



**UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DOSIFICADOR AUTOMATIZADO DE
ALIMENTO PARA TILAPIAS CULTIVADAS
EN ESTANQUES**

Trabajo final de graduación sometido a la consideración de la

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Como parte de los requisitos
para aspirar al título y grado de

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA CON ÉNFASIS EN
PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS**

Alex Chinchilla Mora

Alberto Sandí Solís

Sede Interuniversitaria de Alajuela

Setiembre, 2019

Hoja del Tribunal

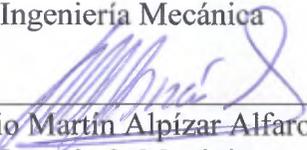
Este proyecto de graduación fue aceptado por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado y título de Licenciatura en Ingeniería Mecánica con Énfasis en Sistemas de Protección Contra Incendios.



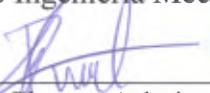
Representante de la unidad académica
Ing. Wagner Mejías Chacón
Profesor y representante de la Escuela de Ingeniería Mecánica



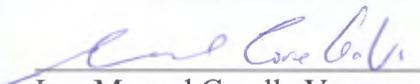
Asesor Director
Ing. Daniel Bolaños Burbano de Lara
Escuela de Ingeniería Mecánica



Asesor Interno
Ing. Eugenio Martín Alpizar Alfaro
Escuela de Ingeniería Mecánica



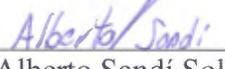
Asesor Externo
Ing. Israel Chaves Arbaiza
Escuela de Ingeniería Mecánica



Docente
Ing. Manuel Corella Vargas
Escuela de Ingeniería Mecánica



Ponente
Alex Chinchilla Mora



Ponente
Alberto Sandí Solís

Agradecimientos

En el trayecto universitario, considero, existen personas claves que permiten el éxito de los estudiantes, en mi caso, ese grupo de personas inicia en mi hogar desde donde se gestaron los principales momentos y aportes para mi carrera universitaria, seguidamente los facilitadores académicos que permiten una experiencia de aprendizaje gracias al esfuerzo que realizan diariamente y por último, pero no menos importante, los compañeros y personas en general que acompañan, facilitan y hacen agradable el proceso de aprendizaje. A todos ellos y con cariño extiendo mi agradecimiento.

A. Sandí.

En primer lugar, a Dios porque sin él no sería nada, a mis padres, hermanos, tíos y abuelos, porque me han brindado su apoyo en todo momento. A los seres queridos y profesores quienes fueron de gran apoyo durante toda la preparación y culminación de mis estudios.

A. Chinchilla.

Dedicatoria

Para todas las personas que han estado presentes en cada uno de los momentos buenos y malos, que sin duda alguna son fuente de inspiración para salir adelante.

Epígrafe

Índice general

1	Introducción	16
1.1	Descripción general	16
1.2	Objetivos	18
1.2.1	Objetivo general	18
1.2.2	Objetivos específicos.....	18
1.3	Justificación	19
1.4	Antecedentes	20
1.5	Metodología	21
1.6	Alcance y limitaciones	23
1.7	Limitaciones.....	23
2	Marco teórico	25
2.1	Alimentación de tilapias	25
2.2	Parámetros que definen el tipo de cultivo de tilapias	26
2.3	Composición nutricional de los comprimidos	27
2.4	Tamaño de los comprimidos.....	29
2.5	Formulación de la dosificación de alimento	30
2.6	Conversión alimenticia	32
2.7	Dosificadores de alimento para tilapias	32
2.7.1	Características del dosificador	34
2.7.2	Dosificadores de sólidos secos y en polvo	35
2.7.3	Dosificación volumétrica	35
2.7.4	Dosificador de tornillo	36
2.7.5	Dosificador de compuerta rotativa	37
2.7.6	Dosificador de banda rodante.....	38
2.8	Comparación de dosificadoras	39
2.9	Ley de Grashof.....	41
2.10	Motor eléctrico.....	41

2.10.1	Motor de pasos	42
2.10.2	Motor monofásico	43
2.10.3	Motor de fase partida con capacitor para el arranque y permanente	43
2.11	Panel fotovoltaico	44
3	Resultados y discusión	48
3.1	Puntos evaluados para el diseño del dosificador.....	48
3.2	Diseño estructural del dosificador automatizado.....	49
3.2.1	Diseño de la tolva.....	50
3.2.2	Ducto exterior.....	52
3.2.3	Ducto medio	53
3.2.4	Ducto regulador de las dosificaciones.....	54
3.2.5	Ducto vertical	56
3.2.6	Tubo de descarga con salida a 45°	57
3.2.7	Mecanismo giratorio	59
3.3	Selección del motor eléctrico.....	65
3.4	Sistema de control.....	66
3.5	Cálculo para la selección del soplador.....	70
3.6	Mediciones de oxígeno y temperatura en los estanques	72
3.7	Cálculo de panel solar	73
3.8	Presupuesto	74
4	Conclusiones	79
5	Recomendaciones.....	82
6	Bibliografía.....	84
7	Anexos.....	88
7.1	Anexo A. Planos	89
7.2	Anexo B. Memoria de cálculo para motores de paso	103
7.3	Anexo C. Memoria de cálculo para Soplador	105
7.4	Anexo D. Código de programación del Arduino	106

Índice de figuras

Figura 2.1. Gráfico de composición nutricional de los comprimidos para la etapa de alevín y juvenil. (ctaqua, 2003, p. 29).....	28
Figura 2.2. Gráfico de composición nutricional de los comprimidos para la etapa de engorde. (ctaqua, 2003, p. 30).....	28
Figura 2.3. Componentes fundamentales de un dosificador (Fajardo & Sánchez, 2006, p.26).....	33
Figura 2.4. Dosificadora de tornillo (Juan Gabriel Cangas, 2007, p. 27).....	36
Figura 2.5. Dosificadora de compuerta rotativa (Juan Gabriel Cangas, 2007, p.29).....	38
Figura 2.6. Dosificador de banda rodante (Juan Gabriel Cangas, 2007, p. 31).....	39
Figura 2.7. Motor de pasos (Senner, 1994, p. 228).....	42
Figura 2.8. Motor de fase partida con capacitor para arranque (Robert L. Mott, 2006, p. 807).....	44
Figura 2.9. Panel solar monocristalino (Miguel, 2011. p, 78).....	45
Figura 2.10. Panel solar policristalino (Miguel, 2011, p. 78).....	46
Figura 2.11. Panel solar amorfo (Miguel, 2011, p. 78).....	46
Figura 3.1. Diagrama esquemático del dosificador automatizado. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.....	50
Figura 3.2. Tolva almacenadora de comprimido. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019. ...	51
Figura 3.3. Ducto exterior. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.....	53
Figura 3.4. Ducto medio. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.....	54
Figura 3.5. Ducto regulador de las dosificaciones. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019. ..	56
Figura 3.6. Ducto vertical. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.....	57
Figura 3.7. Ducto horizontal. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.....	58
Figura 3.8. Mecanismo giratorio para entrega de comprimido de manera periférica. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.....	60

Figura 3.9. Mecanismo de cuatro barras. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.	61
Figura 3.10. Síntesis de eslabonamientos con la mitad de la rotación designada para el eslabón 1. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.	62
Figura 3.11. Síntesis de eslabonamientos con la rotación completa designada para el eslabón 1. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.	63
Figura 3.12. Patrón de descarga del comprimido en vista superior. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.	64
Figura 3.13. Definición de pines para la placa del Arduino. Fuente Chinchilla & Sandí, 2019.	66
Figura 3.14. Cálculos para el control del motor de paso. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.	67
Figura 3.15. Determinación de las salidas digitales del Arduino. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.	67
Figura 3.16. Código para el final de carrera. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.	68
Figura 3.17. Código para la dosificación. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.	69
Figura 3.18. Vista lateral del modelo propuesto del soplador. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.	71

Índice de cuadros

Cuadro 2.1. Diámetro del comprimido según la masa del pez. (ctaqua, 2003, p. 29).....	29
Cuadro 2.2. Número de dosificaciones diarias de alimento, según tamaño del pez. (ctaqua, 2003, p. 30).....	29
Cuadro 2.3. Tabla para la elaboración de dietas alimenticias para tilapias. Fuente: Industrial Belina Montes de Oro S.A.	31
Cuadro 2.4. Clasificación de dosificadoras para sólidos secos y en polvo (Recios, 2015, p. 114).....	35
Cuadro 2.5. Puntaje para la de matriz multicriterio, Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.	40
Cuadro 2.6. Matriz multicriterio para la comparación de los distintos tipos de dosificadoras, Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.	40
Cuadro 3.1. Cálculo del torque requerido por el motor de paso.	65
Cuadro 3.2. Cálculo de la trayectoria del comprimido.	70
Cuadro 3.3. Cálculo de requerimiento	71
Cuadro 3.4. Valores de temperatura y oxígeno en tres estanques.	72
Cuadro 3.5. Cálculo de potencia total del dosificador.	73
Cuadro 3.6. Cálculo de panel solar con la potencia requerida.	74
Cuadro 3.7. Presupuesto detallado de los costos de inversión del proyecto.	74
Cuadro 3.8. Presupuesto detallado de los costos de inversión del proyecto con materiales de acero inoxidable.	76

Simbología

$^{\circ}\text{C}$	grados Celsius
dm^3/s	decímetros cúbicos por segundo
g	gramo
kg	kilogramo
kPa	kiloPascal
$kg/día$	kilogramos por día
l/s	litros por segundo
m	metro
mm	milímetro
min^{-1}	revoluciones por minuto
$mN\cdot m$	miliNewton por metro
$peces/m^2$	peces por metro cuadrado
$tilapias/kg$	tilapias por kilogramo
$ton/(hm^2\cdot año)$	toneladas por hectómetro cuadrado por año
W	Watt

Siglas

TFG (Trabajo Final de Graduación)

Abreviaturas

Resumen

El presente Trabajo Final de Graduación (TFG), consiste en el diseño de un sistema automatizado para dosificar alimento a tilapias cultivadas en estanques de 7 m por 3 m, con profundidad de 1.6 m. Se realizó una investigación detallada de los métodos, prácticas y parámetros que se deben cumplir y tomar en cuenta en la alimentación de estos animales para su adecuado desarrollo; y de esta manera, poder incluirlos dentro del diseño del mecanismo para hacer de su funcionalidad un dosificador automatizado altamente eficiente.

El diseño de este dosificador automatizado se compone a grandes rasgos de: una tolva que permite almacenar el alimento de consumo diario, tres compartimentos de forma rectangular destinados a la regulación de las dosificaciones, un tubo de descarga posicionado en forma vertical el cual descarga el alimento en otro tubo posicionado horizontalmente y que su descarga está orientada en 45° con la horizontal; además, este tubo posee la capacidad de descargar el alimento de forma periférica al estanque siendo impulsado mediante un sistema de soplado. Todas estas partes que componen el dosificador se encuentran sobre una estructura de soporte que tiene la capacidad de anclarse al suelo y así mantenerse firme para evitar inconvenientes.

Para la alimentación de energía eléctrica del dosificador automatizado, se obtiene la demanda de potencia de todos los equipos que requieren de electricidad y que son necesarios para las labores del dosificador. A partir de la demanda total de energía, se cuenta con un sistema de energía limpia, basado en un panel solar con capacidad de suministrar 20 W.

Capítulo 1
Introducción

1 Introducción

El diseño de un dispositivo electromecánico de fácil uso y resultados eficientes es el enfoque primordial de este proyecto, esto a partir de una serie de objetivos planteados, alcances, limitaciones y una metodología de trabajo para llegar al resultado deseado, empleando los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera profesional; permitiendo contribuir e impactar de manera positiva al desarrollo empresarial de este país, en este caso, una empresa dedicada a la acuicultura en la zona norte.

1.1 Descripción general

La propuesta nace de la necesidad que tiene un restaurante en la zona de San Carlos, de mejorar el proceso de alimentación de un criadero de tilapias. El cultivo de estas se desarrolla en 26 estanques, los cuales contienen peces de diferente tamaño. La alimentación de estas se realiza actualmente en forma manual. Un colaborador de la empresa se encarga de alimentarlas manualmente en cada uno de los estanques. Cada estanque tiene un reservorio con alimento y la cantidad por dispensar, pero esta no está siendo controlada con precisión.

Dada la cantidad de estanques, la labor de alimentación, se le dificulta a la persona encargada. El manejo del alimento y las técnicas de alimentación (calidad del alimento, cantidad suministrada, horarios de alimentación, entre otros.) son fundamentales para la calidad de la crianza y en si para la eficiencia en el cultivo. La tilapia es omnívora, el tipo y cantidad de alimento varían con la edad del pez.

El trabajo por realizar consiste en diseñar un prototipo de dosificador de alimento, el cual pueda ser programado para dosificar diferentes cantidades de alimento de acuerdo con un horario y tamaño de comprimido. El diseño final incluirá un dosificador tipificado, mismo que se instalará en la periferia de cada uno de los estanques. Dicho dosificador tendrá la capacidad de modular la cantidad de comprimido que entrega, dado que el tamaño de los peces varía entre los 26 estanques.

La alimentación se realiza solo durante las horas de luz solar, razón por la que se implementó la utilización de paneles solares para la generación de la energía eléctrica requerida en la operación de los equipos y del sistema de control.

El diseño final incluirá los planos de fabricación del dosificador y las características de sus componentes principales. Para el sistema de control se incluirá y detallará el código de programación que gobernará dos motores de paso encargados de las dosificaciones, un motor para el movimiento angular del soplador y el accionamiento del soplador.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar un dosificador de alimento para tilapias cultivadas en estanques, que opere automáticamente y que permita aumentar la calidad del producto.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Seleccionar un tipo de dosificador que se adapte a los parámetros del tipo y cantidad de alimento diario requerido para cada estanque del proyecto, dependiendo del tamaño, cantidad y edad de la población de tilapias.
- b) Diseñar el prototipo del dosificador y presentar una animación mediante el modelado en tres dimensiones.
- c) Calcular los parámetros mínimos del soplador para optimizar la distribución de alimento en el estanque.
- d) Diseñar un sistema de control para gobernar cada dosificador.
- e) Seleccionar los materiales adecuados para la construcción del dosificador, aptos para el ambiente y los productos por dosificar.

- f) Presentar presupuesto detallado de los costos de inversión requeridos para la fabricación del dosificador automatizado.

1.3 Justificación

En general, las empresas dedicadas a la acuicultura en Costa Rica buscan maximizar la calidad del producto al menor costo posible. El tiempo y el estricto control que demanda el proceso de alimentación de tilapias cultivadas en estanques, es vital para la calidad del cultivo. Cuando se trabaja simultáneamente con gran cantidad de estanques y tilapias, así como una amplia variabilidad de edad y tamaño, se convierte necesario la utilización de herramientas sofisticadas para obtener un proceso eficiente y de calidad.

Es por lo anterior que esta propuesta de TFG considera diseñar un dosificador automatizado de alimento para los estanques de tilapia; con la finalidad de poseer un plan de alimentación controlado, el que permita suministrar las cantidades recomendadas de alimento a cada estanque siguiendo un horario establecido, con el propósito de evitar excesos o faltantes que se presenta con el método manual de alimentación, realizado por un operario. Esto busca, además de automatizar el proceso de alimentación, maximizar la calidad del cultivo y aprovechar mejor el recurso humano.

Dada la alta experiencia del personal de la empresa mencionada, se determina que se deben alimentar las tilapias cada dos horas, iniciando a las 7:00 a.m. y finalizando a las 5:00 p.m. La masa ideal a la que se cosechan las tilapias oscila entre los 700 g y 800 g al cabo de 6 meses de crianza desde que el animal ha entrado a la finca en condiciones de alevín. Por ende, la cantidad y el tamaño del grano de alimento que se debe suministrar dependen de la cantidad, tamaño y edad de la población en cada estanque.

Estos datos se obtienen con los cálculos pertinentes; sin embargo, aún con ello, no se garantiza que la persona encargada de esta labor deposite la cantidad correcta, a las horas establecidas. Con la implementación del dosificador se busca un proceso automatizado de dicha labor. Además, pretende reducir los costos de operación de los equipos, utilizando energía eléctrica generada por paneles solares. Un sistema de control automatizado gobernará las recetas para cada dosificador.

1.4 Antecedentes

La empresa a la que se desea beneficiar con el diseño del dosificador se ha dedicado a la venta y la cultivo de tilapia desde hace 15 años, está ubicada en La Marina de San Carlos y su nombre es Tilapias Quecos S.A. En sus inicios solamente contaban con un restaurante para la venta de tilapias; sin embargo, debido a un crecimiento acelerado de clientes en el restaurante, han necesitado desarrollar su propio proyecto de acuicultura, donde actualmente el tamaño de su producción en carga animal de aproximada de 90 000 tilapias al año, cantidad requerida para poder dar abasto con la demanda actual.

Poseen una cantidad de 26 estanques para el cultivo de tilapias, es necesario optimizar el proceso del cultivo, reducir costos operativos, y sobre todo garantizar un producto de alta calidad, lo que es difícil de lograr utilizando un método manual de alimentación, dando sustento a este TFG.

1.5 Metodología

- Se realizaron visitas al lugar para recolectar información que nos pueda brindar la persona encargada del proyecto de tilapias, quien cuenta con gran experiencia adquirida de manera empírica.
- Actualizar registros de datos realizados por parte de la empresa, para tabular la información básica que contenga las proporciones (cantidad y tipo de alimento) y tiempos de alimentación que deben manejar los dosificadores etc.
- Investigación sobre mecanismos de dosificación para alimentos iguales o similares a los que se deben dosificar.
- Investigar sobre materiales recomendables para el diseño.
- Realizar mediciones de oxígeno y temperatura en el agua de los estanques como variables necesarias que se deben contemplar en el desarrollo del diseño.
- Diseñar el sistema dosificador de alimento.
- Mediante la demanda de energía eléctrica de cada dispositivo del dispensador se procederá a calcular el sistema de panel solar necesario para abastecer dicha demanda.
- Mediante un orden de ejecución de las funciones del dispensador se realizará una lógica que llevará la programación del sistema de control.

De ser posible, construir un prototipo con un control semiautomático, y realizar pruebas para comprobar el diseño respecto a cantidad de comprimido capaz de dosificar según sea el valor indicado y en los tiempos de alimentación establecidos.

1.6 Alcance y limitaciones

- Investigación de los parámetros que influyen en la alimentación de las tilapias y que deben ser contemplados en el diseño.
- Presentación de juego de planos para la construcción del dosificador de alimento.
- Desarrollar la lógica de funcionamiento de los motores que permiten el funcionamiento del dosificador automatizado.
- Selección del equipo que abastecerá la demanda de energía eléctrica del dosificador automatizado.
- Presentación de costos de inversión para la construcción del diseño, presentando una versión económica y otra en acero inoxidable.

1.7 Limitaciones

- No se profundizó en el diseño del panel de control, únicamente en el desarrollo de la programación que debe llevar el sistema de control.

Capítulo 2
Marco teórico

2 Marco teórico

En este capítulo se presentan términos fundamentales a contemplar para el desarrollo del proyecto: habitad de las tilapias, diseño mecánico y lógica de programación del dispensador.

2.1 Alimentación de tilapias

La tilapia (*Oreochromis niloticus*) es un animal omnívoro que conforme se da su crecimiento adquiere la capacidad de alimentarse de partículas de diferentes tamaños. Si este animal se encuentra en su habitad natural se alimenta de diversas especies naturales como plánctones; sin embargo, en ambientes controlados por el hombre existen múltiples técnicas de alimentación según (Baltazar Guerrero, 2004, p. 64):

- Alimentación en un solo sitio: la acumulación de materia orgánica en un solo lugar hace que esta técnica sea poco adecuada, además de que el alimento es consumido en su mayoría por los animales más grandes. Dicha técnica es factible implementarla para el cultivo intensivo de tilapias.
- Alimentación en L: para esta práctica se recomienda colocar el alimento cerca de la salida del agua y a uno de los lados del estanque, con el fin de despachar la mayor cantidad de heces cuando las tilapias consumen el alimento.
- Alimentación periférica: debido al instinto territorial que posee esta especie, se recomienda alimentar por diversas orillas del estanque, con el fin de que todos los animales logren consumir su alimento.

- Alimentadores automáticos: son recomendables cuando la relación costo beneficio sea favorable, debido a que en sistemas a pequeña escala tiende a elevarse el costo por la adquisición de estos equipos.

Existen diversos parámetros en temas de alimentación que deben considerarse aparte de las técnicas utilizadas para darles el alimento a las tilapias, estos parámetros se citan a continuación:

- Temperatura: la asimilación óptima del alimento por parte del sistema digestivo de estos animales se desarrolla cuando la temperatura ambiental posee niveles que rondan entre 24°C y 35°C, produciendo que las secreciones digestivas se eleven con el aumento de temperatura, esto repercute en un aprovechamiento de gran parte de los nutrientes del alimento y posteriormente un desarrollo sea más acelerado del animal. (Alicorp, 2010, p. 9).
- Tiempo de consumo: Para el cultivo extensivo a semintensivo se recomienda que el tiempo de flotabilidad del alimento no sea mayor a quince minutos; por otra parte, para el tipo de crianza intensiva a super intensiva el tiempo de flotabilidad no debe superar más de un minuto y medio. (Alicorp, 2010, p. 33).

2.2 Parámetros que definen el tipo de cultivo de tilapias

Existen diversas técnicas para el desarrollo de la acuicultura, las cuales varían con la carga animal con la que se trabaja y ligado a esto, también la disponibilidad de espacio con la que se

cuenta para el tamaño de los estanques, estos parámetros según (Alicorp, 2010, p. 45) se detallan como sigue:

- Cultivo extensivo: de 1 *pez/m²* a 3 *peces/m²*, debe poseerse disponibilidad de agua constante que permita realizar cambios parciales, de 5% - 10% diario. Para este tipo de sistema no se da mucha importancia al tamaño final del pez.
- Cultivo semintensivo: de 4 *peces/m²* a 15 *peces/m²*. La inversión inicial representa costos significativos; sin embargo, existe un aumento en la producción por unidad de área, obteniendo una producción en el rango de 20 *ton/ (hm²·año)* a 50 *ton/ (hm²·año)* con factores de conversión de 1,6 a 1,9 para peces de 700 g.
- Cultivo intensivo: de 80 *peces/m²* a 150 *peces/m²*, el recambio de agua es de un 250 *l/s* a 600 *l/s*. Si los niveles de oxígeno son bajos, debe considerarse la implementación de aireadores que lo complementen.

Tal es el caso del proyecto beneficiado con este trabajo, el cuál emplea el cultivo intensivo.

2.3 Composición nutricional de los comprimidos

Al referirse a la palabra comprimido, se hace alusión al tipo de grano que consumen las tilapias, el cual varía dependiendo la edad del animal por su tamaño y capacidad de asimilación por parte del sistema digestivo. Las características fisicoquímicas de este alimento son variables por considerar para el diseño del dosificador, tal como se muestra en la **Figura 2.1** y **Figura 2.2**.

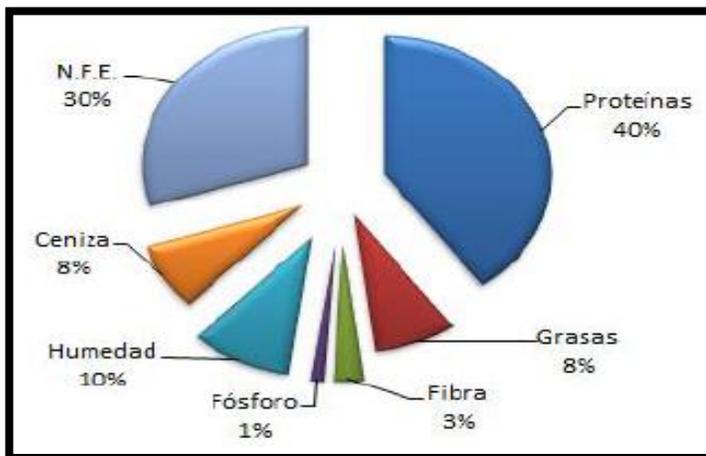


Figura 2.1. Gráfico de composición nutricional de los comprimidos para la etapa de alevín y juvenil. (ctaqua, 2003, p. 29).

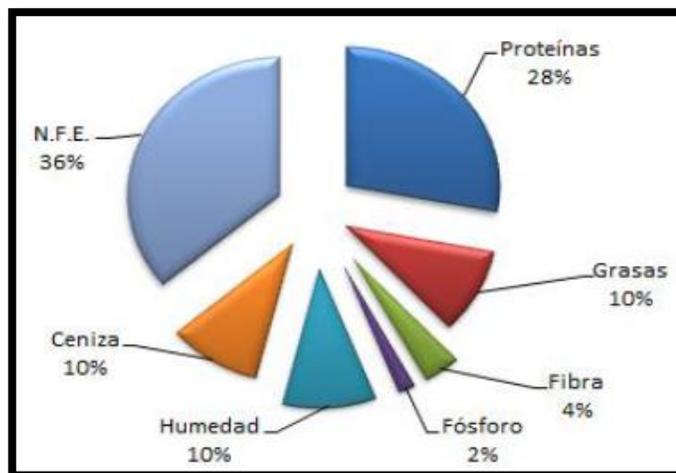


Figura 2.2. Gráfico de composición nutricional de los comprimidos para la etapa de engorde. (ctaqua, 2003, p. 30).

2.4 Tamaño de los comprimidos

Para establecer el peso promedio en gramos de cada tilapia en el estanque, es recomendable realizar un muestreo mensual, el cual consiste en medir la masa de al menos veinte animales y de esta forma determinar las raciones adecuadas y el tamaño de alimento por suministrar para cada estanque, ya que, de esto depende el tamaño del comprimido que es capaz de consumir.

Cuadro 2.1. Diámetro del comprimido según la masa del pez.

(ctaqua, 2003, p. 29)

Tamaño del pez (g)	Diámetro del comprimido (mm)
0,4-0,8	1
0,8-2,9	1,45
2,9-10	1,65
10,0-40	1,8
40-100	2
100-400	3
>400	5

Cuadro 2.2. Número de dosificaciones diarias de alimento, según

tamaño del pez. (ctaqua, 2003, p. 30)

Etapa	Rango de peso (g)	Frecuencia de alimentación (cantidad/día)
Alevín	1,0-5	6
Cría	5,0-50	6
Juveniles	50-100	5
Engorde	100-350	5
Engorde	>350	4

2.5 Formulación de la dosificación de alimento

Como se puede observar en el **Cuadro 2.1** y **Cuadro 2.2**, muestra el diámetro del comprimido adecuado que debe consumir cada animal, así como el número de veces que se deben alimentar al día. Sin embargo, la empresa donde se desarrolla este proyecto fundamenta sus dietas en la información y capacitación que les brinda la compañía Industrial Belina Montes de Oro S.A., empresa a la que le compra el suministro de alimento para la elaboración de las dietas alimenticias.

El **Cuadro 2.3** es el documento base de “Tilapias Quecos” para confeccionar el procedimiento de alimentación, desde el tamaño del comprimido, hasta la cantidad de veces que se debe colocar alimento en cada estanque, debido a las características físicas y cantidad de tilapias en cada uno. Dicho cuadro fue elaborado por biólogos de Industrial Belina Montes de Oro S.A.

Cuadro 2.3. Tabla para la elaboración de dietas alimenticias para tilapias.

Fuente: Industrial Belina Montes de Oro S.A.

