



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Diseño de pulverizador de agroquímicos para parcelas estrechas de
80 Lt/min energizado eléctricamente en la empresa AFA GROUP

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Ortiz Torres, Jorge Luis (orcid.org/0000-0001-6130-6722)

ASESOR:

Dr. Olortegui Yume, Jorge Antonio (orcid.org/0000-0001-5734-040X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2023

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, por el inmenso esfuerzo realizado y el apoyo incondicional brindado, el cual me acompañó durante toda la carrera. Con este logro alcanzado quiero expresar mi total gratitud.

AGRADECIMIENTO

Agradezco sinceramente a la universidad César Vallejo, por proporcionar los recursos necesarios y el ambiente propicio para llevar a cabo este proyecto de investigación. El acceso a la biblioteca, laboratorios y demás facilidades ha sido invaluable.

Quisiera expresar mi agradecimiento a la empresa Afa Group por brindarme la oportunidad de realizar esta investigación y por su invaluable apoyo durante todo el proceso de desarrollo de esta tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Realidad Problemática.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Fumigadoras agrícolas de arrastre.....	7
2.2. Partes principales del equipo pulverizador de arrastre.....	8
2.2.1. Estanque principal.....	8
2.2.2. Agitadores.....	8
2.2.3. Bomba.....	8
2.2.4. Válvulas reguladoras de presión.....	9
2.2.5. Manómetro.....	9
2.2.6. Filtros.....	9
2.2.7. Boquillas.....	9
2.3. Altura de la barra de pulverización.....	10
2.4. Presión de trabajo.....	11
2.5. Regulación del equipo pulverizador.....	11
2.6. Diseño del sistema hidráulico de aplicación.....	11
2.6.1. Cobertura teórica de la boquilla:.....	11
2.6.2. Caudal volumétrico:.....	12
2.6.3. Velocidad del fluido:.....	12
2.6.4. Rugosidad relativa:.....	12
2.6.5. Numero de Reynolds:.....	13
2.6.6. Coeficiente de fricción:.....	13
2.6.7. Pérdidas de carga por fricción:.....	13
2.6.8. Pérdidas de carga secundarias:.....	14
2.6.9. Selección de la bomba:.....	15
2.6.10. Potencia teórica de la bomba:.....	15

2.6.11. Potencia real de la bomba:	16
2.7. Diseño para análisis estático.....	16
2.7.1. Inercia:	16
2.7.2. Esfuerzo por flexión:	17
2.7.3. Esfuerzo cortante:.....	17
2.7.4. Primer momento de área:.....	18
2.7.5. Esfuerzos de Von mises:.....	18
2.7.6. Factor de seguridad estática:.....	18
2.7.7. Resistencia a la fatiga:	18
2.8. Almacenamiento de energía con baterías	19
2.8.1. Dimensionado del banco de baterías	19
2.9. Variador de frecuencia	20
2.10. Panel solar.....	21
2.11. Inversor DC/AC.....	21
2.12. Controlador de carga.....	22
2.13. Evaluación Económica.....	22
III. METODOLOGÍA.....	24
3.1. Tipo y diseño de investigación	24
3.2. Variables y operacionalización	24
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis	25
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	26
3.5. Procedimientos.....	26
3.6. Método de análisis de datos	28
3.7. Aspectos éticos	28
IV. RESULTADOS	29
4.1. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.....	29
4.1.1. Especificaciones de ingeniería	32
4.2. DISEÑO CONCEPTUAL	32
4.3. DISEÑO DE CONFIGURACIÓN	37
4.3.1. Dimensionamiento de la máquina	41
4.4. DESARROLLO DE ANÁLISIS Y CÁLCULOS	43
4.4.1. Resultados de análisis hidráulicos	43
4.4.2. Diagrama de cuerpo libre del chasis	43
4.4.3. Diseño paramétrico mediante análisis por elementos finitos con ANSYS44	
4.4.4. Resultado de parametrización en Matlab para chasis.....	51

4.4.5.	Análisis estático en ANSYS para cuadro de levante de aguilón	52
4.4.6.	Dimensionado del banco de baterías.....	54
4.4.7.	Selección de componentes.....	54
4.4.7.1.	Selección del tanque	54
4.4.7.2.	Selección del Bomba eléctrica	55
4.4.7.3.	Selección de filtro de aspiración.....	56
4.4.7.4.	Selección cilindro hidráulico	57
4.4.7.5.	Selección de boquillas	58
4.4.7.6.	Selección de Variador de Frecuencia	58
4.4.7.7.	Selección de Panel solar	58
4.4.7.8.	Selección Batería.....	58
4.4.7.9.	Selección del controlador - inversor de corriente.....	59
4.5.	Analizar la factibilidad económica.	59
V.	DISCUSIÓN	63
VI.	CONCLUSIONES	65
VII.	RECOMENDACIONES	68
	REFERENCIAS	69
	ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Recomendación de uso según características de las bombas.....	8
Tabla 2.	Volúmenes de aplicación (L/ha) con boquillas espaciadas 0.5 m.	10
Tabla 3.	Conversión de autonomía (N _D) en días a (N _D) en horas.....	20
Tabla 4.	Operacionalización de variables.....	24
Tabla 5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	26
Tabla 6.	Resumen de entrevistas para determinar las necesidades de diseño del pulverizador de agroquímicos para parcelas estrechas de 80 Lt/min energizado eléctricamente en la empresa AFA GROUP.....	31
Tabla 7.	Especificaciones de ingeniería para el diseño del pulverizador de agroquímicos para parcelas estrechas de 80 Lt/min energizado eléctricamente en la empresa AFA GROUP	32
Tabla 8.	Matriz de selección ponderada de conceptos alternativos.	36
Tabla 9.	Matriz de selección ponderada de alternativas de configuración.....	40
Tabla 10.	Resumen de resultados de análisis sustraído del anexo 6.....	43
Tabla 11.	Variables para diseño paramétrico del chasis en ANSYS y Matlab.	46
Tabla 12.	Matriz grafica paramétrica del chasis con el material acero ASTM A131 con Sy=235 Mpa. Para evaluar las variables de solución: Deformación total, esfuerzo de Von mises y factor de seguridad. Las variables de diseño parametrizadas en esta tabla son el espesor del perfil.	47
Tabla 13.	Matriz grafica paramétrica del chasis con el material acero ASTM A36 con Sy=250 Mpa. Para evaluar las variables de solución: Deformación total, esfuerzo de Von mises y factor de seguridad. Las variables de diseño parametrizadas en esta tabla son el espesor del perfil.	48
Tabla 14.	Matriz grafica paramétrica del chasis con el material acero ASTM A709 con Sy=245 Mpa. Para evaluar las variables de solución: Deformación total, esfuerzo de Von mises y factor de seguridad. Las variables de diseño parametrizadas en esta tabla son el espesor del perfil.	49
Tabla 15.	Matriz grafica paramétrica del chasis con el material acero ASTM A514 con Sy=700 Mpa. Para evaluar las variables de solución: Deformación total, esfuerzo de Von mises y factor de seguridad. Las variables de diseño parametrizadas en esta tabla son el espeor del perfil.	50
Tabla 16.	Energía eléctrica total media diaria a considerar según horas de autonomía y capacidad de banco de baterías.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Variador de frecuencia Power Flex.....	20
Figura 2.	Inversor DC/AC – 3000W marca Surge.....	21
Figura 3.	Controlador de carga solar para baterías.....	22
Figura 4.	Concepto 1, basado en el modelo “Advance 3000 AM 24” de la empresa Jacto.	33
Figura 5.	Concepto 2, basado en el Pulverizador Arbus 1500 Diamond (Jacto).....	34
Figura 6.	Concepto 3, basado en el Nebulizador Dúo Plus (Teyme).....	35
Figura 7.	Alternativa de configuración 1.....	37
Figura 8.	Alternativa de configuración 2.....	38
Figura 9.	Alternativa de configuración 3.....	39
Figura 10.	Dimensiones generales del pulverizador, vista lateral derecha.....	41
Figura 11.	Dimensiones generales del pulverizador, vista superior.....	42
Figura 12.	Dimensiones generales del pulverizador, vista frontal.....	42
Figura 13.	Diagrama de cuerpo libre del chasis.....	43
Figura 14.	Diagrama de caja negra para el análisis en ANSYS y Matlab.....	45
Figura 15.	Grafica de factor de seguridad para diferentes espesores de perfil.....	51
Figura 16.	Gráfico de esfuerzo máximo para diferentes espesores por Matlab.....	51
Figura 17.	Tensión de Von Mises en ANSYS.....	52
Figura 18.	Deformación total en ANSYS.....	53
Figura 19.	Factor de seguridad en ANSYS.....	53
Figura 20.	Dimensiones generales del tanque.....	54
Figura 21.	Dimensiones generales de la electrobomba Pedrollo modelo HF 70A.....	55
Figura 22.	Curva de prestaciones de la electrobomba Pedrollo modelo HF 70A.....	56
Figura 23.	Dimensiones generales de filtro modelo ARAG - 3122052.....	56
Figura 24.	Dimensiones generales de cilindro hidráulico D/E 20-30-40-500mm.....	58
Figura 25.	Presupuesto de inversión para maquina pulverizadora.....	60
Figura 26.	Presupuesto de mano de obra.....	61
Figura 27.	Presupuesto de equipos y servicios.....	61
Figura 28.	Análisis económico.....	62

RESUMEN

En este estudio de investigación, se llevó a cabo el diseño de un pulverizador de agroquímicos para parcelas estrechas de 80 Lt/min energizado eléctricamente en la empresa AFA GROUP, ubicada en la ciudad de Trujillo.

La investigación comenzó aplicando la metodología del diseño, logrando entrevistar a los jefes de cada área para identificar los requerimientos de diseño, se verificó el estado del arte y se propusieron alternativas de solución. Al iniciar los cálculos, se respetó las especificaciones de ingeniería. De los resultados del cálculo hidráulico se definió que el equipo debe trabajar con boquillas tipo abanico con un ángulo de aspersión de 110° , a una altura de 50 cm sobre el objetivo, a una presión de 4 bares y un caudal de 3.94 l/min por cada boquilla, utilizándose un total de 20 boquillas distribuidas en el aguilón logrando un caudal total de 80 l/min, necesario para un volumen de aplicación de 400 L/ha, siendo este volumen utilizado para la fumigación de cultivos bajos. Para cumplir con estas características del pulverizador se usará una bomba de 3 HP, para lo cual se determinó una autonomía del equipo de 6 horas a través de un banco de baterías de 266.96 A.h.

Se realizó el modelamiento del comportamiento de las fuerzas presentes sobre el chasis, realizándose un análisis paramétrico, eligiéndose el acero ASTM A36 con un espesor de 9.5 mm como materia prima para el chasis, donde se obtuvo como resultado un esfuerzo de Von Mises de 58.593 MPa, una deformación de 2.9878 mm con un factor de seguridad por esfuerzo de 4.2667; el modelamiento se realizó mediante el uso de ANSYS.

El análisis económico presenta indicadores positivos para invertir en el diseño propuesto, pues demuestra un retorno de inversión de 3 meses y 17 días.

Finalmente se concluye que el pulverizador de agroquímicos para parcelas estrechas de 80 Lt/min energizado eléctricamente es una solución viable y beneficiosa para los agricultores y la empresa AFA GROUP, asimismo es amigable con el medio ambiente pues reduce la dependencia de combustibles fósiles, ofreciendo una alternativa más limpia y eficiente para la pulverización de cultivos.

Palabras clave: *Diseño, energía renovable, pulverizador agrícola.*

ABSTRACT

In this research study, the design of an agrochemical sprayer for narrow plots of 80 Lt/min electrically energized was carried out in the company AFA GROUP, located in the city of Trujillo.

The investigation began by applying the design methodology, managing to interview the heads of each area to identify the design requirements, the state of the art was verified and alternative solutions were proposed. When starting the calculations, the engineering specifications were respected. From the results of the hydraulic calculation, it was defined that the equipment must work with fan-type nozzles with a spray angle of 110° , at a height of 50 cm above the target, at a pressure of 4 bars and a flow rate of 3.94 l/min. for each nozzle, using a total of 20 nozzles distributed on the boom, achieving a total flow rate of 80 l/min, necessary for an application volume of 400 L/ha, this volume being used for spraying low crops. To comply with these characteristics of the sprayer, a 3 HP pump will be used, for which an autonomy of the equipment of 6 hours was determined through a 266.96 Ah battery bank.

The behavior of the forces present on the chassis was modeled, performing a parametric analysis, choosing the ASTM A36 steel with a thickness of 9.5 mm as raw material for the chassis, where a Von Mises effort of 58,593 MPa was obtained as a result. , a deformation of 2.9878 mm with a stress safety factor of 4.2667; the modeling was carried out using ANSYS.

The economic analysis presents positive indicators to invest in the proposed design, since it shows a return on investment of 3 months and 17 days.

Finally, it is concluded that the electrically energized 80 Lt/min agrochemical sprayer for narrow plots is a viable and beneficial solution for farmers and the AFA GROUP company, it is also friendly to the environment as it reduces dependence on fossil fuels, offering a Cleaner, more efficient alternative to crop spraying.

Keywords: *Design, renewable energy, agricultural sprayer.*

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

La agricultura a nivel internacional enfrenta desafíos en cuanto al control sanitario y la necesidad de reducir la contaminación ambiental. Esto destaca la importancia de mejorar la eficiencia en la aplicación de productos químicos agrícolas en la fruticultura. Por lo tanto, resulta prioritario investigar nuevos diseños de equipos de pulverización que eviten o minimicen las deficiencias de los pulverizadores convencionales. Es fundamental destacar que los diseños actuales deben garantizar una distribución más uniforme de los productos químicos agrícolas, lo cual contribuirá a un mejor control de las amenazas que dañan los cultivos. Además, esta mejora en la eficiencia ayudará a reducir los costos de aplicación y preservar el medio ambiente al disminuir tanto las dosis utilizadas como las pérdidas por deriva. (Carlos Magdalena, 2004).

Otra investigación realizada en la India propone un sistema y diseño de un pulverizador basado en energía solar pues indican que el 73 % de su población es directamente dependiente de la ganadería por lo que la India es hoy en día un país que depende en gran medida de la agricultura, pero los agricultores se enfrentan a problemas como falta de maquinaria, falta de fuentes de energía eléctrica por ello el pulverizador solar tiene muchas ventajas frente al de combustión ya que se ahorra combustible, hay menos vibración y su funcionamiento es más económico principalmente debido a los menores costos de operación y mantenimiento a su vez tiene un menor impacto ambiental que las bombas alimentadas por un motor de combustión interna resaltando que las bombas solares son útiles cuando la red eléctrica no está disponible. (Kumawat Mukesh, et. al, 2018).

Otro estudio en África revela una situación aún más crítica pues la mayoría de la población vive en regiones rurales y la agricultura constituye entre el 30% y el 40% del Producto Interior Bruto (PIB), empleando al 65% de las personas en este sector. En estos lugares, la mayoría de los agricultores poseen menos

de 2 hectáreas de tierra, lo que indica que la agricultura practicada es sobre todo de subsistencia y familiar, con un grado muy bajo de tecnificación, infraestructuras insuficientes, un acceso mínimo a los mercados y muy pocas posibilidades de influir en la política gubernamental. Como consecuencia, los trabajadores agrícolas rurales se encuentran entre los más pobres de África, con una tasa media de pobreza del 50%. (Fara, 2013).

La empresa AFA GROUP viene innovando desde hace 10 años en el sector agroindustrial brindando el servicio de venta y alquiler de máquinas pulverizadoras, repuestos y accesorios de alta calidad para distintos tipos de cultivo según las necesidades o requerimientos del cliente contando con trabajadores calificados en el rubro para garantizar la calidad de atención al cliente y la confiabilidad de sus equipos en campo los cuales son respaldados por sus proveedores internacionales como Metalfor y Pauny es así que actualmente la empresa cuenta con 66 trabajadores en sus 3 sedes: Trujillo, Chiclayo e Ica.

En la empresa AFA GROUP existe una población de clientes dedicados a la pequeña agricultura que no son atendidos actualmente ya que buscan una máquina que les permita aplicar sus plaguicidas de manera eficiente en parcelas estrechas que van desde 2 a 4 hectáreas con esta premisa es necesario indicar que el volumen de agroquímicos aplicados será de 480 litros por hectárea, siendo el área máxima 4 hectáreas se necesitaría un tanque de 2000 litros el cual va ser pulverizado en el cultivo en un tiempo de 25 minutos dando como resultado un caudal total de 80 litros por minuto, actualmente la empresa no cuenta con este tipo de maquinaria solicitada es por ello que se ve la necesidad de proponer el diseño una maquina pulverizadora de agroquímicos energizada eléctricamente de esta manera se pretende solucionar la problemática de la empresa pues la maquina permitirá ingresar a parcelas estrechas para la aplicación de plaguicidas sin dañar el cultivo y de esta manera atender a la demanda de los clientes por estos equipos, a su vez se pretender eliminar el uso de combustibles fósiles en su funcionamiento generando que la maquina sea amigable con el medio ambiente.

Por lo expuesto en párrafos anteriores se realizó la siguiente pregunta ¿Cuál será el diseño del pulverizador de agroquímicos para parcelas estrechas de 80 Lt/min energizado eléctricamente en la empresa AFA GROUP?

La investigación se justifica por la transferencia tecnológica que se usara para satisfacer las necesidades de diseño permitiendo aplicar los plaguicidas de manera eficiente en parcelas estrechas de cultivo. A su vez tiene una justificación ambiental pues busca eliminar el uso de combustibles fósiles en su funcionamiento, generando que la máquina sea amigable con el medio ambiente.

Por lo mencionado anteriormente, nos planteamos el objetivo general de diseñar un pulverizador de agroquímicos para parcelas estrechas de 80 Lt/min energizado eléctricamente en la empresa AFA GROUP. Para el logro del objetivo general nos planteamos los siguientes objetivos específicos: Determinar requerimientos de diseño, Especificar los conceptos de solución de diseño, Establecer el mejor diseño conceptual, Desarrollar la ingeniería de detalle, Analizar la factibilidad económica.

II. MARCO TEÓRICO

(Klaus Hahn, 2010), en su tesis “Posibles aplicaciones de accionamientos eléctricos para combinaciones de máquinas agrícolas” desarrollada en Alemania demostró que implementar accionamientos eléctricos ofrecen varios beneficios para los tractores e implementos agrícolas como los pulverizadores resaltando que las ventajas más importantes son la eficiencia, la capacidad de control y la posibilidad de distribuir componentes. Como parte de su investigación desarrolló una propuesta de modelos analíticos sobre un esparcidor de fertilizante, un rociador y un remolque con un eje propulsado. Donde se implementó inversores de corriente y una bomba centrífuga arrojaron una multitud de beneficios. Estos incluyen un menor consumo de combustible para el esparcidor, menos volumen residual para el rociador, mejor tracción y dinámica del vehículo para el remolque propulsado. Concluyendo que la buena capacidad de control de los accionamientos eléctricos demostró ser especialmente beneficiosa para aquellos implementos generalmente asociados con la agricultura de precisión como el esparcidor y el pulverizador ya que permite reducir los tiempos improductivos ya que al implementar un inversor y una bomba centrífuga aumento la eficiencia del pulverizador en un 37%.

(Moreda G., et al. 2016). En su artículo “Electrificación de alto voltaje de tractores y maquinaria agrícola” desarrollado en España presenta una revisión del estado del arte de la electrificación en alta tensión de maquinaria agrícola destacando la necesidad de reducir tanto de las emisiones contaminantes como de la dependencia de los combustibles fósiles siendo esto un objetivo de las políticas energéticas en todo el mundo por ello en muchos países, los gobiernos promueven el uso de vehículos eficientes como el vehículo eléctrico híbrido, dentro de su desarrollo propone la incorporación de accionamientos eléctricos en tractores y maquinaria agrícola pues estas presentan ventajas en términos de mayor eficiencia energética y funcionalidades ampliadas, reducción en el consumo de combustible y la consiguiente disminución de emisión de CO₂, resaltando que las nuevas funcionalidades mejoran la calidad del trabajo y aumentan la comodidad del operador pues la electrificación del

tractor y sus complementos como pulverizadores aprovechan el desacoplamiento de cargas y accionamientos del motor, lo que permite operar este último en su punto de máxima eficiencia. Concluyendo que las principales ventajas de la electrificación de la maquinaria agrícola son el control del par y la velocidad, la reducción del ruido y un diseño más flexible.

(Kumawat Mukesh, et. al, 2018). En su artículo académico en la India publicado en el IRJET “Pulverizador de pesticidas operado por Energía Solar para fines Agrícolas” (Traducido del inglés), Los investigadores trabajan y proponen un sistema basado en energía solar. su problemática se basa en sus necesidades ya que nos indican que el 73 % de su población es directa o indirectamente dependiente de la ganadería, por lo que la India es hoy en día un país que depende en gran medida de la agricultura, pero los agricultores se enfrentan a otros problemas como las plagas, falta de maquinaria, falta de fuentes de energía eléctrica, métodos existentes ergonómicamente imperfectos (palas, arados, etc.). Entonces el grupo de investigadores se planteó el objetivo de utilizar la energía solar inherentemente disponible, en las operaciones de pulverización, luego de proponer un modelo de captación, almacenamiento y utilización de la energía para el pulverizador, realizando sus respectivos cálculos para la selección de componentes, concluyen que su modelo propuesto es viable para utilizarlo en dicho propósito.

(Carlos Magdalena, 2004). En su tesis desarrollada en Valencia - España menciona la necesidad de mejorar la eficiencia en la aplicación de agroquímicos se debe a una variedad de factores, incluidos los elevados costos del control sanitario, la alta presión de plagas importantes como *Cydia pomonella* (L.), las características de las plantaciones de manzanos y perales, que tienen un desarrollo de 4 a 6 metros, las condiciones climáticas desfavorables con baja humedad relativa y presencia de vientos, y la importancia de reducir los desechos en los frutos y por lo tanto, la investigación de nuevos diseños de pulverizadores es crucial para la fruticultura moderna. Estos diseños de pulverizadores deberían minimizar o evitar todas las deficiencias de los pulverizadores tradicionales. Esta investigación tuvo como objetivo crear nuevos métodos para evaluar

pulverizadores en la fruticultura y comparar la eficiencia de aplicación de pulverizadores de flujo transversal con ventiladores tangenciales y un sistema hidroneumático tradicional. Los resultados de este estudio demostraron que el pulverizador de flujo transversal con ventiladores tangenciales funciona mejor en comparación con el sistema hidroneumático tradicional.

(Castro Vergaray, 2020), en su tesis “Diseño de un Pulverizador para la aplicación fitosanitaria en los cultivos de uva de la empresa Full Maquinarias S.A”. Para determinar las necesidades de diseño, el proceso comenzó con entrevistas al personal de la empresa. Se realizó una búsqueda simultánea de información relevante y estándares tecnológicos. Después se utilizó una matriz de criterios ponderados para extraer la mejor idea de entre los otros cuatro conceptos elegidos. A continuación, se llevó a cabo el proceso de diseño de la configuración utilizando también una matriz de ponderaciones. Un pulverizador de tipo neumático acabó siendo la mejor idea. El material del chasis (acero ASTM A36) se eligió mediante diseño paramétrico, y su grosor de 6 mm produjo una tensión Von Mises de 97 MPa con factores de seguridad de carga estática de 2,576 y de fatiga de 2,43. Por último, pero no por ello menos importante, el coste total del equipo es de 46.492,71 dólares, el análisis económico demuestra que el diseño sugerido puede satisfacer las demandas de la empresa y proporcionará beneficios financieros con un VAN de 397.145,54 dólares, una TIR del 21% y un ROI del 35,671%.

(Yang Yanqiang, et al.,2022), en su artículo “Diseño y Experimento de Pulverizador de Fertilizante Líquido Remolcado” publicado en la Sociedad China de Maquinaria Agrícola (Traducido del inglés). Se estableció un modelo teórico de la operación de aspersion, se diseñaron y calcularon los parámetros clave como el desplazamiento de la bomba de vacío, la estructura del tanque y el caudal de salida de la boquilla. Se simularon y analizaron factores clave como la forma del deflector de dispersión, la orientación del deflector de dispersión, la forma de la boquilla y la velocidad de flujo de la salida de la boquilla. El análisis mostró que se puede lograr el efecto de pulverización ideal seleccionando un deflector de dispersión en forma de abanico, un ángulo positivo entre el deflector de dispersión y el plano horizontal, una boquilla

circular con una velocidad de salida de aproximadamente 13 m/s. Se concluyó que cuando la velocidad de desplazamiento era de 1.38 m/s, el ángulo incluido entre el deflector de dispersión y la horizontal era de 35°, la longitud del eje longitudinal del deflector de dispersión era de 0.32 m, el caudal de salida era de 13 m/s y la altura de la boquilla era de 1 m. El ancho de pulverización de prueba fue de 11 m, el espesor medio del suelo fue de 0.00165 m y el coeficiente de variación de la uniformidad de pulverización CV fue del 34,86%.

2.1. Fumigadoras agrícolas de arrastre

El pulverizador hidráulico está acoplado a un tractor para operar en extensas regiones agrícolas, lo que pone en evidencia la complejidad de cada uno de sus componentes:

- Tanque pulverizador.
- Bomba.
- Sistema de filtrado.
- Manómetro.
- Sistema de mando.
- Boquillas.

(AgroSpray, 2022), Existen dos tipos de bombas que se adaptan a las necesidades de cada usuario: centrífugas y de pistón. El primero recoge alto caudal con baja presión, mientras que el segundo proporciona alta presión con bajo caudal. Los mejores tanques para este dispositivo están hechos de plástico para evitar la contaminación, aunque también pueden ser galvanizados o de fibra de vidrio con boca ancha y filtro y tapa cerrada, lo que facilita el llenado de la mezcla. (IMPAC, 2018, p. 8), menciona que se utilizan fundamentalmente sobre cultivos de tamaño bajo (cereales, leguminosas, hortícolas, etc.), así como aplicaciones sobre la superficie del suelo para el control de malezas está diseñado para trabajos con pistolas, pitones y barras múltiples con posibilidad de instalar sobre camionetas o carros de arrastre.

2.2. Partes principales del equipo pulverizador de arrastre

2.2.1. Estanque principal

(Inostroza J, et al., 2011), es el depósito donde se almacena la solución diluida del agroquímico que se desea aplicar. Estos depósitos varían de tamaños y formas pueden ser de metal, fibra de vidrio o de polipropileno, siendo este último material el más utilizado porque no se corroe ni se degrada y no deja residuos en las paredes.

2.2.2. Agitadores.

(Inostroza J, et al., 2011), los agitadores desempeñan la función de mantener una mezcla constante entre el producto y el agua. Esto se logra mediante el uso de una bomba para impulsar el agua a través de las boquillas, generando pequeñas gotas que se dispersan sobre el terreno o las plantas. Gracias a este proceso, se logra mantener la uniformidad y homogeneidad del líquido.

2.2.3. Bomba

(Inostroza J, et al., 2011), La bomba, que puede ser considerada como el componente principal de la máquina, cumple la función de succionar el líquido del depósito y expulsarlo hacia las boquillas de pulverización a una presión específica. Esto provoca la fragmentación del líquido en gotas de diferentes tamaños. Actualmente existen diversos tipos de bombas disponibles, como las de pistón, las de pistón-membrana, las de membrana, las de rodillo y las de engranaje.

Tabla 1.

Recomendación de uso según características de las bombas.

Características	Pistón	Diafragma	Rodillos	Centrifuga
Formulaciones Plaguicidas	EC, SP, WP	EC, SP, SC, WP	EC, SC	EC, SC
Duración	Larga	Larga	Media	Media
Mantenimiento	Fácil	Fácil	Fácil	Difícil
Presión bar	1,5 a 60	0,7 a 7,0	0,7 a 7,0	0,25 a 0,45
Caudal L/min	10 a 250	10 a 40	30 a 125	20 a 450
Rpm	250 a 600	500 a 800	300 a 1750	1200 a 3500
Potencia requerida HP	1 a 30	3 a 5	0,5 a 10	0,25 a 6

Fuente: *Uso de equipos pulverizadores (Inostroza J, et al., 2011).*

2.2.4. Válvulas reguladoras de presión

(Inostroza J, et al., 2011), se trata de una válvula de retorno que permite que el líquido fluya de regreso al depósito según la presión presente en el circuito. Esta válvula permite la protección de las tuberías y de la bomba contra el exceso de presión. Además, influye indirectamente en la cantidad de agroquímico aplicado ya que controla la presión y el tamaño de las gotas. Existen diferentes tipos de válvulas de retorno, como las de descarga, diafragma, de alivio y de resortes.

2.2.5. Manómetro

(Inostroza J, et al., 2011), este dispositivo tiene la función de mostrar la presión de trabajo del equipo, lo cual es fundamental para lograr una aplicación adecuada. Se encuentra ubicado en la tubería que impulsa el líquido desde la bomba, y su propósito principal es indicar la presión del líquido en ese punto específico. El correcto funcionamiento de este dispositivo es crucial para lograr una dosificación precisa de la máquina, ya que una presión incorrecta puede resultar en una dosis de producto distinta a la calculada y un tamaño de gota diferente al deseado.

2.2.6. Filtros

(Inostroza J, et al., 2011), el propósito de este componente es detectar y eliminar todas las partículas sólidas que tengan un tamaño mayor que el orificio de salida de las boquillas a utilizar. Por lo general, estos filtros cuentan con una malla de tejido metálico. Si los filtros no cumplen eficazmente su función, pueden ocasionar obstrucciones parciales o totales en las boquillas, lo cual dará lugar a una distribución irregular del producto sobre el terreno.

2.2.7. Boquillas

(Inostroza J, et al., 2011), el control del tamaño de las gotas es un factor crucial que influye en la calidad de la aplicación. En cultivos con poca densidad de follaje, es recomendable utilizar un volumen de agua de aproximadamente

200 a 300 litros por hectárea. Por otro lado, en cultivos con un follaje denso, se sugiere un volumen de agua entre 300 y 400 litros por hectárea. Las boquillas están disponibles en diversos materiales, como acero inoxidable, latón, cerámica y kematal (polyacetel).

Tabla 2.

Volúmenes de aplicación (L/ha) con boquillas espaciadas 0.5 m.

Caudal boquilla [L/min]	Velocidad real de avance [km/h]								
	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,40	120	96	80	69	60	53	48	44	40
0,60	180	144	120	103	90	80	72	65	60
0,80	240	192	160	137	120	107	96	87	80
1,20	360	288	240	206	180	160	144	131	120
1,60	480	384	320	274	240	213	192	175	160
2,00	600	480	400	343	300	267	240	218	200
2,40	720	576	480	411	360	320	288	262	240
3,20	960	768	640	549	480	427	384	349	320

Fuente: *Buenas prácticas agrícolas en la aplicación de los fitosanitarios (Márquez L, s.f, p.88).*

2.3. Altura de la barra de pulverización

(Inostroza J, et al., 2011), para lograr una cobertura óptima, se necesita ajustar la barra pulverizadora de manera que, al aplicar el líquido, el abanico producido por las boquillas se superponga sobre toda la superficie del cultivo. La altura de la barra dependerá del tipo de boquilla instalada. Por ejemplo, si se utiliza una boquilla con un ángulo de 110°, se recomienda una altura de 50 a 60 centímetros. En el caso de boquillas con un ángulo de 80°, la altura recomendada será de 70 a 90 centímetros. Cuando la pulverización se realiza sobre una superficie irregular, es necesario elevar la altura de la barra pulverizadora para lograr una superposición adecuada del abanico de las boquillas. Si la altura de la barra es mayor de lo necesario, aumenta el riesgo de deriva del líquido pulverizado. Por otro lado, si la altura es demasiado baja, se reduce la superposición del líquido aplicado, lo que puede resultar en zonas sin tratar. Por lo tanto, encontrar la altura adecuada es fundamental para lograr una aplicación efectiva y uniforme.

2.4. Presión de trabajo

(Inostroza J, et al., 2011), la presión de trabajo afecta tanto el tamaño de las gotas como el caudal. Cuando la presión es mayor, el caudal aumenta y el tamaño de las gotas disminuye. En cambio, si la presión es demasiado baja, se generan gotas de mayor tamaño.

2.5. Regulación del equipo pulverizador.

(Inostroza J, et al., 2011), el éxito del tratamiento de cultivos con productos agroquímicos depende de tres parámetros fundamentales: la velocidad de avance, el tipo de boquilla utilizada y la presión nominal de trabajo. Por lo tanto, es crucial realizar la aplicación con alta precisión, teniendo en cuenta estos factores.

2.6. Diseño del sistema hidráulico de aplicación

2.6.1. Cobertura teórica de la boquilla:

Para calcular el número adecuado de boquillas a colocar en el brazo pulverizador, es fundamental considerar tanto la cobertura teórica como la cobertura real que proporcionan sobre el cultivo.

Con la ecuación 1 podemos encontrar la cobertura teórica de la boquilla.

$$W = 2 * D_T * \tan\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (1)$$

Dónde:

W: Cobertura de la boquilla

D_T : Distancia desde la boquilla hasta el objetivo

β : Angulo de aspersion de la boquilla

2.6.2. Caudal volumétrico:

El caudal requerido es aquel que se necesita para aplicar el agroquímico en el área de cultivo a tratar de manera uniforme. Este caudal depende tanto del volumen del agroquímico seleccionado para aplicar como del ancho de cobertura proporcionado por el conjunto de boquillas utilizadas.

Con la ecuación 2 podemos encontrar el caudal volumétrico.

$$Q_v = \frac{W * V_T * V_{apl}}{600} \quad (2)$$

Dónde:

Q_v : Caudal volumétrico. (l/min)

V_T : Velocidad de trabajo (km/h)

V_{apl} : Volumen de aplicación (l/ha).

2.6.3. Velocidad del fluido:

$$v = \frac{Q_v}{A} \quad (3)$$

Dónde:

Q_v : Caudal volumétrico.

A: Área transversal de la manguera.

2.6.4. Rugosidad relativa:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D} \quad (4)$$

Dónde:

ε_r : Rugosidad relativa.

ε : Rugosidad absoluta.

D: Diámetro de la manguera.

2.6.5. Numero de Reynolds:

Nos indica si el tipo de régimen que puede ser laminar, de transición y turbulento.

$$Re = \frac{v\rho D}{\mu} \quad (5)$$

Dónde:

Re: Número de Reynolds (adimensional).

v: Velocidad del fluido.

ρ : Densidad del plaguicida.

D: Diámetro interior de la manguera.

μ : Viscosidad del plaguicida

2.6.6. Coeficiente de fricción:

Para determinar el coeficiente de fricción, utilizamos la ecuación de Colebrook-White (1939) debido a que el flujo del fluido se encuentra en un régimen turbulento.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon r}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (6)$$

Dónde:

f: Coeficiente de fricción.

ϵr : Rugosidad relativa.

Re: Número de Reynolds (adimensional).

2.6.7. Pérdidas de carga por fricción:

Calculamos las pérdidas por fricción con la ecuación de Darcy-Weisbach (Mott, 2006).

$$h_f = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (7)$$

Dónde:

h_f : Pérdida de carga debida a la fricción.

f : Coeficiente fricción.

L : Longitud de la manguera.

D : Diámetro de la manguera.

v : Velocidad del fluido.

g : Aceleración de la gravedad.

