



# **Diseño de un sistema electromecánico de limpieza para una línea de sacrificio de una empresa avícola**

**Carlos Eduardo Sánchez Holguín**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Buga, Colombia  
Año 2020



# **Diseño de un sistema electromecánico de limpieza para la línea de sacrificio de una empresa avícola**

**Carlos Eduardo Sánchez Holguín**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Electromecánico**

Director (a):

Ing. Germán Alejandro Ibarra Bolaños, M.Sc.

Línea de Investigación:

Desarrollo tecnológico

Semillero de Investigación:

Mejoramiento Industrial Tecnológico y Energético – MITE

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Buga, Colombia

2020



## *Dedicatoria*

*A mi esposa e hijo por ser el motor que me impulsa a seguir adelante y a buscar siempre cosas mejores.*

*A mis padres y abuelos por los valores enseñados, por su confianza y apoyo incondicional.*

*A todas las personas que de una u otra forma han contribuido para la culminación exitosa de esta importante etapa de mi vida.*



## **Agradecimientos**

Agradezco al profesor, German Alejandro Ibarra ingeniero mecánico quien fue la persona que me acompañó, me guio, en la culminación de mi trabajo de grado. También a los demás profesores de las áreas de mecánica y eléctrica, y a todas las personas que de alguna manera me motivaron y guiaron durante el desarrollo de este proyecto de grado. También a la empresa de procesamiento de carne de pollo por brindarme un espacio de reflexión y apertura al nuevo conocimiento.





## Resumen

Se presenta una propuesta de diseño para la limpieza y mantenimiento de un transportador aéreo en una planta de beneficio de carne de pollo. Se pretende agilizar los procesos, reducir tiempos muertos de producción mejorando la productividad. Se visitó la planta para verificar espacios, caudal y presión disponibles. Equipos similares sirvieron como base. El diseño final tiene dos cepillos cilíndricos (Nylon 6-12, diámetro exterior 10 pg), cada uno montado sobre un eje de acero inoxidable AISI-304 (diámetro 25.4 mm y factor de seguridad 6.5), soportado por chumaceras SKF P52-R-3/4-FM y accionado por un motor asíncrono M2QA-80M6A mediante un acoplamiento rígido RKW-50-d19. Se propone control por variador de frecuencia Yaskawa CIMR-VU4A0001FAA. La distribución de agua y detergente (AV-21B) se realiza en un sistema de tuberías rígidas y flexibles de PVC con diámetros entre 1/8 - 1 pg, con el dosificador DOSATRON-D25RE5 (funcionamiento como ariete hidráulico). El conjunto de boquillas corresponde a las GG-1/8-SS-5 de Spraying Sytems Co. Los cálculos mostraron pérdidas en el sistema de distribución de 0.824 m (energía) y 8 kPa (presión). El sistema de lavado está sujeto a la viga principal, ubicada a 3.3 m sobre el nivel del suelo, desde la cual se suelda un perfil cuadrado de 75 x 75 x 4 mm de acero estructural A36, unido a perfiles en L de 70 x 70 x 6 mm que llegan hasta los soportes de la estructura de los cepillos. La soldadura (factor de seguridad 2.5) calculada utiliza electrodos E60 con filetes de 3/32 pg.

**Palabras clave:** Sistema de limpieza, diseño de máquinas, industria avícola, limpieza industrial.

## Abstract

A design proposal is presented for the cleaning and maintenance of an aerial conveyor in a chicken meat processing plant. The aim is to streamline processes, reduce production downtime, and improve productivity. The plant was visited to verify available spaces, flow and pressure. Similar equipments served as the base. The final design has two cylindrical brushes (Nylon 6-12, outer diameter 10 in), each mounted on an AISI-304 stainless steel shaft (diameter 25.4 mm and factor of safety 6.5), supported by SKF P52-R-3/4-FM bearings and powered by an M2QA-80M6A asynchronous motor using a RKW-50-d19 rigid coupling. Control by Yaskawa CIMR-VU4A0001FAA is proposed. The distribution of water and detergent (AV-21B) is carried out in a system of rigid and flexible PVC pipes with diameters between 1/8 - 1 pg, with the DOSATRON-D25RE5 dispenser (operation as hydraulic ram). The set of nozzles corresponds to the GG-1/8 – SS-5 of Spraying Systems Co. The calculations showed losses in the distribution system of 0.824 m (energy) and 8 kPa (pressure). The washing system is attached to the main beam, located 3.3 m above ground level, from which a square profile of 75 x 75 x 4 mm is welded from A36 structural steel, joined to L-profiles of 70 x 70 x 6 mm reaching the supports of the brush structure. The calculated weld (factor of safety 2.5) uses E60 electrodes with 3/32 pg fillets.

**Keywords: Cleaning system, machine design, poultry industry, industrial cleaning.**

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen.....</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>XIV</b>
<b>Lista de tablas.....</b>	<b>XVI</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Contextualización.....</b>	<b>3</b>
1.1 Descripción del problema .....	3
1.2 Justificación .....	4
1.3 Objetivos .....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos .....	4
1.4 Alcance.....	4
1.5 Metodología.....	5
1.6 Organización del documento .....	7
<b>2. Marco teórico.....</b>	<b>9</b>
2.1 Panorama de la industria avícola en Colombia .....	9
2.2 Proceso de producción de carne de pollo .....	10
2.3 Inocuidad en el procesamiento de alimentos .....	11
2.4 Sistemas de limpieza comerciales .....	12
2.5 Consideraciones para la selección de cerdas .....	13
2.6 Diseño de ejes de transmisión de potencia.....	14
2.7 Material para el eje de potencia .....	16
2.8 Acoplamientos mecánicos, rodamientos y cuñas.....	17
2.8.1 Acoplamientos mecánicos .....	17
2.8.2 Rodamientos.....	18
2.8.3 Cuñas .....	19
2.9 Motores eléctricos.....	19
2.9.1 Criterios de selección.....	19
2.9.2 Control de velocidad por variación de frecuencia.....	22
2.10 Sistema de tuberías y accesorios .....	23
2.10.1 Detergentes .....	23

2.10.2	Pérdidas por fricción y accesorios .....	243
2.10.3	Sistemas de dosificación .....	25
2.10.4	Dosificación en sistemas de distribución de agua.....	25
2.10.5	Boquillas de rociado o pulverización.....	266
2.10.6	Material de las boquillas .....	27
2.11	Cálculo estructural.....	277
2.11.1	Cálculo de uniones soldadas .....	277
2.11.2	Chequeo de perfiles estructurales .....	288
<b>3.</b>	<b>Diseño del sistema de limpieza.....</b>	<b>29</b>
3.1	Requerimientos del sistema .....	29
3.2	Dimensionamiento de componentes.....	30
3.2.1	Cerdas.....	31
3.2.2	Distribución de las cerdas.....	35
3.2.3	Dimensionamiento del cepillo cilíndrico .....	36
3.2.4	Requerimiento de potencia de los cepillos.....	38
3.3	Diseño del eje de potencia .....	39
3.3.1	Selección del acoplamiento mecánico, rodamientos y chavetas.....	422
3.3.2	Selección del motor asíncrono.....	44
3.3.3	Selección del variador de frecuencia .....	455
<b>4.</b>	<b>Sistema de distribución de agua y estructura de soporte.....</b>	<b>47</b>
4.1	Medición de la presión y el caudal disponibles para el sistema de limpieza .....	47
4.2	Selección del detergente .....	480
4.2.1	Características principales del detergente AV-21B .....	491
4.2.2	Efectividad de la limpieza .....	49
4.3	Selección del dosificador.....	50
4.4	Selección de boquillas.....	51
4.5	Cálculo de pérdidas en el sistema hidráulico.....	52
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>59</b>
5.1	Conclusiones.....	59
5.2	Recomendaciones.....	61
<b>A.</b>	<b>Anexo: Propiedades y aplicaciones de los aceros inoxidables austeníticos...62</b>	
<b>B.</b>	<b>Anexo: Comparación de detergentes.....63</b>	
<b>C.</b>	<b>Anexo: Cálculo de fuerza de limpieza para una deflexión D de 1 pg.....64</b>	
<b>D.</b>	<b>Anexo: Características de los cepillos.....65</b>	
<b>E.</b>	<b>Anexo: Diagrama de momentos flector y torsor.....66</b>	
<b>F.</b>	<b>Anexo: Cálculo del diámetro mínimo y factores de seguridad.....67</b>	
<b>G.</b>	<b>Anexo: Ficha técnica de la chumacera.....68</b>	