Masa del animal (g)	Especificación (mm)	Dosis (kg/día)	Proteína (%)	Frecuencia (Veces/día)
Reversión	Polvo	8 a 10	45	10
3	0,5 a 0,80	7,5	45	10
10	1,20 a 1,50	6,75	45	10
10 a 20	2x2	5,8	40	10
20 a 50	2x2	4,6	40	10
50 a 70	2x2	3,3	35	6
70 a 100	4x4	2,8	35	6
100 a 150	4x4	2,2	30	6
150 a 200	4x4	1,7	30	6
200 a 300	6x6	1,5	30	6
300 a 400	6x6	1,3	30	6
400 a 500	6x6	1,2	30	6
500 en adelante	8x8	1,1	28	6

El procedimiento de los cálculos respectivos para determinar la cantidad de alimento por suministrar a cada estanque se expone en la ecuación (2.1) y ecuación (2.2)

$$B = c \cdot p \quad (2.1)$$

Donde B es la biomasa de cada estanque en *tilapias/kg*, c es la cantidad de tilapias, p es la masa promedio de cada tilapia en *kg*.

$$C = 0.01 \cdot B \cdot K \quad (2.2)$$

Donde C es la masa de alimento que debe suministrar por estanque cada día en $kg/día$, K es la dosis indicada en la tercera columna del **Cuadro 2.3** en $kg/día$.

Una vez que se obtenga el valor de la ecuación (2.2), se debe racionar en partes iguales la cantidad de alimento diario por suministrar según la frecuencia mostrada en la quinta columna del **Cuadro 2.3**. Sin embargo, dependiendo de las condiciones climáticas, como se indica en la sección 2.1, queda a criterio de la empresa si decide aumentar la dosificación de alimento para aprovechar las secreciones digestivas de las tilapias, alteradas por el incremento de temperatura.

2.6 Conversión alimenticia

La conversión alimenticia consiste en una relación entre la masa de alimento utilizado en el ciclo y la masa de carne obtenida. Esta relación no debe ser mayor a 2 para lograr que todo el proceso de crianza al final haya sido rentable y genere ingresos que permitan continuar con el proceso de acuicultura. Es importante mencionar que se debe descontar la masa de las vísceras de cada animal. (Acosta & García, 2014, p.12).

2.7 Dosificadores de alimento para tilapias

En la industria existe una gran variedad de procesos en los que es indispensable poder dispensar una determinada cantidad de producto con precisión, durante un periodo de tiempo definido. Los componentes fundamentales de los dosificadores se muestran en la **Figura 2.3**. Adicionalmente, a continuación, se describe cada uno de estos:

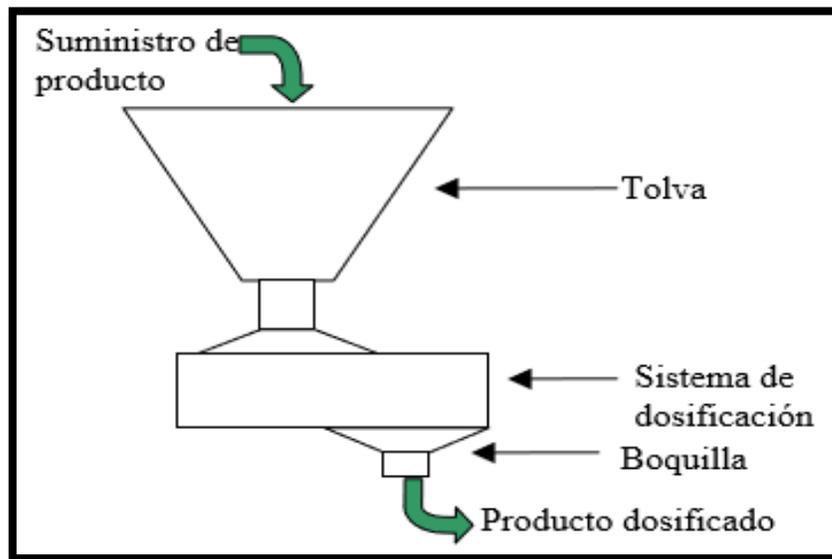


Figura 2.3. Componentes fundamentales de un dosificador (Fajardo & Sánchez, 2006, p.26).

- Tolva: parte encargada de contener el producto por dosificar. La forma en que es llenada la tolva puede ser manual por un operario o también de forma automatizada, por ejemplo, con una banda transportadora.
- Sistema dosificador: es el componente encargado de determinar la cantidad por dosificar. Toma el producto proveniente de la tolva.
- Tubo de descarga: tiene como función evitar que el producto se riegue o se desperdicie direccionando la descarga del material dosificado.

2.7.1 Características del dosificador

Debido a que los productos procesados pueden variar en su composición, ya sea física, química o tamaño, los dosificadores se tienen que adaptar para cumplir esa función específica. Por ende, la selección del tipo de dosificador es muy importante y como se describe en el documento Diseño y construcción del sistema de dosificación, se tiene que identificar las siguientes características (Torres, 2012. p. 95):

- Naturaleza del material para dosificar y sus características
- Precisión deseada
- Despacho de los componentes
- Cantidad de dosis necesaria o dinámica del despacho
- Modo de servicio.

Según Torres, los dosificadores pueden ser clasificados según el estado de la materia por dosificar:

- Sólidos secos y sólidos en polvo
- Líquidos
- Gas

Dadas las características que presenta el alimento para tilapias, en la siguiente sección de éste TFG se comentará ampliamente sobre los dosificadores que sean capaces de manejar sólidos secos.

2.7.2 Dosificadores de sólidos secos y en polvo

En esta categoría existen dos posibles maneras de determinar la masa del producto por dosificar, la volumétrica o la gravimétrica, tal como se aprecia en el **Cuadro 2.4**. El tipo de sistema determinará los posibles componentes de la dosificadora para que ésta pueda llevar acabo su tarea.

Cuadro 2.4. Clasificación de dosificadoras para sólidos secos y en polvo (Recios, 2015, p. 114).

Dosificadores sólidos, secos y en polvo	Dosificadores Volumétrico	<ul style="list-style-type: none">- Dosificadores de tornillo.- Dosificadores de compuerta rotativa.- Dosificadores de banda rodante
	Dosificadores Gravimétricos	<ul style="list-style-type: none">- De liquido- De gas- Dosificadores de banda- Dosificadores por pérdida de peso

2.7.3 Dosificación volumétrica

Su función se basa en la expulsión de un volumen determinado. El material se aloja en una cavidad la cual se conoce como volumen, de manera que controlando los giros de la máquina y conociendo el volumen por cavidad se llega a satisfacer la dosificación. Por ende, teniendo cierto volumen por unidad de tiempo se obtiene un flujo proporcional a la dosis requerida (Educaci, 2010, p. 28).

Entre los mecanismos más comunes se encuentran:

- Dosificador de tornillo
- Dosificador de compuerta rotativa
- Dosificador de banda rodante

Es importante que la calibración del equipo sea verificada periódicamente en particular si la masa volumétrica está sujeta a variaciones.

2.7.4 Dosificador de tornillo

En la Figura 2.4 se ilustra el esquema del dosificador de tornillo. Su elemento principal es el tornillo, que se encuentra en la parte inferior de la tolva de alimentación. El material se deposita en el tornillo y por cada giro libera un volumen determinado.

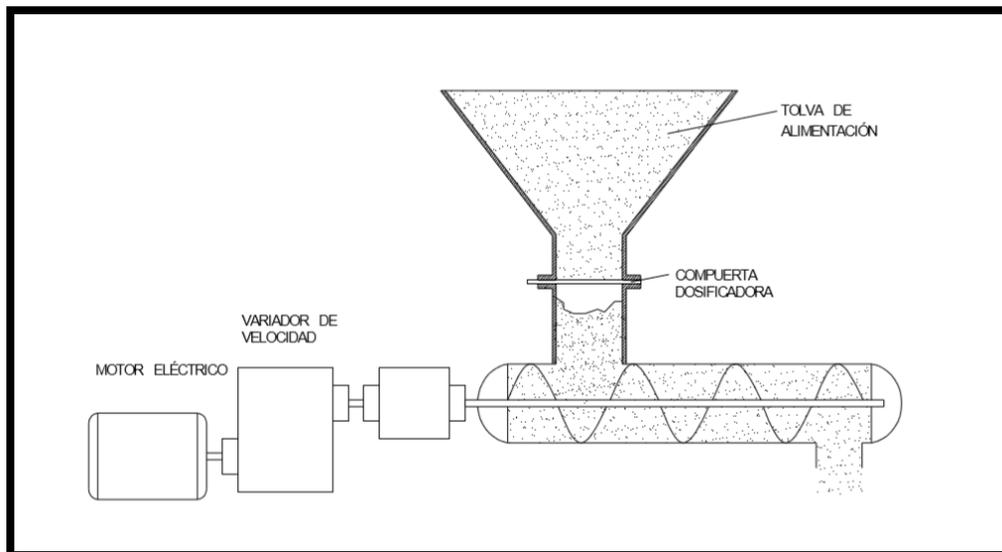


Figura 2.4. Dosificadora de tornillo (Juan Gabriel Cangas, 2007, p. 27).

Comúnmente la rotación del tornillo es generada por un motor eléctrico, acoplado a través de un sistema de reducción por engranajes o de fajas y poleas, con el objetivo de controlar la velocidad de giro. Este proceso se lleva a cabo de forma intermitente o continua, según el requerimiento de dosificación.

De los dosificadores volumétricos, el de tornillo es el más utilizado en la industria. Entre sus principales ventajas está en la capacidad de manejar una gran variedad de productos para su dosificación. Por otra parte, su desventaja es su baja exactitud de la sustancia de ingreso (Juan Gabriel Cangas, 2007, p. 30).

2.7.5 Dosificador de compuerta rotativa

En el mecanismo de compuerta rotativa, como su nombre lo indica, tiene por elemento principal una serie de compuertas o paletas unidas al eje. Cada vez que se genera una vuelta dichas paletas permiten el paso de un cierto volumen que será el dosificado, tal como se aprecia en la **Figura 2.5**. Este tipo de dosificador tiene una precisión menor que el mecanismo de tornillo.

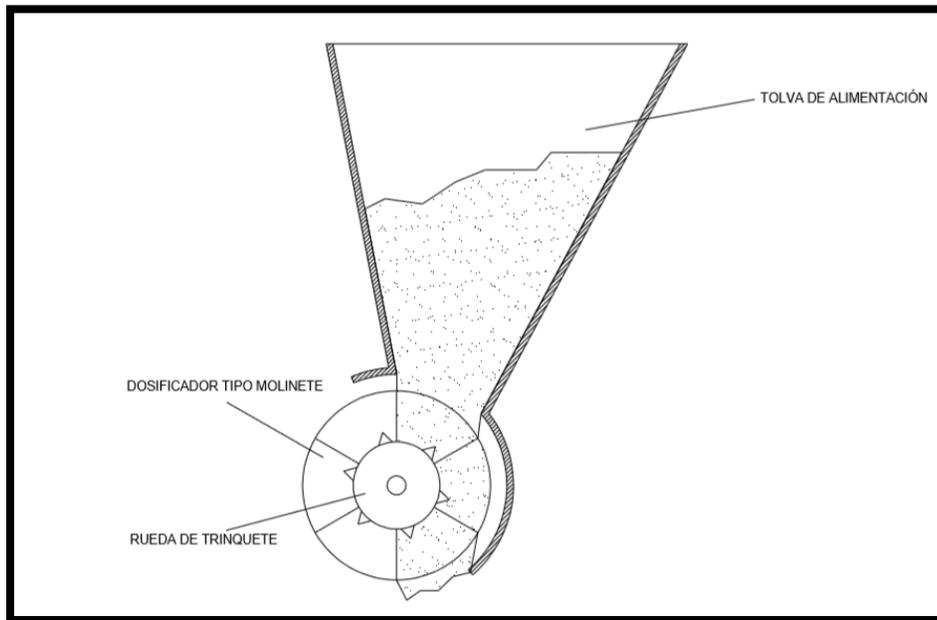


Figura 2.5. Dosificadora de compuerta rotativa (Juan Gabriel Cangas, 2007, p.29).

Al igual que el dosificador de tornillo, el de compuerta controla la rotación del eje utilizando una caja reductora o conjunto de fajas y poleas.

2.7.6 Dosificador de banda rodante

Su funcionamiento se basa en una banda, la cual se desplaza sobre unos rodetes. El alimento que se encuentra en la tolva se desplaza sobre la banda hasta que la compuerta reduce el volumen que pasa, de este modo regula el volumen de dosificado, tal como se muestra en la Figura 2.6.

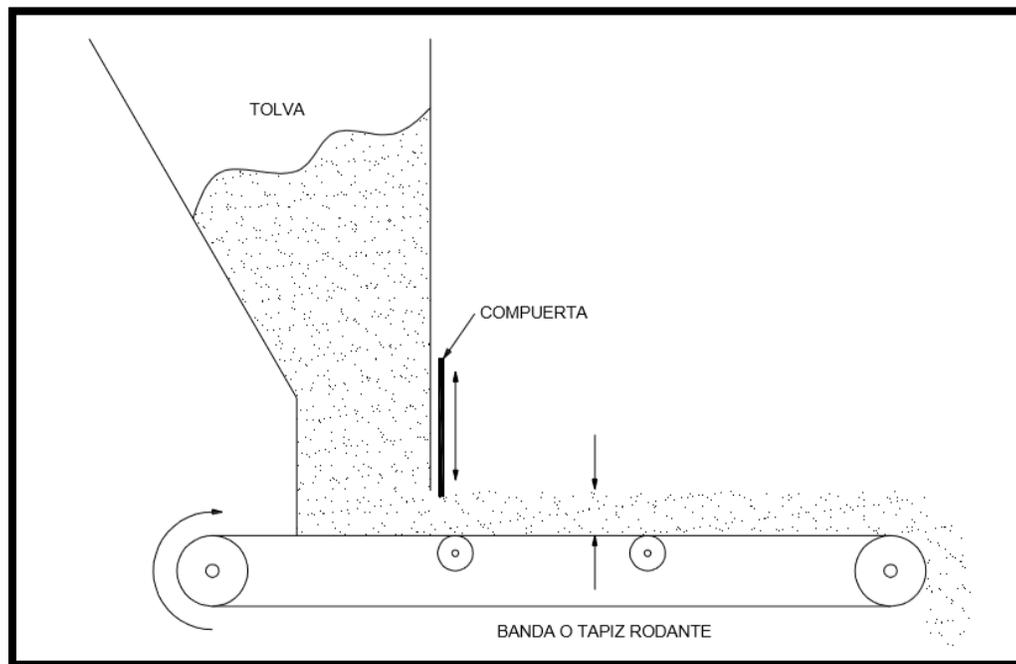


Figura 2.6. Dosificador de banda rodante (Juan Gabriel Cangas, 2007, p. 31).

La velocidad de los rodetes determinará la cantidad de material dosificado. También alterando la altura de la compuerta se logra aumentar o disminuir dicho volumen.

2.8 Comparación de dosificadoras

Para realizar una comparación adecuada de los tipos de dosificadores presentados con anterioridad se utilizará el método de decisión multicriterio (Jiménez, 2012), el que se presenta en el **Cuadro 2.6**. Los rubros que se valorarán para cada tipo de dosificador son: costos, facilidad de construcción, adaptabilidad, precisión y mantenimiento. Dicha evaluación y decisiones se basan en entrevista realizadas con los encargados del establecimiento y la investigación realizada por los autores, a los que se les asignará un puntaje de acuerdo con lo establecido en el Cuadro 2.5, entre los temas más importantes para la viabilidad del dosificador

se encuentra el costo del equipo, ya que este vendría ayudar al personal que se encarga de mantener y alimentar las tilapias, al momento que el equipo posee facilidad de construcción y mantenimiento reduce los costó . El puntaje final obtenido a través de cada elemento comparado muestra la opción en la que podría obtenerse mayor beneficio.

Cuadro 2.5. Puntaje para la de matriz multicriterio, Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

Puntaje	Definición
1	Muy malo
2	Malo
3	Regular
4	Bueno
5	Muy bueno

Cuadro 2.6. Matriz multicriterio para la comparación de los distintos tipos de dosificadoras, Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

Puntos por evaluar	Costos	Facilidad de construcción	Adaptabilidad	Precisión	Mantenimiento	Total
Porcentaje de peso	30%	20%	20%	10%	20%	100%
Dosificador de tornillo	3	2	2	5	2	2,6
Dosificador de compuerta rotativa	5	4	4	3	4	4,2
Dosificador de banda rodante	2	1	1	2	1	1,4

2.9 Ley de Grashof

A continuación, se presenta la definición correspondiente a la Ley de Grashof, la cual es un principio del que se dispondrá para el diseño del dosificador automatizado.

La condición de Grashof es una relación muy simple que predice el comportamiento de rotación o de las inversiones de un eslabonamiento de cuatro barras basado solo en las longitudes de los eslabones y se define mediante la ecuación (2.3):

$$S + L \leq P + Q \quad (2.3)$$

donde S es la longitud del eslabón más corto, L la longitud del eslabón más largo, P la longitud de un eslabón restante y Q la longitud de otro eslabón restante.

Si el eslabonamiento es de Grashof y por lo menos un eslabón será capaz de realizar una revolución completa con respecto al plano de bancada. Esta se llama cadena cinemática de clase I. Si la desigualdad no es cierta, entonces el eslabonamiento no es Grashof y ningún eslabón será capaz de realizar una revolución completa con respecto a cualquier otro eslabón. Esta es una cadena cinemática de clase II. (Norton, 2004, p. 55)

2.10 Motor eléctrico

En la industria es común el uso de motores eléctricos para lograr mover o controlar diversas máquinas que son utilizadas para distintos procesos productivos. En síntesis, un motor eléctrico se puede definir como “... un receptor que al ser alimentado mediante una corriente eléctrica, produce un movimiento giratorio en su eje que, a través de los acoplamientos mecánicos adecuados, es aprovechado para efectuar diferentes trabajos...”(Juan Carlos Martín, 2016, p. 106).

2.10.1 Motor de pasos

El motor de pasos se constituye básicamente de un estator que posee un cierto número de electroimanes, los que inducen un campo electromagnético sobre el rotor, tal como se muestra en la **Figura 2.7**. Dicho rotor contiene imanes permanentes dentados que son influenciados por el campo magnético producido por los electroimanes y en consecuencia, hacen girar el rotor de manera discreta (Senner, 1994, p. 228).

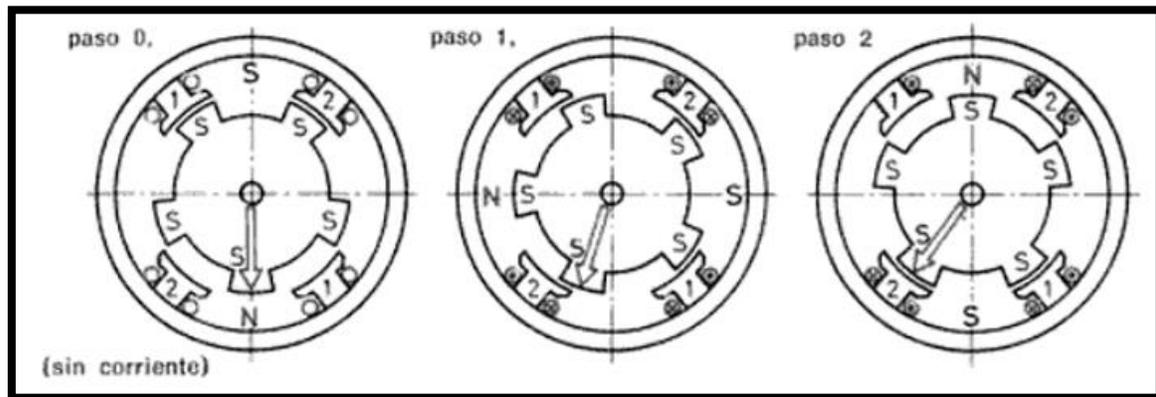


Figura 2.7. Motor de pasos (Senner, 1994, p. 228).

A diferencia de los motores eléctricos convencionales, el motor de paso posee la particularidad de moverse un paso a la vez por cada impulso eléctrico que se aplique. Son ideales

para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos que sean una fracción de un giro completo y de alta precisión.

2.10.2 Motor monofásico

Este tipo de motores funcionan produciendo un campo magnético rotatorio. Antes de que esto suceda es necesario desarrollar un campo estacionario pulsante en el estator, que se obtiene a través de un devanado auxiliar desfasado 90° con respecto al principal y así generar un par de arranque para que el motor comience a rotar (Videla, 2015, p. 13). En la actualidad se conocen varios tipos de motores monofásicos.

2.10.3 Motor de fase partida con capacitor para el arranque y permanente

Son muy utilizados en la industria para aplicaciones muy variadas como compresores, máquina herramientas y refrigeradores, entre otros. Estos son muy similares en la construcción de fase partida, con la diferencia que se utiliza un capacitor en serie con el devanado de arranque (Harper, 2000, p. 487). El objetivo de dicho capacitor es conseguir un mayor par de arranque puede utilizarse solamente en esta fase o puede ser permanente. A continuación, se detalla cada escenario:

- Capacitor para arranque: Como se aprecia en la Figura 2.8, el circuito posee un interruptor centrífugo, el que se activa cuando el motor alcanza cierta velocidad angular lo que provoca que se desactive el capacitor.

- Capacitor permanente: Utiliza un capacitor en serie para el arranque y trabajo del motor. A diferencia del que posee capacitor solo para el arranque, no posee interruptor centrífugo. Estos motores no son adecuados para un alto par de arranque.

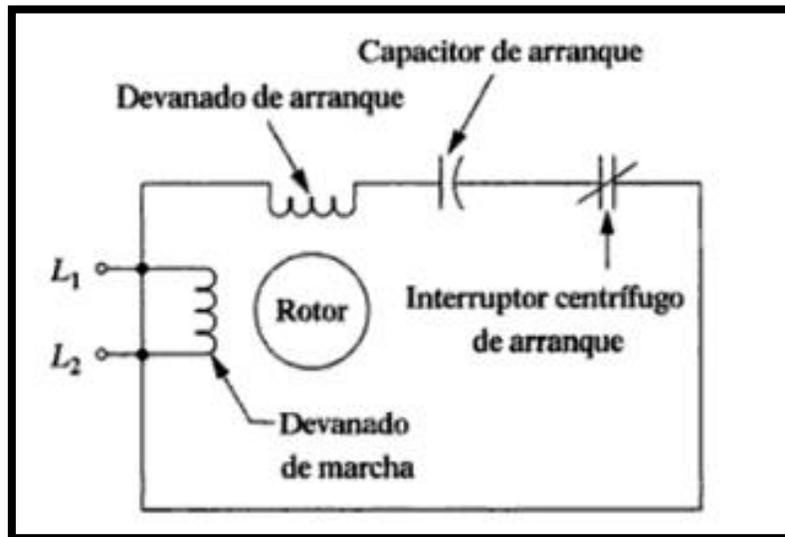


Figura 2.8. Motor de fase partida con capacitor para arranque
(Robert L. Mott, 2006, p. 807).

2.11 Panel fotovoltaico

Un panel solar es básicamente un elemento que transforma la energía lumínica del sol en energía eléctrica. En general, un panel posee celdas fotovoltaicas que tienen propiedades de sólidos cristalinos y permiten convertir los fotones que provienen del sol en una corriente eléctrica (Fernández, 2012, p. 2).

Su principio básico, como indica Daniel Gómez, “al incidir los fotones sobre la superficie de la celda, provocan un movimiento de cargas eléctricas que finalmente se traduce en unos niveles de tensión y corriente en sus terminales.” (Acondicionadores de energía distribuidos en redes de paneles fotovoltaicos, 2012, p. 3).

Algunos tipos de paneles solares más comunes en el mercado son:

- Panel solar con células de silicio monocristalino: Su componente son barra de silicio cristalizado de un solo segmento. Un ejemplo de este tipo de panel se presenta en la Figura 2.9. Su rendimiento oscila desde un 16%, hasta un rendimiento máximo en laboratorio de 24,7% (Miguel, 2011. p. 77).

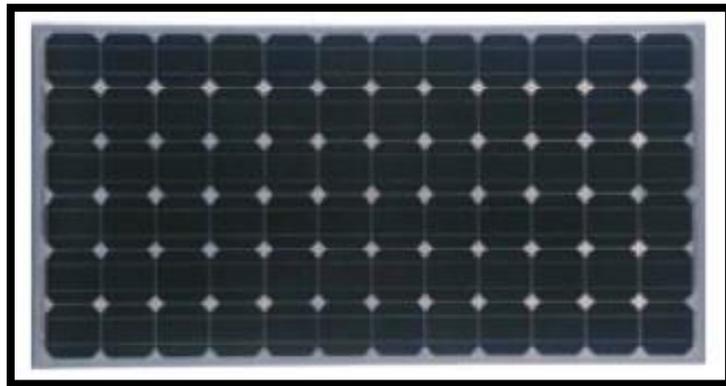


Figura 2.9. Panel solar monocristalino (Miguel, 2011. p, 78).

- Panel solar con células de silicio policristalino: Son barras de silicio que se estructuran de forma desordenada en pequeños cristales y se reconocen por su aspecto granulado, tal como se muestra en la Figura 2.10. Comúnmente tiene un rendimiento entre un 14%, hasta un rendimiento máximo en laboratorio de 19,8% (Miguel, 2011, p. 78). Por su construcción es más económico que el tipo monocristalino.

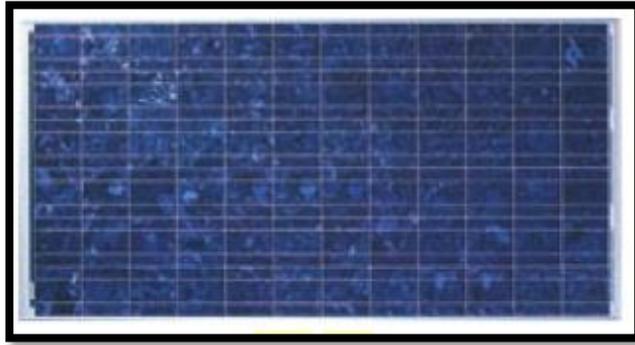


Figura 2.10. Panel solar policristalino (Miguel, 2011, p. 78).

- Panel solar con células de silicio amorfo: Su células se basan en silicio pero a diferencia de los paneles mencionados anteriormente este no posee estructura cristalina alguna, su eficiencia oscila entre el 6% y el 17%., son paneles son finos, flexibles y usualmente utilizados para dispositivos electrónicos, como se puede apreciar en la Figura 2.11 (Miguel, 2011, p. 79).

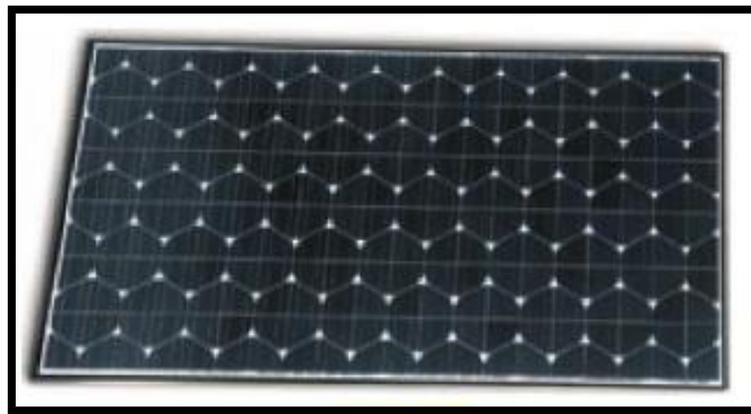


Figura 2.11. Panel solar amorfo (Miguel, 2011, p. 78).

Capítulo 3

Resultados y discusión

3 Resultados y discusión

Este capítulo de diseño se refiere a los aspectos que describen las características del dosificador automatizado, tanto en diseño mecánico como en los componentes electrónicos utilizados, en los que se ha enfocado el objetivo de desarrollar un dosificador que posea un complemento preciso entre su estructura y su sistematización electrónica, y que al cabo de su fabricación brinde los mejores resultados.

El diseño se ha modelado en tres dimensiones por medio del software Inventor®, lo que ha facilitado el desarrollo del dosificador a la hora de plasmar las ideas o considerar cambios en el diseño, esto ha permitido realizar cambios rápidos con las herramientas del programa, sin la necesidad de construir un modelo para apreciar los avances del trabajo.

