

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

“Diseño y construcción del tren de aterrizaje y un sistema intercambiable
de aspersión para un dron de uso agrícola”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Carlos Javier Aguayo Vera

José Luíz Pepper Aristega

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a todos los estudiantes de la FIMPCP que se encuentran en proceso de formación para que tengan plena confianza de que sus proyectos se pueden hacer realidad con esfuerzo y constancia.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, a nuestras esposas, nuestras familias y a todas aquellas personas que nos acompañaron en este camino de formación profesional.

Agradecemos también a nuestros profesores por los conocimientos impartidos que nos ayudaron a pensar con criterio ingenieril y que nos formaron con altos valores.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Carlos Javier Aguayo Vera y José Luis Pepper damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

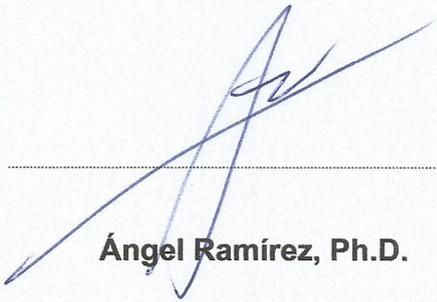


Carlos Javier Aguayo Vera



José Luis Pepper Aristega

EVALUADORES



Ángel Ramírez, Ph.D.

PROFESOR DE LA MATERIA



Jonathan León, MSc.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Los vehículos aéreos no tripulados suponen una alternativa para la fumigación en la industria agropecuaria. Una empresa dedicada al desarrollo software ve en esta alternativa una solución viable para un grupo de pequeños agricultores y nos solicita diseñar un tren de aterrizaje que permita intercambiar dos reservorios para realizar las funciones de fumigación con fungicidas y fertilización mediante abono peletizado en un solo equipo, además de ser ligero, de fácil ensamblaje, de bajo peso y de fácil mantenimiento y transportación.

Se realizó diseño de forma y detallado de la estructura, así como el análisis estático y de fatiga de material, usando como herramienta un software de modelado y análisis de elementos finitos. Se escogió como material para el tren de aterrizaje el Aluminio 6061 porque cumple los parámetros del diseño, adicionalmente tiene bajo peso, bajo costo y facilidad para maquinar.

Se obtuvo como resultado del análisis de fatiga un factor de seguridad de 1.6 para la sección tubular y 2.3 para el perfil L. El costo de fabricación fue de \$ 582.36, y se usó materiales locales para su construcción. El tren de aterrizaje y sistema de aspersión pesó 7.4 kg.

La estructura diseñada y construida cumple con todos los requisitos del cliente con lo que se puede concluir que es viable el uso de materiales locales para la fabricación de trenes de aterrizajes modulares, de fácil mantenimiento, livianos y de fácil transportación para un dron de uso agrícola.

Palabras clave: Factor de seguridad, Abono peletizado, Análisis de elementos finitos, Tren de aterrizaje.

ABSTRACT

Unmanned aerial vehicles are an alternative for fumigation in the agricultural industry. A company dedicated to software development sees in this alternative a viable solution for a group of small farmers and asks us to design a landing gear that allows two reservoirs to be exchanged to perform the functions of fumigation with fungicides and fertilization by pelletizing fertilizer in a single equipment, it has to be lightweight, easy assembly, low weight and easy maintenance and transportation.

A form design and detailed design of the structure was carried out, as well as static and material fatigue analysis, using as a tool a modeling software and finite element analysis. Aluminum 6061 was chosen as the material for the landing gear because it meets the design parameters, additionally it has low weight, low cost and ease of machining.

A safety factor of 1.6 for the tubular section and 2.3 for the L profile was obtained as a result of the fatigue analysis. The manufacturing cost was \$ 582.36, and local materials were used for its construction. The landing gear and sprinkler system weighed 7.4 kg.

The structure designed and built meets all the requirements of the customer, so it can be concluded that the use of local materials is feasible for the manufacture of modular, easy-maintenance, lightweight and easily transported landing gear for a drone for agricultural use.

Keywords: *Safety factor, Pelletized fertilizer, Finite element analysis, Landing gear.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE PLANOS.....	IX
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Justificación del proyecto.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. Marco teórico.....	3
1.5. Análisis y validación de datos.....	4
1.6. Identificación de factores de afectan el diseño.....	4
CAPÍTULO 2.....	6
2. Metodología.....	6
2.1. Alternativas de solución.....	8
2.1.1. Tren de aterrizaje.....	8
2.1.2. Sistema de aspersión de fungicida.....	10
2.1.3. Sistema de aspersión de abono.....	11
2.2. Selección de mejor Alternativa.....	11
2.3. Diseño Conceptual.....	13
CAPÍTULO 3.....	14
3. Resultados y análisis.....	14
3.1. Diseño de forma.....	14
3.2. Determinación de cargas aplicadas a la estructura.....	15
3.3. Análisis de esfuerzos con FEA.....	20
3.4. Análisis de fatiga de la pata.....	22

3.5.	Diseño de perfil estructura.....	23
3.6.	Análisis de esfuerzos de perfil en FEA.....	24
3.7.	Análisis de fatiga de perfil.....	26
3.8.	Diseño detallado.....	27
3.9.	Peso de la estructura en aluminio.....	27
3.10.	Diseño de sistema de sujeción.....	28
3.11.	Selección de bomba y aspersores.....	29
3.12.	Selección de sistema de fertilización.....	31
3.13.	Costos de construcción.....	33
CAPÍTULO 4.....		34
4.	Conclusiones y Recomendaciones	34
4.1.	Conclusiones.....	34
4.2.	Recomendaciones.....	35

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS

VANT:	Vehículo Aero No Tripulado
DAP:	Fosfato Diamónico
FEA:	Finite Elementen Analysis (Análisis de Elementos Finitos)
DCL:	Diagrama de Cuerpo Libre

SIMBOLOGÍA

mm:	milímetros
m/s:	metros por segundo
km/h:	kilómetros por hora
l/min:	Litros por minuto
l/ha:	Litros por Hectárea
N:	Fuerza Normal
V:	Fuerza Cortante
M:	Momento Flector
T:	Esfuerzo Cortante
σ_i :	Esfuerzo Flector Interno
σ_o :	Esfuerzo Flector Interno
S_y :	Resistencia a la fluencia
S_{ut} :	Resistencia última
S_e' :	Límite a la fatiga Modificado
S_e :	Límite a la fatiga
S_f :	Resistencia a la fatiga
σ_a :	Esfuerzo Alternante
σ_m :	Esfuerzo Medio
σ_{max} :	Esfuerzo Máximo
σ_{min} :	Esfuerzo Mínimo
MPa:	Mega Pascales
pulg:	pulgadas
bar:	unidad de presión
Z:	Módulo de la sección
d_{min} :	Diámetro mínimo
d_{perno} :	Diámetro de perno
d_t :	Distancia al borde
r_{perno} :	Radio del perno
L_p :	Largo de perno
kg/m:	Kilogramo por metro
m:	metro

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Metodología.....	7
Figura 2.2: Modelo inicial de solución seleccionada.....	13
Figura 3.01: Dimensiones de pata curva en mm.....	15
Figura 3.02: Diagrama de cuerpo libre para una pata.....	16
Figura 3.03: Expresiones analíticas para R, A, Am.....	19
Figura 3.04: Resultado de análisis de tensión pata.....	21
Figura 3.05: Resultado de análisis de desplazamiento de pata.....	21
Figura 3.06: Resultado de análisis de tensión de pata.....	23
Figura 3.07: Dimensiones y ubicación de carga en perfil.....	24
Figura 3.08: Resultado de análisis de tensión en perfil L.....	25
Figura 3.09: Resultado de análisis de desplazamiento en perfil L.....	25
Figura 3.10: Modelo 3D de estructura de tren de aterrizaje.....	27
Figura 3.11: Rociadores Licheng.....	30
Figura 3.12: Esquema de referencia tanque-bomba-aspersor.....	30
Figura 3.13: Bomba PLD 1206.....	31
Figura 3.14: Esquema de referencia tanque, dosificador y aspersor.....	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Valores de ponderación.....	11
Tabla 2.2: Matriz de Selección tren de aterrizaje.....	12
Tabla 2.3: Matriz de Selección sistema de aspersión.....	12
Tabla 3.1: Valores de Fuerzas en el arco para diferentes medidas de α	17
Tabla 3.2: Valores de Fuerzas en sección recta para diferentes valores dex.....	18
Tabla 3.3: Valores de A, Am y RN para pata curva.....	20
Tabla 3.4: Valores de e, Co, Ci, ro, ri para pata curva.....	27
Tabla 3.5: Propiedades mecánicas del aluminio 6061.....	20
Tabla 3.6: Longitudes y peso de los diferentes elementos de la estructura.....	27
Tabla 3.7: Características de motores para sólidos.....	32
Tabla 3.8: Costos de fabricación.....	33

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Plano ISO estructura de aluminio.....	37
PLANO 2	Plano ISO perfil estructural superior.....	38
PLANO 3	Plano ISO perfil estructural inferior.....	39
PLANO 4	Plano ISO reservorio de líquidos.....	40
PLANO 5	Plano ISO reservorio de líquidos.....	41
PLANO 6	Plano ISO ubicación de aspersores.....	42

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El Dron o Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) se define como un tipo de aeronave cuya principal característica es la operación de forma remota. Su origen y desarrollo inicial en el campo militar derivó en drones más pequeños y versátiles. En la sociedad de consumo es cada vez más común el uso de este equipo para diversas actividades como: monitoreo y control industrial, fotografía, aeromodelado y cartografía, extinción de incendios, operaciones de rescate, operaciones especiales, etc.

Dentro de los diferentes tipos de drones comerciales se incluyen los Hexacópteros que son una derivación de dron que tiene seis rotores, los rotores se pueden distribuir en varios tipos de arreglo, el arreglo circular es la configuración más comúnmente usada en la fabricación de este equipo. En la configuración coaxial, como también se la denomina, se tienen tres pares de rotores, cada uno montado sobre el mismo eje, girando en sentido contrario.

Uno de los tantos dispositivos fundamentales de los drones es el tren de aterrizaje, este elemento le permite al dron despegar y aterrizar, sin afectar los mecanismos eléctricos y electrónicos. El tren de aterrizaje ayuda a absorber las fuerzas de choque que pudiera sufrir el dron durante el despegue, vuelo y aterrizaje.

Los trenes de aterrizaje se dividen por: la cantidad y disposición de sus ruedas, diseño de sus articulaciones y la suspensión; y su disposición geométrica. Entre las características del diseño de su articulación se encuentra el tipo de tren de aterrizaje fijo, este tipo de tren se mantiene estático en el dron, principalmente se aplica en dispositivos con velocidades relativamente bajas; este tren de aterrizaje, en comparación con los demás tipos, se caracteriza por ser de fabricación económica y su mantenibilidad sencilla.

1.1 Descripción del problema

Una empresa dedicada al diseño de software en pro del desarrollo y aplicación de la tecnología en los distintos campos de la industria en el Ecuador, está realizando proyectos en conjunto con el sector agrícola a través del uso de drones. El proyecto propuesto busca rediseñar el sistema de aterrizaje de un dron, con el fin de poder soportar la carga de un recipiente con una capacidad máxima 20 litros. Simultáneamente se debe diseñar un sistema intercambiable de fumigación y fertilización para cultivos de arroz.

El proyecto consiste en el diseño de la estructura del dron, con énfasis en el análisis del tren de aterrizaje del mismo. Realizar estudios estáticos para verificar el correcto dimensionamiento y diseño en general de este sistema. Adicionalmente el proyecto incluye: dimensionar, diseñar y construir un sistema intercambiable de aspersion de sólidos (fertilizante) y líquidos (pesticidas), usando un reservorio de capacidad máxima de 20 litros.

1.2 Justificación del proyecto

Los agricultores deben realizar periódicamente la aplicación de fertilizantes y fungicidas en sus cultivos, teniendo la necesidad de contratar cuadrillas de personal y/o servicios de aerofumigación para realizar esta tarea. Sin embargo, las mencionadas cuadrillas requieren muchos días para la ejecución manual y el alquiler de aerofumigación tiene costos elevados disminuyendo la rentabilidad de los sembríos. Por este motivo el uso de drones en el proceso de fumigación y fertilización resulta una alternativa viable.

El uso de un dron en la agricultura ayudará reducir los costos de producción, en este proyecto se plantea elaborar el diseño y construcción del tren de aterrizaje y sistema de aspersion para un dron agrícola.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y construir un tren de aterrizaje y un sistema de aspersión intercambiable para un dron de uso agrícola con capacidad de veinte litros.

1.3.2 Objetivos Específicos

Seleccionar los materiales más resistentes, ligeros y de bajo costo para la estructura del dron agrícola.

Diseñar un sistema intercambiable de fertilización de sólidos y fumigación de líquidos para dron agrícola.

1.4 Marco teórico

La estructura del tren de aterrizaje del dron proporciona al equipo la capacidad de sostenerse en una superficie plana sin que el cuerpo y los rotores sean afectados por los esfuerzos que se presentan durante su despegue, vuelo y aterrizaje. Durante el vuelo en los drones se presentan tres tipos de movimientos: alabeo (Roll), cabeceo (Pitch) y rotación (Yaw).

Alabeo (Roll)

Es el movimiento que permite al dron realizar acciones hacia la izquierda o derecha.

Cabeceo (Pitch)

Es el movimiento que permite al dron realizar movimientos hacia adelante y atrás.

