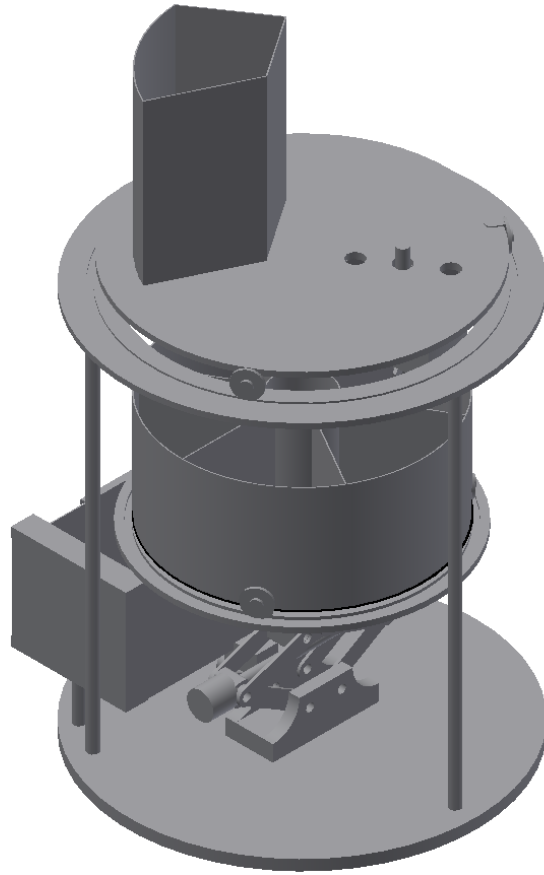


Figura 3.7. Vista isométrica del primer concepto de solución

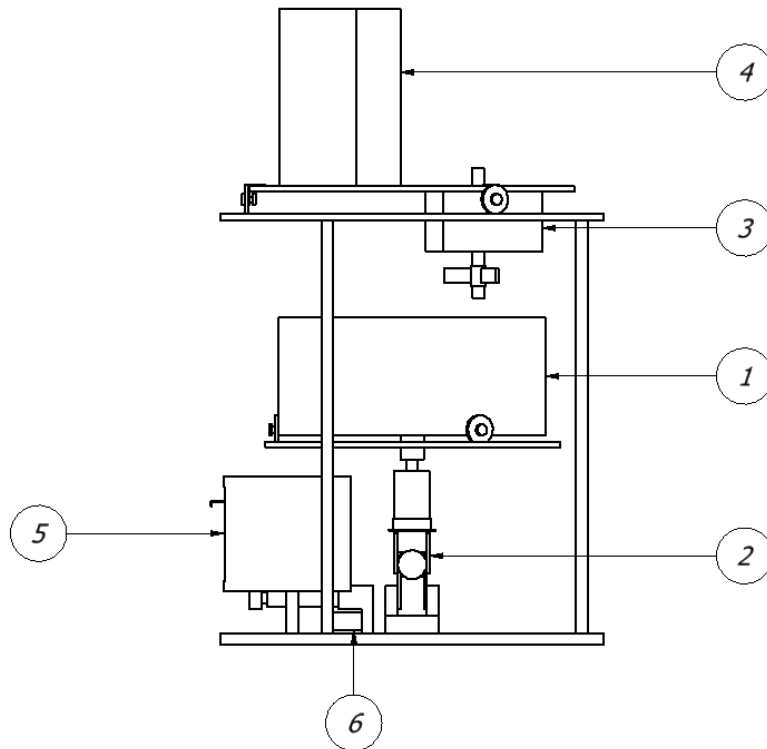


Figura 3.8. Vista de perfil del primer concepto de solución

3.4.2 Segundo concepto de solución

En la Figura 3.9 se muestra la vista isométrica el segundo concepto de solución. Los principales componentes del sistema son mostrados en la Figura 3.10.

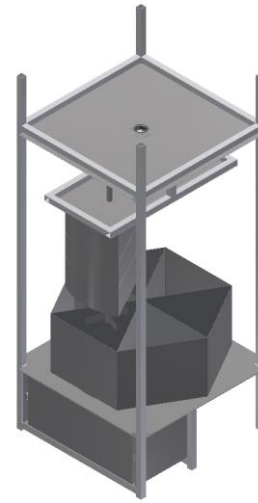


Figura 3.9. Vista isométrica del segundo concepto de solución.

La cámara multipropósito (1) de este concepto cumple las mismas funcionalidades que el del primer concepto ya descrito; sin embargo, la cámara solo cuenta con un sistema de traslado giratorio a diferencia la cámara anterior que también podía desplazarse verticalmente. El módulo de medición y manipulación del proceso de compostaje (2) tiene la misma funcionalidad, además en este segundo concepto el modulo aparte de girar puede desplazarse verticalmente, ya que está unido a un actuador lineal (3) y a un sistema de giro (4). El depósito (5) es accionado de manera manual.

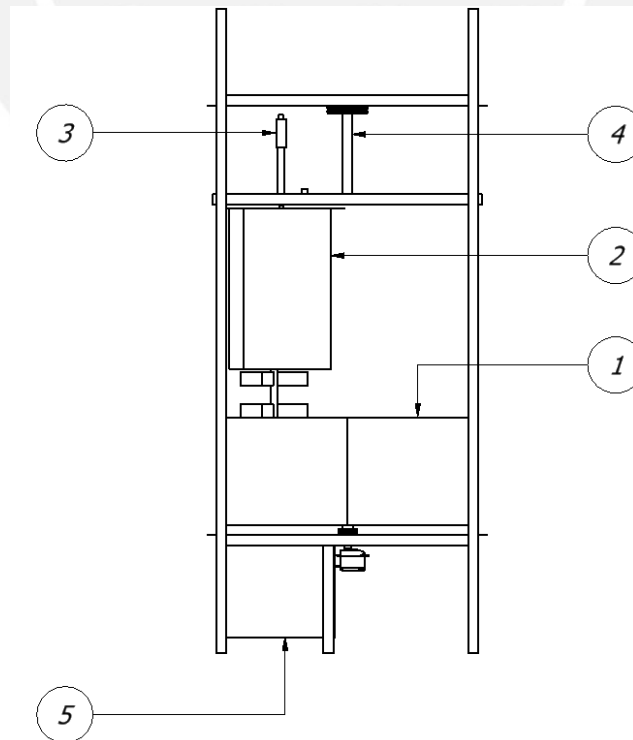


Figura 3.10. Vista de perfil del segundo concepto de solución.

3.5 Evaluación de los conceptos de solución

En Tabla 3.7 se muestra la evaluación técnica de los dos conceptos de solución presentados y en la Tabla 3.8 su respectiva evaluación económica cada una con su respectiva leyenda; además para asignar una base de comparación entre ambos se realiza tomando como referencia una supuesta solución ideal.

Tabla 3.7. Evaluación técnica de los conceptos de solución. Fuente: Propia.

Conceptos de solución			Solución 1			Solución 2		Solución ideal	
Nr.	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	
1	Función principal	4	4	16	4	16	4	16	
2	Forma	2	3	6	4	8	4	8	
3	Seguridad	3	3	9	3	9	4	12	
4	Ergonomía	3	3	9	3	9	4	12	
5	Fabricación	4	3	12	4	16	4	16	
6	Señales	3	3	9	3	9	4	12	
7	Electrónica	3	3	9	3	9	4	12	
Puntaje máximo $\sum p$ ó $\sum gp$			22	70	24	76	28	88	
Valor técnico X_i			0.786	0.795	0.857	0.864	1	1	

LEYENDA

p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)
 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 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

Tabla 3.8. Evaluación económica de los conceptos de solución. Fuente: Propia.

Conceptos de solución			Solución 1			Solución 2		Solución Sideal	
Nr.	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	
1	Precio de componentes	4	3	12	3	12	4	16	
2	Reemplazo de las piezas	3	3	9	4	12	4	12	
3									
Puntaje máximo $\sum p$ ó $\sum gp$			6	21	7	24	8	28	
Valor económico Y_i			0.75	0.75	0.875	0.857	1	1	

LEYENDA

p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)
 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 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

Con los resultados obtenidos en las tablas se realiza el análisis técnico – económico para determinar el concepto de solución óptimo mostrado en la Figura 3.11.

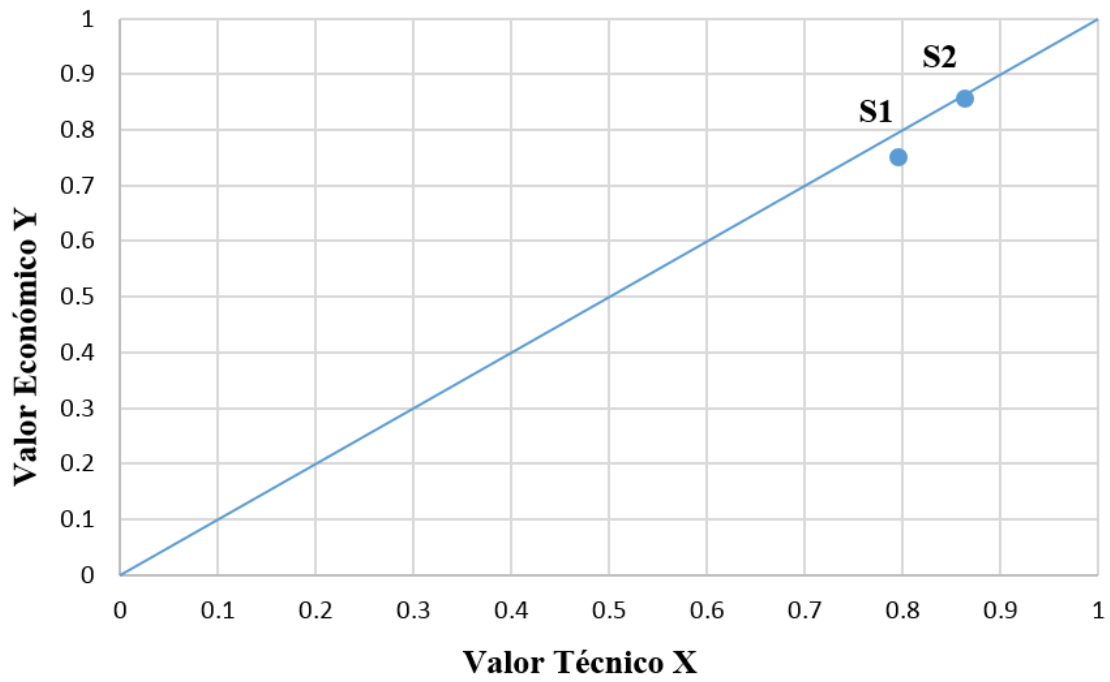


Figura 3.11. Análisis técnico económico de los conceptos de solución.

Luego de realizar el análisis técnico económico se concluye que el segundo concepto de solución es el concepto óptimo.

CAPITULO IV: DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO

En el presente capítulo se describe el desarrollo del sistema mecatrónico. En primer lugar, se muestra mediante un diagrama la integración del sistema mecánico, electrónico y de control. También, se explica el funcionamiento del sistema en conjunto. Luego, se expone la parte electrónica y mecánica, en donde se explica de manera precisa los componentes que conforman el sistema. Finalmente, se desarrolla la estrategia de control con la que cuenta el sistema. Los cálculos relacionados a este capítulo se presentan en el Anexo D.

4.1 Integración del sistema mecatrónico

La integración del sistema mecatrónico se muestra de la Figura 4.1. El cual está compuesto por los siguientes sistemas: Cámara multipropósito, módulo de medición y manipulación del proceso de compostaje (MMPC), plataforma de movimiento del módulo y la estructura de soporte.

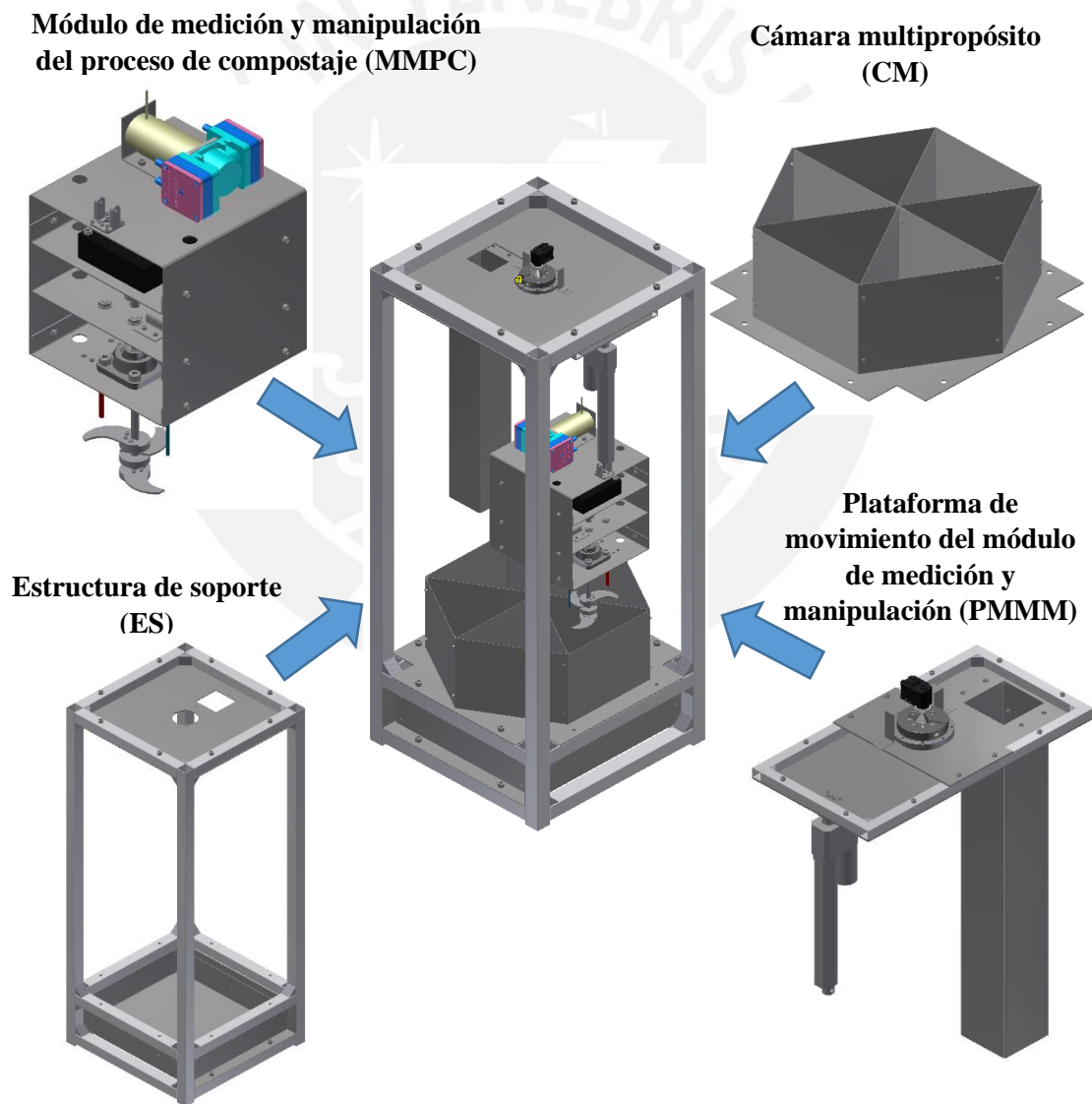


Figura 4.1. Sistema mecatrónico. Fuente: Propia.

La cámara multipropósito (CM)

Su función es contener, transportar y separar los residuos orgánicos ingresados a la máquina. Presenta cinco compartimientos y un orificio que conecta con el depósito donde se almacena el producto procesado.

Módulo de medición y manipulación del proceso de compostaje (MMPC)

Tiene como función medir las variables de estado del proceso de compostaje (temperatura y concentración de oxígeno) y actuar sobre el proceso de compostaje. La estructura mecánica alberga a los sensores (sonda de temperatura y oxígeno), manipuladores del proceso (calentador tipo cartucho, bomba de aire y cuchillas-mezclador) y actuadores (motor reductor).

Plataforma de movimiento del módulo de medición y manipulación (PMMM)

Su función es darle movimiento giratorio y desplazamiento vertical al módulo de medición y manipulación de manera que el MMPC puede posicionarse por encima de todos los compartimientos de la cámara multipropósito e insertarse parcialmente dentro de cada uno de estos compartimientos. La estructura mecánica contiene a los actuadores (servo actuador lineal y servomotor).

Estructura de soporte (ES)

Tiene como función sostener a todos los sistemas anteriormente mencionados, también, al resto de componentes electrónicos: controladores de los actuadores, circuitos amplificadores de señal de los sensores, procesadores e interfaz. Además, el depósito del producto procesado forma parte de este sistema.

4.2 Funcionamiento del sistema mecatrónico

Primero, se procede a energizar la máquina. En la máquina existen dos LEDS indicadores, el primero indica al usuario que puede ingresar los residuos orgánicos a la máquina y el segundo indica que no se puede ingresar ningún residuo. En el primer modo de operación, la tolva de alimentación que está sujeta a la PMMM se posiciona de manera que comunique el ingreso con la cámara multipropósito.

En el segundo modo de operación, se advierte el no ingreso de residuos, ya que el monitoreo y el control del proceso de compostaje se está llevando a cabo dentro de la máquina. Para llevar a cabo esta tarea, la PMMM posiciona el MMPC solo en un compartimiento de la cámara donde existan residuos. El proceso de monitoreo empieza con la medición de los parámetros físicos y químicos (temperatura y concentración de oxígeno) de cada compartimiento, luego dichos valores son leídos por el procesador para analizarlos y tomar las acciones correctivas en caso de presentar alguna desviación respecto a los parámetros de referencia que se encuentran dentro del programa. Las acciones correctivas; es decir la manipulación del proceso, se realizan mediante la inyección de aire, calentamiento y mezclado. Este proceso de control y monitoreo se repite para todos los compartimientos donde exista residuos orgánicos.

Finalmente, al transcurrir un día, la CM transporta los residuos llevándolos al compartimiento siguiente. El reposicionamiento se realiza mediante un movimiento giratorio de 60°C por día de manera que al finalizar el quinto día los residuos caerán al depósito donde se almacena el producto procesado. El usuario deberá recoger el producto retirándolo del depósito.

4.3 Diseño electrónico

En esta sección se describe el diseño electrónico presentando los requerimientos tomados en cuenta al momento de la selección de componentes electrónicos y otros así como las características principales de los mismos y el diagrama esquemático correspondiente a los sensores, actuadores, interfaz y acondicionamiento de voltajes de alimentación. El diagrama de conexiones completo se muestra en el Anexo E.

4.3.1 Diagrama de bloques

En la Figura 4.2 se muestra el diagrama de bloques del sistema, que por motivos de espacio se ubica en la página siguiente. En diagrama se describe a nivel general como interactúan a nivel electrónico los componentes electro-mecánicos (actuadores), electrónicos (convertidores, sensores, adaptadores de señal, excitadores y controlador) e interfaz (LEDS).

4.3.2 Componentes electrónicos y otros

A continuación, se presentan los criterios de selección de cada uno de los componentes electrónicos; además, se presenta la comparación de las posibles alternativas de selección para cada uno de los componentes y se sustentan la selección de la mejor alternativa resaltando algunas características adicionales. Otras consideraciones tomadas en cuenta para la selección así como los requerimientos y los cálculos correspondientes se pueden consultar en el Anexo D.

MicroControlador

Del diagrama de bloques de la Figura 4.2 se puede observar que el sistema solo utiliza tres sensores; además, según el funcionamiento de la máquina no se requiere que todos operan simultáneamente sino secuencialmente. También, se puede mencionar que la dinámica de la variable temperatura no es rápida; por lo tanto, los tiempos de respuestas no lo son. En la Tabla 4.1 se muestra los requerimientos considerados para seleccionar el microcontrolador.

Tabla 4.1. Requerimientos para la selección del microcontrolador. Fuente: Propia.

Parámetro	Valor
Frecuencia de reloj (MHz)	8
Interfaz de comunicación	SPI y UART
Voltaje alimentación máximo	5V
Número de entradas analógicas	7
Número de I/O digitales	19

En la Tabla 4.2 se realiza la comparación entre los principales microcontroladores encontrados.

Tabla 4.2. Principales microcontroladores encontrados. Fuente: Propia.

