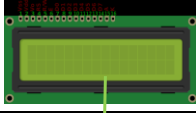






ANEXO B: ESTRUCTURA DE FUNCIONES

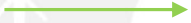

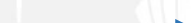
ANEXO C: MATRIZ MORFOLÓGICA

MATRIZ MORFOLÓGICA					Pag. 1 de 3
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 	

MATRIZ MORFOLÓGICA				Pag. 2 de 3
	FUNCION	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
	Permitir salida de compost	Guía lineales 	Guía ranuradas 	
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
	Medir temperatura	Sonda Termocupla 	Sonda termistor 	Sonda RTD
SENSORES	Medor nivel de oxígeno	Sonda electroquimica 	Sonda Nerst 	
	Detectar presencia	Sensores de proximidad capacitivos 	Sensores de fuerza resistivos planos 	Sensores fotoeléctricos
	CONTROL	Controlar temperatura, nivel de oxígeno, lógica secuencial	Arduino 	Raspberry Pi
INTERFAZ	Abrir/Cerrar entrada Abrir/Cerrar salida Encender/Apagar Iniciar Proceso	Pulsadores 	Interruptores 	Pantalla táctil

MATRIZ MORFOLÓGICA				Pag. 3 de 3
	FUNCIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
INTERFAZ	Visualizar valores de variables Indicar estados del sistema	Pantalla LCD 	LEDS 	Alarmas 
ENERGÍA	Acondicionar energia	Fuente de poder con tres valores de voltaje de salida 	Fuente de poder con un solo valor de voltaje de salida 	

Leyenda

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

ANEXO D: CÁLCULOS DEL SISTEMA

1. Cámara multipropósito

La cámara multipropósito cuenta con cinco compartimientos para el almacenamiento de los residuos orgánicos en etapa de procesamiento. Los cálculos se realizarán para el caso crítico que es cuando los cinco compartimientos se encuentren ocupados. Cada compartimiento almacena a lo más un 1kg de residuos orgánicos.

Dimensionamiento de las paredes giratorias de traslado de los residuos en etapa de procesamiento

Para el dimensionamiento volumétrico de cada compartimiento que contendrá los residuos orgánicos depositados por día se consideró lo siguiente:

- La generación promedio de residuo per cápita por día es 0.5 kg.
- La cantidad promedio del número de miembros en una familia es de 4 personas.
- La cantidad promedio de residuos orgánicos del total de residuos domésticos generados es del 50%.
- Según el Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos del Ministerio de Salud, la densidad promedio de los residuos orgánicos es de $350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Cálculo del volumen requerido. A continuación se realiza el cálculo del volumen requerido para contener los residuos orgánicos generados.

$$V_{\text{requerido}} = \frac{0.5 \text{ kg}}{1 \text{ persona}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{350 \text{ kg}} \times 4 \text{ personas} = 0.005 \text{ m}^3$$

Considerando que la forma geométrica escogida de las paredes giratorias de traslado está formado por seis divisiones de una sección hexagonal regular mostrada en la Figura 1, entonces cada división será una sección triangular de lados iguales. Para cumplir con el requerimiento volumétrico de 0.01 m^3 se elige para cada división triangular equilátera un lado igual a 260 mm y una altura de 200 mm. A continuación se comprueba el cumplimiento del requerimiento volumétrico.

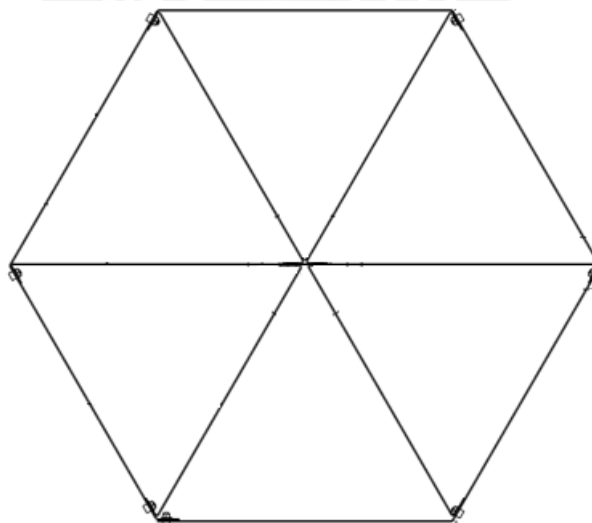


Figura 1. Vista en sección de las paredes giratoria. Fuente: Propia.

$$V_{\text{considerado}} = \frac{\sqrt{3}}{4} \times (0.26)^2 \text{m}^2 \times 0.2\text{m} = 0.006\text{m}^3$$

Si comparamos ambos los valores del volumen requerido con el volumen considerado se puede observar que se cumple con el requerimiento.

Calculo del espesor mínimo de las placas

Las paredes giratorias de la cámara multipropósito se realiza por uniones de placas metálicas. Al estar las placas en un ambiente corrosivo se utilizará como material acero inoxidable. Para obtener las fuerzas a las que estarán sometidas las paredes de las placas es necesario conocer el coeficiente de fricción entre el acero inoxidable y los residuos orgánicos, pero se desconoce su valor exacto. Por ello, se asume un valor igual a 0.1 para el coeficiente de fricción entre ambos materiales.

Para la estimación del espesor mínimo de la placa metálica se le considera como una viga empotrada. La Figura 2 muestra el DCL de una pared giratoria, la fuerza distribuida $q_1=0.008\text{N/mm}$ generada por la fuerza de fricción entre la placa metálica y los residuos orgánicos; y las reacciones $R_A=2\text{N}$ y $M_A=250 \text{ N.mm}$.

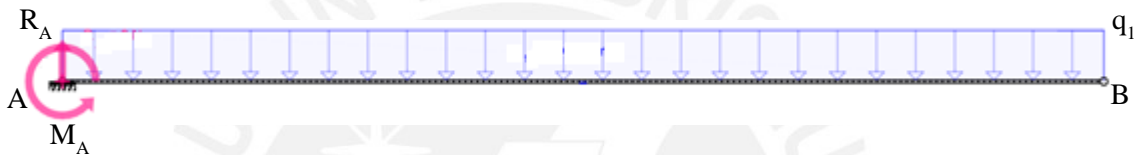


Figura 2. Diagrama de cuerpo libre de la pared giratoria. Fuente: Propia.

La Figura 3 muestra el diagrama de fuerzas cortantes correspondientes al DCL de la Figura 2

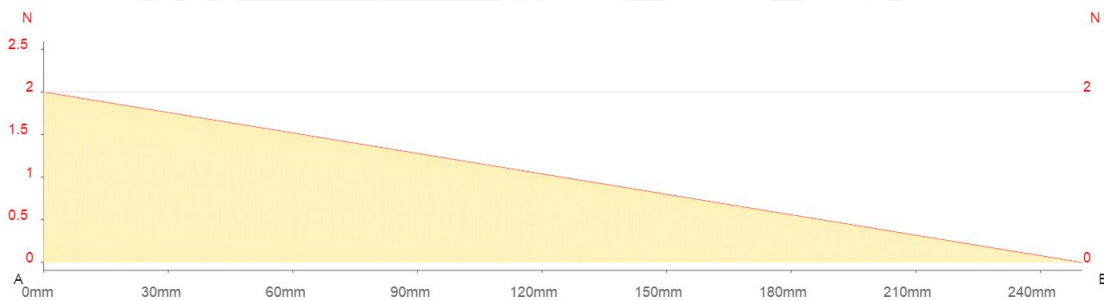


Figura 3. Diagrama de fuerzas cortantes de las placas de las paredes giratorias de la cámara. Fuente: Propia.

La Figura 4 muestra el diagrama de momentos flectores correspondiente al DCL de la Figura 2.

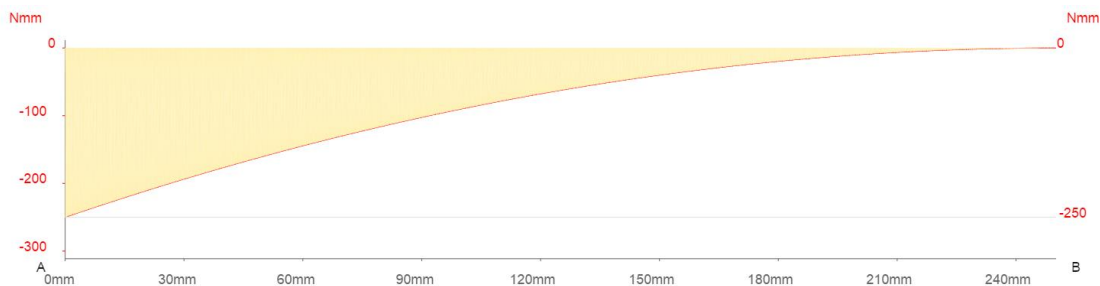


Figura 4. Diagrama de momentos flectores de las placas de las paredes giratorias de la cámara. Fuente: Propia.

A partir del diagrama de interno de momento flectores se obtiene el momento máximo flector cuyo valor es $M_f = 250 \text{ Nmm}$ que nos servirá para calcular el espesor de la placa metálica. A continuación se muestra la relación que utilizada para el cálculo.

$$\sigma_f = \frac{M_f d}{I} \leq \sigma_{\text{material}}$$

Donde:

σ_f = Esfuerzo normal por flexión

M_f = Momento por flexión

d = Distancia del eje neutro al punto de análisis

I = Momento de inercia del area de la sección

σ_{material} = esfuerzo del material

Considerando que el $\sigma_{\text{material}} = 250 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$$\sigma_f = \frac{(250) \left(\frac{e}{2}\right)}{\frac{10e^3}{12}} \leq 250$$

$$e \geq 0.7 \text{ mm}$$

El resultado indica que el espesor mínimo es bien pequeño, lo cual tiene sentido porque las cargas que actúan son pequeñas.

