

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,  
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**TESIS**

**DISEÑO DE UN EQUIPO DE ALIMENTACIÓN AUTOMÁTICO PARA TRUCHA EN  
JAULAS FLOTANTES UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, QUE  
PERMITA MEJORAR LA FRECUENCIA DE ALIMENTACIÓN EN LA LAGUNA DE  
LANGUI-LAYO DE LA REGIÓN CUSCO**

**PRESENTADO POR:**

Br. DARWIN JUAN JALIXTO CHECYA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**ASESOR:**

Mg. ARTURO MACEDO SILVA

**CUSCO-PERÚ**

**2024**

## INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: DISEÑO DE UN EQUIPO DE ALIMENTACIÓN AUTOMÁTICO PARA TRUCHA EN JAULAS FLOTANTES UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, QUE PERMITA MEJORAR LA FRECUENCIA DE ALIMENTACIÓN EN LA LAGUNA DE LANGUI - LAYO DE LA REGIÓN CUSCO

presentado por: DARWIN JUAN JALIXTO CHECYA con DNI Nro.: 72780464 presentado por: ..... con DNI Nro.: ..... para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO MECÁNICO

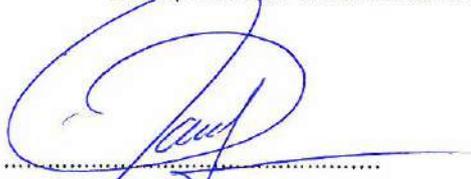
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	<input type="checkbox"/>
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	<input type="checkbox"/>

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 18 de Noviembre de 2024



Firma

Post firma ARTURO MACEDO SILVA

Nro. de DNI 23821894

ORCID del Asesor 0000-0002-2794-949x

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259 : 406932684

NOMBRE DEL TRABAJO

DISEÑO DE UN EQUIPO DE ALIMENTACIÓN AUTOMÁTICO PARA TRUCHA EN JAUZAS FLOTANTES UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR

AUTOR

Darwin Juan Jalixto Checya

RECuento DE PALABRAS

45635 Words

RECuento DE CARACTERES

234953 Characters

RECuento DE PÁGINAS

249 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

11.9MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 18, 2024 9:34 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 18, 2024 9:36 PM GMT-5

### ● 8% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 8% Base de datos de Internet
- 0% Base de datos de publicaciones

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Base de datos de trabajos entregados
- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 9 palabras)
- Bloques de texto excluidos manualmente



## **PRESENTACIÓN**

SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.

En cumplimiento con las disposiciones del reglamento de grados y títulos vigente regidas en nuestra casa de estudios, doy a conocer el trabajo de investigación intitulado: **“DISEÑO DE UN EQUIPO DE ALIMENTACIÓN AUTOMÁTICO PARA TRUCHA EN JAULAS FLOTANTES UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, QUE PERMITA MEJORAR LA FRECUENCIA DE ALIMENTACIÓN EN LA LAGUNA DE LANGUILAYO DE LA REGIÓN CUSCO”** para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico.

Bach. Darwin Juan Jalixto Checya

## **DEDICATORIA**

*A Dios por la oportunidad de seguir  
aprendiendo y por darme la fuerza  
necesaria para seguir adelante.*

*A mi familia por ser motivo e inspiración de  
mis metas, y también por su apoyo y  
comprensión durante mi etapa de formación  
académica.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A todos mis docentes, compañeros y amigos  
de la universidad.*

*A mi asesor de tesis Ing. Arturo Macedo  
Silva, por su apoyo, compromiso y  
orientación profesional.*

*Al Ing. Percy Rueda y al Ing. Rene Rosado  
por su compromiso y labor docente, así  
como también por su apoyo profesional.*

*Darwin Juan Jalixto Checya*

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de tesis tiene como finalidad diseñar un equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes que permita mejorar la frecuencia de alimentación de las truchas en la laguna de Langui-Layo, esto con el propósito de mejorar el proceso productivo y la productividad de truchas de los acuicultores de la zona.

La tesis comprende el diseño de un equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes mediante la metodología de diseño VDI 2221, con lo que se selecciona un modelo conceptual en base a una evaluación técnica y económica, luego se realiza el dimensionamiento de los componentes del modelo seleccionado, aplicando conocimientos de ingeniería y normas de estandarización. Adicionalmente se determina un sistema de control automático en base a una placa de ARDUINO MEGA 2560, que acompañado de sensores de carga de 50 kg y una interfaz de comunicación (pantalla y teclado) se logra automatizar y controlar dos motorreductores DC encargados de dosificar y dispersar el alimento.

Posteriormente se determina una instalación fotovoltaica aislada cuya generación energética permita el funcionamiento del equipo de alimentación con una autonomía de tres días. Para la selección del panel fotovoltaico se utiliza el software PVGIS en su versión 5.3. Ya que el lugar de aplicación del equipo de alimentación es dentro la laguna de Langui-Layo, se realiza un análisis de flotación y estabilidad del equipo al utilizar cuatro canecas de polietileno de 60 litros, lo que le confiere la flotabilidad necesaria y un grado de estabilidad adecuado.

Finalmente, en base al costo de los componentes y costo de fabricación estimados se determina el costo del equipo de alimentación automático, y adicionalmente mediante los indicadores financieros del VAN y TIR se determina la rentabilidad del proyecto.

## RESUMEN

El presente proyecto de tesis se enfocó en realizar el diseño un equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes que permita mejorar la frecuencia de alimentación, utilizando para ello la metodología de diseño VDI 2221 con lo que se seleccionó un modelo conceptual basado en una evaluación técnica y económica, luego se realizó el diseño de los componentes, se estableció el sistema de control automático, se determinó la instalación fotovoltaica, se realizó el estudio de flotación y estabilidad y finalmente se determinó el costo del equipo de alimentación considerando los costos de componentes y costos de fabricación, adicionalmente se realizó un análisis de rentabilidad utilizando los indicadores financieros del VAN y TIR.

El diseño del equipo resultante utiliza tanto para el silo y la estructura acero galvanizado, cuya capacidad es para 63 kg de alimento, dosificación de 35g/s y radio de dispersión de 2m, para el sistema de control se optó por utilizar una placa de Arduino MEGA 2560 conjuntamente con sensores de peso, dos motores DC y una interfaz de pantalla y teclado; la alimentación energética quedó determinada por un panel fotovoltaico de 10W conjuntamente a una batería de 12v y 12 Ah, proporcionándose así una autonomía de 3 días y finalmente para la flotación del equipo se utilizó cuatro canecas de polipropileno de 60L cada uno.

Con ello se logró obtener el diseño de un equipo de alimentación automático para truchas en jaulas flotantes en laguna de Langui-Layo que mejora la frecuencia de alimentación, de costo rentable y oportunidad de beneficio para los acuicultores en la laguna de Langui-Layo.

**Palabras Clave:** Equipo de alimentación automático, truchas, jaulas flotantes, energía solar fotovoltaica, frecuencia de alimentación, laguna de Langui-Layo.

## ABSTRACT

This thesis project focused on designing automatic feeding equipment for trout in floating cages that allows improving the feeding frequency, using the VDI 2221 design methodology, with which a conceptual model was selected based on an evaluation technical and economic, then the designing of the components was carried out, the automatic control system was established, the photovoltaic installation was determinate, the flotation and stability study was carried out and finally the cost of the power equipment was determined considering the costs of components and costs manufacturing, additionally a profitability analysis was carried out using the financial indicators of VAN and TIR.

The design of the resulting equipment uses both the silo and the galvanized steel structure, whose capacity is for 63 kg of food, dosage of 35g/s and dispersion radius of 2m. For the control system it was decided to use an Arduino MEGA 2560 together with weight sensors, two DC motors and a screen and keyboard interface; the energy supply was determined by a 10W photovoltaic panel together with a 12V and 12Ah battery, thus providing an autonomy of 3 days and finally four polypropylene containers of 60L each were used to float the equipment.

With this, it was possible to obtain the design of an automatic feeding equipment for trout in floating cages in the Langui-Layo lagoon that improves the feeding frequency, cost-effective and beneficial for aquaculturists in the Langui-Layo lagoon.

**Keywords:** Automatic feeding equipment, trout, floating cages, photovoltaic solar energy, feeding frequency, Langui-Layo lagoon.

## ÍNDICE GENERAL

PRESENTACIÓN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	1
ÍNDICE GENERAL.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
CAPÍTULO I.....	11
1. GENERALIDADES.....	11
1.1 Planteamiento del problema.....	11
1.2 Formulación del problema.....	12
1.2.1 Problema general.....	12
1.2.2 Problemas específicos.....	12
1.3 Objetivos.....	13
1.3.1 Objetivo general.....	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
1.4 Justificación.....	13
1.5 Hipótesis.....	14
1.5.1 Hipótesis general.....	14
1.5.2 Hipótesis específicas.....	14
1.6 Variables de estudio.....	15
1.6.1 Variable independiente.....	15
1.6.2 Variable dependiente.....	15
1.7 Alcances y limitaciones.....	15
1.7.1 Alcances.....	15
1.7.2 Limitaciones.....	15
1.8 Metodología.....	16
1.8.1 Tipo de metodología de la investigación.....	16
1.8.2 Nivel de investigación.....	16
1.8.3 Diseño de la investigación.....	16
1.8.4 Recopilación de información.....	16
CAPÍTULO II.....	17
2. MARCO TEÓRICO.....	17

2.1	Antecedentes.....	17
2.1.1	Antecedentes nacionales.....	17
2.1.2	Antecedentes internacionales.....	18
2.2	Bases teóricas.....	19
2.2.1	La trucha Arco iris.....	19
2.2.2	Alimento de la trucha arcoíris.....	19
2.2.3	Laguna de Langui-Layo.....	21
2.2.4	Jaulas flotantes.....	22
2.2.5	Equipos de alimentación automático.....	26
2.2.6	Silo.....	26
2.2.7	Dosificadores de sólidos.....	32
2.2.8	Dispersión de alimento.....	34
2.2.9	Flotabilidad.....	36
2.2.10	Estabilidad.....	37
2.2.11	Metodologías de diseño.....	42
2.2.12	Sistemas de Control Automático.....	44
2.2.13	Energías renovables.....	47
2.2.14	Elementos de una instalacion solar fotovoltaica.....	49
2.2.15	Dimensionamiento de una instalación aislada con sistema fotovoltaico.....	51
2.2.16	Software de cálculo relacionados a instalaciones fotovoltaicas.....	55
CAPÍTULO III.....		57
3.	DETERMINACIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL.....	57
3.1	Metodología de diseño.....	57
3.2	Comprensión de la solicitud.....	57
3.2.1	Consideraciones previas.....	57
3.2.2	Lista de exigencias.....	61
3.3	Estructura de Funciones.....	62
3.3.1	Caja negra.....	63
3.3.2	Determinación y representación de la estructura de funciones.....	64
3.4	Elaboración de la matriz morfológica.....	64
3.5	Conceptos de solución.....	66
3.5.1	Concepto de solución 1.....	66
3.5.2	Concepto de solución 2.....	67
3.5.3	Concepto de solución 3.....	68

3.5.4	Concepto de solución 4.....	69
3.6	Determinación del concepto solución óptimo.....	70
3.6.1	Evaluación técnica.....	70
3.6.2	Evaluación económica.....	70
3.6.3	Determinación del concepto de solución óptimo.....	71
CAPÍTULO IV.....		73
4.	DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL EQUIPO.....	73
4.1	Consideraciones previas.....	73
4.1.1	Flujo de alimento entregado a las truchas.....	73
4.1.2	Alimentación actual y alimentación propuesta.....	73
4.1.3	Parámetros del alimento (pellet) de las truchas.....	74
4.2	Diseño del silo del equipo.....	74
4.2.1	Capacidad del silo del equipo.....	74
4.2.2	Geometría del silo del equipo.....	75
4.2.3	Desarrollo geométrico para la tolva y cubierta del silo.....	81
4.2.4	Cargas producidas por el alimento sobre las paredes del silo.....	83
4.2.5	Cálculo del espesor necesario para las paredes del silo.....	93
4.3	Diseño del dosificador del equipo de alimentación.....	95
4.3.1	Consideraciones previas.....	95
4.3.2	Dimensionamiento del alimentador helicoidal.....	97
4.3.3	Material del alimentador helicoidal.....	100
4.3.4	Potencia requerida por el alimentador helicoidal.....	100
4.3.5	Selección de motor para el alimentador helicoidal.....	113
4.3.6	Selección de cojinetes para el eje del alimentador.....	113
4.4	Diseño del dispersor del equipo de alimentación.....	117
4.4.1	Dispersión del alimento en la jaula de truchas.....	117
4.4.2	Dispersión por disco centrifugo.....	118
4.4.3	Cálculo del disco dispersor de alimento.....	122
4.4.4	Selección del motor para el sistema de dispersión.....	127
4.5	Diseño de la estructura del silo.....	128
4.5.1	Soportes del silo sobre los sensores de carga.....	129
4.5.2	Carga última aplicada sobre el silo.....	130
4.5.3	Uniones permanentes y no permanentes en la estructura del silo.....	133
4.5.4	Análisis estático del silo mediante software.....	138

4.6	Determinación del sistema de control automático para el equipo.....	140
4.6.1	Sistema de control automático del equipo de alimentación.....	140
4.6.2	Diagrama de bloques del sistema de control.....	140
4.6.3	Descripción del funcionamiento del sistema de control .....	140
4.6.4	Componentes del sistema de control.....	141
4.6.5	Código de programación para el sistema de control .....	147
4.6.6	Diagrama de conexiones .....	147
4.7	Determinación de la instalación fotovoltaica para el equipo .....	150
4.7.1	Determinación de la carga de consumo del equipo .....	151
4.7.2	Capacidad de almacenamiento de energía .....	153
4.7.3	Cálculo del módulo fotovoltaico.....	154
4.7.4	Determinación del regulador de carga .....	157
4.7.5	Diagrama de conexiones eléctricas del equipo de alimentación.....	157
CAPÍTULO V.....		159
5.	FLOTABILIDAD Y ESTABILIDAD DEL EQUIPO DE ALIMENTACIÓN.....	159
5.1	Estructura de soporte del equipo de alimentación .....	159
5.1.1	Cálculo de cargas sobre la estructura de soporte del equipo.....	160
5.1.2	Cálculo de los soportes de la estructura del equipo alimentador .....	163
5.2	Flotabilidad del equipo de alimentación .....	166
5.3	Estabilidad del equipo de alimentación .....	169
5.3.1	Grado de estabilidad del equipo de alimentación .....	175
5.4	Consideraciones finales .....	175
CAPÍTULO VI.....		177
6.	ANÁLISIS DE COSTOS DEL EQUIPO DE ALIMENTACIÓN .....	177
6.1	Costo del equipo de alimentación.....	177
6.1.1	Costos de los materiales utilizados en el equipo de alimentación .....	177
6.1.2	Costo de fabricación y ensamblaje del equipo de alimentación .....	179
6.1.3	Costos operativos para la fabricación del equipo.....	181
6.1.4	Costo total del equipo de alimentación automática de trucha.....	181
6.2	Análisis de rentabilidad .....	182
6.2.1	Flujo de caja neto.....	182
6.2.2	Valor actual neto (VAN).....	183
6.2.3	Tasa interna de retorno (TIR) .....	184
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		186

CONCLUSIONES .....	186
RECOMENDACIONES .....	188
BIBLIOGRAFÍA .....	189
APÉNDICES.....	193
ANEXOS .....	194
PLANOS .....	195

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ejemplar de trucha arcoíris en etapa de comercialización.....	19
<b>Figura 2</b> Muestras de distintos tamaños de alimento peletizado para trucha .....	20
<b>Figura 3</b> Ubicación de la Laguna de Langui-Layo .....	22
<b>Figura 4</b> Jaulas flotantes de trucha de la empresa San Andrés Acuícola .....	23
<b>Figura 5</b> Diferentes métodos de ensayo para determinar el ángulo de reposo de un material .....	24
<b>Figura 6</b> Métodos de ensayo para determinar el coeficiente de fricción entre superficies. ....	25
<b>Figura 7</b> Elementos de un silo metálico de sección circular .....	27
<b>Figura 8</b> Tipos de flujo en la descarga de un silo.....	28
<b>Figura 9</b> Probabilidad de atasco en función de la relación del tamaño orificio-partícula. ....	30
<b>Figura 10</b> Distribución de las presiones internas en un silo.....	31
<b>Figura 11</b> Tipos de dosificadores volumétricos para materiales sólidos.....	33
<b>Figura 12</b> Tipos de dosificadores gravimétricos .....	34
<b>Figura 13</b> Dispersión manual de alimento para truchas .....	35
<b>Figura 14</b> Tipos de dispersores mecánicos para materiales granulares.....	36
<b>Figura 15</b> Distintos estados de flotación de un cuerpo inmerso en un determinado fluido .....	37
<b>Figura 16</b> Estabilidad de un cuerpo sumergido.....	38
<b>Figura 17</b> Estabilidad de un cuerpo flotante. ....	39
<b>Figura 18</b> Grado de estabilidad respecto a la altura metacéntrica de un cuerpo flotante .....	40
<b>Figura 19</b> Curva de estabilidad estática de un buque pequeño. ....	41

<b>Figura 20</b>	Fases del método generalizado de diseño.....	43
<b>Figura 21</b>	Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto y otro en cerrado.....	44
<b>Figura 22</b>	Célula fotovoltaica y esquema del efecto fotovoltaico.....	48
<b>Figura 23</b>	Esquema típico de una instalación solar fotovoltaica.....	49
<b>Figura 24</b>	Caja Negra del equipo de alimentación automático para trucha. ....	63
<b>Figura 25</b>	Estructura de Funciones del equipo de alimentación automático.....	64
<b>Figura 26</b>	Matriz morfológica del equipo alimentador de trucha. ....	65
<b>Figura 27</b>	Esquema del concepto de solución 1 .....	66
<b>Figura 28</b>	Esquema del concepto de solución 2.....	67
<b>Figura 29</b>	Esquema del concepto de solución 3.....	68
<b>Figura 30</b>	Esquema del concepto de solución 4.....	69
<b>Figura 31</b>	Diagrama de evaluación Técnico-Económico del diseño conceptual del equipo de alimentación.....	72
<b>Figura 32</b>	Sección de un silo cilíndrico con tolva cónica para materiales granulares.....	75
<b>Figura 33</b>	Probabilidad de atasco en función de la relación del tamaño orificio-partícula. ....	76
<b>Figura 34</b>	Semi ángulo del vértice de la tolva, para flujo masico en la descarga del silo.....	79
<b>Figura 35</b>	Desarrollo de la tolva del silo a partir de su perfil.....	81
<b>Figura 36</b>	Desarrollo de la cubierta del silo a partir de su perfil.....	82
<b>Figura 37</b>	Cargas de llenado sobre las paredes verticales del silo .....	84
<b>Figura 38</b>	Variación de presión sobre las paredes verticales en el llenado del silo según la profundidad. 86	
<b>Figura 39</b>	Cargas de llenado y descarga sobre las paredes de la tolva.....	88
<b>Figura 40</b>	Variación de las presiones de llenado en la tolva en función de la altura. ....	90
<b>Figura 41</b>	Variación de las presiones de descarga en la tolva en función de la altura. ....	92
<b>Figura 42</b>	Representación de cargas y distribución de esfuerzos en la pared vertical del silo.....	93
<b>Figura 43</b>	Representación de las cargas y distribución de esfuerzos en la pared de la tolva. ....	94
<b>Figura 44</b>	Modelado del tramo helicoidal, debajo del diámetro de descarga de la tolva.....	104

<b>Figura 45</b> Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas actuantes sobre el eje del helicoidal .....	108
<b>Figura 46</b> Modelado del conjunto helicoidal identificando su masa.....	109
<b>Figura 47</b> Diagrama de momentos y fuerzas cortantes sobre el eje del alimentador .....	110
<b>Figura 48</b> Fuerzas intervinientes en la interacción del alimento con el helicoidal. ....	111
<b>Figura 49</b> Área de dispersión del alimento .....	118
<b>Figura 50</b> Dispersión de fertilizante en un disco giratorio.....	118
<b>Figura 51</b> Trayectoria de un objeto bajo una fuerza centrípeta y cuando esta desaparece. ....	119
<b>Figura 52</b> Trayectoria de una partícula de alimento dispersado por un disco.....	120
<b>Figura 53</b> Velocidad de dispersión de las partículas de alimento en el disco. ....	122
<b>Figura 54</b> Modelado del disco dispersor con la visualización de su masa. ....	124
<b>Figura 55</b> Momento de inercia del conjunto disco y alimento de dispersión.....	126
<b>Figura 56</b> Disposición de la estructura para rigidizar el silo.....	129
<b>Figura 57</b> Centro de masa del silo del equipo de alimentación .....	130
<b>Figura 58</b> Carga muerta del silo en estado vacío .....	131
<b>Figura 59</b> Uniones por soldadura en la estructura del silo .....	134
<b>Figura 60</b> Distintos tipos de unión por dobleces para el silo .....	136
<b>Figura 61</b> Distribución de los remaches en el silo .....	136
<b>Figura 62</b> Deformaciones de la estructura del silo al aplicar la carga última .....	138
<b>Figura 63</b> Esfuerzos equivalentes de Von-Mises sobre la estructura del silo .....	139
<b>Figura 64</b> Factor de seguridad.....	139
<b>Figura 65</b> Diagrama de bloques del sistema de control para el equipo de alimentación .....	140
<b>Figura 66</b> Especificaciones técnicas de la pantalla GLCD 128x64 ST7920.....	141
<b>Figura 67</b> Especificaciones técnicas del teclado matricial de membrana TM 4x4 .....	142
<b>Figura 68</b> Especificaciones técnicas de la placa Arduino MEGA 2560 .....	143
<b>Figura 69</b> Báscula corporal electrónica con sensores de peso de un solo punto.....	144
<b>Figura 70</b> Especificaciones técnicas del sensor de peso de un solo punto.....	144

<b>Figura 71</b> Especificaciones técnicas de los indicadores LED colores verde, rojo y amarillo .....	146
<b>Figura 72</b> Diagrama esquemático de los componentes del sistema de control. ....	148
<b>Figura 73</b> Diagrama del circuito de control del equipo de alimentación .....	149
<b>Figura 74</b> Especificaciones técnicas de la batería solar seleccionada.....	154
<b>Figura 75</b> Interfaz PVGIS para determinar la producción energética de un sistema aislado.....	154
<b>Figura 76</b> Producción energética de un panel fotovoltaico de 5W obtenido en PVGIS. ....	155
<b>Figura 77</b> Producción energética de un panel fotovoltaico de 10W obtenido en PVGIS. ....	156
<b>Figura 78</b> Especificaciones técnicas del panel solar fotovoltaico ENERTIK PS10 .....	156
<b>Figura 79</b> Especificaciones del regulador de carga PWM 10A modelo SCC-10 SOILOT .....	157
<b>Figura 80</b> Diagrama de conexión eléctrica del equipo de alimentación .....	158
<b>Figura 81</b> Estructura de soporte para el silo.....	159
<b>Figura 82</b> Carga muerta de la estructura de soporte del equipo de alimentación .....	161
<b>Figura 83</b> Deformaciones de la estructura de soporte del equipo al aplicar la carga última.....	165
<b>Figura 84</b> Esfuerzos equivalentes de la estructura de soporte al aplicar la carga última .....	165
<b>Figura 85</b> Factor de seguridad de la estructura del equipo .....	166
<b>Figura 86</b> DCL de flotación del equipo según disposición de las canecas. ....	167
<b>Figura 87</b> Masa del equipo en estado lleno sin considerar las canecas.....	168
<b>Figura 88</b> Condición de flotabilidad para el equipo de alimentación .....	170
<b>Figura 89</b> Ubicación del centro de masa del equipo para el estado vacío y lleno.....	171
<b>Figura 90</b> Centro de flotabilidad ( <i>cb</i> ) de una caneca.....	172
<b>Figura 91</b> Sección del equipo que es cortada por la superficie del agua.....	173
<b>Figura 92</b> Especificaciones técnicas del equipo de alimentación .....	176

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Frecuencia de alimentación de la trucha Arco Iris en función de su peso .....	21
<b>Tabla 2</b> Valores del ángulo de fricción interno para un material granular .....	26
<b>Tabla 3</b> Área de concesión del lago de la empresa San Andrés Acuícola en la zona .....	57
<b>Tabla 4</b> Dimensión y capacidad de las jaulas flotantes para la crianza de truchas .....	58
<b>Tabla 5</b> Diámetro equivalente de distintos calibres de alimento Nicovita para trucha .....	59
<b>Tabla 6</b> Cantidad de ración en cada jaula en función de la frecuencia de alimentación. ....	59
<b>Tabla 7</b> Tasa de alimentación diaria (kg de alimento/100 kg de truchas) a distintas temperaturas del agua .....	60
<b>Tabla 8</b> Ración diaria máxima necesaria para cada jaula a 15°C de temperatura del agua. ....	61
<b>Tabla 9</b> Lista de exigencias para el diseño del equipo de alimentación automático .....	61
<b>Tabla 10</b> Evaluación técnica de los conceptos de solución.....	70
<b>Tabla 11</b> Evaluación económica de los conceptos de solución.....	71
<b>Tabla 12</b> Cuadro de calificación para las alternativas de solución.....	71
<b>Tabla 13</b> Alimentación actual y alimentación propuesta .....	73
<b>Tabla 14</b> Valor de los parámetros aproximados para piensos en pellets(alimento). ....	74
<b>Tabla 15</b> Diámetro equivalente de los pellets usados en la alimentación de truchas .....	77
<b>Tabla 16</b> Valores geométricos obtenidos para el silo.....	81
<b>Tabla 17</b> Variables que intervienen en el cálculo de cargas de las paredes verticales.....	85
<b>Tabla 18</b> Variables que intervienen en el cálculo de cargas en la tolva.....	89
<b>Tabla 19</b> Clasificación del material para propósitos del diseño del alimentador helicoidal. ....	96
<b>Tabla 20</b> Factor de diámetro $Fd$ y factor del buje $Fb$ según el diámetro del helicoidal. ....	102
<b>Tabla 21</b> Factor del tipo de helicoidal.....	103
<b>Tabla 22</b> Factor de sobrecarga de potencia .....	106
<b>Tabla 23</b> Eficiencia de transmisión de potencias .....	106
<b>Tabla 24</b> Valores del coeficiente del momento flector y momento torsor. ....	108

<b>Tabla 25</b> Especificaciones técnicas del Motorreductor RS PRO 834-7631 .....	113
<b>Tabla 26</b> Rodamientos rígidos de bolas de una hilera para $d = 6 \text{ mm}$ .....	114
<b>Tabla 27</b> Factores de cálculo para rodamientos rígidos de bolas .....	116
<b>Tabla 28</b> Altura de dispersión de pellets NICOVITA para camarón .....	121
<b>Tabla 29</b> Especificaciones técnicas del motorreductor RS 420-700 .....	128
<b>Tabla 30</b> Combinaciones de carga actuantes sobre el silo .....	130
<b>Tabla 31</b> Combinaciones de carga para la estructura del silo .....	133
<b>Tabla 32</b> Especificaciones de un remache de 2.4 mm.....	137
<b>Tabla 33</b> Datos de radiación solar en el distrito de Langui, de la región Cusco. ....	150
<b>Tabla 34</b> Tiempo de funcionamiento de los elementos de consumo del equipo .....	151
<b>Tabla 35</b> Cargas de consumo del equipo del equipo de alimentación .....	152
<b>Tabla 36</b> Combinaciones de carga para la estructura de soporte del equipo.....	160
<b>Tabla 37</b> Combinaciones de carga para la estructura de soporte del equipo.....	163
<b>Tabla 38</b> Especificaciones de las canecas de 30L, 60L y 120L. ....	168
<b>Tabla 39</b> Obtención del volumen restante en función de $Vd$ y $Vt$ . ....	169
<b>Tabla 40</b> Calculo del centro de flotabilidad del equipo .....	172
<b>Tabla 41</b> Costo de los materiales utilizados en el equipo de alimentación .....	177
<b>Tabla 42</b> Costos de fabricación y ensamblaje del equipo de alimentación .....	179
<b>Tabla 43</b> Costos operativos para la fabricación del equipo.....	181
<b>Tabla 44</b> Costos operativos .....	181
<b>Tabla 45</b> Ahorro generado para frecuencias de alimentación de 2 y 10 veces al día.....	182
<b>Tabla 46</b> Flujo de caja neto de la utilización del equipo de alimentación.....	183

## **CAPÍTULO I**

### **1. GENERALIDADES**

#### **1.1 Planteamiento del problema**

En la actualidad la trucha arcoíris tiene una creciente demanda tanto en el mercado nacional como internacional, y que además se encuentra entre las especies prioritarias en el Plan de Desarrollo Acuícola en el Perú (Instituto Tecnológico de la Producción - Ministerio de la producción 2023); esto exige mejorar e incrementar la productividad de trucha de manera sostenible y competitiva.

En la producción de trucha arcoíris en jaulas flotantes en la laguna de Langui-Layo, se ha observado que los acuicultores aplican una frecuencia de alimentación deficiente, como el caso de la empresa San Andrés Acuícola E.I.R.L donde la frecuencia de alimentación es de una sola vez por día. Según el Manual de Crianza de Trucha elaborado en el 2004 por el Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (FONDEPES), la frecuencia de alimentación adecuada varía según el crecimiento de la trucha, siendo de 8 a 10 veces al día en la etapa de alevinos y de 2 a 4 veces al día en la etapa de comercialización.

Según Rosales (2016, pág. 38), la aplicación de una adecuada frecuencia de alimentación en la crianza de truchas mejora los índices productivos tales como la conversión alimenticia, crecimiento, ganancia de peso, condición corporal y reducción del porcentaje de mortalidad. Sin embargo, para los acuicultores de la zona de Langui-Layo, la aplicación de una adecuada frecuencia de alimentación implica un incremento en las horas hombre, logística y mayor exposición del trabajador a los riesgos y peligros del entorno laboral tras el ingreso reiterado a la laguna.

Por tal razón, se propone mejorar la frecuencia de alimentación de las truchas en jaulas flotantes en la laguna de Langui-Layo, a través del diseño de un equipo de alimentación automático.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cómo mejorar la frecuencia de alimentación de truchas en jaulas flotantes en la laguna de Langui-Layo a través del diseño de un equipo de alimentación automático?

### **1.2.2 Problemas específicos**

1. ¿Cuál es el modelo conceptual del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes mediante el método de diseño VDI 2221?
2. ¿Cuáles son los parámetros del diseño mecánico de los componentes del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes?
3. ¿Cuáles son los parámetros del sistema de control del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes?
4. ¿Cómo es la instalación fotovoltaica para el funcionamiento del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes?
5. ¿Cómo es la flotabilidad y estabilidad del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes aplicando los principios de flotación y estabilidad?
6. ¿Cuál es el costo del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general.**

Diseñar un equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes utilizando energía solar fotovoltaica que mejore la frecuencia de alimentación de truchas en la laguna de Langui-Layo.

### **1.3.2 Objetivos específicos.**

1. Determinar el modelo conceptual del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes mediante el método de diseño VDI 2221.
2. Definir los parámetros del diseño mecánico de los componentes del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes.
3. Determinar los parámetros del sistema de control del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes.
4. Determinar la instalación fotovoltaica para el funcionamiento del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes.
5. Establecer la flotabilidad y estabilidad del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes aplicando los principios de flotación y estabilidad.
6. Determinar el costo del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes.

## **1.4 Justificación**

El presente estudio se justifica por las siguientes razones:

- La mejora de la frecuencia de alimentación de las truchas criadas en jaulas flotantes a través de un equipo de alimentación automático, permitirá incrementar la productividad de los acuicultores en la laguna de Langui-Layo.

- El uso de un equipo de alimentación automático para truchas permitirá reducir la intervención del hombre en la actividad, disminuyendo así la exposición a los peligros y riesgos del entorno laboral.
- La aplicación de un equipo de alimentación automático en la zona permitirá generar y corroborar conocimientos con propósitos de mejora continua, posibilitando su generalización para otros lugares con similares características.

## **1.5 Hipótesis**

### **1.5.1 Hipótesis general.**

Es posible mejorar la frecuencia de alimentación de truchas en jaulas flotantes en la laguna de Langui-Layo a través del diseño de un equipo de alimentación automático.

### **1.5.2 Hipótesis específicas.**

1. Es posible determinar el modelo conceptual del equipo de alimentación automático mediante el método de diseño VDI 2221.
2. Es posible definir los parámetros del diseño mecánico de los componentes del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes.
3. Es posible determinar los parámetros del sistema de control del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes.
4. Es posible determinar una instalación fotovoltaica para el funcionamiento del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes.
5. Es posible establecer la flotabilidad y estabilidad del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes aplicando los principios de flotación y estabilidad.

6. Es posible determinar el costo del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes.

## **1.6 Variables de estudio**

### **1.6.1 Variable independiente.**

- Frecuencia de alimentación.
- Cantidad de alimento.
- Distancia de dispersión.

### **1.6.2 Variable dependiente.**

- Equipo de alimentación automático.

## **1.7 Alcances y limitaciones**

### **1.7.1 Alcances.**

- El diseño del equipo de alimentación automático es para trucha arcoíris criadas en jaulas flotantes en la laguna de Langui-Layo.
- Los alimentos considerados para el diseño, son pellets de distintos calibres de la marca comercial NICOVITA (desde 1.5 a 6 mm), que es la que se brinda actualmente en el proceso productivo.
- El diseño del equipo de alimentación automático se realizará considerando tecnologías apropiadas.

### **1.7.2 Limitaciones.**

- El diseño del equipo de alimentación automático se hará para una jaula flotante cuadrada de 5 metros de lado.
- Se realizará mayor relevancia al estudio mecánico del equipo de alimentación automático que para la parte eléctrica, electrónica y/o informática.

- Se presentará el diseño del equipo de alimentación automático mas no la construcción del mismo.

## **1.8 Metodología**

### **1.8.1 Tipo de metodología de la investigación**

La metodología de la investigación es de **enfoque cuantitativo**, porque se remite a conteos numéricos y métodos matemáticos, además se basa en investigaciones previas. (Hernández 2014, pág. 10)

### **1.8.2 Nivel de investigación**

El nivel o alcance de la investigación es **descriptivo**, porque se estudia al fenómeno (problema) y sus componentes, además de medir conceptos y definir variables (Hernández 2014, pág. 89).

### **1.8.3 Diseño de la investigación**

Esta investigación es **no experimental** de corte **transversal**, porque no existe manipulación deliberada de las variables y por qué los datos se recolectan en un solo momento (Hernández 2014, pág. 152).

### **1.8.4 Recopilación de información**

La estrategia de recopilación de información es de investigación documental y visitas de campo.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

##### 2.1.1 Antecedentes nacionales.

En el Perú se tiene antecedentes de diseño de alimentadores automáticos para la crianza de distintas especies, como la investigación de Juan Huallpa (Arequipa, 2015) quien diseñó un sistema de alimentación automático para mascotas (perros, gatos y liebres) en una maqueta experimental, el cual contaba con una tolva para contener el alimento de las mascotas y una faja dentada para la extracción del alimento. Para el sistema de control utilizó un PLC conjuntamente con sensores de peso y elementos actuadores, siendo alimentados por red eléctrica y baterías.

Otro antecedente es la tesis de Belleza y Vega (Lima, 2019), quienes diseñaron un equipo automatizado para alimentación de marranas gestantes y cerdos jóvenes, a través de un equipo constituido por una tolva, un dosificador de tornillo, un microcontrolador, sensores y actuadores. Implementaron adicionalmente una estructura para el pesaje e identificación a través el arete del cerdo, reenviando la información al controlador para determinar la cantidad de alimento necesario, esto según el algoritmo desarrollado por los autores e instalado en el controlador.

Otro antecedente es la tesis de Egoavil y Quispe (Lima, 2020), quienes diseñaron un prototipo de control electrónico para alimentación artificial y medición de datos abióticos del agua en una pecera. Para el estudio utilizaron distintos sensores para medir los datos abióticos del agua, transmitiendo la información a un microprocesador PIC 18F4550 quien a su vez tenía la función de controlar el arranque de una bomba de recirculación de agua y un dosificador de alimentos por gravedad. Con ello lograron implementar un sistema de monitoreo y control remoto para actividades de crianza en piscinas.

### **2.1.2 Antecedentes internacionales.**

En el ámbito internacional se tiene antecedentes de diseño de alimentadores automáticos para distintos peces, tal es el caso de Aguayo y Palma (Ecuador, 2018) quienes realizaron el diseño y automatización de un dispensador móvil de alimento para Tilapia en un estanque pequeño. Se realizó el movimiento del dispensador sobre bastidores ubicados encima del estanque, mientras que para la dosificación del alimento se utilizó un tornillo helicoidal de eje vertical accionado por un motor eléctrico y poleas de transmisión. El control del equipo se realizó a través de un temporizador actuando sobre el motor eléctrico, cuya alimentación se tomó de la red eléctrica.

Otro antecedente es el de Jaime Arcila (Colombia, 2021) quien realizó el diseño de un prototipo de alimentador para peces tropicales (bagre y boquichico) de 200 kg de capacidad. Construyó el prototipo con un silo de bidón de polipropileno adaptado a una estructura flotante basada también en bidones de polipropileno. La dosificación empleada fue por gravedad a través de una compuerta ajustable que hacía que el alimento caiga sobre un disco giratorio para su dispersión. El accionamiento del disco giratorio fue a través de un motor DC, que era controlado en el tiempo por un microcontrolador y alimentado por un panel fotovoltaico.

Otro antecedente es el de Matías y Figueroa (Ecuador, 2022), quienes realizaron el diseño de un alimentador automático de 125 kg de capacidad para camarón en piscinas de cultivo. Para ello optaron por un silo de polietileno adaptado a una estructura de acero inoxidable, cuya flotabilidad fue a través de flotadores industriales de polipropileno. La dosificación empleada fue por un tornillo dosificador vertical y la dispersión mediante paletas giratorias. Para el sistema de control se utilizó un hidrófono acuático conjuntamente con un controlador Arduino Uno, cuya fuente de alimentación fue a través de un panel fotovoltaico.

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 La trucha Arco iris

La trucha arco iris es un pez que pertenece a la familia de los salmónidos, es una especie de aguas frías por lo que se ha adaptado bastante bien a la zona altoandina del Perú, ocupando ríos, lagos, lagunas, entre otros cuerpos de agua (Sistema Nacional de Acuicultura, 2022). Alcanza su madurez aproximadamente en dos años, pero puede comercializarse para el consumo desde los 8 a 9 meses cuando este alcanza una talla aproximada de 26 cm (FONDEPES, 2004). En la figura 1 se muestra un ejemplar de trucha arco iris en fase de cosecha.

#### Figura 1

*Ejemplar de trucha arcoíris en etapa de comercialización*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

### 2.2.2 Alimento de la trucha arcoíris

La trucha arcoíris es una especie carnívora que se alimenta de invertebrados y pequeños peces que captura en el agua. En ambientes controlados como jaulas y pozas artificiales su alimentación es a base de alimentos balanceados que contienen proteínas, grasas, harinas, las cuales son extruidas en pellets de distintos tamaños que dependen del tamaño y fase de crianza de

las truchas. Los pellets para la trucha arcoíris son de forma cilíndrica, uniformes y secos. En la figura 2 se muestran distintos tamaños del alimento en pellets para trucha.

## Figura 2

*Muestras de distintos tamaños de alimento peletizado para trucha*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

El tamaño, la uniformidad y la baja humedad relativa de los pellets, hace que se clasifiquen como materiales granulares secos, por lo que su interacción por fricción puede generar atascamiento, avalanchas, compactación, entre otros fenómenos en la descarga de silos (Zuriguél, 2005).

### **2.2.2.1 Frecuencia de alimentación**

La frecuencia de alimentación es el número de veces por día en que se alimentan a las truchas. Según las buenas prácticas de crianza, las truchas más pequeñas se alimentan con una frecuencia mayor que las truchas más grandes, debido al rápido metabolismo que tienen y por que beneficia en su desarrollo y crecimiento saludable, la cual se traduce en la mejora de los índices productivos en la crianza de truchas. En la tabla 1 se muestra la frecuencia de alimentación según el tamaño de las truchas.

**Tabla 1**

*Frecuencia de alimentación de la trucha Arco Iris en función de su peso*

PESO UNITARIO (g)		FRECUENCIA DE ALIMENTACIÓN
desde	hasta	
Post - Larvas	1.00	10 - 15
1.00	5.00	8 - 10
5.00	25.00	4 - 6
25.00	66.60	3 - 4
66.60	Comercialización	2 - 4
100 - 130	Comercialización	2 - 4
< 500	Fin del ciclo productivo	2
> 500	Fin del ciclo reproductivo	2

*Fuente:* Manual de Cultivo de Trucha Arco Iris en Jaulas Flotantes, FONDEPES, 2004.

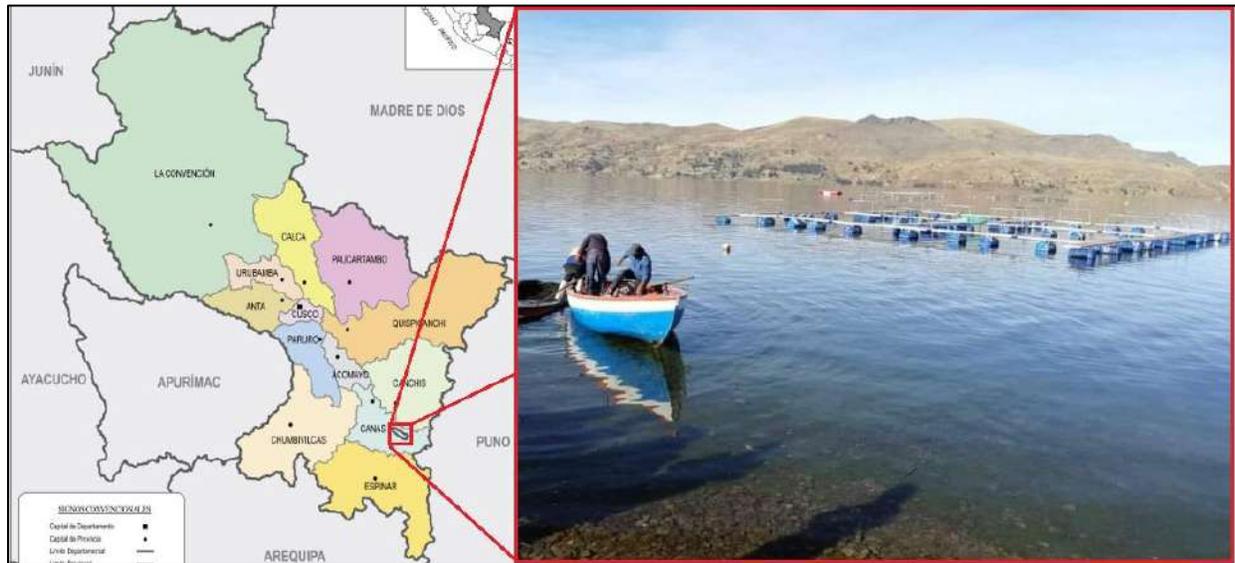
### **2.2.3 Laguna de Langui-Layo**

Es uno de los cuerpos de agua dulce más grandes e importantes de la región del Cusco, está ubicada entre los distritos de Langui y Layo en la provincia de Canas del departamento de Cusco a una altitud de 3969 *m. s. n. m.*; tiene una longitud máxima de 16.04 *km* y un ancho máximo de 4.89 *km*, el área de espejo de agua es de 58.14 *km*<sup>2</sup> con una profundidad máxima de 232 *m* y cuenta con condiciones hidrológicas favorables para la acuicultura (Dirección Regional de Comercio Exterior y Turismo Cusco, 2008). La temperatura del agua en la Laguna de Langui-Layo es fría, registrando una oscilación diaria con cambios constantes entre 10.8 °C y 15.0 °C (Ministerio de Pesquería, 1976, pág. 25).

En la figura 3 se muestra la ubicación de la laguna de Langui-Layo y una de las actividades principales que se realizan en la misma.

### Figura 3

#### Ubicación de la Laguna de Langui-Layo



Fuente: Elaboración Propia del autor.

#### 2.2.4 Jaulas flotantes.

Una jaula flotante es una estructura que confina los peces en el agua con un flujo constante del mismo, está compuesta por elementos rígidos que sostienen una bolsa de redes y que están apoyados sobre un sistema de flotación, están anclados al fondo del agua mediante templadores y lastres. Las jaulas pueden tener una forma circular, hexagonal o rectangular, siendo la última la más común en la zona, cuyas dimensiones típicas son de 5x5x3m, 5x5x5m y 10x10x5m (FONDEPES, 2004, pág 38). Los materiales con las que se construye una jaula flotante pueden ser utilizando madera o perfiles metálicos para la estructura, los cuales son montados sobre boyas o canecas plásticas para mantener la flotación (Sistema Nacional de Acuicultura, 2022, pág. 29).

En la figura 4 se muestran jaulas flotantes propias de la empresa San Andres Acuicola instaladas en la laguna de Langui-Layo.

## Figura 4

*Jaulas flotantes de trucha de la empresa San Andrés Acuícola*



*Fuente:* Adaptada del informe de la primera fase del PNIPA sobre proyectos de acuicultura.

### **2.2.4.1 Densidad aparente**

Es una densidad típica de los materiales granulares porque en ellos existen vacíos entre partículas al contenerlas en un recipiente. Se define como la masa del material granular entre el volumen formado según la ecuación 2.1 (Colin, 2010, pág. 30).

$$\rho_b = \frac{m_{granulado}}{V_{granulado}} \quad ( 2.1 )$$

Donde:

$\rho_b$ : densidad aparente del material.

$m_{granulado}$ : masa del material granulado

$V_{granulado}$ : volumen ocupado por el material granulado.

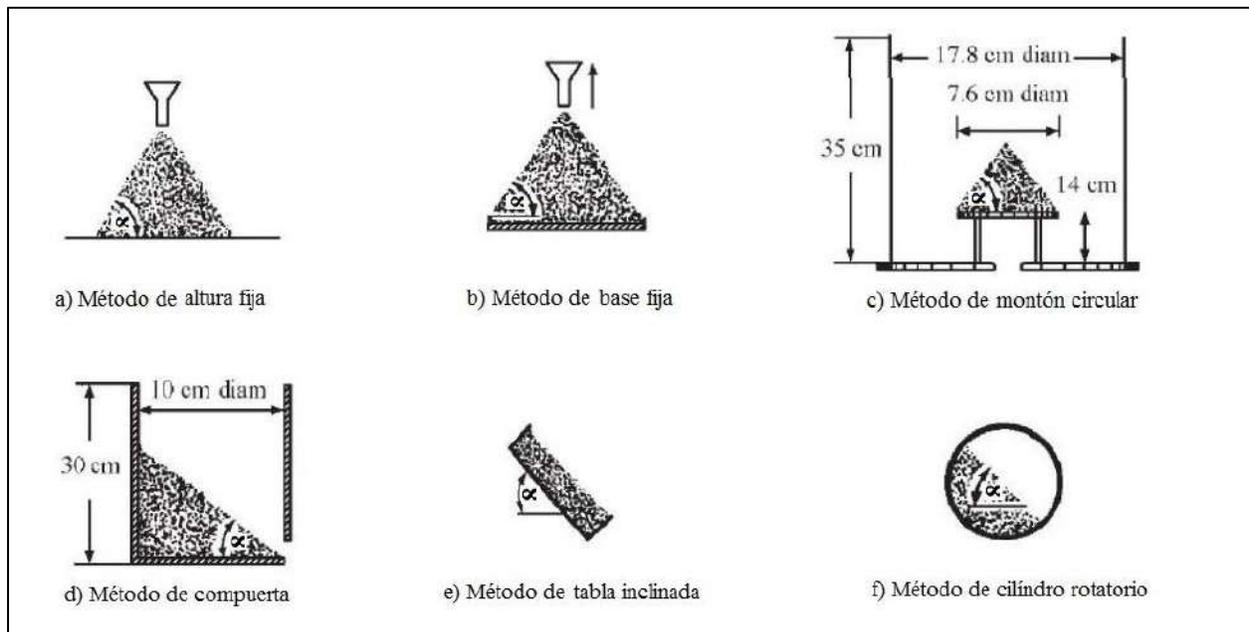
El conocimiento de la densidad aparente permite determinar la capacidad de almacenamiento y el transporte de los materiales granulares. (Colin, 2010, pág. 31).

### 2.2.4.2 *Ángulo de reposo o talud natural*

Es el ángulo máximo con el que un montículo de material granulado permanece estable sin que se produzca un deslizamiento. El conocimiento del ángulo de reposo es útil en el diseño de equipos con manejo en materiales granulares, contenedores, bandejas y correas transportadoras. (Oliveros y Roa, 1985, pág 23). Existen distintos métodos y formas de determinar el ángulo de reposo, algunos ejemplos de ensayo se muestran en la figura 5.

**Figura 5**

*Diferentes métodos de ensayo para determinar el ángulo de reposo de un material*



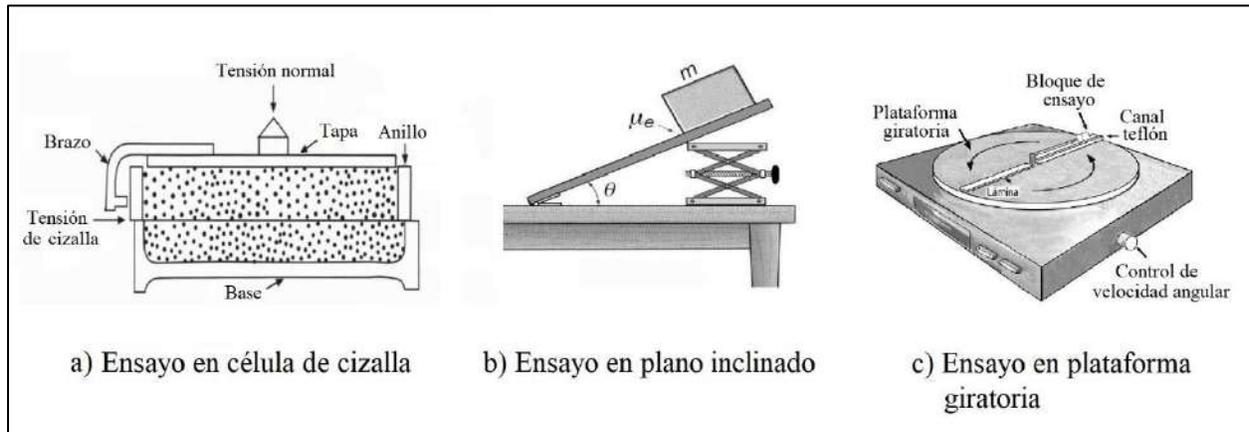
*Fuente:* Adaptado de Colin, 2010, pág. 33.

### 2.2.4.3 *Coefficiente de fricción pared-material granular*

El coeficiente de fricción mide la resistencia al movimiento en la interacción de dos materiales y que puede representarse en términos de una fuerza, la cual varía si esta fuerza es para iniciar el movimiento o para mantener el movimiento, esto hace que se distinga entre coeficiente estático y coeficiente cinético (Domínguez, 2003). Existen diferentes métodos para determinar el coeficiente de fricción (Figura 6).

**Figura 6**

*Métodos de ensayo para determinar el coeficiente de fricción entre superficies.*



*Fuente:* Adaptada de Amorós et al. (2000) y Domínguez (2003).

#### **2.2.4.4 Ángulo de fricción interna del material**

El ángulo de fricción interna representa la resistencia de los sólidos a fluir, este se suele determinar experimentalmente ya sea en una célula de cizalla o a partir de las propiedades físico mecánicas del material granular (Revista Ciencia e Ingeniería, Vol. 35, 2014).

En la tabla 2 se muestra cómo obtener los valores del ángulo de fricción interna de un material granular a partir de sus propiedades físico mecánicas.

**Tabla 2***Valores del ángulo de fricción interno para un material granular*

$\phi_i = 36^\circ + \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4$		
Compacidad:	$\phi_1$	Suelta -6° Media 0 Compacta +6°
Forma:	$\phi_2$	Aguda +1° Media 0 Redondeada -3° Muy redondeada -5°
Tamaño:	$\phi_3$	Arena 0 Grava fina +1° Grava gruesa +2°
Granulometría:	$\phi_4$	Uniforme -3° Media 0 Abierta +3°

*Fuente:* Adaptado de la revista Ciencia e Ingeniería, Vol. 35, 2014.

### 2.2.5 Equipos de alimentación automático

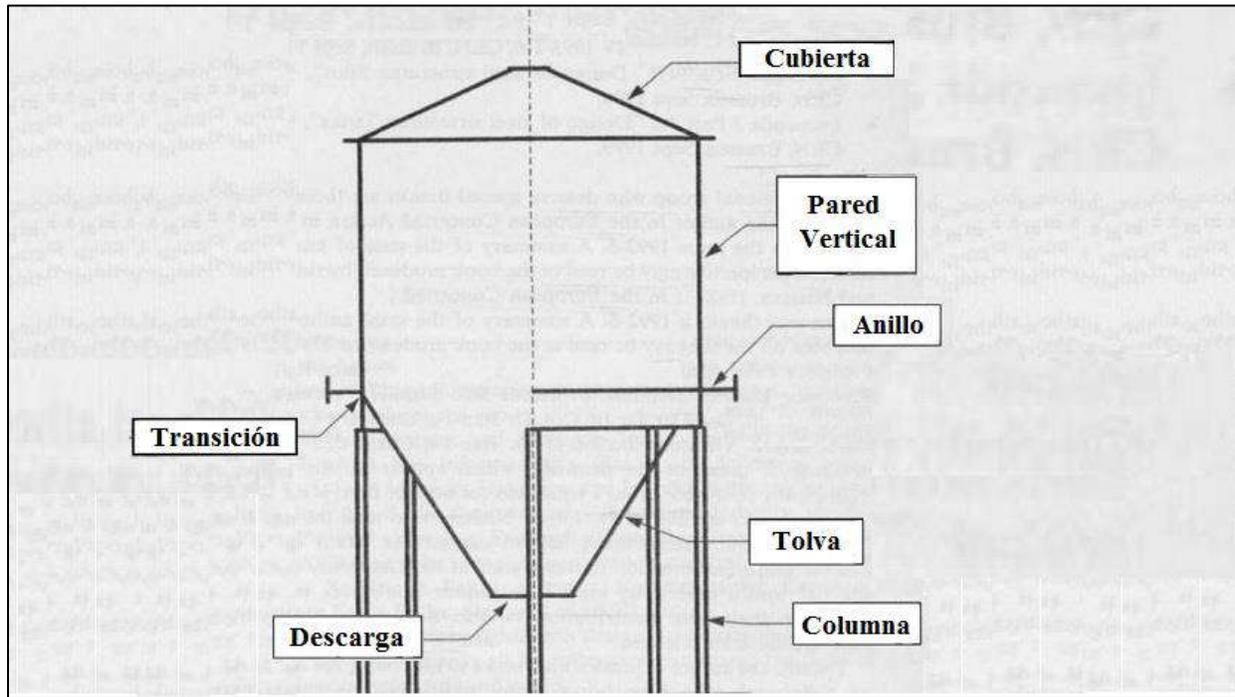
Son máquinas que realizan la alimentación a través de la interacción automática de un sistema mecánico, eléctrico e informático, está conformado usualmente por un silo, un mecanismo de dosificación, un mecanismo distribución, una unidad de control y una fuente de alimentación (Arcila Florez, 2021, pág. 26).

### 2.2.6 Silo

El silo es un elemento que sirve para el almacenamiento de materiales sólidos a granel, puede ser fabricado en distintos materiales como el acero inoxidable, galvanizado, polietileno, fibra de vidrio, etc. y cuyo tamaño varía en función de las necesidades del proyecto. Existen distintas geometrías del silo, específicamente en la sección vertical y en la sección de la tolva (Figura 7). Dentro de la geometría de la sección vertical se tienen formas cilíndricas, cuadradas, rectangulares, hexagonales, etc. mientras que, en la sección de la tolva existen formas cónicas, de pirámide, de punta de cincel, romboidales, etc. (norma UNE-EN 1991-4, 2011).

**Figura 7**

*Elementos de un silo metálico de sección circular*



*Fuente:* Adaptado de Galán Fernández, 2006.

### **2.2.6.1 Tipo de flujo del material almacenado en la descarga del silo**

El tipo del flujo que se produce en el silo durante la descarga de un material, depende de la geometría, del material constructivo del silo, y de las características propias del material contenido. Según la norma UNE-EN 1991-4 (2011, pág.30) el tipo de flujo producido puede ser masico, en tubo y mixto.

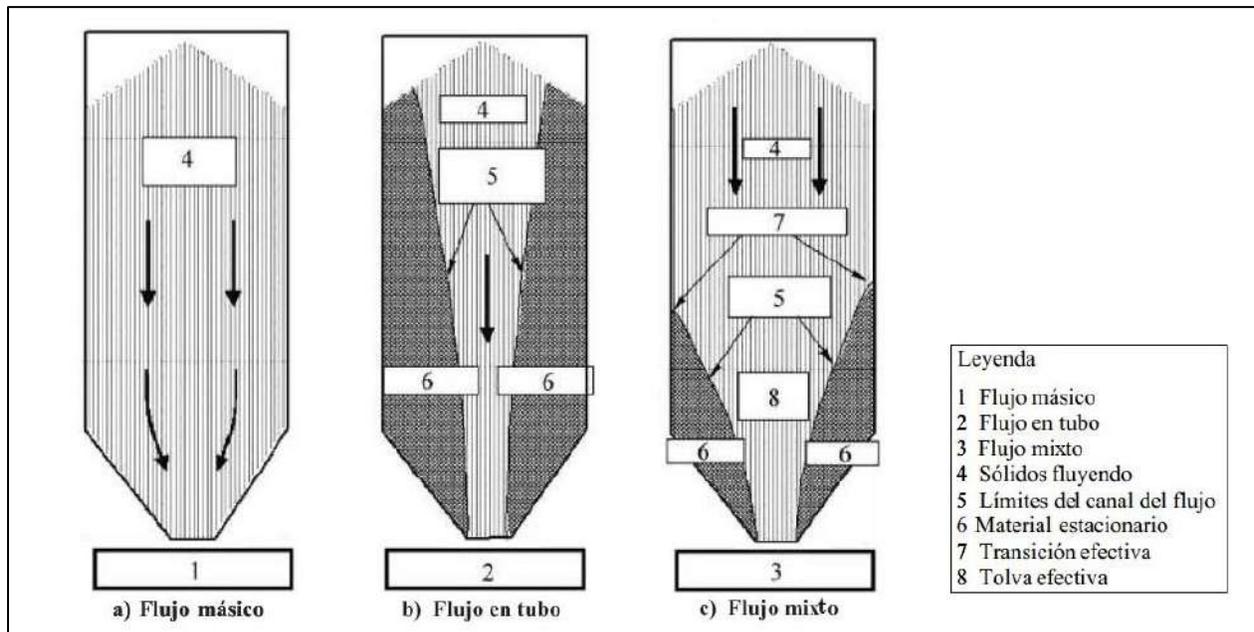
El Flujo masico consiste en que todo el material que ingresa al silo sale con libertad en la descarga. Las ventajas de este tipo de flujo es que el caudal y la densidad de descarga son más uniformes, el material se renueva constantemente y las posibilidades de atasco son bajas. Por otro lado, la desventaja es que el constante rozamiento entre el material y las paredes del silo genera un mayor desgaste (Amorós, et al., 2000).

El flujo en tubo consiste en que la descarga del material es a través de un canal formado por material estancado en las paredes del silo. Las ventajas de este tipo de flujo son un menor desgaste en las paredes y presiones más bajas sobre las mismas. Por otro lado, las desventajas son que existe mayor probabilidad de atascamiento, provocan un flujo errático e impredecible y pueden alterar las propiedades de algunos materiales que estén estancados durante mucho tiempo (Amorós et al., 2000).

Finalmente, el flujo mixto consiste en la combinación de los anteriores tipos de flujo. En la figura 8 se muestra los distintos tipos de flujo en la descarga de un silo.

**Figura 8**

*Tipos de flujo en la descarga de un silo*



*Fuente:* Adaptado de la norma UNE-EN 1991-4, 2011, pág.30

**2.2.6.2 Diámetro de descarga del silo**

El diámetro de descarga del silo influye en la libre descarga del material o el atascamiento del mismo. El atascamiento ocurre cuando el diámetro de descarga no es lo suficientemente mayor

al diámetro de las partículas del material contenido, esto debido a la formación de arcos que hace que las partículas se sostengan entre sí (Zuriguél, 2005, pág. 16).

El valor del diámetro de descarga que permita un flujo sin atascamiento es un parámetro probabilístico que depende de distintos factores y condiciones (Gallego, 2006), por lo que es difícil adoptar una teoría que permita calcular este diámetro con total exactitud.

Una de las teorías para el cálculo del diámetro de descarga es la de Amorós et al. (2000), quien determina una ecuación para el diámetro de descarga en función de distintos parámetros relacionados a la descarga de un silo:

$$d_d = \left(2 + \frac{\theta}{60}\right) \cdot \frac{CAS}{\rho \cdot g}$$

Donde:

$d_d$  es el diámetro de descarga, [m].

$\theta$  es el ángulo de descarga, [°].

$CAS$  es la tensión en la que la resistencia a la cizalla es igual a la cizalla sobre el material confinado, [Pa].

$\rho$  es la densidad aparente del material confinado, [ $\frac{kg}{m^3}$ ].

$g$  es la aceleración de la gravedad, [ $\frac{m}{s^2}$ ].

La tensión  $CAS$  se determina a través de las propiedades del factor del flujo ( $ff$ ) y la función de flujo de material (FFM), los cuales son calculados experimentalmente en aparatos conocidos como células de cizalla.

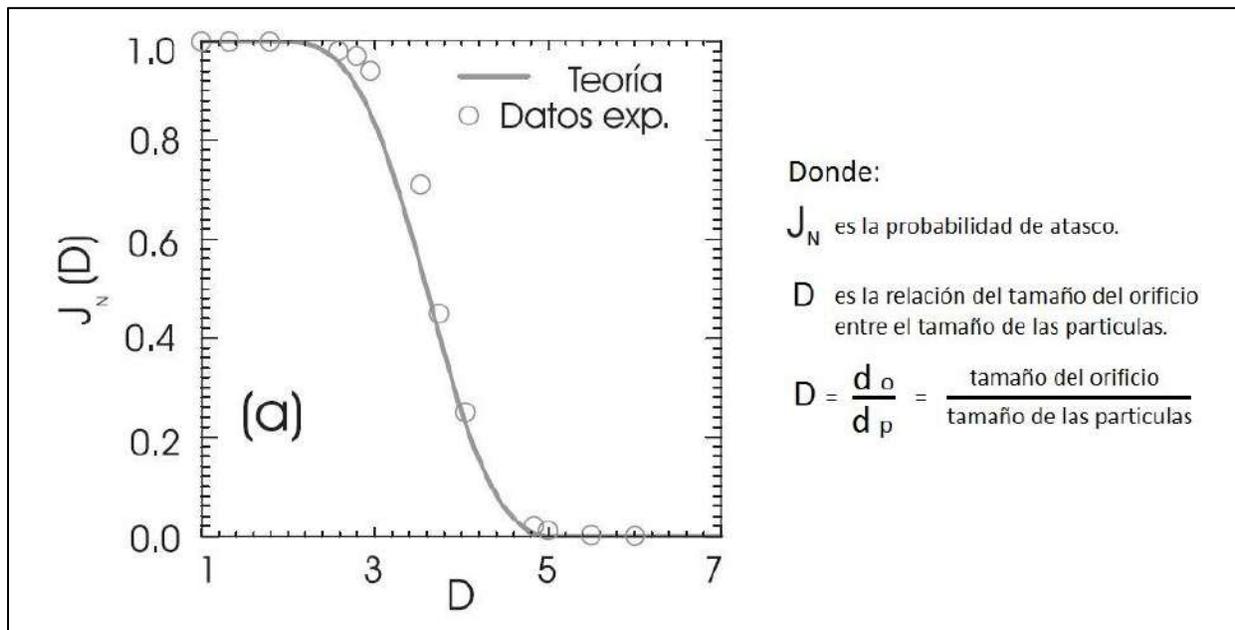
Por otro lado, dentro de los ensayos y experimentaciones sobre el diámetro de descarga, varios investigadores han logrado determinar valores aproximados del diámetro que permita un flujo sin atascamiento, tal como se indica a continuación:

- Zuriguél (2005, pág.111) sugiere que, para evitar atascamiento en la descarga de silos, el diámetro de salida debe ser mayor a 4.94 veces el diámetro de partícula.

- Franklin y Johanson (1955, pag. 119) señalan que para evitar la formación de atascos, el diametro de descarga no debe ser menor a 5 veces el diametro de partícula.
- Serrato y Del Angel (2013, pág. 18) mencionan que por medios experimentales se ha demostrado que existen interrupciones en la descarga cuando el orificio de salida es menor a 4.5 veces el diametro de las partículas.
- K. To et al. (2001), según Zuriguel (2005, pág. 18), proporciona un grafico de la probabilidad de atascamiento de particulas a travez de un orificio, como se muestra en la figura 9.

**Figura 9**

*Probabilidad de atasco en función de la relación del tamaño orificio-partícula.*



*Fuente:* Adaptada de Zuriguel, 2005, pág. 18.

Se tiene cierta similitud en los diámetros de descarga experimentales, los cuales reducen la probabilidad de atasco cuando son mayores en aproximadamente cinco veces el diámetro de las partículas.

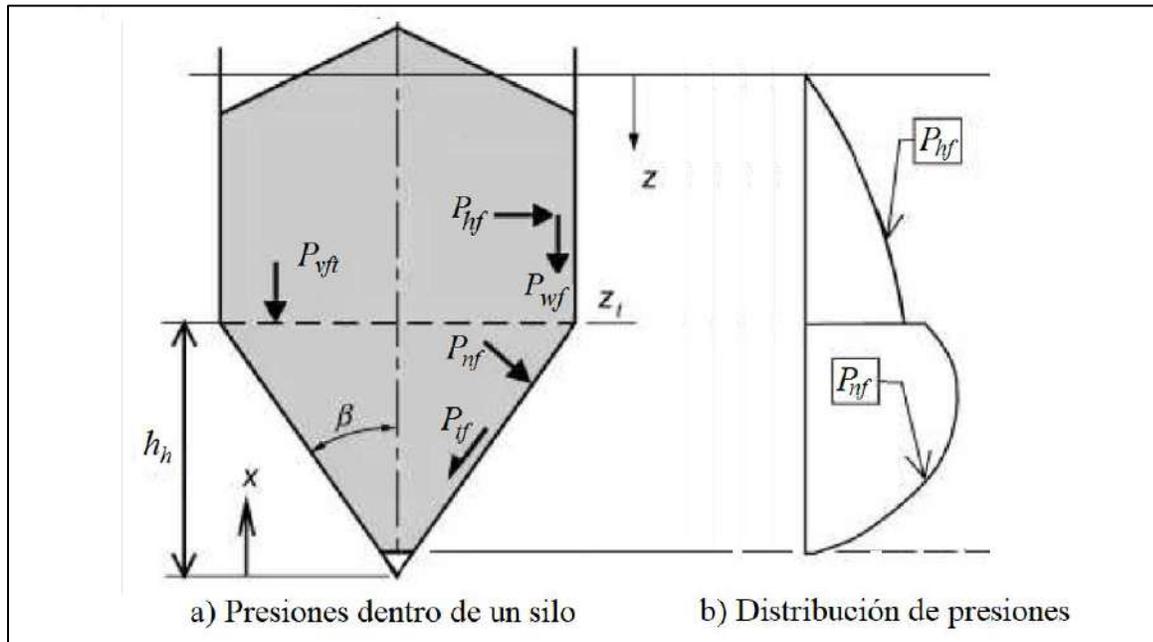
### 2.2.6.3 Cargas ejercidas por el material almacenado sobre el silo

Las cargas ejercidas dentro de un silo se dan por el empuje del alimento sobre las paredes del silo, se generan durante el llenado (cargas de llenado) o el vaciado (cargas de descarga). Los primeros cálculos del empuje sobre silos se realizaban considerando el grano como un líquido utilizando las ecuaciones de cálculo hidrostático. Posteriormente Janssen refuta esta idea exponiendo la teoría del “efecto silo”, que considera que el material granular al rozar con el silo transfiere parte de su peso a las paredes, disminuyendo así las presiones calculadas hidrostáticamente. Adicionalmente, los hermanos Reimbert determinaron que las presiones de descarga son distintas a las presiones de llenado en un silo.

Diversos experimentos confirman los resultados teóricos solo de manera aproximada, demostrando que el comportamiento de los materiales granulares es sumamente complejo. En la figura 10 se muestra la distribución de las presiones internas en un silo.

**Figura 10**

*Distribución de las presiones internas en un silo.*



*Fuente:* Adaptada de la norma UNE-EN 1991-4, 2011.

#### **2.2.6.4 Normas para el cálculo de silos**

Existen diferentes normas cuya aplicación es regulada por cada país, entre las normas más utilizadas e importantes se tiene la ANSI-ASAE EP433 en Estados Unidos, la norma DIN 1055 en Alemania y otros países bajo su influencia, la norma UNE-EN 1991-4 en los países de la Unión Europea y la norma ISO 11697 en países en vías de desarrollo, entre otras.

La norma UNE-EN 1991-4 es una norma europea que es la más avanzada y extensa de todas, contempla el cálculo de cargas en silos, cálculo de cargas en depósitos, tablas de características de los materiales, indicaciones de los métodos de ensayos de los materiales, entre otras. Dentro del cálculo de cargas en silos, para el llenado utiliza el método de Janssen, mientras que para la situación de vaciado aplica coeficientes de sobrepresión a los valores de llenado.

#### **2.2.7 Dosificadores de sólidos**

Los dosificadores son dispositivos que tienen la función de regular el despacho de un producto en cantidades determinadas en la descarga. Los dosificadores de sólidos son muy comunes en la industria alimentaria, detergentes, fertilizantes, etc. y se dividen en dos familias principales: dosificadores volumétricos y dosificadores gravimétricos (Rivera, 2002).