2.6.8. Pérdidas de carga secundarias:

Las pérdidas de carga secundarias o pérdidas localizadas ocurren debido a la presencia de accesorios como conectores, válvulas, entre otros, en el circuito hidráulico. La ecuación que describe estas pérdidas es proporcionada por Mott (2006).

Calculamos las pérdidas por fricción con la ecuación de Darcy-Weisbach (Mott, 2006).

$$h_v = f \left(\frac{\sum L_{eq}}{D} \right) \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (8)$$

Dónde:

h_v : Pérdida de carga localizada.

L_{eq} : Longitud equivalente de los accesorios.

D : Diámetro interno de la manguera.

v : Velocidad del fluido.

g : Aceleración de la gravedad.

2.6.9. Selección de la bomba:

Después de calcular las pérdidas de carga, se procede a determinar el trabajo externo necesario para el sistema, lo que nos permite seleccionar la bomba adecuada. Para este propósito, aplicamos el principio de Bernoulli, según lo descrito por Mott (2006).

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\lambda} + z_1 + W = h_T + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2 \quad (9)$$

Dónde:

v : Velocidad del fluido.

γ : Peso específico del fluido ($\gamma = \rho g$).

P : Presión del fluido.

h_T : Perdidas de carga.

W : Trabajo externo que se le suministra al fluido.

g : aceleración de la gravedad.

z : Altura a la que se encuentra el fluido.

Despejando W de la ecuación 9 se obtiene:

$$w = \Delta z + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{\Delta P_2}{\gamma} + h_T \quad (10)$$

2.6.10. Potencia teórica de la bomba:

Habiendo definido el trabajo externo se calcula la potencia teórica:

$$P_T = W * \gamma * Q_v \quad (11)$$

Dónde:

P_T : Potencia teórica de la bomba.

W : Trabajo externo que se le suministra al fluido.

γ : Peso específico del fluido.

Q_v : Caudal volumétrico.

2.6.11. Potencia real de la bomba:

Habiendo definido el trabajo externo se calcula la potencia teórica:

$$P_r = \frac{P_T}{n} \quad (12)$$

Dónde:

Pr: Potencia real de la bomba

PT: Potencia teórica de la bomba

n: Eficiencia de la bomba

2.7. Diseño para análisis estático

Se realizará primero el diagrama de cuerpo libre, para lo cual se identificó las fuerzas presentes en el chasis con la finalidad de encontrar las reacciones, para ello aemos uso de las ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum M_A = 0$$

Seguidamente se realizará el diagrama de esfuerzo cortante y momento flector, para hallar estos diagramas se analizará por tramos, hemos dividido nuestro chasis en nueve tramos para facilitar los cálculos, se hace uso de las ecuaciones de equilibrio, para hallar las ecuaciones de esfuerzo cortante y momento flector en cada tramo.

Luego se hará el cálculo de las inercial de cada perfil en nuestro caso tenemos 2 tipos, perfil en C y perfil cuadrado.

2.7.1. Inercia:

Para hallar la inercia total se dividió en tres elementos, y se calculó la inercia en cada elemento:

$$I_1 = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (14)$$

Dónde:

I: Inercia

b: Base.

h: Altura.

2.7.2. Esfuerzo por flexión:

$$\sigma_x = \frac{M \cdot Y}{I} \quad (15)$$

Dónde:

σ_x : Esfuerzo por flexión

M: Momento flector

Y: Distancia de eje neutro hacia borde externo

I: Inercia

2.7.3. Esfuerzo cortante:

$$\tau_{xy} = \frac{V \cdot Q}{I \cdot e} \quad (16)$$

Dónde:

τ_{xy} : Esfuerzo cortante

V: Fuerza cortante

Q: Primer momento del área transversal con respecto a su eje neutro

I: Inercia

e: Espesor del perfil

2.7.4. Primer momento de área:

$$Q = \sum A * d \quad (17)$$

Dónde:

A: área del elemento sobre el eje neutro.

d: distancia desde el eje neutro al centroide

2.7.5. Esfuerzos de Von mises:

$$\sigma' = \left(\sigma_x^2 + 3T_{xy}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

2.7.6. Factor de seguridad estática:

$$\sigma' = \frac{S_y}{n} \quad (19)$$

Dónde:

n: factor de seguridad.

Sy: resistencia a la fluencia del material.

2.7.7. Resistencia a la fatiga:

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e \quad (20)$$

Dónde:

Se: Límite de resistencia a la fatiga en una zona crítica.

Ka: Factor de modificación de la condición de la superficie.

Kb: Factor de modificación del tamaño.

Kc: Factor de modificación de la carga.

Kd: Factor de modificación de la temperatura.

Ke: Factor de confiabilidad.

Ka: Factor de modificación de efectos varios.

S'e: Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

2.8. Almacenamiento de energía con baterías

(Castro J, et al., 2019), el almacenamiento de energía con baterías (BES) electroquímicas resalta por su alta eficiencia en comparación con otros tipos de almacenamiento. Es especialmente útil para almacenamientos a corto plazo que requieren ciclos de carga y descarga frecuentes. Su funcionamiento se basa en recibir la electricidad directamente de fuentes renovables, como paneles solares o de la red eléctrica, almacenando esta energía en forma de corriente.

Baterías de litio: estas baterías requieren menos espacio en comparación con otras y no necesitan mantenimiento. Además, se caracterizan por tener tiempos de carga más rápidos y la capacidad de descargarse totalmente sin dañar la batería (Alvarado L., 2018).

Los aspectos más importantes en las baterías son la tensión nominal de trabajo, la cual debe coincidir con la tensión de la instalación; su capacidad de almacenamiento, medida en Ah (amperios-hora); y la intensidad de trabajo, que también debe ajustarse a los valores de corriente de la instalación. También es importante considerar la profundidad de descarga, ya que representa el porcentaje máximo de descarga de una batería sin afectar su rendimiento, los valores más comunes de profundidad de descarga van de 0,6 a 0,7. Es importante mencionar que la batería disminuye su vida útil cuando aumenta su profundidad de descarga (Alvarado L., 2018).

2.8.1. Dimensionado del banco de baterías

Para el dimensionamiento del banco de baterías se utilizará la ecuación 6, cabe resaltar que en esta investigación se tomara un acomodo matemático

para poder determinar la autonomía en horas ya que viene dada en días lo cual será detallado en la tabla 3.

Tabla 3.

Conversión de autonomía (N_D) en días a (N_D) en horas.

Días	Horas
1	24
0.5	12
0.25	6
0.167	4

Fuente: *Elaboración Propia*

Después de aclarar los nuevos valores a incluir en la autonomía (N_D) en la ecuación 6, la cual nos indica la capacidad del banco de baterías.

$$C_T = \frac{N_D \times E_{elec}}{P_{D_{max}} \times V_t} \quad (21)$$

Dónde:

C_T : Capacidad mínima del banco de baterías (A.h).

N_D : Autonomía (Hrs).

E_{elec} : Energía eléctrica total media diaria (W.h/día).

$P_{D_{max}}$: Profundidad máxima de descarga (%).

V_T : Tensión de trabajo (V)

2.9. Variador de frecuencia

El variador de frecuencia permite controlar y regular la velocidad de operación de los motores eléctricos de inducción. Este control se logra mediante la manipulación de la frecuencia. Siendo un componente electrónico esencial para el funcionamiento adecuado de los motores eléctricos (Franco C., 2014).

Figura 1.

Variador de frecuencia Power Flex.



Fuente. Recuperado de (Automaq, s.f).

2.10. Panel solar

Es un dispositivo que convierte la luz solar en electricidad utilizando el efecto fotovoltaico. Está compuesto por células solares, que son dispositivos semiconductores esenciales en el proceso de conversión de energía solar en energía eléctrica. Las células solares están hechas típicamente de silicio, que es un material semiconductor. Estas células absorben la radiación solar y generan corriente eléctrica cuando los fotones de luz impactan sobre ellas, liberando electrones (Celsia, s.f).

2.11. Inversor DC/AC

La tarea del inversor consiste en producir corriente alterna a partir de una fuente de corriente continua. Este proceso se lleva a cabo principalmente mediante el control de dispositivos electrónicos de potencia que funcionan como interruptores, alternando entre estados de corte y saturación en una secuencia adecuada para obtener tensiones de salida simétricas y equilibradas (Torres P., et al.,2008).

Figura 2.

Inversor DC/AC – 3000W marca Surge.



Fuente. Recuperado de (Automaq, s.f).

2.12. Controlador de carga

El objetivo principal es llevar a cabo realizar una carga óptima para la batería, asegurando una carga completa y evitando tanto la sobrecarga como la descarga excesiva (Nasimba T., et al., 2017).

Figura 3.

Controlador de carga solar para baterías.



Fuente. Recuperado de (Ld Solar, s.f).

2.13. Evaluación Económica

Valor actual neto (VAN): Se utiliza para la valoración de distintas opciones de inversión. Ya que calculando el VAN de distintas inversiones vamos a conocer con cuál de ellas vamos a obtener una mayor ganancia.

$$VAN = -D_0 + \frac{FC_1}{(1+k)^1} + \frac{FC_2}{(1+k)^2} + \frac{FC_3}{(1+k)^3} + \dots + \frac{FC_j}{(1+k)^j} + \dots + \frac{FC_n}{(1+k)^n} > 0 \quad (22)$$

Dónde:

- ✓ **Ft:** son los flujos de dinero en cada periodo t.
- ✓ **Io:** es la inversión realiza en el momento inicial (t= 0).
- ✓ **n:** es el número de periodos de tiempo.
- ✓ **k:** es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión

Tasa de interés de retorno (TIR): Es una medida utilizada en la evaluación de proyectos de inversión para comprobar la viabilidad de una inversión. Permite comparar inversiones entre ellas. Cuanto mayor sea la TIR mejor será la inversión.

$$VAN = -D_0 + \frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n} = 0 \quad (23)$$

Dónde:

- ✓ **Ft:** son los flujos de dinero en cada periodo t.
- ✓ **Io:** es la inversión realiza en el momento inicial (t= 0).
- ✓ **n:** es el número de periodos de tiempo.
- ✓ **r:** es la tasa de interés de retorno (TIR).

Periodo de recuperación de inversión (PRI): es un indicador que mide en cuánto tiempo se recuperará el total de la inversión a valor presente. Puede revelarnos con precisión, en años, meses y días, la fecha en la cual será cubierta la inversión inicial.

$$PRI = a + \frac{b-c}{d} \quad (24)$$

Dónde:

- ✓ **a** = Año inmediato anterior en que se recupera la inversión.
- ✓ **b** = Inversión Inicial.
- ✓ **c** = Flujo de efectivo acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión.
- ✓ **d** = Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación:

El tipo de investigación fue aplicada debido a que se utilizó diferentes teorías ya existentes.

Diseño de investigación:

El diseño de la investigación fue no experimental, debido a que no hubo manipulación de las variables.

3.2. Variables y operacionalización

Variables independientes

- Autonomía del equipo. N_D (Hrs)
- Caudal volumétrico. Q_v (L/min)

Variable dependiente

- Capacidad de banco de baterías. C_T (A.h)
- Volumen de aplicación. V_{apl} (L/ha)
- Velocidad de trabajo. V_t (Km/h)
- Anchura de trabajo. A_t (m)

Tabla 4.

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición	
Independiente	Autonomía del equipo	La autonomía es el tiempo que un equipo con una fuente de alimentación independiente puede permanecer activo, hasta el agotamiento de la fuente de alimentación.	Horas de duración de las baterías	Horas de duración	De razón

	Caudal volumétrico	Caudal total del conjunto de boquillas aplicado al cultivo	Área fumigada o litros por minuto	Metros cuadrados o litros por minuto	De razón
Dependiente	Capacidad de banco de baterías	La capacidad del banco de baterías es la cantidad de energía acumulada en un conjunto de baterías conectadas entre sí en paralelo o en serie.	Cantidad de energía acumulada por el banco de baterías	Potencia acumulada por el banco en kilowatt	De razón
	Volumen de aplicación	El volumen de aplicación es un parámetro que está relacionado con el blanco a ser tratado, con la cobertura necesaria y con las características del fitosanitario.	Volumen total cargado en el equipo	Metros cúbicos del tanque	De razón
	Velocidad de trabajo	Es la velocidad del pulverizador en campo para la correcta aplicación de los agroquímicos.	Velocidad de movimiento de desplazamiento del equipo cargado	Kilómetros por hora	De Intervalo
	Anchura de trabajo	Definida por la proporción del número de aspersores y la barra, las cuales deben corresponder a las anchuras habituales de las sembradoras en línea, los cultivadores, etc.	Número de aspersores por la longitud de la barra de esparcimiento	Aspersores por metro	De razón

Fuente. *Elaboración propia.*

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

Población: Máquinas pulverizadoras de agroquímicos de la empresa AFA GROUP.

Muestra: Máquina pulverizadora de agroquímicos energizada eléctricamente que se diseñó para la empresa AFA GROUP.

Muestreo: Se utilizó un muestreo intencional por conveniencia debido a que se eligió la población.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas e instrumentos utilizados en la presente investigación fueron las siguientes:

Tabla 5.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica	Instrumento	Validación
Entrevista	Guía de entrevista	Asesor especialista
Análisis documentario	Ficha de registro	Asesor especialista
Observación	Hojas de registro	Asesor especialista

Fuente. *Elaboración propia.*

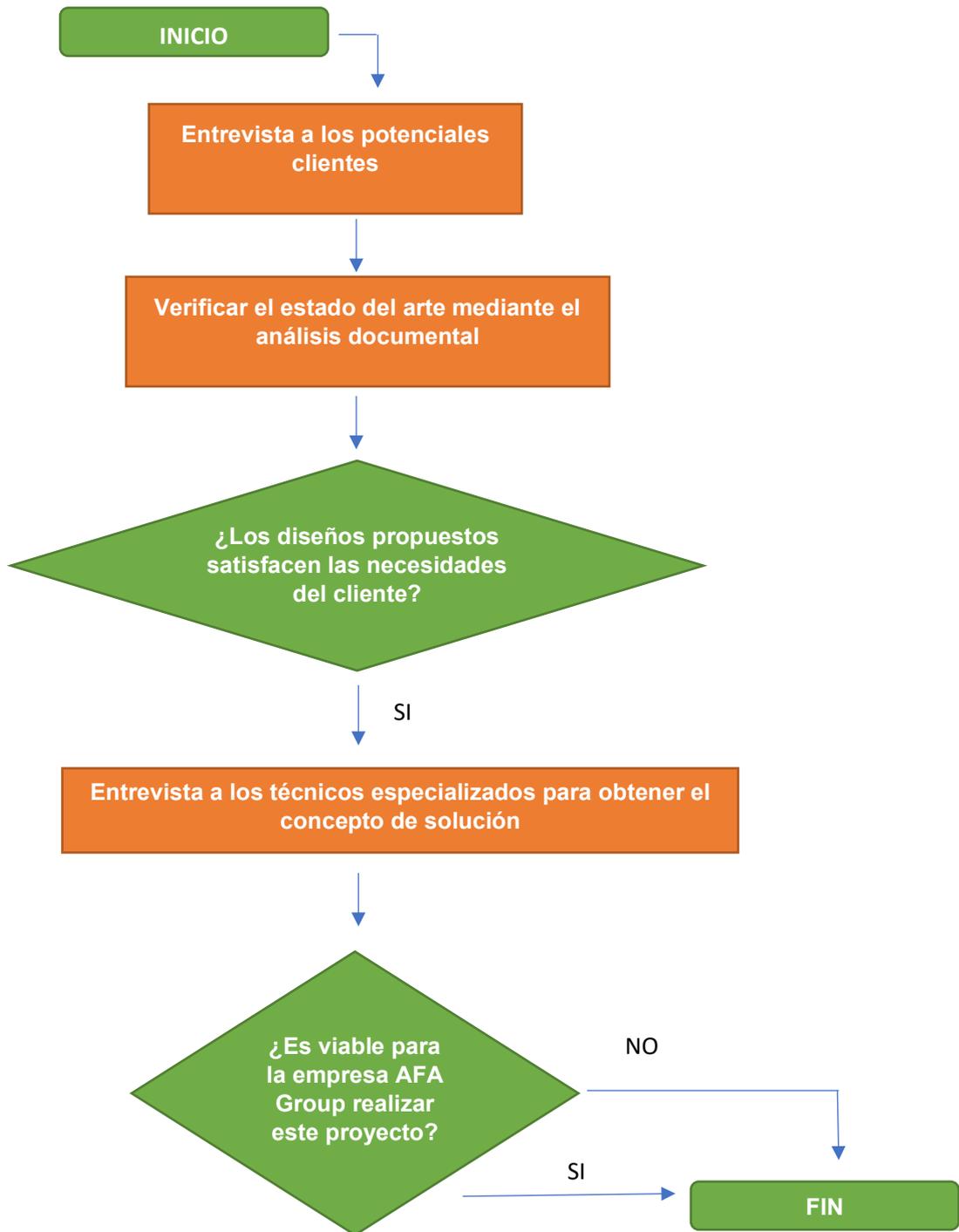
3.5. Procedimientos

El presente trabajo de investigación se desarrollo de la siguiente manera:

Se realizo una entrevista a los potenciales clientes de AFA GROUP para obtener las necesidades de diseño.

Se verifico el estado del arte mediante el análisis documental de los planos, manuales, catálogos de las maquinas ya existentes de esta manera se pudo saber en qué situación se encontraba el diseño en la empresa de esta manera se obtuvo el diseño conceptual.

Se realizo una entrevista a los técnicos especializados de la empresa AFA GROUP para obtener el concepto de solución.



3.6. Método de análisis de datos

El método de análisis de datos presentado en este proyecto de investigación empezó con la fase de investigación preliminar, basada en antecedentes de alta confiabilidad como tesis y artículos los cuales aportaron la manera de solucionar nuestra realidad problemática, seguidamente se llevó a cabo la elaboración de entrevistas en las cuales se pudo determinar todas las necesidades y requerimientos del cliente, una vez obtenida la información fue procesada y complementada con la información obtenida en línea por otras investigaciones de pulverizadores energizados eléctricamente o similares. Posteriormente se elaboraron los conceptos de diseño a partir de la información obtenida en línea seguidamente se elaboró una matriz de selección de criterios ponderados para seleccionar el concepto óptimo de diseño el cual permitió dar una calificación a cada concepto y en base a sus características y necesidades del cliente se eligió el criterio óptimo así se validó el diseño mediante el uso del software ANSYS, para así simular la estructura de la máquina pulverizadora y obtener los datos del análisis de esfuerzo y factor de seguridad.

3.7. Aspectos éticos

Para la investigación del presente proyecto se respetó la autoría de los investigadores referenciando y citando la información encontrada, de esta manera se obtuvo el informe de originalidad correspondiente mediante el software turnitin.

Se aplicó el Código de Ética en investigación de la UCV el cual describe los principios éticos para el uso de la información que se puede obtener de investigaciones anteriores, así como una política antiplagio a tener en cuenta al realizar investigaciones (UCV, 2017).

IV. RESULTADOS

Objetivo general de diseñar un pulverizador de agroquímicos para parcelas estrechas de 80 Lt/min energizado eléctricamente en la empresa AFA GROUP.

4.1. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.

Los requerimientos de diseño se obtuvieron mediante la aplicación de entrevistas a los principales representantes de cada área como Ingeniería, Producción y Jefatura de Maquinas; finalmente se interpretó las respuestas para conocer los requerimientos de diseño de la maquina pulverizadora de agroquímicos para parcelas estrechas de 80Lt/min energizado eléctricamente. El resumen de las entrevistas se consolida en la tabla 6.

Llegando a determinar los siguientes requerimientos de diseño:

Columna 2: Ancho de calle del cultivo.

El ancho de calle del cultivo según las entrevistas aplicadas es de 1.8 metros como mínimo y como máximo 2 metros, lo que nos indica que las dimensiones que debe tener el ancho de la máquina.

Columna 3: Altura mínima y máxima del cultivo.

De acuerdo a las entrevistas aplicadas, es necesario que la maquina tenga una configuración regulable en las barras pulverizadoras, pues según el tipo de cultivo a Dónde ingrese a realizar la aplicación de agroquímicos se presentara variaciones de altura, por ello es determinante tener un sistema regulable de la altura de las barras pulverizadoras con un mínimo de 0.5 metros y un máximo 1.6 metros.

Columna 4: Presión de trabajo

Los parámetros de presión de trabajo según los entrevistados van desde 5 a 10 bar.

Columna 5: Caudal de trabajo

Las condiciones de operación del caudal de la bomba deben estar en 80 Lt/min, debiendo cumplir con una descarga promedio de 16500 Lt durante una jornada de 4 horas.

Columna 6: Horas de operación

El tiempo de operación de las pulverizadoras de agroquímicos según los entrevistados van de 4 a 8 horas.

Columna 7: Velocidad de avance del tractor

De acuerdo a las entrevistas realizadas la velocidad del tractor fluctúa de 5 a 10 Km/h.

Columna 8: Tipo de cultivos Dónde la maquina se desempeñaría

Se estableció mediante las entrevistas aplicadas al personal de la empresa AFA GROUP que la maquina se desempeñaría eficientemente en los cultivos a ras de suelo (rastreros) como cebolla, tomate, papa, pimientos, sandias, hortalizas, alcachofa, paprica.

Columna 9: Tipo de boquillas

Realizadas las entrevistas se determinó que el tipo de boquillas usadas en esta aplicación son de cono vacío y cono lleno.

Columna 10: Fallas en la Estructura

De acuerdo a las entrevistas aplicadas las fallas con mayor incidencia fueron Fisuras superficiales a nivel estructural en uniones soldadas, Rajaduras en chasis, cuadro posterior, barras y aguilones.

Tabla 6.

Resumen de entrevistas para determinar las necesidades de diseño del pulverizador de agroquímicos para parcelas estrechas de 80 Lt/min energizado eléctricamente en la empresa AFA GROUP

Preguntas	Ancho de calle	Altura mínima y máxima del cultivo	Presión de trabajo	Caudal de trabajo	Horas de trabajo	Velocidad de Avance	Tipos de cultivo	Tipo de Boquilla	Fallas en Estructura
Blas Estrada Elmer Milton	Min: 1.8 Max: 2 m	Min: 0.5 m Max: 1.6 m	4 a 10 bar	80 Lt/min con promedio de 16500 Lt de descarga en jornada de 4 H	4 a 8 horas	4 a 10 Km/h	Cebolla, tomate, papa, pimientos, Hortalizas	Cono Lleno Cono Vacío	Rajaduras
Julca Verastegui Luis	2 m	Min: 0.5 m Max: 1.6 m	4 a 6 bar	Plena carga 80 Lt/min Minimo: 68.75 Lt/min	4 a 8 horas	6 a 10 Km/h	Cebolla, tomate, papa, pimientos, sandia.	Cono Vacío Cono Lleno	Fisuras superficiales a nivel estructural en uniones soldadas
Olaya Peña José Luis	Min: 1.8 Max: 2 m	Min: 0.5 m Max: 1.6 m	5 a 10 bar	80 Lt/min con promedio de 16500 Lt de descarga en jornada de 4 H	4 a 8 horas	6 a 10 Km/h	Cebolla, tomate, hortalizas, pimiento, paprica	Cono Vacío Cono Lleno	Rajaduras en chasis, cuadro posterior y barras
Randy Urquiaga Castillo	Min: 1.8 Max: 2 m	Min: 0.4 m Max: 1.6 m	5 a 10 bar	80 Lt/min con promedio de 16500 Lt de descarga en jornada de 4 H	4 a 8 horas	6 a 10 Km/h	Pimiento, alcachofa, papa	Cono Lleno	Aguilones

Fuente. *Elaboración propia.*

4.1.1. Especificaciones de ingeniería

Luego de determinar las necesidades de diseño de la empresa AFA GROUP para el diseño del pulverizador de agroquímicos de 80 Lt/min energizado eléctricamente, se obtuvo una tabla de especificaciones de ingeniería identificando subfunciones de la máquina, la cual servirá como base para la toma de decisiones del diseño del pulverizador.

Tabla 7.

Especificaciones de ingeniería para el diseño del pulverizador de agroquímicos para parcelas estrechas de 80 Lt/min energizado eléctricamente en la empresa AFA GROUP

Subfunción	Característica de ingeniería	Unidad	Límites
Adecuar el ancho de la máquina de acuerdo al espacio disponible	Dimensiones	Metros	Ancho: $1.8 \leq X \leq 2$
Almacenar el agua de pulverización.	Volumen	Litros	2000 Lt
Generar flujo de agua en las salidas del pulverizador	Caudal	Litros por minuto	80 Lt/min
Generar presión en el agua	Presión	Bares	$5 \leq X \leq 10$
Regular la altura de la barra pulverizadora	Dimensiones	Metros	Altura: $0.5 \leq X \leq 1.6$

Fuente. *Elaboración propia.*

4.2. DISEÑO CONCEPTUAL

A continuación, se muestran 3 conceptos de diseño que representan posibles soluciones para satisfacer las necesidades de la empresa. Para cada concepto alternativo se detallan las características operativas correspondientes.

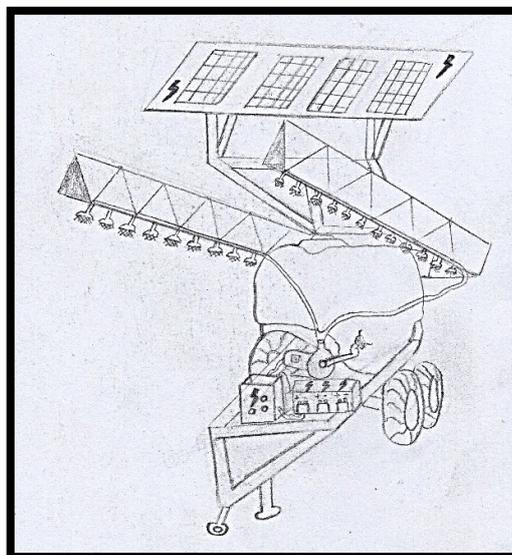
Concepto 1:

Este primer concepto es una variante del modelo “Advance 3000 AM 24” de la empresa brasileña “Jacto”, la cual resalta por tener un sistema que proporciona una mejor estabilidad para la máquina y la barra pulverizadora, a ello se suma el tanque de agroquímicos de gran capacidad, siendo otro factor importante de este modelo la reducción del tiempo para abrir y cerrar las barras pulverizadoras esto gracias al accionamiento hidráulico. Es así que inspirado en este modelo se logró generar un concepto que se adapte al propósito de solución de diseño, siendo una de ellas disminuir la contaminación ambiental, para lo cual se propone el uso de energía renovables mediante paneles solares, acumuladores de energía e inversores de corriente para proporcionar la energía necesaria para el funcionamiento de la etapa de pulverización (Jacto, s.f).

Su ventaja es la gran estabilidad que tiene la máquina, su gran cobertura para cultivos bajos y el uso de energía renovable. A su vez la desventaja es el peso de la máquina, la complejidad estructural de sus aguilones y la robustez del equipo.

Figura 4.

Concepto 1, basado en el modelo “Advance 3000 AM 24” de la empresa Jacto.



Fuente. *Elaboración propia.*

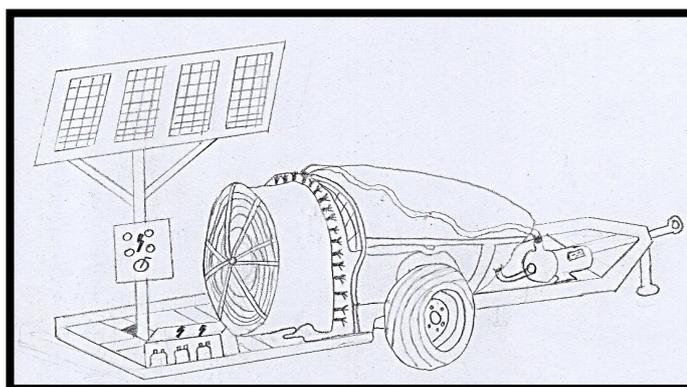
Concepto 2:

El segundo concepto tiene su base en el modelo “Arbus 1500 Diamond” de la empresa brasileña “Jacto”, el cual resalta por contar con un ventilador que produce un gran volumen de aire, consiguiendo una mayor cobertura y mejor penetración del agroquímico en la planta, además su diseño destaca por permitir insertar los neumáticos en los límites laterales del tanque, lo cual facilita la operación en cultivos de calles estrechas. Es así que teniendo como base este modelo se creó un nuevo concepto que permita un mayor control de cobertura y penetración en el cultivo, proponiendo la implementación de un ventilador eléctrico, ya que el control de sus rpm es de mayor precisión al incorporar un variador de frecuencia, lo cual permite generar un volumen de aire adecuado para distintos cultivos, este concepto busca aprovechar la energía solar disponible para la captación de energía y energizado de la etapa de pulverización (Jacto, s.f).

Su principal ventaja es su eficiencia de aplicación pues el ventilador genera que las gotas de agua se atomicen y lleguen más lejos, a su vez el aire ayuda a mover las hojas permitiendo mayor penetración del agroquímico, es adecuada para parcelas estrechas. Su desventaja es la gran potencia consumida por el ventilador para lograr una mayor cobertura de aplicación, presenta dificultad para adaptarse a diferentes tipos de cultivo y presenta pérdida por deriva en surcos lineales.

Figura 5.

Concepto 2, basado en el Pulverizador Arbus 1500 Diamond (Jacto)



Fuente. *Elaboración propia.*

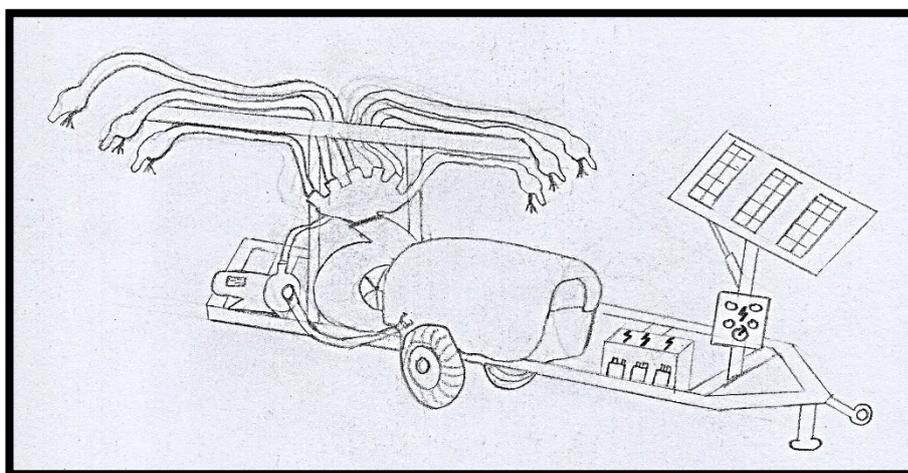
Concepto 3:

El tercer concepto fue inspirado en el modelo “Dúo Plus” de la empresa española “Teyme”, este modelo resalta por ser usado en el tratamiento focalizado de cultivos, en parcelas estrechas, pues su diseño permite adaptar la orientación de sus cañones al tipo de cultivo que se desea proteger, siendo de fácil maniobrabilidad frente obstáculos y cambios de fila. Teniendo como base este modelo se generó un nuevo concepto, que permitirá mejorar la cobertura lineal en los cultivos, por ello se propone prolongar los aguilonos, incorporar un ventilador eléctrico centrífugo que permitirá regular el flujo de aire de acuerdo al tipo de cultivo mediante un control eléctrico, finalmente se implementará un sistema de alimentación fotovoltaico para la etapa de pulverización de la máquina.

Su ventaja es que el flujo de aire y caudal generado es uniforme en cada fila gracias a la configuración de sus cañones, otra ventaja es la gran maniobrabilidad del equipo, se adapta a diferentes tipos de cultivo. Su desventaja es que el equipo no tiene una gran cobertura lineal en los surcos, por ello es utilizado para fumigación focalizada, del mismo modo presenta dificultad para su ensamblaje y un costo elevado de fabricación.

Figura 6.

Concepto 3, basado en el Nebulizador Dúo Plus (Teyme).



Fuente. *Elaboración propia.*

Tabla 8.*Matriz de selección ponderada de conceptos alternativos.*

Criterio	Importancia Peso (%)	Concepto 1		Concepto 2		Concepto 3	
		Valoración	Calificación ponderada	Valoración	Calificación ponderada	Valoración	Calificación ponderada
Eficiencia de aplicación	30%	4	1.20	2	0.6	3	0.9
Facilidad de fabricación	20%	3	0.6	3	0.6	3	0.6
Facilidad de ensamblaje	20%	2	0.4	3	0.6	3	0.6
Peso ligero	15%	3	0.45	3	0.45	3	0.45
Bajo costo	15%	3	0.45	4	0.6	3	0.45
Puntaje obtenido	100%		3.1		2.85		3
Posición			1°				

Fuente. *Elaboración Propia*

Clasificación	Valor
Insatisfactorio	0
Poco satisfecho	1
Satisfecho	2
Muy satisfecho	3
Complacido	4

4.3. DISEÑO DE CONFIGURACIÓN

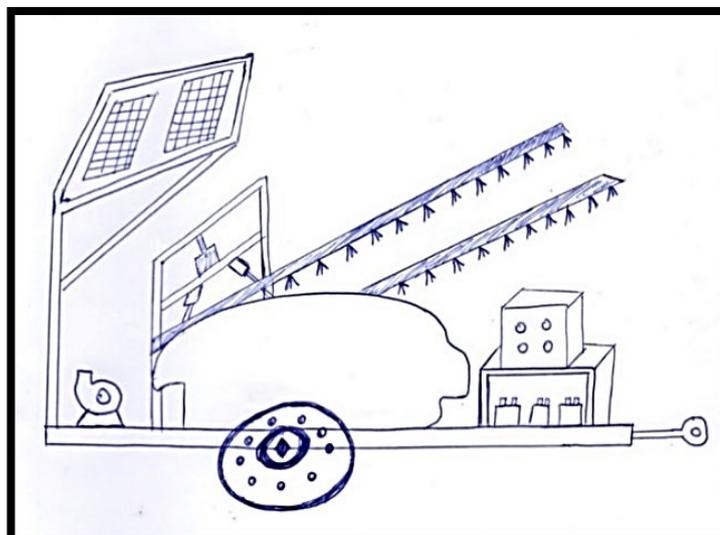
Se crearon 3 esquemas de configuración que facilitan la selección de la distribución adecuada de los componentes principales de la máquina. Luego, se identificó la opción más favorable mediante una matriz de selección ponderada para elegir el diseño de configuración apropiado.

Alternativa 1:

La primera alternativa tiene un tanque de polietileno de alta densidad, cuenta con boquillas de cerámica, tiene un circuito de cañería en acero inoxidable, el chasis es reforzado en acero estructural, las ruedas son de tipo agrícola de alta flotación y tipo balón, cuenta con una electrobomba centrífuga la cual impulsara el agua para la pulverización, el accionamiento de la etapa de pulverización es controlado por un circuito eléctrico, la captación de energía será por paneles solares monocristalinos, la acumulación de energía es mediante un banco de baterías, la barra pulverizadora será regulable en la altura, el avance del pulverizador se da por medio de un tractor agrícola.

Figura 7.

Alternativa de configuración 1.