Selección del actuador

Para el mover el sistema de paredes giratorias de la cámara multipropósito se necesita una actuador capaz de hacer rotar todo el sistema un ángulo de 60 grados por día. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que este movimiento se realizará de manera periódica y de forma repetitiva durante todo el tiempo de vida de la máquina; por ello, no es posible utilizar un servomotor, ya que solo nos permite controlar la posición en un intervalo máximo de 360 grados. Por ello, la opción más conveniente a utilizar es un motor a pasos que nos permite cumplir con tipo de movimiento deseado para el sistema.

A continuación se calcula el torque mínimo que debe ser capaz de entregar el motor a pasos.

$$M_{\text{resultante}} = N_c \times M_t$$

Siendo: N_c = número de compartimientos y M_t = momento requerido por compartimiento

$$M_{\text{resultante}} = 5 \times 0.250 \text{ Nm} = 1.25 \text{ Nm} = 15 \text{ oz} - \text{in}$$

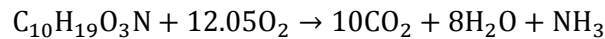
Se seleccionó el motor a pasos Soyo SY42STH38-0406A que tiene torque máximo de 36 oz-in; por lo tanto, podrá mover al sistema sin ningún sobreesfuerzo.

2. Módulo de medición y manipulación del proceso de compostaje

Selección de bomba

Cálculo teórico del requerimiento de oxígeno para proceso de compost

Para determinar la cantidad de teórica de oxígeno requerido para el proceso de compost es necesario conocer la composición química de los residuos orgánicos. Según investigaciones realizadas acerca la composición promedio de los residuos orgánicos [3] se puede asumir el siguiente modelo $C_{10}H_{19}O_3N$. Luego, el requerimiento de oxígeno para la reacción química puede ser calculado por estequiometría [2].



Basado en la ecuación química anterior se puede concluir que se necesita 2 kg de oxígeno para reaccionar completamente con 1kg de residuo orgánico. En la práctica, la reacción no se procede completamente durante el proceso de compostaje y es limitado por la volatilidad y degradación de los residuos orgánicos. Los rangos de los coeficientes de volatilidad varían entre el 70-80% y de los coeficiente de degradación entre el 72-82% [1]. Por lo tanto, se puede determinar la cantidad máxima de oxígeno requerido por cada kilogramo de residuo teniendo en cuenta consideraciones previas de la siguiente manera.

$$\frac{2 \text{ kg } O_2}{1 \text{ kg residuo}} \times 0.8 \times 0.82 = 1.31 \frac{\text{kg } O_2}{\text{kg residuo}}$$

Asumiendo una cantidad de aire con un contenido del 21% de oxígeno a una 1 atm y 25°C. Se puede determinar la cantidad aire por cada kilogramo de residuo.

$$\frac{1.31 \text{ kg } O_2}{1 \text{ kg residuo}} \times \frac{\text{kg aire}}{0.21 \text{ kg } O_2} = 6.23 \frac{\text{kg aire}}{\text{kg residuo}}$$

Considerando que el valor de densidad de aire a 25°C y a 1 atm es $1.19 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{L}}$ se puede obtener el volumen de aire necesario por kilogramo de residuo.

$$\frac{1 \text{ L}}{1.19 \times 10^{-3} \text{ kg aire}} \times \frac{6.23 \text{ kg aire}}{1 \text{ kg residuo}} = 5235.3 \frac{\text{L}}{\text{kg residuo}}$$

Considerando que la máquina puede contener un máximo de 5kg de residuos en etapa de procesamiento se necesitara suministrar un total de 26176.5 L de aire. Además, el tiempo en que se debe suministrar dicha cantidad de aire sería de 5 días si se traba de manera continua; sin embargo, como el proceso de control de cada grupo de residuos se realiza solo cada cierto número de intervalos de tiempo durante cada día se considera un tiempo total 500 minutos de se necesitará el siguiente flujo de aire.

$$\dot{V}_{\text{aire requerido}} \frac{26176.5 \text{ L}}{500 \text{ min}} = 52.35 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

La bomba de aire Parker T2-01 con un máximo flujo de $62 \frac{\text{L}}{\text{min}}$ cumple con los requerimiento; además, su pequeña dimensión resulta favorable para una fácil ubicación dentro de módulo de medición y manipulación.

Selección del calentador

Para la el cálculo de la potencia requerida se toma en consideración lo siguiente:

- La temperatura de los residuos orgánicos debe estar alrededor de 40°C en un inicio []. Sin embargo la temperatura máxima de trabajo será 55°C.
- La temperatura de ingreso de los residuos orgánicos se encuentran alrededor de los 20 °C.
- Un tiempo de calentamiento alrededor de los 6 minutos.
- El peso de los residuos orgánicos a calentar es de 1 kg.
- El calor específico promedio de los residuos orgánicos es de $1450 \frac{J}{kgK}$ [4]
- Se considera un eficiencia del 90% en proceso de calentamiento.

El cálculo de la potencia requerida se realiza utilizando la siguiente relación.

$$\dot{Q}_{\text{requerido}} = \frac{W_{\text{residuo orgánico}} \times C_{e \text{ residuo orgánico}} \times \Delta T}{t_{\text{calentamiento}} \times \eta}$$

$$\dot{Q}_{\text{requerido}} = \frac{1\text{kg} \times 1450 \frac{J}{\text{kgK}} \times 20K}{180s \times 0.9} = 89.5 \text{ W}$$

Para la selección del calentador además se tuvo en cuenta un pequeño tamaño, así como un voltaje de alimentación de 24 V. Un tipo de calentador que cumple con estos requerimientos es el Calentador tipo Cartucho COMSTAT de 24V/96W.

Sistema de trituración y mezclado

- Selección de Cuchillas

Para la trituración de los residuos orgánicos se utilizarán las cuchillas de los dispositivos utilizados para el procesamiento de comida, debido a que estas cuchillas ya están diseñadas para trabajar con materia orgánica utilizadas en la preparación de comidas.

- Cálculo del diámetro del eje

El sistema de trituración al trabajar con el principio de funcionamiento de corte por cizalla trasmite completamente la fuerza necesaria de corte al eje. Para el cálculo de resistencia del eje se tomó las siguientes consideraciones:

- Se le considera al eje una viga simplemente apoyada.
- Se considera a la carga como una fuerza paralela al filo de la cuchilla, para luego descomponer la fuerza en los planos x e y.
- Se analiza para el caso más crítico de funcionamiento de la trituradora que es cuando el material con mayor resistencia de corte actúa en todo el área de corte de la cuchilla.
- El ángulo de corte de la cuchilla es 40°, el área de corte es 300 mm² y se utilizan tres cuchillas.
- Según la revista DYNA de la Universidad Nacional de Colombia el esfuerzo cortante de los residuos orgánicos es de 100kPa.

A continuación se realiza el cálculo de la fuerza ejercida en cada cuchilla.

$$F = \tau A = 100\text{kPa} \times 300\text{mm}^2 = 30\text{N}$$

Como el ángulo de corte la cuchilla es 40° . Se obtiene las siguientes componentes de la fuerza F .

$$F_x = F\text{sen}(40^\circ) = 19.28\text{ N}$$

$$F_y = F\text{cos}(40^\circ) = 22.98\text{N}$$

La Figura 5 muestra el DCL del eje en plano XZ. Las flechas de color azul representan las fuerzas generadas por el corte F_x en el plano XZ y las flechas de color rosado representan las reacciones $R_{1x}=230.01\text{ N}$ y $R_{2x}=145.17\text{ N}$ en el plano XZ. Sus respectivos diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores del eje en plano XZ se muestran en la Figura 6 y Figura 7 respectivamente.

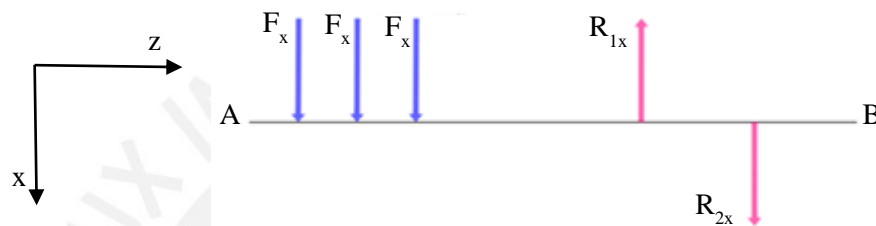


Figura 5. Diagrama del cuerpo libre del eje en el plano XZ. Fuente: Propia.

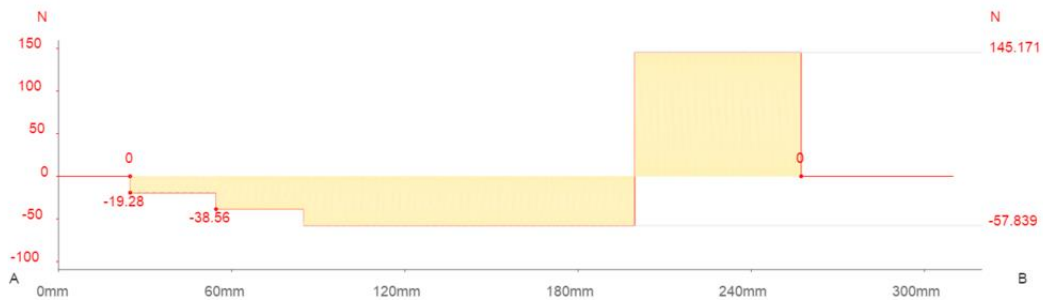


Figura 6. Diagrama de fuerzas cortantes del eje en el plano XZ. Fuente: Propia.

