



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Diseño estructural de aguilón en equipos de aplicación de insumos
químicos en el sector agroindustrial Chao – La Libertad

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero mecánico electricista

AUTOR:

Cortez Revilla, Rully Yoshiro (orcid.org/0000-0002-1508-189X)

ASESOR:

Dr. Luján López, Jorge Eduardo (orcid.org/0000-0003-1208-1242)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de investigación a Dios, quien guía mis pasos hacia el éxito profesional con formación de valores, y por haberme brindado la familia que tengo, familia que me apoya constantemente para conseguir mis sueños y hacerlos realidad.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a la Universidad Cesar Vallejo, por el tiempo que me acogió y me formó como profesional en esta excelente carrera como la Ingeniería Mecánica Eléctrica.

Agradecer también a su plana docente y a mis asesores de tesis por enriquecer esta investigación tecnológica.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	11
3.1. Tipo y diseño de investigación	11
3.2. Variables y operacionalización	11
3.3. Población, muestra y muestreo	11
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	12
3.5. Procedimientos	13
3.6. Método de análisis de datos	13
3.7. Aspectos éticos	13
IV. RESULTADOS	14
V. DISCUSIÓN	33
VI. CONCLUSIONES	38
VII. RECOMENDACIONES	39
REFERENCIAS	40
ANEXOS	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Técnicas e instrumentos del estudio	12
Tabla 2: Presupuesto de fabricación del aguilón	32
Tabla 3: Matriz de operacionalización de variables	45
Tabla 4: Ficha de registro	46
Tabla 5: Factor de acabado superficial	47
Tabla 6: Factor de temperatura	47
Tabla 7: Factor de confiabilidad	47
Tabla 8: Factores de diseño en cilindros – pistones	48
Tabla 9: Especificaciones técnicas del diseño cilindro pistón	49
Tabla 10: Ficha técnica del electrodo E7018	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de pulverización de insumos químicos	6
Figura 2: Distribución geométrica de un lote en una hectárea de cultivo.	15
Figura 3: Croquis del aguilón con pistón extendido y recogido	15
Figura 4: Tobera convencional en la aplicación de insumos químicos	16
Figura 5: Datos históricos de la velocidad del viento en Chao	18
Figura 6: Cargas que actúan sobre la estructura del aguilón	20
Figura 7: Diagrama de cuerpo libre del aguilón con pistón extendido.	21
Figura 8: Diagramas de carga producidos en el aguilón	22
Figura 9: Factor de amplificación de máquinas sometidos a vibración	27
Figura 10: Fallas en el aguilón del sistema de aplicación de insumos químicos	51
Figura 11: Aguilón del sistema de aplicación de insumos químicos	52
Figura 12: Aguilón del sistema de aplicación de insumos químicos	52
Figura 13: Despiece de aguilón estructural	53

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo de estudio diseñar la estructura del aguilón en equipos de aplicación de insumos químicos en el sector agroindustrial Chao – La Libertad. El tipo de investigación es aplicada con diseño no experimental. Tomando como muestra un equipo de aplicación de Insumos Químicos, modelo Chaski. El aguilón fue diseñado teniendo en cuenta los siguientes parámetros de operación: Velocidad del tractor en terrenos planos 7 km/h y en surcados 5 km/h. Longitud del aguilón mínima es de 5250 mm y la máxima 6250 mm. El diseño de pulverización trabaja con una presión de 50 bar. El material del aguilón es acero galvanizado tipo SSG50. El perfil estructural es tubo cuadrado de 2x2x3/16 in. El electrodo seleccionado es E7018. El aguilón estructural, tiene un factor de seguridad por carga estática de 13.5 y por fatiga 4, donde se incluyó el análisis por vibración con un factor de amplificación de 4, valores que aseguran un diseño óptimo. El pistón tiene un diámetro de 50 mm y el cilindro 63.50 mm. El tipo de soldadura es de cordón con un factor de seguridad 4.55, cumpliendo por la norma AWS. El aguilón tiene un costo de fabricación de 12206.00 nuevos soles.

Palabras clave: *aguilón estructural, equipos de insumos químicos, pulverizadores*

ABSTRACT

The objective of this research was to design the structure of the boom in equipment for the application of chemical inputs in the Chao - La Libertad agro-industrial sector. The type of research is applied with a non-experimental design. Taking as a sample an application equipment for Chemical Inputs, Chaski model. The boom was designed taking into account the following operating parameters: Tractor speed on flat terrain 7 km/h and on furrowed terrain 5 km/h. The minimum boom length is 5250 mm and the maximum is 6250 mm. The spray design works with a pressure of 50 bar. The material of the boom is galvanized steel type SSG50. The structural profile is 2x2x3/16 in. square tube. The selected electrode is E7018. The structural boom has a safety factor for static load of 13.5 and for fatigue 4, where the vibration analysis was included with an amplification factor of 4, values that ensure an optimal design. The piston has a diameter of 50 mm and the cylinder 63.50 mm. The type of welding is cord with a safety factor of 4.55, complying with the AWS standard. The boom has a manufacturing cost of 12,206.00 new suns.

Keywords: *structural boom, chemical supply equipment, sprayers*

I. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional durante los últimos 15 años el sector agrario en América Latina ha tenido un crecimiento exponencial positivo (Badillo, y otros, 2021), donde los equipos de aplicación de insumos químicos ayudan a incrementar la eficacia y eficiencia del producto (Pérez, y otros, 2018). Eficacia referida al control del agente que genera daños a la siembra y eficiencia para producir el máximo producto fitosanitario con el mínimo costo de su aplicación (Motta, y otros, 2016). Lo cual contribuye a que las organizaciones o empresas tengan un mayor beneficio útil en su proceso productivo (Manzano, y otros, 2018).

En el Perú, el sector agrario también ha tenido un crecimiento importante, debido a la utilización de tecnología de aplicación de insumos químicos fitosanitaria con productos plaguicidas (Butinof, y otros, 2019). La utilización de maquinaria para aplicación de plaguicidas en frutales, es la base fundamental de la rentabilidad de una empresa (Hernández, y otros, 2017), debido a que una buena distribución de los insumos químicos en los frutales contribuye a tener mejor producto con mejores estándares de calidad para la exportación e importación (Motta, y otros, 2016).

A pesar que el Perú tiene un crecimiento significativo en el sector agropecuario, el cual representa el 1.6% PBI nacional (INEI, 2019), éste no tiende a aumentar debido a la falta de tecnología y políticas de gestión que permitan el crecimiento económico desde el agricultor hasta el alcance de las empresas importadoras y exportadoras (Bernat, 2017). Cuando hablamos de tecnología nos referimos a las herramientas técnicas para el proceso de sembrado, fitosanitario y cosecha (Sixtac, 2015), donde el proceso fitosanitario es el más importante, ya que este proceso está relacionado con la rentabilidad económica (Pranavamoorthi, y otros, 2021). Vivimos en un país donde la tecnología (equipamiento de pulverizadores) para el proceso fitosanitario la tenemos que adquirir desde el exterior (otros países), encareciendo de esta manera el proceso productivo (Monge, 2017). Y si no se cuenta con la logística necesaria, las empresas optan por la fabricación de pulverizadores empíricos donde no se aplican normas y criterios de diseño, lo cual genera una acumulación de fallas cuando se ponen en operación estos equipos, encareciendo también el proceso productivo (Lantieri, y otros, 2019).

El sector agroindustrial de Chao, localizado en el distrito de Chao, provincia de Virú en el departamento de La Libertad, cuenta con una extensión 1736.87 Km² para el sembrío principalmente de caña de azúcar, uva, palta, espárrago y berries (arándanos, frambuesa, fresa, otros). Donde el valle de Chao, es uno de los 4 sector de la agroindustria alimentaria más importantes en la región de La Libertad, en conjunto con Virú, Moche y Chicama. El sector agroindustrial Chao, cuenta con un total de 4493 empresas agroindustriales, de las cuales 7 empresas predominan en producción y exportación (Camposol S.A; Sociedad Agrícola Virú S.A; Danper Trujillo S.A.C; Tal S.A; Agroexportaciones Manuelita S.A.C; Agroindustrias Laredo S.A.C; Green Perú S.A) (Baca, 2018).

El sector agroindustrial Chao, para su crecimiento productivo de sus cultivos, cuenta con maquinarias para la aplicación de insumos químicos, utilizando equipos con sistema de pulverización, donde los modelos más resaltantes son equipos Chaski y Full Maquinaria, los cuales son los encargados de la aplicación de plaguicidas, para un buen rendimiento de los frutales. Pero actualmente la maquinaria viene teniendo problemas en su diseño, principalmente en el aguilón, el cual es el encargado de soportar y distribuir adecuadamente las mangueras hidráulicas. El aguilón es el elemento estructural más crítico en este tipo de maquinarias, presentando fallas o averías tales como: fisuras en los puntos de aplicación de soldadura; flexión lateral del brazo por cargas externas; cargas mal distribuidas a lo largo del aguilón; fisuras en pines y pernos de sujeción; fisuras laterales en la estructura del material; presión de pulverización no controlada y exceso de carga en el brazo por parte del material (Anexo 3). La presencia de fallas constantemente en los aguilonos trae consigo un déficit en la operatividad de los equipos de aplicación de insumos químicos, perjudicando directamente la producción del sector agroindustrial de Chao.

Los equipos de pulverización en los modelos Chaski y Full Maquinarias, como los modelos más utilizados en este sector, tiene un costo promedio de 35000.00 dólares, y cuando los equipos registran fallas en plena operación la empresa pierde en promedio 1000.00 soles/hora (costo que involucra la reparación o incorporación de un equipo al campo). Pero el costo más relevante e importante recae en los costos de productividad de los frutales.

Por lo consiguiente, se plantea el diseño óptimo del aguilón estructural, para una correcta operatividad de los equipos de aplicación de insumos químicos, con el propósito de aumentar la productividad en los sembríos en el sector agroindustrial de Chao.

La realidad problemática expuesta conlleva a la siguiente **formulación del problema**: ¿Cuáles son las especificaciones técnicas de diseño del aguilón en equipos de aplicación de insumos químicos en el sector agroindustrial Chao – La Libertad?

El estudio tiene como **justificación** desde el enfoque económico la maximización de los costos de rentabilidad están directamente relacionados con el aprovechamiento de la capacidad máxima de operación de la maquinaria de aplicación de insumos químicos en el sector agroindustrial de Chao, generando un aumento económico en beneficio útil para las empresas de este sector. Desde el enfoque social tendrán un mayor control y manipulación de la maquinaria en la aplicación de plaguicidas, reduciendo de esta manera los accidentes. Desde el enfoque institucional contribuye a mejorar proceso productivo, utilizando las herramientas de la ingeniería mecánica eléctrica para planear una solución a la problemática, sirviendo de base científica para futuros estudios. Desde el enfoque ambiental la correcta aplicación de insumos químicos, no deteriora el suelo por el contrario recupera las tierras para la agricultura, utilizando los recursos de manera eficiente y responsable.

Como respuesta a la problemática de la investigación, se planteó el siguiente **objetivo general**: Diseñar la estructura del aguilón en equipos de aplicación de insumos químicos en el sector agroindustrial Chao – La Libertad.

La solución del objetivo general, requiere el planteamiento de los sucesivos **objetivos específicos**: (1) Determinar los parámetros de diseño del aguilón del sistema de aplicación de insumos químicos; (2) Dimensionar el aguilón del sistema de aplicación de insumos químicos (modelado de cálculos de ingeniería de diseño para evaluar esfuerzos y factores de seguridad); (3) Elaborar un presupuesto de fabricación para la implementación del aguilón.

II. MARCO TEÓRICO

La investigación encuentra sustento teórico en los siguientes **trabajos previos o antecedentes**, los cuales son una recopilación de artículos científicos y tesis, desde el enfoque de investigaciones internacionales, nacionales y locales.

El autor (Castro, 2020) realizó el análisis y diseño de un pulverizador para la aplicación de productos químicos fitosanitarios en los sembríos de uva de la compañía Full Maquinarias. La metodología de la investigación fue pre-experimental. El autor utilizó como herramientas AutoCAD, Software de simulación de ingeniería (ANSYS) y Matlab, para el análisis del sistema hidráulico, neumático y de pulverización. El autor propuso 4 conceptos alternativos de diseño, donde el mejor concepto fue un pulverizador de tipo neumático el cual se obtuvo mediante una matriz de criterios ponderados (matriz de Pugh). Dentro de los resultados más importantes se encontró: El chasis que sirve como soporte del pulverizador es de acero estructural ASTM-A36 de ¼ pulgada, con un esfuerzo de la energía máxima de distorsión de 97 MPa, factor de fatiga 2.4 y de carga estática 2.6. De igual manera las portatoberas se analizaron mediante el análisis de elementos finitos (FEA), obteniendo un esfuerzo máximo de 47 MPa y factor estático de 6.8. El autor determinó que el diseño del pulverizador tipo neumático asciende a una inversión de 46492.71 soles, valor presente nete (VPN) de 397145.54 soles, tasa de rentabilidad 21% y tiempo de retorno de la inversión 4.3 meses.

De la misma manera el investigador (Aguilar, 2019) realizó el diseño de un mecanismo articulado para aumentar los ratios de aplicación de insumos químicos del pulverizador neumático Martignani M612T2-2000L, en la compañía agrícola Cerro Prieto S.A. La metodología de la investigación fue aplicada, no experimental. El autor aplicó herramientas como el software 3D SolidWorks y el análisis de elementos finitos. El autor mediante un matriz morfológica encontró un concepto ideal para la estructura articulada la cual va anclada al pulverizador de tipo neumático capaz de cubrir la fumigación en un solo recorrido, originando de esta manera que la eficiencia de fumigación aumente de un ratio de 1.9 ha/h a 3.6 ha/h, reduciendo de esta manera los costos de fumigación de 12.22 \$/ha a 6.33 \$/ha. Asimismo, el diseño contempló el cambio de mangueras hidráulicas, utilizando el

tamaño R2 de 3/8 in x 8m, cilindros de doble efecto y soldadura con un electrodo E7018 x 1/8 in. El autor estimó que el diseño tiene una tasa interna de rentabilidad (TIR) del 73% y una relación beneficio/costo de 1.97.

Los investigadores (Montoya, y otros, 2017) analizaron la eficiencia en pulverizadores hidroneumáticos de aplicación de insumos químicos en la fruticultura de cuyana. La metodología de investigación fue experimental. Los autores utilizaron como herramienta el software Matlab para el mejor manejo de los resultados. Los autores analizaron un pulverizador hidroneumático con una potencia de 31.17KW con una capacidad de flujo de 257.49 m³/min. Indicando que sí, las toberas trabajan a una presión de 20 bar y a una altura de 4.5m, con una rotación en el ventilador de 56.55 rad/s, mangueras hidráulicas de 5 pulgadas y mangueras de agua de 2 pulg, el pulverizador hidroneumático aumenta su eficiencia (operación) respecto a la potencia disminuye a 12 KW, mientras que el flujo de fumigación aumenta a 485.17 m³/min. Asimismo, los investigadores recalcan que el diámetro del ventilador debe aproximarse a 830 mm, longitud de 230 mm y de 8 alabes.