Fuente. *Elaboración propia.*

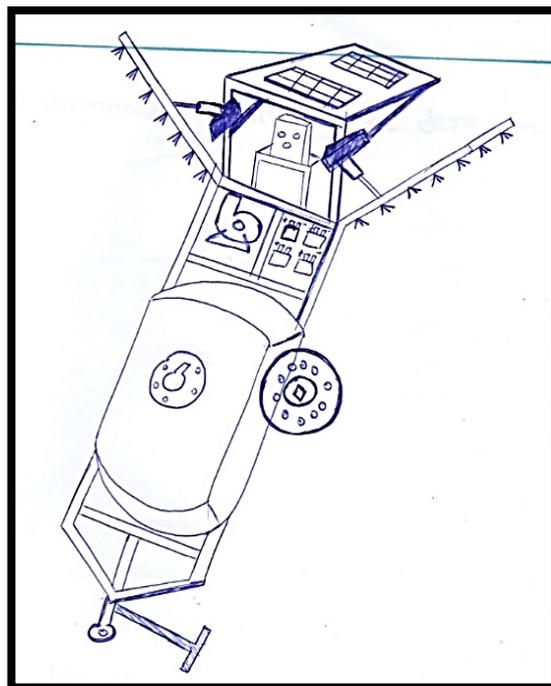
Alternativa 2:

La segunda alternativa, en su etapa de pulverización se encuentra gobernada por un variador de velocidad que controlara los rpm de la bomba centrífuga para lograr la pulverización adecuada de acuerdo al tipo de cultivo, las boquillas serán de tipo hueco para mayor alcance, cuenta con paneles solares de capa fina los cuales son más eficientes, el almacenamiento de energía será con banco de baterías tipo AGM el cual tiene 500 ciclos de vida útil con una descargan máxima de 60%, para el almacenamiento del agroquímico cuenta con un tanque de fibra de vidrio, la barra pulverizadora será de desplegable, el chasis es reforzado en acero estructural, el avance del equipo es mediante el uso de un tractor agrícola.

Su principal ventaja es control más eficiente de los rpm de la bomba, aumentando su eficiencia de aplicación.

Figura 8.

Alternativa de configuración 2.



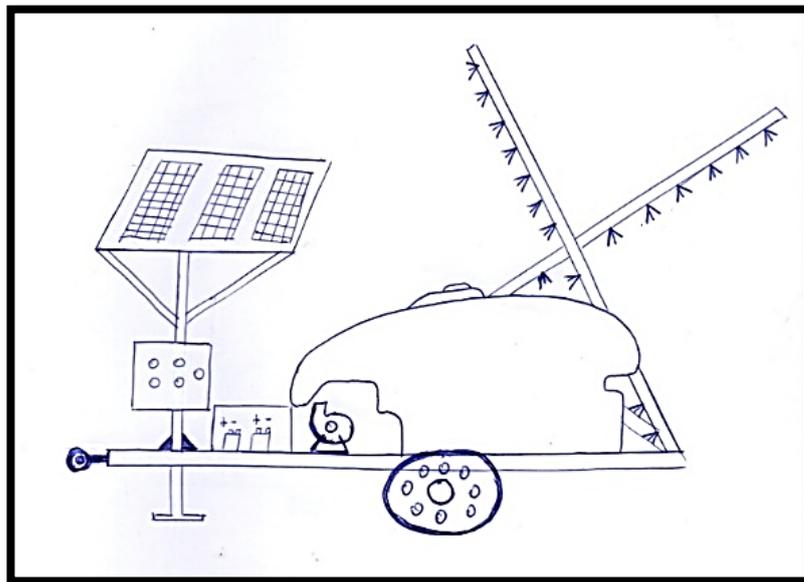
Fuente. *Elaboración propia.*

Alternativa 3:

La tercera alternativa, tiene un banco de baterías de litio que presenta mayor vida útil llegando hasta 6000 ciclos de carga y con una descarga máxima del 100%, una bomba centrífuga de uso continuo que presenta mayor desempeño en horas de trabajo prolongadas, los paneles solares para la recepción de energía serán policristalinos ya que estos resaltan por el aprovechamiento de su superficie para captar mejor la energía, el control de la pulverización será mediante un circuito eléctrico gobernado por PLC y variador de velocidad, cuenta con un tanque de polietileno de alta densidad, el chasis es reforzado en acero estructural, la barra pulverizadora será regulable y desplegable de tipo tijeral, el avance del equipo es mediante el uso de un tractor agrícola.

Figura 9.

Alternativa de configuración 3.



Fuente. *Elaboración propia.*

Tabla 9.*Matriz de selección ponderada de alternativas de configuración.*

Criterio	Importancia Peso (%)	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3	
		Valoración	Calificación ponderada	Valoración	Calificación ponderada	Valoración	Calificación ponderada
Aplicación uniforme	30%	4	1.20	2	0.6	3	0.9
Uso eficiente de la energía	20%	4	0.8	3	0.6	3	0.6
Facilidad de mantenimiento	20%	3	0.6	3	0.6	3	0.6
Número de piezas	15%	3	0.45	3	0.45	3	0.45
Costo de procesamiento	15%	3	0.45	4	0.6	3	0.45
Puntaje obtenido	100%		3.5		2.85		3
Posición			1°				

Fuente. *Elaboración Propia*

Clasificación	Valor
Insatisfactorio	0
Poco satisfecho	1
Satisfecho	2
Muy satisfecho	3
Complacido	4

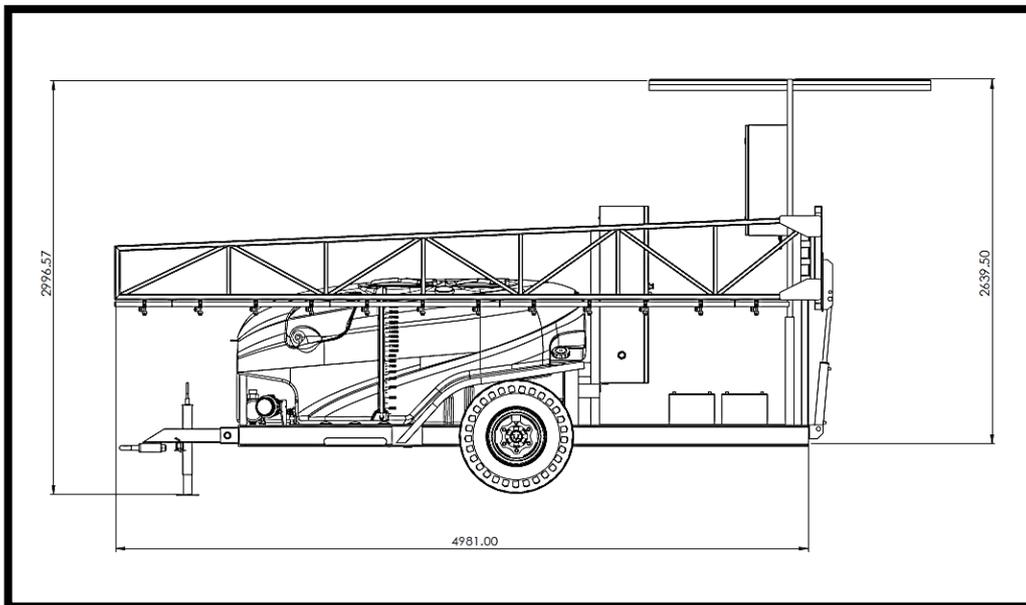
4.3.1. Dimensionamiento de la máquina

Las dimensiones generales de la máquina fueron determinadas mediante la verificación del cumplimiento del rango de las especificaciones de ingeniería, tal como se muestra en la Tabla 7. A continuación, se detallan las especificaciones consideradas para el dimensionamiento de la máquina:

El equipo debe adaptarse para trabajar en parcelas estrechas, la adaptación de la maquina debe realizarse de manera rápida y fácil por ello las barras pulverizadoras deben ser regulables en altura de 0.5 a 1.6 metros, el ancho de la maquina debe estar entre 1.8 a 2 metros con esta premisa se obtuvo el siguiente resultado, el ancho de la maquina quedo en 2 metros con las barras pulverizadoras cerradas y con estas abiertas tiene un medida 11.9 metros, la barra pulverizadora es regulable entre los rangos establecidos previamente, esto gracias a un cilindro hidráulico con una carrera de 0.5 metros, el largo de la maquina es de 5 metros y su altura es de 3 metros.

Figura 10.

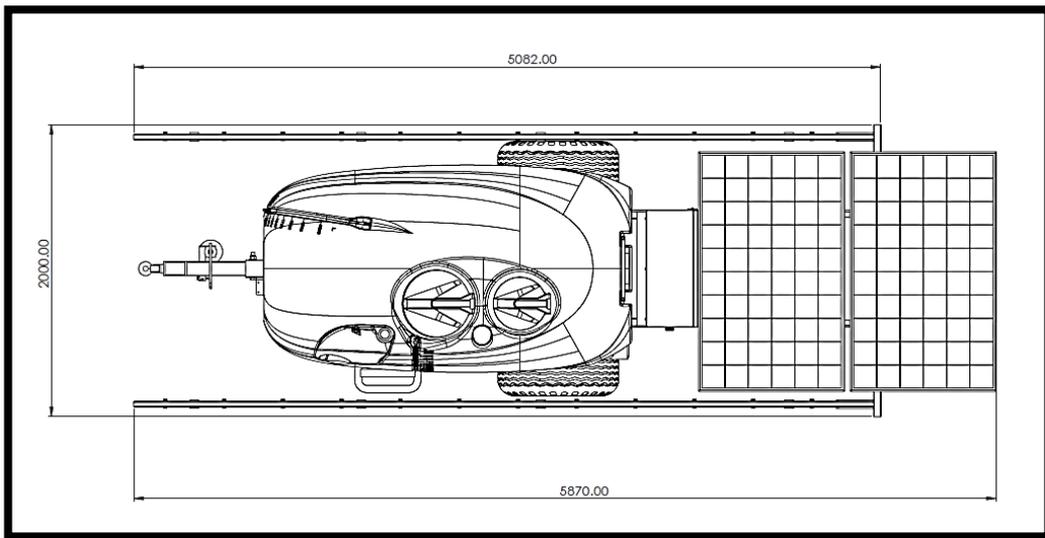
Dimensiones generales del pulverizador, vista lateral derecha.



Fuente. *Elaboración propia.*

Figura 11.

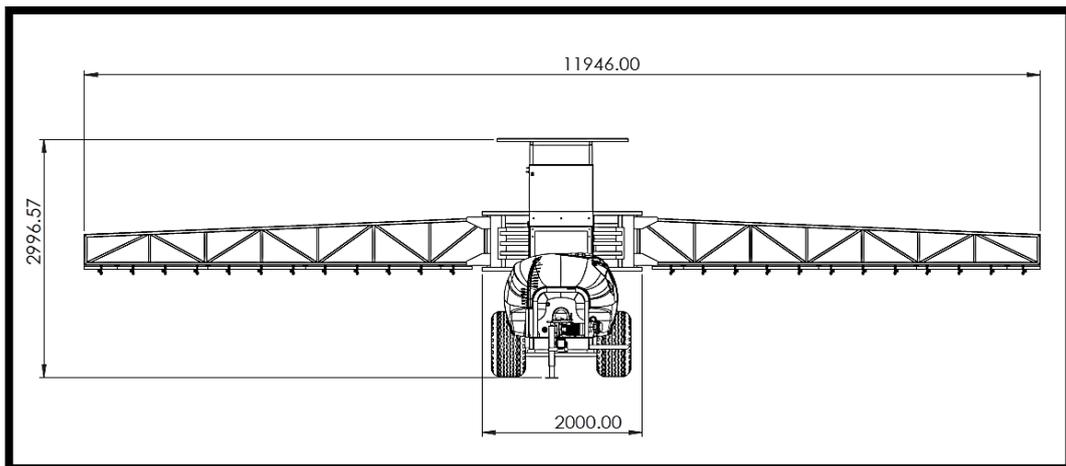
Dimensiones generales del pulverizador, vista superior.



Fuente. *Elaboración propia.*

Figura 12.

Dimensiones generales del pulverizador, vista frontal.



Fuente. *Elaboración propia.*

4.4. DESARROLLO DE ANÁLISIS Y CÁLCULOS

4.4.1. Resultados de análisis hidráulicos

Tabla 10.

Resumen de resultados de análisis sustraído del anexo 6

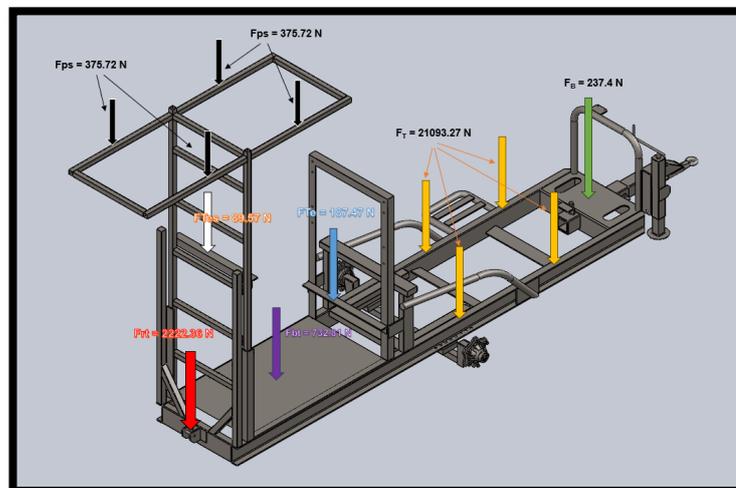
Resumen de análisis	
Cobertura de boquilla	1.43 m
Ancho de cubierta total	5.92 m
Caudal volumétrico	78.93 l/min
Velocidad del fluido	1.155 m/s
Numero de Reynolds	14602.54 (Régimen turbulento)
Perdida de carga totales	0.68 m
Potencia teórica de la bomba	415.68 W
Potencia real de la bomba	489.03 W

4.4.2. Diagrama de cuerpo libre del chasis

En el diagrama de cuerpo libre, especificado en la figura 13, representan todas las cargas principales que serán soportadas por la estructura del chasis. Cada componente se sustituye por una fuerza que se coloca en su centro de gravedad. Las flechas coloreadas señalan el lugar dónde se aplicarán las cargas de cada componente.

Figura 13.

Diagrama de cuerpo libre del chasis.



Fuente. *Elaboración propia*

4.4.3. Diseño paramétrico mediante análisis por elementos finitos con ANSYS

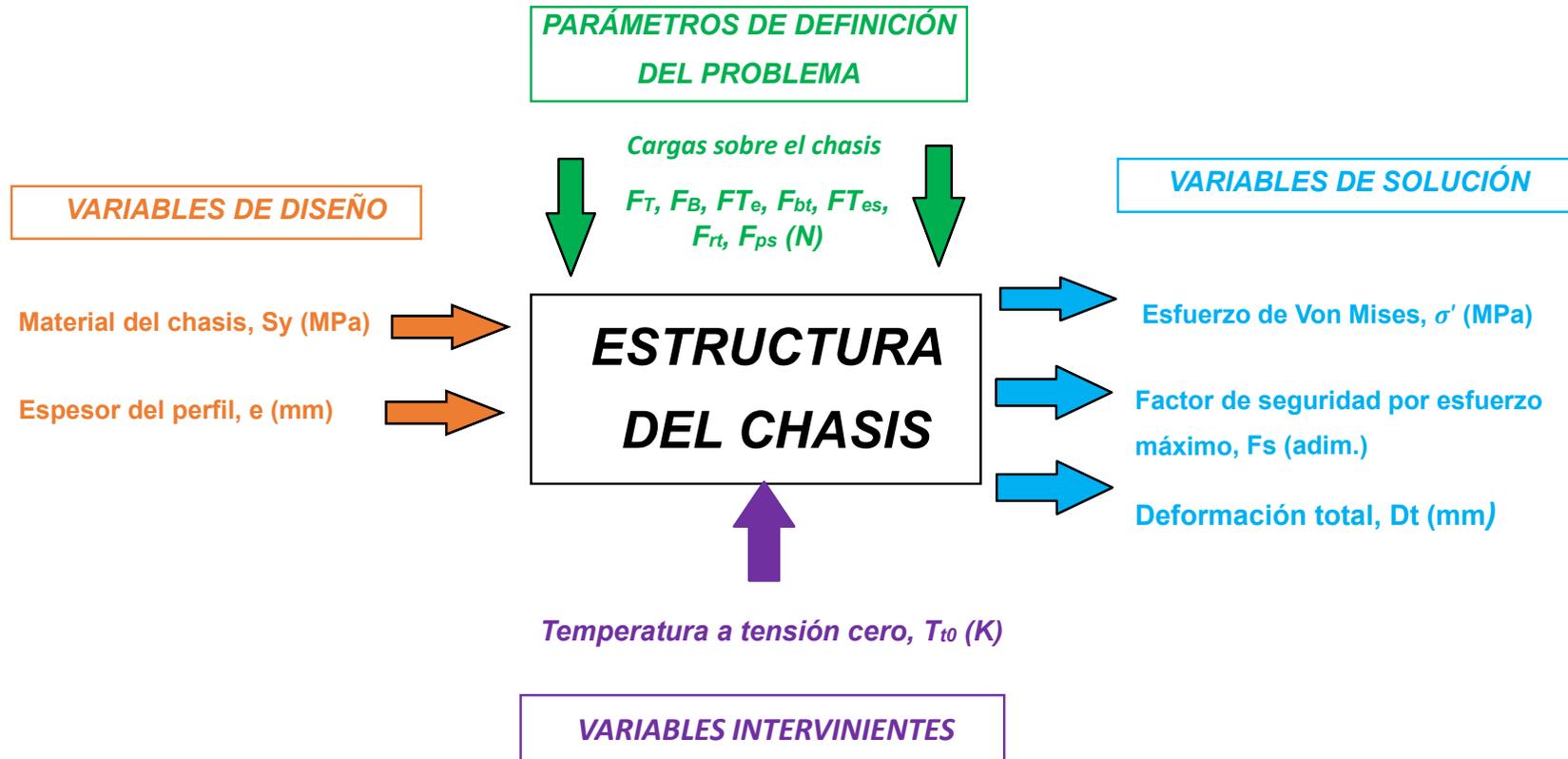
Para llevar a cabo este análisis paramétrico en ANSYS, es necesario contar inicialmente con el formato CAD de la geometría del chasis. Se abre el programa para crear un nuevo estudio de análisis estático, definimos el material a utilizar en nuestro caso vamos a parametrizar el material con diferentes tipos de acero ASTM: A131, A36, A709, A514. A su vez otra variable de diseño a parametrizar será los espesores del perfil: 6mm, 8mm, 9.5mm y 12mm, luego de importar la pieza abriremos la extensión geometría Dónde nos llevara a un entorno de diseño para definir las cargas que intervienen en nuestro chasis, las cuales fueron identificadas previamente en el diagrama de cuerpo libre, La configuración incluye asignar restricciones fijas, generar una malla y obtener los resultados. Finalmente, se ejecuta el estudio en la parte superior de la interfaz.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de elementos finitos en ANSYS para el chasis, utilizando diferentes tipos de aceros ASTM y diferentes espesores para los perfiles se representan en las tablas 12, 13, 14 y 15. Las cuales muestran la deformación total, esfuerzo de Von mises y factor de seguridad obtenidas después del análisis estático.

Gracias a los resultados obtenidos se pudo elegir la mejor opción, siendo esta el acero ASTM A36 con un espesor de perfil de 9.5 mm, mostrando un esfuerzo de Von Mises de 58.593 Mpa, una deformación total de 2.9878 mm y un factor de seguridad de 4.2667, plasmadas en la tabla 13. Se llega a la conclusión de que el esfuerzo máximo encontrado no afectara al chasis pues no supera el límite elástico de este material, la deformación que sufre el chasis del pulverizador es aceptable, el factor de seguridad por esfuerzo nos indica que nuestro chasis soporta las cargas aplicadas.

Figura 14.

Diagrama de caja negra para el análisis en ANSYS y Matlab.



Fuente. *Elaboración propia*

Tabla 11.

Variables para diseño paramétrico del chasis en ANSYS y Matlab.

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE / PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	VALORES
PARÁMETROS DE DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	Cargas sobre el chasis	F_T	N	21093.27
		F_B		237.4
		F_{T_e}		187.47
		F_{bt}		732.81
		$F_{T_{es}}$		89.57
		F_{rt}		2222.36
		F_{ps}		375.72
VARIABLES DE DISEÑO	Material del chasis	S_y	MPa	235
				250
				345
				700
	Espesor del perfil	e	mm	6
				8
				9.5
				12
VARIABLES DE SOLUCIÓN	Esfuerzo de Von Mises	σ'	MPa	A determinar
	Factor de seguridad en carga estática	F_s	Adim.	A determinar
	Deformación total	D_t	mm	A determinar
VARIABLES INTERVINIENTES	Temperatura a tensión cero	T_{i0}	K	298

Fuente. *Elaboración propia*

Tabla 12.

Matriz grafica paramétrica del chasis con el material acero ASTM A131 con $S_y=235$ Mpa. Para evaluar las variables de solución: Deformación total, esfuerzo de Von mises y factor de seguridad. Las variables de diseño parametrizadas en esta tabla son el espesor del perfil.

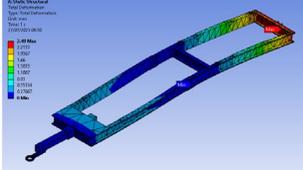
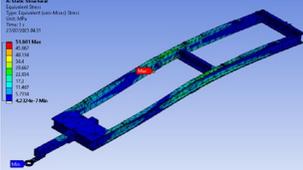
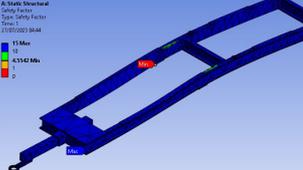
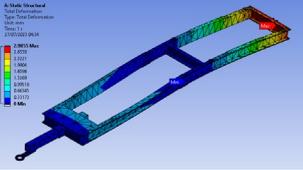
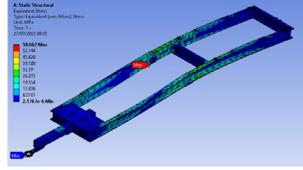
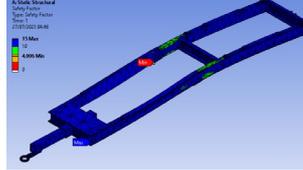
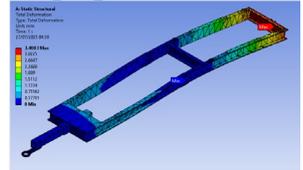
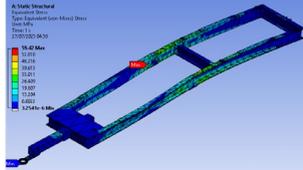
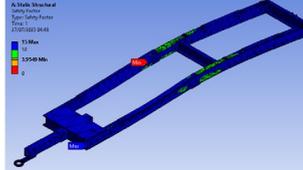
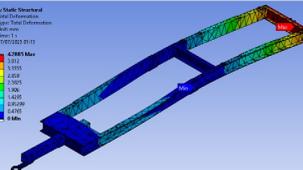
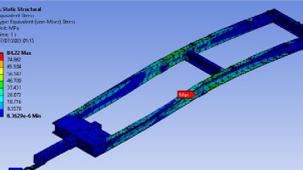
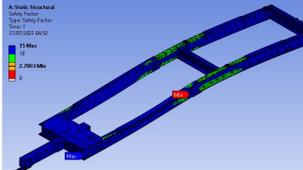
Acero ASTM A131 – ($S_y = 235$ Mpa / $S_{ut} = 460$ Mpa)			
Espesor	Deformación Total	Esfuerzo de Von Mises	Factor de seguridad
12 mm	 2.49 mm	 51.601 Mpa	 4.5542
9.5 mm	 2.9855 mm	 58.662 Mpa	 4.006
8 mm	 3.4003 mm	 59.42 Mpa	 3.9549
6 mm	 4.2885 mm	 84.22 Mpa	 2.7903

Tabla 13.

Matriz grafica paramétrica del chasis con el material acero ASTM A36 con $S_y=250$ Mpa. Para evaluar las variables de solución: Deformación total, esfuerzo de Von mises y factor de seguridad. Las variables de diseño parametrizadas en esta tabla son el espesor del perfil.

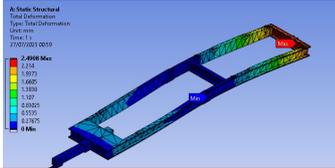
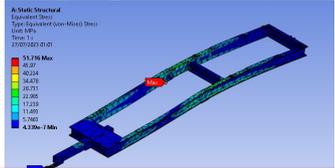
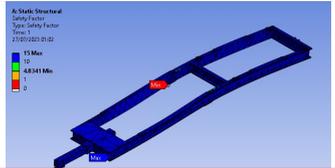
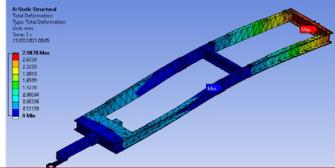
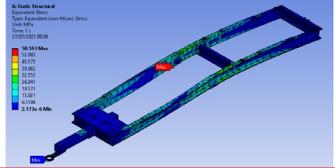
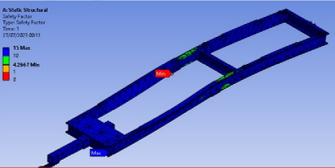
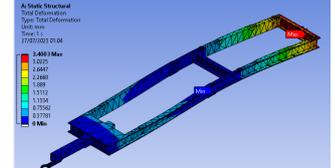
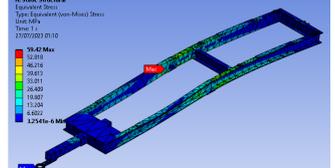
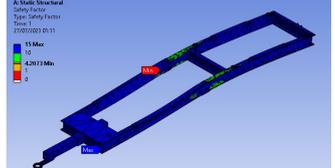
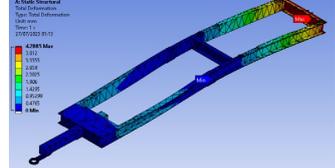
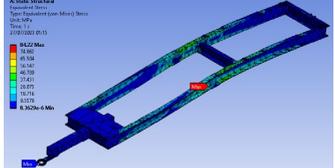
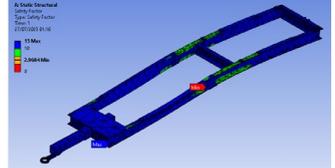
Acero ASTM A36 – ($S_y = 250$ Mpa / $S_{ut} = 400$ Mpa)			
Espesor	Deformación Total	Esfuerzo de Von Mises	Factor de seguridad
12 mm			
	2.4908 mm	51.716 Mpa	4.8341
9.5 mm			
	2.9878 mm	58.593 Mpa	4.2667
8 mm			
	3.4003 mm	59.42 Mpa	4.2073
6 mm			
	4.2885 mm	84.22 Mpa	2.9684

Tabla 14.

Matriz grafica paramétrica del chasis con el material acero ASTM A709 con $S_y=245$ Mpa. Para evaluar las variables de solución: Deformación total, esfuerzo de Von mises y factor de seguridad. Las variables de diseño parametrizadas en esta tabla son el espesor del perfil.

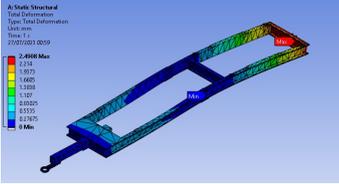
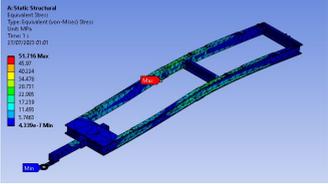
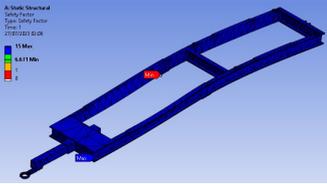
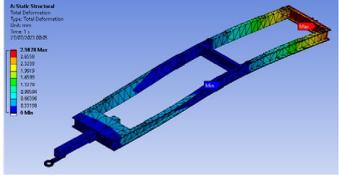
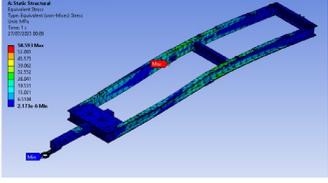
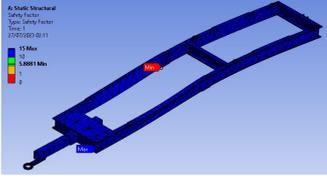
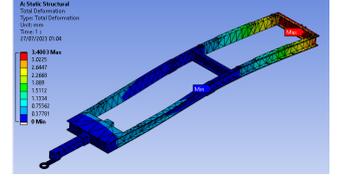
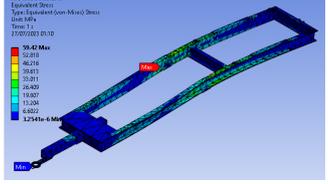
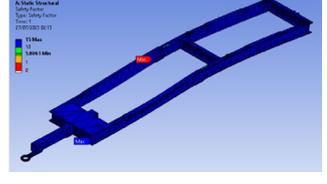
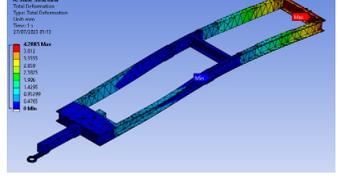
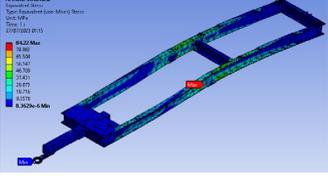
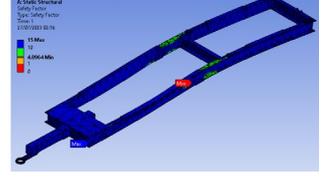
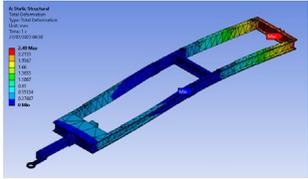
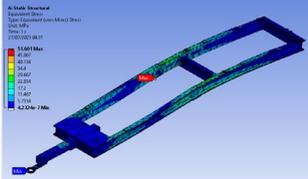
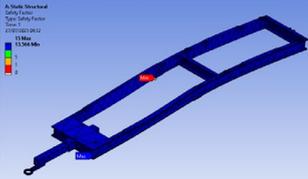
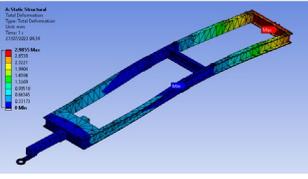
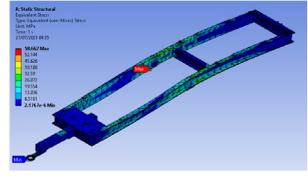
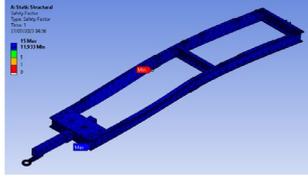
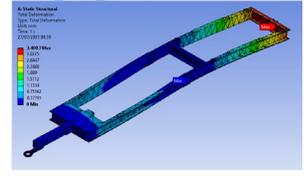
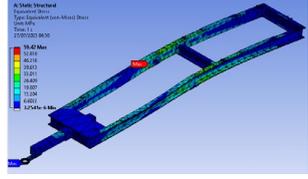
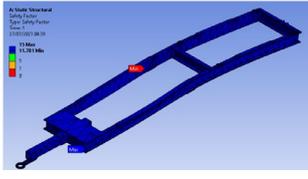
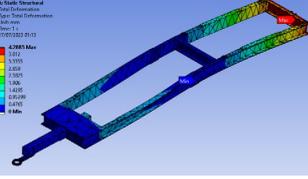
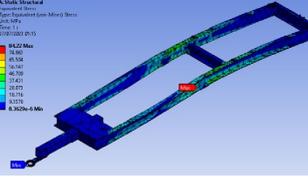
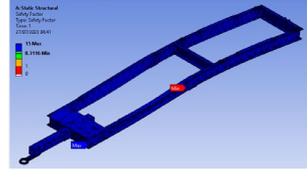
Acero ASTM A709 – ($S_y = 345$ Mpa / $S_{ut} = 450$ Mpa)			
Espesor	Deformación Total	Esfuerzo de Von Mises	Factor de seguridad
12 mm	 <p>2.4908 mm</p>	 <p>51.716 Mpa</p>	 <p>6.671</p>
9.5 mm	 <p>2.9878 mm</p>	 <p>58.593 Mpa</p>	 <p>5.8881</p>
8 mm	 <p>3.4003 mm</p>	 <p>59.42 Mpa</p>	 <p>5.8061</p>
6 mm	 <p>4.2885 mm</p>	 <p>84.22 Mpa</p>	 <p>4.0964</p>

Tabla 15.

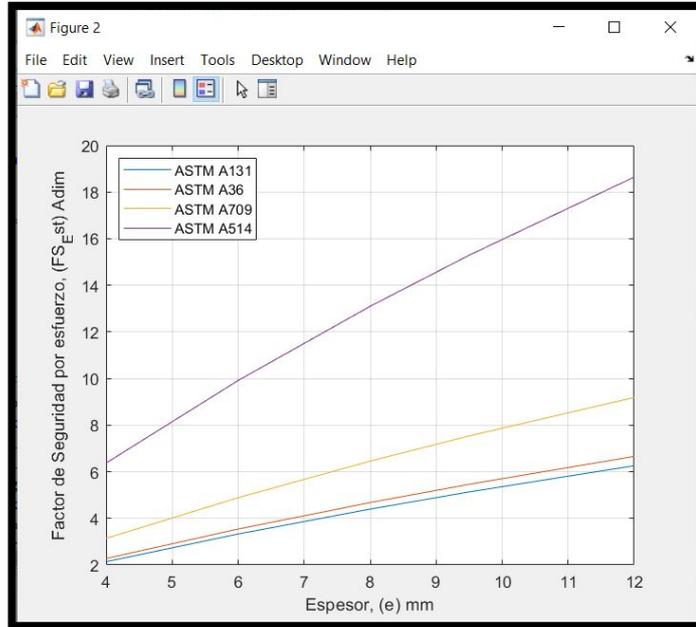
Matriz grafica paramétrica del chasis con el material acero ASTM A514 con $S_y=700$ Mpa. Para evaluar las variables de solución: Deformación total, esfuerzo de Von mises y factor de seguridad. Las variables de diseño parametrizadas en esta tabla son el espesor del perfil.

Acero ASTM A514 – ($S_y = 700$ Mpa / $S_{ut} = 855$ Mpa)			
Espesor	Deformación Total	Esfuerzo de Von Mises	Factor de seguridad
12 mm	 <p>2.49 mm</p>	 <p>51.601 Mpa</p>	 <p>13.566</p>
9.5 mm	 <p>2.9855 mm</p>	 <p>58.662 Mpa</p>	 <p>11.933</p>
8 mm	 <p>3.4003 mm</p>	 <p>59.42 Mpa</p>	 <p>11.781</p>
6 mm	 <p>4.2885 mm</p>	 <p>84.22 Mpa</p>	 <p>8.3116</p>

4.4.4. Resultado de parametrización en Matlab para chasis.

Figura 15.