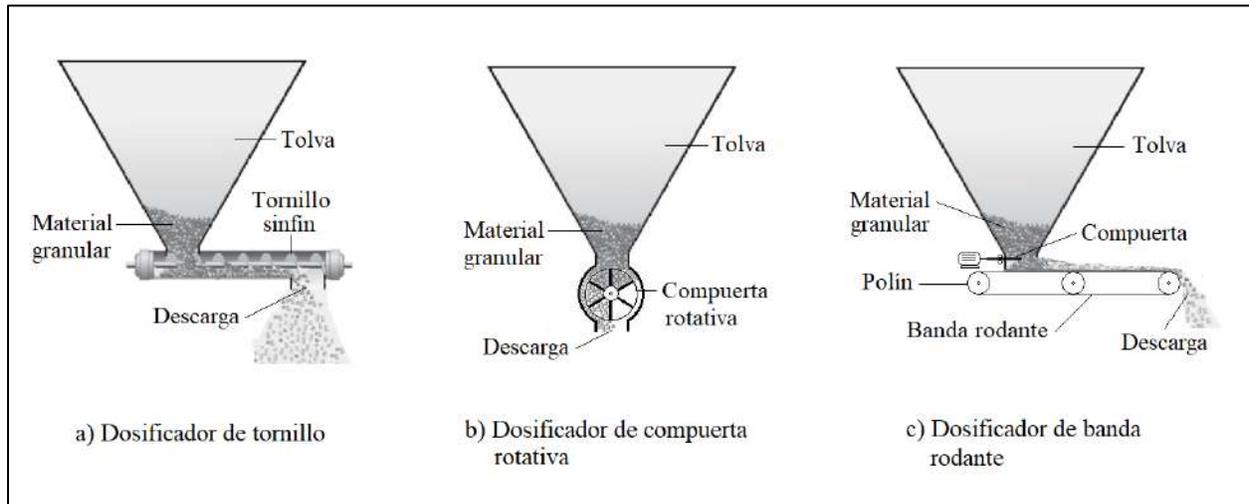
##### **2.2.7.1 Dosificadores volumétricos**

Los dosificadores volumétricos despachan el producto por volumen, midiendo de forma precisa el volumen del producto para posteriormente ser descargada. Se utilizan generalmente en la dosificación de harinas, granos, frutos secos, etc. y son muy utilizados debido a su menor costo y simplicidad respecto a los dosificadores gravimétricos (Rivera, 2002).

Entre los más comunes se tiene el dosificador de tornillo, el dosificador de compuerta rotativa y el dosificador de banda rodante (figura 11).

**Figura 11**

*Tipos de dosificadores volumétricos para materiales sólidos*



*Fuente:* Adaptada de Suárez, 2019.

El dosificador de tornillo es el más utilizado porque se adapta a casi cualquier clase de producto, se caracteriza por tener un husillo giratorio que permite la medición del volumen y la descarga del producto, su precisión es mayor al dosificador de compuerta rotativa y al de banda rodante debido al tiempo de respuesta en la apertura o cierre de la compuerta, además del efecto de arco que pueda generar un atascamiento (Suárez, 2019).

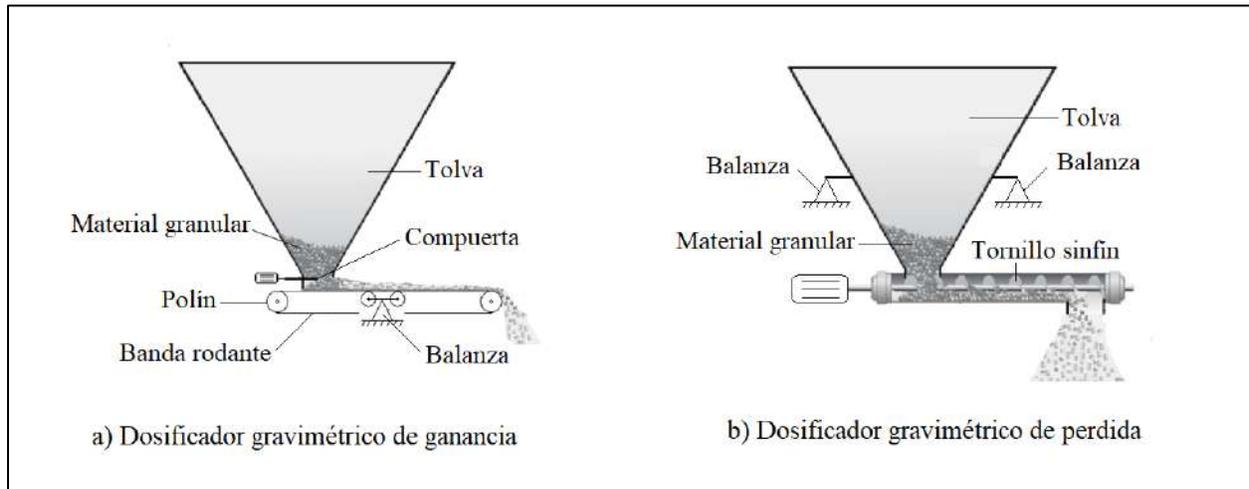
### **2.2.7.2 Dosificadores gravimétricos**

Los dosificadores gravimétricos despachan el producto por peso, para ello utilizan una balanza que registra de manera continua la dosificación, logrando así una mayor precisión. Por lo general son una adaptación o transformación de uno o más dosificadores volumétricos, cuyo funcionamiento es de manera similar a su contraparte volumétrica (Suárez, 2019).

Los tipos de dosificadores gravimétricos más comunes son el de ganancia de peso (pesaje a la entrada del dosificador) y el de pérdida de peso (pesaje a la salida del dosificador), siendo este último aplicado mayormente en la dosificación continua de materiales granulares y pulverulentos, En la figura 12 se muestran estos dos tipos de dosificadores.

## Figura 12

### Tipos de dosificadores gravimétricos



Fuente: Adaptada de Suárez, 2019.

### 2.2.8 Dispersión de alimento

La dispersión de alimento es la acción de distribuir el alimento en distintas direcciones, se realiza con el objetivo de lograr la alimentación de todas las truchas dentro de una jaula, además de evitar que sufran lesiones por aglomeración al competir por el alimento. Según Aguayo y Palma (2018), el alimento balanceado para peces criados de forma intensiva se distribuyen de tres maneras:

- Dispersión manual
- Dispersión por soplado de aire
- Dispersión centrífuga

#### 2.2.8.1 Dispersión manual

Se realiza con la intervención de una persona, en el cual con la ayuda de un plato o cuenco dispersa el alimento dentro de la jaula flotante. Este tipo de dispersión puede presentar fallas e irregulares sin una buena técnica o condición del personal, además de que requiere la intervención directa de una persona (Figura 13).

### **Figura 13**

#### *Dispersión manual de alimento para truchas*



*Fuente:* Tomado de la cartilla de difusión de buenas prácticas en acuicultura, 2011.

#### **2.2.8.2    *Dispersión por soplado de aire***

En este tipo de dispersores el alimento es impulsado hacia el agua por la acción de aire forzado, el cual es generado a través de un medio mecánico. Este método se utiliza mayormente en estanques controlados, donde la proyección de alimento se puede hacer desde la orilla, sin necesidad de ingresar al cuerpo de agua.

#### **2.2.8.3    *Dispersión centrífuga***

El alimento es dispersado por la acción de la fuerza centrífuga de un disco giratorio, proyectándose alrededor de este en un radio establecido por la velocidad del disco y la altura en la que se ubica. Este tipo de dispersión es muy utilizado en alimentadores que se ubican dentro del

cuerpo de agua, haciendo que los peces tengan mayor facilidad para atrapar el alimento al dispersarlo en un área mayor.

En la figura 14 se muestra los tipos de dispersores mecánicos antes mencionados.

### Figura 14

*Tipos de dispersores mecánicos para materiales granulares*



*Fuente:* Adaptado de AGRIEXPO, maquinarias.

### 2.2.9 Flotabilidad

La flotabilidad de un cuerpo inmerso en un fluido está regida por las leyes de flotación de Arquímedes que indican que un cuerpo sumergido en un fluido experimenta una fuerza de flotación vertical igual al peso del fluido que desaloja (White, 2004). Según esto, la fuerza de flotación siempre actúa en dirección vertical hacia arriba, a través del centroide del volumen desplazado por el cuerpo flotante. La forma matemática de flotabilidad está dada por la ecuación 2.2 (Mott, 2006).

$$F_b = \gamma_f * V_d \quad ( 2.2 )$$

Donde:

$F_b$ : es la fuerza de flotación

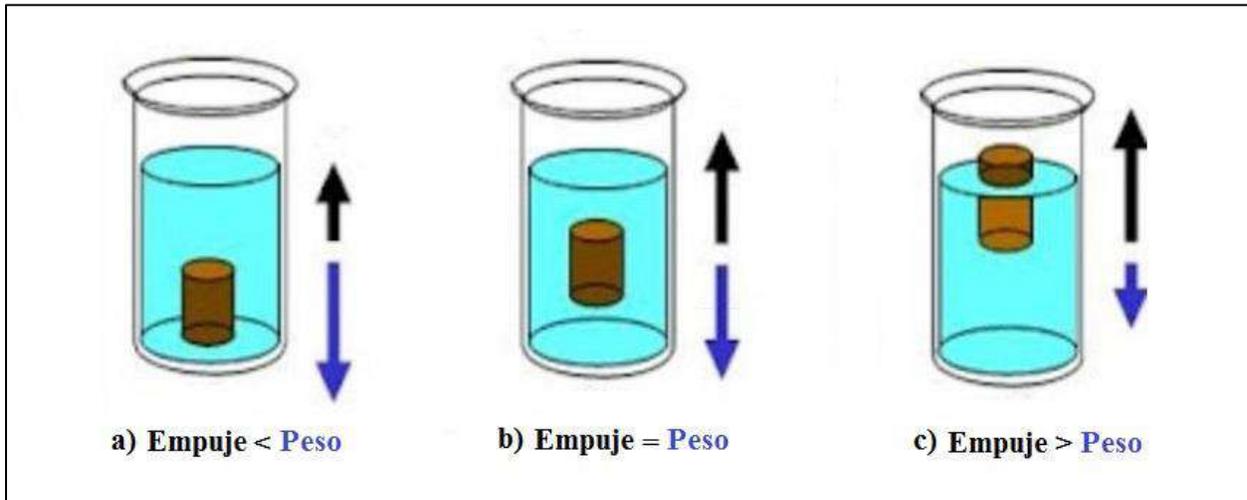
$\gamma_f$ : es el peso específico del fluido

$V_d$ : es el volumen desplazado del fluido

En la figura 15 se muestra el estado de flotación de distintos objetos inmersos en un determinado fluido.

### Figura 15

*Distintos estados de flotación de un cuerpo inmerso en un determinado fluido*



*Fuente:* Adaptado de Valencia, 2020.

#### 2.2.10 Estabilidad

La estabilidad según Mott (2015) se define como la capacidad de un cuerpo en un fluido de volver a su posición original después de haberse inclinado. Se distingue dos tipos de estabilidad: para un cuerpo sumergido y para un cuerpo flotante. Para entender los criterios de estabilidad, se debe tener en cuenta las siguientes definiciones:

- **Centro de gravedad (*cg*):** es el punto de aplicación de la fuerza de gravedad sobre la masa del cuerpo.
- **Centro de flotabilidad (*cb*):** es el punto de aplicación de la fuerza de flotación, el cual se ubica en el centro geométrico del fluido desplazado.
- **Metacentro (*mc*):** es el punto de intersección de la línea de fuerza de empuje sobre la línea de equilibrio normal cuando se produce una inclinación del cuerpo flotante.

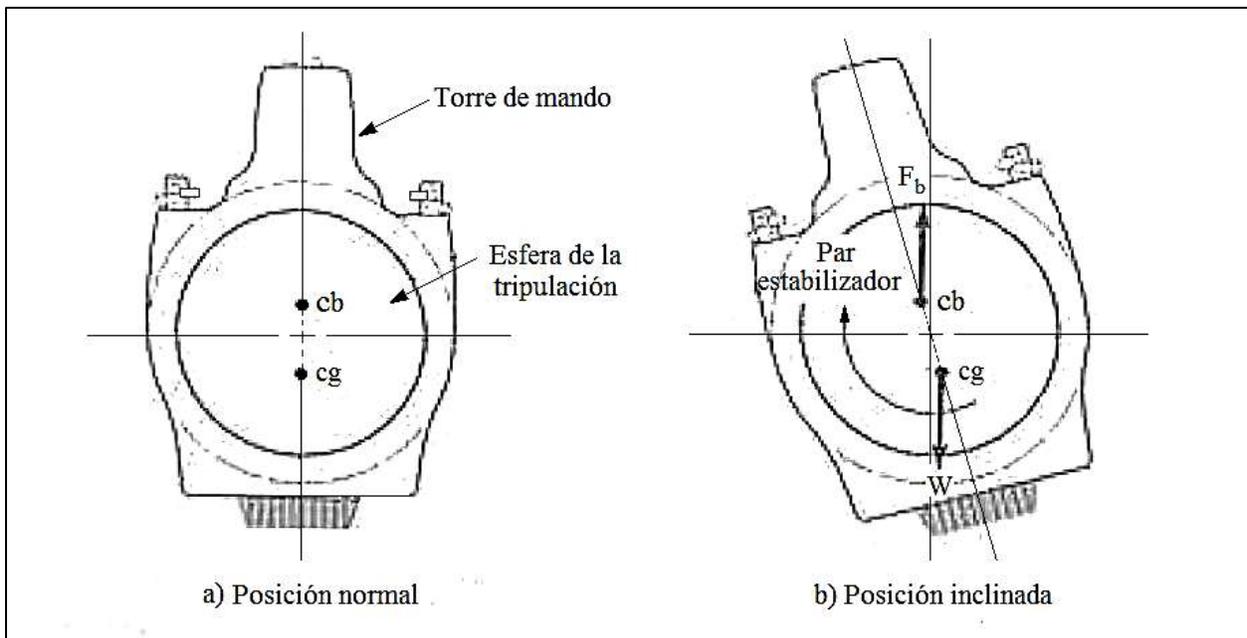
- **Altura metacéntrica ( $MG$ ):** es la distancia del metacentro al centro de gravedad, el cual indica la capacidad de estabilidad que tiene un cuerpo flotante.

### 2.2.10.1 Estabilidad de un cuerpo sumergido

Según Mott (2015) para que un cuerpo sumergido en un fluido sea estable y tenga una orientación específica, el centro de gravedad ( $cg$ ) debe estar por debajo del centro de flotabilidad ( $cb$ ), tal como se muestra en la figura 16.

**Figura 16**

*Estabilidad de un cuerpo sumergido.*



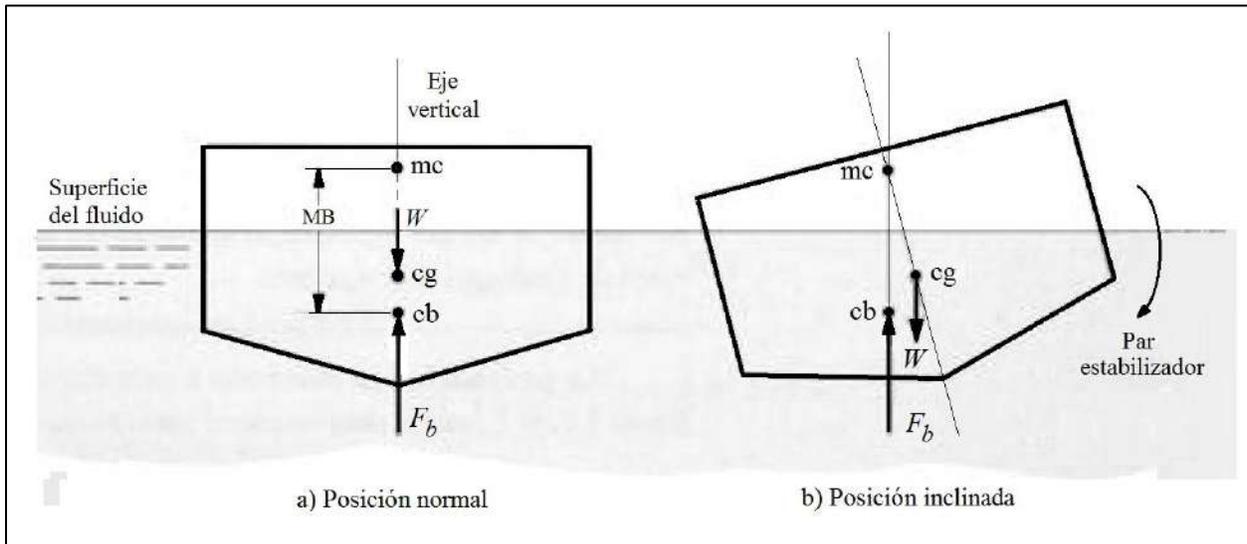
*Nota:* Tomada del libro de Mecánica de fluidos, Mott (2015).

### 2.2.10.2 Estabilidad de un cuerpo flotante

Según Mott (2015) la estabilidad de un cuerpo flotante depende de que su centro de gravedad ( $cg$ ) este por debajo del metacentro ( $mc$ ). En la figura 17 se muestra las condiciones y parámetros intervinientes en la estabilidad de un cuerpo flotante.

**Figura 17**

*Estabilidad de un cuerpo flotante.*



*Fuente:* Tomada del libro de Mecánica de fluidos, Mott (2006).

Para determinar de forma analítica si un cuerpo flotante es estable o no, se debe determinar la ubicación del metacentro ( $mc$ ) respecto al centro de gravedad ( $cg$ ), para lo cual se calcula inicialmente la distancia del metacentro al centro de flotabilidad ( $MB$ ) y se calcula según la ecuación 2.3 (Mott, 2006).

$$MB = \frac{I}{V_d} \quad ( 2.3 )$$

Donde:

$I$  es el momento de inercia de la sección del cuerpo que corta la superficie del fluido.

$V_d$  es el volumen del fluido desplazado.

Si la distancia  $MB$  ubica al metacentro ( $mc$ ) por encima del centro de gravedad ( $cg$ ), el cuerpo se considera estable.

### **2.2.10.3 Grado de estabilidad**

El grado de estabilidad se refiere a que algunos cuerpos flotantes son más estables que otros, el cual depende de un parámetro denominado altura metacéntrica ( $MG$ ).

La altura metacéntrica ( $MG$ ) se determina a partir de la ecuación 2.4 (Mott, 2006).

$$MG = y_{mc} + y_{cg} \quad ( 2.4 )$$

Donde:

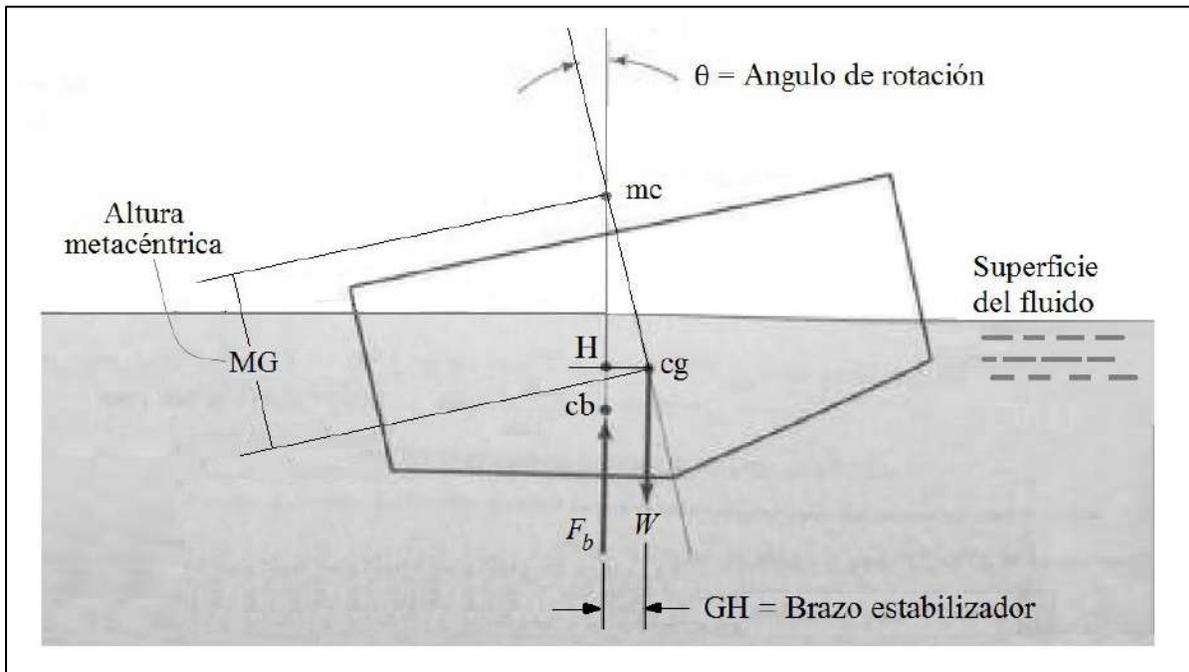
$y_{mc}$  es la altura del metacentro medida desde el punto más bajo del cuerpo flotante.

$y_{cg}$  es la altura del centro de gravedad medida desde el punto más bajo del cuerpo.

En la figura 18 se muestra las condiciones y parámetros intervinientes en el grado de estabilidad de un cuerpo flotante.

### Figura 18

*Grado de estabilidad respecto a la altura metacéntrica de un cuerpo flotante*



*Fuente:* Tomada del libro de Mecánica de fluidos, Mott (2006).

Según Mott (2015), el grado de estabilidad para naves pequeñas debe tener un valor mínimo  $MG$  de 1.5 *pies* (0.46m), y para naves grandes  $MG > 3.5$  *pies* (1.07m). También considera que un valor de  $MG$  demasiado alto provoca más movimientos oscilatorios en las embarcaciones.

#### 2.2.10.4 Curva de estabilidad estática

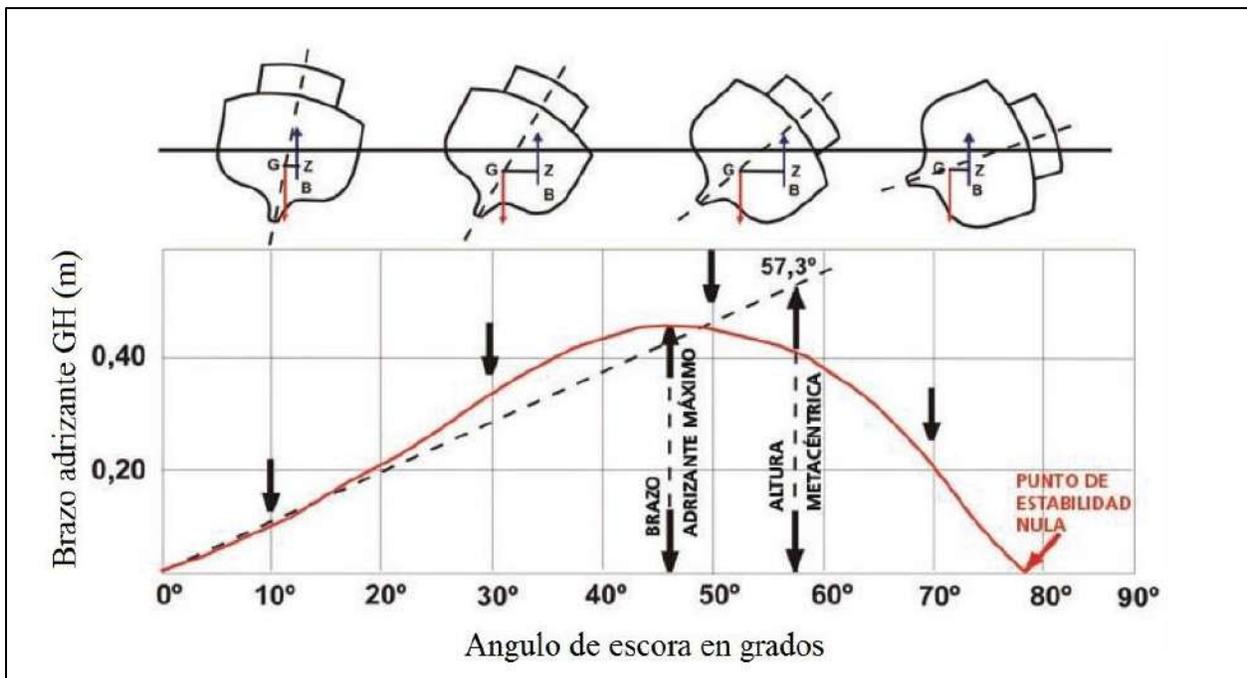
Según Mott (2006) otra forma de determinar la estabilidad de un objeto flotante es el grado de desviación entre la línea de acción del peso y la línea de acción de la fuerza de flotación, el cual genera un brazo estabilizador  $GH$  tal como se mostró en la figura anterior.

El brazo estabilizador ( $GH$ ) es una medida de la magnitud del par estabilizador que se aplica generalmente en embarcaciones, varía según la inclinación del mismo generándose una correspondencia de valores representado en un gráfico conocido como curva de estabilidad estática, donde los valores positivos de  $GH$  indican que la embarcación permanecerá estable, mientras que para los valores negativos de  $GH$  la embarcación será inestable y volcará.

En la figura 19 se muestra la curva de estabilidad estática de una embarcación.

**Figura 19**

*Curva de estabilidad estática de un buque pequeño.*



*Fuente:* Adaptada del documento técnico de pesca y agricultura de la FAO, 2009.

### **2.2.11 Metodologías de diseño**

Las metodologías de diseño son una secuencia de acciones que ayudan a concebir un producto adecuado, el cual cumpla las especificaciones y necesidades establecidas antes de la concepción del producto. La aplicación de una metodología de diseño sugiere una ventaja competitiva para aquellas personas, empresas o compañías que la implementan, obteniendo soluciones planificadas, gestión adecuada del tiempo, reducción de la carga de trabajo y finalmente el desarrollo de productos con un alto enfoque al cliente (Blanco, 2015).

Actualmente existen una gran cantidad de metodologías de diseño, cuya base se inició con los modelos de diseño clásico (Pahl & Beitz de 1977, Pugh de 1991, Ullman de 1992, la metodología alemana VDI 2221 de 1973) las cuales comprenden solo el diseño del producto, tras esto surgen otro tipo de metodologías involucrando herramientas nuevas tales como la Ingeniería inversa (Otto y Wood , 2001) y Seis Sigma (Yang y El-Haik , 2003) y otros añadiendo al diseño del producto temas como el estudio de mercado, planificación estratégica, comercialización, etc.

También están las metodologías de diseño adaptadas que surgen por la diversificación de tecnologías de acuerdo al tipo de producto, pero con una orientación particular a las estrategias y los enfoques de calidad de las distintas empresas. Entre las metodologías de diseño adaptadas, se tienen las de Xerox, Microsoft, Ford, Schneider Electric, entre otros (Farias et al., 2004).

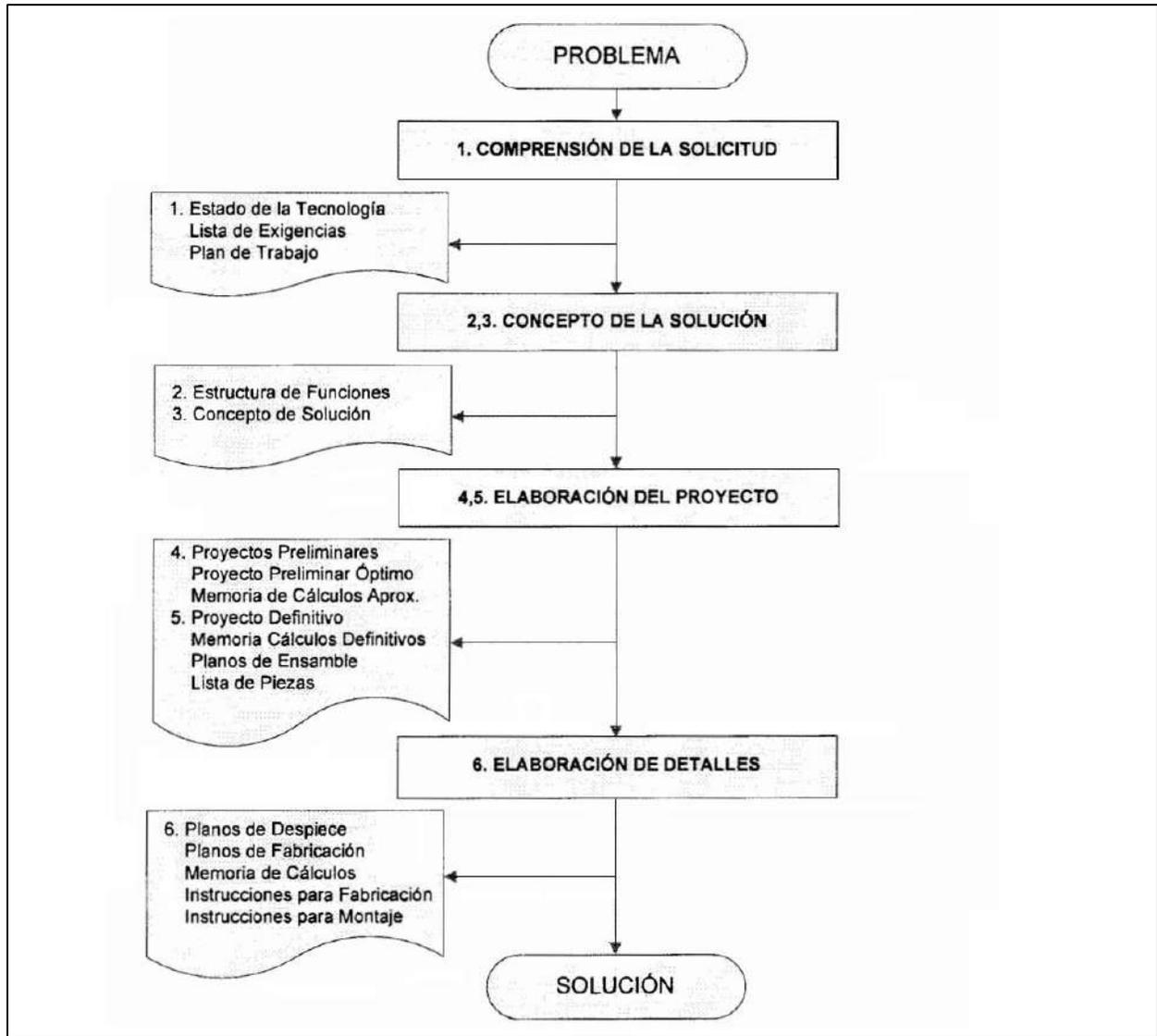
#### ***2.2.11.1 Metodología de diseño VDI 2221***

La metodología de diseño VDI 2221 (Verein Deutscher Ingenieure) es una metodología alemana y es considerada una de las más completas en el proceso de diseño de máquinas, sirve de base para otras metodologías y se aplica para muchos productos en distintos sectores (Blanco, 2015). Esta metodología de diseño tiene la característica de no requerir mucha experiencia para su aplicación, es de mucha ayuda teniendo en cuenta que el diseñador en su etapa de formación no

cuenta con la experiencia suficiente, además que puede retroalimentar las diferentes fases repetidamente facilitando al diseñador (Barriga, 2013). Las fases del método generalizado de diseño se muestran en la figura 20.

**Figura 20**

*Fases del método generalizado de diseño*



*Fuente:* Adaptada de Métodos de diseño en Ingeniería, Barriga (2013).

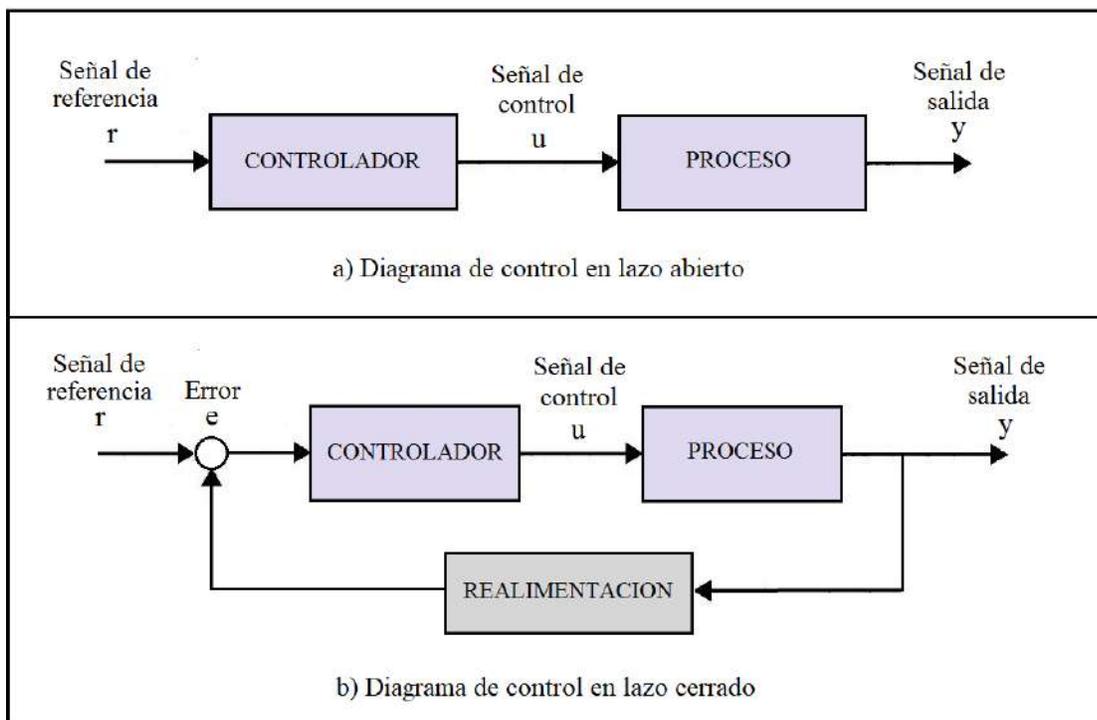
## 2.2.12 Sistemas de Control Automático

Los Sistemas de Control Automático son una disciplina orientada al funcionamiento autónomo de sistemas físicos a través del uso de herramientas matemáticas e informáticas, todo ello basándose en conceptos de señal, sistemas y controles (Carpio y Orozco, 2017).

Los componentes típicos de un sistema de control son: el proceso (que es lo que se desea controlar o regular), el controlador (el que genera la señal de control), la señal de control (señal que comanda el proceso), la señal de salida (que es la variable controlada), la señal de referencia (valor en que se desea mantener la variable controlada), la señal de error (diferencia entre la señal de referencia y la señal de realimentación) y la señal de realimentación (señal recogida por los sensores); todo estos elementos se pueden representar en diagramas de bloques como el mostrado en la figura 21.

**Figura 21**

*Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto y otro en cerrado.*



*Fuente:* Adaptado de Carpio y Orozco (2017).

### ***2.2.12.1 Sistemas de control en lazo abierto***

También llamados sistemas no realimentados, este tipo de sistemas no reconoce si la salida cumple o no con los objetivos de control, por lo que la precisión del sistema depende de su calibración.

### ***2.2.12.2 Sistemas de control en lazo cerrado***

También llamados sistemas realimentados, este tipo de sistemas tiene una realimentación desde la salida hacia la entrada. Esta realimentación hace que la señal de salida del sistema sea insensible a perturbaciones internas o externas, logrando así una mayor precisión del control.

### ***2.2.12.3 Diseño de sistemas de control***

El diseño de sistemas de control se realiza dentro del dominio del tiempo o dentro del dominio de la frecuencia (señales de tipo senoidales). Históricamente el diseño de sistemas en el dominio de la frecuencia era más factible que los diseños en el dominio del tiempo debido a su relativa facilidad, sin embargo, eran difíciles de establecer. El desarrollo de softwares y computadoras, ha permitido que las prácticas del diseño de sistemas en el dominio del tiempo sean más comunes y se puedan establecer y ejecutar en solo unos cuantos minutos.

### ***2.2.12.4 Controlador PID***

El controlador PID es un controlador que combina las características del control proporcional (la señal de salida se amplifica o atenúa en proporción al error instantáneo), derivativo (la señal de salida se amplifica o atenúa en base a la derivada del error) e integral (la señal de salida del controlador se amplifica o atenúa en base a la integral del error), lo que le permite generar una señal de control más eficaz (Carpio y Orozco, 2017). Es uno de los controladores más utilizados en la generación de señal de control, el cual se diseña comúnmente en el dominio del tiempo.

### **2.2.12.5 Controlador lógico Programable (PLC)**

Un PLC es un dispositivo electrónico utilizado en la automatización de procesos industriales, se compone de una unidad de procesamiento, una memoria programable, la fuente de alimentación y una unidad de programación. Entre las acciones que realiza un PLC, están la de monitorear y registrar datos de ejecución, iniciar y detener procesos de manera automática, generar alarmas para situaciones establecidas, entre otras. Los PLC son muy utilizados debido a su buena capacidad de procesamiento y a su construcción robusta, la cual es muy resistente a ambientes hostiles.

### **2.2.12.6 Arduino**

Arduino es una plataforma de código abierto de software y hardware libre para la creación y desarrollo de proyectos electrónicos. Dentro del hardware de Arduino están las placas integradas de Arduino (Nano, Uno, Mega, etc.), las cuales se componen de dispositivos con especificaciones y diagramas de acceso público. Del mismo modo, el software de Arduino es un programa informático de código abierto y ofrece una plataforma libre para la programación denominada Arduino IDE.

Las placas de Arduino y los PLC son herramientas tecnológicas para la automatización de procesos; la diferencia principal radica en su diseño y uso, siendo los PLC para tareas en entornos industriales y el Arduino para proyectos de pequeña escala y creación de prototipos.

### **1.1.1.1 Microcontrolador**

Un microcontrolador es un circuito integrado que incorpora todos los componentes de un computador de tamaño reducido (central de procesamiento, memoria, puertos de salida y entrada, entre otros). Su carácter programable junto a su tamaño reducido hace que sea muy utilizado en distintas aplicaciones, tales como la robótica, la automatización, telecomunicaciones, industria

automotriz, entre otras. Con respecto a las placas de Arduino, estos microcontroladores son incorporados en su hardware para lograr el control y funcionamiento de una determinada tarea.

#### ***2.2.12.7 Actuadores***

Los actuadores son dispositivos que se encargan de convertir las señales de control en acciones determinadas (movimiento, sonido, luces, etc.), por lo que se les considera como la interfaz entre estas señales y el proceso industrial.

Se pueden clasificar según su fuente de energía en eléctricos, neumáticos e hidráulicos.

#### ***2.2.12.8 Sensores***

Un sensor es un dispositivo que detecta el cambio en el entorno de un sistema y lo convierte normalmente en un impulso eléctrico, este impulso posteriormente a través del procesador, genera una acción predeterminada del sistema. Existen distintos tipos de sensores, siendo los más comunes los sensores de temperatura, sensores de presión, de carga, de flujo, de nivel, entre otras.

### **2.2.13 Energías renovables**

Son aquellas energías que se producen de forma continua e inagotable debido a una gran cantidad de energía almacenada o porque se regenera continuamente. Entre las principales formas de energía renovable están la energía solar, eólica, geotérmica, hidráulica, mareomotriz y biomasa. Para el caso de generación eléctrica en sistemas aislados de bajo consumo, la energía solar fotovoltaica y la energía eólica son alternativas bastante utilizadas y que tienen un crecimiento vertiginoso (Díaz y Carmona, 2010).

#### ***2.2.13.1 Energía solar fotovoltaica***

La energía solar fotovoltaica es la transformación de la energía solar en energía eléctrica, esto a través de un panel solar basado en el efecto fotovoltaico. El efecto fotovoltaico es la

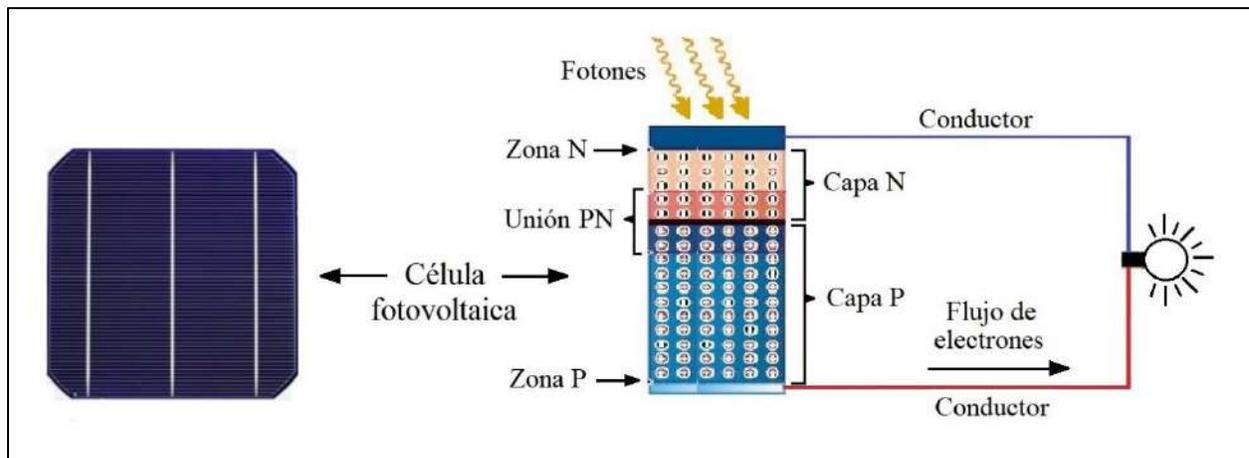
conversión de la radiación solar en corriente eléctrica y se da en determinados materiales denominados células fotovoltaicas (Borja, 2020).

### 2.2.13.1.1 Célula fotovoltaica

Una célula fotovoltaica convierte la radiación solar en corriente eléctrica, es una lámina de material semiconductor (generalmente silicio) con un espesor que varía entre 0.25 a 0.35 mm, con una superficie aproximada de 100 cm<sup>2</sup> y que puede generar alrededor de 4 W. Está compuesta por una capa tipo N y otro de tipo P, los cuales al juntarse generan un campo eléctrico en la unión PN (Figura 22). Al incidir los fotones sobre la unión PN, rompe el enlace de los electrones y por influencia del campo eléctrico los concentra en la zona N, del mismo modo los átomos ahora cargados positivamente el campo eléctrico los concentra en la zona P, esto crea una diferencia de potencial que mediante un conductor externo entre la capa N y la capa P, se genera el flujo de electrones (corriente eléctrica).

#### Figura 22

*Célula fotovoltaica y esquema del efecto fotovoltaico.*



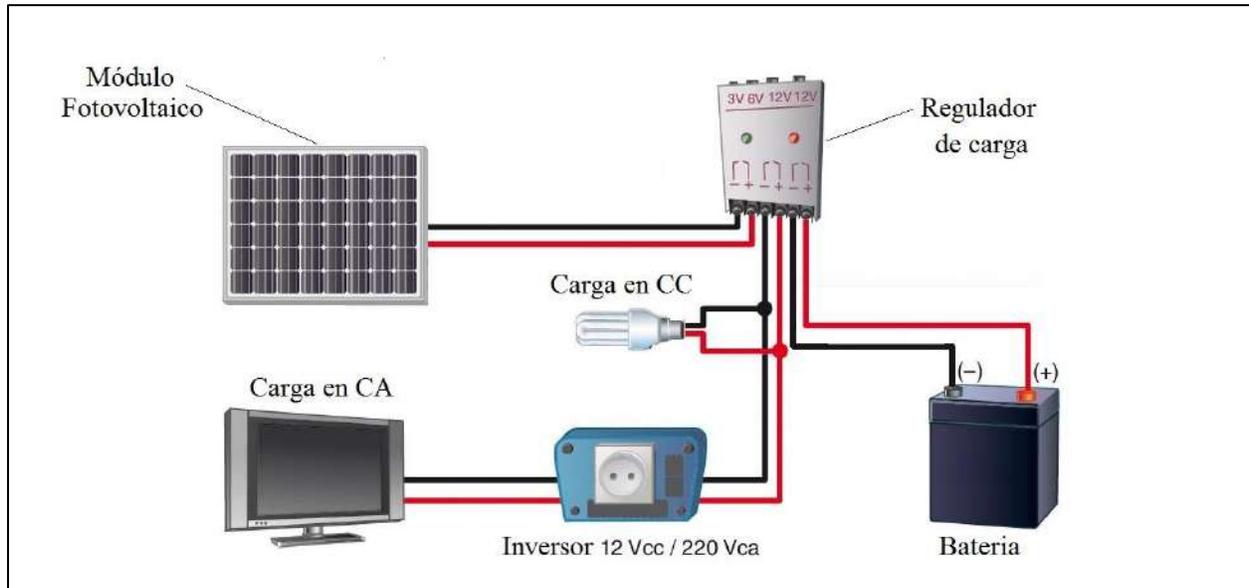
*Fuente:* Adaptado de Diaz y Carmona (2010).

## 2.2.14 Elementos de una instalación solar fotovoltaica

Los elementos intervinientes de una instalación solar fotovoltaica dependen de la finalidad con la que se diseñan. En la figura 23 se muestra una típica instalación solar fotovoltaica.

**Figura 23**

*Esquema típico de una instalación solar fotovoltaica*



*Fuente:* Instalaciones solares fotovoltaicas, Diaz y Carmona (2010).

### 2.2.14.1 Módulo fotovoltaico

Es el más pequeño y completo ensamble de células fotovoltaicas interconectadas según las necesidades existentes. Los módulos brindan ciertas características como rigidez, protección contra agentes externos, capacidad de absorción de radiación solar y evacuación del calor para mejorar el rendimiento (Méndez y Cuervo, 2011).

Los tipos de módulos fotovoltaicos existentes en el mercado, se distinguen por el material de fabricación de las células fotovoltaicas, las cuales pueden ser de silicio monocristalino, policristalino o silicio amorfo (Borja, 2020). Las células de silicio monocristalino son de mayor costo que los otros debido a la dificultad de su fabricación, además que tienen una mayor eficiencia (alrededor del 22%), los policristalinos tienen una eficiencia de alrededor del 19% mientras que

las células de silicio Amorfo son más fáciles de fabricar y tienen menor eficiencia (alrededor de un 13%), por lo que su costo es bajo.

#### **2.2.14.2 Regulador de carga**

Es un elemento que permite controlar la carga y descarga de las baterías para alargar su vida útil. Los módulos fotovoltaicos tienen una tensión nominal fluctuante mayor al del sistema, por lo que es necesario contar con un regulador que proporcione una salida de tensión nominal que alimente los aparatos de manera adecuada y también a las baterías (Diaz y Carmona, 2010). Existen distintos tipos de reguladores, los más comunes son los reguladores PWM (Modulación por anchura de pulsos) y MPPT (Seguimiento del punto de máxima potencia) siendo estos últimos más eficientes y costosos.

Los reguladores PWM hacen que los paneles funcionen a la misma tensión que la batería a través de un diodo de protección, mientras que en los reguladores MPPT los paneles pueden funcionar a su máxima tensión al incluir un convertidor de tensión, con lo cual se mejora la producción energética hasta en un 30%.

#### **2.2.14.3 Acumuladores o baterías**

Son elementos que se encargan de proporcionar energía a la instalación durante los periodos de ausencia o insuficiente radiación solar. Son recargadas por la electricidad producida en los módulos fotovoltaicos, acumulándola como energía química para posteriormente liberarla nuevamente como energía eléctrica (Diaz y Carmona, 2010). Existen distintos tipos de batería para las aplicaciones fotovoltaicas:

- Baterías de Plomo-ácido, son las baterías tradicionales usados en muchas aplicaciones, son de bajo costo pero requieren de mantenimiento.

- Baterías AGM, son la modernización de las baterías de Plomo-ácido, se basan en una tecnología donde las placas de plomo absorben con mayor rapidez el electrolito (ácido) contenido en mallas de vidrio, permitiéndoles soportar un gran número de ciclos de descarga, picos de arranque de motores y al ser selladas no requieren mantenimiento.
- Baterías de GEL, contienen el electrolito gelificado lo que evita que se desprendan gases nocivos, permiten ubicaciones de costado, ciclos de descarga profundos, picos de arranque de motores y al ser selladas no requieren mantenimiento. Al tener mejor calidad y vida útil que las baterías AGM, son de mayor costo.
- Baterías de Litio, poseen más densidad de energética por tamaño que los otros tipos de batería, pueden descargarse al 100% sin llegar a dañarse, se cargan relativamente más rápido y no requieren de mantenimiento. Su costo es mayor al de los otros tipos de baterías.

#### **2.2.14.4 Inversor**

El inversor es el encargado de convertir la corriente continua producida en la instalación en corriente alterna. Se basan en el uso de dispositivos electrónicos que permiten interrumpir y conmutar la polaridad, para obtener una corriente alterna con las mismas características ya sea de la red eléctrica o la red doméstica (Díaz y Carmona, 2010).

#### **2.2.15 Dimensionamiento de una instalación aislada con sistema fotovoltaico**

Las instalaciones aisladas con sistemas fotovoltaicos son muy utilizadas en lugares remotos o de difícil acceso a la red eléctrica. Están reguladas en el Perú por la Norma Técnica de Edificación EM.080.

Para el dimensionamiento de una instalación aislada con sistema fotovoltaico, la secuencia de cálculo es determinando: las cargas de consumo, la cantidad de energía disponible en el lugar, las pérdidas de energía, la potencia mínima necesaria, la potencia del sistema en función de sus valores técnicos y finalmente el almacenamiento de energía en caso se requiera (Méndez y Cuervo, 2011):

### **2.2.15.1 Cargas de consumo**

Las cargas de consumo ( $E_D$ ) se obtienen de las características de potencia de los elementos de consumo ( $P$ ) y sus horas de funcionamiento ( $h$ ). Según su alimentación, estos pueden ser de corriente continua y/o de corriente alterna (Méndez y Cuervo, 2011).

$$E_D = \sum_{i=1}^n P_i h_i$$

### **2.2.15.2 Cantidad de energía solar disponible**

Para el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica se debe tener en cuenta la energía disponible del lugar, el cual depende de distintos factores siendo los más relevantes la radiación, el periodo estacional, la orientación e inclinación del módulo fotovoltaico, el factor de irradiación, entre otras (Méndez y Cuervo, 2011).

#### **2.2.15.2.1 Radiación solar**

La radiación solar es una forma de energía que proviene del sol y se transmite en todas las direcciones del espacio a través de ondas electromagnéticas. Según Borja (2020), la radiación llega a la superficie del módulo en forma de radiación directa (sin desviaciones ni interrupciones), en forma de radiación difusa (con cambios en su dirección e intensidad en la atmosfera) y Albedo (reflejado por la superficie terrestre). Las cantidades de radiación son expresadas en términos de flujo radiante y tiempo ( $\frac{kWh}{m^2}$ ), según Borja (2020), el flujo

radiante que llega a la atmosfera de la tierra tiene un valor promedio de  $1360 \frac{W}{m^2}$  al cual se le conoce como constante solar.

#### 2.2.15.2.2 *Periodo estacional*

El periodo estacional hace que la radiación incidente en un determinado lugar sea muy variable, esto provoca que el rendimiento de la instalación fotovoltaica no sea el mismo a lo largo del año. La primavera es el periodo con mayores horas de radiación lo que favorece la producción de energía, mientras que el invierno es el periodo con menores horas de radiación solar y por tanto con menor producción de energía. Para el diseño de una instalación que requiera energía fija a lo largo de todo del año, se debe considerar el mes con la menor radiación disponible (Méndez y Cuervo, 2011).

#### 2.2.15.2.3 *Orientación e inclinación*

La orientación e inclinación del módulo fotovoltaico influye en el rendimiento de la instalación fotovoltaica. Cuando los rayos solares inciden perpendicularmente sobre la superficie del módulo se obtiene el máximo rendimiento, sin embargo, esto es muy difícil de lograr ya que los rayos solares inciden con distintos ángulos según la ubicación, la hora y la estación del año (Borja, 2020). Para instalaciones fijas, se debe buscar la orientación y la inclinación más apropiada del módulo según la ubicación geográfica de la instalación.

- Si la instalación se ubica en el hemisferio Sur, la orientación más apropiada del módulo es hacia el Norte, y si se ubica en el hemisferio Norte la orientación más apropiada del módulo es hacia el Sur (Borja, 2020).
- La inclinación depende de la Latitud del lugar de la instalación, para optimizar la producción energética a lo largo de un año, la inclinación del módulo debe ser igual a la Latitud (Borja, 2020).

### 2.2.15.3 Pérdidas de energía por sombras

Las pérdidas de energía por sombras son uno de los puntos críticos en el diseño de instalaciones fotovoltaicas, esto debido a que la presencia de una sombra puede generar un bajo rendimiento del módulo fotovoltaico o incluso no generar energía (Borja, 2020).

El módulo fotovoltaico está formado por varias filas de células instaladas en paralelo, a su vez cada fila está formada por varias células instaladas en serie. Si se interrumpiera la producción energética en una célula debido a una sombra, toda la fila de esa célula no generaría energía con lo que disminuiría el rendimiento del módulo. Por otro lado, si la sombra atravesara el módulo de lado a lado, podría darse el caso de que cada fila no genere energía con lo que el rendimiento del módulo sería nulo (Borja, 2020). Por ello se debe tener cuidado con las sombras producidas por elementos externos como árboles, postes, antenas, entre otros, ya que perjudican en el rendimiento del módulo fotovoltaico y por consiguiente en la instalación.

### 2.2.15.4 Potencia del sistema

La potencia que debe generar el módulo fotovoltaico se calcula de la ecuación 2.5 (Méndez y Cuervo, 2011):

$$P_{mf} = \frac{E_D * G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) * PR} \quad ( 2.5 )$$

Donde:

$P_{mf}$  es la potencia generada por el módulo fotovoltaico, [W].

$E_D$  es la energía diaria consumida, [Wh/día].

$G_{CEM}$  es el valor medio del flujo radiante sobre la superficie de la tierra, [kW/m<sup>2</sup>].

$PR$  es el rendimiento energético de la instalación.

$G_{dm}(\alpha, \beta)$  valor medio de la irradiación sobre la superficie del módulo, [kWh/m<sup>2</sup>día].

El valor obtenido de la potencia generada, se compara con los valores comerciales en el mercado y se selecciona el módulo fotovoltaico con el valor de potencia más próximo.

### 2.2.15.5 Capacidad de almacenamiento

La capacidad de almacenamiento de energía de la batería se calcula con la siguiente expresión (Méndez y Cuervo, 2011):

$$C_a = \frac{A * E_D}{PD_{max} * V_n * \eta_{inv} * \eta_{reg}}$$

Donde:

$C_a$  es la capacidad de almacenamiento, [Ah].

$A$  es la autonomía de la instalación, [dias].

$E_D$  es la energía diaria consumida, [Wh/dia].

$PD_{max}$  es la profundidad de descarga de la batería.

$V_n$  es el voltaje nominal de la instalación, [v]

$\eta_{inv}$  es la eficiencia del inversor.

$\eta_{reg}$  es la eficiencia del regulador.

Según Méndez y Cuervo (2011), las consideraciones que se deben tomar en cuenta para el cálculo de almacenamiento de la batería son: la autonomía (3 días o más), la profundidad de descarga (usualmente 50%), la eficiencia del inversor (aproximadamente 85%), la eficiencia del regulador (aproximadamente 81%) y finalmente la capacidad nominal de la batería que no debe exceder 25 veces la corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico.

### 2.2.16 Software de cálculo relacionados a instalaciones fotovoltaicas

El dimensionamiento de una instalación fotovoltaica involucra muchas variables que se deben tomar en cuenta, por tal razón el cálculo manual no es la mejor opción. Existen para ello una gran cantidad de softwares y herramientas computacionales, que ayudan a dimensionar una instalación de manera más fácil y precisa. Los softwares más utilizados son PVGIS, PVSYST, HELIOSCOPE, PVSOL, entre otros (Borja, 2020).

Respecto al PVGIS (Sistema de información geográfica fotovoltaica), es un software gratuito online desarrollado por la Unión Europea con el propósito de incentivar y extender el uso de energías renovables, permite buscar datos relativos a instalaciones fotovoltaicas de distintos lugares del planeta, los cuales facilitan el dimensionamiento de cualquier instalación fotovoltaica.

El link de acceso al software online PVGIS es el siguiente:

[https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/tools.html#MR](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html#MR)

## CAPÍTULO III

### 3. DETERMINACIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL

#### 3.1 Metodología de diseño

En este capítulo se determinará el modelo conceptual óptimo del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes utilizando la metodología de diseño VDI 2221, desarrollada por la Asociación Alemana de Ingenieros y que establece por fases las actividades para el diseño de un producto.

#### 3.2 Comprensión de la solicitud

##### 3.2.1 Consideraciones previas

Para tener una mejor comprensión de la solicitud, se debe tener en cuenta las consideraciones sobre el lugar de operación, el tamaño de la jaula de las truchas, el tipo y la cantidad de alimento a entregarse a las truchas, entre otras.

##### 3.2.1.1 Lugar de operación

El lugar proyectado para la operación del equipo de alimentación automático, es en un área concesionada en la laguna de Langui-Layo, cuya ubicación se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3**

*Área de concesión del lago de la empresa San Andrés Acuícola en la zona*

Fuente de Agua		Ubicación							
Tipo	Nombre	Política			Geográfica (Punto de Captación)				
		Departamento	Provincia	Distrito	Datum	Zona	Proyeccion UTM		
							Vertice	Este (m)	Norte (m)
Laguna	Langui Layo	Cusco	Canas	Langui	WGS 84	19 Sur	V-A	255034	8402912
Laguna	Langui Layo	Cusco	Canas	Langui	WGS 84	19 Sur	V-B	255131	8402929
Laguna	Langui Layo	Cusco	Canas	Langui	WGS 84	19 Sur	V-C	255164	8402835
Laguna	Langui Layo	Cusco	Canas	Langui	WGS 84	19 Sur	V-D	255066	8402819

*Fuente:* Resolución directoral Nro. 293-2018-ANA/AAA XII.UV.

Específicamente la ubicación del equipo de alimentación automático será dentro de una jaula flotante ubicada aproximadamente a 200 metros de la orilla del lago, existiendo además una profundidad aproximada de 70 metros.

### 3.2.1.2 *Tamaño de las jaulas flotantes*

Las jaulas utilizadas para la crianza de truchas en la laguna de Langui-Layo, tienen distintos tamaños y configuraciones, siendo las más comunes las jaulas cuadradas construidas en tubos de acero galvanizado. El tamaño de estas jaulas es de 5 metros de lado y de profundidad de entre tres a cinco metros, las cuales además cumplen con la recomendación del Manual de crianza de Trucha elaborado por el Fondo de Desarrollo Pesquero (FONDEPES). En la tabla 4 se muestra las dimensiones para cada tipo de jaula.

**Tabla 4**

*Dimensión y capacidad de las jaulas flotantes para la crianza de truchas*

<b>Jaula flotante</b>	<b>Dimensiones (m)</b>	<b>Capacidad (<math>m^3</math>)</b>	<b>Cantidad máxima de Biomasa (kg)</b>	<b>Cantidad máxima de truchas</b>
Jaula de alevinos 2	5x5x3	75	750	500000
Jaula de alevinos 3	5x5x3	75	750	150000
Jaula de juveniles 1	5x5x4	100	1000	80000
Jaula de juveniles 2	5x5x4	100	1000	33000
Jaula de engorde 1	5x5x5	125	1250	18750
Jaula de engorde 2	5x5x5	125	1250	11250

*Fuente:* Datos obtenidos de acuerdo al Manual de crianza de Trucha, FONDEPES 2004.

### 3.2.1.3 *Tipo de alimento que se brinda a las truchas*

La alimentación de las truchas criadas en jaulas flotantes en la laguna de Langui-Layo es a través de pellets extruidos, los cuales son adquiridos en costales de 25 kg. La empresa San Andrés acuícola adquiere estos alimentos en la marca NICOVITA, los cuales son gránulos secos de forma cilíndrica de distintos calibres (Tabla 5).

**Tabla 5***Diámetro equivalente de distintos calibres de alimento Nicovita para trucha*

<b>Nombre comercial del alimento</b>	<b>Calibre</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>Diámetro Equivalente(mm)</b>
Nicovita Classic Truchas 2	1.5	1.5	1.5	<b>1.72</b>
Nicovita Classic Truchas 5	2	2	2	<b>2.29</b>
Nicovita Classic Truchas 25	3	3	3	<b>3.43</b>
Nicovita Classic Truchas 60	4	4	4	<b>4.58</b>
Nicovita Classic Truchas 150	6	6	6	<b>6.87</b>

*Fuente:* Elaboración propia basada en la ficha técnica del alimento

### **3.2.1.4 Frecuencia de alimentación de las truchas**

Actualmente la alimentación de las truchas es en frecuencias de una a dos veces al día, lo cual según (Huanca, 2020) afecta en el desarrollo normal de las truchas. Para el proyecto, y con el objetivo de estandarizar la frecuencia de alimentación se hace uso del Manual de crianza de Trucha elaborado por el FONDEPES, siendo las frecuencias de alimentación para el proyecto las que se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6***Cantidad de ración en cada jaula en función de la frecuencia de alimentación.*

<b>Jaula flotante</b>	<b>Peso de trucha (g)</b>	<b>Frecuencia de alimentación diaria</b>
Jaula de alevinos 2	1.5-5	8-10
Jaula de alevinos 3	5-12.5	4-6
Jaula de juveniles 1	12.5-30.7	4-6
Jaula de juveniles 2	30.7- 67	3-4
Jaula de engorde 1	67-110	2-4
Jaula de engorde 2	110-400	2-4

*Fuente:* Basado en el Manual de crianza de trucha arcoíris, FONDEPES (2004).

### 3.2.1.5 Cantidad de alimento diario suministrado

La cantidad de alimento diario que se brinda actualmente a las truchas es de acuerdo a su tamaño, variando en cantidades de aproximadamente un saco (25 kg) a un saco y medio (38 kg) para cada jaula, esto según criterio y experiencia del personal encargado de la alimentación. Para el proyecto, y con el objetivo de estandarizar el alimento suministrado a las truchas en cada jaula, se hace uso del Manual de crianza de Trucha elaborado por el FONDEPES, el cual establece que la ración diaria (cantidad de alimento), es función de la tasa de alimentación por la biomasa que existe en cada jaula. En la tabla 7 se muestra la tasa de alimentación diaria que corresponde para cada tamaño de trucha.

**Tabla 7**

*Tasa de alimentación diaria (kg de alimento/100 kg de truchas) a distintas temperaturas del agua*

		TEMPERATURA (°C)											
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
LONGITUD DEL PEZ (cm)	3	8.45	9.52	10.60	11.69	12.78	12.12	11.46	10.80	10.15	8.52	6.91	5.31
	4	6.30	7.09	7.89	8.69	9.49	9.00	8.52	8.03	7.55	6.35	5.15	3.96
	5	5.02	5.65	6.28	6.91	7.55	7.16	6.78	6.39	6.01	5.05	4.11	3.16
	6	4.17	4.69	5.21	5.74	6.27	5.95	5.63	5.31	4.99	4.20	3.41	2.63
	7	3.67	4.12	4.58	5.04	5.50	5.22	4.94	4.67	4.39	3.69	3.00	2.31
	8	3.20	3.60	4.00	4.40	4.80	4.56	4.32	4.07	3.83	3.23	2.62	2.02
	9	2.84	3.20	3.55	3.91	4.25	4.05	3.83	3.62	3.40	2.86	2.33	1.80
	10	2.55	2.87	3.19	3.51	3.83	3.64	3.44	3.25	3.06	2.57	2.09	1.61
	11	2.32	2.61	2.90	3.19	3.48	3.30	3.13	2.95	2.78	2.34	1.90	1.47
	12	2.13	2.39	2.66	2.92	3.19	3.20	2.86	2.70	2.54	2.14	1.74	1.34
	13	2.08	2.33	2.59	2.85	3.11	2.95	2.79	2.63	2.48	2.09	1.70	1.31
	14	2.02	2.27	2.52	2.77	3.02	2.87	2.72	2.56	2.41	2.03	1.65	1.28
	15	1.88	2.12	2.35	2.82	2.88	2.68	2.53	2.39	2.25	1.90	1.54	1.19
	16	1.76	1.98	2.20	2.42	2.64	2.51	2.37	2.24	2.11	1.78	1.45	1.11
	17	1.66	1.86	2.07	2.28	2.48	2.36	2.23	2.11	1.98	1.67	1.36	1.05
	18	1.57	1.76	1.95	2.15	2.34	2.23	2.11	1.99	1.87	1.58	1.28	0.99
	19	1.48	1.67	1.85	2.04	2.22	2.11	2.00	1.88	1.77	1.49	1.22	0.94
	20	1.41	1.58	1.76	1.93	2.11	2.00	1.90	1.79	1.68	1.42	1.15	0.89
	21	1.34	1.51	1.67	1.84	2.01	1.91	1.80	1.70	1.60	1.35	1.10	0.85

Fuente: Manual de crianza de trucha en ambientes convencionales, FONDEPES 2014, pág. 57.

Se observa que a la temperatura de 15 °C la tasa de alimentación es mayor para cada tamaño de trucha. Con ello, la ración diaria de alimento (RD) en cada jaula se muestra en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Ración diaria máxima necesaria para cada jaula a 15°C de temperatura del agua.*

		<b>TA</b>	<b>B</b>	<b>RD=TA*B/100</b>
<b>Jaula flotante</b>	<b>Talla mínima (cm)</b>	<b>Tasa de alimentación diaria (kg de alimento/100 kg de truchas)</b>	<b>Biomasa (kg)</b>	<b>Ración diaria (kg)</b>
Jaula de alevinos 2	5	7.55	750	<b>56.63</b>
Jaula de alevinos 3	8	4.80	750	<b>36.00</b>
Jaula de juveniles 1	12	3.19	1000	<b>31.90</b>
Jaula de juveniles 2	14	3.02	1000	<b>30.20</b>
Jaula de engorde 1	17	2.48	1250	<b>31.00</b>
Jaula de engorde 2	20	2.11	1250	<b>17.50</b>

*Fuente:* Elaboración propia basado en el Manual de crianza de trucha, FONDEPES, 2004.

### 3.2.2 Lista de exigencias.

Basándose en las consideraciones descritas anteriormente, se procede a realizar la lista de exigencias para el equipo de alimentación automático, según se muestra en la tabla 9.

**Tabla 9**

*Lista de exigencias para el diseño del equipo de alimentación automático*

<b>LISTA DE EXIGENCIAS</b>			Pág. 1 de 2
<b>PROYECTO:</b> DISEÑO DE UN EQUIPO DE ALIMENTACIÓN AUTOMÁTICO PARA TRUCHA EN JAULAS FLOTANTES UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA QUE PERMITA MEJORAR LA FRECUENCIA DE ALIMENTACIÓN EN LA LAGUNA DE LANGUI-LAYO DE LA REGION CUSCO.			Fecha: 19/05/23
			Revisado por: A.M.S.
<b>CLIENTE:</b> SAN ANDRES ACUÍCOLA E.I.R.L.			Elaborado por: D. Jalixto
<b>Características</b>	<b>Deseo o Exigencia</b>	<b>Descripción</b>	<b>Responsable:</b>

Función principal	E	El equipo de alimentación debe entregar el alimento de las truchas en distintas frecuencias durante el día.	D. Jalixto.
Geometría	D	El equipo de alimentación debe ocupar el menor espacio posible dentro de la jaula.	D. Jalixto.
Automatización	E	El equipo de alimentación debe reducir la intervención humana a través de la automatización.	D. Jalixto.
Energía	E	La obtención de energía para el funcionamiento del equipo de alimentación debe ser técnica y económicamente posible.	D. Jalixto.
Flotabilidad	E	El equipo de alimentación debe ser capaz de mantenerse en flote dentro de la laguna.	D. Jalixto.
Fabricación	D	El diseño debe tener facilidad de fabricación, con materiales de fácil construcción y adquisición.	D. Jalixto.
Confiabilidad	D	El equipo debe durar un tiempo determinado, sin presentar falla o deterioro significativo.	D. Jalixto.
Seguridad	E	El equipo debe ser seguro para el trabajador, para las truchas y para el medio acuático.	D. Jalixto.
Transporte	D	El equipo debe poder trasladarse desde tierra hacia dentro del lago y viceversa, sin necesidad de requerir maquinaria especializada.	D. Jalixto.
Mantenimiento	D	El equipo debe ser reparable, con el retiro o cambio de piezas en caso de ser necesario.	D. Jalixto.
Costo	D	Debe procurarse una maquina funcional con una relación costo/beneficio adecuado.	D. Jalixto.

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

### **3.3 Estructura de Funciones**

La estructura de funciones está conformada por todas las funciones parciales que contribuyen a lograr la función total de la máquina. Para poder determinarla se recurre a un proceso

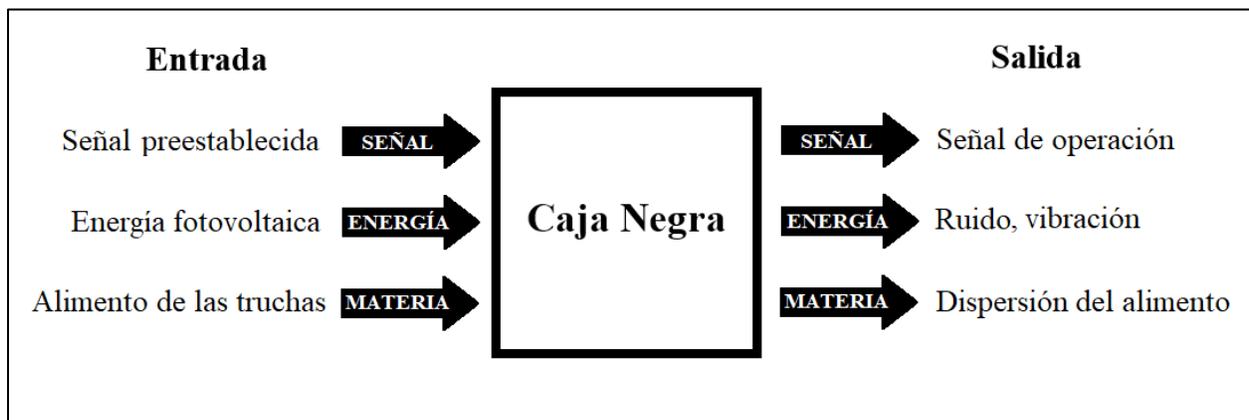
de abstracción (caja negra) que permite abarcar distintas soluciones posibles, esto con el propósito de obtener la solución más óptima.

### 3.3.1 Caja negra

La caja negra representa la función total del equipo de alimentación utilizando magnitudes de entrada y salida denominados operandos. Para el proyecto se consideran 3 operandos principales de entrada (señal, energía y materia), estos operandos son transformados mediante un proceso técnico de acuerdo a la función total del equipo. En la figura 24 se muestra la caja negra del equipo de alimentación.

**Figura 24**

*Caja Negra del equipo de alimentación automático para trucha.*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Entradas:

- Señal: Los valores establecidos a través de una interfaz de usuario.
- Energía: La energía solar fotovoltaica obtenida en el lugar de funcionamiento.
- Materia: El alimento de las truchas colocado en el equipo.