También el autor (Vázquez, 2017) diseño un sistema automatizado para la aplicación variable de fitosanitarios. La metodología de investigación fue experimental – Aplicada. El autor utilizó como herramienta el software StxLadder para la programación del sistema de automatizado del tractor y pulverizador. El autor determinó que el tractor debe tener un rango de velocidad del orden de 2.4 a 5.2 km/h, las mangueras de aire deben estar en el rango de 5 a 6 pulgadas, las válvulas para la aplicación fitosanitaria deben ser solenoides modelo GL8388021, válvulas de retiro con presión máxima de 20 bar, marca DirectoValve Modelo 110 y el procesador debe ser Broadcom BCM2837 con placa Raspberry Pi versión 3. Indicando el autor que bajo estos parámetros se aumentaría la operatividad de fumigación de los frutales.

La investigación se sustenta en las siguientes **teorías relacionadas al tema**, las cuales son extraídas de revistas científicas, libros de mecánica de fluidos, libros de diseño de elementos de máquinas y tesis.

El pulverizador de aplicación de insumos químicos, es un equipo constituido de un recipiente cilíndrico el cual contiene agitadores que logran mantener la mezcla del agente fitosanitario y el flujo de agua (Ail, y otros, 2016), donde por medio de una electrobomba, empuja al agua con una fuerza hidrodinámica a salir a través de toberas o boquillas (Cruz, 2018). Para lo cual las gotas se fragmentan en un tamaño promedio de 150 micras, para ser aplicadas en un terreno o frutal (Magdalena, 2017).

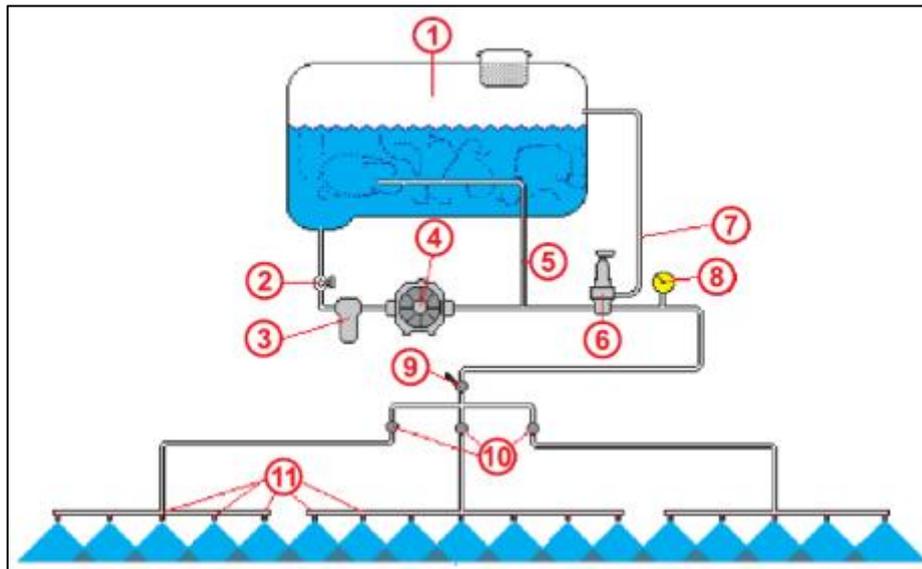


Figura 1: Sistema de pulverización de insumos químicos (Mayanquer, 2019)

En la figura 1, se muestra el depósito (1), válvula de corte de flujo (2), depurador en línea (3), electrobomba (4), agitador hidráulico (5), modificador de presión (6), regulador de flujo (7), manómetro (8), válvula principal de flujo (9) y picos de botallón (11).

Dentro de los tipos de pulverizadores que se utilizan para la aplicación de insumos químicos tenemos: hidráulicos, hidroneumáticos y neumáticos (Alcides, 2018). Los pulverizadores hidráulicos efectúan su operación a presión del fluido por varias toberas o boquillas, mediante la utilización de una bomba, este tipo de equipos son los más utilizados en terrenos de extensión media (Onorato, 2016). Los pulverizadores hidroneumáticos son empleados en la protección fitosanitaria de frutales de terrenos de extensiones grandes (Upendra, y otros, 2021), donde las gotas de pulverización se forman por la variación de presión, asimismo el movimiento se genera por corrientes de aire que envuelven las gotas con tamaños

que van desde 100 a 400 micrones (Gholap, 2017), este sistema mejora la aplicación de insumos químicos en frutales debido a que las corrientes de aire agitan las plantas permitiendo la penetración en el cultivo (Marquez, 2016). Los pulverizadores neumáticos se basan en la generación de gotas muy pequeñas entre 40 a 200 micrones (Muhammad, 2019), lo que conlleva a que las gotas alcancen su objetivo en reducidas pérdidas de producto y bajo volumen de insumo químico por hectárea, lo cual permite tener una gran ventaja respecto a otros tipos de pulverizadores (Sierra, 2018).

La eficiencia hidráulica de una bomba, se define como el uso eficiente y racional del consumo eléctrico, y está relacionado como la potencia activa consumida (útil) entre la potencia suministrada (máxima) (Mataix, 2016). La expresión que nos permite calcular analíticamente la eficiencia sería:

$$\eta_B = 100 * \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{máxima}}} \quad (1)$$

η_B es la eficiencia hidráulica (%), $P_{\text{útil}}$ potencia activa consumida (KW) y $P_{\text{máxima}}$ potencia suministrada máxima (KW)

La potencia suministrada a una bomba hidráulica, se calcula mediante la expresión: (Mataix, 2016).

$$P_{\text{máxima}} = \frac{\rho * g * Q * H_B}{1000} \quad (2)$$

ρ es la densidad absoluta del fluido (Kg/m³), g aceleración gravitacional (m/s²), Q flujo volumétrico (m³/s) y H_B altura energética (m).

La ecuación de la energía de Bernoulli, es una simplificación de la ecuación general de la energía, que nos permite desarrollar de mejor manera las aplicaciones en flujos incomprensibles, es decir es eficaz su utilización en problemas de transportes de fluidos líquidos (Sánchez, 2017).

La ecuación de Bernoulli tiene la siguiente expresión:

$$H_B = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{V_{2s}^2 - V_{1s}^2}{2g} + Z_2 - Z_1 + hp_{TB} \quad (3)$$

H_B es la altura energética en (m), P_1 y P_2 presiones de ingreso y salida (Pa), V_1 y V_2 celeridades del fluido (m/s), ρ densidad absoluta (m³/s), g aceleración

gravitacional (m/s^2), Z_1 y Z_2 alturas geodésicas del sistema (m) y hp_{TB} pérdidas netas (primarias y secundarias) del sistema (m).

Las pérdidas totales en el sistema de bombeo, se determinan mediante la siguiente ecuación (Torres, 2017).

$$hp_{TB} = hp_P + hp_S \quad (4)$$

hp_P son las pérdidas primarias por longitud de tubería en (m) y hp_S son las pérdidas secundarias generadas por accesorios (codos, entradas, tes, válvulas, uniones, otros) se miden en (m).

Las pérdidas primarias y secundarias se determinan haciendo uso de las siguientes expresiones (Rodríguez, 2016).

$$hp_P = f * \frac{L}{d} * \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

f es el coeficiente de fricción, L longitud equivalente (m), V celeridad del fluido (m/s), d calibre interior de la tubería (m) y g aceleración gravitacional (m/s^2)

$$hp_S = \sum K * \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

K es el coeficiente de pérdidas por accesorios, V celeridad del fluido (m/s) y g aceleración gravitacional (m/s^2)

El factor o coeficiente de fricción (rozamiento) depende del grado de rozamiento origina en las paredes internas de las tuberías debido al paso o circulación del fluido de transporte (Hernández, 2017).

$$(\sqrt{f})^{-1} = -2 \log \left(0.27 \frac{\varepsilon}{d} + \frac{2.50}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (7)$$

f coeficiente de rozamiento, ε rugosidad teórica absoluta (mm), d calibre interior (m) y Re número de Reynolds.

La cantidad numérica adimensional de Reynolds, define el grado de régimen del fluido, a lo largo del transporte del fluido en una red de tuberías (Zamora, 2016).

$$Re = \frac{\rho * V * d}{\mu} \quad (8)$$

Re es el número de Reynolds, μ viscosidad dinámica del agua (Pa.s), V celeridad del fluido (m/s), d calibre interior (m) y ρ densidad absoluta (m^3/s).

El esfuerzo axial, es la relación de las fuerzas que actúan perpendicularmente sobre una superficie (área), originando aplastamiento o pandeo (Gamio, 2016).

$$\sigma_n = \frac{N}{A} \quad (9)$$

σ_n es la carga de esfuerzo axial en (Pa) y A superficie de acción de la fuerza (área) (m^2) y N fuerza axial (N).

El esfuerzo cortante es la relación de las fuerzas que actúan tangencialmente sobre una superficie (área), originando cizallamiento o flexión (Gamio, 2016).

$$\tau_c = \frac{V}{A} \quad (10)$$

τ_c es el esfuerzo cortante (Pa) y A superficie de acción de la fuerza (área) (m^2) y V es la carga de cizallamiento (N)

El esfuerzo flexionante es la distribución de tensiones sobre una superficie, donde las tensiones son perpendiculares a la línea longitudinal del elemento sometido a esta carga (Gamio, 2016).

$$\sigma_f = \frac{M_R \cdot Y}{I} \quad (11)$$

σ_f es el esfuerzo flexionante (Pa), Y longitud de centroide máxima (m), I momento de inercia (m^4) y M_R momento máximo resultante (N.m).

El esfuerzo torsor es la distribución de tensiones sobre una superficie, donde las tensiones son tangenciales a la línea longitudinal del elemento sometido a esta carga (Gamio, 2016).

$$\tau_T = \frac{T \cdot Y}{J} \quad (12)$$

τ_T es el esfuerzo torsor (Pa), Y longitud de centroide máxima (m), T momento torsor máximo (N.m), J segundo momento de área (m^4)

El análisis estático en diseño de máquinas, está fundamentado en la capacidad de un elemento estructural para resistir fuerzas internas y externas, en comparación con el esfuerzo de fluencia (Shigley, 2018).

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 * \tau_{xy}^2} \quad (13)$$

σ_{VM} es el esfuerzo máximo de Von Mises (Pa), σ_x esfuerzo resultante (axial y flector) (Pa) y τ_{xy} es el esfuerzo resultante (cortante y torsor) (Pa).

El factor de seguridad está basado en la relación de la resistencia del material (fluencia) y la resistencia de Von Mises (Shigley, 2018).

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_{V.M}} \quad (14)$$

S_y es la resistencia del material (fluencia) (MPa) y σ_{VM} esfuerzo máximo de Von Mises (Pa).

El análisis de fatiga en diseño de máquinas, se basa en factores perturbadores del material del elemento de máquina, tales como: tipo de tratamiento térmico, mantenimiento, temperatura de trabajo, geometría del sólido, tiempo de operación y tipo de carga aplicada. (Shigley, 2018).

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S'_e \quad (15)$$

S_e es el esfuerzo de fatiga real (Pa), S'_e esfuerzo de fatiga absoluto (Pa), K_a factor superficial de proceso, K_b factor de forma, K_c factor de fuerza aplicada, K_d factor de la temperatura y K_e factor de fiabilidad.

El factor de seguridad por fatiga, se sustenta principalmente en las teorías de: Goodman (teoría en relación a la resistencia máxima) y Soderberg (teoría en relación a la resistencia de fluencia) (Shigley, 2018).

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{fs} \quad (16)$$

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{fs} \quad (17)$$

σ_a es el esfuerzo alterno (Pa) ($\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}/2$), σ_m esfuerzo medio (Pa) ($\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{m\acute{i}n}/2$), S_e esfuerzo de fatiga real (Pa), S_{ut} esfuerzo último (Pa) y fs factor de seguridad de fatiga.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es **aplicada**, la cual tiene como característica dar una solución a una problemática en particular o específica, haciendo uso de las herramientas científicas, cuyo sustento está comprendido por leyes y teorías de una determinada área científica (Hernández, y otros, 2014). Por lo cual podemos indicar que la investigación es aplicada por que se busca plantear un diseño estructural de aguilón en equipos de aplicación de insumos químicos mediante normas y leyes de la ingeniería de diseño.

El diseño de investigación es **no-experimental**, es la primera aproximación a la solución de un problema o fenómeno, donde no se manipulan las variables deliberadamente, basándose en la observación de una problemática específica tal y como se dan en su contexto real, para luego realizar sobre ello realizar un criterio de análisis (Baena, 2017). Por lo cual podemos indicar que la investigación es no-experimental, la cual contiene una sola variable “Diseño estructural” de la cual se obtuvieron las óptimas especificaciones técnicas en el diseño estructural de un aguilón en equipos de aplicación de insumos químicos para el sector agroindustrial de Chao.

3.2. Variables y operacionalización

Variable:

- Diseño Estructural

El diseño estructural es un conjunto de elementos mecánicos ordenados, que cumplen una determina función en un mecanismo o máquina. Donde dichos elementos están sometidos a distintas cargas internas o externas, requiriendo de la ingeniería de materiales para su diseño óptimo (Aguilar, 2019).

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

Población:

Equipos Chaski y Full Maquinarias de aplicación de Insumos Químicos en el distrito de Chao.

Criterios de inclusión:

- Equipos de aplicación de insumos químicos de modelos Chaski y Full Maquinaria.
- Equipos de aplicación de insumos químicos con sistema de pulverización incluyendo nebulizadores y atomizadores.
- Equipos de aplicación de insumos químicos arrastrado por un tractor.
- Equipos de aplicación de insumos químicos con aguilones estructurales con pistones para extensión mínima y máxima, en el proceso fitosanitario.

Criterios de exclusión:

- Equipos de aplicación de insumos químicos distintos a los sistemas de pulverización, incluyendo nebulizadores y atomizadores.
- Equipos que no superen su vida máxima de diseño, según el fabricante.

Muestra:

Equipo de aplicación de Insumos Químicos, modelo Chaski en el sector agroindustrial Chao – La Libertad.

Muestreo:

El estudio tiene como muestreo por conveniencia (no probabilístico)

Unidad de análisis:

La unidad de análisis de la investigación, se contempla en el diseño del elemento estructural aguilón en el equipo de aplicación de insumos químicos, modelo Chaski, en el sector agroindustrial Chao - La Libertad.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Tabla 1: *Técnicas e instrumentos del estudio*

Técnica	Instrumento
Análisis documental	Fichas de Registro

Fuente: Elaborado por el autor

3.5. Procedimiento

En la investigación se realizó el siguiente procedimiento:

- Se recolectó información como datos técnicos de diseño, mantenimiento y de campo de los equipos de insumos químicos en el sector agroindustrial Chao, mediante la aplicación de los instrumentos de recolección de datos.
- Se realizó una descripción de las principales fallas que sufren los aguilonos de los equipos de aplicación de insumos químicos en el sector agroindustrial Chao, para diseñar un aguilón con especificaciones técnicas óptimas.
- Se propusieron nuevos parámetros de diseño y operación para el diseño del aguilón. Y se realizaron los cálculos de diseño estático y dinámico al elemento estructural aguilón.
- El elemento estructural se sometió a un análisis de carga estática y fatiga, para determinar factor de seguridad y esfuerzos.
- Se realizó un presupuesto económico para la viabilidad del estudio.