3.1 Puntos evaluados para el diseño del dosificador

Para el dimensionamiento del equipo se determinaron los siguientes puntos primordiales:

- Dimensiones de estanques: Los tanque en los cuales se residen las tilapias son existentes por lo que el dosificador se adaptó para que funcionara eficientemente en un estanque de 7 m largo por 3 m de ancho y 1,8 m de profundidad. Cabe mencionar que el dosificador no se limita a estas dimensiones del estanque, pero se recomienda reevaluar sus capacidades, en caso de variar distancias del estanque.
- Condiciones del sitio: El equipo estará expuesto al medio ambiente por ende sus componentes se ajustan a esta condición de trabajo.

- Tamaño del comprimido: El dosificador tiene la capacidad de trabajar con comprimidos de al menos de 1 *mm* de diámetro, las tilapias de 5g se alimentan con dicho diámetro de comprimido.
- Capacidad de tilapias: Como la dieta de la tilapia depende varios factores como la temperatura del agua, cantidad de oxígeno disuelto en el agua, el volumen del comprimido dependiendo de su diámetro y el tamaño de la tilapia. Por lo que se calculó la máxima dosificación dada en el sitio, el equipo tiene la capacidad de proveer un máximo de 80 *g/min*.

3.2 Diseño estructural del dosificador automatizado

El dosificador automatizado se compone de una tolva que contiene el alimento por dosificar, la misma descansa sobre la estructura de soporte; por debajo de este contenedor de alimento, de igual manera sobre la estructura de soporte, se encuentran tres ductos en posición horizontal, los cuales se ajustan dependiendo de la cantidad de comprimido que se desea dosificar. Posteriormente, el comprimido por dosificar cae por un ducto vertical con salida en 45° y un mecanismo oscilatorio en conjunto con un sistema de soplado se encarga de distribuirlo periféricamente por el estanque, tal como se aprecia en la **Figura 3.1**.

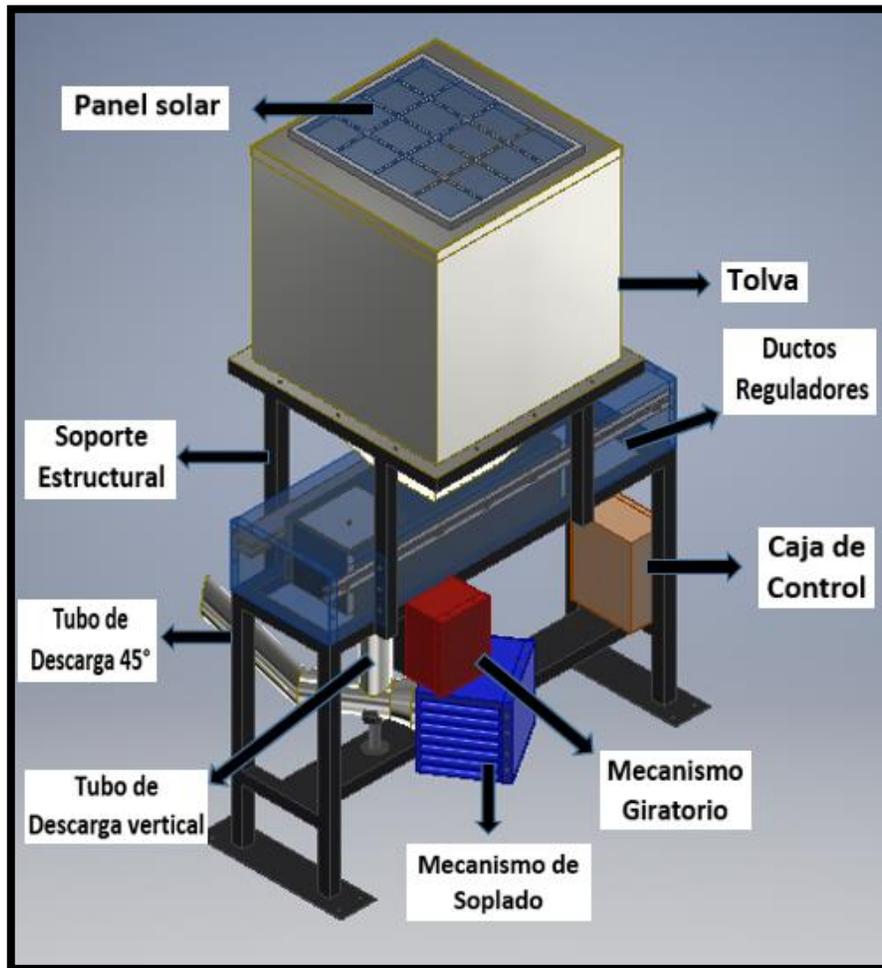


Figura 3.1. Diagrama esquemático del dosificador automatizado.

Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

3.2.1 Diseño de la tolva

Este se refiere al reservorio en donde se encontrará la cantidad de alimento que consumirán las tilapias diariamente como mínimo; se ha establecido esta condición ya que los recipientes en los que la empresa beneficiada con este proyecto almacena el comprimido, tienen la capacidad únicamente de almacenar el consumo diario por estanque.

La tolva se compone de una base rectangular de 120 *mm* por 130 *mm* que se encuentra unida al sistema dosificador, esta parte se agranda en forma de campana a una base de 400 *mm* por 400 *mm*, con una altura de 200 *mm* y sigue con esta dimensión 400 *mm* más, con capacidad de almacenar 19 *kg* de comprimido aproximadamente.

Este recipiente se construirá a partir de lámina de zinc lisa galvanizada #18, para su configuración se doblarán secciones de esta y en las partes donde deba unirse se utilizarán remaches tipo pop (L= 8.5 *mm* A= 5.4 *mm*). Dicha tolva consta de una sección del mismo material soldada en voladizo que le permite mantenerse firme sobre la estructura de soporte.

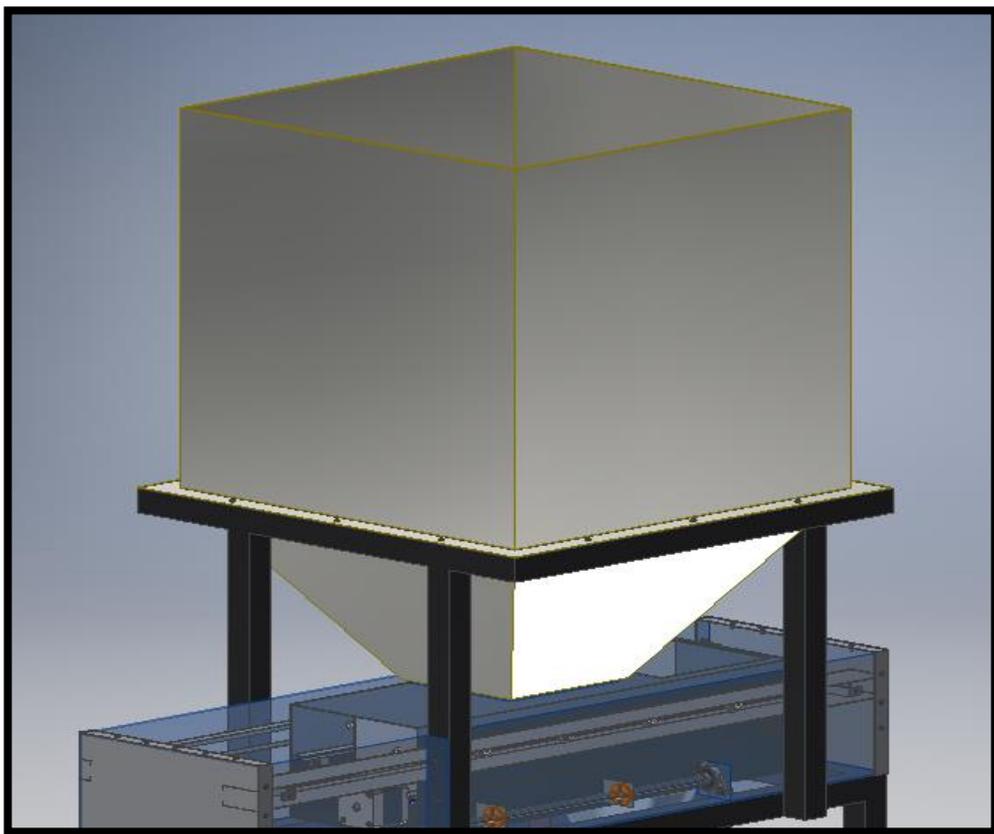


Figura 3.2. Tolva almacenadora de comprimido. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

3.2.2 Ducto exterior

Este ducto se ha diseñado en forma de prisma rectangular, permitiendo que el ducto medio y el ducto dosificador se desplacen dentro de él. Las dimensiones de este son de 750 mm de largo, 216 mm de ancho y 130 mm de alto. Se encuentra diseñado con dos carriles interiores que permiten el desplazamiento del ducto medio. Además de contener los dos ductos mencionados, dentro de este se encuentra un motor de pasos con su respectivo acople rígido que lo une a una barra roscada, la cual permite transmitir el movimiento circular del motor a movimiento lineal para el ducto medio.

La estructura de este ducto presenta dos agujeros, uno de esos permite dar el paso del comprimido desde la tolva hasta el sistema dosificador, el tamaño de esta abertura es de 120 mm por 130 mm . La otra abertura que se encuentra en la parte inferior de este ducto es de forma circular, y da el paso para descargar el comprimido del sistema dosificador al ducto vertical. La dimensión de esta abertura es de 120 mm de diámetro. En la parte exterior, se encuentran soldadas dos secciones rectangulares que permiten unir este ducto a la estructura de soporte.

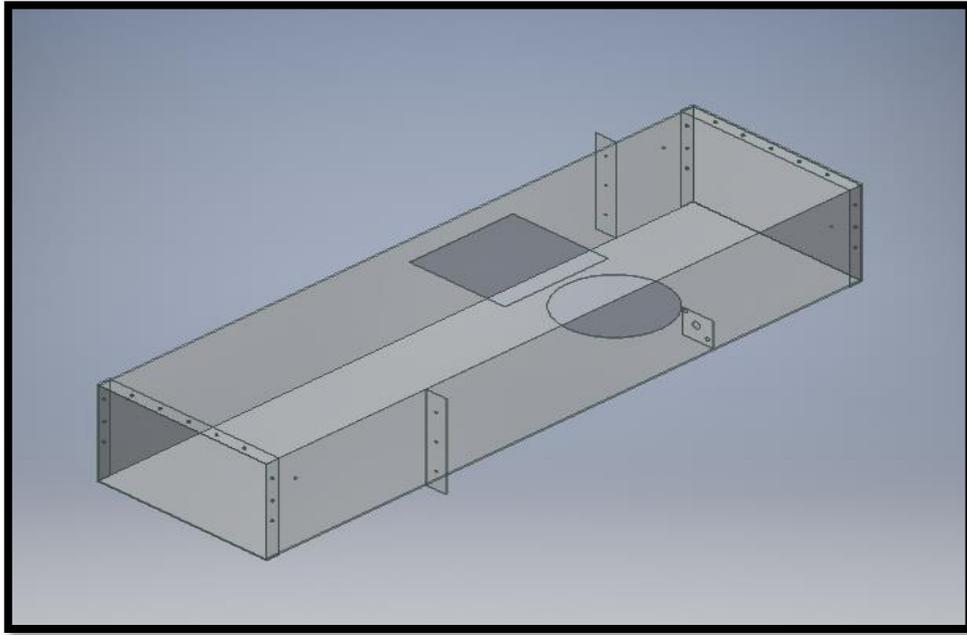


Figura 3.3. Ducto exterior. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

3.2.3 Ducto medio

De igual manera al ducto exterior, este tiene forma de prisma rectangular pero no por completo, sino solamente hasta un largo de 262 mm , posteriormente, el ducto tiene forma de viga c por un largo de 183 mm . El ancho y el alto de este ducto son de 150 mm y 122 mm respectivamente. En el extremo donde este ducto presenta forma de viga c, se encuentra una abertura que coincide en tamaño con las dimensiones de la abertura superior del ducto externo, con la finalidad de dar paso al comprimido para que llegue desde la tolva hasta el dosificador.

El desplazamiento de 180 mm de este ducto se da por medio de un motor, acople rígido y una barra roscada colocados en la base del ducto exterior. Para facilitar dicho desplazamiento, este ducto medio cuenta con cuatro rodillos giratorios a cada lado, que se desplazan sobre los dos carriles que se encuentran dentro del ducto exterior como se mencionó anteriormente.

Además de poseer esta configuración para su desplazamiento, el ducto medio posee también dos carriles en su interior, con el propósito de facilitar el movimiento del ducto dosificador que se encuentra dentro de él.

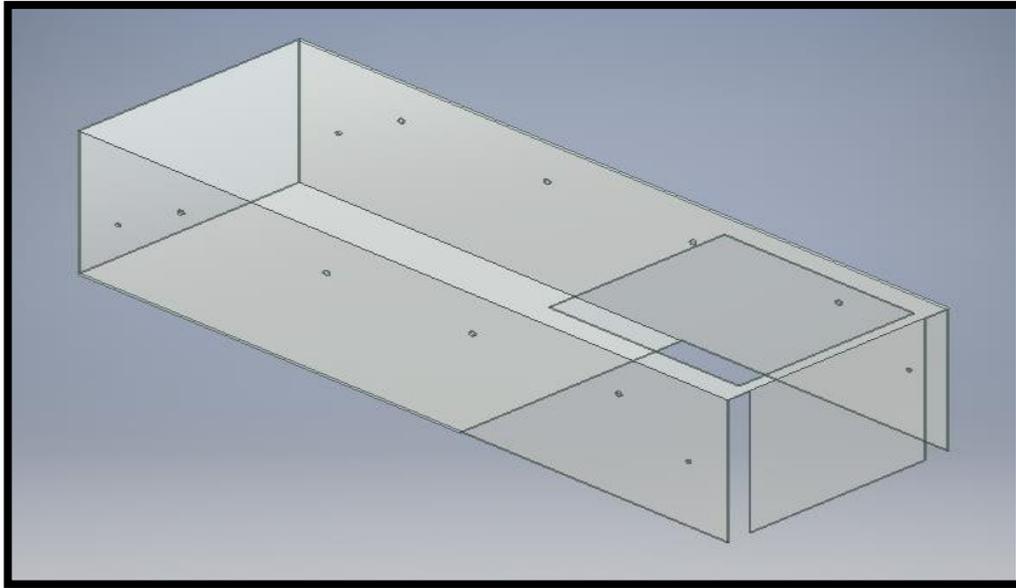


Figura 3.4. Ducto medio. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

3.2.4 Ducto regulador de las dosificaciones

Como lo indica su nombre, este ducto se encarga de dosificar las cantidades de comprimido establecidas para la dieta de las tilapias de cada estanque. Este ducto tiene la capacidad de desplazarse junto con el comprimido por dosificar dentro del ducto medio, esto se lleva a cabo gracias a cuatro rodillos giratorios a cada costado del dosificador que se adecúan a los carriles del ducto medio, permitiendo un desplazamiento máximo de 180 *mm*, este movimiento se da de igual manera que el movimiento del ducto medio dentro del ducto exterior.

La forma de este ducto difiere de los dos ductos mencionados anteriormente, debido a que hasta cierta parte de la estructura que lo conforma es en forma de prisma rectangular, con dimensiones de 204 *mm* de largo, 114 *mm* de alto y 122 *mm* de ancho. Dentro de este compartimiento se ubica la barra roscada que permite su desplazamiento gracias al movimiento giratorio del motor ubicado en el ducto medio, además se encuentra un cojinete en el cual descansa dicha barra roscada. Una de las paredes de este ducto brinda toda su área transversal en conjunto con dos segmentos rectangulares soldados a sus extremos, la capacidad de limitar el contenido de comprimido por dosificar.

Gracias a un desplazamiento lineal, transformado desde el movimiento giratorio del motor por medio de la barra roscada y la tuerca sujeta al ducto, se obtienen diferentes dosificaciones según sean requeridas; ya que, dichos segmentos ubicados al extremo del ducto poseen la capacidad de ocultarse dentro del ducto medio, o bien, de disponer de toda su longitud si se desea una dosificación máxima. Dado el escenario en el que se requiera la máxima dosificación, la longitud expuesta de estos segmentos será de 180 *mm* de largo con capacidad de dosificar 0,8 kg aproximadamente. En caso de que la población de tilapias en un estanque sea pequeña y se requiera una cantidad de comprimido menor, estos segmentos pueden desplazarse desde 180 *mm* hasta 0 *mm* para regular la cantidad de alimento.

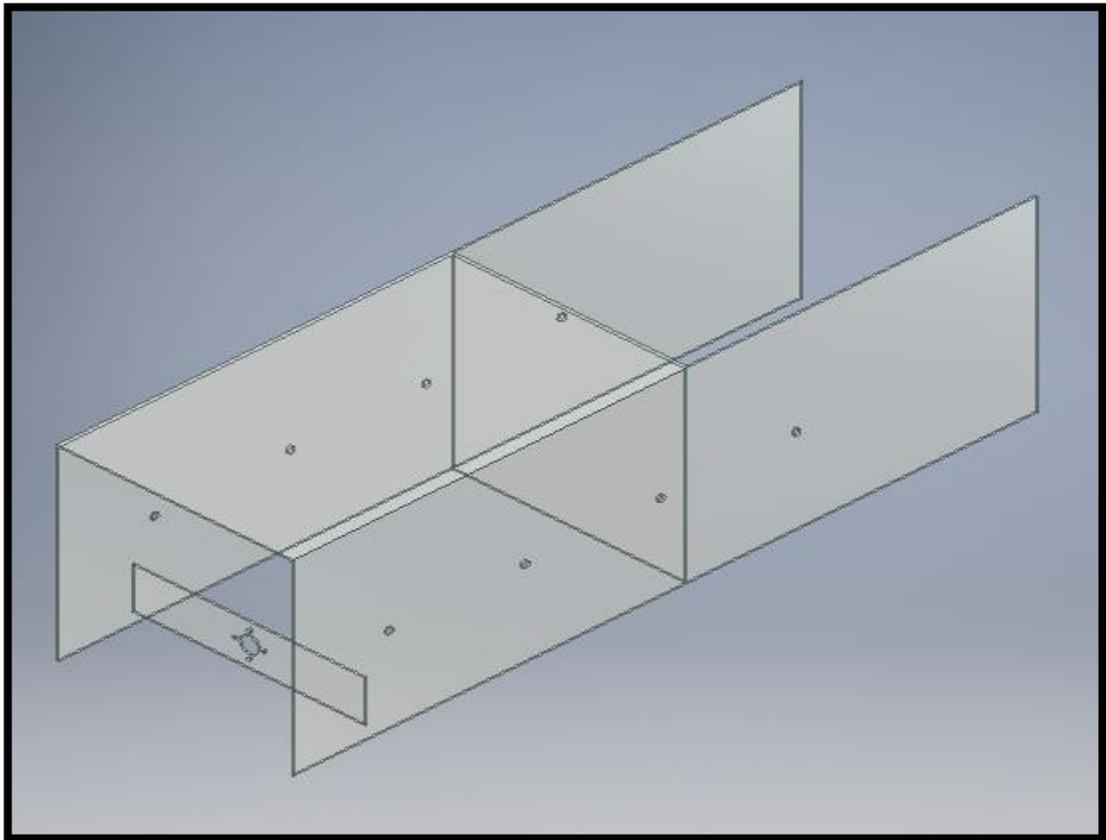


Figura 3.5. Ducto regulador de las dosificaciones. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

3.2.5 Ducto vertical

Este elemento del dosificador automático se encuentra justo debajo del ducto exterior, se acopla exactamente en el agujero inferior de 120 *mm* que posee dicho ducto, dando paso al comprimido ya dosificado. Este ducto en forma de tubo se reduce desde 120 *mm* hasta 52.8 *mm* en 100 *mm* y se extiende a partir de esta dimensión 120 *mm* hasta empotrarse en otro ducto posicionado en forma horizontal que se describirá más adelante. Este ducto vertical es construido de lámina de zinc lisa galvanizada #18 para su fácil doblado y resistencia a la intemperie.



Figura 3.6. Ducto vertical. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

3.2.6 Tubo de descarga con salida a 45°

Este ducto es un cilindro hueco de 84 *mm* que se ajusta a la caja que contiene el soplador, específicamente a la descarga del mismo y posteriormente se reduce a 50.8 *mm* de diámetro con espesor de 1 *mm*, se extiende con esta configuración 115 *mm* ubicándose en forma horizontal con un agujero de 52.8 *mm* en su parte superior, permitiendo que el ducto vertical que se ha descrito en el párrafo anterior, descargue el comprimido en él. El material de este componente es el mismo al utilizado para la confección de la tolva, aprovechando la capacidad de doblaje y utilizando remaches tipo pop (L= 8.5 *mm* A= 5.4 *mm*) para la unión de sus extremos.

Como se puede observar en la siguiente **Figura 3.7**, en el otro extremo de este componente, está unido en ángulo de 45° con la horizontal una extensión de este ducto, permitiendo lanzar el comprimido al estanque en forma de proyectil, tal cual como ha sido desarrollado el cálculo de la trayectoria que permite dar el soplador seleccionado al comprimido.

Para el soporte de este elemento, se utiliza una base que se ajusta en un cojinete ubicado en la estructura de soporte, permitiendo al ducto descansar sobre esta base y tener un movimiento oscilatorio con la ayuda de un mecanismo de engranajes.

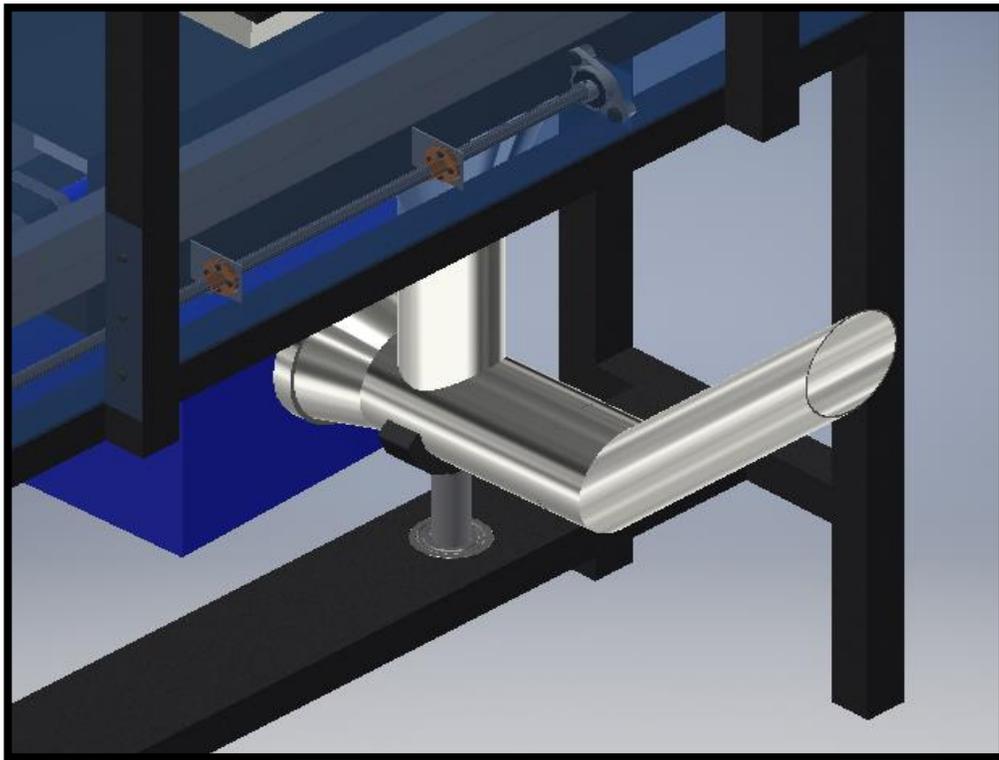


Figura 3.7. Ducto horizontal. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

3.2.7 Mecanismo giratorio

Con la finalidad de que el comprimido no sea suministrado al estanque en un solo sitio, se implementó un mecanismo que le permita al tubo de descarga horizontal un movimiento oscilatorio y que en conjunto con el mecanismo de soplado ofrezcan la capacidad de efectuar una alimentación periférica al estanque.

Este movimiento se obtiene de un motor de pasos como los utilizados para generar el desplazamiento de los ductos, sin embargo, este motor gira a 200 min^{-1} ; por tanto, se desarrolló un sistema de reducción basado en un juego de engranajes.

El engranaje 1 conocido como piñón, posee un diámetro interno de 6 mm , círculo de paso de 8 mm , círculo de cabeza de $9,75 \text{ mm}$, ancho de cara de 10 mm y 13 dientes. Por otra parte, el engranaje 2, tiene 10 mm de diámetro interior, círculo de paso de $32,8 \text{ mm}$, círculo de cabeza de 39.5 mm y 53 dientes.

Para esta relación de transmisión por engranajes, se obtiene la velocidad de rotación. Donde n_1 es la velocidad de rotación del motor en min^{-1} , z_1 es el número de dientes del engranaje 1, z_2 es el número de dientes del engranaje 2 y n_2 es la velocidad obtenida para el engranaje 2 a partir de la reducción en min^{-1} .

Sustituyendo valores, se obtiene la velocidad de rotación para el engranaje 2:

$$200 \text{ min}^{-1} * 13 \text{ dientes} = n_2 * 53 \text{ dientes}$$
$$n_2 = 49.06 \text{ min}^{-1}$$

Posteriormente al juego de engranajes, como se observa en la **Figura 3.8**, se cuenta con dos eslabones de dimensiones iguales unidos por un perno, en donde uno de estos eslabones se une al eje del engranaje 2 y el otro se empotra en el espacio destinado para el soplador.

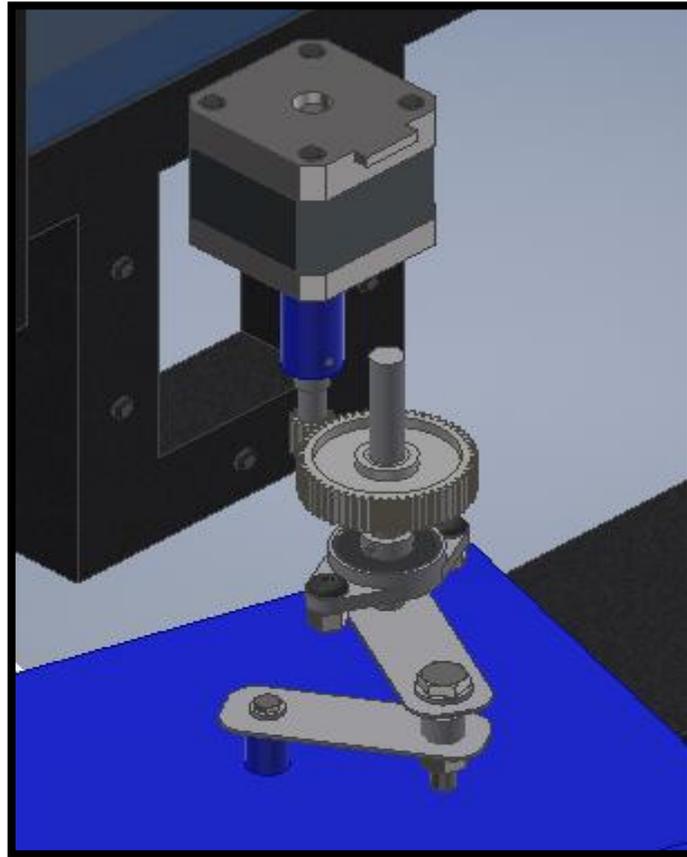


Figura 3.8. Mecanismo giratorio para entrega de comprimido de manera periférica. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

El objetivo de este mecanismo es transmitir al tubo de descarga horizontal el movimiento del juego de engranajes. Sin embargo, este movimiento no puede transmitirse libremente sin ninguna restricción, debido a que el ángulo en el cual oscile el tubo de descarga horizontal debe estar establecido para que no exista incidencia con otras partes del dosificador. Por tanto, se

presenta el siguiente análisis basado en un mecanismo de cuatro barras para determinar el ángulo de oscilación comentado.