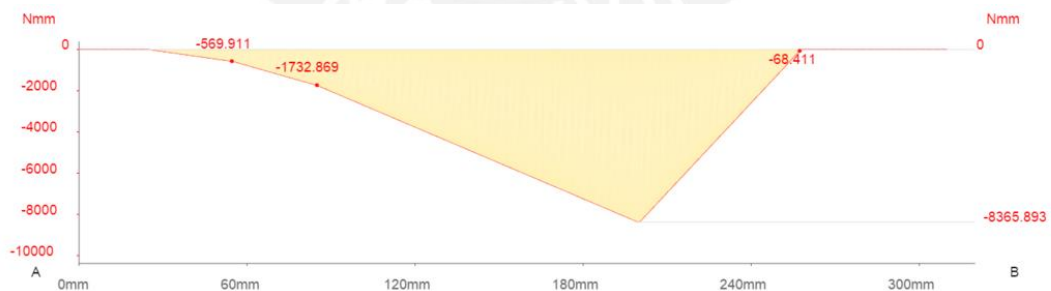


Figura 7. Diagrama de momentos flectores del eje en el plano XZ. Fuente: Propia.

La Figura 8 muestra el DCL del eje en plano YZ. Las flechas de color azul representan las fuerzas generadas por el corte F_y en el plano YZ y las flechas de color rosado representan las reacciones $R_{1y}=241.97\text{ N}$ y $R_{2y}=173.03\text{ N}$ en el plano YZ. Sus respectivos diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores del eje en el plano YZ se muestran en la Figura 9 y Figura 10 respectivamente.

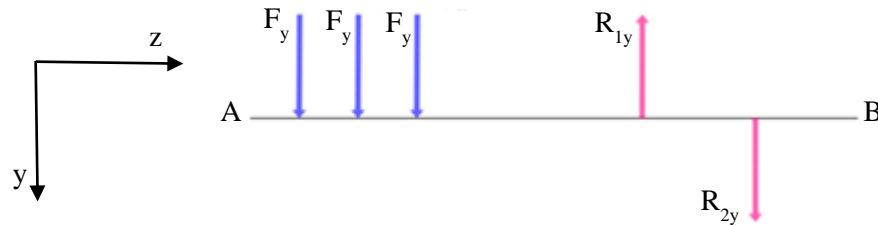


Figura 8. Diagrama del cuerpo libre del eje en el plano YZ. Fuente propia.

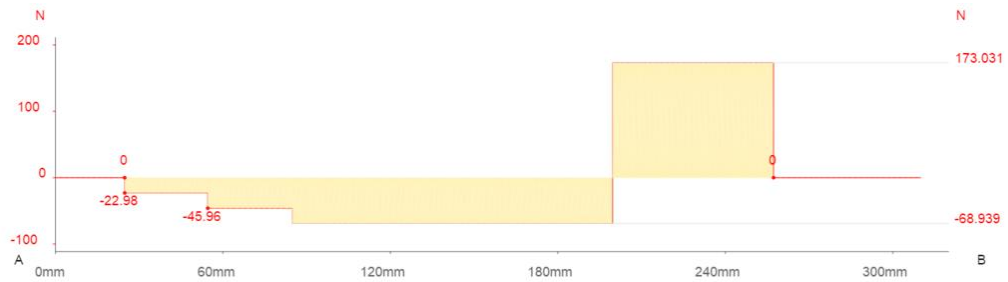


Figura 9. Diagrama de fuerzas cortantes del eje en el plano YZ. Fuente: Propia.

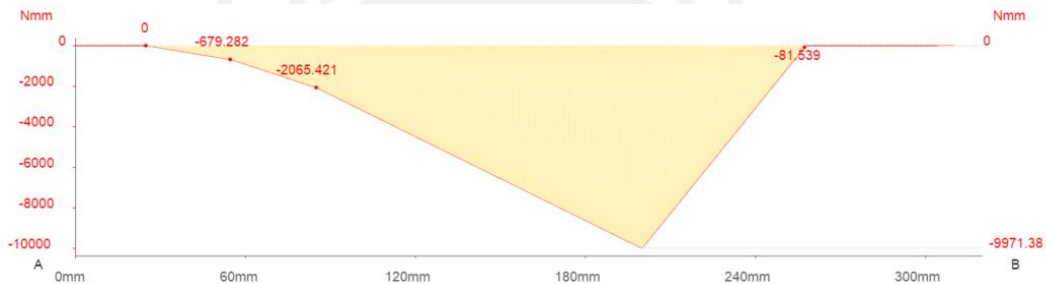


Figura 10. Diagrama de momentos flectores del eje en el plano YZ. Fuente: Propia.

Además, las componentes de fuerzas en la dirección X generan momentos torsionales los cuales se calcula a continuación. De acuerdo a las dimensiones de las cuchillas, se considera un brazo de palanca de 7 cm.

$$M_t = F_x \times d = (3 \times 19.28N)(7cm) = 4.05Nm$$

El cálculo del diámetro mínimo se realiza siguiendo el criterio Von Mises.

$$\sigma = (\sigma_f^2 + 3\tau_t^2)^{\frac{1}{2}} \leq \sigma_{material} \dots (1)$$

$$\sigma_f = \frac{32M_f}{\pi d^3} = \frac{32\sqrt{8365.9^2 + 9971.4^2}}{\pi d^3} = \frac{416513.04}{\pi d^3}$$

$$\tau_t = \frac{16M_t}{\pi d^3} = \frac{64800}{\pi d^3}$$

Considerando un $\sigma_{material} = 441.2 \frac{N}{mm^2}$ se procede a calcular el diámetro mínimo de la ecuación (1).

$$\left(\left(\frac{416513.04}{\pi d^3} \right)^2 + 3 \left(\frac{64800}{\pi d^3} \right)^2 \right)^{1/2} \leq 441.2$$

$$d \geq 6.9 \text{ mm}$$

Selección del actuador

Según los requerimientos mecánicos para el proceso de trituración de los residuos orgánicos se necesita un momento torsional de $M_t=4.05\text{Nm}$. Debido, que el torque necesario es relativamente alto lo más conveniente será utilizar un motor reductor. Además, para el proceso de selección se consideró que la velocidad de salida del reductor no sea menor a 140 RPM y la relación peso/potencia del motor reductor sea relativamente alta.

Tomando en cuenta los requerimientos señalados se selecciona el motor reductor modelo WORMDRV-G200-12. A partir de sus características, se obtiene la curva de operación del motor en la Figura 11.

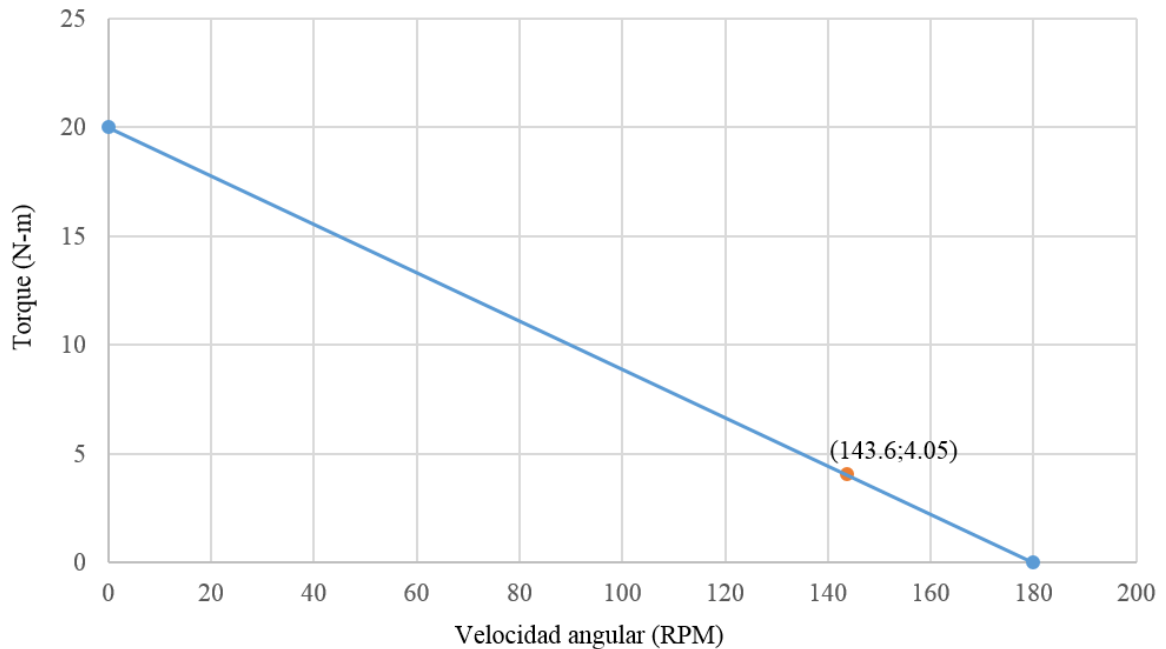


Figura 11. Curva de operación del motor reductor. Fuente: Propia.

