

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño de un sistema alimentador automático para una finca camaronera
ubicada en la zona Tendales, cantón El Guabo

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Mecánica

Presentado por:

Gustavo Ariel Matías Sánchez

Jean Jairo Figueroa Cueva

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico en especial a mis padres Verónica Cueva y Pedro Figueroa, que me han dado la vida y han sido los pilares fundamentales en todo mi camino, brindándome su apoyo incondicional y los mejores consejos de vida. A mis hermanas(os) y sobrinas(os) que me han brindado su cariño y en momentos duros me han sabido levantar el ánimo con cada detalle. A mis tíos(as) y primos (as) que, a pesar de no estar cerca, me han brindado su apoyo y en los momentos que hemos compartido, han hecho que cada uno de ellos sea tan especial. A mi abuela, que hoy no está junto a mí, pero que en cada logro ha estado presente y sé que estará muy orgullosa de verme cumplir esta meta tan anhelada.

Jean Jairo Figueroa Cueva

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a las tres mujeres más importantes de mi vida: Irma, Yolanda y Marta. Irma, quién me dio la vida, me enseña el valor del trabajo diario y la constancia, los valores y ética que rigen mi vida son basados en tu ejemplo, este logro es de ambos mamá porque sin tu apoyo no sería quien soy hoy en día. Para Yolanda, porque es la mujer que siempre ha estado pendiente de mí y ha orado por mí para que pueda salir victorioso en cada reto que enfrenté, me criaste como una madre desde niño y me sigues cuidando ahora como adulto. Para Marta, la mujer que siempre confió en mis capacidades y estuvo presente en cada uno de mis logros, y aunque hoy ya no estés aquí, no olvido aquella promesa que te hice cuando empecé la universidad de convertirme en ingeniero y un gran hombre. Años después aquí estoy, las amo con todo mi ser y todo el esfuerzo de este tiempo fue para engrandecer su ejemplo en mí.

Gustavo Ariel Matías Sánchez

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por permitirme estar aquí cumpliendo esta meta, por brindarme la sabiduría para poder sobrellevar muchas circunstancias que se me han presentado, y más que todo, por permitir que mis padres estén con vida junto a mí. A mi padre Pedro, por brindarme sus enseñanzas y a pesar de no estar mucho tiempo en casa por su trabajo, siempre se ha preocupado por que nada me haga falta. A mi madre Verónica, por inculcarme buenos valores y guiar mi camino con sus consejos. A mi tío Christian y a mi tía Esther, por ser muy buenas personas conmigo y haberme brindado mucho apoyo. A mis mejores amigos Daniela, Jean, Pablo, Ramiro, que me han brindado su apoyo en todo momento. Finalmente, quiero agradecer a mi amigo y compañero de tesis, Gustavo, por su apoyo para poder sobrellevar este reto y cumplir con la meta de ser ingenieros mecánicos.

Jean Jairo Figueroa Cueva

AGRADECIMIENTOS

Expreso en primer lugar, mi agradecimiento a Dios por prestarme vida, salud y sabiduría para alcanzar esta anhelada meta. A mi mamá, hermana, tíos y abuelos por su apoyo incondicional en cada momento de mi vida hasta hoy, a mi papá por sus palabras de aliento, gracias a mis primos por alegrar mis días desde el primero hasta el último de mi vida universitaria y ser mis cómplices durante las largas noches de estudio. A mis amigos Jennifer, Jordan y Néstor por cada momento vivido en ESPOL, a mis profesores por transmitir su conocimiento con tanta devoción y amabilidad. Finalmente, a mi compañero durante este proyecto integrador, Jean, gracias por aceptar este reto conmigo y por toda la dedicación invertida para alcanzar nuestra meta en común, ser ingenieros mecánicos.

Gustavo Ariel Matías Sánchez

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Jean Jairo Figueroa Cueva* y *Gustavo Ariel Matías Sánchez* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Figueroa Cueva Jean Jairo



Matías Sánchez Gustavo Ariel

EVALUADORES

PhD. Quilambaqui Jara Miguel Ángel

PROFESOR DE LA MATERIA

MSc. Maldonado Galarza Fausto Andrés

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente proyecto se realizó con el objetivo de diseñar un sistema alimentador automático para camarón. Contempló la elección del mejor método de alimentación, el diseño de componentes mecánicos, la simulación de los elementos estructurales, y un análisis de costos para su fabricación, con una comparativa con modelos disponibles en el mercado nacional. La elección del mejor método de alimentación se realizó mediante una investigación de estudios comparativos entre alimentación manual y automática por timer y acústica. El diseño de componentes mecánicos utilizó normas y un experimento realizado por los autores de este proyecto. La simulación de elementos estructurales fue realizada por software de ingeniería y para la selección de otros componentes se consideró la disponibilidad dentro del mercado ecuatoriano, a excepción del hidrófono. Finalmente, como resultado del análisis de costos, se requiere de una inversión de \$1904.45 para construir el prototipo de sistema alimentador automático diseñado, con un chasis de acero inoxidable y una tolva con capacidad para 125 kg de alimento. Adicionalmente, mediante la simulación de los componentes mecánicos, se obtuvieron buenos resultados que permitieron la aprobación del diseño del sistema.

Palabras claves: Alimentador automático, alimentación acústica, componentes mecánicos, hidrófono, FEM

ABSTRACT

This project was carried out with the objective of designing an automatic feeder system for shrimp. It contemplated the choice of the best feeding method, the design of mechanical components, the simulation of structural elements, and a cost analysis for its manufacture, with a comparison with models available in the national market. The choice of the best feeding method was made through an investigation of comparative studies between manual and automatic feeding by timer and acoustics. The design of mechanical components used standards and an experiment carried out by the authors of this project. The simulation of structural elements was carried out by engineering software and for the selection of other components the availability within the Ecuadorian market was considered, with the exception of the hydrophone. Finally, as a result of the cost analysis, an investment of \$1904.45 is required to build the prototype of the automatic feeder system designed, with a stainless steel chassis and a hopper with a capacity for 125 kg of feed. Additionally, by simulating the mechanical components, good results were obtained that allowed the approval of the system design.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIV
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema	3
1.2 Justificación del problema	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Marco teórico	6
a. Producción de camarón en Ecuador	6
b. Ubicación geográfica y superficie de la finca camaronera	8
c. Tipos de especies de camarón cultivadas en Ecuador	10
d. Proceso de cultivo del camarón.....	10
e. Alimentación manual y automática del camarón.....	12
f. Datos comparativos entre la alimentación manual y automática del camarón .	13
g. Alimentación automática por timer y por acústica.....	15
h. Componentes del sistema alimentador automático	17
CAPÍTULO 2.....	18

2. METODOLOGÍA	18
2.1 Metodología de diseño	18
2.2 Definición de las necesidades del cliente	20
2.3 Especificaciones de material almacenado	20
2.4 Normativa y Manuales.....	21
2.5 Consideraciones de Diseño.....	22
2.6 Determinación y selección de la mejor propuesta de solución.....	23
2.7 Diseño de forma del sistema y sus componentes.....	25
2.8 Diseño de forma detallado de los diferentes componentes	27
a. Tolva	27
b. Sistema dosificador	57
c. Estructura metálica.....	64
d. Sistema de flotación	66
e. Sistema de dispersión	72
2.9 Diseño electrónico del sistema	74
I. Partes del sistema de instrumentación	74
II. Diagrama de procesamiento de la señal del camarón	76
2.10 Diseño de sistema de energía renovable	77
a. Panel solar	79
b. Regulador de carga tipo PWM	81
c. Batería	83
2.11 Metodología de simulación.....	84
CAPÍTULO 3.....	86
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	86
3.1 Resultados de método de alimentación viable.....	86
3.2 Resultados de diseño de componentes mecánicos	87
3.3 Características del prototipo	92

3.4	Resultados de simulación.....	93
3.5	Selección de componentes	95
3.6	Costos.....	100
3.7	Comparación con modelos existentes.....	103
CAPÍTULO 4.....		105
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
4.1	Conclusiones.....	105
4.2	Recomendaciones.....	107
BIBLIOGRAFÍA.....		108
APÉNDICES.....		117

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
GSA	Global Seafood Alliance
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ASC	Aquaculture Stewardship Council
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
CNA	Cámara Nacional de Acuicultura
PBI	Producto interno bruto
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
UNE	Asociación Española de Normalización
CEMA	Conveyor Equipment Manufacturers Association
NEMA	Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos

SIMBOLOGÍA

m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
ha	Hectárea
ft	Pie
ft ²	Pie cuadrado
ft ³	Pie cúbico
in	Pulgada
in ²	Pulgada cuadrada
s	Segundo
s ²	Segundo cuadrado
h	Hora
d	Día
oz	Onza
g	Gramo
kg	Kilogramo
lb	Libra
l	Litro
ml	Mililitro

N	Newton
kN	Kilonewton
Pa	Pascal
kPa	Kilopascal
MPa	Megapascal
GPa	Gigapascal
Psi	Libra de fuerza por pulgada cuadrada
HP	Caballo de fuerza
W	Watts
RPM	Revoluciones por minuto
Hz	Hertz
kHz	Kilohertz
rad	Radián
dB	Decibel
%	Porcentaje
°	Grado
°C	Grado Celsius
°F	Grado Fahrenheit
K	Grado Kelvin
V	Voltio
A	Amperio
mA	Miliamperio

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Producción y comercio de camarón en Ecuador durante 1979 – 2016	2
Figura 1.2 Porcentaje de producción de camarón en las principales provincias de la Costa de Ecuador.....	6
Figura 1.3 Mapa del territorio de la provincia de El Oro con distribución del sector camaronero	8
Figura 1.4 Ubicación geográfica de la finca camaronera	9
Figura 1.5 Especies de camarón cultivadas en Ecuador	10
Figura 1.6 Ciclo de vida del camarón	11
Figura 1.7 Etapas del ciclo del cultivo de camarón	12
Figura 1.8 Alimentación manual de camarón	13
Figura 1.9 Alimentación automática del camarón	13
Figura 1.10 Resultados de alimentación y biomasa de camarón	15
Figura 1.11 Alimentación automática por timer	16
Figura 1.12 Alimentación acústica.....	16
Figura 1.13 Partes del sistema alimentador automático	17
Figura 2.1 Etapas de proceso de diseño	19
Figura 2.2 Sistema de alimentación automática y sus componentes.....	26
Figura 2.3 Dimensiones de Tolva	27
Figura 2.4 Dimensiones de pellets de alimento Nicovita 2.0.....	31
Figura 2.5 Relleno de interior de embudo con alimento ‘Nicovita 2.0’.....	32
Figura 2.6 Formación de pendiente de material pelletizado ‘Nicovita 2.0’.....	32
Figura 2.7 Obtención de ángulo de talud natural del alimento Nicovita 2.0.....	33
Figura 2.8 Dimensiones de tolva	34
Figura 2.9 Parámetros de diseño de tolva	38
Figura 2.10 Presiones simétricas en el llenado	41
Figura 2.11 Presiones de llenado en silos poco esbeltos	45
Figura 2.12 Límite entre tolvas agudas y aplanadas	47
Figura 2.13 Distribución de presiones de llenado sobre tolvas agudas y aplanadas	48
Figura 2.14 Cargas en la tolva	53
Figura 2.15 Propiedades mecánicas de materiales plásticos de ingeniería	56

Figura 2.16 Experimento para calcular la densidad del balanceado. Volumen (izquierda) y masa (derecha)	58
Figura 2.17 Tipos de motores de paso	64
Figura 2.18 Arreglo de perfiles de acero 304 (40x40xe2mm)	65
Figura 2.19 Ensamble de soporte para tolva	65
Figura 2.20 Flotador (vista periférica)	66
Figura 2.21 Diagrama de cuerpo libre de flotador. Fuente: Autores	66
Figura 2.22 Propiedades físicas de la estructura obtenidas por software de ingeniería	67
Figura 2.23 Propiedades físicas de flotador obtenidas por software de ingeniería	68
Figura 2.24 Área de la sección transversal del flotador	71
Figura 2.25 Sistema de dosificación y dispersión de alimento	72
Figura 2.26 Diagrama de bloques de sistema de instrumentación	74
Figura 2.27 Sensor TC4013	75
Figura 2.28 Procesamiento de señal. Fuente: Autores	76
Figura 2.29 Panel solar Modelo GP-050P-36, 12V 50W.....	79
Figura 2.30 Regulador de carga, modelo YJSS10.....	82
Figura 2.31 Batería de 12 V LiFePo4 12.8 V 30Ah.....	83
Figura 2.32 Diagrama de flujo de simulación de elementos finitos	84
Figura 2.33 Simulación estructural	85
Figura 3.1 Parámetros de diseño de tolva	87
Figura 3.2 Presiones simétricas en el llenado	88
Figura 3.3 Distribución de presiones de llenado sobre tolva aplanada	89
Figura 3.4 Cargas en la tolva	90
Figura 3.5 Simulación de la tolva.....	93
Figura 3.6 Simulación de estructura metálica y tolva.....	94
Figura 3.7 Kit dosificador 2 motores V5.....	95
Figura 3.8 Panel solar modelo GP-050P-36, 12V 50W.....	96
Figura 3.9 Regulador de carga PWM 12/24V Victron Energy Blue Solar.....	97
Figura 3.10 Batería Superlee 12V 30Ah.....	98
Figura 3.11 Aquarian Hidrófono H1a	99
Figura A.1 Tensión Von Mises de tolva	118
Figura A.2 Factor de seguridad de tolva.....	119
Figura A.3 Desplazamiento máximo de tolva	119

Figura A.4 Tensión de Von Mises de estructura metálica	120
Figura A.5 Factor de seguridad de estructura metálica	120
Figura A.6 Desplazamiento máximo de estructura metálica	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Análisis porcentual de superficie de camaroneras en la Provincia de El Oro ..7	7
Tabla 1.2 Distribución de superficie en cada estanque de finca camaronera	9
Tabla 1.3 Alimentación manual (anaranjado) y automática (azul) para precriaderos	14
Tabla 1.4 Resultados de investigación en granja camaronera del sector El Morro	14
Tabla 2.1 Necesidades del cliente de empresa camaronera	20
Tabla 2.2 Especificaciones del Producto	21
Tabla 2.3 Consideraciones de diseño del sistema.....	22
Tabla 2.4 Alternativas de solución.....	23
Tabla 2.5 Objetivos y ponderación	24
Tabla 2.6 Matriz de decisión.....	25
Tabla 2.7 Clasificación de silos según acción de evaluación.....	28
Tabla 2.8 Definición de la superficie de la pared	29
Tabla 2.9 Propiedades de material disgregados.....	30
Tabla 2.10 Propiedades del material 'piensos en pellets'	30
Tabla 2.11 Diámetro y longitud de pellets de alimento 'Nicovita 2.0'	31
Tabla 2.12 Propiedades de alimento pelletizado Nicovita 2.0.....	34
Tabla 2.13 Parámetros de diseño de tolva	39
Tabla 2.14 Estimaciones de la cantidad de alimento en el tornillo dosificador	60
Tabla 2.15 Ficha técnica de RESON TC4013	75
Tabla 2.16 Consumo de energía de cada uno de los componentes electrónicos	77
Tabla 2.17 Ficha técnica de panel solar	80
Tabla 2.18 Ficha técnica de regulador de carga, modelo YJSS10	83
Tabla 3.1 Parámetros de diseño de tolva	87
Tabla 3.2 Cargas de llenado y descarga en paredes verticales de tolva	88
Tabla 3.3 Distribución de presiones de llenado sobre tolva aplanada	89
Tabla 3.4 Resultados de cargas en la tolva.....	90
Tabla 3.5 Esfuerzos admisibles en la tolva.....	91
Tabla 3.6 Propiedades mecánicas del polietileno de alta densidad	91
Tabla 3.7 Características relevantes de diseño del prototipo.....	92
Tabla 3.8 Resultados de simulación de componentes.....	95
Tabla 3.9 Datos técnicos del kit dosificador.....	96

Tabla 3.10 Datos técnicos de panel solar GP-050P-36	97
Tabla 3.11 Especificaciones técnicas de batería 12V 30Ah	98
Tabla 3.12 Especificaciones técnicas de Aquarian Hidrófono H1a	99
Tabla 3.13 Costos de componentes del sistema	100
Tabla 3.14 Costo de materiales para chasis de acero inoxidable	100
Tabla 3.15 Costo de mano de obra para construcción de chasis de acero inoxidable del sistema.....	101
Tabla 3.16 Costo de materiales para chasis de acero galvanizado	101
Tabla 3.17 Costo de mano de obra para construcción de chasis de acero galvanizado del sistema.....	101
Tabla 3.18 Inversión total para construcción y ensamble del sistema con chasis de acero inoxidable.....	102
Tabla 3.19 Inversión total para construcción y ensamble del sistema con chasis de acero galvanizado	102
Tabla 3.20 Sistemas alimentadores automáticos en mercado ecuatoriano	103

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1. Flotador.....	123
Plano 2. Tolva.....	124
Plano 3. Estructura metálica.....	125
Plano 4. Sistema alimentador automático.....	126

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La acuicultura es una actividad basada en el cultivo y crianza de organismos marinos como peces, crustáceos y moluscos en cualquier ambiente acuático, para el consumo humano [1]. Los avances tecnológicos han permitido la cría de animales tanto en aguas costeras como en mar abierto [2]. Es el sector de producción de alimentos de más rápido crecimiento en el mundo y desempeña un papel importante en la alimentación de gran parte de la población del planeta [3]. La acuicultura involucra una participación directa o indirecta del ser humano en el proceso de siembra, cría y cosecha de la producción, para brindar protección ante amenazas como virus, bacterias, depredadores e incluso condiciones ambientales que impidan el desarrollo planificado del producto [4]. El camarón es un crustáceo que es producido bajo condiciones de crianza y control, en lugares conocidos como granjas camaroneras. La participación del camarón en el mercado internacional representa un quince por ciento según la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) [5].

El origen de la camaronicultura en Ecuador se remonta a una industrialización limitada a mediados de la década de 1960, cuando un grupo de campesinos de la Provincia de El Oro notó que se cultivaba camarón en los estanques cerca de los esteros de dicha zona [6]. En consecuencia, la producción de camarón se convirtió en la principal actividad económica de la costa ecuatoriana, con una representación promedio de 3.5% de contribución al PIB [7]. La industria de la acuicultura en Ecuador ha pasado por periodos de "auge y caída", debido a sus características biológicas y ambientales [8]. Este sector experimentó una serie de enfermedades como el síndrome de la gaviota en 1989 y el síndrome de Taura en 1993, dando como resultado una alta mortalidad de cultivos, con lo cual el país perdió su posición de liderazgo en el mundo, siendo superado por los productores asiáticos [9]. En 1999, la industria del camarón sufrió su mayor punto de inflexión, debido al brote del virus de la mancha blanca que restringió las actividades de exportación, provocando una grave crisis económica en el país. Sin embargo, la producción de camarón y sus exportaciones han incrementado notablemente hasta la actualidad, alcanzado cifras récord que posicionan a Ecuador como el principal exportador de camarón a nivel

mundial [10], representando más del 50% de la producción en la región de las Américas [11].

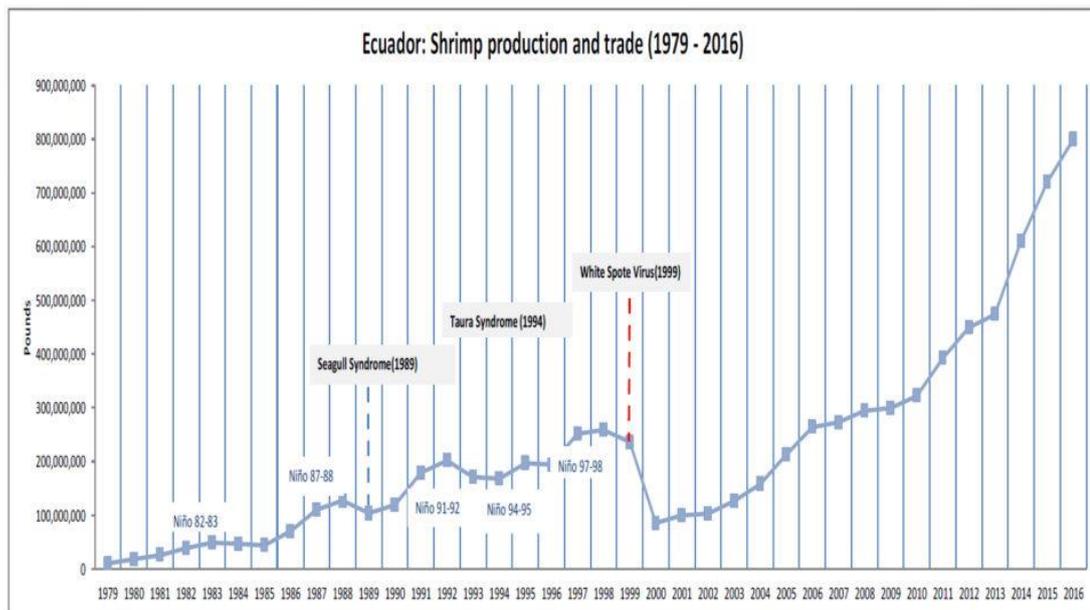


Figura 1.1 Producción y comercio de camarón en Ecuador durante 1979 – 2016 [11]

Actualmente, la industria camaronera en Ecuador ocupa alrededor de 210 mil hectáreas en toda la costa ecuatoriana, donde la provincia del Guayas predomina con un 60% y la provincia de El Oro con un 15%, en donde la demanda de producción de camarón es muy alta [12]. Una de las especies de cultivo por acuicultura en territorio ecuatoriano es el denominado camarón blanco del pacífico (*Litopenaeus Vannamei*), que se cultivan en la región costera del país donde se presentan temperaturas entre 25-30°C [13]. En el año 2021 el mercado ecuatoriano alcanzó 5,323.30 millones de dólares exportando alrededor de 848 mil toneladas de camarón [14].

1.1 Descripción del problema

La producción de camarón es uno de los pilares de la acuicultura debido a su alto valor y reconocimiento en el mercado mundial. El éxito continuo de la industria camaronera se basa en prácticas mejoradas de manejo de alimentos, la reducción en los costos y el aumento en la eficiencia de la producción [15].

En la industria camaronera, un factor vital para el crecimiento de los camarones es la adecuada alimentación según las dietas establecidas en base al tamaño y peso promedio de la población de camarón en cada estanque o piscina. Es por ello que, hoy en día uno de los desafíos más grandes que atraviesan los dueños de las empresas camaroneras es la supervivencia de su población de camarón en las piscinas cuando el principal problema radica en la ineficiencia de la distribución equitativa del balanceado desarrollada de manera manual.

El objetivo de este proyecto es brindar una alternativa eficiente de un sistema alimentador automático, el cual se va a encargar de distribuir la cantidad adecuada de alimento que abarque una mayor superficie en la piscina, en intervalos de tiempo determinados. La implementación de sensores e hidrófono que recopilan la actividad del camarón en tiempo real, van a permitir estandarizar la distribución del alimento, con la finalidad de optimizar la cantidad y el horario de alimentación, en base a las características del camarón y las condiciones del estanque [16].

1.2 Justificación del problema

Una buena distribución del alimento permite que gran parte de la población de camarón pueda alimentarse de manera adecuada y con ello obtener mejores resultados en su crecimiento. La implementación de los alimentadores automáticos contribuye a mejorar el rendimiento de la producción en la granja camaronera, dado que, se proporciona una dosificación constante del alimento en varios periodos durante el día, que le permiten al camarón atrapar los gránulos del balanceado antes de que lleguen al fondo del estanque, evitando así la acumulación del alimento y la pérdida de los nutrientes en el suelo, y con ello poder reducir el desperdicio de alimento, lo cual genera un mayor costo en la producción. Además, gracias a la alimentación constante del camarón, se consigue uniformidad en el cultivo, se mejora la tasa de crecimiento diaria y se reducen los ciclos de producción [17]. El radio de alcance, la altura inicial del chorro que dispara el alimento, la forma del esparcidor, el contenedor (tolva) y la potencia del motor tienen un efecto fundamental en la cantidad de superficie cubierta y la capacidad del alimentador, todo esto en relación con el peso de cada camarón en una determinada área a la que se pretende alcanzar.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un prototipo de alimentador automatizado para una finca camaronera, mediante la aplicación de principios físicos, de ingeniería y conceptos de diseño mecánico, con la finalidad de, conseguir una distribución equilibrada del alimento acorde a las dietas establecidas en la fase de pre-cría durante la etapa de post-larva del camarón *Litopenaeus Vannamei*.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar un estudio acerca de las técnicas de alimentación automática (temporizada y acústica) para elegir la alternativa más viable para el diseño (funcionamiento) del equipo .
- Presentación del proceso completo de diseño mecánico aplicado a este problema (memoria de cálculos, selección de materiales, componentes y planos).
- Simulación elementos estructurales del equipo a través de un software de ingeniería.
- Realizar el análisis de costos del diseño para su fabricación.

1.4 Marco teórico

a. Producción de camarón en Ecuador

El camarón ecuatoriano conocido mundialmente por su calidad se posiciono durante el primer semestre del año 2022 como líder mundial de este mercado superando a gigantes como India e Indonesia. El sector camaronero del Ecuador viene registrando un crecimiento anual del 16% desde 2016, registrando su pico más alto en julio del 2022 exportando alrededor de 227,749,024 libras de camarón según el libro de estadísticas de la Cámara Nacional de Acuicultura [18]. En el año 2021, Ecuador se convirtió en el mayor productor de camarón en el mundo logrando un millón de toneladas de este producto, este valor récord se consiguió gracias a las inversiones realizadas en tecnificación e innovación para criar y producir el camarón [19]. La producción de camarón se lleva a cabo en la costa ecuatoriana, principalmente en las provincias de Guayas, El Oro, Manabí, Santa Elena, Esmeraldas y Galápagos [20], como se observa en la Figura 1.2.

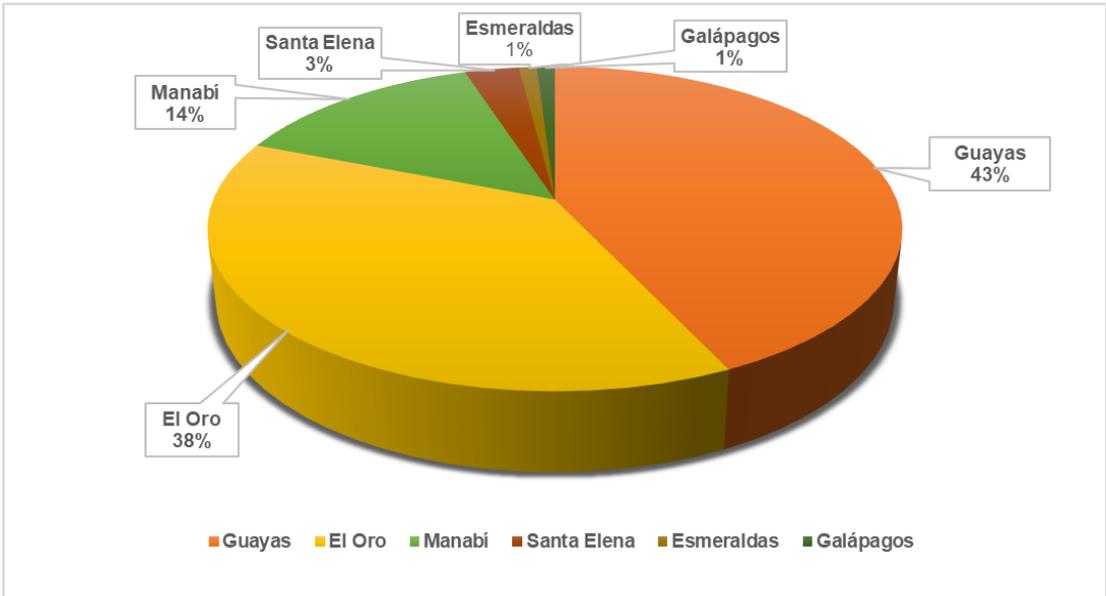


Figura 1.2 Porcentaje de producción de camarón en las principales provincias de la Costa de Ecuador [20]

La provincia de 'El Oro' contribuye con el 38% de la producción anual de camarón en Ecuador, fortaleciendo el crecimiento económico del País. Los principales cantones y parroquias de la provincia de 'El Oro' en donde se realiza la camaronicultura son [21]:

Tabla 1.1 Análisis porcentual de superficie de camaroneras en la Provincia de El Oro [21]

Cantón/Parroquia	Superficie [%]
Machala	11.33
Jambelí	40.67
El Retiro	8.93
Santa Rosa	5.12
El Guabo	4.05
Barbones	4.55
Tendales	10.79
Arenillas	8.41
Chacras	0.02
La Libertad	0.04
Huaquillas	6.09

De acuerdo con información proporcionada por el GAD de la provincia de 'El Oro', en el año 2015 se estimaba un aproximado de 40232 hectáreas dedicadas a la producción de camarón en el territorio Orense [21]. La parroquia Tendales cuenta con una superficie de alrededor de 4593.536 hectáreas de piscinas dedicadas al cultivo de camarón [22]. En la Figura 1.3, se observa el mapa del territorio de la provincia de 'El Oro', con detalles sobre la distribución de la superficie de camaroneras en la provincia.