Rotación (Yaw)

Es el movimiento de guiñada que permite al dron girar sobre su eje vertical.

1.5 Análisis y Validación de datos

El proyecto consiste en el diseño de la estructura del tren de aterrizaje del Dron, con énfasis en su cálculo y análisis estructural, incluyendo su sistema de aspersión. Se realizarán estudios estáticos para verificar el correcto dimensionamiento de este sistema.

- La altitud máxima de vuelo no debe superar los 2 metros, medidos a partir del suelo.
- La capacidad del reservorio a usar debe ser de entre 15 y 20 litros.
- El reservorio debe ser intercambiable para fertilizante líquido y abono sólido.
- La máxima carga que puede levantar el dron es de 8 Kg.
- La capacidad de fumigación/abonado debe ser 2 hectáreas/vuelo.
- El área de dispersión del fertilizante no menor a 6 metros.
- La estructura diseñada debe ser fácilmente transportable.
- El tiempo de vuelo deberá para cada dosificación será de 15 minutos.
- EL tipo de abono a utilizar es DAP y/o Urea

1.6 Identificación de factores de afectan el diseño

Es necesario efectuar un apropiado diseño mecánico del sistema y sus componentes, prestando atención a las propiedades y a los factores que van a producir un impacto en el producto final. Dentro de ello, existen algunos factores cuyo cumplimiento es vital para la resolución de la necesidad, mientras que otros proporcionan un valor agregado al producto, aunque no es indispensable para el correcto desempeño del sistema.

También, es necesario realizar una jerarquización de los factores que afectan al diseño, para conocer cuáles son aquellos en los que debe centrarse, de acuerdo con su importancia para el cumplimiento y satisfacción de las necesidades. En este proyecto se plantean los principales requerimientos para el desarrollo del tren de aterrizaje, considerando aspectos mecánicos:

- El mecanismo de aterrizaje debe ser ligero, de tal forma que no afecte la estabilidad del dron.
- Las dimensiones deben ser reducidas para fácil transportación.
- La construcción del tren de aterrizaje debe ser robusta.
- Los materiales de construcción deben conseguirse localmente.
- Los componentes del sistema de aspersión deben estar protegidos para caídas desde alturas pequeñas.
- El sistema deberá ajustarse a un presupuesto de bajo costo comparándolo con los sistemas ya existentes en el mercado, de iguales características y funciones de vuelo.
- El equipo debe ser de fácil maniobrabilidad.
- Fácil manipulación, mantenimiento y remplazo de los componentes.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Para determinar la solución a nuestro problema, en conjunto con la empresa de diseño de software se mantuvieron varias reuniones para definir las restricciones iniciales del proyecto, la metodología a seguir.

Se inició con el desarrollo de un cronograma de actividades, también se definió 3 alternativas de solución teniendo como referencia inicial los diferentes tipos de trenes de aterrizaje existentes para las aeronaves, así como los movimientos y esfuerzos que se producen en el dron.

Los análisis posteriores permitieron el desarrollo de nuestro diseño de concepto, de donde se realizó la descripción y selección de la mejor alternativa.

La figura 2.1 muestra la metodología a seguir para la resolución del problema

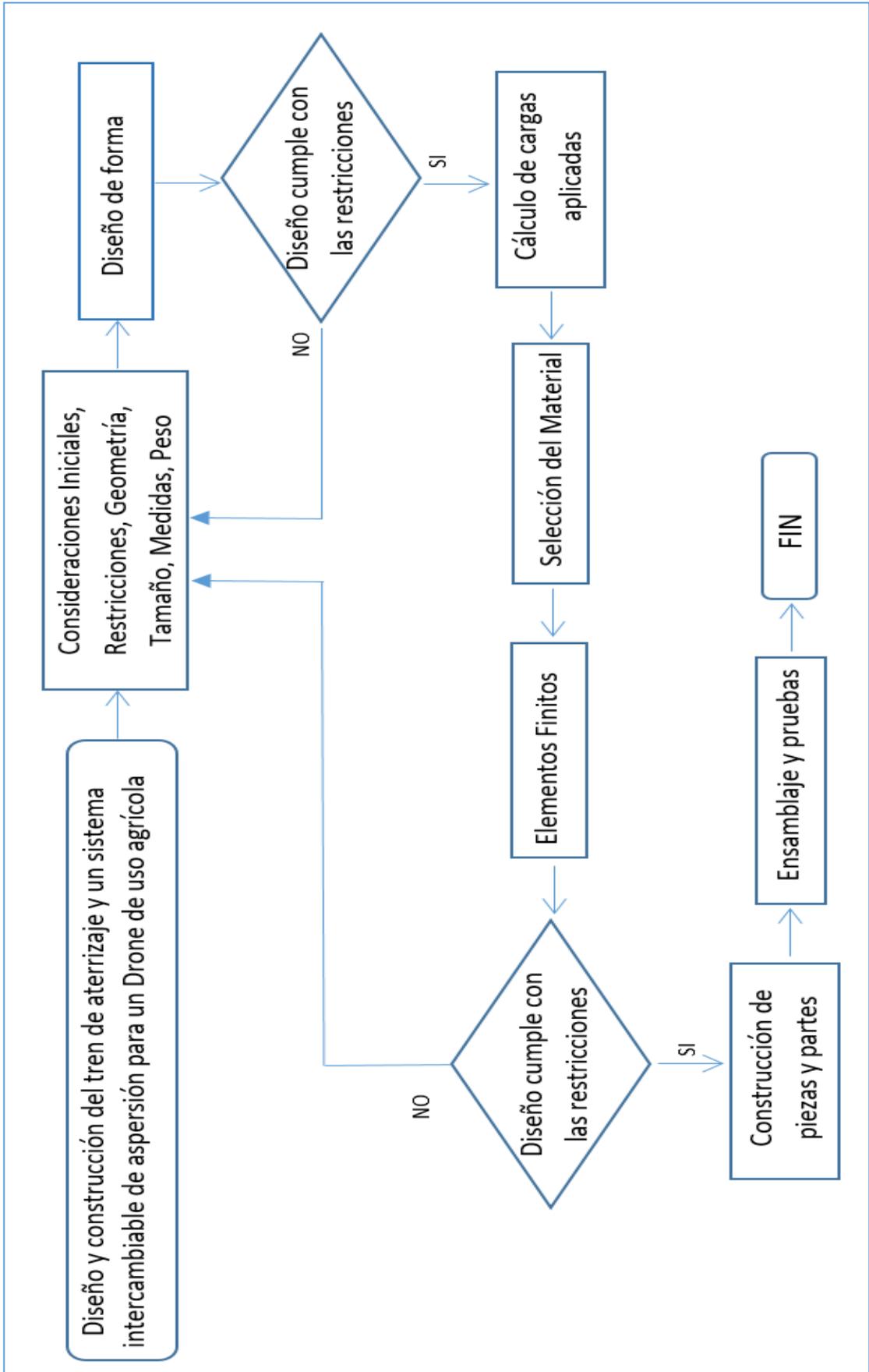


Figura 2.1: Metodología. [Autores]

Se presentaron las diferentes alternativas de solución para nuestro tren de aterrizaje, en estas alternativas se consideraron la geometría, dimensiones y materiales a usar en la construcción.

2.1 Alternativas de solución

Las alternativas de solución fueron definidas para el tren de aterrizaje, el sistema dosificador para la fumigación y el sistema dosificador de abono. Para cada sistema se determinan tres opciones, las cuales se evaluaron bajo criterios de selección tales como peso, estabilidad, costo, cada uno con ponderaciones que van desde el 1 hasta el 3 siendo 1 el puntaje más bajo, 2 el puntaje intermedio y 3 el puntaje más alto.

2.1.1 Tren de aterrizaje

Como opción para el tren de aterrizaje se preseleccionó usar el tipo de tren de aterrizaje fijo debido a que su estructura y construcción es sencilla en comparación con los otros tipos de tren de aterrizaje.

Se presentaron tres alternativas de solución para el tren de aterrizaje fijo las cuales se describen a continuación:

Opción 1: Tren de aterrizaje con 4 patas curvas

- I. El dron se sostendrá con 4 patas curvas de sección tubular circular independientes entre sí que se sujetarán a la placa base de fibra de carbono.
- II. Cada pata estará sujeta a la placa base del Dron mediante pernos pasantes con tuerca, anillo plano y anillo de presión.
- III. Se construirá una estructura tipo jaula con ángulos soldados o empernados entre sí para contener el reservorio del líquido y del abono.
- IV. La estructura se fijará a la placa base de fibra de carbono mediante pernos pasantes, tuercas, anillo plano y anillo de presión.

- V. Se instalará una placa soldada o empernada debajo de la estructura tipo jaula para instalar motor dosificador de abono peletizado.

Opción 2: Tren de aterrizaje con 2 patas curvas y estabilizador

- I. El Dron se sostendrá con 2 patas curvas de sección tubular circular independientes entre sí que se acoplarán a la placa base de fibra de carbono.
- II. Cada pata estará sujeta a la placa base del Dron mediante pernos pasantes con tuerca, anillo plano y anillo de presión.
- III. Cada pata sujetará a 2 estabilizadores longitud L y de ser necesario estarán unidos entre sí mediante uno o varios tubos transversales para evitar apertura de patas.
- IV. Los estabilizadores serán abatibles o desmontables para transportación.
- V. Se instalará 2 ángulos en las patas curvas soldados o empernados para sostener el contenedor del líquido y contenedor de abono. De ser necesario se instalará una placa ranurada y soldada o empernada a los ángulos para sostener el contenedor.
- VI. Se instalará 2 ángulos en la placa base, sujetas con pernos pasantes, tuercas, anillos planos y anillos de presión como guía para el contenedor del líquido y de abono.
- VII. Se instalará 2 ángulos en las patas curvas soldados o empernados y una placa soldada o empernada a estos ángulos para instalar motor dosificador de abono.

Opción 3: Tren de aterrizaje con 6 patas rectas

- I. La base con 6 patas de sección tubular circular soldadas a ella se fijará a la placa base del Dron a través de pernos, tuerca, anillo plano y anillo de presión.

- II. El contenedor de líquido y de abono se sostendrá en una placa base con ranura y de medidas similares al contenedor.
- III. La placa estará unida a cada una de las patas mediante tubo o eje soldados.
- IV. La placa llevará soldado o empernados ángulos o platinas para limitar el movimiento del contenedor.
- V. Se instalará 2 ángulos en la placa base y se solo sujetará con pernos pasante, tuercas y anillos planos y anillos de presión como guía para el contenedor del líquido y contenedor de abono.
- VI. El motor dosificador de abono se instalará en una placa adicional debajo de la placa con agujero y estará sujeta a esta mediante soldadura y tubo o varilla del mismo material.

2.1.2 Sistema de aspersión de fungicida

Para el sistema de aspersión del control de plagas se determinaron tres alternativas de solución, las cuales dependen de la configuración y ubicación de los aspersores en conjunto con el tren de aterrizaje y dron de seis motores. La eficiencia en la aspersión del líquido fue considerada como alternativa preponderante para estas soluciones.

Opción 1: Aspersores instalados debajo de los motores

- I. Los aspersores se instalarán debajo de cada uno de los motores de las hélices.
- II. La bomba de succión se adaptará en el contenedor del líquido.
- III. Se conectará mediante mangueras la bomba y los aspersores.

Opción 2: Aspersores instalados en placa base del dron

- I. Los aspersores se instalarán en un tubo que será acoplado a la placa base del dron.
- II. La bomba de succión se adaptará en el contenedor del líquido.
- III. Se conectará mediante mangueras la bomba y los aspersores.

Opción 3: Aspersores instalados debajo de estructura del dron

- I. Los aspersores se instalarán en un tubo acoplado al tren de aterrizaje o estructura del contenedor de líquido.
- II. La bomba de succión se adaptará en el contenedor del líquido.
- III. Se conectará mediante mangueras la bomba y los aspersores.

2.1.3 Sistema de aspersión de abono

- I. En todos los modelos anteriormente descritos el motor de aspersión de abono se instalará en la parte inferior de la estructura de soporte del contenedor de abono.
- II. El motor dosificador se adaptará al reservorio de abono.

2.2 Selección de mejor Alternativa

Después de recopilar toda la información respecto al uso de drones para agricultura y una vez analizado los factores externos que inciden en el diseño del tren de aterrizaje y sistema de dosificación de fungicida y abono se realiza mediante la tabla 2.1, las matrices de selección 2.2 y 2.3.

Tabla 2.1: Valores de ponderación. [Autores]

Ponderación	
3	Menor Costo
3	Mayor Facilidad
3	Menor Peso
3	Mayor Estabilidad
3	Mejor Maniobrabilidad
3	Mejor Intercambio
3	Mayor protección
3	Mejor compartición
3	Mayor facilidad

Tabla 2.2: Matriz de Selección tren de aterrizaje. [Autores]

Criterio de selección	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Costo de Fabricación	2	3	1
Facilidad de construcción	2	3	1
Facilidad de ensamblaje	3	3	1
Peso del tren de aterrizaje y estructura	3	2	1
Estabilidad	2	3	1
Maniobrabilidad	3	2	3
Intercambio de contenedor	3	3	3
Protección en las caídas	2	3	3
Compartimento Modular	2	3	2
Facilidad de mantenimiento	2	3	3
Facilidad de transporte	2	2	3
	26	30	22

Tabla 2.3: Matriz de Selección sistema de aspersión. [Autores]

Criterio de selección	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Facilidad de ensamblaje	3	2	1
Facilidad de construcción	3	2	2
Costo de fabricación	3	2	2
Facilidad de mantenimiento	3	2	3
Maniobrabilidad	3	1	1
Facilidad de transporte	3	1	1
	18	10	10

En la suma de puntajes para la elección de alternativa del tren de aterrizaje, la opción 2 obtiene el mayor puntaje: 30 de 33 puntos.