Se puede observar, que el punto de operación del motor cumple con los requerimientos de torque y velocidad. Además, una regla práctica para operar un motor consiste en ubicar su punto de operación entre el 70% y 90% de su velocidad sin carga y entre el 10 al 30% del torque a velocidad cero. En este caso se cumple con ambos requerimientos; por lo tanto, el motor operará de manera correcta.

3. Plataforma de movimiento del módulo de medición y manipulación

El módulo de medición y manipulación debe ser capaz de desplazarse a lo largo de los cinco compartimientos de la cámara multipropósito que contiene cada uno 1 kg de residuos orgánicos depositados por día. Para cumplir este requerimiento se plantea usar dos actuadores, uno que permita el movimiento giratorio y el otro que permita un movimiento vertical.

Actuador para el movimiento vertical

Para lograr el movimiento vertical se plantea usar un actuador lineal que deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- La longitud del desplazamiento deberá estar en rango de 170 a 200 mm con la finalidad de poder ingresar completamente el módulo de medición y manipulación en cada uno de los compartimiento y poder así realiza monitoreo y control del proceso.

- El actuador deberá ser capaz de sostener como mínimo una carga muerta de 12 kg que es el peso aproximado de todos los componentes de la cámara de. Es decir, deberá ser auto bloqueable.
- El sistema debe tener como mínimo una fuerza de empuje y de retroceso de 120N.

Se selecciona el servo actuador lineal HDLS-8-50-12V de ServoCity que cumple con los requerimientos mencionados anteriormente. Además, al tener un controlador integrado nos permite un control preciso de la posición, lo cual será necesario. De acuerdo con las características del actuador, se obtiene la curva de operación en la Figura 12.

Curva de operación del actuador lineal

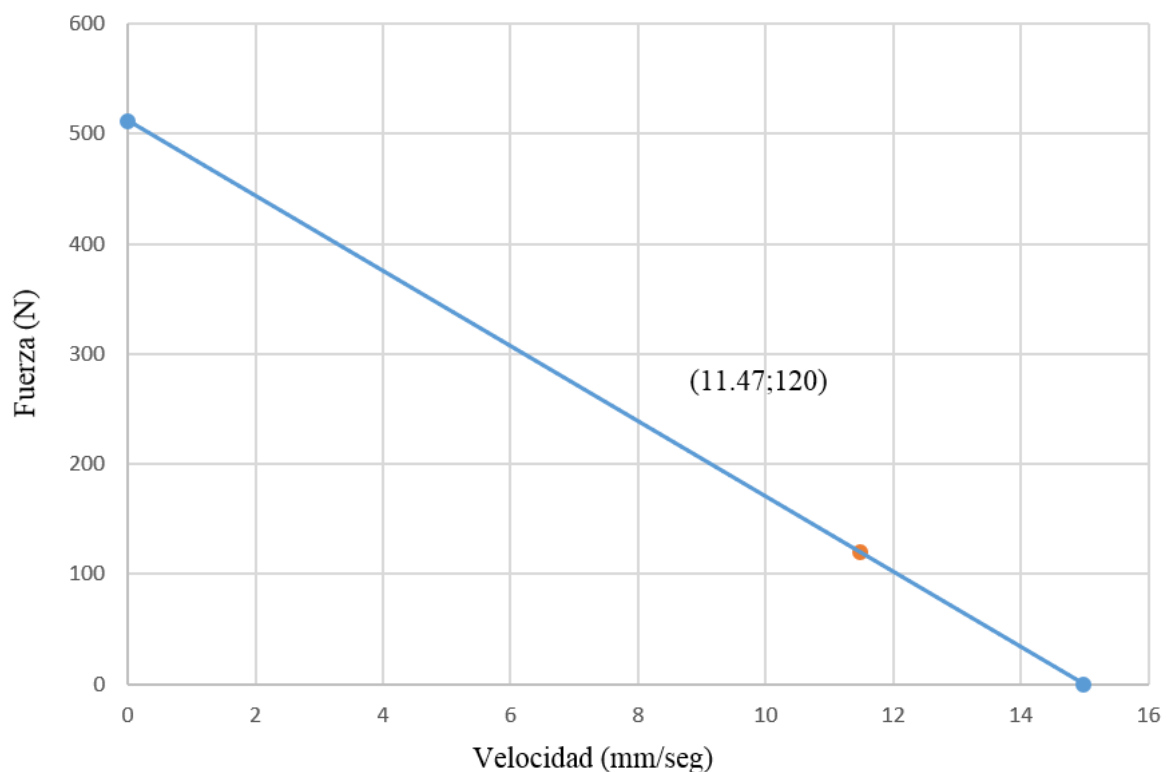


Figura 12. Curva de operación del actuador lineal. Fuente: Propia.

Se puede observar que la velocidad lineal con la que se vencerá la fuerza axial de 120 N es 11.47 mm/s. Por lo tanto, se calcula el tiempo de duración de la carrera del actuador lineal teniendo en cuenta que la longitud del actuador seleccionado es de 199.89 mm

$$t = \frac{d}{v} = \frac{199.89 \text{ mm}}{11.47 \frac{\text{mm}}{\text{s}}} = 17.43 \text{ s}$$

El tiempo de duración del movimiento es alrededor de 17 segundos, lo cual es favorable.

Además el actuador opera alrededor de su máxima velocidad en funcionamiento continuo que es de 10 mm/s, lo cual asegura un correcto funcionamiento teniendo en cuenta que nuestro actuador solo operará ciertos intervalos de tiempo.

Cálculo del espesor de la placa de soporte del módulo de medición y manipulación y la tolva

Para el cálculo del espesor de la placa de soporte se tiene en cuenta lo siguiente:

- Las dos cargas que actúan sobre la placa se puede considerar como puntuales. La primera carga es el peso $W_1=120$ N del módulo de medición y manipulación y la segunda carga es el peso $W_2=50$ N de la tolva de alimentación.
- La placa esta apoyada fijamente en sus extremos.

La Figura 13 muestra el DCL de la placa soporte del módulo de medición y manipulación y tolva. Sus respectivos diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores se muestran en la Figura 14 y Figura 15. Las flechas de color azul de la Figura 13 representan la carga generada por el peso del módulo W_1 y la tolva W_2 y las flechas de color rosado representan las reacciones $R_{WA}=121$ N y $R_{WB}=49$ N en los apoyos.



Figura 13. Diagrama cuerpo libre de la placa soporte del módulo de medición y manipulación y tolva. Fuente: Propia.



Figura 14. Diagrama de fuerzas cortantes de la placa soporte del módulo de medición y manipulación y tolva. Fuente: Propia.

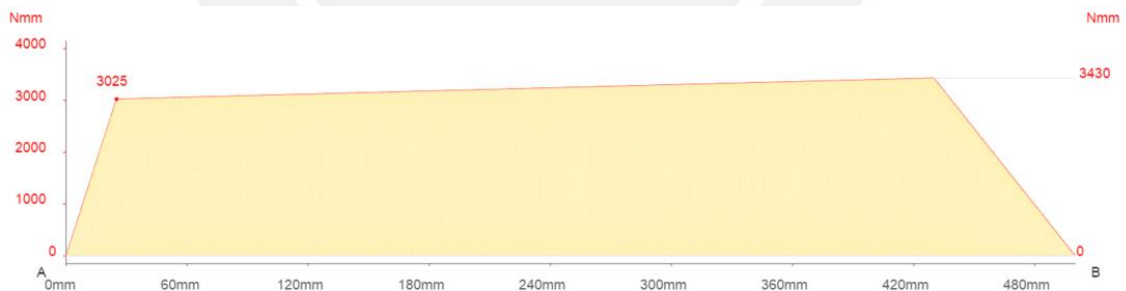


Figura 15. Diagrama de momentos flectores de la placa soporte del módulo de medición y manipulación y tolva. Fuente: Propia.

A partir del diagrama de interno de momento flectores se obtiene el momento máximo flector cuyo valor es $M_f = 3430$ Nmm que nos servirá para calcular el espesor de la placa metálica. A continuación se muestra la relación que utilizada para el cálculo.

$$\sigma_f = \frac{M_f d}{I} \leq \sigma_{\text{material}}$$

Considerando que el $\sigma_{\text{material}} = 250 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$$\sigma_f = \frac{(3430) \left(\frac{e}{2}\right)}{\frac{10e^3}{12}} \leq 250$$

$$e \geq 2.87 \text{ mm}$$

El resultado indica que será necesario utilizar un espesor mínimo de placa de 2.87 mm; sin embargo, esta cálculo, asume que todo la fuerza se concentra solo es una pequeña porción de la placa y no en todo el área de la placa. Por ello, no habrá inconveniente al utilizar un espesor de 3mm.

Estructura de la plataforma de movimiento

- Cálculo de la sección de viga

Como estructura de soporte se utilizar un arreglo de vigas. Para ello se tomó en cuenta lo siguiente:

- La geometría de la sección de viga debe permitir un fácil montaje entre ellas y con el resto de componentes que soporta.
- La viga debe ser mecánicamente resistente. Se eligió trabajar con vigas de sección cuadrada. Además se considera se utilizará como material aluminio por su baja densidad.

En la Figura 16 se muestra el DCL de la viga. La flecha de color azul representa el peso $W_M=121$ N del módulo de medición y manipulación y la plataforma de movimiento. Las flechas de color rosado representan las reacciones en los apoyos $R_{MA}=60.5$ N y $R_{MB}=60.5$ N. Sus diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores se representan en la Figura 17 y 18 respectivamente.