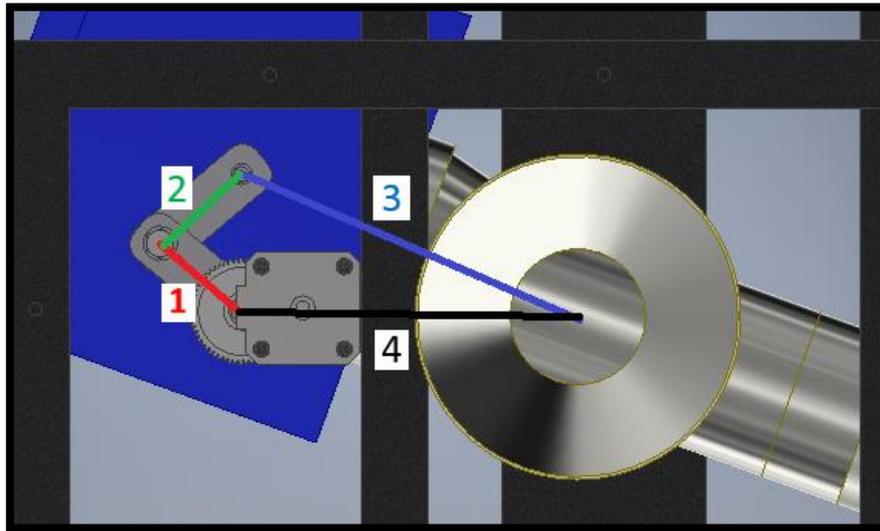


Figura 3.9. Mecanismo de cuatro barras. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

Inicialmente, para corroborar la movilidad del mecanismo se realiza la validación mediante la Ley de Grashof y partiendo del hecho que el eslabón 1 tiene 40 mm de longitud al igual que el eslabón 2 y el eslabón 3 tiene 138,81 mm de longitud de igual manera que el eslabón 4, por lo que al sustituir se obtiene:

$$40 + 138.81 \leq 40 + 138.81$$

Por tanto, se cumple la igualdad, es decir, el mecanismo no presenta ningún inconveniente de movilidad.

Para determinar el ángulo de oscilación, se realizó un análisis de síntesis de eslabonamientos partiendo del supuesto que, el eslabón número 1 que está unido al eje del engranaje 2 oscilará en un ángulo de 180° . A continuación, se aprecia gráficamente como a partir de esta posición del eslabón 1, se encuentra el ángulo de oscilación del tubo de descarga horizontal (lo que es igual a la posición del eslabón 3) para brindar la alimentación de forma periférica al estanque.

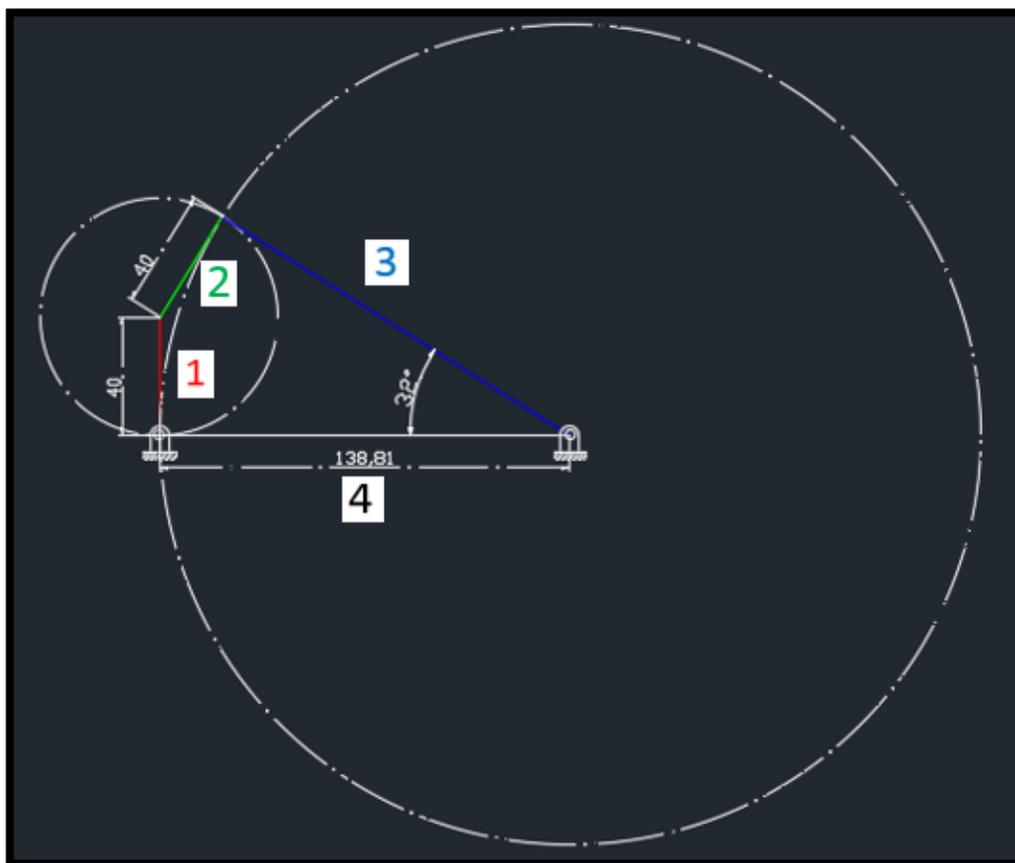


Figura 3.10. Síntesis de eslabonamientos con la mitad de la rotación designada para el eslabón 1. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

En la **Figura 3.10** muestra las posiciones de las barras cuando se da la mitad de la rotación designada para el eslabón 1, lo que es igual a 90° . A continuación, en la **Figura 3.11** se presenta el caso en el que el ángulo de oscilación para el tubo de descarga horizontal (eslabón 3) a partir de la rotación completa designada para el eslabón 1, es decir cuando este eslabón rote en 180° .

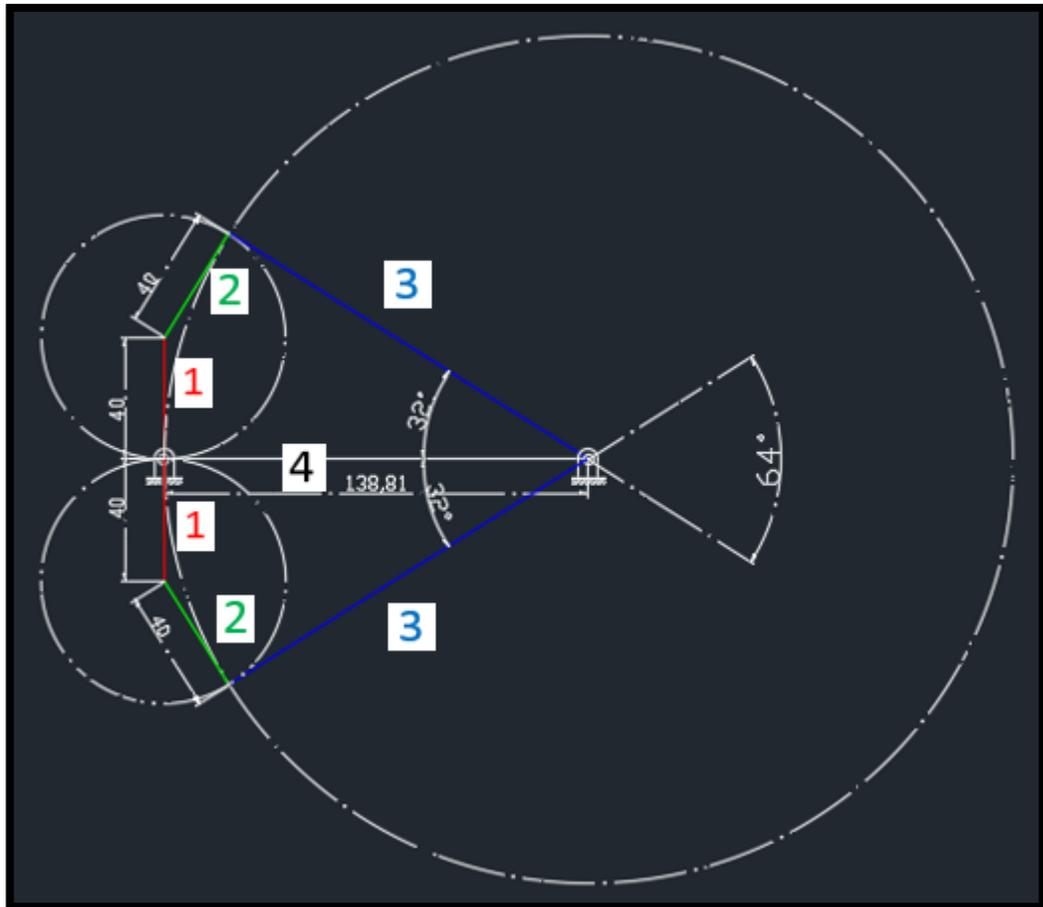


Figura 3.11. Síntesis de eslabonamientos con la rotación completa designada para el eslabón 1. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

Esta **Figura 3.11** permite apreciar como el tubo de descarga horizontal (eslabón 3) despachará el comprimido en la trayectoria de un ángulo de 64° , de esta manera se busca que

todas las tilapias de cada estanque consuman su alimento y se cumple también con la técnica más recomendable para la alimentación de tilapias cultivadas en estanques.

Por último, en la **Figura 3.12** se muestra el patrón de descarga bajo el que operará el dosificador para suministrar el comprimido a cada estanque.

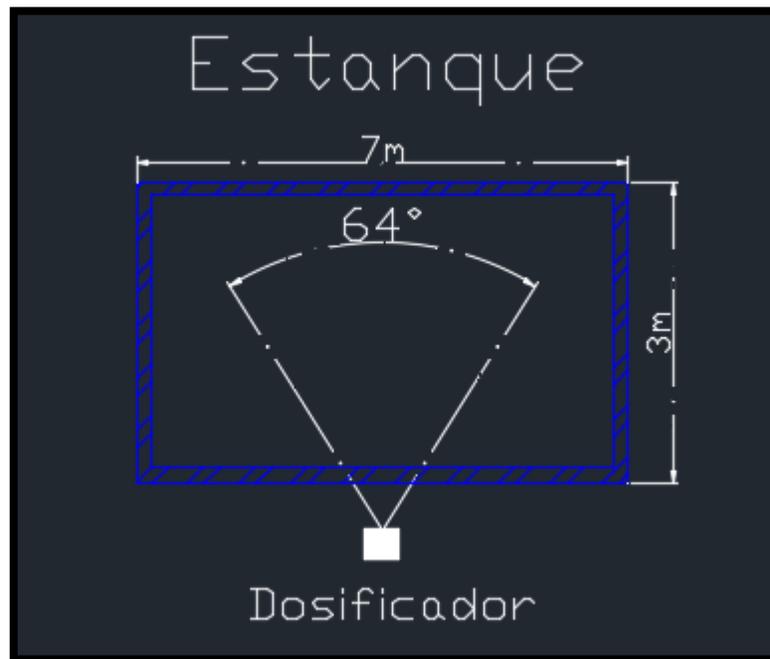


Figura 3.12. Patrón de descarga del comprimido en vista superior. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

Es importante mencionar que, con el mecanismo de cuatro barras analizado, en dado caso que se presente colinealidad entre dos eslabones móviles (1 y 2), no existirá inconveniente de que el mecanismo presente autotrabanamiento debido a que el eslabón 1 es el impulsor; por tanto, no se encontrará una posición que limite la funcionalidad del mecanismo.

3.3 Selección del motor eléctrico

Para la selección del motor que se encargará de mover el pistón dosificador se tomaron como base en las siguientes fuerzas: el peso del pistón, el peso máximo de los comprimidos y la fricción que existen entre los dos componentes metálicos del dosificador. Cuantificando estas magnitudes se puede conocer las fuerzas y sumando estas fuerzas que se oponen al movimiento, se puede calcular la fuerza total que tiene que vencer el motor y partiendo de ello definir las características del motor y potencia.

El detalle de los cálculos para estimar la potencia mínima que necesita vencer el motor eléctrico se puede consultar en el **Cuadro 3.1**. Se obtuvo que el par requerido para desplazar el pistón dosificador en la situación más crítica es de $3,4 \text{ mN}\cdot\text{m}$. De igual manera, se realizó el cálculo para el ducto medio que se encarga de cerrar la compuerta entre la tolva y el ducto dosificador con lo que se obtuvo un par de $5 \text{ mN}\cdot\text{m}$.

Cuadro 3.1. Cálculo del torque requerido por el motor de paso.

Cálculo para motor del dosificador	
Paso (P)(mm)	2,0
Diámetro medio (mm)	6,0
Ángulo de hélice (grados)	6,1
Ángulo de rozamiento (grados)	0,2
Paso nominal (P)(mm)	2,0
Rendimiento mecánico	1,0
Fuerza axial (N)	4,4
Par motor necesario (Nm)	0,0014
Par motor escogido (Nm)	0,4

Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

Finalmente, se decidió por simplicidad del diseño de manera que ambos motores deben ser iguales y el valor mínimo del torque será de $5 \text{ mN}\cdot\text{m}$. Tomando este último valor como una referencia, se aplicó un proceso de búsqueda entre distintos catálogos de motores eléctricos y se seleccionó un motor de pasos con un par de $42 \text{ mN}\cdot\text{m}$, tipo NEMA que gira a 200 min^{-1} . Otro motor de estas mismas características es utilizado también para el mecanismo giratorio descrito anteriormente.

3.4 Sistema de control

Para el sistema de control se seleccionó el Arduino uno Rv3, encargado de controlar tres motores de pasos, el primero encargado de variar el volumen por dosificar, el segundo de controlar el paso del comprimido al volumen controlado, el tercer motor destinado para el movimiento del mecanismo giratorio y por último dar paso al soplador. También a este sistema se le agregó un final de carrera para verificar las distancias que puede recorrer los ductos.

Para la creación código del equipo se utilizó el ambiente de programación de Arduino. Se inició con definir los pines que se utilizarán para gobernar los controladores de los motores de paso y la función que van a cumplir (**Figura 3.13**)

```
#define VELOCIDAD 1500 //velocidad de
//Driver para motor dosificador (M1)/ Motor de pas
int M1pasos = 13;      int M2pasos =12;
int M1direccion = 9;  int M2direccion = 5;
int M1reset = 10;     int M2reset = 3;
//int M1totalpasos = 0; //defi
//-----
```

Figura 3.13. Definición de pines para la placa del Arduino. Fuente Chinchilla & Sandí, 2019.

Se realizaron los cálculos para facilitar el uso del motor de pasos y así obtener un movimiento lineal del dosificador, como se muestra en la **Figura 3.14**.

```
//Calculo de vueltas para motor dosificar
int M1UnaVuelta = 200;
int M1CantVuelta = 1;
int M1Cm = M1UnaVuelta*M1CantVuelta;
int M1totalpasos = M1Cm;
int Carreratotal = M1Cm;
int Carreraintermedia = M1Cm;
//-----
//Configurar el switch para motor dosificador
int M1recibe = 2;    int M2recibe = 4;
int M1detener =LOW; int M2detener =LOW;
//-----
```

Figura 3.14. Cálculos para el control del motor de paso. Fuente:
Chinchilla & Sandí, 2019.

Para el correcto funcionamiento de los controladores, se definieron las salidas digitales como se encuentra en la **Figura 3.15**

```
void setup() {
//Motor dosificador(M1)
pinMode(M1pasos, OUTPUT);           //definimos pasos como salida digital
pinMode(M1direccion, OUTPUT);      //definimos direccion como salida digital
pinMode(M1reset, OUTPUT);          //definimos reset como salida digital
pinMode(M1recibe, INPUT);
//Motor de paso(M2)
pinMode(M2pasos, OUTPUT);           //definimos pasos como salida digital
pinMode(M2direccion, OUTPUT);      //definimos direccion como salida digital
pinMode(M2reset, OUTPUT);          //definimos reset como salida digital
pinMode(M2recibe, INPUT);
Serial.begin(9600);
}
```

Figura 3.15. Determinación de las salidas digitales del Arduino. Fuente:
Chinchilla & Sandí, 2019.

Para seguridad de los motores de paso se les agregó un final de carrera para garantizar que el dosificador tenga el recorrido deseado, este código se muestra en la **Figura 3.16**.

```
void loop(){
//Dosificaciones por durante el dia
while (dosificaciondia=contdia){
//Motor dosificador(M1)
digitalWrite(M1reset, LOW); //Mientras reset este en LOW, el motor permanece apagado
digitalWrite(M1reset, HIGH); //Cuando reset se encuentre en HIGH el motor arranca
digitalWrite(M1direccion, HIGH); //mandamos direccion al servo
//Motor de paso(M2)
digitalWrite(M2reset, LOW); //Mientras reset este en LOW, el motor permanece apagado
digitalWrite(M2reset, HIGH); //Cuando reset se encuentre en HIGH el motor arranca
digitalWrite(M2direccion, HIGH); //mandamos direccion al servo

//Al iniciar el sistema vuelve en el punto de inicio-----
while (M1detener!=HIGH){
digitalWrite(M1pasos, HIGH); // ponemos a high "pasos"
digitalWrite(M1pasos, LOW); // ponemos a low "pasos"
delayMicroseconds(VELOCIDAD); // leemos la referencia de velocidad
M1detener = digitalRead(M1recibe);
}
while (M2detener!=HIGH){
digitalWrite(M2pasos, HIGH); // ponemos a high "pasos"
digitalWrite(M2pasos, LOW); // ponemos a low "pasos"
delayMicroseconds(VELOCIDAD); // leemos la referencia de velocidad
M2detener = digitalRead(M2recibe);
}
}
```

Figura 3.16. Código para el final de carrera. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

En la **Figura 3.17** se muestra el código para que el mecanismo ajuste el volumen del dosificador a las condiciones de alimentación de un tamaño determinado de las tilapias. Para esto se configuró de manera que el ducto regulador se traslade reduciendo el volumen que es capaz de entrar a la recámara de dosificación, esto sin que el ducto medio permita el paso de alimento de la tolva a la recámara. Cuando el ducto regulador se encuentra en posición con el volumen calculado, el ducto medio hará dos movimientos, uno que dará paso del alimento de que se encuentra en la tolva a la recámara y cuando esta se encuentre llena se volverá a trasladar hasta el sector de dosificación hacia el soplador.

```

//Dosificacion enteras -----
for(int i=0; i<=dosificacionentera; i++){
digitalWrite(M2direccion, LOW);
for(int i=0; i<=Carreratotal; i++){
digitalWrite(M2pasos, HIGH);           // ponemos a high "pasos"
digitalWrite(M2pasos, LOW);           // ponemos a low "pasos"
delayMicroseconds(VELOCIDAD); // leemos la referencia de velocidad
}
digitalWrite(M2direccion, HIGH);
while (M2detener!=HIGH){
digitalWrite(M2pasos, HIGH);           // ponemos a high "pasos"
digitalWrite(M2pasos, LOW);           // ponemos a low "pasos"
delayMicroseconds(VELOCIDAD); // leemos la referencia de velocidad
M2detener = digitalRead(M2recibe);
}|
}
while (M1detener!=HIGH){
digitalWrite(M1pasos, HIGH);           // ponemos a high "pasos"
digitalWrite(M1pasos, LOW);           // ponemos a low "pasos"
delayMicroseconds(VELOCIDAD); // leemos la referencia de velocidad
M1detener = digitalRead(M1recibe);
}
}

```

Figura 3.17. Código para la dosificación. Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

3.5 Cálculo para la selección del soplador

Para dimensionar del soplador se realizó el cálculo de un proyectil con un ángulo de 45° , obteniendo la velocidad que este requiere para desplazarse de 1,5 m, distancia que representa la mitad del estanque en el sentido más corto, véase el **Cuadro 3.2**. Cálculo de la trayectoria del comprimido.. Adicionalmente, se tomó de manera arbitraria un tubo de 50 mm de diámetro nominal, lo que representaría un flujo volumétrico de $7,58 \text{ dm}^3/\text{s}$ que suministraría el soplador.

Cuadro 3.2. Cálculo de la trayectoria del comprimido.

Cálculo de proyectil	
y0 (m)	1
y (m)	0
Angulo(\emptyset)	45
g (m/s ²)	9,82
V (m/s)	3
x (m)	1,5

Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

La presión que debe suministrar el soplador dependerá de las fuerzas que este tiene que vencer para lograr el movimiento del comprimido en el cañón del soplador y adicionalmente, conociendo el área que abarcaría el comprimido en el cañón, se obtiene una presión de 220 kPa, como se muestra en el **Cuadro 3.3**.

Además, para este cálculo se consideró un comprimido sin humedad, dada su baja masa y características físicas se despreció la fuerza de fricción de esto con el cañón.

Cuadro 3.3. Cálculo de requerimiento

Cálculo de Flujo	
Diámetro tubería interna (m)	0,069
Área (m ²)	0,00371
V (m/s)	3
Flujo Volumétrico (m ³ /s)	0,0111

Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

En la Figura 3.18 se muestra la posición del soplador y la configuración de la tubería para generar el cañón para disparar el alimento hacia estanque de tilapias.

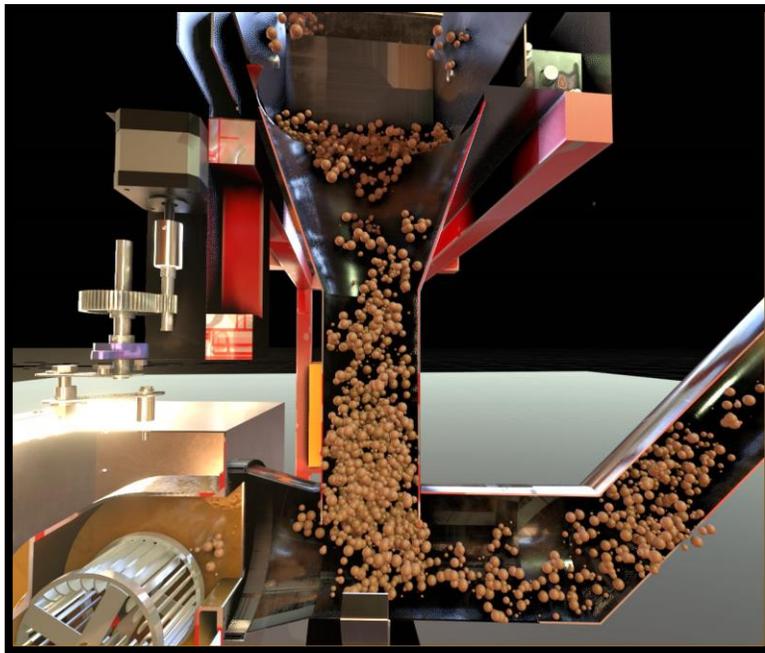


Figura 3.18. Vista lateral del modelo propuesto del soplador.

Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

3.6 Mediciones de oxígeno y temperatura en los estanques

Con el fin de manejar todas las posibles variables que puedan afectar el desarrollo de este diseño, específicamente en la formulación de las dietas, en el **Cuadro 3.4** se presentan diferentes mediciones de los niveles de oxígeno y temperatura de tres estanques elegidos aleatoriamente. Estas mediciones han sido tomadas en el horario ya dispuesto por los encargados del proyecto para la alimentación de las tilapias.

Cuadro 3.4. Valores de temperatura y oxígeno en tres estanques.

Horario de alimentación	Estanque #3		Estanque #10		Estanque #20	
	Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/L)	Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/L)	Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/L)
7:00 a.m.	21	3,6	21,2	2,1	21	2,9
9:00 a.m.	21,6	3,6	21,8	2,1	21,5	3,1
11:00 a.m.	21,8	3,7	22	2,0	22,3	2,9
1:00 p.m.	23	3,6	23,4	2,0	23,2	3,1
3:00 p.m.	22,8	3,6	22,9	2,0	22,7	3,1
5:00 p.m.	22,3	3,6	22,4	1,9	22,1	3,1

Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

Como se mencionó anteriormente en la sección de marco teórico, los niveles de temperatura y oxígeno están relacionados directamente con la capacidad que poseen las tilapias de digerir más o menos comprimido en su dieta alimenticia. Por tanto, como se puede observar en el cuadro anterior, los valores de temperatura en el agua de los estanques son bajos; es decir, al no acercarse a valores superiores de 29°C no se presentan secreciones digestivas en las tilapias que puedan aumentar la capacidad de consumir más comprimido. Por otra parte, los niveles de oxígeno no presentan gran diferencia entre las mediciones tomadas.

Debido a esto, se ha tomado la decisión de no contemplar en este diseño algún dispositivo de medición de temperatura u oxígeno por la poca variabilidad en las medidas tomadas; ya que, de igual manera los propietarios del proyecto manifestaron que dichos valores son relativamente constantes y las condiciones climáticas tampoco hacen que esto se altere según los registros que ellos poseen.

3.7 Cálculo de panel solar

Con el fin de facilitar la instalación del equipo, ya que no se requeriría instalación eléctrica para alimentarlo y con ello aumentar su autonomía, se procedió a calcular el consumo de los elementos como se muestra en la **Cuadro 3.5**. La potencia de los equipos que se muestra en dicho cuadro se obtuvo de las fichas técnicas de los equipos, mientras que el tiempo se refiere a las horas de funcionamiento durante el día, por lo tanto, de la cantidad de dosificaciones se deriva el tiempo de funcionamiento total y a su vez la potencia requerida, por último, según la cantidad de elementos y los datos anteriores se obtiene la potencia total requerida por el equipo, esto para la elección del panel que responda al consumo asociado.

Cuadro 3.5. Cálculo de potencia total del dosificador.

Cálculo de Potencia del equipo				
Elementos	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo (h/día)	Potencia (Wh/día)
Motor de Paso	3	5,2	0,50	7,8
Soplador	1	600	0,09	53,3
Arduino	1	0,2	0,60	0,1
Potencia total (W/día)				61,3

Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

Con el consumo total del equipo de 61,3 *W/día*, se procede a escoger un panel que posea la capacidad necesaria para alimentar todos los elementos del equipo y suponiendo que el panel tendrá plena capacidad durante 4 horas al día, con lo que requeriría un panel para abastecer el equipo, véase el **Cuadro 3.6**.

Cuadro 3.6. Cálculo de panel solar con la potencia requerida.

Cálculo de panel	
E, Consumo día (W)	61,3
HSP, horas pico	4
Wp, potencia panel (W)	20
Cantidad de paneles	1

Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

3.8 Presupuesto

Con el objetivo de manejar los costos de inversión que conlleva el desarrollo ingenieril y posterior fabricación de un proyecto como el descrito, se presenta seguidamente el presupuesto detallado y desglosado de los materiales y componentes requeridos, tanto estructurales como eléctricos; además, se puede encontrar también el valor de la mano de obra requerida para la fabricación.

Cuadro 3.7. Presupuesto detallado de los costos de inversión del proyecto.

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio	Total
1	Lámina electrolgalvanizada zincor #24 1.22 m x 2. 44 m	1	€15.500,00	€15.500,00

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio	Total
2	Lámina lisa galvanizada #18 1.22 m x 2.44 m	1	€11.250,00	€11.250,00
3	Tubo cuadrado galvanizado 1" x 1"	1	€13.000,00	€13.000,00
4	Tubo redondo para eje Ø20mm x 3mm	1	€6.800,00	€6.800,00
5	Tubo redondo para eje Ø8mm x 63mm	2	€3.500,00	€7.000,00
6	Engranaje Ø 10 mm 19 dientes	1	€4.000,00	€4.000,00
7	Engranaje Ø 40 mm 53 dientes	1	€7.000,00	€7.000,00
8	Kit Ruedas de Nylon y polea de acero al carbono	2	€2.519,00	€5.038,00
9	Soporte hule 20 mm espesor	1	€2.700,00	€2.700,00
10	Soplador Makita UB1103	1	€49.750,00	€49.750,00
11	Tornillo plomo M8 X 50	2	€1.403,33	€2.806,66
12	Tuerca cabeza plana Ø 8 mm	3	€582,00	€1.746,00
13	Acople aleación de aluminio eje motor-tornillo	3	€288,00	€864,00
14	Cojinete de bolas Ø int. 20 mm SKF	1	€6.200,00	€6.200,00
15	Cojinete de parche Ø int. 8 mm SKF	3	€2.315,00	€6.945,00
16	Tornillo tipo Allen acero carbon M3x6	88	€100,28	€8.825,00
17	Tornillo tipo Allen acero carbon M5x6	8	€126,87	€1.015,00
18	Tornillo tipo Phillips aleación zinc M2x8	12	€60,25	€723,00
19	Remache tipo pop L= 8.5mm A=5.4mm	75	€154,81	€11.610,75
20	Pintura anticorrosiva Fast dry 1/2 galon	1	€18.900,00	€18.900,00
21	Brocha 1"	1	€1.860,00	€1.860,00
22	Thinner 1 litro	1	€3.780,00	€3.780,00
23	Electrodos Lincoln E60XX 1kg	1	€3.595,00	€3.595,00
24	Motor de paso	2	€15.250,00	€30.500,00
25	Arduino UNO REV3	1	€14.030,00	€14.030,00
26	Cables	30	€150,00	€4.500,00
27	Driver A4988	2	€3.800,00	€7.600,00
28	Protoboard 400 puntos	2	€2.800,00	€5.600,00
29	Condensador electrolítico 100uf	2	€800,00	€1.600,00
30	Panel Solar 20 Watt	1	€50.000,00	€50.000,00
31	Mano de obra		€100.000,00	€100.000,00
32	Diseño ingenieril		€200.000,00	€200.000,00
			TOTAL	€604.738,41

Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

A continuación, se presenta el costo de los materiales expuestos en la lista anterior, pero se han reemplazado los materiales conformados de aleaciones de acero por acero inoxidable; esto con la finalidad de realizar un análisis comparativo de costos con la diferencia entre ambos materiales.