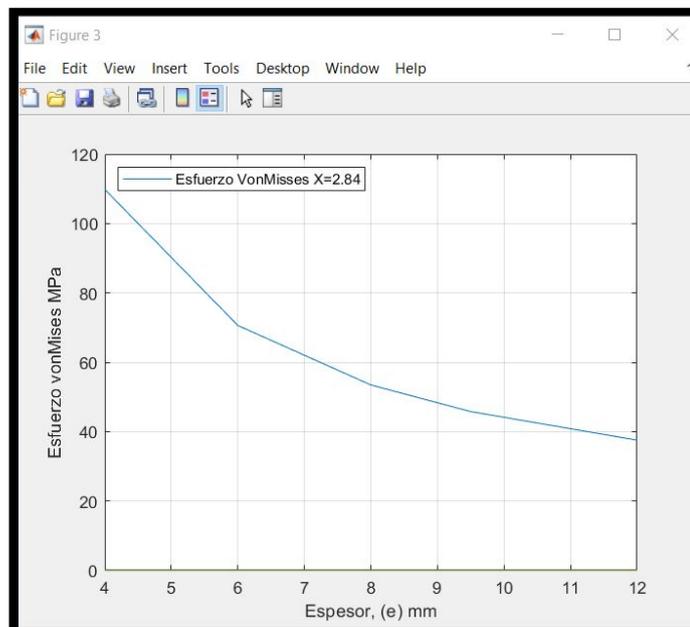
Grafica de factor de seguridad para diferentes espesores de perfil



Fuente. *Elaboración propia*

Figura 16.

Gráfico de esfuerzo máximo para diferentes espesores por Matlab.



Fuente. *Elaboración propia*

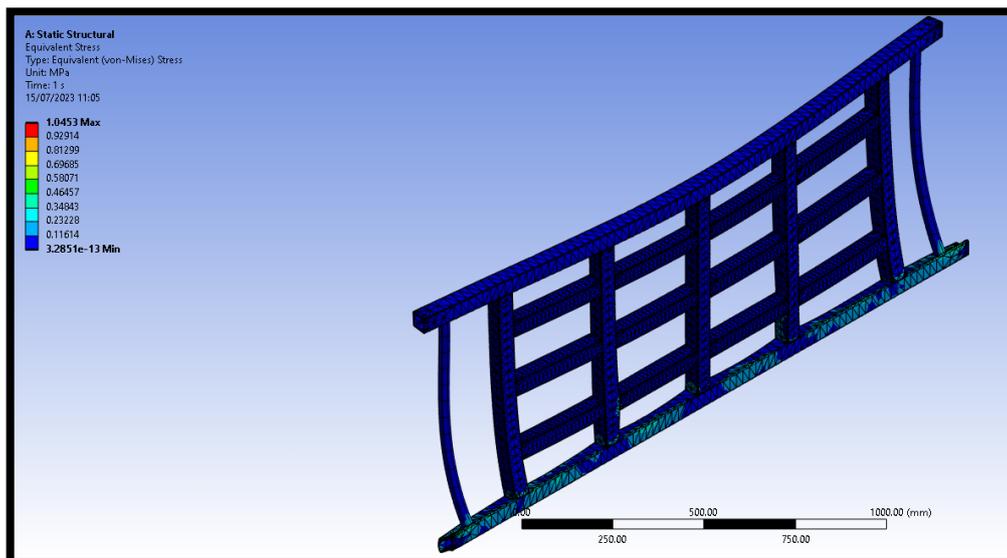
4.4.5. Análisis estático en ANSYS para cuadro de levante de aguilón

Para llevar a cabo este análisis paramétrico en ANSYS, se importó el CAD del cuadro de levante de aguilón, se creó un nuevo estudio para el análisis estático, seguidamente se le asignó el material "Structural Steel" que es equivalente al ASTM A36 por sus propiedades mecánicas. Se le asignó las restricciones fijas, una fuerza de 1493.67 N en los extremos la cual representa el peso de los aguilones, se consideró un espesor de 4mm para los perfiles.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de elementos finitos en ANSYS, se representan en la figura 17, el esfuerzo de Von Mises donde se obtuvo un esfuerzo máximo de 1.45 Mpa el cual no supera el límite elástico de este material, la figura 18, muestra la deformación que sufre el cuadro de levante de aguilón teniendo un resultado de 0.0013 mm el cual es insignificante. La figura 19, muestra el factor de seguridad por esfuerzo, donde se obtuvo un resultado de 15 el cual nos indica que nuestro cuadro de levante de aguilón no fallara al estar sometido al peso de 1493.67 N.

Figura 17.

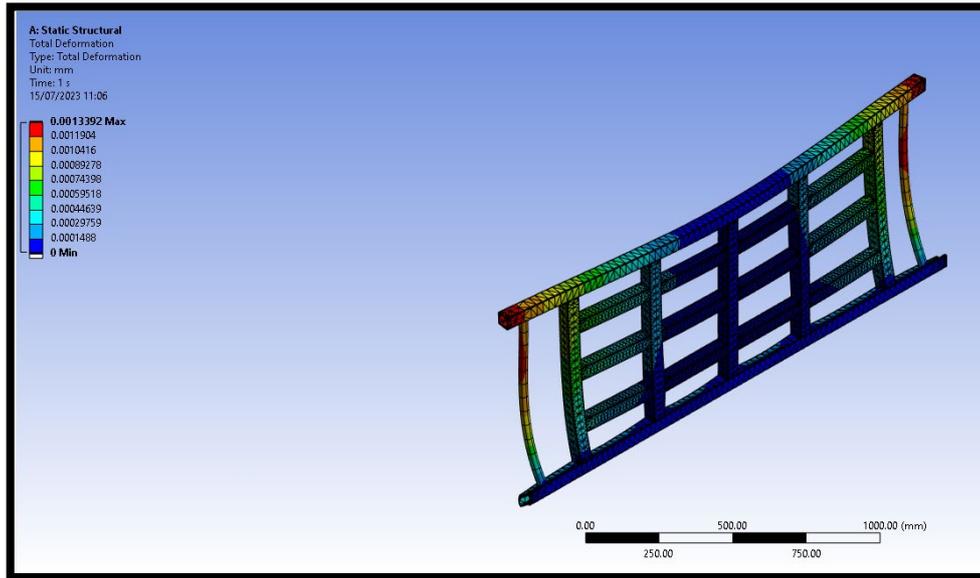
Tensión de Von Mises en ANSYS.



Fuente. *Elaboración propia*

Figura 18.

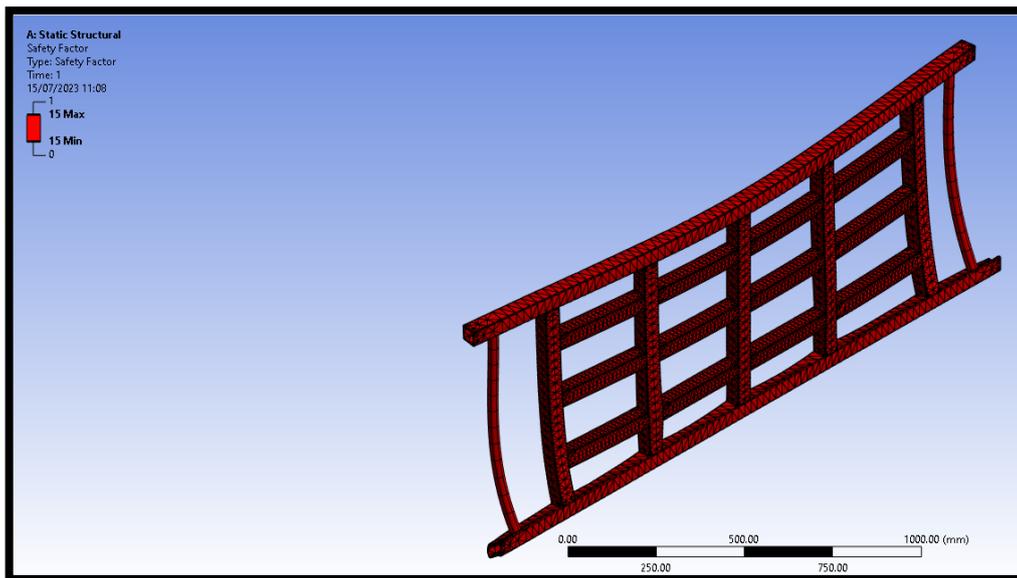
Deformación total en ANSYS.



Fuente. Elaboración propia

Figura 19.

Factor de seguridad en ANSYS.



Fuente. Elaboración propia

4.4.6. Dimensionado del banco de baterías

Para el dimensionamiento del banco de baterías, se tomará un acomodo matemático para poder determinar la autonomía en horas ya que viene dada en días lo cual se detallado en la tabla 3. Seguidamente se detalla la energía eléctrica total media diaria E_{elec} a tener en cuenta para el cálculo según las horas de autonomía lo cual será detallado en la tabla 16, considerando la potencia nominal de la bomba de 2238 W o 3 HP.

$$C_T = \frac{N_D \times E_{elec}}{P_{D \max} \times V_t}$$

Tabla 16.

Energía eléctrica total media diaria a considerar según horas de autonomía y capacidad de banco de baterías.

Potencia Nominal (W)	Horas	Energía eléctrica total media diaria (W.h/día)	Capacidad de banco de baterías (A.h)
2238	4	8952	177.97
2238	6	13428	266.96
2238	12	26856	533.92

Fuente: *Elaboración Propia*

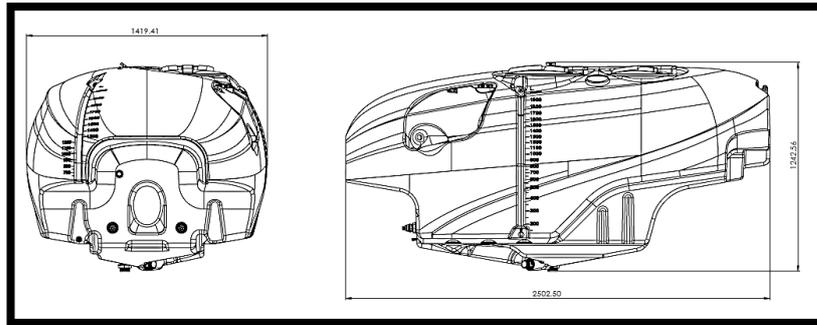
4.4.7. Selección de componentes

4.4.7.1. Selección del tanque

Se selecciono un tanque de procedencia italiana, marca Verzellesi modelo FLOGIA el cual está fabricado en polietileno, con una capacidad de 2000 litros, este modelo incorpora un tanque de lavado del sistema y un tanque para el lavado personal, cuenta con certificación ENAMA (Agencia Nacional de Mecanización Agrícola). En la figura 20 se muestran las dimensiones generales del tanque.

Figura 20.

Dimensiones generales del tanque.



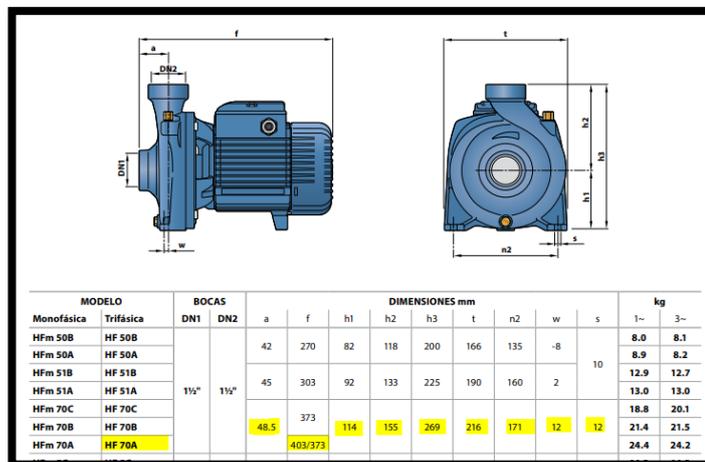
Fuente. *Elaboración propia*

4.4.7.2. Selección del Bomba eléctrica

Se selecciono una electrobomba centrífuga modelo HF 70A de marca Pedrollo la cual es de alto rendimiento con una potencia nominal de 2238 W ó 3 HP, la electrobomba debe proporcionar un caudal de 80 L/min para el funcionamiento óptimo de la etapa de pulverización. Por ello se escogió este tipo de electrobomba ya que supera el este caudal y es viable controlar la entrega del caudal requerido por medio de un variador de frecuencia, logrando prolongar su vida útil ya que esta no trabajaría al límite de su capacidad, generando que no hay un desgaste prematuro en las partes internas de la electrobomba. Las dimensiones generales de la electrobomba centrífuga se muestra en la figura 21.

Figura 21.

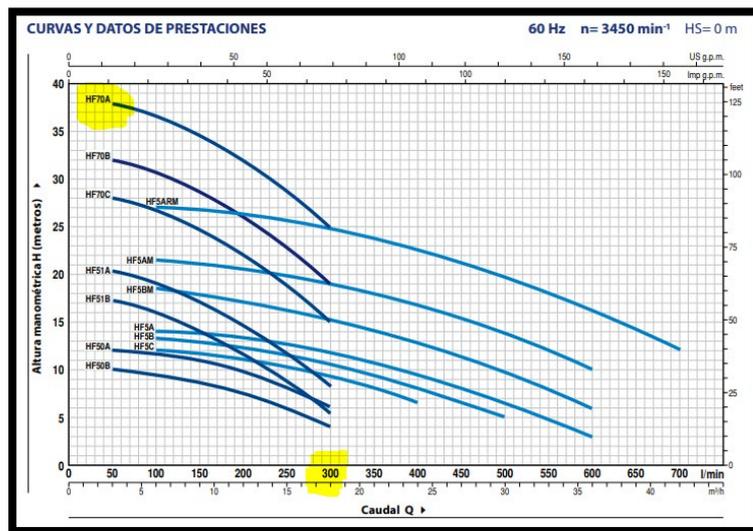
Dimensiones generales de la electrobomba Pedrollo modelo HF 70A.



Fuente. *Recuperado de (Pedrollo, s.f.).*

Figura 22.

Curva de prestaciones de la electrobomba Pedrollo modelo HF 70A.



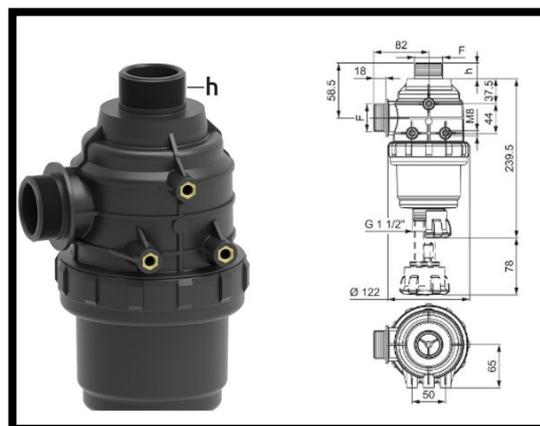
Fuente. Recuperado de (Pedrollo, s.f.).

4.4.7.3. Selección de filtro de aspiración

Se selecciono el filtro de aspiración modelo ARAG - 3122052 el cual tiene una capacidad de filtración de 60 L/min a 100 L/min, superior al máximo caudal entregado por la electrobomba, así mismo tiene una malla de acero inoxidable (32 mesh), las dimensiones generales se muestran en la figura 23.

Figura 23.

Dimensiones generales de filtro modelo ARAG - 3122052.



Fuente. Recuperado de (ARAG, s.f.).

4.4.7.4. Selección cilindro hidráulico

Se selecciono un cilindro hidráulico doble efecto modelo D/E 20-30-40-500mm marca león el cual accionará al cuadro de levante de los aguilones, este cilindro cumple con los requisitos para realizar esta esta función sometida a la presión del sistema en nuestro caso 80 bares, puede levantar un peso máximo de 5654.87 N, según lo calculado en la ecuación 25. el cual es superior al peso que tiene nuestro sistema de levante de 2222.36 N, a su vez tiene un recorrido de 500 mm el cual es necesario tener en cuenta, el diámetro del cilindro es 30 mm y el diámetro del eje es de 20 mm, la presión máxima que soporta es 200 bares, resaltando que la presión de trabajo de nuestro sistema será de 80 bares. En la figura 24 se detalla las dimensiones del cilindro hidráulico.

Para determinar el peso que puede levantar el pistón hidráulico, necesitamos convertir las unidades al sistema internacional (SI) antes de realizar el cálculo.

Con la ecuación 25 podemos calcular el área efectiva del pistón utilizando la fórmula del área de un círculo. El diámetro del pistón es de 30 milímetros, lo que equivale a 0.03 metros.

$$A = \pi \times (r)^2 \quad (25)$$

$$A = \pi \times \left(\frac{0.03}{2}\right)^2$$

$$A \approx 0.00070686 \text{ m}^2$$

La presión del sistema es de 80 bar, lo que equivale a 8000000 pascales ya que 1 bar es igual a 100000 pascales. Una vez que tenemos el área efectiva del pistón, con la ecuación 26 podemos calcular la fuerza generada multiplicando la presión por el área:

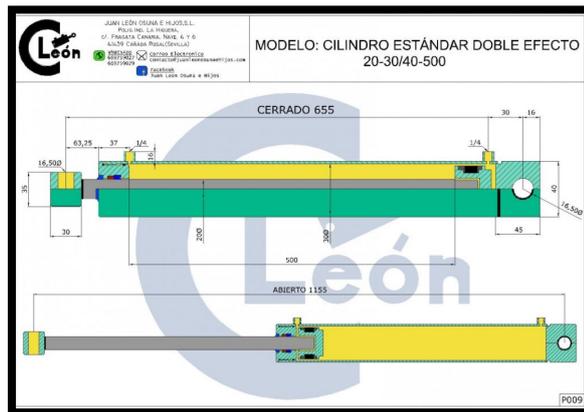
$$F = P \times A \quad (26)$$

$$F = 8000000 \times 0.00070686$$

$$F \approx 5654.88 \text{ N}$$

Figura 24.

Dimensiones generales de cilindro hidráulico D/E 20-30-40-500mm



Fuente. Recuperado de (León, s.f.).

4.4.7.5. Selección de boquillas

Se selecciono boquillas de abanico con un caudal de 3.94 L/min, marca Hardi F 80, sabiendo el caudal de operación de la bomba de 80 L/min, podemos saber cuántas boquillas se necesitarán dividiendo el caudal de trabajo entre el caudal de las boquillas, obteniendo como resultado 24 boquillas.

4.4.7.6. Selección de Variador de Frecuencia

Se selecciono un variador de frecuencia de 3Hp - trifásico 220 V, marca delta, puesto que la potencia nominal de la bomba es de 3Hp, pero esta no funcionará al 100 %, con la regulación del variador de velocidad se regulará el caudal de trabajo de 80 L/min el cual será su rango de operación.

4.4.7.7. Selección de Panel solar

Se selecciono 2 paneles monocristalinos de 360W con tensión nominal de 12V, los cuales cumplen con la demanda de potencia requerida por el sistema ya que estos acumularan la energía solar disponible durante todo el día, para luego ser usada en la operación de pulverizado.

4.4.7.8. Selección Batería.

Se seleccionó baterías solares de gel de ciclo profundo, con una tensión nominal de 12 V, para determinar el número de baterías nos basamos en el

cálculo de la ecuación 6, la cual determina la capacidad del banco de baterías el cual fue de 266.96 A.h, luego seleccionamos las baterías que sumen esta capacidad de almacenamiento viendo conveniente el uso de 6 baterías de 50 A.h.

4.4.7.9. Selección del controlador - inversor de corriente.

Se selecciono un controlador - inversor de corriente MPPT de 3000 W con una tensión de 12 V, ya que cumple con la demanda de potencia requerida por el sistema, este a su vez cumple las 2 funciones de invertir el voltaje y controlar la carga de las baterías.

4.5. Analizar la factibilidad económica.

Se utilizó una hoja de cálculo de Excel para realizar el análisis económico. A continuación, se proporciona una descripción detallada del presupuesto de la inversión inicial. En la figura 25 se presenta el presupuesto de inversión para la fabricación de un equipo, que asciende a un costo de inversión de S/.20780.73. En la figura 26, se muestra el presupuesto de mano de obra que alcanza un monto de S/.10340. Por último, en la figura 27 se muestra el costo de equipos y servicios, el cual suma un total de S/.1300. En resumen, el costo total de inversión para un equipo sería de S/.32420.73, considerando la suma de los presupuestos mencionados anteriormente. El equipo tendría un valor en el mercado de S/.45389, ya que la empresa considera este precio atractivo para los clientes finales, ya que la pulverizadora eléctrica no consume combustible en su etapa de pulverización.

Con el nuevo diseño, la empresa tiene como objetivo satisfacer la demanda del mercado peruano, por lo que planea fabricar un total de 10 equipos. Esto requiere una inversión inicial de S/.324207.3. Estos equipos se venderán a los principales clientes de la empresa, así como a aquellos que previamente no habían sido atendidos pero que requieren este tipo de pulverizadoras. La meta es vender los 10 equipos en un periodo de 5 meses. Por lo tanto, se llevará a cabo una evaluación económica para determinar la viabilidad del proyecto con una venta de 2 equipos por mes. La evaluación del proyecto se realizará

utilizando tres métodos: cálculo del valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y periodo de retorno de la inversión (PRI). Estos métodos permitirán analizar y evaluar los aspectos económicos del proyecto en términos de rentabilidad y recuperación de la inversión.

Figura 25.

Presupuesto de inversión para maquina pulverizadora.

PRESUPUESTO DE INVERSION			
DESCRIPCIÓN	UNITARIO	UNITARIO	TOTAL
Estructura de chasis	1	S/2,600.00	S/2,600.00
Peldaño de acero	2	S/18.00	S/36.00
Estructura de soporte y aguilon	1	S/1,200.00	S/1,200.00
Jalador	1	S/150.00	S/150.00
Eje	1	S/950.00	S/950.00
Válvula check antigoteo M83 G1	6	S/14.00	S/84.00
Niple espiga Bronce	4	S/3.00	S/12.00
Conector simple	6	S/2.50	S/15.00
Manguera AP 13 mm	12	S/3.00	S/36.00
Anillo de PVC L50 mm	8	S/1.20	S/9.60
boquilla cerámica CH MGA-02 60°	24	S/8.00	S/192.00
Filtro de ASP. 316 G1 1/2" M50	1	S/55.33	S/55.33
Tapa Ø 455 6COR45 verzellesi	1	S/39.64	S/39.64
Kit manguera hidráulica R2 1/4"	1	S/306.80	S/306.80
Cilindro hidráulico Øc 20*30*40 500mm	1	S/184.58	S/184.58
Soporte para cilindro hidráulico	1	S/12.00	S/12.00
Pin de acero Ø 85 mm	1	S/6.00	S/6.00
Accesorios hidráulicos	1	S/320.00	S/320.00
Tapa Ø 355 6COR45 verzellesi	1	S/25.00	S/25.00
Kit indicador de nivel cisterna	1	S/15.00	S/15.00
Kit conectores y accesorios descarga	1	S/260.00	S/260.00
Gata hidráulica RAL	1	S/220.00	S/220.00
Kit elementos de sujeción	1	S/60.00	S/60.00
Soporte de tanque D1	1	S/49.00	S/49.00
Protector de filtro Asp	1	S/246.53	S/246.53
Soporte de tanque D2	1	S/19.00	S/19.00
Llanta completa	2	S/480.00	S/960.00
Estructura de jalador	1	S/185.00	S/185.00
Panel solar 360 W	2	S/700.00	S/1,400.00
Bateria 40 Ah	6	S/320.00	S/1,920.00
Variador de frecuencia 3hP	1	S/1,800.00	S/1,800.00
Contactador 10A	1	S/180.00	S/180.00
Interruptor Diferencial 25A	1	S/175.00	S/175.00
Interuptor Termomagnetico 6A	1	S/45.00	S/45.00
Interuptor Termomagnetico 16A	2	S/45.00	S/90.00
controlador - Inversor 3000 W	1	S/1,500.00	S/1,500.00
Componentes electricos	1	S/600.00	S/600.00
Electrobomba Pedrollo 3HP	1	S/2,500.00	S/2,500.00
Kit conectores y accesorios succión	1	S/120.00	S/120.00
Tanque de polietileno 2000 L verzellesi	1	S/2,100.00	S/2,100.00
Kit elementos de sujeción	1	S/45.00	S/45.00
Soporte de tanque D1	1	S/57.25	S/57.25
TOTAL			S/20,780.73

Fuente. *Elaboración propia.*

Figura 26.

Presupuesto de mano de obra.

PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA			
DESCRIPCIÓN	UNITARIO	UNITARIO	TOTAL
Area de diseño	1	S/2,300.00	S/2,300.00
Supervisor de producción	1	S/1,800.00	S/1,800.00
Ayudante de soldador	3	S/480.00	S/1,440.00
Soldador	2	S/950.00	S/1,900.00
Personal de almacén	2	S/180.00	S/360.00
Pintor	1	S/240.00	S/240.00
Ensamblador	2	S/1,000.00	S/2,000.00
Otros	1	S/300.00	S/300.00
TOTAL			S/10,340.00

Fuente. *Elaboración propia.*

Figura 27.

Presupuesto de equipos y servicios.

PRESUPUESTO DE EQUIPOS Y SERVICIOS			
DESCRIPCIÓN	UNITARIO	UNITARIO	TOTAL
Servicio de Torno	1	S/160.00	S/160.00
Taladro/esmeril	1	S/260.00	S/260.00
Máquinas de soldar	1	S/350.00	S/350.00
Compresor de aire	1	S/70.00	S/70.00
Servicio de Arenado	1	S/400.00	S/400.00
Servicio de Enlantado	1	S/60.00	S/60.00
TOTAL			S/1,300.00

Fuente. *Elaboración propia.*

Figura 28.

Análisis económico.

INFORMACIÓN	Costo de Inversión	S/ 324,207.30				
	Tasa de Descuento	10.0%				
PERIODO	INGRESO	EGRESO	FLUJOS DE EFECTIVO NETO	FLUJO DE EFECTIVO ACUMULADO	VALOR PRESENTE	
0			-324,207.30		1.10	
1	S/ 91,778.00	S/ 1,200.00	S/ 90,578.00	S/ 181,156.00	S/ 82,343.64	
2	S/ 91,778.00	S/ 1,200.00	S/ 90,578.00	S/ 271,734.00	S/ 74,857.85	
3	S/ 91,778.00	S/ 1,200.00	S/ 90,578.00	S/ 362,312.00	S/ 68,052.59	
4	S/ 91,778.00	S/ 1,200.00	S/ 90,578.00	S/ 452,890.00	S/ 61,865.99	
5	S/ 91,778.00	S/ 1,200.00	S/ 90,578.00		S/ 56,241.81	
TOTAL	S/ 458,890.00	S/ 6,000.00	S/ 452,890.00		S/ 343,361.88	
					Fórmula Aritmética	
VALOR PRESENTE DE LOS SUMA DE LOS FLUJOS NETOS					343,361.88	
					Fórmula Financiera	
VALOR ACTUAL NETO (VAN)					19,154.58	Si es viable > 0
					Fórmula Financiera	
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)					12.3%	Si es viable
					Fórmula Financiera	
BENEFICIO / COSTO					1.059	
					Fórmula Aritmética	
PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN					3.58	
NOTA:	El periodo de recuperación de la inversión es de 3 meses y 17 días					
	MESES	3.00				
	DIAS	17				
	A	3				
	B	324,207				
	C	271,734				
	D	90,578				

Fuente. *Elaboración propia*

Los resultados del análisis económico en Excel son favorables para la empresa. En la figura 41 se muestra a detalle los resultados positivos, por ello se sugiere invertir en la fabricación de las máquinas pulverizadoras energizadas eléctricamente.

V. DISCUSIÓN

La necesidad de diseñar un pulverizador de agroquímicos para parcelas estrechas de 80 L/min energizado eléctricamente, nace por el requerimiento de los clientes de la empresa Afa Group, por ello se tomó la decisión de diseñar esta máquina de manera formal ya que la empresa no contaba con un diseño CAD de sus máquinas pulverizadoras, esto permitió superar las deficiencias del diseño empírico que se venía desarrollando en la empresa.

En resumen, el diseño empírico realizado en la empresa Afa Group, provoca problemas en las estructuras de sus pulverizadores, lo que llevó a la decisión de realizar un diseño formal de esta nueva máquina, para lo cual se siguió una metodología que incluyó entrevistas, investigación de normas y la recopilación de información para establecer las especificaciones del diseño. Todo esto se organizó en una tabla de especificaciones técnicas y operativas del pulverizador de agroquímicos de 80 L/min energizado eléctricamente.

En el presente trabajo, implemento una metodología de diseño que incluyó varios pasos. En primer lugar, se realizaron entrevistas para comprender las necesidades de la empresa. Además, se llevó a cabo una búsqueda de normas y bibliografía relacionadas con el diseño de pulverizadores para establecer las especificaciones iniciales del diseño. Como parte de esta metodología, fue importante recopilar y organizar la información pertinente al diseño. Para ello, se condensaron los datos del funcionamiento del prototipo y las entrevistas en una tabla de especificaciones. Esta tabla incluyó medidas, características técnicas, limitaciones, los tipos de cultivo dónde operaría el equipo y consideraciones técnicas relacionadas con la operación y el rendimiento de la máquina.

Se desarrollaron tres conceptos de solución basados en los tipos de pulverizadores utilizados actualmente en la agroindustria. Estos conceptos se evaluaron teniendo en cuenta sus principales ventajas y desventajas para la aplicación deseada. Para determinar la mejor opción, se utilizó una matriz de pesos ponderados en la cual cada concepto fue evaluado en función de cinco criterios basados en la información obtenida de las entrevistas.

Como resultado de esta evaluación, se seleccionó el mejor concepto de diseño debido a sus ventajas en términos de eficiencia de aplicación. De manera similar, se evaluaron tres alternativas para la configuración de la máquina utilizando una matriz de selección con cinco criterios. La alternativa 1 fue seleccionada, pues destaca por tener un sistema que brinda mayor estabilidad a la máquina y a la barra pulverizadora. Además, cuenta con un tanque de agroquímicos de gran capacidad. Tomando inspiración de esta alternativa, se generó un concepto que se ajusta al propósito de solución de diseño, el cual incluye la reducción de la contaminación ambiental. Para lograr esto, se propone la incorporación de energías renovables mediante el uso de paneles solares, acumuladores de energía e inversores de corriente. Estos elementos proporcionarán la energía necesaria para el funcionamiento de la etapa de pulverización. Además, la configuración seleccionada cuenta con un tanque fabricado en polietileno de alta densidad, boquillas de cerámica y un circuito de cañería hecho de acero inoxidable. El chasis está reforzado con acero ASTM A36 y cuenta con ruedas agrícolas de alta flotación tipo balón. Para la pulverización, se utilizó una electrobomba centrífuga que impulsa el agua. El accionamiento de la etapa de pulverización se controla a través de un circuito eléctrico. La captación de energía se realiza mediante paneles solares monocristalinos, mientras que la acumulación de energía se lleva a cabo mediante un banco de baterías. La barra pulverizadora es ajustable en altura y el avance del pulverizador se logra mediante un tractor agrícola.

Para validar los resultados analíticos, se llevó a cabo un análisis paramétrico utilizando el método de elementos finitos, que incluyó la geometría completa del chasis. El uso de software de análisis por elementos finitos Solidworks y GUI Matlab los cuales permitieron obtener los resultados paramétricos relevantes, siendo la más importante aquella que relaciona el límite de fluencia del material con esfuerzo máximo obtenido esto nos genera el factor de seguridad por esfuerzo máximo. Esta gráfica desempeñó un papel crucial en la selección del material para la estructura del chasis, ya que confirmó la elección del material acero ASTM A36.

VI. CONCLUSIONES

1. Se logro determinar los requerimientos de diseño del pulverizador de agroquímicos de 80 L/min, mediante las entrevistas aplicadas a los especialistas de cada área de la empresa, Dónde se pudo recopilar información de los parámetros de funcionamiento del pulverizador en campo. Con ello se especificó en la tabla 7, las características necesarias para el diseño del pulverizador como ancho de la maquina entre 1.8 a 2 metros, el caudal de la bomba de 80 L/min necesario para este tipo de cultivos, las presiones de trabajo de 5 a 10 bar. De las entrevistas se determinó que tipos de cultivo se adaptan al trabajo de la máquina siendo cultivos a ras de suelo como tomate, cebolla, pimientos, alcachofa.
2. Se genero 3 conceptos de diseño que representaron las posibles soluciones, para cada concepto alternativo se detalló las características operativas correspondientes en una matriz de criterios ponderados. A su vez se generó 3 conceptos de alternativas configuración. Estos conceptos de solución de diseño se desarrollaron para abordar los requerimientos específicos del pulverizador agrícola energizado eléctricamente, proporcionando soluciones innovadoras que mejoran la estabilidad, la eficiencia operativa y el uso de energías renovables en la aplicación de agroquímicos.
3. Se logro establecer el mejor diseño conceptual para el pulverizador agrícola energizado eléctricamente, se determinó después de evaluar diferentes conceptos de solución. Saliendo escogido la alternativa 1, el cual cuenta con un tanque de polietileno de alta densidad para garantizar la durabilidad y resistencia a los productos químicos utilizados. Las boquillas de abanico se utilizarán para una dispersión eficiente de los agroquímicos. La estructura del pulverizador estará fabricada en acero ASTM A36 para proporcionar la máxima estabilidad y resistencia. Las ruedas serán de tipo agrícola de alta flotación y tipo balón para permitir una fácil movilidad en diversos terrenos. La etapa de pulverización estará impulsada por una electrobomba centrífuga que funcionará con energía eléctrica. Esta bomba permitirá un control preciso y eficiente de la dispersión de los agroquímicos mediante un variador de

velocidad. Para la generación de energía, se instalarán paneles solares monocristalinos en la estructura del pulverizador. Estos paneles captarán y convertirán la energía solar en electricidad para alimentar la bomba y otros componentes eléctricos. La energía excedente se almacenará en un banco de baterías para su uso continuo incluso en condiciones de poca luz solar. Además, se incluirá un sistema de ajuste de altura de la barra pulverizadora para adaptarse a diferentes cultivos y terrenos. Esto permitirá una aplicación precisa de los agroquímicos y una cobertura óptima en diferentes condiciones. Este diseño conceptual combina eficiencia en la aplicación, uso de energías renovables y adaptabilidad a diversas condiciones agrícolas proporcionando una solución sostenible y eficiente para la pulverización de agroquímicos en la agricultura.

4. Se logro realizar el modelamiento y análisis paramétrico de la estructura del chasis del pulverizador con uso del programa ANSYS para evaluar el material adecuado para la construcción del mismo, asimismo se realizó un cálculo hidráulico analítico del funcionamiento del pulverizador para los parámetros obtenidos de la entrevista y cumplir con los requerimientos solicitados, teniendo en cuenta estos parámetros se concluye que el pulverizador tendrá las siguientes características, boquillas tipo abanico caudal de 3.94 l/min y presión 4 bar, teniendo un total de 20 boquillas distribuidas en el aguilón; teniendo un caudal en conjunto de 80 l/min también contara con un tanque de almacenamiento de polietileno con una capacidad de 2000 litros y una bomba centrifuga de 3HP con un variador de velocidad que garantizara la distribución uniforme del plaguicida. Para el funcionamiento continuo de la bomba elegida y con una autonomía de 6 horas se determinó que es necesario un banco de baterías de 266.96 A.h a una tensión de trabajo de 12V y un inversor de carga de 3000 W, el flujo de energía para el funcionamiento de la bomba estará dado por 2 paneles solares de 360w. Del análisis paramétrico en ANSYS Dónde se tuvo como variable el espesor y el límite a la fluencia del material se concluyó usar el ACERO ASTM A36 con un espesor de 9.5mm y un límite elástico de 250Mpa, se eligió este acero por ser de uso comercial y sus características son óptimas para la fabricación de la estructura del chasis. Para este acero se

obtuvo como resultados un esfuerzo máximo de Von mises de 58.593 Mpa, una deformación de 2.9878 mm y un factor de seguridad de 4.2667.