Salidas:

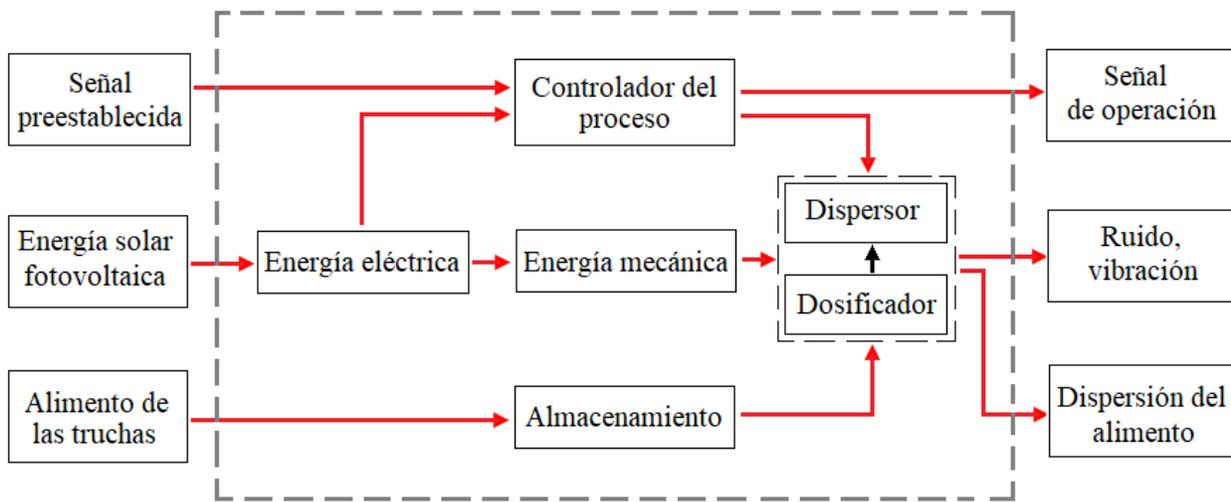
- Señal: Los impulsos de control de funcionamiento de los dispositivos.
- Energía: El ruido del dispersor y la iluminación de los indicadores.
- Materia: Dispersión del alimento en cantidades y horarios establecidos.

### 3.3.2 Determinación y representación de la estructura de funciones

A partir de la caja negra del equipo de alimentación se buscan todas las funciones parciales que logren establecer por medio de un proceso técnico la transformación de las magnitudes de entrada y salida de la función total. En la figura 25 se muestra la representación de la estructura de funciones del equipo de alimentación automático para trucha.

**Figura 25**

*Estructura de Funciones del equipo de alimentación automático.*



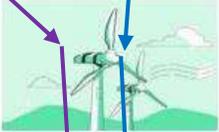
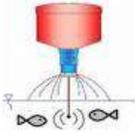
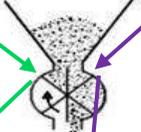
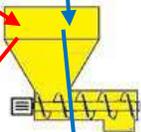
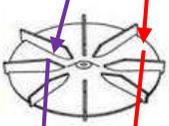
*Fuente:* Elaboración propia del autor.

### 3.4 Elaboración de la matriz morfológica

La matriz morfológica representa las soluciones posibles partiendo de las funciones parciales del equipo de alimentación. Partiendo de la lista de exigencias y la estructura de funciones, la función total dividida en funciones parciales se muestra en la figura 26.

**Figura 26**

*Matriz morfológica del equipo alimentador de trucha.*

MATRIZ MORFOLOGICA DE FUNCIONES			
Diseño de un equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes utilizando energía solar fotovoltaica, que permita mejorar la frecuencia de alimentación en la laguna de Langui-Layo de la región Cusco.			
FUNCIONES PARCIALES	PORTADORES DE FUNCIONES		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Material constructivo del silo	 Bidón reciclado	 Plástico	 Acero
Fuente de energía	 Red eléctrica	 Energía fotovoltaica	 Energía eólica
Controlador del proceso	 Programador timer	 Arduino	 PLC
Dosificador de alimento	 De péndulo	 De compuerta	 Tornillo sinfin
Control de dosificación de alimento	 Por duración de tiempo	 Por sensor de carga	 Por sensor de nivel
Dispersión de alimento	 Cajda libre	 De disco giratorio	 Soplador de aire
Sistema de flotación	 Madera	 Bidón polipropileno	 Industriales
<p style="text-align: center;"> <span style="color: green;">Solución 1</span>                <span style="color: purple;">Solución 2</span>                <span style="color: red;">Solución 3</span>                <span style="color: blue;">Solución 4</span> </p>			

Fuente: Elaboración propia del autor.

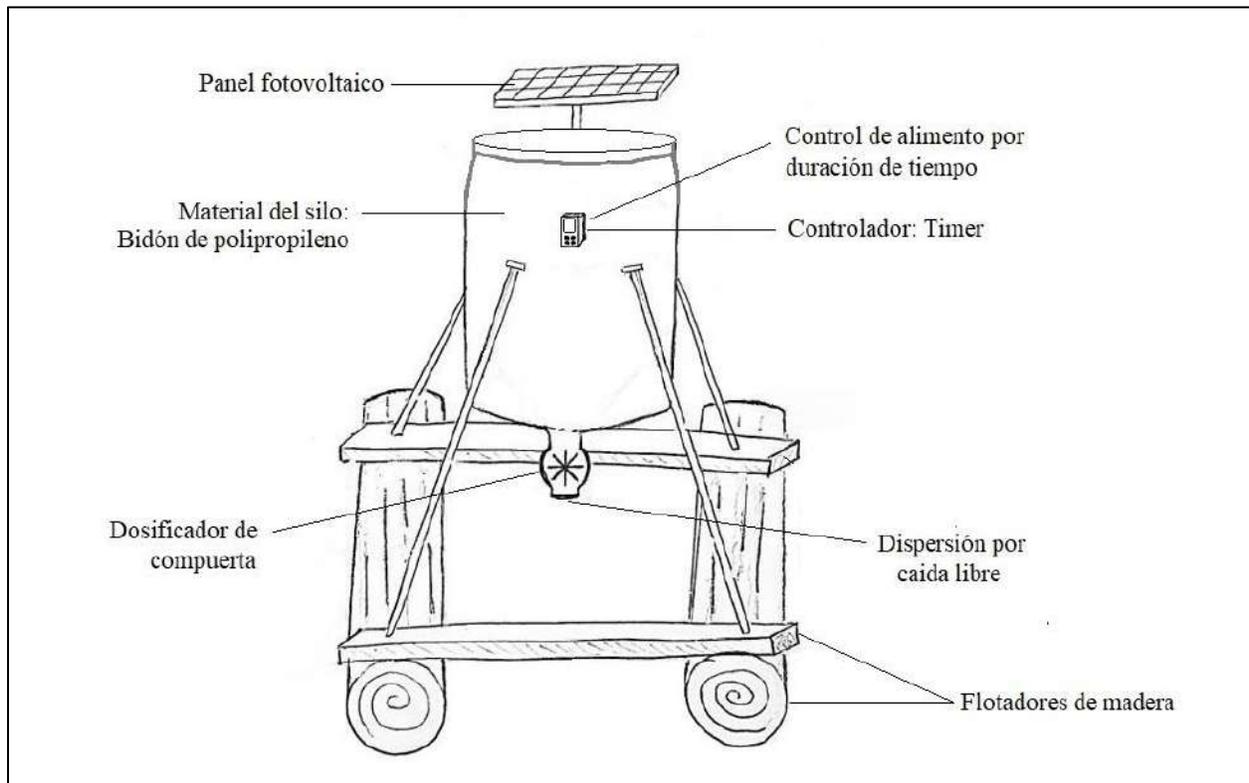
### 3.5 Conceptos de solución

#### 3.5.1 Concepto de solución 1

El equipo de alimentación se conforma de un bidón reciclado de polipropileno adaptado para contener el alimento de las truchas; en la parte inferior del bidón se ubica un dosificador de compuerta rotativa, el cual cierra y abre la salida de alimento durante un tiempo programado en un temporizador, por otro lado, el alimento al salir del dosificador cae libremente sobre la superficie del agua. La fuente de energía para el funcionamiento del equipo de alimentación es a través de una instalación fotovoltaica, mientras que para la flotación se utiliza una plataforma construida con madera. En la figura 27 se muestra el esquema del concepto de solución.

**Figura 27**

*Esquema del concepto de solución 1*



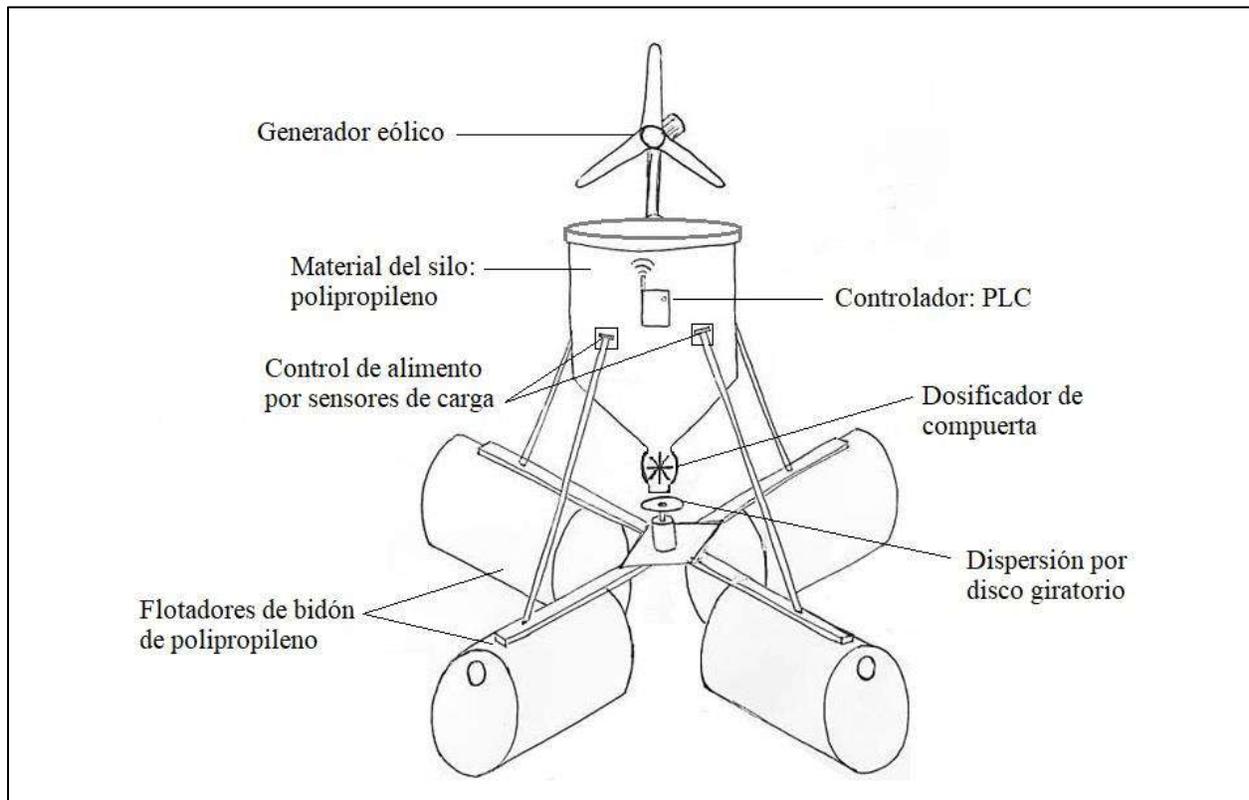
*Fuente:* Elaboración propia del autor.

### 3.5.2 Concepto de solución 2

El equipo de alimentación se conforma de un silo moldeado en plástico para contener el alimento de las truchas; en la parte inferior del silo de plástico se ubica un dosificador de compuerta rotativa, el cual cierra y abre la salida de alimento de acuerdo a una señal enviada por sensores de carga a un controlador PLC, el alimento al salir del dosificador cae sobre un disco giratorio el cual lo dispersa en la superficie del agua. La fuente de energía para el funcionamiento del equipo de alimentación es a través de una instalación eólica, mientras que para la flotación se utiliza una plataforma construida con bidones reciclados de polipropileno. En la figura 28 se muestra el esquema del concepto de solución.

#### Figura 28

*Esquema del concepto de solución 2.*



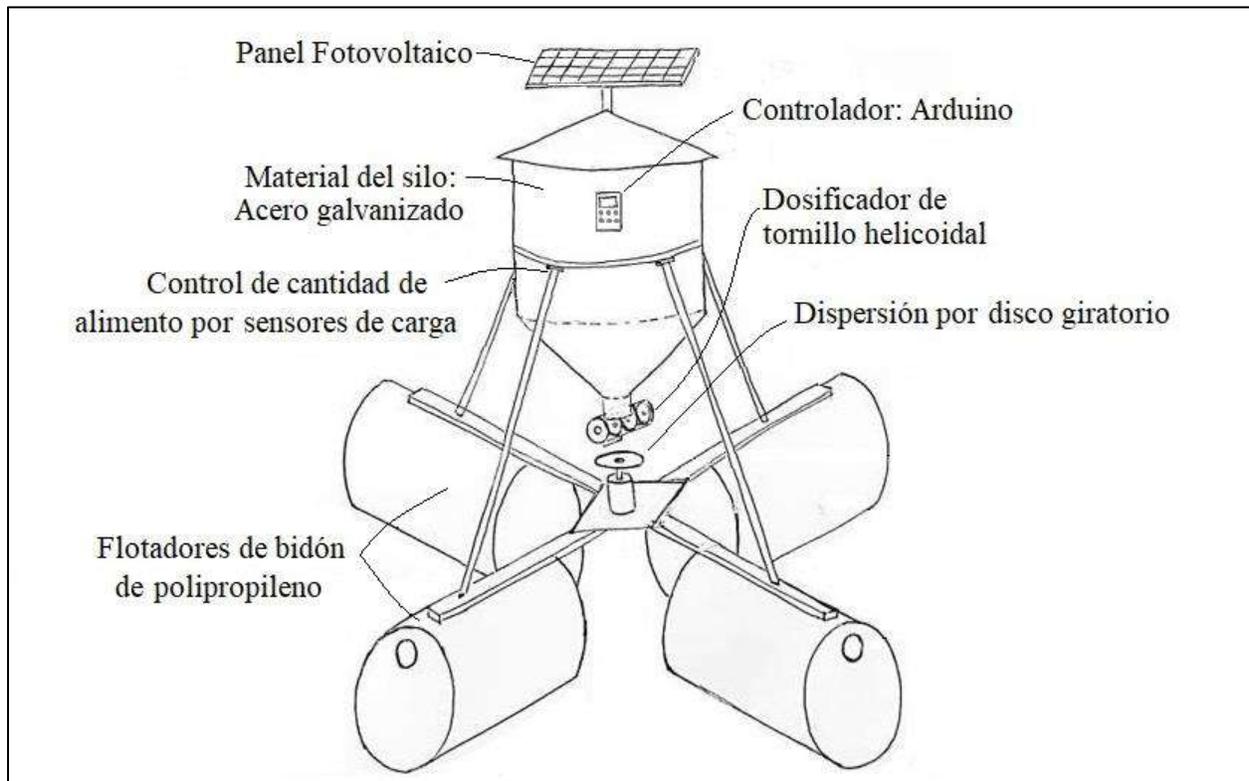
*Fuente:* Elaboración propia del autor.

### 3.5.3 Concepto de solución 3

El equipo de alimentación se conforma de un silo construido en acero galvanizado para contener el alimento de las truchas; en la parte inferior del silo de acero se ubica un dosificador de tornillo helicoidal, el cual contiene y desplaza el alimento de acuerdo a una señal enviada por sensores de carga a un controlador Arduino, el alimento al salir del dosificador cae sobre un disco giratorio el cual lo dispersa en la superficie del agua. La fuente de energía para el funcionamiento del equipo de alimentación es a través de una instalación fotovoltaica, mientras que para la flotación se utiliza una plataforma construida con bidones reciclados de polipropileno. En la figura 29 se muestra el esquema del concepto de solución.

**Figura 29**

*Esquema del concepto de solución 3*



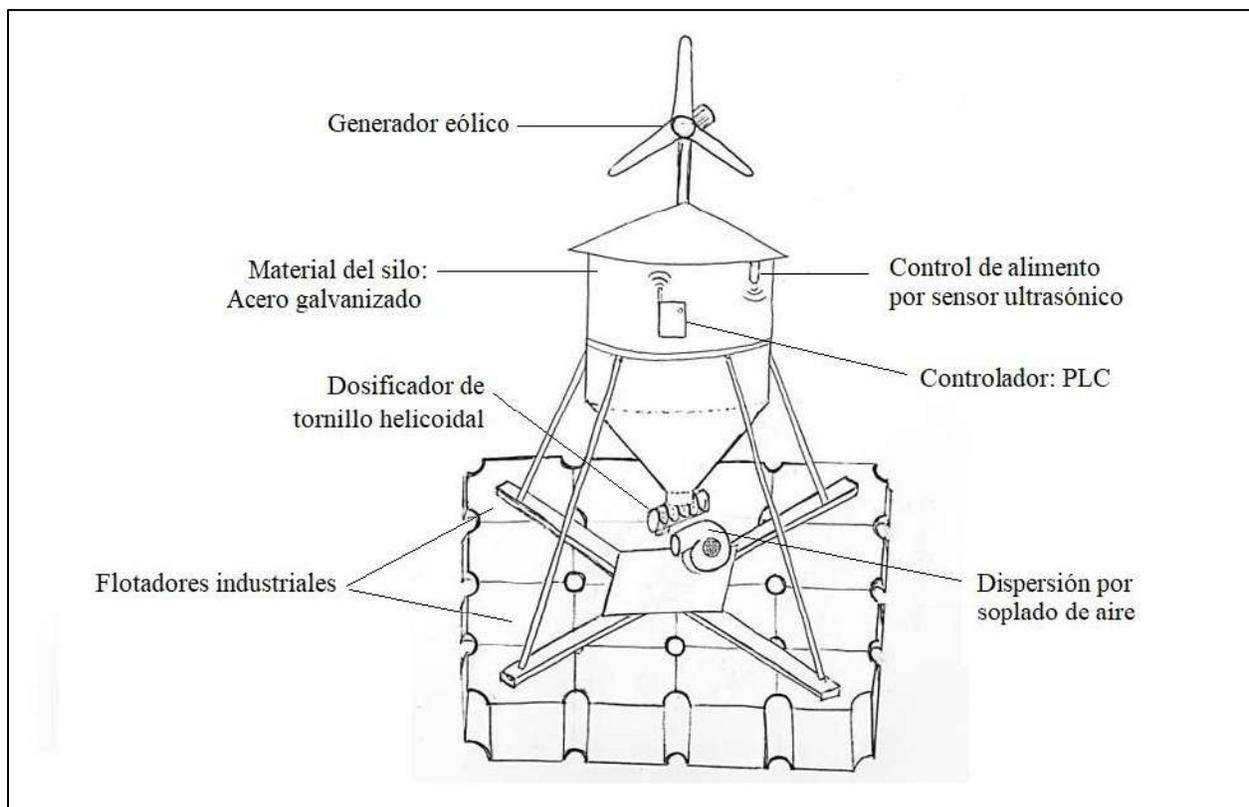
*Fuente: Elaboración propia del autor.*

### 3.5.4 Concepto de solución 4

El equipo de alimentación se conforma de un silo construido en acero galvanizado para contener el alimento de las truchas; en la parte inferior del silo de acero se ubica un dosificador de tornillo helicoidal, el cual contiene y desplaza el alimento de acuerdo a una señal enviada por un sensor de nivel ultrasónico a un controlador PLC, el alimento al salir del dosificador es dispersado por soplado de aire producido en un ventilador. La fuente de energía para el funcionamiento del equipo de alimentación es a través de una instalación eólica, mientras que para la flotación se utiliza flotadores industriales. En la figura 30 se muestra el esquema del concepto de solución.

**Figura 30**

*Esquema del concepto de solución 4*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

### 3.6 Determinación del concepto solución óptimo

Para los cuatro conceptos de solución obtenidos, se realiza una evaluación técnica y económica para determinar la solución más óptima.

#### 3.6.1 Evaluación técnica

Para la evaluación técnica, se asigna un valor ponderado (g) a cada criterio según la importancia que tiene en el funcionamiento del equipo de alimentación. La evaluación técnica de los cuatro conceptos de solución se muestra en la tabla 10.

**Tabla 10**

*Evaluación técnica de los conceptos de solución.*

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACION DE PROYECTOS												
Valor Técnico Xi												
Proyecto: Diseño de un equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes utilizando energía solar fotovoltaica, que permita mejorar la frecuencia de alimentación en la laguna de Langui-Layo de la región Cusco.												
p : puntaje de 0 a 4 (Según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = bien, 4 = Muy bien												
g : Valor ponderado en función de la importancia de los criterios de evaluación (de 1 a 4).												
Variantes de Concepto/Proyectos			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución 4		Solución ideal	
Nº	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función principal	4	1	4	2	8	3	12	2	8	4	16
2	Geometría	3	2	6	3	9	3	9	3	9	4	12
3	Automatización	4	2	8	3	12	3	12	3	12	4	16
4	Energía	4	3	12	2	8	3	12	2	8	4	16
5	Flotabilidad	4	2	8	3	12	3	12	4	16	4	16
6	Fabricación	3	4	12	2	6	3	9	3	9	4	12
7	Confiabilidad	3	1	3	3	9	3	9	4	12	4	12
8	Seguridad	4	2	8	2	8	3	12	2	8	4	16
9	Transporte	2	2	4	3	6	3	6	3	6	4	8
10	Mantenimiento	3	2	6	2	6	3	9	2	6	4	12
Puntaje Total: $\Sigma g$ ó $\Sigma gp$		<b>34</b>	71		84		102		94		136	
Valor Técnico Xi: $\Sigma gp / (\Sigma g * p_{max})$			0.52		0.62		0.75		0.69		1.00	

Fuente: Elaboración propia del autor.

#### 3.6.2 Evaluación económica

Para la evaluación económica, se asigna un valor ponderado (g) a cada criterio según la importancia que tiene en el funcionamiento del equipo de alimentación. La evaluación económica de los cuatro conceptos de solución se muestra en la tabla 11.

**Tabla 11***Evaluación económica de los conceptos de solución.*

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACION DE PROYECTOS												
Valor Económico $Y_i$												
Proyecto: Diseño de un equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes utilizando energía solar fotovoltaica, que permita mejorar la frecuencia de alimentación en la laguna de Langui-Layo de la región Cusco.												
<b>p</b> : puntaje de 0 a 4 (Según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = bien, 4 = Muy bien												
<b>g</b> : Valor ponderado en función de la importancia de los criterios de evaluación (de 1 a 4).												
Variantes de Concepto/Proyectos			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución 4		Solución ideal	
Nº	Criterios de evaluación	<b>g</b>	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Cantidad de componentes	<b>4</b>	4	16	3	12	3	12	3	12	4	16
2	Costo de los componentes	<b>4</b>	4	16	3	12	3	12	2	8	4	16
3	Facilidad de adquisición	<b>3</b>	4	12	3	9	3	9	3	9	4	12
4	Costo de montaje	<b>2</b>	3	6	2	4	2	4	2	4	4	8
5	Costo de mantenimiento	<b>3</b>	3	9	2	6	3	9	2	6	4	12
Puntaje Total: $\Sigma g$ ó $\Sigma gp$		<b>16</b>	59		43		46		39		64	
Valor económico $Y_i$ : $\Sigma gp / (\Sigma g * p_{max})$			0.92		0.67		0.72		0.61		1.00	

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

### 3.6.3 Determinación del concepto de solución óptimo

Según Barriga (2013), las alternativas de solución se pueden calificar en función del valor técnico y económico obtenidos, esto según se muestra en la tabla 12.

**Tabla 12***Cuadro de calificación para las alternativas de solución.*

Valor Técnico $x_i$	Valor Económico $Y_i$	Calificación
0,8	0,8	muy buena solución
0,7	0,7	buena solución
0,6 o menos	0,6 o menos	solución deficiente

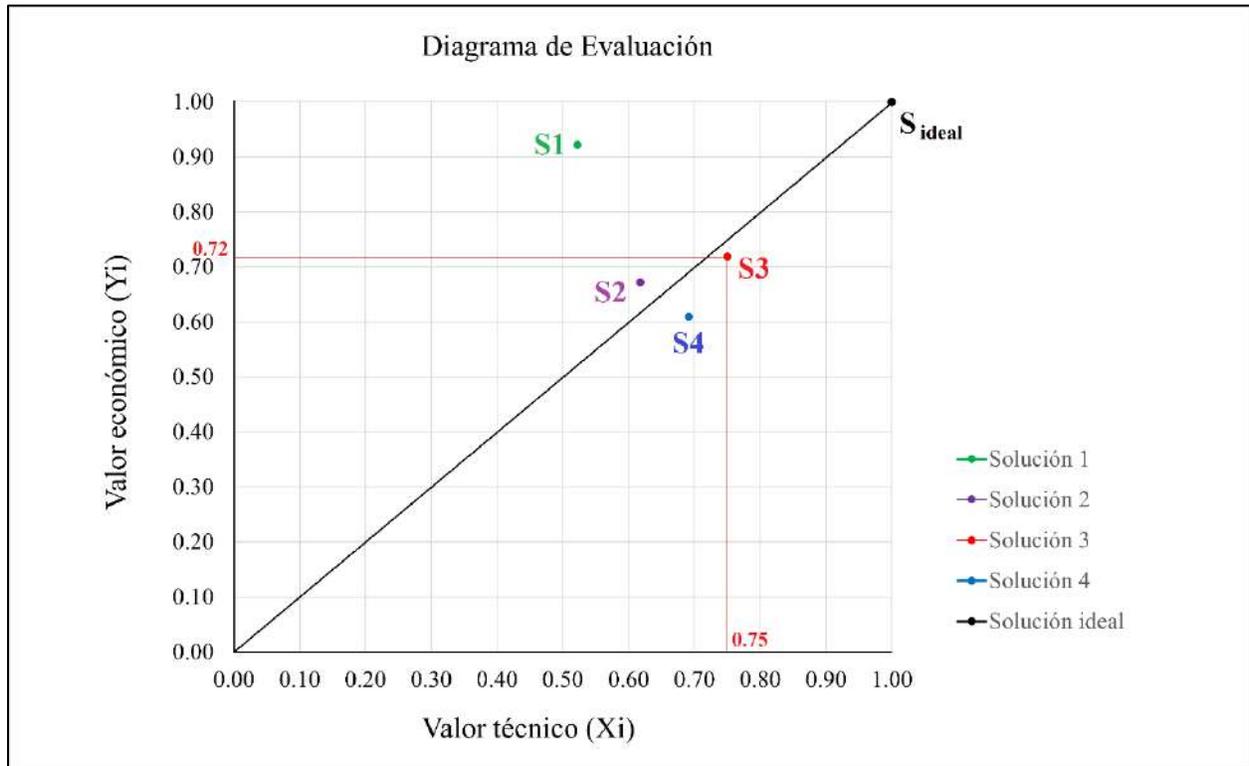
*Fuente:* Adaptado de Barriga, 2013.

Adicionalmente se debe considerar el balance técnico y económico a través de un diagrama de evaluación, siendo la solución más óptima la que se acerca más a la línea diagonal de pendiente 1 (Solución ideal).

En la figura 31 se muestra el diagrama de evaluación realizado para el proyecto.

**Figura 31**

*Diagrama de evaluación Técnico-Económico del diseño conceptual del equipo de alimentación.*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Tomando en cuenta las consideraciones del valor técnico y el valor económico para cada solución, además del balance existente entre ellos, la solución 3 resulta ser la más óptima.

## CAPÍTULO IV

### 4. DISEÑO DE LOS COMPONENTES DEL EQUIPO

#### 4.1 Consideraciones previas

##### 4.1.1 Flujo de alimento entregado a las truchas

No se encontró información acerca del valor del flujo de alimento que se debe entregar a las truchas, por lo que se optó por realizar un análisis de la alimentación en campo, en el cual se observa que el personal encargado dispersa el alimento “al boleó” (ayudado por un plato) entre cantidades de 250 a 350 gramos en cada jaula, y espera un tiempo aproximado de 10 segundos para repetir la acción. Según esta consideración, el flujo de alimento ( $\dot{m}$ ) resulta:

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = \frac{350g}{10s} = 35 \frac{g}{s}$$

##### 4.1.2 Alimentación actual y alimentación propuesta

**Tabla 13**

*Alimentación actual y alimentación propuesta*

<b>Alimentación actual:</b>				
<b>Jaula flotante</b>	<b>Biomasa de truchas (kg)</b>	<b>Cantidad de alimento (kg)</b>	<b>Tiempo de alimentación (min)</b>	<b>Frecuencia de alimentación</b>
Jaula de alevinos 2	750	25	12	1
Jaula de alevinos 3	750	25	12	1
Jaula de juveniles 1	1000	25	12	1
Jaula de juveniles 2	1000	25	12	1
Jaula de engorde 1	1250	25	12	1
Jaula de engorde 2	1250	25	12	1

<b>Alimentación propuesta:</b>				
<b>Jaula flotante</b>	<b>Biomasa de truchas (kg)</b>	<b>Cantidad de alimento (kg)</b>	<b>Tiempo de alimentación (min)</b>	<b>Frecuencia de alimentación</b>
Jaula de alevinos 2	750	56.63	27	8-10
Jaula de alevinos 3	750	36.00	17	4-6
Jaula de juveniles 1	1000	31.90	15	4-6
Jaula de juveniles 2	1000	30.20	14	3-4
Jaula de engorde 1	1250	31.00	15	2-4
Jaula de engorde 2	1250	17.50	8	2-4

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

### 4.1.3 Parámetros del alimento (pellet) de las truchas

El valor de los parámetros del alimento de las truchas, se extraen de la Norma EN 1991-4 del anexo 1, las cuales son resultado de distintas observaciones y experimentaciones. Los parámetros considerados son para piensos en pellets cuyos valores se muestran en la tabla 14.

**Tabla 14**

*Valor de los parámetros aproximados para piensos en pellets(alimento).*

Parámetros del material	Equivalencia
Tipo de solido disgregado.	Piensos en pellets
Peso específico para determinar el volumen necesario del silo.	$\gamma_t = 6.5 \frac{KN}{m^3}$
Peso específico para todo cálculo de acciones.	$\gamma_u = 8.0 \frac{KN}{m^3}$
Densidad aparente del material (alimento).	$\rho = 662.6 \frac{kg}{m^3}$
Angulo de talud natural del material (alimento).	$\phi_r = 37^\circ$
Angulo de rozamiento interno del material (alimento).	$\phi_i = 35^\circ$
Coefficiente de presiones laterales.	$K = 0.47$
Valor característico inferior del Coef. de presiones laterales	$K = \frac{0.47}{1.07} = 0.44$
Coefficiente de rozamiento (superficie con rozamiento moderado).	$\mu = 0.28$
Valor característico inferior del Coef. de rozamiento.	$\mu = \frac{0.28}{1.2} = 0.23$

*Fuente:* Elaboración propia basada en la Norma UNE-EN 1991-4:2011, Anexo E.

## 4.2 Diseño del silo del equipo

### 4.2.1 Capacidad del silo del equipo

El silo del equipo debe tener una capacidad mayor a la cantidad máxima de alimento requerido (56.63 kg). Considerando una cantidad adicional del 10% como factor para el tamaño del silo, la cantidad de alimento a almacenar ( $m_a$ ) será:

$$m_a \cong 56.63 + 10\%(56.63) \cong 62.29 \text{ kg}$$

$$m_a = 63 \text{ kg}$$

El volumen que ocupa esta cantidad de alimento ( $V_s$ ) es:

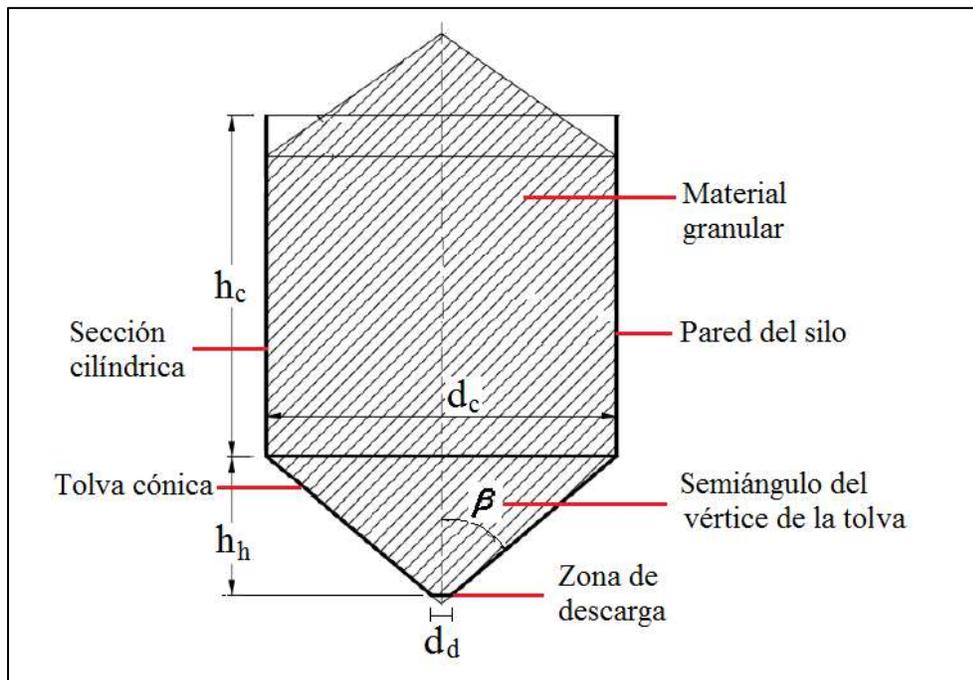
$$V_s = \frac{m_a}{\rho} = \frac{63}{662.6} = 0.095 \text{ m}^3$$

#### 4.2.2 Geometría del silo del equipo

Para el proyecto se considera un silo con geometría circular, ya que esta geometría ofrece menor resistencia aerodinámica que una geometría rectangular, además que la distribución de presiones es uniforme a comparación de un silo rectangular. En la figura 32 se muestra la sección típica de este silo.

**Figura 32**

*Sección de un silo cilíndrico con tolva cónica para materiales granulares.*



*Fuente:* Adaptada de la UNE-EN 1991-4, 2011

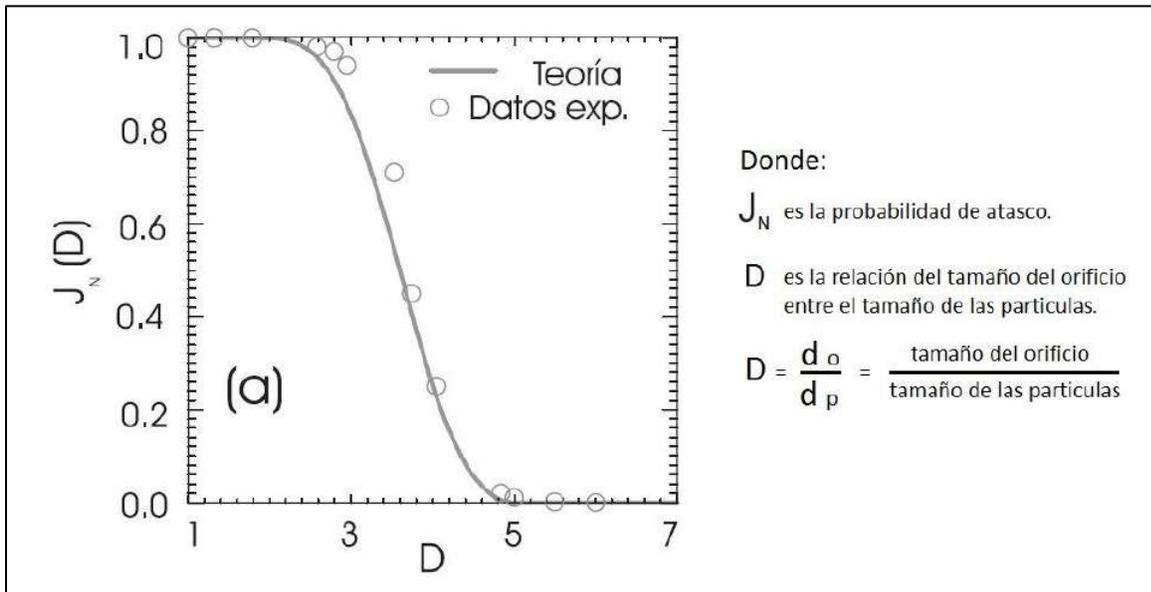
##### 4.2.2.1 Diámetro de descarga del silo ( $d_d$ )

Para determinar el valor del diámetro de descarga del silo que permita un flujo sin atascamiento, se toma como referencia distintas investigaciones empíricas las cuales se mencionan a continuación:

- Zuriguel (2005, pág.111) sugiere que, para evitar atascamiento en la descarga de silos, el diámetro de salida debe ser mayor a 4.94 veces el diámetro de partícula.
- Franklin y Johanson (1955, pag. 119) señalan que para evitar la formación de atascos, el diámetro de descarga no debe ser menor a 5 veces el diámetro de partícula.
- Serrato y Del Angel (2013, pág. 18) mencionan que por medios experimentales se ha demostrado que existen interrupciones en la descarga cuando el orificio de salida es menor a 4.5 veces el diámetro de las partículas.
- K. To et al. (2001), según Zuriguel (2005, pág. 18), proporciona un gráfico de la probabilidad de atascamiento de partículas a través de un orificio, como se muestra en la figura 33.

**Figura 33**

*Probabilidad de atasco en función de la relación del tamaño orificio-partícula.*



*Fuente:* Adaptada de Zuriguel, 2005, pág. 18.

Por lo descrito anteriormente, para evitar el atascamiento en la descarga el valor del diámetro de descarga debe cumplir la siguiente condición:

$$d_d \geq 5d_p$$

Donde:

$d_d$  es el diámetro de descarga.

$d_p$  es el diámetro de las partículas.

Al no ser esféricas las partículas de los pellets utilizados en el proyecto, según Colín y Ávila (2010, pág. 27) se debe caracterizar el tamaño de las partículas para el cálculo de almacenamiento, transporte y otras acciones, asignándoles un diámetro equivalente de una esfera ( $d_p$ ) con volumen igual al de la partícula ( $V_p$ ):

$$d_p = \left( \frac{6V_p}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

En la tabla 15 se muestra el diámetro equivalente ( $d_p$ ) para cada tamaño de pellets utilizado en el proyecto.

**Tabla 15**

*Diámetro equivalente de los pellets usados en la alimentación de truchas*

Jaula flotante	Nombre del alimento	Calibre de alimento	Dimensiones DxH (mm)	Diámetro equivalente (mm)
Jaula de alevinos 2	NICOVITA CLASSIC 2	1.5	1.5x1.5	1.72
Jaula de alevinos 3	NICOVITA CLASSIC 5	2	2x2	2.29
Jaula de juveniles 1	NICOVITA CLASSIC 5	2	2x2	2.29
Jaula de juveniles 2	NICOVITA CLASSIC 25	3	3x3	3.43
Jaula de engorde 1	NICOVITA CLASSIC 60	4	4x4	4.58
Jaula de engorde 2	NICOVITA CLASSIC 150	6	6x6	6.87

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Para la partícula de mayor tamaño, el diámetro de descarga ( $d_d$ ) que evite el atascamiento en la salida es:

$$d_d \geq 5 * 6.87$$

$$d_d \geq 34.35 \text{ mm}$$

Adicionalmente, se debe verificar que el diámetro de descarga ( $d_d$ ) debe permitir el flujo de alimento necesario (35 g/s). Para ello se recurre a la ecuación de Beverloo para flujo de granos gruesos a través de un orificio circular (Ecuación 4.1).

$$\dot{m} = 35\rho_a\sqrt{g}(d_d - 1.4d)^{2.5} \quad (4.1)$$

Donde:

$\dot{m}$  es el flujo a través del orificio, [ $\frac{g}{min}$ ]:  $\dot{m} = 35 \frac{g}{s} = 2100 \frac{g}{min}$

$\rho_a$  es la densidad aparente de los granos, [ $\frac{g}{cm^3}$ ]:  $\rho_a = 662.6 \frac{kg}{m^3} = 0.663 \frac{g}{cm^3}$

$g$  es la aceleración de la gravedad, [ $\frac{cm}{s^2}$ ]:  $g = 981 \frac{cm}{s^2}$

$d_d$  es el diámetro del orificio de descarga, [ $cm$ ].

$d$  es el diámetro del grano, [ $cm$ ]:  $d = d_p = 0.687 \text{ cm}$

Despejando de la ecuación de Beverloo, el diámetro de descarga ( $d_d$ ) para el flujo de alimento necesario resulta:

$$d_d = \left( \frac{2100}{35 * 0.663 * \sqrt{981}} \right)^{0.4} + 1.4 * 0.687$$

$$d_d = 2.49 \text{ cm} = 24.90 \text{ mm}$$

Finalmente, entre el diámetro de descarga para evitar atascamiento y el diámetro de descarga para el flujo de alimento necesario, se elige un valor que satisfaga ambas condiciones:

$$d_d = 4 \text{ cm} = 40 \text{ mm}$$

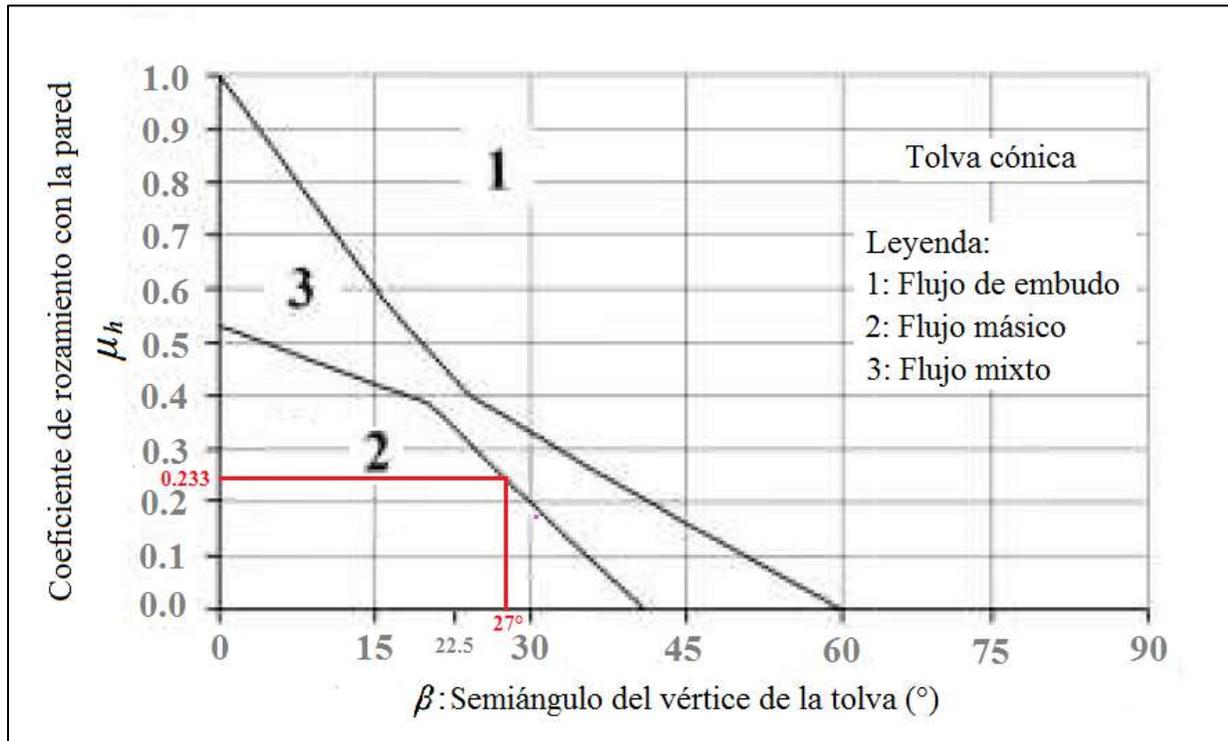
#### 4.2.2.2 *Semi ángulo ( $\beta$ ) del vértice de la tolva del equipo alimentador*

Según la Norma EN 1991-4:2006, el valor del ángulo del vértice de la tolva determina el tipo de flujo en la descarga del silo (flujo de embudo, flujo másico o flujo mixto). Para el proyecto se considera un flujo masico que permita la renovación continua de alimento en el silo.

El semi ángulo del vértice de la tolva se determina a partir de la figura 34.

**Figura 34**

*Semi ángulo del vértice de la tolva, para flujo masico en la descarga del silo.*



Fuente: Adaptación por el autor de la norma UNE-EN 1991-4, 2011.

Según la figura anterior, el flujo masico se da para valores de:  $\beta \leq 27^\circ$ , por lo que se elige un valor arbitrario de:

$$\beta = 25^\circ$$

#### 4.2.2.3 Diámetro y altura del silo del equipo de alimentacion

La relación que existe entre la altura ( $h_c$ ) y el ancho ( $d_c$ ) define el tipo de silo, que según la norma UNE EN 1991-4:2011, se clasifica de la siguiente manera:

- Silo esbelto:  $\frac{h_c}{d_c} > 2.0$
- Silo de esbeltez media:  $2.0 > \frac{h_c}{d_c} > 1.0$
- Silo poco esbelto:  $1.0 > \frac{h_c}{d_c} > 0.4$
- Silo granero (fondo plano):  $\frac{h_c}{d_c} \leq 0.4$

Para el proyecto se elige un Silo poco esbelto, esto considerando que la relación entre la altura y el ancho del silo influye en la estabilidad.

Por lo tanto, la relación que se elige es:

$$\frac{h_c}{d_c} = 0.8$$

Del valor del volumen del silo ( $V_s = 0.095 \text{ m}^3$ ) se determinan los valores para el diámetro y la altura del silo:

$$V_s = V_{cilindro} + V_{tolva}$$

Donde:

$V_{cilindro}$  es el volumen de la parte cilíndrica:  $V_{cilindro} = \pi * h_c \left(\frac{d_c}{2}\right)^2$

$h_c$  es la altura de la parte cilíndrica:  $h_c = 0.8d_c$

$d_c$  es el diámetro de la parte cilíndrica, en [m]

$V_{tolva}$  es el volumen de la tolva:  $V_{tolva} = \frac{\pi * h_t}{3} \left[ \left(\frac{d_c}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_d}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_c}{2}\right) * \left(\frac{d_d}{2}\right) \right]$

$d_d$  es el diámetro de descarga:  $d_d = 0.04 \text{ m}$

$h_t$  es la altura de la tolva tronco cónica deducida geoméricamente:  $h_t = \frac{d_c - d_d}{2 \tan(\beta)}$

$\beta$  es el semiángulo del vértice de la tolva:  $\beta = 25^\circ$

Al reemplazar el valor de las variables en la ecuación de volumen y resolviendo para  $d_c$ , se obtiene:

$$0.095 = \pi * 0.8d_c * \left(\frac{d_c}{2}\right)^2 + \frac{\pi}{3} * \frac{d_c - 0.04}{2 \tan(25)} * \left[ \left(\frac{d_c}{2}\right)^2 + \left(\frac{0.04}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_c}{2}\right) * \left(\frac{0.04}{2}\right) \right]$$

$$d_c = 0.471 \text{ m}$$

Con el valor obtenido del diámetro de la parte cilíndrica ( $d_c = 0.471 \text{ m}$ ), se obtiene las demás variables geométricas, cuyo valor se muestra en la tabla 16.

**Tabla 16**

*Valores geométricos obtenidos para el silo.*

Variable geométrica	Función	Valor
Diámetro del silo	-	$d_c = 0.47 \text{ m}$
Diámetro de descarga	-	$d_d = 0.04 \text{ m}$
Semi ángulo del vértice de tolva	-	$\beta = 25^\circ$
Altura de la parte cilíndrica	$h_c = 0.8d_c$	$h_c = 0.38 \text{ m}$
Altura de la tolva troncocónica	$h_h = \frac{d_c - d_d}{2 \tan(\beta)}$	$h_h = 0.46 \text{ m}$

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

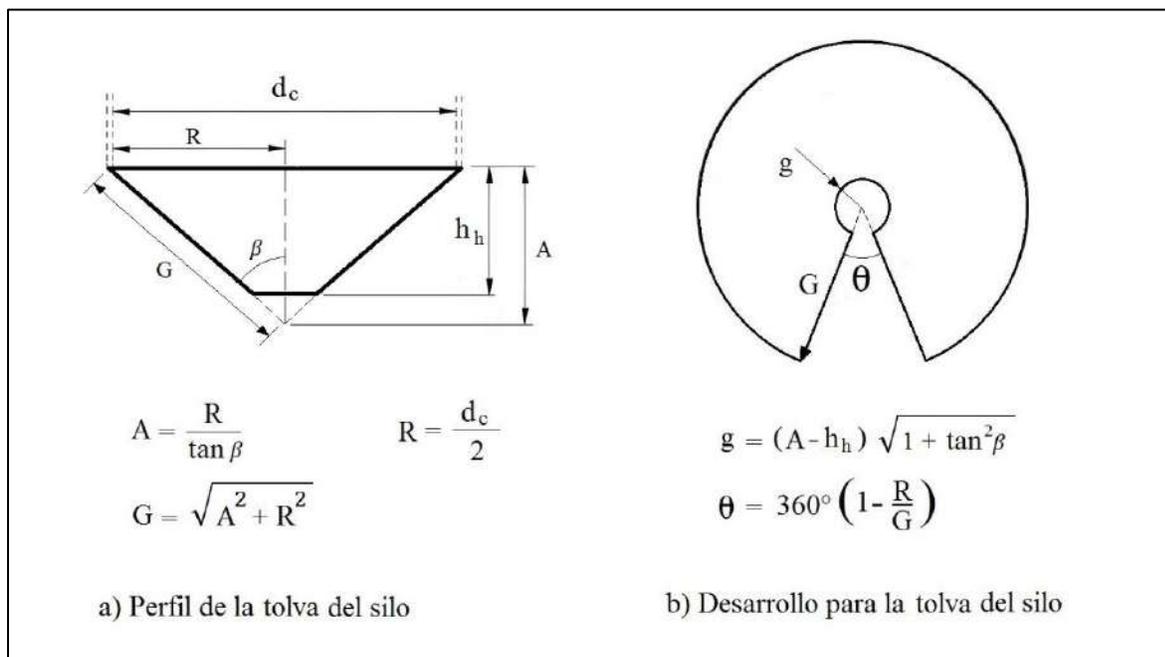
### 4.2.3 Desarrollo geométrico para la tolva y cubierta del silo

#### 4.2.3.1 Desarrollo de la tolva del silo

La geometría de la tolva cónica le permite descargar el alimento por gravedad, el desarrollo geométrico para la obtención de la forma cónica se muestra en la figura 35.

**Figura 35**

*Desarrollo de la tolva del silo a partir de su perfil*



*Fuente:* Elaboración propia del autor, basado en la igualdad de perímetros.

Los valores geométricos para obtener el perfil cónico y desarrollo de la tolva del silo son:

- $R$  el radio de la tolva del silo:  $R = \frac{d_c}{2} = 0.235 \text{ m}$
- $\beta$  es el semi ángulo del vértice de la tolva:  $\beta = 25^\circ$

Tomando  $R$  y  $\beta$  como los valores de partida, se determina el desarrollo de la tolva del silo.

$$A = \frac{0.235}{\tan(25)} = 0.504 \text{ m}$$

$$G = \sqrt{0.504^2 + 0.235^2} = 0.556 \text{ m}$$

$$g = (0.504 - 0.46) * \sqrt{1 + \tan^2(25)} = 0.05 \text{ m}$$

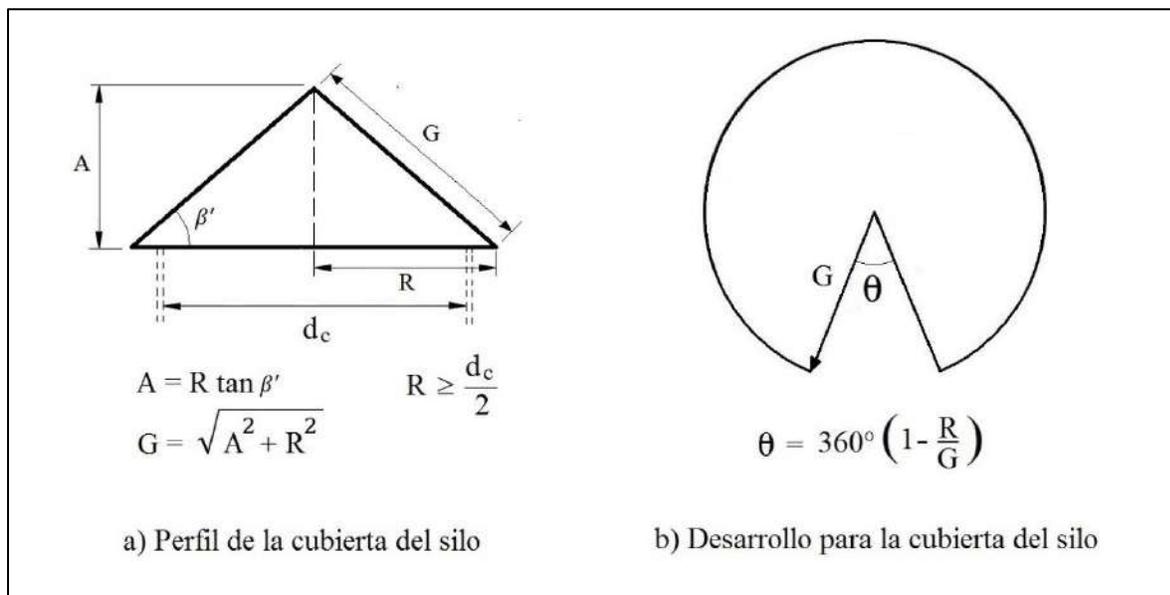
$$\theta = 360^\circ * \left(1 - \frac{0.235}{0.556}\right) = 207.8^\circ$$

#### 4.2.3.2 Desarrollo de la cubierta del silo

La cubierta del silo tiene como función permitir el llenado del silo y luego protegerlo de la intemperie. Por ello, se propuso una geometría cónica (sombbrero chino) que evite la acumulación de nieve, granizo o agua y sea desmontable para el llenado del silo (Figura 36)

**Figura 36**

*Desarrollo de la cubierta del silo a partir de su perfil*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Los valores geométricos para obtener el desarrollo de la cubierta del silo son:

- $R$  el radio de la cubierta del silo, para el cual se elige:  $R = 0.275 \text{ m}$  (que es mayor al radio del silo)
- $\beta'$  es la pendiente de la cubierta del silo:  $\beta' = 15^\circ$  (Basado en el Manual General Uralita, 1990, pág. 6).

Tomando  $R$  y  $\beta'$  como los valores de partida, se determina el resto de variables que definen la geometría y desarrollo de la cubierta del silo.

$$A = 0.275 * \tan(15) = 0.074 \text{ m}$$

$$G = \sqrt{0.074^2 + 0.275^2} = 0.285 \text{ m}$$

$$\theta = 360^\circ * \left(1 - \frac{0.275}{0.285}\right) = 12.6^\circ$$

#### **4.2.4 Cargas producidas por el alimento sobre las paredes del silo**

Para el cálculo de las cargas en las paredes de la parte cilíndrica (paredes verticales) y de la tolva, se sigue las recomendaciones de la norma UNE EN 1991-4:2011.

Se debe tener en cuenta para los cálculos, la clase de evaluación para el silo del proyecto, que según la norma UNE EN 1991-4:2011, es de acción 1 (inferior a 100 toneladas).

##### ***4.2.4.1 Cargas sobre las paredes verticales del silo***

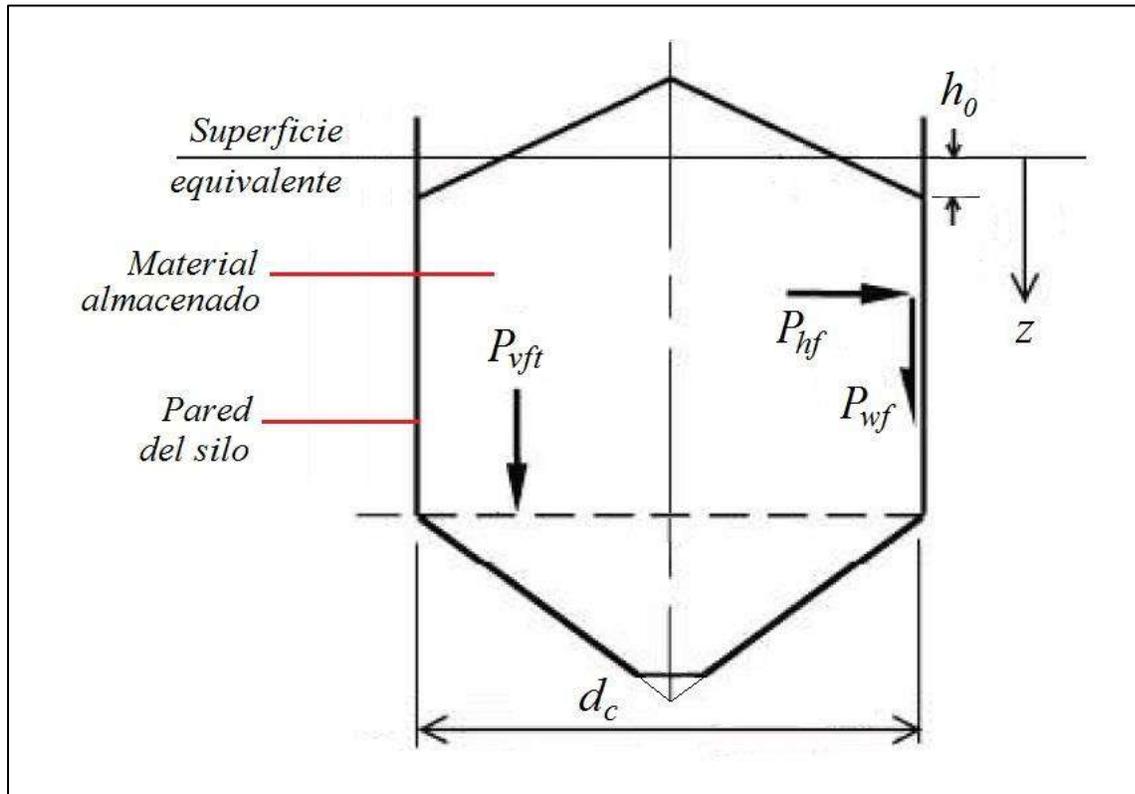
Las cargas sobre las paredes verticales se presentan después del llenado y durante la descarga del silo. Para los parámetros del material interviniente en el cálculo se considera el enfoque simplificado, y para el tipo de silo se considera poco esbelto.

##### ***4.2.4.1.1 Cargas de llenado sobre las paredes verticales del silo***

Estas cargas están representadas por la presión horizontal después del llenado ( $P_{hf}$ ) y la presión de tracción por rozamiento después del llenado ( $P_{wf}$ ) como se muestra en la figura 37.

**Figura 37**

*Cargas de llenado sobre las paredes verticales del silo*



Fuente: Extraída de la norma UNE EN 1991-4:2011.

Las ecuaciones que representan a las presiones sobre las paredes verticales del silo se representan por las ecuaciones 4.2 y 4.3 (norma UNE EN 1991-4:2011):

$$P_{hf} = P_{h0} * Y_R \quad ( 4.2 )$$

$$P_{wf} = \mu * P_{hf} \quad ( 4.3 )$$

Donde:

$P_{h0}$  es una presión horizontal asintótica a gran profundidad:  $P_{h0} = \gamma z_0 K$

$Y_R$  es la variación de presión en función de la profundidad:  $Y_R = 1 - \left[ \left( \frac{z-h_0}{z_0-h_0} \right) + 1 \right]^n$

$\mu$  es el coeficiente de rozamiento pared-alimento:  $\mu = 0.28$

El valor de las variables que intervienen en el cálculo de las ecuaciones anteriores, se muestra en la tabla 17.

**Tabla 17**

*Variables que intervienen en el cálculo de cargas de las paredes verticales.*

Variable	Descripción	Equivalencia
$\gamma$	Peso específico del alimento.	$\gamma = 8 \frac{KN}{m^3}$
$K$	Coef. de presiones laterales.	$K = 0.47$
$\phi_r$	Angulo de talud natural del alimento.	$\phi_r = 37^\circ$
$\frac{A}{U}$	Relación entre el área y el perímetro de una sección del cilindro.	$\frac{A}{U} = \frac{d_c}{4} = \frac{0.470}{4} = 0.118 m$
$z$	Profundidad vertical desde la superficie equivalente.	$0 \leq z \leq h_c$ $0 \leq z \leq 0.380 m$
$z_0$	Profundidad característica de Janssen.	$z_0 = \frac{1}{K\mu} \frac{A}{U} = \frac{0.118}{0.47 * 0.28} = 0.897 m$
$h_0$	Profundidad desde la superficie equivalente a la base de montículo.	$h_0 = \frac{d_c}{6} \tan\phi_r = 0.059 m$
$n$	Parámetro exponencial para el coeficiente de presiones.	$n = -(1 + \tan\phi_r) \left(1 - \frac{h_0}{z_0}\right) = -1.638$

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Al reemplazar el valor de las variables en las ecuaciones de  $P_{h0}$  y  $Y_R$  se obtiene:

$$P_{h0} = 3372.7 Pa$$

$$Y_R = 1 - \left[ \frac{z + 0.779}{0.838} \right]^{-1.638}$$

Con ello, la ecuación para las presiones resulta:

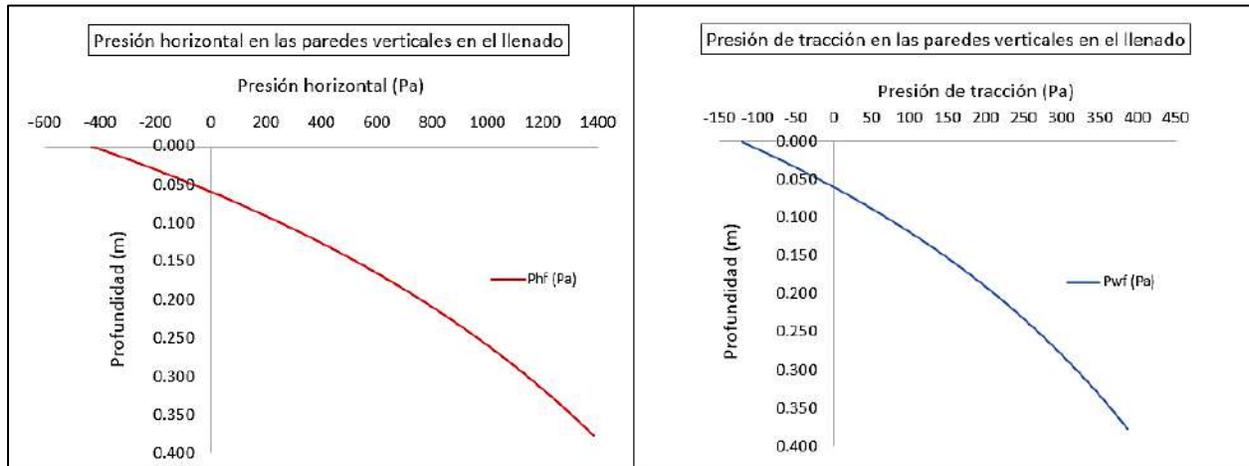
$$P_{hf} = 3372.7 - 2524.9 * (z + 0.779)^{-1.638}$$

$$P_{wf} = 944.4 - 706.9 * (z + 0.779)^{-1.638}$$

Al evaluar las presiones en función de la profundidad  $z$ , se obtiene la variación de las presiones mostrada en la figura 38.

**Figura 38**

*Variación de presión sobre las paredes verticales en el llenado del silo según la profundidad.*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Considerando que la presión es mayor en la base de la pared vertical ( $z = 0.38 \text{ m}$ ):

$$Y_R = 0.410$$

Por tanto, las presiones máximas sobre las paredes verticales en el llenado resultan:

$$P_{hf} = 1381.4 \text{ Pa}$$

$$P_{wf} = 386.8 \text{ Pa}$$

De forma adicional, se calcula en esta sección la presión vertical de llenado en el fondo de la pared ( $P_{vf}$ ), que ayudara a determinar las cargas sobre la tolva del silo (Ecuación 4.4).

$$P_{vf} = \gamma * z_v \quad ( 4.4 )$$

Donde:

$\gamma$  es el peso específico del alimento:  $\gamma = 8 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$

$z_v$  es la profundidad usada para la evaluación de la presión vertical:

$$z_v = h_0 - \frac{1}{(n + 1)} \left( z_0 - h_0 - \frac{(z + z_0 - 2h_0)^{n+1}}{(z_0 - h_0)^n} \right)$$

$h_0$  es la profundidad de la superficie equivalente a la base del montículo:  $h_0 = 0.059 \text{ m}$

$z_0$  es la profundidad característica de Janssen:  $z_0 = 0.897 \text{ m}$

$n$  es el parámetro exponencial para el Coef. de presiones en el cilindro:  $n = -1.638$

$z$  es la profundidad hasta la base de la pared vertical:  $z = 0.38 \text{ m}$

Reemplazando el valor de las variables en la ecuación de  $z_v$  y  $P_{vf}$ , se obtiene:

$$z_v = 0.304 \text{ m}$$

$$P_{vf} = 2432 \text{ Pa}$$

#### 4.2.4.1.2 Cargas de descarga sobre las paredes verticales del silo

Las cargas sobre las paredes verticales del silo en la descarga se consideran idénticas a las cargas de llenado (Norma UNE-EN 1991-4:2011), esto debido a que el nivel de material contenido disminuye relativamente lento.

#### 4.2.4.2 Cargas sobre las paredes de la tolva del silo

Las cargas sobre las paredes de la tolva del silo se presentan después del llenado y durante la descarga del silo. Para los parámetros del material interviniente en el cálculo se considera sus valores característicos, y para el tipo de tolva se debe verificar su inclinación (norma UNE-EN 1991-4:2011):

- De fondo plano, que tiene una inclinación respecto de la horizontal menor a  $5^\circ$ .
- De tolva aplanada, que no es como fondo plano ni como tolva aguda.
- De tolva aguda, para lo cual debe satisfacerse:  $\tan \beta < \frac{1-K}{2\mu_h}$

Donde:

$\beta$  es el semi ángulo del vértice de la tolva:  $\beta = 25^\circ$ .

$K$  es el valor característico inferior del coef. de presiones laterales:  $K = 0.44$

$\mu_h$  es el valor característico inferior del Coef. de rozamiento:  $\mu_h = 0.23$

Reemplazando en la condición de tolva aguda, se verifica:

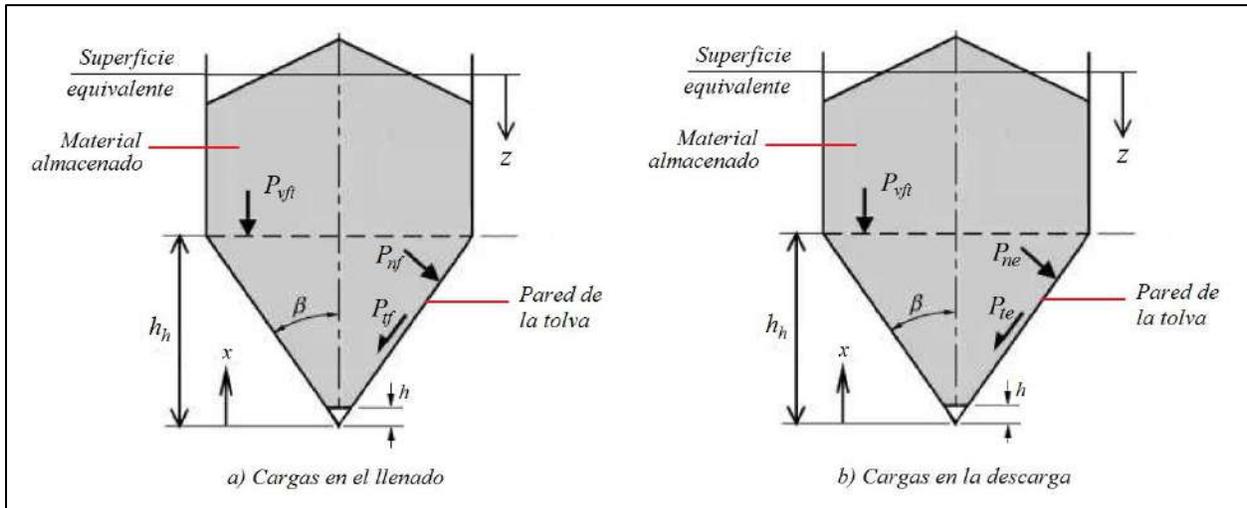
$$\tan \beta < \frac{1-K}{2\mu_h}$$

$$0.466 < 1.22$$

Al verificar la inclinación de la tolva para cada punto, se determina que el tipo de tolva es aguda. Con ello, se procede a determinar las cargas de llenado y de descarga para una tolva aguda, las cuales se representan en la figura 39.

**Figura 39**

*Cargas de llenado y descarga sobre las paredes de la tolva*



Fuente: Extraída de la norma UNE-EN 1991-4:2011.

#### 4.2.4.2.1 Cargas de llenado sobre la tolva del silo

Estas cargas están representadas por la presión normal después del llenado ( $P_{nf}$ ) y la presión de tracción por rozamiento después del llenado ( $P_{tf}$ ) dadas según las ecuaciones 4.5 y 4.6 (norma UNE-EN 1991-4:2011).

$$P_{nf} = F_f * P_v \quad ( 4.5 )$$

$$P_{tf} = \mu_h * F_f * P_v \quad ( 4.6 )$$

Donde:

$$F_f \text{ es el coeficiente de presiones en la tolva: } F_f = 1 - \frac{b}{1 + \frac{\tan \beta}{\mu_h}}$$

$$P_v \text{ es la presión vertical en la tolva: } P_v = \left( \frac{\gamma h_h}{n-1} \right) \left[ \frac{x}{h_h} - \left( \frac{x}{h_h} \right)^n \right] + P_{vft} \left( \frac{x}{h_h} \right)^n$$

$\mu_h$  es el valor característico inferior del coeficiente de rozamiento:  $\mu_h = 0.23$

El valor de las variables que intervienen en el cálculo de las cargas de llenado sobre la tolva, se muestra en la tabla 18.