3.6. Método de análisis de datos

En el método de análisis de datos se empleó el software Excel, para la mejor representación de la información recolectada, mediante los instrumentos. Del software Excel se obtuvo tablas y gráficos, lo cual permitió una mejor representación de los resultados. Asimismo, este programa nos permitió mediante hojas de cálculo, realizar un presupuesto para la fabricación del aguilón. También se utilizó procedimientos y algoritmos de cálculo, para el elemento estructural aguilón de los equipos de aplicación de insumos químicos, para determinar el esfuerzo máximo y factor de seguridad.

3.7. Aspectos éticos

La información técnica (documentaria) y otros proporcionados por las empresas del sector agroindustrial Chao, son de carácter confidencial. El autor acepta que será responsable por los daños y perjuicios que pudieran ocasionarse a las empresas como consecuencia de cualquier acto de confidencialidad. Asimismo, el autor se compromete a proteger la intelectualidad académica, no incurriendo en ningún tipo de plagio de investigación. Presentando información veraz y fiable.

IV. RESULTADOS

4.1. PARÁMETROS DE DISEÑO DEL AGUILÓN DEL SISTEMA DE APLICACIÓN DE INSUMOS QUÍMICOS

4.1.1. PARÁMETRO 1: VELOCIDAD DE APLICACIÓN DEL INSUMO QUÍMICO

La velocidad del tractor es un parámetro que influye directamente sobre el diseño del aguilón, y para una productividad eficiente se requiere dos tipos de velocidad, según el terreno. Ya que a dichas velocidades no hay efectos de vibraciones armónicas con el terreno y se realiza una mejor aplicación de los insumos químicos. En el sector agroindustrial, para el proceso fitosanitario las velocidades que se consideran son las siguientes:

- Velocidad: 7 Km/h (Para terrenos planos)
- Velocidad: 5 km/h (Para terrenos surcados)

4.1.2. PARÁMETRO 2: LONGITUD DEL AGUILÓN

La longitud del aguilón es variable ya que depende del tipo de sembrío al cual se le quiere aplicar el insumo químico. Y dependiendo del tipo de cultivo se establece el ancho requerido entre surcos. Donde en el sector agroindustrial alimentario, dependiendo del tipo de cultivo el surco varía de 60 a 100 cm de ancho. Asimismo, dependiendo de los anchos referidos, una hectárea puede estar compuesta por 17 a 28 lotes.

Debido a estas características, la longitud del aguilón no puede ser fija, requiriendo de una longitud mínima y una longitud máxima para poder aplicar eficientemente los insumos químicos a todos los cultivos agroindustriales alimenticios. Por lo consiguiente las longitudes del aguilón deben ser:

- Longitud mínima: 5250 mm
- Longitud máxima: 6250 mm

Debido a la geometría longitudinal del aguilón, este debe contar con un cilindro - pistón, para una carrera máxima y mínima, y de esta manera tener una sola estructura que pueda cumplir con todos los requerimientos al momento de aplicar los insumos químicos.

En la figura 2, se muestra la geometría de un lote y como están constituidos o formados en una hectárea, para la aplicación de los insumos químicos.



Figura 2: Distribución geométrica de un lote en una hectárea de cultivo.
Fuente: Maquinarias Agrícolas Peruanas Chaski

Y en la figura 3, se muestra un croquis con las principales medidas del aguilón para cumplir con las especificaciones del terreno en la aplicación del insumo químico.

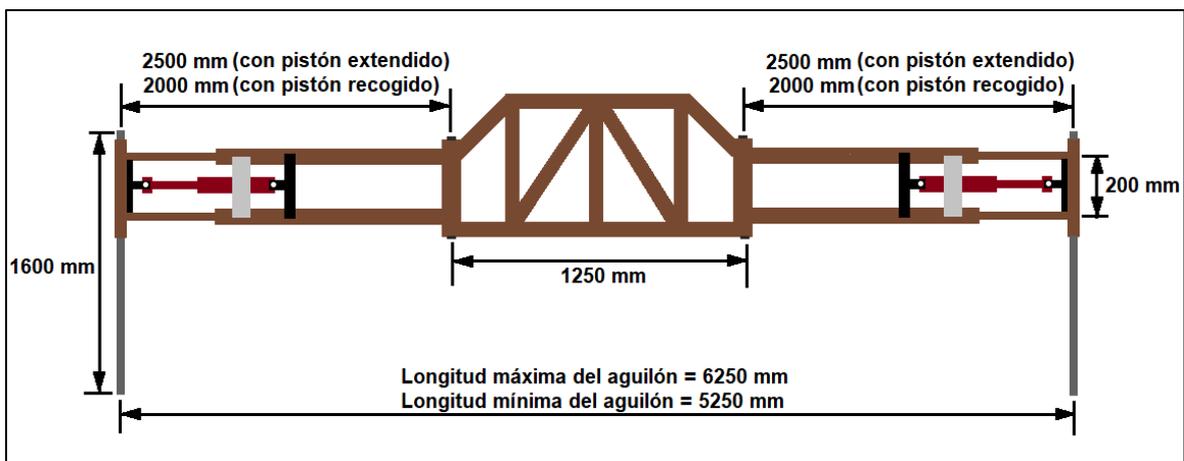


Figura 3: Croquis del aguilón con pistón extendido y recogido
Fuente: Elaborado por el autor

4.1.3. PARÁMETRO 3: PRESIÓN Y FUERZA DE PULVERIZACIÓN

En los cultivos agroindustriales alimenticios, la presión máxima requerida por el sistema de pulverización es 50 bar, con un caudal máximo de 150 l/mín. (valores de operación en equipos Chaski y Full Maquinarias).

Los equipos de aplicación de insumos químicos, constan de un máximo de 42 boquillas, donde las toberas para una buena aplicación fitosanitaria, tienen boquillas de diámetros de 2 mm, las cuales pueden ser de material polipropileno o aluminio en latón niquelado.

En la figura 4, se muestra una tobera convencional utilizada en los sistemas de pulverización, en la aplicación de insumos químicos.

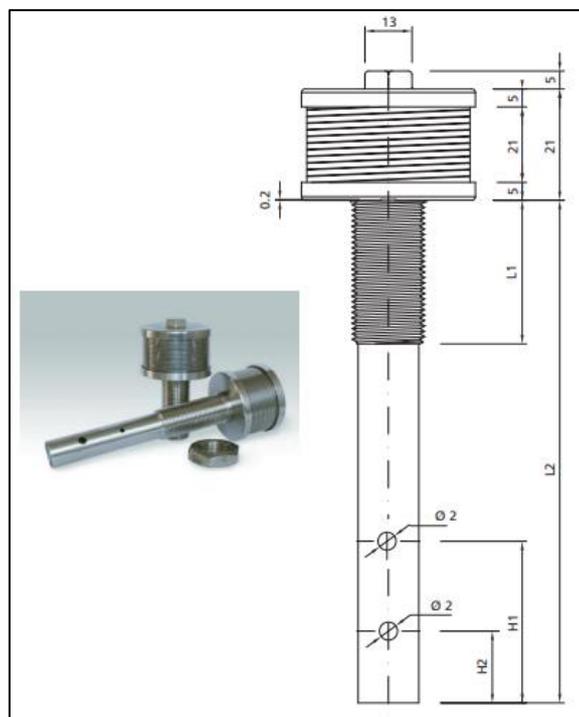


Figura 4: Tobera convencional en sistema en la aplicación de insumos químicos

Fuente: Maquinarias Agrícolas Peruanas Chaski y Full Maquinarias

Nota: Cada tobera contienen un cierto número de boquillas, requiriéndose un máximo de 42 boquillas en el sistema de pulverización.

Fuerza del sistema de pulverización:

Una vez definida la presión del sistema de pulverización de 50 bar, con 42 boquillas, donde cada boquilla tiene un diámetro de 2 mm, se procederá a calcular la fuerza producida por el flujo fitosanitario, mediante la siguiente expresión:

$$F_f = P_p * A_b$$

Donde: F_f : Fuerza del producto fitosanitario (KN); P_p : Presión del sistema de pulverización, 50 bar (5 N/mm²) y A_b : Área de las boquillas en mm²

El área sería:

$$A_b = \frac{\pi * d_b^2}{4} = 3.1416 \text{ mm}^2$$

La fuerza sería:

$$F_f = P_p * A_b = 15.708 \text{ N}$$

La fuerza del sistema de pulverización, ejercida por el flujo fitosanitario, actúa como fuerza cortante en relación a la estructura del aguilón.

4.1.4. PARÁMETRO 4: MATERIAL DEL AGUILÓN

Los actuales pulverizadores han dejado de utilizar como material ASTM A36 para el aguilón y han optado por el acero galvanizado el cual cuenta con alta resistencia a la abrasión y corrosión atmosférica. Asimismo, alta durabilidad y resistencia, en comparación al acero estructural A36.

- Material: Acero galvanizado
- Tipo: SSG50
- Resistencia a la Fluencia: $S_y = 350 \text{ Mpa}$
- Resistencia última a la Tracción: $S_{ut} = 450 \text{ Mpa}$

4.1.5. PARÁMETRO 5: PERFIL ESTRUCTURAL

El tipo de perfil estructural, será de tubo cuadrado, debido a que tiene un mejor momento de inercia, durante el movimiento lineal del tractor. Para lo cual el tubo cuadrado será de lado de 2 pulgadas (50.8 mm), con un espesor de 3/16 pulgadas, con la finalidad de encontrar un factor de seguridad de superior a 2.5 (Valor que será corroborado en el análisis de ingeniería de elementos de diseños)

- Tipo de perfil: Tubo cuadrado
- Dimensiones: 2x2x3/16 pulgadas.

4.1.6. PARÁMETRO 6: VELOCIDAD DEL VIENTO

La velocidad del viento es otro parámetro relevante que afecta constantemente la estructura del aguilón, ocasionando fuerza cortante. Por tal razón se analizó la variación de la velocidad del viento en la zona agroindustrial de Chao, desde el año 2014 hasta el año 2022, obteniendo que la velocidad máxima registrada es de 12

Km/h (3.33 m/s). Para lo cual el aguilón será analizado con dicha velocidad crítica para obtener un diseño óptimo, y que no sea afectado por las ráfagas de aire.

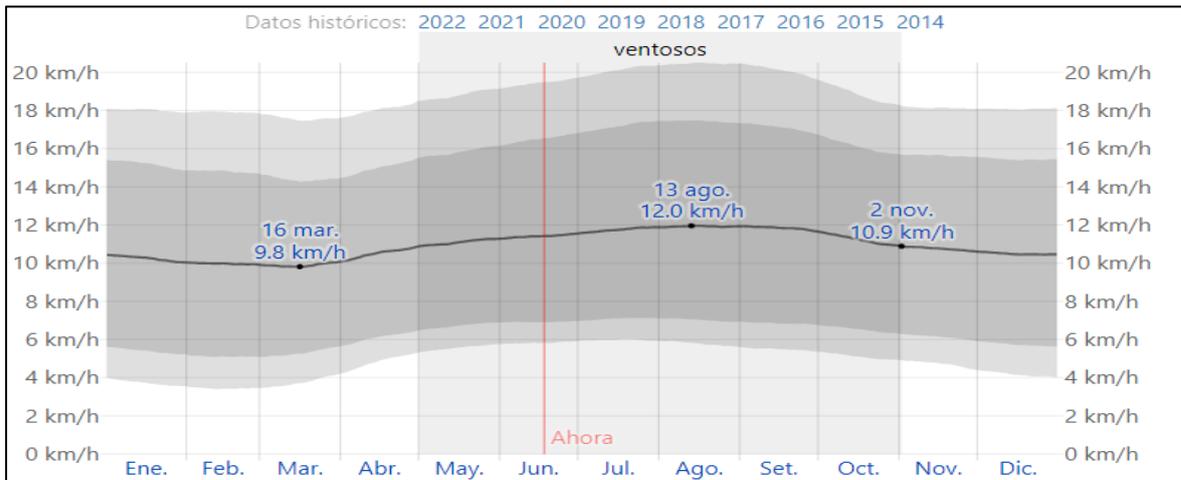


Figura 5: Datos históricos de la velocidad del viento en Chao.

Fuente: Previsión meteorológica en Chao

Presión del viento:

La presión del viento se determina mediante la expresión:

$$P_v = 0.715 * V^2$$

Donde: P_v : Presión del viento (Pa) y V : Velocidad del viento (m/s). Obteniendo:

$$P_v = 8 \text{ N/m}^2$$

Fuerza del viento provocada en la estructura del aguilón:

El aguilón tendrá una estructura de material acero galvanizado, con tubo cuadrado de lado exterior de 2 pulgadas (50.8 mm), con un aproximado máximo de 20 metros de longitud de tubo, es decir tendríamos un área expuesta al viento de:

$$A_v = 0.0508 \text{ m} * 20 \text{ m} = 1.016 \text{ m}^2$$

La fuerza del viento sería:

$$F_v = P_v * A_v = 8.128 \text{ N}$$

PARÁMETRO 7: SOLDADURA

Se utilizará un electrodo E7018 de mayor resistencia al agrietamiento. Con revestimiento de alto contenido de hierro en polvo que genera una buena eficiencia. Además, este tipo de soldadura es libre de poros e inclusiones de escoria y de mejores propiedades mecánicas. Asimismo, La Sociedad Americana de Soldadura (AWS) exige que el factor de seguridad sea superior a 1.44 (Valor se sustenta en el apartado del análisis de soldadura)

- Tipo de soldadura: Arco eléctrico
- Tipo de electrodo: De metal revestido E7018
- Resistencias: $S_{ut} = 414$ MPa (última) y $S_y = 331$ MPa (fluencia)
- Tamaño del cordón: 1/8 in

PARÁMETRO 8: PESO

El aguilón está sujeto al peso propio y a soportar el peso de las tuberías del fluido fitosanitario.

a) Peso del material:

El acero galvanizado en espesor de 3/16 pulgadas, tiene un peso de 6.02 Kg/m.

Donde el peso se calcula:

$$P_m = 9.81 * q_l * L_e$$

Donde: P_m : Es el peso del material (N); q_l : Es el peso lineal del galvanizado en espesor de 3/16 in, $q_l = 6.02$ Kg/m; L_e : Es la longitud efectiva de toda la estructura,

$$L_e = 20 \text{ m}$$

Reemplazando, el peso del material sería:

$$P_m = 1181.124 \text{ N}$$

b) Peso de las tuberías:

La estructura del aguilón está sometido a una carga de 150 Kg (1471.5 N) producto del peso de las tuberías del fluido fitosanitario.