---

<b>H. Anexo: Factores de carga axial y radial para rodamientos rígidos de bolas....</b>	<b>69</b>
<b>I. Anexo: Dimensiones de la cuña o chaveta.....</b>	<b>70</b>
<b>J. Anexo: Datos técnicos del variador de frecuencia.....</b>	<b>71</b>
<b>K. Anexo: Materiales para la boquilla.....</b>	<b>72</b>
<b>L. Anexo: Velocidades en los tramos de tubería.....</b>	<b>73</b>
<b>M. Anexo: Pérdidas primarias.....</b>	<b>74</b>
<b>N. Anexo: Pérdidas secundarias.....</b>	<b>75</b>
<b>O. Anexo: Fuerza por unidad de longitud en la soldadura.....</b>	<b>76</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>77</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 2-1:</b> Etapas del procesamiento de carne de pollo.....	10
<b>Figura 2-2:</b> Colgado de aves en el transportador y desplumador de pollos. ....	11
<b>Figura 2-3:</b> Sistemas convencionales para limpieza de ganchos.....	13
<b>Figura 2-4:</b> Clases de desalineamiento en ejes.....	17
<b>Figura 2-5:</b> Acoplamientos rígidos de a) flanche con chavetero, b) flanche con manguito cónico y c) chavetas y prisionero. ....	17
<b>Figura 2-6:</b> Tipos de rodamientos.....	18
<b>Figura 2-7:</b> Área de transmisión de carga de la chaveta. ....	19
<b>Figura 2-8:</b> Rango de velocidades para flujo por tubería. ....	24
<b>Figura 2-9:</b> Dosificador de electrodiafragma y de accionamiento hidráulico. ....	26
<b>Figura 2-10:</b> Boquilla tipo ventilador plano y Boquillas de pulverización cónica.....	27
<b>Figura 2-11:</b> Tipos de soldadura y cargas asociadas. ....	28
<b>Figura 3-1:</b> Residuos de plumas y materia fecal en los ganchos.....	29
<b>Figura 3-2:</b> Tipos de cepillos cilíndricos.....	32
<b>Figura 3-3:</b> Longitud de cepillos en función del ángulo de inclinación. ....	34
<b>Figura 3-4:</b> Gancho en corte oblicuo. ....	34
<b>Figura 3-5:</b> Mechones de cerdas de Nylon.....	35
<b>Figura 3-6:</b> Dimensiones de la densidad A-5 y cerdas por mechón.....	36
<b>Figura 3-7:</b> Cepillos inclinados. ....	37
<b>Figura 3-8:</b> Ensamble del eje de potencia. ....	40
<b>Figura 3-9:</b> DCL en el plano XY con carga puntual. ....	40
<b>Figura 3-10:</b> Primer corte del eje y segundo corte del eje.....	41
<b>Figura 3-11:</b> Acoplamiento RKW 50 d19. ....	42
<b>Figura 3-12:</b> Chumacera SKF P52 R-3/4 FM.....	43
<b>Figura 3-13:</b> Chaveta de transmisión de potencia. ....	43
<b>Figura 3-14:</b> Variador de frecuencia Schneider ATV12P075M3 y variador de frecuencia Yaskawa CIMR-VU4A0001FAA. ....	45

---

<b>Figura 3-15:</b> Diagrama de potencia 440 V. ....	46
<b>Figura 3-16:</b> Diagrama de control 220 V. ....	46
<b>Figura 4-1:</b> Medición de presión en la toma de agua y aforo volumétrico. ....	48
<b>Figura 4-2:</b> Dosificador D25RE5. ....	50
<b>Figura 4-3:</b> Boquilla 1/8 GG – SS 5. ....	51
<b>Figura 4-4:</b> Esquema de distribución de tuberías. ....	52
<b>Figura 4-5:</b> Ensamble general del sistema de limpieza. ....	53
<b>Figura 4-6:</b> Pasadores para fijación del equipo. ....	54
<b>Figura 4-7:</b> Calculo del centroide de masa y diagrama de cuerpo libre. ....	55
<b>Figura 4-8:</b> Geometría para cálculo de soldadura. ....	55
<b>Figura 4-9:</b> Estado de cargas en puntos de soldadura. ....	56

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 2-1:</b> Tiempos de puesta en marcha admisibles.....	22
<b>Tabla 3-1:</b> Tiempo invertido en actividad de limpieza. ....	30
<b>Tabla 3-2:</b> Requerimientos del sistema de limpieza.....	31
<b>Tabla 3-3:</b> Material de las cerdas.....	32
<b>Tabla 3-4:</b> Densidad de cerdas.....	35
<b>Tabla 4-1:</b> Medición de presión. ....	47
<b>Tabla 4-2:</b> Medición de caudal.....	48
<b>Tabla 4-3:</b> Características del dosificador D25RE5.....	50
<b>Tabla 4-4:</b> Dimensionamiento de la soldadura.....	57
<b>Tabla 4-5:</b> Costo del equipo de limpieza diseñado. ....	58



# Introducción

En Colombia, la avicultura se comenzó a desarrollar a escala industrial a mediados del siglo XX, cuando las pequeñas empresas y las organizaciones gremiales empezaron a tecnificar el conocimiento de los productores dedicados a dicha actividad. Esto representó un crecimiento muy marcado en la producción de carne de pollo, pasando de producir 30 mil toneladas en 1961 a más de un millón de toneladas en 2012 (Aguilera, 2014). Asimismo, el consumo de productos avícolas se ha incrementado considerablemente en diversos países del mundo. Esto se debe a los grandes aportes nutricionales y el bajo costo que representa en comparación con la carne bovina u otras.

En Colombia, el sector avícola ha incursionado de forma significativa en la economía nacional, pues está presente a lo largo del territorio, principalmente en Cundinamarca, Santander, Norte de Santander, Valle del Cauca y Antioquia (Rivera, Malaver, Peña, & Malaver, 2011). Actualmente, la avicultura sólo es superada por la ganadería y la producción de leche, en la lista de las principales actividades agropecuarias, situándose por encima de la caficultura. Entre los años 2000 y 2006, la avicultura tuvo una participación del 28% dentro del PIB del sector pecuario, dejando utilidades de 1.7 billones de pesos (Bohórquez, 2014).

El crecimiento de este sector, también ha implicado la implementación de medidas de control de sanidad e inocuidad, para la creación de condiciones óptimas de consumo, el mejoramiento de la competitividad y la posibilidad de expansión en el mercado internacional. Este último aspecto, muchas veces se ve afectado por la propagación de enfermedades zoonóticas, las cuales pueden transmitirse de animales a humanos (Minsalud, 2015). Por tal razón, en Colombia se definió una política de inocuidad y sanidad para la cadena avícola, con el fin de controlar la Influenza aviar, la enfermedad de Newcastle y la Salmonelosis aviar (Calle, Estrada, Barrios, & Agudelo, 2015).

Las plantas de beneficio animal cuentan con una gran cantidad de maquinaria encargada del procesamiento de carne y otros subproductos. Específicamente, las plantas de beneficio de aves suelen contar con equipos de transporte que constan de una serie de ganchos, encargados de trasladar los pollos por las diferentes áreas de proceso, acumulando los residuos generados en cada una de éstas. Estos equipos deben contar con un mantenimiento óptimo y una limpieza efectiva para prevenir el crecimiento de microorganismos en la suciedad residual (Fábregas & Feu, 1997).

En ocasiones, las labores de limpieza de estos equipos son realizadas manualmente por personal de la empresa, lo que puede representar extensos tiempos invertidos en dicha actividad. Esto implica tiempos improductivos, los cuales pueden reducirse mediante la implementación de un sistema automatizado de limpieza. Basándose en lo anterior, en este proyecto de investigación se plantea el diseño de un sistema de limpieza para el transportador de ganchos de una planta de beneficio avícola, para mantener la inocuidad y reducir los tiempos muertos durante la actividad de limpieza de dicho equipo.

# 1. Contextualización

## 1.1 Descripción del problema

El fortalecimiento institucional y tecnológico que se ha dado en Colombia desde mediados del siglo XX, ha permitido un continuo crecimiento de la avicultura. Esto implica la implementación de medidas de control en materia de sanidad e inocuidad de la cadena avícola, así como del mejoramiento tecnológico. Esto, creando condiciones óptimas para el consumidor, eliminando la informalidad y mejorando la competitividad de la producción nacional (DNP, 2007).

La empresa en cuestión es una de las principales empresas procesadoras y comercializadoras de carne de pollo de la región. En la actualidad se sacrifican alrededor de 5'000.000 de pollos mensualmente, y para mantener su participación en el mercado con crecimiento sostenible, para el 2020, la empresa tiene proyectado pasar a 5'400.000 de pollos sacrificados. La planta cuenta con un sistema de transporte que consiste de un conjunto de troles y ganchos, mediante el cual se llevan los pollos sacrificados hacia el área de procesamiento. Al finalizar la jornada de sacrificio y siguiendo con un programa documentado de limpieza y desinfección de las instalaciones, equipos y utensilios (Ministerio de la protección social, 2007), este sistema debe ser aseado de tal forma que se eliminen los residuos de carne, grasa, sangre, etc.

En la actualidad, este trabajo de limpieza es realizado por un operario, que demora en promedio 30 minutos eliminando residuos, 30 minutos aplicando espuma desengrasante y 30 minutos estregando. Debido al incremento proyectado para el procesamiento diario de pollo, se da la necesidad de reducir sustancialmente los tiempos de limpieza del sistema transportador. Por lo anterior, en este proyecto se plantea el diseño de un sistema electromecánico de limpieza que reduzca notablemente los tiempos muertos en la limpieza del transportador, y baje el nivel de consumo de agua.

## 1.2 Justificación

El desarrollo de este sistema de limpieza es relevante para la proyección de la empresa, pues el tiempo ahorrado en mantenimiento podría ser empleado para el procesamiento de carne. Contribuyendo con algunos puntos de la visión de la empresa, como la integración de procesos ágiles y eficientes, y el liderazgo tecnológico en la región.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo general

Diseñar un equipo de limpieza para mantener la inocuidad y reducir los tiempos de mantenimiento de la línea de sacrificio de una empresa avícola.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Definir los requerimientos del sistema, a partir del tipo de suciedad presente en el transportador y del tiempo de limpieza requerido.
- Especificar las condiciones de operación a partir de los requerimientos del sistema.
- Proponer un diseño factible para suplir la necesidad, eligiendo el mecanismo de limpieza a utilizar.
- Efectuar el diseño mecánico, la selección de componentes y los planos de detalle.