Se logro realizar el análisis por elementos finitos en ANSYS, del cuadro de levante del aguilón, el cual tiene un espesor de 4mm, se consideró el material "Structural Steel", pues tiene las mismas propiedades mecánica que el acero ASTM A36, obteniendo un esfuerzo de Von Mises de 1.45 Mpa el cual no supera el límite elástico de este material, la deformación que sufre el cuadro de levante de aguilón es de 0.0013 mm, el factor de seguridad por esfuerzo es 15, lo cual nos indica que nuestro cuadro de levante de aguilón no fallara al estar sometido al peso de 1493.67 N.

5. Se realizo el análisis económico del costo de inversión de S/.324207.3, para la fabricación de 10 equipos asumiendo la venta de 2 equipos por mes en un periodo de 5 meses, siendo el costo de venta por equipo de S/.45389, se logró obtener resultados satisfactorios ya que se recupera la inversión en 3 meses y 17 días, nuestro TIR es de 12.3% el cual es superior a la tasa que nos propusimos del 10% y nuestro VAN es S/.19154.58 el cual es mayor a 0, por lo cual es viable desde el punto económico para invertir en este proyecto.

Finalmente se concluye que el pulverizador de agroquímicos para parcelas estrechas de 80 Lt/min energizado eléctricamente es una solución viable y beneficiosa tanto para los agricultores como para el medio ambiente pues reduce la dependencia de combustibles fósiles, ofreciendo una alternativa más limpia y eficiente para la pulverización de cultivos.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar investigando y mejorando el diseño del pulverizador agrícola energizado eléctricamente, considerando posibles ajustes y adaptaciones específicas para diferentes tipos de cultivos y condiciones agrícolas.

Se recomienda implementar metodologías de diseño en futuros diseños de la empresa Afa Group para mejorar la estructura de sus pulverizadores agrícolas, lo cual ayudara a garantizar una mayor resistencia y estabilidad de sus máquinas.

Se recomienda analizar las piezas en subsistemas independientes para que el análisis de Solidworks Simulation no sea tan grande y disminuya el tiempo del análisis, de esta manera tengamos un mejor control de las piezas de fabricación que se diseñaron.

Se recomienda proponer diagramas de control eléctrico para la automatización de la etapa de pulverización, con la finalidad de proteger la electrobomba y el circuito de eléctrico de energía renovable.

Se recomienda realizar la GUI Matlab para hacer más didáctico la parametrización del código Matlab, con diferentes tipos de material y espesores de perfiles, en esta investigación se logró hacer el código Matlab para generar las gráficas del factor de seguridad referido al diferentes tipos de materiales y diferentes espesores.

REFERENCIAS

- Castro Vergaray. (2020). *Diseño de un Pulverizador para la aplicación fitosanitaria en los cultivos de uva de la empresa Full Maquinarias S.A.* [Tesis para optar por el título profesional, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio UCV <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/58069>
- Klaus Hahn. (2010). *Einsatzmöglichkeiten elektrischer Antriebe für landwirtschaftliche Maschinenkombinationen.* [Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias Agrícolas]. Repositorio OPUS. <http://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2012/645/>
- Laukik P. Raut, et al. (2013). *Design, development and fabrication of agricultural pesticides sprayer with weeder.* ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/259497548_Design_development_and_fabrication_of_agricultural_pesticides_sprayer_with_weeder
- Yang Yanqiang, et al., 2022. Artículo "Design and Experiment of Trailed Liquid Fertilizer Sprayer". <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85124687875&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=trailed+sprayer+design&sid=376f884212dab16a4b09565295cdf1fb&sot=b&sdt=b&sl=37&s=TITLE-ABS-KEY%28trailed+sprayer+design%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=>
- Kumawat Mukesh, M., Wadavane, D., Ankit, N., Dipak, V., & Chandrakant, G. (2018). *Solar operated pesticide sprayer for agriculture purpose.* International Research Journal Of Engineering And Technology (IRJET) E-ISSN, 2395-0056. <https://www.academia.edu/download/58281624/IRJET-V5I5646.pdf>
- Carlos Magdalena. (2004). *Efecto de la Utilización de Pulverizadores de Flujo Transversal e Hidroneumático tradicional sobre la Calidad de los Tratamientos Fitosanitarios en Manzanos (Malus doméstica, Borkh).* [Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio UPV. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/2668/tesisUPV2104.pdf?sequence=1>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2015). *Sector Agrario.* MIDAGRI. <https://www.midagri.gob.pe/portal/marco-legal/58-sector-agrario/sector-agrario/659-sector-agrario>

- Moreda G., Muñoz M., Barreiro P. (11 de mayo de 2016). *Electrificación de alto voltaje de tractores y maquinaria agrícola*. Science Direct. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890416300425?via%3Dihub>
- Molina E., Victorero E. (2015). *La agricultura en países subdesarrollados. Particularidades de su financiamiento*. CLACSO. <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Cuba/ciei-uh/20150908010537/Financiamientoagricultura.pdf>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2021). *Perspectivas de la Agricultura y del Desarrollo Rural en las Américas*. CEPAL. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47208/1/CEPAL-FAO21-22_es.pdf
- AgroSpray. (5 de enero del 2022). *Fumigadoras agrícolas: Todo lo que debes saber para elegir la adecuada*. <https://agrospray.com.ar/blog/fumigadoras-agricolas/>
- Inostroza J., Méndez P., Ríos P. (2011). *Manual de Campo Uso de Equipos Pulverizadores*. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/7432>
- Márquez Luis. (2008). *Buenas Prácticas Agrícolas En La Aplicación De Los Fitosanitarios*. https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/Buenas-practicas-fitosanitarios_tcm30-58280.pdf
- Castro J., Domínguez M., Villaseñor R. (2019). *Sistemas de almacenamiento mediante baterías electroquímicas. Contribución a la integración de energías renovables*. https://www.researchgate.net/publication/333641870_Sistemas_de_almacenamiento_mediante_baterias_electroquimicas_Contribucion_a_la_integracion_de_energias_renovables
- Torres P., Murillo Y., Restrepo P. (2008). *Diseño y Construcción de un Inversor Trifásico*. Redalyc. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84920454008.pdf>
- Franco Cifuentes R., (2014). *Diseño de un Sistema de Presión o Caudal constante utilizando un Variador de Frecuencia Multibomba*. [Tesis para

obtener el grado de Ingeniero Electricista]. Repositorio USAC. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0877_EA.pdf

- Alvarado Ladrón D., (2018). *Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada*. [Tesis para obtener el grado de Ingeniero Industrial]. Repositorio UPM. https://oa.upm.es/52204/1/PFC_JORGE_ALVARADO_LADRON_DE_GUEVA_RA.pdf
- Nasimba Tipán G., Castillo Estévez Y. (2017) *Diseño e Implementación del Controlador de carga y descarga de una Batería dentro de un Sistema Autónomo de iluminación pública a partir de Fuentes de Energía Renovable*. [Tesis para obtener el grado de Ingeniero en Electrónica y Control]. Repositorio EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17371>
- Automaq. (s.f). *VARIADOR DE FRECUENCIA POWERFLEX 525. 0,75 KW*. <https://automaq.pe/producto/53285/variador-de-frecuencia-powerflex-525-0-75-kw->
- Id solar. (s.f). *Controlador de carga solar mppt de alta eficiencia de conversión*. <https://www.ldsolar.com/es/products-detail-2333356>
- Jacto. (s.f). *Pulverizadoras de barra Advance 3000 AM24*. <https://jacto.com/argentina/products/pulverizadores-de-barras/advance-3000-am24>
- Jacto. (s.f). *Pulverizadoras turbos Arbus 1500 Diamond*. <https://jacto.com/southamerica/products/pulverizadores-turbos/arbus-1500-diamond>
- Teyme. (s.f) *Nebulizadores*. <https://www.teyme.es/es-ES/producto/duo-plus/>
- Pedrollo. (s.f). *electrobombas centrifugas de alto rendimiento*. <https://grupobonnett.com/wp-content/uploads/2022/08/Ficha-Tecnica-HF-medio-caudal.pdf>
- ARAG. (s.f) *Filtro de aspiración 100 L/min de polipropileno*. <https://www.aragnet.com/ES/INT/246/products/?PRD=99396>
- León. (s.f). *Cilindro Hidráulico D/E 20-30-40-500mm* <https://cilindrohidraulico.es/es/p/cilindro-d-e-20-30-40-500-541>

- Mott, R. L. (2006). Mecánica de fluidos (6.a ed.; P. M. Rosas, Guerrero, Ed.). México: Pearson Educación.
<https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/10/fluidos-mott-6ed.pdf>
- Cortez Arenas J., Cepeda Cifuentes J. (2017) *Diseño de un sistema automático de aspersión de plaguicidas semi estacionario par semi estacionario para cultivos de flor os de flores en invernadero*. [Tesis para obtener el grado de Ingeniero en Automatización]. Repositorio UNISALLE.
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1106&context=ing_au_tomatizacion

ANEXOS

ANEXO 01: GUIA DE ENTREVISTA 01

Objetivo de la entrevista:

Recolectar información para los requerimientos de diseño para el pulverizador de agroquímicos para parcelas estrechas de 80Lt/min energizado eléctricamente.

Tamaño de la muestra:

Trabajadores con experiencia en fabricación de máquinas pulverizadoras elegidos intencionalmente por el investigador.

Técnica de recolección:

Entrevista.

Instrumento de recolección:

Guía de entrevista

Diseño y realización:

Autor de la investigación / Trabajadores de la empresa AFA GROUP

GUIA DE ENTREVISTA PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN PARA LOS REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DEL PULVERIZADOR DE AGROQUÍMICOS PARA PARCELAS ESTRECHAS DE 80LT/MIN ENERGIZADO ELÉCTRICAMENTE

La información que usted proporcionará será utilizada sólo con fines académicos y de investigación, por lo que se le agradece por su valiosa información y colaboración.

Trujillo, Fecha del 2023

Apellido y nombres del experto:

DNI:

Teléfono:

Título/grados:

Cargo e institución en que labora:

1. ¿A qué área de trabajo perteneces?

2. ¿A qué tipo de cultivos se adecua la maquina?

3. ¿Qué ancho de carretera o calle tienen este tipo de cultivos?

4. ¿Cuál es la altura mínima y máxima de este tipo de cultivos?

5. ¿Qué presión se necesita para que las aplicaciones en campo sean eficientes?

6. ¿Qué tipo de boquilla es utilizada en estos cultivos?

7. ¿Actualmente cómo funciona el accionamiento en la etapa de pulverización en las pulverizadoras de arrastre?

8. ¿Considera que la implementación del sistema eléctrico en la etapa de pulverización de la pulverizadora de agroquímicos de 80Lt/min sea una opción amigable con el medio ambiente?

Firma del Experto

ANEXO 02: VALORACIÓN DEL INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

GUÍA DE ENTREVISTA

Por favor, marque con una X la respuesta escogida de entre las opciones que se presentan:

	sí	no
El instrumento contiene ítems claros a observar		
El número de ítems es el adecuado.		
Los ítems responden a los objetivos de la investigación (en el supuesto de contestar NO, por favor, indique inmediatamente abajo cuáles)		

ítems que el experto considera no cumplen o faltan a la exigencia de la investigación	
N.º de la(s) ítems(s)	
Propuestas de mejora (modificación, sustitución o supresión)	

	Evaluación general del Instrumento			
	Excelente	Buena	Regular	Deficiente
Validez de contenido del Instrumento				

Observaciones y recomendaciones en general de la guía de entrevista:	
Motivos por los que se considera no adecuada	
Motivos por los que se considera no pertinente	
Propuestas de mejora (modificación, sustitución o supresión)	

IDENTIFICACIÓN DEL EXPERTO

Nombre y apellidos	
Filiación (ocupación, grado académico y lugar de trabajo):	
e-mail	
Teléfono o celular	
Fecha de la validación (día, mes y año):	
Firma	

Muchas gracias por su valiosa contribución a la validación de este instrumento.

ANEXO 03: GUÍA DE ENTREVISTA 02:

Se aplica una entrevista a los operadores para conocer las condiciones de funcionamiento y deficiencias de la máquina.

Objetivo de la entrevista:

Recolectar información para conocer las condiciones de funcionamiento y deficiencias de la máquina.

Tamaño de la muestra:

Trabajadores con experiencia en fabricación de máquinas pulverizadoras elegidos intencionalmente por el investigador.

Técnica de recolección:

Entrevista.

Diseño y realización:

Autor de la investigación / personal laboral de la empresa AFA GROUP

GUÍA DE ENTREVISTA PARA OBTENER INFORMACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO Y DEFICIENCIAS DE LAS MÁQUINAS PULVERIZADORAS PARA CULTIVOS BAJOS O A RAS DE SUELO

La información que usted proporcionará será utilizada sólo con fines académicos y de investigación, por lo que se le agradece por su valiosa información y colaboración.

Trujillo, Fecha del 2023

Apellido y nombres del experto:

DNI:

Teléfono:

Título/grados:

Cargo e institución en que labora:

1. ¿Cuántos operadores trabajan en las maniobras de funcionamiento de la máquina pulverizadora de agroquímicos?

2. ¿Cuál es el caudal de bombeo normal diario de la máquina pulverizadora?

3. ¿Cuál es la presión de descarga de bombeo normal diario de la máquina pulverizadora?

4. ¿Qué rangos de velocidades de avance del tractor son los más recomendables en estos tipos de cultivos?

5. ¿Cuáles son las principales fallas o deficiencias a nivel estructural de la máquina?

6. ¿Cuántas horas opera la máquina pulverizadora de agroquímicos por día?

7. ¿Cuáles son los componentes más críticos en la etapa de pulverización de la máquina?

8. ¿Se cumple el plan de mantenimiento de la máquina?

Firma del Experto

VALORACION DEL INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS

GUÍA DE ENTREVISTA

Por favor, marque con una X la respuesta escogida de entre las opciones que se presentan:

	sí	no
El instrumento contiene ítems claros a observar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
El número de ítems es el adecuado.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Los ítems responden a los objetivos de la investigación (en el supuesto de contestar NO, por favor, indique inmediatamente abajo cuáles)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

ítems que el experto considera no cumplen o faltan a la exigencia de la investigación	
N.º de la(s) ítems(s)	
Propuestas de mejora (modificación, sustitución o supresión)	

	Evaluación general del Instrumento			
	Excelente	Buena	Regular	Deficiente
Validez de contenido del Instrumento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Observaciones y recomendaciones en general de la guía de entrevista:	
Motivos por los que se considera no adecuada	
Motivos por los que se considera no pertinente	
Propuestas de mejora (modificación, sustitución o supresión)	

IDENTIFICACIÓN DEL EXPERTO

Nombre y apellidos	
Filiación (ocupación, grado académico y lugar de trabajo):	
e-mail	
Teléfono o celular	
Fecha de la validación (día, mes y año):	
Firma	

Muchas gracias por su valiosa contribución a la validación de este instrumento.

ANEXO 04: Entrevistas aplicadas

GUÍA DE ENTREVISTA PARA OBTENER INFORMACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO Y DEFICIENCIAS DE LAS MÁQUINAS PULVERIZADORAS PARA CULTIVOS BAJOS O A RAS DE SUELO

La información que usted proporcionará será utilizada sólo con fines académicos y de investigación, por lo que se le agradece por su valiosa información y colaboración.

Trujillo, 24 de abril del 2023

Apellido y nombres del experto: *Julca Verástegui Ruiz.*

DNI: *19336932*

Teléfono: *978686809*

Título/grados: *Ing. Mecánico*

Cargo e institución en que labora: *Jefe de Mecánica Hidráulica*

1. ¿Cuántos operadores trabajan en las maniobras de funcionamiento de la máquina pulverizadora de agroquímicos?

Generalmente, se ocupan 2 personas para operar la máquina.

2. ¿Cuál es el caudal de bombeo normal diario de la máquina pulverizadora?

El caudal es de 80 lt/min en condiciones habituales de operación a plena carga, siendo el mínimo de 68,75 lt/min.

3. ¿Cuál es la presión de descarga de bombeo normal diario de la máquina pulverizadora?

La presión de descarga nominal está entre 6 a 10 bar.

4. ¿Qué rangos de velocidades de avance del tractor son los más recomendables en estos tipos de cultivos?

El tractor opera a velocidades entre 6 a 10 Km/h.

5. ¿Cuáles son las principales fallas o deficiencias a nivel estructural de la máquina?

A nivel estructural se presentan fisuras superficiales en uniones soldadas por las cargas fluctuantes debido a la irregularidad del terreno donde operan.

6. ¿Cuántas horas opera la máquina pulverizadora de agroquímicos por día?

Opera entre 4 a 8 horas diarias.

7. ¿Cuáles son los componentes más críticos en la etapa de pulverización de la máquina?

Las boquillas pueden obstruirse, lo cual dificulta su función. También el eje de transmisión por junta cardán es crítico, por el accionamiento.

8. ¿Se cumple el plan de mantenimiento de la máquina?

Después de la compra del equipo, se coordina la aplicación del plan de mantenimiento del equipo, el cual se cumple y monitorea.


Firma del Experto

**GUIA DE ENTREVISTA PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN PARA LOS
REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DEL PULVERIZADOR DE AGROQUÍMICOS
PARA PARCELAS ESTRECHAS DE 80LT/MIN ENERGIZADO
ELÉCTRICAMENTE**

La información que usted proporcionará será utilizada sólo con fines académicos y de investigación, por lo que se le agradece por su valiosa información y colaboración.

Trujillo, 24 de abril del 2023

Apellido y nombres del experto: *Julca Verástegui Luis*

DNI: *19336432*

Teléfono: *978686809*

Título/grados: *Ing. Mecánico*

Cargo e institución en que labora: *Jefe de Mecánica e Hidráulica*

1. ¿A qué área de trabajo perteneces?

Área de Ingeniería

2. ¿A qué tipo de cultivos se adecua la maquina?

*Se adecua a cultivos de cebolla, tomate, papá,
pimientos, espárrago y sandía.*

3. ¿Qué ancho de carretera o calle tienen este tipo de cultivos?

Los cultivos tienen un ancho de carretera de 2m.

4. ¿Cuál es la altura mínima y máxima de este tipo de cultivos?

*La altura mínima es de 0,5m y la altura máxima
de 1,6m.*

5. ¿Qué presión se necesita para que las aplicaciones en campo sean eficientes?

Presión de salida en bomba se necesita que sean entre 4 a 6 bar.

6. ¿Qué tipo de boquilla es utilizada en estos cultivos?

Se utilizan las boquillas de cono vacío y cono lleno con ángulos de 60° a 80° , con un caudal admisible entre 0,5 a 3 lt/min.

7. ¿Actualmente cómo funciona el accionamiento en la etapa de pulverización en las pulverizadoras de arrastre?

Las bombas son accionadas por un eje cardán que está acoplado a la toma de fuerza TDF en el eje de salida del tractor. También se suele utilizar un motor hidráulico en reemplazo del TDF.

8. ¿Considera que la implementación del sistema eléctrico en la etapa de pulverización de la pulverizadora de agroquímicos de 80L/min sea una opción amigable con el medio ambiente?

Si, usar accionamiento eléctrico para la bomba sería aceptable, ya que disminuiría el consumo de combustible, menos pérdidas mecánicas en la transmisión, menor ruido y menos emisión de gases de combustión lo cual preserva el medio ambiente.



Firma del Experto

Ing. Luis Julca Verástegui

**VALORACION DEL INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS
GUÍA DE ENTREVISTA**

Por favor, marque con una X la respuesta escogida de entre las opciones que se presentan:

	sí	no
El instrumento contiene ítems claros a observar	X	
El número de ítems es el adecuado.	X	
Los ítems responden a los objetivos de la investigación (en el supuesto de contestar NO, por favor, indique inmediatamente abajo cuáles)	X	

Ítems que el experto considera no cumplen o faltan a la exigencia de la investigación	
N.º de la(s) ítems(s)	
Propuestas de mejora (modificación, sustitución o supresión)	

	Evaluación general del Instrumento			
	Excelente	Buena	Regular	Deficiente
Validez de contenido del Instrumento		X		

Observaciones y recomendaciones en general de la guía de entrevista:	
Motivos por los que se considera no adecuada	
Motivos por los que se considera no pertinente	
Propuestas de mejora (modificación, sustitución o supresión)	

IDENTIFICACIÓN DEL EXPERTO

Nombre y apellidos	Luis Tulca Verdástegui
Filiación (ocupación, grado académico y lugar de trabajo):	Analista CAD-CAE Ingeniero Mecánico Área de Ingeniería
e-mail	ljulcav@gmail.com
Teléfono o celular	978686809
Fecha de la validación (día, mes y año):	24 de abril del 2023.
Firma	

Muchas gracias por su valiosa contribución a la validación de este instrumento.

GUÍA DE ENTREVISTA PARA OBTENER INFORMACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO Y DEFICIENCIAS DE LAS MÁQUINAS PULVERIZADORAS PARA CULTIVOS BAJOS O A RAS DE SUELO

La información que usted proporcionará será utilizada sólo con fines académicos y de investigación, por lo que se le agradece por su valiosa información y colaboración.

Trujillo, 24 de abril del 2023

Apellido y nombres del experto: Blas Estrada Elmer Milton

DNI: 41639280

Teléfono: 986269409

Título/grados: Técnico superior

Cargo e institución en que labora: jefe de Maquinarias - Afa Group

1. ¿Cuántos operadores trabajan en las maniobras de funcionamiento de la máquina pulverizadora de agroquímicos?

2 personas

2. ¿Cuál es el caudal de bombeo normal diario de la máquina pulverizadora?

El caudal de trabajo de la bomba de 80 Hr/min.
En un promedio de trabajo de 4 horas sería una
descarga total de 16500 Hrs.

3. ¿Cuál es la presión de descarga de bombeo normal diario de la máquina pulverizadora?

De 4-10 bar de presión.

4. ¿Qué rangos de velocidades de avance del tractor son los más recomendables en estos tipos de cultivos?

De 4 - 10 KM/H

5. ¿Cuáles son las principales fallas o deficiencias a nivel estructural de la máquina?

Rajaduras lo cual se presenta debido a lo complicado que suelen ser los terrenos agrícolas.

6. ¿Cuántas horas opera la máquina pulverizadora de agroquímicos por día?

De 4 - 8 Horas

7. ¿Cuáles son los componentes más críticos en la etapa de pulverización de la máquina?

Las boquillas, los cardanes y la bomba.

8. ¿Se cumple el plan de mantenimiento de la máquina?

Si se cumple en gran parte.



Firma del Experto

**GUIA DE ENTREVISTA PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN PARA LOS
REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DEL PULVERIZADOR DE AGROQUÍMICOS
PARA PARCELAS ESTRECHAS DE 80LT/MIN ENERGIZADO
ELÉCTRICAMENTE**

La información que usted proporcionará será utilizada sólo con fines académicos y de investigación, por lo que se le agradece por su valiosa información y colaboración.

Trujillo, 24 de abril del 2023

Apellido y nombres del experto: *Blas Estrada Elmer Hilton*

DNI: *41639280*

Teléfono: *986269409*

Título/grados: *Técnico Superior*

Cargo e institución en que labora: *Jefe de maquinarias - Afa Group*

1. ¿A qué área de trabajo perteneces?

Mantenimiento y producción de equipos fitosanitarios.

2. ¿A qué tipo de cultivos se adecua la maquina?

Cebolla, tomate, papa, hortalizas, pimientos, esparago, sandia, etc.

3. ¿Qué ancho de carretera o calle tienen este tipo de cultivos?

1.8 mtrs - 2 mtrs.

4. ¿Cuál es la altura mínima y máxima de este tipo de cultivos?

0.5 mtrs minimo.

1.6 mtrs maximo.

5. ¿Qué presión se necesita para que las aplicaciones en campo sean eficientes?

Promedio de 4-10 bar.

6. ¿Qué tipo de boquilla es utilizada en estos cultivos?

Se usa boquillas de cono vacío y cono lleno con ángulos de $60^\circ - 80^\circ$.

Caudal de boquillas entre 0.4 ltr/min - 2 ltr/min.

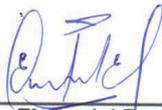
7. ¿Actualmente cómo funciona el accionamiento en la etapa de pulverización en las pulverizadoras de arrastre?

La mayoría de bombas son impulsadas o accionadas mediante un eje cardan el mismo que es movido por el toma fuerza del tractor (TDF).

En algunos casos son accionados por un motor hidráulico, que es impulsado con la bomba hidráulica del tractor mediante mangueras.

8. ¿Considera que la implementación del sistema eléctrico en la etapa de pulverización de la pulverizadora de agroquímicos de 80Lt/min sea una opción amigable con el medio ambiente?

Al utilizar un accionamiento eléctrico de la bomba ya no se necesitaría un tractor de mucha potencia lo cual en términos específicos tendríamos q' usar un tractor de menos HP, lo cual implica que se quemaría menor cantidad de combustible y por ende se haría menos contaminación ambiental.



Firma del Experto

**VALORACION DEL INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS
GUÍA DE ENTREVISTA**

Por favor, marque con una X la respuesta escogida de entre las opciones que se presentan:

	si	no
El instrumento contiene ítems claros a observar	X	
El número de ítems es el adecuado.	X	
Los ítems responden a los objetivos de la investigación (en el supuesto de contestar NO, por favor, indique inmediatamente abajo cuáles)	X	

Ítems que el experto considera no cumplen o faltan a la exigencia de la investigación	
N.º de la(s) ítem(s)	
Propuestas de mejora (modificación, sustitución o supresión)	

	Evaluación general del Instrumento			
	Excelente	Buena	Regular	Deficiente
Validez de contenido del Instrumento		X		

Observaciones y recomendaciones en general de la guía de entrevista:	
Motivos por los que se considera no adecuada	
Motivos por los que se considera no pertinente	
Propuestas de mejora (modificación, sustitución o supresión)	

IDENTIFICACIÓN DEL EXPERTO

Nombre y apellidos	Elmer Milton Blas Estrada
Filiación (ocupación, grado académico y lugar de trabajo):	Jefe de Maginarias Técnico Superior Afa Group
e-mail	jefemaginarias@afagroupperu.pe
Teléfono o celular	986269409
Fecha de la validación (día, mes y año):	24/04/2023
Firma	

Muchas gracias por su valiosa contribución a la validación de este instrumento.

**GUIA DE ENTREVISTA PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN PARA LOS
REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DEL PULVERIZADOR DE AGROQUÍMICOS
PARA PARCELAS ESTRECHAS DE 80LT/MIN ENERGIZADO
ELÉCTRICAMENTE**

La información que usted proporcionará será utilizada sólo con fines académicos y de investigación, por lo que se le agradece por su valiosa información y colaboración.

Trujillo, 24 de abril del 2023

Apellido y nombres del experto: *Randy Uguriga Castillo*

DNI: *41809299*

Teléfono: *915128723*

Título/grados: *Ing. Industrial*

Cargo e institución en que labora: *Jefe Producción*

1. ¿A qué área de trabajo perteneces?

- *Producción*

2. ¿A qué tipo de cultivos se adecua la maquina?

- *Pimiento*

- *Alcachofa*

- *Papa*

3. ¿Qué ancho de carretera o calle tienen este tipo de cultivos?

- *Por medio entre 1.80 a 2.00 mt.*

4. ¿Cuál es la altura mínima y máxima de este tipo de cultivos?

Altura Mínima → 40. cm.

Altura Máxima → 1.60 mt.

5. ¿Qué presión se necesita para que las aplicaciones en campo sean eficientes?

Presión de Aplicación entre:
5 a 10 bar.

6. ¿Qué tipo de boquilla es utilizada en estos cultivos?

boquillos Cono Llano
Caudal de boquilla entre: 0.4 Lt/min a 3 Lt/min

7. ¿Actualmente cómo funciona el accionamiento en la etapa de pulverización en las pulverizadoras de arrastre?

La Bomba se Acciona por la Joma de Fuerza que emana al tractor

8. ¿Considera que la implementación del sistema eléctrico en la etapa de pulverización de la pulverizadora de agroquímicos de 80Lt/min sea una opción amigable con el medio ambiente?

Se Considera Favorable este tipo de Sistema en la parte Agroindustrial, ya que generaría menos inversión en accesorios y menos contaminación.



Firma del Experto

GUÍA DE ENTREVISTA PARA OBTENER INFORMACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO Y DEFICIENCIAS DE LAS MÁQUINAS PULVERIZADORAS PARA CULTIVOS BAJOS O A RAS DE SUELO

La información que usted proporcionará será utilizada sólo con fines académicos y de investigación, por lo que se le agradece por su valiosa información y colaboración.

Trujillo, 24 de abril del 2023

Apellido y nombres del experto: *Randy Urquiaga Castillo*

DNI: *41807299*

Teléfono: *915128723*

Título/grados: *Ing. Industrial*

Cargo e institución en que labora: *Jefe Producción*

1. ¿Cuántos operadores trabajan en las maniobras de funcionamiento de la máquina pulverizadora de agroquímicos?

Son 2 trabajadores

2. ¿Cuál es el caudal de bombeo normal diario de la máquina pulverizadora?

*El promedio de trabajo en 4 horas es:
16.500 Lt/. Considerando un caudal de trabajo de
80 Lt./min.*

3. ¿Cuál es la presión de descarga de bombeo normal diario de la máquina pulverizadora?

La presión de descarga es entre 5 a 10 bar promedio

4. ¿Qué rangos de velocidades de avance del tractor son los más recomendables en estos tipos de cultivos?

La velocidad promedio es entre 5 a 10 Km/h

5. ¿Cuáles son las principales fallas o deficiencias a nivel estructural de la máquina?

- Normalmente se presentan los fallos en las estructuras de Aguilones.

6. ¿Cuántas horas opera la máquina pulverizadora de agroquímicos por día?

entre 4 a 8 horas.

7. ¿Cuáles son los componentes más críticos en la etapa de pulverización de la máquina?

- Boquillos
- Bomba
- Cordon (Cruce los)

8. ¿Se cumple el plan de mantenimiento de la máquina?

Se cumple con Normalidad Segun los horas de trabajo


Firma del Experto

**VALORACION DEL INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS
GUÍA DE ENTREVISTA**

Por favor, marque con una X la respuesta escogida de entre las opciones que se presentan:

	sí	no
El instrumento contiene ítems claros a observar	X	
El número de ítems es el adecuado.	X	
Los ítems responden a los objetivos de la investigación (en el supuesto de contestar NO, por favor, indique inmediatamente abajo cuáles)	X	

ítems que el experto considera no cumplen o faltan a la exigencia de la investigación	
N.º de la(s) ítems(s)	
Propuestas de mejora (modificación, sustitución o supresión)	

	Evaluación general del Instrumento			
	Excelente	Buena	Regular	Deficiente
Validez de contenido del Instrumento		X		

Observaciones y recomendaciones en general de la guía de entrevista:	
Motivos por los que se considera no adecuada	
Motivos por los que se considera no pertinente	
Propuestas de mejora (modificación, sustitución o supresión)	

IDENTIFICACIÓN DEL EXPERTO

Nombre y apellidos	Randy Urquiza Castillo
Filiación (ocupación, grado académico y lugar de trabajo):	Ing. Industria / Jefe Producción. AFA GROUP.
e-mail	
Teléfono o celular	915 128 723
Fecha de la validación (día, mes y año):	24/04/2023
Firma	

Muchas gracias por su valiosa contribución a la validación de este instrumento.

**GUIA DE ENTREVISTA PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN PARA LOS
REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DEL PULVERIZADOR DE AGROQUÍMICOS
PARA PARCELAS ESTRECHAS DE 80LT/MIN ENERGIZADO
ELÉCTRICAMENTE**

La información que usted proporcionará será utilizada sólo con fines académicos y de investigación, por lo que se le agradece por su valiosa información y colaboración.

Trujillo, 24 de abril del 2023

Apellido y nombres del experto: *Olaya Paña José Luis*
DNI: *43058281*
Teléfono: *948325063*
Título/grados: *Administrador.*
Cargo e institución en que labora: *Jeje de producción/operaciones.*

1. ¿A qué área de trabajo perteneces?

Producción

2. ¿A qué tipo de cultivos se adecua la maquina?

*Cebolla, tomate, papa, hortalizas
Dinamo, paprika, espinazo, etc*

3. ¿Qué ancho de carretera o calle tienen este tipo de cultivos?

1.8 mts a 2 mts.

4. ¿Cuál es la altura mínima y máxima de este tipo de cultivos?

*0.5 mts min.
1.6 mts Max.*

5. ¿Qué presión se necesita para que las aplicaciones en campo sean eficientes?

Promedio de 5 - 10 Bar.

6. ¿Qué tipo de boquilla es utilizada en estos cultivos?

*Boquillas como vacío y como llovo según necesidad
con ángulos desde 40° - 60° - 80°
Caudal entre 0.4 lts/min - 3 lts/min*

7. ¿Actualmente cómo funciona el accionamiento en la etapa de pulverización en las pulverizadoras de arrastre?

*Conectando al TDF del tractor un transmisor de potencia
(condan) el cual acciona la bomba de agroquímicos.*

8. ¿Considera que la implementación del sistema eléctrico en la etapa de pulverización de la pulverizadora de agroquímicos de 80Lt/min sea una opción amigable con el medio ambiente?

*- Menos contaminación del medio ambiente
- Ahorro de combustible.
- No se usara condan
- Mayor vida útil del tractor
Esta sería la ventaja del uso del sistema eléctrico.*



Firma del Sr. José Luis Díaz Peña
DNI N° 43068281
AFA GROUP DE MAQUINARIAS Y REPUESTOS SRL
JEFE DE OPERACIONES COMERCIALES

GUÍA DE ENTREVISTA PARA OBTENER INFORMACIÓN DE LAS CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO Y DEFICIENCIAS DE LAS MÁQUINAS PULVERIZADORAS PARA CULTIVOS BAJOS O A RAS DE SUELO

La información que usted proporcionará será utilizada sólo con fines académicos y de investigación, por lo que se le agradece por su valiosa información y colaboración.

Trujillo, 24 de abril del 2023

Apellido y nombres del experto: *Olaya Peña José Luis*
DNI: *43088281*
Teléfono: *948325063*
Título/grados: *Administrador*
Cargo e institución en que labora: *Jeje de producción / Operaciones*

1. ¿Cuántos operadores trabajan en las maniobras de funcionamiento de la máquina pulverizadora de agroquímicos?

2 personas.

2. ¿Cuál es el caudal de bombeo normal diario de la maquina pulverizadora?

*Caudal 80 Lt/min
Promedio de trabajo 4 hrs.
con una descarga total de 16,500 lts. promedio.*

3. ¿Cuál es la presión de descarga de bombeo normal diario de la maquina pulverizadora?

de 5 - 10 Bar.

4. ¿Qué rangos de velocidades de avance del tractor son los más recomendables en estos tipos de cultivos?