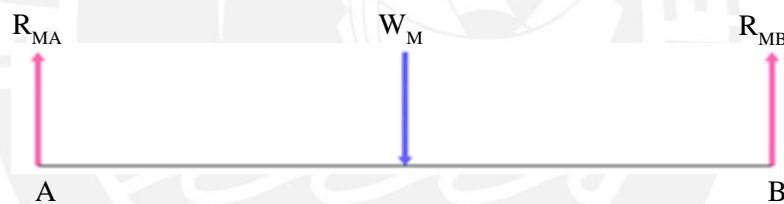


Figura 16. Diagrama de cuerpo libre de la viga más crítica. Fuente propia.



Figura 17. Diagrama de fuerzas cortante de la viga más crítica: Fuente: Propia.



Figura 18. Diagrama de momentos flectores de la viga más crítica. Fuente: Propia.

A partir del diagrama de interno de momento flectores se obtiene el momento máximo flector cuyo valor es $M_f = 6655 \text{ Nmm}$ que nos servirá para comprobar si la sección elegida resiste mecánicamente las solicitaciones. Del catálogo de perfiles de aluminio Furukawa se escoge el perfil tubular cuadrado 041768 cuyas dimensiones son 19.05 mm de lado y espesor de 1 mm. Luego, se calcula el esfuerzo de flexión máximo de trabajo y se compara con el esfuerzo del material

$$\sigma_f = \frac{M_f d}{I} \leq \sigma_{\text{material}}$$

Del catálogo del fabricante el $\sigma_{\text{material}} = 110 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$$\sigma_f = \frac{(6655) \left(\frac{19.05}{2}\right)}{\frac{1}{12} (19.05^4 - 18.05^4)} \leq 110$$

$$29.77 \leq 110 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Por lo tanto se puede comprobar que el perfil seleccionado es resistente mecánicamente.

Actuador para el movimiento de giro

Para realizar la selección del actuador para sistema de giro se tuvo en cuenta que el movimiento de giro debe ser en intervalo de 0 300° para poder así poder posicionar a la cámara de compostaje a lo largo de los cinco grupos de compartimientos. Además, se necesita un control preciso de la posición de angular del actuador. De acuerdo, a lo mencionado se seleccionará un servomotor que cumpla con los requerimientos.

Para poder conocer el torque necesario para poder el sistema giratorio, utilizo como información la recta Momento Torsional vs. Momento flector para cargas excéntricas de la ficha técnica de rodamiento de giro IGUS PRT-01-30 y el momento flector resultante en el rodamiento originado, debido al peso de la cámara de compostaje y a la tolva de alimentación. En la Figura 19 se muestra la familia de rectas dadas por el fabricante.

A partir de obtener la recta del rodamiento PRT-01-30 se calcula el par necesario para poder hacerlo girar. El valor del par obtenido es 0.34 N-m

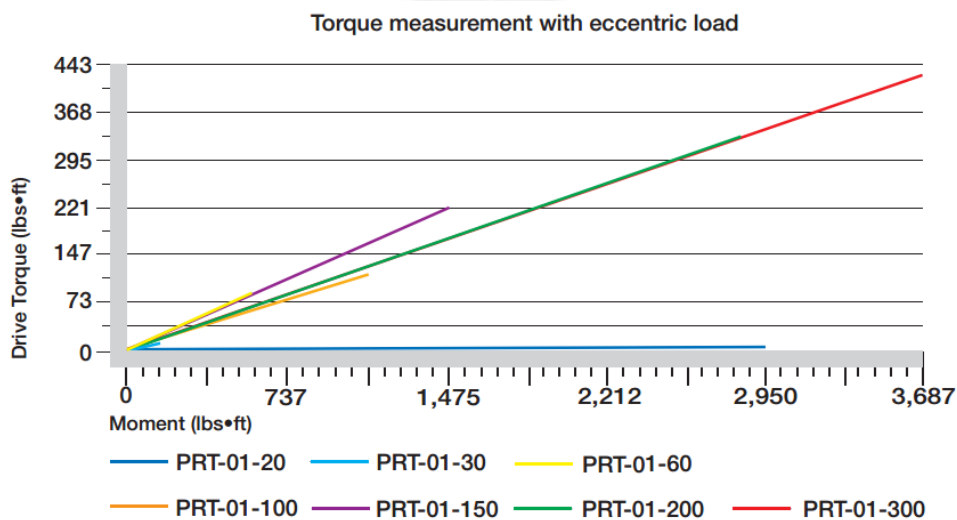


Figura 19. Torque Vs. Momento flector. Fuente. <http://www.igus.com/>

El servomotor seleccionado que cumple con los requerimientos es el DYNAMIXEL AX-12A que a partir de la información técnica se obtuvo la curva de operación del actuador mostrada en la Figura 20.

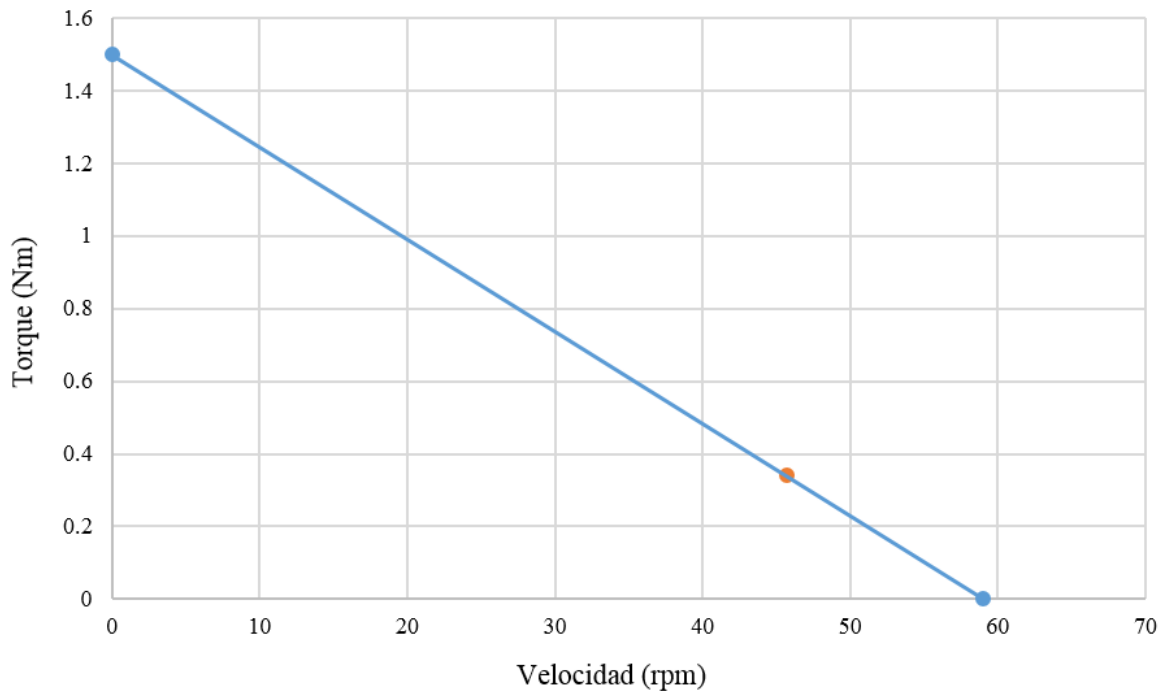


Figura 20. Curva de operación del servomotor DYNAMIXEL AX-12A

Por recomendación del fabricante el torque de operación debe ser menor a la quinta parte del torque de arranque. De la curva de operación, se puede deducir que se cumpla esta recomendación garantizando así su correcto funcionamiento.

Cálculo del diámetro del eje

El eje para la transmisión de potencia del servomotor al sistema de giro solo estará sometido a momentos torsionales, ya que el rodamiento de giro será el encargado de absorber las cargas radiales y momentos flectores. Tomando en consideración lo mencionado se procede a calcular el diámetro mínimo del eje utilizando el criterio de Von Mises.

$$\sigma = (\sigma_f^2 + 3\tau_T^2)^{\frac{1}{2}} \leq \sigma_{\text{material}} \quad \text{donde } \tau_T = \frac{16M_t}{\pi d^3} \text{ y } \sigma_f = 0$$

Siendo:

σ = esfuerzo equivalente de Von Mises

σ_f = esfuerzo normal por flexión

τ_T = esfuerzo cortante por torsión

Considerando un $\sigma_{\text{material}} = 441.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ y $M_t = 340 \text{ N} \cdot \text{mm}$

$$d \geq 1.89 \text{ mm}$$

4. Estructura de general la máquina

Para el correcto soporte de los sub sistemas de la máquina se utilizará como estructura un arreglo de vigas y columnas. La sección de los elementos a utilizar serán tubos cuadrados, ya que permite un fácil montaje con el resto de componentes y alta relación inercia/peso; además, el material a utilizar será aluminio por su baja densidad. La geometría de la estructura y la distribución de las cargas se muestran a continuación en la Figura 21.

Las flechas azules representan las fuerzas y momentos actuantes sobre la estructura. La fuerza $F_1=120$ N representa el peso de la cámara multipropósito, la fuerza $F_2=100$ N el peso del depósito, la fuerza $F_3=170$ N y el momento $M_1=162$ N-m generado por la plataforma de movimiento y el módulo de medición y manipulación. Las flechas de color rosado representan las reacciones $R_C=548.67$ N y $R_D=158.67$ N.