PARÁMETRO 8: VIBRACIÓN

El diseño estructural del aguilón se sometió a un análisis de vibración, donde se consideraron las frecuencias: natural “ ω_n ” y de excitación “ ω ”. Donde la frecuencia natural es la producida por el terreno debido al desplazamiento del tractor y la frecuencia de excitación es debido a las fuerzas que perturban la estabilidad del aguilón (velocidad del viento, velocidad del tractor y fuerza de pulverización). El análisis de vibración se efectuó mediante la norma: Real Decreto 1311/2005 “Protección de la salud y la seguridad frente a riesgos derivados por vibraciones mecánicas”, el cual establece que la aceleración máxima permitida en sistemas de vibración de equipos agrícolas es de 5 m/s^2 . Asimismo, el cálculo se realizó igualando las frecuencias natural y de excitación para obtener los valores más críticos de los esfuerzos y con ello un factor de seguridad óptimo superior a 2.5 para diseños seguros (El sustento está expuesto en el apartado del análisis de vibración).

4.2. DIMENSIONAMIENTO DEL AGUILÓN DEL SISTEMA DE APLICACIÓN DE INSUMOS QUÍMICOS (MODELADO Y SIMULACIÓN DE ESFUERZOS)

En la figura 6, se muestran todas las cargas que actúan sobre la estructura, producto de los parámetros de diseño y operación seleccionados.

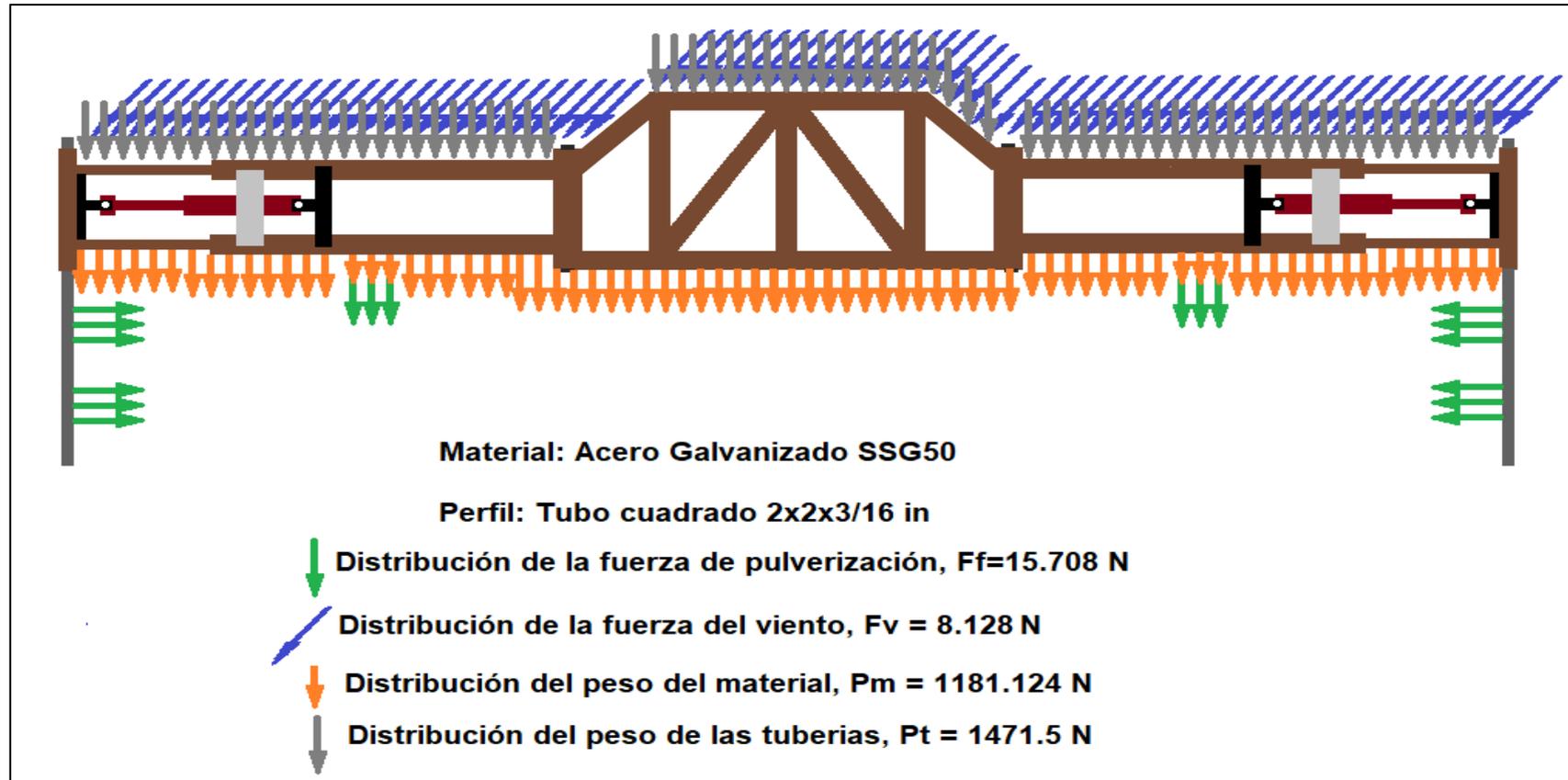


Figura 6: Cargas que actúan sobre la estructura del aguilón

Fuente: Elaborado por el autor

4.2.1. ANÁLISIS DE FUERZAS Y REACCIONES EN EL AGUILÓN

a) Diagrama de cuerpo libre

El análisis de la estructura del aguilón se realizará con el pistón extendido, ya que en dicha condición se presentan los mayores esfuerzos, momentos, deformación y vibración en el material.

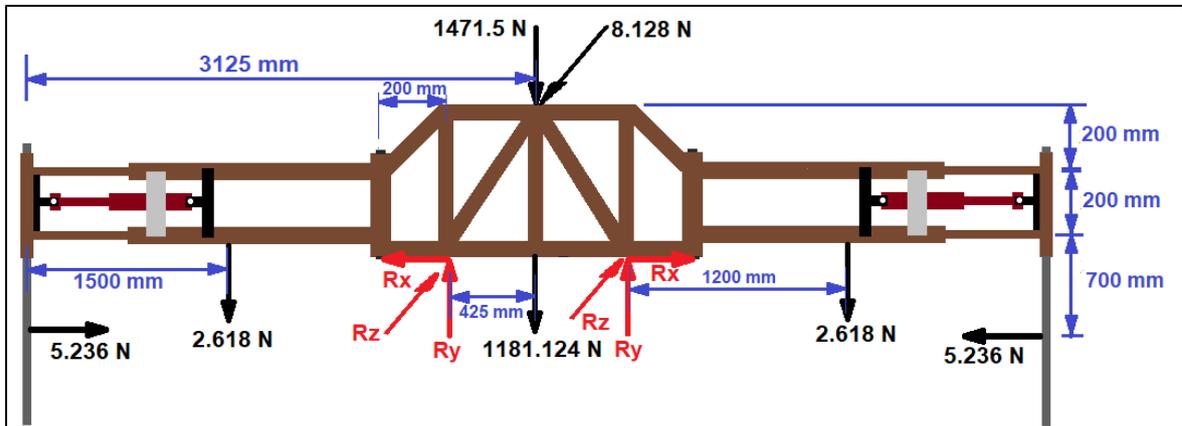


Figura 7: Diagrama de cuerpo libre del aguilón con pistón extendido.

Fuente: Elaborado por el autor

b) Fuerza de reacción o de apoyo del aguilón estructural

$$\sum F_Y = 0$$

$$-2.618 - (1471.5 + 1181.124) - 2.618 + 2R_y = 0$$

$$R_y = 1328.93 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$5.236 - R_x = 0$$

$$R_x = 5.236 \text{ N}$$

$$\sum F_z = 0$$

$$8.128 - 2R_z = 0$$

$$R_z = 4.064 \text{ N}$$

c) Diagramas de cargas

Los diagramas de cargas internas son fundamentales para establecer la variación de las fuerzas y momentos a lo largo del aguilón estructural. Asimismo, nos permite determinar el máximo valor de la fuerza cortante, fuerza normal y momento resultante, los cuales definen el punto crítico estructural del diseño.

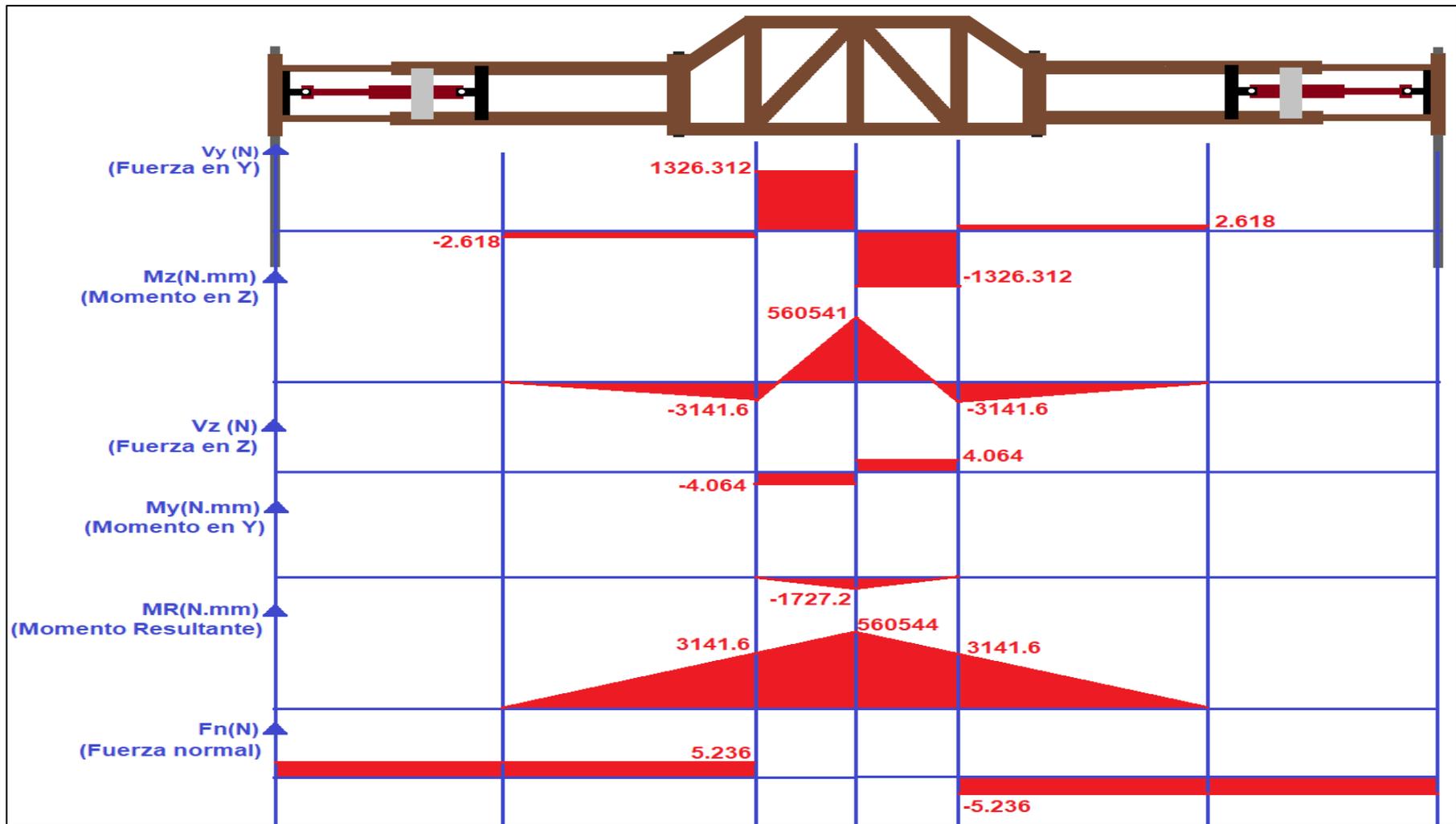


Figura 8: Diagramas de carga producidos en el aguilón
Fuente: Elaborado por el autor

La figura 8, detalla que el aguilón está sometido, a las siguientes cargas máximas:

- **Momento resultante: $MR=560544 \text{ N.mm} = 560.544 \text{ N.m}$**
- **Fuerza normal máxima: $F_n=5.236 \text{ N}$**
- **Fuerza cortante máxima: $V_{\text{máx}} = \sqrt{1326.312^2 + 4.064^2} = 1326.32 \text{ N}$**

4.2.2. ESFUERZOS Y MOMENTOS EN EL AGUILÓN

a) Sección transversal del material del aguilón

Como ya se especificó líneas arriba el perfil estructural del tubo será cuadrado, debido a que tiene un mejor momento de inercia y mayor estabilidad, durante el movimiento lineal del tractor. Para lo cual el tubo cuadrado será de lado de 2 pulgadas (50.8 mm), con un espesor de 3/16 pulgadas, con la finalidad de encontrar un factor de seguridad de superior a 2.5 (Valor que será corroborado en este apartado)

- Tipo de perfil: Tubo cuadrado
- Dimensiones: 2x2x3/16 pulgadas.

$$S = 4e_t(L - e)$$

Donde: e_t : Espesor del tubo, $e_t = \frac{3}{16} \text{ in} = 4.7625 \text{ mm}$ y L : Lado del tubo, $L = 2 \text{ in} = 50.8 \text{ mm}$

La superficie transversal del material es:

$$S = 877 \text{ mm}^2$$

b) Momento de inercia:

El momento de inercia indica la distribución de la masa del aguilón estructural, se determina mediante la siguiente expresión.

$$I = \frac{L^4}{12}$$

Donde: I : Momento de inercia (mm^4) y L : Lado del tubo, $L = 2 \text{ in} = 50.8 \text{ mm}$

El momento de inercia sería:

$$I = 554975 \text{ mm}^4$$

c) Esfuerzo normal:

Ocasionado por las fuerza de pulverización en la aplicación del insumo químico

$$\sigma_n = \frac{F_n}{S} = 5970 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

d) Esfuerzo cortante:

Ocasionado por el peso de las tuberías, peso del material, fuerza del viento y fuerza de pulverización.

$$\tau_c = \frac{V_{\text{máx}}}{S} = 1.5 * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

e) Esfuerzo flector:

Ocasionado por todas las fuerzas intervinientes en el aguilón (fuerza de viento, fuerza de pulverización, peso del material y peso de tuberías) que actúan en durante toda la longitud de la estructura.

$$\sigma_f = \frac{M_R * \left(\frac{L}{2}\right)}{I} = 25.65 * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

4.2.3. ANÁLISIS POR CARGA ESTÁTICA

El análisis de carga estática se realizará por el método de la máxima energía de distorsión de Von Mises, el cual involucra en su ecuación una combinación resultante de todos los esfuerzos principales.

$$\sigma_{\text{máx}} = \sqrt{(\sigma_n + \sigma_f)^2 + 3(\tau_c)^2}$$
$$\sigma_{\text{máx}} = 25.80 * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 25.80 \text{ MPa}$$

Por lo cual, el factor de seguridad se calcularía mediante la siguiente expresión:

$$\text{FS} = \frac{S_y}{\sigma_{\text{máx}}}$$

Para el aguilón y ha optado por el acero galvanizado tipo SSG50 el cual cuenta con alta resistencia a la abrasión y corrosión atmosférica. Asimismo, alta durabilidad y resistencia. El cual cuenta con las siguientes resistencias principales:

- Resistencia a la Fluencia: $S_y = 350 \text{ Mpa}$
- Resistencia última a la Tracción: $S_{ut} = 450 \text{ Mpa}$

Por lo tanto:

$$\text{FS} = \frac{350 \text{ MPa}}{25.80 \text{ MPa}} = 13.5$$

El factor obtenido de 13.5 refleja un valor óptimo, que indica una gran resistencia por carga estática, pero este valor tiende a disminuir cuando el aguilón presente carga por fatiga por fluctuación. Por tal razón en este estudio lo que prosigue es determinar el factor de seguridad por fatiga.