De 6 a 10 Km/hora

5. ¿Cuáles son las principales fallas o deficiencias a nivel estructural de la máquina?

Por fajas de ferros, suelen fatigarse las zonas de boinas, cuadro posterior, y rejaduras de chasis cuando son suelos muy compactados.

6. ¿Cuántas horas opera la máquina pulverizadora de agroquímicos por día?

de 4 - 8 horas promedio.

7. ¿Cuáles son los componentes más críticos en la etapa de pulverización de la máquina?

Bombas, Cardan, Regulador de presión, crucetas de cardan.

8. ¿Se cumple el plan de mantenimiento de la máquina?

Si se cumple según plan de mtto.



Firma de José Luis Díaz Peña
- DNI N° 43068281
AFA GROUP DE MAQUINARIAS Y REPUESTOS S.R.L.
JEFE DE OPERACIONES COMERCIALES

**VALORACION DEL INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS
GUÍA DE ENTREVISTA**

Por favor, marque con una X la respuesta escogida de entre las opciones que se presentan:

	sí	no
El instrumento contiene ítems claros a observar	X	
El número de ítems es el adecuado.	X	
Los ítems responden a los objetivos de la investigación (en el supuesto de contestar NO, por favor, indique inmediatamente abajo cuáles)	X	

Ítems que el experto considera no cumplen o faltan a la exigencia de la investigación	
N.º de la(s) ítems(s)	
Propuestas de mejora (modificación, sustitución o supresión)	

	Evaluación general del Instrumento			
	Excelente	Buena	Regular	Deficiente
Validez de contenido del Instrumento		X		

Observaciones y recomendaciones en general de la guía de entrevista:	
Motivos por los que se considera no adecuada	
Motivos por los que se considera no pertinente	
Propuestas de mejora (modificación, sustitución o supresión)	

IDENTIFICACIÓN DEL EXPERTO

Nombre y apellidos	Jose Luis Olaya Peña
Filiación (ocupación, grado académico y lugar de trabajo):	Administrador Área de Producción / Jefe de Producción / Operaciones
e-mail	operacionescomerciales@afagrouppc.pe
Teléfono o celular	948325063
Fecha de la validación (día, mes y año):	24/04/2023
Firma	 <hr/> <p align="center"> José Luis Olaya Peña <small> DNI N° 43066281 AFA GROUP DE MAQUINARIAS Y REPUESTOS EIRL JEFE DE OPERACIONES COMERCIALES </small> </p>

Muchas gracias por su valiosa contribución a la validación de este instrumento.

ANEXO 5. Ficha técnica de bomba

HF

Electrobombas centrífugas

→ Medios caudales

-  Agua limpia
-  Uso agrícola
-  Uso industrial



CAMPO DE PRESTACIONES

- Altura manométrica hasta **39 m**

LÍMITES DE USO

- Altura de aspiración manométrica hasta **7 m**
- Temperatura del líquido de **-10 °C** hasta **+90 °C**
- Temperatura ambiente hasta **+40 °C**
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba:
 - **6 bar** para HF 5-50-51
 - **10 bar** para HF 5M-70
- Funcionamiento continuo **S1**

EJECUCIÓN Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1
IEC 60335-1
CEI 61-150

EN 60034-1
IEC 60034-1
CEI 2-3



CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV
ISO 9001: CALIDAD

USOS E INSTALACIONES

Son recomendadas para utilizarse en el sector civil y agrícola. Sus elevados rendimientos y la posibilidad de un funcionamiento continuo permiten el uso de estas electrobombas para la irrigación por gravedad, por aspersión, para el bombeo del agua de lagos, ríos, pozos y para muchas otras aplicaciones industriales caracterizadas por la necesidad de tener caudales considerables con alturas medio bajas. La instalación se debe realizar en lugares cerrados, bien aireados y protegidos de la intemperie.

EJECUCIÓN BAJO PEDIDO

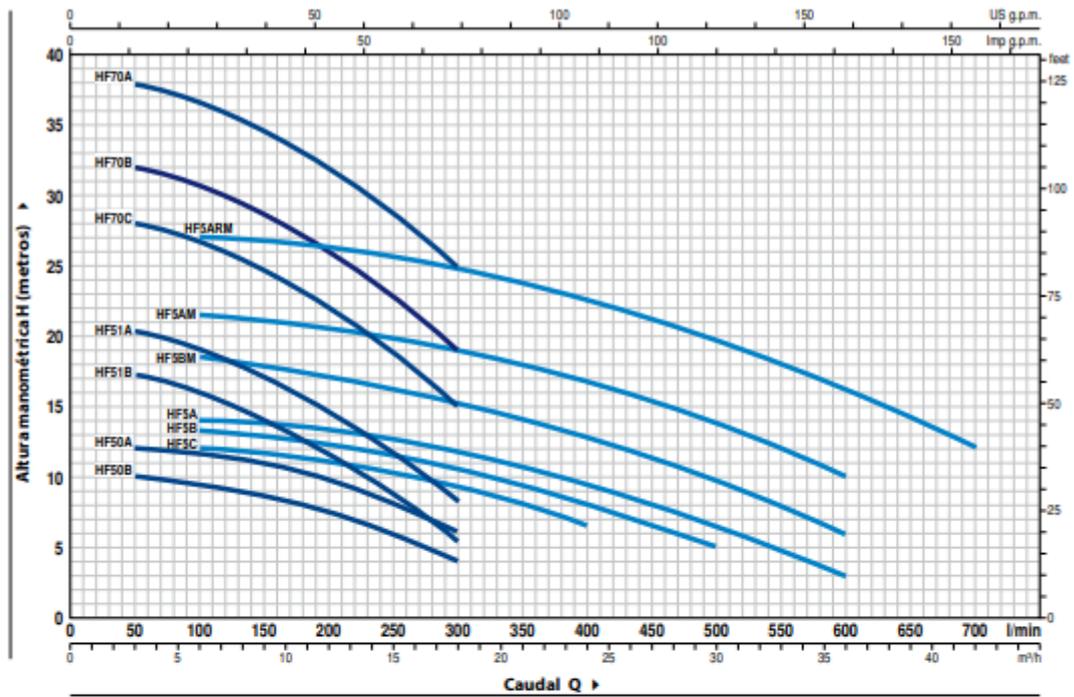
- Cuerpo bomba con bocas roscadas NPT ANSI B 1.20.1
- Sello mecánico especial
- Otros voltajes
- Protección IP X5 para HF 5M-70

GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 min⁻¹ HS= 0 m



MODELO		POTENCIA (P ₂)		▲	Q	H metros												
Monofásica	Trifásica	kW	HP			m ³ /h	0	3	6	9	12	15	18	21	24	30	36	42
					l/min	0	50	100	150	200	250	300	350	400	500	600	700	
HFm 50B	HF 50B	0.37	0.50	IE2	H metros	10	10	9.5	8.5	7.5	6	4						
HFm 50A	HF 50A	0.55	0.75			12	12	11.5	11	9.6	8	6						
HFm 51B	HF 51B	0.60	0.85			18.2	17.2	16	14	11.5	9	5.4						
HFm 51A	HF 51A	0.75	1	IE3		21.2	20.2	19	17	14.5	11.6	8.4						
HFm 70C	HF 70C	1.1	1.5			29	28	26.5	24.5	22	18.5	15						
HFm 70B	HF 70B	1.5	2			33	32	30.5	28.5	26	22.5	19						
HFm 70A	HF 70A	2.2	3	IE2		39	38	36.5	34.5	32	28.5	25						
HFm 5C	HF 5C	0.55	0.75			12.5	-	12	11.7	11	10.2	9.2	8	6.5				
HFm 5B	HF 5B	0.75	1			13.7	-	13.2	13	12.5	11.6	10.5	9.2	8	5			
HFm 5A	HF 5A	1.1	1.5	IE3		14.5	-	13.8	13.5	13.2	12.6	11.8	10.5	9.2	6.5	3		
HFm 5BM	HF 5BM	1.1	1.5			19	-	18.5	18	17	16	15.2	14	12.8	9.7	6		
HFm 5AM	HF 5AM	1.5	2			22	-	21.5	21	20.5	19.8	19	18	16.8	13.8	10		
HFm 5ARM	HF 5ARM	2.2	3			27	-	27	26.8	26.4	25.6	24.8	23.8	22.5	19.8	16.2	12	

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30-1)

ANEXO 6. MEMORIA DE CALCULO HIDRÁULICO

Ancho de cobertura de boquilla:

Se eligió una boquilla tipo abanico con un ángulo de aspersión $\beta = 110^\circ$, que funcionara a una altura de 50cm sobre el cultivo.

$$W = 2 * O_T * \tan\left(\frac{\beta}{2}\right)$$

$$\beta = 110^\circ * \frac{\pi}{180} = 1.92 \text{ rad}$$

$$W = 2 * 0.50 * \tan\left(\frac{1.92}{2}\right)$$

$$W = 1.43 \text{ m}$$

De acuerdo a las características del cultivo se usará 10 boquillas en cada brazo del aguilón con una separación de 50 cm entre ellas.

Se calculará el ancho de cubierta total

$$W_T = 0.50(n - 1) + W$$

$$W_T = 0.50(n - 1) + 1.42$$

$$W_T = 5.92$$

CAUDAL VOLUMETRICO

De acuerdo a los clientes de la empresa AFA GROUP las características de su cultivo requieren un volumen de aplicación del insecticida de 400 litros por hectárea, la velocidad de trabajo del tractor es de 10 km/h y esta se mantiene constante.

De acuerdo a estos datos se calculo el caudal:

$$Q = \frac{W * V_{(T)} * V_{apl}}{600}$$

$$Q = \frac{2 * 5.92 * 10 * 400}{600}$$

$$Q = 78.93 \frac{L}{min}$$

CALCULO DE PERDIDA DE CARGA

Perdida de carga por fricción

$$Q_V = 78.93 \text{ l}/\text{min}$$

Haciendo equivalencia de unidades

$$Q_V = 78.93 \frac{\text{l}}{\text{min}} * \frac{1\text{m}^3}{1000\text{l}} * \frac{1\text{min}}{60\text{s}}$$

$$Q_V = 13.16 * 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Calculamos la velocidad del fluido, teniendo en cuenta que el diámetro interno de la manguera es de $1\frac{1}{2}$ " pulgadas

$$D = 1\frac{1}{2}" = 3.81 \text{ cm} = 0.0381 \text{ m}$$

$$V = \frac{Q_V}{A}$$

$$V = \frac{13.16 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{S}}{\frac{\pi * (0.0381)^2}{4}}$$

$$V = 1.155 \text{ m}/\text{S}$$

RUGOSIDAD

Se sabe que la manguera es de PVC la cual tiene una rugosidad absoluta de:

$$\varepsilon = 0.0015 \text{ mm}$$

La rugosidad relativa viene dada por la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{D}$$

$$\varepsilon_r = \frac{0.0015 \text{ mm}}{38.1 \text{ mm}}$$

$$\varepsilon_r = 3.94 * 10^{-5}$$

Cálculo número de Reynolds

$$R_e = \frac{1.155 * 998.49 * 0.0127}{1.003 * 10^{-3}}$$

$$R_e = 14602.54 \Rightarrow \text{Regimen Turbulento}$$

Cálculo coeficiente de fricción

$$\frac{l}{\sqrt{f}} - 2 \log \left(\frac{\varepsilon_r}{3.7} + \frac{2.5 L}{R_e \sqrt{f}} \right)$$

$$\frac{l}{\sqrt{f}} - 2 \log \left(\frac{3.94 * 10^{-5}}{3.7} + \frac{2.5 L}{14602.54 \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0.02806$$

Cálculo de la pérdida de carga

$$h_f = f * \left(\frac{L}{D} \right) * \left(\frac{V^2}{2 * g} \right)$$

$$h_f = 0.028 * \left(\frac{8.2}{0.0381} \right) * \left(\frac{(1.155)^2}{2 * 9.81} \right)$$

$$h_f = 0.41$$

Perdidas de carga por accesorio

$$h_V = f * \left(\frac{\sum leq}{D} \right) * \left(\frac{V^2}{2 * g} \right)$$

$$h_V = 0.028 * \left(\frac{5.43}{0.0381} \right) * \left(\frac{(1.155)^2}{2 * 9.81} \right)$$

$$h_V = 0.27m$$

$$h_T = h_F + h_V = 0.41 + 0.27 = 0.68 m$$

Selección de la bomba

Ecuación de Bernoulli

$$\frac{V_1^2}{2 * g} + \frac{P_1}{y} + Z_1 + W = h_T + V_2^2 + \frac{P_2}{y} + Z_2$$

Datos:

Condiciones iniciales

- $V_1 = 0 \text{ m/s}$
- $P_1 = P_{atm} = 101.2 * 10^3 \text{ pa}$
- $y = 9795.18 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$
- $Z_1 = 0.60 \text{ m}$
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Condiciones requeridas

- $V_2 = 1.155 + 20\% (1.155)$
- $h_T = 0.68 \text{ m}$
- $P_2 = 4_{bar} = 400 * 10^3 \text{ pa}$
- $Z_2 = 1.60 \text{ m}$

Despejamos W

$$W = \Delta Z + \frac{\Delta V^2}{2 * g} + \frac{\Delta P}{y} + h_r$$

$$W = (1.60 - 0.60) + \frac{1.386^2}{2 * 9.81} + \frac{(400 * 10^3 - 101.2 * 10^3)}{9795.18} + 0.68$$

$$W = 32.28$$

Cálculo de potencia teórica de la bomba

$$P_T = W * y * Q_V$$

$$P_T = 32.28 * 9785.18 * 13.16 * 10^{-4}$$

$$P_T = 415.68 \text{ W}$$

Cálculo de potencia real

$$P_R = \frac{P_T}{0.85} = \frac{415.68 \text{ W}}{0.85} = 489.03$$

Dimensionado del banco de baterías con autonomía de 4 horas

$$C_T = \frac{0.167 \times 8952}{0.7 \times 12}$$

$$C_T = 177.97 \text{ A. h}$$

Dimensionado del banco de baterías con autonomía de 6 horas

$$C_T = \frac{0.25 \times 13428}{0.7 \times 12}$$

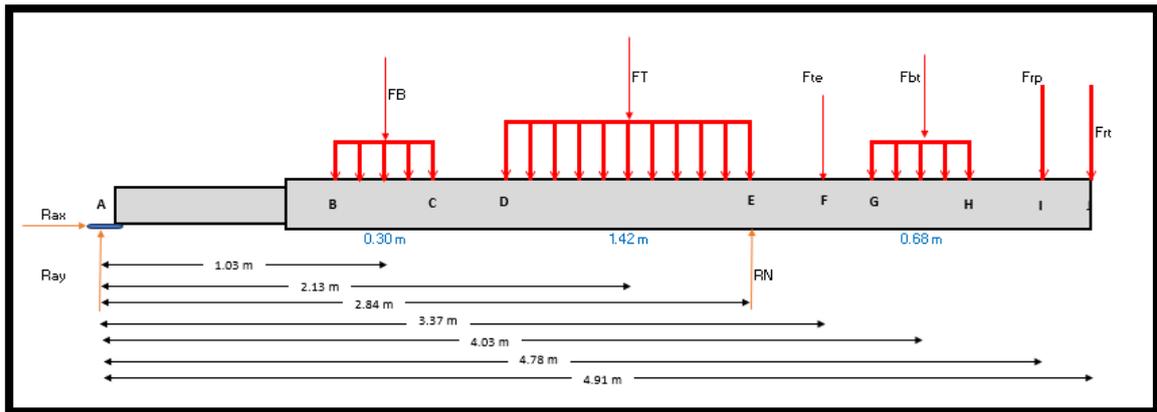
$$C_T = 266.96 \text{ A. h}$$

Dimensionado del banco de baterías con autonomía de 12 horas

$$C_T = \frac{0.5 \times 26856}{0.7 \times 12}$$

$$C_T = 533.92 \text{ A. h}$$

ANEXO 7: Memoria de cálculo de análisis estático en el chasis del pulverizador



F_B	Fuerza de la Bomba
F_T	Fuerza del Tanque
R_N	Reacción Neumático
F_{te}	Fuerza del Tablero Eléctrico
F_{bt}	Fuerza de Batería
F_{rp}	Fuerza Resultante F_{ps} y F_{Tes}
F_{rt}	Fuerza Resultante de F_{CA} y F_A

Cálculo de las reacciones en los apoyos

$$\sum Fx = 0$$

$$R_{ax} = 0$$

$$\sum M_A = 0$$

$$-F_B * 1.03 - F_T * 2.13 + R_N * 2.84 - F_{te} * 3.37 - F_{bt} * 4.03 - F_{rp} * 4.78 - F_{rt} * 4.91 = 0$$

$$R_N = (237.40 * 1.03 + 21093.27 * 2.13 + 187.47 * 3.37 + 732.81 * 4.03 + 841.01 * 4.78 + 2222.36 * 4.91) / 2.84$$

$$R_N = 22426.06$$

$$\sum F_y = 0$$

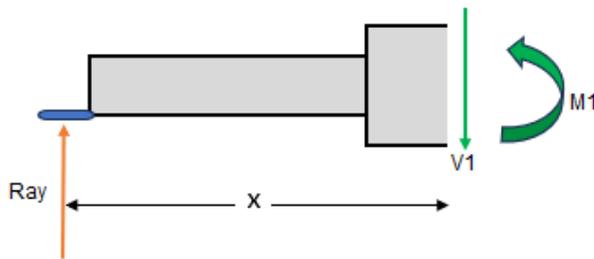
$$-F_B - F_T + R_N - F_{te} - F_{bt} - F_{rp} - F_{rt} + R_{Ay} = 0$$

$$F_B + F_T - R_N + F_{te} + F_{bt} + F_{rp} + F_{rt} = R_{Ay}$$

$$R_{Ay} = 237.40 + 21093.27 - R_N + 187.47 + 732.81 + 841.01 + 2222.36$$

$$R_{Ay} = 2888.26$$

Tramo: A → B



$$\sum F = 0$$

$$R_{Ay} - V_1 = 0$$

$$V_1 = R_{Ay} = 2888.26$$

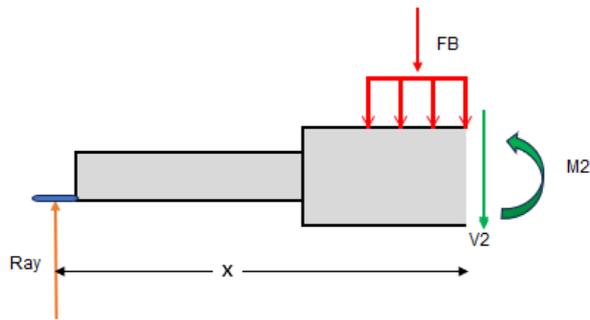
$$\sum F = 0$$

$$-R_{Ay} * x + M_1 = 0$$

$$M_1 = R_{Ay} * x$$

$$M_1 = 2888.26x$$

Tramo: B → C



$$\Sigma F = 0$$

$$R_{Ay} - \frac{F_B}{0.3} * (x - 0.88) - V_2 = 0$$

$$V_2 = R_{Ay} - \frac{F_B}{0.3} x + \frac{F_B}{0.3} * 0.88$$

$$V_2 = 2888.26 - \frac{237.40}{0.3} x + \frac{237.40}{0.3} * 0.88$$

$$V_2 = -791.33 x + 3584.63$$

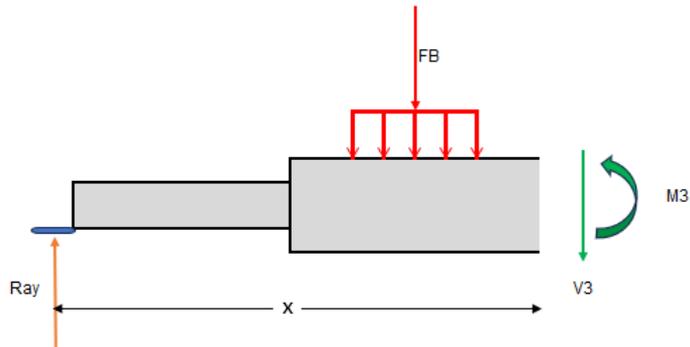
$$\Sigma M = 0$$

$$-R_{Ay}x + \left(\frac{F_B}{0.3} (x - 0.88) \right) * \left(\frac{x - 0.88}{2} \right) + M_2 = 0$$

$$M_2 = \frac{F_B}{0.6} x^2 + \left(R_{Ay} + \frac{1.76}{0.60} F_B \right) x - \frac{0.774}{0.60} F_B$$

$$M_2 = -395.67x^2 + 3584.63x - 306.25$$

Tramo: C → D



$$\Sigma F = 0$$

$$R_{Ay} - F_B - V_3 = 0$$

$$R_{Ay} - F_B = V_3$$

$$V_3 = 2888.26 - 237.40$$

$$V_3 = 2650.86$$

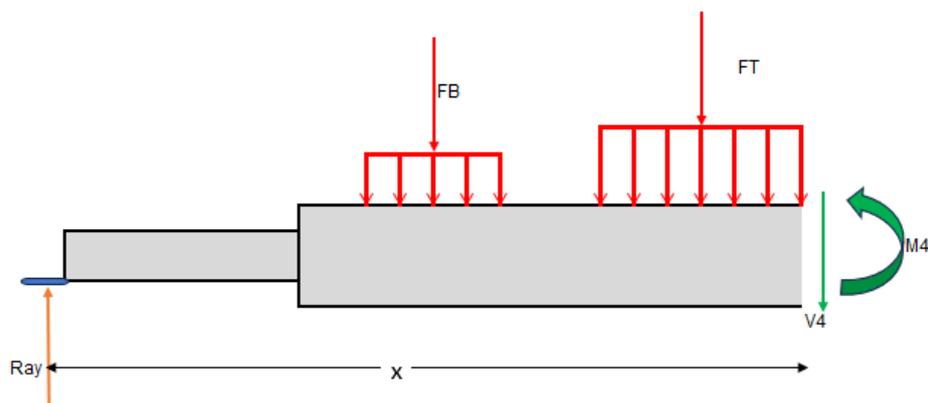
$$\Sigma M = 0$$

$$-R_{Ay} x + F_B(x - 1.03) + M_3 = 0$$

$$M_3 = (R_{Ay} - F_B)x + 1.03 F_B$$

$$M_3 = (2650.86)x + 244.52$$

Tramo: D → E



$$\Sigma F = 0$$

$$R_{Ay} - F_B - \frac{F_T}{1.42}(x - 1.43) - V_4 = 0$$

$$R_{Ay} - F_B - \frac{F_T}{1.42}x + \frac{1.43}{1.42}F_T - V_4 = 0$$

$$-\frac{F_T}{1.42}x + R_{Ay} - F_B + \frac{1.43}{1.42}F_T = V_4$$

$$-14854.42x + 2888.26 - 237.40 + 21241.81 = V_4$$

$$-14854.42x + 23892.67 = V_4$$

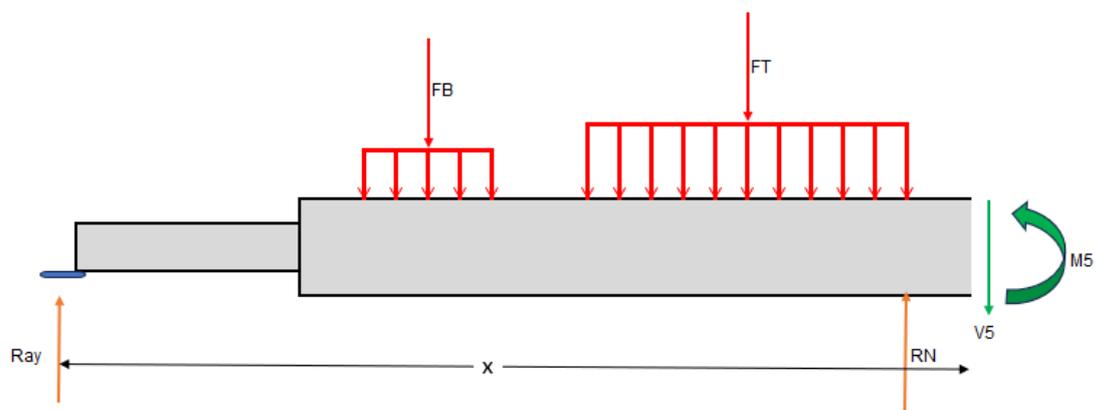
$$\Sigma M = 0$$

$$-R_{Ay} * x + F_B(x - 1.03) + \frac{F_T}{1.42}(x - 1.43) * \frac{(x - 1.43)}{2} + M_4 = 0$$

$$M_4 = -\frac{F_T}{2 * 1.42} X^2 + \left(R_{Ay} - F_T + \frac{2 * F_T * (1.43)}{2 * 1.42} \right) x + 1.03 * F_B - \frac{1.43^2 * F_T}{2 * 1.42}$$

$$M_4 = -7427.21 x^2 + 23892.67 x - 14943.38$$

Tramo: E → F



$$\Sigma Fy = 0$$

$$R_{Ay} - F_B - F_T + R_N - V_S = 0$$

$$R_{Ay} - F_B - F_T + R_N = V_S$$

$$2888.26 - 237.40 - 21093.27 + 22426.06 = V_S$$

$$V_S = 3983.65$$

$$\Sigma M = 0$$

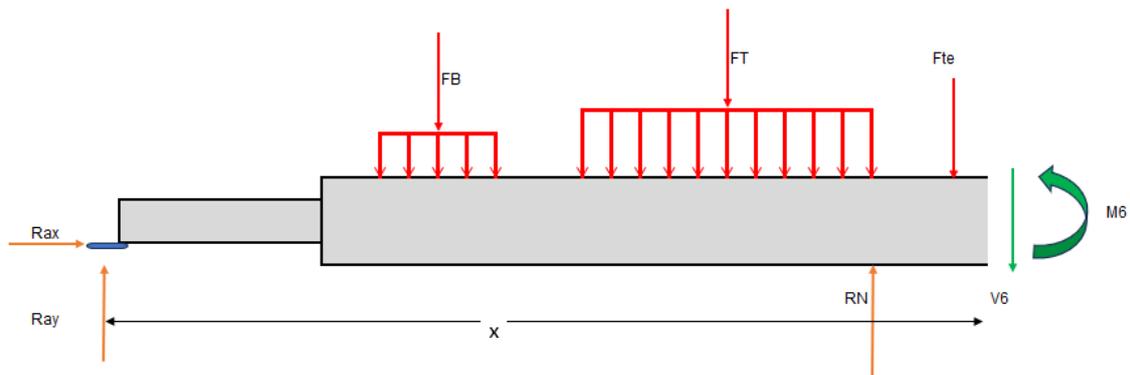
$$-R_{Ay} * x + F_B (x - 1.03) + F_T (x - 2.13) - R_N (x - 2.84) + M_5 = 0$$

$$-R_{Ay} * x + F_B * x - 1.03 F_B + F_T * x - 2.13 F_T - R_N * x + 2.84 R_N + M_5 = 0$$

$$M_5 = (R_{Ay} - F_B - F_T + R_N) x + 1.03 F_B + 2.13 F_T - 2.84 R_N$$

$$M_5 = 3983.65 x - 18517.40$$

Tramo: F → G



$$\Sigma Fy = 0$$

$$R_{Ay} - F_B - F_T + R_N - F_{te} - V_6 = 0$$

$$R_{Ay} - F_B - F_T + R_N - F_{te} = V_6$$

$$3796.18 = V_6$$

$$\Sigma M = 0$$

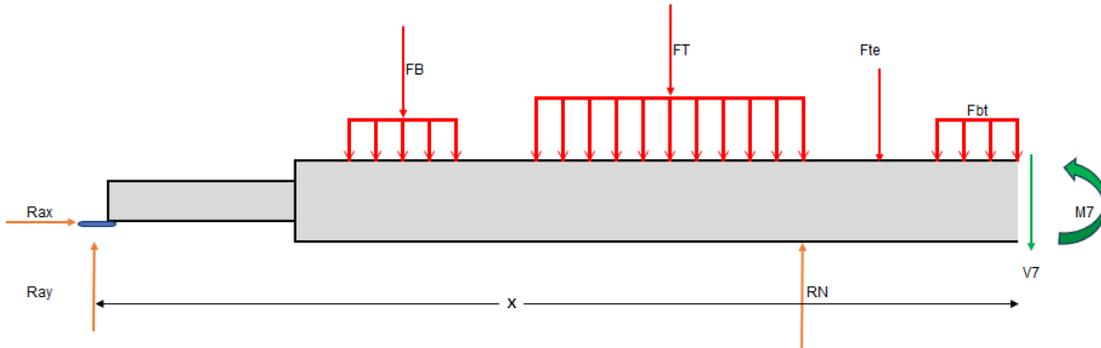
$$-R_{Ay} * x + F_B (x - 1.03) + F_T (x - 2.13) - R_N (x - 2.84) + F_{te} (x - 3.37) + M_6 = 0$$

$$-R_{Ay} * x + F_B * x - 1.03 F_B + F_T * x - 2.13 F_T - R_N * x + 2.84 R_N + F_{te} * x - 3.37 F_{te} + M_6 = 0$$

$$M_6 = (R_{Ay} - F_B - F_T + R_N - F_{te})x + 1.03 F_B + 2.13 F_T - 2.84 R_N + 3.37 F_{te}$$

$$M_6 = 3796.18 x - 17885.05$$

Tramo: G → H



$$\Sigma Fy = 0$$

$$R_{Ay} - F_B - F_T + R_N - F_{te} - \frac{F_{bt}}{0.68} (x - 3.69) - V_7 = 0$$

$$R_{Ay} - F_B - F_T + R_N - F_{te} - \frac{F_{bt}}{0.68} x + \frac{3.69 F_{bt}}{0.68} - V_7 = 0$$

$$V_7 = R_{Ay} - F_B - F_T + R_N - F_{te} - \frac{F_{bt}}{0.68} x + \frac{3.69 F_{bt}}{0.68}$$

$$V_7 = -1077.66 x + 7772.75$$

$$\Sigma M = 0$$

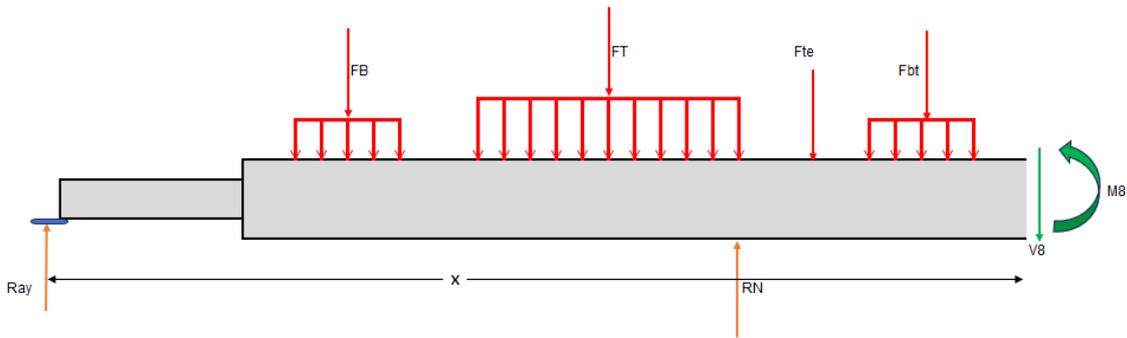
$$-R_{Ay} * x + F_B (x - 1.03) + F_T (x - 2.13) - R_N (x - 2.84) + F_{te} (x - 3.37) + \frac{F_{bt}}{0.68} (x - 3.69) * \left(\frac{x - 3.69}{2} \right) + M_6 = 0$$

$$-R_{Ay} * x + F_B * x - 1.03 F_B + F_T * x - 2.13 F_T - R_N * x + 2.84 R_N + F_{te} * x - 3.37 F_{te} + \frac{F_{bt} * x^2}{2 * 0.68} - \frac{3.69 F_{bt} * x}{2 * 0.68} - \frac{3.69 F_{bt} * x}{2 * 0.68} + \frac{3.69 * 3.69 F_{bt}}{2 * 0.68} + M_6 = 0$$

$$M_6 = -\frac{F_{bt} * x^2}{2 * 0.68} + \left(R_{Ay} - F_B - F_T + R_N - F_{te} + \frac{2 * 3.69}{2 * 0.68} F_{bt} \right) x + 1.03 F_B + 2.13 F_T - 2.84 R_N + 3.37 F_{te} - \frac{3.69 * 3.69 F_{bt}}{2 * 0.68}$$

$$M_6 = -538.83 x^2 + 7772.75 x - 25221.83$$

Tramo: H → I



$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{Ay} - F_B - F_T + R_N - F_{te} - F_{bt} - V_8 = 0$$

$$V_8 = R_{Ay} - F_B - F_T + R_N - F_{te} - F_{bt}$$

$$V_8 = 3063.37$$

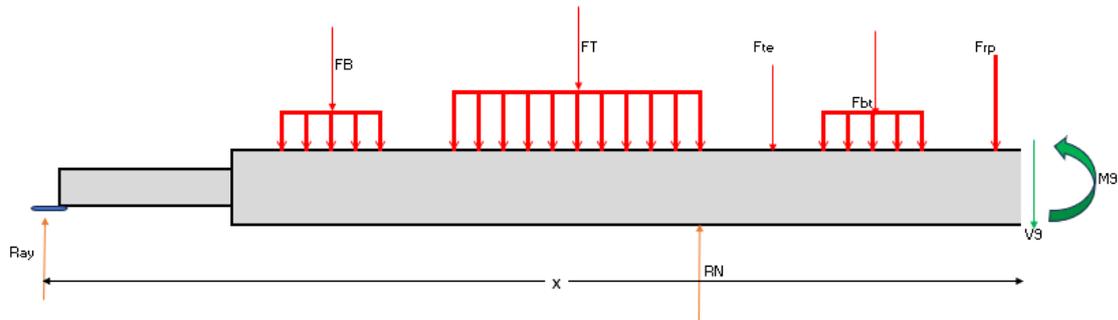
$$\Sigma M = 0$$

$$-R_{Ay} * x + F_B (x - 1.03) + F_T (x - 2.13) - R_N (x - 2.84) + F_{te} (x - 3.37) + F_{bt} (x - 4.03) + M_8 = 0$$

$$M_8 = (R_{Ay} - F_B - F_T + R_N - F_{te} - F_{bt})x + 1.03 F_B + 2.13 F_T - 2.84 R_N + 3.37 F_{te} + 4.03 F_{bt}$$

$$M_8 = 3063.37 x - 14931.83$$

Tramo: I → J



$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_{Ay} - F_B - F_T + R_N - F_{te} - F_{bt} - F_{rp} - V_9 = 0$$

$$V_9 = R_{Ay} - F_B - F_T + R_N - F_{te} - F_{bt} - F_{rp}$$

$$V_9 = 2222.36$$

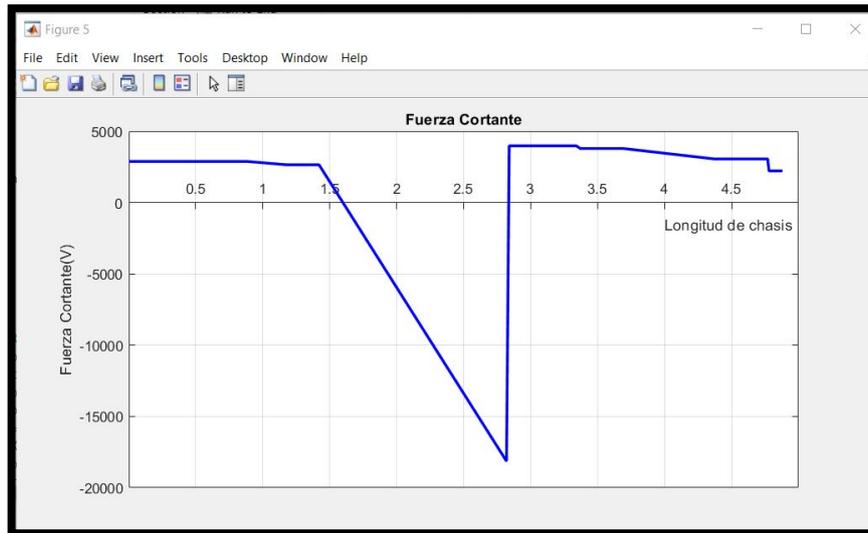
$$\Sigma M = 0$$

$$-R_{Ay} * x + F_B (x - 1.03) + F_T (x - 2.13) - R_N (x - 2.84) + F_{te} (x - 3.37) + F_{bt}(x - 4.03) + F_{rp} (x - 4.78) + M_9 = 0$$

$$M_9 = (R_{Ay} - F_B - F_T + R_N - F_{te} - F_{bt} - F_{rp})x + 1.03 F_B + 2.13 F_T - 2.84 R_N + 3.37 F_{te} + 4.03 F_{bt} + 4.78 F_{rp}$$

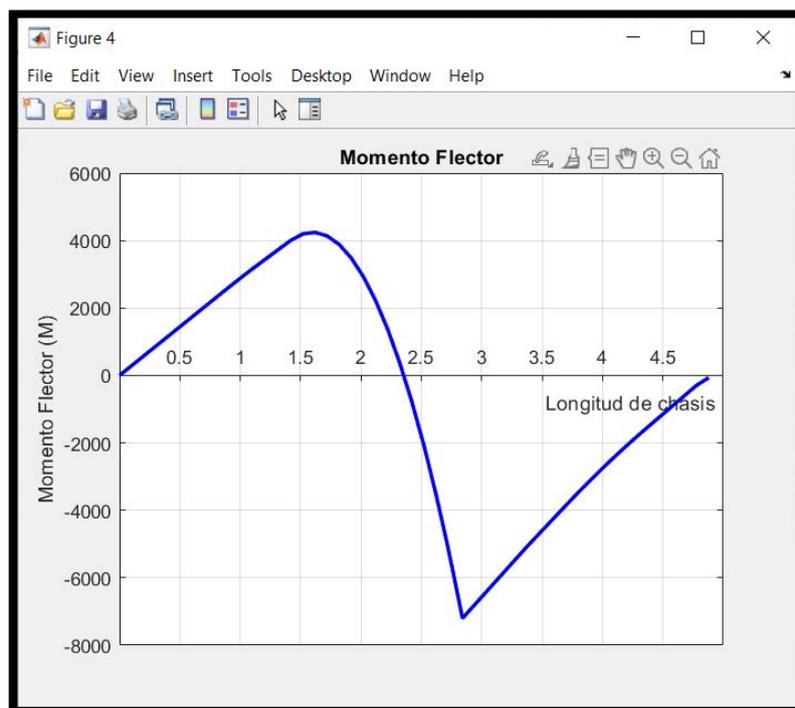
$$M_9 = 2222.36 x - 10911.79$$

Diagrama de fuerza cortante graficado en Matlab.