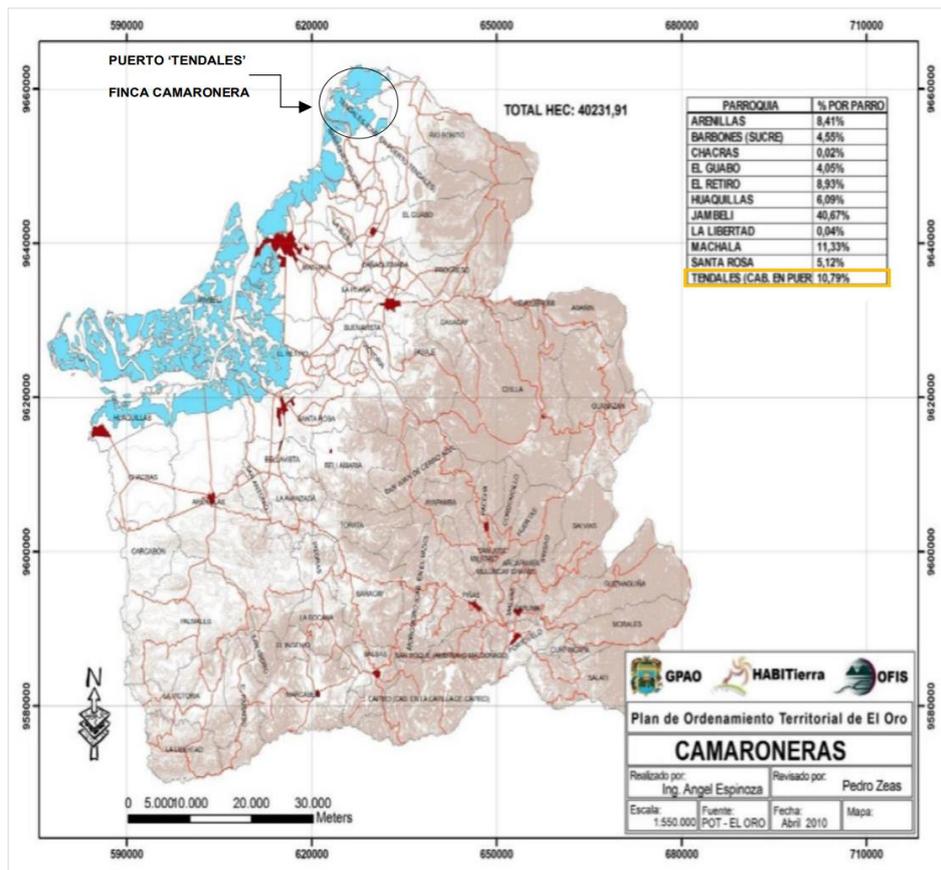


Figura 1.3 Mapa del territorio de la provincia de El Oro con distribución del sector camaronero [21]

b. Ubicación geográfica y superficie de la finca camaronera

En cuanto a la finca camaronera, se ubica en la parroquia de Tendales, cantón El Guabo, cuya área se utiliza para el monocultivo, principalmente para la producción de banano y camarón [23]. A continuación, en la Figura 1.4 se observa la ubicación geográfica y superficie de campo dedicado para el cultivo de camarón de la finca.

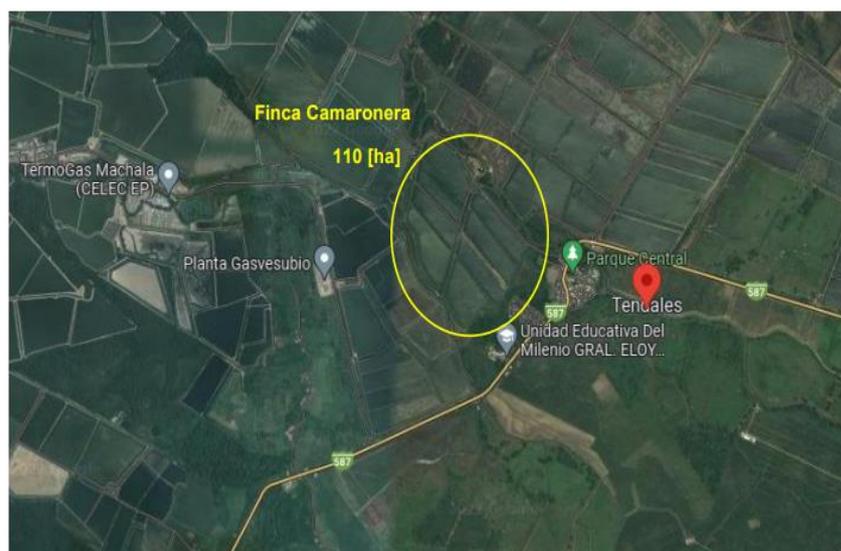


Figura 1.4 Ubicación geográfica de la finca camaronera

Esta finca camaronera tiene un campo que ocupa alrededor de 110 hectáreas, de las cuales 88 hectáreas están dedicadas a las piscinas de cultivo de camarón (espejo de agua). A continuación, en la Tabla 1.2 se detalla la distribución de la superficie de cada estanque.

Tabla 1.2 Distribución de superficie en cada estanque de finca camaronera

Piscina engorde (P) Pecriadero (PRE)	Superficie [ha]
P1/P6	10.00
P2	7.50
P3/P5	8.00
P4	9.50
P8	7.00
P9	11.50
PRE 7	1.60
PRE 8	1.40
PRE 10	2.50
PRE 11	3.00

c. Tipos de especies de camarón cultivadas en Ecuador

Ecuador al encontrarse al norte de Sudamérica goza de excelentes condiciones climáticas que le permiten conseguir producciones de camarón durante todo el año [24]. Los camarones criados en Ecuador principalmente son *Litopenaeus Vannamei* y *Litopenaeus Stylirostris*, como se observa en la Figura 1.5. El primero también es conocido con el nombre de “camarón blanco” por su tonalidad blanquecina y acostumbra a vivir en aguas con suelo lodoso [25]. Este proyecto integrador se enfocará en la alimentación automática del camarón blanco.



Figura 1.5 Especies de camarón cultivadas en Ecuador [25]

d. Proceso de cultivo del camarón

La producción de camarón se basa en tres etapas:

- Desove y crianza desde huevo a etapa postlarva
- Engorde hasta alcanzar un tamaño comercial
- Maduración y reproducción.

El crustáceo es vigilado desde el desove hasta su maduración, es decir desde huevo hasta su etapa de postlarva [26]. Las etapas del camarón se dividen en: nauplios, zoea, mysis y post larva [27].

Las fases de nauplios, zoea y mysis son consideradas etapas larvarias puesto que el camarón experimenta cambios en su morfología y un crecimiento

promedio desde los 0.3 milímetros en nauplios hasta los 4 milímetros en mysis [28].

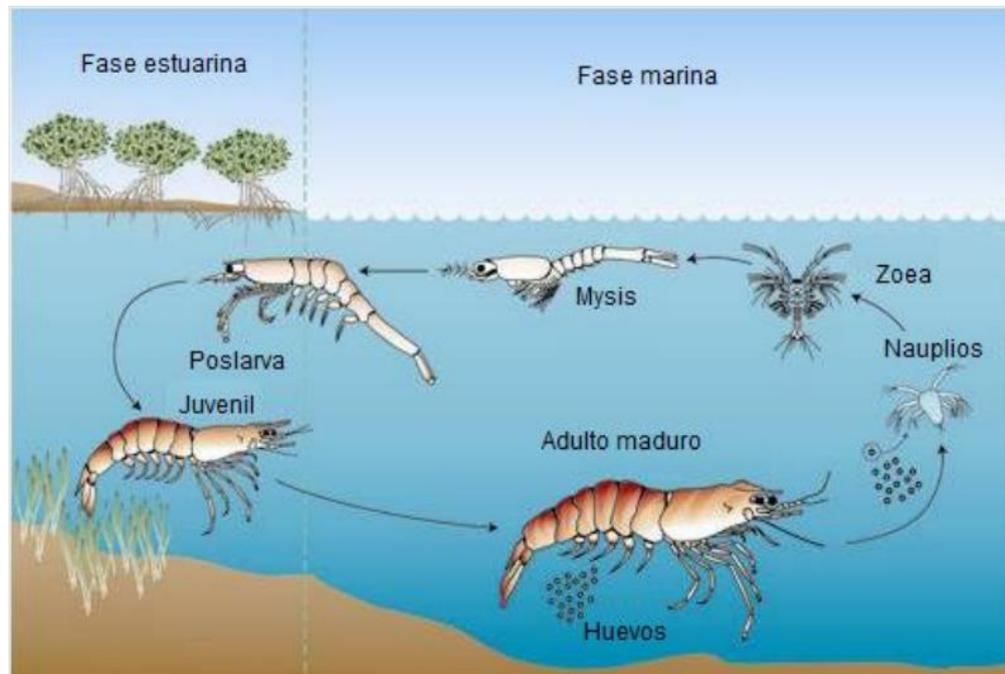


Figura 1.6 Ciclo de vida del camarón [26]

El desarrollo de las larvas desde la etapa de nauplios hasta mysis se debe cumplir en un rango de 24 a 32 días en temperaturas entre 18 a 24°C y alcanzar tamaños hasta 4 o 5 milímetros [29]. Un camarón en etapa de postlarva se considera cuando mide entre 5 a 12 milímetros [30]. En la etapa de postlarva, el crustáceo ya muestra los rasgos distintivos de un camarón adulto que son cinco pares de apéndices, anténulas, antenas, caparazón y cola, estos son movidos a precriaderos, donde permanecerán hasta dos meses para que puedan alcanzar pesos entre 0.5 a 4 gramos y luego son movidos a estanques de engorde para alcanzar el peso comercial de un camarón de exportación que oscila entre los 18 a 25 gramos [31].

Asimismo, el ciclo del cultivo del camarón se lleva a cabo en 2 instalaciones y comprende varias fases. En el laboratorio de larvas, se desarrolla la maduración y cría larval, mientras que en la finca camaronera se produce el engorde del estadio postlarva hasta que alcanza el tamaño comercial [32]. A continuación, se presenta la Figura 1.7 referente al ciclo del cultivo del camarón.

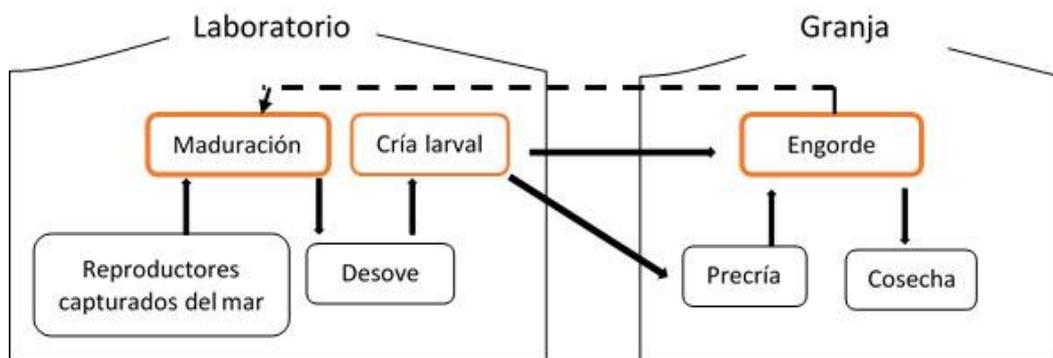


Figura 1.7 Etapas del ciclo del cultivo de camarón [32]

e. Alimentación manual y automática del camarón

Durante su estancia en los precriaderos los crustáceos en su etapa de postlarva suelen recibir de 6 a 8 raciones de balanceado cada 24 horas [33]. Una alimentación adecuada del camarón se basa en brindar la cantidad justa de alimento consiguiendo un crecimiento óptimo y evitar problemas de contaminación del entorno donde vive el crustáceo, sobrealimentación o subalimentación [34]. La alimentación manual se basa en una técnica denominada *voleo* [35], consiste en esparcir el alimento por las piscinas manualmente, esta técnica suele estar apoyada por tablas alimenticias que ayudan a calcular las raciones [36]; mientras que la alimentación automática implica la intervención de equipos especializados en la dispensación del balanceado a los precriaderos [37], los cuales han ido variando su diseño con el pasar de los años y empezaron a considerar detalles más técnicos como altura de disparo inicial, potencia del motor y radio de alcance [38].



Figura 1.8 Alimentación manual de camarón [35]



Figura 1.9 Alimentación automática del camarón [37]

f. Datos comparativos entre la alimentación manual y automática del camarón

Se han realizado estudios de distinguidas empresas camaroneras del Ecuador y el mundo donde se ha comparado la alimentación manual y automática. Una empresa camaronera nacional realizó un estudio en una finca camaronera en el sector de El Morro, la investigación utilizó tres ciclos productivos para realizar la comparación, la comida fue dispensada en 5 horarios [39]. A continuación, se presenta la Tabla 1.3 correspondiente al estudio comparativo de la alimentación del camarón (automática y manual) y en la Tabla 1.4 se muestran los resultados del estudio.

Tabla 1.3 Alimentación manual (anaranjado) y automática (azul) para precriaderos 1-6 [39]

Precriaderos 1, 3 y 5					
Semanas	1	2	3	4	5
1era dosis	10%	10%	10%	10%	10%
2da dosis	10%	15%	20%	-	-
3era dosis	20%	-	-	30%	15%
4ta dosis	20%	25%	-	-	-
5ta dosis	40%	50%	70%	60%	70%
	100%	100%	100%	100%	100%
Precriaderos 2, 4 y 6					
Semanas	1	2	3	4	5
1era dosis	10%	10%	10%	20%	100% (20 horas)
2da dosis	10%	10%	20%	80% (20 horas)	
3era dosis	20%	20%	70% (16 horas)		
4ta dosis	20%	60% (12 horas)			
5ta dosis	40%				
	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 1.4 Resultados de investigación en granja camaronera del sector El Morro [39]

	Manual	Automática
Biomasa Inicial (kg)	2.993	2.927
Densidad (cam/ha)	648.935	667.451
Biomasa final (kg)	507.460	778.477
Supervivencia (%)	57.41	74.55
Costo final de larva (\$/mil)	7.79	7.15

El Centro de Maricultura Claude Peteet, EE.UU. realizó un estudio comparativo por tres años donde se implementaron diferentes modelos de alimentación: manual, automática programada y automática acústica, cuyos resultados se observan en la Figura 1.10; esta investigación se basó en el espécimen “*Litopenaeus Vannamei*”, donde se aplicó alimentación manual dos veces por

día, alimentación temporizada en 36 porciones diarias y acústica asistida por hidrófonos, como resultado de la investigación se obtuvo disminución de 120 a 90 días el ciclo de producción, mientras que la alimentación por acústica consiguió una mayor biomasa final por hectárea en los diferentes ciclos de producción con densidades de 17, 38 y 26 camarones por metro cuadrado [40].

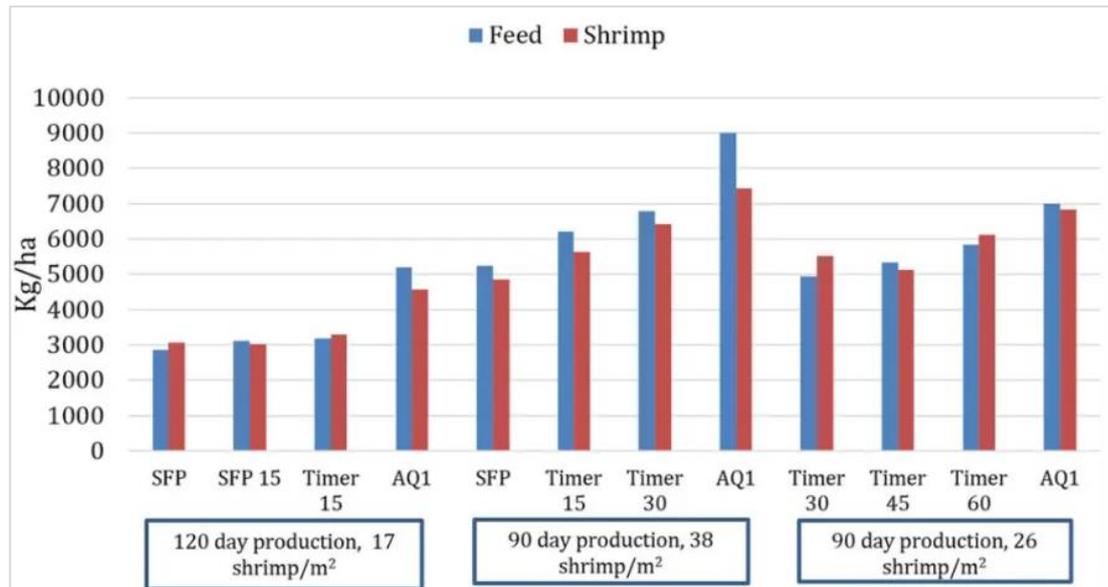


Figura 1.10 Resultados de alimentación y biomasa de camarón [40]

g. Alimentación automática por timer y por acústica

- Alimentación automática por timer

La alimentación por timer es una técnica de dispensación automática donde se implementan alimentadores programados para esparcir el alimento en determinadas horas del día [41].

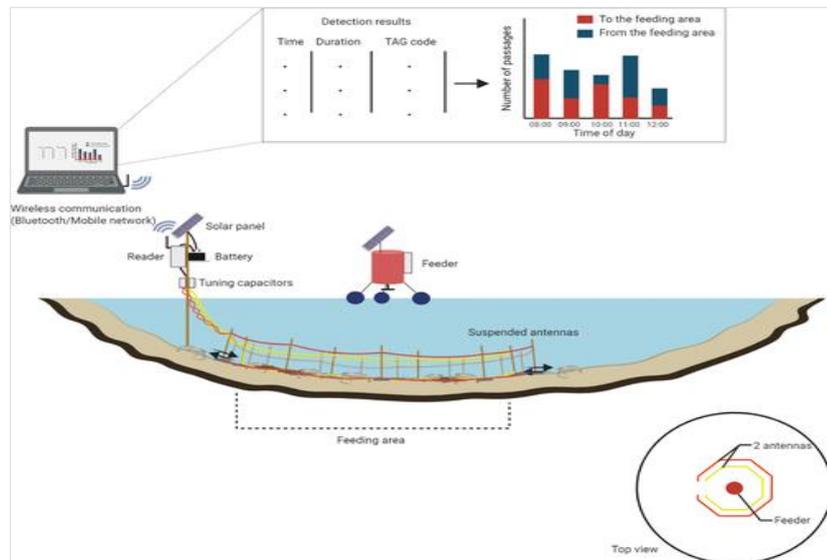


Figura 1.11 Alimentación automática por timer [41]

- **Alimentación automática acústica**

La alimentación acústica es una técnica de dispensación automática donde se implementan alimentadores conectados a sensores sonoros, denominados hidrófonos, encargados de captar el sonido que emiten los camarones cuando tienen hambre [42]. Cuando el camarón tiene hambre hace un ruido conocido como *click*, este sonido activa el equipo para alimentar al crustáceo.



Figura 1.12 Alimentación acústica [42]

h. Componentes del sistema alimentador automático

El sistema alimentador automático posee los siguientes componentes: panel solar, tolva, controlador de carga, caja electrónica, sistema de alimentación, cableado, chasis, batería y la base de flotación [43] , como se observa en la Figura 1.13.

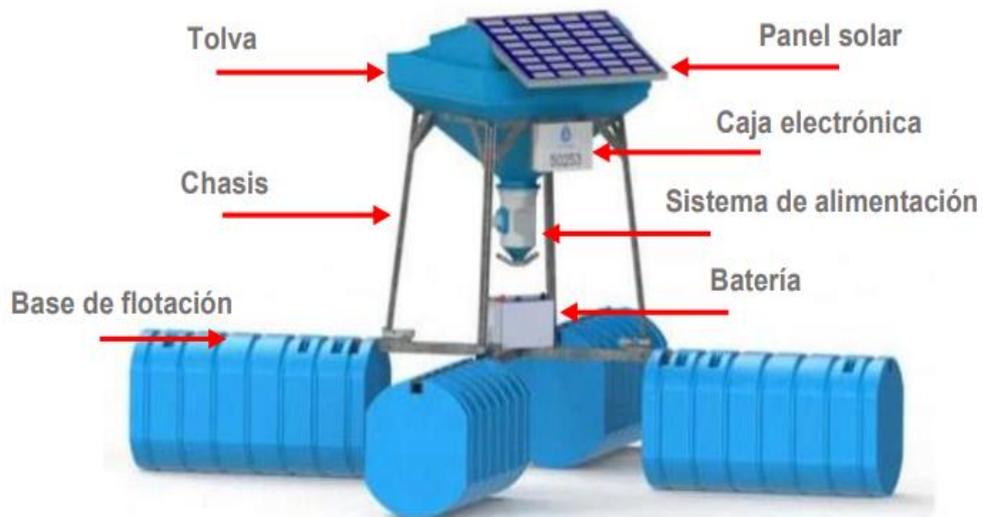


Figura 1.13 Partes del sistema alimentador automático [43]

El panel solar es el componente encargado de captar la energía solar y permitir la autonomía eléctrica del sistema. La tolva es el depósito en donde se almacena el balanceado del camarón, en su interior se pueden implementar sensores de nivel para llevar un control de la cantidad de alimento que se consume en cada jornada. El controlador de carga regulariza la energía que suministra el panel solar a la batería. La caja electrónica permite la comunicación con el operador para la respectiva programación y control de la dosificación del alimento. El sistema de alimentación se compone de un dosificador y un aspersor que se encarga de rociar cierta cantidad de alimento dentro de un área. El chasis es una estructura de hierro galvanizado y anticorrosivo en frío que sostiene las diferentes partes del sistema. La batería suministra energía eléctrica al sistema. La base de flotación se compone de tubos de hierro galvanizado y flotadores de polietileno de alta calidad que permiten al sistema mantenerse a flote en la superficie del estanque [44].

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El propósito de este capítulo, es establecer la metodología para el diseño de los diferentes componentes del sistema de alimentación automática de camarón, presentando la información requerida de manera ordenada y sistemática, que permita proponer posibles soluciones al objetivo planteado. El desarrollo de este capítulo va a comprender de las siguientes etapas: definición del requerimiento, definición de los factores de influencia, selección de la mejor alternativa de solución, diseño de forma del equipo y el diseño de forma detallado del equipo y de sus componentes.

2.1 Metodología de diseño

El proceso de diseño no es lineal, se basa en la identificación de un problema, el planteamiento de soluciones, la selección de las consideraciones de diseño (funcionabilidad, resistencia, seguridad, confiabilidad, costo, control, comercialización, mantenimiento, entre otras) más importantes que debe cumplir el diseño, las cuales serán analizadas en una matriz de decisiones para elegir la propuesta más adecuada, se plantea un diseño de forma, se realiza una memoria de cálculo donde se identifican cargas, esfuerzos y factores de seguridad. El libro "Diseño en ingeniería mecánica" de Shigley establece las fases del proceso de diseño [45] tales como: reconocimiento de necesidad, definición de problema, síntesis, análisis y optimización, evaluación y presentación. En base a lo antes expuesto, se presenta en la Figura 2.1 el diagrama con las etapas del proceso de diseño del sistema.

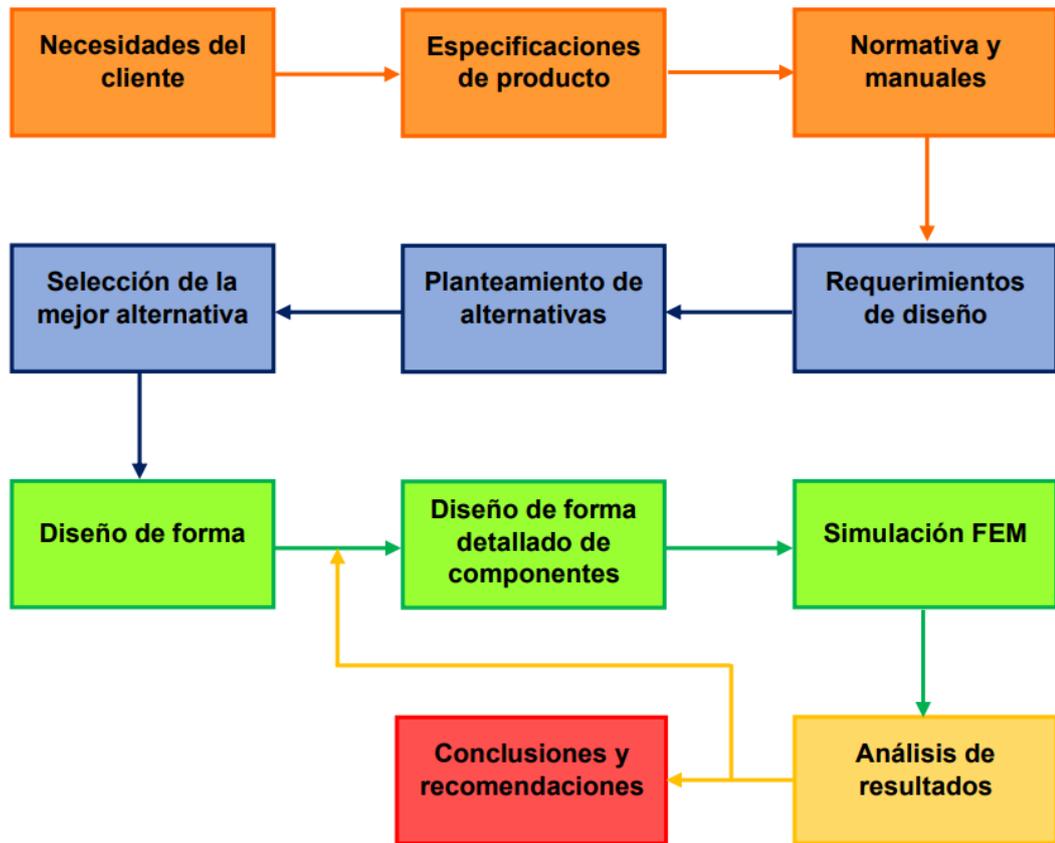


Figura 2.1 Etapas de proceso de diseño [45]

2.2 Definición de las necesidades del cliente

De acuerdo con las reuniones con el cliente y la visita a la empresa camaronera, se pudieron rescatar ciertos puntos que se deben tener en cuenta para el diseño del sistema, así como también mejoras para el correcto funcionamiento del mismo. A continuación, en la Tabla 2.1 se presentan ciertas necesidades expuestas por el cliente.

Tabla 2.1 Necesidades del cliente de empresa camaronera

Capacidad de tolva	La tolva va a tener una capacidad de 125 kg.
Cobertura del dispersor	6 a 12 metros, dependiendo del tipo de balanceado.
Flujo másico	Diseñar una tolva en donde se evite el atascamiento del material en su interior.
Sensor para lectura de señal de camarón	Añadir un sensor hidrófono para la recopilación de información de la señal emitida por el camarón
Materiales	Elegir los mejores materiales para el diseño del sistema.

2.3 Especificaciones de material almacenado

En este caso, para el diseño del sistema alimentador automático se va a considerar como material de estudio al balanceado peletizado 'Nicovita Classic Organic Camarón HO', el cual es usado para la alimentación de camarón con peso de 1 gramo hasta que cumple la talla comercial [46]. A continuación, en la Tabla 2.2 se presentan las especificaciones y características del producto antes mencionado.

Tabla 2.2 Especificaciones del Producto [46]

Especificaciones del Producto	
Densidad	777.78 [kg/m ³]
Peso específico	7.64 [kN/m ³]
Proteínas (%)	Mínimo 30%, 35%
Grasa (%)	Mínimo 5%
Humedad (%)	Máximo 11%
Ceniza (%)	Máximo 11%
Fibra (%)	Máximo 4%

2.4 Normativa y Manuales

Norma Europea UNE-EN 1991-4

Eurocódigo 1: Acciones en estructuras

Parte 4: Silos y depósitos

Catálogo de Martín Transportadores Helicoidales

Normativa CEMA

2.5 Consideraciones de Diseño

A través de una reunión con el cliente, se destacaron los siguientes aspectos que se debe tomar en cuenta para el diseño del sistema alimentador automático. A continuación, en la Tabla 2.3 se detallan las consideraciones de diseño.