Microcontrolador	Frecuencia Máxima (MHz)	Interfaces de comunicación		Voltaje Max. (V)
		SPI	UART	
PIC24FJ32	32	SI	SI	3.3
ARMCortexM3	84	SI	SI	3.6
ATMEGA2560	16	SI	SI	5

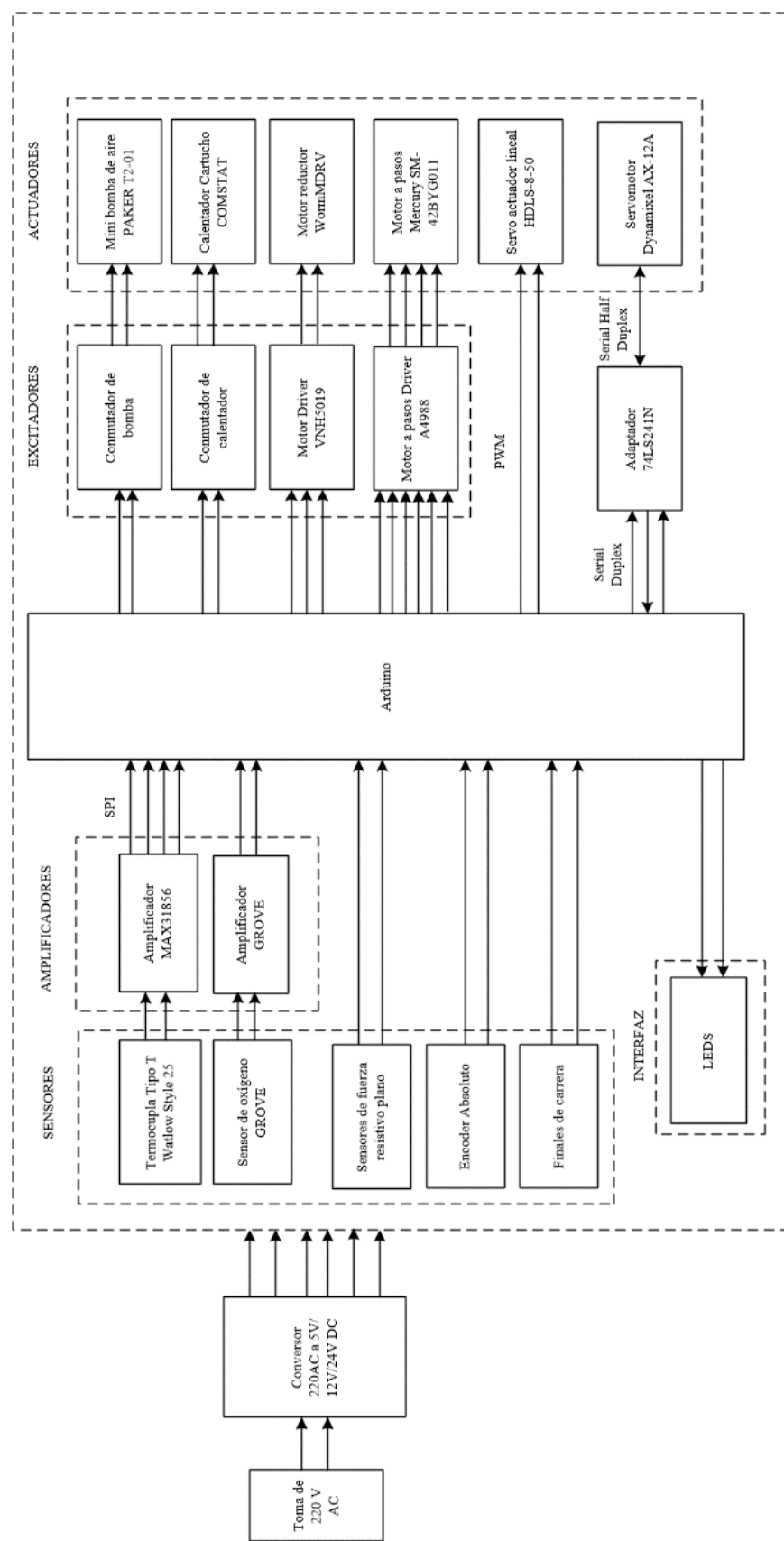


Figura 4.2: Diagrama de bloques del sistema. Fuente: Propia.

La velocidad de procesamiento del microcontrolador ATMEGA2560 es suficiente para nuestro trabajo, además de cuenta con las interfaces de comunicación requeridas. Para mejorar la compatibilidad se usará la placa ArduinoMega, el cual estaba basado en microcontrolador ATMEGA2560, ya que los sensores que se utilizarán tienen librerías en Arduino ya implementadas. En la Tabla 4.3 se muestra las características adicionales del ArduinoMega.

Tabla 4.3. Características adicionales del ArduinoMega. Fuente: Propia.

Parámetro	Valor
Corriente máxima I/O Pin (mA)	40
Número de Pines I/O (PWM Output)	54 (15)
Numero de entradas analógicas	16
Velocidad de reloj (MHz)	16



Figura 4.3: ArduinoMega. Fuente: <https://www.arduino.cc>

Calentador

Con el fin de poder controlar la temperatura del proceso de compostaje será necesario utilizar un calentador. Para el presente caso, se adapta mejor un calentador del tipo eléctrico por su fácil control e integración con el módulo de medición y manipulación. A continuación, en la Tabla 4.4 se muestra los requerimientos tomados en cuenta para la selección. El cálculo de los parámetros se muestra en el Anexo D.

Tabla 4.4. Requerimientos para la selección del calentador. Fuente: Propia.

Parámetro	Valor
Potencia (W)	89.5
Temperatura (°C)	55

En la Tabla 4.5, se muestra la comparación entre los principales calentadores eléctricos encontrados que cumplen los requerimientos.

Tabla 4.5. Principales calentadores eléctricos encontrados. Fuente: Propia.

Calentador	Potencia Max. (W)	Temperatura Max. (°C)	Corriente Max. (A)	Voltaje (V)
Watlow Firerod	120	760	3.1	120 AC
HotWatt SC25-3	100	677	3.5	240 AC
Comstat MCH1	96	760	6	24 DC
Wattco WC20100	100	760	3	120 AC

Se selecciona el calentador Comstat MCH1 que consume menos energía en comparación con el resto. Además, al requerir un voltaje de alimentación DC facilita su control. Otra característica importante es su pequeño tamaño que facilita su montaje y permite su integración con el módulo de medición y manipulación. En la Tabla 4.6 se describe las características adicionales del calentador.

Tabla 4.6. Características adicionales del calentador Comstat MCH1. Fuente: Propia.

Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Potencia/área (W/mm ²)
76.2	6.35	140



Figura 4.4: Calentador tipo cartucho COMSTAT. Fuente: <http://www.comstatinc.com/>

Bomba de aire

La bomba de aire suministrará el oxígeno requerido por los microorganismos existentes en la materia orgánica, los cuales tienen como tarea degradar de los residuos orgánicos durante el proceso de compostaje. A continuación, en la Tabla 4.7 se muestra los parámetros tomados en cuenta al seleccionar la bomba. El cálculo se encuentra en el Anexo D.

Tabla 4.7. Requerimientos para la selección de la bomba de aire. Fuente: Propia.

Parámetro	Valor
Caudal aire (L/min)	52.35
Voltaje de alimentación (V)	12 a 24
Dimensiones (mm)	Ø150 x 200

La comparación entre las bombas principales encontradas se muestra en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8. Principales bombas de aire encontradas. Fuente: Propia.

Bomba de aire	Caudal Max. (LPM)	Presión Max. (psi)	Corriente Max. (A)	Voltaje (V)	Dimensiones (mm)
Parker T2-01	62	8	3.8	12 - 24	Ø131.3 x 194.1
Thomas 2907	90.6	15	20	12	Ø156.4 x 317.5
Smart Products AP	90	11	8	12	Ø145.7 x 203.8

Se selecciona la bomba de aire Parker T2-01 por que presenta un menor consumo de corriente respecto al resto de los modelos; además, al poder alimentarse con un voltaje de 24 DC permite su uniformización en el nivel de voltaje de alimentación con el calentador anteriormente seleccionado.

La pequeña dimensión de la bomba de aire Parker T2-01 (Ø131.3 x 194.1) facilita su montaje en módulo de medición y manipulación del proceso de compostaje. A continuación, en la Tabla 4.9 se muestra otras características importantes de la bomba seleccionada.

Tabla 4.9. Características adicionales de la bomba de aire Parker T2-01. Fuente: Propia.

Nivel de ruido (dB)	Ancho (mm)	Peso (g)	Tiempo de vida (horas)
< 50	70	1729	3500

Figura 4.5: Bomba de aire Parker T2-01. Fuente: <http://ph.parker.com>

Motor reductor

Para el sistema de trituración y mezclado será necesario utilizar un motor reductor para accionar las cuchillas. A continuación, en la Tabla 4.10 se muestran los requerimientos mecánicos para su selección. Los cálculos se detallan en el Anexo D.

Tabla 4.10. Requerimientos para la selección del motor reductor. Fuente: Propia.

Parámetro	Valor
Torque (Nm)	4.05
Velocidad (rpm)	140

En la siguiente Tabla 4.11 se muestran la comparación entre los principales motores encontrados que podrían utilizarse para el accionar el sistema de trituración y mezclado.

Tabla 4.11. Principales motores eléctricos encontrados. Fuente: Propia.

Moto reductor	Torque Max.(Nm)	Velocidad Max.(RPM)	Corriente Max.(A)	Voltaje Max.(V)
NingboTechnology 73ZYJ01	6	126	20	12
LectStyle 90ZYJQ	22.5	100	40	12
MotionDynamics WormG200	20	180	8	24
DakeMotor RS-90ZY-24	18.5	120	20	24

Se selecciona el motor MotionDynamics WormG200, ya que es el único que cumple el requerimiento de velocidad permitiendo así que el punto de operación del motor se encuentre muy cercano a los requerimientos de selección presentados en la Tabla 4.10 (para mayor detalle se puede consultar en el Anexo D). En la Tabla 4.12, se muestran las características adicionales del motor reductor seleccionado.

Tabla 4.12. Características principales del motor reductor WormG200. Fuente: Propia.

Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Peso (kg)	Potencia Máxima (W)
236	77	2.7	200

Figura 4.6: Motor reductor WORMDRV V-G200. Fuente: <https://www.motiondynamics.com.au>

Motor a pasos

Para accionar el sistema de traslado de la cámara multipropósito se requiere un actuador que permita el giro en intervalos de $60^\circ/\text{día}$ de manera periódica y continua. Para ello, se utilizó un motor a pasos. En la Tabla 4.13, se muestran los requerimientos considerados al momento de selección. Los cálculos se encuentran en el Anexo D.

Tabla 4.13. Requerimientos para la selección del motor pasos. Fuente: Propia.

Parámetro	Valor
Torque (oz-in)	15
Máximo ángulo de paso ($^\circ$)	2

A continuación, en la Tabla 4.14 se muestra la comparativa entre los principales motores a pasos encontrados.

Tabla 4.14. Principales motores a paso encontrados. Fuente: Propia.

Moto a pasos	Torque Max.(oz-in)	Angulo de paso ($^\circ$)	Corriente Max.(A)	Voltaje Max.(V)
Sanyo SS2422-5041	26	1.8	1	5.4
MercuryMotor SM-42BYG011	32	1.8	0.33	12
Soyo SY42STH38-0406	36	1.8	0.4	12
Pololu SY35ST28-0504	20	1.8	1	2.7

Se selecciona el motor a pasos Mercury SM-42BYG011 por menor consumo de corriente y al ser posible su alimentación con 12 VDC permite mantener la uniformidad en nivel del voltaje de alimentación con un grupo de actuadores. En la Tabla 4.15, se muestran las características adicionales del motor a pasos seleccionado.

Tabla 4.15. Características adicionales del motor Mercury SM-42BYG011. Fuente: Propia.

Resistencia Fase (Ω)	Inductancia Fase (mH)	Peso (kg)	Inercia del rotor ($\text{kg}\cdot\text{mm}^2$)
32.6	48	0.2	3.5

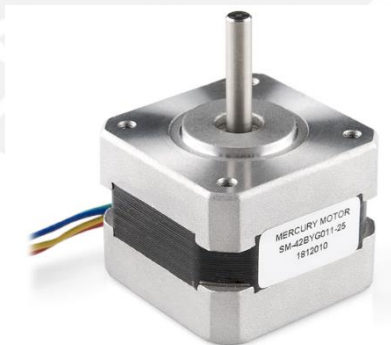


Figura 4.7: Motor a pasos Mercury SM-42BYG011. Fuente: <https://www.sparkfun.com>

Actuador lineal

Para realizar el desplazamiento vertical del módulo de medición y manipulación se utiliza un actuador lineal que forma parte del subsistema plataforma de movimiento. La selección se realiza tomando en cuenta los requerimientos mostrados en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16. Requerimientos para la selección del actuador lineal. Fuente: Propia.

Parámetro	Valor
Fuerza lineal (N)	120
Carga muerta (kg)	12
Rango de longitud de carrera (mm)	170-200
Velocidad lineal (mm/s)	10

En la Tabla 4.17 se realiza la comparativa entre los principales servoactuadores lineales encontrados.

Tabla 4.17. Principales servoactuadores lineales encontrados. Fuente: Propia.

Servo actuador lineal	Fuerza lineal Max. (N)	Carrera (mm)	Carga muerta (kg)	Velocidad Max. (mm/s)
TSINY TS-LD-A	700	200	-	10
HDLS 8-50	511.5	200	226	15
Windynation LIN-ACT1BR-08	900	200	272	10

Se selecciona el servo actuador lineal HDLS-8-50-12V, porque su velocidad es de 11mm/s con carga calculado en el Anexo D siendo el único que supera al requerimiento mínimo de velocidad de 10 mm/s. En la Tabla 4.18, se muestra características adicionales del actuador.

Tabla 4.18. Características adicionales del servo actuador lineal HDLS-8-50-12V. Fuente: Propia.

Voltaje operación (V)	Corriente máxima (A)	Voltaje de control (V)	Peso (kg)
6 - 14	4.5	3 - 5	12



Figura 4.8: Actuador lineal HDLS-8-50-12V. Fuente: <https://www.servocity.com>

Servomotor

El giro del módulo de manipulación y medición requiere de un control de posiciones angulares en un rango de 0 a 300° para ello se utilizará un servomotor. En la Tabla 4.19, se muestran los requerimientos mecánicos considerados en la selección. La explicación y cálculos se detallan en el Anexo D.

Tabla 4.19. Requerimientos para la selección del servomotor. Fuente: Propia.

Parámetro	Valor
Torque (Nm)	0.34
Rango de giro (°)	300

Los principales servomotores encontrados se comparan a continuación en la Tabla 4.20.

Tabla 4.20. Principales servomotores encontrados. Fuente: Propia.

Servomotor	Torque Max.(Nm)	Rango de giro (°)	Velocidad Max.(RPM)	Corriente Max.(A)	Voltaje Max.(V)
TowardPro MG996R	1.2	0 - 120	60	2.5	7.2
PowerHD 1501MG	1.6	0 - 180	71	3	6
HiTEC HS-7955TG	2.4	0 - 180	66	3	6
Dynamixel AX-12A	1.5	0 - 300	59	0.9	12
RoboKits RKI-1211	1.6	0 - 180	71	3.2	6

Se selecciona el servomotor Dynamixel AX-12A, ya que presenta un menor consumo de energía y permite un rango de giro de 0 – 300°. En la Tabla 4.21, se muestran otras características importantes del actuador.

Tabla 4.21. Características adicionales del servo Dynamixel AX-12A. Fuente: Propia.

Tamaño (mm)	Peso (kg)	Protocolo
32 x 50 x 40	0.055	TTL Half Duplex Asíncrono Serial

Figura 4.9: Servo Dynamixel AX-12A. Fuente: <http://www.trossenrobotics.com/>

Sensor de temperatura

Para medir la variable temperatura del proceso de compostaje será necesario contar con sensor de temperatura ubicada en el módulo de medición y manipulación.

Para la selección del sensor se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- El rango de medición de la temperatura debe estar comprendido entre los 20-60°C debido a las características del proceso de compostaje.
- El sensor debe ser mecánicamente resistente y químicamente inerte, ya que será introducido dentro cada grupo de residuos orgánicos en procesamiento.
- De dimensiones pequeñas y fácilmente montable para que puede ser integrado en el módulo de medición.

En la Tabla 4.22, se muestra un comparativo de los principales sensores de temperatura encontrados.

Tabla 4.22. Principales sensores encontrados. Fuente: Propia.

Termocupla	Rango (°C)	Encapsulado	Tipo de calibración	Constante de tiempo (s)
Thermoworks 113-444/449	-50 a 250	Si	T	2
Omega TJ36-CASS-010	0 a 500	Si	K	1
Watlow 25CTFFDA	0 a 350	Si	T	0.5
Misumi TCKF	0 a 250	Si	K	1.5

Se selecciona la termocupla tipo T Watlow 25CTFFDA, ya que presenta un menor constante de tiempo respecto al resto de modelos permitiendo así una dinámica más rápida en la medición del valor de la temperatura. Además, el material del encapsulado permite al sensor ser mecánicamente resistente y químicamente inerte. A continuación en Tabla 4.23, se muestra las características adicionales del sensor seleccionado.

Tabla 4. 23. Características adicionales de la termocupla tipo T Watlow F-25. Fuente propia.

Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Tipo de soporte	Rango de salida (mV)
50.8	3.175	Brida	0 a 20



Figura 4.10: Probeta termocupla tipo T Watlow Flange Style 25. Fuente: <https://www.watlow.com>

Adaptador de señal para termocupla

Será necesario contar con una etapa de amplificación de la señal salida de la termocupla, cuyo rango de trabajo solo será de 0 a 65 ° C para poder aprovechar todo el rango dinámico de la temperatura. De este modo el valor de la señal puede ser leída e interpretada por el microcontrolador el cual trabaja en un rango de 0 a 5 V. Teniendo en consideración lo anterior y los rango de salida de la termocupla será necesaria una ganancia de voltaje de 42 dB.

Para ello se trabaja con el amplificador LM108A, la cual se muestra en la Figura 4.11.

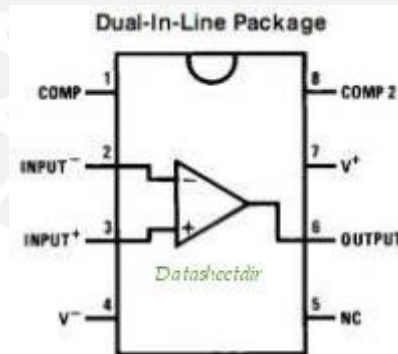


Figura 4.11. Encapsulado del amplificador de LM108A. Fuente: <http://cds.linear.com/>

En caso se contar con un ambiente ruidoso una alternativa a considerar puede ser el uso de los siguientes integrados mostrados en la Tabla 4.24.

Tabla 4. 24. Principales adaptadores de señal para termocupla encontrados. Fuente propia.

Adaptador Termocupla	Voltaje de alimentación (V)	Número de pines	Interfaz de comunicación
MAX31856	3.3	14	SPI
ADS1118	2 a 5.5	10	SPI
MCP3425	2.7 a 5.5	6	I2C

Se selecciona el integrado MAX31856, debido a que se cuenta con librerías en Arduino que permiten realizar la lectura de la temperatura directamente del integrado mejorando así la

compatibilidad entre los componentes. Las características adicionales del integrado se muestran en la Tabla 4.25.

Tabla 4.25. Características adicionales del MAX31856. Fuente: Propia.

Resolución (bits)	Ganancia (dB)
19	44

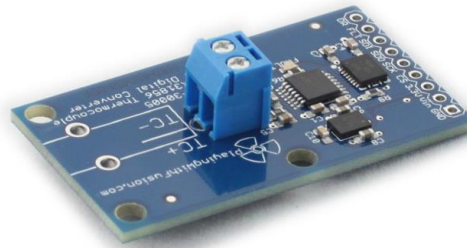


Figura 4.12: Tarjeta basado en el MAX31856. Fuente: <http://www.playingwithfusion.com/>

Sensor de oxígeno

Para medir la concentración de oxígeno del proceso de compostaje será necesario contar con sensor de oxígeno ubicada en el módulo de medición y manipulación. Según las características del proceso de compostaje se requiere medir en una rango de 0 a 20 % de O₂. La comparación entre los sensores de oxígeno encontrados se muestra en la Tabla 4.26.

Tabla 4.26. Principales sensores de oxígeno encontrados. Fuente: Propia.

Sensor de oxígeno	Rango de medición (O ₂ %)	Tiempo de respuesta (s)	Rango de salida (mV)
Winsensor ME3-O2	0 - 20	30	0 - 12
SST O2S-FR-T2	0 - 25	15	25 - 115

Se seleccionará el sensor Winsensor ME3-O2 a pesar de tener una tiempo de respuesta menor, el cual no es un parámetro crítico, debido a que el sensor es solo es utilizado cinco veces al día para el monitoreo y control del proceso de compostaje. Por otro lado, para el sensor seleccionado se cuenta con una tarjeta de acondicionamiento de señal de salida analógica y conexión sencilla con el sensor; además, de librerías en Arduino para el cálculo de los valores de concentración de oxígeno. En la Tabla 4.27, se muestran sus características del sensor seleccionado.

Tabla 4.27. Características adicionales del sensor de oxígeno Winsensor ME3-O2.

Fuente: Propia.

Tipo de sensor	Salida de la tarjeta de interfaz (V)	Rango de medición O ₂ (%)
Electroquímico	3.3 V	0 - 25



Figura 4.13: Sensor de oxígeno Winsensor ME3. Fuente: <http://www.winsensor.com/>

Sensor de ángulo

Para conocer la posición angular de la plataforma de movimiento del módulo será necesario utilizar un sensor de ángulo. Los requisitos considerados para su selección se muestran en la Tabla 4.28. Respecto al tipo de salida absoluta se refiere que la medición del ángulo no sea relativa respecto a una posición angular de referencia, permitiendo de esta manera no perder información en caso de desenergizar el sensor.

Tabla 4.28. Requerimientos para la selección del sensor de ángulo. Fuente: Propia.

Parámetro	Valor
Tipo de salida	Absoluta
Rango de medición (°)	0-360

Teniendo en cuenta los requerimientos anteriormente mencionados se propone utilizar encoder absolutos. Los principales encoders absolutos encontrados se comparan en la Tabla 4.29.

Tabla 4.29. Principales encoders absolutos encontrados. Fuente: Propia.

Sensor de ángulo	Voltaje DC (V)	Tipo	Interfaz de salida
AMCI ME15	5	Magnético	Analógico (0-5V)
MEGATRON MAB25	5	Efecto Hall	SPI
Roundss BCE108K36	5	Óptico	RS232

Se selecciona el sensor AMCI ME15, ya que al presentar una salida analógica la lectura de los valores de las posiciones angulares se realiza de manera sencilla utilizando el módulo ADC del Arduino. Sus características adicionales se muestran en la Tabla 4.30.

Tabla 4.30. Características adicionales del encoder AMI ME15. Fuente: Propia.