**Tabla 18**

*Variables que intervienen en el cálculo de cargas en la tolva.*

Variable	Descripción	Equivalencia
$\gamma$	Peso específico del alimento.	$\gamma = 8 \frac{KN}{m^3}$
$C_b$	Coef. de mayoración de carga (tomada de la norma UNE, para valores medios de los parámetros).	$C_b = 1.3$
$\beta$	Semi ángulo del vértice de la tolva.	$\beta = 25^\circ$
$S$	Coef. de forma para tolva cónica (tomada de la norma UNE).	$S = 2$
$b$	Coef. empírico para las presiones en tolvas (norma UNE).	$b = 0.2$
$P_{vf}$	Presión vertical de llenado, la cual ya fue determinada.	$P_{vf} = 2415.6 Pa$
$P_{vft}$	Presión vertical media en la transición.	$P_{vft} = C_b * P_{vf}$ $P_{vft} = 3161.6 Pa$
$h_h$	Altura de la tolva.	$h_h = 0.46 m$
$x$	Altura específica según se evalúa la presión.	$0 \leq x \leq 0.46 m$
$n$	Parámetro exponencial para el coeficiente de presiones en la tolva.	$n = S(1 - b)\mu_n \cot \beta$ $n = 0.79$

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Al reemplazar el valor de las variables en las ecuaciones de  $F_f$  y  $P_v$ , se obtiene:

$$F_f = 1 - \frac{b}{1 + \frac{\tan \beta}{\mu_h}} = 0.934$$

$$P_v = -38095.2x + 38201.9x^{0.79}$$

Con ello, la ecuación para las presiones resulta:

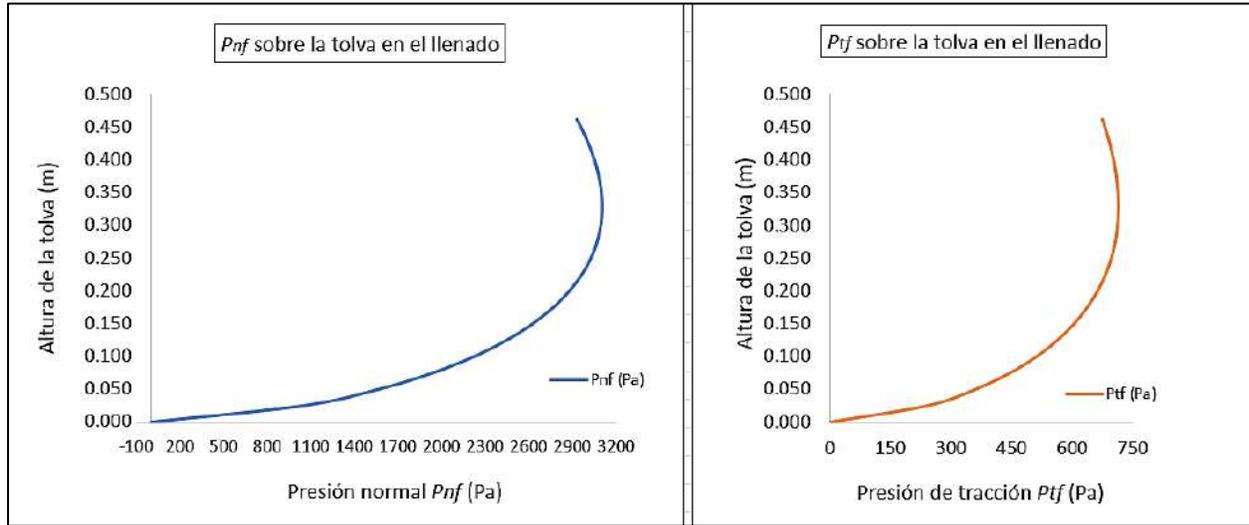
$$P_{nf} = -35580.9x + 35680.6x^{0.79}$$

$$P_{tf} = -8183.6x + 8206.5x^{0.79}$$

Al evaluar las presiones en función de la altura  $x$ , se obtiene la variación de las presiones mostrada en la figura 40.

**Figura 40**

*Variación de las presiones de llenado en la tolva en función de la altura.*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

La altura en la tolva en la que se produce una presión vertical máxima, se da al derivar  $P_v$  respecto a  $x$  e igualando a cero.

$$\frac{dP_v}{dx} = \frac{d(-38095.2x + 38201.9x^{0.79})}{dx} = 0$$

$$x = 0.330 \text{ m}$$

Según esto, la presión vertical máxima resulta:  $P_v = 3340.1 \text{ Pa}$

Por tanto, las presiones máximas en el llenado de la tolva resultan:

$$P_{nf} = 3119.6 \text{ Pa}$$

$$P_{tf} = 717.5 \text{ Pa}$$

#### 4.2.4.2.2 Cargas de descarga sobre la tolva del silo

Las cargas de descarga sobre la tolva están representadas por la presión normal ( $P_{ne}$ ) y la presión de tracción por rozamiento ( $P_{te}$ ) dadas según las ecuaciones 4.7 y 4.8 (norma UNE-EN 1991-4:2011).

$$P_{ne} = F_e * P_v \quad ( 4.7 )$$

$$P_{te} = \mu_h * F_e * P_v \quad ( 4.8 )$$

Donde:

$P_v$  es la presión vertical en el sólido:  $P_v = -38095.2x + 38201.9x^{0.79}$

$\mu_h$  es el valor característico inferior del coeficiente de rozamiento:  $\mu_h = 0.23$

$F_e$  es el coeficiente de presiones en la tolva en la descarga:  $F_e = \frac{1 + \sin(\phi_i) \cos(\varepsilon)}{1 - \sin(\phi_i) \cos(2\beta + \varepsilon)}$

$\phi_i$  es el ángulo de rozamiento interno del alimento:  $\phi_i = 35^\circ$

$\phi_{wh}$  es el ángulo de rozamiento pared-alimento:  $\phi_{wh} = \tan^{-1}(\mu_h) = 12.95^\circ$

$\varepsilon$  es un parámetro empírico (Norma UNE):  $\varepsilon = \phi_{wh} + \sin^{-1}\left(\frac{\sin(\phi_{wh})}{\sin(\phi_i)}\right) = 35.95^\circ$

$\beta$  es el semiángulo del vértice de la tolva:  $\beta = 25^\circ$

Al reemplazar el valor de las variables en la ecuación de  $F_e$ , se obtiene:

$$F_e = \frac{1 + \sin(35^\circ) \cos(35.95^\circ)}{1 - \sin(35^\circ) \cos(2 * 25^\circ + 35.95^\circ)} = 1.53$$

Con ello, la ecuación para las presiones resulta:

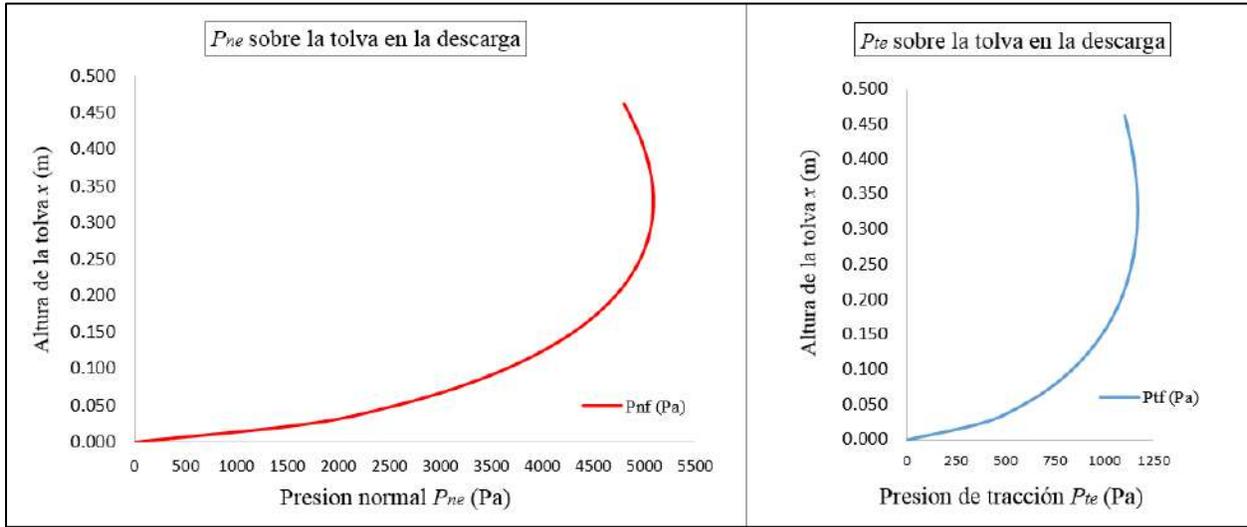
$$P_{ne} = -58285.7x + 58448.9x^{0.79}$$

$$P_{te} = -13405.7x + 13443.2x^{0.79}$$

Al evaluar las presiones en función de la altura  $x$ , se obtiene la variación de las presiones mostradas en la figura 41.

**Figura 41**

*Variación de las presiones de descarga en la tolva en función de la altura.*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Considerando que la presión vertical máxima es:  $P_v = 3340.1 Pa$

Las presiones máximas en la descarga de la tolva resultan:

$$P_{ne} = 5110.4 Pa$$

$$P_{te} = 1175.4 Pa$$

De forma adicional, se calcula la presión vertical en el fondo del silo  $P_v(h)$

$$P_v(h) = -38095.2x + 38201.9x^{0.79}$$

El valor para  $h$  se determina geoméricamente:

$$h = \frac{d_a}{2 \tan \beta} = \frac{0.040}{2 * \tan 25^\circ}$$

$$h = 0.043 m$$

Reemplazando  $h$  en la ecuación de la presión vertical en el fondo del silo, se obtiene:

$$P_v(h) = 1542.6 Pa$$

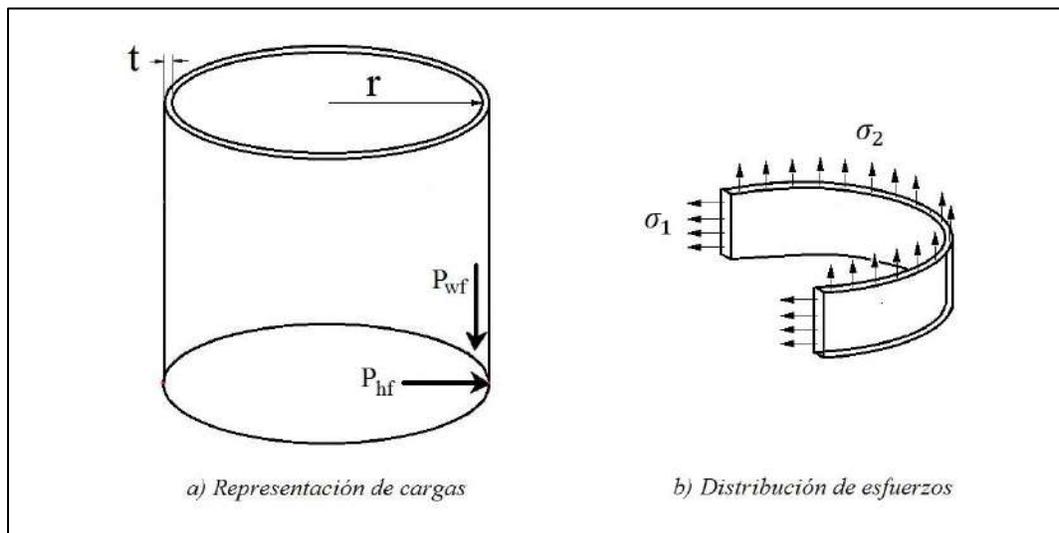
## 4.2.5 Cálculo del espesor necesario para las paredes del silo

### 4.2.5.1 Cálculo de espesor para la parte cilíndrica

Para el cálculo del espesor necesario de la pared vertical del silo, se utiliza la teoría de recipientes de presión de pared delgada, considerando que las presiones máximas se dan en la base de la pared del silo, como se muestra en la figura 42.

**Figura 42**

*Representación de cargas y distribución de esfuerzos en la pared vertical del silo.*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Los esfuerzos en la dirección circunferencial y longitudinal están dados por las ecuaciones 4.9 y 4.10 (Hibbeler, 2006, pag. 424).

$$\sigma_1 = \frac{P_{hf} * r}{t_1} \quad ( 4.9 )$$

$$\sigma_2 = \frac{P_{wf} * r}{2t_2} \quad ( 4.10 )$$

Donde:

$t_1$  y  $t_2$  son los espesores necesarios de la pared vertical para cada esfuerzo normal.

$P_{hf}$  es la presión horizontal máxima después del llenado:  $P_{hf} = 1381.4 \text{ Pa}$

$P_{wf}$  es la presión de tracción máxima después del llenado:  $P_{wf} = 386.8 \text{ Pa}$

$r$  es el radio de la parte cilíndrica:  $r = \frac{d_c}{2} = 0.235 \text{ m}$

$\sigma_f$  es el esfuerzo de fluencia del material de la pared cilíndrica:  $\sigma_f = 205 \text{ MPa}$

Al reemplazar los valores anteriores en las ecuaciones de  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$ , se obtiene los valores del espesor necesario según el tipo de carga en las paredes verticales.

$$t_1 = 1.58 \times 10^{-6} \text{ m} = 0.0016 \text{ mm}$$

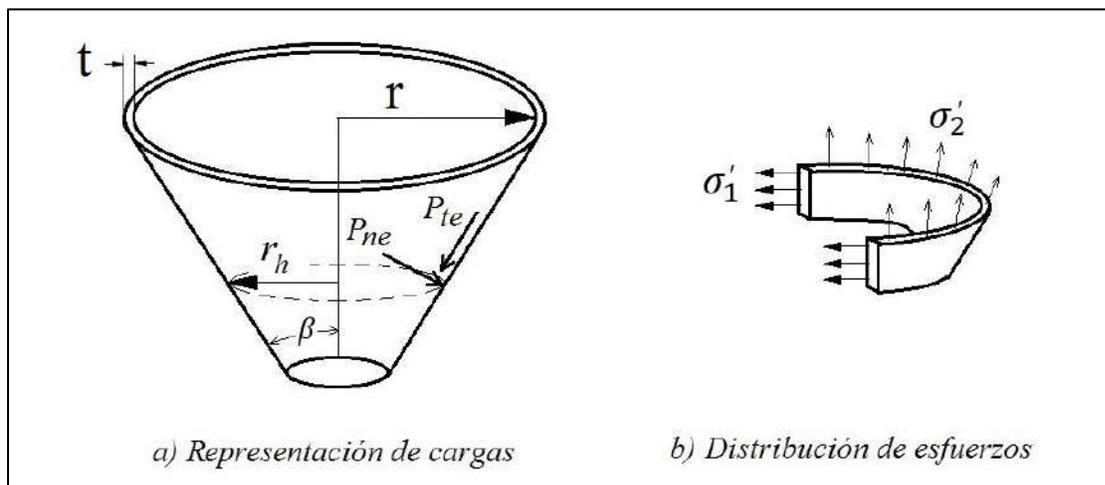
$$t_2 = 2.22 \times 10^{-7} \text{ m} = 0.0002 \text{ mm}$$

#### 4.2.5.2 Cálculo de espesor de pared para la tolva

Para determinar el espesor necesario de la pared de la tolva de manera aproximada, se utiliza la teoría de recipientes de presión de pared delgada, considerando que las presiones máximas se dan en la descarga, la cual se muestra en la figura 43.

**Figura 43**

*Representación de las cargas y distribución de esfuerzos en la pared de la tolva.*



*Fuente:* Adaptado de la norma UNE, 2011.

Los esfuerzos en la dirección circunferencial y longitudinal están dados por las ecuaciones 4.11 y 4.12 (Hibbeler, 2006).

$$\sigma_1' = \frac{P_{ne} * r_h}{t_1} \quad ( 4.11 )$$

$$\sigma'_2 = \frac{P_{te} * r_h}{2t'_2} \quad ( 4.12 )$$

Donde:

$t'_1$  y  $t'_2$  son los espesores necesarios de la tolva para cada esfuerzo normal.

$P_{ne}$  es la presión normal máxima en la descarga:  $P_{ne} = 5110.4 Pa$

$P_{te}$  es la presión de tracción máxima después del llenado:  $P_{te} = 1175.4 Pa$

$\sigma_f$  es el esfuerzo de fluencia del material de la pared de la tolva:  $\sigma_f = 205 MPa$

$r_h$  es el radio en la que la presión es máxima, se deduce geoméricamente:

$$r_h = x_h \tan \beta + \frac{d_d}{2}$$

$$r_h = 0.330 * \tan 25^\circ + \frac{0.04}{2}$$

$$r_h = 0.174 m$$

Reemplazando el valor de las variables en las ecuaciones de los esfuerzos normales, se obtiene los espesores necesarios:

$$t'_1 = 4.3 \times 10^{-6} m = 0.0043 mm$$

$$t'_2 = 4.99 \times 10^{-7} m = 0.0005 mm$$

Por lo tanto, el espesor de la lámina que recubre el silo y contiene el alimento de las truchas ( $t_{silo}$ ), debe ser de un espesor mayor a  $t'_1 = 0.0043 mm$ .

El material elegido teniendo en cuenta su disponibilidad es una plancha comercial cincada ASTM A653 de espesor  $t_{silo} = 0.3 mm$ .

### 4.3 Diseño del dosificador del equipo de alimentación

La dosificación de los alimentos en pellets, se realiza a través de un alimentador helicoidal accionado por un motor, quien a su vez es controlado por una placa de Arduino.

#### 4.3.1 Consideraciones previas

Para el dimensionamiento se toma como referencia el Manual Martin para el manejo de materiales (2013), quien a su vez estandariza sus productos con los lineamientos establecidos por

la Asociación de Fabricantes de Equipos Transportadores (CEMA). Los parámetros a considerar para el dimensionamiento del alimentador helicoidal son: el tipo de material a dosificar y la capacidad requerida.

El material a dosificar son alimentos en pellets para trucha, el tamaño va desde un calibre de 1.5 mm hasta un calibre de 6 mm, siendo la dosificación para un tamaño homogéneo de partículas a razón de 35 g/s (capacidad requerida). Además, se debe considerar que la densidad aparente del alimento es de  $662.6 \frac{kg}{m^3}$  ( $41.4 \frac{lb}{ft^3}$ ).

Para la clasificación del material, necesarios para el diseño del alimentador helicoidal, se recurre al Manual Martín, donde el material “Alfalfa (pellets)” es semejante a los alimentos peletizado de trucha por la densidad que tienen ( $41.4 \frac{lb}{ft^3}$ ), tal como se muestra en la tabla 19.

**Tabla 19**

*Clasificación del material para propósitos del diseño del alimentador helicoidal.*

Material	Peso libras por pie cúbico	Código de Material	Selección de Rodamiento Intermedio	Serie de Componentes	Factor de Material Fm	Carga de Artesa
Ácido adíptico	45	A100-35	S	2	.5	30A
Ácido bórico, fino	55	B6-25T	H	3	.8	30A
Ácido hexanodioico (ver ácido adíptico)	—	—	—	—	—	—
Ácido oxálico (etano diácido) cristales	60	B6-35qS	L-S	1	1	30A
Ácido salicílico	29	B6-37u	H	3	.6	15
Ajonjolí, semilla	27-41	B6-26	H	2	.6	30A
Alfalfa	14-22	B6-45WY	H	2	.6	30A
Alfalfa (pellet)	41-43	C1/2-25	H	2	.5	45
Alfalfa, semilla	10-15	B6-15N	L-S-B	1	.4	45
Algarroba	48	B6-16N	L-S-B	1	.4	30B
Algodón, semilla pasta rolada	35-40	C1/2-45HW	L-S	1	.6	30A
Algodón, semilla pasta, seco	40	B6-35HW	L-S	1	.6	30A
Algodón, semilla prensada, pasta	40-45	C1/2-45HW	L-S	2	1	30A

*Fuente:* Adaptada del Manual Martín, pág. 7.

## 4.3.2 Dimensionamiento del alimentador helicoidal

### 4.3.2.1 Tipo de alimentador helicoidal

Según el manual Martín (pág. 32), para alimentadores helicoidales existen dos tipos de fabricación: de paso regular y de paso corto, pudiendo tener en ambos casos helicoidal de diámetro uniforme o helicoidal cónico. Para el proyecto se elige un helicoidal de paso corto ( $p = \frac{2}{3}D_h$ ) y de diámetro uniforme, el sentido del helicoidal se toma de giro hacia la derecha (horario), por ser el más común en estas aplicaciones.

### 4.3.2.2 Diámetro externo del helicoidal

El diámetro externo del helicoidal, según el libro de diseño de maquinaria de Shubin (1977, pág. 186) está dado por la ecuación 4.13.

$$D = 0.28 * \sqrt[3]{\frac{Q}{\xi n \phi \rho_a C_\beta}} \quad ( 4.13 )$$

Donde:

$D$  es el diámetro externo del helicoidal, [m].

$Q$  es el flujo de alimento, [t/h]:  $Q = 35 \frac{g}{s} = 0.126 \text{ t/h}$

$\xi$  es el coeficiente del tipo de paso del helicoidal: paso corto  $\xi = 2/3$  (Shubin, pág. 185)

$n$  es la velocidad de giro del helicoidal [rpm].

$\phi$  es el coeficiente de llenado de la sección transversal (carga de artesa):  $\phi = 45\%$

$\rho_a$  es la densidad del alimento, [t/m<sup>3</sup>]:  $\rho_a = 0.663 \text{ t/m}^3$

$C_\beta$  es el coeficiente de la inclinación del helicoidal, si no hay inclinación:  $C_\beta = 1$

Para la velocidad de giro del helicoidal, se toma como referencia las velocidades de alimentadores helicoidales estándar del Manual Martín (pág. 33), que van de 30 a 70 rpm según el diámetro del helicoidal, siendo para el helicoidal estándar más pequeño (6" de diámetro) una velocidad máxima de 70 rpm. Asumiendo esta velocidad y reemplazando el valor de las variables en la ecuación del diámetro del helicoidal se obtiene:

$$D = 0.28 * \sqrt[3]{\frac{0.126}{\frac{2}{3} * 70 * 0.45 * 0.663 * 1}}$$

$$D = 0.058 \text{ m}$$

Para asegurar que el diámetro calculado permita el paso de la cantidad de flujo de alimento y por otro lado facilite la fabricación del helicoidal, se considera un diámetro mayor ( $D_h$ ) próximo al valor del diámetro calculado:

$$D_h = 0.060 \text{ m}$$

#### 4.3.2.3 Paso del helicoidal

El valor del paso ( $p$ ) del helicoidal, está dada por:

$$p = \frac{2}{3} D_h = \frac{2}{3} * 0.060$$

$$p = 0.040 \text{ m}$$

#### 4.3.2.4 Diámetro interno del helicoidal

El diámetro interno del helicoidal se determina partiendo de que la cantidad de alimento desplazado en una revolución ( $\dot{m}_{rev}$ ) es:

$$\dot{m}_{rev} = \frac{Q}{n} = \frac{35 \text{ g/s}}{1.167 \text{ rev/s}} = 30 \text{ g/rev}$$

Luego, el volumen que ocupa esta cantidad de alimento es:

$$V_{\dot{m}} = \frac{\dot{m}_{rev}}{\rho_a} = \frac{30}{662.6 * 10^3} = 4.53 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

Considerando que la carga de artesa para el material seleccionado es del 45% (Tabla de clasificación del material), el volumen que ocupa el alimento ( $V_{\dot{m}}$ ) es un 45% el volumen interno del helicoidal ( $V_h$ ) en una revolución.

$$V_h = \frac{V_{\dot{m}}}{0.45} = 1.006 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

A su vez el volumen interno libre del helicoidal ( $V_h$ ) está dada por:

$$V_h = \frac{\pi}{4}(D_h^2 - d_h^2)p$$

Donde:

$d_h$  es el diámetro interno del helicoidal o diámetro de árbol, [m]

$D_h$  es el diámetro externo del helicoidal:  $D_h = 0.06 \text{ m}$

$n$  es la velocidad de giro del helicoidal:  $n = 70 \text{ rpm} = 1.167 \text{ rev/s}$

$p$  es el paso del helicoidal:  $p = 0.04 \text{ m}$

Al reemplazar el valor de las variables en la ecuación de  $V_h$ , y despejando para el diámetro interno ( $d_h$ ) del helicoidal, se obtiene:

$$1.006 * 10^{-4} = \frac{\pi}{4}(0.06^2 - d_h^2) * 0.04$$

$$d_h = 0.020 \text{ m}$$

Finalmente, también podemos deducir la ecuación para el diámetro interno:

$$d_h = \sqrt{D_h^2 - \frac{4Q}{7.5\pi\rho_a np}} = \sqrt{0.06^2 - \frac{4 * 35}{7.5\pi(662.6) * 70 * 0.04}} = 0.020 \text{ m}$$

El material con un tamaño comercial cercano y no mayor al diámetro interno calculado, es un tubo redondo galvanizado ASTM A500 de 3/8" x 1.8 mm

#### **4.3.2.5 Longitud del alimentador helicoidal**

Como el objetivo del alimentador helicoidal es únicamente regular la cantidad de salida del alimento, su longitud deberá ser solo el necesario para esta acción. Para ello, se asume que el helicoidal tendrá 3 pasos, con árbol y eje del helicoidal unidos en una sola pieza debido al reducido tamaño que se tiene, Por tanto, la longitud del alimentador helicoidal ( $L_t$ ) está dado por:

$$L_t = L_h + L_e$$

Donde:

$L_h$  es la longitud del cuerpo de la helicoidal:  $L_h = N^\circ \text{ pasos} * \text{paso}$

$$L_h = 3 * 0.04 = 0.12 \text{ m}$$

$L_e$  es la longitud de los apoyos para el eje del helicoidal, se asume  $L_e = 0.03 \text{ m}$ .

Reemplazando el valor de las variables en la ecuación de la longitud del alimentador helicoidal, se obtiene:

$$L_t = 0.12 \text{ m} + 0.03 \text{ m}$$

$$L_t = 0.15 \text{ m}$$

#### **4.3.2.6 Artesa del alimentador helicoidal**

Tomando como referencia el manual Martín para tipos de artesa (pág. 52) se selecciona una artesa de tipo tubular debido a que ofrece mayor protección frente a la intemperie.

El diámetro interior de la artesa debe ser ligeramente mayor al diámetro del helicoidal ( $d_{ar} \geq D_h$ ), por lo que se considera un diámetro de artesa  $d_{ar} = 0.062 \text{ m}$ , para la longitud de la artesa se considera  $l_{ar} = 0.13 \text{ m}$ , la cual permite alojar completamente el helicoidal.

#### **4.3.3 Material del alimentador helicoidal**

Para determinar el material adecuado para el helicoidal y sus componentes, se considera asumir materiales similares al de un transportador estándar pequeño de 4" de diámetro (Manual Martín, pág. 54), donde el material para el helicoidal es un acero inoxidable de 3/32" (2.38 mm) y para la artesa un acero calibre 16 (1.58 mm). Tomando en cuenta esto, el material elegido para el helicoidal es una chapa de acero galvanizado ASTM A653 de 2.0 mm y para la artesa una chapa de acero galvanizado ASTM A653 de 1.5 mm, cuyo grado de recubrimiento en ambos casos es G60.

#### **4.3.4 Potencia requerida por el alimentador helicoidal**

Para determinar la potencia requerida por el dosificador, se considera la potencia para girar el alimentador helicoidal en vacío, la potencia para desplazar el alimento y la potencia para vencer la fricción del alimento en la base del silo; además de ello se debe considerar el factor de sobrecarga

y la eficiencia de transmisión de potencia, como se muestra en la ecuación 4.14 (basada en la ecuación dada por el Manual Martín, pág. 23).

$$HP_h = \frac{(HP_v + HP_m + HP_f)f_0}{e} \quad ( 4.14 )$$

Donde:

$HP_h$  es la potencia requerida por el alimentador helicoidal, [HP].

$HP_v$  es la potencia para mover el helicoidal en vacío, [HP].

$HP_m$  es la potencia para mover el alimento, [HP].

$HP_f$  es la potencia para vencer la fricción en la base del silo, [HP].

$f_0$  es el factor de sobrecarga.

$e$  es la eficiencia de transmisión.

#### 4.3.4.1 Potencia para mover el helicoidal en vacío ( $HP_v$ )

Para determinar la potencia necesaria para mover el helicoidal en vacío ( $HP_v$ ) se utiliza la ecuación 4.15 (Manual Martín, pág. 23).

$$HP_v = \frac{L_t N F_d F_b}{10^6} \quad ( 4.15 )$$

Donde:

$HP_v$  es la potencia para mover el helicoidal, [HP].

$L_t$  es la longitud del cuerpo del helicoidal, [ft]:  $L = 12 \text{ cm} = 0.394 \text{ ft}$

$N$  es la velocidad de operación del tornillo, [rpm]:  $N = 70 \text{ rpm}$

$F_d$  es un factor del diámetro del helicoidal (Tabla 20), aproximando para 4":  $F_d = 12$

$F_b$  es un factor del tipo de buje para el eje (Tabla 20), para rodamientos:  $F_b = 1$

**Tabla 20**

Factor de diámetro  $F_d$  y factor del buje  $F_b$  según el diámetro del helicoidal.

Factor del Diámetro del Transportador, $F_d$		Factor del Bujes para Colgante, $F_b$	
Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Factor $F_d$	Tipo de Bujes	Factor del Bujes para Colgante $F_b$
4	12.0	B Rodamiento de Bolas	1.0
6	18.0	L <i>Martin</i> Bronce	
9	31.0	S * Bronce Grafitado * Bronce, Impregnado en Aceite * Madera, Impregnado en Aceite * Nylatron * Nylon * Teflón * UHMW * Melamine (MCB) * Ertalyte® Quadrent * Uretano	2.0
10	37.0		
12	55.0		
14	78.0		
16	106.0		
18	135.0		
20	165.0		
24	235.0		
30	365.0		
36	540.0		

Fuente: Adaptada del Manual Martín, pág. 23.

Al reemplazar el valor de las variables en la ecuación de  $HP_v$ , se obtiene:

$$HP_v = \frac{0.394 * 70 * 12 * 1}{10^6}$$

$$HP_v = 3.31 * 10^{-4} HP$$

#### 4.3.4.2 Potencia para mover el alimento ( $HP_m$ )

Para determinar la potencia necesaria para mover el alimento a través de la artesa ( $HP_m$ ), se utiliza la ecuación 4.16 (Manual Martín, pág. 23).

$$HP_m = \frac{QLF_f F_m F_p}{10^6} \quad (4.16)$$

Donde:

$Q$  es la capacidad de dosificación, [ $\frac{lb}{h}$ ]:  $Q = 35 \frac{g}{s} = 277.8 \frac{lb}{h}$

$L$  es la distancia de desplazamiento del alimento, [ $ft$ ]:  $L = 12 \text{ cm} = 0.394 \text{ ft}$

$F_f$  es el factor del tipo de helicoidal (tabla 21), para helicoidal estándar:  $F_f = 1$

$F_m$  es el factor del material a mover (tabla de características del material):  $F_m = 0.5$

$F_p$  es el factor de las paletas (no utilizado en el proyecto):  $F_p = 1$

**Tabla 21***Factor del tipo de helicoidal*

Factor $F_f$				
Tipo de Helicoidal	$F_f$ Factor por porcentaje de carga de transportador			
	15%	30%	45%	95%
Estándar	1.0	1.0	1.0	1.0
Helicoidal con Corte	1.10	1.15	1.20	1.3
Con Corte y Doblez	N.R.*	1.50	1.70	2.20
Helicoidal de Listón	1.05	1.14	1.20	—

Fuente: Adaptada del manual Martín, pág. 24.

Al reemplazar el valor de las variables en la ecuación de  $HP_m$ , se obtiene:

$$HP_m = \frac{277.8 * 0.394 * 1 * 0.5 * 1}{10^6}$$

$$HP_m = 5.47 \times 10^{-5} \text{ HP}$$

#### 4.3.4.3 Potencia de fricción en la base del silo ( $HP_f$ )

La potencia de fricción ( $HP_f$ ) es debido a la resistencia que ofrece el material granular al giro de la helicoidal, está dada por la ecuación 4.17 (Mott, 2006, pág. 852).

$$HP_f = T_f \omega_t \quad (4.17)$$

Donde:

$HP_f$  es la potencia de fricción, [W]

$T_f$  es el par torsional de fricción, [N.m]

$\omega_t$  es la velocidad de giro del eje del helicoidal, [rad/s]:  $\omega_t = 7.33 \text{ rad/s}$

La presión del alimento sobre la helicoidal en la base del silo origina un par torsional de fricción ( $T_f$ ), la cual está dada por la ecuación 4.18 (Mott, 2006, pág. 851).

$$T_f = \mu N R_m \quad (4.18)$$

Donde:

$\mu$  es el coeficiente de fricción entre el alimento y la superficie del helicoidal:  $\mu = 0.28$

$N$  es la fuerza normal debido a la presión sobre el helicoidal, [N].

$R_m$  del eje del helicoidal, esta distancia varía según el llenado del material, [m]

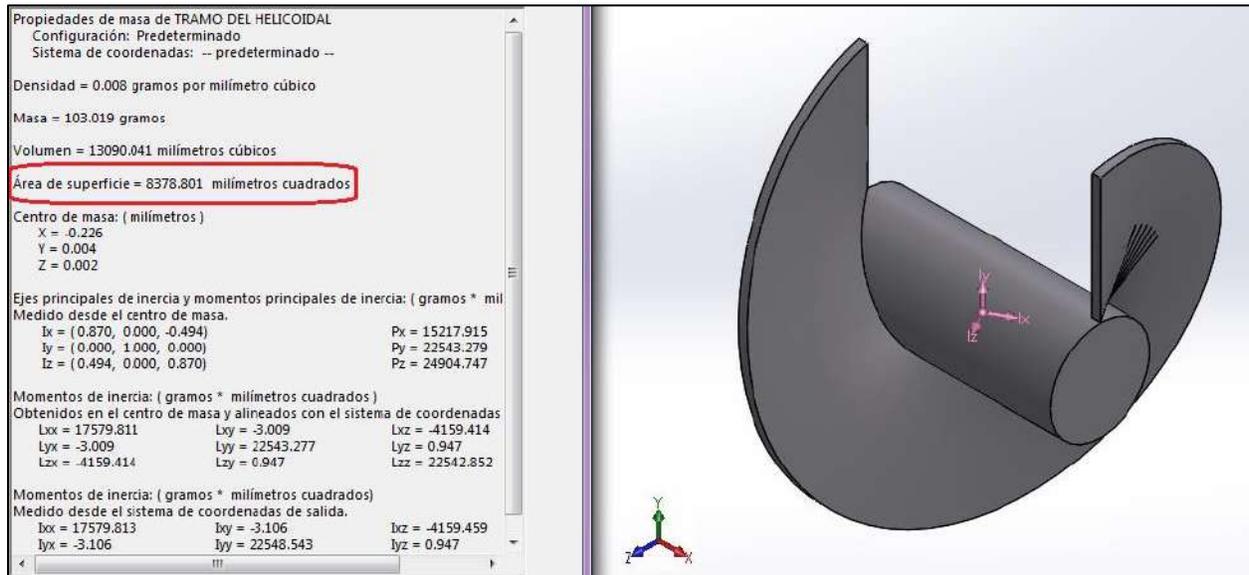
El valor de  $N$  se determina de la presión en la base del silo ( $P_v(h) = 1542.6 Pa$ ) multiplicada por el área sobre la que actúa ( $A_{st}$ ):

$$N = P_v(h) * A_{st}$$

EL área  $A_{st}$  es la superficie del tramo del helicoidal que está debajo de la descarga de la tolva, este tramo se asume igual al diámetro de descarga del silo (40 mm). El valor  $A_{st}$  se obtiene con la ayuda del modelo del tramo del helicoidal en el software de dibujo (Figura 44).

**Figura 44**

*Modelado del tramo helicoidal, debajo del diámetro de descarga de la tolva*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Realizando un ajuste del valor del área obtenida en el software, porque no se considera las áreas transversales del eje, se obtiene el  $A_{st}$  en [m<sup>2</sup>]:

$$A_{st} = 8.379 * 10^{-3} - 2\left(\pi * \frac{0.017^2}{4}\right)$$

$$A_{st} = 7.93 * 10^{-3} m^2$$

Con ello, el valor para  $N$  resulta:

$$N = 1542.6 * 7.93 * 10^{-3} = 12.2 N$$

Por otro lado, el valor de  $R_m$  es un valor promedio de las distancias para cada par torsional que se produce en un punto de la superficie. Esta distancia, según Aguilar Parés (Revista de ingeniería mecánica, 1999) toma un valor aproximado de 0.4 veces el diámetro exterior del helicoidal, esto simplificando el cálculo sin dejar de lado la seguridad, con lo que se obtiene:

$$R_m = 0.4 D_t = 0.4 * 0.06$$

$$R_m = 0.024 m$$

Con lo cual, el valor del par torsional de fricción  $T_f$  resulta:

$$T_f = 0.28 * 12.2 * 0.024 = 0.082 N.m$$

Finalmente, la potencia de fricción  $P_f$  queda:

$$HP_f = 0.082 * 7.33 = 0.601 W$$

Cuya equivalencia en [HP] es:

$$HP_f = 8.06 * 10^{-4} HP$$

#### **4.3.4.4 Factor de sobrecarga y eficiencia de transmisión**

Para determinar el factor de sobrecarga se debe conocer primero el valor de la suma de potencias intervinientes en el elemento:

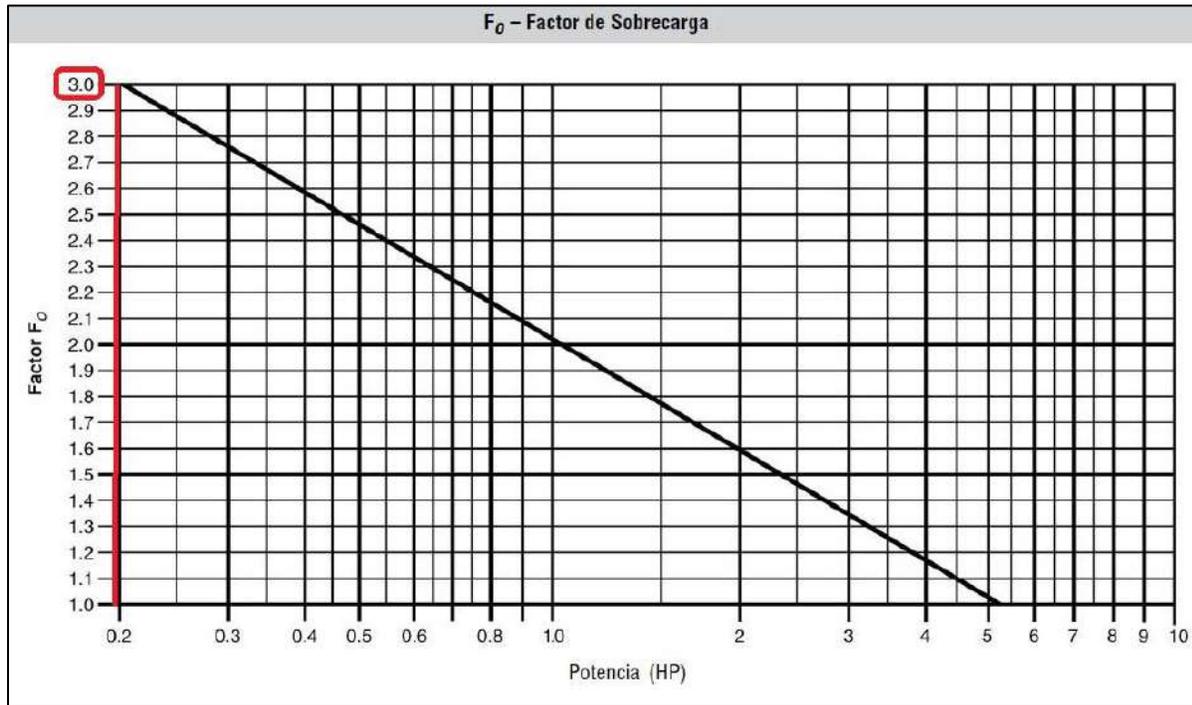
$$HP_v + HP_m + HP_f = 3.31 * 10^{-4} + 5.47 * 10^{-5} + 8.06 * 10^{-4}$$

$$HP_v + HP_m + HP_f = 1.19 * 10^{-3} HP$$

Con el valor de la suma de potencias, se determina el factor de sobrecarga ( $F_0$ ) utilizando la tabla 22.

**Tabla 22**

*Factor de sobrecarga de potencia*



*Fuente:* Adaptada del Manual Martín, pág. 24

Para una potencia relativamente pequeña ( $1.19 \times 10^{-3} \text{ HP}$ ) le corresponde  $F_0 = 3$ .

La transmisión de potencia será por medio de un motorreductor con su eje unido al eje del helicoidal a través de un cople, cuya eficiencia de transmisión se determina de la tabla 23.

**Tabla 23**

*Eficiencia de transmisión de potencias*

Factor de Eficiencia (e) de las Transmisiones				
Transmisión para Transportador Helicoidal o Montado en Eje con Transmisión de Bandas en "V"	Reductor de Engranés Helicoidales con Transmisión de Bandas en V y Cople	Motorreductor con Cople	Motorreductor con Transmisión de Cadena	Corona Sinfín
.88	.87	.95	.87	Consulte a <i>Martín</i>

*Fuente:* Adaptada del Manual Martín, pág. 24

Según la tabla, para una transmisión con motorreductor con cople:  $e = 0.95$

Finalmente, al reemplazar el valor de las variables en la ecuación de la potencia requerida por el helicoidal ( $HP_h$ ), se obtiene:

$$HP_h = \frac{1.19 * 10^{-3} * 3}{0.95} = 3.76 * 10^{-3} HP$$

La potencia  $HP_h$  expresada en  $[W]$  es:

$$HP_h = 2.80 W$$

#### 4.3.4.5 Torque de accionamiento del alimentador helicoidal

El torque de accionamiento del alimentador helicoidal ( $T_h$ ) se deduce de la ecuación de potencia de giro ( $HP_h$ ):

$$T_h = \frac{HP_h}{\omega}$$

Donde:

$T_h$  es el torque requerido por el alimentador helicoidal,  $[N.m]$

$HP_h$  es la potencia requerida por el alimentador helicoidal,  $[W]$ :  $HP_h = 2.80 W$

$\omega$  es la velocidad de giro del eje del helicoidal,  $[rad/s]$ :  $\omega = 7.33 \frac{rad}{s}$

Reemplazando en la ecuación del torque, se obtiene:

$$T_h = \frac{2.80}{7.33} = 0.382 N.m$$

#### 4.3.4.6 Cálculo del eje del alimentador helicoidal según el código ASME

Al estar el eje del alimentador helicoidal sometido a flexión y torsión, el diámetro requerido del eje de acuerdo al código ASME está dado por la ecuación 4.19.

$$d = \left\{ \frac{5.1}{\tau_{max}} [(C_m M)^2 + (C_t T)^2]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad ( 4.19 )$$

Donde:

$d$  es el diámetro del eje, en  $[cm]$

$\tau_{max}$  es la tensión máxima de corte permisible, en  $[\frac{kg}{cm^2}]$ .

$C_m$  y  $C_t$  son coeficientes que dependen del tipo de carga (tabla 24).

$M$  y  $T$  es el momento flector y torsor respectivamente, en  $[kg.cm]$ .

**Tabla 24**

Valores del coeficiente del momento flector y momento torsor.

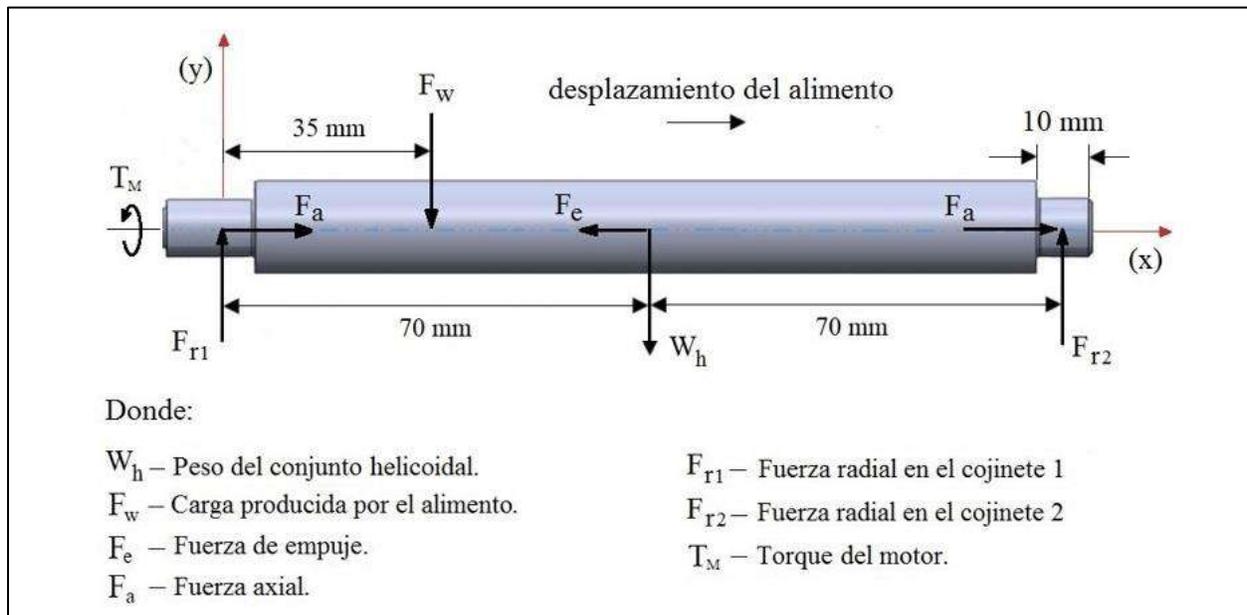
Tipo de carga	$C_m$	$C_t$
Eje estacionario:		
Carga aplicada gradualmente.....	1,0	1,0
Carga aplicada de repente.....	1,5-2,0	1,5-2,0
Eje giratorio:		
Carga aplicada gradualmente.....	1,5	1,0
Carga constante.....	1,5	1,0
Carga aplicada de repente, en choque ligero.....	1,5-2,0	1,0-1,5
Carga aplicada de repente, con choque fuerte.....	2,0-3,0	1,5-3,0

Fuente: Adaptado de Cortizo et. al. (Elementos de Maquina Teoría y Problemas).

Para determinar los esfuerzos presentes en el eje del alimentador helicoidal, se realiza un diagrama de cuerpo libre de las fuerzas actuantes sobre el eje, como se muestra en la figura 45.

**Figura 45**

Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas actuantes sobre el eje del helicoidal



Fuente: Elaboración propia del autor.

Del análisis del diagrama de cuerpo libre del alimentador helicoidal, se obtiene las siguientes ecuaciones de equilibrio:

Para  $\sum F_y = 0$ , se obtiene:  $F_{r1} + F_{r2} = W_h + F_w$

Para  $\sum M_1 = 0$ , se obtiene:  $F_{r2} = \frac{0.035F_w + 0.07W_h}{0.14}$

Para  $\sum F_x = 0$ , se obtiene:  $F_a = \frac{F_e}{2}$

La carga producida por el alimento  $F_w$ , se determina del producto de la presión vertical en el fondo del silo  $P_v(h) = 1542.6 \text{ Pa}$  con la sección de descarga del silo  $A_d$  en  $m^2$ :

$$F_w = P_v(h) * A_d = 1542.6 * \frac{\pi(0.04)^2}{4}$$

$$F_w = 1.94 \text{ N}$$

El peso del conjunto helicoidal  $W_h$  se determina a partir del modelado en el software de dibujo, mostrado en la figura 46.

### Figura 46

*Modelado del conjunto helicoidal identificando su masa.*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

$$W_h = m * g = 0.221 \text{ kg} * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_h = 2.17 \text{ N}$$

Al reemplazar el valor  $W_h$  y  $F_w$ , en las ecuaciones de equilibrio, para  $F_{r2}$  se obtiene:

$$F_{r2} = \frac{0.035(1.94) + 0.07(2.17)}{0.14} = 1.57 \text{ N}$$

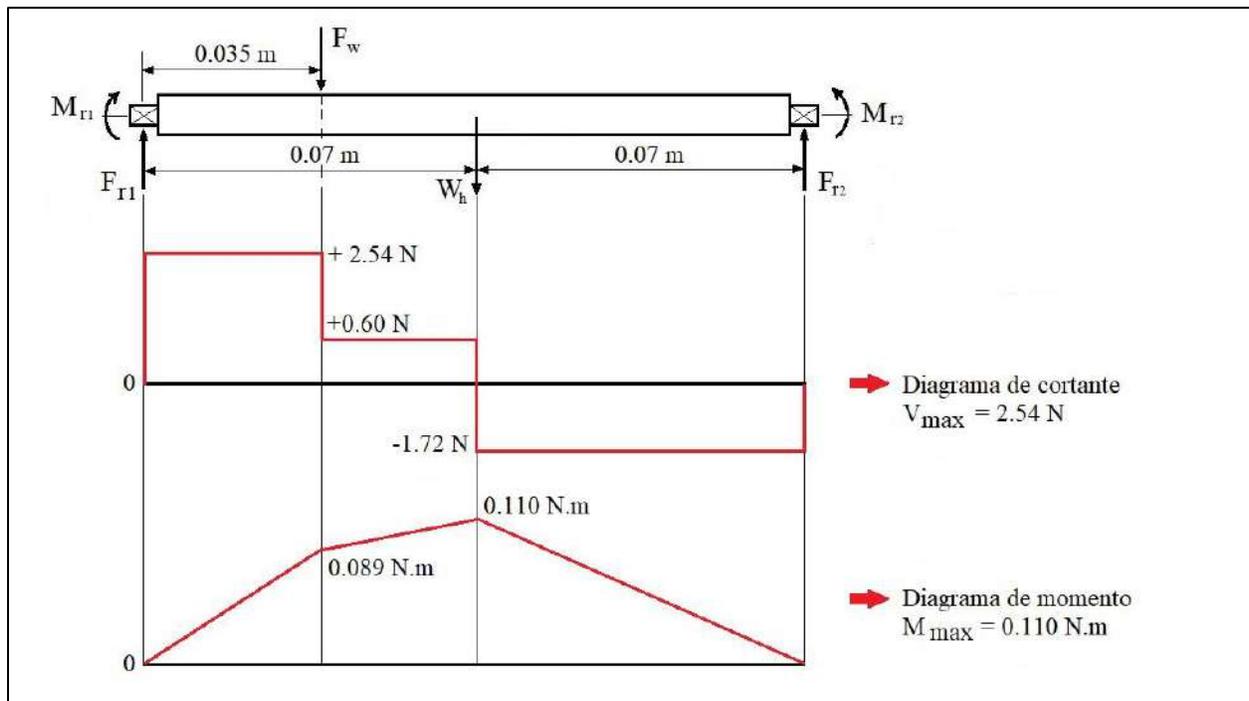
De igual manera, para  $F_{r1}$  se obtiene:

$$F_{r1} = 2.17 + 1.94 - 1.57 = 2.54 \text{ N}$$

Ya establecido las fuerzas actuantes en el eje del alimentador helicoidal, se procede a determinar los valores máximos de cortante y momento de sus respectivos diagramas, mostrado en la figura 47.

**Figura 47**

*Diagrama de momentos y fuerzas cortantes sobre el eje del alimentador*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

El código ASME define una tensión de corte permisible equivalente al menor valor de:

$$\tau_d = 0.30 S_{yt}$$

$$\tau_d = 0.18 S_{ut}$$

Para el material utilizado en el eje del alimentador helicoidal, se tiene considerado una barra de acero ASTM A-36:

- $S_{yt} = 250 \text{ Mpa}$ , le corresponde  $\tau_d = 0.30 * 250 = 75 \text{ Mpa}$ .

- $S_{ut} = 550 \text{ Mpa}$ , le corresponde  $\tau_d = 0.18 * 550 = 99 \text{ Mpa}$ .

Por tanto, el valor de las variables intervinientes para la ecuación del diámetro de eje es:

- Tensión máxima de corte asumido  $\tau_d = 75 \text{ Mpa} = 764.8 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
- Momento torsor:  $T = 0.382 \text{ N.m} = 3.90 \text{ kg.cm}$
- Momento flector:  $M = 0.110 \text{ N.m} = 1.12 \text{ kg.cm}$
- $C_m = 2$  y  $C_t = 1.5$  del código ASME.

Reemplazando el valor de las variables en la ecuación del diámetro del eje, se obtiene:

$$d = \left\{ \frac{5.1}{764.8} [(2 * 1.12)^2 + (1.5 * 3.90)^2]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = 0.347 \text{ cm} = 3.47 \text{ mm}$$

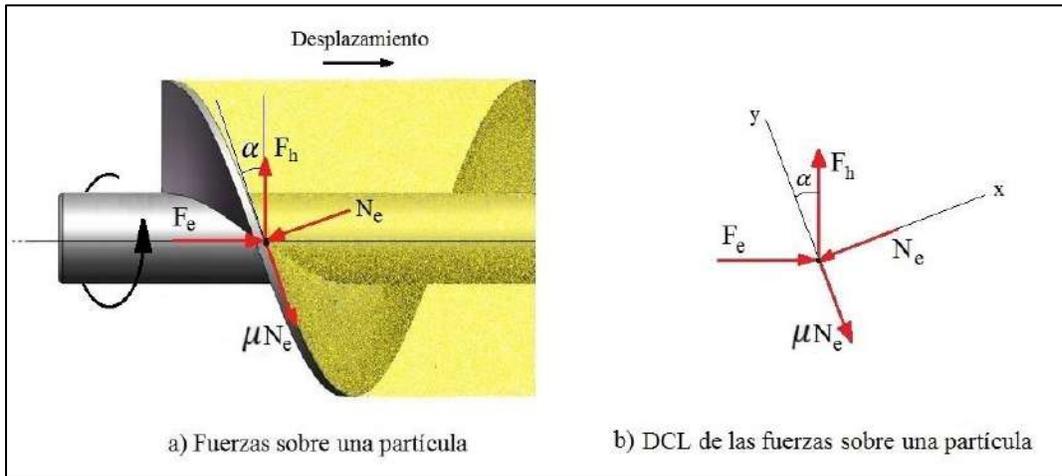
Por tanto, el diámetro del eje del helicoidal debe tomar un valor mayor o igual a  $3.47 \text{ mm}$ .

#### 4.3.4.7 Fuerza de empuje del alimentador helicoidal

Para ello se realiza un análisis de fuerzas sobre el helicoidal (figura 48).

**Figura 48**

*Fuerzas intervinientes en la interacción del alimento con el helicoidal.*



Fuente: Elaboración propia del autor

Del DCL de fuerzas sobre el alimento, se obtiene las siguientes ecuaciones:

$$N = F_h \text{ sen } \alpha + F_e \text{ cos } \alpha$$

$$\mu N = F_h \cos \alpha - F_e \sin \alpha$$

Despejando  $F_e$  en función de  $F_h$ , se obtiene:

$$F_e = F_h \frac{(\cos \alpha - \mu \sin \alpha)}{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}$$

Donde:

$F_h$  es la fuerza del par torsional del helicoidal:

$$F_h = \frac{T_h}{0.4D_h} = \frac{0.382}{0.4 * 0.06} = 15.9 \text{ N}$$

$\mu$  es el coeficiente de fricción entre la helicoidal y el alimento:  $\mu = 0.28$

$\alpha$  es el ángulo de la helicoidal.

El ángulo de la hélice del tornillo se determina a partir de la ecuación:

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{p}{L_c} \right)$$

Siendo  $p$  es el paso del tornillo:  $p = 4 \text{ cm}$  y  $L_c$  la longitud de circunferencia del helicoidal:

$L_c = \pi D_h = 18.85 \text{ cm}$ , con lo cual el ángulo resulta:

$$\alpha = 12.0^\circ$$

Al reemplazar el valor de las variables en la ecuación de fuerza de empuje  $F_e$ , se obtiene:

$$F_e = 15.9 * \frac{\cos(12^\circ) - 0.28 \sin(12^\circ)}{\sin(12^\circ) + 0.28 \cos(12^\circ)} = 15.9 * 1.91$$

$$F_e = 30.4 \text{ N}$$

La fuerza de empuje  $F_e$  será soportada por dos cojinetes ubicados en los extremos del eje del alimentador helicoidal. Para cojinetes iguales, la fuerza axial  $F_a$  que actúa sobre cada una está dada por:

$$\sum F_x = 0, \text{ se obtiene: } F_a = \frac{F_e}{2}$$

$$F_a = \frac{30.4}{2} = 15.2 \text{ N}$$

#### 4.3.5 Selección de motor para el alimentador helicoidal

Los parámetros para la selección del motor son:

- Tipo de corriente: DC
- Torque:  $0.382 \text{ N.m} = 38.2 \text{ N.cm}$
- Velocidad:  $70 \text{ rpm}$
- Potencia:  $2.8 \text{ W}$

El motor comercial que cumple los parámetros requeridos es un Motorreductor RS PRO 834-7631, cuyas especificaciones se muestran en la tabla 25.

**Tabla 25**

*Especificaciones técnicas del Motorreductor RS PRO 834-7631*

Output Speed	72 rpm
Supply Voltage	12 V dc
Maximum Output Torque	6000 g.cm
DC Motor Type	Brushed
Shaft Diameter	6mm
Power Rating	7 W
Gearhead Type	Spur
Length	70.9mm
Width	37mm
Current Rating	840 mA
Weight	211g

*Fuente:* Adaptada de la ficha técnica de RS PRO de RS componentes.

#### 4.3.6 Selección de cojinetes para el eje del alimentador

Para posicionar el helicoidal dentro de la artesa y poder transmitirse la potencia de manera eficiente, es necesario utilizar cojinetes. Para determinar el tipo de cojinetes, previamente se describe los parámetros necesarios para su selección:

- Diámetro del eje del helicoidal:  $d \geq 3.47 \text{ mm}$
- Cargas: existen cargas combinadas, las cuales son:  
Rodamiento 1:  $F_{r1} = 2.54 \text{ N}$  y  $F_a = 15.2 \text{ N}$

Rodamiento 2:  $F_{r2} = 1.57 \text{ N}$  y  $F_a = 15.2 \text{ N}$

- Velocidad del eje:  $70 \text{ rpm}$

Considerando estos parámetros, una elección tentativa es un rodamiento rígido de bolas, para el cual se determina y verifica sus características y condiciones de funcionamiento utilizando el catálogo SKF (publicación 17001/1). Tomando como referencia el diámetro del eje del motor  $6 \text{ mm}$ , cuyo valor cumple con la condición del diámetro del eje del helicoidal, el rodamiento que corresponde se muestra en la tabla 26.

**Tabla 26**

*Rodamientos rígidos de bolas de una hilera para  $d = 6 \text{ mm}$*

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominates		Masa	Designaciones Rodamiento		Factores de cálculo	
d	D	B	dinámica C	estática $C_0$	$P_u$	Velocidad de referencia	Velocidad límite <sup>1)</sup>		abierto o tapado en ambos lados	tapado en un lado <sup>1)</sup>	$k_f$	$f_0$
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-	-	-	
6	13	3,5	0,715	0,224	0,01	110 000	67 000	0,002	618/6	-	0,015	7
	13	5	0,88	0,35	0,015	110 000	53 000	0,0026	628/6-2Z	-	0,015	11
	15	5	0,884	0,27	0,011	100 000	50 000	0,0039	619/6-2Z	-	0,02	6,8
	15	5	0,884	0,27	0,011	100 000	63 000	0,0039	619/6	-	0,02	6,8
	19	6	2,34	0,95	0,04	80 000	50 000	0,0081	▶ 626	-	0,025	13
	19	6	2,34	0,95	0,04	-	24 000	0,0083	▶ 626-2RSH	626-RSH	0,025	13
19	6	2,34	0,95	0,04	80 000	40 000	0,0083	▶ 626-2RSL	626-RSL	0,025	13	
19	6	2,34	0,95	0,04	80 000	40 000	0,0088	▶ 626-2Z	626-Z	0,025	13	

Fuente: Adaptado del catálogo SKF, pág. 260 de la publicación 17001/1.

De la tabla de rodamientos rígidos para  $d = 6 \text{ mm}$ , se ha seleccionado un rodamiento de designación  $626 - 2RSL$ , el cual tiene sellos de baja fricción en ambos lados que evita la invasión de partículas y una aceptable exclusión del agua (catálogo SKF, pág. 242).

Como primer paso, se verifica la capacidad de carga axial del rodamiento (catálogo SKF, pág. 254):

$$F_a \leq 0.25C_0$$

$C_0$  se obtiene de la tabla del rodamiento:  $C_0 = 0.95 \text{ kN} = 950 \text{ N}$

$$F_a \leq 0.25 * 950$$

$$15.2 N \leq 237.5 N$$

El rodamiento si cumple la capacidad de carga axial.

El siguiente paso, debido a que el tamaño del rodamiento se ha seleccionado a partir del diámetro del eje y no por la carga, se debe verificar que la carga equivalente ( $P$ ) del helicoidal sea mayor a la carga mínima requerida ( $F_{rm}$ ), esto para evitar resbalamiento entre los elementos rodantes y la pista del rodamiento (Catálogo de SKF, pág. 106).

$$P \geq F_{rm}$$

La carga mínima requerida en la que puede ocurrir resbalamiento ( $F_{rm}$ ) está dada según la ecuación 4.20 (Catálogo de SKF, pág. 106).

$$F_{rm} = 0.01C \quad ( 4.20 )$$

Siendo  $C = 2.34 \text{ kN}$  (Tabla de rodamiento), por lo cual se obtiene:

$$F_{rm} = 0.01 * 2340 = 23.4 N$$

La carga equivalente ( $P$ ) está dada por la ecuación 4.21 (Catálogo de SKF, pág. 92).

$$P = XF_r + YF_a \quad ( 4.21 )$$

Para determinar el valor de  $X$  y  $Y$  se debe calcular  $\frac{f_0 F_a}{C_0}$ , donde  $f_0$  y  $C_0$  son variables que se obtienen de la tabla del rodamiento.

Para  $f_0 = 13$  y  $C_0 = 950 N$  y el valor de la fuerza axial  $F_a = 15.2 N$ , se obtiene:

$$\frac{f_0 F_a}{C_0} = \frac{13 * 15.2}{950} = 0.208$$

Con el valor de  $\frac{f_0 F_a}{C_0}$  se obtiene el valor para  $X$  y  $Y$  de la tabla de factores de cálculo del rodamiento (Tabla 27).

**Tabla 27**

*Factores de cálculo para rodamientos rígidos de bolas*

Factores de cálculo para rodamientos rígidos de bolas									
$f_0 F_a / C_0$	Rodamientos de una hilera y de dos hileras Juego normal			Rodamientos de una hilera Juego C3			Juego C4		
	e	X	Y	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,3	0,29	0,46	1,88	0,38	0,44	1,47
0,345	0,22	0,56	1,99	0,32	0,46	1,71	0,4	0,44	1,4
0,689	0,26	0,56	1,71	0,36	0,46	1,52	0,43	0,44	1,3
1,03	0,28	0,56	1,55	0,38	0,46	1,41	0,46	0,44	1,23
1,38	0,3	0,56	1,45	0,4	0,46	1,34	0,47	0,44	1,19
2,07	0,34	0,56	1,31	0,44	0,46	1,23	0,5	0,44	1,12
3,45	0,38	0,56	1,15	0,49	0,46	1,1	0,55	0,44	1,02
5,17	0,42	0,56	1,04	0,54	0,46	1,01	0,56	0,44	1
6,89	0,44	0,56	1	0,54	0,46	1	0,56	0,44	1

Fuente: Adaptado del catálogo SKF, publicación 17001/1, pág. 257

De la tabla de factores de cálculo:  $X = 0.56$

El valor para  $Y$  se obtiene interpolando:

$$\frac{Y - 2.3}{1.99 - 2.3} = \frac{0.208 - 0.172}{0.345 - 0.172}$$

$$Y = 2.24$$

Con ello, la carga equivalente  $P$  en cada rodamiento resulta:

$$P_1 = X F_{r1} + Y F_a = 0.56 * 2.54 + 2.24 * 15.2$$

$$P_1 = 35.47 \text{ N}$$

$$P_2 = X F_{r2} + Y F_a = 0.56 * 1.57 + 2.24 * 15.2$$

$$P_2 = 34.93 \text{ N}$$

Con ello, se verifica la condición de resbalamiento para cada rodamiento:

$$P_1 \geq F_{rm}$$

$$35.47 \text{ N} \geq 23.4 \text{ N}$$

$$P_2 \geq F_{rm}$$

$$34.93 \text{ N} \geq 23.4 \text{ N}$$

La condición se cumple para ambos casos, lo que significa que no habrá resbalamiento debido a una carga insuficiente.

Finalmente, la vida útil basado en la norma ISO 281 (Catálogo de SKF, pág. 89) es:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

Siendo  $p = 3$  para rodamientos de bolas, se obtiene:

$$L_{10} = \frac{10^6}{60 * 70} \left( \frac{2340}{35.47} \right)^3 = 6.84 * 10^7 \text{ horas}$$

Se concluye finalmente, que los rodamientos de bola de una hilera de clase 626 – 2RSL que fueron seleccionados, garantizan un adecuado funcionamiento y duración.

#### **4.4 Diseño del dispersor del equipo de alimentación**

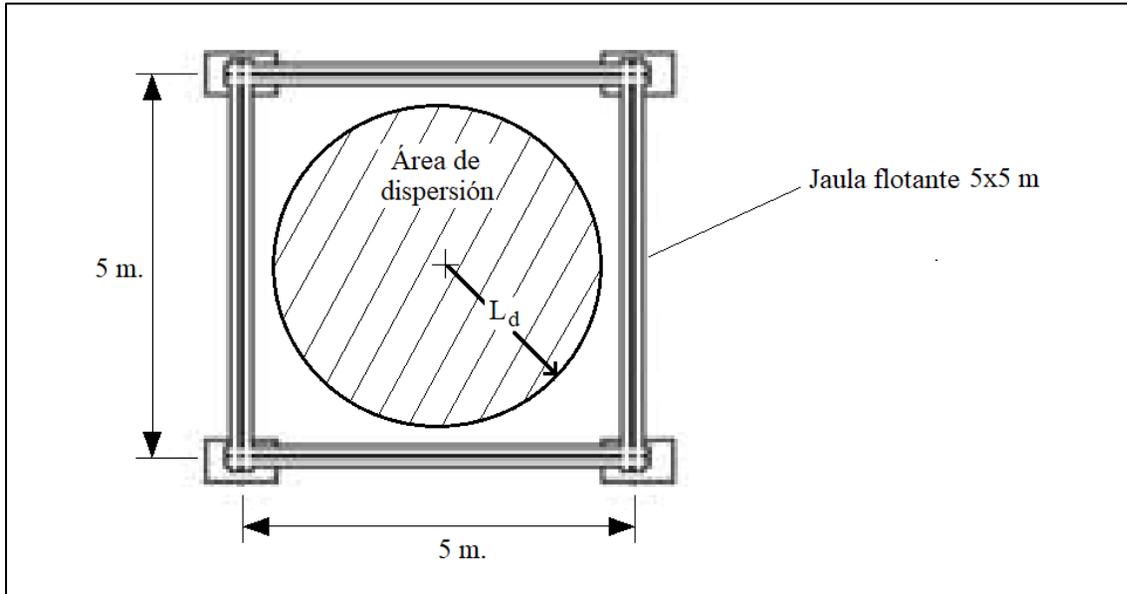
##### **4.4.1 Dispersión del alimento en la jaula de truchas**

En la alimentación de las truchas se debe procurar que el alimento sea dispersado en la mayor parte de la superficie dentro de la jaula, esto con el propósito de evitar lesiones en las truchas tras la aglomeración, desesperación y competencia por el alimento. Por otro lado, se debe considerar que el alimento de las truchas tiene la capacidad de flotar durante unos instantes antes de hundirse, si por distintos factores (corrientes de agua, vientos, olas, etc.) llegase fuera de los límites de la jaula, este alimento se convertiría en desperdicio y foco de contaminación.

Por tal razón, para el proyecto se asume un área de dispersión circular que quede contenida en la jaula y evite el desperdicio tal como se muestra en la figura 49.

**Figura 49**

*Área de dispersión del alimento*



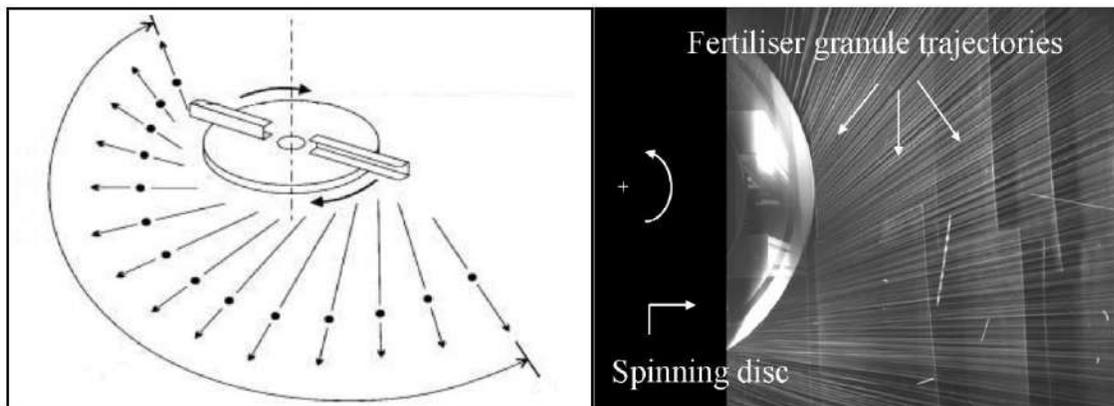
*Fuente:* Elaboración propia del autor.

#### **4.4.2 Dispersión por disco centrifugo**

La dispersión por disco centrifugo para gránulos es muy común en aplicaciones como la de fertilizantes, semillas, etc. y que permite cubrir un área circular (Figura 50).

**Figura 50**

*Dispersión de fertilizante en un disco giratorio*

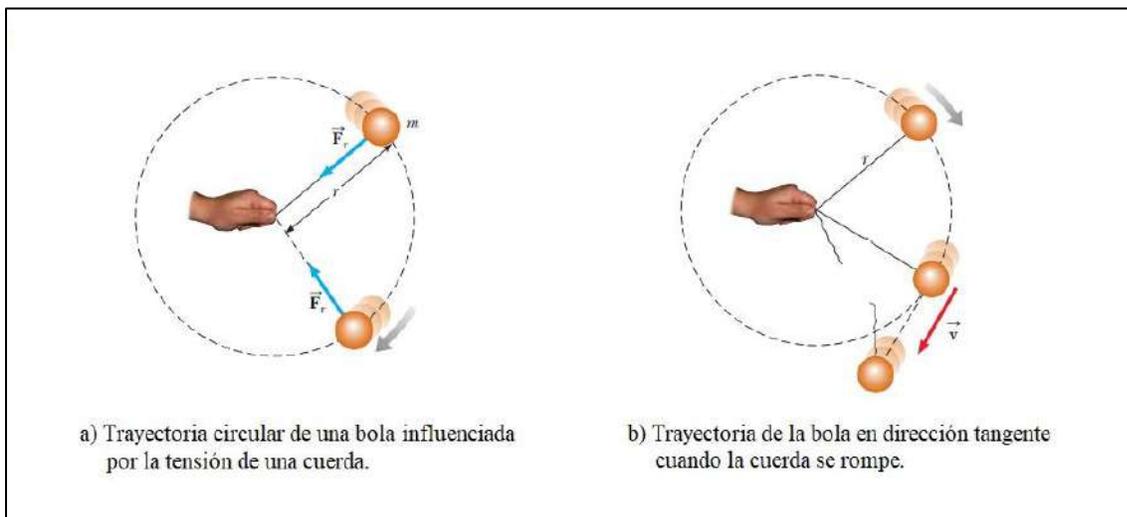


*Fuente:* Tijskens et al. 2008.