Cuadro 3.8. Presupuesto detallado de los costos de inversión del proyecto con materiales de acero inoxidable.

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio	Total
1	Lámina acero inoxidable #24 1.22 m x 2.44m	1	€51.350,00	€51.350,00
2	Lámina acero inoxidable #18 1.22 m x 2.44m	1	€80.535,00	€80.535,00
3	Tubo cuadrado acero inoxidable 1" x 1"	1	€28.925,00	€28.925,00
4	Tubo redondo para eje acero inoxidable Ø20 mm x 63 mm	1	€19.890,00	€19.890,00
5	Tubo redondo para eje acero inoxidable Ø8mm x 63 mm	2	€6.760,00	€13.520,00
6	Engranaje Ø10mm 13 dientes acero inoxidable	1	€8.300,00	€8.300,00
7	Engranaje Ø40 mm 53 dientes acero inoxidable	1	€15.200,00	€15.200,00
8	Kit Ruedas de Nylon y polea de acero inoxidable	2	€5.000,00	€10.000,00
9	Soporte hule 20 mm espesor	1	€2.700,00	€2.700,00
10	Soplador Makita UB1103	1	€49.750,00	€49.750,00
11	Tornillo acero inoxidable M8 X 50	2	€4.400,00	€8.800,00
12	Tuerca cabeza plana acero inoxidable Ø8 mm	3	€730,00	€2.190,00
13	Acople aleación de acero inoxidable eje motor-tornillo	3	€5.500,00	€16.500,00
14	Cojinete de bolas Ø int. 20 mm SKF	1	€ 6.200,00	€ 6.200,00
15	Cojinete de parche Ø int. 8 mm SKF	3	€2.315,00	€6.945,00
16	Tornillo tipo Allen acero inoxidable M3X6	88	€315,00	€27.720,00
17	Tornillo tipo Allen acero inoxidable M5X6	8	€412,00	€3.296,00
18	Tornillo tipo Phillips acero inoxidable M2X8	12	€85,00	€1.020,00
19	Remache tipo pop L= 8.5 mm A= 5.4 mm acero inoxidable	75	€154,81	€11.610,75
20	Pintura anticorrosiva Fast dry 1/2 galón	1	€18.900,00	€18.900,00
21	Brocha 1"	1	€1.860,00	€1.860,00
22	Thinner 1 litro	1	€3.780,00	€3.780,00
23	Electrodos Lincoln E60XX 1kg	1	€3.595,00	€3.595,00
24	Motor de paso	2	€15,250.00	€30,500.00
25	Arduino UNO REV3	1	€14,030.00	€14,030.00

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio	Total
26	Cables	30	¢150.00	¢4,500.00
27	Driver A4988	2	¢3,800.00	¢7,600.00
28	Protoboard 400 puntos	2	¢2,800.00	¢5,600.00
29	Condensador electrolítico 100uf	2	¢800.00	¢1,600.00
30	Panel Solar 20 Watt	1	¢50.000,00	¢50.000,00
31	Mano de obra		¢100.000,00	¢100.000,00
32	Diseño ingenieril		¢200.000,00	¢200.000,00
TOTAL				¢806.416,75

Fuente: Chinchilla & Sandí, 2019.

Con los resultados del

Cuadro 3.8 se aprecia claramente que el desarrollar este diseño utilizando acero inoxidable eleva el costo mucho más de lo que implica llevar a cabo este diseño con material de aleaciones de acero (

Cuadro 3.7). Sin embargo, esto no quiere decir que únicamente utilizando acero inoxidable se obtienen los resultados deseados. Se pueden implementar los materiales expuestos en el

Cuadro 3.7, realizando labores de mantenimiento; ya sean limpiezas y aplicaciones de pintura anticorrosiva para evitar daños por corrosión al estar el mecanismo expuesto a la intemperie.

Capítulo 4
Conclusiones

4 Conclusiones

Con base en los objetivos planteados al inicio de este trabajo, se exponen a continuación una serie de conclusiones obtenidas en el desarrollo de éste.

Conociendo las características del comprimido con el que trabajaría el dosificador, se eligió diseñar un mecanismo dosificador que se adaptara a los parámetros de producción requeridos que presenta la empresa por beneficiarse con este proyecto. En síntesis, una tolva que permite almacenar la cantidad de comprimido por suministrar diariamente al estanque, un ducto regulador del comprimido por dosificar y un soplador en conjunto con un mecanismo que le permite girar para distribuir el alimento de forma periférica en el estanque, son los componentes principales que conforman el mecanismo del dosificador automatizado diseñado.

La capacidad de ajustar el volumen de comprimido según se den cambios en la cantidad de tilapias en el estanque y suministrarlo de una forma más uniforme entre la población del estanque en cuestión, hacen altamente funcional este diseño.

Los cálculos realizados para determinar los parámetros mínimos de funcionamiento del soplador arrojaron una presión de 220 kPa , con un flujo volumétrico de $7,58 \text{ dm}^3/\text{s}$, para así alcanzar la sección media del tanque y lograr una distribución adecuada del alimento en el estanque, de manera que el consumo de alimento de cada tilapia sea más equitativo y el crecimiento del grupo de tilapia sea homogéneo.

Se genera de manera efectiva el código para coordinar el conjunto de motores de paso, de tal manera que dicho código logre regular el volumen de alimento en cada dosificación sin

necesidad de un operario. De igual manera, el código tiene la autonomía de dosificar el alimento con la frecuencia requerida a lo largo del día.

Las condiciones climáticas y las características del comprimido son aspectos que deben soportar los materiales de los que se compone el sistema dosificador, sin olvidar la calidad con la que debe cumplir el diseño para realizar de forma óptima las funciones; por lo tanto, se han empleado diferentes calibres de acero galvanizado en el diseño, con la finalidad principalmente de dar resistencia y protección al mecanismo ante la corrosión y posibles golpes debido a su localización en la intemperie.

Se encuentra el respectivo presupuesto del mecanismo diseñado, el cual detalla completamente los costos de inversión para la posible fabricación de este, ya sea con materiales de aleaciones de acero o bien de acero inoxidable. Sin embargo la diferencia es muy significativa, debido a que el valor al construir el dosificador automatizado con materiales no resistentes a la corrosión es de ¢604.738,41, mientras que al construirse de acero inoxidable es de ¢806.416,75. Esto permite plantear una relación costo-beneficio para la empresa Tilapias Quecos S.A., brindando la oportunidad de que valoren la rentabilidad de implementar este proyecto a su sistema de desarrollo de tilapias cultivadas en estanques.

Capítulo 5
Recomendaciones

5 Recomendaciones

Los materiales seleccionados para la confección del dosificador de alimento son los que presentan la mejor relación de funcionalidad versus costo, sin embargo, en cuestión de durabilidad presenta mejores características el acero inoxidable. Dado lo anterior, si se desea maximizar la vida útil de equipo por encima del costo constructivo de este, se recomienda utilizar acero inoxidable. Se debe tener en cuenta que para que se cumpla lo anterior, todos sus componentes deben ser de dicho tipo de acero de manera que no se generen pares galvánicos.

Es importante recomendar a la empresa Tilapias Quecos S.A., que en caso de tomar la decisión de construir el diseño del dosificador automatizado, primeramente se realice la construcción de una unidad y de esta manera mediante la evaluación del funcionamiento del diseño, se realicen correcciones en caso de ser necesarias para proceder con la fabricación total de los equipos.

Se recomienda el uso de PLC Logo para controlar los motores de paso, ya que estos están diseñados para trabajos continuos, mientras que Arduino posee la tarjeta expuesta y como el equipo trabaja en la intemperie la humedad podría perjudicar su funcionamiento.

Capítulo 6
Bibliografía

6 Bibliografía

Acosta, Y., & García, Y. (2014). Crecimiento de la tilapia (*Oreochromis niloticus*). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, 1, 59. Retrieved from <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/6413/1/225676.pdf>

Alicorp. (2010). Manual de Crianza Tilapia. Nicovita ... La Mejor Ración, 49. Baltazar Guerrero, P. M. (2004). Manual del cultivo de Tilapia, (January), 113. ctaqua, centro tecnologico de la A. (2003). Alimentación Optimizada Para Tilapia Nilótica (*Oreochromis Niloticus*) De Senegal, 1–48.

Educaci, D. E. L. A. (2010). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Carrera : Psicología. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.39079>

Fajardo, C. H. P., & Sánchez, H. D. (2006). Diseño, Modelamiento Y Simulación De Máquina Dosificadora De Alimento Granulado Para Animales. Retrieved from <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/16483/00781358.pdf?sequence=1>

Fernández, D. G. (2012). Acondicionadores de energía distribuidos en redes de paneles fotovoltaicos.

Harper, G. E. (2000). Curso de transformadores y motores de inducción. (Limusa, Ed.). Retrieved from https://books.google.co.cr/books?id=IBS13ls30R8C&dq=Motor+de+fase+partida&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Jiménez, V. (2012). Aplicación de metodología multicriterio para la priorización de los procesos

objeto de costeo en entidades del sector de la salud. Libre Empresa, 99–123. Retrieved fromfile:///C:/Users/sandi/Downloads/DialnetAplicacionDeMetodologiaMulticriterioParaLaPrioriza-4237374.pdf

Juan Carlos Martín, M. P. G. (2016). Motores eléctricos (Automatismos industriales). Retrieved fromhttps://books.google.co.cr/books?id=IrNcDAAAQBAJ&dq=motores+electricos&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Juan Gabriel Cangas, C. C. (2007). Diseño y contruccion de una máquina semiautomática gravimétrica para el llenado con tierra de bolsas usadas en viveros forestales.

Miguel, P. A. S. (2011). ELECTROTECNIA. (Paraninfo, Ed.). Retrieved from https://books.google.co.cr/books?id=S2vonPd7kHAC&dq=tipos+de+panel+solar&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Recios, M. L. P. (2015). UF2017 - Manejo y mantenimiento de equipos de aplicación de fertilizantes. (Editorial Elearning, Ed.). Retrieved from https://books.google.co.cr/books?id=ObBWDwAAQBAJ&dq=Dosificadores+de+sólidos+secos+y+en+polvo&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Robert L. Mott. (2006). Diseño de elementos de máquinas. (Pearson Educación, Ed.). Retrieved fromhttps://books.google.co.cr/books?id=nrYd_BjTL0UC&dq=Motor+de+fase+partida&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Senner, A. (1994). Principios de electrotecnia. (Reverte, Ed.). Retrieved from <https://books.google.co.cr/books?id=PW7jBPNU8hwC&dq=motor+de+pasos&hl=es&so>

urce=gbs_navlinks_s

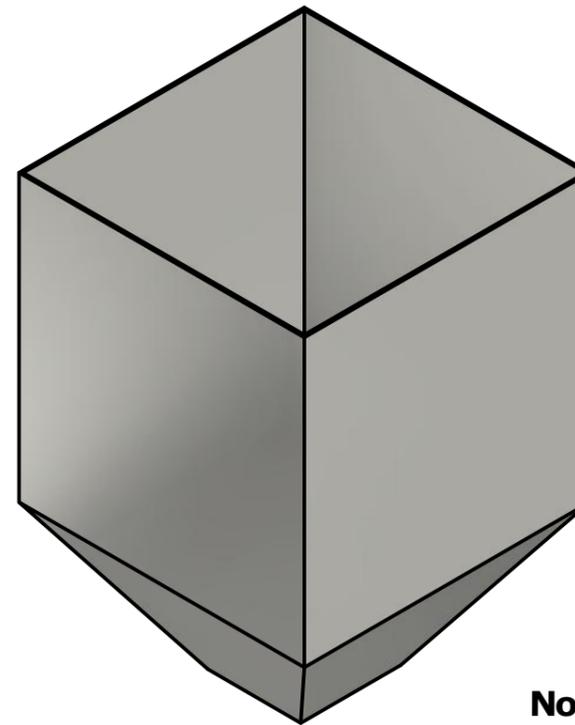
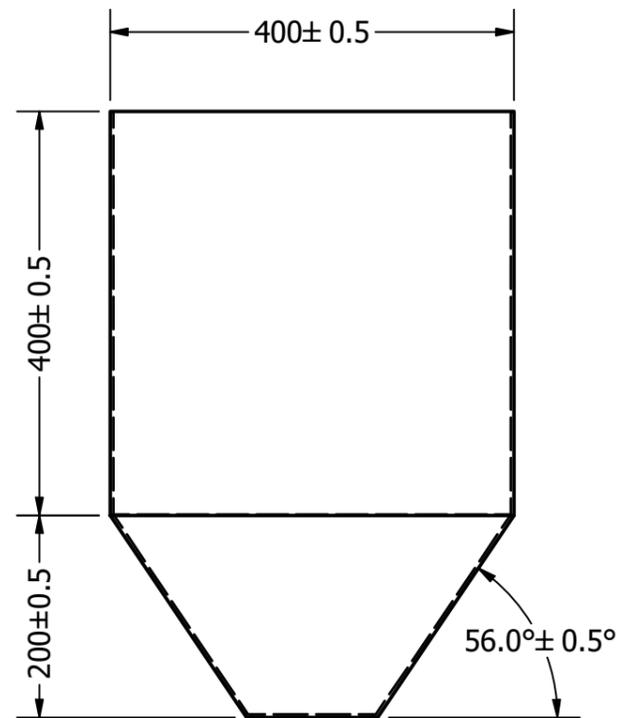
Torres, E. M. G. (2012). Diseño y construcción del sistema de dosificación. Diseño y construcción de un prototipo con sistema SCADA aplicado al control del micro clima y dosificación del producto almacenado en silos. Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1902>

Videla, A. (2015). Manual De Motores Electricos, 1–70. <https://hackm365.com> › manuales › Manual-de-motores-electricos.

Capítulo 7
Anexos

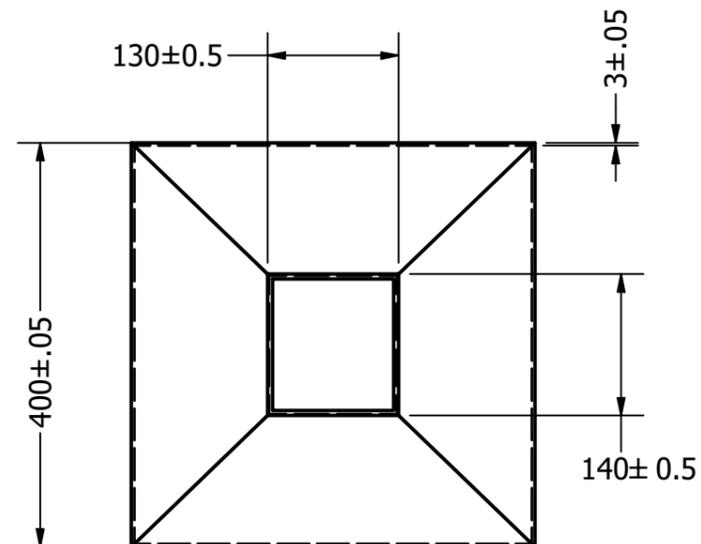
7 Anexos

7.1 Anexo A. Planos

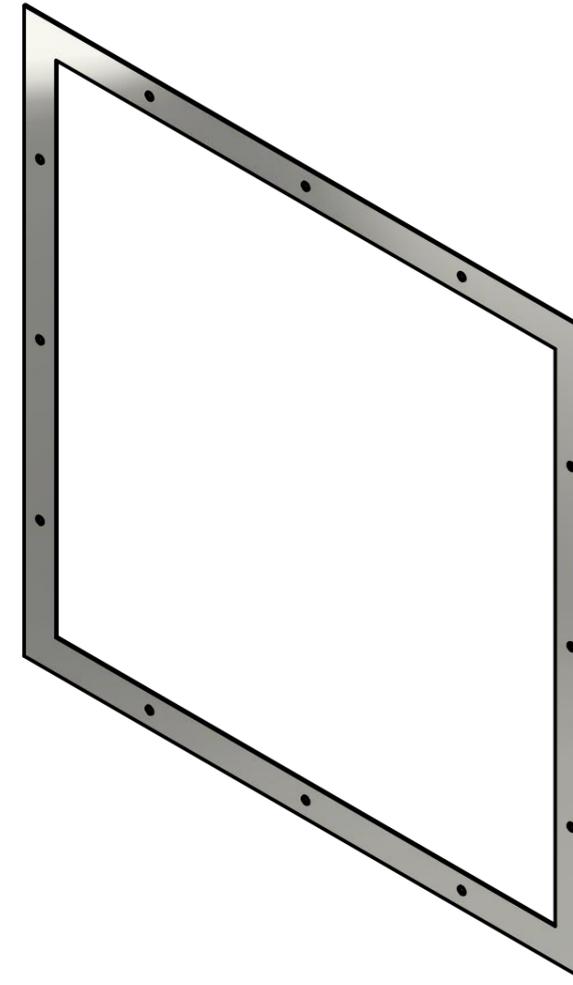
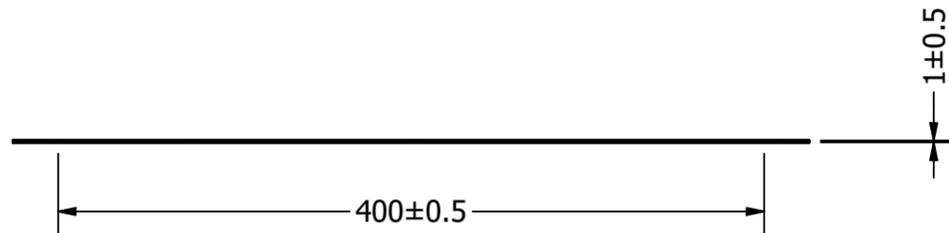
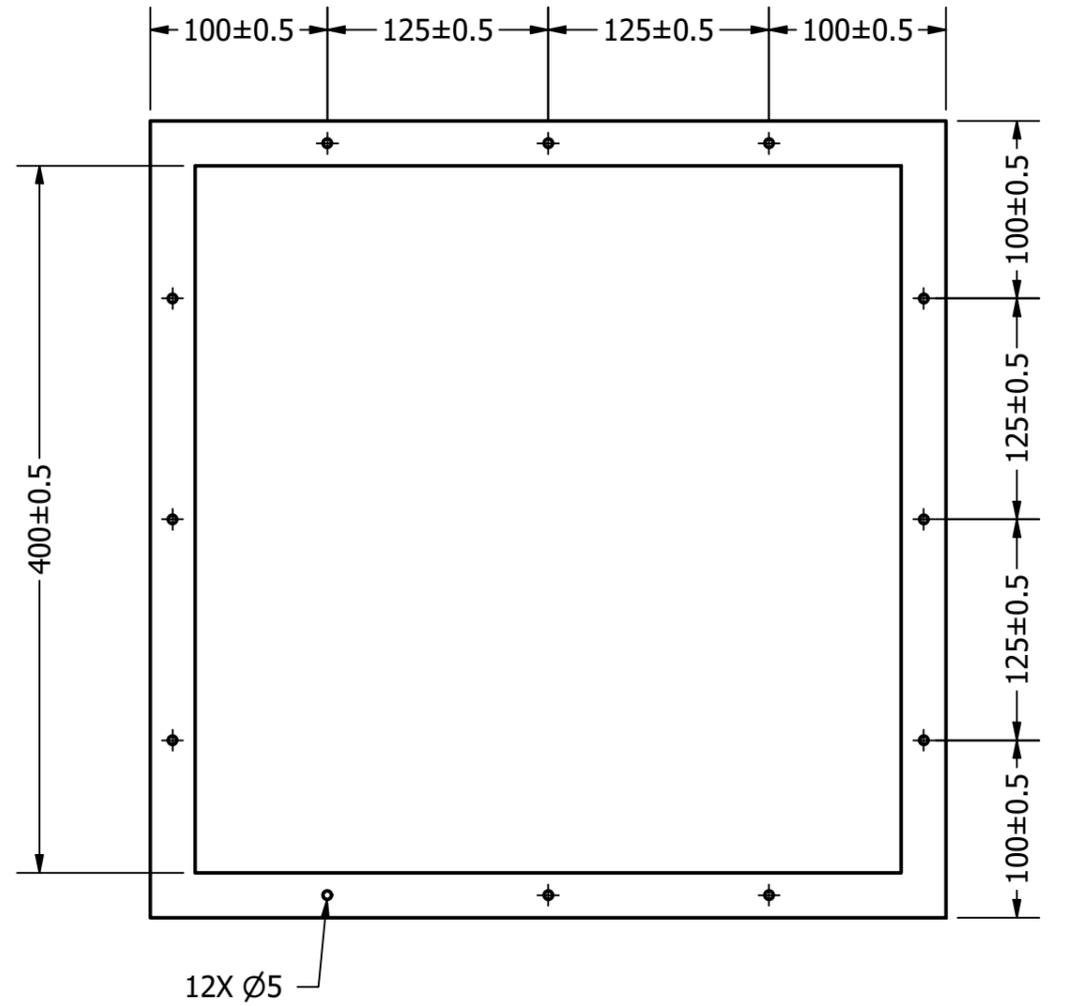


Notas:

1. Material:
Lámina de zinc lisa galvanizada #18. Acero base ASTM A568-M, galvanización ASTM A653-M.
2. Construcción:
Doblado de la lámina recto; para uniones utilizar remaches tipo pop (L= 8.5 mm A= 5.4 mm).



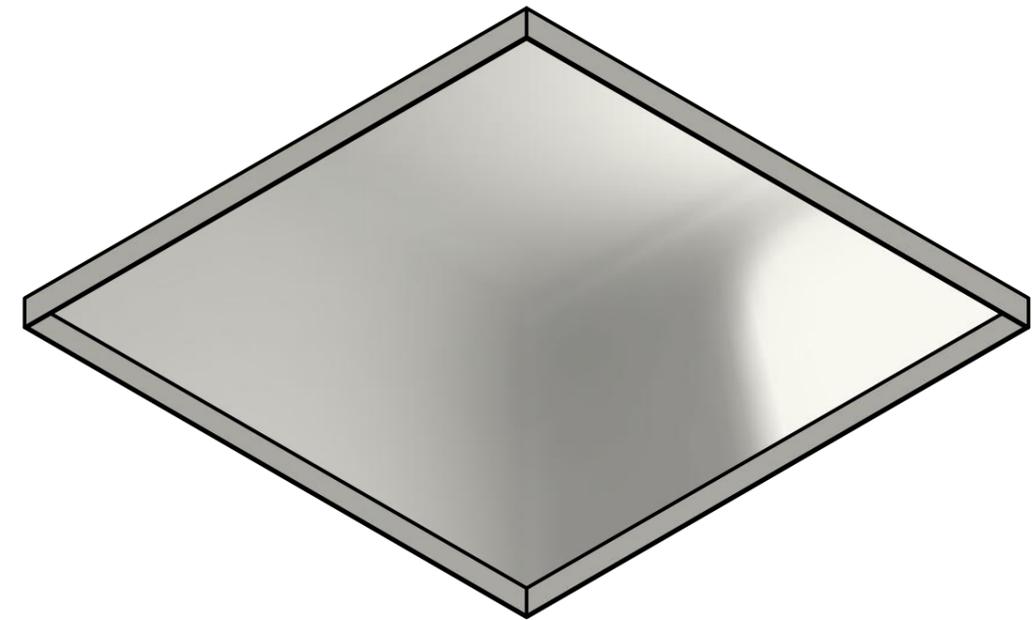
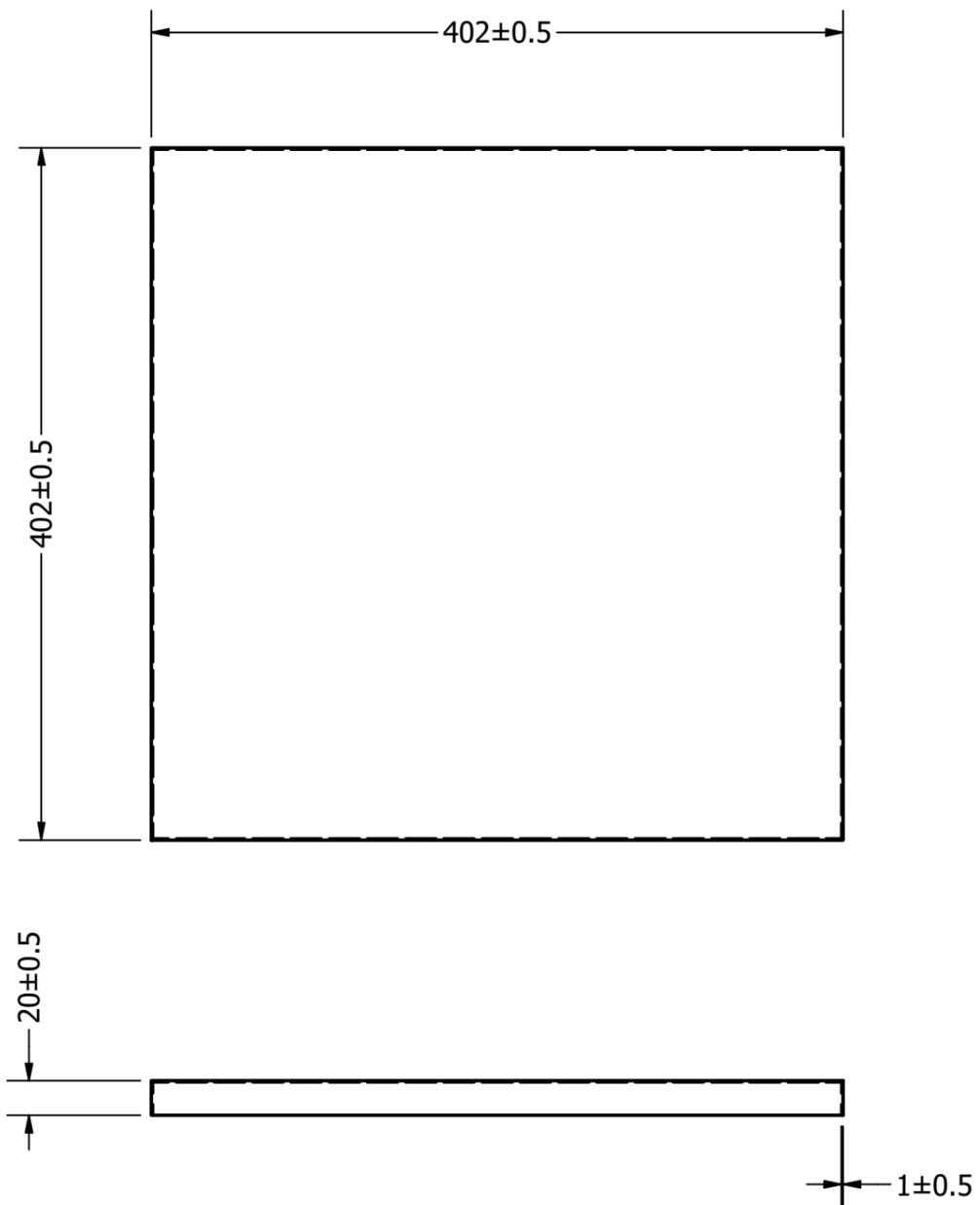
DISEÑADO POR:		TÍTULO:	
ALBERTO SANDÍ SOLÍS ALEX CHINCHILLA MORA		Tolva almacenadora de comprimido	
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN	
FECHA:	ESCALA:	UNIDADES	LÁMINA:
06/05/2019	1/7	mm	1 / 13