## 1.4 Alcance

En este proyecto de investigación se efectuará la caracterización del tiempo invertido durante el proceso de limpieza manual de un transportador de pollos, para definir las condiciones de operación y requerimientos de un sistema de limpieza electromecánico que suplirá esta tarea. Bajo estos parámetros, se realizará el diseño conceptual y de detalle del sistema de limpieza.

## 1.5 Metodología

**Objetivo específico 1:** Definir los requerimientos del sistema, a partir del tipo de suciedad presente en el transportador y del tiempo de limpieza requerido.

T1.1. Efectuar una serie de mediciones del tiempo empleado durante la actividad de limpieza del transportador.

Con ayuda de un cronómetro se midió el tiempo empleado por el técnico de limpieza durante toda la actividad. Esto, clasificando los tiempos empleados para aplicar los agentes de limpieza (detergente), estregar las superficies y remover los sobrantes con agua limpia.

T1.2. Encuestar a los encargados de limpieza del transportador para conocer las características de la suciedad a remover y las dificultades a la hora de realizar la actividad. Se realizaron encuestas a los empleados encargados de la limpieza del transportador y se adquirió información acerca de las zonas más difíciles de alcanzar, de los tipos de suciedad que presentan mayor adherencia a la superficie y de los agentes de limpieza empleados usualmente.

T1.3. Revisar en la bibliografía información pertinente para el diseño. Se investigó acerca del diseño de mecanismos empleados para labores de limpieza de superficies, de agentes de limpieza y sus formas de uso, y de los parámetros de diseño más importantes que se deben considerar para remover eficazmente las suciedades.

**Objetivo específico 2:** Especificar las condiciones de operación a partir de los requerimientos del sistema.

T2.1. Caracterizar la geometría del transportador y determinar las zonas críticas de limpieza. Con la ayuda de un flexómetro y un calibrador, se levantaron las dimensiones del transportador y se realizó un esquema para identificar las zonas críticas de limpieza, que corresponden a los espacios donde se pueden acumular suciedades o que son de difícil acceso.

T2.2. Definir las características principales del sistema de limpieza, como tamaño máximo y modos de operación (Manual, automático o mixto).

A partir del esquema realizado, se definieron algunas características estratégicas que debe tener el sistema de limpieza para remover la suciedad presente en toda la superficie del transportador.

**Objetivo específico 3:** Proponer un diseño factible para suplir la necesidad, eligiendo el mecanismo de limpieza a utilizar.

T3.1. Evaluar los posibles mecanismos de limpieza y seleccionar el más o los más adecuados para el caso de estudio.

El sistema propuesto consiste en un mecanismo de tres etapas, semejante a los empleados en los lavados automáticos de vehículos. En la primera etapa se aplica una solución de detergente con agua, en la segunda se estregan las superficies del transportador mediante elementos como cepillos, esponjas u otros y en la tercera etapa se aplica agua limpia para remover el jabón y las suciedades.

**Objetivo específico 4:** Efectuar el diseño mecánico, la selección de componentes y los planos de detalle.

T4.1. Determinar las cargas críticas de diseño y dimensionar los elementos estructurales del sistema.

Se calcularon las cargas presentes bajo la operación de limpieza mediante ecuaciones encontradas en la literatura.

T4.2. Seleccionar los componentes eléctricos y mecánicos, como motor y transmisión. Asimismo, seleccionar los elementos que realizarán la limpieza, como cepillos, mangueras, tuberías y bombas hidráulicas.

Con las cargas calculadas en la tarea anterior, se realizó el cálculo de torques y potencias requeridas y se seleccionaron los componentes del sistema de limpieza mediante catálogos en línea.

## **1.6 Organización del documento**

En el capítulo 2, se presenta el marco teórico incluyendo el panorama nacional de la avicultura, las etapas de producción de carne de pollo y la importancia de la inocuidad en las plantas de beneficio animal. Por otra parte, se muestran algunos de los equipos convencionales de limpieza y se presentan los aspectos técnicos que servirán para dimensionar el sistema. En el capítulo 3, se especifican los requerimientos del sistema de limpieza y se realiza el dimensionamiento del mecanismo principal seleccionando los materiales en función del tipo de aplicación.

Asimismo, se evalúan las posibles formas de montaje del sistema y se seleccionan los elementos de transmisión de potencia. En el capítulo 4, se presenta el diseño del mecanismo complementario que consiste en un sistema hidráulico para la aplicación de detergente y agua limpia. Se presenta un esquema tridimensional del montaje completo del sistema de limpieza y un diagrama unifilar del circuito eléctrico. Por último, el capítulo 5 contiene las conclusiones y recomendaciones principales del presente trabajo. En los anexos se presenta información complementaria.





## **2. Marco teórico**

### **2.1 Panorama de la industria avícola en Colombia**

La avicultura en Colombia se ha beneficiado en gran medida por la creación de agremiaciones que defienden los intereses del sector, y que en colaboración mutua se han encargado de financiar y capacitar a empresarios y técnicos para la implementación de buenas prácticas en sus granjas comerciales. Algunas de estas organizaciones son: la Federación Nacional de Avicultores (Fenaves), la Asociación Nacional de Incubadores (Incubar), la Asociación de Productores y Distribuidores de Huevo (Asohuevo), la asociación de productores y procesadores de pollo (Propollo) y la Asociación Nacional de Avicultores de Colombia (Fenavi) (Aguilera, 2014).

La disminución del precio internacional del maíz ha sido un factor de poco provecho en el país, pues la devaluación de la moneda colombiana ha hecho contrapeso. Asimismo, la dependencia de los insumos importados de Estados Unidos, ha ocasionado un incremento de casi un 40% en los costos de producción. Situación que se extiende a otros productos alimentarios como el pan y el arroz (Ruiz, 2016). A pesar de los obstáculos, la actividad de la avicultura ha superado los rendimientos proyectados.

Por ejemplo, para el año 2016 se estimó un crecimiento anual del 2.2 % y se finalizó con una cifra de aumento del 4.4 %, destacando a la avicultura como una de las actividades con mejor desempeño en el sector pecuario. Según la Federación Nacional de Avicultores (Fenavi), para este mismo año se alcanzó una producción de 1'478.928 toneladas de carne de pollo, el doble que en 2006. Sin embargo, existen grandes expectativas de crecimiento, pues los niveles de producción aún se encuentran muy por debajo frente a países como Argentina y Brasil (Banco Caja Social, 2017).

## 2.2 Proceso de producción de carne de pollo

Generalmente una planta de beneficio de pollo cuenta con diferentes etapas que van desde la descarga de los pollos que vienen desde las granjas, hasta la refrigeración de la carne y subproductos para su posterior comercialización (Figura 2-1). En las primeras etapas del proceso, se reciben los pollos desde los galpones de crianza y engorde, y se ubican en una plataforma de descargue donde posteriormente son colgados en un transportador de ganchos (Figura 2-2).

**Figura 2-1:** Etapas del procesamiento de carne de pollo.



Fuente: Elaboración propia.

Luego, los pollos colgados se llevan a la zona de aturdimiento en la cual se les da una descarga eléctrica, de tal forma que queden inconscientes y pierdan la sensibilidad. En la siguiente etapa, los pollos aún inconscientes reciben un corte en la yugular y se dejan desangrar. Luego pasan a la zona de escaldado, en la cual se hacen pasar por agua caliente, lo que facilita el proceso de desplumado. Durante el desplumado, los pollos ingresan a una máquina rotatoria que cuenta con dedos de caucho (Figura 2-2) que se encargan de retirar las plumas.

**Figura 2-2:** Colgado de aves en el transportador y desplumador de pollos.



Fuente: Viteri (2013), ISO (2008).

Cuando los pollos salen del desplumador se verifica la salud que estos tenían antes del proceso de beneficio. Luego, un operario con un cuchillo de acero le corta las patas y las pone sobre bandejas plásticas. En ocasiones, este proceso también se puede realizar mecánicamente mediante un “cortapatas” (Hönh & Moros, 2002). En el proceso de evisceración, se retiran las vísceras, el hígado, el corazón, la molleja, los pulmones y la grasa interior. Después de este proceso, los pollos son finalmente descolgados del transportador de ganchos y son ubicados en canales de transporte, en los cuales se realiza un enfriamiento con agua helada con el fin de iniciar la cadena de frío y reducir la probabilidad de proliferación microbiana (Parra, 2018).

### **2.3 Inocuidad en el procesamiento de alimentos**

La inocuidad de los alimentos es una garantía que se le da al consumidor, la cual supone que al momento de preparar y consumir alimentos, estos no le causarán ningún tipo de daño. La carne de pollo puede estar expuesta a diferentes tipos de contaminación. La contaminación por agentes biológicos se da por la presencia de virus, hongos, protozoos o parásitos que pueden causar infecciones o intoxicación en los humanos. Por otro lado, la contaminación física y química, se puede dar por la inmersión intencional o accidental de sustancias o materiales extraños que pueden dañar la salud del consumidor (Viteri, 2013).