En la suma de puntajes para la elección de alternativa del sistema de aspersión, la opción 1 obtiene el mayor puntaje: 18 de 18 puntos.

Se selecciona como mejor solución la opción el tren de aterrizaje con 2 patas curvas con estabilizador y sistema de aspersores instalados debajo de los motores.

2.3 Diseño Conceptual

Geometría y Dimensiones

Las estructuras tubulares ofrecen grandes ventajas al momento de soportar cargas estáticas, soporta el pandeo por su alto radio de giro, tiene alta rigidez torsional y rigidez a la flexión, de gran coeficiente aerodinámico. Son perfiles de reducido peso y costo. (ITEA, 2015).

Se escoge tubo estructural redondo para las patas del tren de aterrizaje y se definen las siguientes dimensiones:

Ancho: 220 mm (debido al reservorio)

Alto: 632 mm (debido al reservorio y restricción de altura del dron)

Largo: 1190 mm (debido al reservorio y suavidad de sección curva)

En la parte superior se coloca una placa que permite la conexión mediante pernos al dron de seis rotores (opcional).

Para soporte del reservorio y motor dosificador se precisarán perfiles L y en la parte inferior del soporte del reservorio se instalan las bombas y motores sobre una placa.

El modelado de la solución se aprecia en la figura 2.2

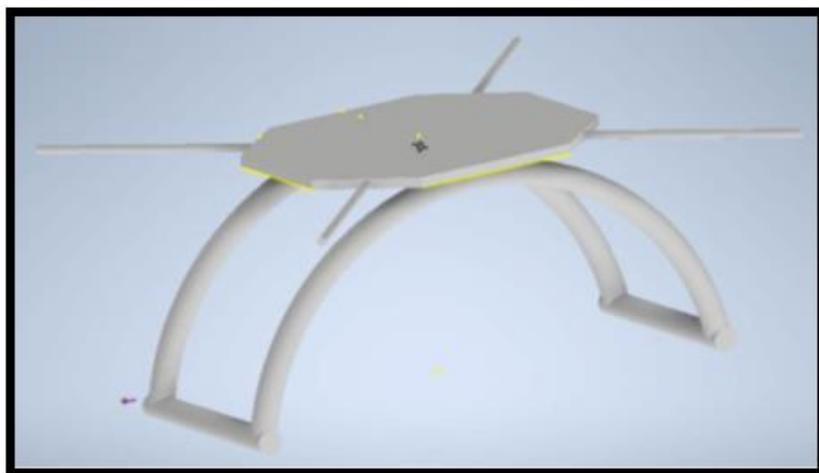


Figura 2.2: Modelo inicial de solución seleccionada. [Autores]

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Diseño de Forma

Consideraciones y restricciones

El diseño de forma se realizó con las siguientes consideraciones y restricciones:

- a. Reservorio plástico de 20 litros con medidas 420x270x220 mm
- b. Altura mínima de 520 mm para que los brazos del VANT no rocen con el suelo.
- c. Velocidad de vuelo del VANT de 4 a 6 m/s.
- d. Caudal mínimo para aspersión de fungicida de 1 l/min.
- e. Altura de motor aspersor y motor dosificador de abono en conjunto no superen 360 mm.
- f. Dosificación de fungicida de 7.5 l/ha
- g. Sistema de sujeción mediante pernos

Dimensiones

La figura 3.1 muestra el boceto de medidas de las patas curvas

- a. Sección curva de radio 700 mm
- b. Sección recta de longitud 390 mm
- c. Altura 632 mm

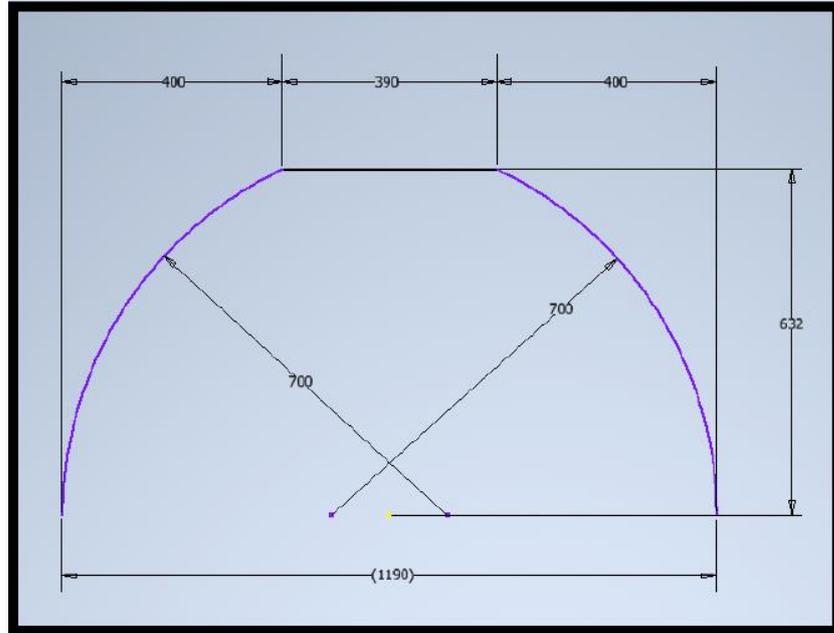


Figura 3.1: Dimensiones de pata curva en mm. [Autores]

3.2 Determinación de cargas aplicadas a la estructura

Se determinó que las cargas que soportará la estructura son:

- a. Carga debido al peso del VANT es $F_v = 245.25$ Newton
- b. Carga debido al peso del líquido es $F_L = 147.15$ Newton

Para el análisis de esfuerzos se consideró la estructura de una sola pata con las cargas puntuales F_v dividido entre 2 y F_L dividido entre 4 puntos de sujeción.

El DCL de la pata curva se puede apreciar en la figura 3.2.

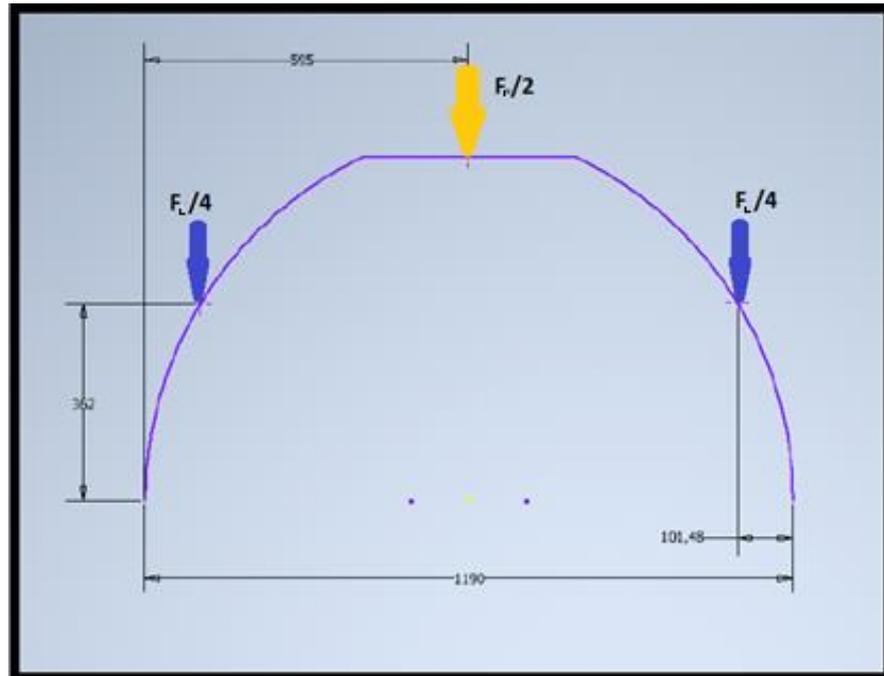


Figura 3.2: Diagrama de cuerpo libre para una pata. [Autores]

La estructura de la pata se consideró simétrica y se analizó la mitad de la misma.

Para el análisis de esfuerzos internos, utilizando las ecuaciones del capítulo 3 (Richard G. Budynas & J.Keith Nisbett, 2008), se realizó un corte en 3 secciones: sección de arco para $0^\circ \leq \alpha \leq 31.2^\circ$, sección de arco para $31.2^\circ \leq \alpha \leq 64.62^\circ$ y sección recta para $L = 400 \text{ mm}$ a $L = 595 \text{ mm}$.

Para $0^\circ \leq \alpha \leq 31.2^\circ$ se obtuvo las siguientes ecuaciones en función de α :

$$M(\alpha) = 98,1 \cdot (0,7 - 0,7 \cdot \cos \alpha) \quad (3.1)$$

$$V(\alpha) = 98,1 (\sin \alpha) \quad (3.2)$$

$$N(\alpha) = - 98,1 (\cos \alpha) \quad (3.3)$$

Para $31.2^\circ \leq \alpha \leq 64.62^\circ$ se obtuvo 3 ecuaciones en función de α :

$$M(\alpha) = 46.65 - 42.91 \cdot \cos \alpha \quad (3.4)$$

$$V(\alpha) = 61.313 \cdot \sin \alpha \quad (3.5)$$

$$N(\alpha) = -98.1 \cdot \cos \alpha \quad (3.6)$$

Con las ecuaciones (3.1) a (3.6) se obtiene la tabla 3.1 para diferentes valores de α , en [Newton.metro] para M y en [Newton] para V y N.

**Tabla 3.1: Valores de Fuerzas en el arco para diferentes medidas de α .
[Autores]**

α	M	V	N
0,0	0,00	0,00	-98,10
5,0	0,26	8,55	-97,73
10,0	1,04	17,03	-96,61
15,0	2,34	25,39	-94,76
20,0	4,14	33,55	-92,18
25,0	6,43	41,46	-88,91
28,0	8,04	46,06	-86,62
31,0	9,81	50,53	-84,09
31,2	9,95	31,76	-52,44
35,0	11,50	35,17	-50,22
40,0	13,78	39,41	-46,97
45,0	16,31	43,35	-43,35
50,0	19,07	46,97	-39,41
55,0	22,04	50,22	-35,17
60,0	25,20	53,10	-30,66
64,6	28,26	55,39	-26,28

Para la sección recta medido desde $L = 400$ mm hasta $L = 595$ mm y utilizando los valores de las fuerzas obtenidos en $\alpha = 64.62^\circ$ se obtiene las siguientes ecuaciones en función de x:

$$M(x) = 28.26 - 38.77 \cdot x - 157.2 \cdot x^2 \quad (3.7)$$

$$V(x) = 38.77 - 314.4 \cdot x \quad (3.8)$$

$$N(x) = 47.48 \quad (3.9)$$

Con las ecuaciones (3.7) a (3.9) se obtuvo la tabla 3.2 para diferentes valores de x, en [Newton metro] para M y en [Newton] para V y N.

Tabla 3.2: Valores de Fuerzas en sección recta para diferentes valores de x.
[Autores]

X	M	V	N
0,000	28,26	38,77	47,48
0,005	28,06	37,20	47,48
0,025	27,19	30,91	47,48
0,050	25,93	23,05	47,48
0,075	24,47	15,19	47,48
0,100	22,81	7,33	47,48
0,125	20,96	-0,53	47,48
0,150	18,91	-8,39	47,48
0,175	16,66	-16,25	47,48
0,195	14,72	-22,54	47,48

Se observó que el momento flector y el cortante máximo se encuentran en la sección curva.

De las medidas comerciales se selecciona un tubo estructural de sección circular de 1" x 2mm. (ver apéndice A8).

Para el cálculo de esfuerzos en vigas curvas se usó las fórmulas del capítulo 3 (Richard G. Budynas & J.Keith Nisbett, 2008):

$$\sigma_o = \frac{-Mco}{Aero} \quad (3.10)$$

$$\sigma_o = \frac{Mci}{Aeri} \quad (3.11)$$

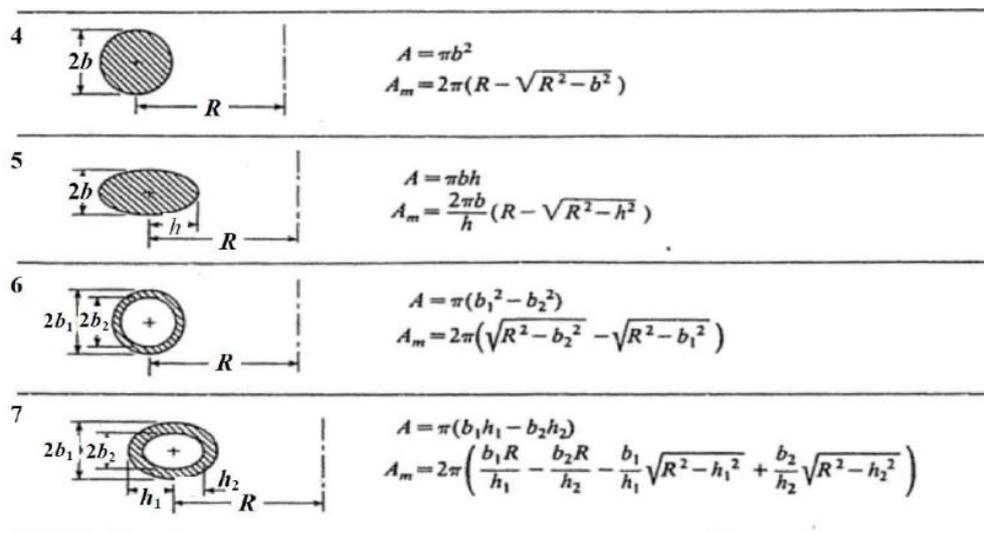


Figura 3.3: Expresiones analíticas para R, A, Am [Compendio de cálculo estructural II – FCEFyN – UNC cap. 9]

La tabla 3.3 muestra los valores calculados de A, Am y Rn usando la opción 6 de la figura 3.3 con $b_1=12.7\text{mm}$, $b_2=10.7\text{ mm}$ y las fórmulas para viga curva cargada a flexión (Julio Massa, 2017).