4.2.4. ANÁLISIS POR FÁTIGA

Se realizará un análisis de fatiga por fluctuación, debido a que incluirá la variable “vibración” la cual afecta directamente la estructura del aguilón. Aunque ahora al momento de sembrar un determinado cultivo, se generan espacios adecuados para el ingreso del tractor con el pulverizador, donde el terreno está preparado para evitar los efectos de la vibración ocasionada por el movimiento del tractor durante la aplicación de los insumos químicos. Pero en este apartado se ha decidido considerar los efectos vibracionales para un diseño óptimo del aguilón estructural. También el análisis por fatiga incluirá en el material los efectos de superficie, tamaño, carga, temperatura, confiabilidad (mantenimiento y efectos diversos).

a) Límite de resistencia de la fatiga:

$$S_e = \begin{cases} 0.5 Sut & Sut \leq 200\text{Kpsi}(1400\text{MPa}) \\ 100\text{Kpsi} & Sut > 200\text{Kpsi}(1400\text{MPa}) \\ 700 \text{ MPa} & Sut > 1400\text{MPa} \end{cases}$$

El acero galvanizado tipo SSG50, tiene una resistencia última a la tracción $S_{ut} = 450 \text{ MPa}$. Por lo consiguiente la ecuación a utilizar sería:

$$S_e^* = 0.5 * S_{ut}$$

El límite de resistencia de la fatiga teórico del material del aguilón es:

$$S_e^* = 225 \text{ MPa}$$

b) Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga:

Factor de superficie: "K_a": El acero galvanizado tiene como acabado superficial maquinado o laminado en frío.

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

En la tabla 5, el factor “a” tienen un valor de 4.51 MPa y el exponente “b” - 0.265.

Es decir: $a=4.51\text{MPa}$ y $b=-0.265$

Obteniendo:

$$K_a = 0.89$$

Factor de Tamaño: "K_b"

Para determinar el factor de tamaño, primero se debe encontrar el valor del diámetro efectivo de la sección cuadrada (perfil estructural del aguilón). Tenemos:

$$d = 0.808 * L$$

Donde: d: diámetro efectivo de la sección cuadrada del aguilón, (mm) y L: Lado del tubo, $L = 2 \text{ in} = 50.8 \text{ mm}$

Tenemos:

$$d = 0.808 * 50.8 \text{ mm} = 41.05 \text{ mm}$$

Para diámetros efectivos en el rango de 2.79 a 51 mm, la ecuación del factor de tamaño sería:

$$K_b = 1.24 * d^{-0.107}$$
$$K_b = \begin{cases} 1.24 * d^{-0.107} & 2.79 < d < 51 \text{ mm} \\ 1.51 * d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Obteniendo:

$$K_b = 0.83$$

Factor de carga: "K_c"

La estructura sufre cargas por flexión y axial, por lo cual el valor más crítico entre estas dos cargas existentes, nos daría un factor de carga de 0.85.

$$K_c = \begin{cases} 1 & \text{flexion} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.89 & \text{torsion} \end{cases}$$

Tenemos:

$$K_c = 0.85$$

Factor de temperatura: "K_d"

El aguilón, está expuesto a condiciones ambientales. Cabe precisar que el diseño del aguilón se diseñara para valores de temperatura ambiental de 0°C a 50°C, donde el factor de temperatura es igual a la unidad (Tabla 6).

$$K_d = 1$$

Factor de confiabilidad: "K_e"

Para el diseño se trabajará con una probabilidad de falla del 1% (con una confiabilidad del 99%). De esta manera la probabilidad de falla de 1% involucra problemas relacionados con la vibración y el mantenimiento (Tabla 7).

$$K_e = 0.814$$

c) Límite de resistencia a la fatiga real:

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S_e^*$$

Reemplazando los valores encontrados, la resistencia a la fatiga real sería:

$$S_e = 115 \text{ MPa}$$

d) Esfuerzos medios y alternos durante la operación del aguilón:

El esfuerzo medio: Es el esfuerzo combinado (normal y flexionante) que se genera por el peso de las mangueras, fuerza del viento y peso del material y la fuerza de pulverización, en la dirección del eje de acción del aguilón.

$$\sigma_m^2 = (\sigma_{xm})^2 + (\sigma_{ym})^2 - (\sigma_{xm})(\sigma_{ym}) + 3(\tau_{xym})^2$$
$$\sigma_m = \sigma_{xm} = \sigma_n + \sigma_f = 5970 \frac{N}{m^2} + 25.65 * 10^6 \frac{N}{m^2} = 25.66 * 10^6 \frac{N}{m^2}$$

Pero el esfuerzo medio obtenido no incluye los efectos de vibración, ya que dicho esfuerzo en condiciones reales incrementa drásticamente, por lo cual el esfuerzo medio debe ser multiplicado por el factor de ampliación (FA), el cual se visualiza en la figura 9.

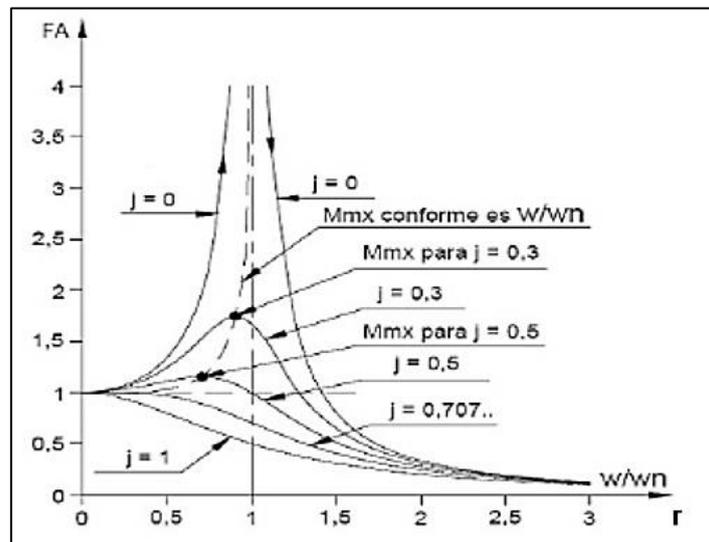


Figura 9: Factor de ampliación para elementos de máquinas sometidos a vibración.

Fuente: (Hernández, 2021)

En la figura 9, “w” es la frecuencia producida por la fuerza de excitación (Fuerzas que perturban la estabilidad de un cuerpo) y “wn” es la frecuencia natural producida por el terreno al momento que se desplaza el tractor. Cuando la relación de $r=w/w_n=1$, ocurre el mayor factor de ampliación (FA) con un valor de 4 el cual afecta directamente al esfuerzo medio incrementándolo drásticamente. Asimismo, en la grafica “j” representa el coeficiente de amortiguamiento el cual refleja un valor nulo cuando se origina el mayor factor de ampliación.

Por lo tanto, el esfuerzo medio neto, sería:

$$\sigma_{mn} = \sigma_m * FA = 25.66 * 10^6 \frac{N}{m^2} * 4 = 102.64 * 10^6 \frac{N}{m^2}$$

El esfuerzo alterno: Es el esfuerzo combinado que se genera por el peso de las mangueras, fuerza del viento, peso del material, fuerza de pulverización y fuerza de vibración, en la dirección perpendicular al eje de acción del aguilón.

$$\sigma_a^2 = (\sigma_{xa})^2 + (\sigma_{ya})^2 - (\sigma_{xa})(\sigma_{ya}) + 3(\tau_{xym})^2$$

$$\sigma_a = \sqrt{3} * \tau_{xym} = \sqrt{3} * (\tau_c) = \sqrt{3} * 1.5 * 10^6 \frac{N}{m^2} = 2.6 * 10^6 \frac{N}{m^2}$$

Al esfuerzo se le tendría que incluir el esfuerzo ocasionado por el **efecto vibracional**. El cual se determina mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_v = \frac{a * q_l * L_e}{S}$$

Donde: σ_v : Esfuerzo por efecto de vibración (MPa); q_l : Es el peso lineal del galvanizado en espesor de 3/16 in, $q_l = 6.02$ Kg/m; L_e : Es la longitud efectiva de toda la estructura, $L_e = 20$ m; S : Superficie transversal del material del aguilón, $S = 877$ mm²; a : Aceleración máxima producida por efectos de vibración (m/s²)

La aceleración máxima permitida en sistemas de vibración es de 5 m/s², la cual esta normada en el Real Decreto 1311/2005 “Protección de la salud y la seguridad frente a riesgos derivados por vibraciones mecánicas” (Ideara, 2014)

Reemplazando:

$$\sigma_v = 0.7 * 10^6 \frac{N}{m^2}$$

Por lo tanto, el esfuerzo alterno total sería:

$$\sigma_{an} = 2.6 * 10^6 \frac{N}{m^2} + 0.7 * 10^6 \frac{N}{m^2} = 3.3 * 10^6 \frac{N}{m^2}$$

e) Factor de seguridad:

El factor de seguridad, se determinará mediante la teoría de falla de Goodman, siendo esta la más utilizada y conservadora en diseños de elementos de máquinas.

Tenemos:

$$FS = \frac{1}{\frac{\sigma_{mn}}{S_{ut}} + \frac{\sigma_{an}}{S_e}}$$

Donde: σ_{mn} : Esfuerzo medio neto, $\sigma_{mn} = 102.64 * 10^6 \frac{N}{m^2}$; σ_{an} : Esfuerzo alterno neto, $\sigma_{an} = 3.3 * 10^6 \frac{N}{m^2}$; S_e : Límite de resistencia a la fatiga real, $S_e = 115 \text{ MPa}$ y S_{ut} : Resistencia última a la Tracción: $S_{ut} = 450 \text{ MPa}$

Reemplazando:

$$FS = 4$$

Finalmente, podemos indicar que los parámetros de diseño y de operación a los cuales es sometido la estructura del aguilón es satisfactorio, porque se obtuvo un **factor de seguridad de 4**, frente a efectos de fatiga, en el cual se ha incluido los efectos de vibración.

4.2.5. DIMENSIONAMIENTO DEL CILINDRO - PISTÓN

El cilindro pistón es un elemento mecánico de gran relevancia para el aguilón estructural, el cual actúa o entra en funcionamiento cuando se requiere de una mayor extensión del brazo para el proceso de pulverización, y en estas condiciones es donde las cargas internas (esfuerzos internos del material) se incrementan. Por lo cual es importante determinar mediante la ingeniería de cálculo el diámetro óptimo del cilindro – pistón, para evitar problemas de flexión y pandeo.

Carga crítica del cilindro pistón: El cilindro pistón está expuesto a una fuerza cortante de $V_{\text{máx}} = 1326.32 \text{ N}$ y a una fuerza normal de $F_n = 5.236 \text{ N}$. Por lo cual la fuerza resultante sería: $F_r = 1326.33 \text{ N}$. Pero a esta fuerza se le debe añadir el factor de carga (K) dependiendo de los extremos a los cuales está sujeto el cilindro pistón. El cilindro pistón está montado en el aguilón mediante un pasador fijo y otro móvil en sus extremos, correspondiendo un factor de carga $K=4$ (Tabla 8).

Por lo tanto la carga crítica sería:

$$P_{cr} = F_r * K = 1326.33 \text{ N} * 4 = 5305.32 \text{ N}$$

El diámetro mínimo requerido por el vástago (pistón) sería:

$$d = \sqrt[4]{\frac{64}{\pi^3} * \frac{P_{cr} * C^2}{E}}$$

Donde: C: carrera máxima del pistón ($C=1000 \text{ mm}$), P_{cr} : Carga crítica del cilindro pistón (5305.32 N) y E: módulo de Young del acero ($E_{\text{acero}} = 207 * \text{GPa}$)

Sustituyendo y normalizando el diámetro calculado, tendríamos un calibre comercial de:

$$d = 50 \text{ mm}$$

Al cual le correspondería un diámetro de cilindro $D = 63.50 \text{ mm}$ (Ver especificaciones técnicas del diseño en la tabla 9).

4.2.6. ANÁLISIS DE SOLDADURA:

Los puntos de soldadura están sometidos a una fuerza resultante 1326.33 N , la cual es causada por las cargas externas e internas a lo cual está expuesto el aguilón. Esta fuerza aplicada sobre el área o superficie de la soldadura, genera esfuerzos críticos, que pueden conllevar a fisuras y grietas en la zona soldada. Para evitar estas fallas, el factor de seguridad debe ser el óptimo. A continuación, se determinan la superficie y esfuerzos intervinientes en la soldadura:

Superficie de la soldadura: La sección de la soldadura será de cordón con un tamaño de $1/8 \text{ in}$ ($h=3.175 \text{ mm}$), en una sección cuadrada de 2 in ($L=50.8 \text{ mm}$).

$$A = 2.828 h * L$$

La superficie es:

$$A = 456.13 \text{ mm}^2$$

Momento de Inercia: Según la geometría para un tipo de soldadura de cordón el momento de inercia se determina mediante la siguiente expresión. Donde $h=3.175 \text{ mm}$ y $L=50.8 \text{ mm}$.

$$I = 0.707 * h * \frac{4L^3}{6}$$
$$I = 196184 \text{ mm}^4$$

Esfuerzo cortante en la soldadura: Es el esfuerzo cortante producido en la garganta de la soldadura. Donde $F_r = 1326.33 \text{ N}$ y $A=456.13 \text{ mm}^2$.

$$\tau = \frac{F_r}{A}$$

$$\tau = 3 \text{ MPa}$$

Esfuerzo flector: Ocasionado por las cargas externas e internas, que generan momento flexionante. Donde el momento resultante ($M_R=560.444 \text{ N}$), longitud unitaria de soldadura ($L=50.8 \text{ mm}$) y momento de inercia ($I=196184 \text{ mm}^4$)

$$\sigma_{\max} = \frac{M_R * L}{2 * I}$$

$$\sigma_{\max} = 72.56 \text{ MPa}$$

Esfuerzo cortante máximo en la soldadura: Generado por los esfuerzos combinados generados en el punto de aplicación de la soldadura.