Resolución (bits)	Rango (°)	Precisión (°)	Grado de protección (IP)
10	360	+/- 0.5	67



Figura 4.14: Encoder absoluto AMCI ME15. Fuente: <http://www.amci.com/>

Controlador para motor a paso

Para la selección del controlador del motor paso a paso se tuvo en cuenta los requerimientos eléctricos del actuador. En la Tabla 4.31, se muestra los parámetros tomados en consideración.

Tabla 4.31. Requerimientos para la selección del controlador del motor a pasos. Fuente: Propia.

Parámetro	Valor
Corriente máxima por fase (A)	0.33
Voltaje de alimentación (V)	12

Los principales controladores de motor a pasos encontrados se muestran en la Tabla 4.32.

Tabla 4.32. Principales controladores para el motor a pasos encontrados. Fuente: Propia.

Controlador motor a pasos	Corriente max. por fase (A)	Voltaje alimentación (V)	Voltaje lógico (V)
DRV8811	1.9	8 hasta 38	3 hasta 5.5
A49888	2	8 hasta 35	3.3 o 5.5
SI-7321M	1.5	10 hasta 44	3.3 hasta 5.5
AMIS-30622	0.8	6.5 hasta 29	5

Se selecciona el controlador A4988, ya que puede controlar una mayor cantidad de corriente respecto a los demás evitando así el sobrecalentamiento. Además, su manejo por medio del microcontrolador es sencillo, ya que solo es necesario utilizar pines digitales y no es necesario el uso de ninguna interfaz de comunicación. Las características adicionales del controlador se presentan en la Tabla 4.33.

Tabla 4.33. Características adicionales del controlador A4988. Fuente: Propia.

Modos de pasos	Protección
full, 1/2, 1/4, 1/8 y 1/16	Sobretensión y Cortocircuito



Figura 4.15: Controlador A4988. Fuente: [http://www. https://www.pololu.com](http://www.pololu.com)

Controlador para el motor reductor

Para la selección del controlador del motor reductor se tuvo en cuenta sus características eléctricas mostradas del actuador mostradas en la Tabla 4.34.

Tabla 4.34. Requerimientos para la selección del controlador. Fuente: Propia.

Parámetro	Valor
Corriente máxima (A)	8
Voltaje de alimentación (V)	24

En la Tabla 4.35 se realiza la comparación entre los principales controladores para el motor reductor.

Tabla 4.35. Principales controladores para el motor reductor encontrados. Fuente: Propia.

Controlador motor reductor	Corriente máxima (A)	Voltaje alimentación (V)	Voltaje lógico (V)
Cytron 13A	13	5 hasta 30V	3.3 o 5
IRF7862PBF	15	5.5 hasta 24	5
VNH5019	12	5.5 hasta 24	2.5 hasta 5

Todos los controladores cumplen con los requerimientos; sin embargo, bajo el criterio ratio costo/funcionalidad se selecciona el controlador VNH5019. Además, se cuenta con mayor información, lo cual facilita su integración y manejo con el microcontrolador. Otras características del controlador se muestran en la Tabla 4.36.

Tabla 4.36. Características adicionales del controlador VNH5019. Fuente: Propia.

Frecuencia Máxima (kHz)	Protección	Corriente pico (A)
20	Sobretensión y Cortocircuito	30

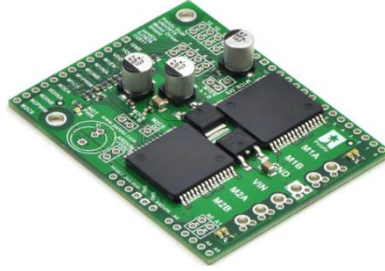


Figura 4.16: Driver VNH5019. Fuente: <https://www.pololu.com>

Interruptor de final de carrera

Para conocer el estado del desplazamiento vertical del actuador lineal de la plataforma de movimiento (extendido o retraído) se considera utilizar dos interruptores finales de carrera. Los requisitos considerados para su selección se muestran en la Tabla 4.37.

Tabla 4.37. Requerimientos para la selección del interruptor final de carrera. Fuente: Propia.

Parámetro	Valor
Voltaje DC (V)	5
Corriente (mA)	40
Temperatura de operación (°C)	55
Longitud máxima (mm)	80

Los principales interruptores de final de carrera encontrados se comparan en la Tabla 4.38.

Tabla 4.38. Principales interruptores de final de carrera encontrados. Fuente: Propia.

Interruptor de fin de carrera	Voltaje DC máx. (V)	Corriente máx. (A)	Tipo de actuador	Temperatura (°C)
Honeywell SZL-VL-A	125	5	Palanca de rodillo	-20 a 60
TEMCo CN0103	125	15	Vástago de rodillo	-25 a 80
Omron D4CC-3001	30	1	Vástago de pin	-10 a 70
Galco 54-416-BP	125	0.4	Palanca de rodillo	-15 a 75

Para la selección del interruptor de final de carrera se toma en consideración que el actuador tipo palanca de rodillo requiere una menor fuerza de contacto para su accionamiento respecto a los otros tipos de actuadores. Por esta razón, se elige el interruptor Galco 54-416-BP, además por presentar dimensiones menores respecto a los otros, lo cual facilita su integración y montaje. Esta características y otras se describen en la Tabla 4.39.

Tabla 4.39. Características adicionales del final de carrera Galco 54-416-BP. Fuente: Propia.

Dimensiones (in)	Contactos	Tipo de conexión
1.01x0.78x0.26	1NO/1NC	Terminales soldados



Figura 4.17: Interruptor de fin de carrera Galco 54-416-BP. Fuente: <http://www.galco.com/>

Acondicionamiento de los niveles de tensión

Dentro del grupo de componentes seleccionados se tres niveles de tensión de alimentación. A continuación en la Tabla 4.40 se muestran los requerimientos para la selección de la fuente de alimentación.

Tabla 4.40. Requerimiento para la selección de la fuente de alimentación. Fuente: Propia.

Voltaje (V)	Corriente (A)
24	17.8
12	4.5
5	1

Debido a que maneja valores altos de corriente se seleccionarán fuentes conmutadas. En la Tabla 4.41 se muestra las características de la fuente conmutada SANPU PS600.

Tabla 4.41. Características de la fuente conmutada SANPU PS600. Fuente: Propia.

Voltaje de entrada (V)	Frecuencia (Hz)	Voltaje de salida (V)	Corriente de salida (A)
220	47 - 63	24	25



Figura 4.18: Fuente conmutada SANPU PS600. Fuente: <http://es.aliexpress.com/>

La Tabla 4.42 muestra las características de la fuente conmutada ANTRIX AP-B450R00.

Tabla 4.42. Características de la fuente conmutada ANTRIX AP-B450R00. Fuente: Propia.

Voltaje de entrada (VAC)	Frecuencia (Hz)	Voltaje de salida (VDC)	Corriente de salida (A)
220 - 230	50 / 60	12 / 5	17 / 15



Figura 4.19: Fuente conmutada ANTRIX AP-B450R00. Fuente: <https://www.mesajilhnos.com>

4.3.3 Diagramas esquemáticos

En esta sección se presenta los diagramas esquemáticos donde se muestran las conexiones eléctricas entre los diversos componentes.

Circuito de los sensores

La Figura 4.20 muestra las conexiones entre el sensor de oxígeno, el amplificador de señal y el Arduino. La señal salida del amplificador ingresa al Arduino por el puerto cero de la entrada analógica/digital.

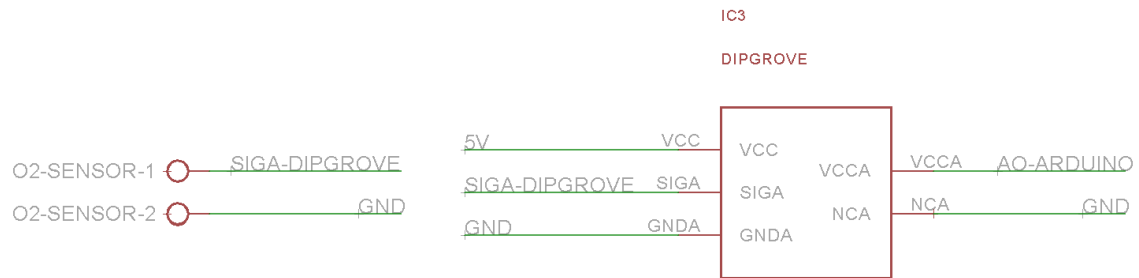


Figura 4.20: Diagrama esquemático del sensor de oxígeno. Fuente: Propia.

La Figura 4.21 muestra las conexiones entre el amplificador LM108A, el regulador de voltaje LM321A y la salida que va conectada al puerto 1 analógico del Arduino.

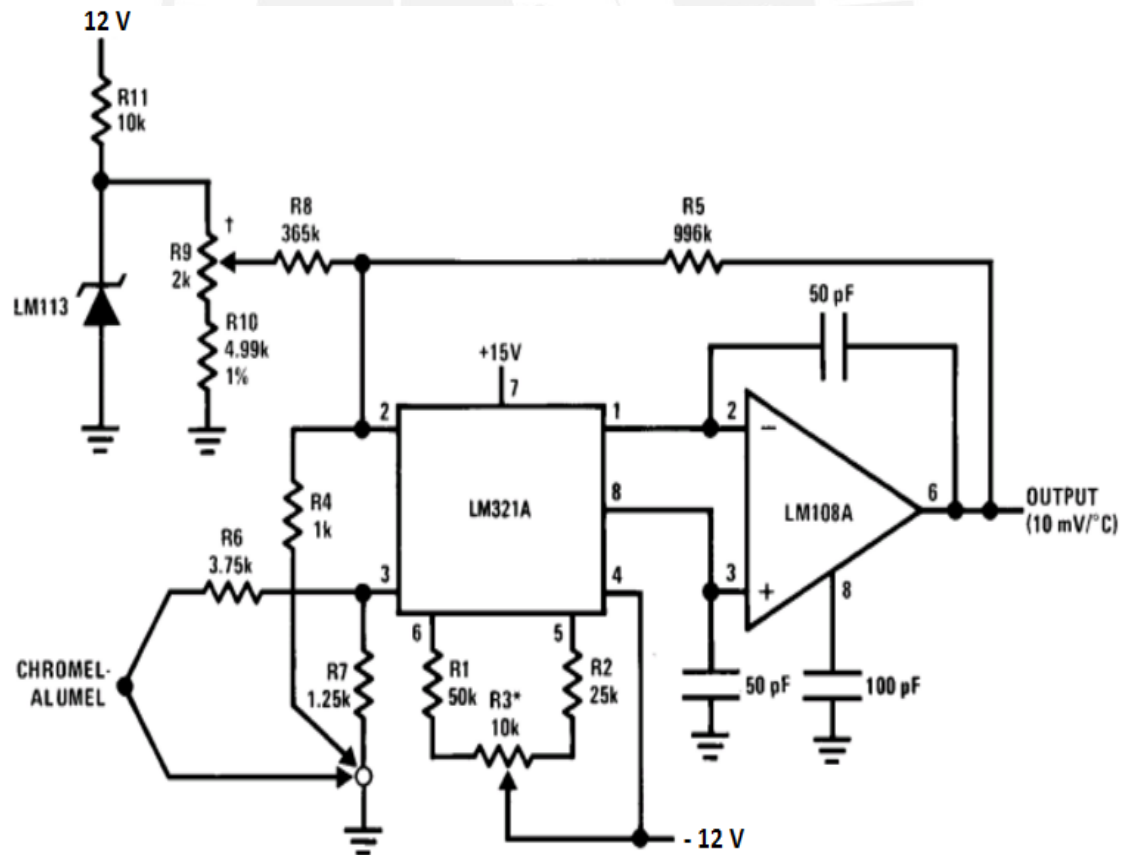


Figura 4.21. Diagrama amplificador estandarizado. Fuente: National Instruments.

La Figura 4.22 muestra las conexiones de los sensores de fuerza a los pines analógicos del Arduino. En cada caso se utiliza un divisor de voltaje resistivo para poder medir los valores.

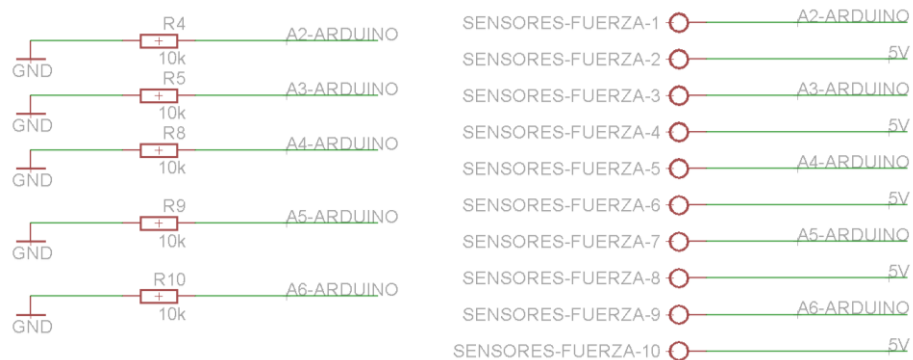


Figura 4.22. Diagrama sensores de fuerza tipo resistencia. Fuente: Propia.

La Figura 4.23 muestra las conexiones del encoder abosuto con el Arduino mostrando las señales de alimentación y de dato analógico.



Figura 4.23. Conexiones del encoder con el arduino. Fuente: Propia.

La Figura 4.24 muestra el esquemático de los finales de carrera conectados a los puertos digitales del Arduino con su respectiva resistencia de protección.

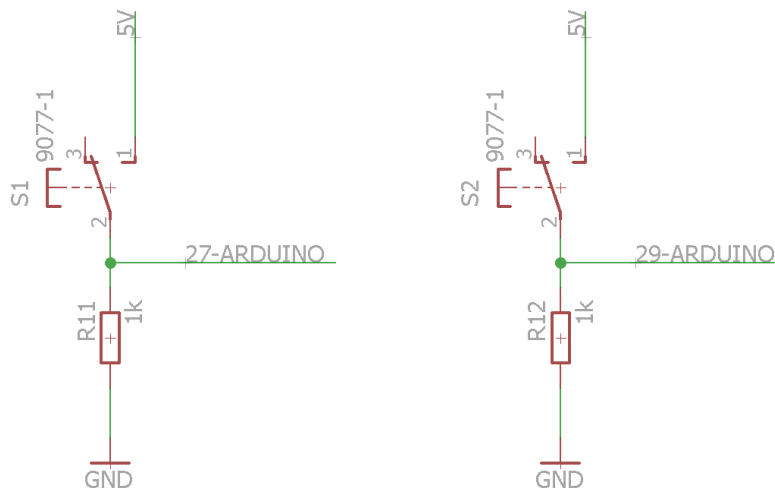


Figura 4.24. Diagrama esquemático de los finales de carrera. Fuente: Propia.

Circuito para los actuadores

La Figura 4.25 muestra las conexiones entre el Dynamixel y el Arduino. Como etapa intermedia se utiliza el integrado 74LS241N para convertir la comunicación half-duplex del Arduino a una comunicación full –duplex utilizada por el Dynamixel.

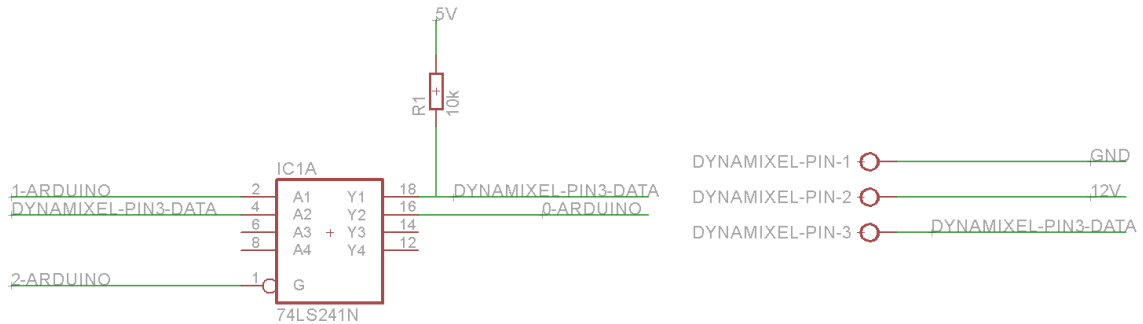


Figura 4.25. Diagrama esquemático del servomotor Dynamixel. Fuente: Propia

La figura 4.26 muestra las conexiones entre motor a pasos, el driver A4988 y el Arduino. El driver permite controlar el número de pasos y la dirección. Además, se cuenta con la opción incrementar la resolución del tamaño del paso modificando los valores en la entrada MS1, MS2, MS3 del driver.

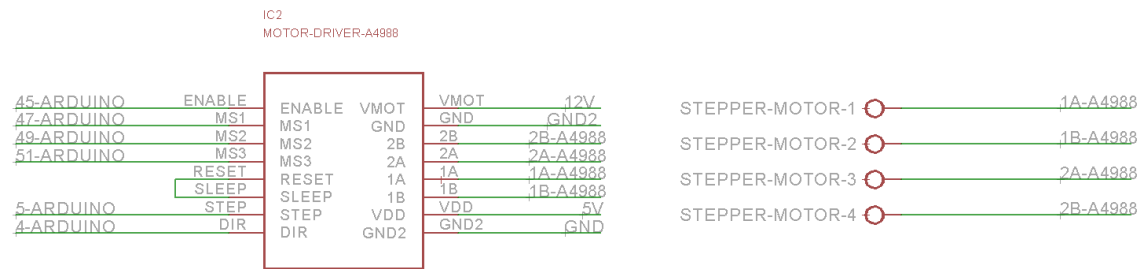


Figura 4.26. Diagrama esquemático del motor a pasos. Fuente: Propia.

La figura 4.27 muestra las conexiones entre el motor reductor, el driver VH5019 y el Arduino. El driver permite controlar el sentido de giro del motor así como su velocidad.

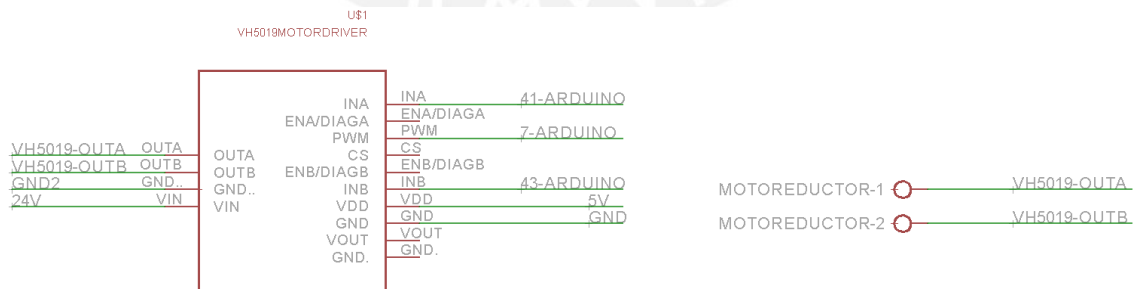


Figura 4.27. Diagrama esquemático del motor reductor. Fuente: Propia.

La Figura 4.28 muestra los circuitos de encendido y apagado de la bomba y el calentador, los cuales consumen una corriente de 3.8 A y 6ª respectivamente. Para ello se utiliza el mosfet IRF640 en modo conmutación, el cual según sus especificaciones técnicas permite controlar la conducción de una corriente de $I_D = 18$ A y conmutar un voltaje de $V = 24$ V por medio de un $V_{GS} = 3$ V, el cual es el voltaje de control del Arduino. Además, se añade el diodo de protección P6KE24A para el circuito de la bomba, ya que al ser una carga inductiva se presenta una corriente transitoria en

reversa al realizar la conmutación. Además, la resistencia pull-down de 10K se utiliza para tener una buena referencia a tierra.

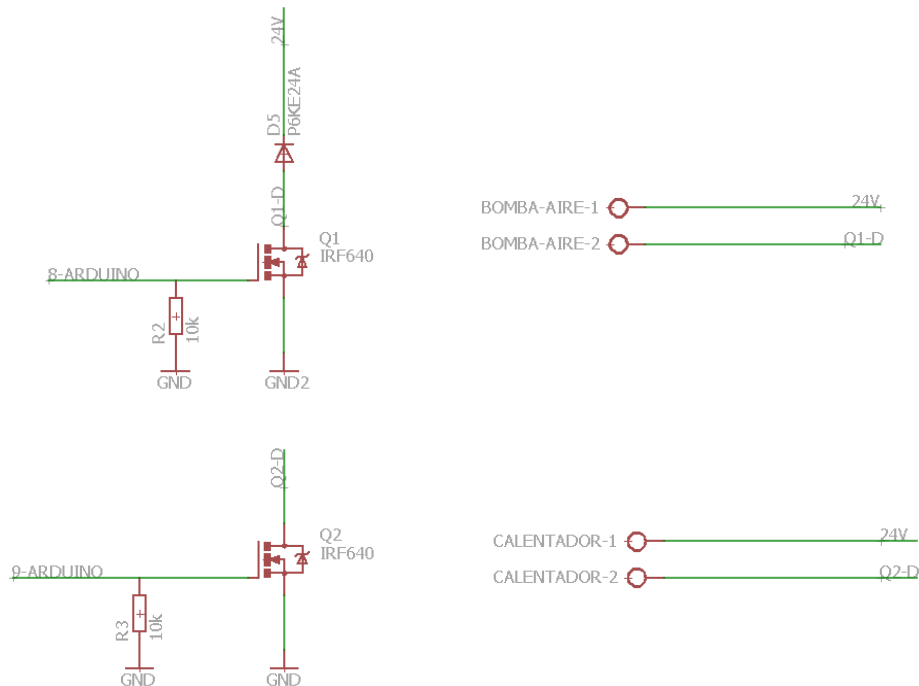


Figura 4.28. Diagrama esquemático de la bomba de aire y calentador. Fuente: Propia.