Tabla 3.3: Valores de A, Am y RN para pata curva.

[Autores]

A	1,47x10 ⁻⁴ m ²
Am	2,10x10 ⁻⁴ m ²
Rn	0,6996 m

La tabla 3.4 muestra los valores de Co, Ci, e, ro y ri calculados con los datos de la tabla 3.3 y las fórmulas del capítulo 3 (Richard G. Budynas & J.Keith Nisbett, 2008).

Tabla 3.4: Valores de e, Co, Ci, ro, ri para pata curva.

[Autores]

Co	0,0131 m
Ci	0,0123 m
e	0,0004 m
ri	0,6873 m
ro	0,7127 m

Se reemplazó los valores de la tabla 3.3 y 3.4 en las ecuaciones (3.10) y (3.11) y se calculó:

$$\sigma_o = -32.90 \text{ MPa}$$

$$\sigma_i = 32.04 \text{ MPa}$$

El material de construcción de la estructura deberá soportar más de 32.90 MPa.

Se escogió Aluminio 6061 cuyas propiedades mecánicas se indican en la tabla 3.5

Tabla 3.5: Propiedades mecánicas del Aluminio 6061. [Autores]

Propiedad	Magnitud	Unidad
Densidad	2,7	g/cm ³
Límite Elástico (Sy)	275	MPa
Límite Ruptura (Sut)	310	MPa
Módulo de Young	68,9	GPa

3.3 Análisis de esfuerzos en FEA

Se usó el programa Inventor Pro 2020* para realizar el modelado y análisis de esfuerzos de la estructura. El programa realiza el análisis de esfuerzos usando la teoría de energía de distorsión.

En el modelado se realizó la inclusión de agujeros pasantes para pernos de ¼" de diámetro.

La figura 3.4 muestra que el esfuerzo máximo de 85.5 MPa localizado en la pared del agujero de ¼".

$$\sigma_{\max} = 85.5 \text{ MPa}$$

*(Licencia del Programa: Education Stand-alone. Serie 900-34109225. Cliente: Carlos Aguayo Vera)

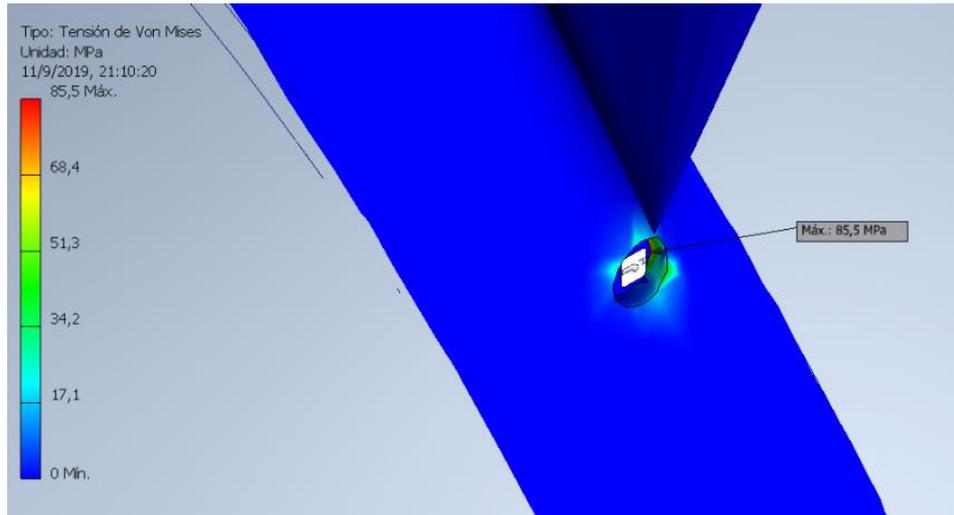


Figura 3.4: Resultado de análisis de tensión de pata. [Autores]

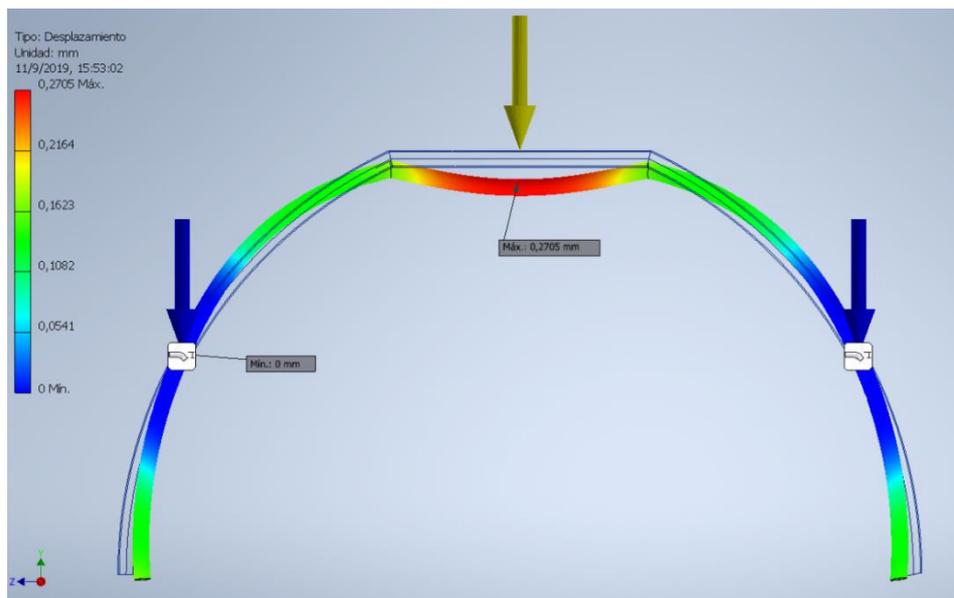


Figura 3.5: Resultado de análisis de desplazamiento de pata. [Autores]

En la figura 3.5 podemos observar que el máximo desplazamiento es $y=0.2705$ mm

Con los valores calculados por la simulación se confirmó que la selección del aluminio 6061 es adecuada, esto debido a que los esfuerzos máximos que soporta la estructura son menores a los esfuerzos que resiste el material.

3.4 Análisis de fatiga de la pata

La introducción de un agujero en la estructura genera un concentrador de esfuerzos. Se analizó este factor para determinar la resistencia a la fatiga de la estructura.

Factores que modifican S_e

Con las ecuaciones y tablas del capítulo 6 (Richard G. Budynas & J.Keith Nisbett, 2008), se calculó para Aluminio 6061: $S_e=155$ MPa, $k_a=0.9383$, $k_b=0.977$, $k_c=1$, $k_d=0.986$, $k_e=0.753$, $k_f=2.0976$ y $S_e'=264,13$ MPa

Esfuerzos Fluctuantes

La estructura tiene esfuerzos fluctuantes cuando la masa dentro de los reservorios disminuye. Esto genera un esfuerzo fluctuante en la estructura.

La figura 3.6 muestra el resultado de la simulación para la carga mínima:

$$\sigma_{\min} = 30.65 \text{ MPa}$$

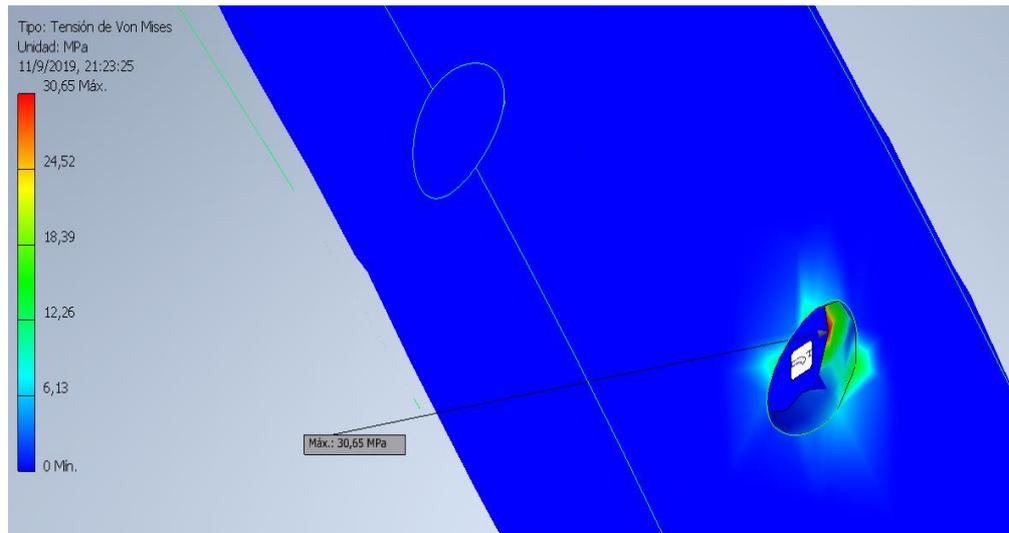


Figura 3.6: Resultado de análisis de tensión de pata. [Autores]

Con las ecuaciones y tablas del capítulo 6 (Richard G. Budynas & J.Keith Nisbett, 2008), se calculó σ_a y σ_m

$$\sigma_a = 27.42 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = 58.07 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

Con σ_a , σ_m y k_f , el factor de seguridad usando Goodman Modificado dio:

$$n = 1.6$$

3.5 Diseño de perfil estructural

Para el diseño del riel que soportar el peso de los reservorios se decidió usar perfil estructural L.

La figura 3.7 muestra las dimensiones y carga $F_L / 2$ aplicada.

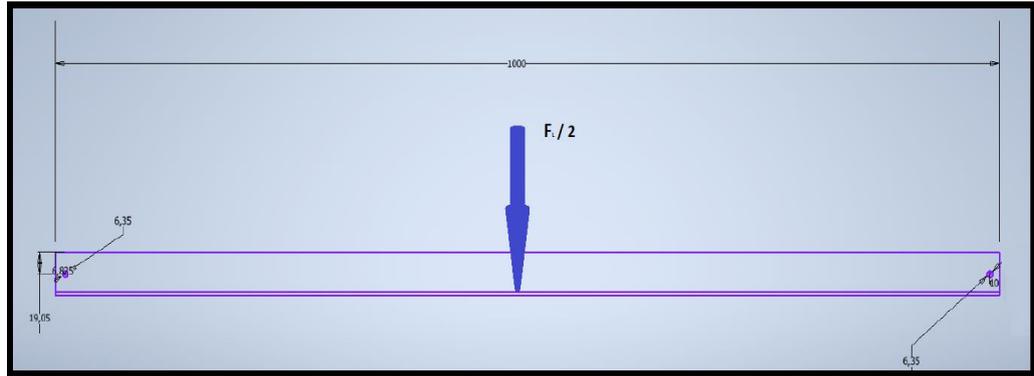


Figura 3.7: Dimensiones de perfil L y ubicación de carga.
[Autores]

Usando la tabla A.9 (Richard G. Budynas & J.Keith Nisbett, 2008) se calculó el momento flector máximo

$$M = 9.26 \text{ Newton metro}$$

Con S_y de aluminio 6061 se calculó el módulo de sección mínimo que resiste este momento flector

$$Z = 0.033 \text{ cm}^3$$

Mediante tabla A.6 (Richard G. Budynas & J.Keith Nisbett, 2008) se seleccionó un perfil tipo L con mayor Z al calculado.