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\max}}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\tau_{\max} = 36.40 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad: El electrodo sería de denominación E7018 1/8 in, con una resistencia a la fluencia de $S_y = 331 \text{ MPa}$ (Ver especificaciones técnicas del electrodo en tabla 10).

$$n = \frac{0.5 S_y}{\tau_{\max}}$$

$$n = 4.55$$

La Sociedad Americana de Soldadura (AWS), especifica que el mínimo factor de seguridad requerido en uniones soldadas es 1.44. Donde podemos concluir que el factor de seguridad de 4.55, cumple con los requerimientos de resistencia.

4.3. PRESUPUESTO DE FABRICACIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL AGUILÓN

En la tabla 2, se muestra a detalle el presupuesto para la fabricación del aguilón. Los precios son de acuerdo al mercado local y nacional. Por lo cual podemos indicar que la fabricación del aguilón estructural conlleva a un costo de 12206.00 nuevos soles.

Tabla 2: Presupuesto de fabricación del aguilón

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	COSTO TOTAL
Perfil estructural: Acero galvanizado SSG50 Tubo cuadrado 2x2x3/16. S=877 mm ² , V=17540 mm ³ , L=1m	20	m	144.00	2880.00
Cilindro pistón, d=50mm, D=63.50 mm, C=1000 mm	2	Und.	2350.00	4700.00
Perno de sujeción de boquillas grado ISO 898 clase 5.8 d: 1 in, Sy: 54 Kpsi	40	Unid.	7.50	300.00
Pin d: 2 in, Sy: 60 Kpsi	2	Unid.	25.00	50.00
Barra lateral estructural de Acero galvanizado SSG50 Tubo cuadrado 2x2x3/16. S=877 mm ² , V=1754mm ³ , L=1.6m	4	m	144.00	576.00
Soldadura de cordón. Arco eléctrico E7018	20	Kg	35.00	700.00
Accesorios mecánicos	1	Unid.	500.00	500.00
Accesorios hidráulicos	1	Unid.	500.00	500.00
Mano de obra y montaje	1	Unid.	2000.00	2000.00
TOTAL				12206.00

V. DISCUSIÓN

Se propuso el diseño de un aguilón estructural de pulverizadores, porque en el sector agroindustrial de Chao, son los equipos más utilizados, donde en promedio el 80% de estos equipos pertenecen a esta clasificación. Asimismo, el aguilón es el elemento estructural más crítico en este tipo de maquinarias. La presencia de fallas constantemente en los aguilonos trae consigo un déficit en la operatividad de los equipos de aplicación de insumos químicos, perjudicando directamente la productividad de los frutales.

Para obtener un diseño óptimo del aguilón se tuvo en cuenta varios parámetros de diseño y operación como: la velocidad de aplicación del insumo químico; longitud del aguilón; presión y fuerza de pulverización; material del aguilón; perfil estructural; velocidad del viento; soldadura; pesos y vibración.

La velocidad del tractor es un parámetro que influye directamente sobre el diseño del aguilón, y para una productividad eficiente se requiere dos tipos de velocidad, según el terreno. Ya que a dichas velocidades no hay efectos de vibraciones armónicas con el terreno y se realiza una mejor aplicación de los insumos químicos. En el sector agroindustrial, para el proceso fitosanitario las velocidades a las cuales debe desplazarse el tractor son de 7 km/h para terrenos planos y 5 Km/h para terrenos surcados.

La longitud del aguilón es variable ya que depende del tipo de sembrío al cual se le quiere aplicar el insumo químico. Y dependiendo del tipo de cultivo se establece el ancho requerido entre surcos. Donde en el sector agroindustrial alimentario, dependiendo del tipo de cultivo el surco varía de 60 a 100 cm de ancho. Asimismo, dependiendo de los anchos referidos, una hectárea puede estar compuesta por 17 a 28 lotes. Debido a estas características, la longitud del aguilón no puede ser fija, requiriendo de una longitud mínima y una longitud máxima para poder aplicar eficientemente los insumos químicos a todos los cultivos agroindustriales alimenticios. Por lo cual el aguilón tiene una longitud máxima de 6250 mm y una mínima 5250 mm. Debido a la geometría longitudinal del aguilón, este debe contar con un cilindro -pistón, para una carrera máxima y mínima, y de esta manera tener

una sola estructura que pueda cumplir con todos los requerimientos al momento de aplicar los insumos químicos.

En los cultivos agroindustriales alimenticios, la presión máxima requerida por el sistema de pulverización es 50 bar, con un caudal máximo de 150 l/mín. (valores de operación en equipos Chaski y Full Maquinarias). Los equipos de aplicación de insumos químicos, constan de un máximo de 42 boquillas, donde las toberas para una buena aplicación fitosanitaria, tienen boquillas de diámetros de 2 mm, las cuales pueden ser de material polipropileno o aluminio en latón niquelado.

Los actuales pulverizadores han dejado de utilizar como material ASTM A36 para el aguilón y han optado por el acero galvanizado el cual cuenta con alta resistencia a la abrasión y corrosión atmosférica. Asimismo, alta durabilidad y resistencia, en comparación al acero estructural A36. El acero galvanizado tiene una resistencia a la fluencia de 350 MPa y una resistencia última a la tracción de 450 MPa, lo cual lo hace un material ventajoso en propiedades mecánicas.

El tipo de perfil estructural, fue de tubo cuadrado, debido a que tiene un mejor momento de inercia, durante el movimiento lineal del tractor. Para lo cual el tubo cuadrado será de lado de 2 pulgadas (50.8 mm), con un espesor de 3/16 pulgadas, con lo cual se obtuvo un factor de seguridad de 13.5 estático y 4 en fatiga.

La velocidad del viento es otro parámetro relevante que afecta constantemente la estructura del aguilón, ocasionando fuerza cortante. Por tal razón se analizó la variación de la velocidad del viento en la zona agroindustrial de Chao, desde el año 2014 hasta el año 2022, obteniendo que la velocidad máxima registrada es de 12 Km/h (3.33 m/s). Para lo cual el aguilón fue diseñado con dicha velocidad crítica para obtener un diseño óptimo, y que no sea afectado por las ráfagas de aire.

El tipo de electrodo utilizado fue el E7018 porque tiene mayor resistencia al agrietamiento. Con revestimiento de alto contenido de hierro en polvo que genera una buena eficiencia. Además, este tipo de soldadura es libre de poros e inclusiones de escoria y de mejores propiedades mecánicas. Asimismo, La Sociedad Americana de Soldadura (AWS) exige que el factor de seguridad sea

superior a 1.44. Donde en el cálculo se obtuvo un valor de 4.55, satisfaciendo las condiciones del diseño.

También el aguilón está sujeto al peso propio y a soportar el peso de las tuberías del fluido fitosanitario. Donde el peso del material es de 120 Kg y el peso de las tuberías 150 Kg, los cuales intervienen directamente en el diseño del aguilón.

Y finalmente como último parámetro respecto a la vibración. El diseño estructural del aguilón se sometió a un análisis de vibración, donde se consideraron las frecuencias: natural “ w_n ” y de excitación “ w ”. Donde la frecuencia natural es la producida por el terreno debido al desplazamiento del tractor y la frecuencia de excitación es debido a las fuerzas que perturban la estabilidad del aguilón (velocidad del viento, velocidad del tractor y fuerza de pulverización). El análisis de vibración se efectuó mediante la norma: Real Decreto 1311/2005 “Protección de la salud y la seguridad frente a riesgos derivados por vibraciones mecánicas”, el cual establece que la aceleración máxima permitida en sistemas de vibración de equipos agrícolas es de 5 m/s^2 . Asimismo, el cálculo se realizó igualando las frecuencias natural y de excitación para obtener los valores más críticos de los esfuerzos y con ello un factor de seguridad óptimo superior a 2.5 para diseños seguros. Asimismo, se realizó un análisis de fatiga por fluctuación, debido a que incluirá la variable “vibración” la cual afecta directamente la estructura del aguilón. Aunque ahora al momento de sembrar un determinado cultivo, se generan espacios adecuados para el ingreso del tractor con el pulverizador, donde el terreno está preparado para evitar los efectos de la vibración ocasionada por el movimiento del tractor durante la aplicación de los insumos químicos. Pero en esta investigación se ha decidido considerar los efectos vibracionales para un diseño óptimo del aguilón estructural.

El cilindro pistón es un elemento mecánico de gran relevancia para el aguilón estructural, el cual actúa o entra en funcionamiento cuando se requiere de una mayor extensión del brazo para el proceso de pulverización, y en estas condiciones es donde las cargas internas (esfuerzos internos del material) se incrementan. Por lo cual fue importante determinar el diámetro óptimo del cilindro – pistón, para evitar problemas de flexión y pandeo. Obteniendo un diámetro para el pistón de 50 mm y para el cilindro 63.50 mm.

El autor (Castro, 2020) propuso 4 conceptos alternativos de diseño, donde el mejor concepto fue un pulverizador de tipo neumático el cual se obtuvo mediante una matriz de criterios ponderados (matriz de Pugh). Dentro de los resultados más importantes se encontró: un diseño con un factor de fatiga 2.4 y de carga estática 2.6. En similitud a la presente investigación el equipo de aplicación de insumos químicos es un pulverizador, incluyendo nebulizadores y atomizadores. Donde el factor de seguridad por carga estática es de 13.50 y por fatiga 4. Resultados mejores a los del autor Castro, debido a que utilizó como material del aguilón el acero ASTM A-36, en lugar del acero galvanizado tipo SSG50.

De la misma manera el investigador (Aguilar, 2019) encontró un concepto ideal para la estructura articulada la cual va anclada al pulverizador de tipo neumático capaz de cubrir la fumigación en un solo recorrido, originando de esta manera que la eficiencia de fumigación aumente de un ratio de 1.9 ha/h a 3.6 ha/h. Asimismo, el diseño contempló el cambio de mangueras hidráulicas, utilizando el tamaño R2 de 3/8 in x 8m, cilindros de doble efecto y soldadura con un electrodo E7018 x 1/8 in. En comparación a la presente investigación el pulverizador tiene un ratio de 2 ha/h para una velocidad de 7 Km/h en terrenos planos y 2.25 ha/h en terrenos surcados, donde el brazo del aguilón tiene una extensión máxima de 6.25 m, con mangueras 1/2 in. Asimismo, se concuerda con el autor Aguilar en utilizar el mismo tipo de electrodo, porque tiene grandes ventajas de resistencia mecánica y resistencia a la corrosión ambiental.

Por otro lado, los investigadores (Montoya, y otros, 2017) analizaron un pulverizador hidroneumático con una potencia de 31.17KW con una capacidad de flujo de 257.49 m³/min. Indicando que sí, las toberas trabajan a una presión de 20 bar, con una rotación en el ventilador de 56.55 rad/s, mangueras hidráulicas de 5 pulgadas y mangueras de agua de 2 pulg, el pulverizador hidroneumático aumenta su eficiencia (operación). En similitud a la presente investigación el pulverizador analizado puede estar contenido en los rangos de potencia de 20 KW a 50 KW, con caudales de 100 a 450 m³/min. Pero donde la presión máxima requerida debe ser 50 bar para de esta manera poder alcanzar toda la superficie de los frutales, si es inferior el valor de la presión, se tendrán deficiencias en la aplicación del insumo químico.

También el autor (Vázquez, 2017), determinó que el tractor debe tener un rango de velocidad del orden de 2.4 a 5.2 km/h, para un buen proceso fitosanitario. Pero en concordancia a la presente investigación se consideró como velocidad del tractor de 7 km/h para terrenos planos y 5 km/h para terrenos planos, según estudios realizados por la empresa Chaski. Empresa de mayor producción de pulverizadores en el sector agroindustrial de Chao.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1. Se terminaron los parámetros de diseño y operación del aguilón del sistema de aplicación de insumos químicos, en los cuales se estableció que el tractor debe desplazarse en terrenos planos a una velocidad de 7 km/h y en terrenos surcados 5 km/h. Según el ancho de los surcos que se comprende en un rango de 60 a 100 cm, la longitud del aguilón mínima es de 5250 mm y la máxima 6250 mm, necesitando de un cilindro pistón. El diseño de pulverización trabaja con una presión de 50 bar con 42 boquillas de 2 mm de diámetro. El material del aguilón es acero galvanizado tipo SSG50, con una resistencia a la fluencia de 350 MPa. El perfil estructural es de tubo cuadrado de 2x2x3/16 in. El diseño se realizó considerando la velocidad del viento más crítica de 12 Km/h. El electrodo seleccionado es el E7018 con una resistencia a la fluencia de 331 MPa. El análisis de vibración se realizó con un aceleración máxima permitida en sistemas de vibración de equipos agrícolas de 5 m/s².
- 6.2. Se dimensionó el aguilón del sistema de aplicación de insumos químicos, en el cual el aguilón estructural, tiene un factor de seguridad por carga estática de 13.5 y por carga de fatiga 4, donde se incluyó el análisis por vibración con un factor de amplificación de 4, valores que representan un diseño óptimo para el aguilón. El pistón debe tener un diámetro de 50 mm y el cilindro 63.50 mm. El tipo de soldadura es de cordón con un factor de seguridad 4.55, cumpliendo la norma AWS.
- 6.3. Se elaboró un presupuesto para la fabricación del aguilón, de acuerdo a precios locales y nacionales, conllevando a un costo total de 12206.00 nuevos soles.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Se recomienda un plan de mantenimiento preventivo a la red de tuberías del sistema de pulverización para un buen control de la presión y caudal del fluido fitosanitario. Debido a que estos parámetros están relacionados con el desempeño operativo del aguilón. Asimismo, el plan de mantenimiento debe incluir a los cilindros hidráulicos de compresión y extensión.
- 7.2. Se recomienda un análisis de sensibilidad económica, para determinar el beneficio e inversión económica del diseño del aguilón propuesto, comparado frente a los aguilonos estructurales existentes.
- 7.3. Se recomienda que, dentro de las clasificaciones del acero galvanizado, debe usarse estrictamente el de tipo SSG50, para de esta manera tener un factor de seguridad confiable de acuerdo a las normas de diseño.
- 7.4. Para la implementación del aguilón en pulverizadores, debe capacitarse a los operadores, para un buen control de los parámetros descritos en esta investigación y de esta manera el aguilón estructural pueda estar operativo, en el límite de no presentar fallas.

REFERENCIAS

Aguilar, Derlitz. 2019. *Diseño de estructura articulada adaptado al pulverizador neumático Martignani M612T2-2000L, para incrementar ratios de fumigación en palto - empresa ACP.* Chiclayo : Universidad Cesar Vallejo, 2019.