La fuerza cortante máxima se encuentra en la posición $X = 2.84$ m.

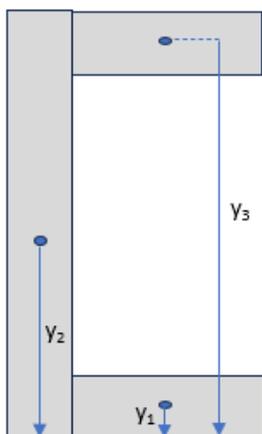
Diagrama de momento flector graficado en Matlab



El momento flector máximo se encuentra en $X = 2.84$ m con un valor de 7203 N.m

Cálculo de esfuerzo sobre el chasis en posición $x = 2.84\text{m}$.

Se realizará el cálculo en la zona más crítica del chasis donde se darán los máximos esfuerzos.



Datos	
h	155
e	9.5
b	60

Cálculo de Área

$$A_1 = (b - e) * e$$

$$A_1 = (60 - 9.5) * 9.5$$

$$A_1 = 479.75$$

$$A_2 = h * e$$

$$A_2 = 155 * 9.5$$

$$A_2 = 1472.50$$

$$A_3 = (b - e) * e$$

$$A_3 = (60 - 9.5) * 9.5$$

$$A_3 = 479.75$$

Cálculo de y (distancia del centro de gravedad)

$$Y_1 = \frac{e}{2}$$

$$Y_1 = \frac{9.5}{2}$$

$$Y_1 = 4.75$$

$$Y_2 = \frac{h}{2}$$

$$Y_2 = \frac{155}{2}$$

$$Y_2 = 77.50$$

$$Y_3 = h - \frac{e}{2}$$

$$Y_3 = 155 - \frac{9.5}{2}$$

$$Y_3 = 150.25$$

Cálculo de la Inercia

$$I_1 = \frac{(b - e) * e^3}{12}$$

$$I_1 = \frac{(60 - 9.5) * 9.5^3}{12}$$

$$I_1 = 3608.12$$

$$I_2 = \frac{e * h^3}{12}$$

$$I_2 = \frac{9.5 * 155^3}{12}$$

$$I_2 = 2948067.71$$

$$I_3 = \frac{(b - e) * e^3}{12}$$

$$I_3 = \frac{(60 - 9.5) * 9.5^3}{12}$$

$$I_3 = 3608.12$$

$$\bar{y} = \frac{\sum A * Y}{\sum A}$$

$$\bar{y} = \frac{188480}{2432}$$

$$\bar{y} = 77.5$$

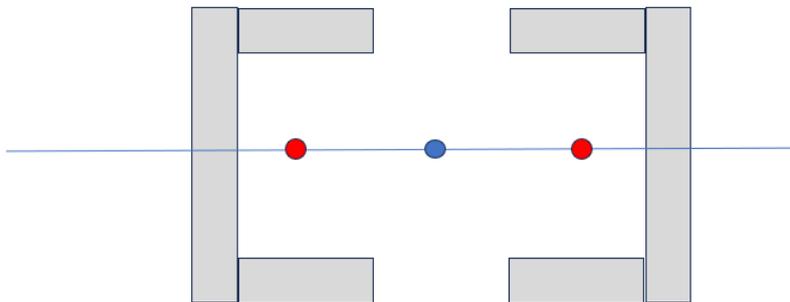
Se presenta los resultados en la siguiente tabla para el cálculo de la inercia:

Elemento	A (mm ²)	y	A*y	d = $\bar{y} - y$	A*d ²	\bar{I}	I=I+Ad ²
1	479.75	4.75	2278.81	-72.75	2539106.86	3608.12	2542714.98
2	1472.50	77.50	114118.75	0.00	0.00	2948067.71	2948067.71
3	479.75	150.25	72082.44	72.75	2539106.86	3608.12	2542714.98
	2432.00		188480.00				8033497.67

$$\bar{I} = \sum I_i$$

$$\bar{I} = 8.03 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\bar{I}_1 = 8.03 * 10^{-6} \text{ m}^4$$



Los perfiles son simétricos

$$I_{TG} = I_{1G1} + I_{2G2}$$

$$I_{TG} = 2 * 8.03 * 10^{-6}$$

$$I_{TG} = 1.61 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

Cálculo de esfuerzo a flexión

$$\sigma_x = \frac{M * Y}{I}$$

$$\sigma_x = \frac{7203.834 * 77.5}{1.61 * 10^{-6}}$$

$$\sigma_x = 34.7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = K_t * \sigma_x$$

$$\sigma_x = 1.36 * 34.7 * 10^6$$

$$\sigma_x = 47.3 \text{ MPa}$$

Esfuerzo Cortante

$$T_{xy} = \frac{V * Q}{I * e}$$

Dónde:

T_{xy} : Esfuerzo Cortante

V : Fuerza Cortante

Q : Primer momento del área transversal con respecto a su eje neutro

e : Espesor del perfil

$$Q_e = 2 \left(\frac{h}{2} * e * \frac{h}{4} + (b - e) * e * \frac{(h - e)}{2} \right)$$

$$Q_e = 1.27 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$T_{xy} = \frac{V * Q}{I * e}$$

$$T_{xy} = \frac{3983.65 * 1.27 * 10^{-4}}{1.60 * 10^{-5} * 9.5}$$

$$T_{xy} = 16.6 \text{ MPa}$$

Cálculo del esfuerzo de VON MISES

Para el cálculo del esfuerzo de Von Mises se tomará en cuenta el factor de concentración de esfuerzo producto del cambio de la sección en la zona evaluada

$$K_t = 1.36$$

$$\sigma_x = 1.36 * 47.3 = 64.3 \text{ MPa}$$

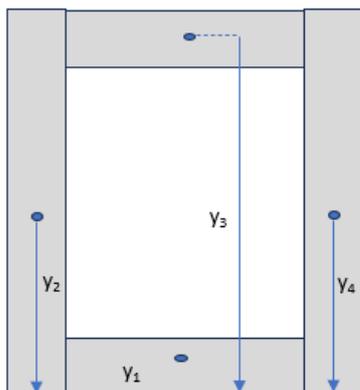
$$\sigma' = (\sigma_x^2 + 3T_{xy}^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma' = (64.3^2 + 3 * 16.6^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma' = 47.34 \text{ MPa}$$

CÁLCULO DE ESFUERZOS SOBRE EL CHASIS EN L = 0.81

Se evalúa los esfuerzos en la posición x = 0.81 m debido a que hay un cambio de sección y existirá una concentración de esfuerzos.



Datos	
h	100
e	9.5
b	100

Se presentan los cálculos de la misma forma que en el caso 1.

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Elemento	A	y	A*y	d	A*d ²	\bar{I}	I=I+Ad ²
1	769.50	4.75	3655.13	-45.25	1575599.34	5787.28	1581386.63
2	950.00	50.00	47500.00	0.00	0.00	791666.67	791666.67
3	769.50	95.25	73294.88	45.25	1575599.34	5787.28	1581386.63
4	769.50	50.00	38475.00	0.00	0.00	791666.67	791666.67

$$\bar{y} = \frac{\sum A * Y}{\sum A}$$

$$\bar{y} = \frac{162925}{3258.50}$$

$$\bar{y} = 50$$

$$\bar{I} = \sum I_i$$

$$\bar{I} = 4.75 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\bar{I}_1 = 4.75 * 10^{-6} \text{ m}^4$$

Cálculo de esfuerzo

$$\sigma_x = \frac{M * Y}{I}$$

$$\sigma_x = \frac{2360.21 * 50}{4.75 * 10^{-6}}$$

$$\sigma_x = 24.9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_x = K_t * \sigma_x$$

$$\sigma_x = 1.41 * 24.9 * 10^6$$

$$\sigma_x = 35.1 \text{ MPa}$$

Esfuerzo Cortante

$$T_{xy} = \frac{V * Q}{I * e}$$

Dónde:

T_{xy} : Esfuerzo Cortante

V : Fuerza Cortante

Q : Primer momento del área transversal con respecto a su eje neutro

e : Espesor del perfil

$$Q = (b * e) * \left(\frac{b - e}{2}\right) + e \left(\frac{b - 2e}{2}\right)^2$$

$$Q = 5.86 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$T_{xy} = \frac{V * Q}{I * e}$$

$$T_{xy} = \frac{2888.26 * 5.86 * 10^{-5}}{4.74 * 10^{-6} * 9.5}$$

$$T_{xy} = 18.8 \text{ MPa}$$

Cálculo del esfuerzo de VON MISES

Para el cálculo del esfuerzo de Von Mises se tomará en cuenta el factor de concentración de esfuerzo producto del cambio de la sección en la zona evaluada.

$$K_t = 1.41$$

$$\sigma_x = 1.41 * 35.1 = 49.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = (\sigma_x^2 + 3T_{xy}^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma' = (49.49^2 + 3 * 18.8^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma' = 35.21 \text{ MPa}$$

FACTOR DE SEGURIDAD POR CARGA ESTÁTICA

Se calculará el factor de seguridad "n" en el punto más crítico en $x = 2.84 \text{ m}$. Donde se encuentra el esfuerzo máximo soportado por el chasis. Para el cálculo se utilizará la ecuación de diseño para la fluencia.

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

Dónde:

n: factor de seguridad.

S_y: resistencia a la fluencia del material.

Datos:

$$S_y = 250 \text{ MPa}, \quad \text{Acero ASTM A36}$$

$$\sigma' = 47.34 \text{ MPa}, \quad \text{Esfuerzo maximo}$$

Reemplazando datos obtenemos:

$$47.34 = \frac{250}{n}$$

$$n = \frac{250}{47.34} = 5.281$$

RESISTENCIA A LA FATIGA

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e$$

Datos:

$$S_{ut} = 400 \text{ MPa}; \quad \text{Acero ASTM A36}$$

$$S_y = 250 \text{ MPa}; \quad \text{Acero ASTM A36}$$

$$S'_e = 0.5S_{ut} = 200 \text{ MPa}$$

Factor de superficie K_a

$$k_a = a * S_{ut}^b$$

$$a = 57.7; b = -0.718 \quad (\text{Laminado en caliente})$$

$$k_a = 57.7 * 400^{-0.781} = 0.780$$

Factor de forma

$$A_{95} = 0.05bh = 0.05 * 150 * 60 = 450$$

$$A_{95} = 0.0766d_e^2$$

$$d_e = \sqrt{\frac{A_{95}}{0.0766}} = 76.64 \text{ mm}$$

$$k_b = 1.51 * d^{-0.157} = 0.764$$

Factor de carga

$$k_c = 1 ; \text{Flexion}$$

Factor de temperatura

No habrá cambio de temperatura

$$k_d = 1 \quad T = 25^\circ\text{C}$$

Factor de confiabilidad k_e .

$$Z_a = 2.326 ; \text{ al } 99\%$$

$$k_e = 1 - 0.08 * Z_a = 0.814$$

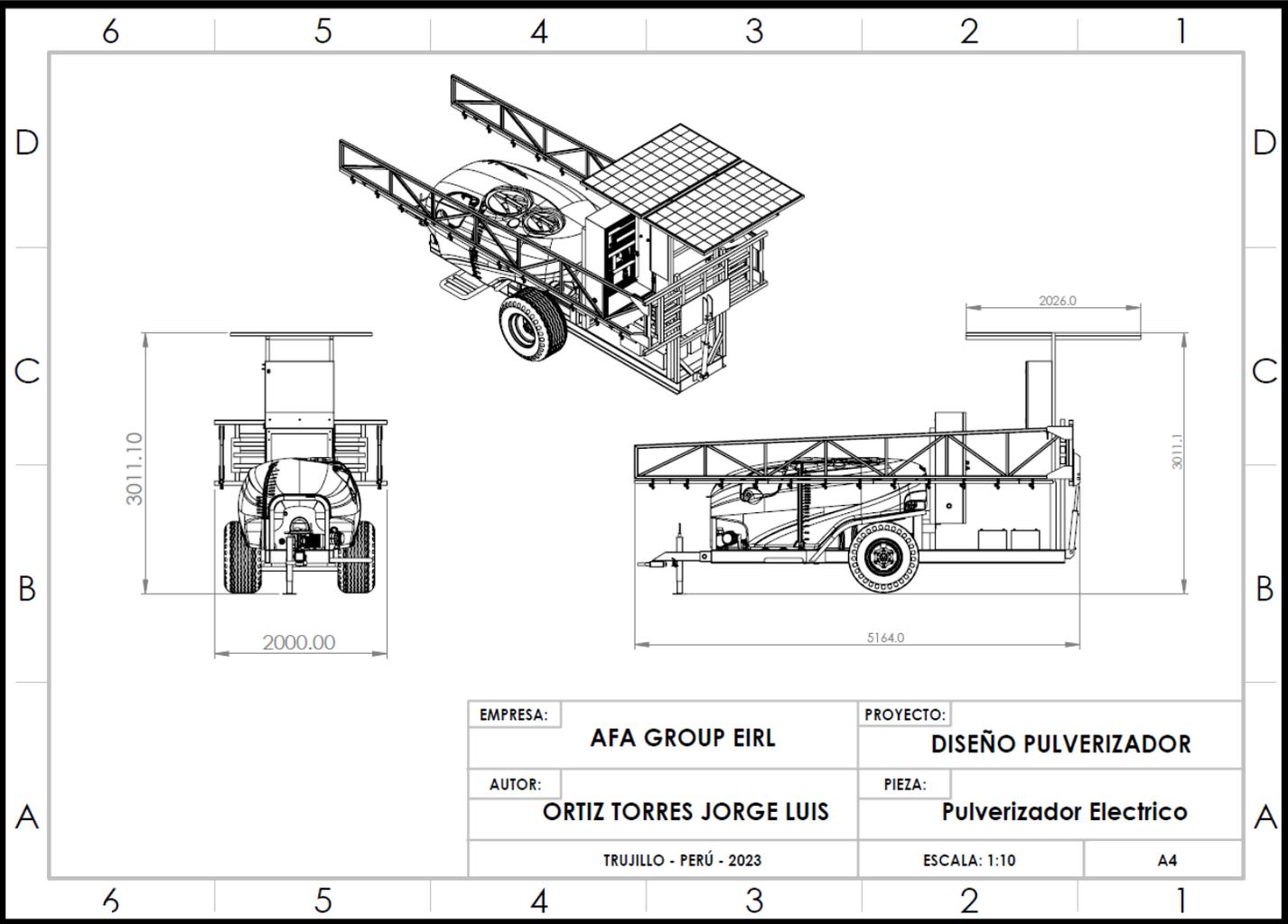
Factor de efectos varios k_f

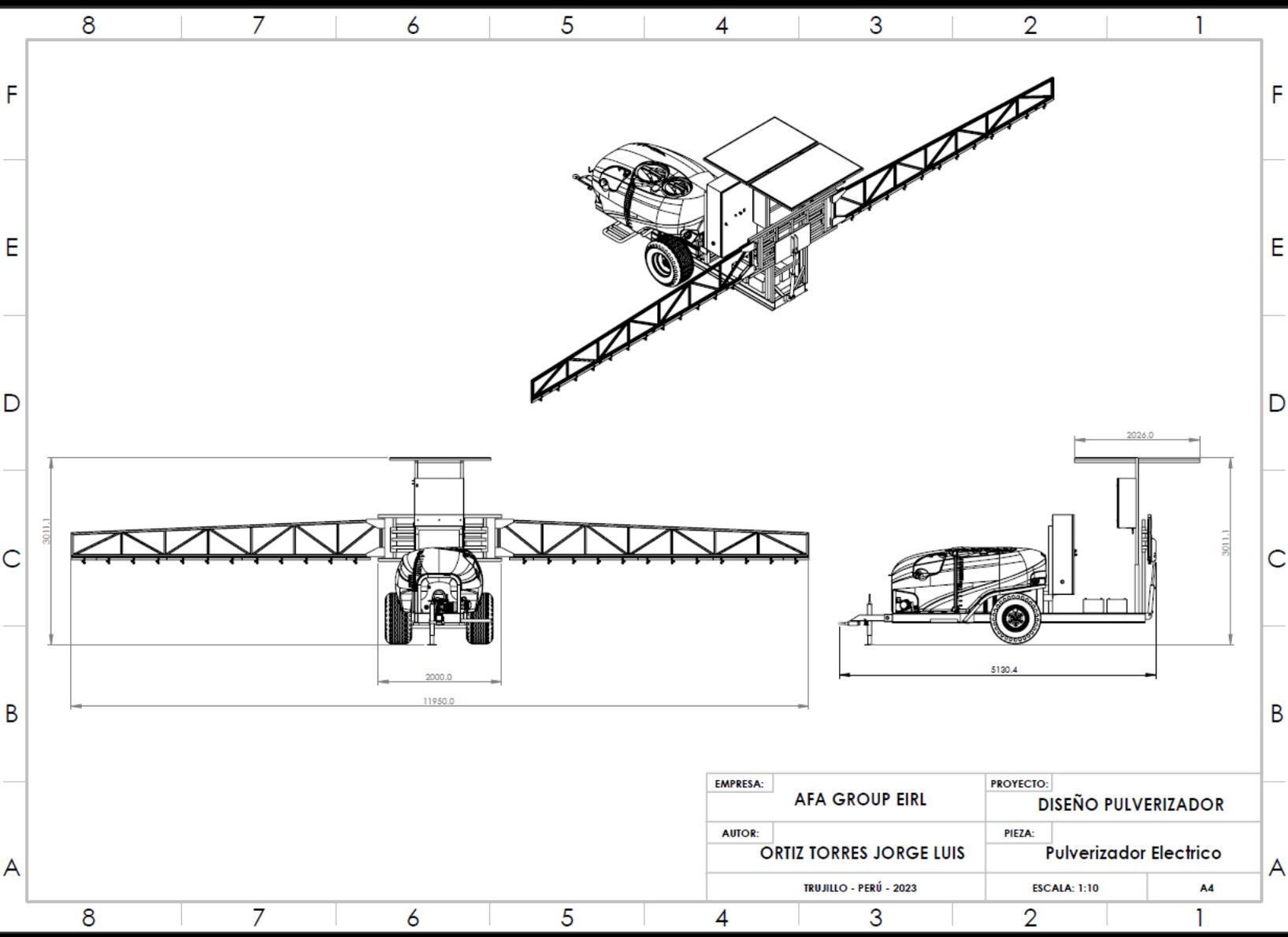
$$k_f = 1$$

Resistencia a la fatiga:

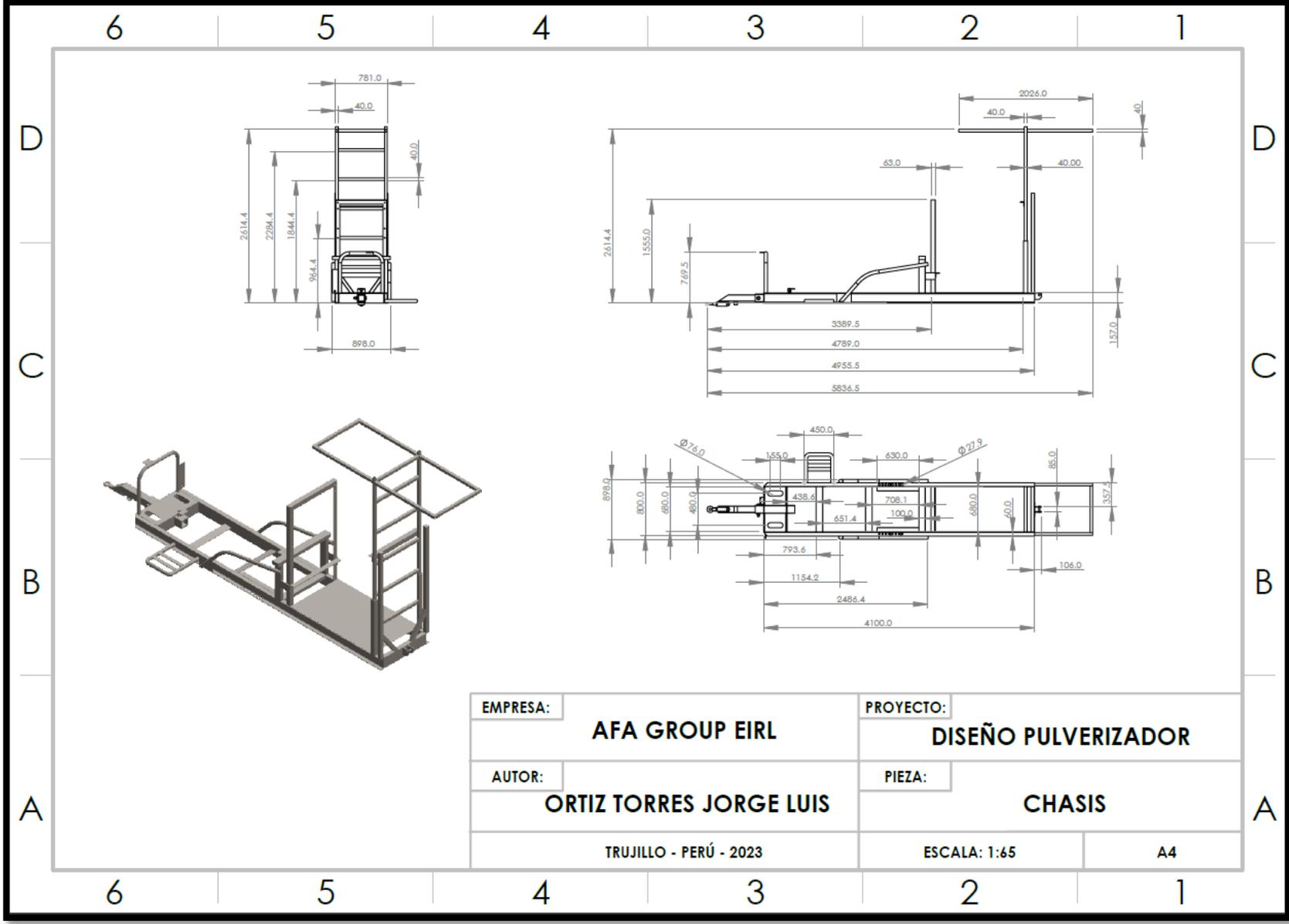
$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e = 0.780 * 0.764 * 1 * 1 * 0.814 * 1 * 200 = 97.01$$

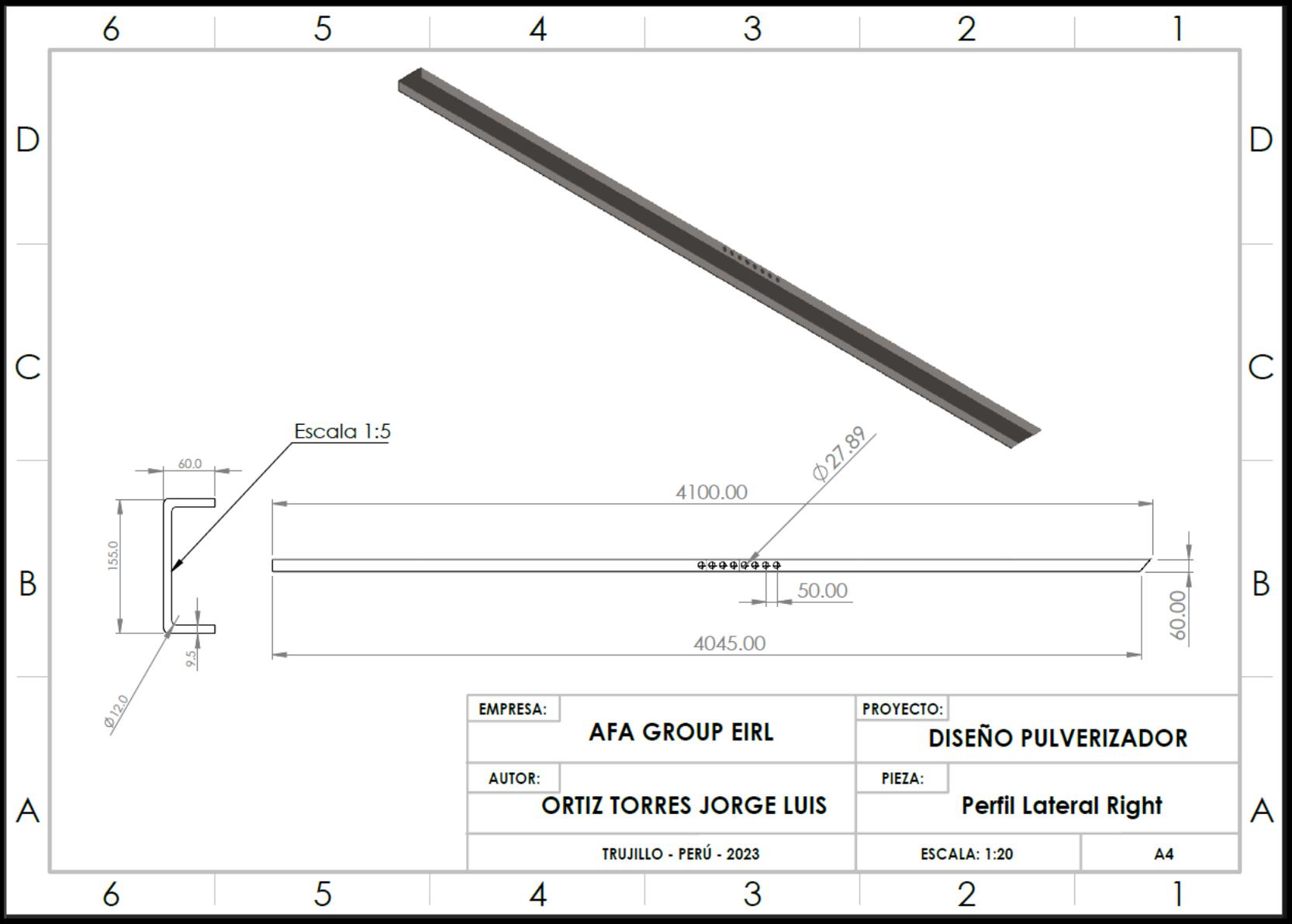
ANEXO 9 – PLANOS



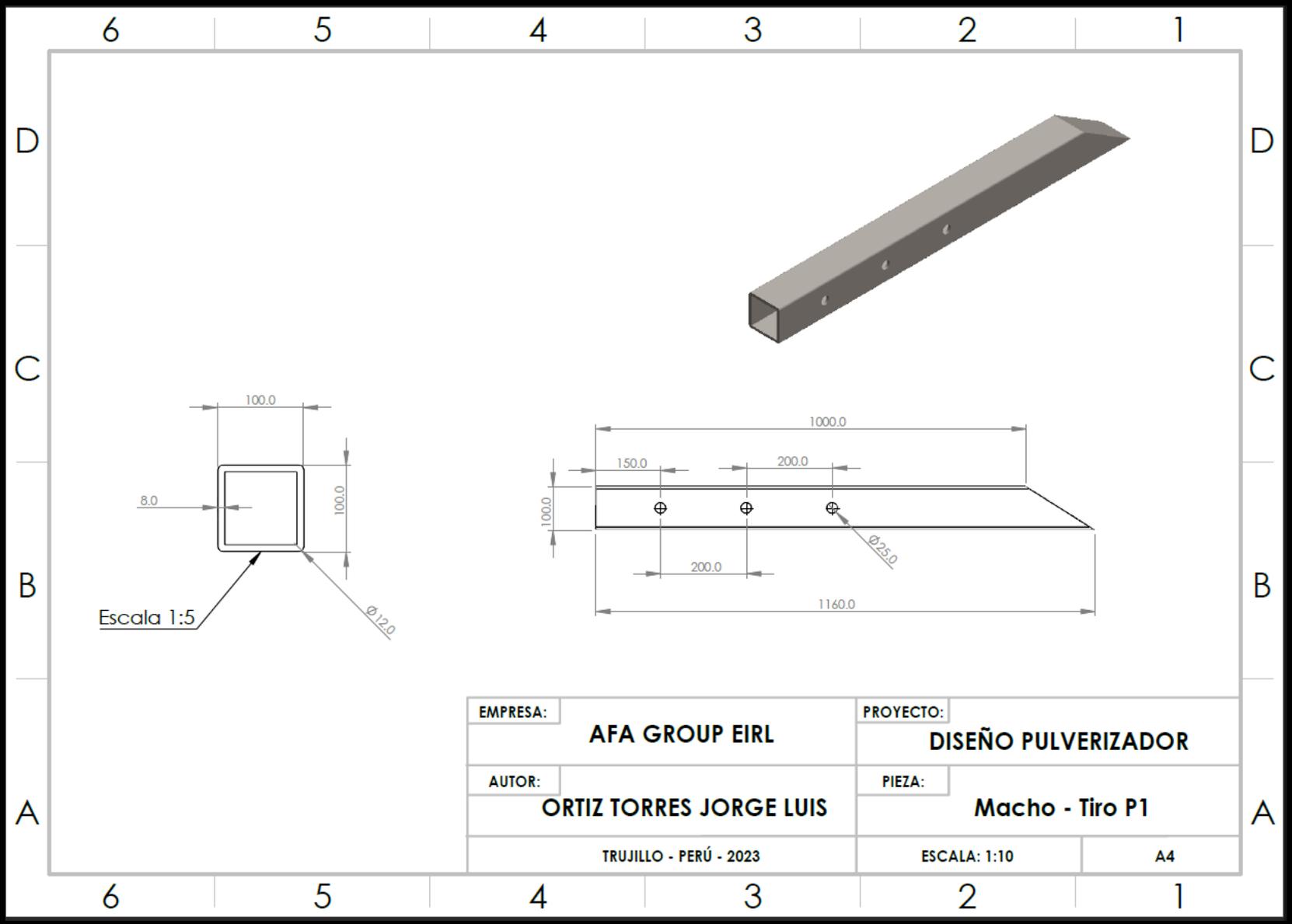


EMPRESA:	AFA GROUP EIRL	PROYECTO:	DISEÑO PULVERIZADOR
AUTOR:	ORTIZ TORRES JORGE LUIS	PIEZA:	Pulverizador Electrico
TRUJILLO - PERÚ - 2023		ESCALA:	1:10
			A4