Notas:

1. Material:
Lámina de zinc lisa galvanizada #19. Acero base ASTM A568-M, galvanización ASTM A653-M.

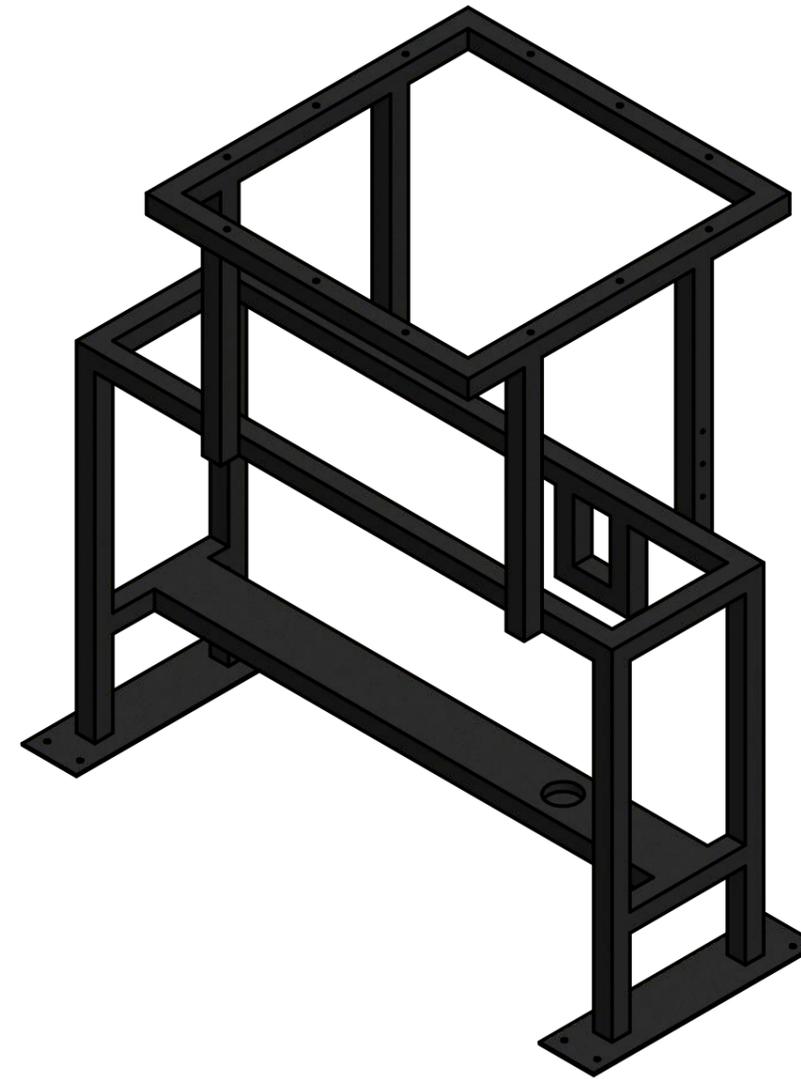
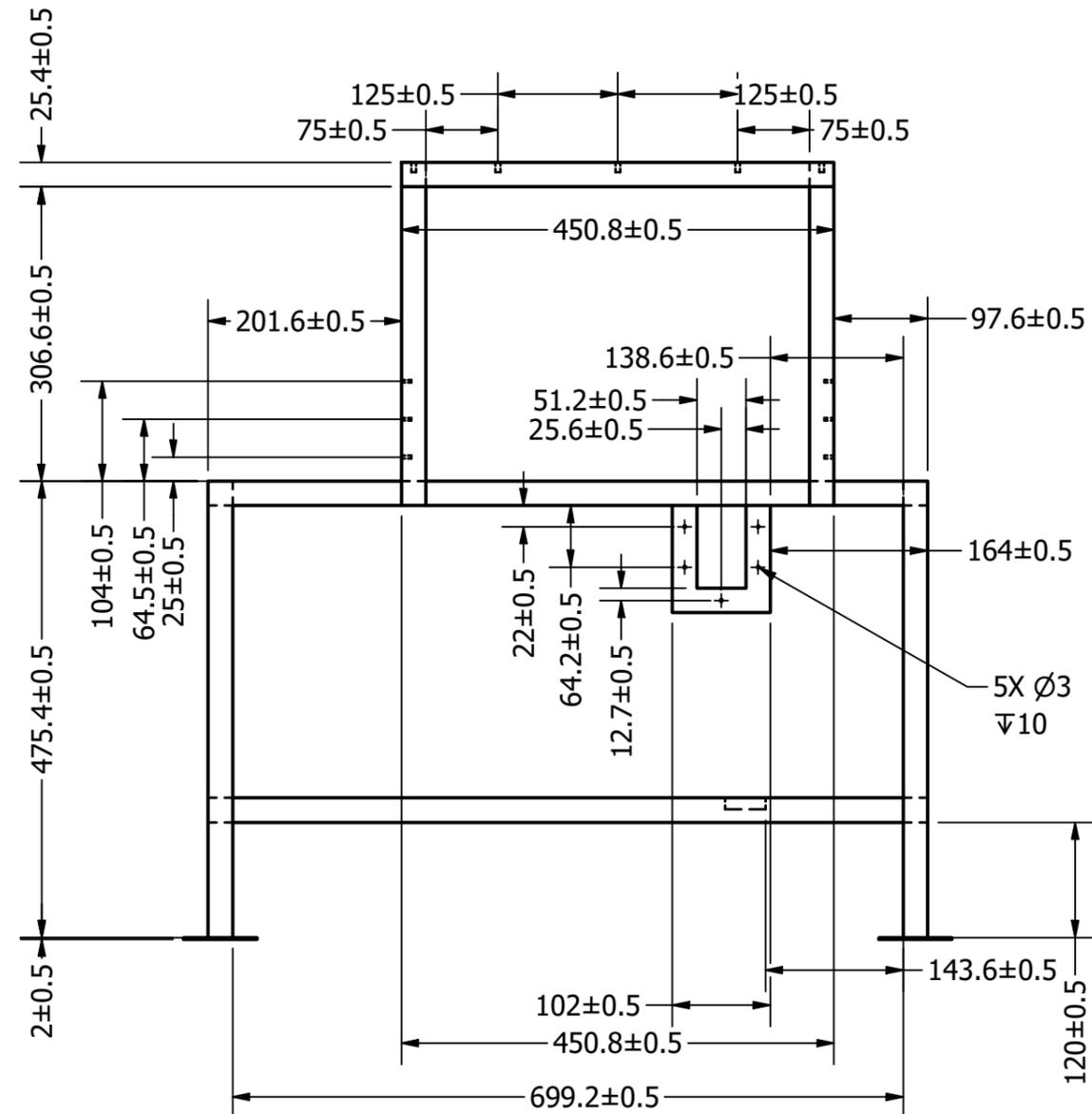
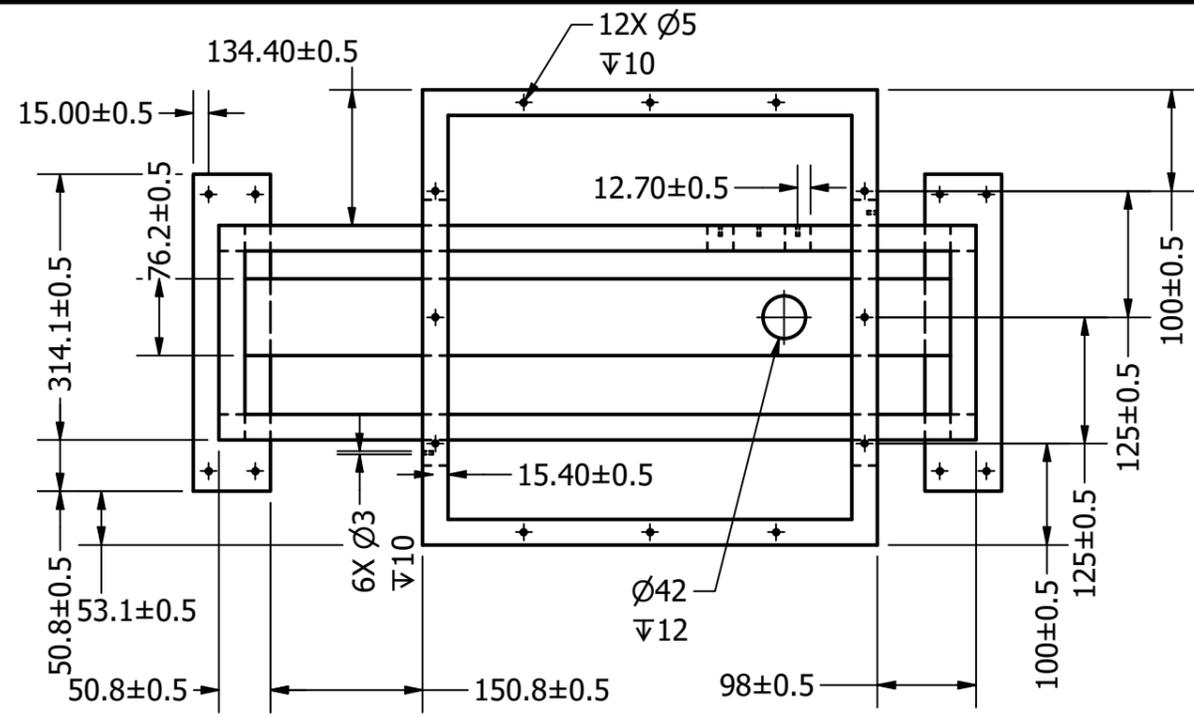
DISEÑADO POR:		TÍTULO:	
ALBERTO SANDÍ SOLÍS ALEX CHINCHILLA MORA		Soporte de tolva almacenadora de comprimido	
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN	
FECHA:	ESCALA:	UNIDADES	LÁMINA:
06/05/2019	1/4	mm	2 / 13



Notas:

1. Material:
Lámina de zinc lisa galvanizada #19. Acero base ASTM A568-M, galvanización ASTM A653-M.
2. Construcción:
Doblado de la lámina recto; para uniones utilizar remaches tipo pop ($L = 8.5 \text{ mm}$ $A = 5.4 \text{ mm}$).

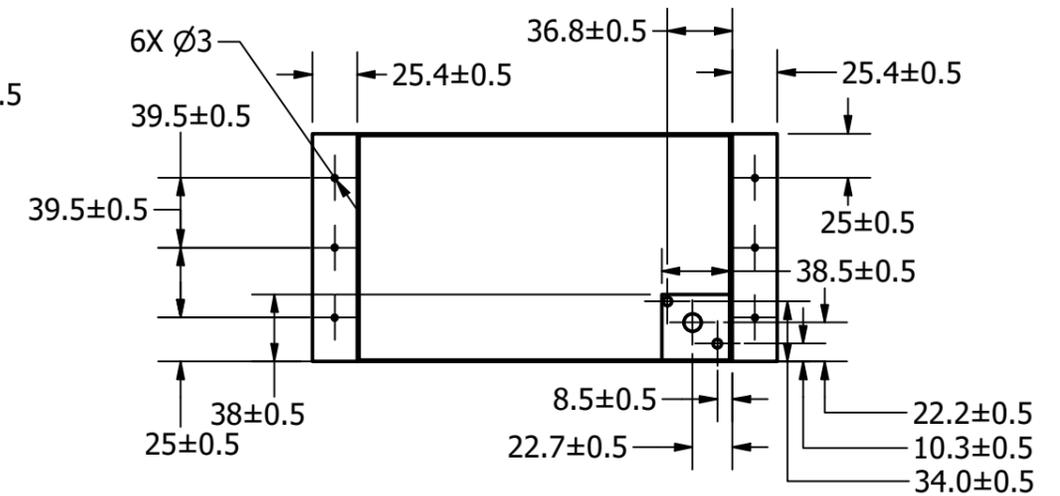
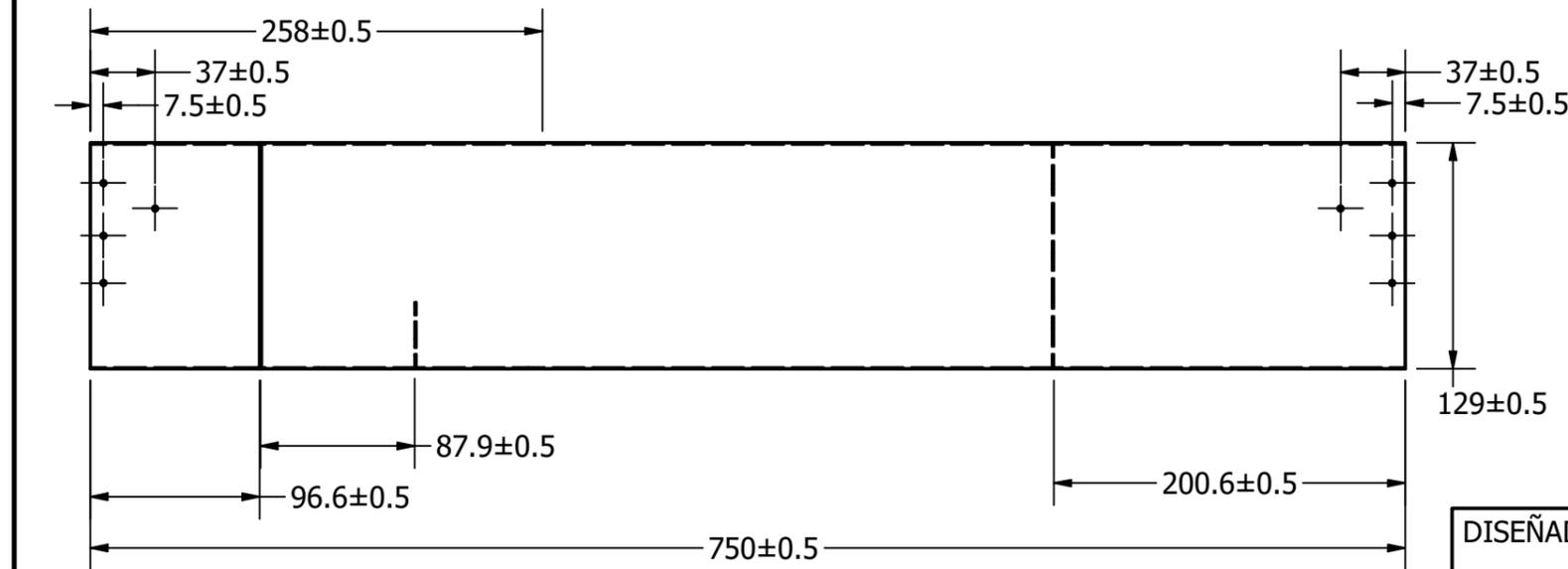
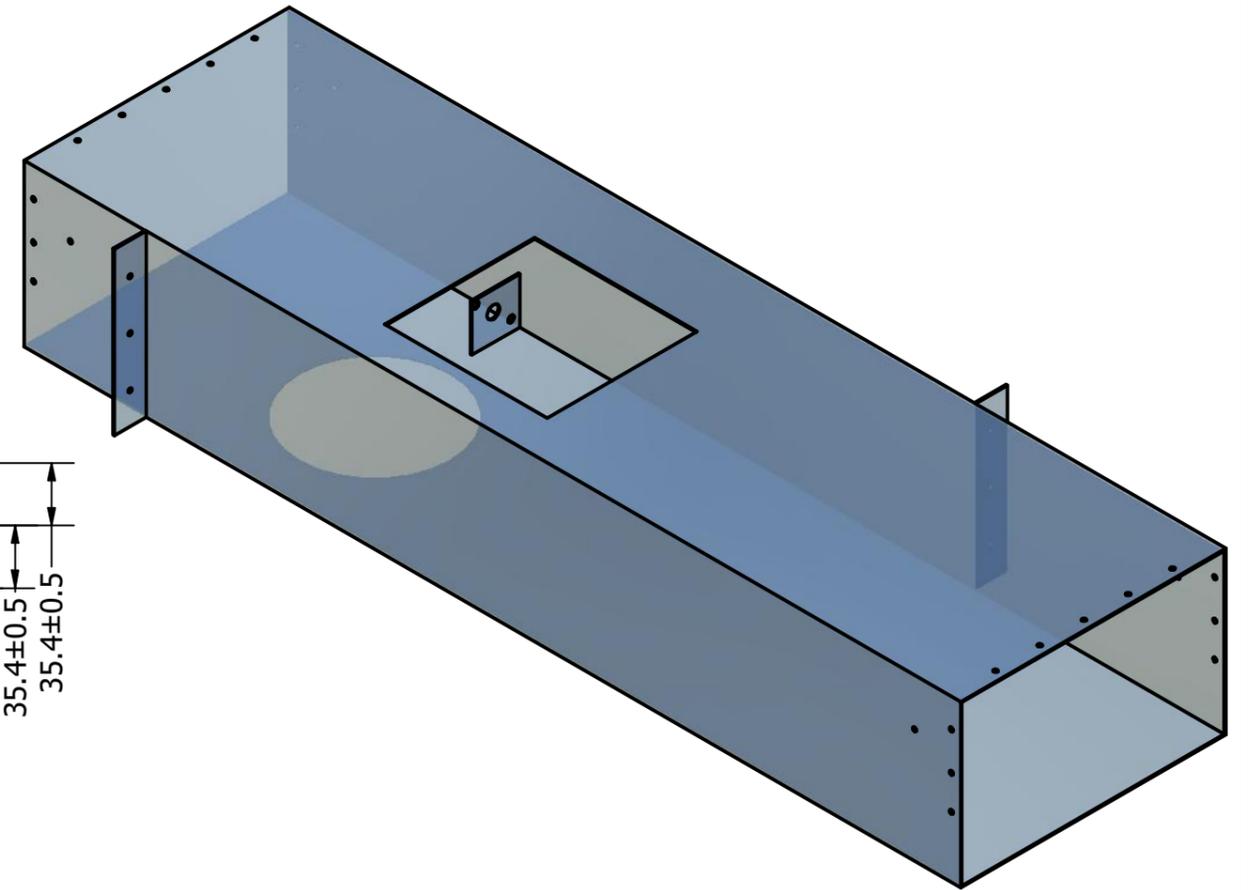
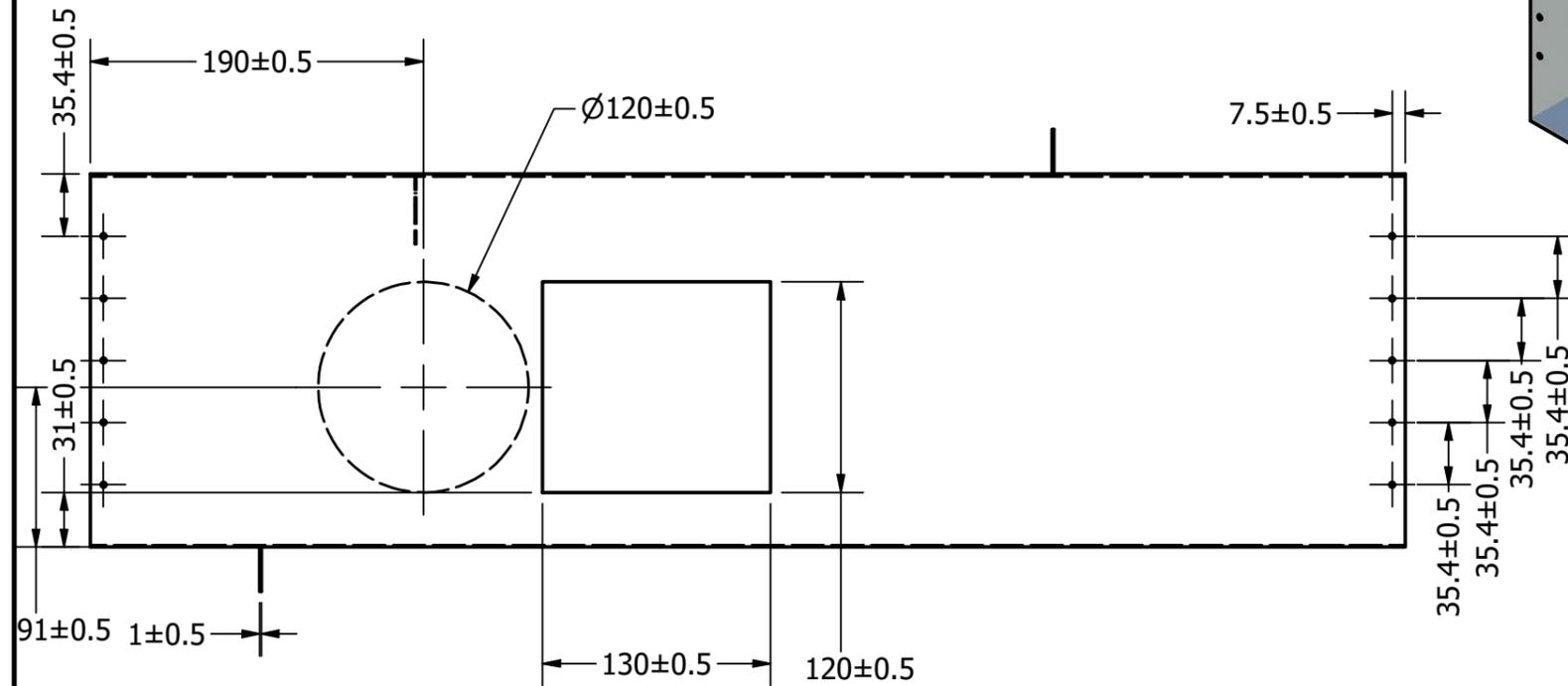
DISEÑADO POR:		TÍTULO:	
ALBERTO SANDÍ SOLÍS ALEX CHINCHILLA MORA		Tapa de tolva almacenadora de comprimido	
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN	
FECHA:	ESCALA:	UNIDADES	LÁMINA:
07/05/2019	1/4	mm	3 / 13



Notas:

1. Material:
Tubo cuadrado 1x1x1.5. Acero base
ASTM A568-M, galvanización ASTM A653-M.
2. Construcción:
Uniones soldadas.

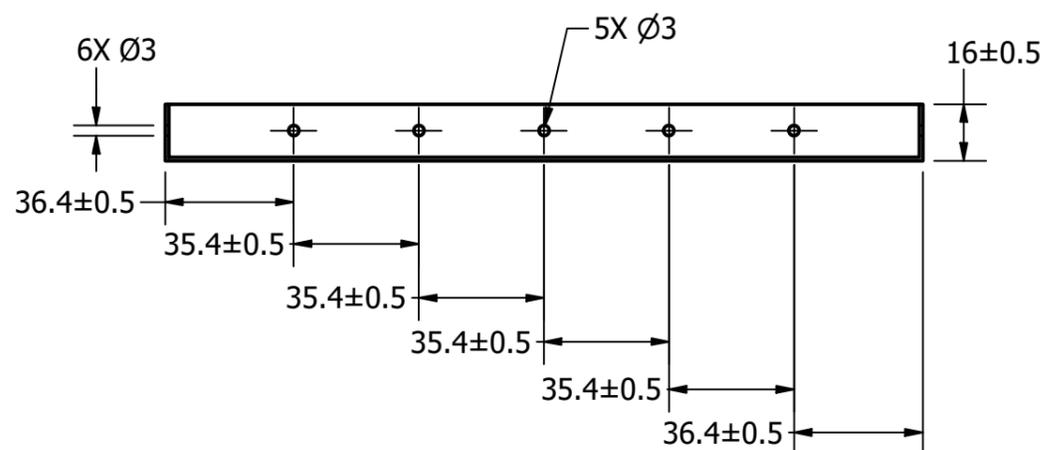
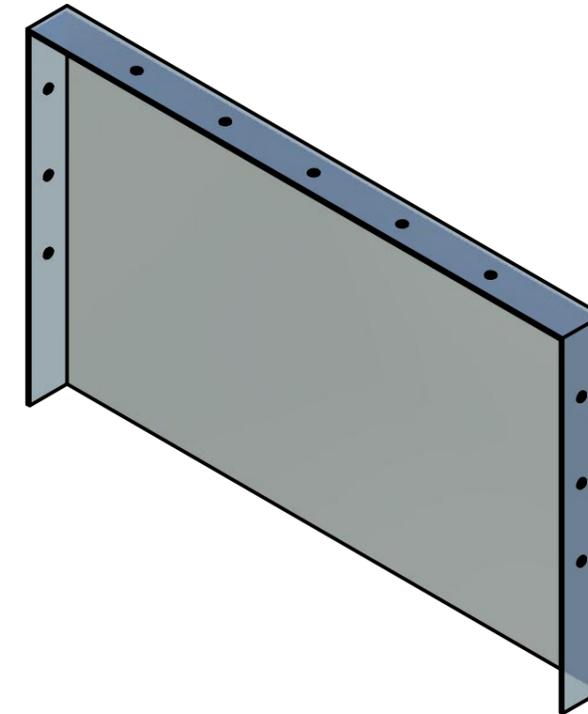
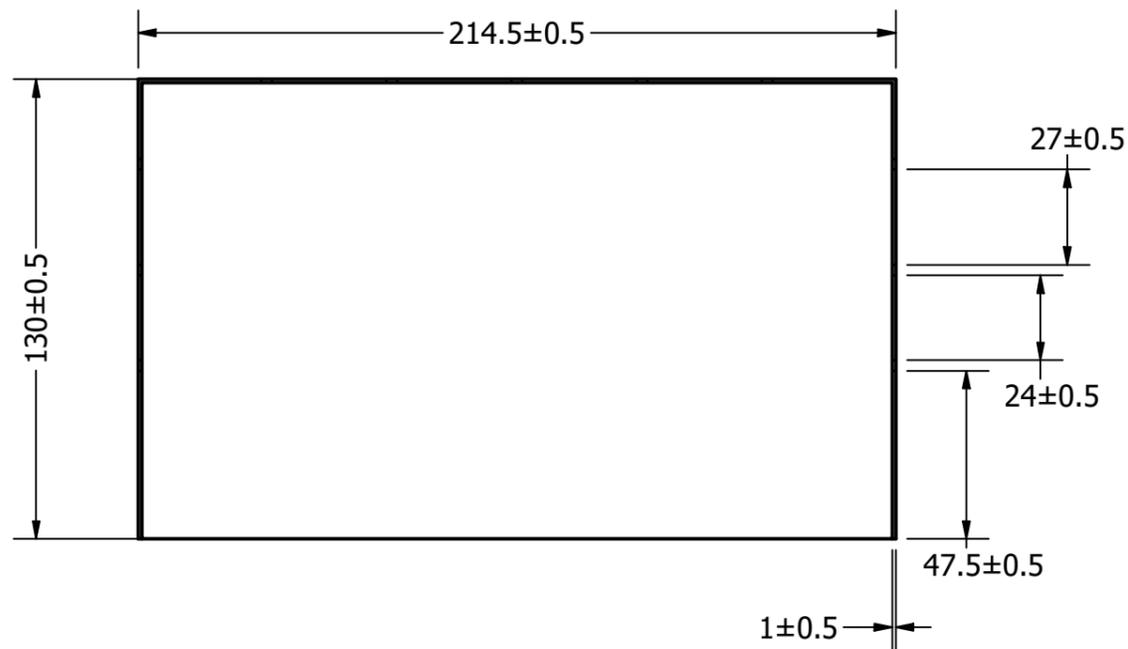
DISEÑADO POR:		TÍTULO:	
ALBERTO SANDÍ SOLÍS ALEX CHINCHILLA MORA		Estructura de soporte	
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN	
FECHA:	ESCALA:	UNIDADES	LÁMINA:
07/05/2019	1/7	mm	4 / 13



Notas:

1. Material:
Lámina de zinc lisa galvanizada #18. Acero base ASTM A568-M, galvanización ASTM A653-M.
2. Construcción:
Doblado de la lámina recto. Union soldada.