Tabla 2.3 Consideraciones de diseño del sistema

Característica	¿Por qué?
Funcionalidad	El equipo debe ser capaz de funcionar las 24 horas del día.
Capacidad de carga	El equipo debe ser capaz de almacenar la cantidad deseada por el cliente.
Forma	El equipo debe tener un diseño ergonómico.
Utilidad	El sistema de dispensación debe alimentar al camarón para conseguir su máximo desarrollo.
Seguridad	El equipo debe conservar el alimento libre de agentes externos al proceso de alimentación y ser resistente al agua.
Autonomía	El sistema debe funcionar de manera autónoma en base a la programación del cliente.
Condiciones ambientales	El sistema debe ser capaz de funcionar bajo ciertos factores climáticos tales como el viento, la lluvia y el sol.
Costo	El costo del equipo debe estar dentro del rango ($\pm 10\%$) de alimentadores automáticos de la competencia.
Mantenimiento	Los componentes del equipo deben ser de fácil mantenimiento, para que al personal sea capaz de brindarle mantenimiento luego de una respectiva capacitación.

2.6 Determinación y selección de la mejor propuesta de solución

Alternativas de diseño

- **Sistema alimentación automática por timer (AAT)**

La alimentación automática por timer se compone de una tolva, panel solar, estructura metálica de soporte, dos motores (dosificación y aspersor), baterías y flotadores.

- **Sistema alimentación automática por hidrófono (AAH)**

La alimentación automática por hidrófono se compone de una tolva, panel solar, estructura metálica de soporte, dos motores (dosificación y aspersor), baterías, sensor acústico pasivo, sensor de nivel, sensor de oxígeno y flotadores.

Tabla 2.4 Alternativas de solución

Alternativa 1	Alternativa 2
 A 3D rendering of a mechanical system. It features a central hopper or container supported by a vertical metal pole. A solar panel is mounted on top of the pole. The entire assembly is supported by four blue cylindrical floaters. A white control box is attached to the side of the hopper.	 A 3D rendering of a system similar to Alternative 1. It has a hopper with a solar panel on top, supported by a metal frame. This assembly is surrounded by several blue cylindrical floaters. A white control box is also visible on the side of the hopper.

Objetivos y ponderación

A continuación, en la Tabla 2.5 se presentan los objetivos a cumplir en cada una de las alternativas de solución para el diseño del sistema, así como también su respectiva ponderación.

Tabla 2.5 Objetivos y ponderación

Objetivos	Ponderación
Funcionalidad	0.25
Capacidad de carga	0.15
Forma	0.10
Utilidad	0.15
Seguridad	0.10
Costo	0.15
Mantenimiento	0.10
Total	1.00

Matriz de decisión

Una vez establecidos los objetivos de diseño, se procede a evaluar las alternativas de solución mediante la implementación de la matriz de decisión, para determinar la mejor solución. A continuación, en la Tabla 2.6 se detalla la matriz de decisión para obtener la mejor solución de diseño.

Tabla 2.6 Matriz de decisión

Objetivos	%	Sistema alimentación automática por timer		Sistema alimentación automática por hidrófono	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Funcionalidad	0.25	8.00	2.00	9.00	2.25
Capacidad de carga	0.15	10.00	1.50	10.00	1.50
Forma	0.10	8.00	0.80	9.00	0.90
Utilidad	0.15	8.00	1.20	9.00	1.35
Seguridad	0.10	7.00	0.70	9.00	0.90
Costo	0.15	9.00	1.35	8.00	1.20
Mantenimiento	0.10	8.00	0.80	9.00	0.90
Total	1.00	8.35		9.00	

2.7 Diseño de forma del sistema y sus componentes

Sistema de Alimentación Automática

El sistema de alimentación automática de camarón se compone de una tolva con capacidad de 125 kg para almacenar el balanceado establecido en cada dieta correspondiente a la alimentación del camarón. Por otra parte, cuenta con un panel solar y una batería que le brindan al sistema la energía necesaria para su funcionamiento durante un periodo preestablecido. Cuenta con un kit dosificador de 2 motores, un motor para el sistema de dosificación y el otro motor para el sistema de dispersión del balanceado. La estructura metálica es la encargada de sostener y mantener los componentes esenciales del sistema de alimentación automática. Por último, se compone de 4 flotadores que le van a permitir al sistema mantenerse a flote en la piscina de la finca camaronera. A continuación, en la Figura 2.2 se presenta el sistema de alimentación automática y sus componentes.

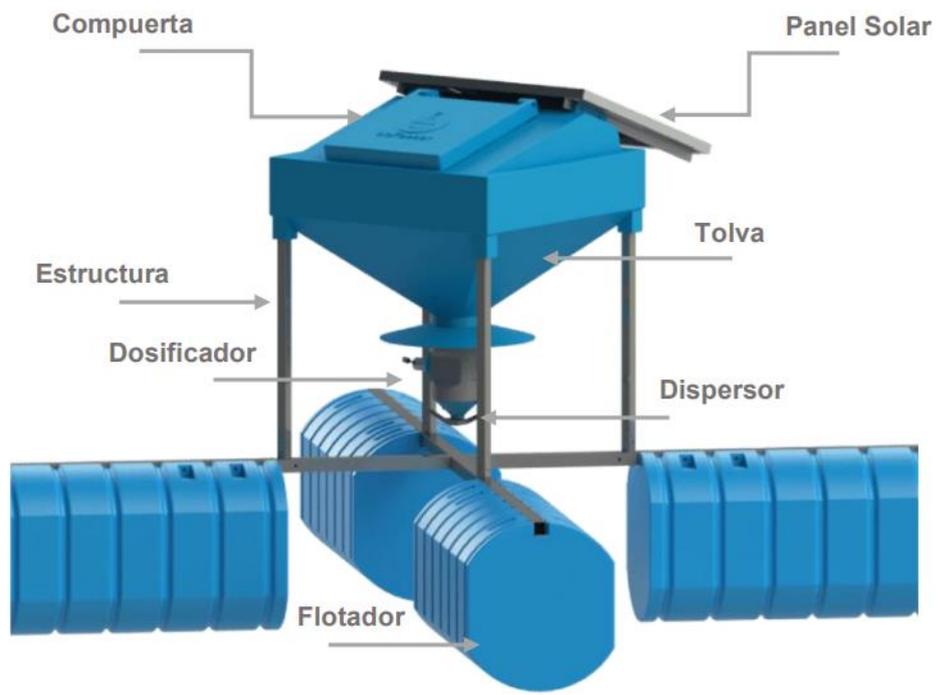


Figura 2.2 Sistema de alimentación automática y sus componentes

2.8 Diseño de forma detallado de los diferentes componentes

a. Tolva

El diseño de la tolva se va a llevar a cabo en base a la norma europea UNE-EN 1991-4:2011 para silos y depósitos [47] cuyo objetivo es proporcionar las indicaciones y principios necesarios para el dimensionamiento de los silos para almacenamiento de sólidos granulares y líquidos. Se va a considerar que la tolva puede contener 125 kg de alimento y su flujo es másico para su diseño.

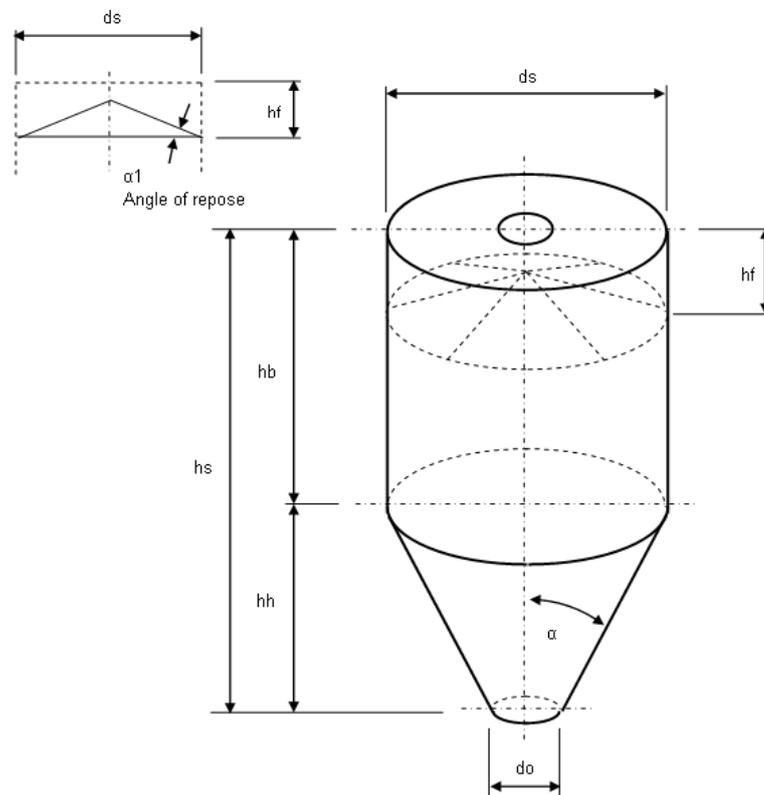


Figura 2.3 Dimensiones de Tolva [47]

Clasificación de los silos según la acción de evaluación

El diseño del silo debe realizarse de acuerdo con los requisitos de cada una de las clases de evaluación, tal como lo indica la norma europea, para tener un diseño con el mismo nivel de riesgo, que permita la evaluación del diseño con la finalidad de reducir el riesgo de falla. A continuación, en la Tabla 2.7 se presenta la clasificación para las clases de evaluación de los silos que brinda la norma europea.

Tabla 2.7 Clasificación de silos según acción de evaluación [47]

Clase de evaluación de acción	Descripción
Clase de evaluación de acción 3	Silos de capacidad mayor de 10 000 toneladas Silos de capacidad mayor de 1 000 toneladas en las que puede producirse cualquiera de las siguientes situaciones de cálculo: a) descarga excéntrica con $e_0/d_c > 0,25$ [véase la figura 1.1 b)] b) silo poco esbelto con excentricidad en la superficie superior $e_1/d_c > 0,25$
Clase de evaluación de acción 2	Todos los silos cubiertos por esta norma y que no tengan ubicación en otra clase
Clase de evaluación de acción 1	Silos con capacidad menor de 100 toneladas

En base a la clasificación de la Tabla 2.7, se determina la clase de evaluación de acción 1 para el diseño de nuestra tolva, dado que la capacidad de la misma es inferior a las 100 toneladas. De acuerdo con la norma europea, para los silos de clase de evaluación de acción 1, se pueden considerar los parámetros de valor medio del coeficiente de rozamiento μ_m , el valor medio de coeficiente de presiones laterales K_m y el valor medio de rozamiento interno ϕ_m del material que va a ser almacenado [47].

Determinación del material de paredes de la tolva

Para poder determinar el material de las paredes internas de la tolva, la norma EN-1991-4:2011 establece un ensayo y evaluación de las propiedades del material a almacenar [47]. A continuación, en la Tabla 2.8 se presenta la definición de las superficies de la pared.

Tabla 2.8 Definición de la superficie de la pared [47]

D1	Rozamiento bajo clasificado como “Deslizante”	Acero inoxidable laminado en frío Acero inoxidable pulido Superficie con un revestimiento para bajo rozamiento Aluminio pulido Polietileno de peso molecular ultraelevado ^a ←
D2	Rozamiento moderado clasificado como “Liso”	Acero dulce liso (construcción soldada o atornillada) Acero inoxidable terminado con fresa Acero al carbono galvanizado Aluminio oxidado Superficie con un revestimiento para resistencia frente a la corrosión o el desgaste abrasivo
D3	Rozamiento elevado clasificado como “Rugoso”	Hormigón encofrado, hormigón enfoscado u hormigón envejecido Acero al carbono envejecido (oxidado) Acero resistente a la abrasión Piezas cerámicas
D4	Irregular	Paredes onduladas horizontalmente Chapa nervada con nervios horizontales Paredes especiales con grandes anomalías

En este caso, se determina la categoría D1 para la superficie de la pared de la tolva, y se considera como material de la pared al polietileno de peso molecular ultraelevado.

Propiedades del material almacenado

Para el cálculo del dimensionamiento de la tolva, la norma europea EN-1991-4:2011 proporciona las propiedades del material disgregado, para lo cual en este estudio se va a considerar como material al “piensos en formato pellets”. A continuación, en la Tabla 2.9 se presentan las propiedades de ciertos sólidos disgregados.

Tabla 2.9 Propiedades de material disgregados [47]

Tipo de sólido disgregado ^{d,e}	Peso específico ^b		Ángulo de talud natural	Ángulo de rozamiento interno		Coeficiente de presiones laterales		Coeficiente de rozamiento con la pared ^c				Coeficiente de referencia del sólido para cargas concentradas C_{op}
	γ		ϕ	ϕ		K		μ ($\mu = \tan \phi_w$)				
	γ_i	γ_s	ϕ	ϕ_m	a_ϕ	K_m	a_K	Tipo de pared D1	Tipo de pared D2	Tipo de pared D3	a_μ	
	Inferior	Superior		Medio	Coeficiente	Medio	Coeficiente	Medio	Medio	Medio	Coeficiente	
	kN/m ³	kN/m ³	grados	grados								
Material por defecto ^a	6,0	22,0	40	35	1,3	0,50	1,5	0,32	0,39	0,50	1,40	1,0
Aridos	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 clinker	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

En base a la Tabla 2.9, se establecen los siguientes parámetros en las propiedades del material de estudio. En este caso, se va a usar como referencia al material “piensos en pellets”. A continuación, en la Tabla 2.10 se presenta las propiedades del material.

Tabla 2.10 Propiedades del material ‘piensos en pellets’ [47]

Símbolo	Propiedad	Valor
ϕ_m	Ángulo medio de rozamiento interno	35 [°]
K_m	Coeficiente medio de presiones laterales	0.47
μ_m	Coeficiente medio de rozamiento con la pared	0.23
ϕ_w	Ángulo de rozamiento con la pared de la tolva	12.95 [°]
C_{op}	Coeficiente de mayoración de cargas	0.70

Para el cálculo del parámetro del ángulo de talud natural, el cual representa la pendiente máxima de una porción de terreno granular hasta el punto en que se puede estabilizar sin deslizamientos [48], se realizó un experimento con una muestra de alimento pelletizado 'Nicovita 2.0', el cual tiene un diámetro de 2 mm y una longitud promedio de 6 mm. En la Figura 2.4 se muestra la toma de mediciones de longitud y diámetro de ciertos pellets de alimento.



Figura 2.4 Dimensiones de pellets de alimento Nicovita 2.0

A continuación, en la Tabla 2.11 se detallan los valores de la muestra de alimento pelletizado 'Nicovita 2.0'.

Tabla 2.11 Diámetro y longitud de pellets de alimento 'Nicovita 2.0'

Parámetro	Valor
Diámetro, (D_{pe})	2.00 [mm]
Longitud, (L_{pe})	6.00 [mm]

Para la obtención del ángulo de talud natural del balanceado 'Nicovita 2.0', se hizo uso de un embudo comercial con diámetro interno de 12.50 cm y una altura aproximada a 8.50 cm. Dentro del procedimiento llevado a cabo para obtener el ángulo de talud natural, primero se rellenó el interior del embudo

con alimento pelletizado 'Nicovita 2.0', como se observa en la Figura 2.5. Posterior a ello, con la ayuda de una carpeta con superficie plana se vertió el embudo con el material en su interior y se esperó a que se forme una pendiente con el material pelletizado, como se puede notar en la Figura 2.6.



Figura 2.5 Relleno de interior de embudo con alimento 'Nicovita 2.0'



Figura 2.6 Formación de pendiente de material pelletizado 'Nicovita 2.0'

Una vez que se observa que no existen deslizamientos de pellets en la pendiente del alimento 'Nicovita 2.0', se procede a tomar los datos de altura y la base, y como resultado se obtuvo 4.80 cm y 8.70 cm respectivamente. Con los datos anteriormente mencionados, se procede a realizar el cálculo del ángulo de talud natural del alimento, dando como resultado un ángulo de 29°, como se observa en la Figura 2.7.



Figura 2.7 Obtención de ángulo de talud natural del alimento Nicovita 2.0

Con el valor del ángulo de talud del alimento pelletizado 'Nicovita 2.0' obtenido anteriormente, se procede a estimar el ángulo de descarga del alimento en la tolva, mediante la implementación de la ecuación 2.1:

$$\beta = \phi_r + 10^\circ \quad (2.1)$$

Donde:

ϕ_r : ángulo de talud natural del alimento

Resultado:

$$\beta = 29^\circ + 10^\circ = 39^\circ$$

A continuación, en la Tabla 2.12 se detallan todas las propiedades del alimento pelletizado 'Nicovita 2.0'.

Tabla 2.12 Propiedades de alimento pelletizado Nicovita 2.0

Símbolo	Propiedad	Valor
ρ_{bl}	Densidad	$777.78 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$
γ_{bl}	Peso específico	$7.63 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right]$
ϕ_r	Ángulo de talud natural	29 [°]
β	Ángulo de inclinación de la pared de la tolva	39 [°]

Dimensionamiento de la tolva

A continuación, en la Figura 2.8 se presentan las dimensiones de la tolva necesarias para poder contener 125 kg de alimento pelletizado 'Nicovita 2.0':

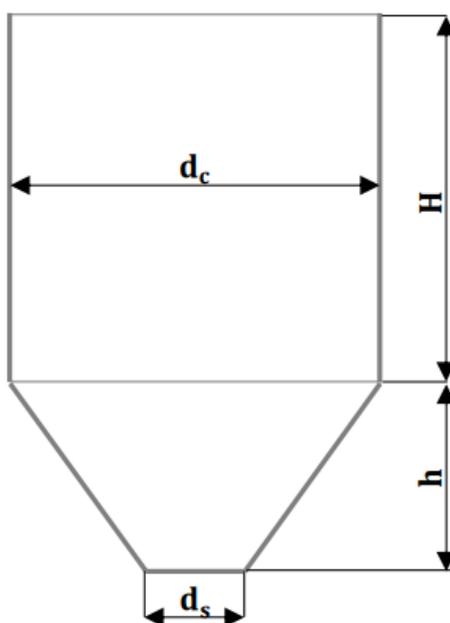


Figura 2.8 Dimensiones de tolva

En donde:

$$d_c = 0.80 \text{ [m]}$$

$$h = 0.34 \text{ [m]}$$

$$H = 0.18 \text{ [m]}$$

Para el diámetro de salida o de descarga de la tolva se considera la longitud del pellet y se emplea la siguiente la ecuación 2.2:

$$d_s = 10 + (10 \cdot L_{pe}) \text{ [cm]} \quad (2.2)$$

En donde:

$$L_{pe} = 0.60 \text{ [cm]}$$

Dando como resultado:

$$d_s = 10 + (10 \cdot 0.60)$$

$$\mathbf{d_s = 16.00 \text{ [cm]}}$$

Con los datos obtenidos, se procede a calcular el volumen de la tolva empleando las ecuaciones 2.3, 2.4 y 2.5.

$$V_{\text{cilindro}} = \pi \cdot \frac{d_c^2}{4} \cdot h_c \quad (2.3)$$

$$V_{\text{ct}} = \frac{h\pi}{3} \cdot (R_c^2 + R_s^2 + R_c R_s) \quad (2.4)$$

$$V_{\text{tolva}} = V_{\text{cilindro}} + V_{\text{ct}} \quad (2.5)$$

En donde:

$$d_c = 0.80 \text{ [m]}$$

$$H = 0.18 \text{ [m]}$$

$$h = 0.34 \text{ [m]}$$

$$R_c = 0.40 \text{ [m]}$$

$$R_s = 0.08 \text{ [m]}$$

Como resultado se obtiene:

$$V_{\text{cilindro}} = \pi \cdot \frac{(0.80)^2}{4} \cdot (0.18)$$

$$V_{\text{cilindro}} = 0.09 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V_{\text{ct}} = \frac{0.34 \cdot \pi}{3} \cdot [(0.40)^2 + (0.08)^2 + (0.40 \cdot 0.08)]$$

$$V_{\text{ct}} = 0.07 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V_{\text{tolva}} = (0.09 + 0.07) \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V_{\text{tolva}} = 0.16 \text{ [m}^3\text{]}$$

Con el volumen de la tolva, se procede a obtener la capacidad de alimento que puede almacenar la tolva. Se tiene como dato la densidad del alimento, cuyo valor es $777.78 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Con los datos mencionados anteriormente, se procede a calcular la capacidad de la tolva empleando la ecuación 2.6.

$$C_{\text{tolva}} = \rho_{\text{bl}} \cdot V_{\text{tolva}} \quad (2.6)$$

En donde:

$$C_{\text{tolva}} = \text{Capacidad de tolva [kg]}$$

$$\rho_{\text{bl}} = \text{Densidad de balanceado } \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$V_{\text{tolva}} = \text{Volumen de tolva [m}^3\text{]}$$

Para obtener la capacidad de la tolva en unidades de kN, se emplea la ecuación 2.7.

$$W_{\text{balanceado}} = g \cdot C_{\text{tolva}} \quad (2.7)$$

En donde:

$W_{\text{balanceado}}$ = Peso del balanceado [kN]

g = gravedad $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$

C_{tolva} = Capacidad de tolva [kg]

Como resultado se obtiene:

$$C_{\text{tolva}} = \rho_{\text{bl}} \cdot V_{\text{tolva}}$$

$$C_{\text{tolva}} = 777.78 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right] \cdot 0.16 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$C_{\text{tolva}} = 125 \text{ [kg]}$$

$$W_{\text{balanceado}} = g \cdot C_{\text{tolva}}$$

$$W_{\text{balanceado}} = 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right] \cdot 125 \text{ [kg]}$$

$$W_{\text{balanceado}} = 1.23 \text{ [kN]}$$

Estimación de parámetros de diseño de tolva

A continuación, en la Figura 2.9 se presentan los parámetros para el diseño de la tolva.

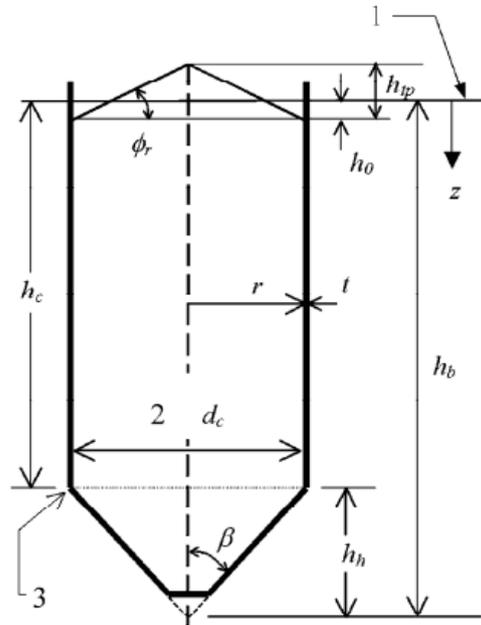


Figura 2.9 Parámetros de diseño de tolva [47]

Donde:

- 1: Superficie equivalente
- 2: Dimensión interior
- 3: Transición

Una vez obtenido el ángulo de reposo del alimento y el diámetro de la tolva, se procede a calcular la altura total del cono superior empleando la ecuación 2.8.

$$h_{tp} = \tan \phi_r \cdot r \quad (2.8)$$

Donde:

ϕ_r = ángulo de talud natural del material

r = radio del cilindro de la tolva

Como resultado se obtiene:

$$h_{tp} = \tan 29^\circ \cdot 0.40[\text{m}]$$

$$h_{tp} = 0.22 [\text{m}]$$

A continuación, en la Tabla 2.13 se presentan los valores de los parámetros para el diseño de la tolva, de acuerdo a la norma EN-1991-4:2011 [47].

Tabla 2.13 Parámetros de diseño de tolva

Parámetro	Valor
ϕ_r	29 [°]
h_{tp}	0.22 [m]
h_o	0.07 [m]
d_c	0.80 [m]
r	0.40 [m]
h_c	0.17 [m]
β	39 [°]
h_h	0.34 [m]
h_b	0.51 [m]

Esbeltez

De acuerdo con la norma EN-1991-4:2011, para la evaluación de las cargas en las paredes se debe considerar la esbeltez [47]. A continuación, se detalla la clasificación de las clases de esbeltez:

- silos esbeltos, en los que $2.0 \leq h_c/d_c$
- silos de esbeltez media, en los que $1.0 < h_c/d_c < 2.0$
- silos poco esbeltos, en los que $0.4 < h_c/d_c \leq 1.0$
- silos graneos, en los que el fondo es plano y $h_c/d_c \leq 0.4$

Donde:

h_{cd} : altura del segmento vertical del silo

d_{cd} : diámetro de cilindro de la tolva

Para el caso de estudio, se obtiene lo siguiente:

$$\frac{h_{cd}}{d_{cd}} = \frac{0.35 \text{ [m]}}{0.80 \text{ [m]}} = 0.44 \quad (2.9)$$

Con el resultado obtenido en la ecuación 2.9, se obtiene que el silo es poco esbelto.

Silo poco esbelto

Cargas de llenado sobre las paredes verticales

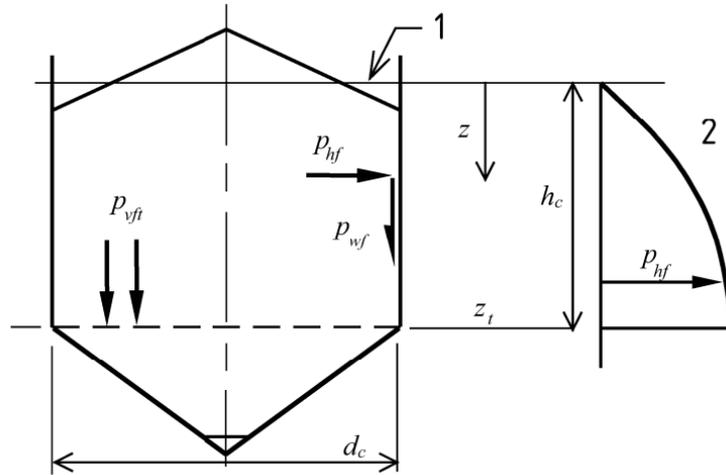


Figura 2.10 Presiones simétricas en el llenado [47]

Donde:

1: Superficie equivalente

2: Presiones en el segmento de pared vertical

Previamente al cálculo de las presiones, de deben obtener los valores de los parámetros z_0 , h_0 , n , Y_R y p_{ho} [47], empleando las ecuaciones (2.10) a (2.14).

$$z_0 = \frac{1}{K \cdot \mu} \cdot \frac{r}{2} \quad (2.10)$$

$$h_0 = \frac{r}{3} \cdot \tan \phi_r \quad (2.11)$$

$$n = - (1 + \tan \phi_r)(1 - h_0/z_0) \quad (2.12)$$

$$Y_R = \left(1 - \left\{ \left(\frac{z - h_0}{z_0 - h_0} \right) + 1 \right\}^n \right) \quad (2.13)$$

$$p_{ho} = \gamma_{bl} \cdot K \cdot z_0 \quad (2.14)$$

Donde:

z_o : profundidad característica de Janssen

K : coeficiente de presiones laterales

μ : coeficiente de rozamiento con la pared del silo para una pared vertical

r : radio del cilindro del silo

h_o : profundidad bajo la superficie equivalente de la base del cono superior

ϕ_r : ángulo de talud natural del material disgregado

n : potencia en el coeficiente de presiones en la tolva

Y_R : función de la variación de la presión de silos pocos esbeltos con la profundidad.

z : profundidad desde la superficie equivalente del sólido en condición de llenado.