Se escogió perfil estructural de medidas $1 \frac{1}{2}'' \times 1/8''$ con $Z = 0.068 \text{ cm}^3$

3.6 Análisis de esfuerzos de perfil estructural en FEA

La figura 3.8 muestra análisis del esfuerzo máximo que soporta el perfil L, concentrado en el agujero para perno $1/4''$.

$$\sigma_{\max} = 79.17 \text{ MPa}$$

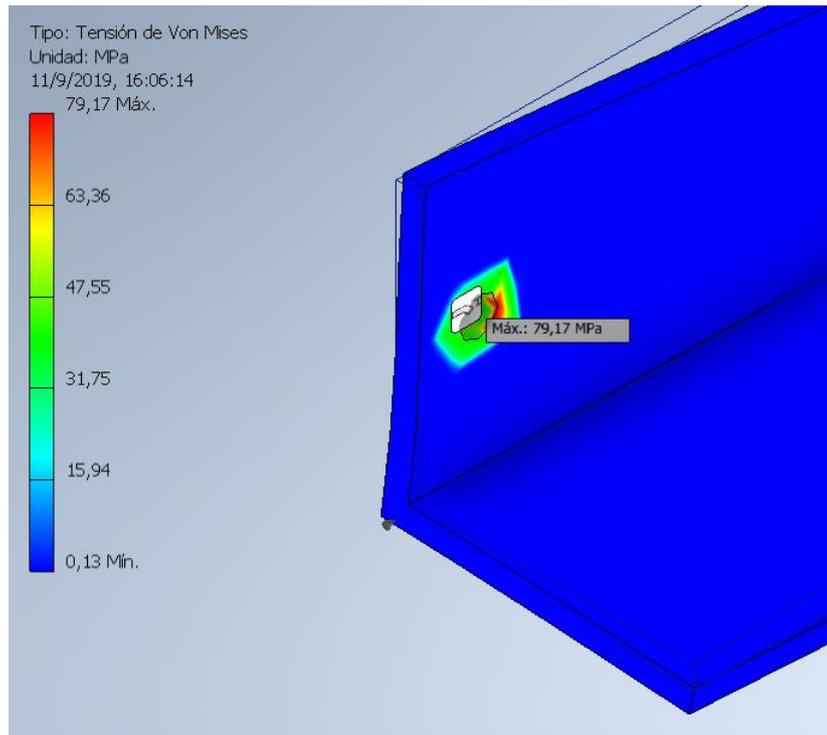


Figura 3.8: Resultado de análisis de tensión en perfil L.
 [Autores]

La figura 3.9 muestra el máximo desplazamiento del perfil L

$$y_{\max} = 0.699 \text{ mm}$$

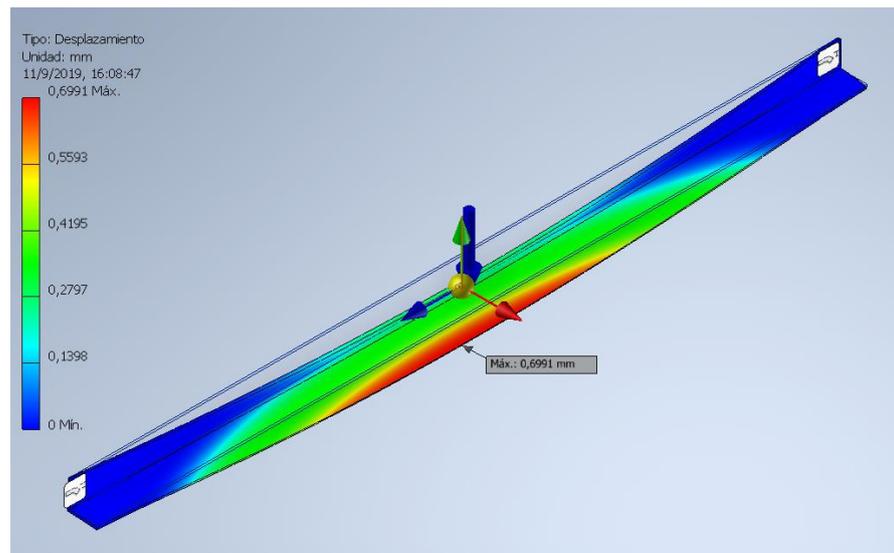


Figura 3.9: Resultado de análisis de desplazamiento en perfil L.
 [Autores]

3.7 Análisis de fatiga de perfil

Con las ecuaciones y tablas del capítulo 6 (Richard G. Budynas & J.Keith Nisbett, 2008), se calculó para Aluminio 6061: $S_e=155$ MPa, $k_a=0.9383$, $k_b=0.69$, $k_c=1$ $k_d=0.986$, $k_e=0.753$, $k_f=1.45$ y $S_e' = 228,12$ MPa

Esfuerzos Fluctuantes

Cuando se haya consumido todo el líquido/abono, la carga que soporta el perfil es.

$$\sigma_{\min} = 0 \text{ MPa}$$

Con σ_{\max} y σ_{\min} se calculó:

$$\sigma_a = \sigma_m = 39.58 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad

Con los valores de σ_a , σ_m y k_f se calculó el factor de seguridad mediante Goodman Modificado:

$$n = 2.3$$

3.8 Diseño detallado

Una vez realizado los cálculos se procedió a modelar la estructura quedando como se muestra en la figura 3.10



Figura 3.10: Modelo 3D de estructura de tren de aterrizaje.
[Autores]

Los planos detallados se encuentran en el apéndice.

3.9 Peso de la estructura en aluminio

La tabla 3.6 muestra las longitudes y peso de la estructura de la figura 3.10

Tabla 3.6: Longitudes y peso de los diferentes elementos de la estructura.
[Autores]

	Longitud [m]	Cantidad	Kg/m	Kg
Tubo 1" x 2 mm	1,95	2	0,38	1,48
Perfil L 1 1/2"x 3mm	2,68	2	0,6	3,22
				4,7

3.10 Diseño de sistema de sujeción

Para obtener una estructura desmontable se decidió que la sujeción sea mediante pernos.

Sujeción entre tubo y perfil de aluminio

Con $F_L/4$ actuando en los pernos se calculó el cortante $V=36.78$ en Newton.

Utilizando las fórmula para sujeción con pernos del cap.8 (Richard G. Budynas & J.Keith Nisbett, 2008) se calculó:

- Diámetro mínimo de perno SAE 1 acero-bajo carbono ($S_p = 227.53$ MPa):

$$d_{\min} = 0.45 \text{ mm}$$

Se seleccionó pernos de $\frac{1}{4}$ " (6.35 mm).

- Distancia mínima entre el borde y el diámetro del agujero:

$$D_{\min} = 1.5 d_{\text{perno}} = 9.525 \text{ mm}$$

- Distancia total entre borde y el centro del agujero es de

$$d_t = D_{\min} + r_{\text{perno}} = 12.7 \text{ mm}$$

- Largo mínimo del perno

$$L_p = 25.4 \text{ mm} + 0.3 \text{ mm} = 28.3 \text{ mm} (1.125")$$

- Sujeción entre tubo y placa de fibra de carbono

Con $F_v = 245.25$ Newton que actúa sobre los pernos de sujeción entre el tubo y la placa de fibra del VANT y usando 3 pernos por pata se calculó el diámetro mínimo del perno:

$$d_{\min} = 0.53 \text{ mm}$$

Se seleccionó pernos 3/16"

3.11 Selección de bomba y aspersores

Selección de aspersores

La selección de los aspersores se realizó con los siguientes datos:

Dosificación = 7.5 l/Ha

Caudal = 1 l/min

Cantidad de boquillas: 4

Caudal por boquilla: 0.25 l/min

Velocidad del VANT = 18 km/h promedio

En el catálogo de boquillas Teejet XR (ver apéndice A7) se encontró el modelo XR8001/XR11001 como referencia. Características: ángulo de aspersión de 110°, presión de 0.1 MPA, caudal por boquilla de 0.23 l/min y dosificación de 15.3 l/ha.

En los mercados en línea encontramos diferentes modelos de aspersores. Se recomendó utilizar el modelo Licheng (figura 3.11) de conectores 8mm y sujetadores de 20 mm con boquilla VP110-015 y presión 0.2 MPa con un caudal por boquilla de 0.45 l/min y una dosificación mayor.



Figura 3.11: Rociadores Licheng [página web AliExpress]

Selección de bomba

Con el esquema de la figura 3.12 se calculó presión de la bomba.

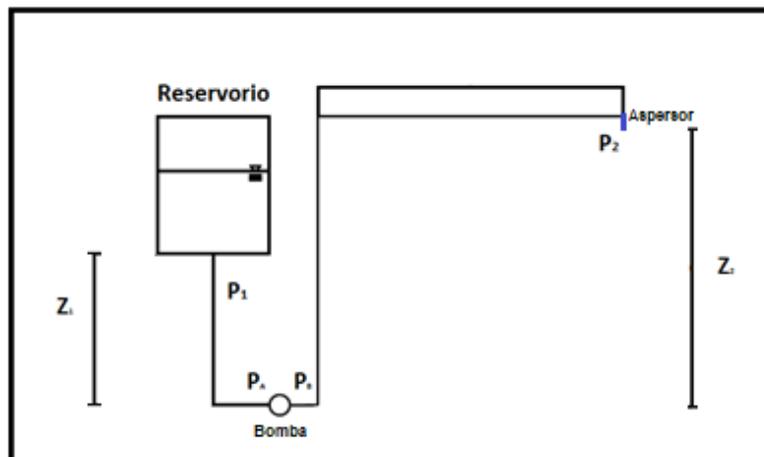


Figura 3.12: Esquema de referencia tanque-bomba-aspersor.

[Autores]

Con los valores conocidos de $P_2=0.2$ MPa, $Z_1=0.3$ m, $Z_2=0.57$ m se calculó:

$$P_1 = 1.6 \text{ kPa}$$

$$P_a = 0.004 \text{ MPa}$$

$$P_b = 0.8056 \text{ MPa}$$

La bomba debe tener una presión de salida mínima de 0.8 MPa

Se seleccionó la bomba Marca PLD modelo 1206 (figura 3.13) con las siguientes características: 12V, 4 l/min, 1 MPa, 0.5 kg de peso.



Figura 3.13: Bomba PLD 1206
[página web Amazon]

3.12 Selección de sistema dosificador de abono

Existe una gran variedad de sistemas de alimentación acuícolas para camarón y peces que pueden ser utilizados en el sector agrícola. Estos equipos tienen un motor dosificador y un motor esparcidor que funcionan con 12V y 24V de corriente directa.

El costo y complejidad de estos equipos varían según la marca por lo que se seleccionó el conjunto motores dosificador y aspersor en base al costo y disponibilidad local.

Tabla 3.7: Características de motores para sólidos.

[Autores]

Motor dosificador		Motor aspersor	
Voltaje:	24V	Voltaje:	12V
Peso:	0.2 Kg	Peso:	1.7 Kg
Altura:	14 cm	Altura:	17 cm
RPM:	50	RPM:	3000

Con las características de la tabla 3.7 se realizó un esquema de medidas (figura 3.14) y se verificó que la altura de la configuración tanque-dosificador-aspersor no superen la restricción de altura.

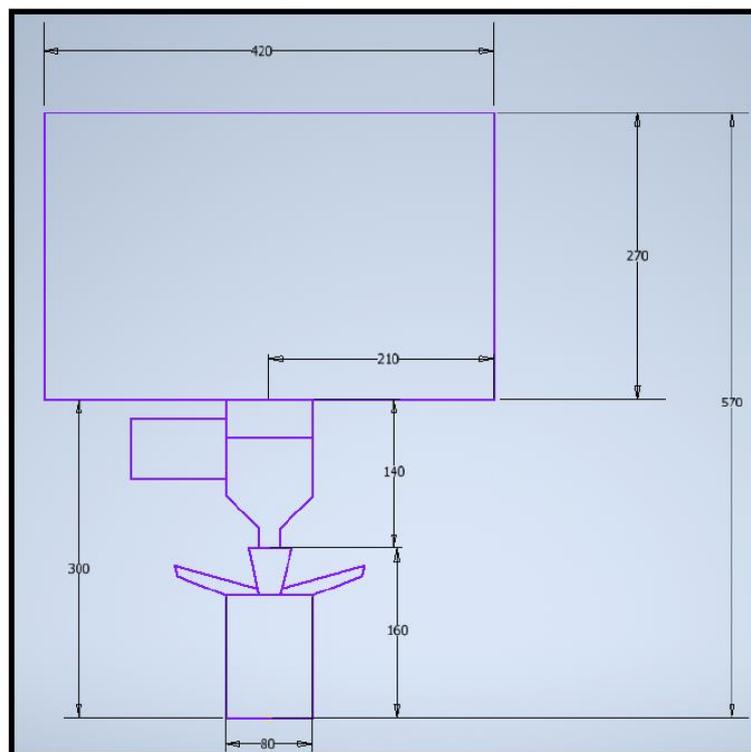


Figura 3.14: Esquema de referencia tanque-dosificador-aspersor.

[Autores]

3.13 Costos de construcción

La tabla 3.8 describe el costo de materiales para la construcción de estructura.

Tabla 3.8: Costos de fabricación.

[Autores]

Detalle	Cantidad	P. unitario	Total
Anillo presión 1/4"	26	\$ 0,01	\$ 0,26
Anillo plano 1/4"	26	\$ 0,03	\$ 0,65
Tuerca 1/4"	52	\$ 0,02	\$ 1,04
Perno 2"x1/4"	14	\$ 0,10	\$ 1,40
Perno 1"x1/4"	12	\$ 0,06	\$ 0,72
Manguera 5/16"	10	\$ 1,25	\$ 12,50
Tubo redondo 1"x2mm (6,40 m)	1	\$ 11,64	\$ 11,64
Angulo L 1,5"x1,5"x3mm (6,40 m)	1	\$ 29,06	\$ 29,06
Acoples Rápido M8 en T	2	\$ 1,28	\$ 2,56
Acoples Rápido M8 en Y	4	\$ 1,32	\$ 5,28
Acoples Rápido M8	2	\$ 1,58	\$ 3,16
Valvulas para cierre de dosificadores	4	\$ 8,80	\$ 35,20
Motores Disificadores de pellets	1	\$ 240,00	\$ 240,00
Varios (silicona, velcro, cinta aislante, etc)	1	\$ 50,00	\$ 50,00
Rolada de tubo x metro	4	\$ 15,00	\$ 60,00
Rociadores	4	\$ 7,88	\$ 31,50
Bomba de agua para rociadores	1	\$ 34,99	\$ 34,99
		Sub. Total	\$ 519,96
		Iva 12%	\$ 62,40
		Total	\$ 582,36

El cliente aceptó la cotización y se procedió con la construcción usando los planos detallados. (ver Apéndice A9).