Circuito de interfaz

Los dos Leds que indican al usuario cuando puede o no ingresar residuos orgánicos a la máquina se encuentran conectados a los pines de salidas digitales del Arduino con sus respectivas resistencias limitadoras de corriente, las conexiones son mostradas en la Figura 4.29.

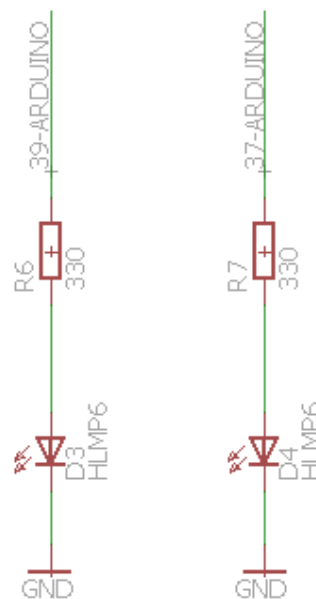


Figura 4.29. Diagrama esquemático de LEDS indicadores. Fuente: Propia.

4.4 Diseño mecánico

En esta sección, se muestran y describen las vistas isométricas y los planos mecánicos del sistema mecatrónico. Primero, se presentan los planos de ensamble donde se señalan cada uno de los componentes que conforman los sistemas, la descripción de cada uno de los componentes son mostrados en la lista de materiales correspondiente a cada uno de los planos de ensamble; además, se muestran las uniones entre los componentes en las vistas de detalles. Luego, se muestran los planos de despiece de los principales componentes. En el Anexo E, se presenta los planos completos con el tamaño y la escala correspondiente. Por último se concluye mostrando los resultados de simulaciones mecánicas realizadas a los elementos críticos para garantizar que el sistema no falle por resistencia.

4.4.1 Planos de ensamble

Ensamble general del sistema

La vista isométrica del sistema y la vista frontal del ensamble se presentan en la Figura 4.30. La vista en sección A-A correspondiente a la vista frontal se muestra en la Figura 4.31. De las figuras anteriormente mencionadas, se puede observar que las dimensiones generales del sistema son 1350 mm x 530 mm x 530 mm.

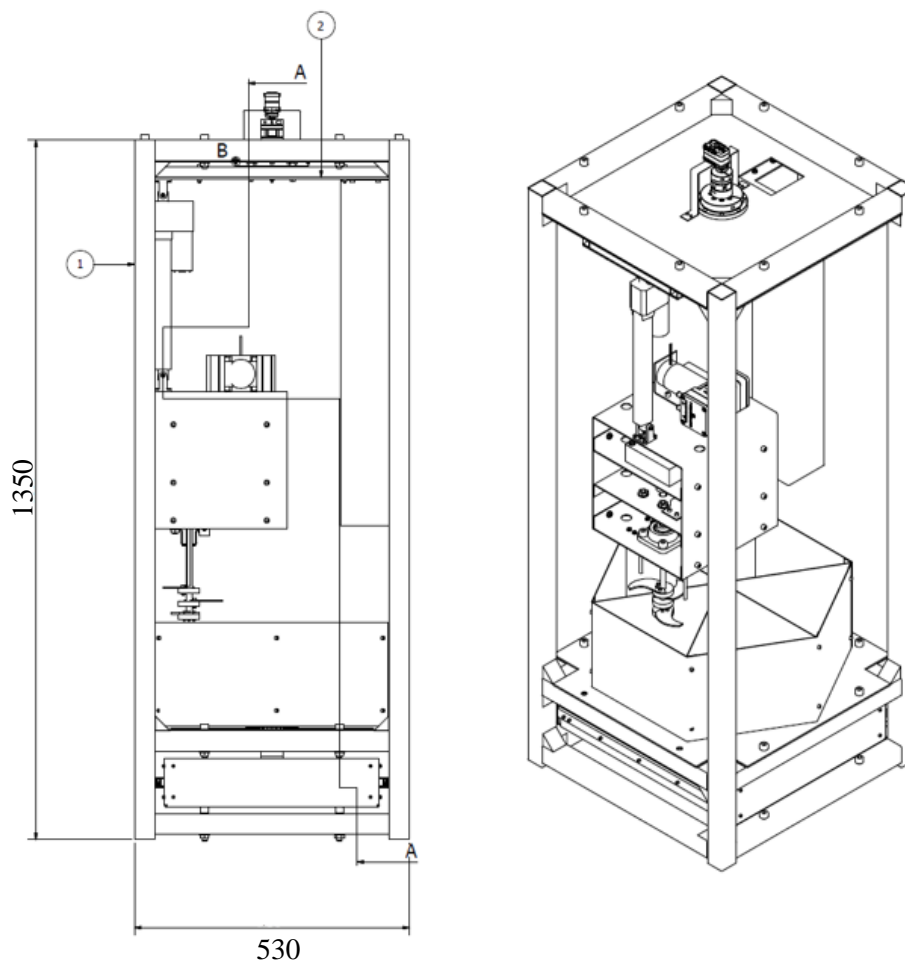


Figura 4.30. Vista isométrica a la derecha y vista frontal a la izquierda del ensamble general.

Fuente: Propia.

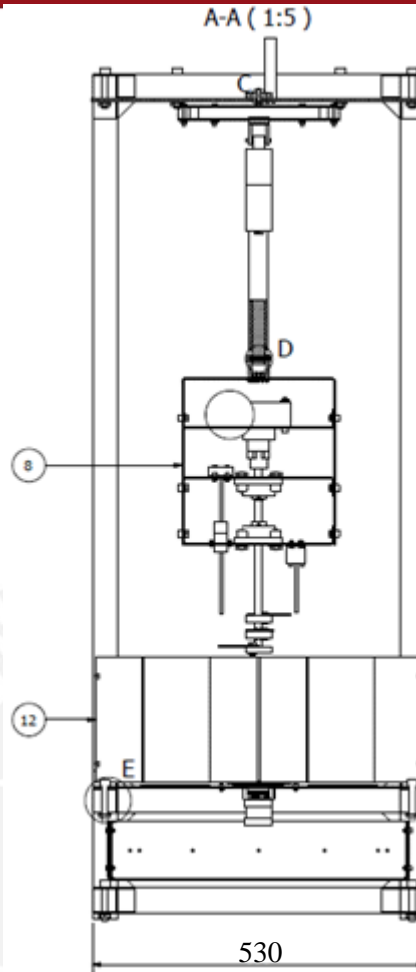


Figura 4.31. Vista de sección A-A del ensamble general. Fuente: Propia.

La Tabla 4.43 muestra los componentes principales del ensamble general del sistema en donde cada componente se identifica con número que guarda relación con las utilizadas en las vistas de las Figuras 4.30 y 4.31.

Tabla. 4.43. Componentes principales del ensamble general del sistema. Fuente: Propia.

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Estructura general
2	Plataforma de movimiento
8	Modulo de medición y manipulación
12	Cámara multipropósito

El sistema principal se compone de cuatro sistemas, ya mencionados y descritos al inicio del presente capítulo. En la vista frontal de la Figura 4.30 se puede ver la estructura de soporte del sistema (1) y la plataforma de movimiento del módulo de compostaje (2). En la vista de sección A-A de la Figura 4.31 se muestra el módulo de medición y manipulación del proceso de compostaje (8) y la cámara multipropósito (12).

Subensamble de la estructura de soporte del sistema

La vista isométrica y la vista frontal del subensamble se muestran en la Figura 4.32. La vista de sección de sección A-A se presenta en la Figura 4.33. Los componentes principales del

subensamblaje se describen en la Tabla 4.44, en donde cada componente se identifica con número que guarda relación con los utilizados en las vistas de las Figuras 4.32 y 4.33.

En la vista frontal de la Figura 4.32 se señala las columnas (1) y las vigas (2) tubulares cuadradas ambas con un perfil de 40 mm de lado y 1.5 mm de espesor fabricadas de material de aluminio. Las uniones entre estos dos tipos de elementos es por cordón de soldadura. También, se muestra el contenedor del producto procesado de la máquina (11).

La vista de sección A-A correspondiente a la Figura 4.33 señala la placa soporte (3) para la plataforma de movimiento del módulo de compostaje y el perfil de la placa de soporte (7) para el contenedor de producto terminado.

Tabla. 4.44. Componentes principales del subensamblaje de la estructura de soporte. Fuente: Propia.

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Columna tubular cuadrada 1350 x 40 x 1.5
2	Viga tubular cuadrada 450 x 40 x 1.5
3	Plancha soporte de la plataforma
7	Plancha soporte del depósito
11	Plancha depósito

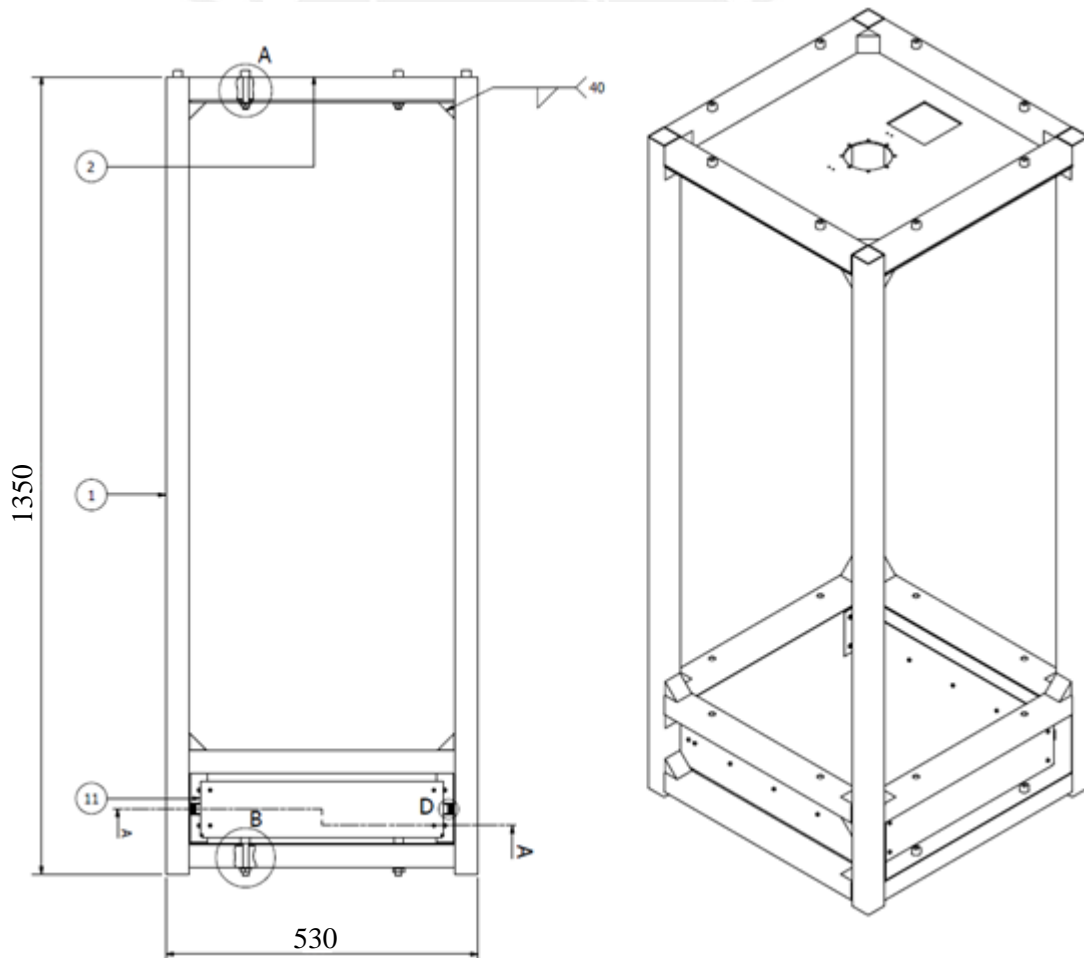


Figura 4.32. Vista isométrica a la derecha y vista frontal a la izquierda del subensamblaje estructura de soporte. Fuente: Propia.

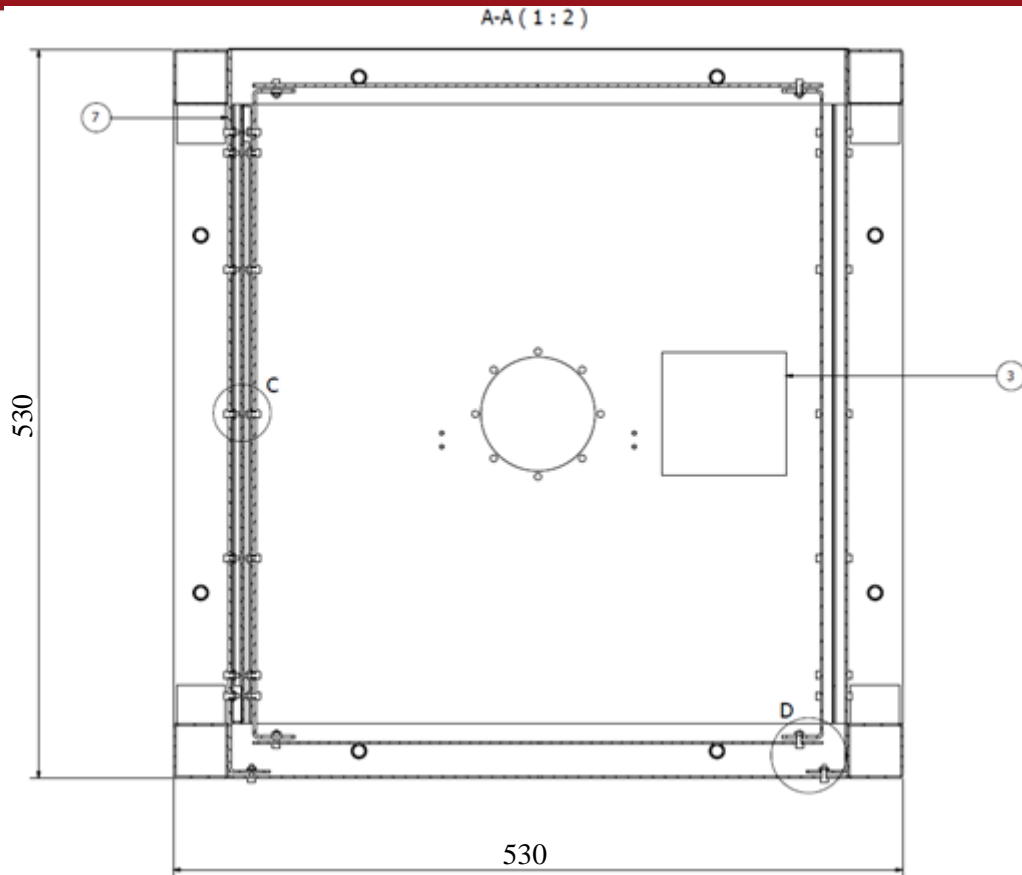


Figura 4.33. Vista de sección A-A del subensamble estructura de soporte. Fuente: Propia.

Subensamble de la plataforma de movimiento del módulo de medición y manipulación

La vista isométrica y la vista superior del subensamble de la plataforma de movimiento del módulo de medición y manipulación se muestran en la Figura 4.34 y Figura respectivamente. La vista en sección A-A del subensamble se muestra en la Figura 4.35. La vista de detalle D se exhibe en la Figura 4.36.

Los componentes principales del subensamble se describen en la Tabla 4.45, en donde cada componente se identifica con número que guarda relación con los utilizados en las vistas de las Figuras 4.33, 4.34 y 4.35.

Como ya se mencionó, la plataforma de movimiento debe realizar el giro y el desplazamiento vertical del módulo de medición y manipulación. El movimiento giratorio es accionado por medio del servomotor Dynamixel (10) y el desplazamiento vertical por el servo actuador lineal (24), los cuales están sujetos al subsistema gracias a sus respectivos soportes.

De acuerdo a la descripción dada respecto al ensamble general del sistema, el actuador lineal se encuentra unido al módulo de medición y manipulación; por lo tanto, soporta toda la carga generada por el peso del módulo de medición y manipulación del proceso de compost. Para ello, la transmisión interna del actuador lineal seleccionado es del tipo tuerca-tornillo sinfín que permite soportar cargas muertas como es el peso del módulo en este caso.

La tolva de alimentación (20) forma parte también del presente subsistema. La estructura de soporte se encuentra formada por un conjunto de vigas tubulares cuadradas (1 y 2), las cuales están unidas por soldadura. Tanto el actuador lineal como la tolva de alimentación se encuentra unida a las estructura de soporte mediante la plancha soporte para la plataforma de movimiento (16).

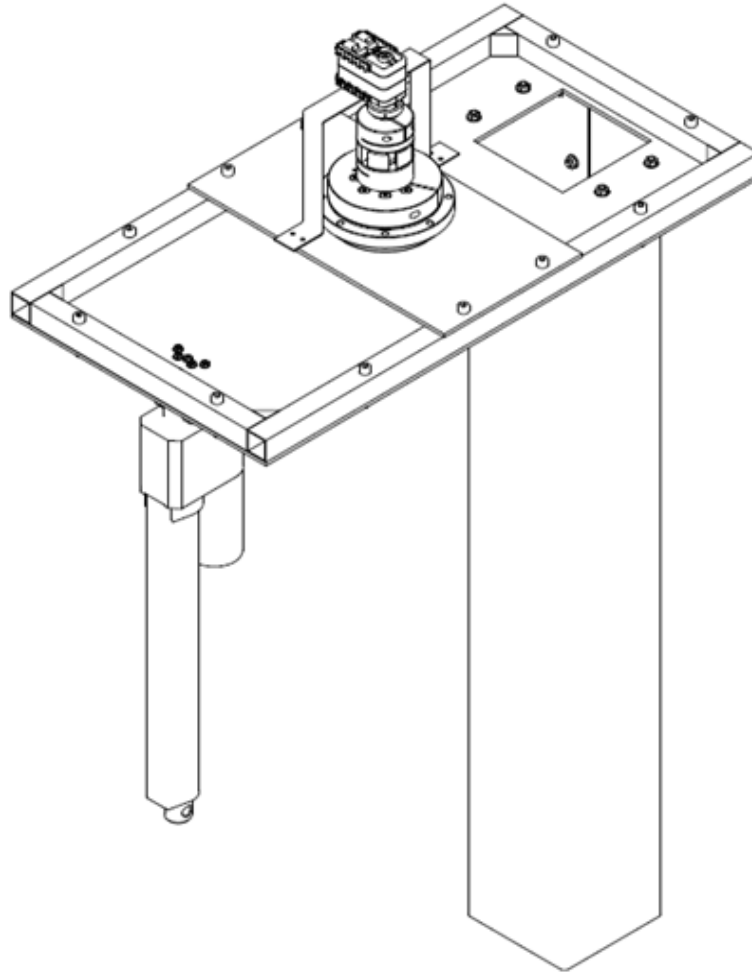


Figura 4.34. Vista isométrica de la plataforma de movimiento del módulo de medición y manipulación. Fuente: Propia.

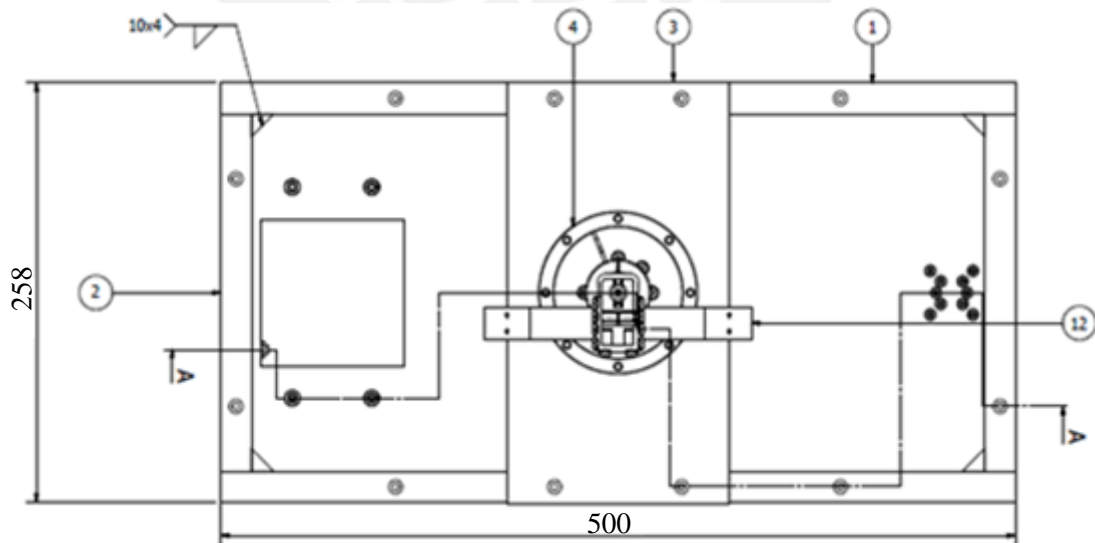


Figura 4.34. Vista superior de la plataforma de movimiento del módulo de medición y manipulación. Fuente: Propia.