γ_{bl} : peso específico del material disgregado (balanceado)

Como resultado se obtiene:

$$z_o = \frac{1}{K \cdot \mu} \cdot \frac{r}{2}$$

$$z_o = \frac{1}{0.47 \cdot 0.23} \cdot \frac{0.40 \text{ [m]}}{2}$$

$$z_o = 1.85 \text{ [m]}$$

$$h_o = \frac{r}{3} \cdot \tan \phi_r$$

$$h_o = \frac{0.40}{3} \cdot \tan 29$$

$$h_o = 0.07 \text{ [m]}$$

$$n = -(1 + \tan \phi_r)(1 - h_o/z_o)$$

$$n = -(1 + \tan 39)(1 - 0.07/1.85)$$

$$\mathbf{n = -1.74}$$

$$Y_R = \left(1 - \left\{\left(\frac{z - h_o}{z_o - h_o}\right) + 1\right\}^n\right)$$

$$Y_R = \left(1 - \left\{\left(\frac{0.17 - 0.07}{1.85 - 0.07}\right) + 1\right\}^{-1.74}\right)$$

$$\mathbf{Y_R = 0.09}$$

$$p_{ho} = \gamma_{bl} \cdot K \cdot z_o$$

$$p_{ho} = 7.63 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right] \cdot 0.47 \cdot 1.85[\text{m}]$$

$$\mathbf{p_{ho} = 6.63 [\text{kPa}]}$$

Con los datos obtenidos, se procede a calcular la presión horizontal después del llenado p_{hf} y la presión de tracción por rozamiento en la pared después del llenado p_{wf} [47], empleando las ecuaciones 2.15 y 2.16 respectivamente.

$$p_{hf} = p_{ho} \cdot Y_R \tag{2.15}$$

$$p_{wf} = \mu \cdot p_{hf} \tag{2.16}$$

Como resultado se obtiene:

$$p_{hf} = p_{ho} \cdot Y_R$$

$$p_{hf} = 6.63 [\text{kPa}] \cdot 0.09$$

$$\mathbf{p_{hf} = 0.60 [\text{kPa}]}$$

$$p_{wf} = \mu \cdot p_{hf}$$

$$p_{wf} = 0.23 \cdot 0.59 \text{ [kPa]}$$

$$p_{wf} = 0.14 \text{ [kPa]}$$

Se procede a realizar el cálculo de la tensión vertical p_{vf} [47], empleando la ecuación 2.17.

$$h_{vf} = \gamma_{bl} \cdot z_v \quad (2.17)$$

Siendo:

$$z_v = h_o - \frac{1}{(n+1)} \cdot \left(z_o - h_o - \frac{(z + z_o - 2h_o)^{n+1}}{(z_o - h_o)^n} \right) \quad (2.18)$$

Donde:

z_v : medida de profundidad usada en la evaluación de la tensión vertical de silos pocos esbeltos.

Como resultado se obtiene:

$$z_v = h_o - \frac{1}{(n+1)} \cdot \left(z_o - h_o - \frac{(z + z_o - 2h_o)^{n+1}}{(z_o - h_o)^n} \right)$$

$$z_v = 0.07 - \frac{1}{(-1.74 + 1)} \cdot \left(1.85 - 0.07 - \frac{(0.17 + 1.85 - 2 \cdot 0.07)^{-0.74}}{(1.85 - 0.07)^{-1.74}} \right) \text{ [m]}$$

$$z_v = 0.16 \text{ [m]}$$

$$h_{vf} = \gamma_{bl} \cdot z_v$$

$$h_{vf} = 7.63 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right] \cdot 0.16 \text{ [m]}$$

$$h_{vf} = 1.22 \text{ [kPa]}$$

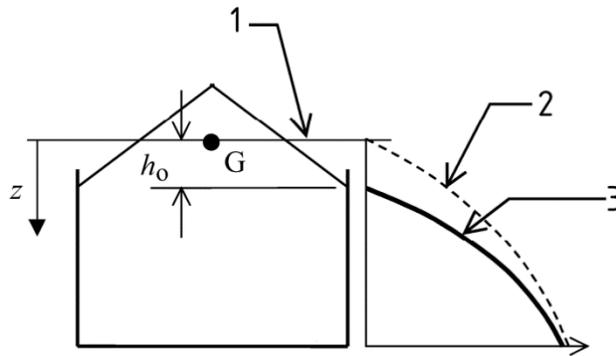


Figura 2.11 Presiones de llenado en silos poco esbeltos [47]

Donde:

- 1: Superficie equivalente
- 2: Ley de presiones de un silo esbelto
- 3: Presiones de un silo poco esbelto

De acuerdo con la norma UNE-EN-1991-4:2011 se procede a calcular el valor característico de la tensión vertical resultante n_{zSk} (compresión) en la pared por unidad de longitud del perímetro a cualquier profundidad z [47], empleando la ecuación 2.19.

$$n_{zSk} = \int_0^z p_{wf}(z) dz = \mu p_{h_0}(z - z_V) \quad (2.19)$$

Como resultado se obtiene:

$$n_{zSk} = \mu p_{h_0}(z - z_V)$$

$$n_{zSk} = 0.23 \cdot 6.63 \text{ [kPa]} \cdot (0.17 - 0.16) \text{ [m]}$$

$$\mathbf{n_{zSk} = 15.25 \left[\frac{N}{m} \right]}$$

Carga concentrada en llenado

De acuerdo con la norma UNE-EN-1991-4:2011, la carga concentrada en llenado puede omitir en silos poco esbeltos $0.4 < h_c/d_c \leq 1.0$ [47], por lo tanto:

$$C_{pf} = 0 \quad (2.20)$$

Donde:

C_{pf} : Coeficiente de las cargas concentradas en llenado

Cargas de descarga sobre las paredes verticales

La norma UNE-EN-1991-4:2011 establece que las cargas de descarga en silos pocos esbeltos ($0.4 < \frac{h_c}{d_c} \leq 1.0$) son parecidas a las cargas de llenado [47], por lo que se obtiene lo siguiente:

$$p_{he} = 0.60 \text{ [kPa]} \quad (2.21)$$

$$p_{we} = 0.14 \text{ [kPa]} \quad (2.22)$$

Donde:

p_{he} : presión horizontal durante la descarga

p_{we} : presión de tracción por rozamiento en la pared durante la descarga

Carga concentrada de descarga

Al igual que la carga concentrada en el llenado, la norma UNE-EN-1991-4:2011 establece que la carga concentrada de descarga no se debe tener en cuenta, para silos poco esbeltos ($0.4 < \frac{h_c}{d_c} \leq 1.0$) con clase de evaluación de acción 1 [47], por lo tanto:

$$C_{pe} = 0 \quad (2.23)$$

Donde:

C_{pf} : Coeficiente de las cargas concentradas en descarga

Cargas sobre tolva – Tolva aplanada

A continuación, en la Figura 2.12 se presenta el límite entre tolvas agudas y aplanadas.

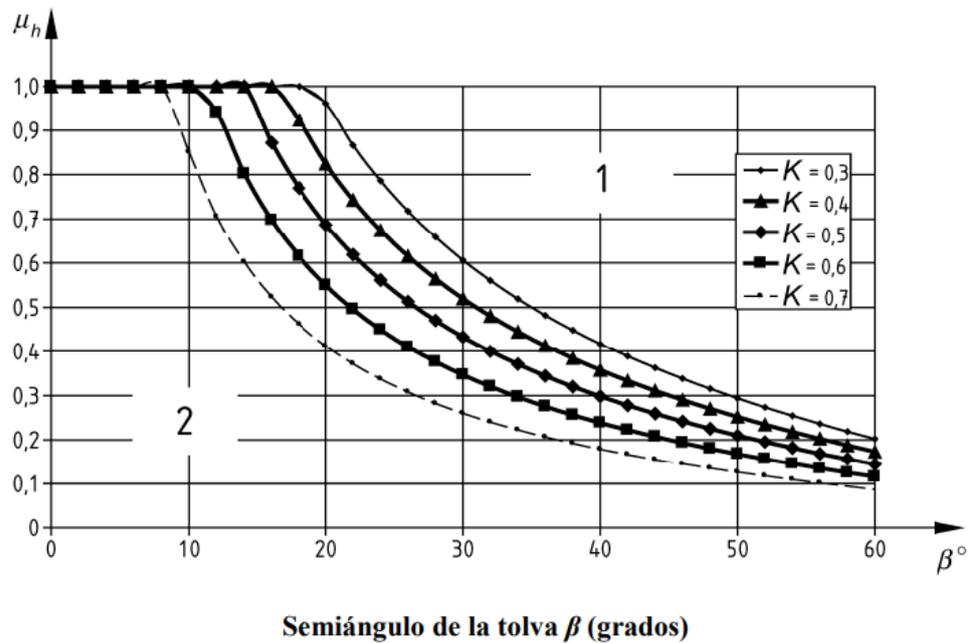


Figura 2.12 Límite entre tolvas agudas y aplanadas [47]

Donde.

1: Tolva aplanada

2: Tolva aguda

β : Semiángulo del vértice de la tolva

μ_h : Valor característico inferior del coeficiente de rozamiento con la pared de la tolva

K : Valor característico inferior del coeficiente de presiones laterales en paredes verticales

En este caso de estudio, se determina que la tolva diseñada es 'aplanada'. A continuación, en la Figura 2.13 se detalla la distribución de presiones de llenado sobre tolvas agudas y aplanadas.

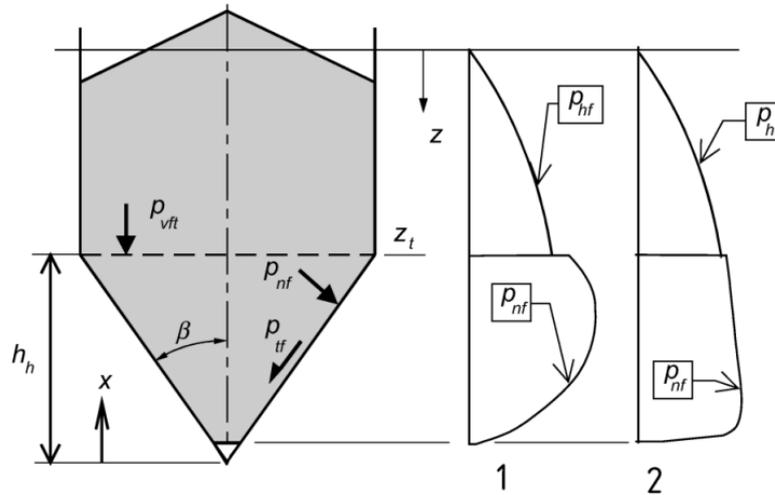


Figura 2.13 Distribución de presiones de llenado sobre tolvas agudas y aplanadas [47]

Previamente al cálculo de las cargas sobre la tolva, se debe tener en cuenta el valor del coeficiente de mayoración de cargas C_b . La norma UNE-EN-1991-4:2006, establece que para silos de clase de evaluación de acción 1 el valor de C_b es el siguiente [47]:

$$C_b = 1.3 \quad (2.24)$$

Una vez obtenido el valor del coeficiente C_b , se procede a determinar el valor de la presión vertical media en la transición entre la sección de pared vertical y la tolva, empleando la ecuación 2.25.

$$p_{vft} = C_b \cdot p_{vf} \quad (2.25)$$

$$p_{vf} = \gamma_{bl} \cdot h_c \quad (2.26)$$

Dando como resultado:

$$p_{vft} = C_b \cdot p_{vf}$$

$$p_{vft} = 1.3 \cdot (\gamma \cdot h_c)$$

$$p_{vft} = 1.3 \cdot \left(7.63 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right] \cdot 0.17 [\text{m}] \right)$$

$$\mathbf{p_{vft} = 1.68 \text{ [kPa]}}$$

Rozamiento movilizado

De acuerdo con la Norma UNE-EN-1991-4:2006, debe determinarse el coeficiente de rozamiento con la pared de la tolva aplanada [47], empleando la siguiente expresión:

$$\mu_{heff} = \frac{(1 - K)}{2 \cdot \tan \beta} \quad (2.27)$$

Donde:

K: valor característico inferior del coeficiente de presiones laterales para la sección vertical.

β : semiángulo de la tolva

Como resultado se obtiene:

$$\mu_{heff} = \frac{(1 - K)}{2 \cdot \tan \beta}$$

$$\mu_{heff} = \frac{(1 - 0.47)}{2 \cdot \tan 39^\circ}$$

$$\mathbf{\mu_{heff} = 0.33}$$

Cargas de llenado

En esta sección, como primer punto se debe realizar el cálculo de ciertos parámetros preliminares, haciendo uso de las siguientes expresiones:

$$F_f = 1 - \left\{ \frac{b}{\left(1 + \frac{\tan \beta}{\mu_{\text{heff}}}\right)} \right\} \quad (2.28)$$

$$n = S(1 - b) \cdot \mu_{\text{heff}} \cdot \cot \beta \quad (2.29)$$

Donde:

F_f : coeficiente de presiones en la tolva después del llenado

μ_{heff} : coeficiente de rozamiento movilizado en tolva aplanada

n: potencia en el coeficiente de presiones en la tolva

S: coeficiente de geometría de tolva (=2 para tolva cónica, =1 para tolva en forma de cuña)

b: coeficiente empírico, $b = 0.2$

Como resultado se obtiene:

$$F_f = 1 - \left\{ \frac{b}{\left(1 + \frac{\tan \beta}{\mu_{\text{heff}}}\right)} \right\}$$

$$F_f = 1 - \left\{ \frac{0.2}{\left(1 + \frac{\tan 39}{0.33}\right)} \right\}$$

$$F_f = 0.94$$

$$n = S(1 - b) \cdot \mu_{\text{heff}} \cdot \cot \beta$$

$$n = 2 \cdot (1 - 0.2) \cdot 0.33 \cdot \cot 39$$

$$\mathbf{n = 0.65}$$

Se procede a calcular la tensión vertical media en el sólido a una altura 'x' sobre el vértice de la tolva [47], empleando la ecuación 2.30.

$$p_v = \left(\frac{\gamma_{bl} \cdot h_h}{n - 1} \right) \left\{ \left(\frac{x}{h_h} \right) - \left(\frac{x}{h_h} \right)^n \right\} + p_{vft} \left(\frac{x}{h_h} \right)^n \quad (2.30)$$

Para obtener el valor de x de la expresión 2.30, se debe derivar dicha expresión. Por consiguiente, se obtiene el valor de 'x'.

$$p_v = \left(\frac{\gamma_{bl} \cdot h_h}{n - 1} \right) \left\{ \left(\frac{x}{h_h} \right) - \left(\frac{x}{h_h} \right)^n \right\} + p_{vft} \left(\frac{x}{h_h} \right)^n$$

$$p_v = \left(\frac{7.63 \cdot 0.34}{0.65 - 1} \right) \left\{ \left(\frac{x}{0.34} \right) - \left(\frac{x}{0.34} \right)^{0.65} \right\} + 1.68 \left(\frac{x}{0.34} \right)^{0.65}$$

Derivando la expresión, se obtiene el valor de $x = 0.18$ m. Por lo tanto, se obtiene el valor de p_v .

$$p_v = \left(\frac{7.63 \cdot 0.34}{0.65 - 1} \right) \left\{ \left(\frac{0.18}{0.34} \right) - \left(\frac{0.18}{0.34} \right)^{0.65} \right\} + 1.68 \left(\frac{0.18}{0.34} \right)^{0.65}$$

$$\mathbf{p_v = 2.07 [kPa]}$$

Luego de haber obtenido los parámetros necesarios para el cálculo de las cargas sobre la tolva, se procede a determinar el valor de la presión normal p_{nf} y la presión de tracción por rozamiento p_{tf} , usando las ecuaciones 2.31 y 2.32 respectivamente.

$$p_{nf} = F_f \cdot p_v \quad (2.31)$$

$$p_{tf} = \mu_{heff} \cdot F_f \cdot p_v \quad (2.32)$$

Como resultado se obtiene:

$$\begin{aligned} p_{nf} &= F_f \cdot p_v \\ p_{nf} &= 0.94 \cdot 2.07 \text{ [kPa]} \\ \mathbf{p_{nf}} &= \mathbf{1.95 \text{ [kPa]}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{tf} &= \mu_{heff} \cdot F_f \cdot p_v \\ p_{tf} &= 0.33 \cdot 1.95 \text{ [kPa]} \\ \mathbf{p_{tf}} &= \mathbf{0.64 \text{ [kPa]}} \end{aligned}$$

Cargas de descarga

De acuerdo con la norma UNE-EN-1991-4:2006, establece que los valores obtenidos en las cargas de descarga son similares a las cargas de llenado [47].

Presiones en tolva

En este caso, se debe determinar el valor de la presión total producida en la tolva.

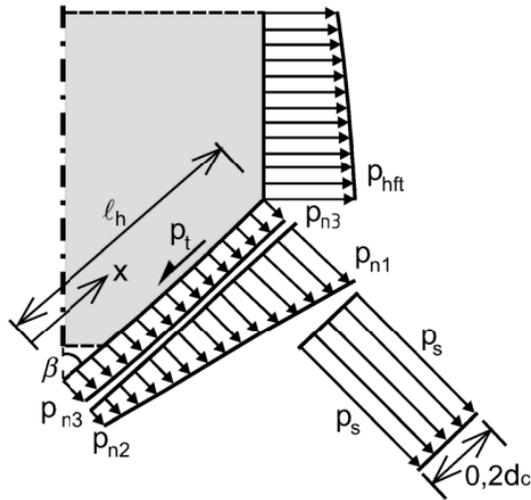


Figura 2.14 Cargas en la tolva [47]

Para el cálculo de la presión normal a la pared inclinada de la tolva, se debe emplear las ecuaciones 2.33 a 2.36.

$$p_n = p_{n3} + p_{n2} + (p_{n1} - p_{n2}) \frac{x}{l_h} \quad (2.33)$$

$$p_{n1} = p_{vft} \cdot (C_b \cdot \sin^2 \beta + \cos^2 \beta) \quad (2.34)$$

$$p_{n2} = p_{vft} \cdot C_b \cdot \sin^2 \beta \quad (2.35)$$

$$p_{n3} = 3.0 \cdot \frac{A}{U} \cdot \frac{\gamma \cdot K}{\sqrt{\mu_h}} \cdot \cos^2 \beta \quad (2.36)$$

Como resultado se obtiene:

$$p_{n1} = p_{vft} \cdot (C_b \cdot \sin^2 \beta + \cos^2 \beta)$$

$$p_{n1} = 1.68[\text{kPa}] \cdot (1.3 \cdot \sin^2 39 + \cos^2 39)$$

$$\mathbf{p_{n1} = 1.88 [\text{kPa}]}$$

$$p_{n2} = p_{vft} \cdot C_b \cdot \sin^2 \beta$$

$$p_{n2} = 1.68[\text{kPa}] \cdot 1.3 \cdot 0.40$$

$$\mathbf{p_{n2} = 0.87 [\text{kPa}]}$$

$$p_{n3} = 3.0 \cdot \frac{A}{U} \cdot \frac{\gamma \cdot K}{\sqrt{\mu_h}} \cdot \cos^2 \beta$$

$$p_{n3} = 3.0 \cdot 0.20 [\text{m}] \cdot \frac{7.63 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right] \cdot 0.47}{\sqrt{0.23}} \cdot \cos^2 39$$

$$\mathbf{p_{n3} = 2.69 [\text{kPa}]}$$

$$p_n = p_{n3} + p_{n2} + (p_{n1} - p_{n2})$$

$$p_n = 2.69 + 0.87 + (1.88 - 0.87) [\text{kPa}]$$

$$\mathbf{p_n = 4.57 [\text{kPa}]}$$

Espesor de tolva

En este caso, mediante la revisión técnica de un modelo de tolva que posee características similares, se establece que el espesor de la tolva diseñada va a ser igual a 5 milímetros.

$$\mathbf{t = 0.05 [\text{m}]} \quad (2.37)$$

Esfuerzos en tolva

Para el cálculo del esfuerzo a la tracción σ_t y el esfuerzo a la fluencia σ_f en la tolva, se emplean las ecuaciones 2.38 y 2.39 respectivamente.

$$\sigma_t = \frac{(P_{ho} + P_{wf}) \cdot d_c}{20 \cdot t} \quad (2.38)$$

$$\sigma_f = \frac{F_s \cdot P_n \cdot r}{100 \cdot t} \quad (2.39)$$

Donde:

P_{ho} : presión horizontal asintótica a gran profundidad debido al sólido disgregado.

P_{wf} : presión de tracción por rozamiento en la pared después del llenado.

d_c : diámetro interno de cilindro de tolva

F_s : factor de seguridad

P_n : presión normal a la pared de la tolva debida al sólido disgregado almacenado.

r : radio interno de cilindro de tolva

t : espesor de las paredes de la tolva

Como resultado se obtiene:

$$\sigma_t = \frac{(P_{ho} + P_{wf}) \cdot d_c}{20 \cdot t}$$

$$\sigma_t = \frac{(6.63[\text{kPa}] + 0.14[\text{kPa}]) \cdot (0.80[\text{m}])}{20 \cdot (0.05[\text{m}])}$$

$$\sigma_t = 54.16 [\text{kPa}]$$

$$\sigma_f = \frac{F_s \cdot P_n \cdot r}{100 \cdot t}$$

$$\sigma_f = \frac{1.7 \cdot 4.57[\text{kPa}] \cdot (0.40[\text{m}])}{100 \cdot (0.05[\text{m}])}$$

$$\sigma_f = 0.62 [\text{kPa}]$$

Propiedades del material de tolva

Para el diseño de tolva, se considera como material de las paredes de la tolva al polietileno de peso molecular ultraelevado. A continuación, en la Figura 2.15 se detallan las propiedades mecánicas de dicho material [49].

Tabla E-11 Propiedades mecánicas de algunos plásticos de ingeniería
 Datos de varias fuentes.* Valores aproximados. Consulte a los fabricantes de material para mayor información

Material	Módulo de elasticidad E aproximado		Resistencia última a la tensión		Resistencia última a la compresión		Elongación en 2 in	Temp. máx.	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	kpsi	MPa	kpsi	MPa	%	°F	
ABS	0.3	2.1	6.0	41.4	10.0	68.9	5 a 25	160–200	1.05
20–40% relleno de vidrio	0.6	4.1	10.0	68.9	12.0	82.7	3	200–230	1.30
Acetal	0.5	3.4	8.8	60.7	18.0	124.1	60	220	1.41
20–30% relleno de vidrio	1.0	6.9	10.0	68.9	18.0	124.1	7	185–220	1.56
Acrílico	0.4	2.8	10.0	68.9	15.0	103.4	5	140–190	1.18
Fluoroplástico (PTFE)	0.2	1.4	5.0	34.5	6.0	41.4	100	350–330	2.10
Nylon 6/6	0.2	1.4	10.0	68.9	10.0	68.9	60	180–300	1.14
Nylon 11	0.2	1.3	8.0	55.2	8.0	55.2	300	180–300	1.04
20–30% relleno de vidrio	0.4	2.5	12.8	88.3	12.8	88.3	4	250–340	1.26
Policarbonato	0.4	2.4	9.0	62.1	12.0	82.7	100	250	1.20
10–40% relleno de vidrio	1.0	6.9	17.0	117.2	17.0	117.2	2	275	1.35
Polietileno HMW	0.1	0.7	2.5	17.2	–	–	525	–	0.94
Óxido de polifenileno	0.4	2.4	9.6	66.2	16.4	113.1	20	212	1.06
20–30% relleno de vidrio	1.1	7.8	15.5	106.9	17.5	120.7	5	260	1.23
Polipropileno	0.2	1.4	5.0	34.5	7.0	48.3	500	250–320	0.90
20–30% relleno de vidrio	0.7	4.8	7.5	51.7	6.2	42.7	2	300–320	1.10
Poliestireno de impacto	0.3	2.1	4.0	27.6	6.0	41.4	2 a 80	140–175	1.07
20–30% relleno de vidrio	0.1	0.7	12.0	82.7	16.0	110.3	1	180–200	1.25
Polisulfuro	0.4	2.5	10.2	70.3	13.9	95.8	50	300–345	1.24

Figura 2.15 Propiedades mecánicas de materiales plásticos de ingeniería [49]

b. Sistema dosificador

El tornillo dosificador cumple la función de proporcionar el flujo másico al mecanismo aspersor a partir de la cantidad almacenada en la tolva. En este proyecto la activación del mecanismo se efectuará al detectarse el *click* de la post larva, el beneficiario solicitó un tiempo de activación del alimentador de 10 segundos estimando un promedio de 200 raciones por día utilizando 3 alimentadores por piscina.

Mediante un experimento se determinó la densidad del pellet del alimento, con una masa 0.175 kg (6 oz) y un volumen de 225 ml ($225 \times 10^{-6} \text{ m}^3$). Empleando la ecuación 2.40, se estima una densidad de 777.78 kg/m^3 (48.49 lb/ft^3).

$$\rho_{bl} = \frac{m_{bl}}{V_{ev}} \quad (2.40)$$

Siendo:

m_{bl} : masa de balanceado [kg]

V_{ev} : volumen de envase [m^3]

Como resultado se obtiene:

$$\rho_{bl} = \frac{m_{bl}}{V_{ev}}$$
$$\rho_{bl} = \frac{0.175 \text{ [kg]}}{0.000225 \text{ [m}^3\text{]}}$$
$$\rho_{bl} = 777.78 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] = 22041.20 \left[\frac{\text{g}}{\text{ft}^3} \right] = 48.49 \left[\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \right]$$

A continuación, en la Figura 2.16 se detalla el procedimiento que se llevó a cabo para obtener la densidad del material disgregado (balanceado).



Figura 2.16 Experimento para calcular la densidad del balanceado. Volumen (izquierda) y masa (derecha)

Para calcular la cantidad de alimento a acumular en el tornillo dosificador se realiza un proceso iterativo para conocer la capacidad de carga requerida en unidades de ft^3/h necesarios en el tornillo y se asume una cantidad de RPM inicial. Para obtener el resultado requerido, se utiliza la ecuación 2.41, la cual fue extraída del manual de Manejo de Materiales de Martin [50].

$$N = \frac{C}{\frac{\text{ft}^3}{\text{h}} @ 1\text{RPM}} \quad (2.41)$$

Donde:

N: Revoluciones del helicoidal por minuto

C: Capacidad requerida en ft^3/h

ft^3/h @ 1 RPM se encuentran establecidos en la Tabla 1-6 de Martin bajo una carga de artesa de 45%.

Como resultado se obtiene:

$$N = \frac{C}{\frac{\text{ft}^3}{\text{h}} @ 1\text{RPM}}$$

$$C = \left(\frac{\text{ft}^3}{\text{h}} @ 1\text{RPM} \right) \cdot N$$

$$C = \left(2.23 \left[\frac{\text{ft}^3}{\text{h} \cdot \text{RPM}} \right] \right) \cdot 5[\text{RPM}]$$

$$C = 22.30 \left[\frac{\text{ft}^3}{\text{h}} \right] = 0.0031 \left[\frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \right]$$

Una vez obtenida la capacidad requerida en $\frac{\text{ft}^3}{\text{h}}$, se procede a obtener el flujo másico, haciendo uso de la ecuación 2.42.

$$\dot{m} = \rho_{bl} \cdot C \quad (2.42)$$

Donde:

\dot{m} : flujo másico de balanceado

ρ_{bl} : densidad del balanceado $\left[\frac{\text{gr}}{\text{ft}^3} \right]$

C: capacidad requerida $\left[\frac{\text{ft}^3}{\text{h}} \right]$

Como resultado se obtiene:

$$\dot{m} = \rho_{bl} \cdot C$$

$$\dot{m} = 22041.20 \left[\frac{\text{g}}{\text{ft}^3} \right] \cdot 0.0031 \left[\frac{\text{ft}^3}{\text{s}} \right]$$

$$\dot{m} = 68.27 \left[\frac{\text{g}}{\text{s}} \right] = 0.07 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

A continuación, en la Tabla 2.14 se presentan los resultados de las estimaciones de la cantidad de alimento en el tornillo dosificador.