El ministerio de salud y protección social, ha establecido que todos los equipos y utensilios empleados en el procesamiento de alimentos, deben estar diseñados, construidos, instalados y mantenidos de tal forma que se evite la contaminación del alimento, y se

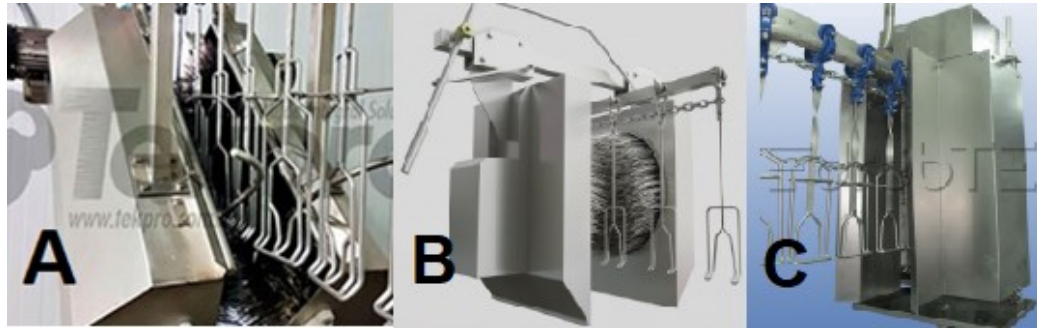
facilite la limpieza y desinfección de superficies (Ministerio de salud y protección social, 2013). Por otra parte, los métodos de limpieza dependen del tipo de suciedad presente en el área de trabajo y del nivel de riegos de contaminación. En algunos casos es necesario desinfectar el área después de la limpieza, pues cuando no se efectúa una remoción de suciedades sistemática, algunas bacterias pueden desarrollar “biofilms” que son hasta 1000 veces más resistentes a los desinfectantes comunes (Organización Panamericana de la Salud, 2016).

## 2.4 Sistemas de limpieza comerciales

Mediante una revisión de los equipos usados en la actualidad para limpiar los ganchos de un transportador de aves, se pudieron observar características muy similares entre sí. Por lo general, dichos equipos cuentan con un par de cepillos enfrentados, que entran en contacto continuo con la superficie de los ganchos. Además, los ejes de los cepillos son accionados mediante motorreductores eléctricos y permanecen a una distancia constante durante la operación. Cuando termina la actividad de limpieza, estos pueden ser separados de la línea de ganchos mediante mecanismos manuales de palanca o mecanismos automáticos. Algunos de estos sistemas convencionales son fabricados por compañías como “Tekpro”, “Indumetavi” y “drobTECH”, y se pueden apreciar en la figura 2-3. Tekpro es una empresa con sede en Sabaneta, Antioquia, que se especializa en el diseño, fabricación y comercialización de repuestos y equipos usados en la industria avícola.

Su lavadora de ganchos (figura 2-3, A) consta de dos cepillos de nylon endurecido accionados por acople directo con motorreductores, montados sobre una estructura de acero inoxidable. En promedio, estos sistemas pesan alrededor de 150 Kg. La compañía “Indumetavi” ubicada en Santa Fe, Argentina, posee un diseño que cuenta con cepillos circulares (figura 2-3, B) accionados mediante un par de motores de 0.5 hp. Este sistema por su geometría, es más robusto y posee un mayor tamaño y superficie laminada que el diseño anterior. Por su parte el diseño de la compañía “drobTECH” de Gaski, Polonia, cuenta con cepillos cilíndricos, ubicados de forma vertical (figura 2-3, C). Esto implica que para un mismo diámetro de cepillo, su área de cobertura es menor que la del diseño de Tekpro, lo que implica que este sistema debe emplear cepillos de mayor dimensión o varios cepillos en serie para cubrir un área considerable.

**Figura 2-3:** Sistemas convencionales para limpieza de ganchos.



Nombre de fuente: Tekpro (2019), Indumetavi (2017), DrobTech (2018).

Los cepillos cilíndricos usados en este tipo de aplicaciones trabajan con altas velocidades de rotación, pues se considera que a mayor número de golpes de las cerdas contra la superficie, mejor será el resultado de la limpieza. Las velocidades de rotación de los cepillos pueden ser de 60 RPM (Tekpro, 2019), 300 RPM (Spiral Brushes Inc, 2019), 400 RPM (Veeco, 2017) para limpieza de superficies metálicas y de hasta 1300 RPM (Tornado Industries, 2017) para limpieza de suelos y materiales cerámicos.

## 2.5 Consideraciones para la selección de cerdas

En los procesos de limpieza se requiere la aplicación de una fuerza capaz de vencer la adherencia entre la suciedad y la superficie de trabajo. Cuando la limpieza se lleva a cabo mediante mecanismos de cepillos con cerdas, esta fuerza depende de características dimensionales de las cerdas y de las propiedades mecánicas del material de las cuales están fabricadas. La combinación de estos parámetros determina la rigidez de las cerdas, que es una medida de la resistencia a la deformación cuando a éstas se les aplica una carga (DuPont, 2014). La deflexión ( $D$ ) de una cerda de limpieza empotrada de un extremo y libre del otro, puede ser calculada para filamentos o cerdas de sección circular mediante la siguiente expresión (American Chemical Society, 1995):

$$D = \frac{WL^3}{KE d^4} \quad (2.1)$$

Donde,  $W$  es la carga aplicada en lbf,  $L$  es la longitud del filamento en pg,  $E$  es el módulo de elasticidad en psi,  $d$  es el diámetro del filamento en pg y  $K$  es una constante ( $K =$

0.1473). De la expresión anterior se puede despejar  $W$ , que corresponde a la fuerza aplicada para deflectar la cerda en cierta magnitud, que es igual a la fuerza ( $F$ ) generada entre la cerda y la superficie de trabajo en un proceso de limpieza. Luego:

$$F = \frac{KEd^4D}{L^3} \quad (2.2)$$

Posteriormente, esa fuerza  $F$  se utiliza para calcular el torque consumido por cada cerda ( $T_C$ ) y el torque consumido por todo el cepillo ( $T_{TC}$ ) como se muestra a continuación.

$$T_C = FL \quad (2.3)$$

$$T_{TC} = N_{CA}T_C \quad (2.4)$$

Donde,  $N_{CA}$  es el número de cerdas en contacto con la superficie de trabajo. Asimismo, se puede determinar la potencia neta que le debe entrar al cepillo multiplicando el torque total ( $T_{TC}$ ) por la velocidad angular ( $\omega$ ):

$$P_{TC} = T_{TC}\omega \quad (2.5)$$

## 2.6 Diseño de ejes de transmisión de potencia

Un eje de transmisión es un elemento mecánico que se usa para transmitir movimiento y potencia desde un elemento motor hacia otros elementos mecánicos. Para su diseño, se debe seleccionar el material del que se va a construir, se deben chequear los esfuerzos presentes y la resistencia del eje ante las cargas de servicio. Dichas cargas suelen ser fuerzas axiales, cortantes y torsionales, que generan un estado de esfuerzo que dependen de la configuración geométrica, provocando una amplificación de los esfuerzos (factor de concentración de esfuerzos).

Ese factor se presenta por agujeros, muescas, roscas, cambios de sección, etc. (UNB, 2013). En el diseño del eje, se definen distancias, componentes que van montado, configuración, elementos de sujeción, fabricación, material. Luego se calculan las fuerzas

actuantes y los esfuerzos producidos. Se establecen los diagramas de momentos flectores y cortantes. Para esto último, se debe usar algún criterio de falla como los de *Soderberg*, *ASME*, *Gerber* y *Goodman* (Budynas, R., Keith Nisbett, 2008), para determinar el factor de seguridad.

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad (2.6)$$

Donde:

$$\sigma'_a = \sqrt{(K_f \sigma_a)^2 + 3(K_{fs} \tau_a)^2} \quad y \quad \sigma'_m = \sqrt{(K_f \sigma_m)^2 + 3(K_{fs} \tau_m)^2} \quad (2.7)$$

Son los esfuerzos equivalentes alternantes y medios. Asimismo  $\sigma_a$ ,  $\tau_a$ ,  $\sigma_m$  y  $\tau_m$  son los esfuerzos de flexión y cortantes alternantes y medios, los cuales se calculan reemplazando los momentos flectores y torsores, alternantes y medios, mediante las siguientes expresiones. Donde,  $c$  es el radio del eje en la sección evaluada,  $I = \frac{\pi c^4}{4}$  es el momento de inercia y  $J$  es el momento de inercia polar, para un eje de sección circular

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (2.8)$$

$$\tau = \frac{Tc}{J} \quad (2.9)$$

Por su parte,  $K_f$  y  $K_{fs}$  son los factores de concentración de esfuerzo para esfuerzos flectores y torsores, que se calculan mediante las siguientes expresiones.