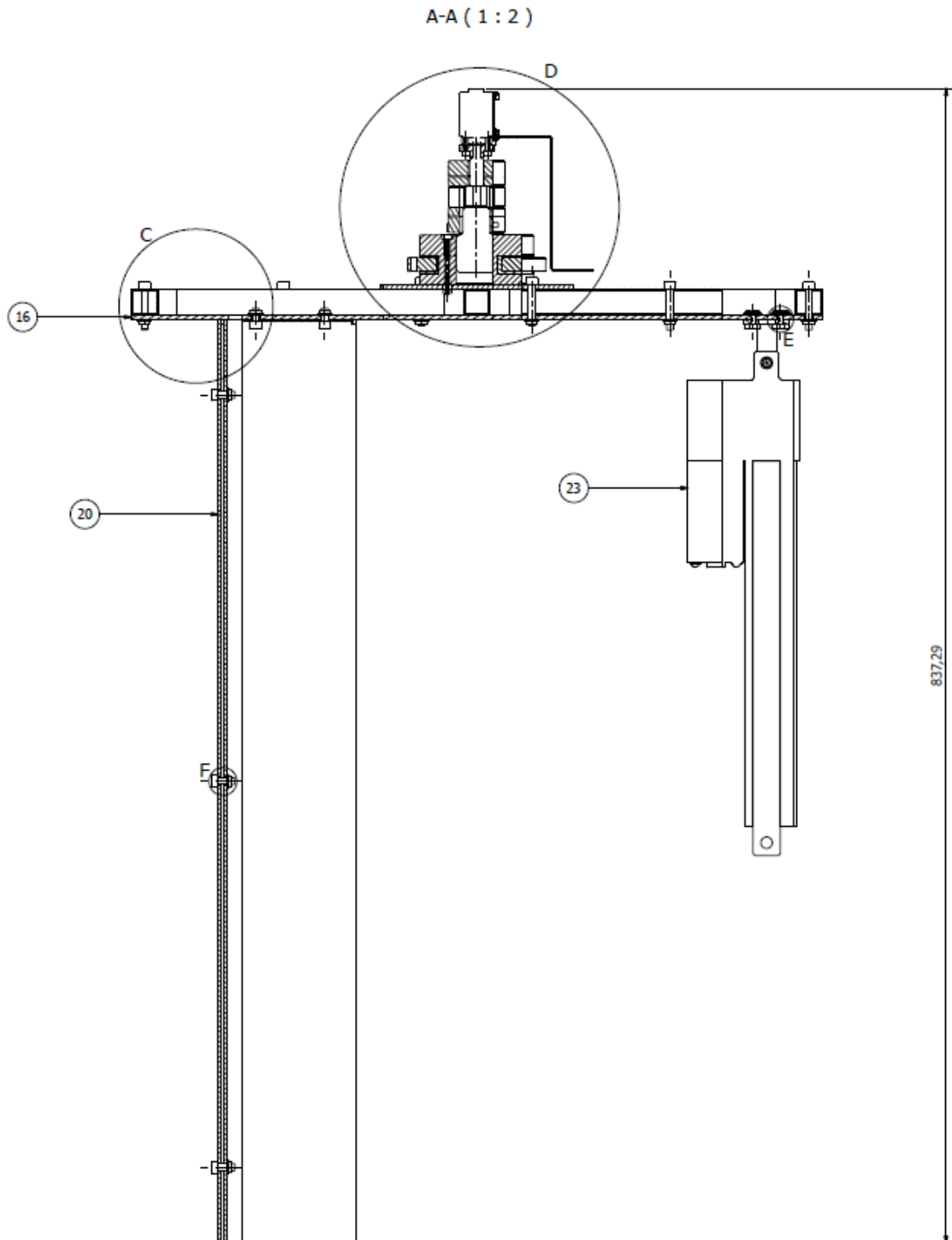


Figura 4.35. Vista en sección A-A de la plataforma de movimiento. Fuente: Propia.

Debido a la presencia de cargas son excéntricas, se generan momentos flectores en adición a las cargas axiales; por ello, se utiliza un rodamiento de giro tipo corona giratoria (4) para poder absorber los tipos de cargas mencionados. El rodamiento tipo corona se encuentra unido al grupo de vigas por medio de la placa de conexión (3). El encargado de transmitir la potencia al rodamiento para lograr el giro es el eje para servomotor (8), el cual se encuentra conectado al actuador por medio de un cubo de montaje (9).

Tabla 4.45. Componentes principales de la plataforma de movimiento del módulo de medición y manipulación. Fuente: Propia.

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Tubo cuadrado 19.05 x 1 x 500
2	Tubo cuadrado 19.05 x 1 x 220
3	Plancha de conexión
4	Rodamiento de corona giratoria
8	Eje para servomotor
9	Cubo de montaje para eje de transmisión
10	Servomotor Dynamixel AX - 12A
12	Plancha soporte para servomotor
16	Plancha soporte para plataforma de movimiento
20	Tolva de alimentación
23	Servo actuador lineal
27	Eje para rodamiento corona giratoria
28	Acople flexible 10 mm a 20 mm

D (2 : 1)

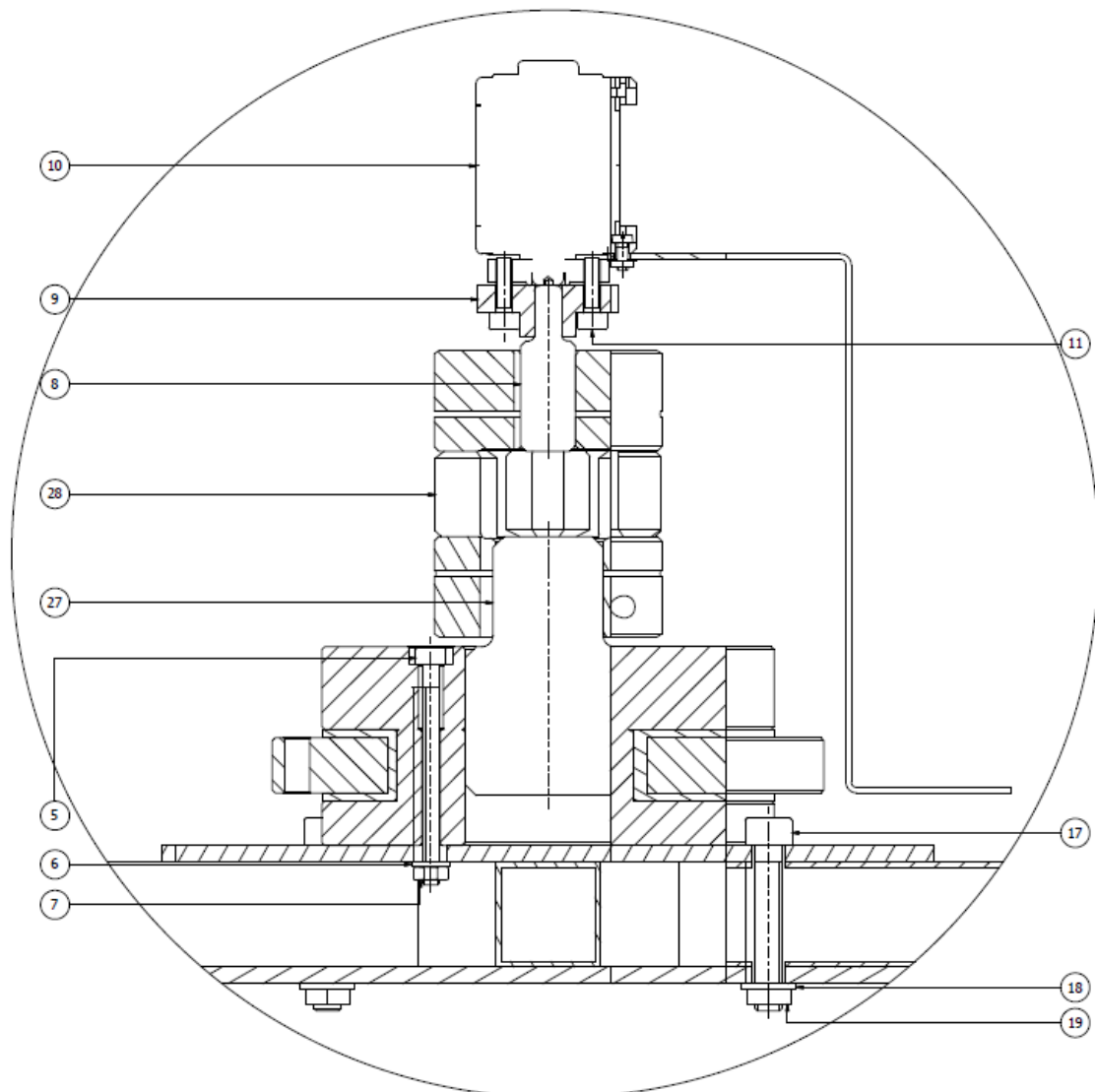


Figura 4.36. Vista de detalle D de la plataforma de movimiento del módulo. Fuente: Propia.

Subensamblado del módulo de medición y manipulación del proceso de compostaje

La vista isométrica y la vista frontal del subensamblado del módulo de medición y manipulación del proceso de compostaje se muestran en la Figura 4.37. La vista en sección A-A se muestra en la

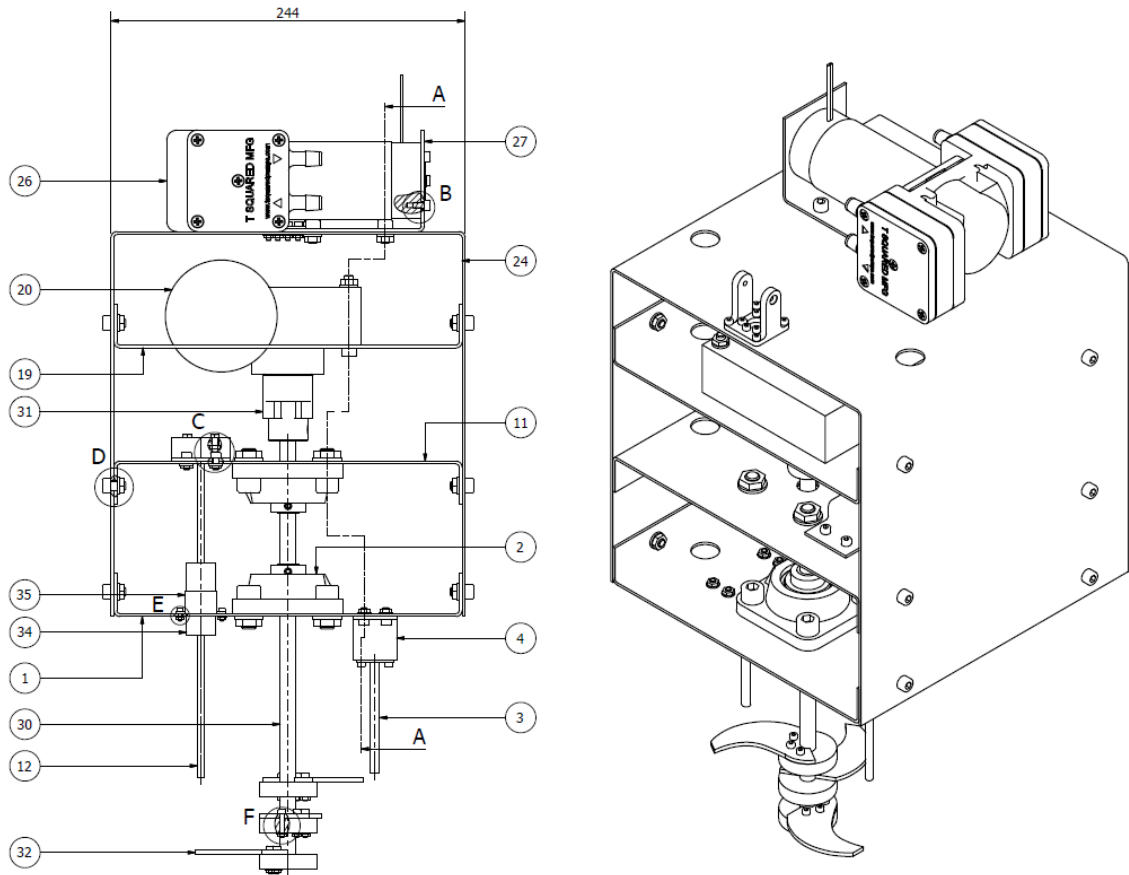


Figura 4.37. Vista frontal a la izquierda y vista isométrica a la derecha del subensamblado del módulo de medición y manipulación. Fuente: Propia.

Los componentes principales del subensamblado se describen en la Tabla 4.46, en donde cada componente se identifica con número que guarda relación con los utilizados en las vistas de las Figuras 4.37 y 4.38.

Para facilitar la descripción del subsistema, la parte interna del módulo se divide en tres niveles. El soporte del primer nivel está dado por la placa de soporte base (1). A esta placa se une el soporte de rodamiento (2) y la placa soporte del calentador (4), la cual a su vez sujeta al calentador tipo cartucho (3). El soporte del segundo nivel es la placa soporte intermedia (11) a la cual se le une la placa soporte del sensor temperatura (18) que permite a su vez sujetar a la termocupla (12), además, se coloca en el segundo nivel la unidad de rodamiento 2. En tercer nivel, se ubica el motor reductor (20) que se encuentra sujeto a la placa soporte motor (19).

Cada una de las placas soporte de los tres niveles se unen a su vez a la placa cubierta (24). Las cuchillas (32) se unen al eje (30), el cual a su vez es soportado en dos puntos por las unidades de rodamiento. Las cuchillas seleccionadas son de la marca AstorBlade, las cuales son utilizadas para corte de materiales orgánicos, además su geometría permite una fácil integración con el eje. La transmisión de potencia del motor al eje se realiza por medio del acople flexible (31). En la parte superior de la placa cubierta se sujeta la mini bomba (26) por medio de la placa soporte de la bomba (27).

Tabla 4.46. Componentes principales del módulo de medición y manipulación. Fuente: Propia.

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Plancha base
2	Unidad de rodamiento de bolas radiales 12 mm
3	Calentador tipo cartucho 96W
4	Plancha soporte calentador
11	Plancha intermedia
12	Probeta termocupla tipo T
19	Plancha superior
20	Motoreductor engranaje-tornillo
24	Plancha cubierta
26	Mini bomba de aire DC
27	Plancha soporte mini bomba
29	Soporte para servo actuador lineal
30	Eje para cuchillas
31	Acoplamiento flexible para eje
32	Cuchillas tipo delta R

En la Figura 4.38, se presenta la vista de la sección A-A, en cual se poder visualizar el soporte (29) del vástago del servo actuador lineal del sistema del movimiento de cámara.

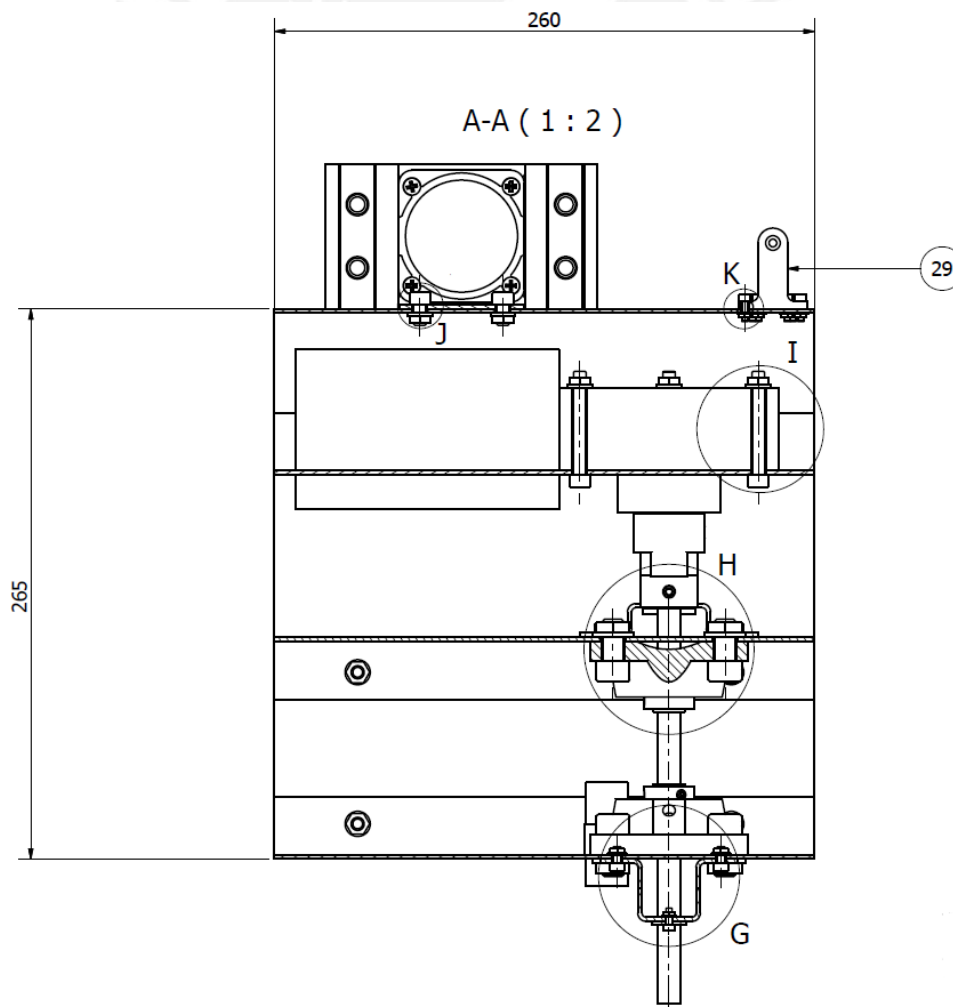


Figura 4.38. Vista en sección A-A del módulo de medición y manipulación. Fuente: Propia.

Subensamle de la cámara multipropósito

La Figura 4.39 muestra la vista isométrica de la cámara multipropósito. La vista frontal del subensamble se muestra en la Figura 4.40 donde se señalan los dos componentes que forman la cámara multipropósito, las cuales son identificadas en la Tabla 4.47 como Plataforma cámara y Paredes giratorias.

Tabla 4.47. Componentes principales de la cámara multipropósito. Fuente: Propia.

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Plataforma cámara
2	Paredes giratorias

La vista isométrica y la vista superior de la plataforma de la cámara se muestran en la Figura 4.41. Su vista en sección A-A se representa en la Figura 4.39. En la Tabla 4.48, se describen sus principales componentes con sus respectivos números de identificación.

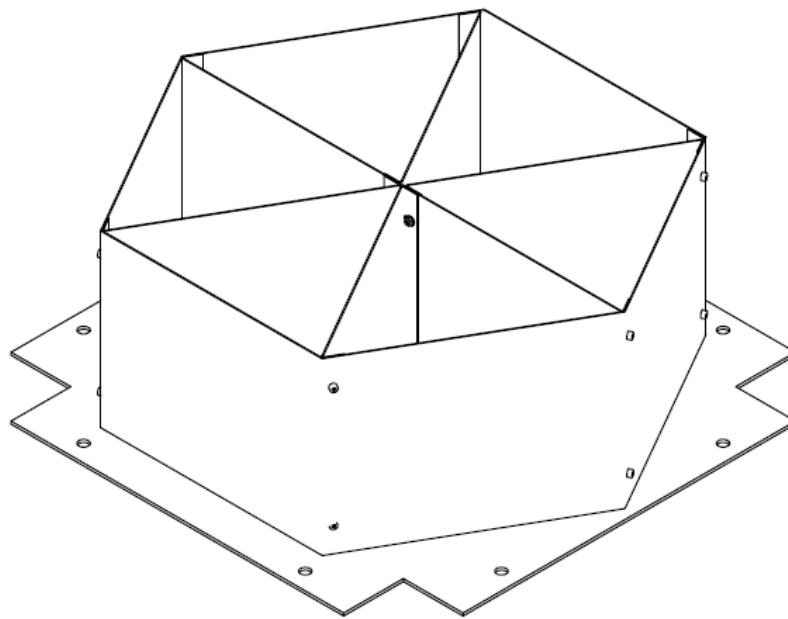


Figura 4.39. Vista isométrica de la cámara multipropósito. Fuente: Propia.

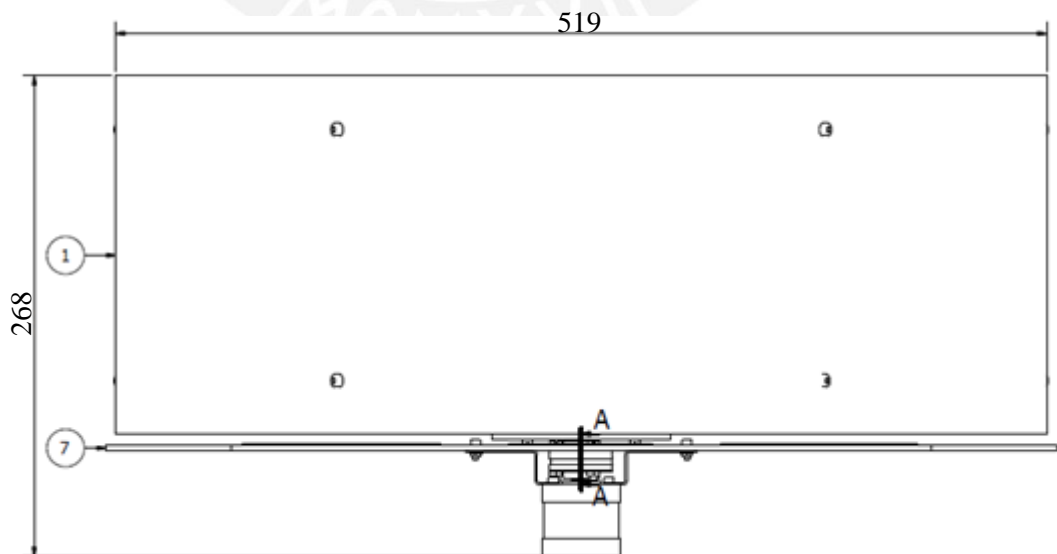


Figura 4.40. Vista frontal de la cámara multipropósito. Fuente: Propia.

La plataforma de la cámara tiene como función dar soporte a todos los componentes que conforman la cámara multipropósito, así como contener a todos los residuos orgánicos en etapa de procesamiento. En la Figura 4.41 se muestra la vista superior donde se puede visualizar la placa soporte del sistema (1), la cual como se describió en la sección de ensamble general va unida a la estructura de soporte principal de la máquina. Además, se muestra la posición de los sensores de fuerza de naturaleza resistiva, los cuales permitirán saber la existencia de residuos orgánicos en cada uno de los compartimientos.