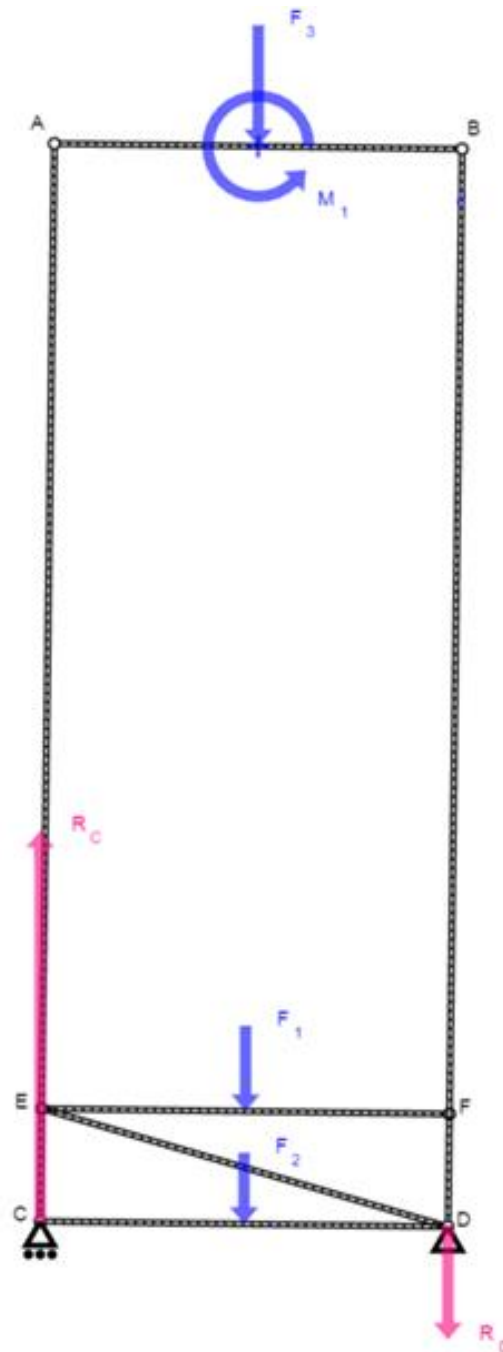


Figura 21. Geometría y distribución de las cargas de la estructura. Fuente: Propia

Tabla 1. Lista de elementos de la estructura general. Fuente: Propia.

ELEMENTO	SECCIÓN	LONGITUD
A-B	Tubular cuadrada	450 mm
A-C	Tubular cuadrada	1195 mm
B-D	Tubular cuadrada	1195 mm
E-F	Tubular cuadrada	450 mm
C-D	Tubular cuadrada	450 mm
E-D	Tubular cuadrada	467 mm

A continuación en las siguientes figuras se muestran los diagramas de cuerpo libre y sus respectivos diagramas de fuerzas internas de los elementos que componen a la estructura general del sistema.

Elemento A-B

La Figura 22 muestra el DCL del elemento AB mostrando la fuerza $F_{AB}=170\text{ N}$ y el par $M_{AB}=162000\text{ N-mm}$ y las reacciones $R_{AB1}=444.99\text{ N}$ $R_{AB2}=275.01\text{ N}$ Los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores se presentan en la Figura 23 y 24 respectivamente.

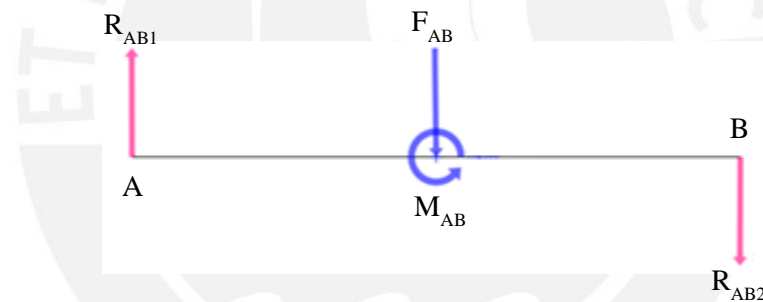


Figura 22. Diagrama de cuerpo libre de la viga A-B. Fuente: Propia.



Figura 23. Diagrama de fuerza cortantes de la viga A-B. Fuente: Propia.

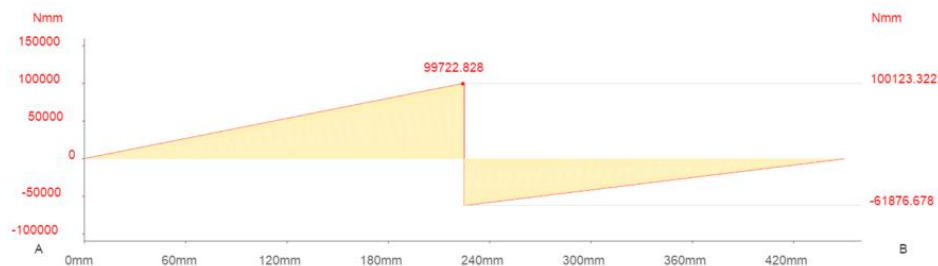


Figura 24. Diagrama de momentos flectores de la viga A-B. Fuente: Propia.

Elemento C-A

La Figura 25 muestra el DCL correspondiente al elemento C-A mostrando las fuerzas $F_{CA1}=54.68$ N, $F_{CA2}=498.71$ N y $F_{CA3}=444.99$ N. Sus diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores se muestran en la Figura 26 y 27 respectivamente.



Figura 25. Diagrama de cuerpo libre el elemento C-A. Fuente: Propia.



Figura 26. Diagrama de fuerzas cortantes de la columna C-A. Fuente: Propia



Figura 27. Diagrama de momentos flectores de la columna C-A. Fuente: Propia.

Elemento D-B

La Figura 28 muestra el DCL correspondiente al elemento D-B mostrando las fuerzas $F_{DB1}=60.93$ N, $F_{DB2}=215.22$ N y $F_{DB3}=275.01$ N. Sus diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores se muestran en la Figura 29 y 30 respectivamente.



Figura 28. Diagrama de cuerpo libre del elemento D-B. Fuente: Propia.

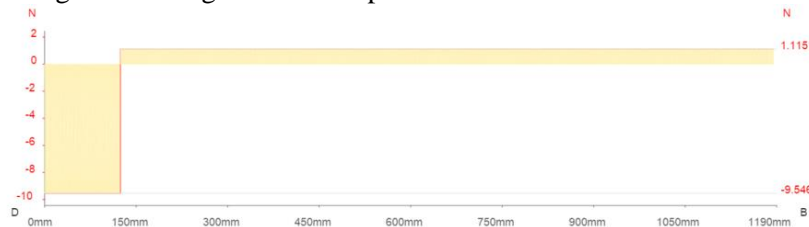


Figura 29. Diagrama de fuerzas cortantes del elemento D-B. Fuente: Propia.



Figura 30. Diagrama de momentos flectores del elemento D-B. Fuente: Propia.

Elemento C-D

La Figura 31 muestra el DCL correspondiente al elemento C-D mostrando la fuerza $F_C=100\text{ N}$ y las reacciones $R_{CD1}=52.72\text{ N}$ y $R_{CD2}=52.32\text{ N}$. Sus diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores se muestran en la Figura 32 y 33 respectivamente.

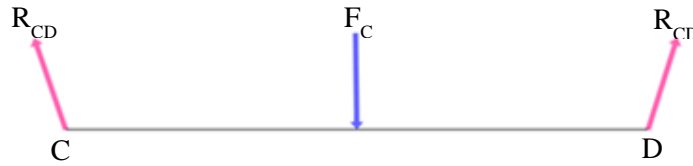


Figura 31. Diagrama de cuerpo libre de la viga C-D. Fuente: Propia.

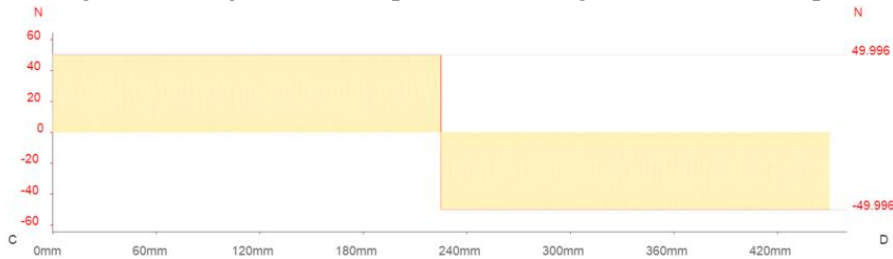


Figura 32. Diagrama de fuerzas cortantes de la viga C-D. Fuente: Propia.

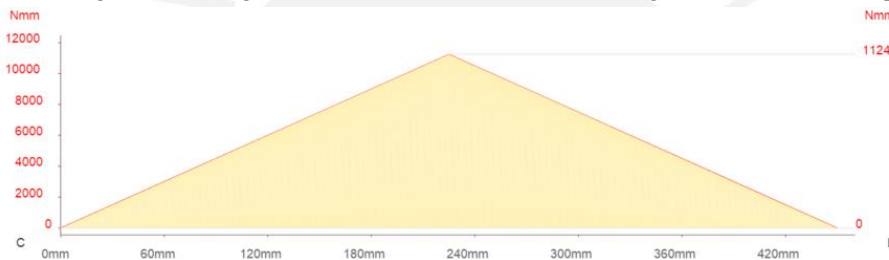


Figura 33. Diagrama de momentos flectores de la viga C-D. Fuente: Propia.