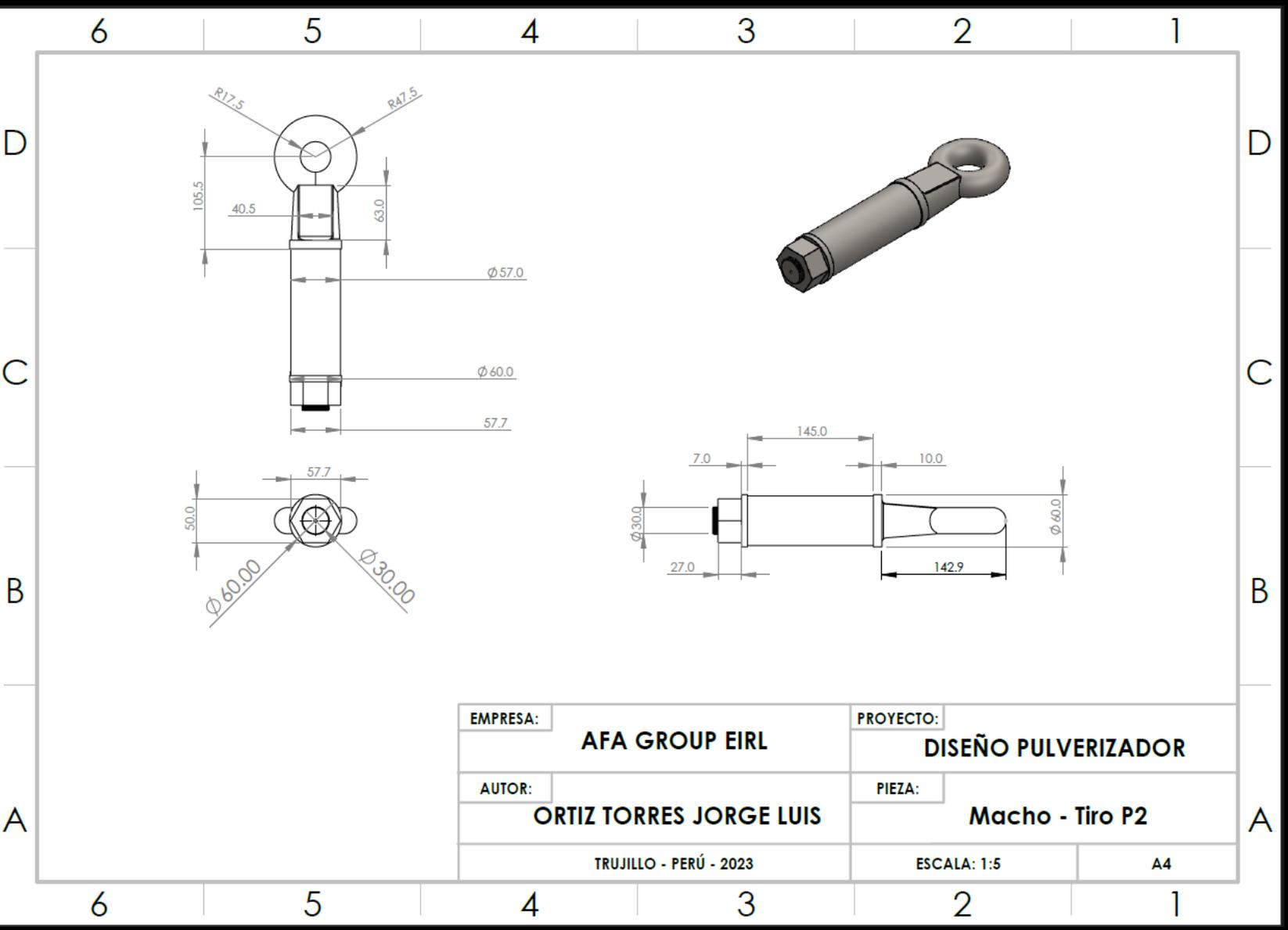




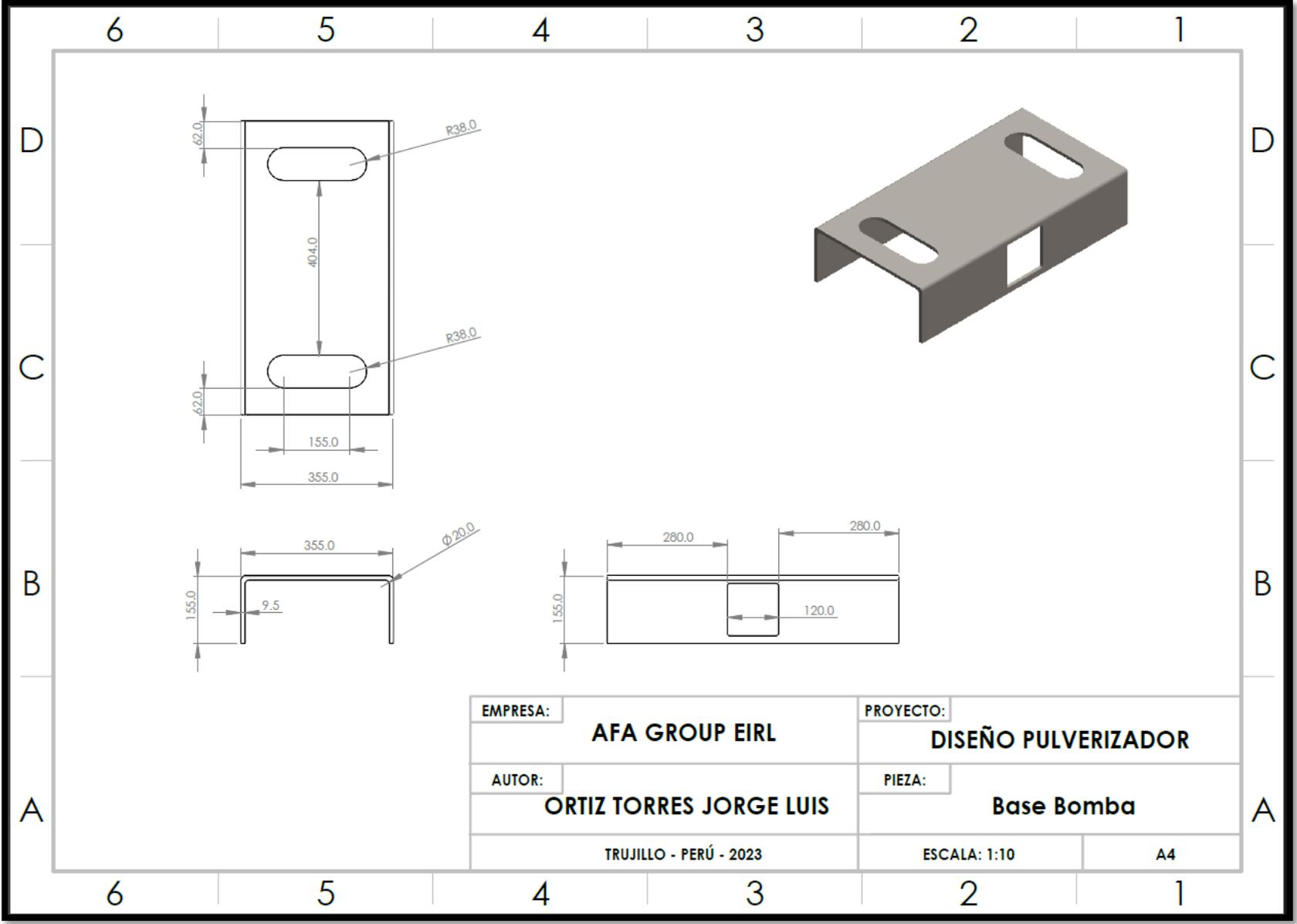
EMPRESA:	AFA GROUP EIRL		PROYECTO:	DISEÑO PULVERIZADOR	
AUTOR:	ORTIZ TORRES JORGE LUIS		PIEZA:	Perfil Lateral Right	
	TRUJILLO - PERÚ - 2023		ESCALA:	1:20	A4



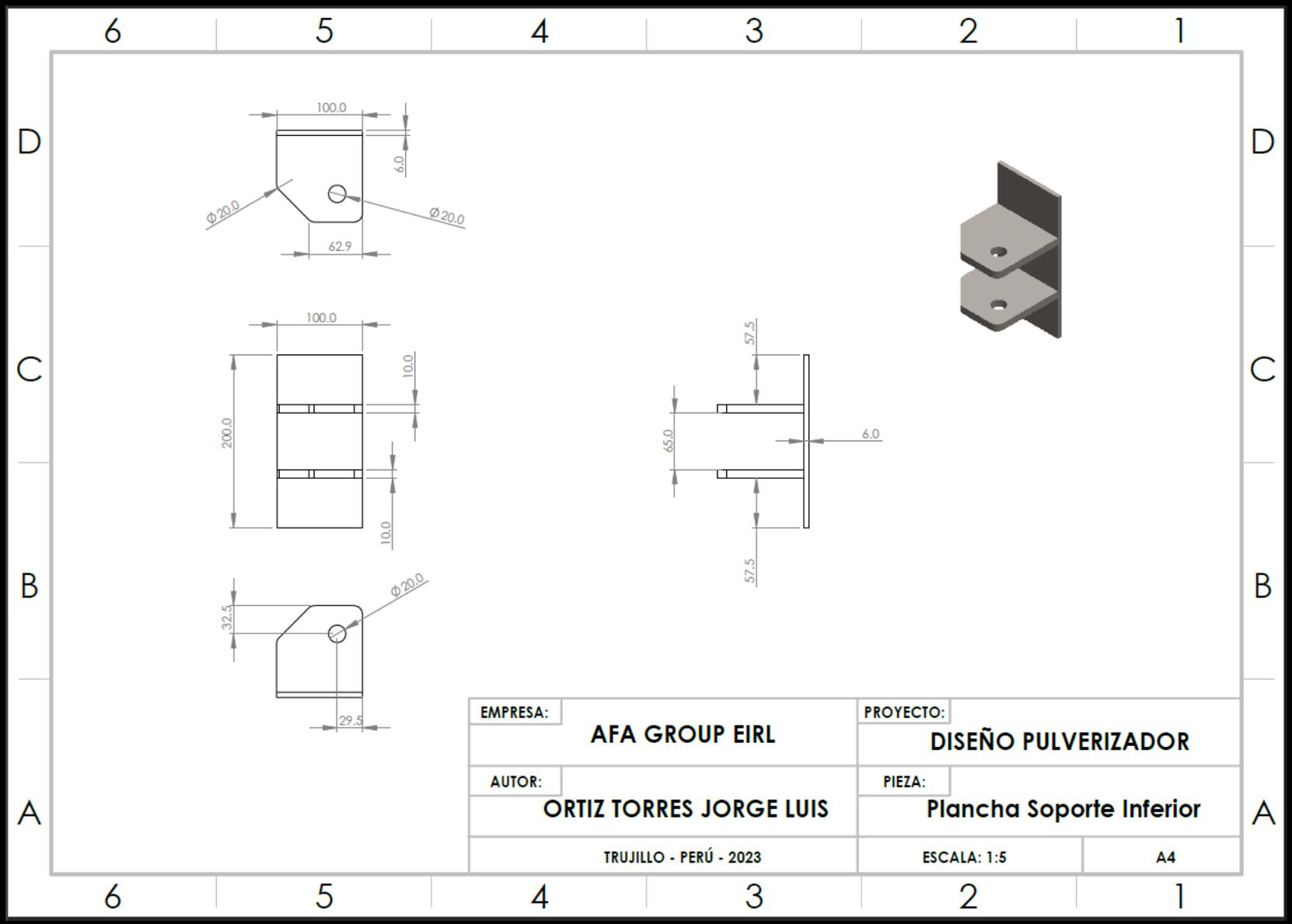
EMPRESA:	AFA GROUP EIRL	PROYECTO:	DISEÑO PULVERIZADOR	
AUTOR:	ORTIZ TORRES JORGE LUIS	PIEZA:	Macho - Tiro P1	
	TRUJILLO - PERÚ - 2023	ESCALA: 1:10	A4	



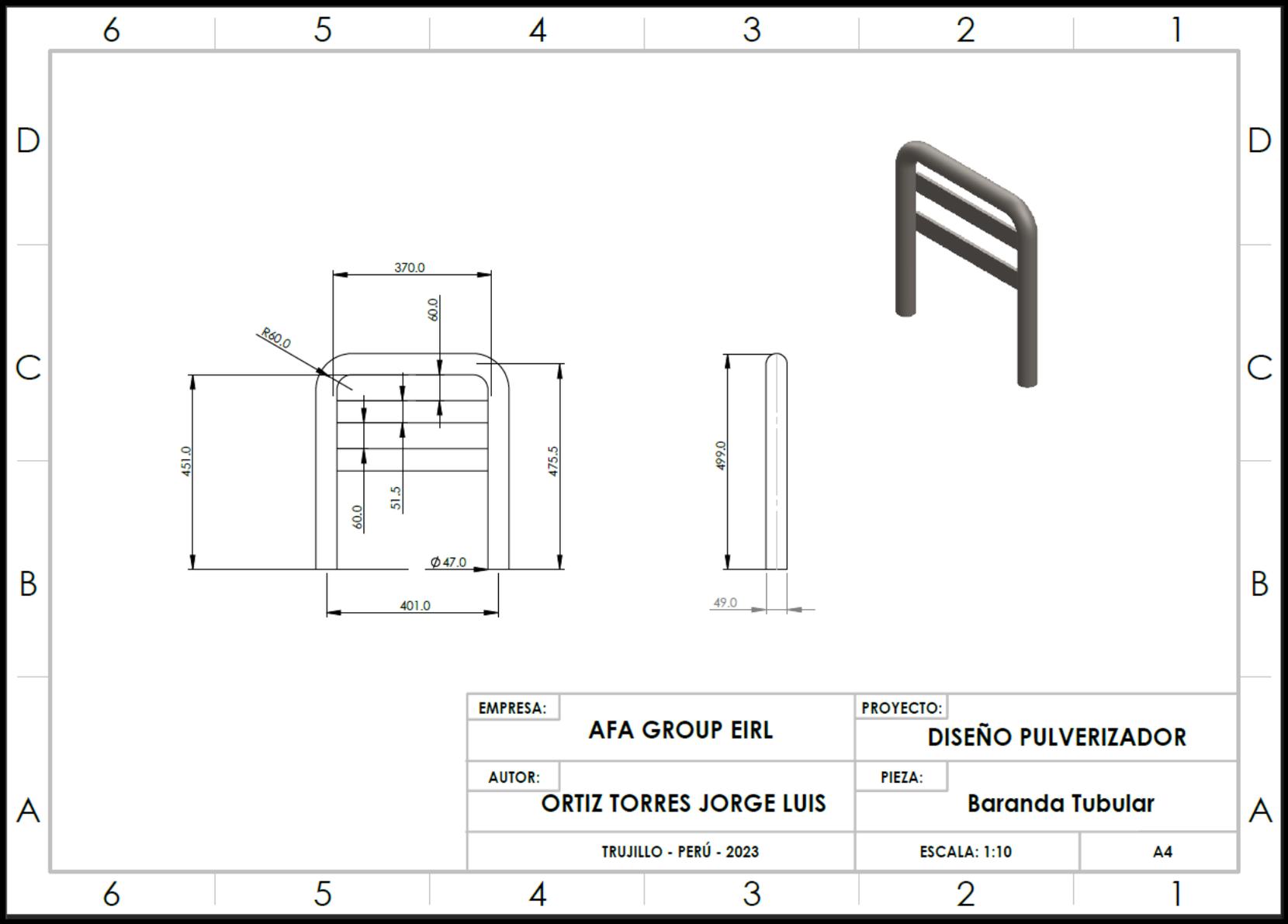
EMPRESA:	AFA GROUP EIRL		PROYECTO:	DISEÑO PULVERIZADOR	
AUTOR:	ORTIZ TORRES JORGE LUIS		PIEZA:	Macho - Tiro P2	
TRUJILLO - PERÚ - 2023			ESCALA: 1:5	A4	



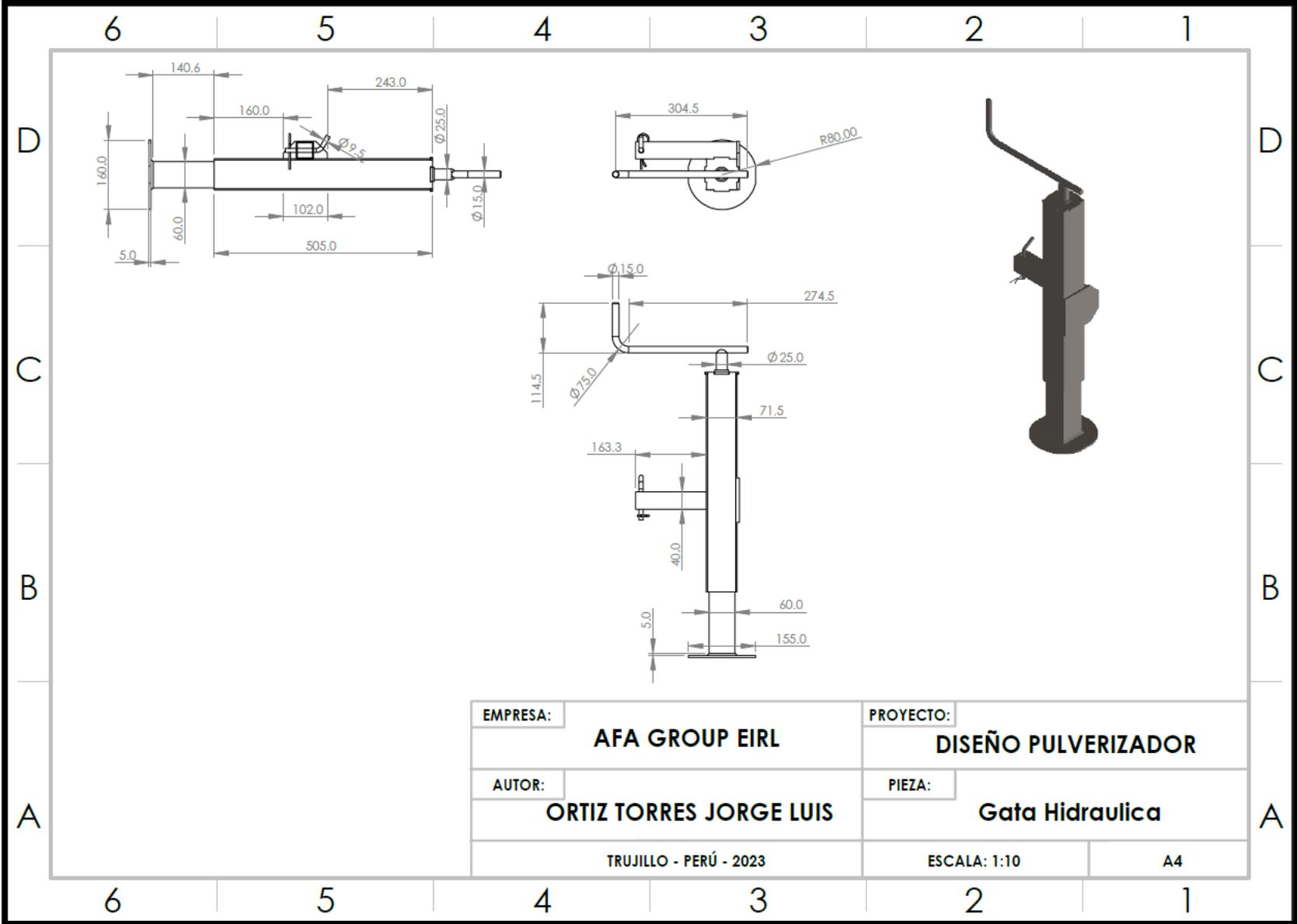
EMPRESA:	AFA GROUP EIRL		PROYECTO:	DISEÑO PULVERIZADOR	
AUTOR:	ORTIZ TORRES JORGE LUIS		PIEZA:	Base Bomba	
TRUJILLO - PERÚ - 2023			ESCALA: 1:10	A4	



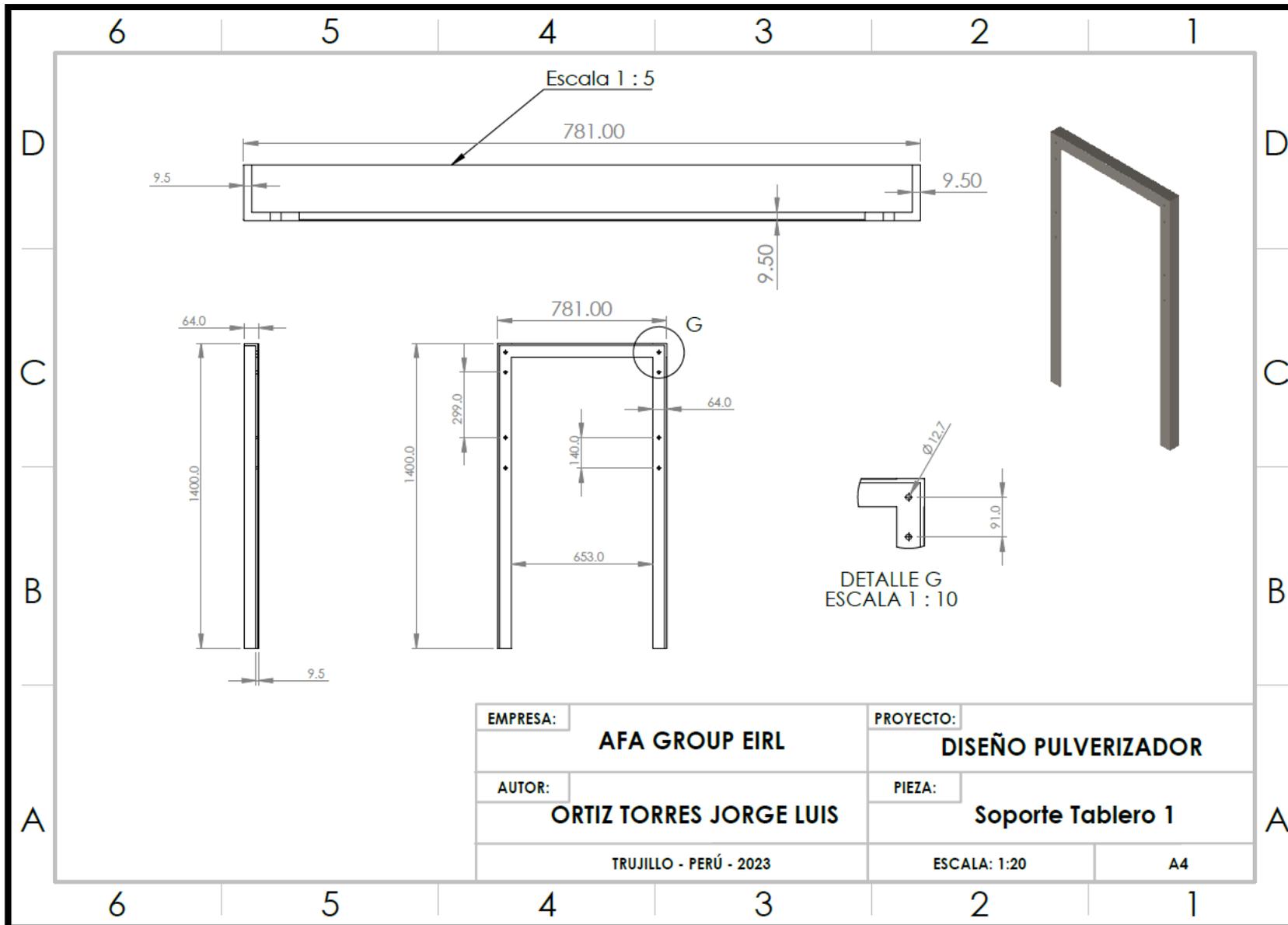
EMPRESA:	AFA GROUP EIRL		PROYECTO:	DISEÑO PULVERIZADOR	
AUTOR:	ORTIZ TORRES JORGE LUIS		PIEZA:	Plancha Soporte Inferior	
TRUJILLO - PERÚ - 2023			ESCALA: 1:5	A4	



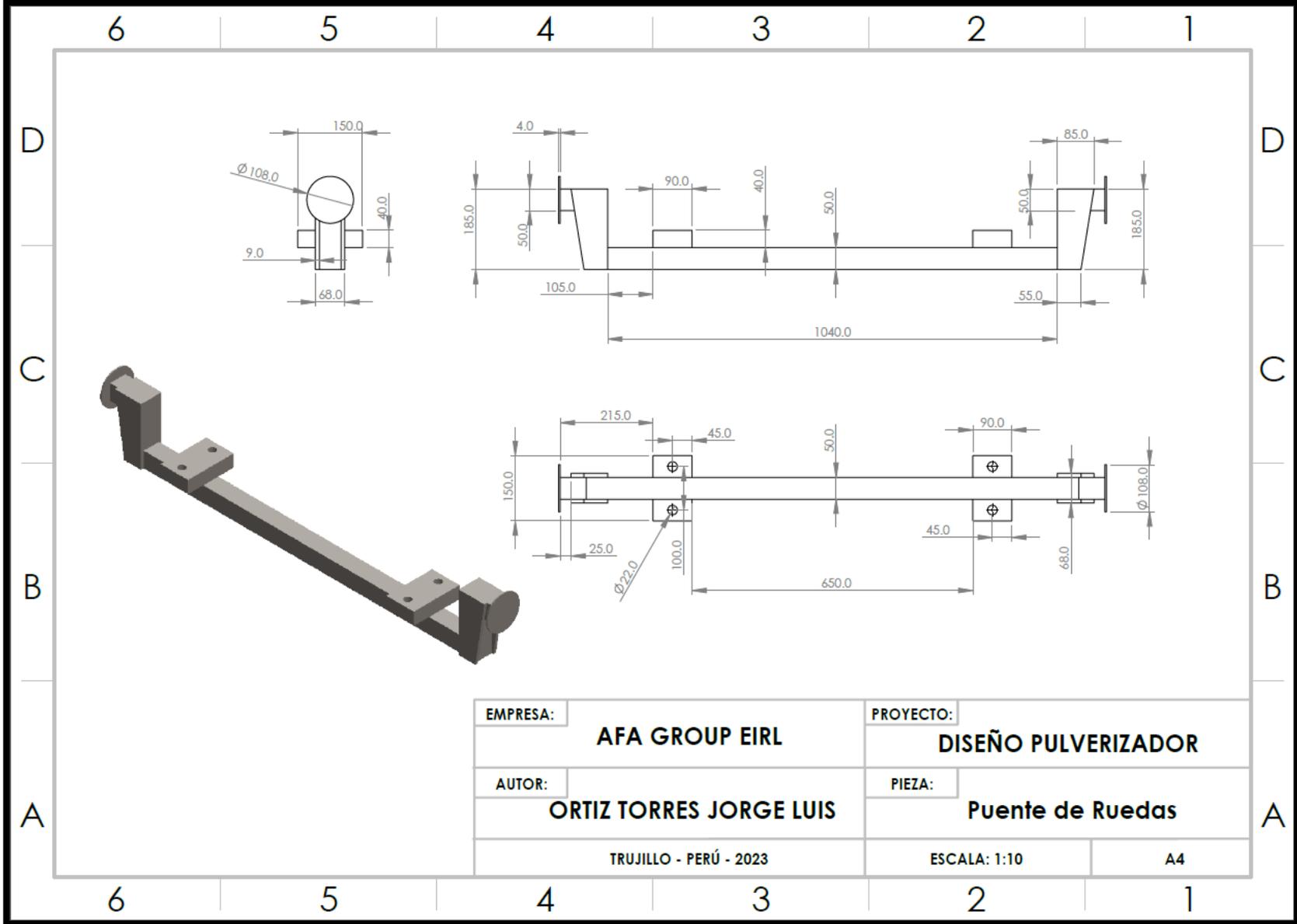
EMPRESA:	AFA GROUP EIRL	PROYECTO:	DISEÑO PULVERIZADOR	
AUTOR:	ORTIZ TORRES JORGE LUIS	PIEZA:	Baranda Tubular	
	TRUJILLO - PERÚ - 2023	ESCALA: 1:10	A4	

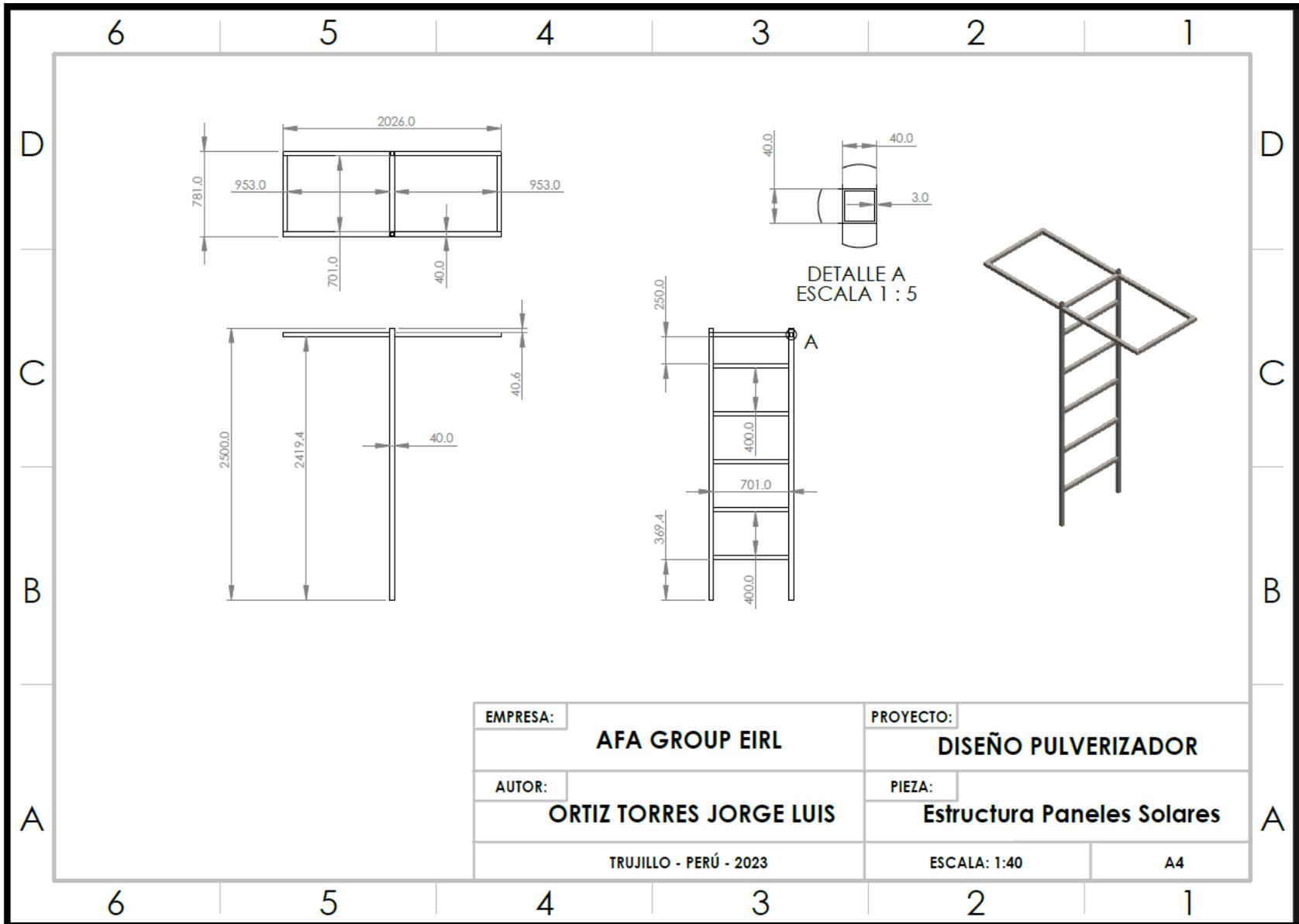


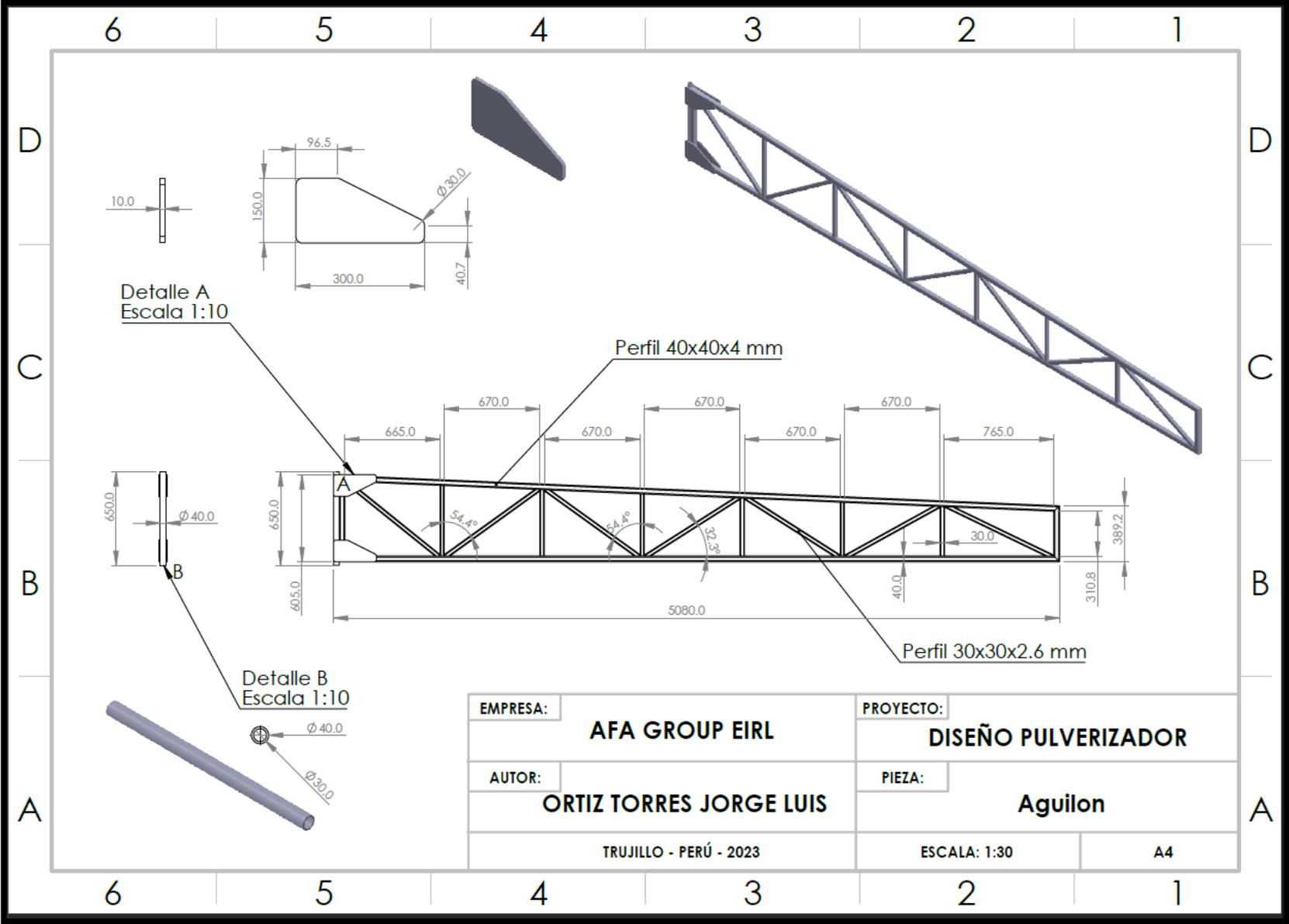
EMPRESA:	AFA GROUP EIRL		PROYECTO:	DISEÑO PULVERIZADOR	
AUTOR:	ORTIZ TORRES JORGE LUIS		PIEZA:	Gata Hidraulica	
TRUJILLO - PERÚ - 2023			ESCALA: 1:10	A4	



EMPRESA:	AFA GROUP EIRL		PROYECTO:	DISEÑO PULVERIZADOR	
AUTOR:	ORTIZ TORRES JORGE LUIS		PIEZA:	Soporte Tablero 1	
	TRUJILLO - PERÚ - 2023		ESCALA:	1:20	A4







EMPRESA:	AFA GROUP EIRL		PROYECTO:	DISEÑO PULVERIZADOR	
AUTOR:	ORTIZ TORRES JORGE LUIS		PIEZA:	Aguilon	
TRUJILLO - PERÚ - 2023			ESCALA: 1:30	A4	



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, OLORTEGUI YUME JORGE ANTONIO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Diseño de pulverizador de agroquímicos para parcelas estrechas de 80 Lt/min energizado eléctricamente en la empresa AFA GROUP", cuyo autor es ORTIZ TORRES JORGE LUIS, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 17.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 06 de Julio del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
OLORTEGUI YUME JORGE ANTONIO DNI: 18072601 ORCID: 0000-0001-5734-040X	Firmado electrónicamente por: JOLORTEGUIY el 07- 08-2023 19:27:35

Código documento Trilce: TRI - 0575156