Ail, E, Garcia, M y Troncoso, R. 2016. Insecticidal and repellent effect of extracts of *Pluchea sericea* (Nutt.) on adults of *Bemisia tabaci* (Genn.). *Revista Chapingo Serie Horticultura*. [En línea] 1 de Abril de 2016. [Citado el: 15 de Setiembre de 2021.]

<https://revistas.chapingo.mx/horticultura/?section=articles&subsec=issues&numero=197&articulo=1952>. ISSN:105154.

Alcides, P. 2018. *Túnel pulverizador para manzanos de alta densidad. Diseño y calidad de aplicación.* Madrid : Universitat Politècnica de Valencia, 2018. ISSN: 1886-6514.

Baca, Jorge. 2018. Más de 4 mil millones de dólares en expórtaciones. *Sector agrario de La Libertad*. Fin de semana, 2018, Vol. III, 10.

Badillo, M, Vaca, G y Acosta, L. 2021. *Análisis de la marcha y fatiga durante la manipulación de bombas aspersoras agrícolas de tipo mochila.* México : Ingeniería Investigación y Tecnología, 2021. pág. 4. ISSN: 2594-0732.

Baena, Guillermina. 2017. *Metodología de la Investigación*. [ed.] 3. México : Grupo Editorial Patria, 2017. 9786077447481.

Bernat, C. 2017. *En el campo con el pulverizador neumático Berthoud Supair 1500.* Lima : Vida rural, 2017. ISSN: 1133-8938.

Butinof, Mariana y Fernández, Ricardo. 2019. Biomonitorio en exposición a plaguicidas y su aporte en vigilancia epidemiológica en agroaplicadores. [En línea] 15 de Junio de 2019. [Citado el: 18 de Setiembre de 2021.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213911118300165>. ISSN:0213-9111.

Caldas, Fermin y Soto, Carlos. 2017. *Máquinas de chorro abrasivos en la industria de limpieza de aceros estructurales.* Lima : Universidad Nacional del Callao, 2017. 9867456734875.

Carrión, Hugo. 2018. *Procesos productivos industriales* . España : Akal , 2018. 6754900897356.

- Castro, Ivan . 2020.** *Diseño de un Pulverizador para la aplicación fitosanitaria en los cultivos de uva de la empresa Full Maquinarias S.A.* Trujillo : Universidad Cesar Vallejo, 2020.
- Cruz, I. 2018.** *Evaluación de la eficiencia del pulverizador H30 para cítricos.* México : Levante Agrícola: Revista internacional de cítricos, 2018. ISSN: 0457-6039.
- Gamio, Luis. 2016.** *Resistencia de Materiales. Teoría y Aplicaciones.* Lima : Macro, 2016. ISBN: 9786123042097.
- Gholap, Babasaheb. 2017.** Design development and performance evaluation of tractor mounted hydraulic boom sprayer for cotton crop. [En línea] MPUAT, Udaipur, 12 de October de 2017. [Citado el: 1 de October de 2021.] <https://krishikosh.egranth.ac.in/handle/1/5810022015>.
- Hernández, José. 2017.** *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas.* Madrid : Universidad Nacional De Educación a Distancia, 2017. ISBN: 9788436232011.
- Hernández, M, Jimenez, C y Jimenez, Fernando. 2017.** Characterization of acute poisoning by pesticides: occupational profile and behavior of use of agrochemicals in an agricultural area of the State of México. [En línea] 1 de Febrero de 2017. [Citado el: 19 de Setiembre de 2017.] http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992007000400001&lang=es. ISSN:159-167.
- Hernández, Manuel. 2021.** *Influencia de los parámetros pasivos de vibración en el comportamiento dinámico de equipos.* España : Mechanical vibration, shock and condition monitoring , 2021. pág. 15.
- Hernández, Roberto, Fernández, Carlos y Baptista, Pilar. 2014.** *Metodología de la Investigación.* [ed.] 4. México : McGraw-Hill, 2014. ISBN: 9781456223960.
- Ideara, S. 2014.** *Vibraciones mecánicas. Factores relacionados con la fuente y medidas de control.* Madrid : Confederación de Empresarios de Pontevedra, 2014. ISSN:335-2014.
- INEI. 2019.** El rol del sector agrario en la economía peruana. [En línea] 5 de Febrero de 2019. [Citado el: Diciembre de 2 de 2021.] https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0386/cap0103.htm.

- Lantieri, M, Meyer, P y Fernández, M. 2019.** Exposición a plaguicidas en agroaplicadores terrestres de la provincia de Córdoba, Argentina: factores condicionantes. *Agriscientia*. [En línea] 1 de Julio de 2019. [Citado el: 19 de Setiembre de 2021.] http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2009000200002&lang=es. ISSN:1668-298X.
- López, E. 2019.** *Pulverizador hidroneumático de alta eficiencia para aplicación fitosanitaria en la masa foliar*. Quito : Revista DYNA, 2019. ISSN: 0012-7361.
- López, J. 2016.** *Influencia de la regulación de un pulverizador hidráulico en la homogeneidad de reparto de los herbicidas*. Estados Unidos : Sociedad Española de Malherbología, 2016. ISBN: 84-87110-17-7.
- Magdalena, Jorge. 2017.** *Efecto de la utilización de pulverizadores de flujo transversal e hidroneumático tradicional sobre la calidad de los tratamientos fitosanitarios en manzanos (Malus doméstica, Borkh)*. España : Dialnet, 2017.
- Manzano, Juan, Virginia, Palau y Moreria, Acevedo. 2018.** Diseño y alternativas en la instalación de inyectores Venturi en riego localizado. [En línea] 1 de Junio de 2018. [Citado el: 22 de Setiembre de 2021.] <http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/2852>. ISSN:1806-6690.
- Marquez, Luis. 2016.** *Maquinaria Agrícola*. España : Blake & Helsey, 2016. ISBN: 9788493150662.
- Mataix, Claudio. 2016.** *Turbomaquinas Hidraulicas*. España : Universidad Pontificia Comillas, 2016. ISBN: 9788484682523.
- Mauro, Rodriguez. 2016.** *Fundamentos de economía cuantitativa*. Madrid : Trillas, 2016. ISBN: 9786071711380.
- Mayanquer, Diego. 2019.** *Sistema autónomo de pulverización para fumigación de plantaciones de frutilla asistido por un drone*. Ecuador : Universidad Técnica de Ambato, 2019.
- Monge, M. 2017.** *Preparación del pulverizador*. México : Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera, 2017. ISSN: 0002-1334.
- Montoya, Marcos , Ambrogetti, Alejandro y Del Monte, Raúl. 2017.** *Eficiencia de pulverizadores hidroneumáticos de uso fitosanitario en la fruticultura cuyana*. Argentina : FCA UNCUYO, 2017. ISSN: 1853-8665.

- Motta, M y Francisco, D. 2016.** Thermal discomfort caused by personal protective equipment (PPE) used in the application of pesticides. *Laboreal*. [En línea] 1 de Diciembre de 2016. [Citado el: 21 de Setiembre de 2021.] <http://journals.openedition.org/laboreal/2540>. ISSN:1646-5237.
- Motta, V y Fredericcio, C. 2016.** Análisis de la eficiencia de los equipos de protección contra plaguicidas. [En línea] 2016. [Citado el: 23 de Setiembre de 2021.] <file:///C:/Users/HP/Downloads/laboreal-3232.pdf>. ISSN: 1646-5237.
- Muhammad, Nadeem. 2019.** Contributions to the study of spraying operations in the context of sustainable agriculture. [En línea] Dalhousie University Halifax, Nova Scotia, 1 de August de 2019. [Citado el: 5 de October de 2021.] <https://dalspace.library.dal.ca/bitstream/handle/10222/76344/Nadeem-Muhammad-PhD-IENG-August-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Onorato, Agustín. 2016.** *Pulverizaciones Agrícolas Terrestres*. Buenos Aires : Inst. Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2016. ISBN: 9875211982.
- Pérez, Lamas, Caballero, Grande y Blanco. 2018.** Contribución al perfeccionamiento de los servicios técnicos de apoyo a la agricultura. [En línea] 2018. [Citado el: 21 de Setiembre de 2021.] http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362016000200002&lang=es. 0258-5936.
- Pranavamoorthi, V, Pravinyadav, R y Sivaramakrishnan, D. 2021.** Diseño y fabricación de pulverizadores a ruedas. [En línea] Revista Internacional de Investigación Avanzada, 21 de Mayo de 2021. [Citado el: 7 de October de 2021.] <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/3884>.
- Rodríguez, E. 2016.** *El pulverizador hidráulico, calibración y mantenimiento*. Lima : Agricultura: Revista agropecuaria y ganadera, 2016. ISSN: 0002-1334.
- Sánchez, Urbano. 2017.** *Máquinas hidráulicas*. Lima : Edición Kindle, 2017. ISBN: 9788415613008.
- Shigley, J. 2018.** *Diseño en ingeniería mecánica*. México : McGraw-Hill, 2018. ISBN: 9780073121932.
- Sierra, Jacinto. 2018.** *Elementos hidráulicos en los tractores y máquinas agrícolas*. Madrid : Mundiprensa, 2018. ISBN: 9788484765516.
- Sixtac, Alfredo. 2015.** Diseño y construcción de un pulverizador de brazo propulsado por tractores pequeños de fabricación local . [En línea] Universidad de

Alejandría, 20 de Mayo de 2015. [Citado el: 3 de Octubre de 2021.] <https://zaguan.unizar.es/record/5465/files/TAZ-PFC-2015-406.pdf>.

Torres, P. 2017. *Pulverizador hidroneumático de Ilemo-Hardi*. Madrid : Revista Agrotécnica, 2017. ISSN: 1886-6514.

Upendra, Dani, Vishwajeet, Desai y Ashish, Mali. 2021. Design, Simulation and Analysis of Dual Nozzle, Leg Operated Pesticide Sprayer. [En línea] International Journal of Engineering Research & Technology, 1 de January de 2021. [Citado el: 2 de october de 2021.] <https://www.ijert.org/research/design-simulation-and-analysis-of-dual-nozzle-leg-operated-pesticide-sprayer-IJERTV10IS010080.pdf>. ISSN:2278-0181.

Vázquez, Lida. 2017. *Sistema automatizado en pulverizador para aplicación variable de fitosanitarios*. Cuba : Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, 2017.

Zamora, Blas. 2016. *Máquinas hidráulicas: teoría y problemas*. Colombia : Universidad Politécnica de Cartagena, 2016. ISBN: 9788416325191.

ANEXOS

ANEXO 1

TABLA 3: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Escala de medición
Diseño estructural	El diseño estructural es un conjunto de elementos mecánicos ordenados, que cumplen una determina función en un mecanismo o máquina. Donde dichos elementos están sometidos a distintas cargas internas o externas, requiriendo de la ingeniería de materiales para su diseño óptimo (Aguilar, 2019).	El diseño estructural del aguilón depende de su longitud, peso de mangueras, presión de pulverización, resistencia del material y soldadura aplicada. Asimismo, depende de la velocidad de aplicación del insumo químico.	Parámetros de la estructura del aguilón	Longitud (m)	De razón
				Resistencia (Mpa)	
				Peso (Kg)	
				Geometría del aguilón (mm)	
			Parámetros de operación	Presión de pulverización (Mpa)	De razón
				Velocidad del tractor (m/s)	

ANEXO 2**TABLA 4: FICHA DE REGISTRO DE LOS EQUIPOS DE APLICACIÓN DE INSUMOS QUÍMICOS EN EL SECTOR AGROINDUSTRIAL CHAO**

EQUIPO: ESTRUCTURA DEL AGUILÓN		FECHA: 15-04-2022	
PARÁMETRO DE DISEÑO		UNIDAD	VALOR
1	Velocidad del viento	Km/h	12.00
2	Ancho de surcos máximo	mm	6250.00
3	Ancho de surcos mínimo	mm	5250.00
4	Velocidad del tractor en terrenos plano	Km/h	7.00
5	Velocidad del tractor en terrenos surcados	Km/h	5.00
6	Ancho mínimo de surcos	cm	60.00
7	Ancho máximo de surcos	cm	100.00
8	Presión de pulverización	bar	50.00
9	Número de boquillas en equipo de pulverización	-	42
10	Diámetro de boquillas	mm	2.00
11	Resistencia a la fluencia del acero galvanizado	MPa	350.00
12	Resistencia última del acero galvanizado	MPa	450.00
13	Sección del tubo estructural del aguilón	in	2x2x3/16
14	Resistencia a la fluencia del electrodo E7018	MPa	331.00
15	Resistencia última del electrodo E7018	MPa	414.00
16	Ancho de la garganta de la soldadura	in	1/8
17	Temperatura ambiental	°C	25-35

ANEXO 3

TABLAS DEL ANÁLISIS DE FATIGA

Tabla 5: Factor de acabado superficial

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{utr} kpsi	S_{utr} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Fuente: (Shigley, 2018)

Tabla 6: Factor de temperatura

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020

Fuente: (Shigley, 2018)

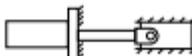
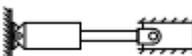
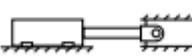
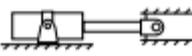
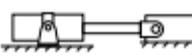
Tabla 7: Factor de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_a
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814

Fuente: (Shigley, 2018)

ANEXO 4

Tabla 8: Factores de diseño en cilindros – pistones

FIJACIÓN DEL CILINDRO <i>CYLINDER MOUNTING</i>	FIJACIÓN EXTREMO VÁSTAGO <i>PISTON ROD END</i>	REPRESENTACIÓN DEL MONTAJE <i>MOUNTING REPRESENTATION</i>	k
BRIDA DELANTERA (TIPO A) <i>FRONT FLANGE (FORM A)</i>	Fijado y guía rígida <i>Fixed and rigid guide</i>		0,5
	Articulado y guía rígida <i>Jointed and rigid guide</i>		0,7
	Apoyado y guía no rígida <i>Supported and non rigid guide</i>		2
BRIDA TRASERA (TIPO B) <i>REAR FLANGE (FORM B)</i>	Fijado y guía rígida <i>Fixed and rigid guide</i>		1
	Articulado y guía rígida <i>Jointed and rigid guide</i>		1,5
	Apoyado y guía no rígida <i>Supported and non rigid guide</i>		4
POR CHARNELA (TIPO C/D) <i>CELVIS (FORM C/D)</i>	Fijado y guía rígida <i>Fixed and rigid guide</i>		2
	Articulado y guía no rígida <i>Jointed and non rigid guide</i>		4
PATAS (TIPO E) <i>FEET (FORM E)</i>	Fijado y guía rígida <i>Fixed and rigid guide</i>		0,5
	Articulado y guía rígida <i>Jointed and rigid guide</i>		0,7
	Apoyado y guía no rígida <i>Supported and non rigid guide</i>		2
BULONES (TIPO F) <i>TRUNNIONS (FORM F)</i>	Articulado y guía rígida <i>Jointed and rigid guide</i>		1,5
	Apoyado y guía rígida <i>Supported and non rigid guide</i>		3