Elemento E-D

La Figura 34 muestra el DCL correspondiente al elemento E-D mostrando las fuerzas $R_{ED1}=23.75\text{ N}$ y $R_{ED2}=23.75\text{ N}$. Sus diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores se muestran en la Figura 35 y 36 respectivamente.



Figura 34. Diagrama de cuerpo libre de la columna E-D. Fuente: Propia.

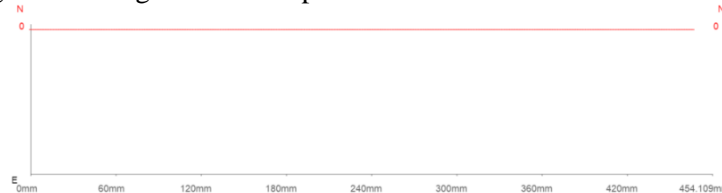


Figura 35. Diagrama de fuerza cortante de la columna E-D. Fuente: Propia.

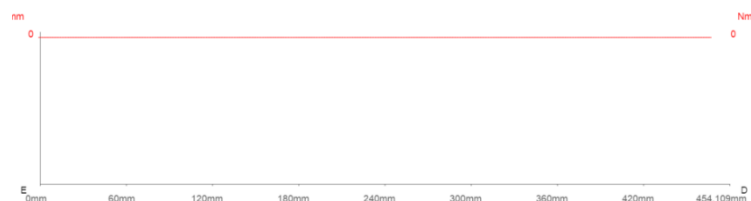


Figura 36. Diagrama de momento de flector de la columna E-D. Fuente: Propia.

Elemento E-F

La Figura 37 muestra el DCL correspondiente al elemento E-F mostrando la fuerza $F_{EF}=120\text{ N}$ y las reacciones $R_{EF1}=61.23\text{ N}$ y $R_{EF2}=60.93\text{ N}$. Sus diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores se muestran en la Figura 38 y 39 respectivamente.

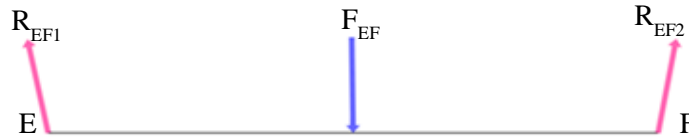


Figura 37. Diagrama de cuerpo libre el elemento E-F. Fuente: Propia.

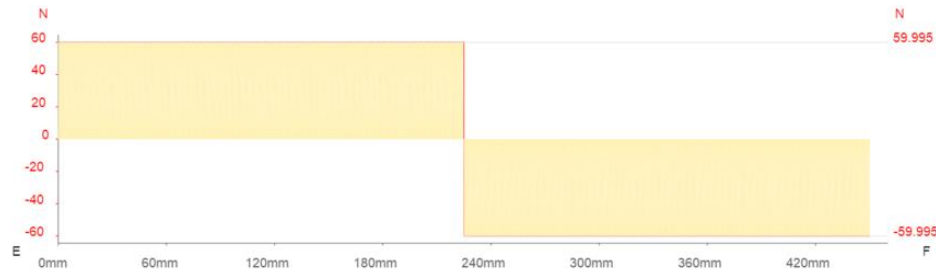


Figura 38. Diagrama de fuerzas cortantes del elemento E-F. Fuente: Propia.

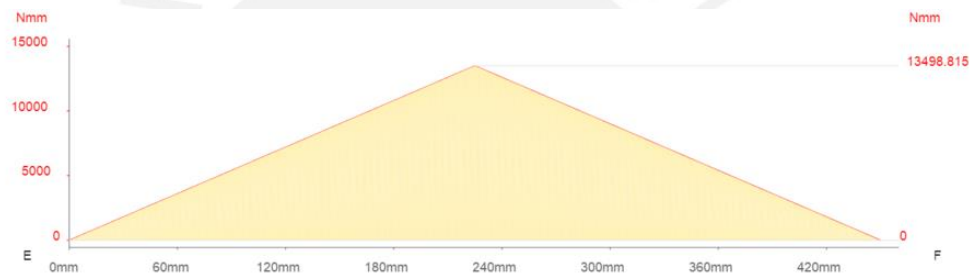


Figura 39. Diagrama de momentos flectores del elemento E-F. Fuente: Propia.

A continuación se analizan las vigas a flexión y las columnas a pandeo. Los cálculos se realizarán con un factor de seguridad (FS) de 3. El cálculo se realizó de manera iterativa con dimensiones de perfiles comerciales resultando la selección de un perfil tubular cuadrado de 40 mm y 1.5 mm de espesor. A continuación muestra la comprobación de resistencia mecánica.

- Viga crítica AB con $M_f = 99723\text{ Nmm}$. Considerando el $\sigma_{\text{material}} = 110\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ del catálogo de fabricante (FURUKAWA) y la siguiente formula se comprueba la resistencia por flexión.

$$\sigma_f = \frac{M_f d}{I} \leq \frac{\sigma_{\text{material}}}{\text{FS}}$$

$$\sigma_f = \frac{(99723) \left(\frac{40}{2}\right)}{\frac{1}{12}(40^4 - 37^4)} \leq \frac{110}{3}$$

$$34.89 \leq 36.66 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Por lo tanto la viga no fallará por flexión.

- Columna crítica AC. Se tiene los siguientes datos respecto al elemento:
 - La fuerza de compresión ejercida sobre la columna es de $F=498.71\text{ N}$.
 - La longitud (L) de la columna es 1995 mm.

- El momento de inercia (I) de la columna es de 57153.25 mm⁴.
- El módulo de elasticidad el material (E) es 67000 N/mm²
- El tipo de apoyo se considera articulado-articulado (n=1).
- Se considera un factor de seguridad (FS) de 3.

La fuerza crítica de pandeo se calcula con la siguiente ecuación.

$$F_p = \frac{\pi^2 nEI}{L^2 FS}$$

Reemplazando en los datos en la ecuación se obtiene:

$$F_p = \frac{\pi^2 (67000)(57153.25)}{1995^2 (3)} = 3165 \text{ N}$$

Como fuerza actuante es menor a la fuerza crítica de pandeo la columna no fallará por pandeo.

Dimensionamiento del contenedor de residuos

Para el dimensionamiento del contenedor de residuos se consideró lo siguiente.

- El residuo tendrá una capacidad máxima de 10 kg de compost.
- La densidad media del compost es 500 kg/m³.
- El contenedor tendrá forma cuadrada para un fácil manejo del usuario.

De acuerdo a las dimensiones generales de la máquina, una sección cuadrada de 400 mm es fácilmente integrable al sistema. Con estos datos, se calcula la altura del depósito.

$$\text{altura} = \frac{\text{capacidad(kg)}}{\text{densidad} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \text{area(m}^2\text{)}}$$

$$\text{altura} = \frac{10}{500(0.4^2)} = 0.125\text{m} = 125\text{mm}$$

- Cálculo del espesor de placa del depósito

La capacidad máxima del depósito es de 10 kg de compost. A continuación se calcula del espesor mínimo de la placa. En la siguiente Figura 41 se muestra el DCL con las fuerza distribuida del peso $W_D=100\text{N}$ y las reacciones $R_{DA}=51.75 \text{ N}$ y $R_{DB}=51.75 \text{ N}$ correspondientes. Los diagramas de fuerzas internas de cortante y momento flector se muestran en la Figura 42 y la Figura 43 respectivamente.

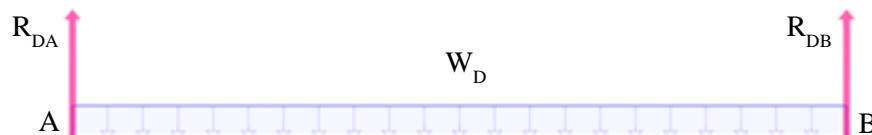


Figura 41. Diagrama de cuerpo libre de la placa depósito. Fuente: Propia.

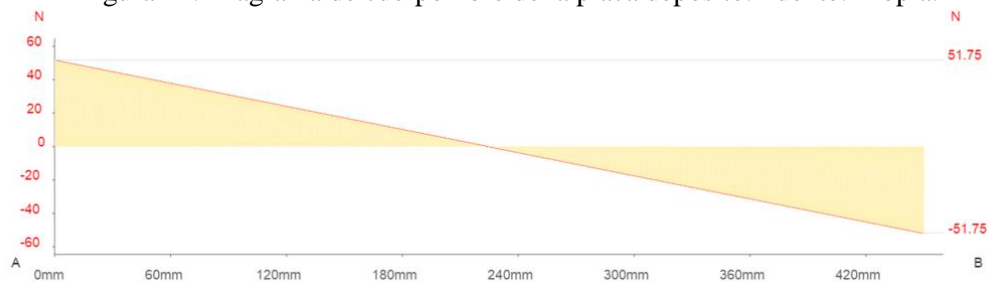
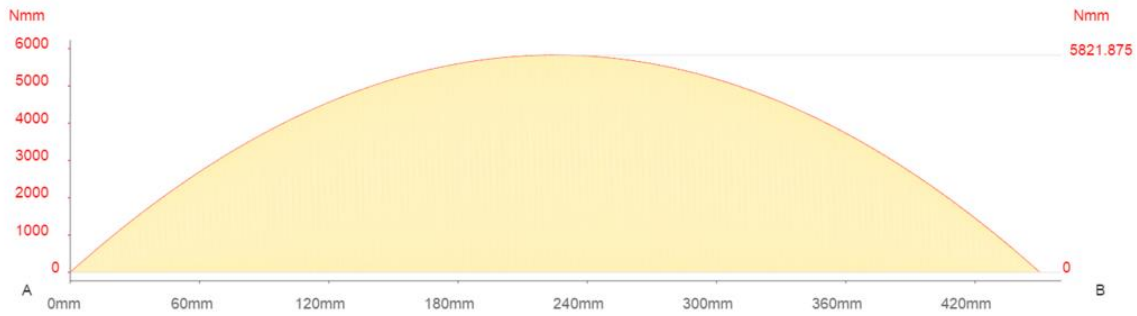


Figura 42. Diagrama de fuerzas cortantes de la placa depósito. Fuente: Propia



.Figura 43. Diagrama de momentos flectores de la placa depósito. Fuente: Propia.