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (2.10)$$

$$K_{fs} = 1 + q_s(K_{ts} - 1) \quad (2.11)$$

Aquí,  $K_t$  y  $K_{ts}$  son factores de concentración geométricos y se pueden encontrar en gráficos de libros de diseño mecánico. Asimismo,  $q$  y  $q_s$  se conocen como factores de sensibilidad,

dependen de la geometría de la pieza y se pueden encontrar en gráficos y tablas. Por otra parte,  $S_{ut}$  y  $S_e$  son el esfuerzo último a la tracción del material y su límite de resistencia a la fatiga, respectivamente. Este último se calcula según la siguiente expresión.

$$S_e = ka \cdot kb \cdot kc \cdot kd \cdot ke \cdot (0.5S_{ut}) \quad (2.12)$$

Donde  $ka$ ,  $kb$ ,  $kc$ ,  $kd$ , y  $ke$  son los factores de corrección del límite de resistencia a la fatiga por efectos de superficie, tamaño, carga, temperatura y confiabilidad, respectivamente. Los factores  $kc$ ,  $ke$  dependen de las condiciones de carga y del nivel de confiabilidad que se quiera para el diseño, respectivamente, y salen de tablas de libros de diseño. Por otra parte, los factores  $ka$ ,  $kb$  y  $kd$  se pueden determinar mediante las siguientes expresiones. Donde los valores de  $a$  y  $b$  en la ecuación 2.12 dependen del acabado superficial del material y salen de tablas. De otro lado, los factores  $d$  y  $T_F$  son el diámetro del eje en la sección evaluada y la temperatura de servicio en °F.

$$ka = aS_{ut}^b \quad (2.13)$$

$$kb = 1,24d^{-0,107} \quad (2.14)$$

$$kc = 0,975 + 0,432 \times 10^{-3}(T_F) - 0,115 \times 10^{-5}(T_F^2) + 0,104 \times 10^{-8}(T_F^3) - 0,595 \times 10^{-12}(T_F^4) \quad (2.15)$$

## 2.7 Material para el eje de potencia

El sistema de limpieza va a trabajar en un ambiente corrosivo, ligeramente expuesto al agua empleada para lavar los ganchos, y además, a productos como detergentes. Debido a esto, se debe seleccionar un material para el eje que tenga resistencia a la corrosión. Los aceros inoxidable austeníticos (ANEXO A), son aleaciones con altos porcentajes de níquel y cromo, que además pueden tener otros elementos aleantes como el titanio, aluminio, cobre, molibdeno y otros, que brindan propiedades anticorrosivas al material. La función de estos elementos de aleación es formar una capa superficial de óxido de alta dureza que crea una barrera para proteger al material base. Por otra parte, posee buena ductilidad, tenacidad y resistencia mecánica (Bonnet, 2017).

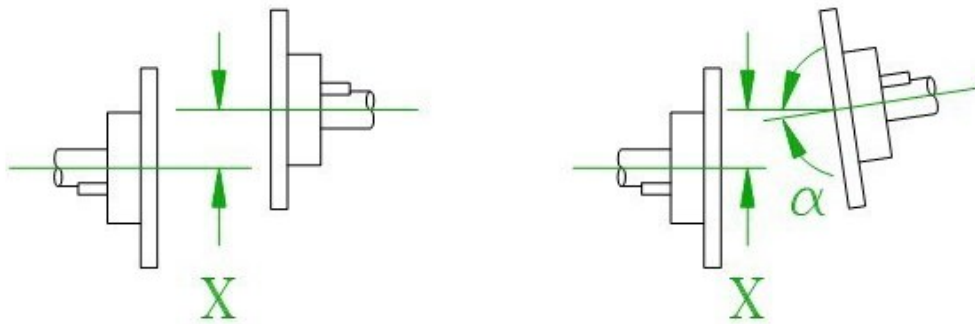


## 2.8 Acoplamientos mecánicos, rodamientos y cuñas

### 2.8.1 Acoplamientos mecánicos

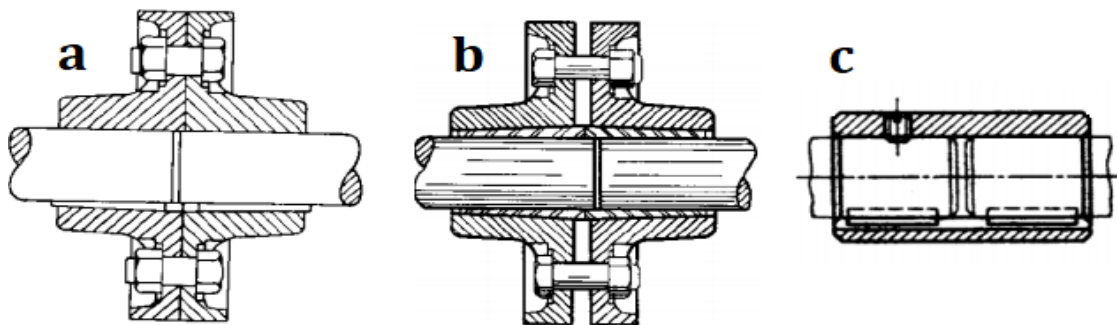
El acople se debe seleccionar según el tipo de desalineamiento, los diámetros de los ejes a ser acoplados, el tipo de carga y el torque de servicio, el cual debe ser comparado con el torque de transmisión permisible por el acople (UNLP, 2018). En general, estos dispositivos se clasifican en rígidos y flexibles. Los flexibles se usan en ejes de transmisión que permiten desalineamiento radial, angular o una combinación de estos (Figura 2-4). Mientras que los acoples rígidos se usan para unir ejes colineales. Algunos de los tipos de acoplamientos frecuentes se pueden visualizar en la Figura 2-5.

**Figura 2-4:** Clases de desalineamiento en ejes.



Fuente: DMC (2019).

**Figura 2-5:** Acoplamientos rígidos de a) flanche con chavetero, b) flanche con manguito cónico y c) chavetas y prisionero.

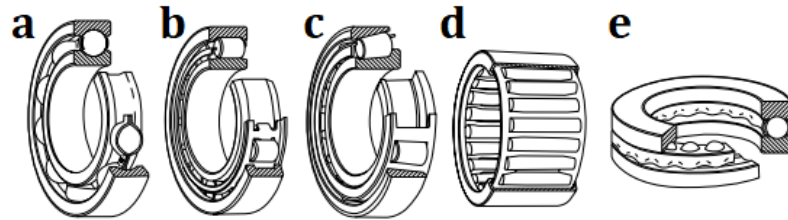


Fuente: Vanegas (2010).

## 2.8.2 Rodamientos

Otro elemento importante en los elementos de máquinas son los rodamientos o cojinetes rodantes los cuales, en general, están formados por un par de pistas rodantes, los elementos rodantes y una jaula. Estos rodamientos pueden ser radiales o axiales según la dirección de carga que soportan y de bolas, rodillos o agujas, según el tipo de elemento rodante. Los rodamientos presentan tolerancias finas, sensibilidad a los impactos y requerimientos de montajes precisos. Algunos tipos de rodamiento son (TIMKEN, 2019): rodamientos rígidos de bolas (a), rodamientos de rodillos cilíndricos (b), rodamientos de rodillos cónicos (c), rodamientos de agujas (d) y rodamientos axiales de bolas (e).

**Figura 2-6:** Tipos de rodamientos.



Fuente: NSK (2012).

Algunos de los factores para la selección de un rodamiento son (SKF, 2015): Espacio disponible, cargas (magnitud y dirección), desalineamiento, temperatura de funcionamiento y velocidad de servicio. Para evaluar si el rodamiento seleccionado soportará las cargas de servicio, se debe calcular la carga dinámica equivalente mediante la expresión mostrada a continuación, donde  $F_a$  y  $F_r$  son las cargas axial y radial en el rodamiento, mientras  $Y$  y  $X$  son factores de corrección de la carga axial y radial, respectivamente. Después se debe comparar esta carga con la capacidad de carga dinámica del rodamiento (SKF, 2012).

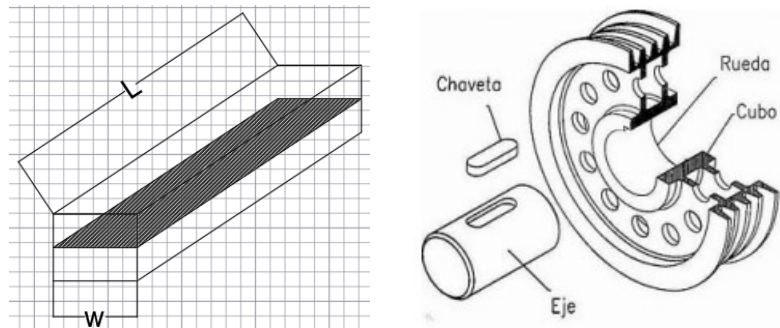
$$P = XF_a + YF_r \quad (2.16)$$

### 2.8.3 Cuñas

Es usado para la transmisión de potencia desde un eje hacia otros elementos como poleas, volantes y engranes. Estos presentan una gran utilidad como fusibles mecánicos, pues se calculan para fallar ante sobrecargas en el sistema, éste sufrirá deformación o fractura, protegiendo los componentes más importantes del sistema (Díaz, 2018). Para diseñar una chaveta, se debe calcular el esfuerzo cortante que ésta debe soportar y compararlo con la resistencia a la fluencia del material dividido entre un factor de seguridad, que por lo general debe ser pequeño, como se muestra a continuación (Norton, 2011). Donde  $T$  es el torque transmitido,  $r$  es el radio del eje,  $A = Lw$  es el área de la cuña paralela a la aplicación de la carga (Figura 2-7) y  $S_y$  es la resistencia a la fluencia del material.

$$\tau = \frac{Tr}{A} < \frac{S_y}{n} \quad (2.17)$$

**Figura 2-7:** Área de transmisión de carga de la chaveta.



Fuente: (UNL, 2011).