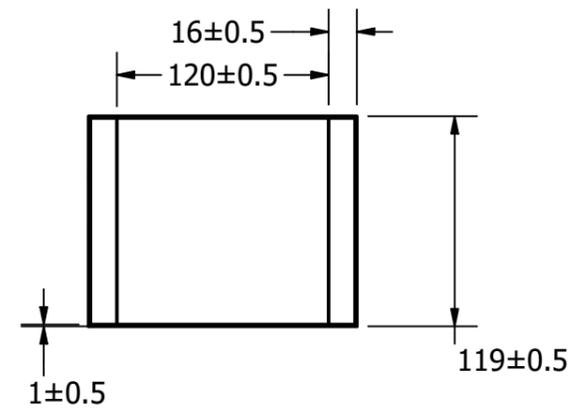
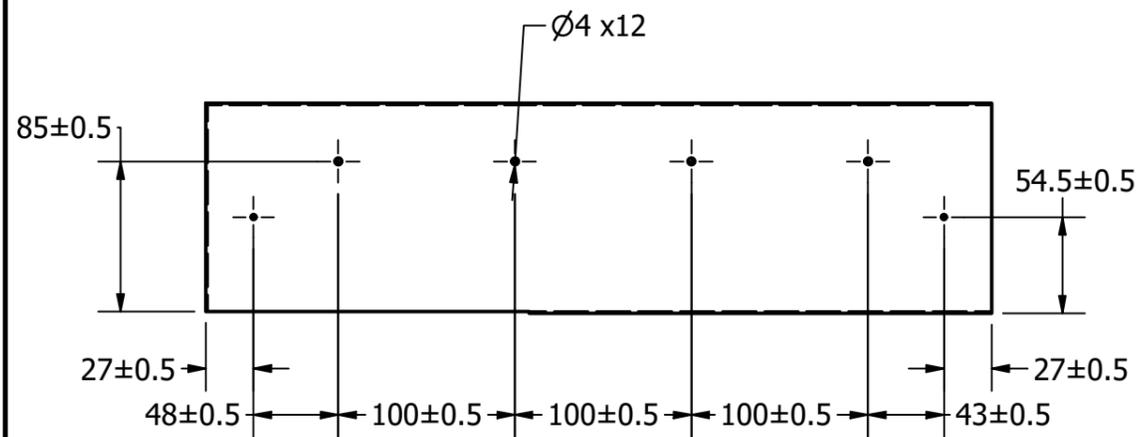
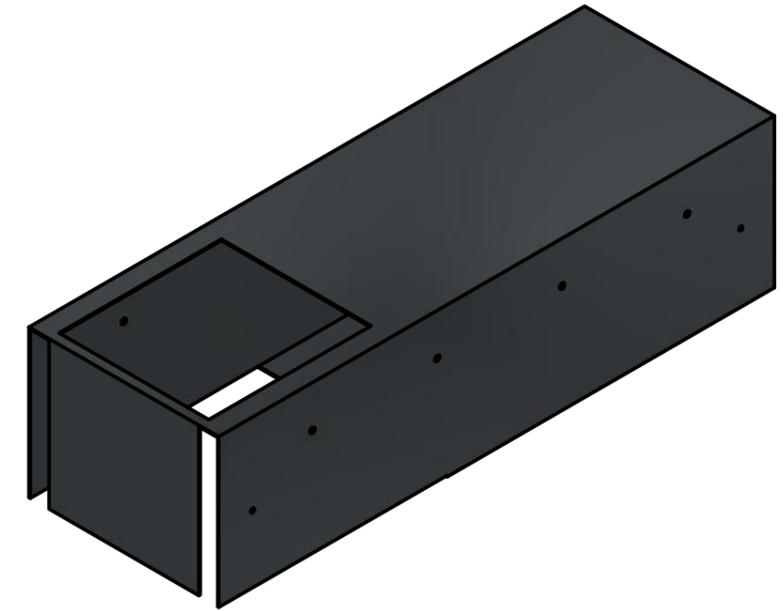
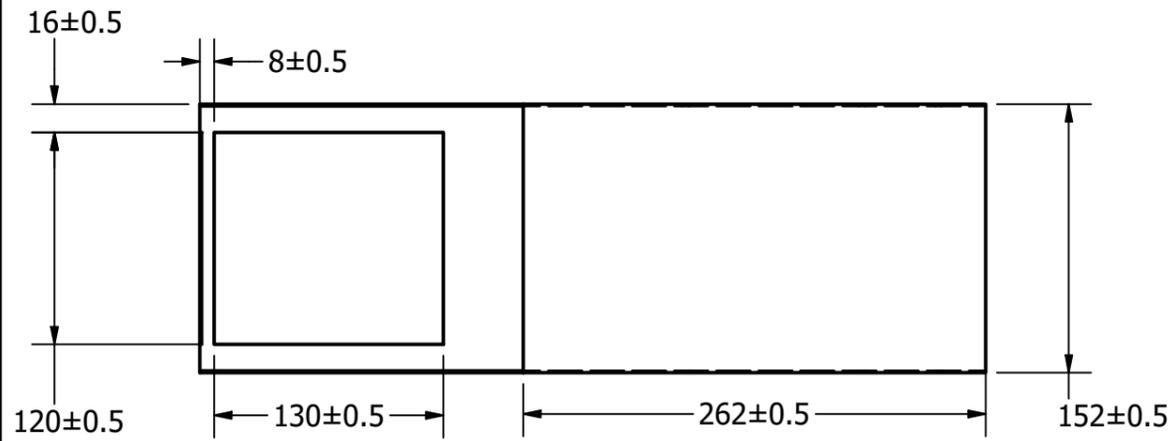
DISEÑADO POR: ALBERTO SANDÍ SOLÍS ALEX CHINCHILLA MORA		TÍTULO: Ducto exterior	
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN	
FECHA: 07/05/2019	ESCALA: 1/4	UNIDADES mm	LÁMINA: 5 / 13



Notas:

1. Material:
Lámina de zinc lisa galvanizada #18. Acero base ASTM A568-M, galvanización ASTM A653-M.
2. Construcción:
Doblado de la lámina recto. Union soldada.

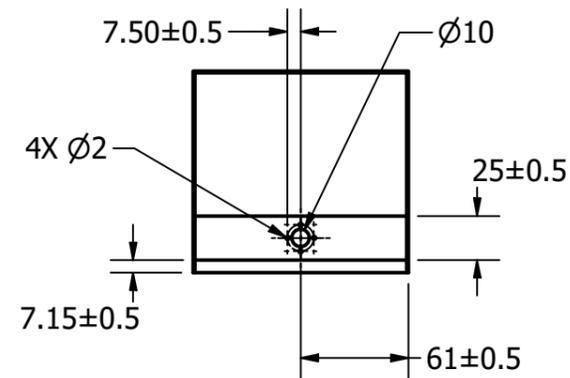
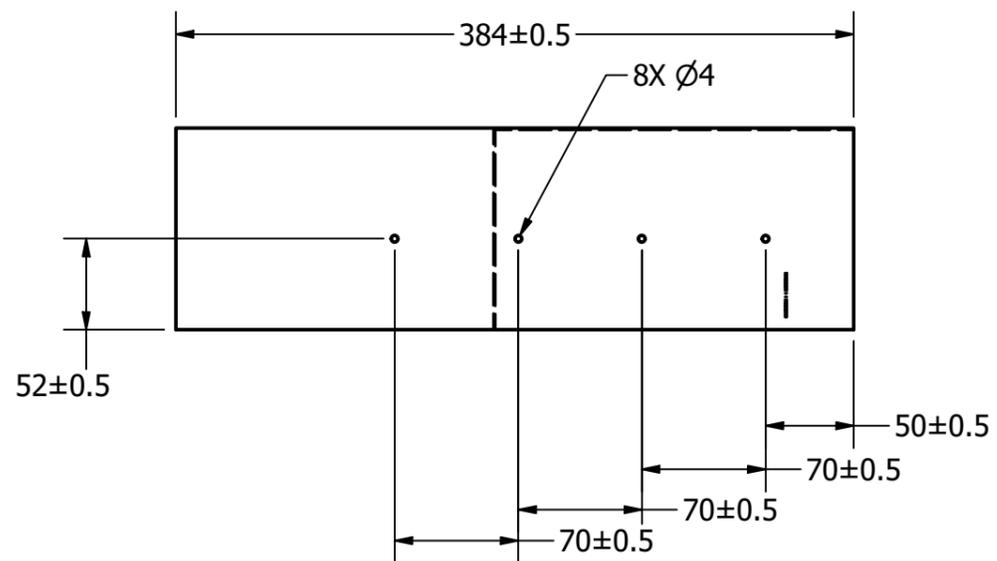
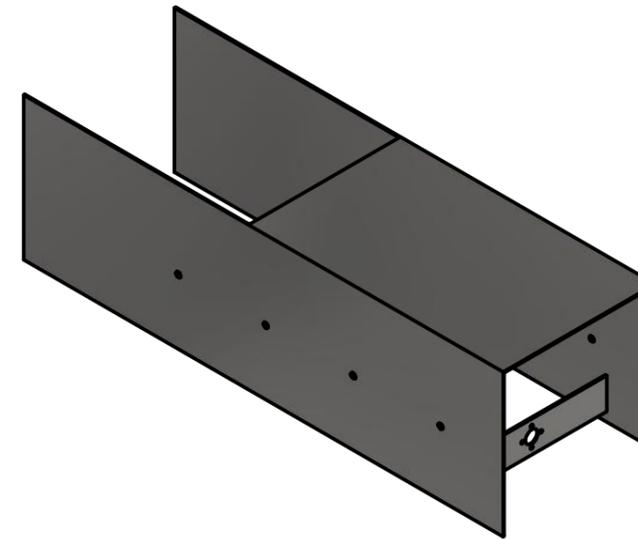
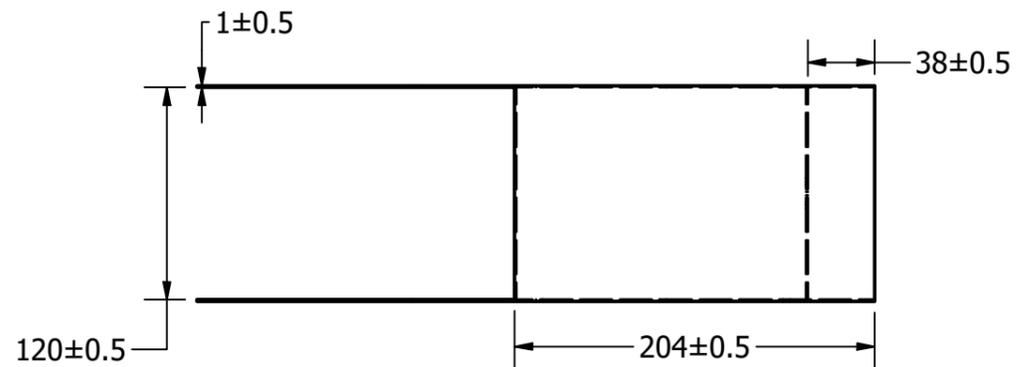
DISEÑADO POR:		TÍTULO:	
ALBERTO SANDÍ SOLÍS ALEX CHINCHILLA MORA		Tapa para ducto exterior	
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN	
FECHA:	ESCALA:	UNIDADES	LÁMINA:
07/05/2019	1/2	mm	6 / 13



Notas:

1. Material:
Lámina de zinc lisa galvanizada #18. Acero base ASTM A568-M, galvanización ASTM A653-M.
2. Construcción:
Doblado de la lámina recto. Union soldada.

DISEÑADO POR:		TÍTULO:	
ALBERTO SANDÍ SOLÍS ALEX CHINCHILLA MORA		Ducto interno	
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN	
FECHA:	ESCALA:	UNIDADES	LÁMINA:
07/05/2019	1/4	mm	7 / 13



Notas:

1. Material:
Lámina de zinc lisa galvanizada #18. Acero base ASTM A568-M, galvanización ASTM A653-M.
2. Construcción:
Doblado de la lámina recto. Union soldada.

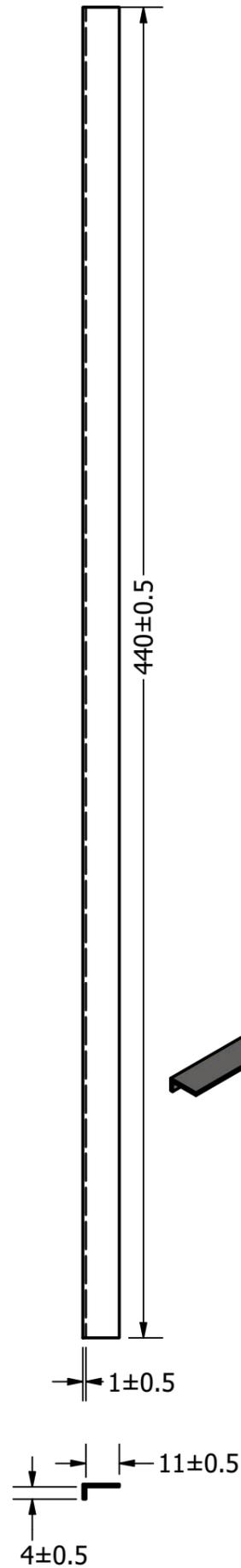
DISEÑADO POR:		TÍTULO:	
ALBERTO SANDÍ SOLÍS ALEX CHINCHILLA MORA		Ducto regulador de dosificaciones	
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN	
FECHA:	ESCALA:	UNIDADES	LÁMINA:
07/05/2019	1/4	mm	8 / 13

Notas:

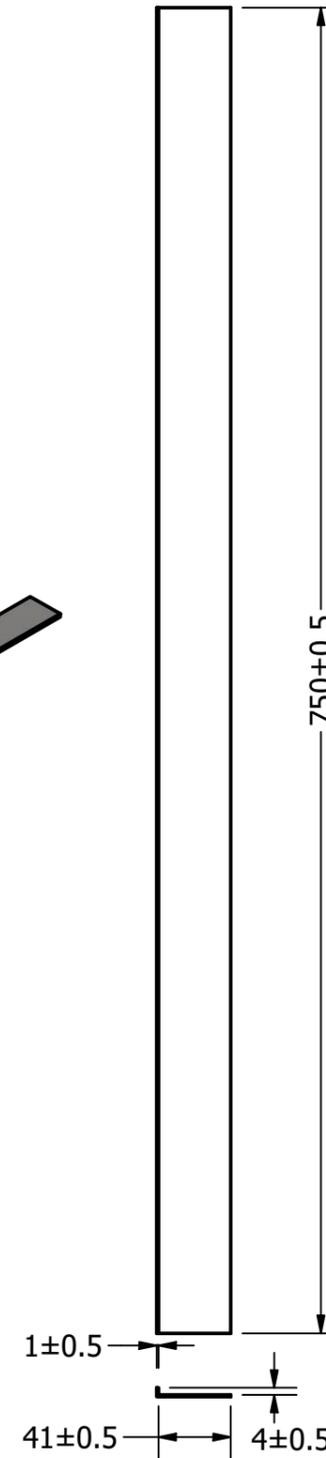
1. Material:
Lámina de zinc lisa galvanizada #18. Acero base ASTM A568-M, galvanización ASTM A653-M.
2. Construcción:
Doblado de la lámina recto.

Notas:

1. Material:
Lámina de zinc lisa galvanizada #18. Acero base ASTM A568-M, galvanización ASTM A653-M.
2. Construcción:
Doblado de la lámina recto.

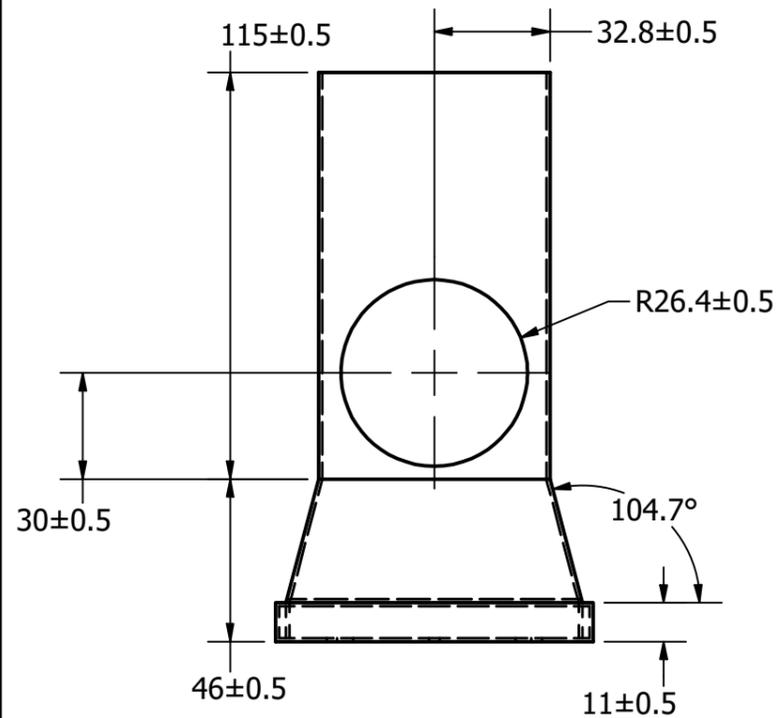
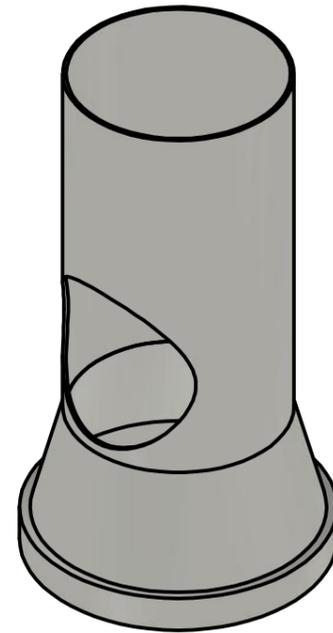
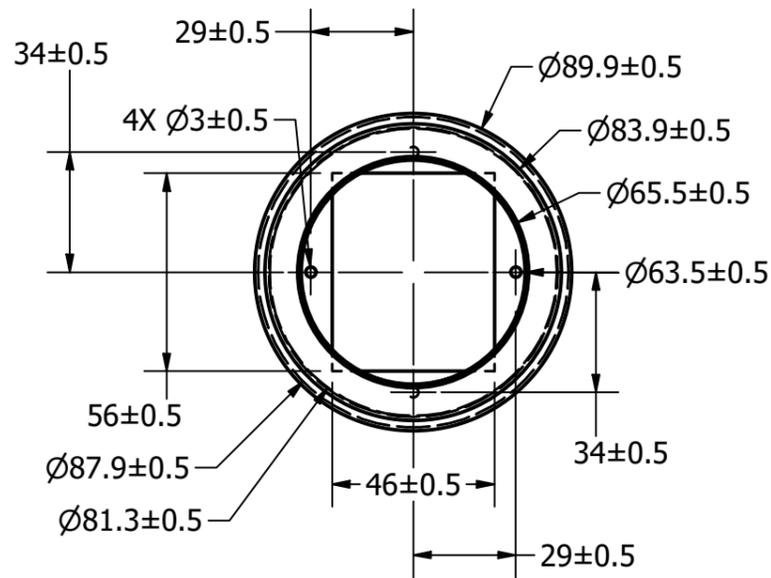


Carril para ducto regulador
Escala
1/2



Carril para ducto medio
Escala
1/4

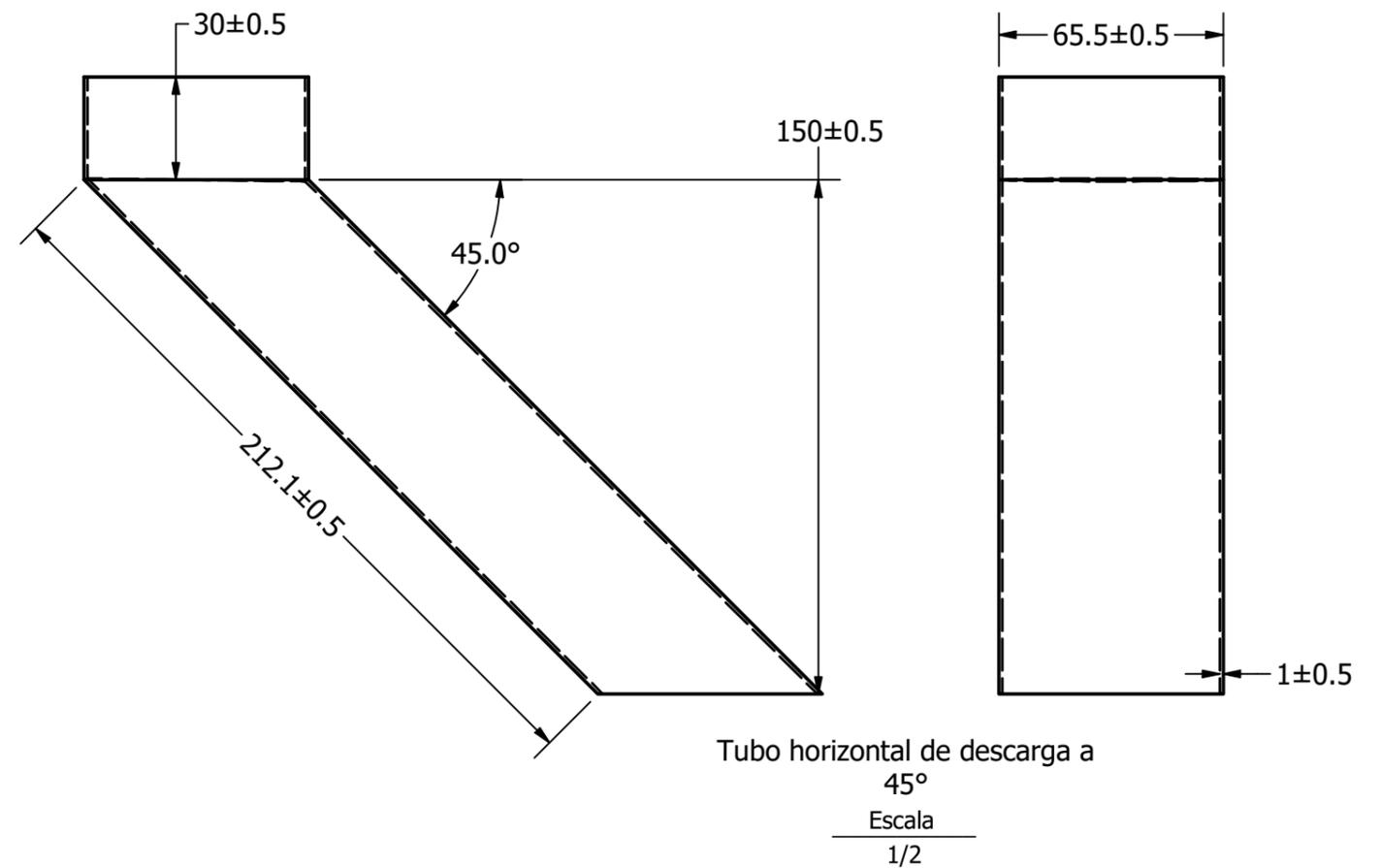
DISEÑADO POR:		TÍTULO:	
ALBERTO SANDÍ SOLÍS ALEX CHINCHILLA MORA		Carril para ducto medio y ducto regulador	
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN	
FECHA:	ESCALA:	UNIDADES	LÁMINA:
07/05/2019	Indicada	mm	9 / 13



Tubo horizontal de descarga
Escala
1/2

Notas:

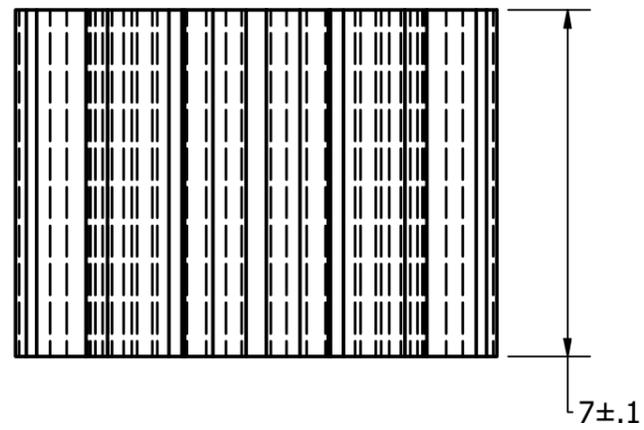
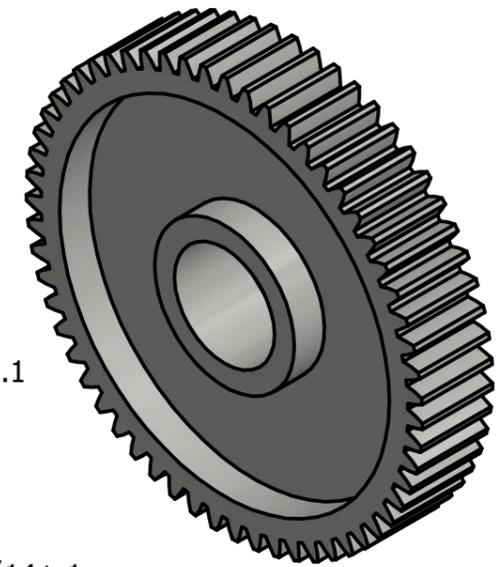
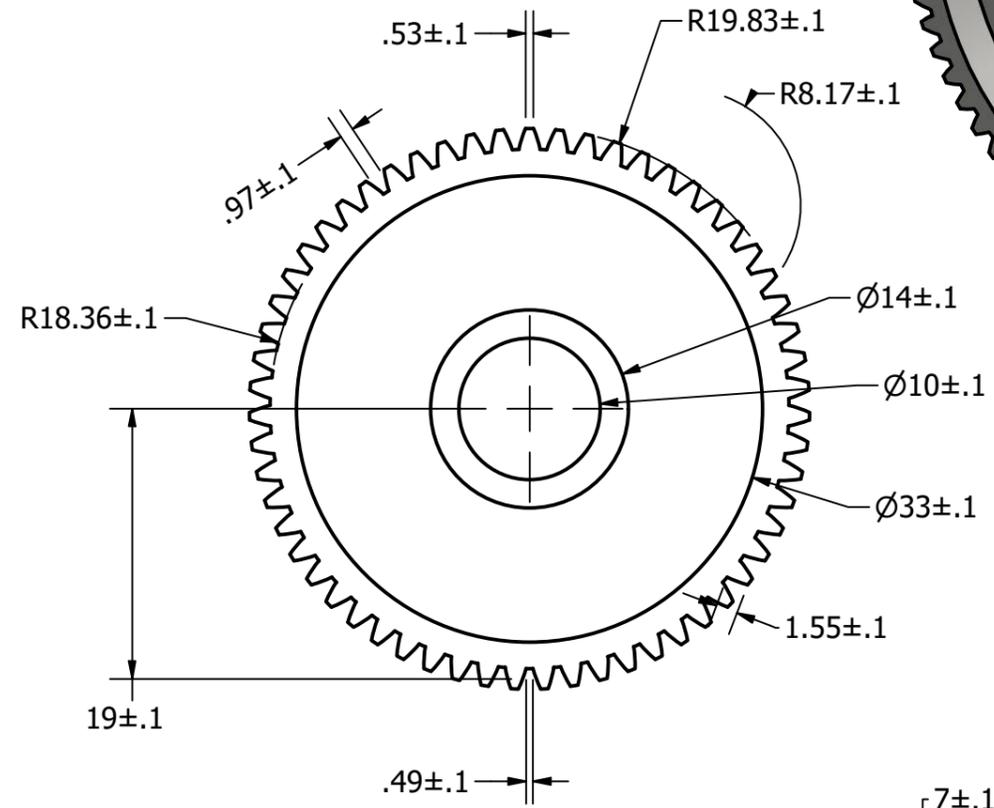
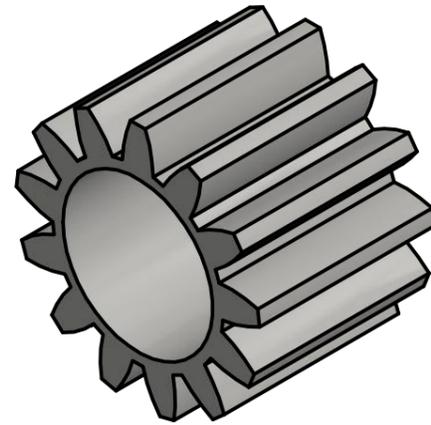
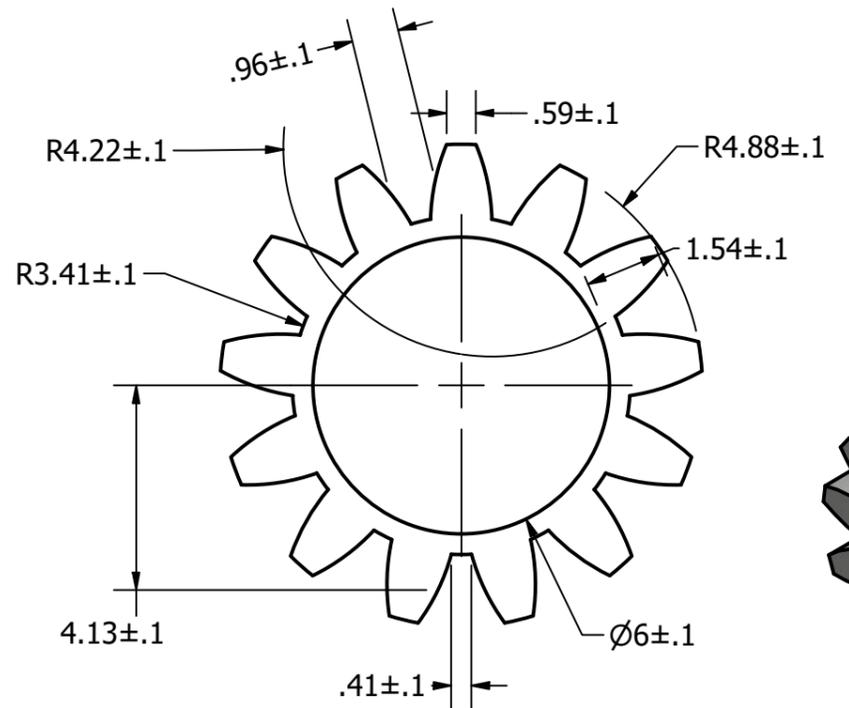
1. Material:
Lámina de zinc lisa galvanizada #24. Acero base ASTM A568-M, galvanización ASTM A653-M.
2. Construcción:
Redondeo de lámina, para uniones utilizar remaches tipo pop (L= 8.5 mm A= 5.4 mm).