Tabla 2.14 Estimaciones de la cantidad de alimento en el tornillo dosificador

Tiempo de activación	10	[s]
Flujo másico en ese tiempo de 1 alimentador	0.70	[kg]
Raciones por día de cada alimentador	66	raciones tentativas
Cantidad estimada esparcida en un día por un alimentador	46.20	[kg]

Potencia para mover el transportador vacío (HP_f)

Como se utilizó una carga de artesa de 45% y un diámetro helicoidal de 6 pulgadas, se decidió utilizar una longitud de 14 cm (0.45 ft). Para el cálculo de la potencia para mover el transportador vacío, se emplea la ecuación 2.43.

$$HP_f = \frac{L \cdot F_d \cdot F_b \cdot N}{1000000} \quad (2.43)$$

Siendo:

L: Longitud total del transportador [ft]

F_d: Factor del diámetro del transportador

F_b: Factor de buje del colgante

N: Revoluciones por minuto [RPM]

Como resultado se obtiene:

$$HP_f = \frac{L \cdot F_d \cdot F_b \cdot N}{1000000}$$

$$HP_f = \frac{0.459 \cdot 18 \cdot 1 \cdot 5}{1000000}$$

$$HP_f = 4.13 \times 10^{-5} \text{ [HP]} = 0.03 \text{ [W]}$$

Potencia para mover el material (HP_m)

Para calcular la potencia requerida para mover el material (HP_m), se hace uso de la ecuación 2.44.

$$HP_m = \frac{L \cdot C \cdot W \cdot F_f \cdot F_m \cdot F_p}{1000000} \quad (2.44)$$

Siendo:

L: Longitud total del transportador [ft]

C: Capacidad en ft³/h

W: Densidad en lb/ ft³

F_f: Factor del helicoidal

F_m: Factor de material

F_p: Factor de paletas

Como resultado se obtiene:

$$HP_m = \frac{L \cdot C \cdot W \cdot F_f \cdot F_m \cdot F_p}{1000000}$$

$$HP_m = \frac{0.459 \cdot 11.15 \cdot 48.49 \cdot 1 \cdot 0.50 \cdot 3}{1000000}$$

$$\mathbf{HP_m} = 12.40 \times 10^{-5} [\text{HP}] = 0.09[\text{W}]$$

Potencia Total ($\mathbf{HP_{TOTAL}}$)

Para calcular la potencia total ($\mathbf{HP_{TOTAL}}$), se utiliza la ecuación 2.45.

$$\mathbf{HP_{TOTAL}} = \frac{(\mathbf{HP_f} + \mathbf{HP_m}) \cdot \mathbf{F_o}}{e} \quad (2.45)$$

Donde:

$\mathbf{HP_f}$: Potencia para mover el transportador vacío

$\mathbf{HP_m}$: Potencia para mover el material

$\mathbf{F_o}$: Factor de sobrecarga

e : Eficiencia de la transmisión

Como resultado se obtiene:

$$\mathbf{HP_{TOTAL}} = \frac{(\mathbf{HP_f} + \mathbf{HP_m}) \cdot \mathbf{F_o}}{e}$$

$$\mathbf{HP_{TOTAL}} = \frac{(4.13 \times 10^{-5} + 12.40 \times 10^{-5}) \cdot 3}{0.95}$$

$$\mathbf{HP_{TOTAL}} = 52.20 \times 10^{-5} [\text{HP}] = 0.39 [\text{W}]$$

Torque

Una vez obtenida la potencia total requerida por el sistema, se procede con el cálculo del torque que se genera. En este caso, se emplea la ecuación 2.46.

$$\mathbf{T} = \frac{\mathbf{HP_{TOTAL}} \cdot 63025}{\mathbf{RPM}} \quad (2.46)$$

Donde:

HP_{TOTAL}: Potencia total [HP]

RPM: Velocidad angular [RPM]

Como resultado se obtiene:

$$T = \frac{HP_{TOTAL} \cdot 63025}{RPM} \text{ [lb} \cdot \text{in]}$$

$$T = \frac{52.20 \times 10^{-5} * 63025}{5} \text{ [lb} \cdot \text{in]}$$

$$T = 6.59 \text{ [lb} \cdot \text{in]} = 0.74 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

Tomando en cuenta que la potencia y el torque a utilizar son cantidades pequeñas, se decidió implementar un tornillo dosificador con paso de 20 milímetros (0.79 pulgadas), un diámetro helicoidal de 152.40 milímetros (6 pulgadas), medidas similares consideradas de un kit dosificador presente en el mercado local.

Motor de paso

Un motor de paso es un motor eléctrico que destaca por ejercer su movimiento en *pasos*, que es la cantidad de grados desplazados por la rotación de su eje [51]. Debido a esta característica, cuenta con una variedad de aplicaciones y funcionan con corriente continua, además de ser programables. La Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA por sus siglas en inglés) fabrica cada motor según el grado de precisión, torque, voltaje y otras características requeridas [52].



Figura 2.17 Tipos de motores de paso [52]

c. Estructura metálica

La tolva, los motores, el panel fotovoltaico, caja de control y demás elementos que conforman el alimentador automático necesitan ser apoyados y ensamblados en una estructura capaz de soportar la carga generada por estos componentes.

Se utilizó un catálogo de aceros normados para la selección de la estructura presentada, utilizando específicamente un perfil tubular cuadrado de acero inoxidable 304 con dimensiones 40x40 mm con 2 mm de espesor.



Figura 2.18 Arreglo de perfiles de acero 304 (40x40xe2mm)

Para sostener la tolva, al chasis se le añadió una estructura circular sobre los tubos verticales, esta cuenta con un espesor de 3 [mm].



Figura 2.19 Ensamble de soporte para tolva

d. Sistema de flotación

Los flotadores son los componentes encargados de evitar el hundimiento del alimentador automático. Se encuentran manufacturados a partir de Polietileno de alta densidad y por dentro se encuentran llenos de litros de aire. A continuación, en la Figura 2.20 se presenta un flotador del sistema.

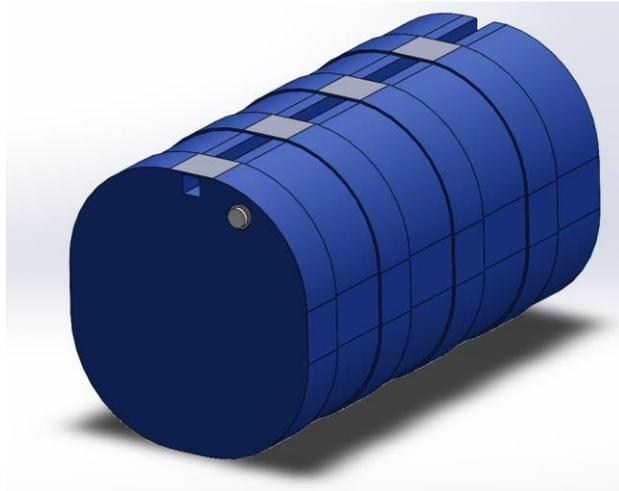


Figura 2.20 Flotador (vista periférica)

Se conoce que todo cuerpo flotante percibe una fuerza de empuje contraria al peso ejercido, por lo que se plantea un diagrama de cuerpo libre (DCL) de la siguiente manera.

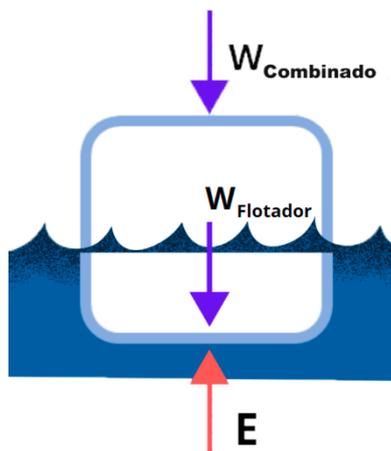


Figura 2.21 Diagrama de cuerpo libre de flotador.
Fuente: Autores

Donde:

$W_{\text{combinado}}$: Peso de la estructura ($W_{\text{estructura}}$) + Peso del balanceado ($W_{\text{balanceado}}$)

W_{flotador} : Peso del flotador

E: Fuerza de empuje sobre el flotador

Se asume que las fuerzas en el eje X son despreciables, por lo tanto:

$$\sum F_x = 0 \quad (2.47)$$

En base al DCL del flotador, para el cálculo de la fuerza de empuje, se va a estimar el cálculo de fuerzas en el eje Y. En este caso, se tienen los siguientes datos:

La masa del balanceado es 125 kg.

La masa de la estructura es alrededor de 48 Kg.

La masa del flotador es alrededor de 23 kg

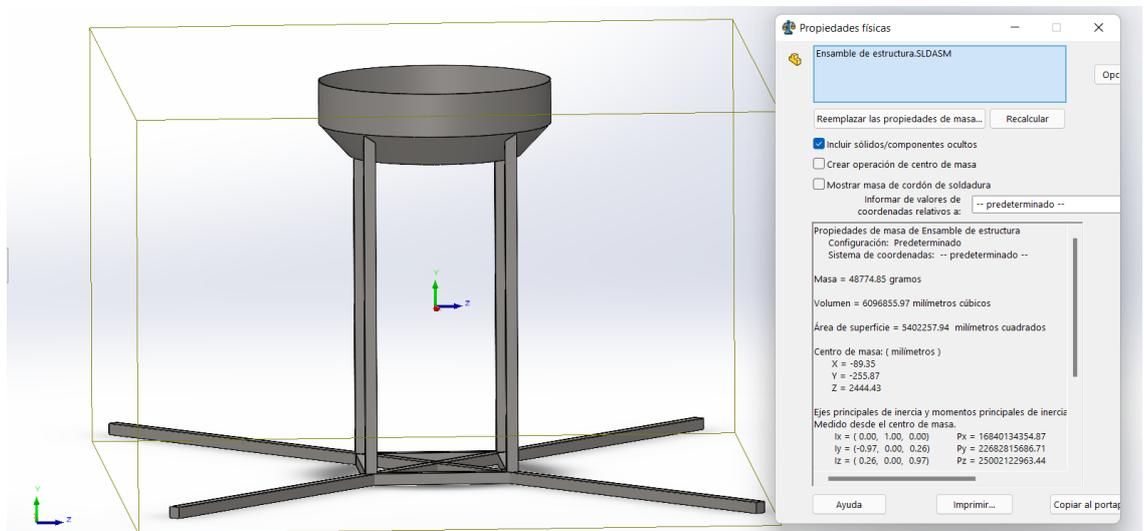


Figura 2.22 Propiedades físicas de la estructura obtenidas por software de ingeniería

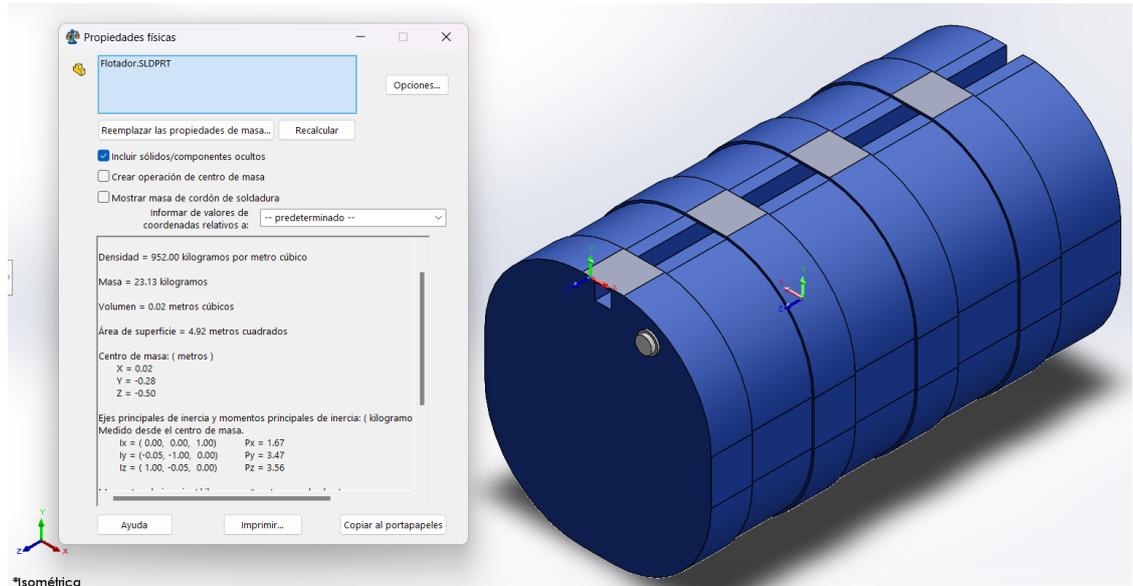


Figura 2.23 Propiedades físicas de flotador obtenidas por software de ingeniería

Con los datos obtenidos, se procede a calcular la fuerza de empuje del flotador empleando la ecuación 2.48.

$$\sum F_y = 0 \quad (2.48)$$

Como resultado se obtiene:

$$\sum F_y = 0$$

$$W_{\text{combinado}} + W_{\text{flotador}} - E = 0$$

$$(W_{\text{estructura}} + W_{\text{balanceado}}) + 4 * W_{\text{flotador}} - 4E = 0$$

$$\left[(48[\text{kg}] + 125[\text{kg}]) \cdot 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \right] + 4 * \left(23[\text{kg}] * 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \right) - 4E = 0$$

$$E = 649.91 [\text{N}]$$

La fuerza de empuje se calcula mediante la siguiente ecuación 2.49:

$$E = \gamma_{\text{agua}} \cdot V_{\text{desplazado}} \quad (2.49)$$

Donde:

γ_{agua} : peso específico del agua

$V_{\text{desplazado}}$: volumen desplazado del flotador

Para calcular el peso específico del agua, se emplea la ecuación 2.50.

$$\gamma_{\text{agua}} = \rho_{\text{agua}} \cdot g \quad (2.50)$$

Donde:

ρ_{agua} : densidad del agua $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$

g : gravedad $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$

Con el valor del peso específico del agua y la fuerza de empuje, se procede a calcular el volumen desplazado del flotador, utilizando la ecuación 2.49. Como resultado se obtiene lo siguiente:

$$\gamma_{\text{agua}} = \rho_{\text{agua}} \cdot g$$

$$\gamma_{\text{agua}} = 998 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right] \cdot 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$$

$$\gamma_{\text{agua}} = 9780 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^3}\right]$$

$$E = \gamma_{\text{agua}} \cdot V_{\text{desplazado}}$$

$$649.91 \text{ [N]} = 9780 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right] \cdot V_{\text{desplazado}}$$

$$V_{\text{desplazado}} = 0.07 \text{ [m}^3\text{]}$$

El volumen desplazado ayudara a conocer el área de que se encuentra sumergida en el agua del flotador, mediante el uso de la ecuación 2.51.

$$V_{\text{desplazado}} = A_{\text{desplazada}} \cdot L_{\text{flotador}} \quad (2.51)$$

Donde:

$A_{\text{desplazada}}$: área de la sección transversal del flotador desplazada [m²]

L_{flotador} : longitud del flotador [m]

Como resultado se obtiene:

$$V_{\text{desplazado}} = A_{\text{desplazada}} \cdot L_{\text{flotador}}$$

$$0.07 \text{ [m}^3\text{]} = A_{\text{desplazada}} \cdot 1 \text{ [m]}$$

$$A_{\text{desplazada}} = 0.07 \text{ [m}^2\text{]}$$

El área total transversal del flotador equivale a 0.27 m², cuyo valor fue calculado a través de software de ingeniería, como se observa en la Figura 2.24.

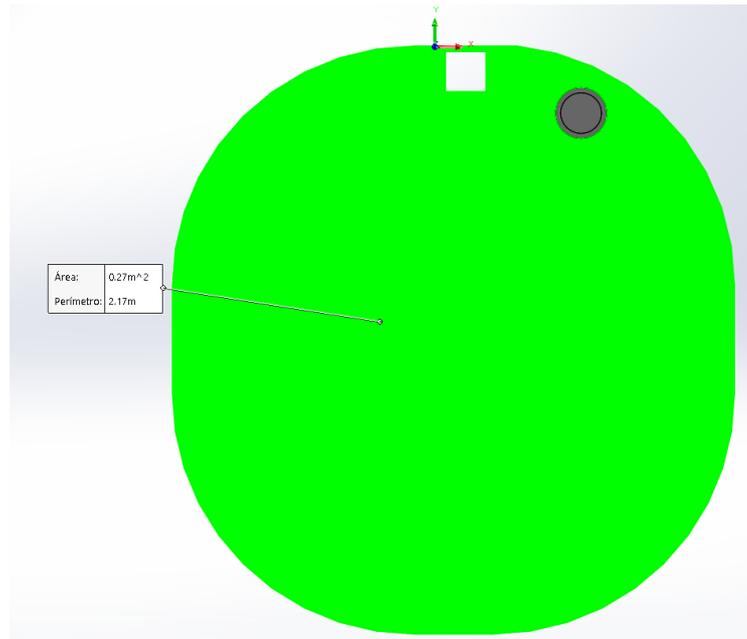


Figura 2.24 Área de la sección transversal del flotador

Con el valor del área de la sección transversal y el área desplazada del flotador, se procede a calcular el área no desplazada, mediante el uso de la ecuación 2.52. Con el resultado obtenido, se determina si el diseño del sistema de flotación es funcional.

$$A_{\text{total}} = A_{\text{desplazada}} + A_{\text{no desplazada}} \quad (2.52)$$

Como resultado se obtiene:

$$A_{\text{total}} = A_{\text{desplazada}} + A_{\text{no desplazada}}$$

$$0.27 = 0.07 + A_{\text{no desplazada}}$$

$$A_{\text{no desplazada}} = 0.20 \text{ [m}^2\text{]}$$

El flotador no se hunde y presenta un área de 0.20 m² que se mantiene por encima del nivel agua.

e. Sistema de dispersión

El sistema de dispersión se encuentra en la parte inferior del mecanismo de distribución del balanceado y se conforma por una paleta giratoria, un eje con acople y un motor de paso, como se observa en la Figura 2.25.

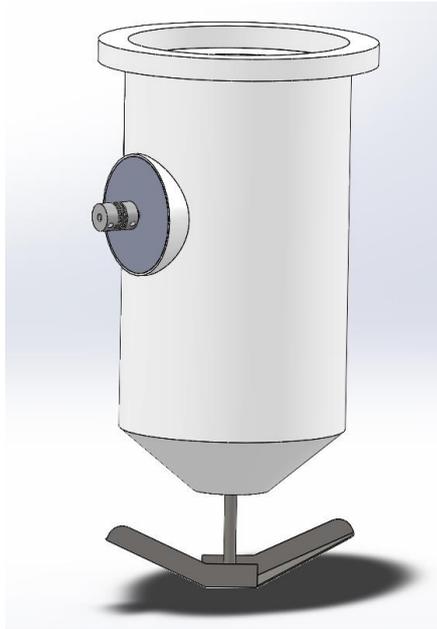


Figura 2.25 Sistema de dosificación y dispersión de alimento

Se estima que el alimentador alcance un rango de dispersión del alimento de aproximadamente de 12 metros, por lo tanto, se espera tener una velocidad tangencial de 12 m/s. Con los datos antes mencionados, se sigue con el cálculo de la velocidad angular del dispersor, haciendo uso de la ecuación 2.53.

$$V_{\text{tangencial dispersor}} = \omega_d \cdot \frac{d_d}{2} \quad (2.53)$$

Donde:

ω_d : velocidad angular de dispersor

d_d : diámetro de dispersor

Como resultado se obtiene:

$$V_{\text{tangencial dispersor}} = \omega_d \cdot \frac{d_d}{2}$$

$$\omega_d = \frac{V_{\text{tangencial dispersor}}}{\frac{d_d}{2}}$$

$$\omega_d = \frac{12 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]}{\frac{0.035}{2} [\text{m}]}$$

$$\omega_d = 685.71 \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

$$\omega_d \approx 6500 [\text{RPM}]$$

2.9 Diseño electrónico del sistema

I. Partes del sistema de instrumentación

El funcionamiento del sistema de instrumentación se explica mediante el siguiente diagrama de bloques que se observa en la Figura 2.26.



Figura 2.26 Diagrama de bloques de sistema de instrumentación

a. Señal de entrada

Como primer punto, se recepta una señal analógica continua. El ruido del camarón es denominado “*click*”, que se produce cuando el crustáceo tiene hambre y por lo general, estos ruidos son emitidos con un rango de frecuencia alta de 48 kHz y baja de 5 kHz, con una duración de 2.48 milisegundos alcanzando niveles de ruido entre 85 a 95 dB [53].

b. Hidrófono

Es el transductor encargado de receptar la señal emitida por el camarón. Este sensor también es conocido como *sensor de acústica pasiva*.

En este proyecto se propone utilizar el sensor RESON TC4013, el cual es un hidrófono referencial miniatura [54], como se observa en la Figura 2.27.



Figura 2.27 Sensor TC4013 [54]

A continuación, en la Tabla 2.15 se presentan algunas características de este dispositivo.

Tabla 2.15 Ficha técnica de RESON TC4013 [54]

Especificaciones técnicas	
Rango de frecuencia	1 [Hz] a 170 [kHz]
Sensitividad de recepción	-211 ± 3 [dB] @ 1 [V/μPa]
Rango de temperatura de funcionamiento	-2 [°C] hasta 80 [°C]
Peso	75 [g]
Longitud de cable	6 [m]
Resistencia al agua	Sí
Profundidad de operación	700 [m]
Profundidad máxima	1000 [m]

c. Acondicionamiento de señal

Eliminación de ruido

En esta etapa se debe realizar el acondicionamiento de la señal, eliminando el ruido externo a la señal emitida por el camarón, que puede ser provocado por el sistema de aireación o de otros animales.

Amplificación

Suponiendo que el camarón emite una señal en milivoltios [mV], esta debe ser amplificada al rango de Voltios [V], para poder ser trabajada en el dispositivo de conversión analógico/digital.

d. Conversión Analógico/Digital

Es la parte del proceso encargado de la conversión de la señal analógica captada desde el crustáceo en una digital, después de ser acondicionada se puede usar para la activación y control de actuadores como motores de paso o servomotores encargados de dosificar y esparcir el alimento del camarón.

II. Diagrama de procesamiento de la señal del camarón

A continuación, en la Figura 2.28 se presenta el diagrama del procesamiento de la señal del camarón.



Figura 2.28 Procesamiento de señal. Fuente: Autores

2.10 Diseño de sistema de energía renovable

El sistema de energía renovable se compone de un panel fotovoltaico, un regulador de carga y una batería. A continuación, en la Tabla 2.16 se presenta a detalle el consumo y el tiempo de funcionamiento de cada uno de los componentes del sistema electrónico.

Tabla 2.16 Consumo de energía de cada uno de los componentes electrónicos

Dispositivo	N°	Potencia [W]	Tiempo de activación [hora]	Potencia consumida en una ración [Wh]	Número de raciones estimadas por día	Energía consumida por día [Wh/d]
Arduino UNO	1	0.24	2.77×10 ⁻³	6.65×10 ⁻⁴	66	0.04
Motor de paso NEMA 23	1	14		0.04		2.56
Motor DC 12V M1125	1	48		0.13		8.58
			Potencia total en una ración	0.17	Potencia total en un día	11.18

Si se escoge utilizar una batería de 12 V, se puede calcular la corriente por hora consumida a partir de la ley de potencia eléctrica, utilizando la ecuación 2.54.

$$P = V \times I \quad (2.54)$$

Siendo:

P: Potencia [Wh/d]

V: Voltaje [V]

I: Corriente [A]

Como resultado se obtiene:

$$P = V \times I$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{11.18 \left[\frac{\text{Wh}}{\text{d}} \right]}{12 [\text{V}]}$$

$$I = 0.93 \left[\frac{\text{Ah}}{\text{d}} \right]$$

De acuerdo con el resultado, se van a consumir un total de 11.18 Wh/d a 0.93 Ah/d. Se entiende como un consumo relativamente bajo, si se considera que se activa por 10 segundos en 66 raciones diarias tentativas, es decir 11 minutos (0.18 hora) en un día.

Cálculo de baterías a utilizar

Se estima que el equipo trabaje con 2 días de autonomía. La potencia consumida estimada del alimentador automático es 11.18 Wh en un día. La capacidad de la batería se lee en amperio-hora. Por lo que se debe dividir la potencia consumida por el alimentador por el voltaje de la batería. Se aplica la siguiente ecuación 2.55.

$$C_{\text{bateria}} = \frac{P_{\text{Consumida}} \cdot F_c \cdot D_{\text{operación}}}{P_{\text{descarga}} \cdot V_{\text{Bateria}}} \quad (2.54)$$

Donde:

$P_{\text{consumida}}$: Potencia consumida por el alimentador automático en Wh

F_c : Factor de corrección

$D_{\text{operación}}$: Días de autonomía

P_{Descarga} : Profundidad de descarga

V_{Bateria} : Voltaje de batería

Si se utiliza una batería de plomo-ácido, se estima una profundidad de descarga de 50% (0.5) con un factor de corrección de 1.2, con lo que se obtiene:

$$C_{\text{bateria}} = \frac{11.8 \text{ [Wh]} \cdot 1.8 \cdot 2}{0.5 \cdot 12 \text{ [V]}}$$

$$C_{\text{bateria}} = 7.08 \text{ [Ah]}$$

Es decir, se necesita una batería con una capacidad mínima de 7.08 Ah. Por lo que el modelo seleccionado, es una batería de 12 V LiFePo4 12.8 V 30Ah y se encuentra en la capacidad de abastecer hasta 8 días.

a. Panel solar

Es el elemento encargado de recolectar la energía solar, a través de una serie de paneles fotovoltaicos y dirigirla hacia la batería, por medio de un regulador de carga [55]. A continuación, en la Figura 2.29 se observa un modelo de panel solar.



Figura 2.29 Panel solar Modelo GP-050P-36, 12V 50W [55]

A continuación, en la Tabla 2.17 se presentan las especificaciones del panel solar.

Tabla 2.17 Ficha técnica de panel solar [55]

Módulo Policristalino GP-050P-36	
Material	Silicio Policristalino
N° de células	36
Medidas	540 x 670 x 25 [mm]
Peso	3.80 [kg]
Potencia Máxima (P_{MAX})	50 [W]
Intensidad de cortocircuito (I_{sc})	2.90 [A]
Intensidad de Punto máximo Potencia (I_{MPP})	2.73 [A]

Para conocer el número de paneles solares que se va a requerir para el funcionamiento del sistema alimentador automático, se utiliza la ecuación 2.56.

$$N_p = \frac{L_{\text{MesCrítico}}}{P_{\text{pico}} \cdot HPS_{\text{crítica}} \cdot F_s} \quad (2.56)$$

Donde:

N_p : Número de paneles

$L_{\text{MesCrítico}}$: Consumo total durante el mes crítico

P_{PICO} : Potencia pico del panel solar

$HPS_{\text{CRÍTICO}}$: Es el índice de irradiación global por día en el ángulo de máximo aprovechamiento (4°)

F_s : Factor de seguridad (0.65-0.90)

Como resultado se obtiene:

$$N_p = \frac{L_{\text{MesCritico}}}{P_{\text{pico}} \cdot HPS_{\text{critica}} \cdot F_s}$$
$$N_p = \frac{11.18 \left[\frac{\text{Wh}}{\text{d}} \right]}{50[\text{W}] \cdot 3914 \left[\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}} \right] \cdot 0.75}$$

$$N_p = 7.62 \times 10^{-5} = 1$$

De acuerdo con el resultado obtenido, se necesitará únicamente 1 panel solar para cubrir las necesidades energéticas del sistema alimentador automático. En este caso, se va a implementar el panel solar Gi-Power Modelo GP-050P-36, 12V con una potencia nominal de 50W.

b. Regulador de carga tipo PWM

Es el elemento encargado de controlar la carga proveniente de los paneles solares, funcionan como interruptores cuya tarea radica en conseguir que el módulo fotovoltaico trabaje a la misma tensión de la batería.

Para seleccionar el regulador adecuado se debe conocer dos parámetros, corriente de carga que ingresa y corriente de salida, mediante la implementación de la ecuación 2.57.

$$I_{\text{in}} = 1,25 \cdot I_{\text{sc}} \cdot N_{\text{ramales}} \quad (2.57)$$

Donde:

I_{sc} : Es la intensidad de cortocircuito del módulo solar

N_{ramales} : Es el número de módulos solares.

Como resultado se obtiene:

$$I_{in} = 1.25 \cdot 2.90 \cdot 1$$

$$I_{in} = 3.62 \text{ [A]}$$

Para la corriente de salida, se utiliza la ecuación 2.58:

$$I_{out} = 1.25 \cdot \frac{P_{DC}}{V_{BATERIA}} \quad (2.58)$$

Como resultado se obtiene:

$$I_{out} = 1.25 \cdot \frac{50 \text{ [W]}}{12 \text{ [V]}}$$

$$I_{out} = 5.20 \text{ [A]}$$

Se selecciona el regulador de carga SOLAR CHARGE CONTROLLER PWM 10A Modelo YJSS10 [56]. A continuación, en la Figura 2.30 se presenta el modelo de regulador de carga.



Figura 2.30 Regulador de carga, modelo YJSS10 [56]

A continuación, en la Tabla 2.18 se presentan ciertas características del regulador de carga.

Tabla 2.18 Ficha técnica de regulador de carga, modelo YJSS10 [56]

Modelo	YJSS10
Voltaje	12/24 [V]
Corriente de carga	10 [A]
Corriente de descarga	10 [A]
Voltaje máximo solar	12 [V] – 23 [V]
Salidas USB	2 USB a 5V/2A
Dimensiones	133 * 70 * 35 [mm]
Peso	160 [g]

c. Batería

Es el elemento encargado de almacenar la energía química y suministrar energía eléctrica al sistema, además proporciona corriente adicional cuando el sistema de carga no puede satisfacer la demanda de energía y ayuda a regularizar el voltaje del sistema. En este caso, se va a implementar una batería de litio, debido a que, este tipo de batería es recargable y puede almacenar más energía en un espacio físico determinado que otro tipo de baterías. A continuación, en la Figura 2.31 se presenta un modelo de batería de 12 V LiFePo4 12.8 V 30Ah [57].



Figura 2.31 Batería de 12 V LiFePo4 12.8 V 30Ah [57]

2.11 Metodología de simulación

El análisis de elementos finitos es un procedimiento en el cual se emplean cálculos matemáticos, modelos y simulaciones, con la finalidad de comprender, analizar y predecir el comportamiento mecánico de un sistema físico, objeto, pieza, ensamblaje o estructura en diversas condiciones físicas [58]. La simulación estructural se lleva a cabo a través de la discretización de la geometría en un software especializado y permite detectar problemas de diseño y optimizar componentes, acelerando así la fase de diseño del producto [59]. Los posibles problemas de diseño pueden implicar la identificación de piezas sobrecalentadas, puntos débiles o áreas de tensión. A continuación, en la Figura 2.32, se observa el diagrama de flujo de la simulación de elementos finitos.