## 2.9 Motores eléctricos

Un motor eléctrico emplea campos electromagnéticos para transformar energía eléctrica en mecánica. Se clasifican en motores de corriente continua (CC) y de alterna (AC) (Bueno, 2014). Los motores de corriente continua son los más versátiles porque cuentan con fácil control de posición y velocidad, lo que los convierte en una buena opción para procesos automatizados. No obstante, son más complejos, de alto costo y frecuente mantenimiento. Los motores de corriente alterna se alimentan de una corriente que varía cíclicamente en

el tiempo, según el número de fases de alimentación pueden ser monofásicos, bifásicos o trifásicos, y según su velocidad de giro pueden ser síncronos o asíncronos (Bueno, 2014).

Los motores síncronos poseen imanes excitados con corriente continua montados sobre el rotor, mientras que las bobinas alimentadas con corriente alterna trifásica se montan sobre el estator. En este tipo de motores el campo magnético y el rotor tienen la misma velocidad de giro (GRID, 2018). En los motores asíncronos o de inducción, no existe una corriente conducida hacia el devanado del rotor, pues dicha corriente se debe a la fuerza electromotriz inducida por el campo giratorio. En los motores asíncronos la velocidad de giro del rotor es ligeramente menor a la del campo magnético. Esto, por su construcción simple, peso ligero, volumen mínimo, bajo costo y poco mantenimiento (Boada, 2016).

### 2.9.1 Criterios de selección

La selección de un motor eléctrico se lleva a cabo en el siguiente orden (PUCP, 2001):

1. Se determina la potencia estática ( $P_{est}$ ) en condiciones permanentes de carga y velocidad, en función de la potencia de carga nominal ( $P_{carga}$ ) en Vatios y la eficiencia del motor ( $\eta$ ). Para este caso particular de estudio, la potencia de carga nominal corresponde a la potencia neta que le entra al cepillo ( $P_{carga} = P_{TC}$ ).

$$P_{est} = \frac{P_{carga}}{\eta} \quad (2.18)$$

2. Se determina la potencia mecánica real ( $P_{real}$ ), multiplicando la potencia estática por un factor de servicio ( $C_s$ ) que puede ser escogido por experiencia del diseñador. En aplicaciones en las que las condiciones de carga y los ciclos de trabajo no son conocidos con exactitud, se puede usar un factor de servicio  $C_s = 1.5$ . Mediante el catálogo del fabricante, se selecciona el motor cuya potencia nominal sea igual o mayor que la potencia real. Seleccionar la velocidad de giro requerida para la aplicación (Usualmente de 900, 1200, 1800 y 3600 RPM para motores de 60 Hz).

$$P_{real} = P_{est} C_s \quad (2.19)$$

3. Verificación del torque de arranque para velocidad nominal. Se realiza sumatoria de torques, entre el torque inicial ( $T_M$ ) y el requerido por el cepillo para limpiar ( $T_{TC}$ ), con la expresión (2.4). Esto se iguala a la inercia total del sistema ( $I_t$ ), que corresponde a la sumatoria de las inercias del motor ( $I_m$ ), el cepillo cilíndrico ( $I_{cc}$ ), y el eje ( $I_e$ ), multiplicada por la aceleración angular promedio ( $\alpha$ ).

$$\Sigma T = T_M - T_{TC} = I_t \alpha \quad (2.20)$$

La inercia del cepillo cilíndrico se puede determinar mediante el teorema de los ejes paralelos como.

$$I_{cc} = I_n + I_c N_{cc} \quad (2.21)$$

Donde,  $I_n = \frac{1}{2}M(R_2^2 + R_1^2)$  es la inercia del núcleo del cepillo, que se puede tomar como la de un cilindro hueco de masa  $M$  y de radio externo e interno  $R_2$  y  $R_1$ , respectivamente.  $I_c = \frac{1}{12}ml^2 + mr^2$  es la inercia de una cerda de masa  $m$  y longitud  $l$ , con centro de masa ubicada a una distancia  $r$  respecto del eje del núcleo y  $N_{cc}$  es el número de cerdas del cepillo. Por su parte, para calcular la inercia del eje se deben considerar todos los posibles cambios de sección posibles. Así, se calcula la inercia de cada escalón con la expresión 2.21, y luego hacer una sumatoria ( $M_e$  es la masa de cada tramo del eje y  $R_e$  es su radio).

$$I_e = \frac{1}{2}M_e R_e^2 \quad (2.22)$$

La inercia del motor ( $I_m$ ) depende de su configuración interna. Para verificar la magnitud de inercia total obtenida, en este proyecto se empleará un software de dibujo asistido por computador para determinar dicho parámetro. La aceleración angular promedio se puede determinar como la velocidad angular ( $\omega$ ) alcanzada en el tiempo de puesta en marcha ( $t_{pm}$ ), como se muestra a continuación. Los tiempos de puesta en marcha permisibles para los motores de diferentes potencias se aprecian en la tabla 2-1.

$$\alpha = \frac{\omega}{t_{pm}} \quad (2.23)$$

**Tabla 2-1:** Tiempos de puesta en marcha admisibles.

Máximo tiempo de puesta en marcha $t_{pm}$ (s)	Motores de potencia hasta (Kw)
2	1
6	5
10	10

Fuente: EMBC (2001)

Con todos los parámetros conocidos, es posible conocer el torque de arranque del motor despejando  $T_M$  de la ecuación 2.23. Cuando el cepillo alcanza su velocidad nominal, la aceleración angular se hace cero, como se observa en la ecuación 2.24.

$$T_M = I_t \alpha + T_{TC} \quad (2.24)$$

$$T_M = T_{TC} \quad (2.25)$$

### 2.9.2 Control de velocidad por variación de frecuencia

Un variador de frecuencia es un dispositivo que permite controlar la velocidad de giro del eje de un motor de corriente alterna mediante la variación de la frecuencia de la red de alimentación (Arana, 2017). Esta velocidad de giro se puede expresar mediante la siguiente expresión (Weg, 2008):

$$n = \frac{120f(1-s)}{p} \quad (2.26)$$

Siendo  $f$  es la frecuencia de alimentación de la red,  $p$  es el número de polos del motor y  $s$  es el deslizamiento, que corresponde a un desfase entre la velocidad de giro del campo electromagnético y la del rotor. El variador no tiene elementos móviles (piezas de desgaste), las conexiones eléctricas son de baja complejidad, controla la aceleración y el frenado, limita la corriente de arranque y permite visualizar las variables del motor (voltaje,

frecuencia y rpm) (Arana, 2017). Para una selección correcta se deben seguir 3 pasos básicos (Schneider Electric, 2018).

1. Determinar si la aplicación requiere control de velocidad y/o de torque.
2. Definir el tipo de aplicación: fluidos, sólidos, movimientos mecánicos.
3. Especificar los parámetros del motor (Corriente y tensión nominal, potencia).

Por lo general, los variadores de frecuencia se utilizan en conjunto con motores AC diseñados para operar a frecuencias de red de 50 y 60 Hz. La variación de frecuencia de la red tiene límites superior e inferior, dentro de los cuales se puede operar el motor sin presentar problemas de sobrecalentamiento ni pérdida de par. Estos límites son: aumento máximo de 10% de la frecuencia nominal y reducción máxima de 80% de ésta misma (IngeElectro, 2011). Así, la mínima frecuencia de operación de un motor con frecuencia nominal de 60 Hz será de 12 Hz. Sin embargo, mientras más alejados de estos límites, será más segura la operación.

## 2.10 Sistema de tuberías y accesorios

### 2.10.1 Detergentes

Los detergentes son sustancias que pueden estar hechos de estabilizantes, colorantes, blanqueadores, encimas, solventes, u otras sustancias de las que dependen sus propiedades. Los detergentes varían la tensión superficial del agua y la permeabilidad de algunos agentes “extraños”, lo que permite removerlos de una superficie que va a ser limpiada (Spartan de Chile, 2012). Algunos de los componentes que brindan las diferentes propiedades a los detergentes son los siguientes (Salager, 1988):

- **Tensoactivos o surfactantes.** Son agentes que reducen la tensión superficial y ayudan a la disolución de la suciedad y a la disipación de partículas sólidas. Pueden ser aniónicos (sulfonatos, ester-sulfatos) o noiónicos (alcoholes y fenoles).
- **Secuestrantes:** Se emplean para potenciar la acción de limpieza de los surfactantes. Estos agentes reaccionan con los cationes divalentes del agua dura (calcio y magnesio) para evitar que dichos iones interaccionen con los surfactantes.

Una forma de clasificación de los detergentes puede ser según su uso (Salager, 1988). De esta forma existen los detergentes para máquinas de lavar ropa y platos, detergentes para lavado a mano de ropa y platos, otros limpiadores de uso doméstico, limpiadores en industrias alimenticias y hospitales, y otros limpiadores industriales. En el ANEXO B, se presentan algunos detergentes usados en la industria y sus características principales.