Este tipo de dispersión centrífuga se basa en el concepto de la dinámica del movimiento curvilíneo, en el cual una partícula se mueve en una trayectoria circular cuando esta influenciada por una fuerza (fuerza de fricción, fuerza gravitacional, tensión de una cuerda, etc.) conocida como fuerza centrípeta. Si esta fuerza o la combinación de ellas desaparece, según la primera ley de Newton el cuerpo continuará con el movimiento, pero en línea recta (Figura 51).

**Figura 51**

*Trayectoria de un objeto bajo una fuerza centrípeta y cuando esta desaparece.*



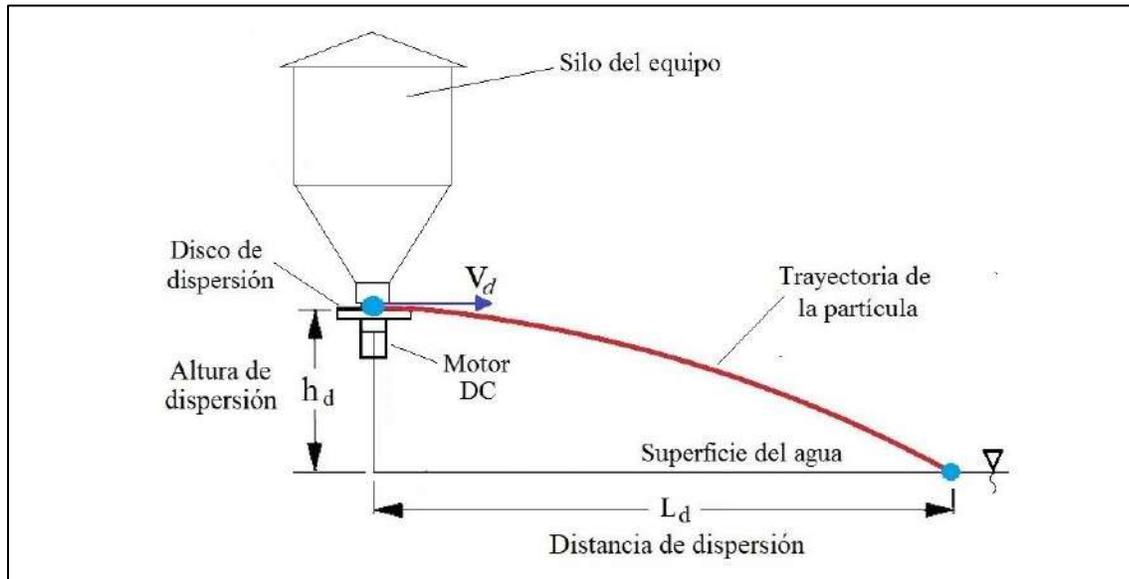
*Fuente:* Física para Ciencias e Ingeniería, Serway y Jewett, 2005, pág. 138.

Las partículas al ser proyectadas en una dirección, aún pueden estar bajo la influencia de factores como la fuerza gravitacional, la resistencia del aire, la forma y tamaño de las partículas, la segregación, etc. por lo que su trayectoria es muy difícil de predecir y solo es aplicable a situaciones que requieran mucha precisión.

Para el caso del proyecto, se puede asumir que las partículas dispersadas se encuentran solo bajo la influencia de la fuerza gravitacional, por lo que su trayectoria hacia la superficie del agua es igual a una trayectoria parabólica (Figura 52).

**Figura 52**

*Trayectoria de una partícula de alimento dispersado por un disco*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

#### **4.4.2.1 Distancia de dispersión ( $L_d$ )**

La distancia de dispersión está determinada por el tamaño de las jaulas que son de 5x5m. Se asume un área de dispersión circular con radio igual a 2m para que este quede contenido en la jaula, además de ofrecer un margen de 0.5 metros en cada lado para evitar el desperdicio de alimento debido a distintos factores (corrientes de agua, viento, olas, variación de la altura de dispersión, etc.)

$$L_d = 2 \text{ m}$$

#### **4.4.2.2 Altura de dispersión del alimento ( $h_d$ )**

La altura de dispersión del alimento se determinó a partir de un sistema de alimentación similar, siendo este el sistema de alimentación automática para cultivos de camarón (AquaExpo 2017), donde la marca de alimento NICOVITA determina que la altura de dispersión de sus pellets varía según la distancia de dispersión (Tabla 28)

**Tabla 28***Altura de dispersión de pellets NICOVITA para camarón*

<b>Usando pellets Nicovita 2.5 mm</b>		
<b>Altura sobre el agua (cm)</b>	<b>Radio de Voleo (m) D/A Eléctrico (3,200 rpm)</b>	<b>Radio de Voleo (m) D/A Solar (1600 rpm)</b>
<b>40.0</b>	<b>5.0</b>	<b>3.0</b>
<b>60.0</b>	<b>10.0</b>	<b>5.0</b>
<b>80.0</b>	<b>15.0</b>	<b>12.0</b>
<b>100.0</b>	<b>20.0</b>	<b>15.0</b>

*Fuente:* AquaExpo 2017, alimentación automática para cultivos de camarón.

Tomando como referencia la tabla de altura de dispersión para cultivo de camarón, para una distancia de dispersión (radio de voleo) cercano al que se requiere, le corresponde una altura de 40 *cm*. Esta altura de dispersión es referencial, ya que debido a la flotación del equipo variara alrededor de este valor, según el peso total del equipo.

$$h_d = 0.4 \text{ m}$$

#### **4.4.2.3 Velocidad de dispersión ( $V_d$ )**

La velocidad de dispersión de la partícula de alimento que alcanza la distancia más alejada se calcula con la ecuación de velocidad del movimiento parabólico:

$$V_d = \sqrt{\frac{g}{2h_d}} L_d$$

Donde:

$V_d$  es la velocidad a la que se proyecta el alimento, [*m/s*]

$g$  es la aceleración de la gravedad:  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

$L_d$  es la distancia de dispersión, siendo máximo en  $L_d = 2 \text{ m}$

$h_d$  es la altura de dispersión de alimento:  $h_d = 0.4 \text{ m}$

Al reemplazar el valor de las variables en la ecuación de la velocidad de dispersión de la partícula de alimento que alcanza la distancia más alejada, se obtiene:

$$V_d = \sqrt{\frac{9.81}{2 * 0.4} * 2} = 7 \text{ m/s}$$

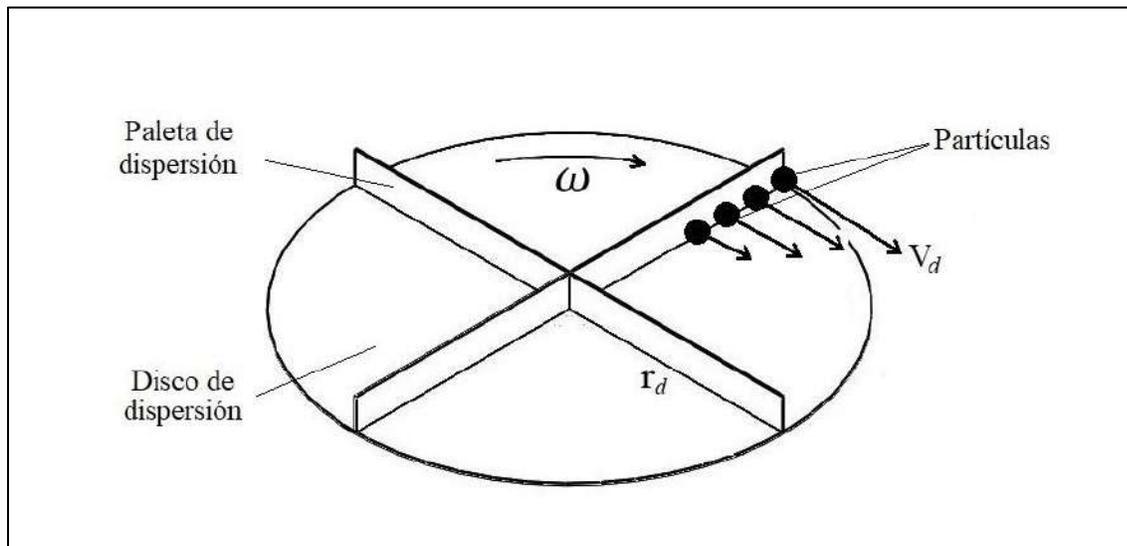
### 4.4.3 Cálculo del disco dispersor de alimento

#### 4.4.3.1 Radio del disco dispersor

Para determinar el radio del disco dispersor se analiza la velocidad de dispersión de las partículas sobre el disco, los cuales dependen del radio y la velocidad de giro (Figura 53).

#### Figura 53

*Velocidad de dispersión de las partículas de alimento en el disco.*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Para el caso de la partícula que es dispersada hacia la parte más lejana, la ecuación de su velocidad está dada por:

$$V_d = \omega_d r_d$$

Donde:

$V_d$  es la velocidad de dispersión de la partícula:  $V_d = 7 \text{ m/s}$

$r_d$  es el radio del disco dispersor en [m].

$\omega_d$  es velocidad de giro del disco dispersor, [rad/s].

Para la velocidad de giro del disco dispersor se toma como referencia la tabla 28 presentada anteriormente, donde para un equipo similar con alimentación solar le corresponde una velocidad de giro de 1600 *rpm*.

$$\omega_d = 1600 \text{ rpm} = 167.6 \text{ rad/s}$$

Al reemplazar el valor de las variables en la ecuación de velocidad y despejando para el radio del disco dispersor, se obtiene:

$$r_d = \frac{7}{167.6} = 0.042 \text{ m}$$

$$r_d = 42 \text{ mm}$$

#### **4.4.3.2 Material del disco dispersor**

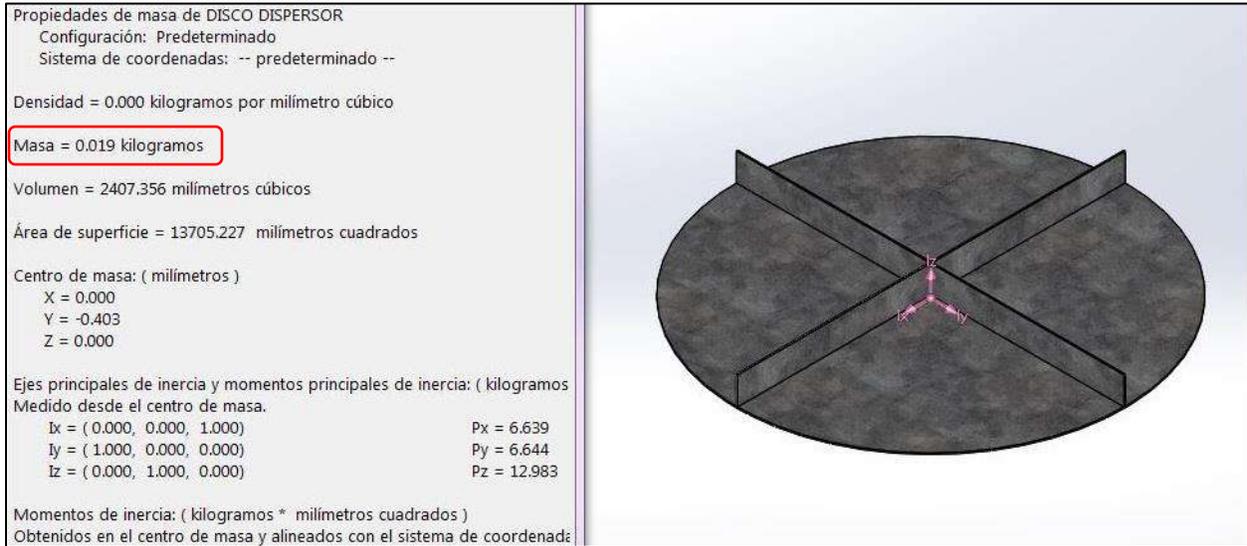
El material del disco dispersor debe tener características de rigidez, resistencia a la corrosión y facilidad de adquisición. Por ello, el material seleccionado para el disco dispersor es el mismo material del silo (chapa de acero comercial cincado ASTM A653 de 0.3 *mm*), con lo que también se logra uniformizar los materiales intervinientes en la fabricación del silo.

#### **4.4.3.3 Masa del disco dispersor**

La masa del disco dispersor se obtiene del modelado en el software de dibujo, el cual se muestra en la figura 54.

**Figura 54**

*Modelado del disco dispersor con la visualización de su masa.*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

De acuerdo a esto, el valor de la masa del disco es:

$$m_d = 0.019 \text{ kg}$$

#### 4.4.3.4 Masa máxima del alimento acumulado sobre el disco dispersor

El alimento acumulado sobre el disco dispersor forma un montículo, cuyo volumen equivale a una cierta cantidad de masa, representada por:

$$m_{ad} = \rho * V$$

Donde:

$m_{ad}$  es la masa máxima de alimento acumulado sobre el disco, [kg]

$V$  es el volumen máximo del montículo formado por el alimento, [ $m^3$ ]

$\rho$  es la densidad aparente del alimento:  $\rho = 662.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

El montículo formado tiene un ángulo de talud  $\phi_r = 37^\circ$ , cuyo volumen equivale a:

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$$

Donde:

$r$  es el radio del montículo de alimento sobre el disco, [m]:  $r = r_d = 0.042 \text{ m}$

$h$  es la altura del montículo formado, [m]:  $h = r \tan \phi_r = 0.032 \text{ m}$

Al reemplazar el valor de las variables en la ecuación del volumen, se obtiene:

$$V = 5.91 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

Con ello, la masa máxima de alimento acumulada sobre el disco  $m_{ad}$  resulta:

$$m_{ad} = 662.6 * 5.91 * 10^{-5}$$

$$m_{ad} = 0.039 \text{ kg}$$

#### 4.4.3.5 Potencia requerida por el disco dispersor

La potencia requerida por el disco dispersor está dada por la ecuación 4.24 (Potencia de giro).

$$P_d = T_d \omega_d \quad ( 4.22 )$$

Donde:

$P_d$  es la potencia de giro para el disco dispersor, [W]

$T_d$  es el par torsional necesario para el movimiento del disco, [N.m]

$\omega_d$  es la velocidad de giro del disco dispersor [ $\frac{rad}{s}$ ]:  $\omega_d = 167.6 \frac{rad}{s}$

El par torsional  $T_d$  esta dado por:

$$T_d = T_a + T_f$$

Donde

$T_a$  es el par torsional para acelerar la carga desde el reposo:  $T_a = I\alpha$

$T_f$  es el par torsional para mantener la rotación de la carga:  $T_f = fNR_m$

El valor del momento de inercia de la carga ( $I$ ) se obtiene del modelado en el software de dibujo (Figura 55), considerando la masa del disco y el alimento sobre él ( $m_d + m_{ad} = 0.058 \text{ kg}$ ).

**Figura 55**

*Momento de inercia del conjunto disco y alimento de dispersión.*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

El momento de inercia es:

$$I = 33.71 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2 = 3.37 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Por otro lado, el valor de la aceleración angular de la carga está dada por:

$$\alpha = \frac{\omega_d - \omega_0}{t_d}$$

Donde:

$\omega_d$  es la velocidad nominal de giro de la carga, [rad/s]:  $\omega_d = 167.6 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$

$\omega_0$  es la velocidad de giro inicial, [rad/s]:  $\omega_0 = 0$

$t_d$  es el tiempo necesario para acelerar la carga hasta su velocidad nominal, [s].

El tiempo  $t_d$ , al ser para una carga relativamente pequeña respecto a otras aplicaciones (frenos y embragues) y para un flujo alimentado a una velocidad relativamente baja (70 rpm), se asume un valor de 1 segundo, con lo que la aceleración angular resulta:

$$\alpha = \frac{167.6 - 0}{1} = 167.6 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Con ello, el par torsional para acelerar la carga ( $T_d$ ) resulta:

$$T_a = 3.37 * 10^{-5} kg.m^2 * 167.6 rad/s$$

$$T_a = 0.006 N.m$$

El par torsional para mantener el giro de la carga ( $T_f$ ), considerando despreciable la fricción existente ( $f \cong 0$ ), se le asume un valor de cero.

$$T_f = 0$$

Al reemplazar el valor de los pares torsionales en la ecuación de  $T_d$ , se obtiene:

$$T_d = 0.006 + 0 = 0.006 N.m$$

Con lo que la potencia requerida  $P_d$  resulta:

$$P_d = 0.006 N.m * 167.6 \frac{rad}{s}$$

$$P_d = 1.01 W$$

Se considera que el disco dispersor está unido directamente al eje de salida del motor y asegurada por un prisionero allen M4x5, por lo que la eficiencia de transmisión no modifica la potencia requerida.

#### 4.4.4 Selección del motor para el sistema de dispersión

Los parámetros para la selección del motor son:

- Tipo de corriente: DC
- Torque:  $T = 0.006 N.m = 61 g.cm$
- Velocidad:  $n = 1600 rpm$
- Potencia:  $P_T = 1.01 W$

El motor existente en el mercado que cumple con los parámetros descritos es el motorreductor RS 420-700, cuyas especificaciones técnicas se muestran en la tabla 29.

**Tabla 29***Especificaciones técnicas del motorreductor RS 420-700*

Output Speed	2000 rpm
Supply Voltage	12 V dc
Maximum Output Torque	65 g.cm
DC Motor Type	Brushed
Shaft Diameter	4mm
Power Rating	1.36 W
Gearhead Type	Planetary
Length	46.7mm
Width	22mm
Current Rating	240 mA
Weight	59g

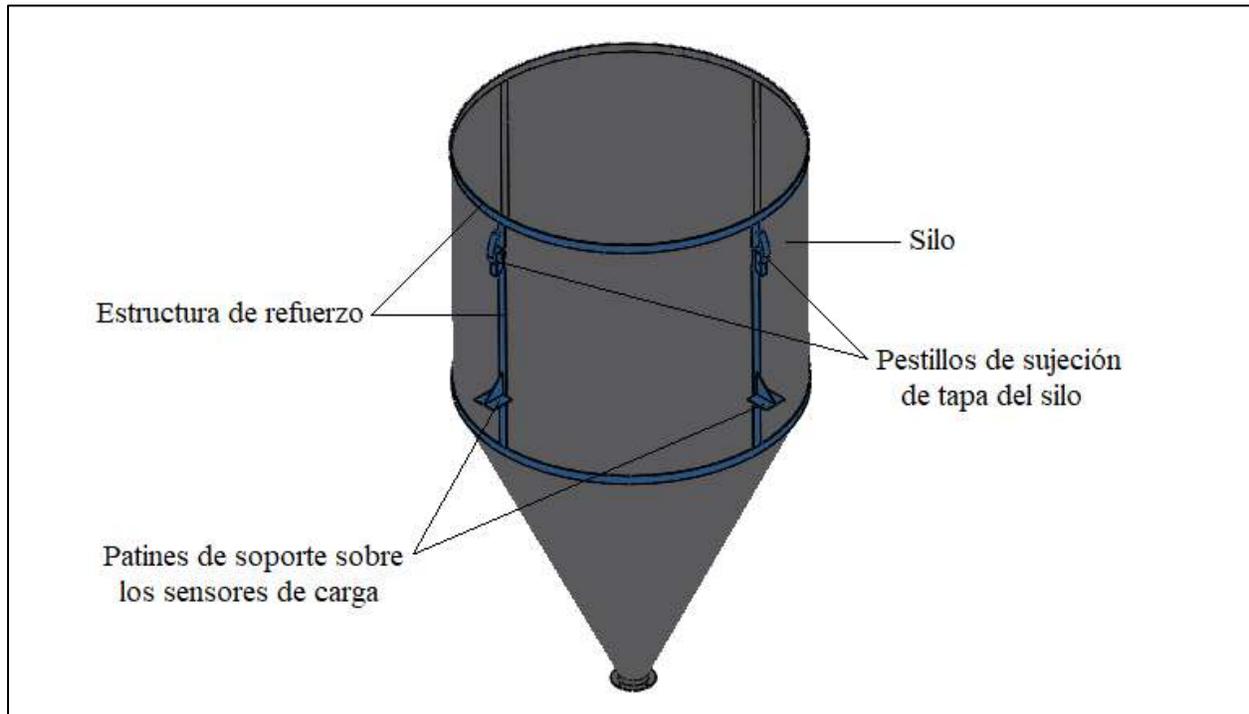
*Fuente:* Adaptada de la ficha técnica de RS PRO de RS componentes.

#### **4.5 Diseño de la estructura del silo**

La estructura del silo se conforma de la parte del silo y la estructura externa a él. La estructura le proporciona el soporte sobre los sensores de carga y también rigidez al silo, está formada por platinas en chapa de acero galvanizado ASTM A653 de 1.5 mm de espesor (grado de recubrimiento según su ficha técnica es G60), dispuestas en la superficie exterior del silo tal como se muestra en la figura 56.

**Figura 56**

*Disposición de la estructura para rigidizar el silo*



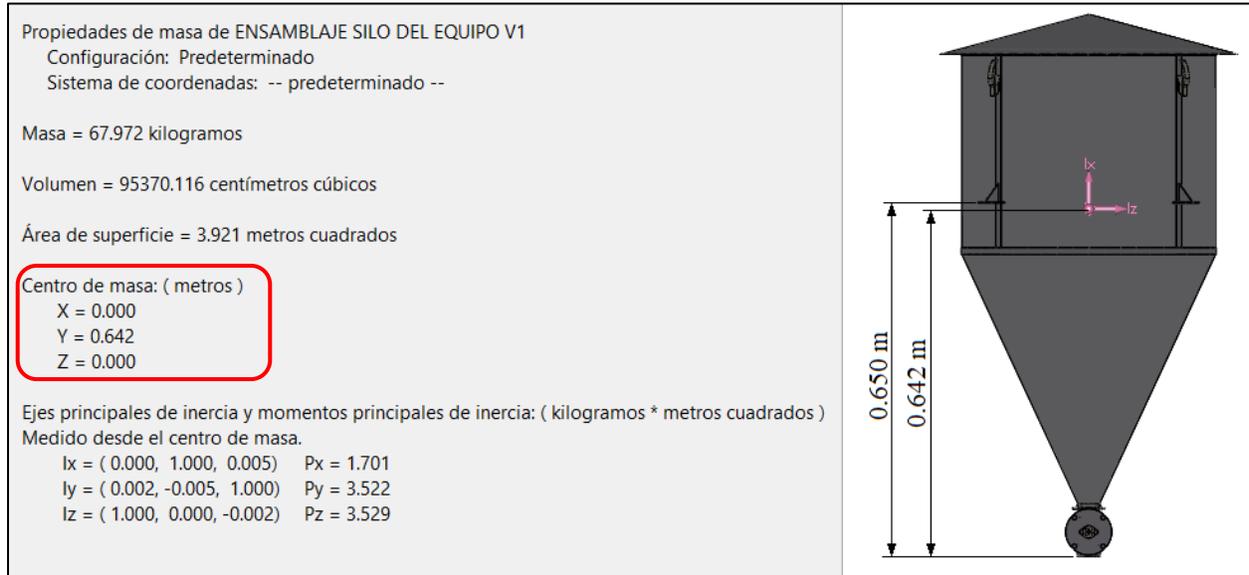
*Fuente:* Elaboración propia del autor.

#### **4.5.1 Soportes del silo sobre los sensores de carga**

Los soportes (denominados también patines de soporte) transmiten la carga total del silo hacia los sensores de carga, la ubicación de las mismas determina que el silo sea estable respecto a sus apoyos (ubicación por encima del centro de masa), si los patines de apoyo se ubicarán muy por encima del centro de masa, la altura de la estructura del soporte del equipo sería mucho mayor, requiriendo mayor cantidad de material, costo y capacidad para flotación. Por ello se realiza el análisis del centro de masa del silo en estado lleno para determinar la altura adecuada de los soportes del silo (figura 57).

**Figura 57**

*Centro de masa del silo del equipo de alimentación*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

De acuerdo a la figura anterior, la ubicación adecuada de los patines de soporte del silo es una altura mayor al del centro de masa ( $y = 0.642 \text{ m}$ ), por lo que se elige una altura de  $0.650 \text{ m}$ .

#### **4.5.2 Carga última aplicada sobre el silo**

El silo se considera como una estructura metálica, por lo que según la norma E.090 la carga última que actúa sobre el silo es una combinación de cargas (carga muerta, carga viva, carga de nieve, carga de viento, entre otras cargas), cuyo valor es el más crítico de las combinaciones que se muestran en la tabla 30.

**Tabla 30**

*Combinaciones de carga actuantes sobre el silo*

Ítem	Combinación de cargas según norma E.090
1	$1.4D$
2	$1.2D + 1.6L + 0.5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)$
3	$1.2D + 1.6(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R) + (0.5L \text{ ó } 0.8W)$
4	$1.2D + 1.3W + 0.5L + 0.5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)$

- 5  $1.2D \pm 1.0E + 0.5L + 0.2S$   
 6  $0.9D \pm (1.3W \text{ ó } 1.0E)$

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

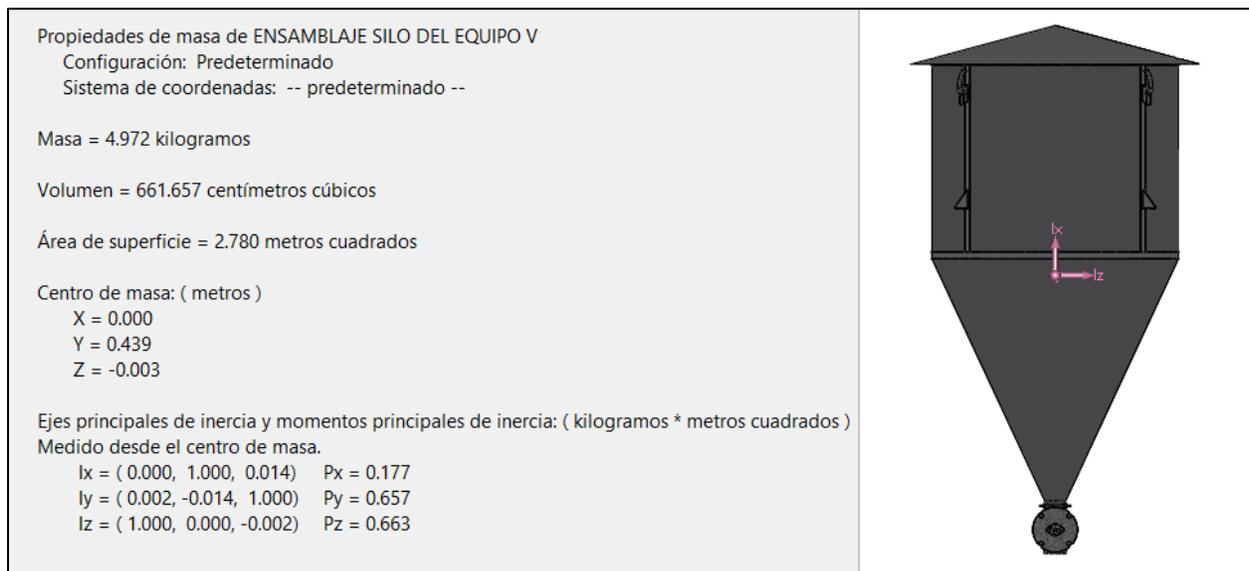
Siendo  $D$  la carga muerta,  $L$  la carga viva,  $S$  la carga de nieve,  $W$  la carga de viento,  $Lr$  la carga de azotea,  $E$  la carga de sismo y  $R$  la carga de lluvia.

#### 4.5.2.1 Carga muerta del silo

La carga muerta del silo ( $D$ ) es el peso del mismo en estado vacío (Figura 58).

### Figura 58

*Carga muerta del silo en estado vacío*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

De acuerdo a la figura, la carga muerta del silo es:  $D = 4.97 \text{ kg}$

#### 4.5.2.2 Carga viva sobre el silo

La carga viva ( $L$ ) que actúa sobre el silo está dada por el peso máximo del alimento contenido en el silo:

$$L = m_a = 63 \text{ kg}$$

#### 4.5.2.3 Carga de nieve sobre la estructura del silo

Según la norma E.020 en la sección 11.2, la carga básica de nieve es de  $Q_s = 40 \frac{kgf}{m^2}$ , variando según las condiciones geográficas y climáticas de la zona, además para las cubiertas con inclinaciones entre  $15^\circ$  a  $30^\circ$  la carga es de  $0.8Q_s$ .

La superficie en la que actúa la carga de nieve es la tapa del silo:

$$A = \pi r l = \pi * 0.275 * 0.285$$

$$A = 0.246 m^2$$

Finalmente, la carga de nieve (S) sobre la estructura del silo resulta:

$$S = 0.8(40) * 0.246 = 7.87 kg$$

#### 4.5.2.4 Carga de viento sobre la estructura del silo

La carga del viento según la norma E.020 está dada por:

$$P_h = 0.005 C V_h^2$$

Donde:

$P_h$ : presión o succión del viento a una altura  $h$  en  $[\frac{kg}{m^2}]$ .

$C$ : factor de forma del objeto, para secciones circulares  $C = 0.7$

$V_h$ : velocidad del viento, para la zona de Langui-Layo la velocidad máxima del viento hasta 10 metros con un periodo de retorno de 50 años es de  $V_h = 110 Km/h$  (Mapa Eólico del Perú).

Reemplazando el valor de las variables en la ecuación de la carga del viento, se tiene:

$$P_h = 0.005 * 0.7 * 110^2 = 42.35 \frac{kg}{m^2}$$

La carga del viento (dirección horizontal) actúa sobre el área transversal del silo, conformado principalmente por la parte cilíndrica y la parte cónica:

$$A \cong d_c * h_c + \frac{d_c * h_h}{2} = 0.47 * 0.38 + \frac{0.47 * 0.46}{2} = 0.287 m^2$$

Finalmente, la carga de viento sobre la estructura del silo resulta:

$$W = P_h * A = 42.35 * 0.287$$

$$W = 12.2 \text{ kg}$$

Para las cargas restantes: carga de sismo  $E = 0$  debido a que no actúa en el agua, carga de lluvia  $R = 0$  debido a que no se acumula agua, carga de azotea  $Lr = 0$  debido a que no corresponde al caso.

Reemplazando el valor de las combinaciones de carga sobre la estructura del silo, se obtiene resultados mostrados en la tabla 31.

**Tabla 31**

*Combinaciones de carga para la estructura del silo*

Ítem	Combinación de cargas según norma E.090	Resultado
1	1.4D	6.96 kg
2	1.2D + 1.6L + 0.5(Lr ó S ó R)	110.70 kg
3	1.2D + 1.6(Lr ó S ó R) + (0.5L ó 0.8W)	50.06 kg
4	1.2D + 1.3W + 0.5L + 0.5(Lr ó S ó R)	57.26 kg
5	1.2D ± 1.0E + 0.5L + 0.2S	39.04 kg
6	0.9D ± (1.3W ó 1.0E)	20.33 kg

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Por recomendación de la norma E.090, se asume como carga ultima la combinación más crítica:  $P_c = 110.70 \text{ kg} = 1086 \text{ N}$

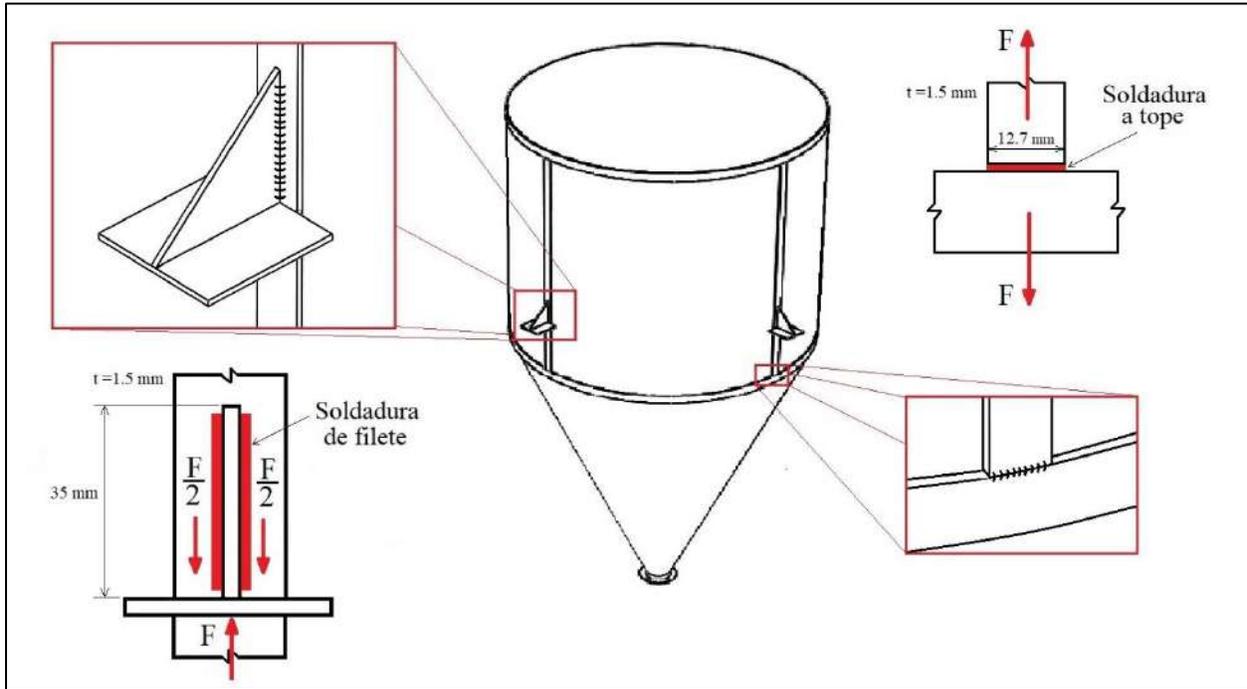
### 4.5.3 Uniones permanentes y no permanentes en la estructura del silo

#### 4.5.3.1 Uniones permanentes de la estructura del silo

Las uniones permanentes de la estructura del silo son uniones por soldadura, el tipo de proceso de soldadura elegido es el SMAW, tanto para la soldadura a tope y de filete (Figura 59).

**Figura 59**

*Uniones por soldadura en la estructura del silo*



*Fuente:* Elaboración propia del autor

Asumiendo que la combinación de carga última sobre el silo ( $P_c = 1086 \text{ N}$ ) actúa sobre cada soporte y unión de forma simétrica, la fuerza  $F$  resulta:  $F = \frac{1086}{4} = 271.5 \text{ N}$

Para el caso de la soldadura de filete, en chapas de espesor menor a  $1/4''$  el tamaño de la soldadura es  $h = 1/8''$  (Budynas y Nisbett, 2008, pág. 473),  $l = 35 \text{ mm}$  y fuerza cortante  $F_s = \frac{F}{2} = 135.8 \text{ N}$ . El esfuerzo cortante que resulta es:

$$\tau = \frac{F_s}{0.707hl} = \frac{135.8}{0.707 * 0.00375 * 0.035}$$
$$\tau = 1.46 \text{ Mpa}$$

Para un electrodo E60xx la resistencia a la fluencia es  $S_{ut} = 345 \text{ Mpa}$ . Según el código AISC, el esfuerzo permisible para una carga cortante en una soldadura a filete es:

$$\tau_{perm} = 0.30S_{ut} = 0.30 * 345$$

$$\tau_{perm} = 115 \text{ Mpa}$$

Al ser el esfuerzo permisible mayor al obtenido en el cálculo ( $115 \text{ Mpa} > 1.46 \text{ Mpa}$ ), se concluye que un electrodo E60xx es lo suficientemente resistente a la carga actuante. El electrodo que se selecciona finalmente es un E6013 de 2mm adecuado para el material empleado.

Para el caso de la soldadura a tope, el tamaño de soldadura es igual al espesor de la chapa  $h = 1.5 \text{ mm}$ ,  $l = 12.7 \text{ mm}$  y fuerza de tensión  $F = 271.5 \text{ N}$ . El esfuerzo de tensión resultante es:

$$\sigma = \frac{F}{hl} = \frac{271.5}{0.0015 * 0.0127}$$

$$\sigma = 14.3 \text{ Mpa}$$

Para un electrodo E60xx la resistencia a la tensión es  $S_y = 427 \text{ Mpa}$ . Según el código AISC, el esfuerzo permisible para una carga a tensión en una soldadura a tope es:

$$\sigma_{perm} = 0.60S_y = 0.60 * 427$$

$$\sigma_{perm} = 256 \text{ Mpa}$$

Al ser el esfuerzo permisible mayor al obtenido en el cálculo ( $256 \text{ Mpa} > 14.3 \text{ Mpa}$ ), se concluye que un electrodo E60xx es lo suficientemente resistente a la carga actuante. El electrodo que se selecciona finalmente es un E6013 de 2mm adecuado para el material empleado.

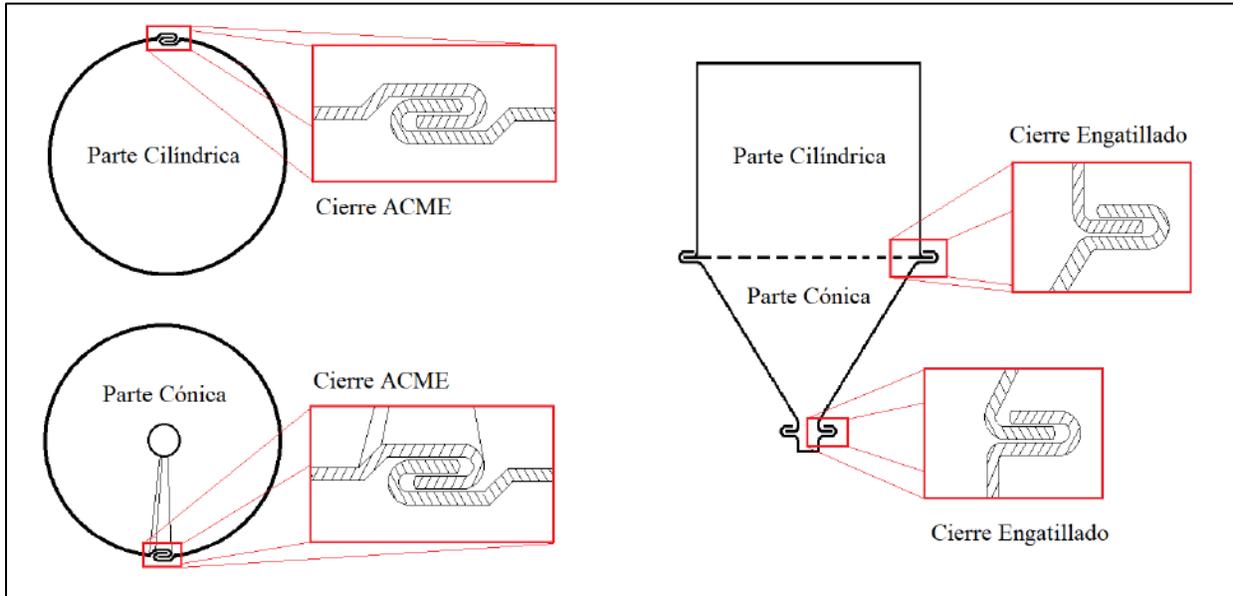
#### **4.5.3.2 Uniones no permanentes de la estructura del silo**

Las uniones no permanentes de la estructura del silo son las uniones por dobleces (unión de las partes del silo) y por remaches (unión del silo y la estructura de rigidización).

Para la unión de las partes del silo, se recurre a los dobleces utilizados en la fabricación de ductos, los cuales son bastantes conocidos, fáciles y confiables. En la figura 60 se muestra los dobleces a utilizar para el silo.

**Figura 60**

*Distintos tipos de unión por dobleces para el silo*

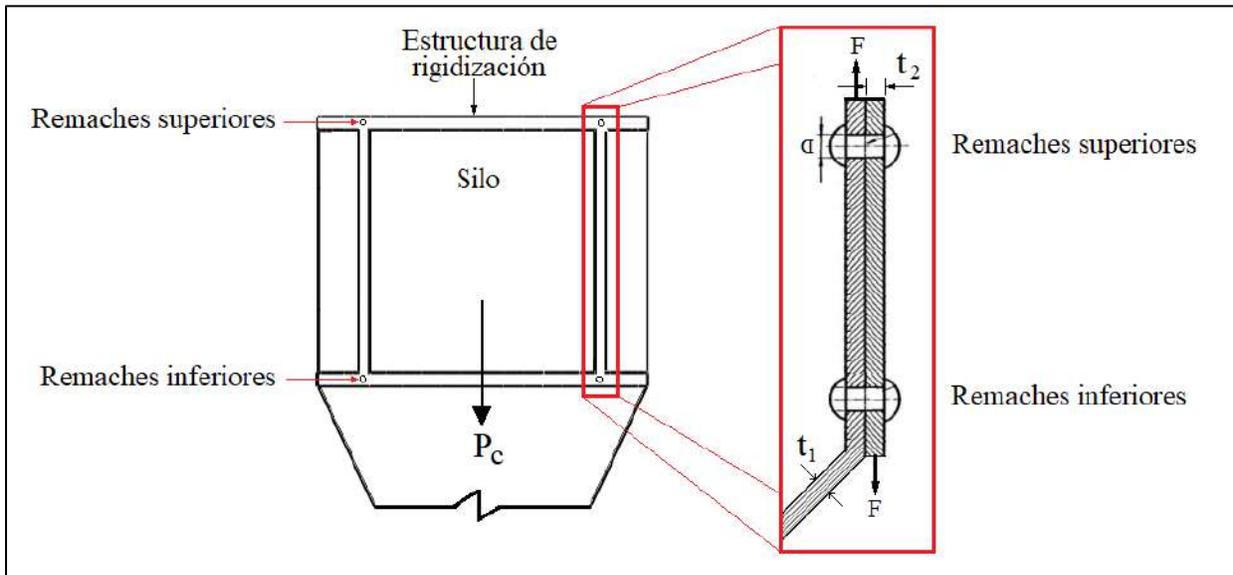


*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Para la unión del silo con la estructura de rigidización se utilizan remaches cuya distribución sobre la estructura se muestra en la figura 61.

**Figura 61**

*Distribución de los remaches en el silo*



*Fuente:* Elaboración propia del autor

El espesor a remachar es la suma de espesores de las chapas:

$$t_r = t_1 + t_2 = 0.3 + 1.5 = 1.8 \text{ mm}$$

El tipo de remache a utilizar es uno estándar de cuerpo de aluminio y vástago de acero, esto debido a su popularidad y facilidad de adquisición.

Con el tipo de remache y el espesor a remachar se recurre a la tabla 32 para determinar el remache adecuado.

**Tabla 32**

*Especificaciones de un remache de 2.4 mm*

Aluminio/Acero		Resistencias				
<b>STANDARD</b> Cabeza: AlMg 3 Vástago: acero cincado		Fuerza cizallamiento N / kp		Fuerza tracción N / kp		D2 (mm) Máx.
Ø remache						
2,4		350	35	450	46	5,0
3,0		700	71	900	92	6,5
4,0		1.400	143	2.000	204	8,0
5,0		2.000	204	2.800	286	9,5
6,0		3.100	316	3.800	388	12,0
6,4		3.400	347	4.600	469	13,0

Diámetro remache D1	Longitud remache (mm) L	Espesor a remachar (mm)		Código del artículo	Embalaje	
		mínimo	máximo		interior	exterior
<b>3,0</b> Ø taladro 3,1 mm	4	0,5	1,5	6300103	500	10.000
	5	1,5	2,5	6300111	500	10.000
	6	2,5	3,5	6300138	500	10.000
	7	3,5	4,5	6300146	500	10.000
	8	4,5	5,0	6300154	500	10.000
<b>4,0</b> Ø taladro 4,1 mm	5	0,5	1,5	6300405	500	10.000
	6	1,5	3,0	6306217	500	10.000
	7	3,0	4,0	6305857	500	10.000
	8	4,0	5,0	6306225	500	10.000
	10	5,0	6,5	6305903	500	10.000
<b>5,0</b> Ø taladro 5,1 mm	6	2,0	2,5	6300901	500	10.000
	8	2,5	4,5	6299245	500	10.000
	10	4,5	6,0	6306691	500	10.000
	12	6,0	8,0	6306713	500	10.000
	14	8,0	10,0	6299741	500	10.000

*Fuente:* Adaptado del catálogo del fabricante GESIPA, 2016.

Se selecciona un remache estándar de aluminio de 4x6 mm (4 mm de diámetro y 6 mm de longitud), el cual soporta 1400 N de fuerza de cizallamiento. Al utilizar un total de 8 remaches distribuidos en la parte superior e inferior del silo, el soporte a la fuerza de cizallamiento resulta:

$$F_r = 1400 * 8 = 11.2 \text{ kN}$$

Este valor resulta ser mayor a la carga ultima actuante sobre el silo ( $P_c = 1086 \text{ N}$ ), por lo que el tamaño y el número de remaches soportara las cargas a las que se someta.

Los efectos del esfuerzo flexionante en los remaches se emplea rara vez en el diseño, debido a que no se sabe con exactitud la distribución de carga o las deformaciones producidas, por lo cual, su efecto se compensa con en el factor de seguridad (Budynas y Nisbett, 2008, pág. 436).

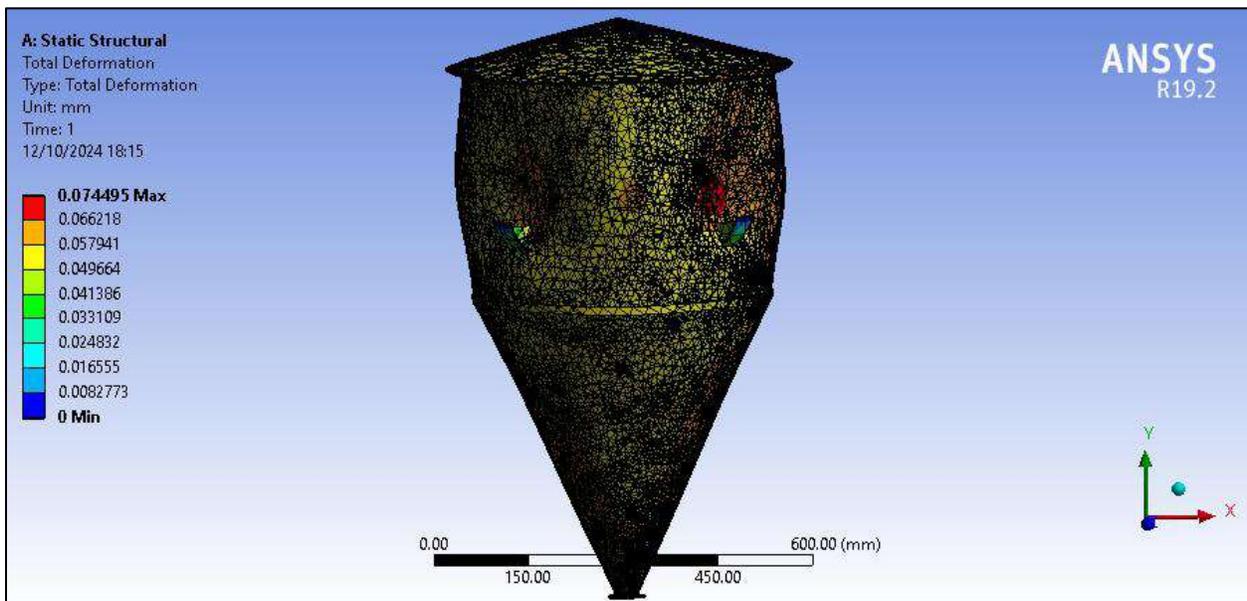
$$f.s = \frac{11200}{1086} = 10.3$$

#### 4.5.4 Análisis estático del silo mediante software

Con el valor obtenido de la carga ultima sobre el silo y la estructura de rigidización ( $P_c = 110.70 \text{ kg}$ ), se hace el análisis estático en el software ANSYS R19.2, obteniéndose resultados de deformación, esfuerzos equivalentes y el factor de seguridad correspondiente en las figuras 62, 63 y 64 respectivamente.

**Figura 62**

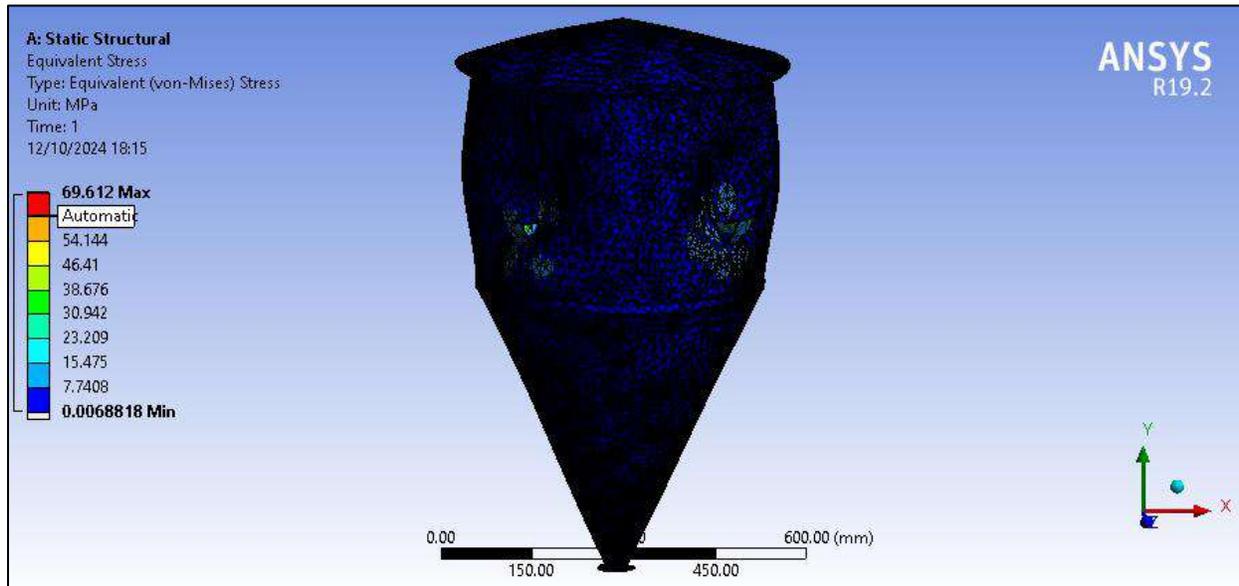
*Deformaciones de la estructura del silo al aplicar la carga última*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

**Figura 63**

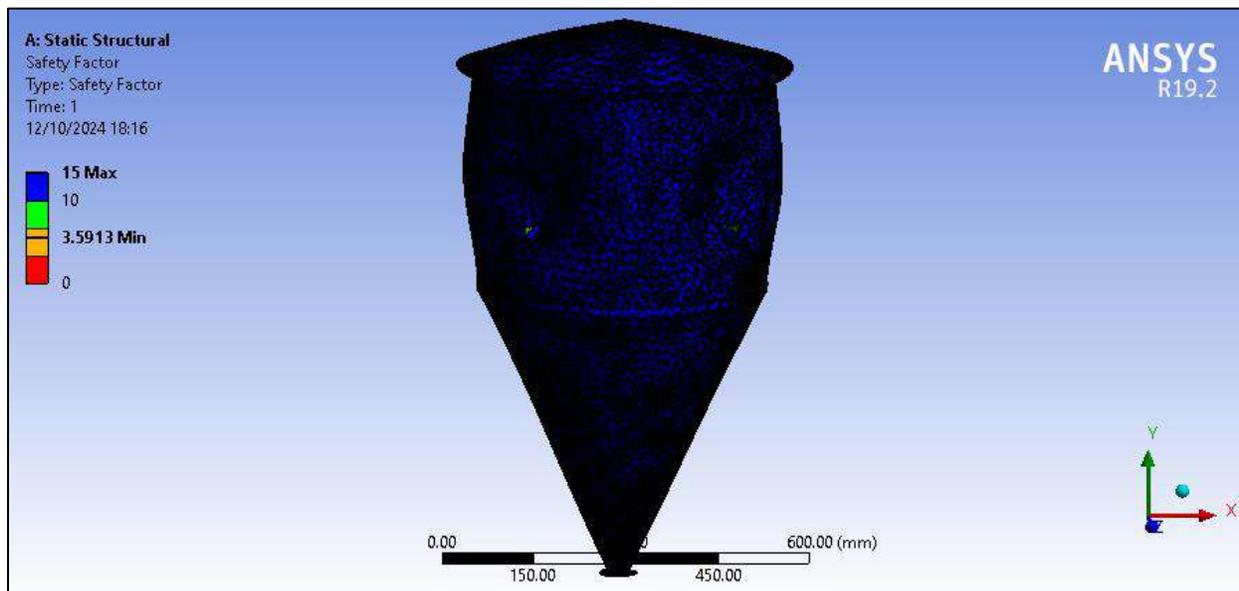
*Esfuerzos equivalentes de Von-Mises sobre la estructura del silo*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

**Figura 64**

*Factor de seguridad*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Según lo observado, al tenerse un factor de seguridad mínimo de 3.59, la estructura del silo no va a fallar para las condiciones de servicio asignado.

## 4.6 Determinación del sistema de control automático para el equipo

### 4.6.1 Sistema de control automático del equipo de alimentación

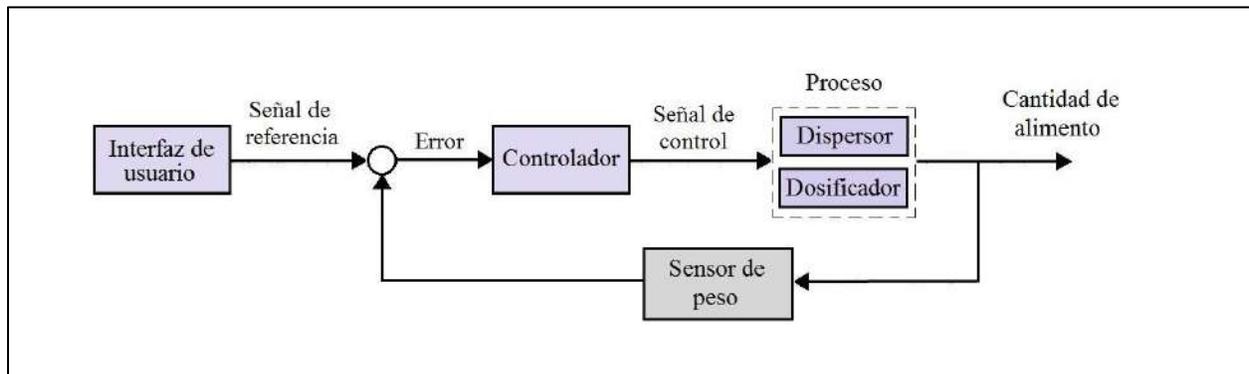
Es el encargado del funcionamiento autónomo del equipo alimentación, interviene sobre las funciones de control de la cantidad de alimento almacenado, dosificación y dispersión. Para ello se propone un modelo de control conformado por una interfaz de usuario, un controlador, actuadores y sensores.

### 4.6.2 Diagrama de bloques del sistema de control

El sistema de control propuesto del equipo de alimentación se representa gráficamente a través de un diagrama de bloques mostrado en la figura 65.

**Figura 65**

*Diagrama de bloques del sistema de control para el equipo de alimentación*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

En el diagrama de bloques se puede distinguir que el sistema de control propuesto para el equipo de alimentación es de lazo cerrado, esto debido a que la señal de salida (señal de cantidad de alimento) es realimentada al controlador a través del sensor de peso.

### 4.6.3 Descripción del funcionamiento del sistema de control

El funcionamiento del sistema de control propuesto para el equipo de alimentación inicia con la generación de la señal de referencia, establecida a través de una interfaz de usuario conformada por una pantalla y un teclado, luego esta señal es enviada a un controlador Arduino

que genera una señal de mando a los actuadores del dosificador y el dispersor, la cantidad de alimento entregado genera una señal de salida a través de los sensores de carga hacia el Arduino, quien finalmente compara las señales de entrada y salida para detener el funcionamiento del equipo de alimentación.

#### **4.6.4 Componentes del sistema de control**

##### **4.6.4.1 Interfaz de usuario**

La interfaz de usuario permite configurar y establecer las funciones que debe realizar el equipo alimentador a través del controlador. Está constituida por una pantalla y un teclado, en los cuales se establece la cantidad de alimento, el día y la hora de alimentación de las truchas.

##### *4.6.4.1.1 Pantalla de visualización*

Se elige una pantalla GLCD 128x64 ST7920 para visualizar las funciones y configuraciones que se realizan a través del teclado. Las especificaciones técnicas de esta pantalla se muestran en la figura 66.

#### **Figura 66**

##### *Especificaciones técnicas de la pantalla GLCD 128x64 ST7920*

<ul style="list-style-type: none"><li>• Modelo: YB12864ZB</li><li>• Chip controlador: ST7920</li><li>• Modelo placa: 12864B V2.0</li><li>• Voltaje de operación: 5V DC</li><li>• Consumo corriente Backlight: 360mA</li><li>• Soporta interfaz: Paralelo (4 u 8 bits) y Serial SPI</li><li>• Color Texto: Blanco</li><li>• Backlight: Azul</li><li>• Columnas y filas: 128x64</li><li>• Resolución: 128*64 pixeles</li><li>• Tamaño de pixel: 0.48*0.48 mm</li><li>• Dimensiones ext.: 93*70*13.5 mm</li><li>• Peso: 46 gramos</li></ul>	
--	--

*Fuente:* Adaptado de la página virtual de NAYLAMP MECHATRONICS

#### 4.6.4.1.2 Teclado de configuración

Se elige un teclado matricial tipo membrana de 4x4 para configurar las funciones del equipo alimentador, los cuales se visualizan en la pantalla GLCD. Las especificaciones técnicas de este teclado se muestran en la figura 67.

### Figura 67

#### Especificaciones técnicas del teclado matricial de membrana TM 4x4

- 16 botones con organización matricial (4 filas x 4 columnas)
- Tiempo de rebote (Bounce time):  $\leq 5$  ms
- Máximo voltaje operativo: 24 V DC
- Máxima corriente operativa: 30 mA
- Resistencia de aislamiento: 100 M $\Omega$  (@ 100 V)
- Voltaje que soporta el dieléctrico: 250 VRMS (@ 60Hz, por 1 min)
- Expectativa de vida: 1.000.000 de operaciones
- Dimensiones teclado: 69\*77mm
- Cable de cinta plana de 8.5 cm de largo aprox. (incluido el conector)
- Conector tipo DuPont hembra de una fila y 8 contactos con separación estándar 0.1" (2.54mm)
- Temperatura de operación: 0 a 50 °C



Fuente: Adaptada de la página virtual de NAYLAMP MECHATRONICS.

Para la configuración de las funciones del equipo alimentador a través de la pantalla y el teclado, se estima un tiempo de alrededor de 10 minutos al día, entrando en modo de reposo durante el resto del día.

#### 4.1.1.1 Controlador

Debido a que el equipo alimentador es un proyecto de desarrollo tecnológico, el controlador elegido es una placa de Arduino MEGA 2560, el cual lleva integrado un microcontrolador ATmega2560 y pines tanto digitales como analógicos para la conexión con otros circuitos y dispositivos. La placa de Arduino MEGA es compatible con distintos dispositivos eléctricos, por lo que la pantalla y el teclado no tienen dificultad en interactuar con la misma. Las especificaciones técnicas del Arduino MEGA se muestran en la figura 68.

## Figura 68

### *Especificaciones técnicas de la placa Arduino MEGA 2560*

<ul style="list-style-type: none"><li>• Microcontrolador: ATmega2560 (8-bit)</li><li>• Conector USB: Tipo B</li><li>• Voltaje de operación: 5V DC</li><li>• Voltaje de alimentación: 6V - 20V DC (7-12V recomendado)</li><li>• Pines digitales I/O: 54 (15 salidas PWM)</li><li>• Entradas analógicas: 16 (ADC 10-bit)</li><li>• Corriente entrada/salida por pin: 40mA máx.</li><li>• Memoria FLASH: 256KB</li><li>• Memoria SRAM: 8KB</li><li>• Memoria EEPROM: 4KB</li><li>• Frecuencia de reloj: 16MHz</li><li>• Diseño compatible con Arduino® Mega 2560 R3</li><li>• Dimensiones: 108*53*13 mm</li><li>• Peso: 39 gramos</li></ul>	 A photograph of an Arduino MEGA 2560 R3 board. The board is blue and features a large ATmega2560 microcontroller chip in the center. It has a USB Type B connector on the left side, a DC power jack, and a large multi-pin header on the right side. The board is populated with various electronic components like capacitors and resistors.
--	---

*Fuente:* Adaptada de la página virtual de Tesla Electrónica.

Se puede configurar el funcionamiento de la placa Arduino MEGA en modo de bajo consumo, con lo que se tiene un consumo de corriente solo en los momentos en que deba generar las señales de control.

#### **4.6.4.2 Sensor de peso**

El sensor de peso es el elemento de realimentación de la señal de salida del sistema de control del equipo alimentador, se encarga de verificar que la cantidad de salida de alimento sea la que se estableció y de acuerdo a su lectura el controlador decide proseguir o detener la función establecida.

Existen distintos tipos de sensores de peso de acuerdo a su capacidad y precisión. Para la selección del tipo de sensor utilizado en el proyecto se considera la capacidad máxima que debe soportar, siendo esta la carga última aplicada por el silo ( $P_c = 110.70 \text{ kg}$ ).

Tomando como referencia las básculas corporales electrónicas que por lo general tienen capacidades de hasta  $150 \text{ kg}$ , su funcionamiento está basado en cuatro sensores de carga (sensores

de peso de un solo punto) distribuidos simétricamente bajo una plataforma, los cuales convierten sus deformaciones en señales eléctricas. En la figura 69 se muestra este tipo de báscula.

### Figura 69

*Báscula corporal electrónica con sensores de peso de un solo punto.*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Este tipo de funcionamiento de la báscula electrónica es el que se adopta para el control de dosificación del equipo de alimentación, el mismo que utilizará sensores de peso de un solo punto cuyas especificaciones se muestra en la figura 70.

### Figura 70

*Especificaciones técnicas del sensor de peso de un solo punto*

Capacidad: 50 Kg	
Voltaje de operación DC: 3V ~ 10V	
Sensibilidad de salida: $1.0 \pm 0.1 \text{ mv / v}$	
No Linealidad: 0,03% FS	
Repetibilidad: 0,03% FS	
Histéresis: 0.03% FS	
Resistencia de entrada: $1000 \Omega \pm 20$	
Resistencia de salida: $1000 \Omega \pm 20$	
Temperatura de funcionamiento: $0^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$	
Dimensiones: 35x35mm	

*Fuente:* Adaptado de la ficha técnica del sensor de peso Sparkfun SEN-10245

Según el fabricante del sensor de peso (Sparkfun), sugiere que la capacidad de trabajo del sensor no debe ser superior al 75% de su capacidad a fin de evitar una deformación permanente, al utilizar 4 sensores de peso la capacidad al 75% sería de:

$$C_{\text{sensores}} = 0.75(4 * 50) = 150 \text{ kg}$$

Al comparar esta capacidad con la carga máxima que transfiere el silo a los sensores de peso (110.7 kg), se verifica que los sensores elegidos son los adecuados.

#### **4.6.4.3 Actuadores**

El equipo de alimentación tiene 2 actuadores los cuales están conformados por el motor del sistema de dosificación y el motor del sistema de dispersión.

##### *4.6.4.3.1 Motor del sistema de dosificación*

Para el sistema de dosificación, el actuador es un motorreductor DC 828620 de 3W de potencia. Su función es accionar el alimentador helicoidal el tiempo y las veces que el controlador Arduino lo determine. El tiempo de funcionamiento se determina a partir de la ración diaria máxima de alimento (63 kg), el cual debe ser distribuido a razón de 35 g/s, según esta consideración el tiempo resulta:

$$t_{fh} = \frac{63 * 10^3}{35}$$

$$t_{fh} = 1800 \text{ s} = 0.5 \text{ hrs}$$

##### *4.6.4.3.2 Motor del sistema de dispersión*

Para el sistema de dispersión, el actuador es un motor DC RS 420-700 de 1.5 W de potencia. Su función es accionar el disco dispersor, el mismo tiempo y las veces en que lo haga el motor del alimentador helicoidal.

$$t_{fd} = t_{fh} = 0.5 \text{ hrs}$$

#### 4.6.4.4 Indicadores luminosos

Los indicadores luminosos indicaran la condición del equipo alimentador con colores codificados según la Norma UNE EN 60204-1. Para el proyecto se considera tres indicadores luminosos de colores verde, rojo y amarillo cuyo significado respecto a la condición del equipo es el siguiente:

- El indicador luminoso verde significa que el equipo alimentador está encendido y en condiciones de servicio.
- El indicador luminoso rojo significa que el equipo alimentador está detenido, ya sea para una revisión o configuración deseada por parte del operador, estará activa hasta que manualmente el operador reinicie la marcha.
- El indicador amarillo significa la ocurrencia de una falla o anomalía del equipo alimentador, generará un destello intermitente hasta que se haga la verificación de la falla o anomalía.

Los indicadores luminosos que se propone utilizar en el proyecto son de tipo LED cuyas especificaciones técnicas se muestran en la figura 71.

**Figura 71**

*Especificaciones técnicas de los indicadores LED colores verde, rojo y amarillo*

Tensión nominal	12V ac/dc
Color de la luz piloto	Verde - rojo - amarillo
Diámetro	16mm
Tipo de lámpara	LED
Índice de Protección IP	IP40
Corriente Nominal	20mA
Vida útil	30 000 horas
Intensidad	60 mcd
Serie	LEDtec16



*Fuente:* Adaptada de la ficha técnica de LED RSPRO 16mm.

Asumiendo que el equipo alimentador esta siempre encendido las 24 horas, los indicadores luminosos cubrirán este periodo de tiempo sea cual sea la condición del equipo. Por ello, el tiempo de servicio para los indicadores luminosos es:

$$t_{fi} = 24 \text{ hrs}$$

#### **4.6.5 Código de programación para el sistema de control**

El código para el sistema de control del equipo de alimentación se elaboró en la plataforma de Arduino IDE, en el cual, a través de las funciones del *void setup* y *void loop* del software se desarrolló las funciones de configuración y funciones de programación para el control automatizado del equipo de alimentación para truchas.

El lenguaje utilizado para la elaboración del código del equipo de alimentación es el lenguaje Arduino, el cual está basado en el lenguaje C y C++ de programación cuya característica principal es la facilidad para el desarrollo de aplicaciones en el entorno de Arduino.

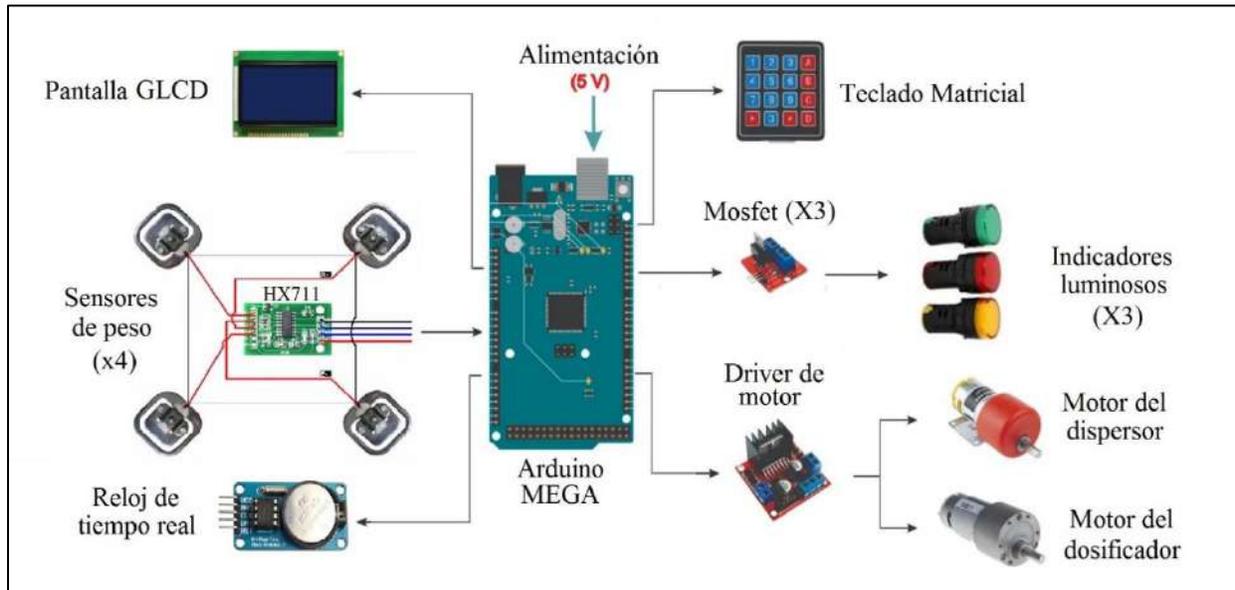
Una vez desarrollado el código se compiló y se cargó a la placa Arduino MEGA2560 mediante un ordenador, se hizo las pruebas de funcionamiento en un pequeño módulo de automatización que simula el control de la cantidad de alimento, fecha y hora de alimentación y la frecuencia de alimentación, el cual queda documentado en la parte de Apéndices del volumen de este proyecto.

#### **4.6.6 Diagrama de conexiones**

Una vez determinado los componentes que intervienen en el sistema de control automático del equipo alimentador, se realiza un diagrama de conexión de los componentes tal como se muestra en la figura 72.