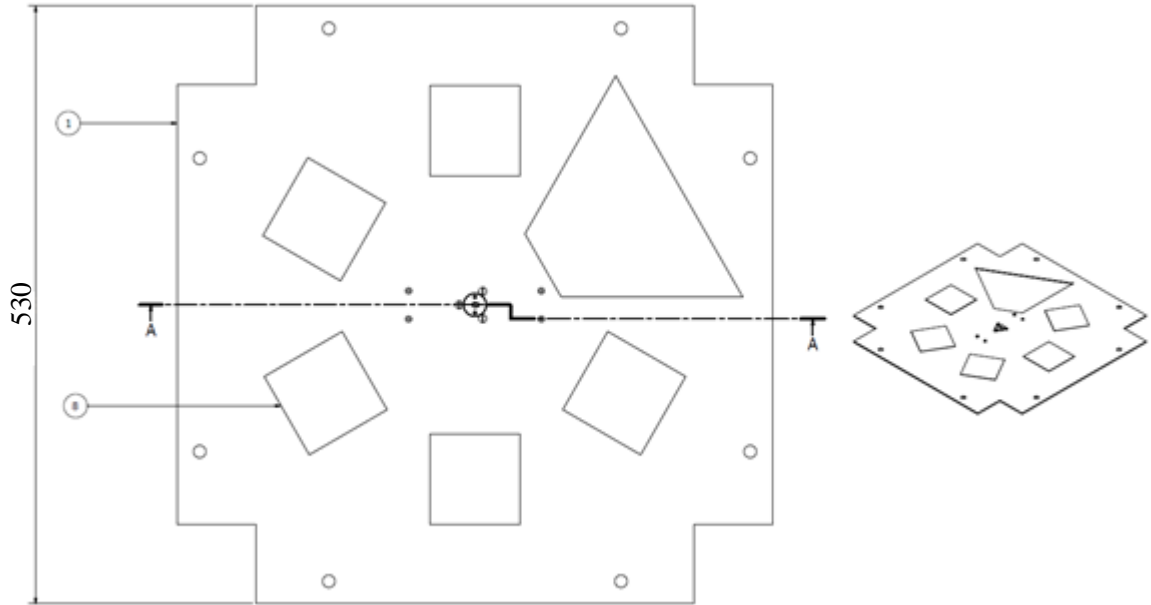


Figura 4.41. Vista superior de la plataforma de la cámara. Fuente: Propia.

Tabla 4.48. Componentes principales de la plataforma de la cámara. Fuente: Propia.

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Plancha soporte plataforma
2	Rodamiento de aguas de contacto angular
5	Motor a pasos
6	Placa soporte motor a pasos
10	Sensor de fuerza resistivo plano

La vista en sección mostrada en la Figura 4.42 muestra el motor pasos (5) con su respectiva placa soporte (6). El motor a pasos permitirá dar el movimiento rotatorio a la cámara multipropósito. También, se visualiza el rodamiento de agujas de contacto angular (2) que permite absorber las fuerzas radiales y pequeños momentos de reacción producido por el peso de los residuos orgánicos en procesamiento.

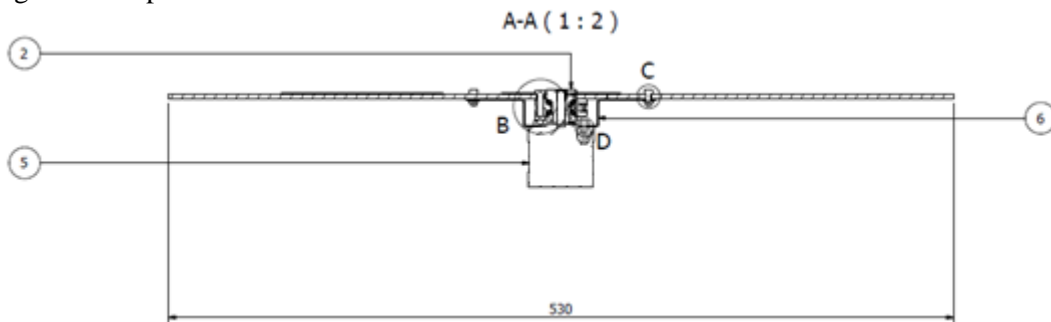


Figura 4.42. Vista en sección A-A de la plataforma de la cámara. Fuente: Propia.

Las paredes giratorias de la cámara multipropósito cumplen la función de separar las porciones de residuos orgánicos en etapa de procesamiento correspondiente a los diferentes días, además de trasladarlos en un periodo de cinco días (periodo de duración de la etapa de procesamiento de compostaje) hacia el orificio que comunica con el contenedor de producto terminado de la máquina. Se cuenta con cinco divisiones para contener los residuos con una capacidad máxima de 1.5 kg dependiendo de la densidad de los residuos orgánicos de entrada. La forma de cada contenedor es de forma piramidal, por lo que podría influir en una distribución no homogénea de los residuos; se sugiere en una etapa de mejora del diseño utilizar otras geometrías.

La vista superior y la vista isométrica de las paredes giratorias se muestran en la Figura 4.43 y sus componentes principales se describen e identifican en la Tabla 4.49. En la vista superior de la Figura 4.40 se muestra la paredes externas (1), la pared interna (2) y las pared interna unión (3), la cual en conjunto están unido al plato circular (8) por medio de las planchas unión en L (7).

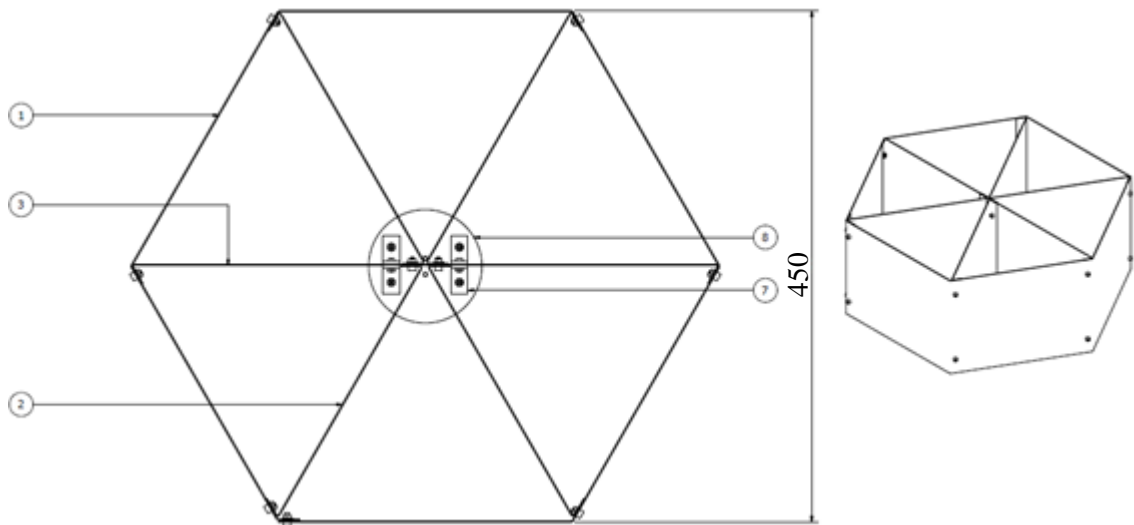


Figura 4.43. Vista superior y vista isométrica de las paredes giratorias de la cámara. Fuente: Propia.

Tabla 4.49. Componentes principales de las paredes giratorias de la cámara. Fuente: Propia.

POSICIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Pared externa
2	Pared interna
3	Pared interna unión
7	Plancha unión en L
8	Plato circular

4.4.2 Simulaciones de verificación mecánica

En esta subsección se presentan las simulaciones de verificación mecánica realizadas a los elementos críticos de cada subsistema por el Método de los Elementos Finitos para verificar su correcto funcionamiento durante el proceso de trabajo de la máquina.

Análisis de la plancha cubierta del módulo de medición y manipulación

Se realiza el análisis de la plancha cubierta, la cual soporta todos los componentes que alberga el módulo de medición y manipulación. Las fuerzas actuantes sobre la plancha cubierta son las reacciones de $F_1=15$ N en los agujeros de las paredes laterales generadas por la masa de los componentes que alberga y la reacción de $F_2=20$ N de la pared superior generada por la masa de la mini bomba. La Figura 4.44 muestra el estado de esfuerzo de la plancha cubierta.

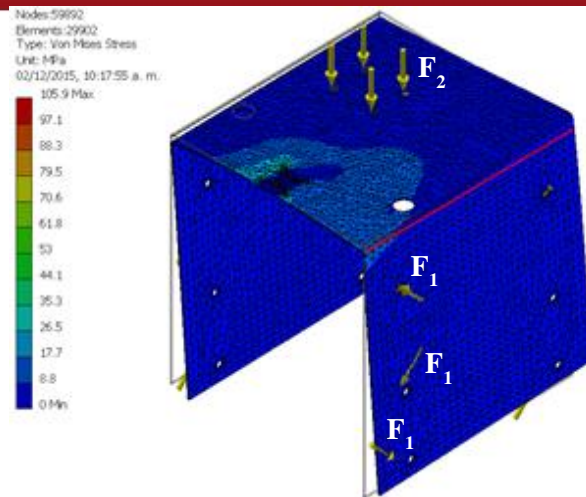


Figura 4.44. Estado de esfuerzos de la plancha cubierta. Fuente: Propia.

El desplazamiento generado por los esfuerzos se muestra en la Figura 4.45, donde el mayor alcanza un valor de 1 mm aproximadamente.

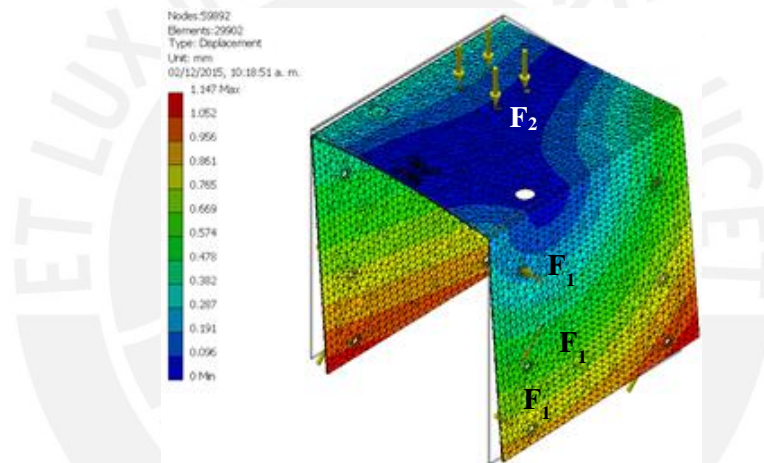


Figura 4.45. Desplazamiento de la plancha cubierta. Fuente: Propia.

El factor de seguridad de la plancha cubierta se muestra en la Figura 4.46. El valor mínimo presenta un valor de 13; por lo tanto, para un espesor de 2 mm se comprueba que el elemento no falla.

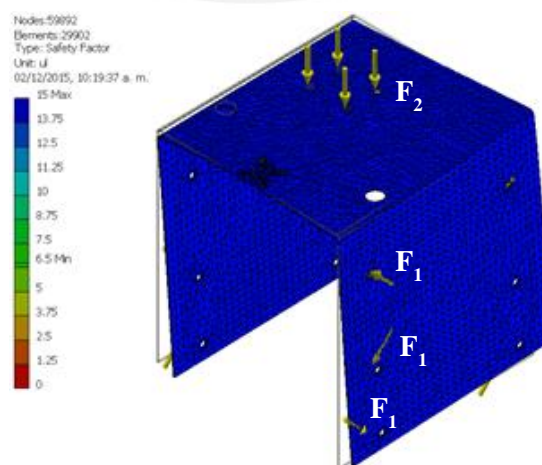


Figura 4.46. Factor de seguridad de la plancha cubierta. Fuente: Propia.

Análisis de plancha soporte de la plataforma de movimiento

Se realiza el análisis de la plancha soporte de la plataforma de movimiento que sirve como soporte para el módulo de medición y manipulación, la tolva de alimentación y el servo actuador lineal. La Figura 4.47 muestra el estado de fuerzas de la plancha soporte de la plataforma de movimiento.

Las fuerzas actuantes sobre la plancha soporte son las siguientes: $F_1=40$ N correspondiente a la masa del módulo de medición y manipulación aplicado en el extremo izquierdo de la Figura 4.47; $F_2=28$ N generado por la masa propia de la plataforma de movimiento ubicado en el centro de la plataforma; y $F_3=12.5$ N correspondiente a la tolva de alimentación aplicado en el extremo derecho de la Figura 4.47.

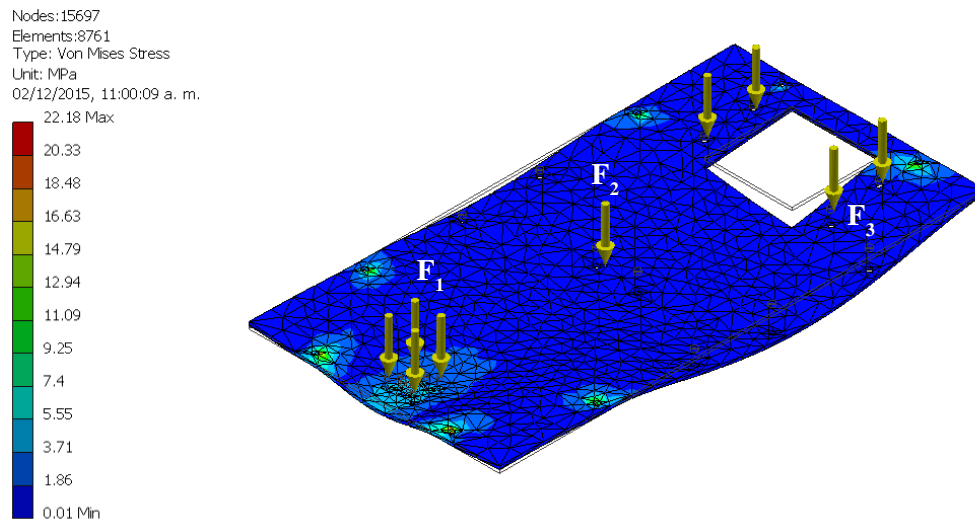


Figura 4.47. Estados de esfuerzos de la plancha soporte de la plataforma. Fuente: Propia.

La Figura 4.48 muestra el desplazamiento de la plancha soporte presentando un valor máximo de 0.04 mm. El factor de seguridad se muestra en la Figura 4.49 presentando un valor mínimo alrededor de 12 con lo que se verifica que la plancha soporte con un espesor de 3 mm no falla por resistencia mecánica.

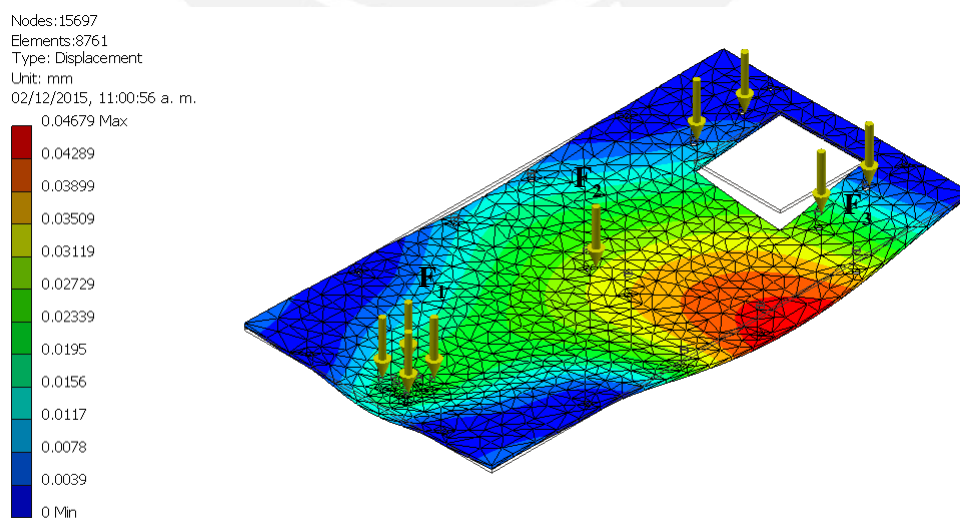


Figura 4.48. Desplazamiento de la plancha soporte de la plataforma. Fuente: Propia.

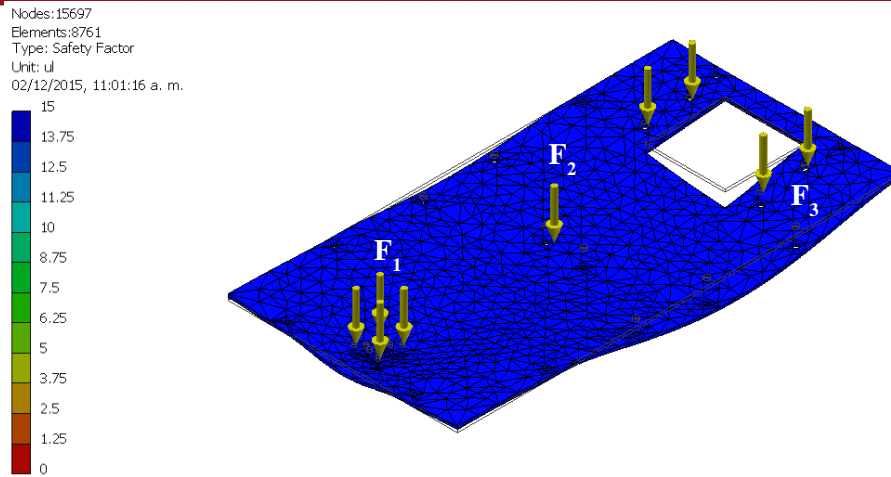


Figura 4.49. Factor de seguridad de la plancha soporte de la plataforma. Fuente: Propia.

Análisis del plato circular de la cámara multipropósito

Se realiza el análisis del plato circular de la cámara multipropósito, el cual transmite el movimiento rotatorio a las paredes giratorias de dicha cámara; además de servirle como base de soporte. La Figura 4.50 muestra el estado de esfuerzos del plato circular.

Las fuerzas y pares actuantes sobre el plato circular son las siguientes: $F_1=10\text{ N}$ correspondiente a la masa de las paredes giratorias, $M_1=260\text{ N}\cdot\text{mm}$ generado por el motor para poder mover las paredes giratorias y $F_3=2\text{ N}$ generado por la masa del plato.

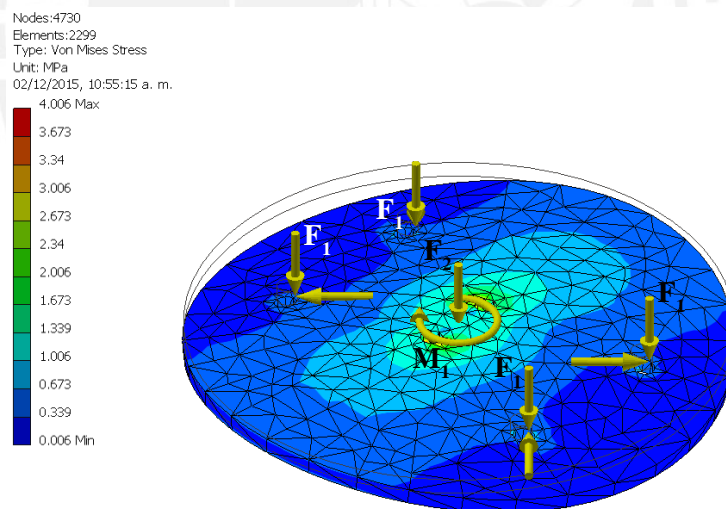


Figura 4.50. Estado de esfuerzos del plato circular de la cámara multipropósito. Fuente: Propia.

La Figura 4.51 muestra el desplazamiento del plato circular presentando valores muy pequeños. El factor de seguridad del plato circular se presenta en la Figura 4.52 teniendo un valor mínimo alrededor de catorce; por lo tanto, se verifica que para un espesor de 3 mm el elemento no falla por resistencia mecánica.

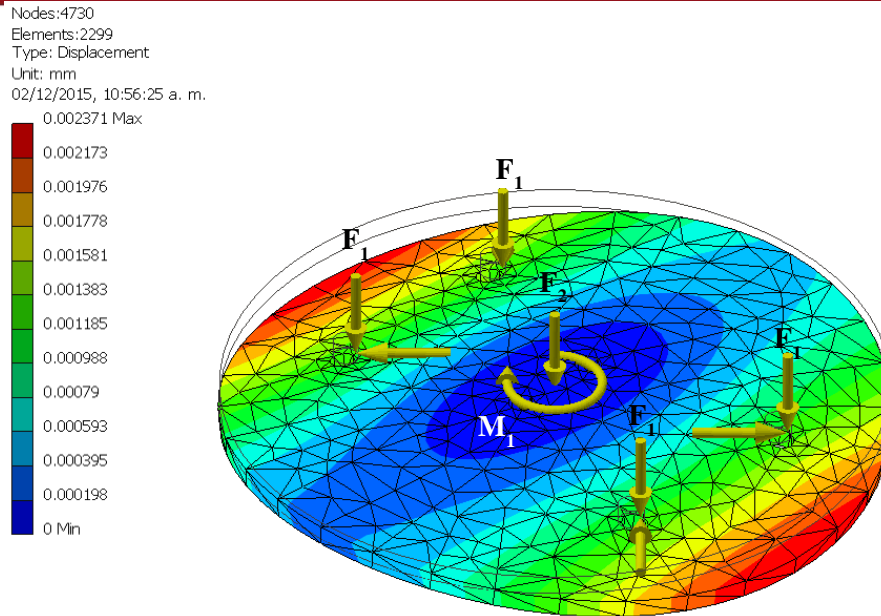


Figura 4.51. Desplazamiento del plato circular. Fuente: Propia.