### 2.10.2 Pérdidas por fricción y accesorios

Para el diseño de un sistema de distribución de agua, se necesita el cálculo de las pérdidas por fricción y accesorios (Ecuaciones 2.28). La primera es la ecuación de Darcy-Weisbach y la segunda la ecuación que cuantifica las pérdidas por accesorios (White, 1998):

$$h_l = f \frac{L v^2}{D 2g} , \quad h_l = K \left( \frac{v^2}{2g} \right) \quad (2.27)$$

Siendo  $L$  la longitud de la tubería,  $D$  su diámetro interno,  $v$  es la velocidad del fluido,  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $k$  es el coeficiente de pérdida de cada accesorio y  $f$  es el factor de fricción. Este factor se determina con la rugosidad relativa y el número de Reynolds ( $Re$ ), donde  $\rho$  y  $\mu$  son la densidad y la viscosidad dinámica del fluido, respectivamente, y  $\varepsilon$  es la rugosidad del material de la misma.

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} , \quad \text{Rugosidad relativa} = \frac{\varepsilon}{D} \quad (2.28)$$

**Figura 2-8:** Rango de velocidades para flujo por tubería.

Fluido	Tipo de flujo	Velocidad	
		ft/s	m/s
Líquidos poco viscosos	Flujo por gravedad	0,5 - 1	0,15 - 0,30
	Entrada de bomba	1 - 3	0,3 - 0,9
	Salida de bomba	4 - 10	1,2 - 3
	Línea de conducción	4 - 8	1,2 - 2,4

Fuente: UGR (2001).



Por otra parte, la velocidad de conducción de un fluido por una tubería es un parámetro crítico que para el caso de un fluido incompresible está definido por el diámetro interno y el caudal de circulación. Dependiendo de las propiedades del fluido, principalmente su viscosidad, se establecen unos límites de velocidad de conducción, que si no se siguen con la debida rigurosidad, pueden llevar al deterioro de la tubería (UGR, 2001). La tubería plástica es ampliamente usada por su bajo peso, propiedades anticorrosivas, resistencia química y conexión de baja complejidad. Entre estos materiales se incluyen el cloruro de polivinilo (PVC), el cloruro de polivinilo clorado (CPVC), la fibra de plástico reforzado (FRP), el polietileno de alta densidad reticulado (PEX), entre otros.

### **2.10.3 Sistemas de dosificación**

Existen en la actualidad tres tipos de dosificadores: volumétricos, gravimétricos y por decremento de peso (Calero & Paneluisa, 2015). Los volumétricos operan transportando un cierto caudal del material a dosificar, que es proporcional al caudal del flujo de trabajo. El factor de proporcionalidad puede ser calibrado según el proceso lo requiera. Los volumétricos más comunes son el dosificador de tornillo, el dosificador de compuerta rotativa y el de pistón. Emplean un método para medir y descargar la sustancia de trabajo en un rango de caudales variables, son simples y de bajo costo (Ortíz & Zambrano, 2017).

Los gravimétricos controlan el flujo del material en función de un peso calibrado para conseguir mayor precisión durante el proceso sin requerir de una báscula. También este tipo de dosificadores pueden registrar el contenido de material en el producto final (ACRISON, 2016). Los dosificadores por decremento de peso consisten en una tolva aislada del sistema, que descarga el material a dosificar sobre algún elemento que está siendo pesado de forma continua. Este sistema de pesaje retroalimenta la dosificación, variando la velocidad de descarga de la tolva.

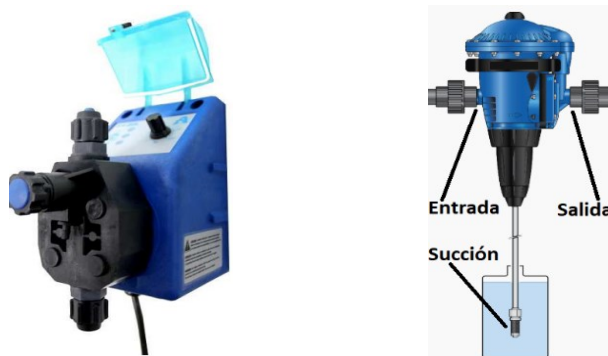
### **2.10.4 Dosificación en sistemas de distribución de agua**

Un dosificador es un dispositivo volumétrico que interactúa directamente con el fluido transportado y se encarga de adicionarle porciones de alguna sustancia (Beltrán & Cepeda, 2008). Los sistemas de dosificación manual, pueden presentar una mala regulación de las cantidades y existir el riesgo de contacto con los productos dosificados.

Los sistemas de dosificación Venturi pueden presentar grandes variaciones de dosificación según la viscosidad, temperatura, presión y caudal de la red de agua (Carmelo, 2015).

La dosificación eléctrica requiere un contador de caudal y es muy sensible a las variaciones de caudal. Los dosificadores de electrodiafragma (Figura 2-9) determinan el caudal de dosificación mediante un potenciómetro que controla pulsos/minuto de un solenoide (ACQUATRON, 2016). Esto no se recomienda para regulación debajo de 10% porque se pierde la linealidad entre los caudales (fluido de trabajo y dosificado). Una alternativa son los de accionamiento hidráulico (Figura 2-9), que utilizan la presión de la red para la fuerza motriz en forma de ariete hidráulico y no requieren electricidad (MixRite, 2016).

**Figura 2-9:** Dosificador de electrodiafragma y de accionamiento hidráulico.



Fuente: ACQUATRON (2016) y Dosatron (2020).

### 2.10.5 Boquillas de rociado o pulverización

En el mercado existen diferentes tipos de boquillas. Estas pueden variar en geometría, tamaño y material en función de su aplicación. Los tipos de boquillas más comunes son:

- **Cono plano:** Corro en forma de “V” invertida con un orificio elíptico, producen un patrón de rociado en forma de abanico plano con bordes cónicos (Figura 2-10) y son ampliamente usadas en agricultura (Grisso, Hipkins, Askew, Hipkins, & McCall, 2013).
- **Boquillas de pulverización en cono:** Vienen en cono hueco con patrón de rociado en anillo y funcionan en un rango de presiones entre 40 y 60 psi. También vienen en cono completo, con un patrón circular completo, gotas más grandes y mayor cobertura. Usadas en aplicaciones con presiones entre 15 y 40 psi (Grisso et al., 2013).

**Figura 2-10:** Boquilla tipo ventilador plano y Boquillas de pulverización cónica.



Fuente: TeeJet Technologies (2013).

### 2.10.6 Material de las boquillas

Se fabrican principalmente en latón, nylon, acero inoxidable, carburo de tungsteno, materiales termoplásticos y cerámicos. Estos dos últimos materiales se emplean en aplicaciones en las cuales se requiere una resistencia extrema a la corrosión. Las boquillas de acero son generalmente más duraderas que las de nylon y latón, y generan patrones de pulverización más regulares e invariantes en el tiempo (Grisso et al., 2013).

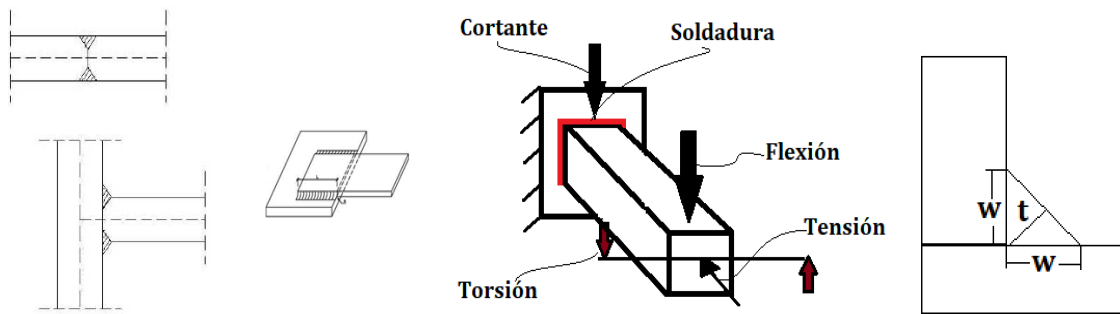
## 2.11 Cálculo estructural

Para calcular los componentes estructurales, se puede utilizar una herramienta CAD/CAE para estimar fuerzas en piezas y ensambles. Posteriormente se pueden emplear ecuaciones de equilibrio y diseño de elementos mecánicos para determinar las reacciones en los soportes, dimensionar soldaduras o pernos (según sea el caso) y chequear los perfiles estructurales que se vayan a emplear.

### 2.11.1 Cálculo de uniones soldadas

Una soldadura es una unión permanente entre dos elementos metálicos luego de aplicar calor desde una fuente. Algunos tipos son: la autógena, aluminotermia, eléctrica y la soldadura por fricción. El dimensionamiento del cordón de soldadura depende del tipo de carga (torsión, flexión, tensión, compresión y cortante). Las uniones soldadas a tope y de filete son las más generales (Figura 2-11). Mediante las siguientes expresiones, se puede determinar la fuerza por unidad de longitud a cortante y torsión.

**Figura 2-11:** Tipos de soldadura y cargas asociadas.



Fuente: Rodríguez (2018).

$$f_c = \frac{F}{L} , \quad f_T = \frac{Tr}{J_w} \tag{2.29}$$

$$w = 1.414t = 1.414 \left( \frac{f_R}{\tau_{adm}} \right) \tag{2.30}$$

### 2.11.2 Chequeo de perfiles estructurales

Para determinar si los perfiles empleados para una estructura especificada son suficientemente resistentes, se identifican los puntos críticos, el estado de esfuerzos en dicho perfil y luego compararlo con la resistencia del material. Para perfiles sometidos a cargas de tensión y flexión, los esfuerzos pueden ser calculados mediante las siguientes expresiones, respectivamente. Donde  $A$  es el área de la sección transversal,  $M$  es el momento flector,  $y$  es la distancia hasta el eje neutro del perfil e  $I$  es la inercia de la sección.