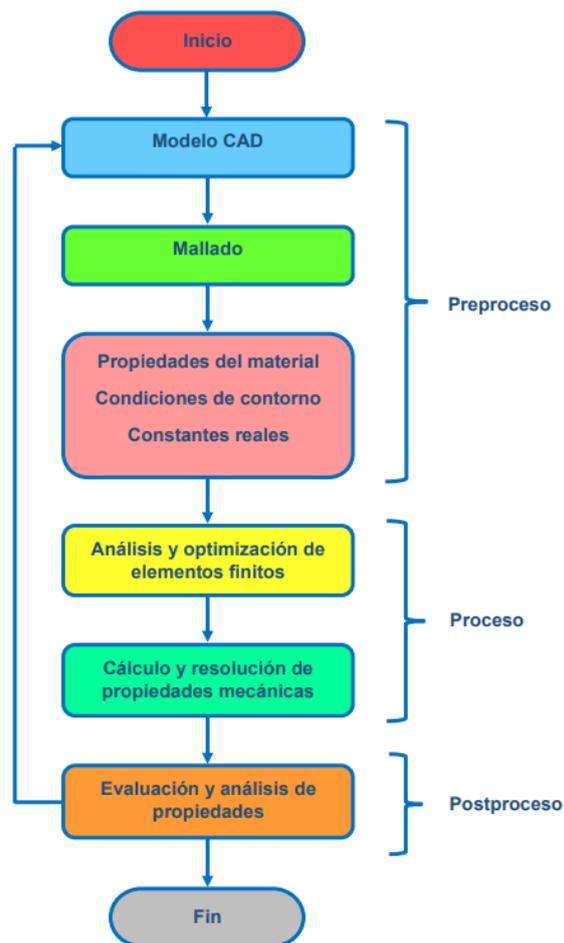


Figura 2.32 Diagrama de flujo de simulación de elementos finitos [59]

El flujo de trabajo del análisis de elementos finitos incluye los siguientes pasos:

1. **Crear una geometría:** definir la geometría de una estructura u objeto.
2. **Preproceso:**
 - **Mallado:** producir una estructura de malla en base a la geometría de la estructura.
 - **Condiciones de contorno:** designar condiciones iniciales, de carga y de contorno para la estructura.
3. **Proceso:**
 - **Análisis numérico:** realizar análisis numérico de elementos de malla más pequeños.
4. **Postproceso:**
 - **Resultados posteriores al proceso:** organizar e ilustrar los resultados para una interpretación eficaz [60].

A continuación, en la Figura 2.33 se muestra la simulación de un elemento estructural.

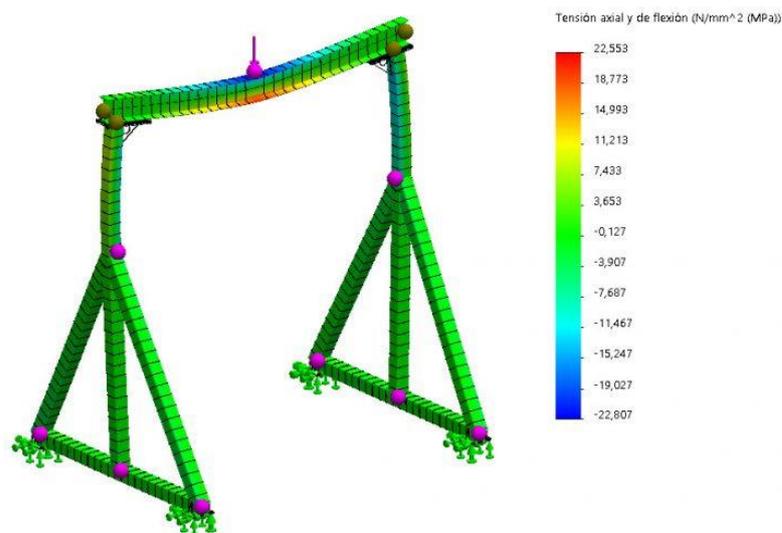


Figura 2.33 Simulación estructural [59]

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El presente capítulo tiene como propósito presentar los resultados de la simulación del diseño 3D del prototipo sistema alimentador automático, así como también, el respectivo análisis de los mismos. Adicionalmente, se detallan los costos y materiales para la construcción del prototipo, así como, una comparación con modelos de alimentadores automáticos de camarón disponibles en el mercado ecuatoriano.

3.1 Resultados del método de alimentación viable

Se escoge el método de alimentación automática por acústica pasiva, debido que destaca la aplicación de un sensor hidrófono encargado de detectar el sonido de *clic* producido por el camarón cuando tiene hambre. En los estudios mencionados en el primer capítulo, se habla de una mayor biomasa final por piscina y una uniformidad de tamaño superior a los obtenidos con alimentación al boleó y por timer. Los beneficios de la alimentación acústica por hidrófono se encuentran en los cortos tiempos de dispersión del alimento al crustáceo, ocasionando que el animal se alimente lo necesario y existan menos restos de balanceado en el suelo de la piscina, que es un factor contaminante de la calidad de agua. Las desventajas de la aplicación del sensor hidrófono radican en las falsas alertas de hambre, que pueden ser ocasionadas por ruidos ajenos al crustáceo como maquinarias u otros peces.

3.2 Resultados del diseño de componentes mecánicos

Tolva

El diseño de la tolva se realizó en base a la norma europea UNE- EN 1991-4:2011 para silos y depósitos [47], la cual brinda los fundamentos teóricos para el diseño y dimensionamiento de los silos para almacenamiento de sólidos granulares y líquidos. A continuación, en la Figura 3.1 se observan los parámetros de diseño de la tolva y en la Tabla 3.1 se detallan los valores de cada parámetro.

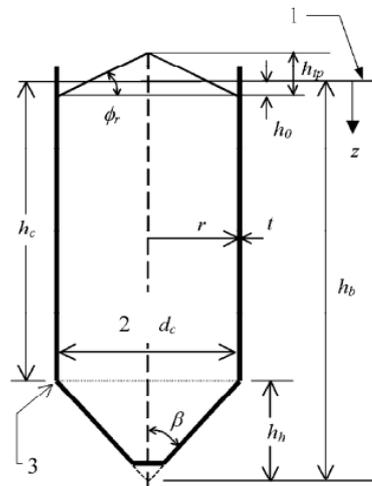


Figura 3.1 Parámetros de diseño de tolva [47]

Tabla 3.1 Parámetros de diseño de tolva

Parámetro	Valor
ϕ_r	29 [°]
h_{tp}	0.22 [m]
h_o	0.07 [m]
d_c	0.80 [m]
r	0.40 [m]
h_c	0.17 [m]

β	39 [°]
h_h	0.34 [m]
h_b	0.51 [m]

Con los parámetros de diseño de la tolva anteriormente obtenidos, se determinó la esbeltez, dando como resultado un silo poco esbelto. De acuerdo con la norma europea, para silos pocos esbeltos las cargas de descarga son iguales a las cargas de llenado sobre las paredes verticales. A continuación, en la Figura 3.2, se observan las cargas de llenado en las paredes verticales de la tolva y en la Tabla 3.2, se presentan los resultados de dichas cargas.

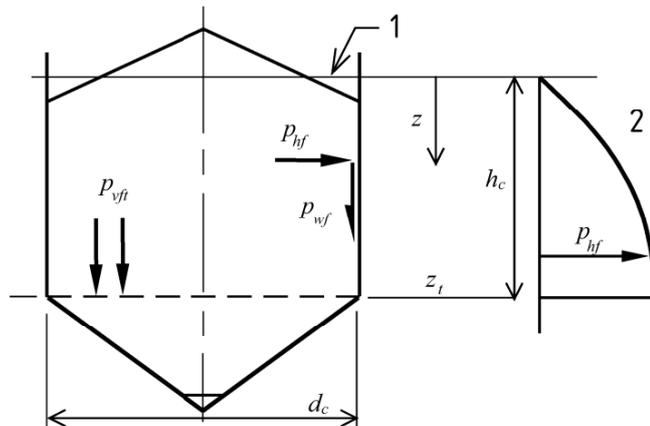


Figura 3.2 Presiones simétricas en el llenado [47]

Tabla 3.2 Cargas de llenado y descarga en paredes verticales de tolva

Parámetro	Descripción	Valor
p_{hf}	Presión horizontal después del llenado	0.60 [kPa]
p_{wf}	Presión de tracción por rozamiento después de llenado	0.14 [kPa]
p_{he}	Presión horizontal durante la descarga	0.60 [kPa]
p_{we}	Presión de tracción por rozamiento durante la descarga	0.14 [kPa]
p_{vft}	Presión vertical media en la transición (llenado)	1.68 [kPa]

En base a los criterios de la norma europea, se especificó que la tolva es aplanada, por lo que es necesario el cálculo de la distribución de las presiones en el llenado y descarga sobre la tolva. En la Figura 3.3, se observa la distribución de las presiones y los resultados se detallan en la Tabla 3.3.

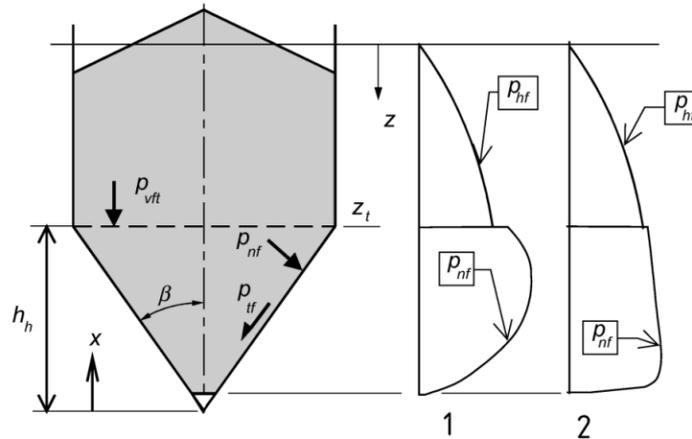


Figura 3.3 Distribución de presiones de llenado sobre tolva aplanada [47]

Tabla 3.3 Distribución de presiones de llenado sobre tolva aplanada

Parámetro	Descripción	Valor
p_{nf}	Presión normal en pared horizontal después de llenado en la tolva	1.95 [kPa]
p_{tf}	Presión de tracción por rozamiento en la tolva después de llenado	0.64 [kPa]

Posterior al cálculo de la distribución de las presiones en la pared vertical, se calcularon las cargas en la tolva. En la Figura 3.4, se observan las cargas en las paredes de la tolva y los resultados se presentan en la Tabla 3.4.

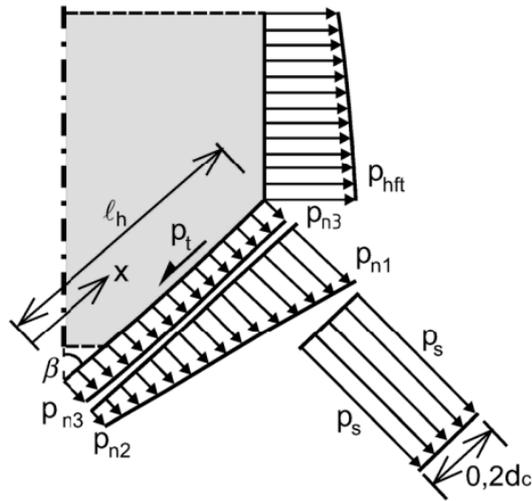


Figura 3.4 Cargas en la tolva [47]

Tabla 3 4 Resultados de cargas en la tolva

Parámetro	Valor
p_{n1}	1.88 [kPa]
p_{n2}	0.87 [kPa]
p_{n3}	2.69 [kPa]
p_n	4.57 [kPa]

Posteriormente, se especificó un espesor de las paredes de la tolva igual a 5 mm y con ello, se pudo determinar los esfuerzos admisibles en las paredes de la tolva, teniendo en consideración el material. A continuación, en la Tabla 3.5 se detallan los resultados de los esfuerzos en las paredes de la tolva.

Tabla 3.5 Esfuerzos admisibles en la tolva

Parámetro	Descripción	Valor
σ_t	Esfuerzo a la tracción	54.16 [kPa]
σ_f	Esfuerzo a la fluencia	0.62 [kPa]

La norma europea UNE- EN 1991-4:2011, en base al material que se va a contener en la tolva, recomienda ciertos materiales para sus paredes, por lo que se optó por seleccionar el material 'polietileno de alta densidad'. A continuación, en la Tabla 3.6 se presentan propiedades mecánicas del material.

Tabla 3 6 Propiedades mecánicas del polietileno de alta densidad

Parámetro	Descripción	Valor
σ_t	Esfuerzo a la tracción	20.0 – 37.2 [MPa]
σ_f	Esfuerzo a la fluencia	17.2 [MPa]

En base a los resultados, los esfuerzos admisibles en la tolva no superan el valor de los esfuerzos del material 'polietileno de alta densidad', por ende, este material cumple con los requerimientos y se aprueba su diseño.

Flotador

Es el elemento encargado de mantener a flote el alimentador automático, es de polietileno de alta densidad, soporta una carga combinada de 196 kg que corresponde a la estructura metálica, tolva y balanceado.

En cálculos realizados en el capítulo 2 con respecto a la flotabilidad del elemento, experimenta una fuerza de empuje 649.91 N, con un área no sumergida de 0.20 m², por lo que su diseño es correcto.

Estructura

La selección del material de la estructura se realizó en base al criterio ingenieril y sugerencias recibidas por las empresas metalmecánicas donde se realizaron las cotizaciones para la construcción de la misma y los procesos de mecanizados implícitos en este, considerando aspectos de carga, material a soportar, espesores de láminas, espesor de tuberías y corrosividad del ambiente donde se instalará.

Se escogió al acero inoxidable 304 para diseñar la estructura metálica, utilizando un perfil cuadrado con medidas de 40 x 40 milímetros con 2 milímetros de espesor, además de $\frac{3}{4}$ de plancha de 2 milímetros de espesor para el soporte de la tolva. Se obtuvo un peso estimado de 48 kg. Se destaca este material por su alta resistencia a la corrosión y sus propiedades mecánicas.

Los planos del flotador y estructura metálica se encuentran adjuntos en la sección de Apéndice B.

3.3 Características del prototipo

En base a la metodología de diseño llevada a cabo en el capítulo anterior, se pudo establecer las especificaciones técnicas de los componentes del prototipo del sistema alimentador automático para camarón. En la Tabla 3.7 se presentan los resultados de las características de diseño.

Tabla 3.7 Características relevantes de diseño del prototipo

Capacidad de tolva	125 [kg]
Potencia consumida por día	11.18 [Wh/día]
Número de flotadores	4
Material de flotadores	Polietileno de alta densidad
Velocidad de giro de motor aspersor	6500 [RPM]
Material de estructura metálica	Acero Inoxidable 304

3.4 Resultados de simulación

La simulación de la tolva de polietileno de alta densidad con una capacidad para 125 kg de balanceado, resultó en la siguiente distribución de esfuerzos expresada en la Figura 3.5.

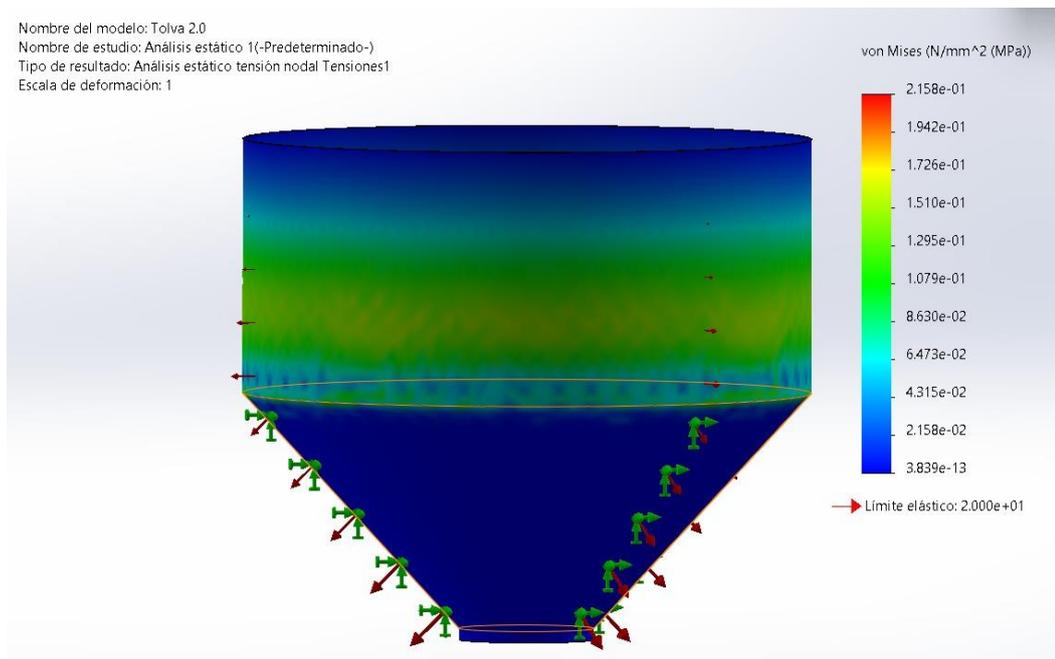


Figura 3.5 Simulación de la tolva

Para realizar la simulación estructural de la tolva, se tuvieron que establecer ciertas condiciones. El elemento va a ser sometido a una presión no uniforme, que representa la distribución del alimento. En este caso, se estableció la pared externa del segmento del cono truncado como una sujeción fija, que representa el punto de contacto de la tolva con la estructura metálica. Al someter a la tolva a un modelo de presión no uniforme, se debe establecer una relación entre la presión y la altura de la tolva, para que el software de ingeniería pueda realizar el cálculo de los respectivos esfuerzos. La presión se puede calcular a partir del producto de la densidad, la gravedad y la altura, estableciendo la ecuación 3.1:

$$P = 7630,02 \cdot y \text{ [MPa]} \quad (3.1)$$

La simulación de la tolva, reveló que la tensión máxima de Von Mises es igual a 0.22 MPa, la cual se encuentra ejercida cerca a la mitad de la altura del segmento cilíndrico. Sin embargo, no representa un peligro de falla, debido a que el límite elástico del material es igual a 21 MPa.

Para la simulación de la estructura metálica, se eligió como material al acero inoxidable 304 y para la tolva el polietileno de alta densidad. Utilizando el mismo principio de presión no uniforme implementado anteriormente en el análisis de la tolva, se establecieron las siguientes condiciones: se trabajarán como uniones fijas las conexiones entre el perfil tubular cuadrado 40x40 mm con el segmento circular que sostiene la tolva, las sujeciones fijas se encontraran en el arreglo horizontal de tubos de acero inoxidable encargados de sostener la estructura sobre los flotadores. A continuación, en la Figura 3.6 se muestra el resultado de la simulación de la estructura metálica en conjunto con la tolva.

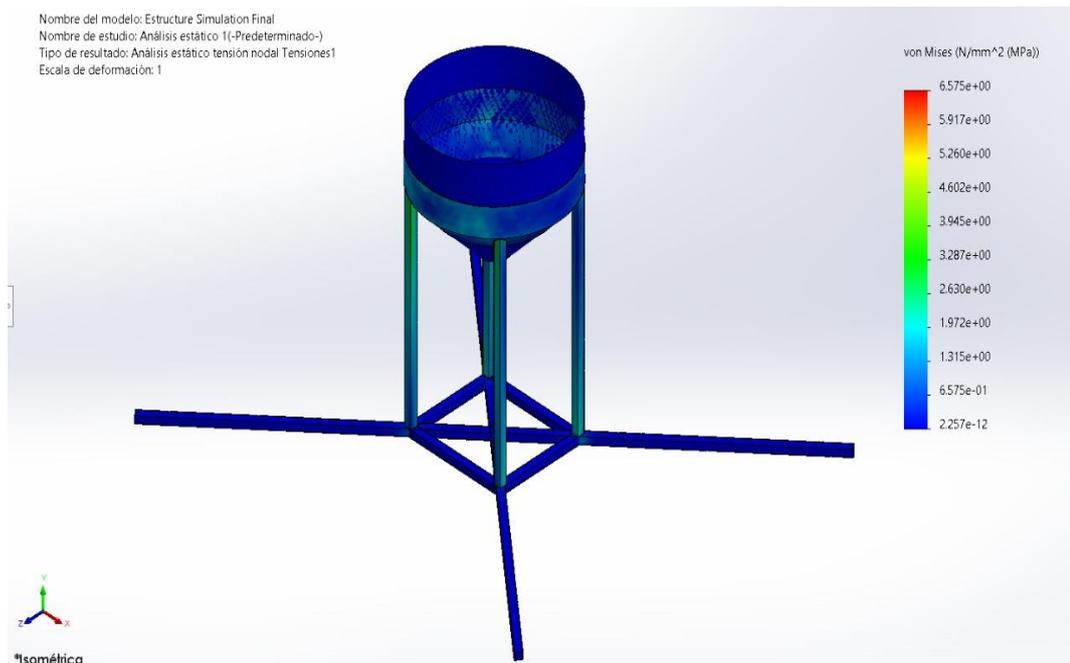


Figura 3.6 Simulación de estructura metálica y tolva

De acuerdo con la Figura 3.6, se observa que los mayores esfuerzos se localizan en las uniones entre el cuerpo tubular y el perfil de acero concéntrico a la sección de cono truncado de la tolva, con un valor de 6.57 MPa, por lo que, es necesario

implementar un cordón de soldadura con electrodo R-60 de 1/8" entre estos elementos, para aumentar el grado de seguridad de la unión. Además, este componente no falla, puesto que se obtuvo un factor de seguridad mayor a 1.

A continuación, en la Tabla 3.8 se presentan los resultados de los parámetros de la tensión de Von Mises, factor de seguridad y desplazamiento máximo de cada componente simulado.

Tabla 3.8 Resultados de simulación de componentes

Parámetro	Componente	
	Tolva	Estructura metálica
Tensión Von Mises	0.22 [MPa]	6.57 [MPa]
Factor de seguridad	93	31
Desplazamiento máximo	0.06 [mm]	0.21 [mm]

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante el uso del software de ingeniería para la simulación de cada componente, se concluye que, los elementos no van a fallar y se han diseñado correctamente, cumpliendo con los requerimientos de diseño.

3.5 Selección de componentes

Kit dosificador

El kit dosificador se encuentra compuesto del mecanismo dosificador y aspersor del balanceado de alimento [61], como se observa en la Figura 3.7.



Figura 3.7 Kit dosificador 2 motores V5 [61]

- Mecanismo dosificador: Compuesto por tornillo dosificador y motor de paso que debe tener un torque mínimo de 0.74 Nm.
- Mecanismo aspersor: Compuesto por estructura de lanzamiento de balanceado y motor de corriente continua capaz de girar hasta 6500 RPM para alcanzar un rango de 12 metros.

En el mercado ecuatoriano se encuentra disponible el modelo de 'Kit dosificador 2 motores V5'. A continuación, en la Tabla 3.9 se detallan ciertas características del dosificador.

Tabla 3.9 Datos técnicos del kit dosificador [61]

Peso	2 [kg]
Dimensiones	150 x 150 x 350 [mm]
Voltaje de motor dosificador	5 [V]
Voltaje de motor aspersor	5 [V]

Panel solar

Se escogió implementar un panel solar Modelo GP-050P-36, 12V 50W [62]. A continuación, en la Tabla 3.10 se muestran las especificaciones de dicho componente.



Figura 3.8 Panel solar modelo GP-050P-36, 12V 50W [62]

Tabla 3.10 Datos técnicos de panel solar GP-050P-36 [62]

Potencia Máxima	50 [W]
Eficiencia de celda	17.64 [%]
Máximo Voltaje	18.3 [V]
Máxima Corriente	2.73 [A]
Dimensiones	540 x 670 x 25 [mm]
Peso	3.8 [kg]
Número de celdas solares	36
Rango de temperatura	-40 a 85 [°C]
Coefficiente de temperatura por corriente (I_{sc})	0.08 [%/°C]
Coefficiente de temperatura por voltaje (V_{oc})	-0.32 [%/°C]
Material	Silicio (Policristalino)

Regulador de carga

El regulador de carga previamente elegido fue el modelo YJSS10, sin embargo, en el mercado nacional no se encuentra disponible, por lo que, se escogió un modelo con iguales características. El modelo seleccionado es Victron Energy Blue Solar PWM 12/24V-10A SCC010010050 [63], el cual se presenta a continuación en la Figura 3.9.



Figura 3.9 Regulador de carga PWM 12/24V Victron Energy Blue Solar [63]

Batería

Se seleccionó una batería de litio, puesto que, brinda mayor seguridad para la autonomía y funcionamiento del sistema. A continuación, en la Tabla 3.11 se presentan las especificaciones de la batería Superlee 12V 30Ah [64].



Figura 3.10 Batería Superlee 12V 30Ah [64]

Tabla 3.11 Especificaciones técnicas de batería 12V 30Ah [64]

Voltaje nominal	12 [V]
Capacidad nominal	30 [Ah]
Energía nominal	384 [Wh]
Voltaje de corte de carga	14.6 [V]
Voltaje de corte de descarga	10 [V]
Corriente de carga estándar	15 [A]
Máx. corriente de carga	30 [A]
Dimensiones	223 x 95 x 175 [mm]
Peso	3.5 ± 0.5 [kg]
Rango de temperatura (carga)	0 – 55 [°C]
Rango de temperatura (descarga)	-20 – 60 [°C]
Rango de temperatura	< 95 [%]
Protección	IP65

Hidrófono

Previamente se seleccionó el modelo de hidrófono (sensor acústico) 'RESON TC4013', pero el costo del transductor descarta su aplicación en este proyecto, por lo que se optó por seleccionar el modelo 'Aquarian Hidrófono H1a' [65], el cual posee especificaciones técnicas similares y es más económico lo que es viable su aplicación en este diseño. A continuación, en la Figura 3.11 se observa el modelo de hidrófono y la Tabla 3.12 se presenta sus especificaciones técnicas.



Figura 3.11 Aquarian Hidrófono H1a [65]

Tabla 3.12 Especificaciones técnicas de Aquarian Hidrófono H1a [65]

Sensibilidad	-190 [dB]: 1V/ μ Pa (+/- 4dB 20Hz – 4kHz)
Capacitancia	25 nF
Rango de trabajo	1 Hz hasta 100 KHz
Sensibilidad @ 100 kHz	-220 [dB]: 1V/ μ Pa
Profundidad máxima	80 m
Dimensiones	25 x 46 [mm]
Peso	105 gramos
Gravedad específica	5.3
Protección	IP65

3.6 Costos

En esta sección, se presentan los costos de los componentes del prototipo del sistema alimentador automático para camarón, así como el costo de la estructura metálica (chasis) del mismo. En este último caso, se detalla el costo del material y la mano de obra para su construcción. A continuación, se muestran los costos de los componentes en la Tabla 3.13, los costos para la construcción de la estructura metálica de acero inoxidable en la Tabla 3.14 y Tabla 3.15 y los costos para la construcción de la estructura metálica de acero galvanizado en la Tabla 3.16 y 3.17.