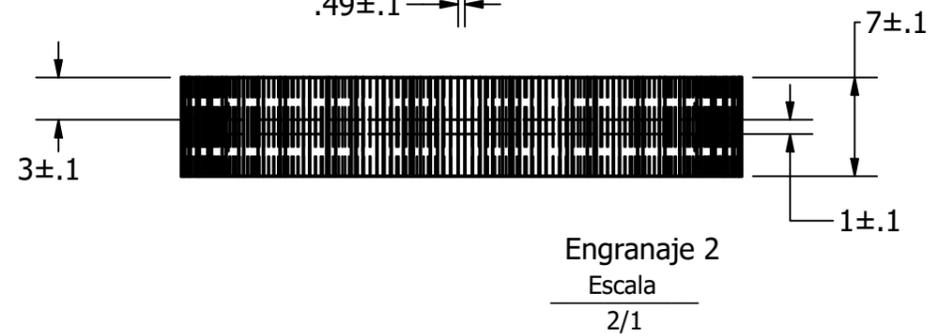
DISEÑADO POR: ALBERTO SANDÍ SOLÍS ALEX CHINCHILLA MORA		TÍTULO: Tubos de descarga	
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN	
		FECHA: 07/05/2019	ESCALA: Indicada

Notas:

1. Material:
Acero inoxidable AISI 304.

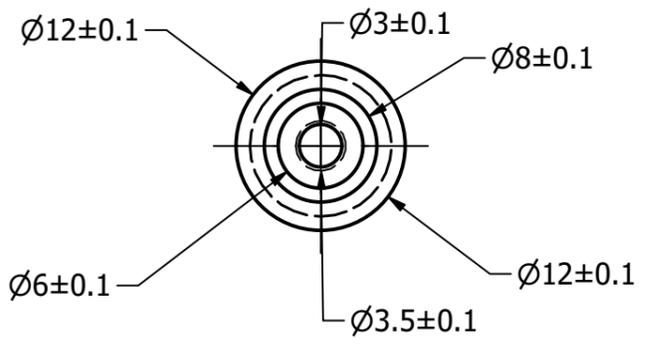
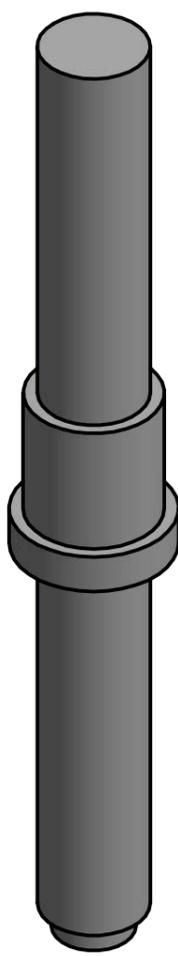
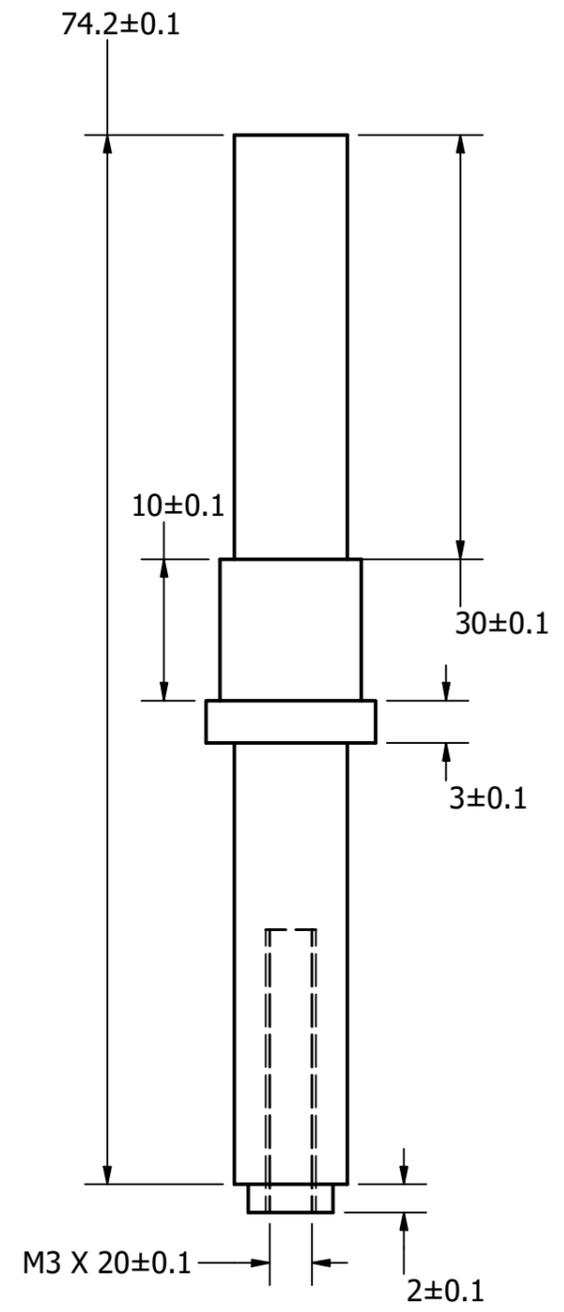


Engranaje 1
Escala
7/1

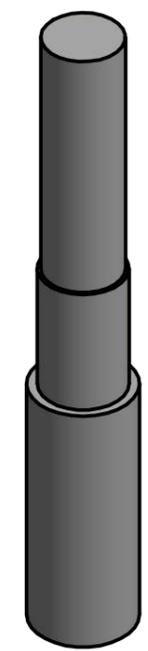
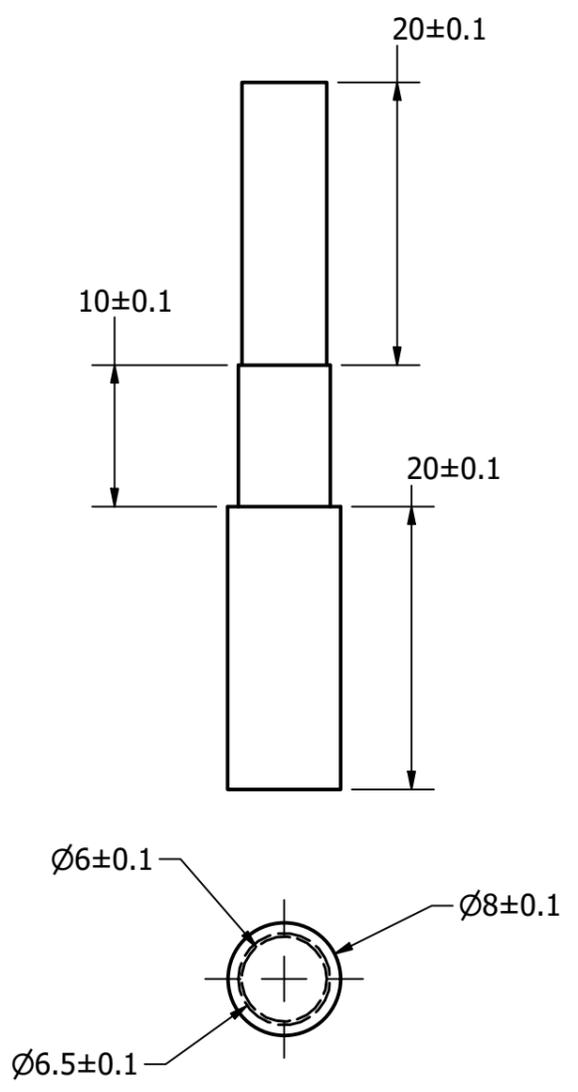


Engranaje 2
Escala
2/1

DISEÑADO POR: ALBERTO SANDÍ SOLÍS ALEX CHINCHILLA MORA		TÍTULO: Engranajes	
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN	
FECHA: 10/05/2019	ESCALA: Indicada	UNIDADES mm	LÁMINA: 11 / 13



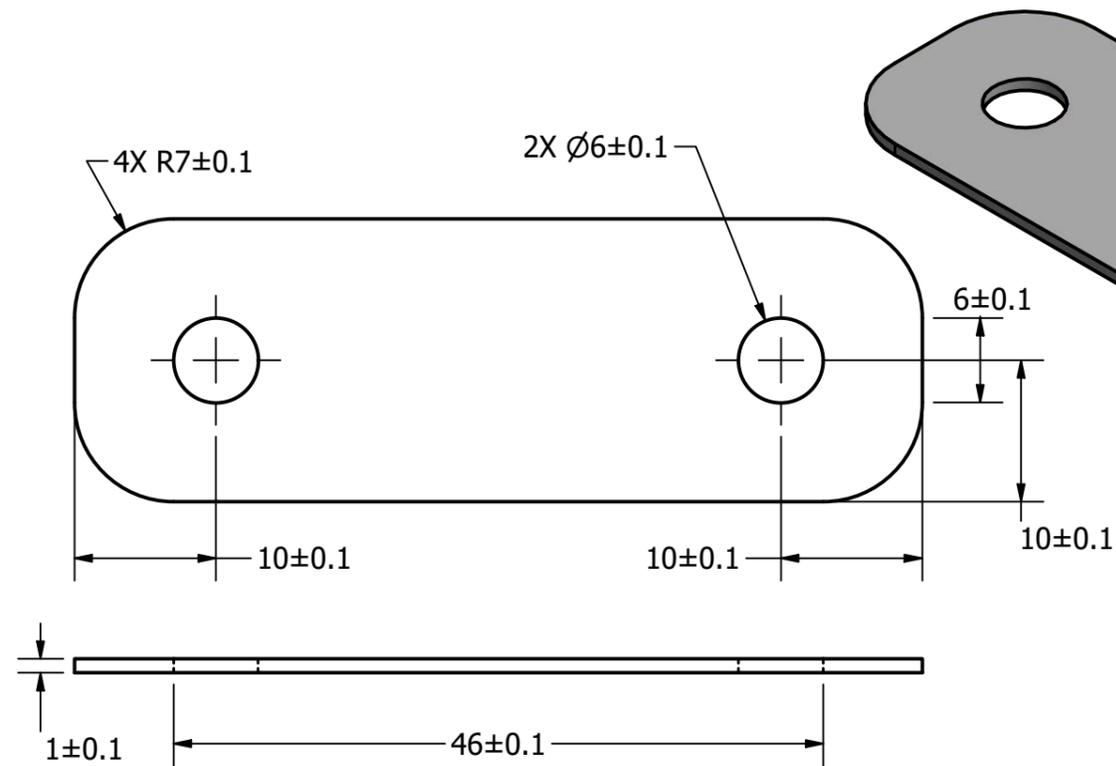
Eje para engranaje 2



Eje para engranaje 1

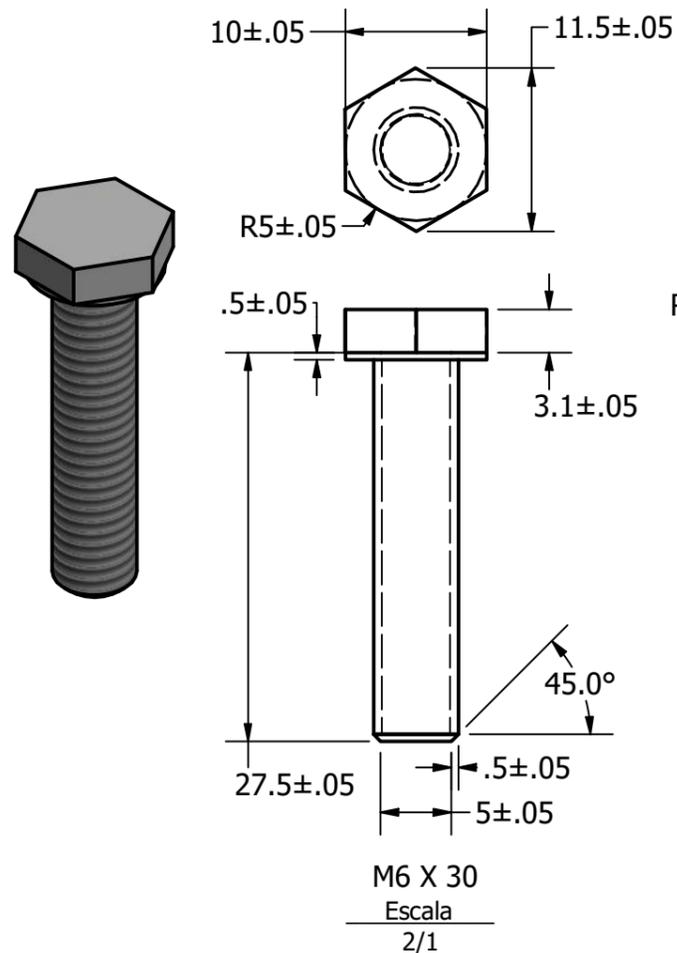
Notas:
1. Material:
Acero inoxidable AISI 304.

DISEÑADO POR: ALBERTO SANDÍ SOLÍS ALEX CHINCHILLA MORA		TÍTULO: Ejes para engranajes	
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN	
FECHA: 10/05/2019	ESCALA: 2/1	UNIDADES mm	LÁMINA: 12 / 13

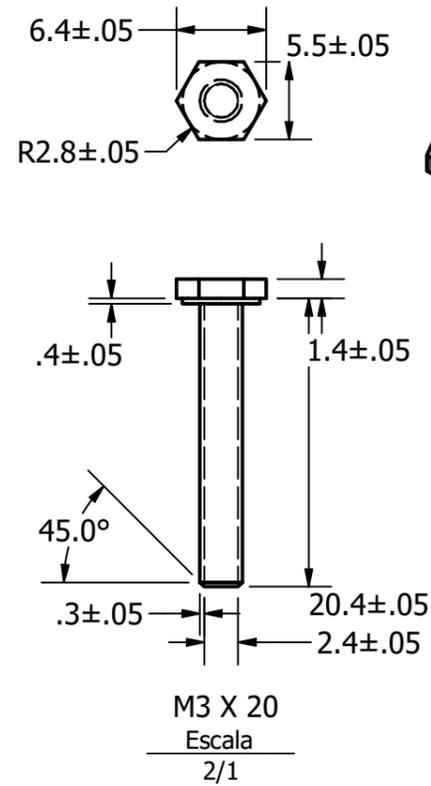


Manivela
Son necesarias 2 unidades

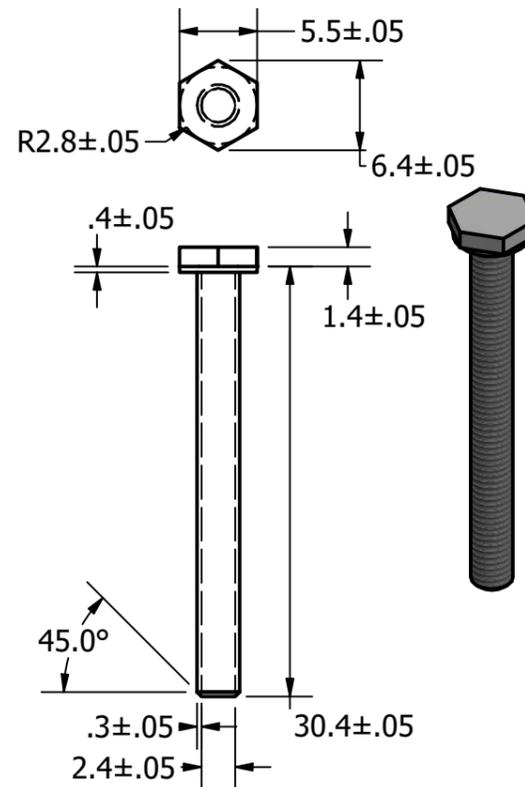
Escala
2/1



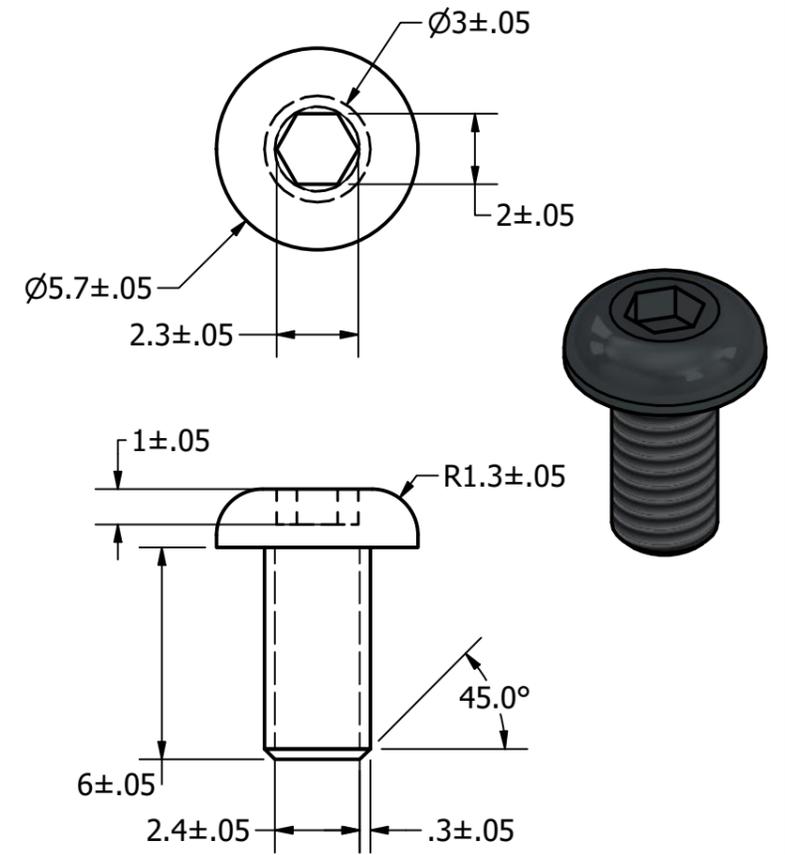
M6 X 30
Escala
2/1



M3 X 20
Escala
2/1



M3 X 30
Escala
2/1



M3 X 6
Son necesarias 85 unidades
Escala
5/1

Notas:

1. Material:
Acero inoxidable AISI 304.

DISEÑADO POR:		TÍTULO:	
ALBERTO SANDÍ SOLÍS ALEX CHINCHILLA MORA		Piezas varias	
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN	
FECHA:	ESCALA:	UNIDADES	LÁMINA:
12/06/2019	Indicada	mm	13 / 13

7.2 Anexo B. Memoria de cálculo para motores de paso

Datos para cálculo de Motor de pasos del ducto interno			
Área total (m ²)	0,138	Fuerza normal (N)(kg*m/s ²)	5,91
Volumen total (m ³)	0,000421	Fuerza de fricción (N)(kg*m/s ²)	4,38
Densidad (kg/m ³)	7,85	Fuerza normal del alimento (N)(kg*m/s ²)	5,88
masa (kg)	0,003	Fuerza del motor a vencer(N)(kg*m/s ²)	4,38
Coef. De fricción estática (Us)	0,74		
Densidad del alimento (kg/m ³)	380		
Masa alimento (kg)	0,6		
Cálculo de motor eléctrico del dosificador			
Paso (P)(mm)	2	Par motor necesario (Nm)	0,0014
Diámetro medio (mm)	6	Par motor escogido (Nm)	0,42
Angulo de Hélice (grados)	6,06	Cumple motor	Cumple
Angulo de rozamiento (grados)	0,23		
Paso nominal (P)(mm)	2		
Rendimiento mecánico	0,96		
Fuerza Axial (N)	4,38		

Datos para cálculo de Motor de pasos del ducto externo

Área total (m ²)	0,222	Fuerza normal (N)(kg*m/s ²)	11,85
Volumen total (m ³)	0,000672	Fuerza de fricción (N)(kg*m/s ²)	8,77
Densidad (kg/m ³)	7,85	Fuerza del motor a vencer(N)(kg*m/s ²)	8,77
masa (kg)	0,005		
Coef. De fricción estática (Us)	0,74		
Densidad del alimento (kg/m ³)	380		
Masa alimento (kg)	0,6		
Masa del motor 1 (kg)	0,6		

Cálculo de motor eléctrico del dosificador

Paso (P)(mm)	2	Par motor necesario (Nm)	0,0029
Diámetro medio (mm)	6	Par motor escogido (Nm)	0,42
Angulo de Hélice (grados)	6,06	Cumple motor	Cumple
Angulo de rozamiento (grados)	0,23		
Paso nominal (P)(mm)	2		
Rendimiento mecánico	0,96		
Fuerza Axial (N)	8,77		

7.3 Anexo C. Memoria de cálculo para Soplador

Cálculo de presión requerido	
Masa (kg)	0,8
Gravedad (m/s)	9,81
Fuerza (N)	7,85
Angulo de la fuerza aplicada Angulo(\emptyset)	45
Fuerza que se opone al movimiento (N)	5,55
Área del cilindro (m ²)	0,0037
Presión Pa (N/m ²)	1495,32
Presión psi (lbf/in ²)	0,217

7.4 Anexo D. Código de programación del Arduino

```
#define VELOCIDAD 1500

//Driver para motor dosificador (M1)/ Motor de paso (M2)
int M1pasos = 13;    int M2pasos =12;
int M1direccion = 9;    int M2direccion = 5;
int M1reset = 10;    int M2reset = 3;

//-----

//Calculo de vueltas para motor dosificar
int M1UnaVuelta = 200;
int M1CantVuelta = 1;
int M1Cm = M1UnaVuelta*M1CantVuelta;
int M1totalpasos = M1Cm;
int Carreratotal = M1Cm;
int Carreraintermedia = M1Cm;

//-----

//Configurar el switch para motor dosificador
int M1recibe = 2;    int M2recibe = 4;
int M1detener =LOW; int M2detener =LOW;

//-----

//Cantidad de dosificadores
float cantidaddosificacion = 3.4;
int dosificacionentera = cantidaddosificacion; //=3
float cantidaddosificacion11 = cantidaddosificacion-dosificacionentera; //=0,4
int dosificacionentera12=cantidaddosificacion11*10;

//-----

//Cantidad al dia
int dosificaciondia = 6;
```

```

int contdia = 0;
int canthora = 10800;

void setup() {
//Motor dosificador(M1)
pinMode(M1pasos, OUTPUT);
pinMode(M1direccion, OUTPUT);
pinMode(M1reset, OUTPUT);
pinMode(M1recibe, INPUT);
//Motor de paso(M2)
pinMode(M2pasos, OUTPUT);
pinMode(M2direccion, OUTPUT);
pinMode(M2reset, OUTPUT);
pinMode(M2recibe, INPUT);
Serial.begin(9600);
}

void loop(){
//Dosificaciones por durante el dia
while (dosificaciondia=contdia){
//Motor dosificador(M1)
digitalWrite(M1reset, LOW);
digitalWrite(M1reset, HIGH);
digitalWrite(M1direccion, HIGH);
//Motor de paso(M2)
digitalWrite(M2reset, LOW);
digitalWrite(M2reset, HIGH);
digitalWrite(M2direccion, HIGH);

```

```

//Al iniciar el sistema vuelve en el punto de inicio-----
while (M1detener!=HIGH){
digitalWrite(M1pasos, HIGH);
digitalWrite(M1pasos, LOW);
delayMicroseconds(VELOCIDAD);
M1detener = digitalRead(M1recibe);
}
while (M2detener!=HIGH){
digitalWrite(M2pasos, HIGH);
digitalWrite(M2pasos, LOW);
delayMicroseconds(VELOCIDAD);
M2detener = digitalRead(M2recibe);
}
//Dosificacion enteras -----
for(int i=0; i<=dosificacionentera; i++){
digitalWrite(M2direccion, LOW);
for(int i=0; i<=Carreratotal; i++){
digitalWrite(M2pasos, HIGH);
digitalWrite(M2pasos, LOW);
delayMicroseconds(VELOCIDAD);
}
digitalWrite(M2direccion, HIGH);
while (M2detener!=HIGH){
digitalWrite(M2pasos, HIGH);
digitalWrite(M2pasos, LOW);
delayMicroseconds(VELOCIDAD);
M2detener = digitalRead(M2recibe);
}
}

```

```

}
while (M1detener!=HIGH){
digitalWrite(M1pasos, HIGH);
digitalWrite(M1pasos, LOW);
delayMicroseconds(VELOCIDAD);
M1detener = digitalRead(M1recibe);
}

```

//Dosificacion intermedias -----

```

if(cantidaddosificacion11!=0){
  Serial.println("ENTRO INTERMEDIA");
  digitalWrite(M1direccion, LOW);
  for(int i=0; i<=Carreraintermedia; i++){
    digitalWrite(M1pasos, HIGH);
    digitalWrite(M1pasos, LOW);
    delayMicroseconds(VELOCIDAD);
  }
  digitalWrite(M2direccion, HIGH);
  for(int i=0; i<=Carreratotal; i++){
    digitalWrite(M2pasos, HIGH);
    digitalWrite(M2pasos, LOW);
    delayMicroseconds(VELOCIDAD);
  }
  digitalWrite(M2direccion, HIGH);
  while (M2detener!=HIGH){
    digitalWrite(M2pasos, HIGH);
    digitalWrite(M2pasos, LOW);
    delayMicroseconds(VELOCIDAD);
    M2detener = digitalRead(M2recibe);
  }
}

```

```
}  
}  
contdia = contdia+1;  
}  
delay(canthora);  
}
```