Del gráfico se puede ver que el valor del momento flector máximo es $M_f = 5821.88 \text{ Nmm}$. Con la fórmula siguiente se calcula el espesor mínimo de placa.

$$\sigma_f = \frac{M_f d}{I} \leq \sigma_{\text{material}}$$

Considerando un $\sigma_{\text{material}} = 250 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$$\sigma_f = \frac{(5821.88) \left(\frac{e}{2}\right)}{\frac{50}{12} e^3} \leq 250 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$e \geq 1.67 \text{ mm}$$

El cálculo asume que el todo la carga solo se concentra solo en 50 mm de todo el ancho de la placa de los 450 mm disponibles. Por lo tanto, usar un espesor de 2 mm es seguro.

5. Cálculo de potencia de la fuente

Dispositivos alimentados con 24V. Bomba, calentador, motor reductor.

- Potencia máxima de la bomba= $VI=24 \times 3.8=91.2\text{W}$
- Potencia máxima del calentador= $VI=24 \times 6=144\text{W}$
- Potencia máxima del motor reductor= $VI=24 \times 8=192\text{W}$

Se puede dar el caso que todos los dispositivos funcionen de manera simultánea; por lo tanto, se requiere que la fuente tenga una potencia mínima de 427.2 W a 24 V.

Dispositivos alimentados con 12V. Motor a pasos, servomotor, servo actuador lineal

- Potencia máxima del motor a pasos= $VI=12 \times 1.6=19.2\text{W}$
- Potencia máxima del servomotor= $VI=12 \times 1=12\text{W}$
- Potencia máxima del servo actuador lineal= $VI=12 \times 4.5=54\text{W}$

Solo un dispositivo de este grupo funciona a la vez; por lo tanto, se debe suministrar una potencia máxima de 54W a 12 V.

6. Cálculo de resistencia de LEDS indicadores de estado

$$R_{\text{LED}} = \frac{5 - V_{\text{LED}}}{I_{\text{LED}}}$$

Donde:

R_{LED} = Resistencia de protección del LED

V_{LED} = Voltaje de caída en el LED

I_{LED} = Corriente del LED

Sabiendo que $V_{LED}=1.7V$ Y $I_{LED}=10$ mA se calcula el valor de la resistencia a continuación-

$$R_{LED} = \frac{5 - 1.7}{10} = 330\Omega$$



ANEXO E: TABLA DE RESULTADOS

Se muestra a continuación en la Tabla 2 los resultados correspondientes a los cálculos realizados en el Anexo D.

Tabla2. Resultados obtenidos. Fuente: Propia.

N° de item	Simbología	Descripción	Valor	Unidades
1	$V_{requerido}$	Volumen requerido para contener los residuos orgánicos por día	0.01	m^3
2	$V_{considerado}$	Volumen de cada compartimento de la cámara multipropósito	0.01	m^3
3	q_1	Fuerza distribuida en una pared giratoria de la cámara multipropósito	0.01	N/mm
4	R_A	Fuerza de reacción en una pared giratoria de la cámara multipropósito	2.00	N
5	M_A	Momento de reacción en una pared giratoria de la cámara multipropósito	250.00	N-mm
6	$M_{resultante}$	Momento requerido para mover las paredes giratoria de la cámara multipropósito	15.00	oz-in
7	$V_{aire\ requerido}$	Flujo de aire requerido para los residuos orgánicos	52.35	L/min
8	$Q_{requerido}$	Potencia requerido para calentar los residuos orgánicos	89.50	W
9	F_x	Fuerza ejercida por la cuchilla del módulo de medición y manipulación en el eje x	19.28	N
10	F_y	Fuerza ejercida por la cuchilla del módulo de medición y manipulación en el eje y	22.98	N
11	R_{1x}	Reacción en el primer apoyo del eje de la cuchilla en el eje x	230.01	N
12	R_{2x}	Reacción en el segundo apoyo del eje de la cuchilla en el eje x	145.17	N
13	R_{1y}	Reacción en el primer apoyo del eje de la cuchilla en el eje y	241.97	N
14	R_{2y}	Reacción en el segundo apoyo del eje de la cuchilla en el eje y	173.03	N
15	M_l	Momento requerido para mover las cuchillas del módulo de medición y manipulación	4.05	N-m
16	W_1	Peso del módulo de medición y manipulación	120.00	N
17	W_2	Peso de la tolva de alimentación	50.00	N
18	R_{WA}	Reacción en primer apoyo de la placa soporte del módulo de medición y manipulación	121.00	N
19	R_{WB}	Reacción en primer apoyo de la placa soporte del módulo de medición y manipulación	49.00	N
20	W_M	Peso del módulo de medición y manipulación y la plataforma de movimiento	121.00	N
21	R_{MA}	Reacción en el primer apoyo de la viga de la estructura de la plataforma de movimiento	60.50	N
22	R_{MB}	Reacción en el segundo apoyo de la viga de la estructura de la plataforma de movimiento	60.50	N
23	F_1	Peso de la cámara multipropósito	120.00	N
24	F_2	Peso del depósito	100.00	N
25	F_3	Peso de la plataforma de movimiento y el módulo de medición y manipulación	170.00	N
26	M_1	Momento generado por el peso del módulo de medición y manipulación y la plataforma de movimiento	162.00	N-m
27	R_C	Reacción en el apoyo del punto C de la estructura general	548.67	N
28	R_D	Reacción en el apoyo del punto D de la estructura general	158.67	N

ANEXO F: PLANOS MECÁNICOS Y ELECTRÓNICO

Tabla1. Lista de planos mecánicos y electrónico. Fuente: Propia.

NOMBRE Y ABREVIACIÓN DE PLANOS	
Abreviación	Nombre
A2-E-1-1	Plano de ensamble general
A3-E-1-2	Plano de ensamble general - Vista de secciones
A4-E-1-3	Plano de ensamble general - Vista de detalles
A2-E-2-1	Plano de ensamble de estructura general
A2-E-2-2	Plano de ensamble de estructura general - Vista de secciones
A3-E-2-3	Plano de ensamble de estructura general - Vista de detalles
A2-E-3-1	Plano de ensamble de plataforma de movimiento
A2-E-3-2	Plano de ensamble de plataforma de movimiento - Vista de secciones
A2-E-3-3	Plano de ensamble de plataforma de movimiento - Vista de detalles
A3-E-3-4	Plano de ensamble de plataforma de movimiento - Lista de piezas
A2-E-4-1	Plano de ensamble de módulo de medición y manipulación
A3-E-4-2	Plano de ensamble de módulo de medición y manipulación - Vista de secciones
A2-E-4-3	Plano de ensamble de módulo de medición y manipulación - Vista de detalles
A2-E-5	Plano de ensamble de cámara multipropósito
A2-E-5-1-1	Plano de ensamble de plataforma cámara
A3-E-5-1-2	Plano de ensamble de plataforma cámara - Vista de detalles
A2-E-5-2-1	Plano de ensamble de paredes giratorias
A4-E-5-2-2	Plano de ensamble de paredes giratorias - Vista de secciones
A4-E-5-2-3	Plano de ensamble de paredes giratorias - Vista de detalles
A3-D-2-1	Plano de despiece de plancha soporte plataforma
A3-D-2-2	Plano de despiece de plancha soporte depósito
A3-D-2-3	Plano de despiece de plancha depósito
A4-D-3-1	Plano de despiece de plancha de conexión
A4-D-3-2	Plano de despiece de eje para servomotor
A4-D-3-3	Plano de despiece de plancha de soporte para sevomotor
A3-D-3-4	Plano de despiece de plancha de soporte para plataforma de movimiento
A3-D-3-5	Plano de despiece de tolva de alimentación
A4-D-3-6	Plano de despiece de eje para rodamiento corona giratoria
A3-D-4-1	Plano de despiece de plancha base
A4-D-4-2	Plano de despiece de plancha soporte calentador
A3-D-4-3	Plano de despiece de plancha intermedia
A3-D-4-4	Plano de despiece de plancha superior
A3-D-4-5	Plano de despiece de plancha cubierta
A4-D-4-6	Plano de despiece de plancha soporte minibomba
A4-D-4-7	Plano de despiece de eje para cuchillas
A3-D-5-1-1	Plano de despiece de plancha soporte plataforma
A4-D-5-1-2	Plano de despiece de plancha soporte motor a pasos
A3-D-5-2-1	Plano de despiece de pared externa
A4-D-5-2-2	Plano de despiece de pared interna
A4-D-5-2-3	Plano de despiece de pared interna unión
A4-D-5-2-4	Plano de despiece de plancha unión en L
A4-D-5-2-5	Plano de despiece de plato circular
A2-Elec	Plano electrónico