Tabla 3.13 Costos de componentes del sistema

Componente	Costo
Panel solar Modelo GP-050P-36, 12V 50W	\$ 48.81
Batería	\$ 120.00
Hidrófono "Aquarian H1a"	\$ 231.00
Kit dosificador	\$ 200.00
Regulador de carga Victron Energy Blue Solar PWM 12/24V-10A	\$ 58.76
Tolva	\$ 70.00
Flotador	\$ 48.00
Inversión en componentes	\$ 776.57

Tabla 3.14 Costo de materiales para chasis de acero inoxidable

Materiales para estructura metálica (acero inoxidable AISI 304)		
Cantidad	Descripción	Costo
1	Plancha Acero Inoxidable 304 (4x8) espesor 2 mm (1/2 Plancha)	\$ 125.17
1	Plancha Acero Inoxidable 304 (4x8) espesor 2 mm (1/4 Plancha)	\$ 65.35
3	Tubo acero inoxidable cuadrado 40x40x2mm x 6m	\$ 391.81
Inversión total en materiales		\$ 582.33

Tabla 3.15 Costo de mano de obra para construcción de chasis de acero inoxidable del sistema

Descripción de Proceso de mecanizado	Cantidad	Costo
Servicio de rolado plancha Inox. 2 mm	1	\$ 5.00
Servicio de corte plancha Inox. 2 mm	3	\$ 2.40
Servicio de corte y plegado de cono en plancha Inox. 2 mm	1	\$ 45.00
Servicio de construcción de base para tolva	1	\$ 120.00
Servicio de suelda con argón en Inox 2 mm	1	\$ 200.02
Monto invertido en procesos de mecanizado		\$ 372.42

Tabla 3.16 Costo de materiales para chasis de acero galvanizado

Materiales para estructura metálica (acero galvanizado ASTM A366)		
Cantidad	Descripción	Costo
1	Plancha galvanizada (4x8) espesor 2 mm (1/2 Plancha)	\$ 42.59
1	Plancha galvanizada (4x8) espesor 2 mm (1/4 Plancha)	\$ 22.24
3	Tubo cuadrado galvanizado 40x40x2mm x 6m	\$ 101.54
Inversión total en materiales		\$ 166.37

Tabla 3.17 Costo de mano de obra para construcción de chasis de acero galvanizado del sistema

Descripción de Proceso de mecanizado	Cantidad	Costo
Servicio de rolado plancha galv. 2 mm	1	\$ 6.00
Servicio de corte plancha galv. 2 mm	3	\$ 2.40
Servicio de corte y plegado de cono en plancha galv. 2 mm	1	\$ 45.00
Servicio de construcción de base para tolva	1	\$ 100.00
Servicio de suelda con 6011 en galv 2 mm	1	\$ 150.00
Monto invertido en procesos de mecanizado		\$ 303.40

A partir de los datos anteriores de los costos de los componentes y construcción del chasis del sistema alimentador automático, se presenta en la Tabla 3.18 y Tabla 3.19, la inversión total para la manufactura y ensamble del prototipo del sistema alimentador automático para camarón con un chasis de acero inoxidable y acero galvanizado respectivamente.

Tabla 3.18 Inversión total para construcción y ensamble del sistema con chasis de acero inoxidable

Inversión total en estructura metálica	\$ 954.75
Inversión en componentes	\$ 776.57
Inversión contemplada	\$1731.32
Gastos no esperados (10%)	\$ 173.13
Inversión total	\$1904.45

Tabla 3.19 Inversión total para construcción y ensamble del sistema con chasis de acero galvanizado

Inversión total en estructura metálica	\$ 469.77
Inversión en componentes	\$ 776.57
Inversión contemplada	\$1246.34
Gastos no esperados (10%)	\$ 124.63
Inversión total	\$1370.97

En base a los resultados de inversión anteriormente presentados, se propone realizar la construcción del prototipo del sistema alimentador automático con un chasis de acero inoxidable, debido a las buenas propiedades que brinda este material, en comparación con el acero galvanizado, el cual requiere un recubrimiento para alargar su vida útil ante la exposición del alimentador automático a un ambiente salino altamente corrosivo.

3.7 Comparación con modelos existentes

En el mercado ecuatoriano existen empresas interesadas en invertir en la automatización camaronera, la existencia de modelos y variantes de alimentadores automáticos se encuentra en aumento. En este proyecto, se realizará una comparación de costos entre equipos enfocados a la alimentación en las piscinas de precriaderos. A continuación, en la Tabla 3.20 se presenta la comparación de algunos modelos de sistema alimentador automático de camarón en el mercado nacional.

Tabla 3.20 Sistemas alimentadores automáticos en mercado ecuatoriano

Sistema alimentador automático	Características			
	Capacidad de tolva	Principio de funcionamiento	Chasis	Precio
ProAqua GRA-4539-EQU	150 [kg]	Timer	Acero galvanizado	\$ 1250.00
Robotilsa CT70PC	70 [kg]	Timer	Acero galvanizado	\$ 1100.00
bioFeeder	125 [kg]	Acústico	Acero galvanizado	\$ 2000.00
Jetfeeder	150 [kg]	Acústico	Acero galvanizado	\$ 2140.00
Camarontec	150 [kg]	Timer	Acero galvanizado	\$ 1950.00
Alimentador Diseñado (FigMat)	125 [kg]	Acústico	Acero inoxidable	\$1904.45

De acuerdo con la Tabla 3.20, la mayoría de los modelos de sistema alimentador automático de camarón cuentan con una estructura metálica de acero galvanizado. Los modelos de las empresas BioFeeder y Jetfeeder cuentan con software y sensores para brindar un servicio de alimentación por acústico, por lo cual su precio aumenta en comparación al resto de modelos en el mercado. El diseño del alimentador propuesto en este proyecto alcanza un valor estimado de \$1904.45,

debido a que, al implementar tubos de acero inoxidable 304 para el chasis del sistema y el sensor hidrófono, el costo de fabricación aumenta considerablemente, en comparación del resto de sistema de alimentadores automáticos mencionados.

El alimentador automático propuesto presenta un costo menor en comparación con otros modelos que utilizan el principio de funcionamiento por acústica pasiva (hidrófono). Solamente se considera el diseño mecánico del equipo, mas no el desarrollo del software para el sensado del *clic* del camarón porque implica la elaboración de tarjetas electrónicas con componentes encargados de realizar funciones de filtrado, amplificación y conversión digital-analógica como lo explica la Figura 2.28.

El precio del alimentador diseñado se incrementa en comparación con los que utilizan alimentación programada por timer, debido a que se implementa un hidrófono, el cual es un sensor que trabaja directamente con el crustáceo, es decir, que su activación dependerá del apetito del animal, siendo un sensor acústico poco común, por lo que su importación es favorable, debido a su inexistencia en el mercado nacional, con un valor aproximado de \$231.00, que incluye el valor del kit del hidrófono y el costo de su importación. Por otra parte, la metodología timer utiliza tablas de alimentación donde se fijan horarios en base a las dietas de balanceado establecidas por un profesional, es decir, que pueden existir restos de comida no consumida por el crustáceo en el suelo de la piscina, lo cual se convierte en un potencial contaminante de la calidad del estanque, si es que la programación timer no se ha realizado adecuadamente.

En cuanto a la manufactura de ciertos componentes mecánicos del sistema, como la tolva y estructura metálica, implica procesos de mecanizado para el chasis y rotomoldeo para la tolva. En el caso del chasis, se debe contemplar que la inversión para el material escogido y su mano de obra será superior, como se detalla en la Tabla 3.15.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

1. El alimentador automático por hidrófono es la nueva tendencia tecnológica que eleva los estándares de calidad de la camaricultura, basándose en los sonidos emitidos por el camarón cuando tiene hambre y mostrando resultados superiores en uniformidad y masa final en comparación a la alimentación por timer y al boleo.
2. El material seleccionado para la estructura del alimentador automático es acero inoxidable AISI 304, que posee buenas propiedades anticorrosivas, lo que es conveniente, ya que el alimentador automático funciona en un ambiente altamente corrosivo. La perfilera elegida es de sección cuadrada, cuyas medidas son de 40x40 mm con 2 mm de espesor.
3. El diseño de la tolva se hizo en base a los criterios y especificaciones de la norma europea EN-1991-4:2011. Se seleccionó al polietileno de alta densidad como material para las paredes de la tolva. Los parámetros de diseño permiten que el material almacenado fluya en todo su interior al momento de la descarga y no se obstruya en las paredes. Esta tolva está diseñada para almacenar 125 [kg] de alimento pelletizado para camarón. De acuerdo con la simulación de este elemento se asegura que no va a fallar. Se obtuvo un factor de seguridad igual a 93, lo que corrobora su correcto diseño.
4. La simulación por software destaca que, los principales esfuerzos se encuentran ubicados entre los miembros tubulares de la estructura y el perfil de cono truncado en acero inoxidable, con un valor máximo de tensión de Von Mises igual a 6.57 [MPa], por lo que, se debe aplicar soldadura TIG, para brindar un mayor grado de

seguridad del chasis. Se obtuvo un factor de seguridad igual a 31, lo que asegura que la estructura será capaz de soportar las cargas del sistema.

5. En cuanto a la fabricación del sistema alimentador automático, la mayoría de sus componentes se encuentran disponibles en el mercado ecuatoriano, a excepción del sensor hidrófono, el cual requiere ser importado. El costo de fabricación del sistema es de alrededor \$1905, valor que incluye el costo de los componentes y la manufactura del chasis. En comparación con algunos modelos de alimentadores automáticos presentes en el mercado nacional, este prototipo destaca por su estructura de acero inoxidable, la cual brinda una mayor vida útil al sistema. Con todo, es necesario llevar a cabo mantenimientos programados, en base a una capacitación inicial que se le ofrece al usuario.

4.2 Recomendaciones

1. En caso de realizar la fabricación de la tolva como prototipo para evaluar funcionalidad, se recomienda la manufactura de la misma en fibra de vidrio, para la economización de costos.
2. En caso de elegir el acero galvanizado para la perfilería de la estructura del alimentador automático, se recomienda considerar la aplicación de pintura anticorrosiva, para la extensión de la vida útil.
3. El código de programación del alimentador automático debe ser realizado considerando filtros de aislamientos de ruido que pueden ser causados por el ambiente, aireadores u otros animales presentes en el estanque.
4. Se recomienda la instalación de sensores de oxígeno y temperatura, para el monitoreo de la calidad de agua que rodea el alimentador.
5. Se recomienda considerar un espesor inferior al seleccionado para optimizar el diseño de la estructura metálica del sistema, debido a que el factor de seguridad obtenido mediante la simulación es muy alto.
6. Se recomienda un ángulo de inclinación igual a 3° con dirección hacia el Norte o Sur, para el posicionamiento del módulo fotovoltaico, teniendo en cuenta la ubicación geográfica de la finca camaronera, para poder aprovechar al máximo la captación de los rayos del sol.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] GSA, «What Is Aquaculture and Why Do We Need It?,» 27 Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://www.globalseafood.org/blog/what-is-aquaculture-why-do-we-need-it/>. [Último acceso: 14 Noviembre 2022].
- [2] NOAA, «What is the aquaculture?,» 26 Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/aquaculture.html>. [Último acceso: 14 Noviembre 2022].
- [3] ASC International, «What is aquaculture?,» 3 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.asc-aqua.org/aquaculture-explained/why-is-aquaculture-important/what-is-aquaculture/>. [Último acceso: 14 Noviembre 2022].
- [4] Organización de ingredientes marinos (IFFO), «Acuicultura: sistemas de producción alimentada y no alimentada,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.iffco.com/es/node/89>. [Último acceso: 16 Octubre 2022].
- [5] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, «Pesca y Acuicultura.,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.fao.org/fishery/es/aquaculture>. [Último acceso: 22 Octubre 2022].
- [6] E. Tagle, «Historia del camarón en Ecuador, innovación y desarrollo,» 2021. [En línea]. Available: <https://incatrailfoods.com/news/historia-del-camaron-en-ecuador-innovacion-y-desarrollo/>. [Último acceso: 16 Octubre 2022].
- [7] S. Latorre, «The Politics of Identification in a Shrimp Conflict in Ecuador,» 2013. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1111/jlca.12003>. [Último acceso: 16 Octubre 2022].
- [8] Y. Piedrahita, «Historical evolution, genetic improvement, mangrove reforestation, sanitary barriers and other developments,» 25 Junio 2018. [En línea]. Available: <https://www.globalseafood.org/advocate/shrimp-farming-industry-in-ecuador-part-1/#:~:text=Shrimp%20farming%20began%20in%20Ecuador,ago%20in%20a%20casual%20manner..> [Último acceso: 16 Octubre 2022].

- [9] RTS International, «Una mirada a la industria del camarón en Ecuador,» 13 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.rtsinternational.com/es/article/una-mirada-la-industria-del-camar%C3%B3n-en-ecuador>. [Último acceso: 16 Octubre 2022].
- [10] Cámara Nacional de Acuicultura (CNA), «Ecuador se mantuvo en el 2021 como el principal exportador mundial de camarón,» 17 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://ocaru.org.ec/2022/01/17/ecuador-se-mantuvo-en-el-2021-como-el-principal-exportador-mundial-de-camaron/>. [Último acceso: 16 Octubre 2022].
- [11] GSA, «La industria de cultivo de camarón en Ecuador,» 23 Julio 2018. [En línea]. Available: <https://www.globalseafood.org/advocate/la-industria-de-cultivo-de-camaron-en-ecuador-parte-1/>. [Último acceso: 14 Noviembre 2022].
- [12] A. Gonzabay-Crespín, H. Vite-Cevallos, V. Garzón-Montealegre y P. Quizhpe-Cordero, «Análisis de la producción de camarón en el Ecuador para su exportación a la Unión Europea en el período 2015-2020,» 08 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3093>. [Último acceso: 16 Octubre 2022].
- [13] Noticias NPV, «Cultivo de camarón en Ecuador,» 15 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://balanceadosnpv.com/camaron-ecuador-cultivo/>. [Último acceso: 16 Octubre 2022].
- [14] G. Coba, «El sector camaronero toma más crédito y aumenta sus inversiones,» PRIMICIAS EC, 20 Junio 2022. [En línea]. Available: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/camaron-credito-inversion-exportaciones-ecuador/>. [Último acceso: 16 Octubre 2022].
- [15] J. Reis, S. Peixoto, R. Soares, M. Rhodes, C. Ching y D. A. Davis, «Passive acoustic monitoring as a tool to assess feed response and growth of shrimp in ponds and research systems,» 2022. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737326>. [Último acceso: 14 Noviembre 2022].
- [16] P. Cafferata, G. Jabbour, M. Fitts, S. Tamayo y J. Grieve, «Advanced analytics in shrimp aquaculture,» McKinsey & Company, 21 Junio 2022. [En línea]. Available:

<https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/evolving-ecosystems-advanced-analytics-in-shrimp-aquaculture>. [Último acceso: 14 Noviembre 2022].

- [17] Seaboard Corporation, «Mochasa Explains Automatic Feeders: What do they consist of?,» 3 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://www.seaboardoverseas.com/mochasa-explains-automatic-feeders-what-do-they-consist-of/>. [Último acceso: 14 Noviembre 2022].
- [18] Cámara Nacional de Acuicultura, «Estadísticas CNA,» Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://www.cna-ecuador.com/wp-content/uploads/2022/09/08-Estadi%CC%81sticas-CNA-de-Agosto-2022.xls>. [Último acceso: 24 Octubre 2022].
- [19] Instituto de Investigaciones Económicas PUCE, «Encadenamiento Productivo de Camarón 2022,» 09 Junio 2022. [En línea]. Available: <https://iie-puce.com/wp-content/uploads/2022/06/2022.06.09-OikoData-Camaro%CC%81n-Oikonomics.pdf?fbclid=IwAR3GMwi3jpsuQF1ArfZvbGD6ysftzzacC3jxgoulhrrgXyVxCFjv24Zfllk>. [Último acceso: 24 Octubre 2022].
- [20] A. Gonzabay-Crespín, H. Vite-Cevallos, V. Garzón-Montealegre y P. Quizhpe-Cordero, «Análisis de la producción de camarón en el Ecuador para su exportación a la Unión Europea en el período 2015-2020,» 08 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/3093>. [Último acceso: 16 Octubre 2022].
- [21] H. Varela-Véliz, B. Elizalde-Ramos, S. Solórzano-Solórzano y G. Varela-Ruíz, «Exportación de camarón de la provincia de El Oro en el contexto del Tratado Comercial de la Unión Europea,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n61/a17v38n61p24.pdf>. [Último acceso: 25 Octubre 2022].
- [22] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo de Ecuador, «PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUÍA TENDALES,» 2015. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/172821653->

Parroquia-tendales-plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-fase-de-diagnostico.html. [Último acceso: 25 Octubre 2022].

- [23] GAD PARROQUIAL TENDALES, «Producción Económica del sector Tendales,» 27 diciembre 2017. [En línea]. Available: <http://www.tendales.gob.ec/index.php/2012-12-27-00-31-38/economica>. [Último acceso: 26 octubre 2022].
- [24] M. Muñoz, F. Durán y M. González, "Análisis del sector camaronero ecuatoriano y sus ventajas competitivas y comparativas para encarar un mercado internacional competitivo", Investigación, Universidad Técnica de Machala, 2017.
- [25] H. Caicedo, "Análisis de oferta y demanda del camarón en la provincia de El Oro y Ecuador en los últimos ocho años", Tesis de Grado, Universidad Técnica de Machala, 2018.
- [26] C. Nuñez, "CARACTERIZACIÓN PARCIAL Y EVALUACIÓN DE LA EXPRESIÓN GÉNICA DEL INHIBIDOR ENDÓGENO DE LA ATPASA MITOCONDRIAL DEL CAMARÓN BLANCO", Tesis de Maestría, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., 2013.
- [27] J. Fenucci, «Cultivo de Camarones,» FAO, 1988. [En línea]. Available: <https://www.fao.org/3/ab466s/ab466s03.htm#:~:text=La%20cr%C3%ADa%20de%20camarones%20y,desde%20postlarva%20a%20tama%C3%B1o%20comercial>. [Último acceso: 24 Octubre 2022].
- [28] Saúl, «¿Cómo es el ciclo de vida de los camarones?,» Molinos Champion S.A.S., 13 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.molinoschampion.com/como-es-el-ciclo-de-vida-de-los-camarones/>. [Último acceso: 24 Octubre 2022].
- [29] J. Cuéllar, L. Cornelio, V. Morales, A. García y O. García, «Manual de buenas prácticas para el cultivo del camarón blanco,» Julio 2010. [En línea]. Available: <http://bvirtual.infoagro.hn>. [Último acceso: 24 Octubre 2022].

- [30] E. Boschi y M. Scelzo, «Desarrollo larval y cultivo del camarón comercial de Argentina,» FAO, 1974. [En línea]. Available: <https://www.fao.org/3/AC866S/AC866S35.htm>. [Último acceso: 24 Octubre 2022].
- [31] J. Fenucci, «Operaciones en una granja camaronera,» FAO, 1988. [En línea]. Available: <https://www.fao.org/3/ab466s/AB466S04.htm#ch4>. [Último acceso: 24 Octubre 2022].
- [32] L. Rodríguez, «Cultivo de camarón: cómo se hace, tipos y proceso,» Agrotendencia.tv, 04 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://agrotendencia.tv/agropedia/agropedia/acuicultura/cultivo-del-camaron-marino/>. [Último acceso: 25 Octubre 2022].
- [33] SKRETTING, «Manual de Larvicultura,» 23 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://libreriaskretting.ec/admin/public/uploads/catalogos/manual-larvicultura-skretting.pdf>. [Último acceso: 24 Octubre 2022].
- [34] U. Carter, R. Melanie y D. Allen, «Feed management and the use of automatic feeders in the pond production of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004484861830437X>. [Último acceso: 24 Octubre 2022].
- [35] S. Serrano, «Nuevas fórmulas en las dietas acuícolas,» TIERRA&MAREC, 2021. [En línea]. Available: <https://www.tierraymarec.com/ecuador-abandera-la-sostenibilidad-pesquera/>. [Último acceso: 26 Octubre 2022].
- [36] C. Molina-Poveda, «Manejo de la alimentación: Efectos de la fase lunar en el consumo del alimento y desempeño del camarón en la etapa de engorde,» de *Libro de Resúmenes (Book of abstracts)*, Guayaquil, AquaExpo 2022, 2022, pp. 52-54.
- [37] Cámara Nacional de Acuicultura de Ecuador, «AQUACULTURA #143,» Octubre 2021. [En línea]. Available: https://issuu.com/revista-cna/docs/edicion143_100. [Último acceso: 26 Octubre 2022].
- [38] C. Poveda-Molina, C. San Andrés, L. García y M. Espinoza-Ortega, «AquaCultura Edición 143,» de *El tipo de dispersión de los alimentadores automáticos y su*

impacto en el rendimiento zootécnico del juvenil Litopenaeus vannamei, Machala, Camara Nacional de Acuicultura, Octubre 2021, pp. 54-60.

- [39] K. Mera, D. Haro, F. Pazos, M. Quispe y C. Molina-Poveda, «Uso de alimentadores automáticos para un mayor rendimiento en la fase de pre-cría del camarón,» 5 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://www.skretting.com/siteassets/local-folders/ecuador/boletines-ecuador/24-alimentadores-automaticos-en-fase-de-pre-cria-del-camaron.pdf?v=4a2097>. [Último acceso: 25 Octubre 2022].
- [40] T. Joao, S. Anneleen, N. Romi, R. Melanie y D. Allen, «Testing soy optimized feeds and automated feeding systems in shrimp pond production,» Global Seafood, 14 Julio 2019. [En línea]. Available: https://www.globalseafood.org/advocate/testing-soy-optimized-feeds-automated-feeding-systems-shrimp-pond-production/?__hstc=236403678.25d531cf0ae5f6d6dd9f92677052fe94.1665961325420.1666569609236.1666753156502.4&__hssc=236403678.1.1666753156502&__hsfp=7501. [Último acceso: 26 Octubre 2022].
- [41] J. Benoit, J. Keitel, M. Owen, J. Alcaraz, A. Mhairi y K. Sloman, «Monitoring methods of feeding behaviour to answer key questions in penaeid shrimp feeding,» 10 marzo 2021. [En línea]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/raq.12546>. [Último acceso: 26 octubre 2022].
- [42] bioFeeder, «Alimentación acústica,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.biofeeder.net/alimentador>. [Último acceso: 26 Octubre 2022].
- [43] bioFeeder, «Ficha Técnica Alimentador Automático bioMatic,» 2021. [En línea]. Available: <https://agroshow.info/wp-content/uploads/2021/09/Ficha-Tecnica-Alimentador-Automatico.pdf>. [Último acceso: 26 Octubre 2022].
- [44] CAMARONTEC, «Ficha Técnica de Alimentador Automático Modelo CTF010A,» 2016. [En línea]. Available: <https://img1.wsimg.com/blobby/go/cfddf359-e658-42cb-8f09-1d463a47b26f/Alimentador%20Autom%C3%A1tico%20para%20Camarones%20-%20Camaro.pdf>. [Último acceso: 26 Octubre 2022].

- [45] R. G. Budynas y J. Nisbett, DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY (Octava edición), México D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2008.
- [46] NICOVITA, Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://nicovita.com/wp-content/uploads/2020/09/FT-NICOVITA-CLASSIC-ORGANIC-CAMARON-HO.pdf>. [Último acceso: 12 Noviembre 2022].
- [47] AENOR, «Eurocódigo 1: Acciones en estructuras, Parte 4: Silos y depósitos, UNE-EN 1991-4,» Madrid, 2011.
- [48] Construmática, «Ángulo de Talud Natural,» [En línea]. Available: https://www.construmatica.com/construpedia/%C3%81ngulo_de_Talud_Natural. [Último acceso: 21 Noviembre 2022].
- [49] R. L. NORTON, DISEÑO DE MÁQUINAS Un enfoque integrado, México: Pearson Educación, 2011.
- [50] Martin, «Manejo de Materiales,» [En línea]. Available: https://es.martinsprocket.com/docs//catalogs/material%20handling/1_manejo%20de%20materiales/seccion%20h.pdf. [Último acceso: 21 Noviembre 2022].
- [51] C. Fiore, «MPS,» 11 Abril 2022. [En línea]. Available: https://media.monolithicpower.com/mps/cms_document/2/0/2020-stepper-motors-basics-types-uses-and-working-principles_r1.0.pdf?_ga=2.67074281.679822748.1669172870-1945998620.1669172870&_gl=1*lcce5j*_ga*MTk0NTk5ODYyMC4xNjY5MTcyODcw*_ga_XNRPF6L9DD*MTY2OTE3Mjg. [Último acceso: 22 Noviembre 2022].
- [52] Motion Control Products, «Selection Guide for Stepper Motors,» Motion Control Products Limited, 2022. [En línea]. Available: <https://www.motioncontrolproducts.com/applications/selection-guide-for-stepper-motors/>. [Último acceso: 22 Noviembre 2022].
- [53] S. Peixoto, R. Soares, J. F. Silva, S. Hamilton, A. Morey y D. A. Davis, «Actividad acústica de *Litopenaeus vannamei* alimentado con dietas peletizadas y extruídas,»

de *Panorama Acuícola Magazine (Noviembre-Diciembre, Vol. 26 No. 1)*, Zapopan, México, Design Publications, 2020, pp. 28-34.

- [54] RESON, «DocPlayer,» 2011. [En línea]. Available: <https://docplayer.net/51431623-Catalogue-standard-transducers-and-hydrophones.html>. [Último acceso: 5 Noviembre 2022].
- [55] Renovaenergía S.A.®, «Gi-Power Modelo GP-050P-36, 12V nominal 50W,» Digital Pro, [En línea]. Available: <https://www.renova-energia.com/productos/polycrystallinemodulemodelsgp-050p-36/>. [Último acceso: 29 Noviembre 2022].
- [56] INELDEC, «Controlador PWM Regulador 10A,» [En línea]. Available: <https://ineldec.com/producto/controlador-pwm-regulador-10a/>. [Último acceso: 03 Diciembre 2022].
- [57] Amazon, [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/LiFePO4-profundo-potencia-respaldo-reemplazo/dp/B09HGXHWV1?th=1>. [Último acceso: 2 Noviembre 2022].
- [58] A. Rodríguez, H. Sanzana, D. Gallarado y F. Barrios, «Método de Simulación por Elementos Finitos MEF,» [En línea]. Available: <http://www.fii.gob.ve/?p=3568&print=print>. [Último acceso: 27 Octubre 2022].
- [59] R. Dart, «Ventajas de la simulación estructural para el diseño y desarrollo de producto,» Interempresas.net, 21 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/321734-Ventajas-de-la-simulacion-estructural-para-el-diseno-y-desarrollo-de-producto.html>. [Último acceso: 27 Octubre 2022].
- [60] V. Kanade, «What Is Finite Element Analysis? Working, Software, and Applications,» SpiceWorks, 13 Octubre 2022. [En línea]. Available: <https://www.spiceworks.com/tech/artificial-intelligence/articles/what-is-finite-element-analysis/>. [Último acceso: 27 Octubre 2022].

- [61] Agrizon, «Kit dosificador 2 motores V5,» Agrizon, 03 Julio 2022. [En línea]. Available: <https://www.e-agrizon.com/producto/kit-dosificador-2-motores-v5/>. [Último acceso: 14 Diciembre 2022].
- [62] Gi-Power, «Polycrystalline Module Model GP-055P-36,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.renova-energia.com/wp-content/uploads/2019/07/MD080.pdf>. [Último acceso: 14 Diciembre 2022].
- [63] Ec-LatamOnline, «Victron Energy BlueSolar PWM-LCD&USB 12/24V-10A SCC010010050,» [En línea]. Available: <https://www.ecuador-latamonline.com/catlogo-completo?store-page=Victron-Energy-BlueSolar-PWM-LCD%26USB-12-24V-10A-SCC010010050-p381102087>. [Último acceso: 17 Diciembre 2022].
- [64] KWEIGHT, «LFP Battery QL 12-30,» 2022. [En línea]. Available: <https://cdn.ensolar.com/z/pp/gc0t36rf8am/QL12-30-KWEIGHT-LEAD-ACID-REPLACEMENT-2022.pdf>. [Último acceso: 23 Diciembre 2022].
- [65] Aditech, «Aquarian Hidrófono H1a,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.aditech-uw.com/es/tienda/6117-aquarian-hidrfono-h1a.html>. [Último acceso: 25 Diciembre 2022].

APÉNDICES

APÉNDICE A

Figuras de simulación FEM de componentes del sistema alimentador automático para camarón

En esta sección, se presentan las figuras correspondientes a la simulación FEM de los componentes del sistema alimentador automático: tolva y estructura metálica, realizada mediante el software de ingeniería 'SolidWorks'. Como resultados, se obtuvo el valor de la tensión de Von Mises, el factor de seguridad y el desplazamiento máximo de cada elemento mecánico.