**Figura 72**

*Diagrama esquemático de los componentes del sistema de control.*

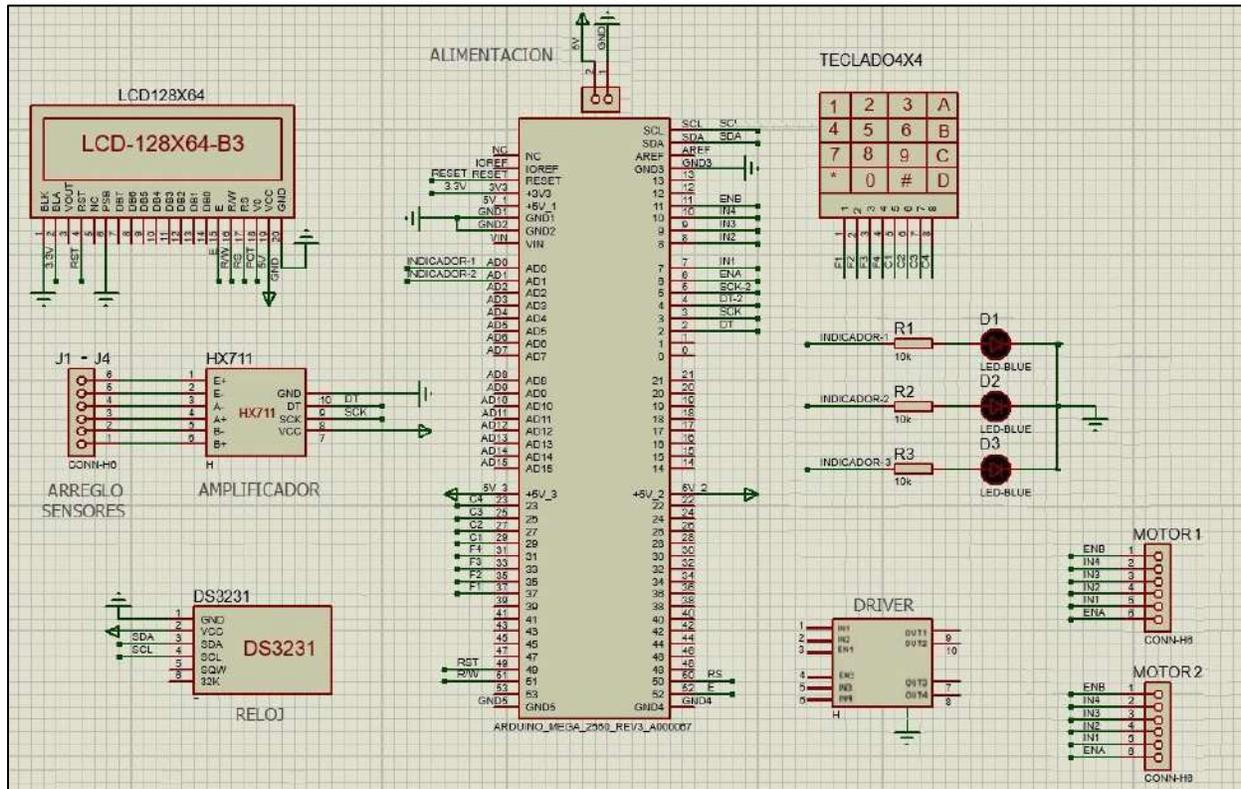


*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Con la ayuda del diagrama esquemático de los componentes del sistema de control, se extrae el diagrama de circuitos, tal como se muestra en la figura 73.

Figura 73

Diagrama del circuito de control del equipo de alimentación



Fuente: Elaboración propia del autor.

#### 4.7 Determinación de la instalación fotovoltaica para el equipo

En el Perú, según en el Atlas Solar del Perú elaborado por el Ministerio de Energía y Minas, se tiene una elevada radiación anual por la proximidad a la línea del Ecuador, siendo para la sierra una cantidad de radiación promedio entre 5.5 a 6.5 kWh/m<sup>2</sup> aproximadamente.

En el distrito de Langui, lugar donde funcionará el equipo de alimentación automático para truchas, se tiene cierta variación de la radiación debido a las estaciones y factores climáticos de la zona. En la tabla 33 se muestra los datos de radiación solar en el distrito de Langui.

**Tabla 33**

*Datos de radiación solar en el distrito de Langui, de la región Cusco.*

Mes	Radiación Solar promedio (kWh/m <sup>2</sup> /día)					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	5.3	5.7	5.4	5.4	5.6	5.9
Febrero	5.8	6.0	6.1	6.0	6.0	6.1
Marzo	6.3	6.6	6.2	6.3	6.4	6.3
Abril	6.2	6.3	6.2	6.1	6.4	6.2
Mayo	6.3	6.6	6.2	6.3	6.4	6.3
Junio	7.2	7.0	6.8	6.7	7.9	6.9
Julio	6.8	7.2	7.4	7.3	7.2	7.3
Agosto	7.2	6.8	6.8	6.6	7.0	6.9
Septiembre	6.9	7.0	6.8	6.7	6.5	6.7
Octubre	6.8	6.4	7.4	7.3	7.2	7.1
Noviembre	6.4	6.8	6.8	6.6	6.5	6.7
Diciembre	5.7	5.6	5.5	6.0	5.8	5.8

*Fuente:* Adaptada de la base de datos PVGIS-ERA5.

De acuerdo a los datos de radiación para el Distrito de Langui, en enero y diciembre se tiene la menor radiación disponible, mientras que para el mes de junio y julio se tiene la mayor radiación solar disponible, esto debido a los factores climáticos característicos de la zona.

Para la determinación de la instalación fotovoltaica del equipo de alimentación se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- El tipo de instalación fotovoltaica es aislada.
- La ubicación de la instalación es en la laguna de Langui-Layo, cuyas coordenadas geográficas (Latitud, Longitud) son:  $-14.4761$  ,  $-71.2239$ .

El procedimiento de dimensionamiento de la instalación fotovoltaica inicia con el cálculo de la carga de consumo del equipo de alimentación.

#### 4.7.1 Determinación de la carga de consumo del equipo

La carga de consumo del equipo de alimentación ( $E_D$ ) es la suma de las cargas de consumo de los elementos que requieren energía:

$$E_D = \sum_{i=1}^n P_i h_i$$

Donde:

$P_i$  potencia requerida de cada elemento de consumo.

$h_i$  tiempo de funcionamiento de cada elemento de consumo.

Para el tiempo de funcionamiento de los elementos de consumo, se hace una estimación de acuerdo a la necesidad de su funcionamiento (Tabla 34).

**Tabla 34**

*Tiempo de funcionamiento de los elementos de consumo del equipo*

Dispositivo	Funcionamiento	(h/día)
Motorreductor RS 834-7631	Dosifica 63 kg diarios de alimento peletizado a razón de 35 g/s, lo que implica un tiempo de funcionamiento diario de: $t = \frac{63 * 10^3}{35} = 1800 \text{ s} = 0.5 \text{ h}$	0.5
Motorreductor RS 420-700	Dispensa el alimento que se dosifica, por lo que el tiempo de funcionamiento es el mismo al del dosificador.	0.5
Indicador luminoso	Existen 3 indicadores luminosos (verde, rojo y amarillo), siempre uno estará activo según la condición del equipo.	24
Arduino MEGA en actividad	Ejecuta las funciones de control del equipo de acuerdo a la configuración establecida.	0.5

Arduino MEGA en reposo	Monitorea las condiciones del equipo en un estado de bajo consumo.	23.5
Pantalla GLCD	Permite realizar las configuraciones necesarias de alimentación, el tiempo de funcionamiento diario se estima en unos 10 minutos.	0.17
Teclado Matricial	Permite realizar las configuraciones necesarias, su funcionamiento diario se estima en unos 10 minutos.	0.17
HX711 de los sensores	Amplifica y gestiona la señal de los sensores de peso hacia el Arduino.	24
Driver L298N	Gestiona el arranque y la parada de los motores de acuerdo a lo establecido por el Arduino.	0.5

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

La potencia de cada elemento de consumo se determina a partir de la corriente y el voltaje de operación detallados en las especificaciones técnicas del producto. Con el tiempo de funcionamiento de cada componente, se determina la carga de consumo final (Tabla 35).

**Tabla 35**

*Cargas de consumo del equipo de alimentación*

Dispositivo	Corriente (mA)	Voltaje (V)	Potencia (W)	Funcionamiento (Horas)	Consumo diario (Wh/día)
Motorreductor RS 834-7631	840.0	12	10.08	0.50	5.04
Motorreductor RS 420-700	240.0	12	2.88	0.50	1.44
Indicador luminoso	20.0	12	0.24	24.00	5.76
Arduino MEGA en actividad	73.2	5	0.37	0.50	0.18
Arduino MEGA en reposo	26.9	5	0.13	23.50	3.16
Pantalla GLCD	360.0	5	1.80	0.17	0.31
Teclado Matricial	30.0	5	0.15	0.17	0.03
HX711 de los sensores	10.0	5	0.05	24.00	1.20
Driver L298N	36.0	5	0.18	0.50	0.09
				<b>Total</b>	<b>17.21</b>

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

La corriente de consumo del Arduino Mega, tanto en actividad como en reposo, se ha obtenido de las mediciones registradas en la “Guía para reducir el consumo de energía en Arduino”.

Una vez determinada la carga de consumo del equipo de alimentación ( $E_D = 17.21 Wh/dia$ ), es necesario determinar la capacidad de almacenamiento de energía de la instalación.

#### 4.7.2 Capacidad de almacenamiento de energía

La capacidad de almacenamiento de energía por parte de la(s) batería(s) del equipo de alimentación se calcula según la expresión 6.1 (Méndez y Cuervo, 2011).

$$C_a = \frac{A * E_D}{PD_{max} * V_n * \eta_{inv} * \eta_{reg}} \quad ( 0.1 )$$

Donde:

$C_a$  es la capacidad de almacenamiento de la batería, [Ah].

$A$  es la autonomía de la instalación (según Méndez y Cuervo, 3 días):  $A = 3$

$E_D$  es la energía diaria consumida:  $17.21 Wh/dia$

$V_n$  es el voltaje nominal de la instalación:  $V_n = 12v$

$PD_{max}$  es la profundidad de descarga de la batería (recomendado 50%):  $PD_{max} = 0.5$

$\eta_{reg}$  es la eficiencia del regulador (según Méndez y Cuervo, 81%):  $\eta_{reg} = 0.81$

$\eta_{inv}$  es la eficiencia del inversor, no interviene en la instalación:  $\eta_{inv} = 1$

Al reemplazar el valor de las variables en la ecuación de capacidad de almacenamiento de la batería, se obtiene:

$$C_a = \frac{3 * 17.21}{0.5 * 12 * 1 * 0.81} = 10.62 Ah$$

De acuerdo a la capacidad obtenida de la batería, se selecciona una batería comercial AGM modelo RT12120 de la marca RITAR de  $12v$  y  $12Ah$ , la cual cumple con las necesidades de almacenamiento. Dentro de las características resaltantes de esta batería, es que tiene un sello hermético que lo hace seguro ante un evento de derrame y contaminación del medio acuático. Las especificaciones técnicas de la batería seleccionada se muestran en la figura 74.

**Figura 74**

*Especificaciones técnicas de la batería solar seleccionada*

Marca: Ritar	
Modelo: RT-12120	
Voltaje de la Batería: 12V	
Medidas de la Batería: 151 largo x 98 ancho x 95 alto (mm)	
Posición de Trabajo de la Batería: Terminales Parte Superior	
Amperios-Hora de la Batería: 12Ah	
Peso de la Batería: 3.60Kg	
Mantenimiento de la Batería: Libre de Mantenimiento.	

*Fuente:* Adaptada de la ficha técnica de la batería.

Con la carga de consumo y la capacidad de almacenamiento de energía del equipo de alimentación, se determina el módulo fotovoltaico.

#### 4.7.3 Cálculo del módulo fotovoltaico

Para el cálculo del módulo fotovoltaico del equipo de alimentación se utiliza el software PVGIS ver. 5.2. En la figura 75 se muestra el procedimiento de obtención de la producción energética de un sistema aislado en PVGIS.

**Figura 75**

*Interfaz PVGIS para determinar la producción energética de un sistema aislado.*

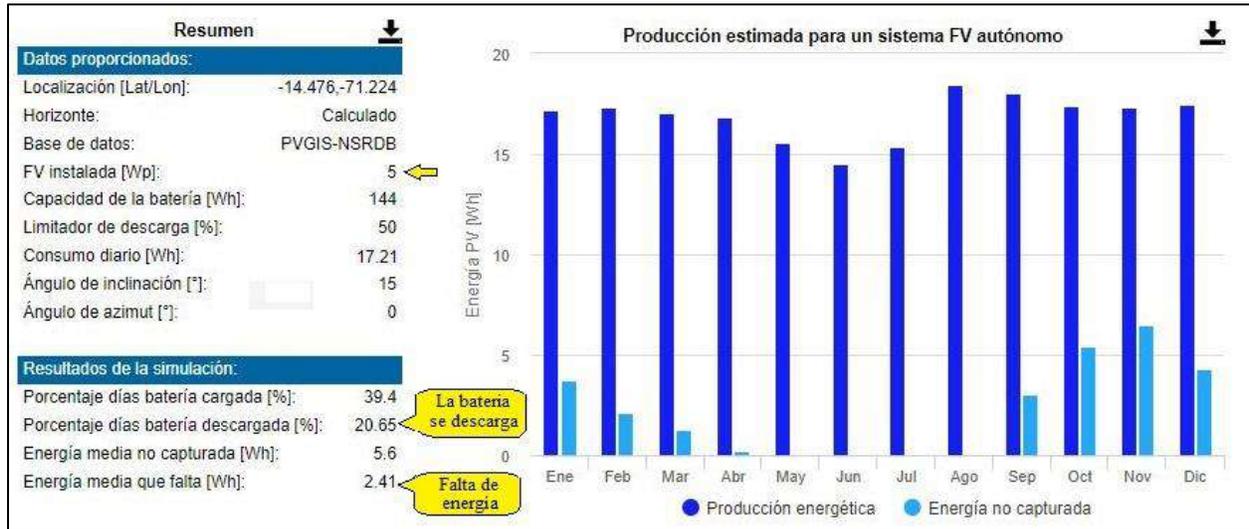


*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Para un módulo fotovoltaico comercial de 5W de potencia (valor eléctrico), la producción energética resultante se muestra en la figura 76.

**Figura 76**

*Producción energética de un panel fotovoltaico de 5W obtenido en PVGIS.*



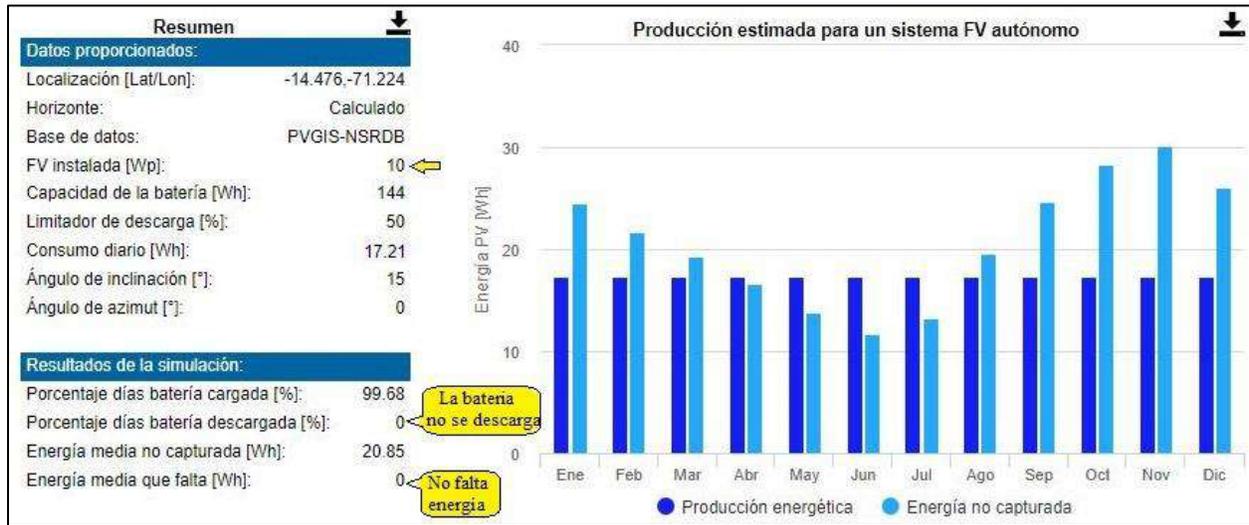
*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Se observa que la producción energética del panel de 5W ocasiona que falte energía y a la vez se descargue la batería para ciertos meses.

Por tal razón se opta por utilizar un panel de mayor tamaño comercial, siendo este el de 10W cuya producción energética se muestra en la figura 77.

**Figura 77**

*Producción energética de un panel fotovoltaico de 10W obtenido en PVGIS.*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Se observa que la producción energética del panel fotovoltaico de 10W satisface las necesidades de consumo a lo largo del año. En la figura 78 se muestra sus especificaciones.

**Figura 78**

*Especificaciones técnicas del panel solar fotovoltaico ENERTIK PS10*



*Fuente:* Tomada de la ficha técnica ENERTIK PS10.

#### 4.7.4 Determinación del regulador de carga

La función del regulador de carga es evitar que la batería se sobrecargue o se descargue más de lo debido. Para el regulador de carga de la instalación se debe tener en cuenta:

- El voltaje que admite la batería: 12v
- La corriente máxima que proporciona el panel fotovoltaico:  $I_{sc} = 0.58 A$

Por tanto, teniendo en cuenta que el regulador de carga debe ser capaz de alimentar la batería en 12v y soportar una corriente de 0.58 A, el regulador comercial más aproximado a estos parámetros es un regulador PWM de 10A modelo SCC-10, cuyas especificaciones se muestran en la figura 79.

#### Figura 79

*Especificaciones del regulador de carga PWM 10A modelo SCC-10 SOILOT*

<p>Voltaje de trabajo: 12V 24V Automático Auto detección de batería: Ácido Plomo, Gel, Inundado Corriente de carga: 10A Corriente descarga: 10A Máx. voltaje PV: 50V Voltaje carga flotante: 13.7V (Ajustable) Parada de descarga: 10.7V (Ajustable) Voltaje de reconexión: 12.6V (Ajustable) Voltaje para activar protección: Entre 9 a 12.3V Ecuilización: B01 Sellada 14.4V; B02 Gel 14.2V Salida USB: 5V/3A Temperatura de trabajo: -35°C ~ +60°C Tamaño: 135 x 71 x 33mm Peso: 300g</p>	
--	--

*Fuente:* Adaptado de la ficha técnica SOILOT.

#### 4.7.5 Diagrama de conexiones eléctricas del equipo de alimentación

El diagrama de conexión eléctrica del equipo de alimentación automático se muestra en la figura 80.



## CAPÍTULO V

### 5. FLOTABILIDAD Y ESTABILIDAD DEL EQUIPO DE ALIMENTACIÓN

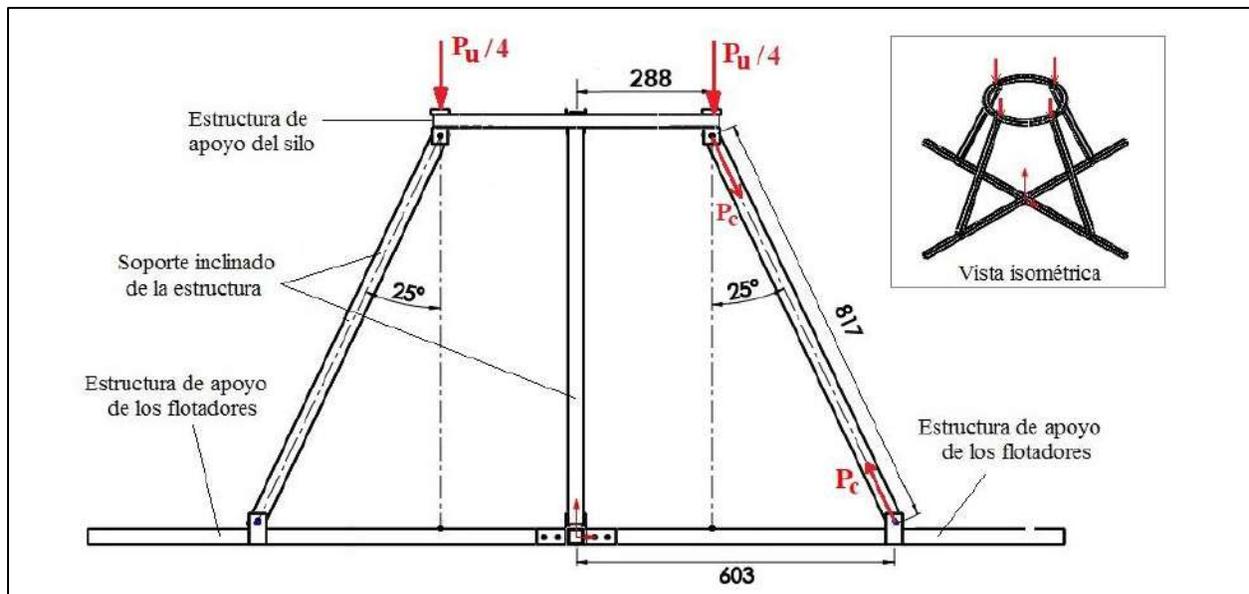
Para determinar la flotabilidad y estabilidad del equipo de alimentación, se debe definir previamente las dimensiones y el peso del equipo de alimentación.

#### 5.1 Estructura de soporte del equipo de alimentación

La estructura de soporte mantiene en su posición los componentes del equipo de alimentación y transmite las cargas actuantes hacia los flotadores. Para tal efecto se considera una estructura de tubo cuadrado de acero galvanizado ASTM A500 de 25x1.5 mm. Los soportes de la estructura se disponen de forma simétrica alrededor del silo, y para evitar el confinamiento del disco dispersor, los soportes poseen cierta inclinación respecto a la línea vertical. Tomando como referencia el criterio de estabilidad de la Organización Marítima Internacional (OMI), quien indica que el brazo adrizante máximo deberá darse a un ángulo no menor a 25°, se asume de manera aproximada el valor de 25° para la inclinación de los soportes de la estructura (Figura 81).

**Figura 81**

*Estructura de soporte para el silo*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

### 5.1.1 Cálculo de cargas sobre la estructura de soporte del equipo

Al tratarse de una estructura metálica, según la norma E.090 la carga última sobre los soportes de la estructura del equipo es una combinación de cargas (carga muerta, carga viva, carga de nieve, carga de viento, entre otras cargas), cuyo valor es el resultado más crítico de las combinaciones que se muestran en la tabla 36.

**Tabla 36**

*Combinaciones de carga para la estructura de soporte del equipo*

Ítem	Combinación de cargas según norma E.090
1	$1.4D$
2	$1.2D + 1.6L + 0.5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)$
3	$1.2D + 1.6(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R) + (0.5L \text{ ó } 0.8W)$
4	$1.2D + 1.3W + 0.5L + 0.5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)$
5	$1.2D \pm 1.0E + 0.5L + 0.2S$
6	$0.9D \pm (1.3W \text{ ó } 1.0E)$

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Siendo  $D$  la carga muerta,  $L$  la carga viva,  $S$  la carga de nieve,  $W$  la carga de viento,  $Lr$  la carga de azotea,  $E$  la carga de sismo y  $R$  la carga de lluvia.

#### 5.1.1.1 Carga muerta sobre la estructura

La carga muerta ( $D$ ) de la estructura del equipo alimentador está dada por todos los componentes instalados en la estructura (peso del silo, componentes de la instalación fotovoltaica, los elementos de control, los elementos actuadores y la estructura misma), tal como se muestra en la figura 82.

**Figura 82**

*Carga muerta de la estructura de soporte del equipo de alimentación*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Se asume un valor adicional al registrado en el modelo CAD referente a componentes como el cableado, pintura, soldaduras, etc. con lo cual la carga muerta de la estructura resulta:

$$D = 20.2 + 1 = 21.2 \text{ kg}$$

#### **5.1.1.1 Carga viva sobre la estructura**

La carga viva (L) que actúa sobre la estructura de soporte está dada por el peso máximo del alimento contenido en el silo:

$$L = m_a = 63 \text{ kg}$$

#### **5.1.1.1 Carga de nieve sobre la estructura del equipo de alimentación**

Según la norma E.020 en la sección 11.2, la carga básica de nieve es de  $Q_s = 40 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$ , variando según las condiciones geográficas y climáticas de la zona, además para las cubiertas con inclinaciones entre  $15^\circ$  a  $30^\circ$  la carga es de  $0.8Q_s$ .

La superficie en la que actúa la carga de nieve es la tapa del silo y el módulo fotovoltaico:

$$A = \pi r l + b h = \pi * 0.275 * 0.285 + 0.38 * 0.26$$

$$A = 0.345 \text{ m}^2$$

Finalmente, la carga de nieve (S) sobre la estructura del equipo de alimentación resulta:

$$S = 0.8(40) * 0.345 = 11.04 \text{ kg}$$

#### 5.1.1.1 Carga de viento sobre la estructura del equipo de alimentación

La carga del viento según la norma E.020 está dada por:

$$P_h = 0.005CV_h^2$$

Donde:

$P_h$ : presión o succión del viento a una altura h en  $[\frac{kg}{m^2}]$ .

C: factor de forma del objeto, para secciones circulares  $C = 0.7$

$V_h$ : velocidad del viento, para la zona de Langui-Layo la velocidad máxima del viento hasta 10 metros con un periodo de retorno de 50 años es de  $V_h = 110 \text{ Km/h}$  (Mapa Eólico del Perú).

Reemplazando el valor de las variables en la ecuación de la carga del viento, se tiene:

$$P_h = 0.005 * 0.7 * 110^2 = 42.35 \frac{kg}{m^2}$$

La carga del viento (dirección horizontal) actúa sobre el área transversal del silo (parte cilíndrica y parte cónica) y el área transversal del módulo fotovoltaico:

$$A \cong d_c * h_c + \frac{d_c * h_h}{2} + b * h * \sin(15^\circ)$$

$$A = 0.47 * 0.38 + \frac{0.47 * 0.46}{2} + 0.38 * 0.26 * \sin(15^\circ) = 0.312 \text{ m}^2$$

Finalmente, la carga de viento sobre la estructura del equipo de alimentación resulta:

$$W = P_h * A = 42.35 * 0.312$$

$$W = 13.2 \text{ kg}$$

Para las cargas restantes: carga de sismo  $E = 0$  debido a que no actúa en el agua, carga de lluvia  $R = 0$  debido a que no se acumula agua, carga de azotea  $Lr = 0$  debido a que no corresponde al caso.

Reemplazando el valor de las variables en las combinaciones de carga sobre la estructura del equipo de alimentación, se obtiene los resultados mostrados en la tabla 37.

**Tabla 37**

*Combinaciones de carga para la estructura de soporte del equipo*

Ítem	Combinación de cargas según norma	Resultado
<b>E.090</b>		
1	1.4D	29.7 kg
2	1.2D + 1.6L + 0.5(Lr ó S ó R)	131.8 kg
3	1.2D + 1.6(Lr ó S ó R) + (0.5L ó 0.8W)	74.6 kg
4	1.2D + 1.3W + 0.5L + 0.5(Lr ó S ó R)	79.6 kg
5	1.2D ± 1.0E + 0.5L + 0.2S	59.1 kg
6	0.9D ± (1.3W ó 1.0E)	36.2 kg

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Por recomendación de la norma E.090, se asume como carga ultima la combinación más crítica:  $P_c = 131.8 \text{ kg}$

### 5.1.2 Cálculo de los soportes de la estructura del equipo alimentador

La carga crítica sobre los soportes de la estructura se calcula utilizando la teoría de pandeo de columnas, el cual establece que, para elementos esbeltos sometidos a compresión la carga crítica está dada por la fórmula de Euler (Pytel & Singer, 2010):

$$P_{cr} = \frac{EI\pi^2}{(L_e)^2} \quad ( 5.1 )$$

Donde:

$P_{cr}$  es la carga crítica que soporta la columna.

$E$  es el módulo elástico del material de la columna.

$I$  es el momento de inercia mínimo de la sección transversal de la columna.

$L_e$  es la longitud efectiva de la columna.

Se evalúa la carga crítica considerando que el soporte de la estructura es de un perfil rectangular de acero galvanizado de 25x25x1.5 mm (tamaño comercial más pequeño), cuyas propiedades son las siguientes:

- Modulo elástico:  $E = 200 \text{ Gpa} = 200\,000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
- Momento de inercia de sección:  $I = \frac{25^4}{12} - \frac{(25-1.5*2)^4}{12} = 13.0 * 10^3 \text{ mm}^4$
- Longitud efectiva:  $L_e = 817 \text{ mm}$  (soporte articulado en ambos extremos).

Reemplazando el valor de las variables en la ecuación de la carga crítica, se obtiene:

$$P_{cr} = \frac{200000 * 13 * 10^3 * \pi^2}{(817)^2}$$

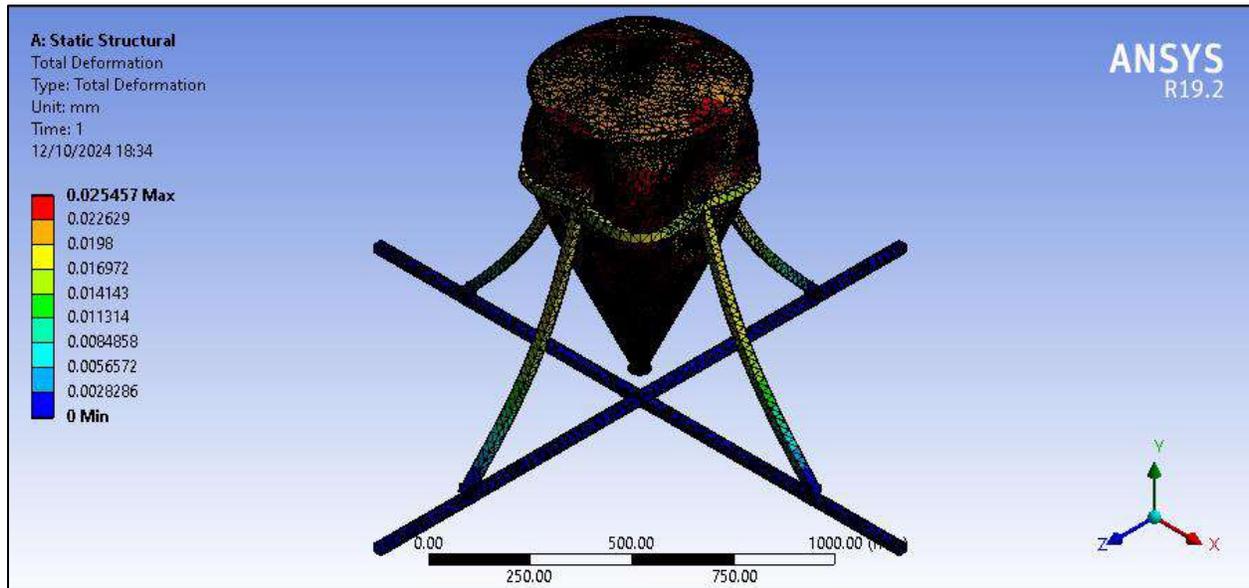
$$P_{cr} = 38444 \text{ N} = 3918.9 \text{ kg}$$

Al comparar la carga crítica del soporte de la estructura ( $P_{cr} = 3918.9 \text{ kg}$ ) con la carga última que actúa sobre ella ( $P_c = 131.8 \text{ kg}$ ), se verifica que los perfiles soportan significativamente la carga.

Se realiza el análisis estático de la estructura del equipo de alimentación en el software ANSYS R19.2, obteniéndose resultados de deformación, esfuerzos equivalentes y factor de seguridad, los cuales se muestran en las figuras 83, 84 y 85 respectivamente.

**Figura 83**

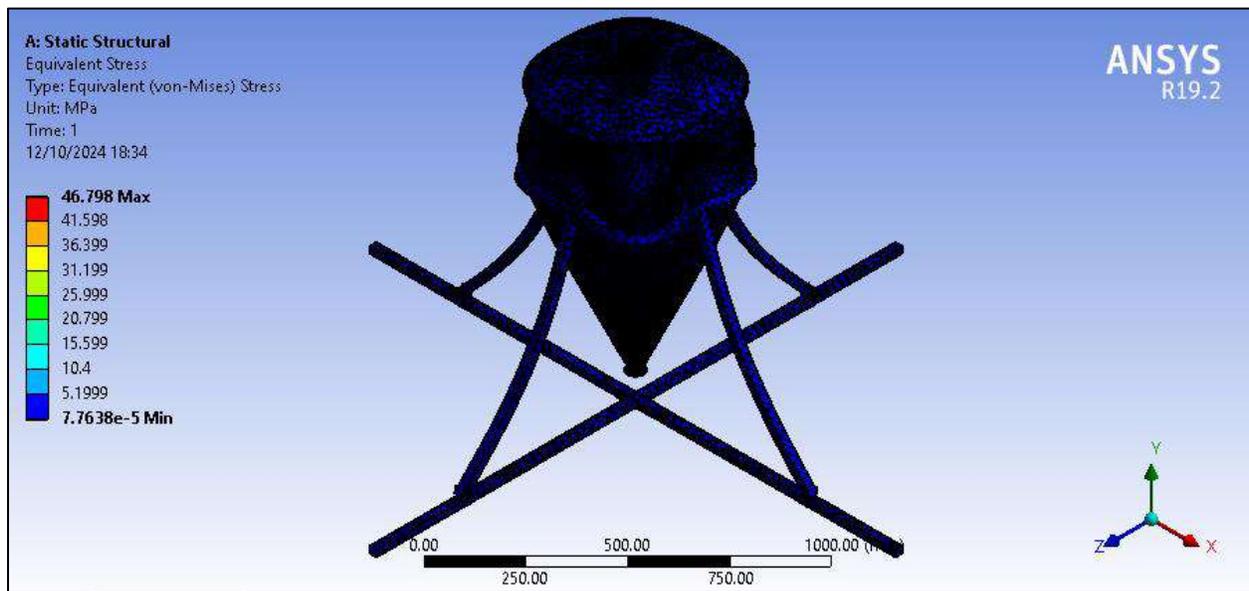
*Deformaciones de la estructura de soporte del equipo al aplicar la carga última.*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

**Figura 84**

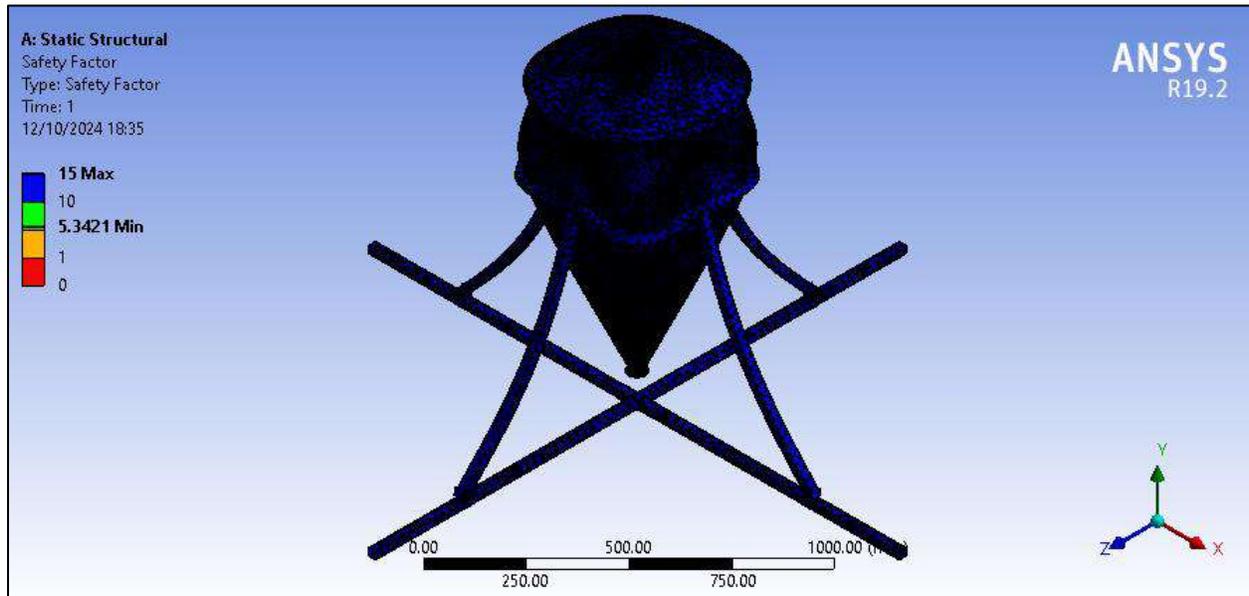
*Esfuerzos equivalentes de la estructura de soporte al aplicar la carga última*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

**Figura 85**

*Factor de seguridad de la estructura del equipo*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

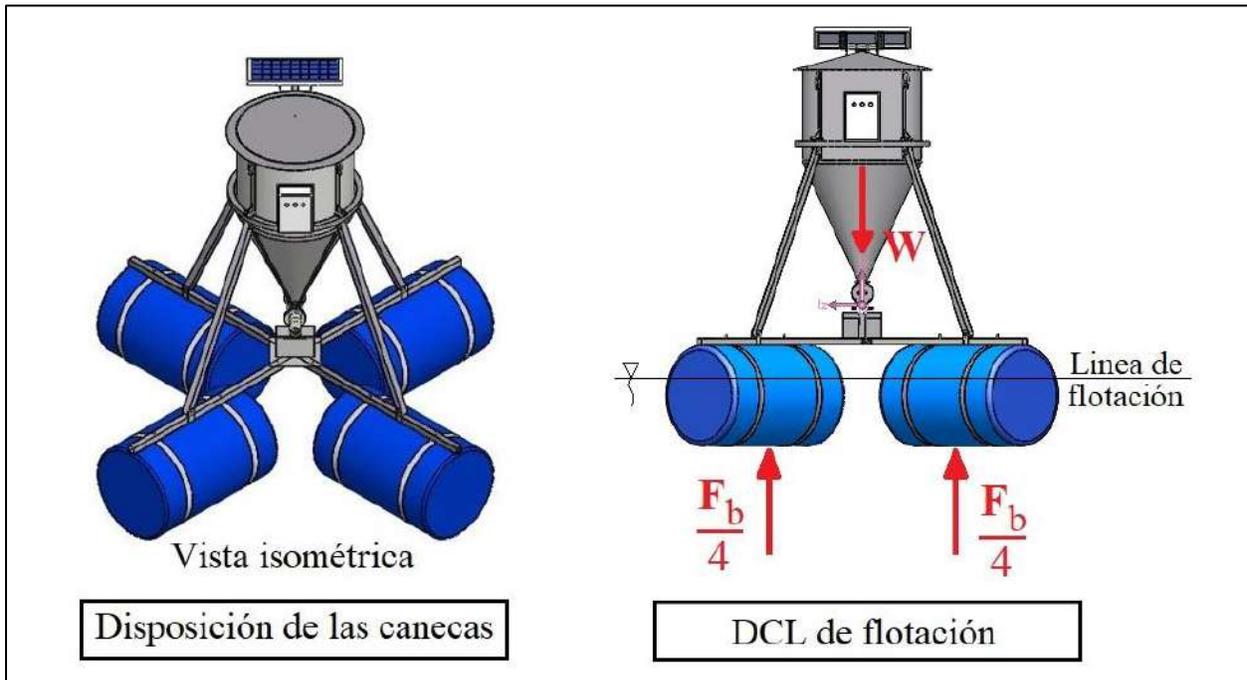
Según lo observado, la deformación máxima que se produce en la estructura del equipo es de  $0.025\text{ mm}$ , el esfuerzo equivalente máximo es de  $46.79\text{ Mpa}$  y el factor de seguridad mínimo obtenido es de  $5.34$ , con lo que se concluye que la estructura del equipo de alimentación no va a fallar para las condiciones de servicio asignado.

## **5.2 Flotabilidad del equipo de alimentación**

El equipo de alimentación estará ubicado dentro de la jaula de las truchas sobre la superficie del agua. La flotabilidad del equipo de alimentación se logra cuando la fuerza de flotación ( $F_b$ ) es igual al peso total del equipo ( $W$ ). Al utilizar canecas para la flotación, la disposición y el DCL respectivo se muestra en la figura 86.

**Figura 86**

*DCL de flotación del equipo según disposición de las canecas.*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Según el DCL de flotación del equipo, se tiene:

$$\sum F_y = F_b - W = 0$$

$$F_b = W$$

Por otro lado, la ecuación de la fuerza de flotación basada en el principio de Arquímedes está dada por la ecuación 7.2 (Mott, 2015).

$$F_b = \gamma_f V_d \quad ( 5.2 )$$

Donde:

$F_b$  es la fuerza de flotación que se opone al peso total del equipo, [N].

$\gamma_f$  es el peso específico del fluido desplazado, para el agua es  $\gamma_f = 9810 \frac{N}{m^3}$

$V_d$  es el volumen desplazado de agua, [m<sup>3</sup>].

El peso total del equipo ( $W$ ) lo conforman todos los componentes del equipo en estado lleno. La masa del equipo de alimentación en estado lleno, sin considerar la masa de las canecas de flotación, se muestra en la figura 87.

**Figura 87**

*Masa del equipo en estado lleno sin considerar las canecas*



*Fuente:* Elaboración propia del autor

La masa de las canecas depende del tamaño requerido, para la flotación del proyecto se evalúan tres tamaños comerciales cuyas especificaciones se muestran en la tabla 38.

**Tabla 38**

*Especificaciones de las canecas de 30L, 60L y 120L.*

Tipo de caneca	Masa de la caneca (Kg)	Volumen de la caneca (m3)	Cantidad de canecas	Masa total canecas (kg)	Volumen total canecas (m3)
Caneca de 30L	1.75	0.03	4	7	0.12
Caneca de 60L	3.50	0.06	4	14	0.24
Caneca de 120L	6.00	0.12	4	24	0.48

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Al reemplazar el valor de las variables en la ecuación de  $F_b$ , se obtiene distintos valores del volumen desplazado ( $V_d$ ) los cuales se comparan con el volumen total de las canecas ( $V_t$ ),

determinándose con ello si estas desplazarán el suficiente volumen (volumen restante) para lograr la flotación del equipo (Tabla 39).

**Tabla 39**

*Obtención del volumen restante en función de  $V_d$  y  $V_t$ .*

Descripción	Utilizando canecas 30L	Utilizando canecas 60L	Utilizando canecas 120L
Masa total del equipo: $m$	97.19 kg	104.19 kg	114.19 kg
Peso total del equipo: $F_b = mg$	953.5 N	1022.1 N	1120.2 N
Volumen desplazado: $V_d = F_b/\gamma_f$	0.097 m <sup>3</sup>	0.104 m <sup>3</sup>	0.114 m <sup>3</sup>
Volumen total de las canecas	0.120 m <sup>3</sup>	0.240 m <sup>3</sup>	0.480 m <sup>3</sup>
<b>Porcentaje de volumen sumergido</b>	<b>80.99%</b>	<b>43.41%</b>	<b>23.79%</b>

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

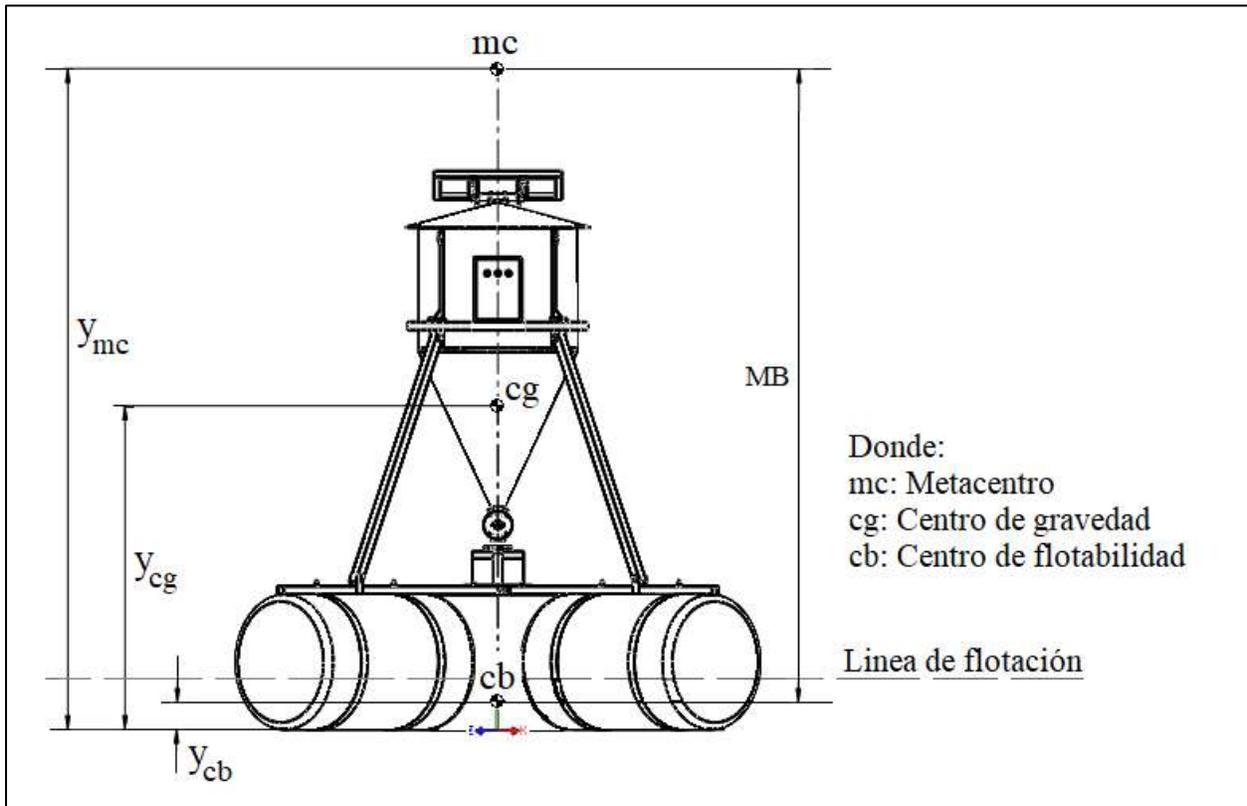
Finalmente, el criterio de selección para las canecas, es que estas queden sumergidas máximo en alrededor del 50% de su volumen para lograr un cierto grado de seguridad. Según esto, se seleccionan las canecas de 60L porque son más próximas al valor requerido (43.4% de volumen sumergido).

### 5.3 Estabilidad del equipo de alimentación

Considerando que el equipo de alimentación es un objeto flotante, la condición de estabilidad según Mott (2015, pag.103) es que el centro de gravedad del objeto este por debajo del metacentro, tal como se muestra en la figura 88.

**Figura 88**

*Condición de flotabilidad para el equipo de alimentación*

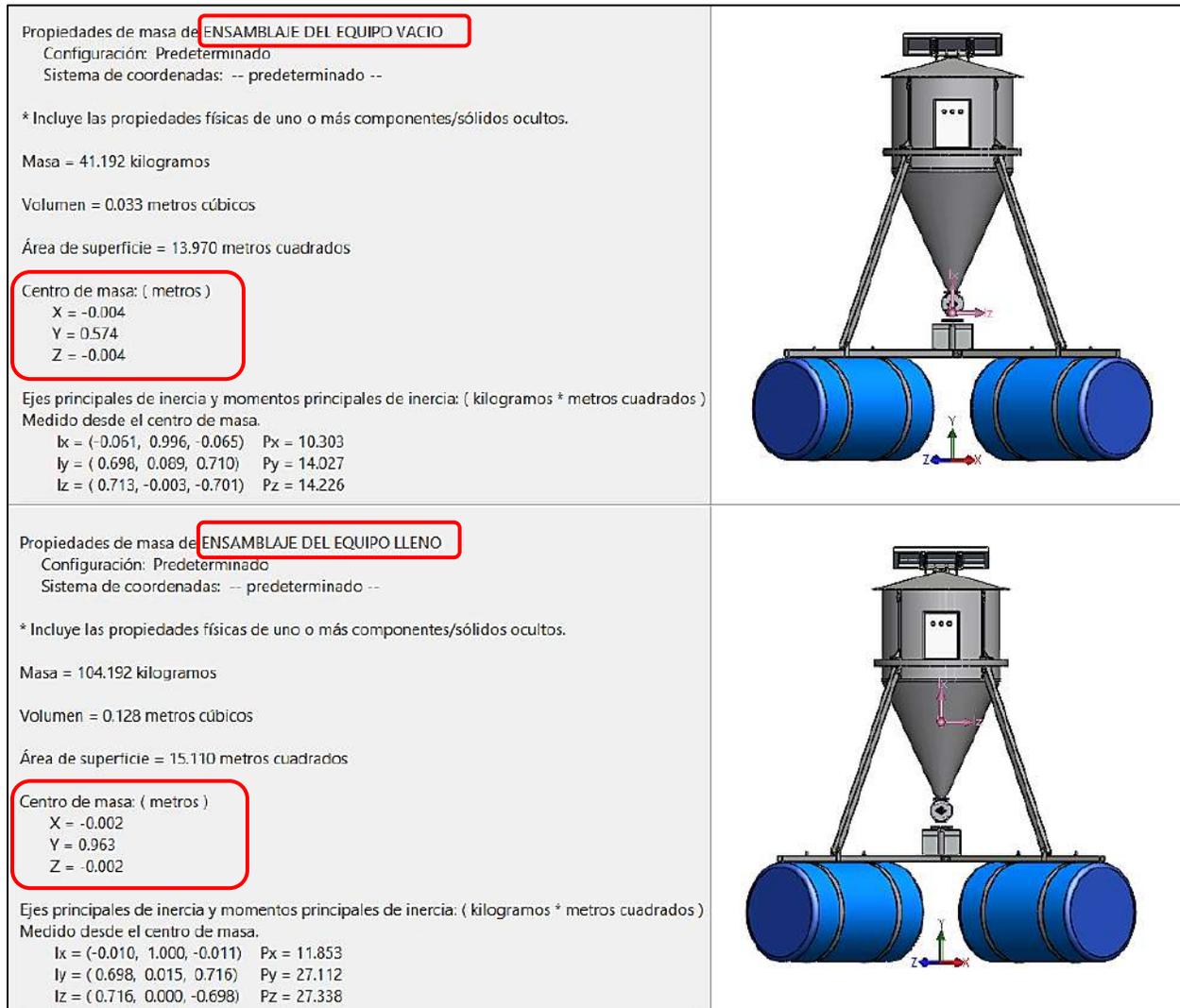


*Fuente:* Elaboración propia del autor.

El cálculo de estabilidad se realiza para el caso más crítico, el cual viene a ser cuando el equipo está completamente lleno, lo que supone que su centro de gravedad (centro de masa) se concentre muy por encima del caso en que este estuviese vacío. En la figura 89 se muestra la ubicación del centro de masa para el equipo de alimentación tanto en estado vacío y en estado lleno.

**Figura 89**

*Ubicación del centro de masa del equipo para el estado vacío y lleno.*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Para verificar la condición de estabilidad del equipo, el metacentro se determina a partir del cálculo de la distancia  $MB$ , la cual está regida por la ecuación 7.3 (Mott, 2015):

$$MB = I/V_d \quad ( 5.3 )$$

Donde:

$MB$  es la distancia del metacentro al centro de flotabilidad.

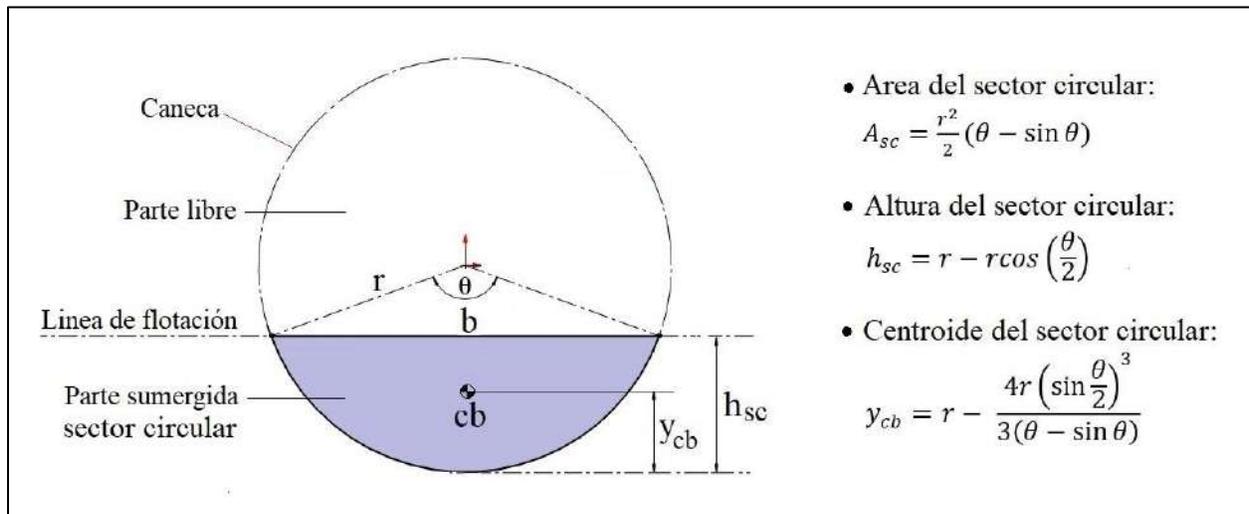
$I$  es el menor momento de inercia de la sección que corta la superficie del fluido.

$V_d$  es el volumen del fluido desplazado, [ $m^3$ ]

El centro de flotabilidad depende de la profundidad en que se sumergen las canecas, considerando que estas son de forma cilíndrica, el centro de flotabilidad se determina del análisis de una caneca tal como se muestra en la figura 90.

**Figura 90**

*Centro de flotabilidad (cb) de una caneca.*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

Partiendo de las dimensiones de radio y altura de las canecas de 60L ( $r = 0.2 \text{ m}$  y  $h = 0.625 \text{ m}$ ) y además el valor del peso específico del agua  $\gamma_f = 9810 \frac{N}{m^3}$ , se calcula los parámetros necesarios para determinar el centro de flotabilidad según se muestra en la tabla 40.

**Tabla 40**

*Calculo del centro de flotabilidad del equipo*

Procedimiento	Magnitud
Masa total del equipo: $m$	$m = 104.192 \text{ kg}$
Fuerza de flotación: $F_b = mg$	$F_b = 1022.1 \text{ N}$
Volumen desplazado: $V_d = F_b / \gamma_f$	$V_d = 0.104 \text{ m}^3$
Volumen desplazado por cada caneca: $V'_d = V_d / 4$	$V'_d = 0.026 \text{ m}^3$
Área del sector circular: $A_{sc} = \frac{V'_d}{h}$	$A_{sc} = 0.042 \text{ m}^2$

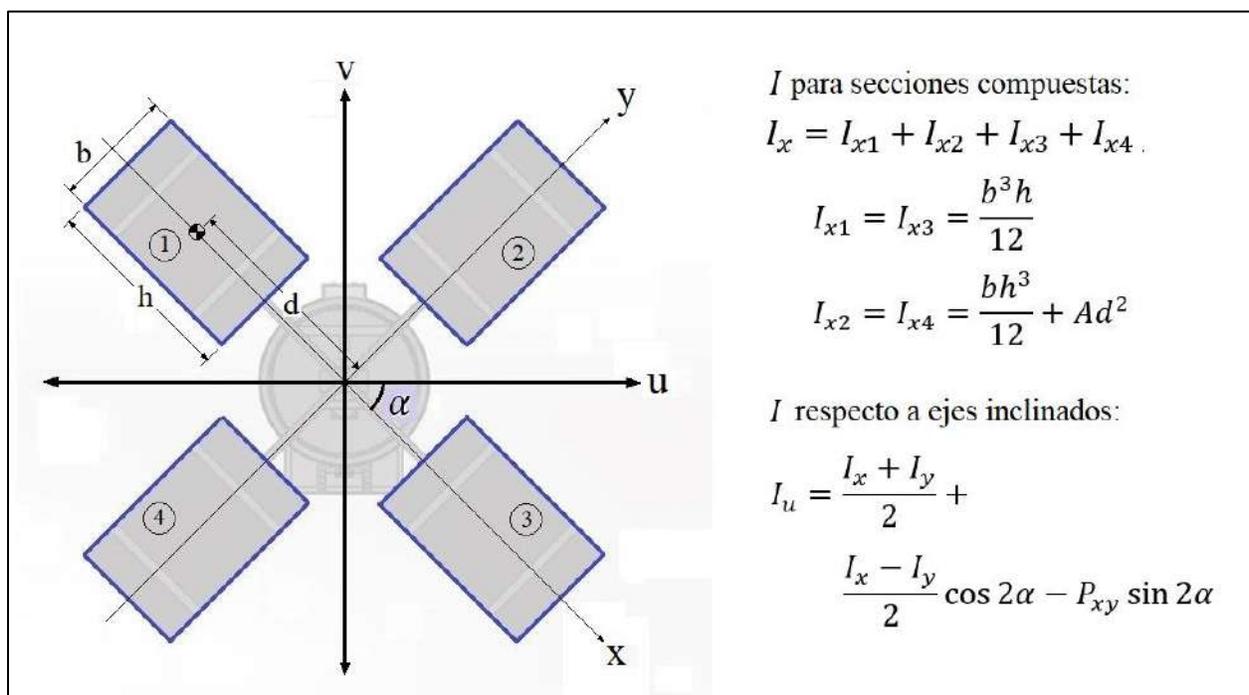
Procedimiento	Magnitud
Ecuación para determinar $\theta$ : $A_{sc} = \frac{r^2}{2}(\theta - \sin \theta)$	$\theta = 2.61 \text{ rad}$
Altura del sector circular: $h_{sc} = r - r \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)$	$h_{sc} = 0.150 \text{ m}$
Cuerda del sector circular: $b = r\sqrt{2(1 - \cos \theta)}$	$b = 0.386 \text{ m}$
<b>Centro de flotabilidad:</b> $y_{cb} = r - \frac{4r\left(\sin\frac{\theta}{2}\right)^3}{3(\theta - \sin \theta)}$	<b>0.086 m</b>

Fuente: Elaboración propia del autor.

Para el momento de inercia, se realiza un análisis de la sección del equipo de alimentación que es cortado por la superficie del agua, tal como se muestra en la figura 91.

**Figura 91**

*Sección del equipo que es cortada por la superficie del agua*



Fuente: Elaboración propia del autor.

Considerando como ejes principales a  $U$  y  $V$ , el momento de inercia de la figura compuesta se inicia para los ejes  $X$  y  $Y$ , luego utilizando el momento de inercia respecto a ejes inclinados se determina el momento correspondiente a los ejes  $U$  y  $V$ .

Momento de inercia respecto a  $X$  y  $Y$  asumiendo  $d = 0.6 \text{ m}$ ,  $h = 0.625 \text{ m}$  y  $b = 0.386 \text{ m}$ :

$$I_x = I_{x1} + I_{x2} + I_{x3} + I_{x4}$$

$$I_{x1} = I_{x3} = \frac{b^3 h}{12} = \frac{0.386^3 * 0.625}{12} = 2.99 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_{x2} = I_{x4} = \frac{bh^3}{12} + Ad^2 = \frac{0.386^3 * 0.625}{12} + 0.386 * 0.625 * 0.6^2 = 0.095 \text{ m}^4$$

$$I_x = 2(2.99 \times 10^{-3} + 0.095) = 0.196 \text{ m}^4$$

Al ser una sección simétrica:  $I_x = I_y = 0.196 \text{ m}^4$ ,  $P_{xy} = 0$

Finalmente se determina el momento de inercia respecto a  $U$  y  $V$  según la ecuación 7.4 (Pytel y Singer, 2010, pág. 524) asumiendo  $\alpha = 45^\circ$ .

$$I_u = \frac{I_x + I_y}{2} + \frac{I_x - I_y}{2} \cos 2\alpha - P_{xy} \sin 2\alpha \quad ( 5.4 )$$

$$I_u = \frac{0.196 + 0.196}{2} + 0 - 0$$

$$I_u = 0.196 \text{ m}^4$$

Al tenerse una sección simétrica se cumple que  $I_u = I_v$ , por lo que el menor valor del momento de inercia de la sección cortada por la superficie del fluido es:  $I = 0.196 \text{ m}^4$

Al reemplazar los valores calculados en la ecuación de la distancia  $MB$ , se obtiene:

$$MB = \frac{I}{V_d} = \frac{0.196}{0.104} = 1.88 \text{ m}$$

El valor de  $MB$  es la distancia del metacentro al centro de flotabilidad, por lo que la ubicación del metacentro respecto a la base del equipo resulta:

$$y_{mc} = y_{cb} + MB = 0.086 + 1.88$$

$$y_{mc} = 1.97 \text{ m}$$

Finalmente, se verifica que la altura del metacentro  $y_{mc} = 1.97 \text{ m}$  resulta mayor a la altura del centro de gravedad ( $y_{cg} = 0.963 \text{ m}$ ), con lo que se cumple el criterio de estabilidad.

### 5.3.1 Grado de estabilidad del equipo de alimentación

El grado de estabilidad de un cuerpo flotante depende de la altura metacéntrica  $MG$  (distancia entre el metacentro y el centro de gravedad), el cual, según la referencia del libro de mecánica de Fluidos (Mott, 2015, pag.107), para embarcaciones pequeñas  $MG > 0.46 m$  y para embarcaciones grandes  $MG > 1.07 m$ .

Para el caso del equipo de alimentación, se tiene:

$$MG = y_{mc} - y_{cg} = 1.97 - 0.963$$

$$MG = 1.01 m$$

Por lo tanto, la altura metacéntrica del equipo de alimentación ( $MG = 1.01 m$ ) cumple con la referencia establecida para embarcaciones pequeñas ( $MG > 0.46 m$ ), por lo que el grado de estabilidad del equipo de alimentación es más que aceptable.

### 5.4 Consideraciones finales

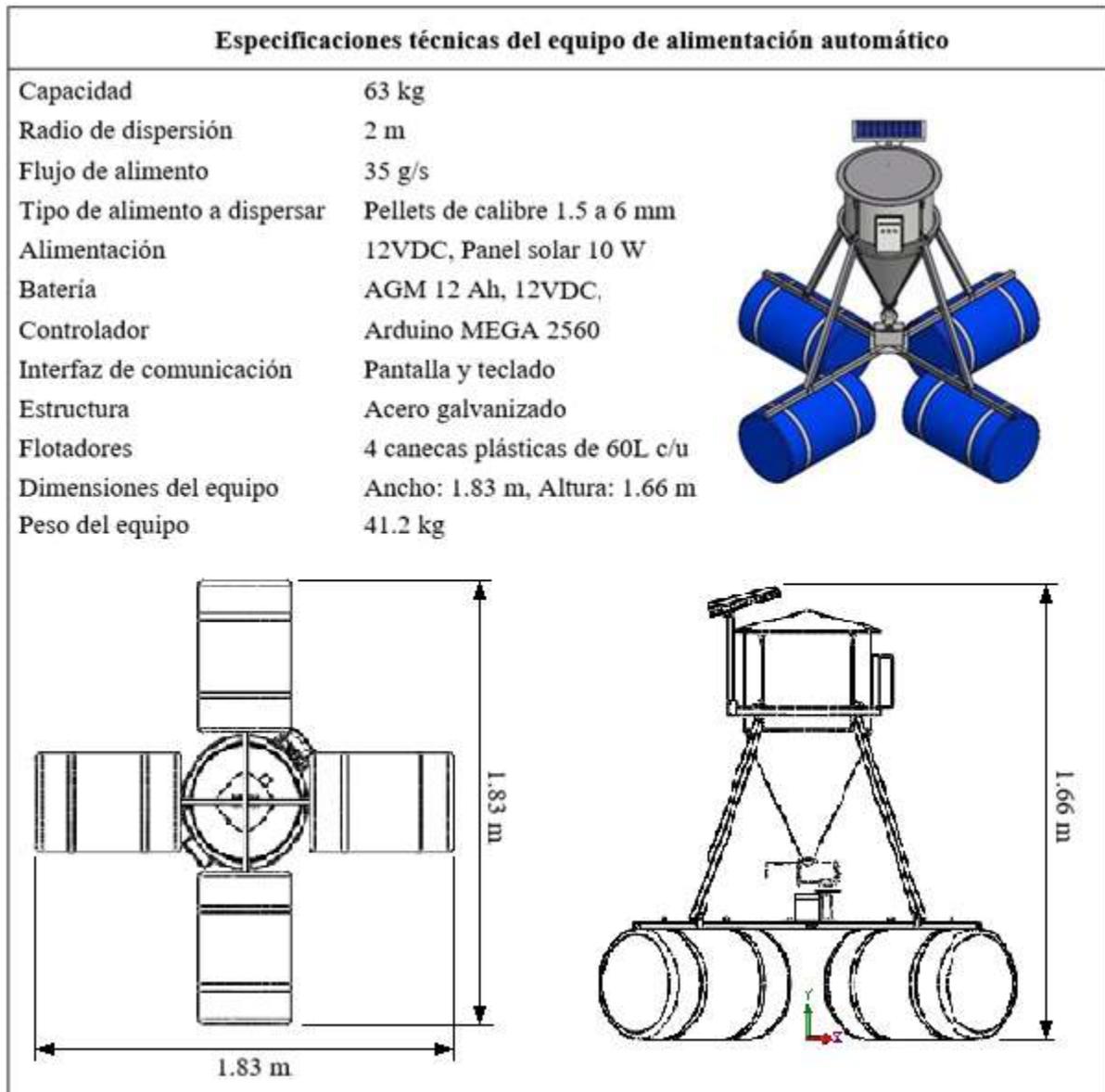
El equipo de alimentación estará centrado dentro de la jaula por cuerdas amarradas a la estructura de la jaula, y orientada adecuadamente para optimizar la alimentación fotovoltaica (hacia el Norte). Por otro lado, la altura de dispersión del alimento respecto a la línea de flotación, varía según la condición del equipo: para el equipo en estado lleno esta altura es de  $0.388 m$  y para el equipo en estado vacío esta altura es de  $0.459 m$ .

Según esto, la altura de dispersión adoptada en el diseño del dispensor ( $h_d = 0.4 m$ ) queda comprendida entre los valores de altura de dispersión:  $0.388 m < h_d < 0.459 m$ . Esta variación de la altura de dispersión hace que la distancia de dispersión ( $L_d = 2 m$ ) varíe entre  $1.97 m < L_d < 2.14 m$ , lo cual aún mantiene el alimento dentro de los límites de la jaula.

Las especificaciones técnicas finales del equipo de alimentación automático para truchas en jaulas flotantes, se muestra en la figura 92.

**Figura 92**

*Especificaciones técnicas del equipo de alimentación*



*Fuente:* Elaboración propia del autor.

## CAPÍTULO VI

### 6. ANÁLISIS DE COSTOS DEL EQUIPO DE ALIMENTACIÓN

#### 6.1 Costo del equipo de alimentación

Para determinar el costo del equipo de alimentación automático para trucha, se proyectó considerar el costo de los materiales utilizados, el costo de fabricación-ensamblaje y los costos operativos.

##### 6.1.1 Costos de los materiales utilizados en el equipo de alimentación

Para determinar el costo de los materiales utilizados en la fabricación del equipo de alimentación, se realizó el metrado de materiales y elementos intervinientes, para luego establecer un precio unitario en base a las cotizaciones realizadas en el mercado nacional (Anexos). El resumen del costo de materiales se muestra en la tabla 41.

**Tabla 41**

*Costo de los materiales utilizados en el equipo de alimentación*

Subsistema	Descripción	Unidad	Costo unitario	Cantidad	Costo parcial
Estructura del Silo del equipo	Plancha galvanizada ASTM A653 de 0.3 mm	m2	S/. 25.00	1.22	S/ 30.38
	Plancha galvanizada ASTM A653 de 1.5 mm	m2	S/. 55.56	0.20	S/ 11.11
	Pestillo de palanca	und	S/. 4.50	4	S/ 18.00
	Remache estándar de aluminio de 4x6 mm	und	S/. 0.18	8	S/ 1.44
	Electrodo E6013 de 1.6 mm	kg	S/. 13.00	0.5	S/ 6.50
	Estaño en barra 50/50	kg	S/. 217.70	0.25	S/ 54.43
				Subtotal	S/ 121.85
Estructura de soporte del equipo	Tubo cuadrado ASTM A500 de 25x1.5 mm	ml	S/. 5.13	2.2	S/ 11.29
	Tubo redondo ASTM A500 de 3/8"x1.8 mm	ml	S/. 6.00	0.2	S/ 1.20
	Plancha galvanizado ASTM A653 de 1.5 mm	m2	S/. 55.56	0.1	S/ 5.56
	Angulo Ranurado de 25x25x2 mm	ml	S/. 26.63	0.52	S/ 13.85
	Abrazadera Ubolt 3/8"	und	S/. 3.00	2	S/ 6.00
	Perno hexagonal M6x1.0x40 + tuerca	und	S/. 1.50	14	S/ 21.00
	Perno hexagonal M6x1.0x16 + tuerca	und	S/. 1.20	4	S/ 4.80
	Tornillo cabeza con ranura en cruz M6x1.0x16	und	S/. 0.80	8	S/ 6.40
Electrodo E6013 de 1.6 mm	kg	S/. 13.00	1	S/ 13.00	

				Subtotal	S/ 83.09
Dosificador	Plancha galvanizada ASTM A653 de 1.5 mm	m2	S/. 55.56	0.2	S/ 11.11
	Plancha galvanizada ASTM A653 de 2 mm	m2	S/. 90.28	0.05	S/ 4.51
	Tubo redondo ASTM A500 de 3/8"x1.8 mm	ml	S/. 6.00	0.15	S/ 0.90
	Barra redonda de 6 mm ASTM A36	ml	S/ 2.67	0.1	S/ 0.27
	Tornillo cabeza con ranura en cruz M3x0.5x10	und	S/ 0.50	16	S/ 8.00
	Acople de eje de 6 mm	und	S/ 5.00	1	S/ 5.00
	Electrodo E6013 de 1.6 mm	kg	S/. 13.00	0.5	S/ 6.50
	Estaño en barra 50/50	kg	S/. 217.70	0.2	S/ 43.54
			Subtotal	S/ 79.83	
Dispersor	Plancha galvanizada ASTM A653 de 0.3 mm	m2	S/ 25.00	0.01	S/ 0.35
	Barra redonda de 4 mm ASTM A36	ml	S/ 2.67	0.1	S/ 0.27
	Acople de eje de 4 mm	und	S/ 5.00	1	S/ 5.00
	Electrodo E6013 de 1.6 mm	kg	S/. 13.00	0.2	S/ 2.60
	Estaño en barra 50/50	kg	S/. 217.70	0.1	S/ 21.77
			Subtotal	S/ 29.99	
Elementos de flotación	Tubo cuadrado ASTM A500 de 30x1.79 mm	ml	S/ 9.53	3.7	S/ 35.26
	Caneca plástica 60 L	und	S/ 35.00	4	S/ 140.00
	Plancha galvanizado ASTM A653 de 1.5 mm	m2	S/ 55.56	0.2	S/ 11.11
	Perno hexagonal M6x1.0x40 + tuerca	und	S/. 1.50	8	S/ 12.00
			Subtotal	S/ 198.37	
Sistema de control	Arduino Mega 2560 R3	und	S/ 215.00	1	S/ 215.00
	Motorreductor DC 12V, 7W, 60 RPM	und	S/ 160.00	1	S/ 160.00
	Motorreductor DC 12V, 1.5W, 1675 RPM	und	S/ 100.00	1	S/ 100.00
	Driver L298N 12v	und	S/ 12.00	1	S/ 12.00
	Pantalla GLCD 128x64 ST7920	und	S/ 60.00	1	S/ 60.00
	Teclado matricial 4X4 membrana	und	S/ 5.00	1	S/ 5.00
	Sensor de carga 50 kg	und	S/ 13.00	4	S/ 52.00
	Amplificador de señal AD HX711	und	S/ 5.00	1	S/ 5.00
	Indicador Luminoso 12v 16 mm	und	S/ 6.00	3	S/ 18.00
	Placa multipropósito Perforada 7x9 cm	und	S/ 3.00	1	S/ 3.00
	Cable multifilar 2x0.5mm Bicolor	m	S/ 2.50	2	S/ 5.00
	Cable USB Estándar tipo A/B	und	S/ 7.50	1	S/ 7.50
	Gabinete PVC 140x190x76 mm	und	S/ 139.14	1	S/ 139.14
			Subtotal	S/ 781.64	
Instalación fotovoltaica	Modulo Fotovoltaico 12v 10W	und	S/ 65.00	1	S/ 65.00
	Regulador de carga 12/24 v 10Ah	und	S/ 76.74	1	S/ 76.74

Batería Solar 12v 12Ah	und	S/ 110.00	1	S/ 110.00
Cable fotovoltaico 6 mm2 Rojo	m	S/ 12.00	3	S/ 36.00
Cable fotovoltaico 6 mm2 Negro	m	S/ 11.00	3	S/ 33.00
Terminal para cable con perno	und	S/ 1.70	2	S/ 3.40
Subtotal				S/ 324.14
<b>Total</b>				<b>S/ 1,618.91</b>

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

### 6.1.2 Costo de fabricación y ensamblaje del equipo de alimentación

El costo de fabricación y ensamblaje del equipo de alimentación se realizó en base al tipo de elemento a fabricar, el personal y el tiempo de fabricación según la complejidad del elemento.