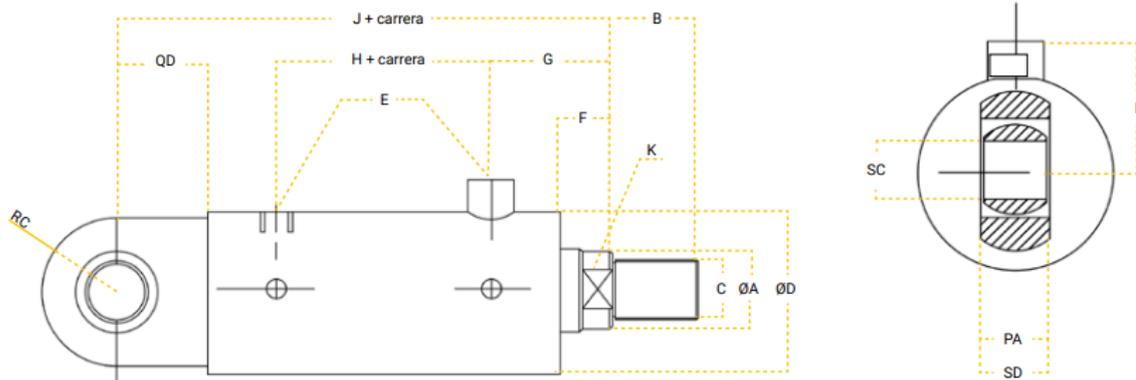
ANEXO 5

Tabla 9: Especificaciones técnicas del diseño cilindro pistón

ISO MP5

CILINDRO TIPO D: FIJACIÓN POR CHARNELA CON RÓTULA

CYLINDER TYPE D: SELF ALIGNING CELVIS MOUNTING



Ø Pistón	40	50	63	80	100	125	140	160
ØA	18 22 28 22 28 36 28 36 45 36 45 56 45 56 70 56 70 90 70 90 100 70 90 110							
B	18 22 28 22 28 36 28 36 45 36 45 56 45 56 63 56 63 75 63 75 85 63 85 85							
C	M14 M16 M20 M16 M20 M27 M20 M27 M33 M27 M33 M42 M33 M42 M48 M42 M48 M56 M48 M56 M64 M48 M64 M72 X1.5 X1.5 X1.5 X1.5 X1.5 X2 X1.5 X2 X2 X2 X2 X2 X2 X2 X2 X2 X2 X2 X2 X2 X3 X2 X3 X3							
ØD	50 63,5 75 100 118 150 165 192							
E	1/2"G 1/2"G 3/4"G 3/4"G 1"G 1 1/4"G 1 1/4"G 1 1/2"G							
F	18 18 22 20 30 32 35 40							
G	74 80 97 100 117 129 140 155							
H	64 74 79 83 98 108 115 125							
I	46 48 58 69 80 98 108 122							
J	188 208 242 255 300 337 360 400							
K	15 18 22 18 22 30 22 30 39 30 39 48 39 48 60 48 60 80 60 80 85 60 80 100							
QD	30 35 45 50 60 70 75 85							
RD	28 32,5 40 50 62,5 70 82 95							
SD ^{h14}	20 25 30 35 40 50 55 60							
SC	20 ^{-0,010} 25 ^{-0,010} 30 ^{-0,010} 40 ^{-0,012} 50 ^{-0,012} 60 ^{-0,015} 70 ^{-0,015} 80 ^{-0,015}							
SE	16 ^{-0,12} 20 ^{-0,12} 22 ^{-0,12} 28 ^{-0,12} 35 ^{-0,12} 44 ^{-0,15} 49 ^{-0,15} 55 ^{-0,15}							

ANEXO 6

Tabla 10: Ficha técnica del electrodo E7018



INDURA®
Tecnología a su servicio
GASES • SOLDADURAS • EQUIPOS

Indura 7018 - AR

Clasificación AWS: E-7018

- Electrodo para acero al carbono
- Con hierro en polvo
- Toda posición
- Corriente continua. Electrodo positivo
- Revestimiento: Gris

- Aprobado anualmente por el Lloyd's Register of Shipping, American Bureau of Shipping, Bureau Veritas, Germanischer Lloyd y Det Norske Veritas.

Descripción

El electrodo 7018-AR es de bajo contenido de hidrógeno y resistente a la humedad. Está especialmente diseñado para soldaduras que requieren severos controles radiográficos en toda posición. Su arco es suave y la pérdida por salpicadura es baja.

Usos

El 7018-RH es recomendado para trabajos donde se requiere alta calidad radiográfica, particularmente en calderas y cañerías. Por sus buenas propiedades físicas es ideal para ser usado en astilleros.

Aplicaciones típicas

- Aceros Cor-Ten, Mayari-R
- Luken 45 y 50
- Yolo y otros aceros estructurales de baja aleaci-n.

Procedimiento para soldar

Para soldaduras de filetes horizontales y trabajo de soldadura en sentido vertical descendente, se debe usar un arco corto. No se recomienda la técnica de arrastre.

En la soldadura en posición de sobrecabeza debe usarse un arco corto con ligero movimiento oscilatorio en dirección de avance. Debe evitarse la oscilación brusca del electrodo.

Composición química (típica del metal depositado):

C 0,06%; Mn 1,00%; P 0,012%; S 0,015%; Si 0,48%

Características típicas del metal depositado:

Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte (según norma AWS: A5.1-91):		Requerimientos según norma AWS: A5.1-91:
Resistencia a la tracción :	73.000 lb/pulg ² (453 MPa)	70.000 lb/pulg ² (414 MPa)
Límite de fluencia :	63.300 lb/pulg ² (384 MPa)	58.000 lb/pulg ² (331 MPa)
Alargamiento en 50 mm. :	30%	22%

Amperajes recomendados:

Diámetro pulg.	Electrodo mm.	Longitud pulg.	Electrodo mm.	Amperaje		Electrodos x kg. aprox.
				min.	max.	
3/32	2,4	12	300	70	120	65
1/8	3,2	14	350	120	150	32
5/32	4,0	14	350	140	200	19
3/16	4,8	14	350	200	275	14

ANEXO 7:

FALLAS EN AGUILONES DE EQUIPOS DE APLICACIÓN DE INSUMOS QUIMICOS EN EL SECTOR AGROINDUSTRIAL DE CHAO.

Para poder definir los parámetros a los cuales trabajará el aguilón, es fundamental y necesario primero conocer cuáles son sus principales fallas que estos sufren en el sector agroindustrial Chao y de acuerdo a ello establecer distintos parámetros de diseño, para mitigar que estas fallas vuelvan aparecer frecuentemente en el tiempo. En la figura 10, se muestran las principales fallas a las cuales está expuesto el aguilón.



Figura 10: Fallas en el aguilón del sistema de aplicación de insumos químicos

Fuente: Elaborado por los autores

ANEXO 8:

TIPOS DE EQUIPOS DE APLICACIÓN DE INSUMOS COMERCIALES EN EL SECTOR AGROINDUSTRIAL CHAO

En las figuras 11 y 12, se muestra el aguilón del sistema de aplicación de insumos químicos en equipos Chaski y Full Maquinarias, el cual es el encargado de soportar y distribuir adecuadamente las mangueras hidráulicas.



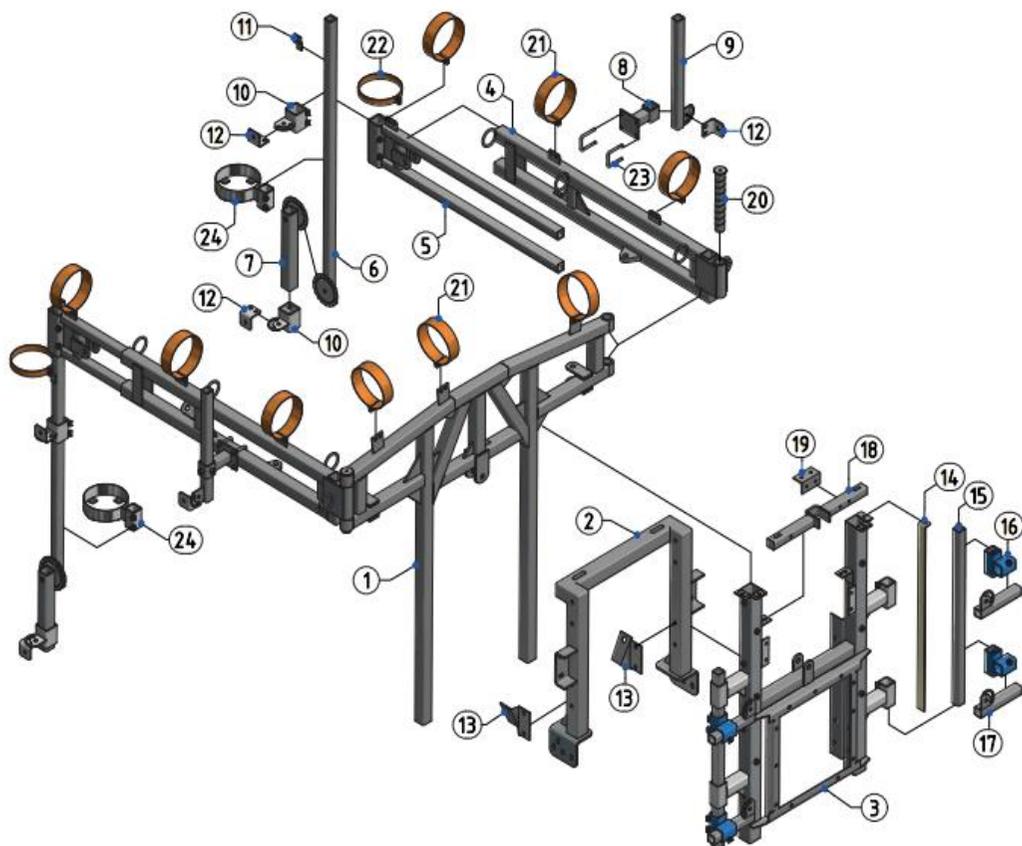
Figura 11: Aguilón del sistema de aplicación de insumos químicos
Fuente: Maquinarias Agrícolas Peruanas Chaski



Figura 12: Aguilón del sistema de aplicación de insumos químicos.
Fuente: Maquinarias Agrícolas Full Maquinarias.

ANEXO 9:

DESPIECE DEL AGUILÓN ESTRUCTURAL



ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANT
1	BASE CENTRAL MOVIL P/BLOOM	UND	1
2	SOPORTE POSTERIOR BLOOM	UND	1
3	BASE P/SOPORTE MOVIL DE BLOOM	UND	1
4	BRAZO ARTICULADO N01 BLOOM	UND	2
5	BRAZO REGULABLE P/BLOOM	UND	2
6	BAJANTE EXTERIOR	UND	2
7	EXTENSION PARA BAJANTE EXTERIOR	UND	2
8	EXTENSION PARA BAJANTE SUPERIOR	UND	2
9	BAJANTE PARA TOBERA SUPERIOR	UND	2
10	AMARRE PARA TOBERA EXTERIOR	UND	4
11	ENGANCHE DE ABRAZADERA 1 PULG	UND	2
12	ASIENTO EN L PARA TOBERA	UND	6
13	BASE PARA FILTRO DE LINEA	UND	2
14	CORREDERA	UND	4
15	BAJANTE PARA TOBERA CENTRAL	UND	2
16	AMARRE DISTANCIADOR PARA TOBERA	UND	4
17	DISTANCIADOR PARA TOBERA BLOOM	UND	4
18	CENTRADOR DE BOMBIN	UND	1
19	BASE PARA DISTRIBUIDOR HIDRAULICO	UND	1
20	PIN P/APERTURA DE BRAZOS	UND	2
21	ABRAZADERA FIJA DE 6 PULG X 2 PULG	UND	9
22	ABRAZADERA FIJA DE 6 PULG X 1 PULG	UND	2
23	ABRAZADERA EN U 3/8 NC INOX (60 X 80X 60MM)	UND	4
24	BASE DE SUJECION INFERIOR DE DUCTO DE AIRE LATERAL P/BLOOM	UND	2

Figura 13: Despiece de aguilón estructural

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (Si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)	
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³			
	Si	No	Si	No	Si	No		
1	X		X		X			
2	X		X		X			
3	X		X		X			
Aspectos Generales					Si	No		
El instrumento contiene introducciones claras y precisas para responder el cuestionario					X			
Los ítems permiten el logro del objeto de la investigación					X			
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir.					X			
VALIDEZ								
APLICABLE				X	NO APLICABLE			
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES								

¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellido y nombres: *NARRO JIMENEZ Franklin Adolfo*

Profesión: *ING. AGRÍCOLA / ING. MECÁNICO*

Especialidad: *Taller y MAQUINARIA*



 Firma del Experto

C.I.P. 110868

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ÍTEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (Si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Si	No	Si	No	Si	No	
1	X		X		X		
2	X		X		X		
3	X		X		X		
Aspectos Generales					Si	No	
El instrumento contiene introducciones claras y precisas para responder el cuestionario					X		
Los ítems permiten el logro del objeto de la investigación					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir.					X		
VALIDEZ							
APLICABLE				X	NO APLICABLE		
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión.

²**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable.

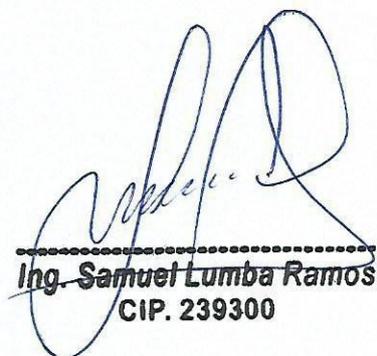
³**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo.

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellido y nombres: *Lumba Ramos Samuel.*

Profesión: *Ing. Mecánico*

Especialidad: *Mecánico*



Ing. Samuel Lumba Ramos
CIP. 239300

.....
Firma del Experto

FICHA DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTO

Nombre del instrumento	Ficha de registro de datos
Objetivo del instrumento	Medir la disponibilidad
Nombres y apellidos del experto	Luis Alberto Huangal Briceño
Documento de identidad	18085871
Años de experiencia en el área	25 años
Máximo Grado Académico	Ingeniero Mecánico – Eléctrico.
Nacionalidad	Peruana
Institución	Agrícola Pampa Baja S.A.C
Cargo	Jefe de Mantenimiento
Número telefónico	966949062
Fecha	


Luis A. Huangal Briceño
.....
INGENIERO MECANICO-ELECTRICO
C.I.P. 169438
Firma del Experto



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, LUJÁN LÓPEZ JORGE EDUARDO, 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 estructural de aguilón en equipos de aplicación de insumos químicos en el sector agroindustrial- Chao - La Libertad", cuyo autor es CORTEZ REVILLA RULLY YOSHIRO, constato que la investigación cumple con el índice de similitud establecido, y 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, 08 de Julio del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
LUJÁN LÓPEZ JORGE EDUARDO DNI: 17897692 ORCID 0000-0003-1208-1242	Firmado digitalmente por: JLUJAN el 14-07-2022 15:48:18

Código documento Trilce: TRI - 0329786