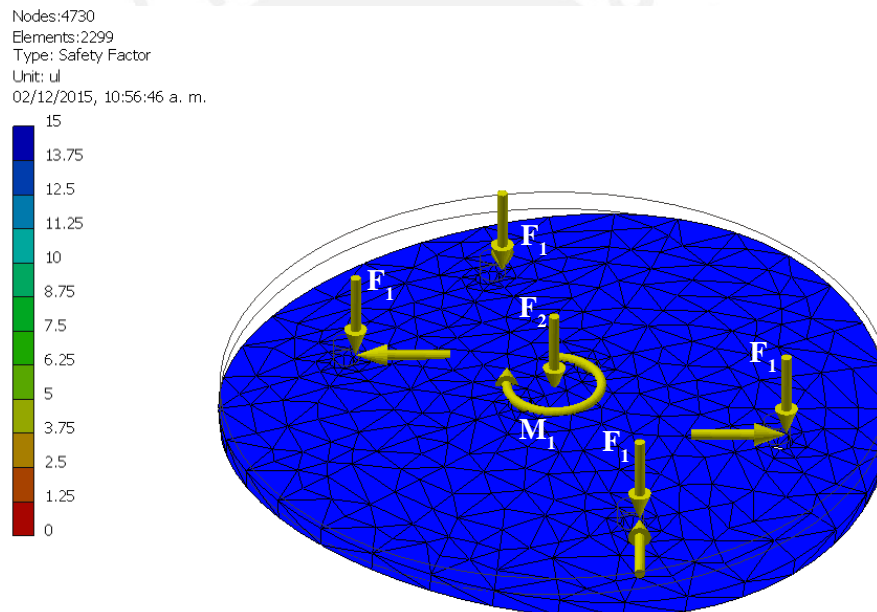


Figura 4.52. Factor de seguridad del plato circular. Fuente: Propia.

Análisis de la plancha depósito de la estructura general

Se realiza el análisis de la plancha de depósito donde se almacena el producto terminado. El estado de esfuerzo correspondiente se muestra en la Figura 4.53. La fuerza ejercida sobre la plancha tiene un valor de $F_1=200$ N generado por la capacidad máxima de compost que puede almacenar. El desplazamiento de la plancha depósito se presenta en la figura 4.54 donde se puede observar que el máximo desplazamiento es de 0.4 mm. El factor de seguridad de la plancha de depósito se muestra en la Figura 4.55 donde se observa un valor mínimo alrededor de 14 para un depósito formado con una plancha de espesor de 2mm verificando que no falla por resistencia mecánica.

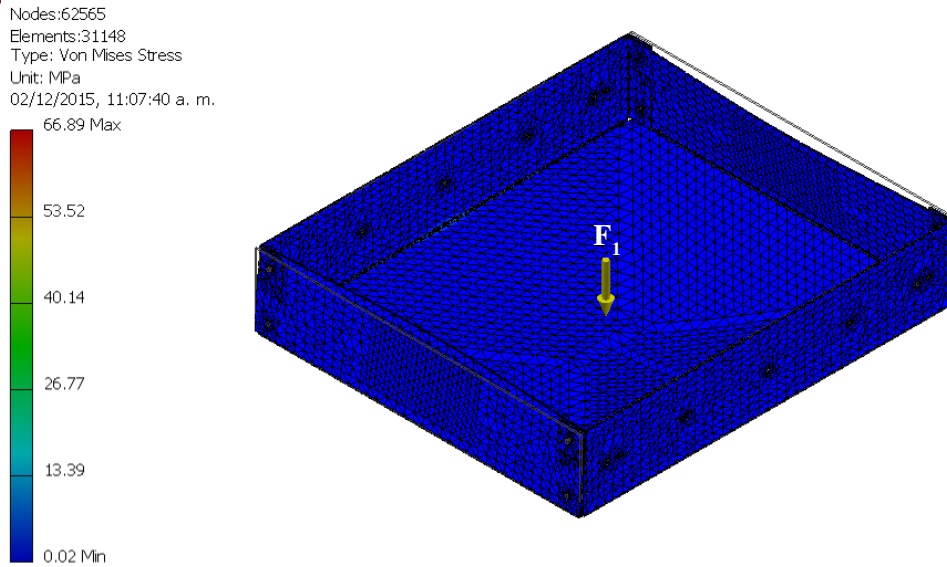


Figura 4.53. Estados de esfuerzos de la plancha de depósito. Fuente: Propia.

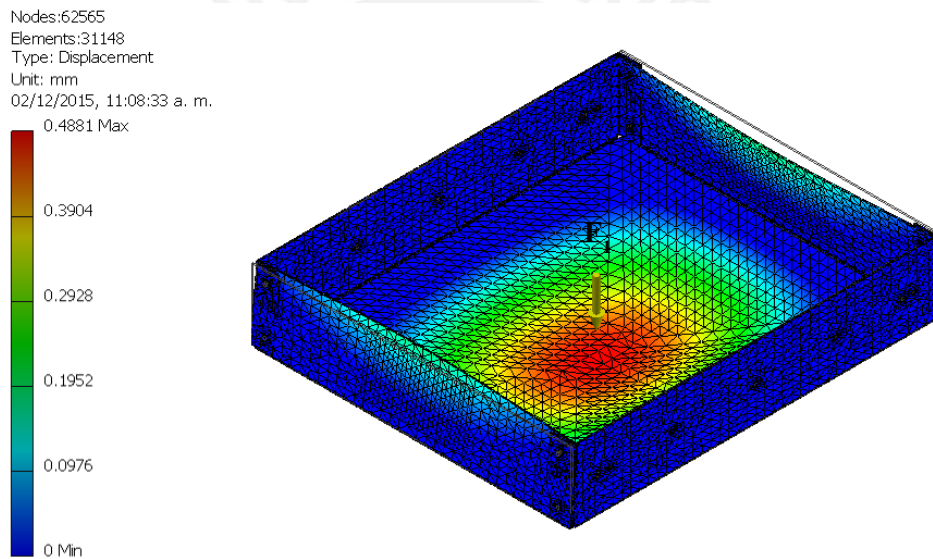


Figura 4.54. Desplazamiento de la plancha de depósito. Fuente: Propia.

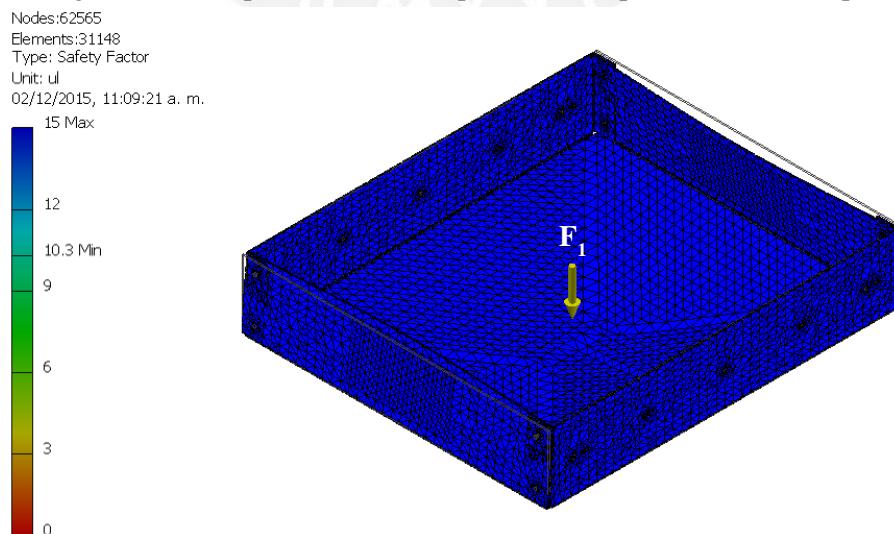


Figura 4.55. Factor de seguridad de la plancha de depósito. Fuente: Propia.

4.5 Diseño de control

4.5.1 Arquitectura de control

En la Figura 4.56 se muestra la arquitectura de control del sistema en donde se visualiza cómo interactúan los bloques de control con los sensores y los actuadores, y estos últimos con la parte mecánica y los procesos. Se puede visualizar tres bloques de control que cumplen la función de controlar la secuencia del movimiento de la plataforma de movimiento, controlar el proceso de compostaje y controlar el movimiento de la cámara multipropósito.

Para controlar la secuencia de movimiento de la plataforma se requiere previamente determinar los compartimientos de la cámara multipropósito en los que existe presencia de residuos orgánicos a procesar, esta información se obtiene realizando la lectura de los sensores de fuerzas para luego saber los compartimientos a monitorear y controlar, los cuales están identificados por la variable θ_{1ref} que define la posiciones angulares a desplazarse por la plataforma de movimiento. Los sensores de giro y de posición lineal sirven para poder obtener retroalimentación del movimiento de la plataforma y poder así corregir cualquier error respecto a su posición angular y desplazamiento lineal de referencia.

Respecto al control del proceso de compostaje se requiere realizar las mediciones de la temperatura y la concentración oxígeno en los contenedores de la cámara multipropósito donde se encuentran los residuos orgánicos, para luego tomar las decisiones correctas sobre qué actuadores accionar, pudiendo ser la bomba de aire, calefacción eléctrica y/o el triturador/mezclador teniendo en cuenta los valores de referencia de temperatura y concentración de O_2 (T_{ref} y O_{2ref}) propias del proceso. Para el control del desplazamiento angular de las paredes giratorias de la cámara multipropósito, cuyo rotación es de $60^\circ/\text{día}$ se cuenta con la variable θ_{2ref} , la cual se incrementará su valor a razón de 60° por día dentro de un intervalo de 0 a 360° ; además para permitir el control en lazo cerrado se utiliza un sensor de giro y como actuador un motor a pasos ambos conectados a las paredes giratorias de la cámara multipropósito.

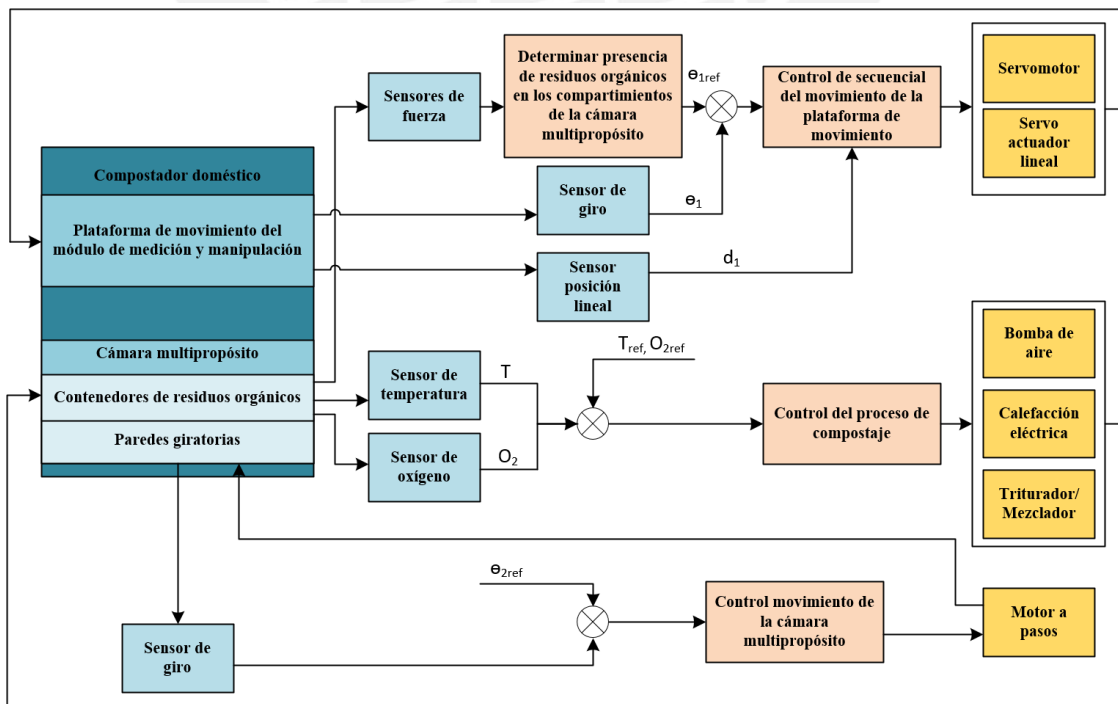


Figura 4.56. Arquitectura de control del sistema. Fuente: Propia.

4.5.2 Diagramas de flujo

En esta sección se desarrollan los diagramas de flujo para la programación del microcontrolador. La Figura 4.57 muestra el diagrama de flujo del programa principal que se encarga de configurar los puertos y variables, configurar la interrupción por tiempo, llamar a la subrutina de control de movimiento de la cámara multipropósito y actualizar las variables de estado. Respecto a la configuración de la interrupción por tiempo se realiza de manera que ocurran solo cinco interrupciones cada 24 horas permitiendo así controlar y monitorear los residuos orgánicos de la cámara multipropósito en cinco oportunidades, lo cual favorece el proceso de compostaje del material orgánico. El control de movimiento se ejecuta una vez cada 24 horas y para saber el tiempo transcurrido se realiza el conteo de la cantidad interrupciones que al tener un valor igual a cinco se puede deducir que transcurrió aproximadamente 24 horas.

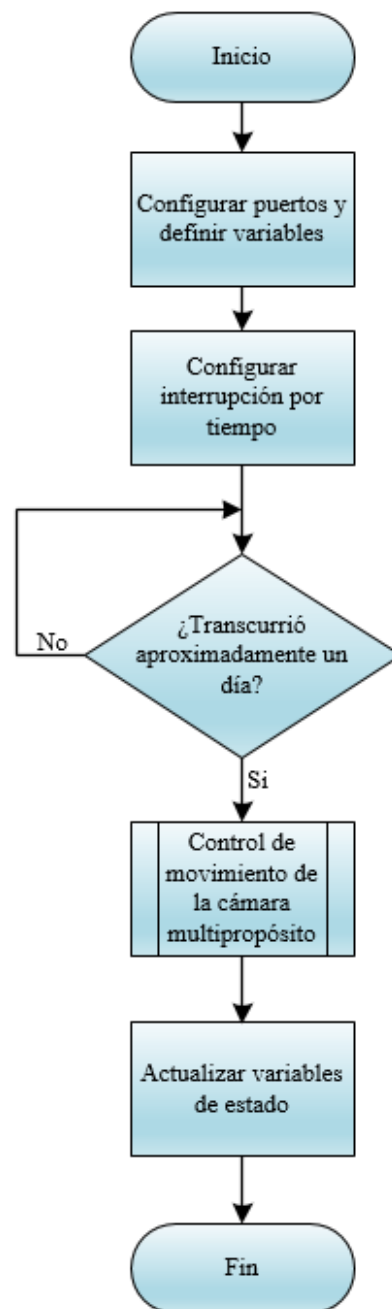


Figura 4.57. Diagrama de flujo general. Fuente: Propia.

Control de movimiento de la cámara multipropósito

El diagrama de flujo para controlar el movimiento de la cámara multipropósito se presenta en la Figura 4.58. Para poder controlar el desplazamiento angular del motor a pasos acoplado a las paredes giratorias de la cámara multipropósito se empieza con la lectura del encoder para obtener la posición angular actual, seguida de calcular el error respecto a la posición angular de referencia para posteriormente decidir si se debe continuar enviando la señal de control para poder mover el motor a pasos. La subrutina se ejecuta hasta que el valor del error sea menor a 2° , que se considera un valor aceptable que no afecta el funcionamiento del sistema.

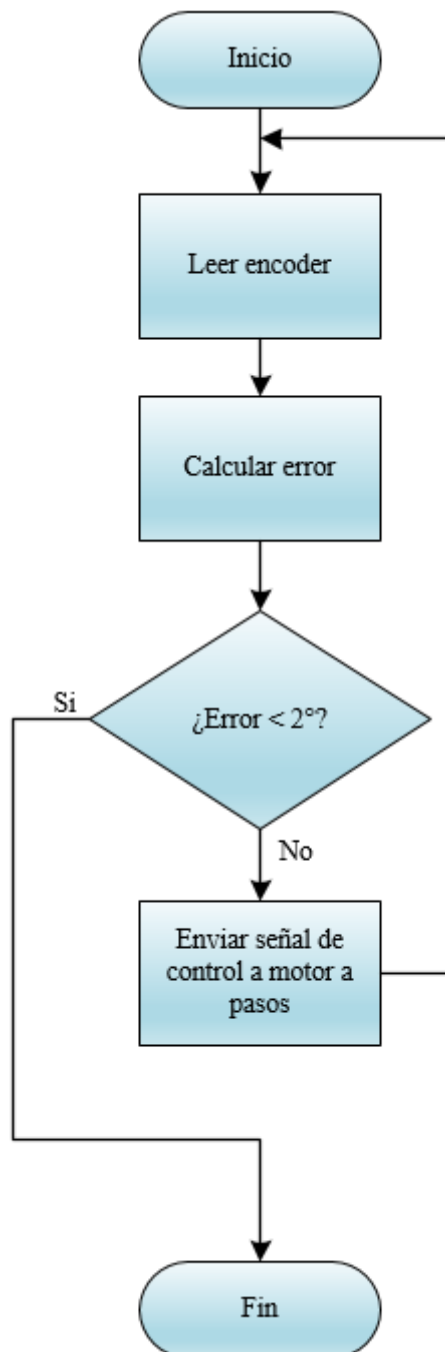


Figura 4.58. Diagrama de flujo de control de movimiento de la cámara multipropósito. Fuente: Propia.

Subrutina de servicio de interrupción por tiempo

La Figura 4.59 muestra la subrutina de servicio de interrupción, la cual se ejecutará cinco veces al día permitiendo así monitorear el proceso de compostaje la misma cantidad de veces. El programa inicia determinando la presencia de residuos orgánicos en cada uno de los compartimientos de la cámara multipropósito. Una vez definido las posiciones angulares a desplazarse, los cuales definen la posición de los compartimientos de la cámara multipropósito, se realiza el control secuencial del movimiento de la plataforma y el control del proceso de compostaje en cada uno de los compartimientos donde se detectó presencia de material orgánico. La subrutina termina cuando se ha realizado el monitorea y controlado el proceso de compostaje en cada uno de los compartimientos de la cámara multipropósito con presencia de residuo orgánico.

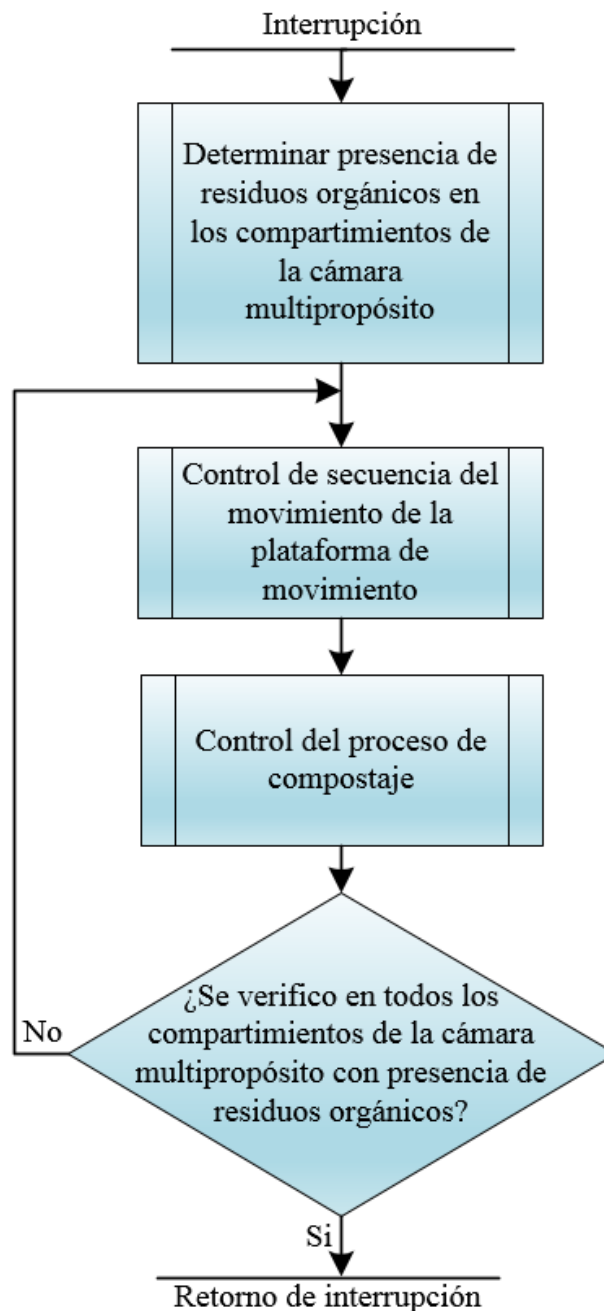


Figura 4.59. Diagrama de flujo de la interrupción por tiempo. Fuente: Propia.

Determinar presencia de residuos orgánicos en los compartimientos de la cámara multipropósito

Para determinar la presencia de residuos orgánicos en los compartimientos de la cámara multipropósito se sigue el flujo mostrado en la Figura 4.60. Primero se realiza la lectura de los sensores de fuerza de cada uno de los compartimientos de la cámara multipropósito para determinar la presencia de residuos orgánicos, luego se calcula las posiciones angulares, que definen la posición de los compartimientos de la cámara multipropósito con material orgánico. Dichas posiciones angulares servirán para girar la plataforma de movimiento permitiendo así ubicar de manera adecuada al módulo de medición y manipulación sobre el compartimiento de la cámara multipropósito con presencia de residuos orgánicos.