Con respecto al personal, se considera la intervención de un Operario tanto mecánico y eléctrico cuyo costo hora-hombre (HH) se toma de referencia de los precios establecidos en el Suplemento Técnico enero 2024 de la Revista Costos. Para el caso del costo de equipos y herramientas utilizados en la fabricación, se hace una estimación del 15% del costo de mano de obra (%MO).

El resumen del costo de fabricación y ensamblaje se muestra en la tabla 42.

**Tabla 42**

*Costos de fabricación y ensamblaje del equipo de alimentación*

Subsistema	Descripción	Unidad	Costo unitario	Cantidad	Costo parcial
Estructura del Silo del equipo	Trazado y corte de plancha galvanizada	HH	S/. 27.49	1.00	S/ 27.49
	Rolado y plegado de plancha galvanizada	HH	S/. 27.49	1.00	S/ 27.49
	Uniones por doblado de la estructura del silo	HH	S/. 27.49	0.50	S/ 13.75
	Uniones por soldadura de la estructura del silo	HH	S/. 27.49	0.50	S/ 13.75
	Pintado con anticorrosivo de color blanco	m2	S/. 9.68	1.50	S/ 14.52
	Equipos y herramientas (15% MO)	und	S/. 12.37	1	S/ 12.37
	Otros (10% del acumulado)	und	S/. 10.94	1	S/ 10.94
Subtotal					S/ 120.30
Estructura de soporte del equipo	Trazado y corte de perfiles metálicos	HH	S/. 27.49	1	S/ 27.49
	Doblado de tubo galvanizado	HH	S/. 27.49	0.5	S/ 13.75
	Uniones por soldadura de la estructura de soporte	HH	S/. 27.49	1	S/ 27.49
	Taladrado de agujeros de unión de la estructura	HH	S/. 27.49	1	S/ 27.49

	Ensamblaje de la estructura de soporte	HH	S/. 27.49	1	S/ 27.49
	Pintado con anticorrosivo de color blanco	m2	S/. 9.68	1.00	S/ 9.68
	Equipos y herramientas (15% MO)	und	S/. 18.56	1	S/ 18.56
	Otros (10%)	und	S/. 15.19	1	S/ 15.19
					Subtotal S/ 167.13
Dosificador	Trazado y corte de chapa y perfiles metálicos	HH	S/. 27.49	1	S/ 27.49
	Rolado de chapa metálica	HH	S/. 27.49	0.1	S/ 2.75
	Uniones por soldadura de partes del dosificador	HH	S/. 27.49	0.5	S/ 13.75
	Taladrado de agujeros de unión del dosificador	HH	S/. 27.49	0.5	S/ 13.75
	Ensamblaje de componentes del dosificador	HH	S/. 27.49	1	S/ 27.49
	Pintado con anticorrosivo de color blanco	m2	S/. 9.68	0.50	S/ 4.84
	Equipos y herramientas (15% MO)	und	S/. 12.78	1	S/ 12.78
	Otros (10%)	und	S/. 10.28	1	S/ 10.28
					Subtotal S/ 113.13
Dispensor	Trazado y corte de plancha galvanizada	HH	S/. 27.49	0.25	S/ 6.87
	Uniones por soldadura de partes del dispensador	HH	S/. 27.49	0.25	S/ 6.87
	Ensamblaje de componentes del dispensador	HH	S/. 27.49	0.25	S/ 6.87
	Pintado con anticorrosivo de color blanco	m2	S/. 9.68	0.2	S/ 1.94
	Equipos y herramientas (15% MO)	und	S/. 3.09	1	S/ 3.09
	Otros (10%)	und	S/ 2.56	1	S/ 2.56
Elementos de flotación	Trazado y corte de chapa metálica	HH	S/. 27.49	0.5	S/ 13.75
	Rolado de chapa metálica para soporte de canecas	HH	S/. 27.49	0.25	S/ 6.87
	Uniones por soldadura del soporte de las canecas	HH	S/. 27.49	0.5	S/ 13.75
	Pintado con anticorrosivo de color blanco	m2	S/. 9.68	0.25	S/ 2.42
	Montaje de los elementos de flotación	HH	S/. 27.49	0.5	S/ 13.75
	Equipos y herramientas (15% MO)	und	S/. 11.34	1	S/ 11.34
	Otros (10%)	und	S/ 6.19	1	S/ 6.19
					Subtotal S/ 68.05
Sistema de control	Instalación de actuadores	HH	S/. 27.49	0.5	S/ 13.75
	Instalación de sensores de carga	HH	S/. 27.49	0.5	S/ 13.75
	Montaje de gabinete eléctrico	HH	S/. 27.49	0.25	S/ 6.87
	Instalación del controlador e interfaz en el gabinete	HH	S/. 27.49	1	S/ 27.49
	Instalación de indicadores luminosos en el gabinete	HH	S/. 27.49	0.5	S/ 13.75
	Cableado eléctrico	HH	S/. 27.49	1	S/ 27.49
	Equipos y herramientas (15% MO)	und	S/. 15.46	1	S/ 15.46
	Otros (10%)	und	S/ 11.86	1	S/ 11.86
					Subtotal S/ 130.41

	Instalación del módulo Fotovoltaico	HH	S/. 27.49	0.5	S/ 13.75
	Instalación del regulador de carga en el gabinete	HH	S/. 27.49	0.5	S/ 13.75
Instalación fotovoltaica	Montaje de batería solar	HH	S/. 27.49	0.25	S/ 6.87
	Cableado eléctrico	HH	S/. 27.49	1	S/ 27.49
	Equipos y herramientas (15% MO)	und	S/. 9.28	1	S/ 9.28
	Otros (10%)	und	S/ 7.11	1	S/ 7.11
					Subtotal S/ 78.24
					<b>Total S/ 705.47</b>

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

### 6.1.3 Costos operativos para la fabricación del equipo

Los costos operativos y/o administrativos son gastos necesarios para poner en marcha la fabricación del equipo. El resumen de estos costos se muestra en la tabla 43.

**Tabla 43**

*Costos operativos para la fabricación del equipo*

Ítem	Descripción	Unidades	Costo Unitario	Cantidad	Costo Parcial
1	Adquisición y transporte de materiales	und	S/. 150.00	1	S/. 150.00
2	Alquiler de taller metalmecánico	día	S/. 50.00	3	S/. 150.00
3	Pago de servicio de agua y electricidad.	día	S/. 40.00	3	S/. 120.00
4	Limpieza	día	S/. 15.00	3	S/. 45.00
5	Otros (10%)	und	S/. 465.00	0.1	S/. 46.50
					<b>Total S/. 511.50</b>

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

### 6.1.4 Costo total del equipo de alimentación automática de trucha

Finalmente, el costo total del equipo de alimentación se muestra en la tabla 44.

**Tabla 44**

*Costos operativos*

Ítem	Descripción	Costo
1	Costo de materiales utilizados en el equipo	S/. 1,618.91
2	Costos de fabricación y ensamblaje	S/. 705.47
3	Costos operativos para la fabricación del equipo	S/. 511.50
		<b>Total S/. 2,835.89</b>

*Fuente:* Elaboración propia del autor.

El costo total estimado del equipo de alimentación automática para trucha en jaulas flotantes es de **S/. 2,835.89** (Dos mil ochocientos treinta y cinco con 89/100 soles).

## 6.2 Análisis de rentabilidad

Para el análisis de la rentabilidad del equipo de alimentación se utiliza los indicadores financieros del VAN y TIR. Para lo cual, se determina previamente el flujo de caja neto.

### 6.2.1 Flujo de caja neto

El flujo de caja neto se determina con los ingresos y egresos relacionados a la utilización del equipo de alimentación. Para el proyecto se considera los ingresos al ahorro diario que se genera al reemplazar las horas hombre por el equipo de alimentación automático y los egresos a la inversión necesaria para obtener el equipo y los costos de mantenimiento para su buen funcionamiento.

El mínimo y máximo ahorro generado se dan para una frecuencia de alimentación de 2 y 10 veces al día respectivamente; en la tabla 45 se muestran los ahorros generados.

**Tabla 45**

*Ahorro generado para frecuencias de alimentación de 2 y 10 veces al día*

Frecuencia	Tipo de alimentación	Tiempo (min)	Veces día	Costo HH	Costo Parcial	Costo diario	
<b>Alimentación manual</b>							
2	Ingreso y salida del lago	20	2	S/. 7.81	S/. 5.21	<b>S/ 5.99</b>	
	Alimentación de truchas	3	2	S/. 7.81	S/. 0.78		
	<b>Alimentación Automática</b>						
	Ingreso y salida del lago	20	0.3	S/. 7.81	S/. 0.74	<b>S/ 1.49</b>	
	Llenado del alimento en el silo	10	0.3	S/. 7.81	S/. 0.37		
	Programación	10	0.3	S/. 7.81	S/. 0.37		
				<b>Ahorro diario</b>		<b>S/ 4.50</b>	
				<b>Ahorro anual</b>		<b>S/ 1,643.04</b>	
<b>Alimentación manual</b>							
10	Ingreso y salida del lago	20	10	S/. 7.81	S/. 26.04	<b>S/ 29.95</b>	
	Alimentación de truchas	3	10	S/. 7.81	S/. 3.91		

<b>Alimentación Automática</b>					
Ingreso y salida del lago	20	1.0	S/. 7.81	S/. 2.60	<b>S/ 5.21</b>
Llenado del alimento en el silo	10	1.0	S/. 7.81	S/. 1.30	
Programación	10	1.0	S/. 7.81	S/. 1.30	
				<b>Ahorro diario</b>	<b>S/ 24.74</b>
				<b>Ahorro anual</b>	<b>S/ 9,029.95</b>

Fuente: Elaboración propia del autor.

El flujo de caja neto de la utilización del equipo para frecuencias de alimentación de 2 y 10 veces por día en un periodo de cuatro años se muestra en tabla 46.

**Tabla 46**

*Flujo de caja neto de la utilización del equipo de alimentación*

Frecuencia	Estado económico	Años				
		0	1	2	3	4
2	Ingreso (Ahorro anual)	<b>S/ 0.00</b>	<b>S/ 1,643.04</b>	<b>S/ 1,643.04</b>	<b>S/ 1,643.04</b>	<b>S/ 1,643.04</b>
	Egresos	<b>S/ 2,835.89</b>	<b>S/ 600.00</b>	<b>S/ 600.00</b>	<b>S/ 600.00</b>	<b>S/ 600.00</b>
	Inversión	S/ 2,835.89	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00
	Mantenimiento	S/ 0.00	S/ 600.00	S/ 600.00	S/ 600.00	S/ 600.00
	<b>Flujo de caja neto</b>	<b>-S/ 2,835.89</b>	<b>S/ 1,043.04</b>	<b>S/ 1,043.04</b>	<b>S/ 1,043.04</b>	<b>S/ 1,043.04</b>
10	Ingreso (Ahorro anual)	<b>S/ 0.00</b>	<b>S/ 9,029.95</b>	<b>S/ 9,029.95</b>	<b>S/ 9,029.95</b>	<b>S/ 9,029.95</b>
	Egresos	<b>S/ 2,835.89</b>	<b>S/ 600.00</b>	<b>S/ 600.00</b>	<b>S/ 600.00</b>	<b>S/ 600.00</b>
	Inversión	S/ 2,953.39	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 0.00
	Mantenimiento	S/ 0.00	S/ 600.00	S/ 600.00	S/ 600.00	S/ 600.00
	<b>Flujo de caja neto</b>	<b>-S/ 2,835.89</b>	<b>S/ 8,429.95</b>	<b>S/ 8,429.95</b>	<b>S/ 8,429.95</b>	<b>S/ 8,429.95</b>

Fuente: Elaboración propia del autor.

### 6.2.2 Valor actual neto (VAN)

El VAN se determina de la siguiente ecuación:

$$VAN = -I_0 + \frac{f_1}{(1+i)^1} + \frac{f_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{f_n}{(1+i)^n}$$

Donde:

$I_0$  es la inversión inicial, para el caso es el costo del equipo: 2835.89 soles

$f_n$  es el flujo de caja neto por periodo, para el caso se considera cuatro periodos.

$i$  es la tasa de descuento financiero: 15% para mediana empresa según SBS junio 2024.

$n$  es el número periodos.

Reemplazando el valor de las variables en la ecuación del VAN se obtiene:

- Para una frecuencia de alimentación de 2 veces por día, el VAN es:

$$VAN = -2835.89 + \frac{1043.04}{(1 + 0.15)^1} + \frac{1043.04}{(1 + 0.15)^2} + \frac{1043.04}{(1 + 0.15)^3} + \frac{1043.04}{(1 + 0.15)^4}$$

$$VAN = 141.98 \text{ soles}$$

- Para una frecuencia de alimentación de 10 veces por día, el VAN es:

$$VAN = -2835.89 + \frac{8429.95}{(1 + 0.15)^1} + \frac{8429.95}{(1 + 0.15)^2} + \frac{8429.95}{(1 + 0.15)^3} + \frac{8429.95}{(1 + 0.15)^4}$$

$$VAN = 21231.43 \text{ soles}$$

### 6.2.3 Tasa interna de retorno (TIR)

El TIR es la tasa de interés ( $i$ ) que hace que el VAN sea igual a cero, se determina de la siguiente igualdad:

$$0 = -I_0 + \frac{f_1}{(1 + i)^1} + \frac{f_2}{(1 + i)^2} + \dots + \frac{f_n}{(1 + i)^n}$$

- Para una frecuencia de alimentación de 2 veces por día, el TIR es:

$$0 = -2835.89 + \frac{1043.04}{(1 + i)^1} + \frac{1043.04}{(1 + i)^2} + \frac{1043.04}{(1 + i)^3} + \frac{1043.04}{(1 + i)^4}$$

$$i = 0.175 = 17.5\%$$

- Para una frecuencia de alimentación de 10 veces por día, el TIR es:

$$0 = -2835.89 + \frac{8429.95}{(1 + i)^1} + \frac{8429.95}{(1 + i)^2} + \frac{8429.95}{(1 + i)^3} + \frac{8429.95}{(1 + i)^4}$$

$$i = 2.96 = 296\%$$

Al aplicar el equipo de alimentación en frecuencias de alimentación de 2 veces al día, se obtiene un VAN positivo en un periodo de 4 años ( $i = 17.5\%$ ), al aplicar el equipo para frecuencias de alimentación de 10 veces al día en el mismo periodo, la tasa interna de retorno es  $i = 296\%$  la cual resulta ser mucho mayor a la tasa de descuento (15%).

Se deduce que la rentabilidad de aplicación del equipo de alimentación (respecto al ahorro en horas hombre), es mayor para frecuencias de alimentación mayores.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- Se logra mejorar la frecuencia de alimentación de las truchas a través del diseño de un equipo de alimentación automático que puede programar la cantidad de alimento a dispersar, la fecha y hora en que se tiene que brindar el alimento y la frecuencia de alimentación de acuerdo a la etapa productiva en la crianza de trucha, siendo la más alta en alevinos (8 a 10 veces por día).
- Se logra determinar el modelo conceptual más óptimo del equipo de alimentación automático para truchas utilizando el método de diseño VDI 2221, resultando ser este en acero galvanizado, dosificador por tornillo helicoidal, dispersor por disco giratorio, sistema de control basado en una placa de ARDUINO, alimentación energética solar y flotadores con canecas de polipropileno.
- Se definió los parámetros de los componentes del equipo de alimentación, mediante la aplicación de la Norma Europea UNE-EN 1991-4 para el silo, el Manual Martín aprobado por el CEMA para el dosificador de tornillo y las ecuaciones de movimiento circular y movimiento parabólico para el dispersor.
- Se logró determinar un sistema de control automático para el equipo de alimentación, mediante un controlador Arduino Mega 2560, conjuntamente con 4 sensores de carga de 50 kg y una interfaz de comunicación (pantalla GLCD 128x64 y teclado matricial de 4x4) se logra automatizar y controlar los motorreductores para el dosificador y el dispersor respectivamente, esto a través de un módulo físico que simula el funcionamiento del equipo.

- Se determinó una instalación fotovoltaica de tipo aislada que genere corriente continua de 5VDC y 12VDC para el funcionamiento de los dispositivos eléctricos y electrónicos del equipo de alimentación con una autonomía de 3 días. Para la selección del panel fotovoltaico se utilizó el software PVGIS.
- Se estableció la flotabilidad del equipo de alimentación utilizando el principio de flotación de Arquímedes, mientras que para la estabilidad se utilizó las condiciones de estabilidad de un cuerpo flotante; adicionalmente se determinó el grado de estabilidad en función de la altura metacéntrica (para embarcaciones pequeñas  $MG > 0.46 m$ ), resultando para el equipo de alimentación un valor de  $MG = 1.01 m$ .
- Se determinó el costo del equipo de alimentación automático para truchas en función del costo de los componentes y costo de fabricación estimados, el cual asciende a un monto de 2835.89 soles.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el ensayo de las propiedades del alimento peletizado de las truchas para obtener sus propiedades físico mecánicas de manera más precisa, ya que para el proyecto se consideró propiedades aproximadas de la norma UNE-EN 1991-4.
- Se recomienda realizar el estudio experimental del equipo de alimentación, con el propósito de verificar el funcionamiento de los componentes y la evaluación de los índices productivos de las truchas.
- Se recomienda hacer un estudio dinámico respecto al movimiento de las olas del lugar, con el propósito de determinar los ángulos de escora máximos del equipo de alimentación para optimizar su estabilidad.
- Se recomienda complementar el estudio del equipo de alimentación automático desde el punto de vista informático y electrónico, con el propósito de mejorar el funcionamiento autónomo e implementar una programación remota.
- Se recomienda realizar un estudio para la implementación de un sistema de protección contra tormentas eléctricas para el área concesionada o solamente para el equipo de alimentación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguayo Litardo, J. M., & Palma Macay, C. L. (2018). *Construcción de un dispensador de alimento automatizado para estanque de criadero de tilapias en el área de piscicultura ubicada en la finca experimental La Maria de la Uteq*. Quevedo, Ecuador.
- Amorós, J., Mallol, G., Sánchez, E., & García, J. (2000). *Diseño de silos y tolvas para el almacenamiento de materiales pulverulentos. Problemas asociados a la operación de descarga*. Castellón, España.
- Arcila Florez, J. A. (2021). *Diseño y construcción de un sistema de alimentación automático para peces de 200 Kg de capacidad, provisto por energía solar fotovoltaica para la granja piscícola Asociación Propaz en Mesetas*. Bogotá.
- Ayuga, F. (1995). Los empujes del material almacenado en silos. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)*, 27-34.
- Barriga Gamarra, B. (2013). *Metodos de diseño en ingeniería mecánica, apuntes de clase*. Lima: PUCP.
- Beverloo, W., Leniger, H., & Van de Velde, J. (1961). The Flow of granular solids through orifices. *Chemical Engineering Science*, 260-269.
- Blanco Romero, E. (2015). *Metodologías para el diseño de máquinas adaptadas a comunidades en desarrollo*. Barcelona.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley Octava edición*. Mexico: McGraw-Hill.
- Carpio Alemán, M. A., & Orozco Tupacyupanqui, W. H. (2017). *Introducción al Análisis e Implementación de Sistemas de Control Automático*. Ecuador: Universitaria Abya-Yala.
- Castillo Perez, M. (2021). *Análisis y diseño de silos metálicos de almacenamiento*. Cartagena.

- Colín Avila, R. (2010). *Estudio del comportamiento de chorros granulares bajo rotación*. Mexico.
- Conveyor Engineering and Manufacturing. (2012). *Screw Conveyors Components and Design*. CEMC.
- Díaz Corcobado, T., & Carmona Rubio, G. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Barcelona, España: McGraw-Hill.
- Dirección Regional de Comercio Exterior y Turismo Cusco. (2008). *Laguna de Langui-Layo Recursos turísticos*. Cusco.
- Dominguez Gamez, E. (2003). *Obtención del coeficiente de fricción mediante pruebas mecánicas*. Nuevo León.
- Egoavil Casimir, E., & Quispe Delgado, G. A. (2020). *Diseño de un prototipo de control electrónico de alimentación artificial, recopilación de datos de parámetros abióticos (PH, temperatura y turbidez) y muestreo mediante módulo GPRS para piscigranjas*. Lima.
- Farias, P., Aca, J., Molina, A., Maury Ramirez, H., & Riba i Romeva, C. (2006). *Evolución de los modelos del proceso de diseño*. Barcelona.
- Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero - FONDEPES. (2004). *Manual de cultivo de trucha arco iris en jaulas flotantes*. Lima.
- Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero - FONDEPES. (2014). *Manual de crianza de trucha en ambientes convencionales*. Lima.
- Franklin, F., & Johanson, L. (1961). The flow of granular material through a circular orifice. *Chemical engineering science*, 260.

- Gallego Vazquez, E. (2006). *Numerical simulation of loads exerted by stored materials in silos with non-elastic material models*. Madrid.
- Garcia Moreno, E. (2020). *Automatizacion de procesos industriales*.
- González Velasco, J. (2012). *Energías renovables*. Barcelona: Reverte.
- Hepper, B. (1991). *Cultivo de peces comerciales*. Mexico: Limusa.
- Hernandez Barrios, J. L., Martinez Castro, E., & Moreno Sandoval, J. D. (2018). *Diseño de un alimentador automatico para peces ornamentales en granjas acuicolas*. MEXICO.
- Hernandez Sampieri, R. (2014). *Metodologia de la investigacion*. Mexico.
- Hibbeler, R. (2006). *Mecánica de Materiales Sexta edición*. Mexico: Pearson Educación.
- Jenike, A. W. (1964). Storage and flow of solids. *Bulletin of the University of Utah*.
- León Quenguan, J. D., & Rueda Almario, D. (2013). *Dispensador automático de comida para mascotas, programable y controlado remotamente*. Santiago de Cali.
- Mandelli, A. (1986). *Elementos de arquitectura naval*. Buenos Aires.
- Matías Sánchez, G. A., & Figueroa Cueva, J. J. (2022). *Diseño de un sistema alimentador automático para una finca camaronera ubicada en la zona de tendales, Cantón el Huabo*. Guayaquil.
- Méndez Muñiz, J. M., & Cuervo García, R. (2011). *Energia Solar Fotovoltaica*. Madrid: Fundacion Confemetal.
- Ministerio de Pesqueria del Perú. (1976). *Contribución al Conocimiento Limnológico del Lago Langui-Layo Canas-Cusco*. Lima.
- Ministerio del Ambiente. (2021). *Linea base de la trucha Arco Iris con fines de bioseguridad en el Perú*. Lima.
- Mott, R. L. (2015). *Mecánica de fluidos Séptima Edición*. Mexico: Pearson Educación.

- Osorio Orellana, D. E. (2018). *Estudio, puesta en marcha y proposición de ensayos para un transportador de tornillo de laboratorio*. Valparaíso.
- Programa Mundial de Alimentos de las Naciones Unidas. (2010). *Mapa de vulnerabilidad a la desnutrición crónica infantil desde la perspectiva de la pobreza*. Lima.
- Pytel, A., & Singer, F. (2010). *Resistencia de Materiales Cuarta edición*. Mexico: Oxford University Press.
- Ravenet Regales, J. I. (2004). *Diseño de un silo cilíndrico para el almacenamiento de productos granulares*. Barcelona.
- Rivera Armijos, C. A. (2002). *Diseño y construcción de un dosificador de tres productos en forma secuencial*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Rosales Marín, E. E. (2016). *Evaluación de índices productivos en truchas sometidas a cuatro frecuencias de alimentación en la piscigranja "La Cabaña"*. Huancayo.
- Sistema Nacional de Acuicultura. (2022). *Manual para un acuicultura sostenible Cultivo de Trucha*. Lima.
- Suárez Phellan, W. K. (2019). *Ingeniería inversa y diseño de la automatización de un dosificador de polvos, utilizando celda de carga a través de microcontrolador Atmega para la empresa Jacs*. Lima.
- Zuriguél Ballaz, I. (2005). *Flujo y atascos de un medio granular en la descarga de Silos*. Pamplona, España.

# APÉNDICES

## Apéndice 1: Matriz de consistencia

TITULO: "DISEÑO DE UN EQUIPO DE ALIMENTACIÓN AUTOMÁTICO PARA TRUCHA EN JAULAS FLOTANTES UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, QUE PERMITA MEJORAR LA FRECUENCIA DE ALIMENTACIÓN EN LA LAGUNA DE LANGUI-LAYO DE LA REGIÓN CUSCO"				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	METODOLOGÍA DE INVESTIGACION
¿Cómo mejorar la frecuencia de alimentación de truchas en jaulas flotantes en la laguna de Langui-Layo a través del diseño de un equipo de alimentación automático?	Diseñar un equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes utilizando energía solar fotovoltaica que mejore la frecuencia de alimentación de truchas en la laguna de Langui-Layo.	Es posible mejorar la frecuencia de alimentación de truchas en jaulas flotantes en la laguna de Langui-Layo a través del diseño de un equipo de alimentación automático.	Frecuencia de alimentación, cantidad de alimento, distancia de dispersión	<b>TIPO DE METODOLOGÍA:</b> Es de <b>enfoque cuantitativo</b> , por que se remite a conteos numericos y metodos matematicos, ademas por que se basa en investigaciones previas (Hernandez, pag. 10).
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS		
1. ¿Cuál es el modelo conceptual del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes mediante el método de diseño VDI 2221?	1. Determinar el modelo conceptual del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes mediante el método de diseño VDI 2221	1. Es posible determinar el modelo conceptual del equipo de alimentación automático mediante el método de diseño VDI 2221.	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>  Equipo de alimentación automático.	<b>NIVEL DE INVESTIGACION:</b> Es <b>descriptivo</b> , por que se estudia el fenomeno (problema) y a sus componentes, ademas de medir conceptos y definir variables (Hernandez, pag. 89).  <b>DISEÑO DE INVESTIGACION:</b> Es <b>no experimental</b> de corte <b>transversal</b> , porque no existe manipulación deliberada de las variables y por que los datos se recolectan en un solo momento (Hernandez, pag. 152).
2. ¿Cuáles son los parámetros del diseño mecánico de los componentes del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes?	2. Definir los parámetros del diseño mecánico de los componentes del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes.	2. Es posible definir los parámetros del diseño mecánico de los componentes del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes.		
3. ¿Cuáles son los parámetros del sistema de control del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes?	3. Determinar los parámetros del sistema de control del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes.	3. Es posible determinar los parámetros del sistema de control del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes.		
4. ¿Cómo es la instalación fotovoltaica para el funcionamiento del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes?	4. Determinar la instalación fotovoltaica para el funcionamiento del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes.	4. Es posible determinar una instalación fotovoltaica para el funcionamiento del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes.		
5. ¿Cómo es la flotabilidad y estabilidad del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes aplicando los principios de flotación y estabilidad?	5. Establecer la flotabilidad y estabilidad del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes aplicando los principios de flotación y estabilidad.	5. Es posible establecer la flotabilidad y estabilidad del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes aplicando los principios de flotación y estabilidad.		
6. ¿Cuál es el costo del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes?	6. Determinar el costo del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes.	6. Es posible determinar el costo del equipo de alimentación automático para trucha en jaulas flotantes.		

## Apéndice 2:

### Determinación experimental para determinar la densidad aparente de distintas muestras de alimento “NICOVITA” para trucha.

#### 1. El ensayo para la densidad aparente

Este ensayo se aplica al alimento que se les brinda a las truchas criadas en jaulas flotantes en la laguna de Langui-Layo, por la empresa San Andrés Acuícola E.I.R.L.

##### 1.1. Materiales utilizados

Ítem	Capacidad	Precisión
Balanza digital	5 kg.	1 g.
Contenedor de ensayo	550 ml.	-
Muestras de alimento	-	-

##### 1.2. Muestras de alimento comercial Nicovita

Se dispone de 5 muestras de alimento para trucha de distintos calibres de la marca NICOVITA, los cuales se describe en la figura 1.

**Figura 1**

*Muestras de alimento para trucha, marca NICOVITA.*



*Nota:* Elaboración propia del autor.

##### 1.3. Procedimiento de ensayo

1. Se tara el volumen y el peso del contenedor de ensayo (figura 2).

**Figura 2**

*Peso del contenedor vacío*



*Nota:* El peso del contenedor es el mismo para todos los ensayos.

2. Se coloca la muestra del alimento en el contenedor de ensayo, llenándola completamente y simulando un llenado uniforme sin compactación forzada.
3. Se pesa nuevamente el contenedor de ensayo ahora lleno, y se registra en la tabla 1.
4. Se calcula la densidad aparente utilizando la siguiente relación:  $\rho_b = \frac{m_{sólidos}}{V_{contenedor}}$
5. Se repite el ensayo con las demás muestras.

**Tabla 1**

*Medición de parámetros del ensayo para determinar la densidad aparente*

Nro. Muestra	Calibre	Masa total (g)	Masa alimento (g)	Volumen (ml)	Densidad =m/V (Kg/m3)
Muestra 1	2	400	364	550	661.82
Muestra 2	3	401	365	550	663.64
Muestra 3	4	400	364	550	661.82
Muestra 4	6	406	370	550	672.73
Muestra 5	8	403	367	550	667.27

*Nota:* Elaboración propia del autor.

#### 1.4. Registro fotográfico del ensayo para determinar la densidad aparente

**Figura 3**

*Ensayo para determinar la densidad aparente de la muestra 1*



*Nota: Elaboración propia del autor.*

**Figura 4**

*Ensayo para determinar la densidad aparente de la muestra 2*



*Nota: Elaboración propia del autor.*

### Figura 5

Ensayo para determinar la densidad aparente de la muestra 3



Nota: Elaboración propia del autor.

### Figura 6

Ensayo para determinar la densidad aparente de la muestra 4



Nota: Elaboración propia del autor.

## Figura 7

Ensayo para determinar la densidad aparente de la muestra 5



Nota: Elaboración propia del autor.

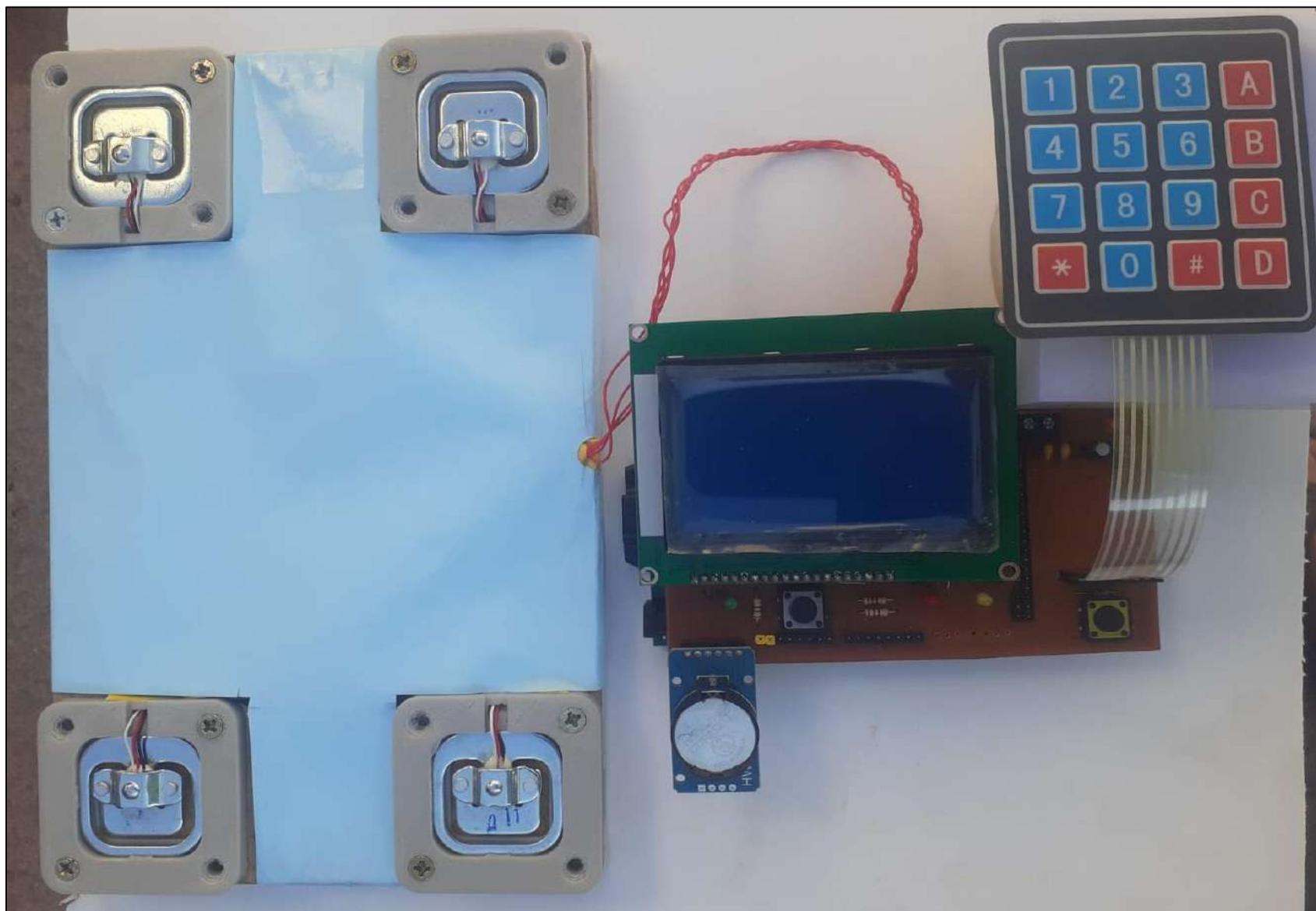
Finalmente, la densidad aparente promedio de las 5 muestras de alimento resulta:

$$\rho_a = \frac{\sum \rho_{an}}{n} = 665.5 \frac{kg}{m^3}$$

## 2. Conclusiones

- La densidad aparente de los pellets de alimento de trucha de la marca NICOVITA de distintos calibres (2, 3, 4, 6 y 8 mm) tienen una densidad aparente próxima entre sí, siendo el valor mínimo  $661.82 \frac{kg}{m^3}$  (para la muestra de calibre de 2 y 4 mm) y el valor máximo  $667.27 \frac{kg}{m^3}$  (para la muestra de calibre 6mm).
- El calibre de las muestras de pellets no necesariamente guarda relación con la densidad aparente.
- La densidad aparente promedio para las 5 muestras de pellets resulta:  $665.5 \frac{kg}{m^3}$

*Apéndice 3: Prototipo del sistema de control automático equipo alimentador de trucha*



Apéndice 4: Prueba de funcionamiento del sistema de control



Apéndice 5: Menú de configuración del sistema de control



/\*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS: “DISEÑO DE UN EQUIPO DE ALIMENTACIÓN AUTOMÁTICO  
PARA TRUCHA EN JAULAS FLOTANTES UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR  
FOTOVOLTAICA, QUE PERMITA MEJORAR LA FRECUENCIA DE ALIMENTACIÓN  
EN LA LAGUNA DE LANGUI-LAYO DE LA REGIÓN CUSCO”

DISEÑADO POR: Darwin Juan Jalixto Checya  
Equipo de alimentación automático para trucha

\*/

/// LIBRERIA DE LA PANTALLA

#include "U8glib.h"

U8GLIB\_ST7920\_128X64\_1X u8g(52, 51, 50,49); /// CONFIGURACION DEL ARDUINO  
MEGA PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL LCD

#include <EEPROM.h> /// LIBRERIA EEPROM PARA GUARDAR DATOS EN LA  
MEMORIA PERMANENTE

/// VARIABLES PARA EL MENU INICIO

boolean l, ma, mi, j, v, s, d;

boolean l\_a, ma\_a, mi\_a, j\_a, v\_a, s\_a, d\_a=0;

/// VARIABLES PARA EL TECLADO

int val = 0; ///estados

int old\_val = 0;

int estadoPrincipal= 0;

int buttonState= 0;

int enter=0;

/// VARIABLES PARA EL MENU

int inicio=0;

int hora\_inicio=0;

int cantidad=0;

int intervalo=0;

int veces=0;

int atras=0;

#include <Keypad.h> /// LIBRERIA PARA EL TECLADO

const byte FILAS = 4;/// CONSTANTES QUE NO CAMBIARAN SU VALOR EN ADELANTE

const byte COLUMNAS = 4;/// CONSTANTES QUE NO CAMBIARAN SU VALOR EN ADELANTE

char matriz\_teclas[FILAS][COLUMNAS] = /// MATRIZ 4x4

{

{'1','2','3','A'},

{'4','5','6','B'},

{'7','8','9','C'},

{'\*','0','#','D'}

};

/// CONFIGURACION PARA LA ENTRADA DEL TECLADO

byte pinesFilas[FILAS] = {37, 35, 33, 31};/// PINES DE LAS LINEAS

byte pinesColumnas[COLUMNAS] = {29, 27, 25,23};/// PINES DE LAS COLUMNAS

/// INICIO DEL TECLADO

Keypad miteclado = Keypad( makeKeymap(matriz\_teclas), pinesFilas,  
pinesColumnas, FILAS, COLUMNAS);

/// VARIABLES PARA LA HORA DE INICIO

```

int h1, h2, min1, min2;
/// VARIABLES PARA CANTIDAD
int p1, p2, p3;
float peso_necesario;/// VARIABLE PARA GAURDAR EL PESO NECESARIO
/// VARIABLES PARA INTERVALO
int inter1,inter2,inter3;
/// VARIABLES PARA # VECES
int veces1,veces2;
int numero;/// VARIABLE PARA GUARDAR LOS NUMEROS AL CONFIGURAR LA HORA
int pulsado=0;/// VARIABLE PARA GUARDAR EL ESTADO DEL PULSADO DE BOTON
#include "HX711.h"/// LIBRERIA DE LA BALANZA
HX711 scale;/// variable de la libreria
uint8_t dataPin = 4; /// configuracion de los pines del arduino
uint8_t clockPin = 5;/// configuracion de los pines del arduino
float peso_real; /// VARIABLE PARA GUARDAR EL PESO REAL
/// VARIABLES PARA LA DISPERSION DE ALIMENTO
int dispensador=0;
int contador_veces=0;
////////////////////////////////////
#include "RTClib.h"/// LIBRERIA DEL RELOJ
RTC_DS3231 rtc;
int di=1;/// variable de configuracion iniciada en 1
int led1=55; /// pin para activar o desactivar los MOSFET
int led2=56; /// pin para activar o desactivar los MOSFET
int led3=54; /// pin para activar o desactivar los MOSFET
int posicionx = 0;/// variable de configuracion para posición iniciada en 0
int posicaooh = 0;/// variable de configuracion para posición iniciada en 0
int boton=47; /// pin de entrada
int estado_boton = 0;/// variable de estado iniciada en 0prender_motor
char daysOfTheWeek[7][12] = {"DOMINGO", "LUNES", "MARTES", "MIERCOLES",
"JUEVES", "VIERNES", "SABADO"};/// matriz dias de la semana
/// configuracion para el driver l298 ///
const int ENA=6;
const int IN1=7;/// motor 1
const int IN2=8;
const int IN3=9;
const int IN4=10;/// motor 2
const int ENB=11;
boolean prender_motor=false; //variable iniciada en false
boolean entrar_bucle=0;///variable iniciada en 0
////////////////////////////////////
/// FUNCIONES PARA CONFIGURAR ///
void setup()
{
  leer_EEPROM();
  pinMode(ENA, OUTPUT);
  pinMode(IN1, OUTPUT);/// M1
  pinMode(IN2, OUTPUT);
  pinMode(ENB, OUTPUT);
  pinMode(IN3, OUTPUT);/// M2
  pinMode(IN4, OUTPUT);

```

```

pinMode(led1, OUTPUT);
pinMode(led2, OUTPUT);
pinMode(led3, OUTPUT);
digitalWrite(led3,HIGH);
delay(100);
pinMode(boton, INPUT);
if (! rtc.begin()) {/// Si el reloj esta desconectado
error_lcd();/// invocar funcion error
    digitalWrite(led3,HIGH);
    while (1) delay(10);/// Se enclava hasta corregir el error y reiniciar el
arduino-mega
    }
entrada();
delay(500);

/// CONFIGURACION DE SENSOR DE PESO
scale.begin(dataPin, clockPin);
scale.set_scale(23.340986);/// Escala calculada es diferente para cada
maquina se calcula una sola vez
scale.tare(20);/// SENSIBILIDAD DE BALANZA (PROMEDIO DE LECTURA DE 20 DATOS
DE PESO)
digitalWrite(led3,LOW);
}
/// FIN DE FUNCIONES PARA CONFIGURAR ///
/// INICIO DEL BUCLE PRINCIPAL ///
void loop(void) {
DateTime now = rtc.now();
contador_principal();
if(estadoPrincipal==0&&enter==1&&inicio==0){
    inicio=1;
    enter=0;
    delay(20);
}
if(estadoPrincipal==1&&enter==1&&hora_inicio==0){
    hora_inicio=1;
    enter=0;
    delay(20);
}
if(estadoPrincipal==2&&enter==1&&cantidad==0){
    cantidad=1;
    enter=0;
    delay(20);
}
if(estadoPrincipal==3&&enter==1&&intervalo==0){
    intervalo=1;
    enter=0;
    delay(20);
}
if(estadoPrincipal==4&&enter==1&&veces==0){
    veces=1;
    enter=0;
}

```

```

    delay(20);
}
if(estadosPrincipal==5&&enter==1&&atras==0){
    atras=1;
    enter=0;
    delay(20);
}

dispensar();
u8g.firstPage();
do {
if(inicio==1)
    {
    f_inicio();
    }
else if(hora_inicio==1){
    hora_de_inicio();
}
else if(cantidad==1){
    f_cantidad();
}
else if(intervalo==1){
    f_intervalo();
}
else if(veces==1){
f_veces();
}
else
    {
    pantalla_principal();
    marcador_principal();
    }
} while( u8g.nextPage() );
}
/// FIN DEL BUCLE PRINCIPAL ///
/// INICIO LEER DATOS DE LA EPROM ///
/// LEER LOS DATOS DE LA EPROM
void leer_EEPROM(){
/// funcion inicio
l=EEPROM.read(0);
ma=EEPROM.read(1);
mi=EEPROM.read(2);
j=EEPROM.read(3);
v=EEPROM.read(4);
s=EEPROM.read(5);
d=EEPROM.read(6);
/// funcion hora de inicio
h1=EEPROM.read(7);
h2=EEPROM.read(9);
min1=EEPROM.read(11);
min2=EEPROM.read(13);

```

```

/// funcion cantidad
p1=EEPROM.read(15);
p2=EEPROM.read(17);
p3=EEPROM.read(19);
/// intervalos
inter1=EEPROM.read(21);
inter2=EEPROM.read(23);
inter3=EEPROM.read(29);
/// veces
veces1=EEPROM.read(25);
veces2=EEPROM.read(27);
}
/// FIN LEER LOS DATOS DE LA EPROM
/// Inicio de la funcion pantalla_principal
void pantalla_principal(void){
peso();
mostra_relojio_digital();
fecha_completa();
semana_seleccion();
contador_principal();
}
/////FIN de la funcion pantalla_principal
/////inicio de la funcion SEMANA SELECCION
void semana_seleccion(){
    int a=35;
    int b=6;
    DateTime now = rtc.now();
    u8g.setFont(u8g_font_04b_03b);
    u8g.drawStr( 3+a, 10+b, "LU MA MI JU VI SA DO");
    u8g.drawStr( 7, 17+7, "INICIO:");
    u8g.drawStr( 7, 32, "HORA DE INICIO=");
/// VISUALIZACION DE HORA DE INICIO
    u8g.setPrintPos(75, 32);
    u8g.print(h1);
    u8g.setPrintPos(75+5, 32);
    u8g.print(h2);
    u8g.drawStr( 85, 32,":");
    u8g.drawStr(87+13, 32,"HORAS");
    u8g.setPrintPos(87, 32);
    u8g.print(min1);
    u8g.setPrintPos(87+5, 32);
    u8g.print(min2);
/// FIN DE VISUALIZACION DE HORA
/// VISUALIZACION DE CANTIDAD
    u8g.setPrintPos(75-20, 40);
    u8g.print(p1);
    u8g.setPrintPos(75+5-20, 40);
    u8g.print(p2);
    u8g.drawStr( 85-20, 40, ".");
    u8g.setPrintPos(87-20, 40);

```

```

    u8g.print(p3);
    u8g.drawStr(85+8-20, 40, "KG");
    /// FIN DE VISUALIZACION DE CANTIDAD
    /// VISUALIZACION DE INTERVALO
    u8g.setPrintPos(75-22, 48);
    u8g.print(inter1);
    u8g.setPrintPos(75+5-22, 48);
    u8g.print(inter2);
    u8g.setPrintPos(75+10-22, 48);
    u8g.print(inter3);
    u8g.drawStr( 85-15, 48, "MINUTOS");
    /// FIN DE VISUALIZACION DE INTERVALO
    /// VISUALIZACION DE #VECES
    u8g.setPrintPos(75-22, 48+8);
    u8g.print(veces1);
    u8g.setPrintPos(75+5-22, 48+8);
    u8g.print(veces2);
    u8g.drawStr( 85-18, 48+8, "VECES/DIA");
    /// FIN DE VISUALIZACION #VECES
    u8g.drawStr( 7, 40, "CANTIDAD:");
    u8g.drawStr( 7, 40+8, "INTERVALO:");
    u8g.drawStr( 7, 40+8*2, "# VECES:");
    u8g.drawStr( 7, 40+8*3, "# ATRAS");
    u8g.drawCircle(7+a,15+b,3);///circulo
    u8g.drawCircle(7+a+13*1,15+b,3);///circulo
    u8g.drawCircle(7+a+13*2,15+b,3);///circulo
    u8g.drawCircle(7+a+13*3,15+b,3);///circulo
    u8g.drawCircle(7+a+13*4,15+b,3);///circulo
    u8g.drawCircle(7+a+13*5,15+b,3);///circulo
    u8g.drawCircle(7+a+13*6,15+b,3);///circulo
    u8g.drawDisc(7+a+13*0,15+b,3*1);
    u8g.drawDisc(7+a+13*1,15+b,3*ma);
    u8g.drawDisc(7+a+13*2,15+b,3*mi);
    u8g.drawDisc(7+a+13*3,15+b,3*j);
    u8g.drawDisc(7+a+13*4,15+b,3*v);
    u8g.drawDisc(7+a+13*5,15+b,3*s);
    u8g.drawDisc(7+a+13*6,15+b,3*d);
    u8g.drawFrame(a+1+13*(now.dayOfTheWeek()-di),3+b,14,9);

    ///condicional
    if(now.dayOfTheWeek()==0&& di==1){
    di=-6;
    }
    if(now.dayOfTheWeek()==1&& di==-6){
    di=1;
    }
    }
    ///FIN de la funcion SEMANA SELECCION

    /// inicio de la funcion de la fecha completa
    void fecha_completa()

```

```

{
    DateTime now = rtc.now();
    //Mostrar datos
    u8g.setColorIndex(1);///// 0 para azul y 1 para blanco
    u8g.setFont(u8g_font_5x8);
    u8g.setPrintPos(0, 6); //(8, 55)
    u8g.print(now.day());
    u8g.drawStr( 11, 6, "/");
    u8g.setPrintPos(16, 6);
    u8g.print(now.month());
    u8g.drawStr( 27, 6, "/");
    u8g.setPrintPos(33, 6);
    u8g.print(now.year()-2000);/// se resto 2000 para acomodarlo
}
/// fin de la funcion de la fecha completa

/// Inicio de la funcion MOSTRAR RELOJ DIGITAL
void muestra_reloj_digital()
{
    DateTime now = rtc.now();
    int a=42;
    int b=-4;
    //Mostrar hora y minutos
    u8g.drawRBox(3+a, 4+b, 23, 8,1);
    u8g.setColorIndex(0);///// 0 para azul y 1 para blanco TODA LA PANTALLA

    u8g.setFont(u8g_font_5x8);
    u8g.drawStr(12+a,10+b,":");
    /// para la hora mayor a 10 horas
    if (now.hour() < 10)
    {
        u8g.drawStr(3+a,11+b,"0");
        posicaooh = 8+a;
    }
    else posicaooh = 3+a;
    u8g.setPrintPos(posicaooh, 11+b);
    u8g.print(now.hour());
    /// para la hora menor a 10 minutos
    if (now.minute() < 10)
    {
        u8g.drawStr(15+a,11+b,"0");
        posicionx = 21+a;
    }
    else posicionx = 16+a;
    u8g.setPrintPos(posicionx ,11+b);
    u8g.print(now.minute());
    u8g.setColorIndex(1);///1 blanco y 0 azul
}
/// FIN de la funcion MOSTRA RELOJ DIGITAL
/// Inicio funcion peso
void peso() {

```

```

peso_real=(scale.get_units(1)/1000);
u8g.setFont(u8g_font_5x8);
    u8g.drawStr( 70, 6, "TOTAL:");
    u8g.drawStr( 119, 6, "KG");
    u8g.setPrintPos(99, 6);
    u8g.print(peso_real);
}
/// fin funcion peso
/// Inicio funcion marcador_principal
void marcador_principal(void) {
contador_principal();
if (estadoPrincipal < 0) {
    estadoPrincipal=5;
}
if (estadoPrincipal > 5) {
    estadoPrincipal=0;

}
else {
    u8g.drawTriangle(1,estadoPrincipal*8+17, 1,estadoPrincipal*8+8+17,
6,4+estadoPrincipal*8+17);//triangulo (primer puntox, segundo puntoy,... )
}
}
/// fin de la funcion marcador_principal
/// COMIENZO DE LA funcion inicio///
/// funcion para seleccionar
void f_inicio(){
int a=0;///x
int b=25;///y
int rebote=20;
DateTime now = rtc.now();
contador();
u8g.setFont(u8g_font_unifont);
u8g.drawStr( 40, 11, "INICIO:");
u8g.setFont(u8g_font_04b_03b);
u8g.drawLine(0+3, 12, 128-4, 12);
u8g.drawStr( 22, 23, "HOY ES:");
u8g.setPrintPos(54, 23);
u8g.print(daysOfTheWeek[now.dayOfTheWeek()]);
u8g.drawStr( 3+a, 10+b, "LU MA MI JU VI SA DO");
u8g.drawStr( 13*7+2, 18+b, "GUARDAR");
u8g.drawCircle(7+a,15+b,3);///circulo
u8g.drawCircle(7+a+13*1,15+b,3);///circulo
u8g.drawCircle(7+a+13*2,15+b,3);///circulo
u8g.drawCircle(7+a+13*3,15+b,3);///circulo
u8g.drawCircle(7+a+13*4,15+b,3);///circulo
u8g.drawCircle(7+a+13*5,15+b,3);///circulo
u8g.drawCircle(7+a+13*6,15+b,3);///circulo
if (buttonState<7){
u8g.drawFrame(a+1+13*(buttonState),3+b,14,9);//marcador de posicion
u8g.setDefaultForegroundColor();

```

```

}
/// seleccion lunes
if(buttonState==0&&enter==1&&l_a==0)
{
l_a=1;
l=1;
delay(rebote);
enter=0;
}
if(buttonState==0&&enter==1&&l_a==1)
{
l_a=0;
l=0;
delay(rebote);
enter=0;
}
/// Seleccion martes ///
if(buttonState==1&&enter==1&&ma_a==0)
{
ma_a=1;
ma=1;
delay(rebote);
enter=0;
}
if(buttonState==1&&enter==1&&ma_a==1)
{
ma_a=0;
ma=0;
delay(rebote);
enter=0;
}
/// Seleccion miercoles///
if(buttonState==2&&enter==1&&mi_a==0)
{
mi_a=1;
mi=1;
delay(rebote);
enter=0;
}
if(buttonState==2&&enter==1&&mi_a==1)
{
mi_a=0;
mi=0;
delay(rebote);
enter=0;
}
/// Seleccion jueves
if(buttonState==3&&enter==1&&j_a==0)
{
j_a=1;
j=1;

```

```

delay(rebote);
  enter=0;
}
if(buttonState==3&&enter==1&&j_a==1)
{
j_a=0;
j=0;
delay(rebote);
enter=0;
}
/// Seleccion viernes
if(buttonState==4&&enter==1&&v_a==0)
{
v_a=1;
v=1;
delay(rebote);
  enter=0;
}
if(buttonState==4&&enter==1&&v_a==1)
{
v_a=0;
v=0;
delay(rebote);
enter=0;
}
/// Seleccion sabado
if(buttonState==5&&enter==1&&s_a==0)
{
s_a=1;
s=1;
delay(rebote);
  enter=0;
}
if(buttonState==5&&enter==1&&s_a==1)
{
s_a=0;
s=0;
delay(rebote);
enter=0;
}
/// Seleccion domingo
if(buttonState==6&&enter==1&&d_a==0)
{
d_a=1;
d=1;
delay(rebote);
  enter=0;
}
if(buttonState==6&&enter==1&&d_a==1)
{
d_a=0;

```

```

d=0;
delay(rebote);
enter=0;
}
u8g.drawDisc(7+a+13*0,15+b,3*1);
u8g.drawDisc(7+a+13*1,15+b,3*ma);
u8g.drawDisc(7+a+13*2,15+b,3*mi);
u8g.drawDisc(7+a+13*3,15+b,3*j);
u8g.drawDisc(7+a+13*4,15+b,3*v);
u8g.drawDisc(7+a+13*5,15+b,3*s);
u8g.drawDisc(7+a+13*6,15+b,3*d);
if (buttonState==7){
u8g.drawRBox(13*7+1, 10+b, 36, 10,1);
u8g.setColorIndex(0);///// 0 para azul y 1 para blanco
u8g.drawStr( 13*7+2, 18+b, "GUARDAR");
if(buttonState==7&&enter==1){
EEPROM.write(0, 1);
EEPROM.write(1, ma);
EEPROM.write(2, mi);
EEPROM.write(3, j);
EEPROM.write(4, v);
EEPROM.write(5, s);
EEPROM.write(6, d);
enter=0;
inicio=0;
buttonState=0;
estadoPrincipal=0;
delay(rebote);
}
}
if (buttonState==8){
buttonState=0;
}
if (buttonState<0){
buttonState=7;
}
u8g.setDefaultForegroundColor();
}///// FIN de la funcion inicio///
/// INICIO DE LA funcion HORA DE INICIO ///
void hora_de_inicio(){
int espacio;
int rebote=20;
if(buttonState>=2){espacio=10;}
if(buttonState<2){espacio=0;}
contador_hora_inico();
u8g.setFont(u8g_font_unifont);
u8g.drawStr( 5, 11, "HORA DE INICIO:");
u8g.setFont(u8g_font_04b_03b);
u8g.drawStr( 80, 40,"GUARDAR");
u8g.setFont(u8g_font_04b_03bn);
u8g.drawLine(0+3, 12, 128-4, 12);

```

```

u8g.setFont(u8g_font_courB24);/// tamaño de letra grande
u8g.setPrintPos(100, 55);
u8g.drawTriangle(buttonState*13+17+espacio,50,buttonState*13+8+17+espacio,50,
4+buttonState*13+17+espacio ,40);//triangulo MARCADOR
if (buttonState==0&&pulsado==1){
h1=numero;
if(h1>2){
h1=0;
}
    buttonState=1;
    pulsado=0;
    delay(rebote);
}
else if (buttonState==1&&pulsado==1){
h2=numero;
if(h1==2&& h2>3)
{h2=0;}
buttonState=2;
pulsado=0;
delay(rebote);
}
else if (buttonState==2&&pulsado==1){
min1=numero;
if(min1>5){
min1=0;
}
buttonState=3;
pulsado=0;
delay(rebote);
}
else if (buttonState==3&&pulsado==1){
min2=numero;
buttonState=4;
pulsado=0;
delay(rebote);
}
u8g.setPrintPos(10, 40);
u8g.print(h1);
u8g.setPrintPos(10*2+6, 40);
u8g.print(h2);
u8g.drawStr(10*3+7, 33+6, ":");
u8g.setPrintPos(10*4+7, 40);
u8g.print(min1);
u8g.setPrintPos(10*5+13, 40);
u8g.print(min2);
if (buttonState==4){
if(buttonState==4&&enter==1){
EEPROM.write(7, h1);
EEPROM.write(9, h2);
EEPROM.write(11, min1);
EEPROM.write(13, min2);
}
}

```

```

hora_inicio=0;////////////////////////////////////
buttonState=0;
estadoPrincipal=0;
delay(rebote);
enter=0;
    }
}
    if (buttonState==5){
buttonState=0;
enter=0;
    }
    if (buttonState<0){
buttonState=4;
enter=0;
    }
}/// FIN de la funcion HORA DE INICIO ///
/// INICIO DE LA funcion CANTIDAD ///
void f_cantidad(){
int espacio;
int rebote=20;
contador_hora_inico();
if(buttonState>=2){espacio=10;}
if(buttonState<2){espacio=0;}
u8g.setFont(u8g_font_unifont);
u8g.drawStr( 30, 11, "CANTIDAD:");
u8g.drawStr(77, 30,"Kg");
u8g.setFont(u8g_font_04b_03b);
u8g.drawStr( 68, 40,"GUARDAR");
u8g.drawLine(0+3, 12, 128-4, 12);
u8g.setFont(u8g_font_courB24);/// tamaño de letra
u8g.setPrintPos(100, 65);
u8g.drawTriangle(buttonState*13+17+espacio,50,buttonState*13+8+17+espacio,50,
4+buttonState*13+17+espacio ,40);///triangulo MARCADOR
if (buttonState==0&&pulsado==1){
p1=numero;
    buttonState=1;
    pulsado=0;
    delay(rebote);
}
else if (buttonState==1&&pulsado==1){
p2=numero;
buttonState=2;
pulsado=0;
delay(rebote);
}
else if (buttonState==2&&pulsado==1){
p3=numero;
buttonState=3;
pulsado=0;
delay(rebote);
}
}

```

```

u8g.setPrintPos(10, 40);
u8g.print(p1);
u8g.setPrintPos(10*2+6, 40);
u8g.print(p2);
u8g.drawStr(10*3+7, 33+6, ".");
u8g.setPrintPos(10*4+9, 40);
u8g.print(p3);
if (buttonState==3){
if(buttonState==3&&enter==1){
EEPROM.write(15, p1);
EEPROM.write(17, p2);
EEPROM.write(19, p3);
cantidad=0;////////////////////////////////////
buttonState=0;
estadoPrincipal=0;
delay(rebote);
enter=0;
    }
}
if (buttonState==4){
buttonState=0;
enter=0;
}
if (buttonState<0){
buttonState=3;
enter=0;
}
}/// FIN de la funcion CANTIDAD ///
/// INICIO DE LA funcion INTERVALO //////////////////////////////////
void f_intervalo(){
int espacio;
int rebote=20;
contador_hora_inico();
if(buttonState>=3){espacio=10;}
if(buttonState<3){espacio=0;}
u8g.setFont(u8g_font_unifont);
u8g.drawStr( 30, 11, "INTERVALO:");
u8g.drawStr(50+10, 30,"Minutos");
u8g.setFont(u8g_font_04b_03b);
u8g.drawStr( 55+10, 40,"GUARDAR");
u8g.drawLine(0+3, 12, 128-4, 12);
u8g.setFont(u8g_font_courB24);/// tamaño de letra
u8g.setPrintPos(100, 65);
u8g.drawTriangle(buttonState*13+17+espacio,50,buttonState*13+8+17+espacio,50,
4+buttonState*13+17+espacio ,40);///triangulo MARCADOR
if (buttonState==0&&pulsado==1){
inter1=numero;
    buttonState=1;
    pulsado=0;
    delay(rebote);
}
}

```

```

else if (buttonState==1&&pulsado==1){
inter2=numero;
buttonState=2;
pulsado=0;
delay(rebote);
}
else if (buttonState==2&&pulsado==1){
inter3=numero;
buttonState=3;
pulsado=0;
delay(rebote);
}

```

```

u8g.setPrintPos(10, 40);
u8g.print(inter1);
u8g.setPrintPos(10*2+6, 40);
u8g.print(inter2);
u8g.setPrintPos(10*2+21, 40);
u8g.print(inter3);
if (buttonState==3){
if(buttonState==3&&enter==1){
EEPROM.write(21, inter1);
EEPROM.write(23, inter2);
EEPROM.write(29, inter3);
intervalo=0;
buttonState=0;
estadoPrincipal=0;
delay(rebote);
enter=0;
}
}
if (buttonState==4){
buttonState=0;
enter=0;
}
if (buttonState<0){
buttonState=4;
enter=0;
}
}/// FIN de la funcion INTERVALO ///
/// INICIO DE LA funcion VECES ///
void f_veces(){
int espacio;
int rebote=20;
contador_hora_inico();
if(buttonState>=2){espacio=10;}
if(buttonState<2){espacio=0;}

```

```

u8g.setFont(u8g_font_unifont);
u8g.drawStr( 5, 11, "NUMERO DE VECES:");
u8g.drawStr(50, 30,"VECES");
u8g.setFont(u8g_font_04b_03b);
u8g.drawStr( 55, 40,"GUARDAR");
u8g.drawLine(0+3, 12, 128-4, 12);
u8g.setFont(u8g_font_courB24);/////letras grandes

u8g.setPrintPos(100, 65);
u8g.drawTriangle(buttonState*13+17+espacio,50,buttonState*13+8+17+espacio,50,
4+buttonState*13+17+espacio ,40);//triangulo MARCADOR
if (buttonState==0&&pulsado==1){
veces1=numero;
  buttonState=1;
  pulsado=0;
  delay(rebote);
}
else if (buttonState==1&&pulsado==1){
veces2=numero;
buttonState=2;
pulsado=0;
delay(rebote);
}
u8g.setPrintPos(10, 40);
u8g.print(veces1);
u8g.setPrintPos(10*2+6, 40);
u8g.print(veces2);
if (buttonState==2){
if(buttonState==2&&enter==1){
EEPROM.write(25, veces1);
EEPROM.write(27, veces2);
veces=0;////////////////////////////////////
buttonState=0;
estadoPrincipal=0;
delay(rebote);
enter=0;
  }
}
  if (buttonState==3){
buttonState=0;
enter=0;
  }
if (buttonState<0){
buttonState=2;
enter=0;
}
}/// FIN de la funcion VECES ///
/// Inicio de la funcion contador HORA INICIO
void contador_hora_inico(void) {
char tecla_presionada = miteclado.getKey();
  if ((tecla_presionada==matriz_teclas[0][3])) {

```

```

        buttonState =buttonState+1;
        pulsado=0;
        delay(20);
    }
    if ((tecla_presionada==matriz_teclas[2][3])) {
        buttonState =buttonState-1;
        pulsado=0;
        delay(20);
    }
    if ((tecla_presionada==matriz_teclas[1][3])) {
        pulsado=0;
        enter =1;
        delay(20);
    }
    /// OPCION PARA GUARDAR LOS NUMEROS
    if(tecla_presionada==matriz_teclas[0][0])
    {
        numero=1;
        pulsado=1;
        delay(20);
    }
    if(tecla_presionada==matriz_teclas[0][1])
    {
        numero=2;
        pulsado=1;
        delay(20);
    }
    if(tecla_presionada==matriz_teclas[0][2])
    {
        numero=3;
        pulsado=1;
        delay(20);
    }
    if(tecla_presionada==matriz_teclas[1][0])
    {
        numero=4;
        pulsado=1;
        delay(20);
    }
    if(tecla_presionada==matriz_teclas[1][1])
    {
        numero=5;
        pulsado=1;
        delay(20);
    }
    if(tecla_presionada==matriz_teclas[1][2])
    {
        numero=6;
        pulsado=1;
        delay(20);
    }
}

```

```

if(tecla_presionada==matriz_teclas[2][0])
{
numero=7;
pulsado=1;
delay(20);
}
if(tecla_presionada==matriz_teclas[2][1])
{
numero=8;
pulsado=1;
delay(20);
}
if(tecla_presionada==matriz_teclas[2][2])
{
numero=9;
pulsado=1;
delay(20);
}
if(tecla_presionada==matriz_teclas[3][1])
{
numero=0;
pulsado=1;
delay(20);
}
else{
}
}
/// fin de la funcion CONTADOR HORA INICIO ///
/// inicio de la funcion contador
void contador(void) {
char tecla_presionada = miteclado.getKey();
if ((tecla_presionada==matriz_teclas[0][3])) {
buttonState =buttonState+1;
delay(20);
}
if ((tecla_presionada==matriz_teclas[2][3])) {
buttonState =buttonState-1;
delay(20);
}
if ((tecla_presionada==matriz_teclas[1][3])) {
enter =1;
delay(20);
}
else{
}
}
/// fin de la funcion CONTADOR ///
/// inicio de la funcion contador
void contador_principal(void) {
char tecla_presionada = miteclado.getKey();
if ((tecla_presionada==matriz_teclas[0][3])) {

```

```

    estadoPrincipal =estadoPrincipal-1;
    delay(20);
}
if ((tecla_presionada==matriz_teclas[2][3])) {
    estadoPrincipal =estadoPrincipal+1;
    delay(20);
}
if ((tecla_presionada==matriz_teclas[1][3])) {
    enter =1;
    delay(20);
}
else{
}
}
/// fin de la funcion contador ///
/// FUNCION PARA MOSTRAR ERROR EN RELOJ ///
void error_lcd(){
    u8g.firstPage();
    do {
u8g.setFont(u8g_font_unifont);
u8g.drawStr(0,35, "Error con RELOJ!");
u8g.setColorIndex(1);
    }
    while( u8g.nextPage() );
    delay(10);
}
/// fin de la FUNCION PARA MOSTRAR ERROR EN RELOJ
/// INICIO FUNCION ENTRADA ///
void entrada(){
    u8g.firstPage();
    do {
        u8g.setFont(u8g_font_unifont);
        u8g.drawStr(38,15, "UNSAAC");
u8g.drawStr(27,30, "EQUIPO DE ");
u8g.drawStr(15,45, "ALIMENTACION");
u8g.drawStr(0,60, "AUTOMATICO V 1.0");
u8g.setColorIndex(1);
    }
    while( u8g.nextPage() );
    delay(10);
}
/// fin de la FUNCION PARA MOSTRAR ERROR EN RELOJ
/// INICIO DE LA FUNCION MOTOR
void Motor(int motor1, int motor2){
digitalWrite(IN1, LOW);
digitalWrite(IN2, HIGH);
analogWrite(ENA, motor1);
digitalWrite(IN3, LOW);
digitalWrite(IN4, HIGH);
analogWrite(ENB, motor2);
/// las variables motor1 y motor2 varia de 0 a 255

```

```

}
/// fin DE LA FUNCION MOTOR
/// INICIO DE LA FUNCION DISPENSAR
void dispensar(){
float peso3=p3;
float peso_referencial;
int hora=h1*10+h2;
int minuto=min1*10+min2;
float cantidad_total=p1*10+p2+(peso3/10);
int intervalo_total= inter1*100+inter2*10+inter3;
int veces_total=veces1*10+veces2;
DateTime now = rtc.now();
boolean dias_programados[7]={d, l, ma, mi, j, v, s};
int dia_hoy=now.dayOfTheWeek();
if(dias_programados[dia_hoy]==1){////entra la bucle si el dia esta elegido
digitalWrite(led2,HIGH);
if(((now.hour())*60+(now.minute()))==(hora*60+minuto+(intervalo_total*contado
r_veces))&&entrar_bucle==0){
entrar_bucle=1;
peso_referencial=peso_real;
delay(30);
prender_motor=true;
}//////////
if(prender_motor==true)
{
    peso_necesario=peso_referencial-cantidad_total;
digitalWrite(led1,HIGH);
Motor(90, 150);////////// velocidad M1 , M2 son de 0 a 255
if( peso_real<=peso_necesario ){
    Motor(0,0);
contador_veces++;
entrar_bucle=0;
prender_motor=false;
peso_referencial=0;
digitalWrite(led1,LOW);
}
}
if(contador_veces==veces_total)
{
    contador_veces=0;
dispensador=0;
}
else{
}
}//////////
else{
digitalWrite(led2,LOW);
}
}
}
/// FIN DE LA FUNCION DISPENSAR

```

# **ANEXOS**

*Anexo 1: Especificaciones del alimento peletizado para truchas*

## NICOVITA CLASSIC TRUCHAS

**1. Nombre Comercial del Producto**

NICOVITA CLASSIC TRUCHAS

**2. Descripción del Producto**

Alimento extruido para trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* desde los 2 gramos hasta tamaño de mercado.

**3. Fórmula Balanceada con Especificaciones Nutricionales del Alimento**

Nombre	Proteína (% Min)	Grasa (% Min)	Humedad (% Max)	Fibra (%Max)	Ceniza (% Max)
NICOVITA CLASSIC TRUCHAS 2	50	13	10	3.0	15
NICOVITA CLASSIC TRUCHAS 5	45	13	10	3.0	12
NICOVITA CLASSIC TRUCHAS 25	42	13	10	3.0	12
NICOVITA CLASSIC TRUCHAS 60	42	13	10	3.0	12
NICOVITA CLASSIC TRUCHAS 150	40	13	10	3.0	12
NICOVITA CLASSIC TRUCHAS P150*	40	15	10	3.0	12
NICOVITA CLASSIC TRUCHAS 500	40	13	10	3.0	12
NICOVITA CLASSIC TRUCHAS P500*	40	15	10	3.0	12
NICOVITA CLASSIC TRUCHAS 2000	40	13	10	3.0	12

(\*) Los productos pigmentados tienen mínimo 60 ppm de astaxantina

**4. Presentación Comercial**

Nombre	Calibre (mm)
NICOVITA CLASSIC TRUCHAS 2	1.5
NICOVITA CLASSIC TRUCHAS 5	2
NICOVITA CLASSIC TRUCHAS 25	3
NICOVITA CLASSIC TRUCHAS 60	4
NICOVITA CLASSIC TRUCHAS 150	6
NICOVITA CLASSIC TRUCHAS P150	6
NICOVITA CLASSIC TRUCHAS 500	8
NICOVITA CLASSIC TRUCHAS P500	8
NICOVITA CLASSIC TRUCHAS 2000	12

Sacos de polipropileno laminado de 25 kg de peso neto.