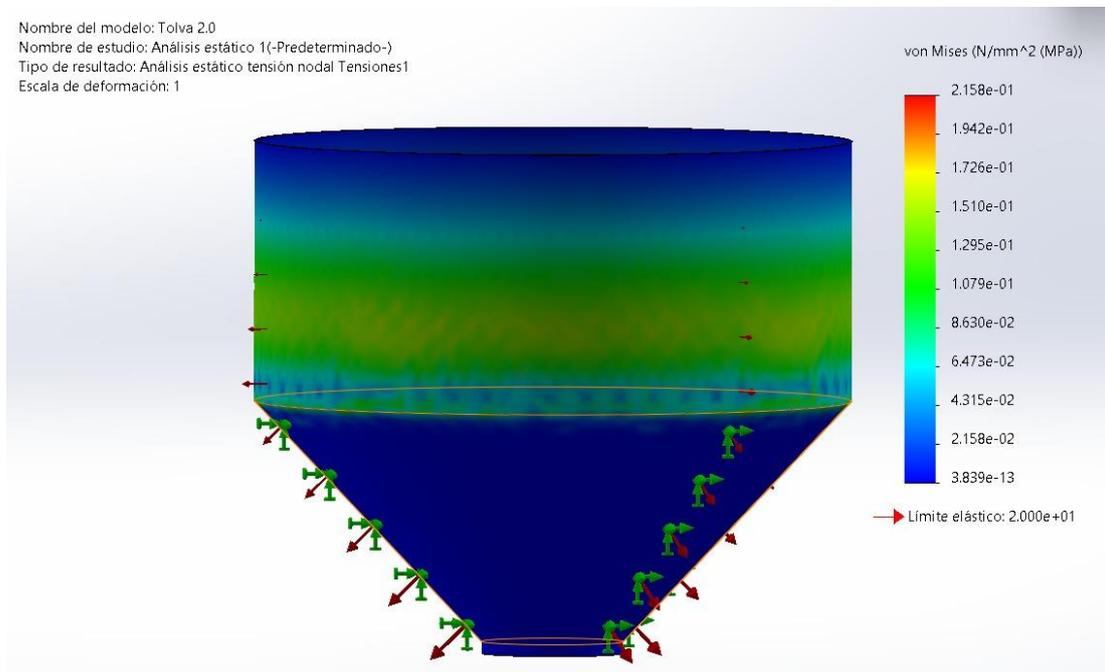


Figura A.1 Tensión Von Mises de tolva

Nombre del modelo: Tolva 2.0
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 93

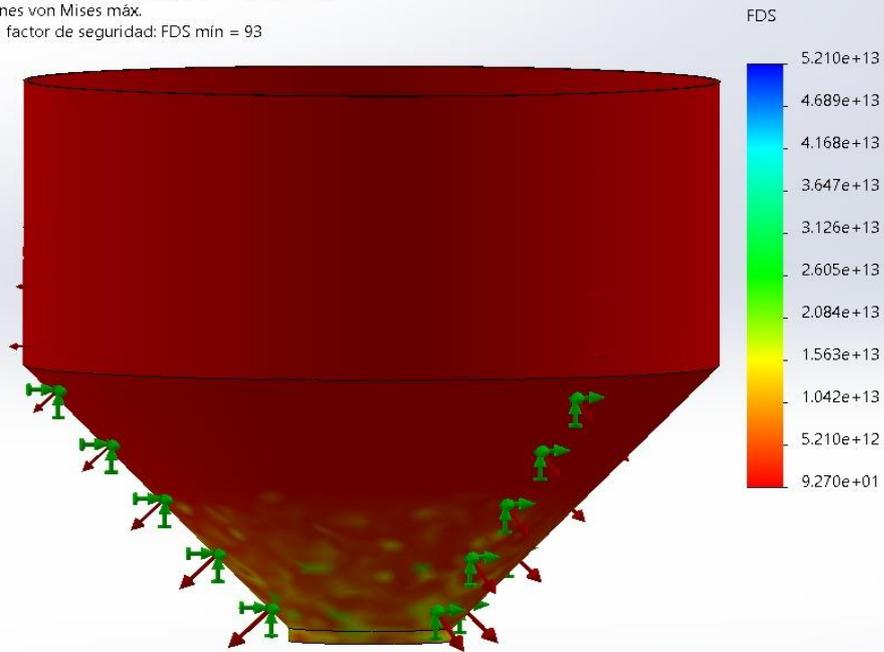


Figura A.2 Factor de seguridad de tolva

Nombre del modelo: Tolva 2.0
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1

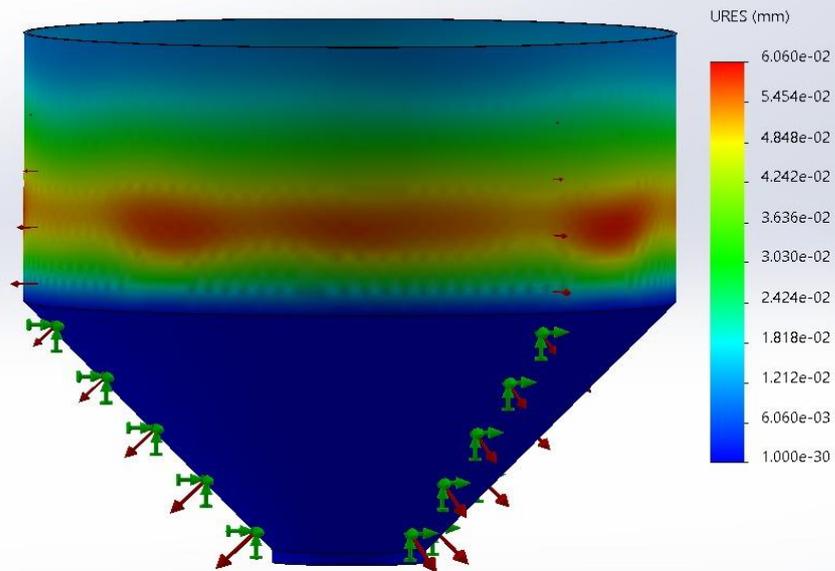


Figura A.3 Desplazamiento máximo de tolva

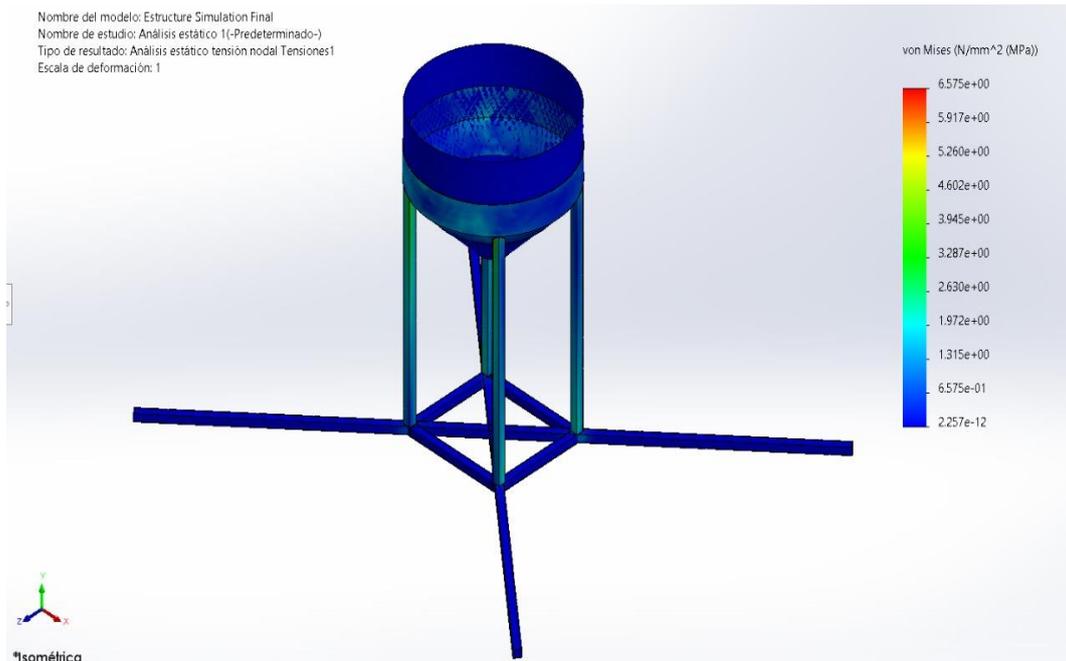


Figura A.4 Tensión de Von Mises de estructura metálica

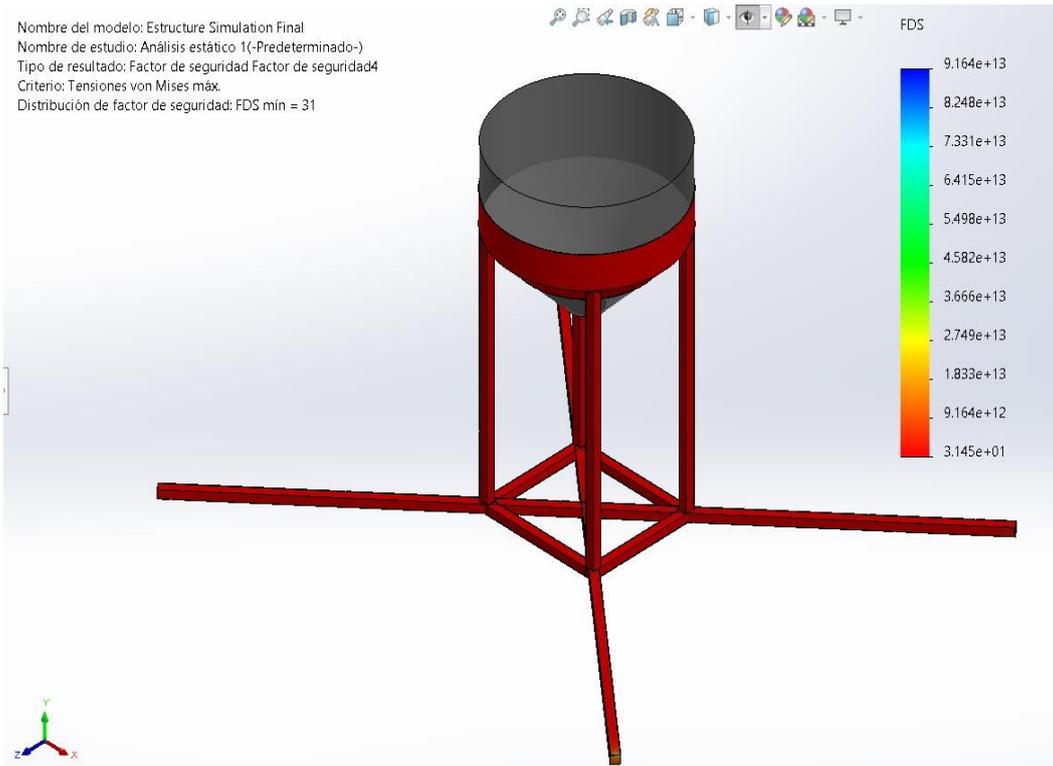


Figura A.5 Factor de seguridad de estructura metálica

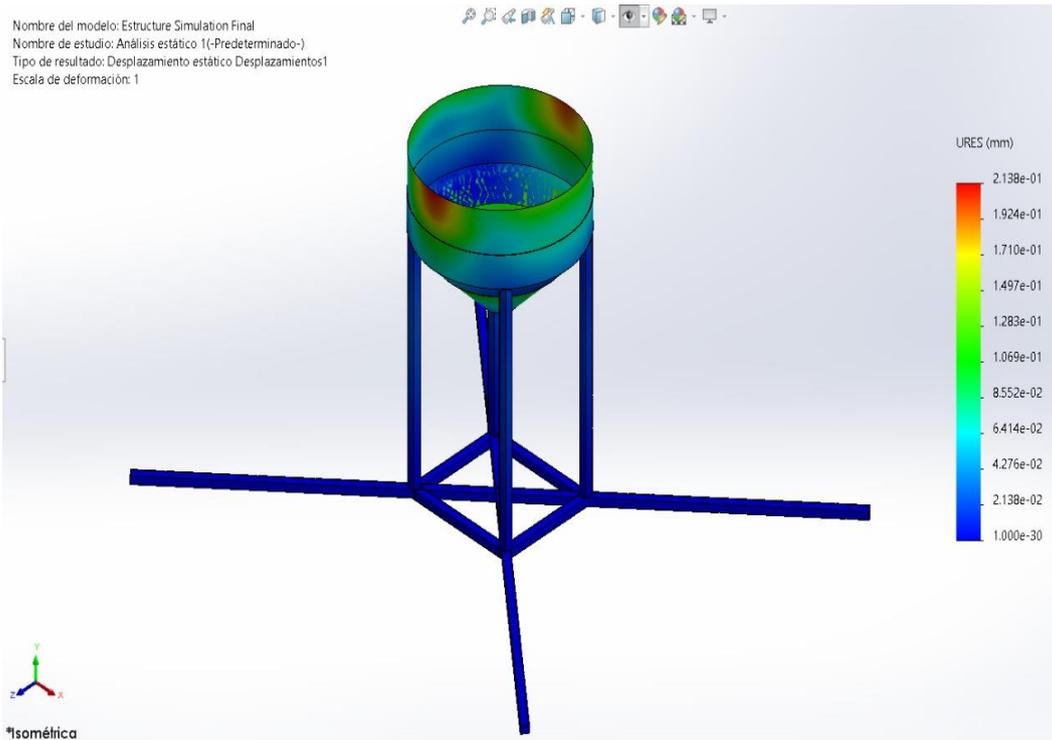
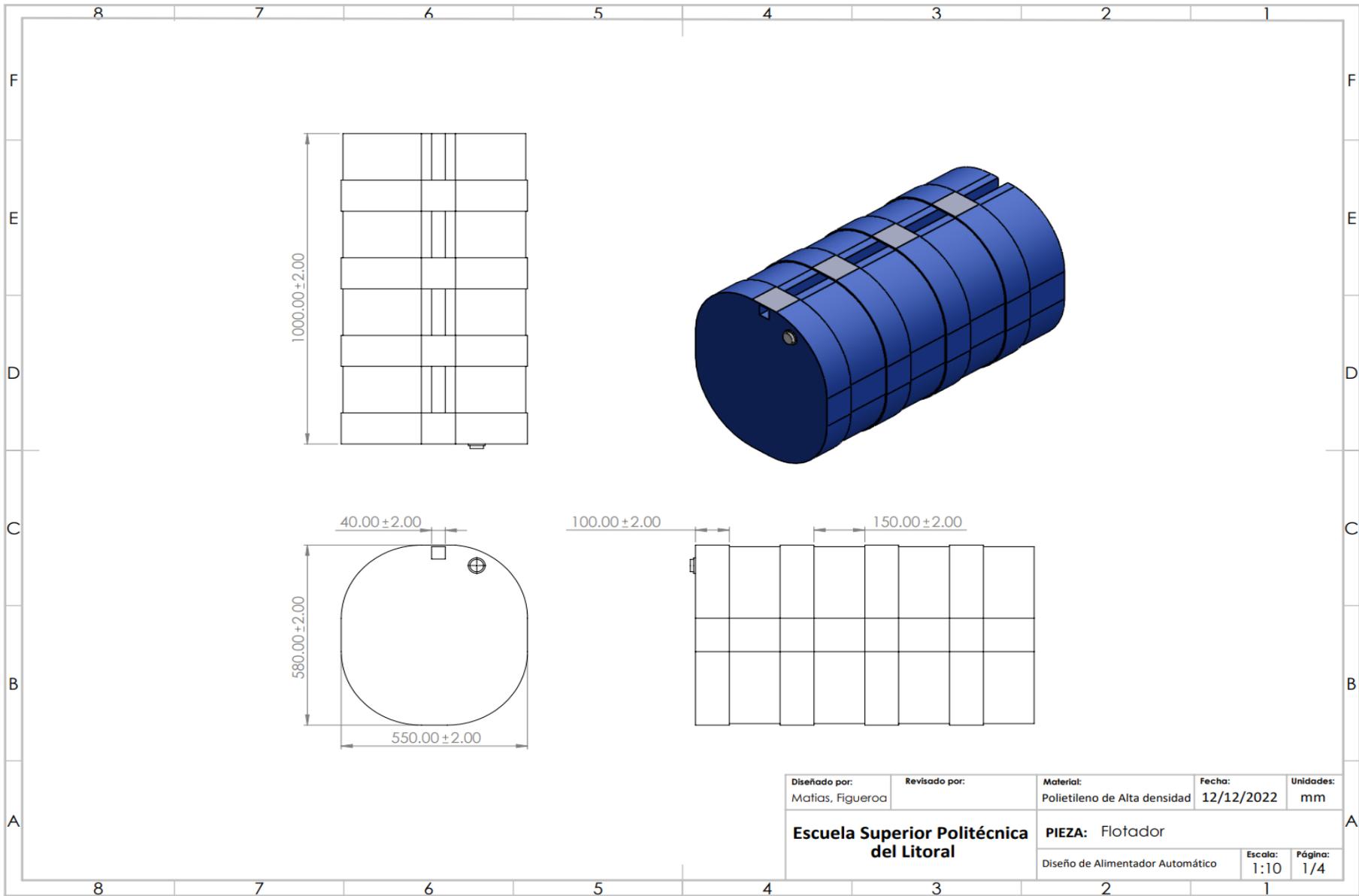


Figura A.6 Desplazamiento máximo de estructura metálica

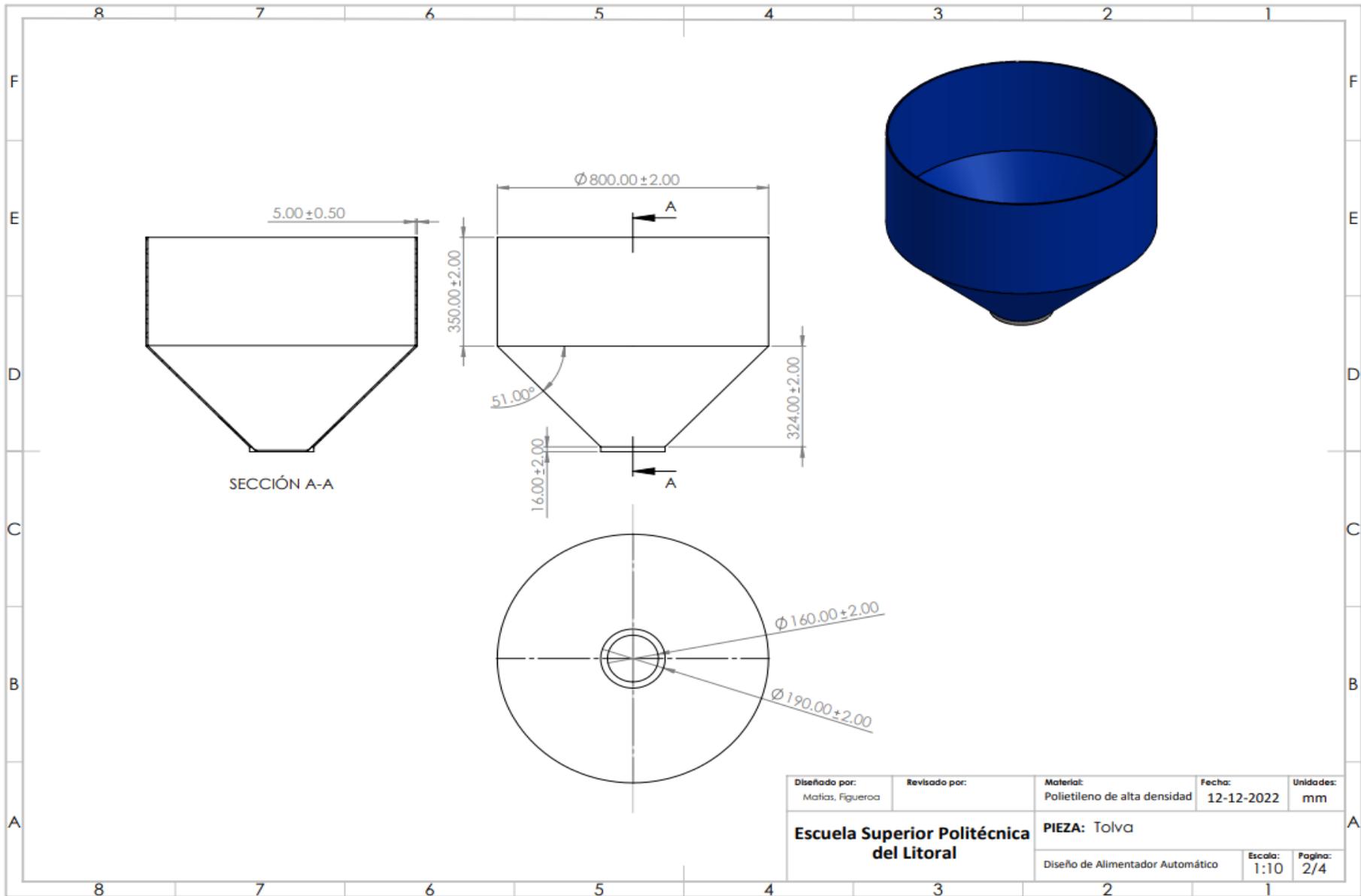
APÉNDICE B

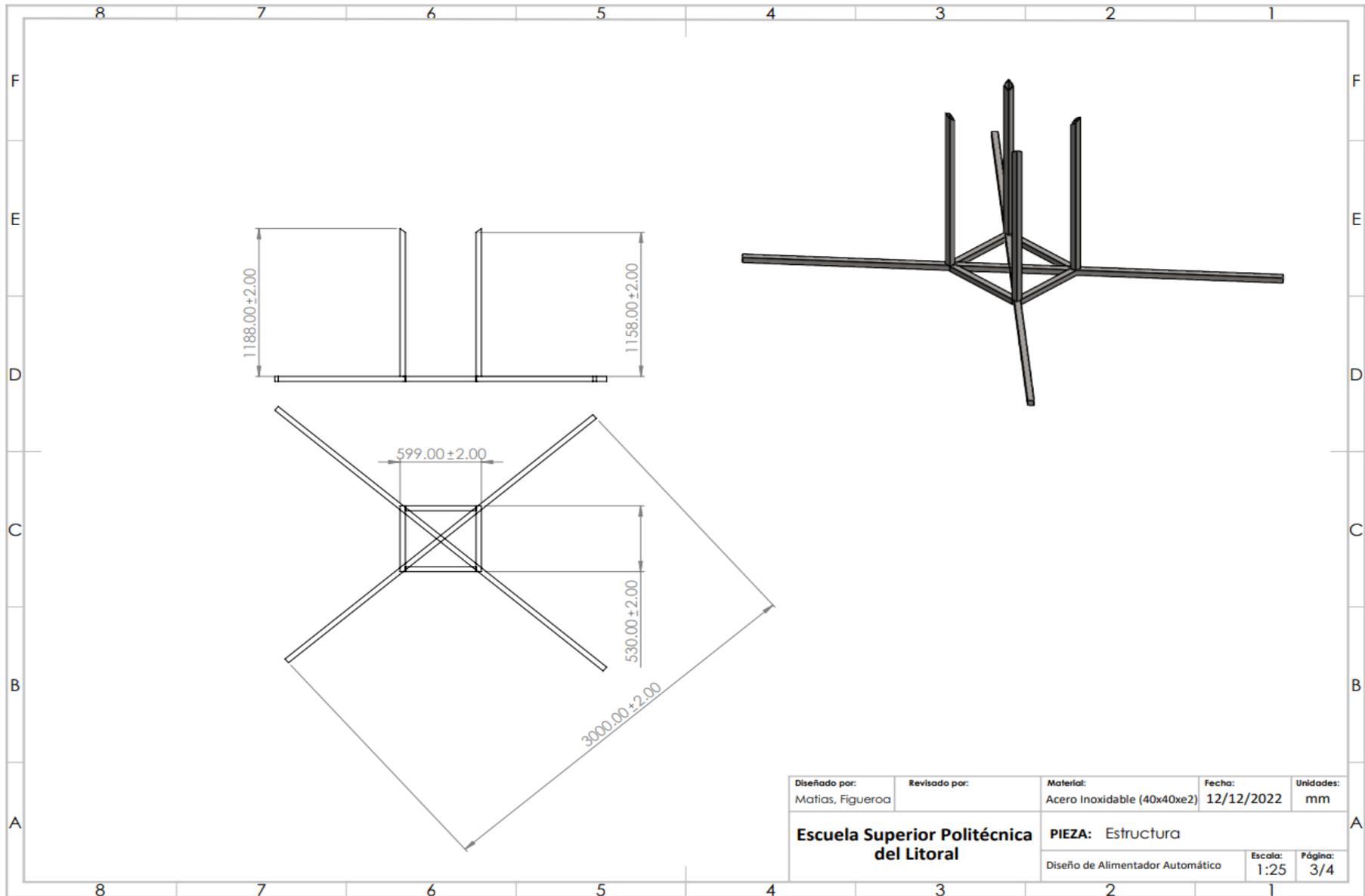
Planos de componentes del sistema alimentador automático para camarón

En esta sección, se presentan los planos de los componentes del sistema alimentador automático de camarón.

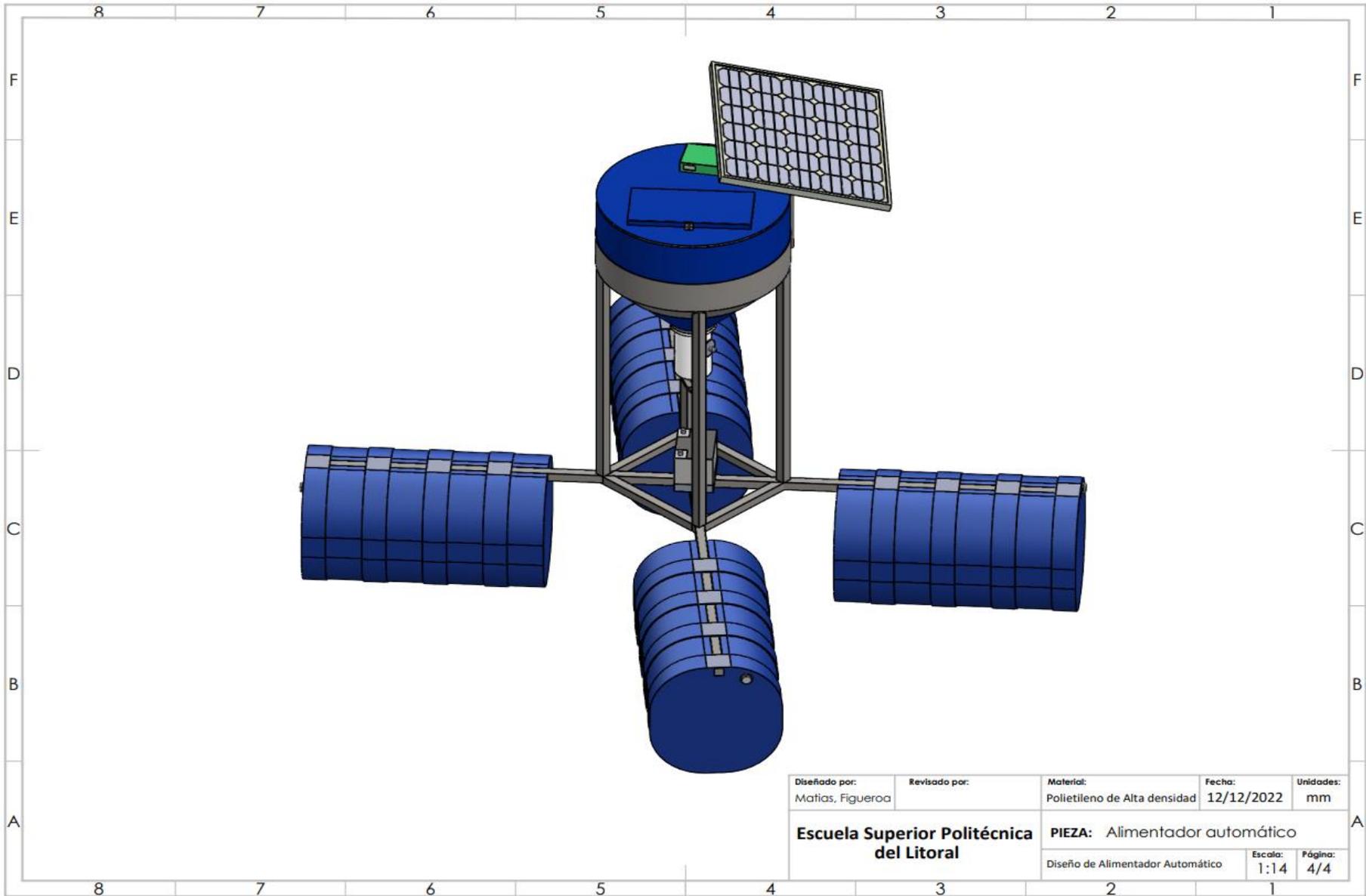


Diseñado por: Matias, Figueroa	Revisado por:	Material: Polietileno de Alta densidad	Fecha: 12/12/2022	Unidades: mm
Escuela Superior Politécnica del Litoral		PIEZA: Flotador		
		Diseño de Alimentador Automático	Escala: 1:10	Página: 1/4





Diseñado por: Mafias, Figueroa	Revisado por:	Material: Acero Inoxidable (40x40xe2)	Fecha: 12/12/2022	Unidades: mm
Escuela Superior Politécnica del Litoral		PIEZA: Estructura		
		Diseño de Alimentador Automático	Escala: 1:25	Página: 3/4



Diseñado por: Mafias, Figueroa	Revisado por:	Material: Polietileno de Alta densidad	Fecha: 12/12/2022	Unidades: mm
Escuela Superior Politécnica del Litoral		PIEZA: Alimentador automático		
		Diseño de Alimentador Automático	Escala: 1:14	Página: 4/4