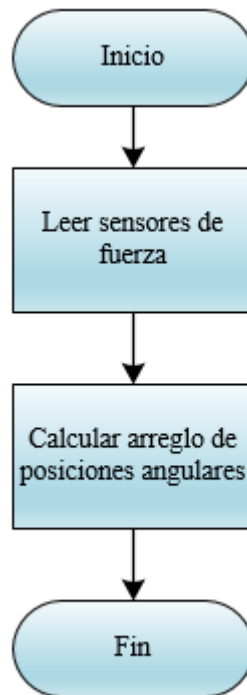


Figura 4.60. Diagrama de flujo para determinar la presencia de los residuos orgánicos en los compartimientos de la cámara multipropósito. Fuente: Propia.

Control de secuencia del movimiento de la plataforma

La subrutina que permite controlar la secuencia de la plataforma de movimiento se muestra en la Figura 4.61. Por seguridad, se empieza realizando la lectura al sensor de posición lineal verificando que el actuador lineal no se encuentre extendido, ya que de ser así el módulo de medición y manipulación acoplada al actuador lineal estaría insertado dentro de un compartimiento de la cámara multipropósito ocasionando así una colisión al tratar de girar la plataforma de movimiento. Para realizar el movimiento de giro de la plataforma, se envía la posición angular de referencia al servomotor. Luego, para poder verificar que el giro del servomotor se ha realizado hasta la posición angular de referencia se verifica el sensor de giro de la plataforma de movimiento hasta que obtener un error mínimo entre la posición angular de referencia y la posición angular actual. Finalmente, se procede a enviar la señal para extender el actuador lineal para poder introducir el módulo de medición y manipulación en el compartimiento de la cámara multipropósito.

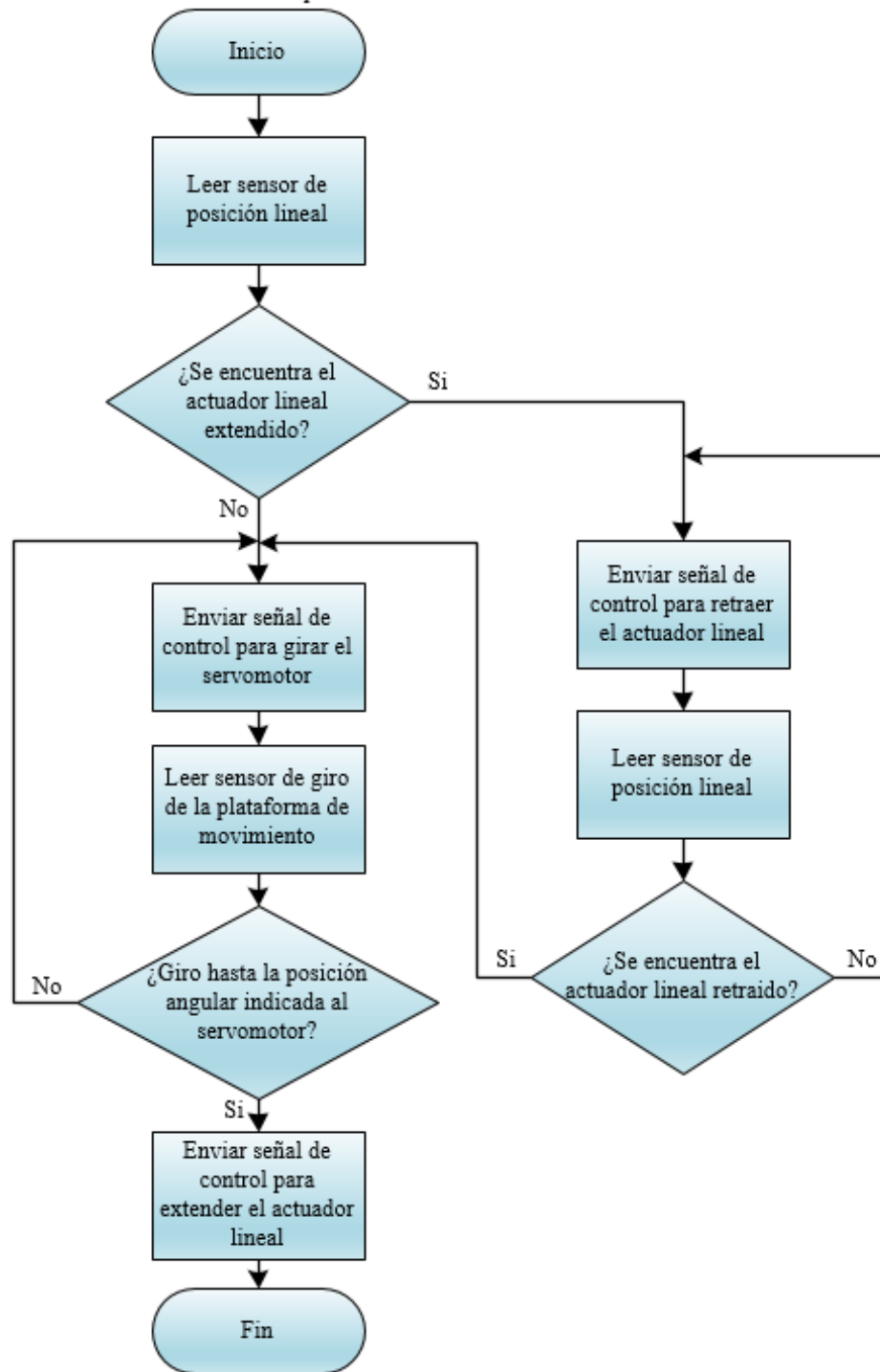


Figura 4.61. Diagrama de flujo del control de secuencia del movimiento de la plataforma.
Fuente: Propia.

Control del proceso de compostaje

En la Figura 4.62 se muestra el diagrama de flujo de la subrutina de control del proceso de compostaje que se encargará de leer los valores de los sensores de oxígeno y temperatura, analizar la información compararla con valores referenciales y de acuerdo a ello accionar la bomba de aire, el calentador y/o el mezclador-triturador.

Se propone un control ON/OFF. Se cuenta con tres posibles casos para analizar. El primer caso se da cuando la temperatura medida es mayor a la temperatura máxima de referencia o la concentración del oxígeno medido es menor al valor mínimo de referencia. En este caso, se acciona solo la bomba de aire y el mezclador para poder enfriar los residuos orgánicos y ventilarlos.

El segundo caso se presenta cuando la temperatura medida es menor a la temperatura mínima de referencia o la cantidad de oxígeno medido es mayor al valor de oxígeno mínimo de referencia. En este caso se acciona solo el calentador y el mezclador para aumentar la temperatura de los residuos de manera homogénea.

El tercer y último caso se considera cuando la temperatura medida es menor que la temperatura de mínima de referencia y nivel de oxígeno medido es menor la concentración de oxígeno mínima de referencia. En este caso se accionar el calentador, la bomba de aire y mezclador para poder calentador los residuos y a su vez airearlos de manera homogénea.

El proceso culmina cuando las variables de estado del proceso de compostaje se encuentran en los rangos aceptables de temperatura y oxígeno y, finalmente, se procede a apagar la bomba de aire, el calentador y el mezclador.



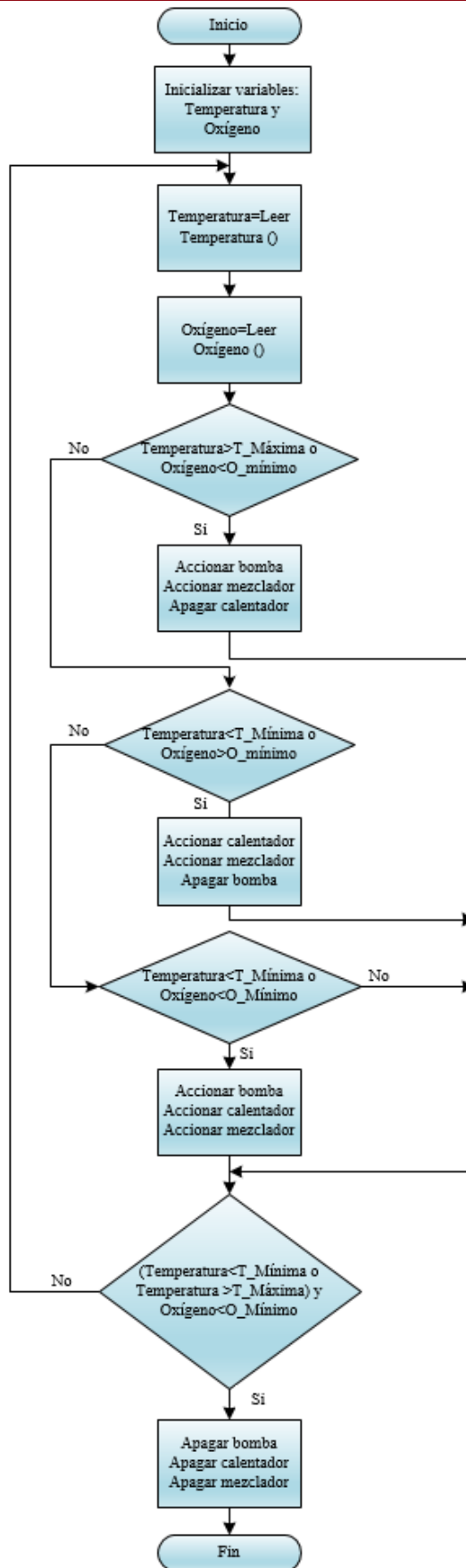


Figura 4. 62. Diagrama de flujo del control del proceso de compostaje. Fuente: Propia.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE COSTOS

En el presente capítulo se analiza los costos fabricación que implican la realización del sistema mecatrónico. Los costos se presentan en dos partes: costos de materiales y costos de mano de obra. La primera comprende los costos relacionados con la compra de los componentes mecánicos y electrónicos. Luego, la segunda parte muestra la estimación de los costos de mano de obra de tanto de la parte mecánica como la parte electrónica.

5.1 Costos de materiales

La Tabla 5.1 presenta los costos de los materiales importados utilizando la tasa de conversión monetaria correspondiente a abril del 2016, además, se le adiciona los costos de envío.

Tabla 5.1. Costos de materiales importados. Fuente: Propia.

Componente	Proveedor	Precio Unitario (\$)	Cantidad	Precio Total (\$)	Precio Total (\$/.)
Mini bomba de aire T2-01 66LPM	Parker	394.00	1.00	394.00	1280.50
Calentador Cartucho MCH1-96W-005	Comstat	26.50	1.00	26.50	86.13
Motor reductor MY7712	Motion Dynamics	103.99	1.00	103.99	337.97
Motor a pasos Mercury ROB - 0928	Sparkfun	14.95	1.00	14.95	48.59
Servo actuador lineal HDLS - 8 - 50 - 12V	Servocity	300.00	1.00	300.00	975.00
Servomotor Dynamixel AX-12A	TrossenRobotics	44.9	1.00	44.90	145.93
Probeta Termocupla ST - 25	WATLOW	23.10	1.00	23.10	75.08
LM108	AliExpress	5.30	1.00	5.30	17.23
Sensor ME3-O2	WINSENSOR	49.90	1.00	49.90	162.18
Sensor ME3-O2	AMCI	35.42	1.00	35.42	115.12
Controlador motor a pasos A4988	POLOLU	5.95	1.00	5.95	19.34
Controlador motoreductor VNH5019	POLOLU	48.88	1.00	48.88	158.86
Final de carrera 54 - 416 - BP	Galco	6.95	2.00	13.90	45.18
Fuente conmutada SANPU PS600	AliExpress	23.4	1.00	23.40	76.05
LM312	DigiKey	7.64	1.00	7.64	24.83
Sensor de fuerza Resistivo Cuadrado	5HertzElectronica	8.05	5.00	40.25	130.81
74LS241N	DigiPart	1	1.00	1.00	3.25
IRF640	DigiPart	1.27	2.00	2.54	8.26
				Suma	3710.27
				Gastos de envío	2226.16
				Subtotal	5936.42

La Tabla 5.2 presenta los costos de materiales nacionales.

Tabla 5.2. Costos de materiales nacionales. Fuente: Propia.

Componente	Proveedor	Precio Unitario (S/.)	Cantidad	Precio Total (S/.)
Arduino Mega	Jireh Electronic's	180.56	1.00	180.56
Resistencia 1/4W	Jireh Electronic's	0.1	13.00	1.3
Capacitancia de 50V	Jireh Electronic's	0.2	2.00	0.4
Diodo LED de 3 mm	Jireh Electronic's	0.3	2.00	0.6
Diodo	Jireh Electronic's	1	2.00	2
Fuente conmutada ANTRIX AP	Mesajil	112.88	1.00	112.88
			Subtotal	297.74

Además componentes mecánicos como tornillos, tuercas, arandelas y planchas se estima un valor de S/.200.00. Por lo tanto el costo total de los materiales es la suma de los costos de los componentes importados, los componentes nacionales y los últimos estimados resultando un valor de S/.6434.06.

5.2 Costos de mano de obra

Los costos estimados de mano de obra respecto a la mecánica incluyen el cortado, doblado y agujereado de planchas metálicas y el mecanizado de ejes.

En la Tabla 5.3 y en la Tabla 5.4 se muestran los costos estimados de mano de obra de los ejes y las planchas respectivamente. Respecto a la parte electrónica, la elaboración de la tarjeta para la amplificación de la señal de la termocupla se estima a un valor de S/. 100.

Tabla 5.3. Estimación de los costos de fabricación de los ejes. Fuente: Propia.

Plano	Descripción	Precio estimado (S/.)
A4-D-3-2	Plano de despiece de eje para servomotor	20.00
A4-D-3-6	Plano de despiece de eje para rodamiento corona giratoria	30.00
A4-D-4-7	Plano de despiece de eje para cuchillas	100.00
Subtotal		150.00

El costo total de mano de obra es de S/.1430.

5.3 Costo de diseño

Se calcula el costo de diseño considerando un trabajo semanal de 8 horas, y considerando que el precio por el diseño es de S/. 30 por hora, en 10 semanas se tienen S/. 2400.

Tabla 5.4. Estimación de los costos de fabricación de las planchas. Fuente. Propia

Plano	Descripción	Cantidad	Precio unitario estimado (S/.)	Precio estimado (S/.)
A3-D-2-1	Plancha soporte plataforma	1	25.00	25.00
A3-D-2-2	Plancha soporte depósito	1	90.00	90.00
A3-D-2-3	Plancha depósito	1	80.00	80.00
A4-D-3-1	Plancha de conexión	1	20.00	20.00
A4-D-3-3	Plancha de soporte para sevomotor	2	15.00	30.00
A3-D-3-4	Plancha de soporte para plataforma de movimiento	1	20.00	20.00
A3-D-3-5	Tolva de alimentación	1	60.00	60.00
A3-D-4-1	Plancha base	1	50.00	50.00
A4-D-4-2	Plancha soporte calentador	1	30.00	30.00
A3-D-4-3	Plancha intermedia	1	50.00	50.00
A3-D-4-4	Plancha superior	1	50.00	50.00
A3-D-4-5	Plancha cubierta	1	65.00	65.00
A4-D-4-6	Plancha soporte minibomba	1	30.00	30.00
A3-D-5-1-1	Plancha soporte plataforma	1	30.00	30.00
A4-D-5-1-2	Plancha soporte motor a pasos	2	25.00	50.00
A3-D-5-2-1	Pared externa	1	140.00	140.00
A4-D-5-2-2	Pared interna	4	45.00	180.00
A4-D-5-2-3	Pared interna unión	1	70.00	70.00
A4-D-5-2-4	Plancha unión en L	4	20.00	80.00
A4-D-5-2-5	Plato circular	1	30.00	30.00
Subtotal		28	945.00	1180.00

El costo de fabricación del sistema consiste en la suma de los costos de materiales, costos de mano de obra y costos de diseño teniendo, en este caso, como resultado S/. 10264.06

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas luego de la realización del trabajo son las siguientes:

1. Se cumplió con el objetivo general de la tesis al diseñar una máquina automática que permite que permite la generación de cuatro litros de compost por día con una capacidad de almacenamiento de seis litro de residuos orgánicos por día.
2. Se logró diseñar una máquina que no solo permite controlar el proceso de compostaje de los residuos orgánicos sino su diseño particular permite que el usuario pueda ingresar desperdicios orgánicos diariamente sin afectar la eficiencia del proceso de compostaje; además de evitar los problemas de contaminación que se puedan ocasionar al agrupar desperdicios orgánicos durante el día dentro de los hogares.
3. El costo de fabricación del sistema es de S/. 10264.06 soles superando el requerimiento de costo de S/. 10000; sin embargo, la diferencia es poca y las mejoras son importantes en cuanto a los producto existentes en el mercado sobre todo en cuanto a su capacidad de generación de compost y su diseño que permite una alimentación continua de residuos orgánico durante el día.

Además, se debe tener en cuenta lo siguientes recomendaciones de mejora del diseño propuesto:

1. Se puede mejorar la interfaz usuario – máquina.
2. Se puede añadir una celda de carga al sistema para una mayor seguridad en el funcionamiento y prolongación del tiempo de vida de la máquina.
3. Complementar el diseño de la carcasa de la máquina y el sistema de filtrado de los posibles gases generados en el proceso de compostaje.
4. Es posible optimizar el diseño utilizando componentes disponibles en el mercado de menor precio así como reducir los costos de los procesos de fabricación del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

[1] MINAM.

2013 “Problemática de los residuos sólidos en el Perú”. En *Red de Instituciones Especializadas en Capacitación para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos*. Consulta: 21 de agosto del 2015.

http://www.minam.gob.pe/proyecolegios/Ecolegios/contenidos/biblioteca/biblioteca/m1_rrss_A1L1_Problematica_rrss_Peru.pdf

[2] MINAM.

2013 “Cuarto Informe Nacional de Residuos Sólidos”. En *Red de Instituciones Especializadas en Capacitación para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos*. Consulta: 21 de agosto del 2015.

<http://www.redrrss.pe/material/20140129092851.pdf>

[3] MINAM.

2013 “Informe anual de residuos sólidos municipales y no municipales en el Perú gestión 2012”. En *Red de Instituciones Especializadas en Capacitación para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos*. Consulta: 22 de agosto del 2015.

<http://www.redrrss.pe/material/20140423145035.pdf>

[4] MINAM.

2013 “Cuarto informe nacional de residuos sólidos municipales y no municipales gestión 2010-2011”. En *Red de Instituciones Especializadas en Capacitación para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos*. Consulta: 22 de agosto del 2015.

<http://www.redrrss.pe/material/20130104110940.pdf>

[5] MINAM.

2014 “Iniciativas sinérgicas. Alianza para la gestión de proyectos y maximización de resultados”. En *Sinergia. Feria MINAM*, pp. 24-42. Consulta: 25 de agosto del 2015.

<http://www.minam.gob.pe/sinergia/wp-content/uploads/sites/80/2014/10/Sinergia-2014-final1.pdf>

[6] MINAM.

2014 “Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de un relleno sanitario manual”. En *Red de Instituciones Especializadas en Capacitación para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos*. Consulta: 25 de agosto del 2015.

<http://www.redrrss.pe/material/20130703125736.pdf>

[7] NATURE MILL.

2012 “Compost ECO Series”. En *NatureMill*. Consulta: 1 Setiembre del 2015.
<http://www.naturemill.net/products.html>

[8] WRIGHT, James.

2001 “Small scale automated composter,” En *Google Patents*. Consulta: 2 Setiembre del 2015.

<http://www.google.ch/patents/US6284528>

[9] LONGORIA RAMIREZ, R.

2014 “Design, construction and tests of an automatic prototype for composting”. En *Scientific Electronic Library Online*. Consulta: 5 Septiembre del 2015.

<http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n70/n70a18.pdf>

[10] GARIBAY ESPINOSA, A, CASTELLANOS GARCÍA, A, PÉREZ AGUIRRE, C.

2011 “Design and construction of a composter for domestic use”. En *IEEE Xplore*. Consulta: 5 Septiembre del 2015.

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5749343>

[11] UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO NEGRO.

2015 “Compostador automatizado”. En *Programa Universidad Diseño y Desarrollo Productivo*. Consulta: 6 de Septiembre del 2015.

<http://xn--diseoydesarrollo-9tb.siu.edu.ar/compostadorautomatizado.html>

[12] KHATER, G, ADEL, H, SAMIR, A.

2014 “Mathematic Model of Compost Pile Temperature Prediction”. En *Environmental & Analytical Toxicology*. Consulta: 15 de Septiembre del 2015.

<http://www.omicsonline.org/open-access/mathematical-model-of-compost-pile-temperature-prediction-2161-0525.1000242.pdf>

[13] CHEN, L, DE HARO, M Haro, MOORE, A, FALEN, C.

2011 “The Composting Process”. En *University of Idaho Extension*. Consulta: 30 de Septiembre del 2015.

<http://www.cals.uidaho.edu/edcomm/pdf/CIS/CIS1179.pdf>

[14] MÁRQUEZ, P, DÍAZ, M, CABRERA, F.

2014 “Factores que afectan al proceso de compostaje”. En *Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Química Orgánica de la Universidad de Huelva*. Consulta: 7 de Octubre del 2015.

<http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>

[15] NEGRO, M.

2015 “Producción y gestión del compost”. En Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Consulta: 10 de Octubre del 2015.

<http://www.digital.csic.es/handle/10261/16792>

[16] TORRES SANDOVAL, Julio.

2010 “Diseño y Construcción de un Prototipo Automático para Preparar Composta”. En *Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de México*. Consulta: 13 de Octubre del 2015.

www.cenidet.edu.mx/subaca/.../53%20Julio%20Torres%20Sandoval.pdf

ANEXOS