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- a) La estructura diseñada en aluminio 6061 pesa 7.4 kilogramos y se encuentra dentro de las restricciones de carga máxima del VANT.
- b) En el análisis de fatiga de material para la estructura tubular se obtuvo un factor de seguridad de 1.6 y para el perfil estructural L se obtuvo un factor de seguridad de 2.3.
- c) El diseño de pata curva y de arco suave evita concentradores de esfuerzos en el cambio de sección.
- d) Hubo muy poca merma de material de aluminio después de la construcción por lo que se concluye que el diseño de forma nos da un bajo costo en desperdicio.
- e) La estructura de aluminio es fácilmente desmontable por lo que su ensamblaje, desmontaje y mantenimiento no requiere expertise tecnológica.
- f) El diseño por secciones permite, en caso de ser necesario, reemplazar componentes dañados sin necesidad de cambiar toda la estructura, lo que reduce el costo de mantenimiento.
- g) Debido a la similitud de los resultados de los cálculos manuales con los resultados del programa Inventor Pro se concluye que el software mencionado es una excelente herramienta para el profesional que recién se inicia.

4.2 Recomendaciones

- a) Se recomienda evaluar el costo beneficio de usar fibra de carbono para construir la estructura.
- b) Se recomienda usar patas rectas y curvatura a 90° para acortar la longitud de la estructura.
- c) Se recomienda utilizar un motor dosificador de menor dimensión, para disminuir la altura de estructura y el peso del sistema.
- d) Se recomienda como mejora de diseño adaptar la bomba de aspersión de líquidos en el reservorio para facilitar la intercambiabilidad.
- e) Se recomienda cambiar la bomba si se va a usar más de 4 aspersores y/o si se incorporan accesorios como válvulas.
- f) Se recomienda que los aspersores, motores dosificadores, motor esparcidor tengan un mantenimiento periódico para evitar fallas y deben ser cubiertos en caso de lluvia.

BIBLIOGRAFÍA

Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (8va ed.). McGraw-Hill.

Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi (2003). Fundamentos de mecánica de fluidos (2da ed.). Limusa Wiley.

Paúl, D., Javier, O., Andrés, R., & Eduardo, Á. (abril de 2017). revista politécnica. Accedido el 10 junio de 2019, desde https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/648

Catálogo Plásticos Ecuatorianos. Accedido el 11 de junio, 2019, desde <http://www.tonicorp.com/pdf/pesa/catalogo-plasticos-ecuatorianos-2018.pdf>

Catálogo Teejet 51A. Accedido el 17 de junio, 2019, desde <https://www.teejet.com/es/literature/catalogs-bulletins.aspx>

Instituto Técnico de la Estructura en Acero (octubre de 2015). Estructuras tubulares. Tomo 15. Accedido el 18 de junio, 2019, desde https://www.webaero.net/ingenieria/estructuras/metallica/bibliografia_documentacion/itea/TOMO15.pdf

Catálogo tubos. Perfiles de aluminio Cedal. Accedido el 21 de julio, 2019, desde <http://www.cedal.com.ec/categorias/perfiles-de-aluminio/tubos.html>

Catálogo ángulos. Perfiles de aluminio Cedal. Accedido el 21 de julio, 2019, desde <http://www.cedal.com.ec/categorias/perfiles-de-aluminio/angulos.html>

Características de Chapa 6061 Aluminio. Accedido el 21 de julio, 2019, desde [https://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa_6061_aluminio\(1\).pdf](https://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa_6061_aluminio(1).pdf)

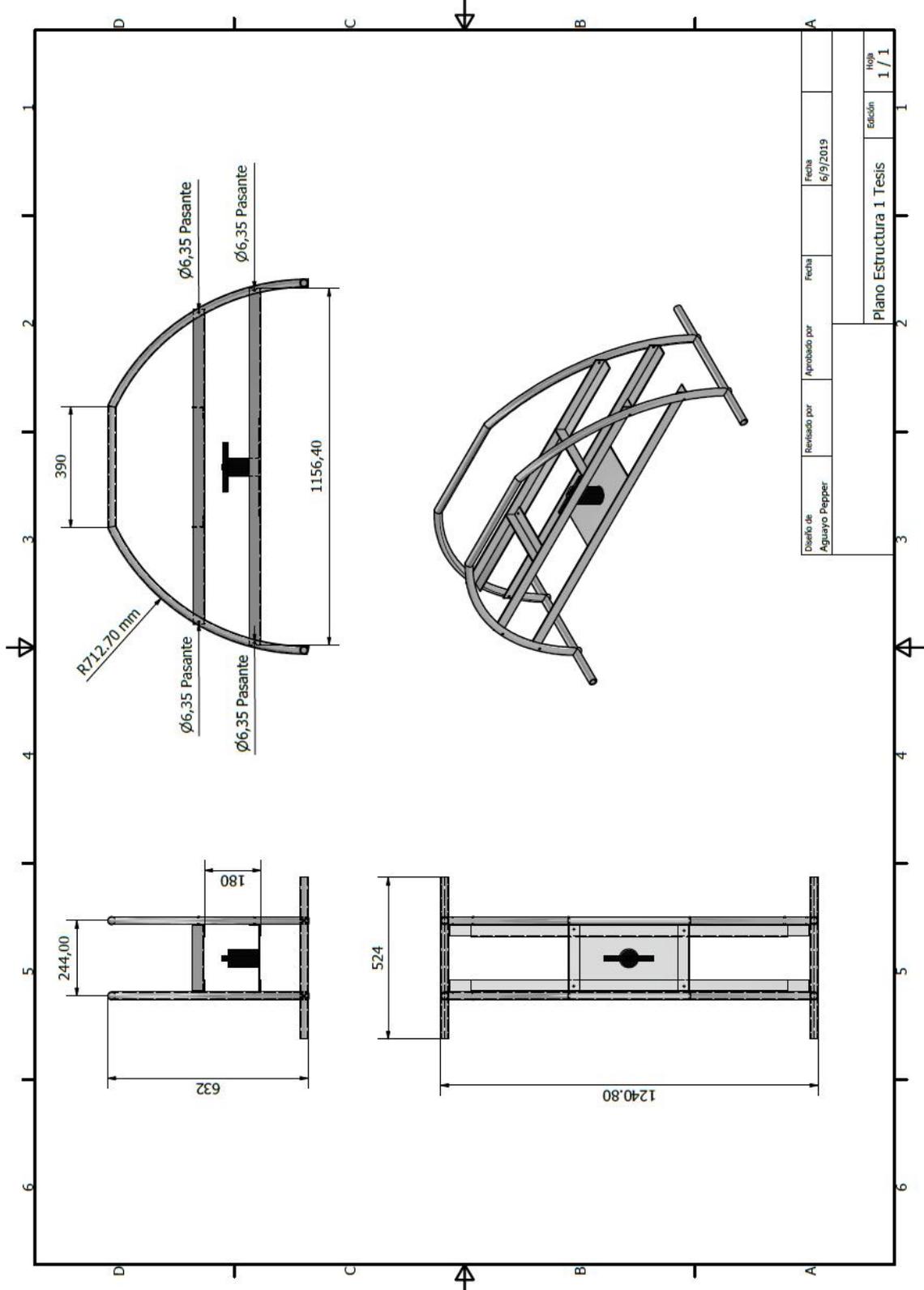
Julio Massa, Juan Giró, Alejandro Giudici (2017). Compendio de Cálculo Estructural para ingeniería mecánica y aeronáutica Capítulo 09 VIGAS CURVAS. Accedido el 21 de julio, 2019, desde http://www.cat.calc_est_2_im.efn.uncor.edu/wp-content/uploads/2013/10/Cap-09_VIGAS-CURVAS_153-168_V7.pdf

APÉNDICES

A1

Plano 1: Plano ISO estructura de aluminio

[Autores]

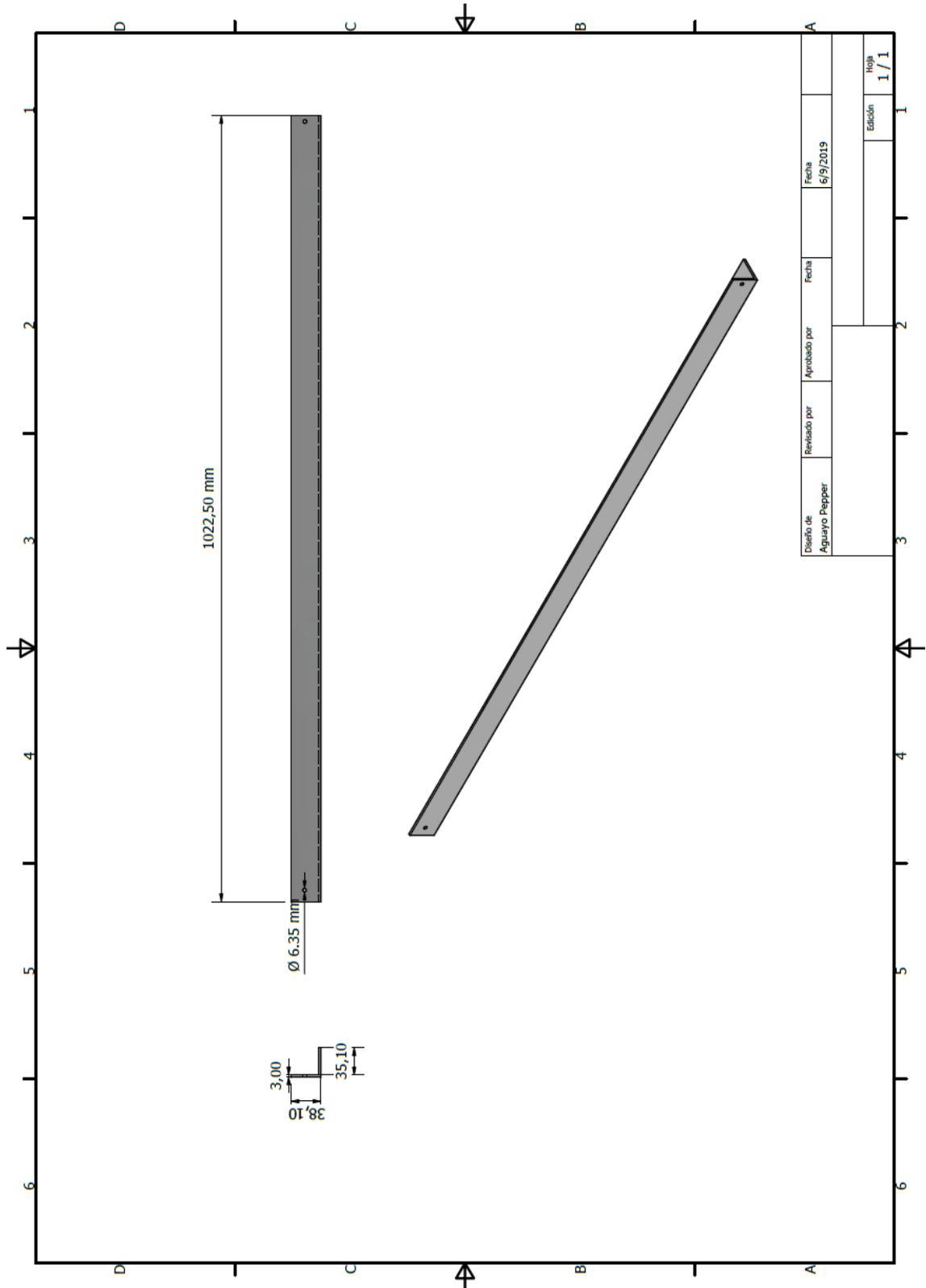


Diseño de Aguayo Pepper	Revisado por	Aprobado por	Fecha 6/9/2019	Fecha 6/9/2019	Hoja 1 / 1
Plano Estructura 1 Tesis					Edición 1

A2

Plano 2: Plano ISO perfil estructural superior.