Anexo 2: Propiedades del alimento peletizado para truchas (Piensos en pellets).

Tabla E.1 – Propiedades de los sólidos disgregados													
Tipo de sólido disgregado <sup>d,e</sup>	Peso específico <sup>b</sup>		Ángulo de talud natural	Ángulo de rozamiento interno			Coeficiente de presiones laterales		Coeficiente de rozamiento con la pared <sup>c</sup>				Coeficiente de referencia del sólido para cargas concentradas $C_{sp}$
	$\gamma$	$\gamma_c$	$\phi$	$\phi_m$	$a_\phi$	$K_m$	$a_K$	Tipo de pared D1	Tipo de pared D2	Tipo de pared D3	$a_\mu$		
	Inferior	Superior		Medio	Coeficiente	Medio	Coeficiente	Medio	Medio	Medio	Coeficiente		
	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	grados	grados									
Material por defecto <sup>a</sup>	6,0	22,0	40	35	1,3	0,50	1,5	0,32	0,39	0,50	1,40	1,0	
Áridos	17,0	18,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,39	0,49	0,59	1,12	0,4	
Aluminio	10,0	12,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5	
Mezcla de piensos	5,0	6,0	39	36	1,08	0,45	1,10	0,22	0,30	0,43	1,28	1,0	
Piensos en pellets	6,5	8,0	37	35	1,06	0,47	1,07	0,23	0,28	0,37	1,20	0,7	
Cebada ☼	7,0	8,0	31	28	1,14	0,59	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,5	
Cemento	13,0	16,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,46	0,51	1,07	0,5	
Clinker de cemento ‡	15,0	18,0	47	40	1,20	0,38	1,31	0,46	0,56	0,62	1,07	0,7	
Carbón ☼	7,0	10,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,44	0,49	0,59	1,12	0,6	
Carbón en polvo ☼	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5	
Coque	6,5	8,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,6	
Cenizas volantes	8,0	15,0	41	35	1,16	0,46	1,20	0,51	0,62	0,72	1,07	0,5	
Harina ☼	6,5	7,0	45	42	1,06	0,36	1,11	0,24	0,33	0,48	1,16	0,6	
Pellets de mineral de hierro	19,0	22,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,49	0,54	0,59	1,12	0,5	
Cal hidratada	6,0	8,0	34	27	1,26	0,58	1,20	0,36	0,41	0,51	1,07	0,6	
Caliza en polvo	11,0	13,0	36	30	1,22	0,54	1,20	0,41	0,51	0,56	1,07	0,5	
Maíz ☼	7,0	8,0	35	31	1,14	0,53	1,14	0,22	0,36	0,53	1,24	0,9	
Fosfato	16,0	22,0	34	29	1,18	0,56	1,15	0,39	0,49	0,54	1,12	0,5	
Patatas	6,0	8,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,33	0,38	0,48	1,16	0,5	
Arena	14,0	16,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,38	0,48	0,57	1,16	0,4	
Escoria de clínker	10,5	12,0	39	36	1,09	0,45	1,11	0,48	0,57	0,67	1,16	0,6	
Semillas de soja	7,0	8,0	29	25	1,16	0,63	1,11	0,24	0,38	0,48	1,16	0,5	
Azúcar ☼	8,0	9,5	38	32	1,19	0,50	1,20	0,46	0,51	0,56	1,07	0,4	
Remolacha azucarera en pellets	6,5	7,0	36	31	1,16	0,52	1,15	0,35	0,44	0,54	1,12	0,5	
Trigo ☼	7,5	9,0	34	30	1,12	0,54	1,11	0,24	0,38	0,57	1,16	0,5	

Fuente: Norma UNE-EN 1991-4, pág. 104.

Anexo 3: Características del alimento peletizado para trucha (Alfalfa pellets).

		<b>Tabla 1-2</b>				
<b>Características de los Materiales</b>						
Material	Peso libras por pie cúbico	Código de Material	Selección de Rodamiento Intermedio	Series de Componentes	Factor de Material Fm	Carga de Artesa
Ácido adíptico	45	A100-35	S	2	.5	30A
Ácido bórico, fino	55	B6-25T	H	3	.8	30A
Ácido hexanodioico (ver ácido adíptico)	—	—	—	—	—	—
Ácido oxálico (etano diácido) cristales	60	B6-35qS	L-S	1	1	30A
Ácido salicílico	29	B6-37u	H	3	.6	15
Ajonjolí, semilla	27-41	B6-26	H	2	.6	30A
Alfalfa	14-22	B6-45WY	H	2	.6	30A
Alfalfa (pellet)	41-43	C1/2-25	H	2	.5	45
Alfalfa, semilla	10-15	B6-15N	L-S-B	1	.4	45
Algarroba	48	B6-16N	L-S-B	1	.4	30B
Algodón, semilla pasta rolada	35-40	C1/2-45HW	L-S	1	.6	30A
Algodón, semilla pasta, seco	40	B6-35HW	L-S	1	.6	30A
Algodón, semilla prensada, pasta	40-45	C1/2-45HW	L-S	2	1	30A
Algodón, semilla prensada, trozos	40-45	D7-45HW	L-S	2	1	30A
Algodón, semilla seca, desfibrada	22-40	C1/2-25X	L-S	1	.6	45
Algodón, semilla seca, no desfibrada	18-25	C1/2-45XY	L-S	1	.9	30A
Algodón, semilla, cascarillas	12	B6-35Y	L-S	1	.9	30A
Algodón, semilla, en harina, extraída	35-40	B6-45HW	L-S	1	.5	30A
Algodón, semilla, en harina, torta	25-30	B6-45HW	L-S	3	.5	30A
Algodón, semilla, hojuelas	20-25	C1/2-35HWY	L-S	1	.8	30A
Almendra, quebrada	27-30	C1/2-35q	H	2	.9	30A
Almendra, entera con cáscara	28-30	C1/2-35q	H	2	.9	30A
Almidón	25-50	A40-15M	L-S-B	1	1	45
Alumbre, (sulfato de aluminio) fino	45-50	B6-35u	L-S-B	1	.6	30A
Alumbre, (sulfato de aluminio) terrón	50-60	B6-25	L-S	2	1.4	45
Alúmina	55-65	B6-27MY	H	3	1.8	15
Alúmina briquetada	65	D3-37	H	3	2	15
Alúmina, molido fina	35	A100-27MY	H	3	1.6	15
Aluminato (hidróxido de aluminio)	45	B6-35	H	2	1.7	30A
Aluminato de sodio, molido	72	B6-36	H	2	1	30B
Aluminio, viruta con aceite	7-15	E-45V	H	2	.8	30A
Aluminio, viruta seca	7-15	E-45V	H	2	1.2	30A
Antimonio en polvo	—	A100-35	H	2	1.6	30A
Arcilla (ver bentonita, tierra diatomáceas, arcilla)						
Arcilla calcárea	80	DX-36	H	2	1.6	30B
Arcilla calcinada	80-100	B6-36	H	3	2.4	30B
Arcilla cerámica, seca, fina	60-80	A100-35P	L-S-B	1	1.5	30A
Arcilla para tabiques, seca, fina	100-120	C1/2-36	H	3	2	30B
Arcilla seca, en trozos	60-75	D3-35	H	2	1.8	30A
Arena de banco, húmeda	110-130	B6-47	H	3	2.8	15
Arena de banco, seca	90-110	B6-37	H	3	1.7	15
Arena de fundición, de desmoldeo	90-100	D3-37z	H	3	2.6	15
Arena de fundición, seca (ver arena)	—	—	—	—	—	—
Arena de sílica, seca	90-100	B6-27	H	3	2	15

Fuente: Manual Martín, pág. 7

**Anexo 4: Especificaciones técnicas de plancha de acero galvanizado de 0.3x914x1800 mm**

Planchas y Bobinas Zincadas

**NORMAS TÉCNICAS**  
JISG 3302 o equivalente ASTM A653 / A 653M.

**PROPIEDADES MECÁNICAS**  
Calidad comercial:  
Límite de Fluencia mínimo = 205 - 380 Mpa (2,110-3,860 kg/cm<sup>2</sup>)mínimo  
Alargamiento en 50 mm = 20.0% mínimo  
Revestimiento de Zinc:  
G40 = Mínimo 120 g/m<sup>2</sup> (total de ambas caras)  
G60 = Mínimo 180 g/m<sup>2</sup> (total de ambas caras)  
Doblado a 180°: Diámetro de Pin=4e.

**USOS**  
En la fabricación de paneles, coberturas, carrocerías, instalaciones para la avicultura, ductos, silos, etc.

**PRESENTACIÓN**  
Las planchas vienen en paquetes de 2.5 a 3 tm aproximadamente.  
Las bobinas vienen con peso mínimo de 4 tm.

DIMENSIONES NOMINALES	
PLANCHAS (PZL JIS G3302)	BOBINAS (BZLI JIS G3302)
0.30 x 914 x 1800 mm	0.30 x 914 mm
0.30 x 1200 x 2400 mm	0.30 x 1200 mm
0.40 x 914 x 1800 mm	0.40 x 914 mm
0.40 x 1200 x 2400 mm	0.40 x 1200 mm
0.45 x 1200 x 2400 mm	0.45 x 1200 mm
0.50 x 1200 x 2400 mm	0.50 x 1200 mm
0.55 x 1200 x 2400 mm	0.50 x 1200 mm
0.60 x 1200 x 2400 mm	0.75 x 1200 mm
0.75 x 1200 x 2400 mm	0.80 x 1200 mm
0.80 x 1200 x 2400 mm	0.85 x 1200 mm
0.85 x 1200 x 2400 mm	0.90 x 1200 mm
0.90 x 1200 x 2400 mm	1.15 x 1200 mm
0.95 x 1200 x 2400 mm	1.20 x 1200 mm
1.00 x 1200 x 2400 mm	1.45 x 1200 mm
1.15 x 1200 x 2400 mm	1.50 x 1200 mm
1.20 x 1200 x 2400 mm	1.90 x 1200 mm
1.45 x 1200 x 2400 mm	
1.50 x 1200 x 2400 mm	
1.90 x 1200 x 2400 mm	



Fuente: Catalogo de Aceros Arequipa (2020, pág. 16)

**Anexo 5: Especificaciones técnicas para barras redondas**

Barras Redondas Lisas y Pulidas



**DIMENSIONES**

REDONDO LISO		REDONDO PULIDO	
Diámetro nominal (pulgadas)		Diámetro nominal (pulgadas)	
3/8	1	1 1/8	1 3/4
1/2	1 1/4	1 1/4	2
5/8	1 3/8	1 1/2	2 1/2
3/4	2		
7/8	2 1/4		

**NORMAS TÉCNICAS**  
Composición Química y Propiedades Mecánicas:  
SAE J403 (1045), ASTM A36/ A36M, y NTP 350.400  
Tolerancias Dimensionales:  
· Barras de diámetros ≤ a 1 1/8": ISO 1035/4 y NTP 241.105  
· Barras de diámetros > a 1 1/8": ASTM A6 y NTP 241.105

**USOS**  
Calidad SAE 1045: Pernos y tuercas por recalado en caliente o mecanizado, ejes, pines, pasadores, etc.  
Calidad ASTM A36: Estructuras metálicas, puertas, ventanas, rejas, cercos, barras de transferencia para pavimento rígido, etc.  
También para recalado y mecanizado.

**PRESENTACIÓN**  
· Se comercializa en longitudes de 6 metros. En otras longitudes solo a pedido del cliente.  
· Las barras de diámetros mayores a 1", son suministradas en estado laminado en caliente y posteriormente pulidas (según requerimiento del cliente).  
· Se suministran en paquetes de 1 t.  
· La calidad 1045 se identifica en los extremos, pintando la mitad de la sección con color negro.  
· La calidad A36 se identifica en los extremos, pintando la mitad de la sección con color verde y la otra mitad con color negro.

**PROPIEDADES MECÁNICAS**

Límite de Fluencia mínimo	ASTM A36: = 250 MPa (2,530 kg/cm <sup>2</sup> )	SAE 1045: = 390 - 540 MPa (4,000 - 5,500 kg/cm <sup>2</sup> )
Resistencia a la Tracción	= 400 - 550 MPa (4,080 - 5,620 kg/cm <sup>2</sup> )	= 650 - 800 MPa (6,700 - 8,200 kg/cm <sup>2</sup> )
Alargamiento en 200 mm	= 20.0% mínimo	= 12.0% mínimo

\*Valores Típicos.

Fuente: Catalogo de Aceros Arequipa (2020, pág. 10).

## Anexo 6: Especificaciones técnicas del tubo cuadrado de acero galvanizado de 25x25mm

Tubo GALV ASTM A500						
Tubo fabricado con acero al carbono de superficie galvanizada, utilizando el sistema de soldadura de resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW). Las secciones de fabricación son redondas, cuadradas y rectangulares.						
 <b>NORMAS TÉCNICAS</b>	 <b>USOS</b>	 <b>PRESENTACIÓN</b>				
Las dimensiones, pesos y espesores se fabrican según la norma ASTM A500 Grado A y B según lo solicitado	Diversas estructuras livianas y pesadas, correcerías, tijaerales, postes, etc.	1. Longitud: - Redondos: 6.40 m y 6 m. - Cuadrados y rectangulares: 6 m. - Otras longitudes a pedido.	2. Acabado de extremos: Refrentado (plano), limpios de rebordes.	3. Recubrimiento: Negro Galvanizado (mínimo 120 gr/m <sup>2</sup> ).		
 <b>PROPIEDADES MECÁNICAS</b>						
Sección	Norma técnica		Grado	Límite de fluencia (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación mínimo
	Del tubo	Del acero				
Redondo	ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 500 GRADO A	A	228	310	25
		ASTM A 1011 CS TIPO B		-	□ 290	□ 25
Cuadrado	ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 500 GRADO A	A	269	310	25
		ASTM A 1011 CS TIPO B		-	□ 290	□ 25
Rectángulo	ASTM A 500/A 500 M	ASTM A 500 GRADO A	B	269	310	25
		ASTM A 1011 CS TIPO B		-	□ 290	□ 25



(□) Dimensiones y Tolerancias.

DESIGNACIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m										
Designación Nominal	Dimensión exterior (mm)	Espesores (mm)								
		1.5	1.8	2.0	2.3	2.5	3.0	3.3	4.0	
REDONDO NOMINAL	1/4"	13.70	0.53	0.58	0.65					
	3/8"	17.10	0.68	0.75	0.84					
	1/2"	21.30	0.87	0.95	1.08	1.16	1.35			
	3/4"	26.70	1.11	1.22	1.38	1.49	1.75			
	1"	33.40	1.40	1.55	1.76	1.91	2.25			
	1 1/4"	42.20	1.79	1.98	2.26	2.45	2.90			
	1 1/2"	48.30	2.06	2.28	2.61	2.82	3.35	3.66	4.37	
	2"	60.30	2.60	2.88	3.29	3.56	4.24	4.64	5.56	
	□ 2 1/2"	73.00		3.50		4.35	5.18	5.67	6.81	
	3"	88.90		4.29		5.33	6.36	6.97	8.38	
4"	114.30		5.54		6.90	8.24	9.04	10.88		
CUADRADO L.E.	-	25 x 25	1.06	1.46						
	-	30 x 30	1.30	1.70						
	-	40 x 40	1.78	2.24						
	-	50 x 50	2.25	3.12						

(□) Dimensiones y Tolerancias.

SISTEMA MÉTRICO									
Dimensión exterior (mm)	Espesores (mm)								
	1.5	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	6.0	
REDONDO L.E.	25	1.12	1.33	1.47	1.81				
	30		1.62	1.79					
	38		2.07	2.29	2.83	3.36			
	40		2.18	2.41	2.99	3.55			
	50		2.75	3.04	3.77	4.49			
	75			4.61	5.73	6.84	9.03	10.10	13.24
	80			4.93	6.13	7.31	9.65	10.81	
	100			6.18	7.70	9.20	12.17	13.63	17.95
RECTÁNGULO L.E.	25 x 50	1.65	2.04	2.26					
	40 x 50		2.46	2.73					
	40 x 60	2.26	2.75	3.03	3.60	4.25			
	40 x 80	2.71		3.66	4.39	5.19			
	50 x 70			3.67	4.56	5.43			
	50 x 100		4.16	4.50	5.56	6.60	8.59	10.10	13.24
50 x 150			6.17	7.68	9.17	11.73	13.63	17.95	

Fuente: Catalogo de Aceros Arequipa (2020, pág. 21).

## PRIMARIO PARA GALVANIZADO Y-5229

### Acabado Alquídico y cemento blanco

#### DESCRIPCIÓN

Primario blanco que brinda alta protección contra la corrosión en superficies de metal galvanizadas y de aluminio. Su fórmula hecha a partir de una combinación especial de resinas alquídicas, cemento blanco y pigmentos anticorrosivos lo convierten en un producto muy adherente y elástico y que no se ampolla. Su adhesión aumenta con el tiempo. Producto libre de plomo y mercurio.



#### USOS

Recomendado para superficies de metal galvanizadas y superficies de aluminio.

#### VENTAJAS Y BENEFICIOS

- Interiores y exteriores.
- Gran poder anticorrosivo, protege a los metales de las inclemencias del tiempo.
- Libre de plomo y mercurio.

#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

PROPIEDAD (MÉTODO)	VALOR	UNIDADES
Composición	Resina alquídica y cemento blanco.	-
Color	Blanco	-
Brillo a 60°	0 – 10	UB
% Sólidos por peso	70 -72	%
% Sólidos por volumen	46 – 48	%
Contenido de VOC	320 – 350	g/L
Limpieza de Equipo	Aguarrás o Solvente 630.	
Solvente para reducción	Listo para aplicar. En caso de requerirlo use un máximo de 10% de aguarrás o Solvente 630.	
Secado a 25 °C	Tacto	3-4 h
	Repinte	12 h
Métodos de aplicación	Brocha, rodillo y pistola	-

Anexo 8: Especificaciones del motor para el dosificador.



Datasheet

# RS PRO, 12 V dc, 6000 gcm, Brushed DC Geared Motor, Output Speed 72 rpm

Stock No: 834-7631

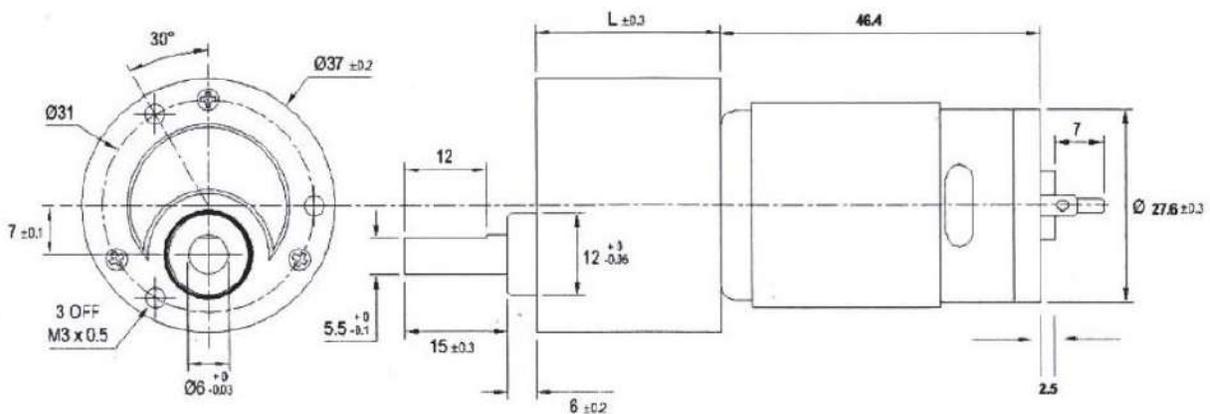


ENGLISH



### Specifications:

Output Speed	72 rpm
Supply Voltage	12 V dc
Maximum Output Torque	6000 g.cm
DC Motor Type	Brushed
Shaft Diameter	6mm
Power Rating	7 W
Gearhead Type	Spur
Length	70.9mm
Width	37mm
Current Rating	840 mA
Weight	211g



Fuente: Adaptada de la ficha técnica RS PRO.



Datasheet

# RS PRO, 12 V dc, 65 gcm, Brushed DC Geared Motor, Output Speed 2000 rpm

Stock No: 420-700

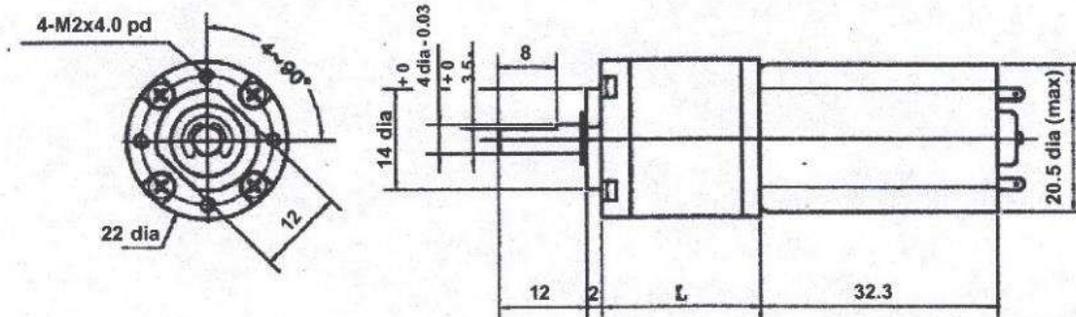


ENGLISH



## Specifications:

Output Speed	2000 rpm
Supply Voltage	12 V dc
Maximum Output Torque	65 g.cm
DC Motor Type	Brushed
Shaft Diameter	4mm
Power Rating	1.36 W
Gearhead Type	Planetary
Length	46.7mm
Width	22mm
Current Rating	240 mA
Weight	59g



Fuente: Adaptada de la ficha técnica RS PRO.

Anexo 10: Especificaciones del módulo fotovoltaico



## PANEL SOLAR PS-10

CON PROTECCIÓN POR FUERTES VIENTOS, GRANIZO, NIEVE Y FUEGO





**CELDA DE SILICIO POLICRISTALINO**

Es un material que consiste en pequeños cristales de silicio. Como se puede apreciar en cualquier panel solar, este tipo de celdas son de color azul claro y con escamas de los diferentes fragmentos de cristal.



Marco de aluminio

**ESPECIFICACIONES**

Modelo	PS-10
<b>Especificaciones eléctricas</b>	
Potencia máxima (Pmax)	10W
Voltaje nominal (Vmp)	18.36V
Corriente (Imp)	0.54A
Tensión en circuito abierto (Voc)	22V
Corriente en cortocircuito (Isc)	0.58A
Tensión máxima	1000VCC (IEC) / 600VCC (UL)
Resistencia al viento (Pa)	2400
<b>Especificaciones físicas</b>	
Celda solar	Silicio policristalino
Material del marco	Aluminio
Color del marco y estructura	Aluminio
Dimensiones (mm)	260 x 380 x 18
Peso neto (Kg)	1.2
<b>Especificaciones de temperatura</b>	
Condiciones de temp. nominal	-40°C a +85°C
Temperatura (NOCT)	45°C
Coefficiente de temp. de Pmax	-0.47% °C
Coefficiente de temp. de Voc	-0.34% °C
Coefficiente de temp. de Isc	+0.05% °C
<b>Garantía de performance</b>	
90% de la potencia	10 Años
80% de la potencia	25 Años

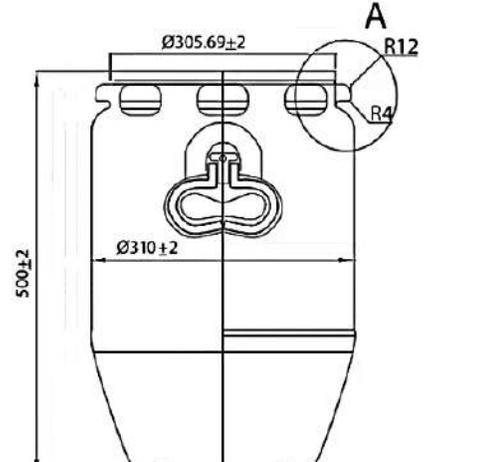
VENTAJAS

- Módulos de alta potencia que otorgan soluciones para aplicaciones variadas
- Con protección por fuertes vientos, granizo, nieve y fuego
- Diodos integrados para proteger las celdas solares
- El marco de aluminio anodizado mejora la resistencia contra fuertes vientos
- Completamente a prueba de deformaciones y congelamiento de agua
- Gran rendimiento energético dado a su alta transparencia, bajo contenido de hierro, vidrio templado y revestimiento antirreflejo
- Tamaño y peso reducidos

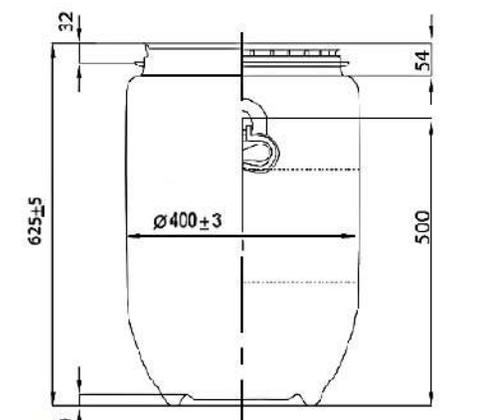
Fuente: Adaptada de la ficha técnica ENERTIK.

Anexo 11: Especificaciones técnicas de las canecas a evaluar

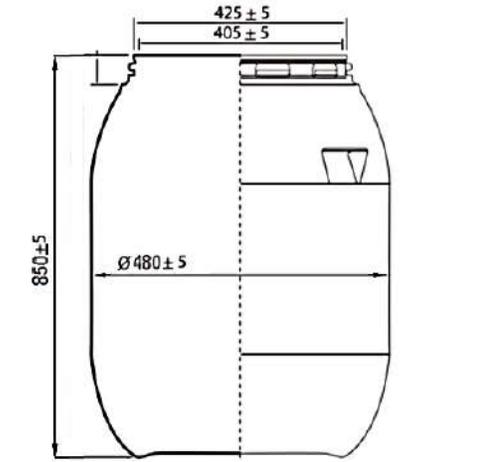
CAPACIDAD NOMINAL (agua a 25°C)	30 LITROS	
PESO RECIPIENTE COMPLETO	1,760 kg	± 29 Y 50 g
ALTURA	500 mm	± 3,0 mm
DIÁMETRO CENTRAL	310,0 mm	± 3,0 mm
DIÁMETRO INTERNO DE LA BOCA	260,0 mm	± 3,0 mm
ESPESOR MÍNIMO PARED (CUERPO)	1,5 mm	
ACCESORIOS	1- TAPA CON EMPAQUE Y ARO METÁLICO, 2 DISCOS 2 - PASADORES, 2 - ASAS	
MATERIAL	PEAD APM	
COLOR	SEGÚN ESPECIFICACION DEL CLIENTE	
METODO DE PRODUCCIÓN	SOPLADO	



CAPACIDAD NOMINAL (agua a 25°C)	60 LITROS	
PESO RECIPIENTE COMPLETO	3,700 kg	± 0,030 kg
ALTURA	625,0 mm	± 5,0 mm
DIÁMETRO CENTRAL	400,0 mm	± 3,0 mm
ESPESOR MÍNIMO PARED (CUERPO)	2,5 mm ± 3,0 mm	
ACCESORIOS	1- TAPA CON EMPAQUE Y ARO METÁLICO, 2 DISCOS 2 - PASADORES, 2 - ASAS	
MATERIAL	PEAD APM	
COLOR	SEGÚN ESPECIFICACION DEL CLIENTE	
METODO DE PRODUCCIÓN	SOPLADO	



CAPACIDAD NOMINAL (agua a 25°C)	120 LITROS	
PESO RECIPIENTE COMPLETO	6000,0 kg	± 0.100 kg
ALTURA	850,0 mm	± 5,0 mm
DIÁMETRO CENTRAL	480,0 mm	± 5,0 mm
DIÁMETRO INTERNO DE LA BOCA	405,0 mm	± 3,0 mm
ESPESOR MÍNIMO PARED (CUERPO)	3,0 mm	
ACCESORIOS	1- TAPA CON EMPAQUE Y ARO METÁLICO, 2 DISCOS 2 - PASADORES, 2 - ASAS	
MATERIAL	PEAD APM	
COLOR	SEGÚN ESPECIFICACION DEL CLIENTE	
METODO DE PRODUCCIÓN	SOPLADO	



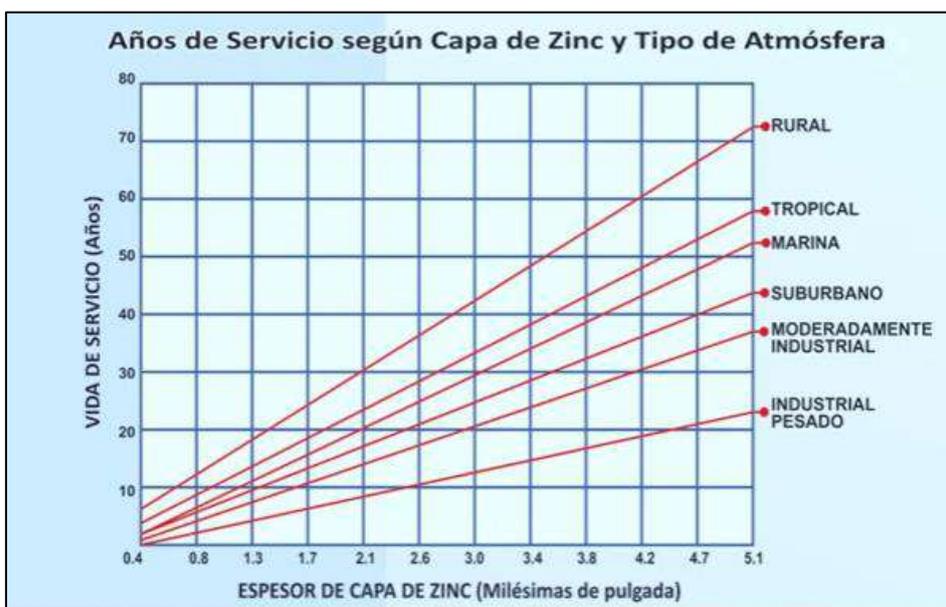
Fuente: Adaptado de las especificaciones técnicas de DISTRIENVASES.

**Anexo 12:** Costo de mano de obra

COSTO DE HORA HOMBRE EN OBRAS DE EDIFICACIÓN (VIGENTE AL 1 DE JUNIO DEL 2023)				
ITEM	CONCEPTOS	CATEGORÍA		
		OPERARIO	OFICIAL	PEÓN
1.00	REMUNERACIÓN BÁSICA VIGENTE (RB) (vigente del 01.06.2023 al 31.05.2024)	84.70	66.45	59.80
2.00	BONIFICACIÓN UNIFICADA DE CONSTRUCCIÓN (BUC) (vigente del 01.06.2023 al 31.05.2024)	27.10	19.94	17.94
3.00	LEYES Y BENEFICIOS SOCIALES SOBRE LA RB (113.59%)	96.21	75.48	67.93
4.00	LEYES Y BENEFICIOS SOCIALES SOBRE EL BUC (12.00%)	3.25	2.39	2.15
5.00	FONDO DE CAPACITACIÓN (CAPECO-FTCCP)	0.20	0.20	0.20
6.00	BONIFICACIÓN POR MOVILIDAD	8,00	8,00	8,00
7.00	OVEROL (2 und. anuales)	0.43	0.43	0.43
	<b>COSTO DÍA HOMBRE ( DH )</b>	<b>219.89</b>	<b>172.89</b>	<b>156.45</b>
	<b>COSTO HORA HOMBRE ( HH )</b>	<b>27.49</b>	<b>21.61</b>	<b>19.56</b>

Fuente: Suplemento Técnico enero 2024 de la Revista Costos, pág. 3.33.

**Anexo 13:** Vida útil del acero galvanizado en función del recubrimiento.



Fuente: Blog láminas y aceros, 2016

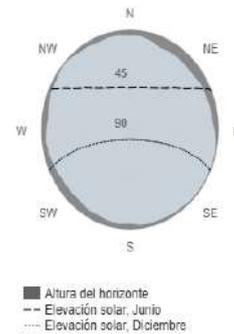
# Informe creado el

## PVGIS-5 base de datos de irradiación geoespacial

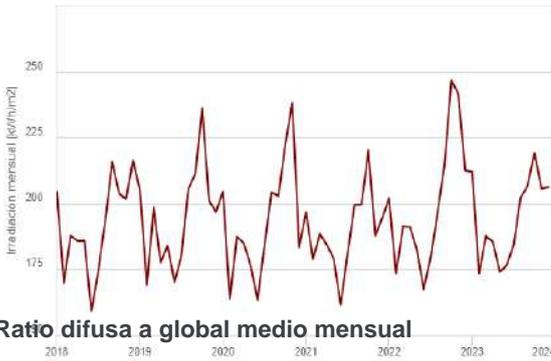
### Datos proporcionados

Latitud/Longitud:	-14.455,-71.247
Horizonte:	Calculado
Base de datos	PVGIS-ERA5
Año inicial:	2018
Año final:	2023
Variables incluidas en este informe:	
Irradiación global horizontal:	Si
Irradiación directa normal:	No
Irradiación global con el ángulo óptimo:	No
Irradiación global con el ángulo °	No
Ratio difusa/global	Si
Temperatura media	No

### Perfil del horizonte en la localización seleccionada



### Irradiación solar mensual



### Ratio difusa a global medio mensual



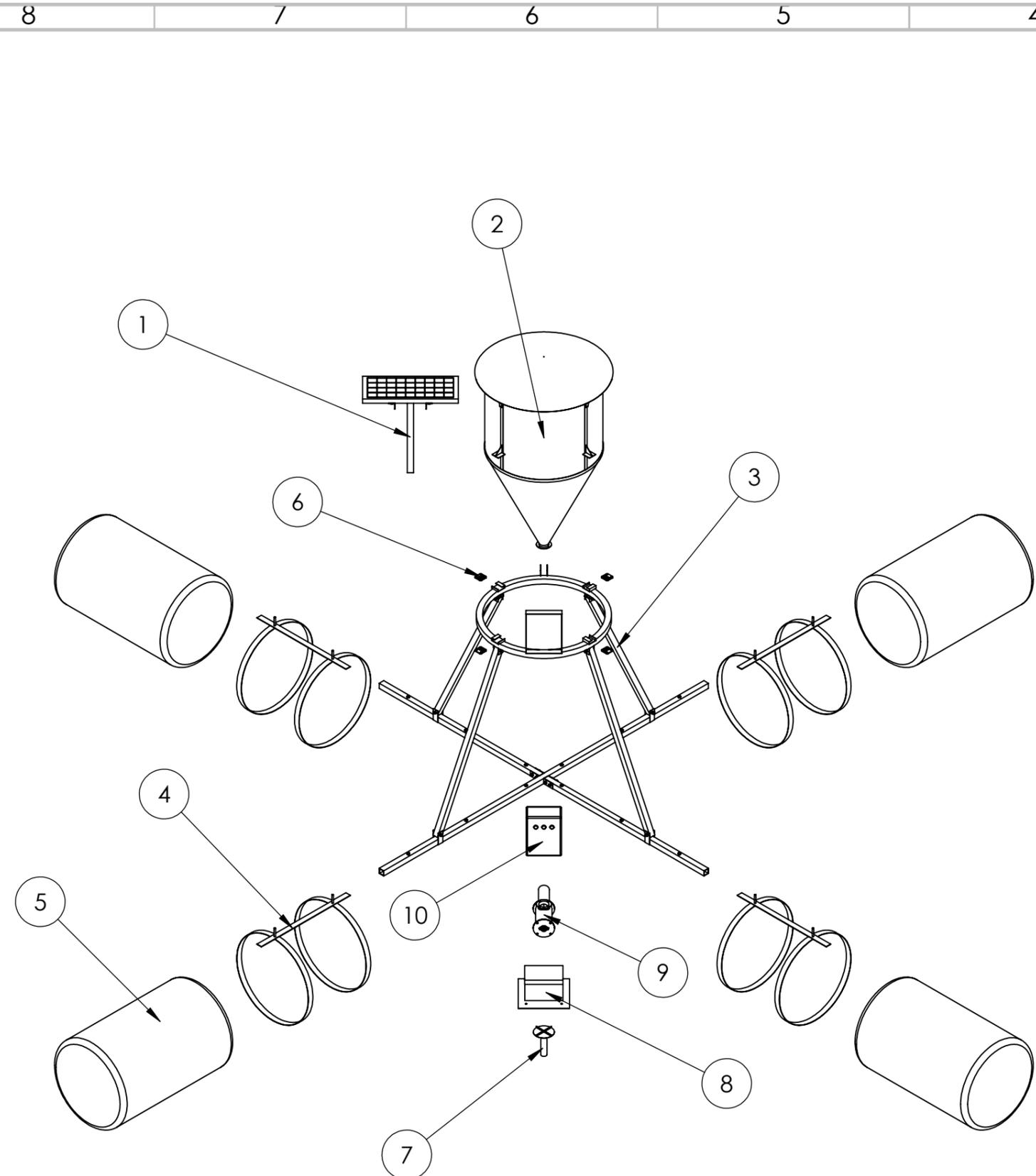
### Irradiación global horizontal

Mes	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	204.46	204.99	204.55	196.71	202	212.03
Febrero	169.69	168.92	163.72	178.79	173.48	173.39
Marzo	187.76	198.43	187.42	188.53	191.34	187.61
Abril	185.74	177.7	184.89	184.23	191.04	185.37
Mayo	185.8	183.97	176.45	178.98	182.61	174.08
Junio	159.08	170.18	163.26	161.53	167.21	176.56
Julio	174.71	180.19	183.78	180.84	179.59	184.48
Agosto	193.48	205.41	204.27	199.37	196.44	202.15
Septiembre	215.69	211.07	202.76	199.63	214.81	206.6
Octubre	203.62	236.25	222.06	220.07	246.57	219.13
Noviembre	201.72	200.86	238.06	187.85	241.47	205.51
Diciembre	216.44	196.61	183.22	194.33	212.48	206.09

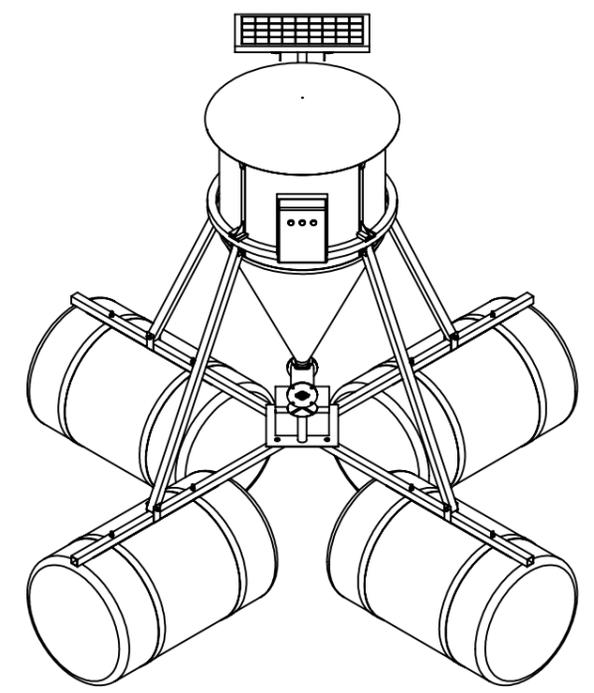
### Ratio difusa/global

Month	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	0.43	0.41	0.39	0.42	0.41	0.35
Febrero	0.44	0.46	0.47	0.41	0.41	0.4
Marzo	0.38	0.32	0.37	0.39	0.36	0.39
Abril	0.28	0.31	0.25	0.29	0.25	0.26
Mayo	0.18	0.18	0.21	0.21	0.19	0.23
Junio	0.23	0.17	0.2	0.21	0.19	0.14
Julio	0.21	0.18	0.17	0.18	0.18	0.16
Agosto	0.23	0.17	0.17	0.2	0.21	0.19
Septiembre	0.21	0.23	0.26	0.26	0.22	0.23
Octubre	0.35	0.24	0.27	0.27	0.2	0.25
Noviembre	0.39	0.36	0.23	0.46	0.22	0.31
Diciembre	0.35	0.44	0.46	0.44	0.34	0.37

# PLANOS



VISTA EXPLOSIONADA



VISTA ISOMETRICA

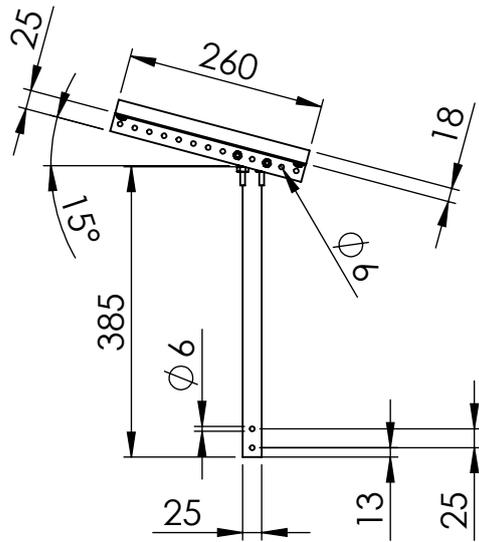
N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	ENSAMBLAJE DEL PANEL SOLAR	-	1
2	ENSAMBLAJE DEL SILO	ASTM A653	1
3	ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL SILO	ASTM A500	1
4	SOPORTE DE CANECA	ASTM A653	4
5	CANECA PLASTICA	POLIPROPILENO	4
6	SENSOR DE CARGA	-	4
7	ENSAMBLAJE DEL DISPERSOR	ASTM A653	1
8	SOPORTE DE BATERIA SOLAR	ASTM A653	1
9	ENSAMBLAJE DEL DOSIFICADOR	ASTM A653	1
10	GABINETE PVC 190x140x76 mm	POLIPROPILENO	1

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA

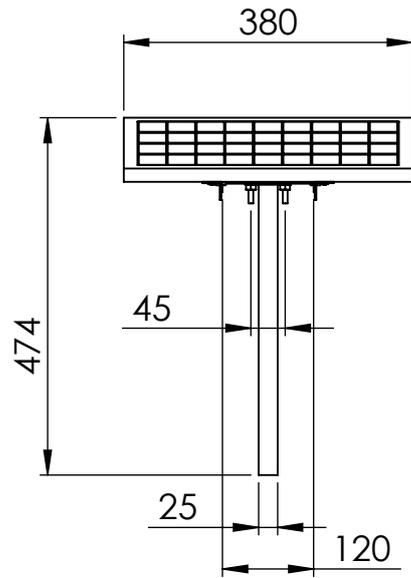
METODO DE PROYECCIÓN 	<b>ENSAMBLAJE GENERAL DEL EQUIPO</b>	ESCALA 1:20
--------------------------	--------------------------------------	----------------

DIBUJADO POR: BACH. DARWIN JUAN JALIXTO CHECYA	FECHA: 14/10/24	FORMATO A3
REVISADO POR: ING. ARTURO MACEDO SILVA	FECHA REVISION: 15/10/24	HOJA 1

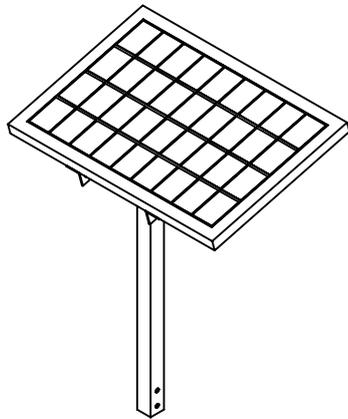




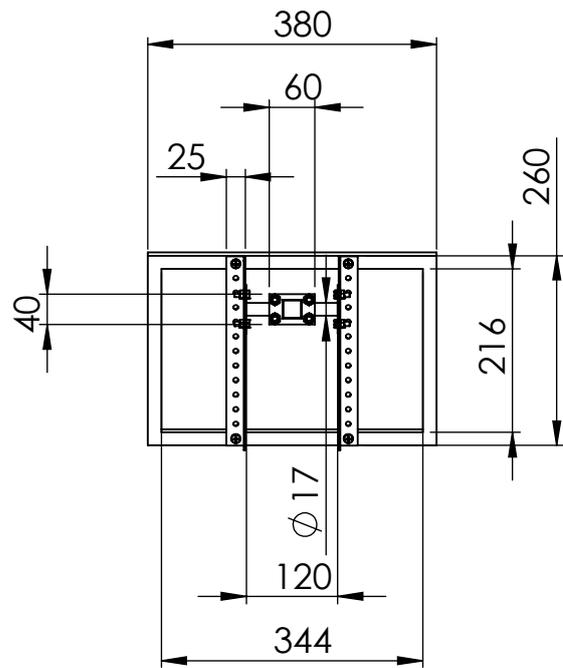
VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL



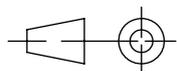
VISTA ISOMETRICA



VISTA DE PLANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA

METODO DE PROYECCIÓN



PLANO DE DETALLE - ESTRUCTURA PANEL SOLAR

ESCALA:

1:10

DIBUJADO POR:

BACH. DARWIN JUAN JALIXTO CHECYA

FECHA:

14/10/24

UNIDADES:

mm

REVISADO POR:

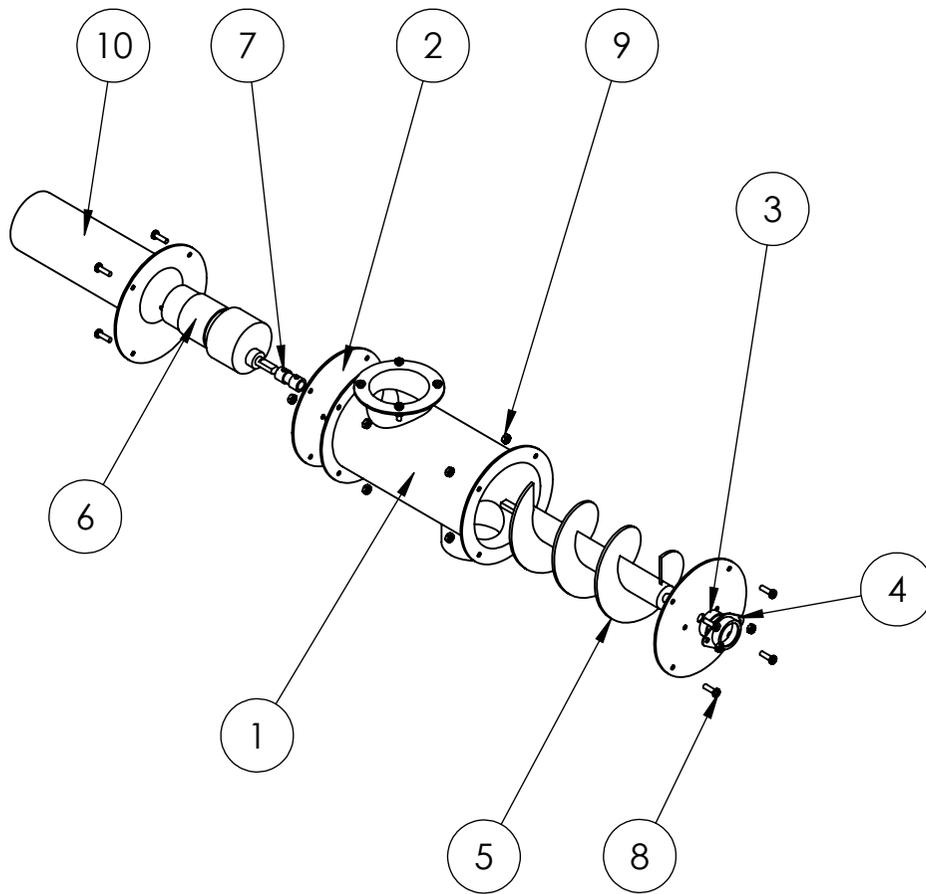
ING. ARTURO MACEDO SILVA

FECHA REVISION:

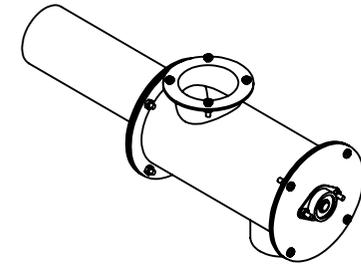
15/10/24

HOJA:

3



VISTA EXPLOSIONADA

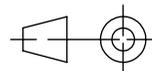


VISTA ISOMÉTRICA

N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	ARTESA DEL ALIMENTADOR	ASTM A500	1
2	TAPA DE ARTESA	ASTM A500	2
3	RODAMIENTO DE 6mm	-	2
4	SOPORTE DE RODAMIENTO	-	2
5	ALIMENTADOR HELICOIDAL	ASTM A500	1
6	MOTOR DOSIFICADOR	-	1
7	CONECTOR DE EJE DE 6MM	BRONCE	1
8	TORNILLO M3 x 05 x 10 CABEZA RANURADA EN CRUZ	ASTM A36	16
9	TUERCA M3 x 0.5 --D-N	ASTM A36	16
10	SOPORTE DE MOTOR DOSIFICADOR	ASTM A500	1

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA

METODO DE PROYECCIÓN



**DOSIFICADOR - VISTA EXPLOSIONADA**

ESCALA:

1:5

DIBUJADO POR:

BACH. DARWIN JUAN JALIXTO CHECYA

FECHA:

14/10/24

UNIDADES:

mm

REVISADO POR:

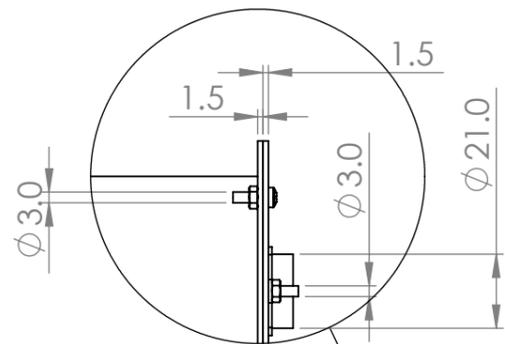
ING. ARTURO MACEDO SILVA

FECHA REVISION:

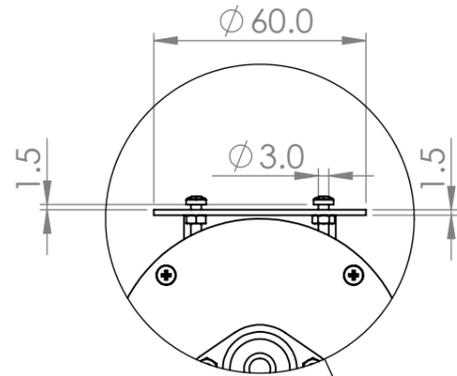
15/10/24

HOJA:

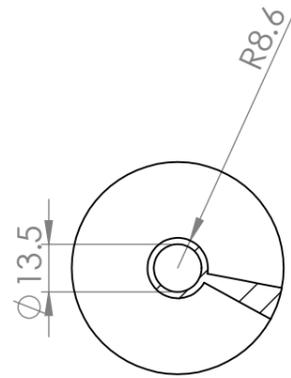
4



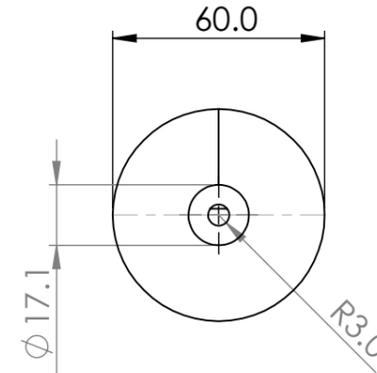
DETALLE A  
ESCALA 1 : 2



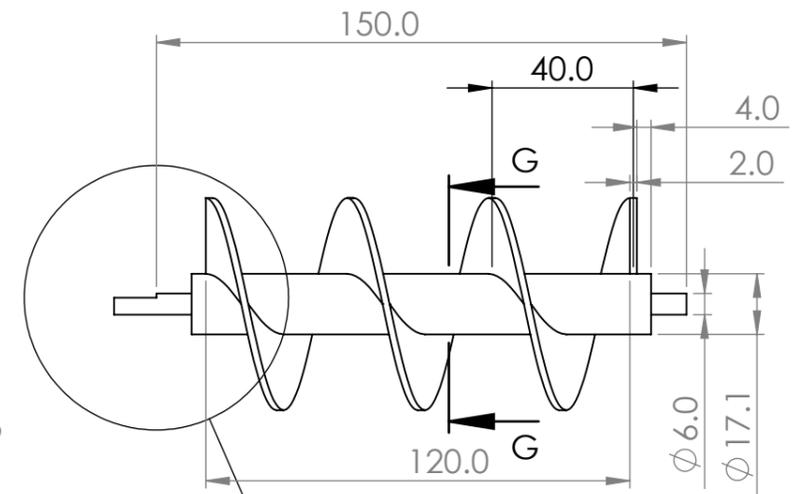
DETALLE B  
ESCALA 1 : 2



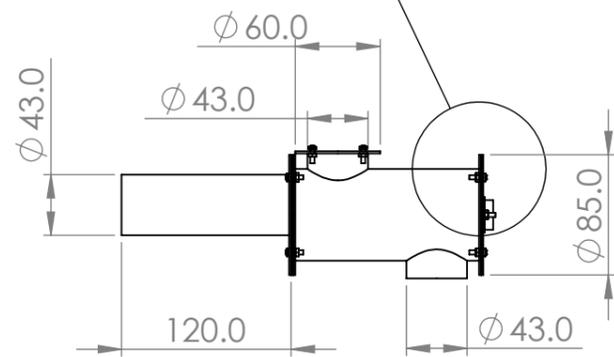
SECCIÓN G-G  
ESCALA 1 : 2



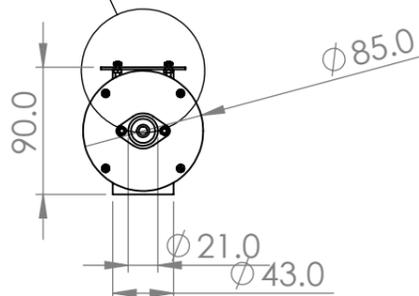
VISTA LATERAL  
ESCALA 1 : 2



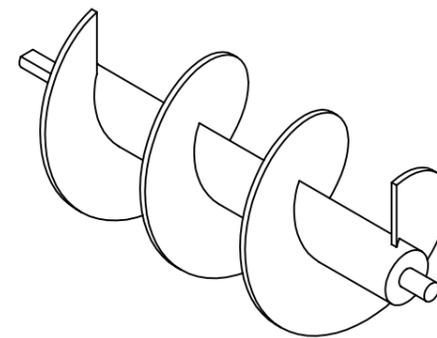
VISTA FRONTAL  
ESCALA 1 : 2



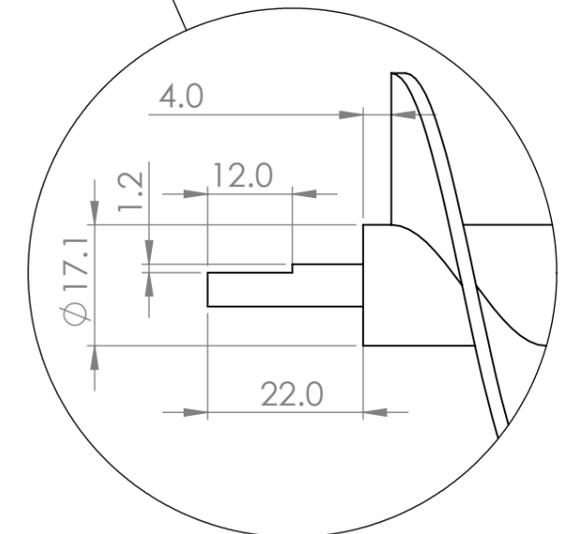
VISTA LATERAL



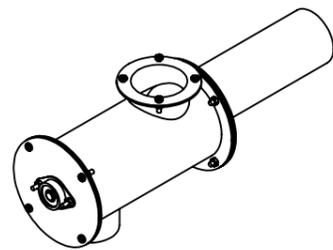
VISTA FRONTAL



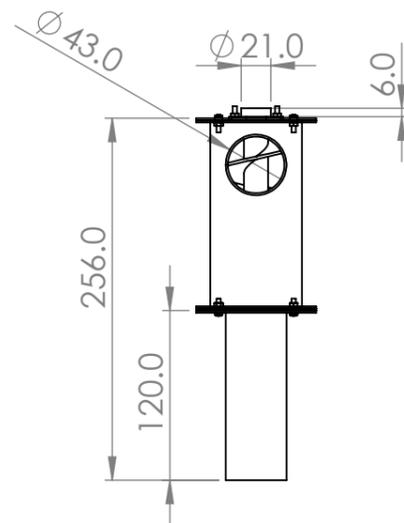
VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA 1 : 2



DETALLE C  
ESCALA 1 : 1



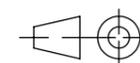
VISTA ISOMÉTRICA



VISTA DE PLANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA

METODO DE PROYECCIÓN



**PLANO DE DETALLE - DOSIFICADOR**

ESCALA

1:5

DIBUJADO POR:

BACH. DARWIN JUAN JALIXTO CHECYA

FECHA:

14/10/24

FORMATO

A3

REVISADO POR:

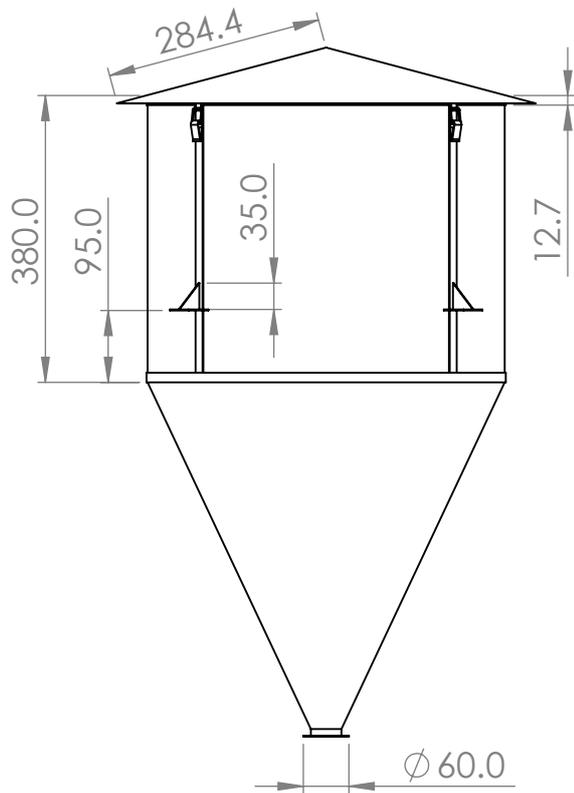
ING. ARTURO MACEDO SILVA

FECHA REVISION:

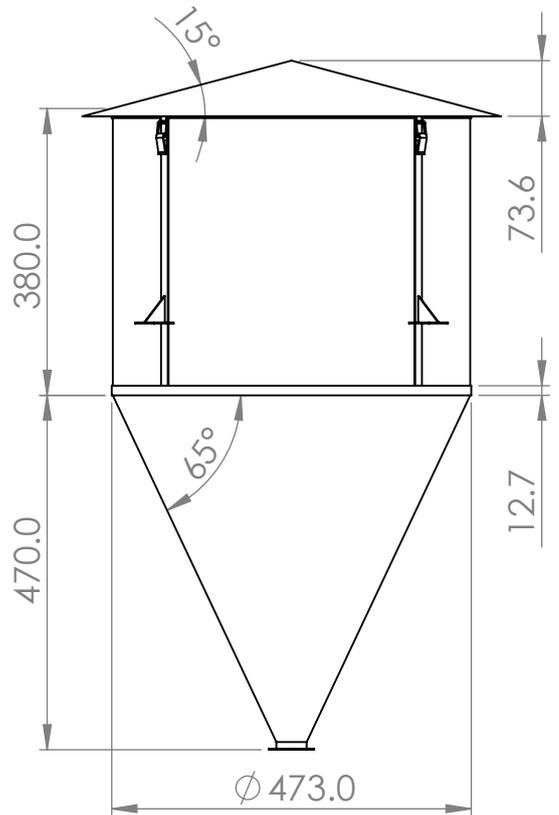
15/10/24

HOJA

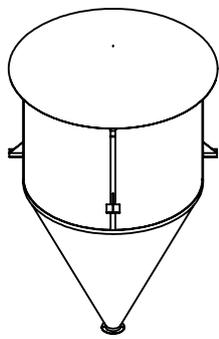
5



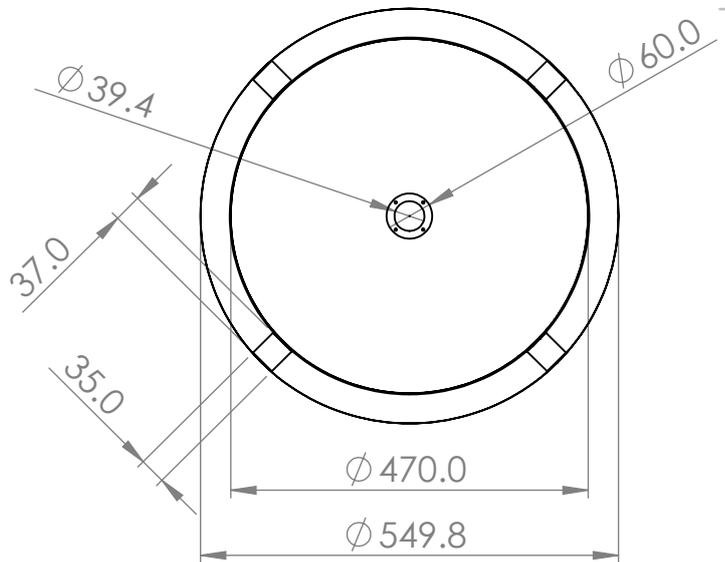
VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL



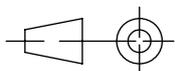
VISTA ISOMÉTRICA  
ESCALA 1:20



VISTA DE PLANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA

METODO DE PROYECCIÓN



PLANO DE DETALLE - SILO DEL EQUIPO

ESCALA:

1:10

DIBUJADO POR:

BACH. DARWIN JUAN JALIXTO CHECYA

FECHA:

14/10/24

UNIDADES:

mm

REVISADO POR:

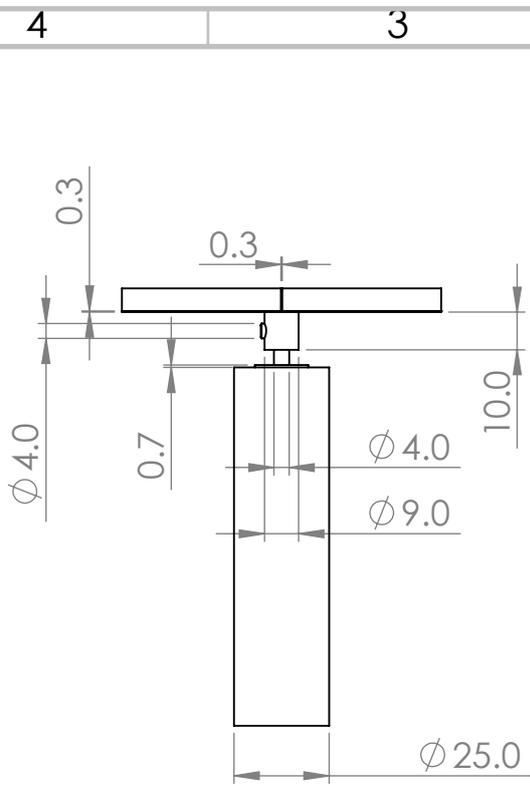
ING. ARTURO MACEDO SILVA

FECHA REVISION:

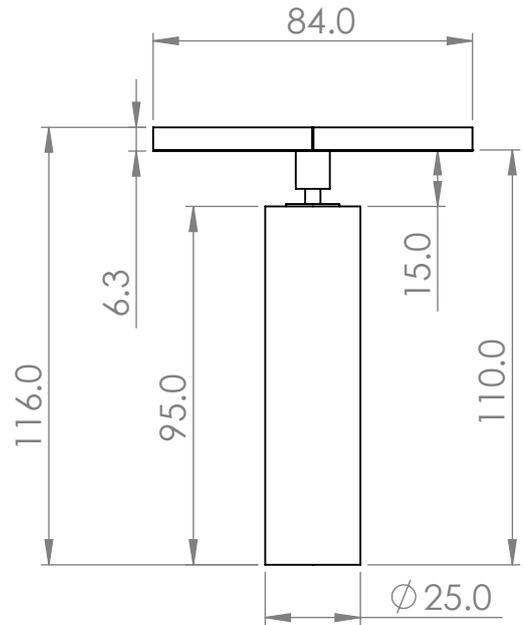
15/10/24

HOJA

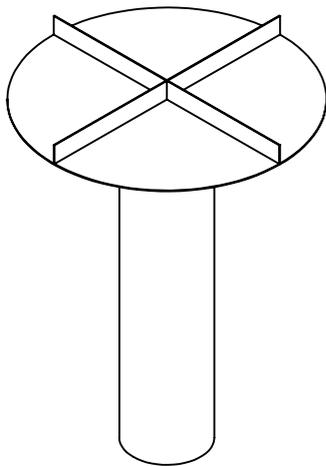
6



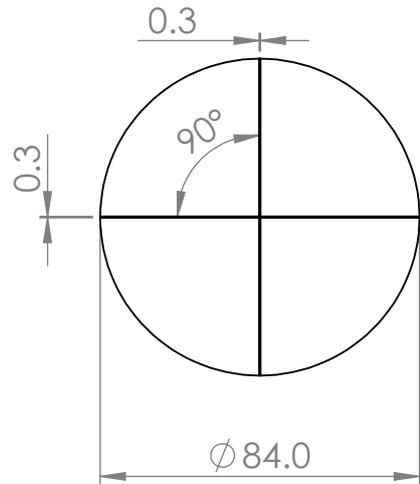
VISTA LATERAL



VISTA FRONTAL



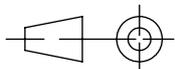
VISTA ISOMÉTRICA



VISTA DE PLANTA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA

METODO DE PROYECCIÓN



PLANO DE DETALLE - SISTEMA DISPERSOR

ESCALA:

1:2

DIBUJADO POR:

BACH. DARWIN JUAN JALIXTO CHECYA

FECHA:

14/10/24

UNIDADES:

mm

REVISADO POR:

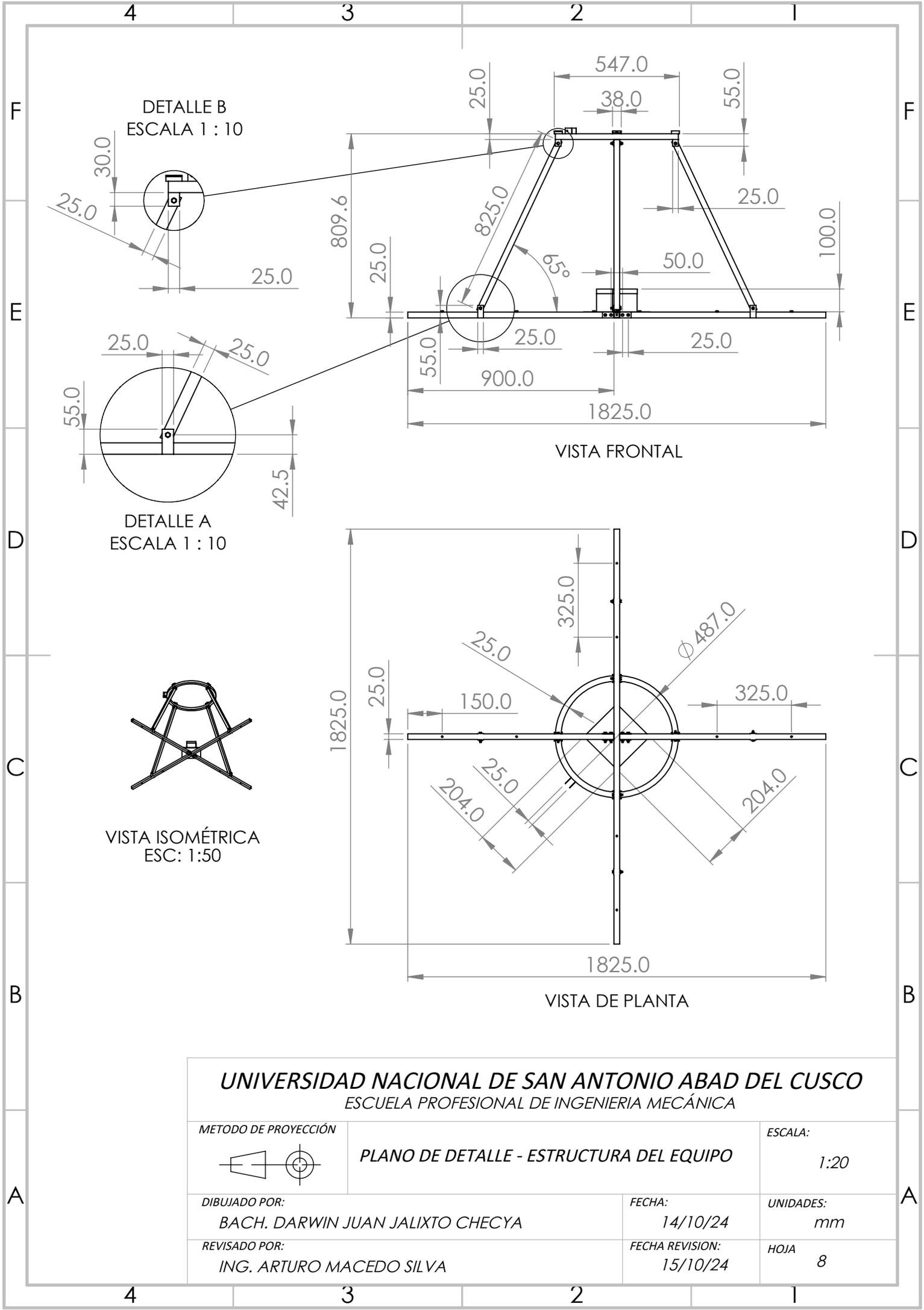
ING. ARTURO MACEDO SILVA

FECHA REVISION:

15/10/24

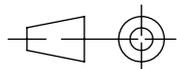
HOJA

7



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA

METODO DE PROYECCIÓN



**PLANO DE DETALLE - ESTRUCTURA DEL EQUIPO**

ESCALA:

1:20

DIBUJADO POR:

BACH. DARWIN JUAN JALIXTO CHECYA

FECHA:

14/10/24

UNIDADES:

mm

REVISADO POR:

ING. ARTURO MACEDO SILVA

FECHA REVISION:

15/10/24

HOJA

8