[Autores]

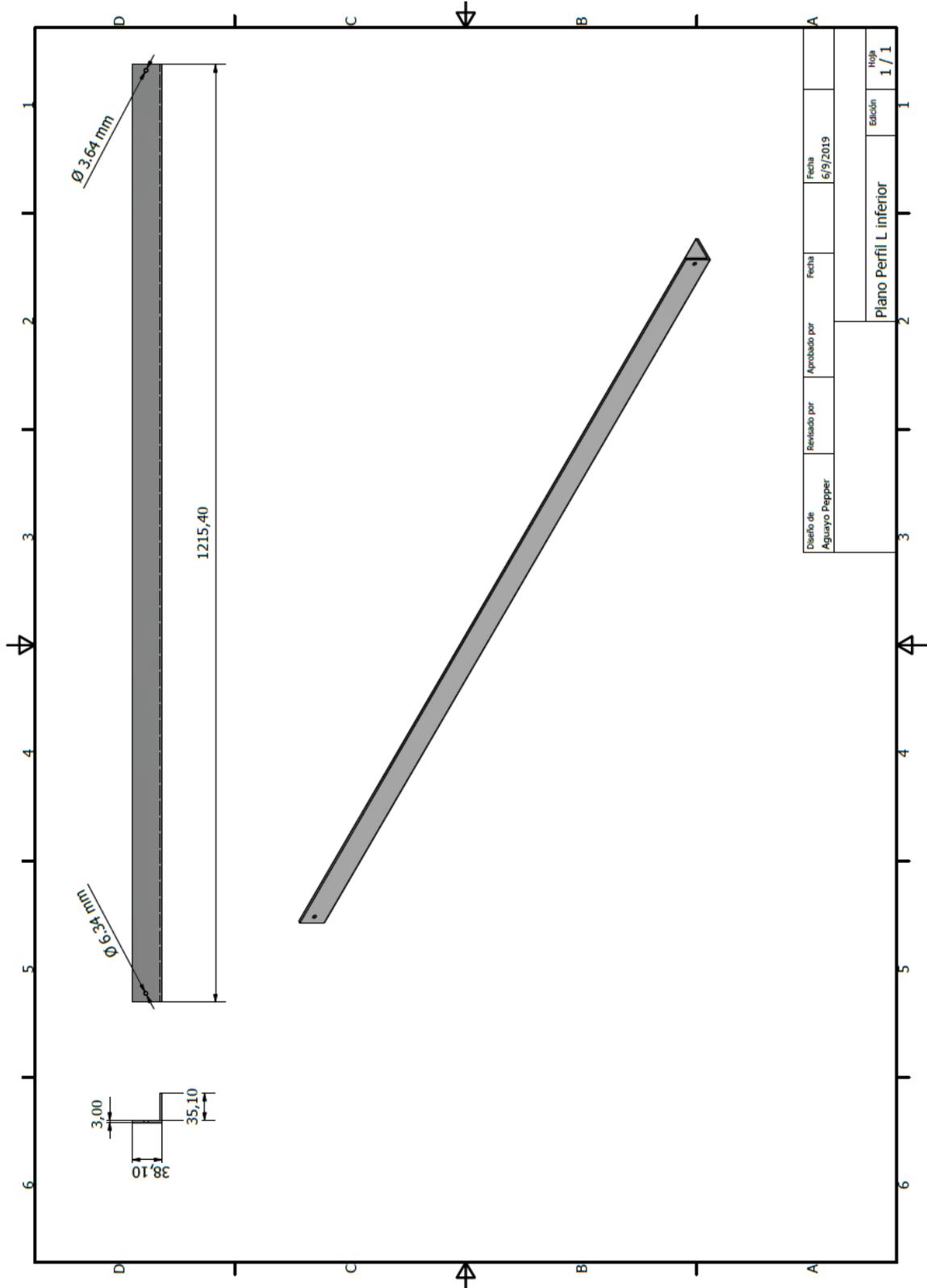


Disenio de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	Edición	Hoja
Aguayo Pepper			6/9/2019		1	1 / 1

A3

Plano 3: Plano ISO perfil estructural inferior.

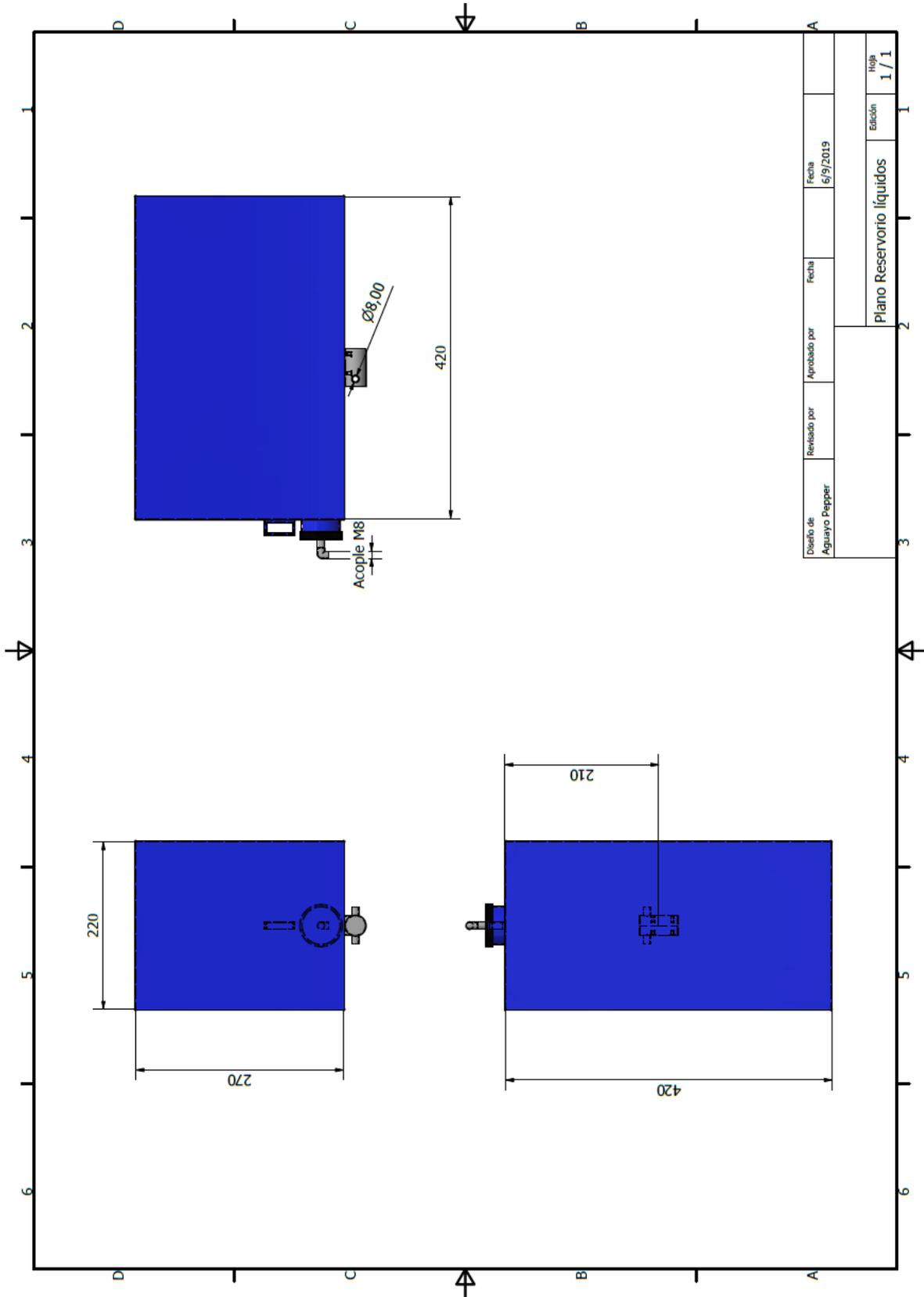
[Autores]



A4

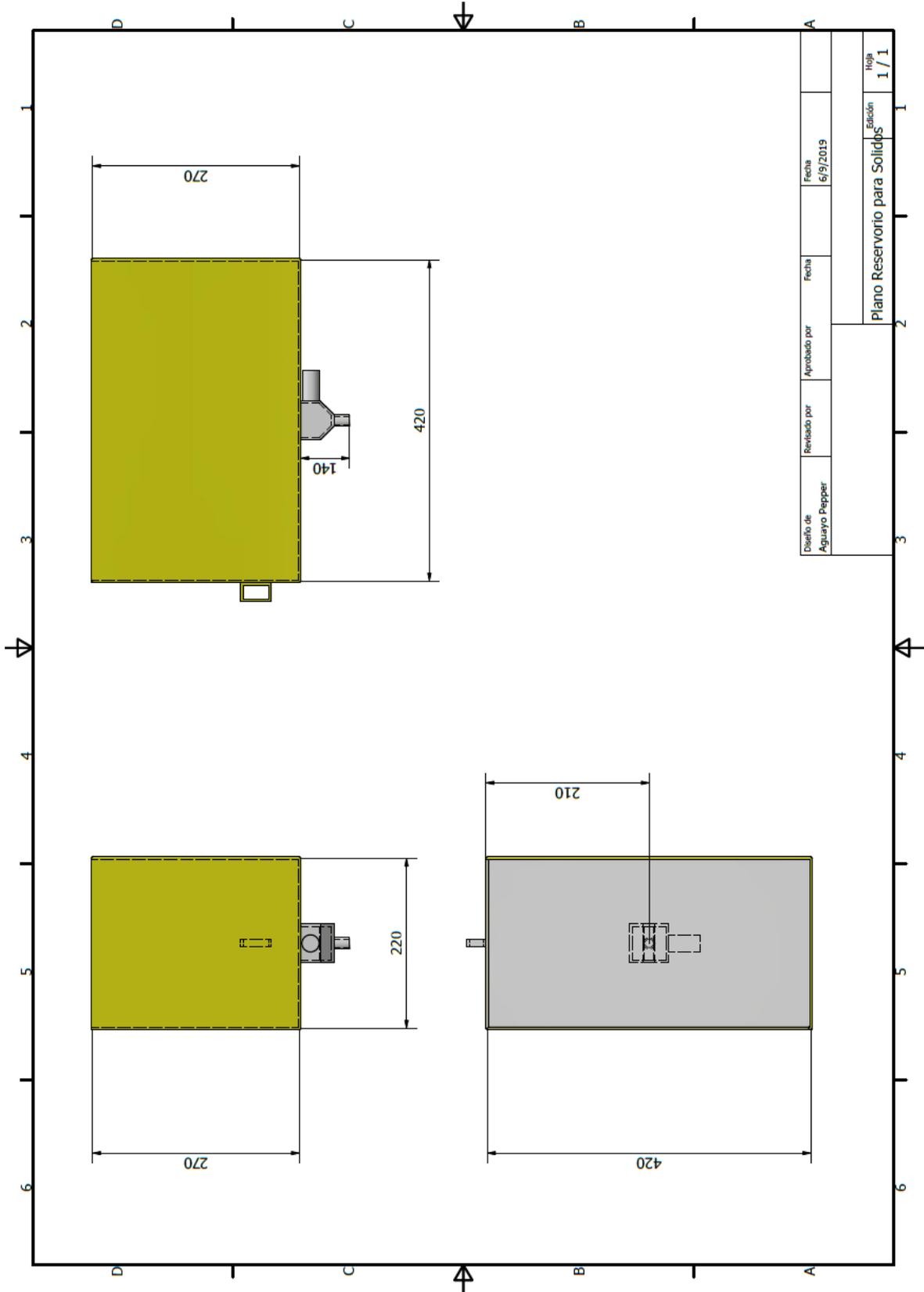
Plano 4: Plano ISO reservorio de líquidos.

[Autores]



Plano 5: Plano ISO reservorio de sólidos.

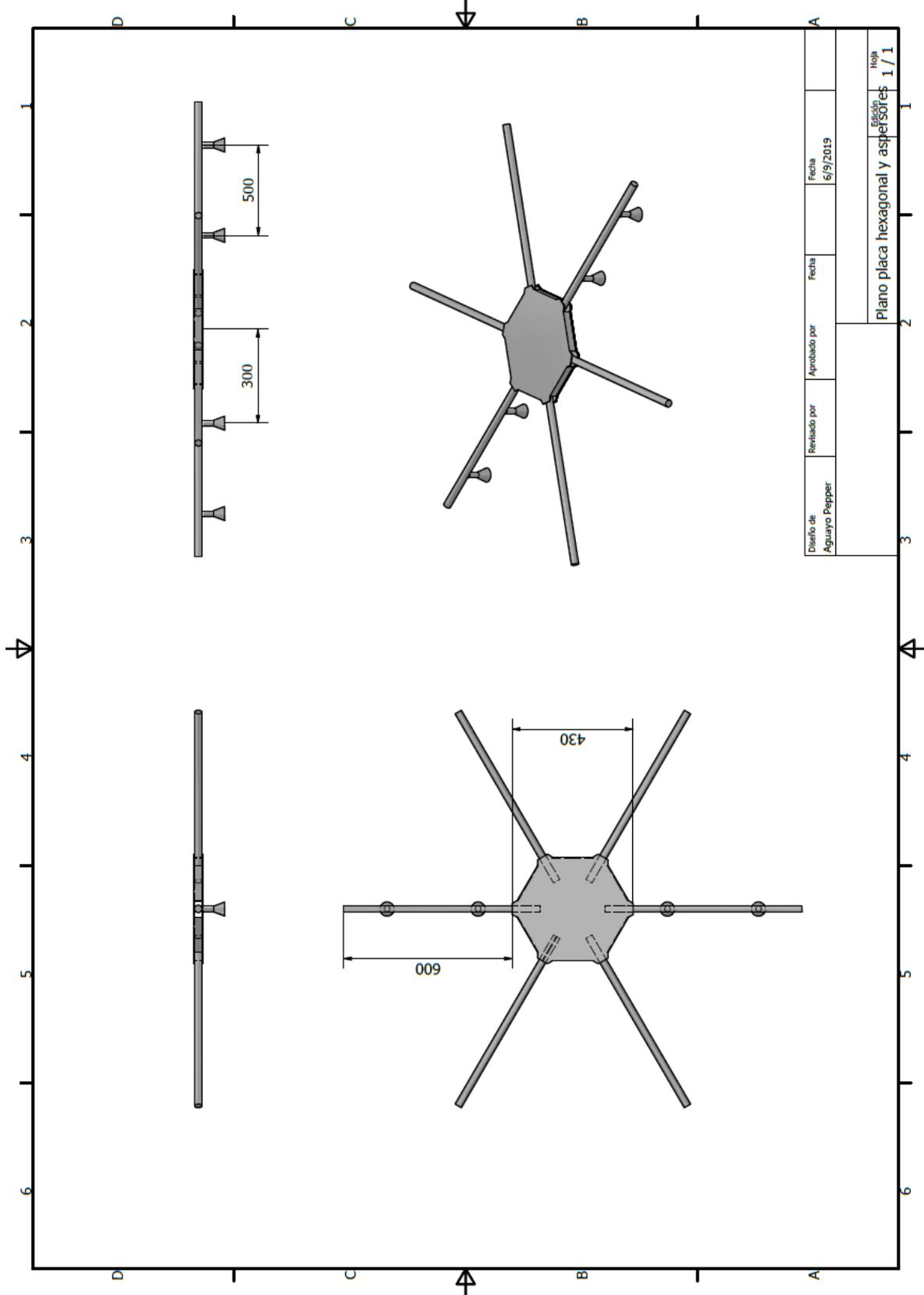
[Autores]



A6

Plano 6: Plano ISO Ubicación de aspersores.

[Autores]



Diseño de Aguayro Pepper	Realizado por	Aprobado por	Fecha 16/9/2019	Edición Hoja 1 / 1
-----------------------------	---------------	--------------	--------------------	--------------------------

Catálogo TeeJet



XR TeeJet®

Boquillas de Chorro Plano de Rango Extendido

Aplicaciones típicas:

Consulte la guía de selección de las páginas 4 para la aplicación típica recomendada para la XR TeeJet.

Características:

- Excelente distribución con un rango amplio de presiones—1-4 bar (15-60 PSI).
- Ideal para equipos con reguladores de pulverización.
- Reduce la deriva a presiones más bajas, mejor cobertura a presiones más altas.
- Disponibles en acero inoxidable, cerámica y polímero con ángulos de pulverización de 80° y 110° y codificación de colores VisiFlo®.

- Las puntas de cerámica están disponibles con portapuntas de polipropileno anti-corrosivo con codificación de colores VisiFlo en 80°, capacidades 03-08, y en 110°, capacidades 02-08.
- XR110025 solo está disponible en VK.
- XR80025 y XR80035 disponibles solamente en VS.
- Punta de latón disponible en 110° solamente.
- Alineación automática de la pulverización con tapa y junta 25612-*NYR Quick TeeJet®. Consulte la página 64 para más información.
- Alineación automática de la pulverización para tamaños 10 y 15 con tapa y junta 25610-*NYR Quick TeeJet. Consulte la página 64 para más información.

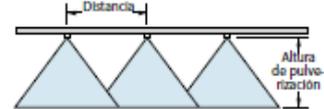


A 1 bar (15 PSI) A 4 bar (60 PSI)



PRODUCTO DE CONTACTO	PRODUCTO SISTEMICO	MANEJO DE LA DERIVA
EXCELENTE	BUENO	BUENO
BUENO*	MUY BUENO*	MUY BUENO*

*A presiones abajo de 2.0 bar (30 PSI)



Altura óptima de pulverización

Ángulo	Altura óptima de pulverización
80°	75 cm
110°	50 cm

Cómo hacer un pedido:

Especifique el número de punta.

Ejemplos:

- XR8004VS - Acero inoxidable con codificación de colores VisiFlo
- XR11004-VP - Polímero con codificación de colores VisiFlo (110° solamente)
- XR11004-VK - Punta de cerámica con portapunta de polipropileno con codificación de colores VisiFlo
- XR8010SS - Acero inoxidable
- XR11004VB - Latón con codificación de colores VisiFlo (110° solamente)

Tamaño de Gota	Bar	Tamaño de Boquilla	Capacidad (L/min)	1 ha Δ 50cm Δ												
				4 km/h	5 km/h	6 km/h	7 km/h	8 km/h	10 km/h	12 km/h	16 km/h	18 km/h	20 km/h	25 km/h	30 km/h	35 km/h
XR8001	1.0	F	0.23	69.0	55.2	46.0	39.4	34.5	27.6	23.0	17.3	15.3	13.8	11.0	9.2	7.9
	1.5	F	0.28	84.0	67.2	56.0	48.0	42.0	33.6	28.0	21.0	18.7	16.8	13.4	11.2	9.6
	2.0	F	0.32	96.0	76.8	64.0	54.0	48.0	38.4	32.0	24.0	21.3	19.2	15.4	12.8	11.0
	2.5	F	0.36	108	86.4	72.0	61.7	54.0	43.2	36.0	27.0	24.0	21.6	17.3	14.4	12.3
XR11001 (100)	3.0	F	0.39	117	93.6	78.0	66.9	58.5	46.8	39.0	29.3	26.0	23.4	18.7	15.6	13.4
	4.0	F	0.45	135	108	90.0	77.1	67.5	54.0	45.0	33.8	30.0	27.0	21.6	18.0	15.4
	1.0	M	0.34	102	81.6	68.0	58.3	51.0	40.8	34.0	25.5	22.7	20.4	16.3	13.6	11.7
	1.5	F	0.42	126	101	84.0	72.0	63.0	50.4	42.0	31.5	28.0	25.2	20.2	16.8	14.4
XR80015	2.0	F	0.48	144	115.2	96.0	82.3	72.0	57.6	48.0	36.0	32.0	28.8	23.0	19.2	16.5
	2.5	F	0.54	162	130	108	92.6	81.0	64.8	54.0	40.5	36.0	32.4	25.9	21.6	18.5
	3.0	F	0.59	177	142	118	101	88.5	70.8	59.0	44.3	39.3	35.4	28.3	23.6	20.2
	4.0	F	0.68	204	163	136	117	102	81.6	68.0	51.0	45.3	40.8	32.6	27.2	23.3
XR8002	1.0	M	0.46	138	110	92.0	78.9	69.0	55.2	46.0	34.5	30.7	27.6	22.1	18.4	15.8
	1.5	F	0.56	168	134	112	96.0	84.0	67.2	56.0	42.0	37.3	33.6	26.9	22.4	19.2
	2.0	F	0.65	195	156	130	111	97.5	78.0	65.0	48.8	43.3	39.0	31.2	26.0	22.3
	2.5	F	0.72	216	173	144	123	108	86.4	72.0	54.0	48.0	43.2	34.6	28.8	24.7
XR11002 (50)	3.0	F	0.79	237	190	158	135	119	94.8	79.0	59.3	52.7	47.4	37.9	31.6	27.1
	4.0	F	0.91	273	218	182	156	137	109	91.0	68.3	60.7	54.6	43.7	36.4	31.2
	1.0	M	0.57	171	137	114	97.7	85.5	68.4	57.0	42.8	38.0	34.2	27.4	22.8	19.5
	1.5	M	0.70	210	168	140	120	105	84.0	70.0	52.5	46.7	42.0	33.6	28.0	24.0
XR80025	2.0	F	0.81	243	194	162	139	122	97.2	81.0	60.8	54.0	48.6	38.9	32.4	27.8
	2.5	F	0.90	270	216	180	154	135	108	90.0	67.5	60.0	54.0	43.2	36.0	30.9
	3.0	F	0.99	297	238	198	170	149	119	99.0	74.3	66.0	59.4	47.5	39.6	33.9
	4.0	F	1.14	342	274	228	195	171	137	114	85.5	76.0	68.4	54.7	45.6	39.1
XR8003	1.0	M	0.48	144	115.2	96.0	82.3	72.0	57.6	48.0	36.0	32.0	28.8	23.0	19.2	16.5
	1.5	M	0.58	174	139.2	115.2	98.4	85.5	68.4	57.0	42.8	38.0	34.2	27.4	22.8	19.5
	2.0	F	0.66	198	158.4	132.0	111.6	97.5	78.0	65.0	48.8	43.3	39.0	31.2	26.0	22.3
	2.5	F	0.75	225	180.0	144.0	123.0	108.0	86.4	72.0	54.0	48.0	43.2	34.6	28.8	24.7
XR11003 (50)	3.0	F	0.83	249	199	166	142	125	99.6	83.0	62.3	55.3	49.8	39.8	33.2	28.5
	4.0	F	0.96	288	230	192	165	144	115	96.0	72.0	64.0	57.6	46.1	38.4	32.9
	1.0	M	0.51	153	122.4	102.0	87.6	76.5	61.2	51.0	37.5	33.0	29.7	23.8	19.8	17.1
	1.5	M	0.61	183	146.4	122.4	105.6	91.8	73.5	60.0	44.2	39.0	35.4	28.8	24.0	20.4
XR80035 (50)	2.0	M	1.13	339	271	226	194	170	136	113	84.8	75.3	67.8	54.2	45.2	38.7
	2.5	M	1.26	378	302	252	216	189	131	126	94.5	84.0	75.6	60.5	50.4	43.2
	3.0	F	1.38	414	331	276	237	207	166	138	104	92.0	82.8	66.2	55.2	47.3
	4.0	F	1.59	477	382	318	273	230	191	159	119	106	95.4	76.3	63.6	54.5
XR8004	1.0	C	0.91	273	218	182	156	137	109	91.0	68.3	60.7	54.6	43.7	36.4	31.2
	1.5	M	1.12	336	269	224	192	168	134	112	84.0	74.7	67.2	53.8	44.8	38.4
	2.0	M	1.29	387	310	258	221	194	155	129	96.8	86.0	77.4	61.9	51.6	44.2
	2.5	M	1.44	432	346	288	247	215	173	144	108	96.0	86.4	69.1	57.6	49.4
XR11004 (50)	3.0	M	1.58	474	379	316	271	237	190	158	119	105	94.8	75.8	63.2	54.2
	4.0	F	1.82	546	437	364	312	273	218	182	137	121	109	87.4	72.8	62.4
	1.0	C	1.14	342	274	228	195	171	137	114	85.5	76.0	68.4	54.7	45.6	39.1
	1.5	C	1.39	417	334	278	238	209	167	139	104	92.7	83.4	66.7	55.6	47.7
XR8005	2.0	M	1.61	483	386	322	276	242	193	161	121	107	96.6	77.3	64.4	55.2
	2.5	M	1.80	540	432	360	309	270	216	180	135	120	108	86.4	72.0	61.7
	3.0	M	1.97	597	478	394	338	296	236	197	148	131	118	94.6	78.8	67.5
	4.0	F	2.27	681	545	454	389	341	272	227	170	151	136	109	90.8	77.8
XR8006	1.0	C	1.37	411	329	274	235	206	164	137	103	91.3	82.2	65.8	54.8	47.0
	1.5	C	1.68	504	403	336	288	252	202	168	126	112	101	80.6	67.2	57.6
	2.0	M	1.89	567	446	370	312	270	216	180	135	120	108	86.4	72.0	61.7
	2.5	M	2.16	648	518	432	370	324	259	216	162	144	130	104	86.4	74.1
XR11006 (50)	3.0	M	2.37	711	569	474	406	355	284	237	178	158	142	114	94.8	81.3
	4.0	M	2.74	822	658	548	470	411	329	274	206	183	164	132	110	93.9
	1.0	VC	1.82	546	437	364	312	273	218	182	137	121	109	87.4	72.8	62.4
	1.5	VC	2.23	669	535	446	382	335	268	223	167	149	134	107	89.2	76.5
XR8008	2.0	VC	2.58	774	619	516	442	387	330	258	194	172	155	124	103	88.5
	2.5	M	2.88	864	691	576	494	432	346	288	216	192	173	138	115	98.7
	3.0	M	3.16	948	758	632	542	474	379	316	237	211	190	152	126	108
	4.0	M	3.65	1095	876	730	626	548	438	365	274	243	219	175	146	125
XR8010+	1.0	VC	2.28	884	547	456	391	342	274	228	171	152	137	109	91.2	82.2
	1.5	VC	2.79	837	670	558	478	419	335	279	209	186	167	134	112	95.7
	2.0	VC	3.23	969	775	646	554	485	388	323	242	215	194	155	129	111
	2.5	VC	3.61	1083	866	722	619	542	433	361	271	241	217	173	144	124
XR11010+	3.0	VC	3.95	1185	948	790	677	593	474	395	296	263	237	190	158	135
	4.0	VC														

Medidas Comerciales de Tubo Redondo



PERFILERIA
DE ALUMINIO

TUBOS
REDONDOS



REFERENCIA	Diámetro (D)		Espesor (E) mm	Peso Kg/m
	Milímetros	Pulgadas		
1012	50.80	2	1.27	0.536
1013	76.20	3	1.27	0.810
1136	90.00	3 35/64	6.00	4.291
1148	9.52	3/8	1.14	0.081
1149	7.92	5/16	1.20	0.070
1157	17.90	45/64	1.07	0.153
1158	23.40	59/64	1.24	0.234
1167	101.60	4	1.27	1.085
1168	127.00	5	1.50	1.603
1169	152.40	6	1.65	2.12
1204	25.40	1	2.00	0.380
1254	32.00	1 17/64	2.00	0.511
1479	22.23	7/8	1.80	0.318
1482	90.00	3 35/64	4.50	3.720
1600	101.60	4	4.50	3.247
1664	48.23	1 29/32	18.96	4.725
1665	48.23	1 29/32	2.75	1.067
1666	48.23	1 29/32	3.67	1.392
1668	19.10	3/4	1.50	0.255
1669	63.50	2 1/2	2.39	1.244
1670	63.50	2 1/2	3.96	2.007
1720	29.50	1 5/32	1.45	0.346
1721	38.35	1 33/64	1.65	0.516
1722	44.20	1 47/64	1.65	0.598
1723	55.80	2 13/64	1.65	0.761
1888	114.30	4 1/2	5.20	4.83
1908	50.80	2	1.65	0.690



CORPORACION ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A.

TUBOS REDONDOS

A9
Galería