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{2.31}$$

$$\sigma = \frac{My}{I} \tag{2.32}$$

## 3. Diseño del sistema de limpieza

### 3.1 Requerimientos del sistema

Para definir los requerimientos del sistema de limpieza, se realizaron una serie de visitas a la planta de beneficio de Mac Pollo ubicada en la ciudad de Buga, en las cuales se estimó el tiempo promedio que tarda el operario durante la labor de limpieza del transportador. Esta actividad comienza con la eliminación de los residuos más grandes como plumas o algún otro elemento de mayor tamaño. Luego, se aplica detergente en cada uno de los ganchos, y por último se estregan y enjuagan hasta retirar el detergente y las suciedades remanentes. En la tabla 3-1, se especifica el tiempo total que lleva realizar estas tareas (96.6 min). Por otra parte, se tomaron algunas fotografías del transportador antes de la actividad de limpieza. Esto, con el objetivo de caracterizar el tipo de suciedad presente y definir los insumos necesarios para eliminarla. En la Figura 3-1, se puede observar que la mayor cantidad de residuos en el transportador se compone de plumas de ave y materia fecal.

**Figura 3-1:** Residuos de plumas y materia fecal en los ganchos.



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3-1:** Tiempo invertido en actividad de limpieza.

Días	Tareas	Tiempo (min)	Tiempo total (min)
1	Eliminar de residuos	28	94
	Aplicar detergente	34	
	Estregar y enjuagar	32	
2	Eliminar de residuos	25	88
	Aplicar detergente	33	
	Estregar y enjuagar	30	
3	Eliminar de residuos	30	98
	Aplicar detergente	33	
	Estregar y enjuagar	35	
4	Eliminar de residuos	26	92
	Aplicar detergente	34	
	Estregar y enjuagar	32	
5	Eliminar de residuos	26	96
	Aplicar detergente	37	
	Estregar y enjuagar	33	
Promedio			93,6

Fuente: Elaboración propia

En la visita a la planta, también se pudo conocer que la velocidad máxima de la línea de transporte es de 12 000 ganchos por hora durante la operación de sacrificio, mientras que en modo limpieza la velocidad es modificada a 1200 ganchos por hora, lo que equivale a 1 gancho cada 3 segundos. Luego, como el transportador cuenta con 1400 ganchos, si la actividad de limpieza fuese continua, ésta tardaría aproximadamente 70 minutos. Sin embargo, al tratarse de una actividad realizada por personal de la planta, pueden presentarse intervalos de tiempos muertos. De esta manera, con un sistema de limpieza automático se puede garantizar una operación continua.

Por otra parte, se evidenció que el sistema debe ir ubicado en la zona final de la línea de sacrificio. En esta zona no hay presencia de pollo en ningún momento durante la operación, pues todas las etapas del sacrificio y procesamiento de carne se presentan en las zonas anteriores. Sin embargo, para facilitar el montaje y maniobrabilidad del equipo se deben ubicar guías fijas que permitan deslizar los cepillos para el acercamiento o alejamiento de los ganchos. Para garantizar la limpieza de las superficies, suelen emplear una gran variedad de detergentes o productos de limpieza diseñados para distintos tipos de suciedad. Algunos de éstos son (Betelgeux, 2010): agua clorada, glutaraldehído, sales de

amonio, peróxido de hidrógeno, y detergentes líquidos que poseen una combinación estos otros productos. En la industria de alimentos se usan extensamente los desinfectantes clorados al 0.2% de concentración (Protocolos del Ministerio de Salud Pública, 2011) y detergentes líquidos pues son capaces de remover suciedades proteicas, grasas y sangre (FLOW CHEM, 2018). A partir del levantamiento de información anterior, se establecieron los requerimientos del sistema de limpieza (tabla 3-2).

**Tabla 3-2:** Requerimientos del sistema de limpieza.

Duración de la limpieza (minutos)	Menor a 70 min
Alimentación de potencia	Motor eléctrico
Mecanismo de limpieza	Cepillos cilíndricos
Mecanismo auxiliar 1	Sistema para aplicación de detergente
Estructura de soporte	Fija
Montaje del sistema	Mediante guías de deslizamiento
Tipo de detergente	Detergente líquido

Fuente: Elaboración propia.

## 3.2 Dimensionamiento de componentes

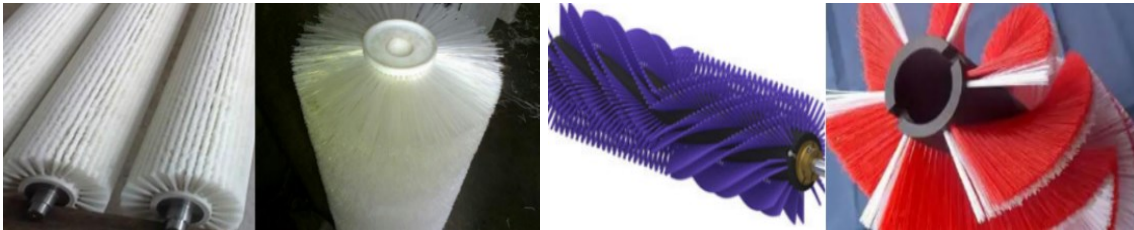
### 3.2.1 Cerdas

Mediante catálogos y proveedores en línea, se realizó una búsqueda de los cepillos que se pueden implementar en el sistema. Las cerdas de estos cepillos pueden estar ordenadas en forma de espiral o pueden tener una distribución uniforme sobre la base o núcleo (Figura 3-2). Además, otros parámetros que varían de un tipo de cepillo a otro son la longitud y diámetro exterior del cepillo, la longitud y diámetro de las cerdas, el tipo de aplicación (industria del papel, minería, industria de alimentos, etc.), la densidad de las cerdas sobre el núcleo, el material del núcleo, la velocidad de operación, entre otros.

Gran parte de las compañías consultadas, no ofrecen toda la información (parámetros de dimensionamiento) necesaria para el diseño de los cepillos cilíndricos, pues sólo son importadores y comercializadores más no fabricantes. Por otra parte, se encontraron algunos fabricantes extranjeros en México, España y Estados Unidos. Todos los proveedores consultados fueron Tecnocepillo (premia de mar Barcelona), grupo mavic

(cuecame, México), spiral brushes inc (Ohio, Usa), cepillos industriales (Bogotá, Colombia), Dimap cepillos LTDA (Bogotá, Colombia). De estos, se trabajó con el catálogo de la empresa estadounidense “*Spiral Brushes, Inc.*” pues ofrecen una gran variedad de cepillos para distintas aplicaciones, que pueden ser configurables y personalizados.

**Figura 3-2:** Tipos de cepillos cilíndricos.



Fuente: SACEMA (2017).

En general, las cerdas de los cepillos se pueden fabricar a partir de fibras sintéticas (nylon y PVC), fibras vegetales (palma, esparto y zacatón), fibras animales (caballo, vaca, cerdo, jabalí y tejón) y fibras especiales (fibra de vidrio, fibra de carbono) (Cepillería Aker, 2014). Sin embargo, para una aplicación en la industria de los alimentos, se debe garantizar la preservación de los productos y la seguridad del consumidor. De esta manera, se deben seleccionar fibras sintéticas por su condición de inertes. Entre las fibras sintéticas mencionadas, se seleccionó el nylon 6-12, pues posee un bajo porcentaje de absorción de agua (tabla 3-3), lo que representa ventajas para la durabilidad del cepillo y menor probabilidad de propagación de patógenos. Adicionalmente el Nylon 6-12 es ampliamente usado en la industria de alimentos y en la fabricación de cepillos dentales pues posee gran resistencia y alto módulo de elasticidad comparado con otros polímeros (Pogliani, 2018).

**Tabla 3-3:** Material de las cerdas.

Propiedades	Nylon 6-6	Nylon 6-12
Módulo elástico en seco (ksi)	512	450
Módulo elástico en húmedo (ksi)	160	400
Absorción de Agua (%)	9	3
Punto de fusión (°F)	495	410

Fuente: Spiral Brushes Inc (2019)



El Nylon o poliamida, es un material compuesto por largas cadenas de polímeros, que puede ser conformado como un filamento uniaxial y presenta buena resistencia a la tensión. El nylon está compuesto principalmente de O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> y C, y se puede dividir en distintos tipos según la organización de sus moléculas. Sin embargo, su densidad (1140 kg/m<sup>3</sup>) y punto de fusión (420 °C) suelen estar en el mismo rango (Carrion, 1990). Según su diámetro, las cerdas se pueden clasificar en finas (0.018 – 0.012 pg), medias (0.035 – 0.022 pg) o gruesas (0.06 – 0.04 pg) con longitudes desde ½” hasta 5” (DuPont, 2014). Para estimar las dimensiones de las cerdas a emplearse, se evaluó la fuerza de limpieza (F) en función de los diámetros comerciales y de 3 longitudes (4, 4.5 y 5”).

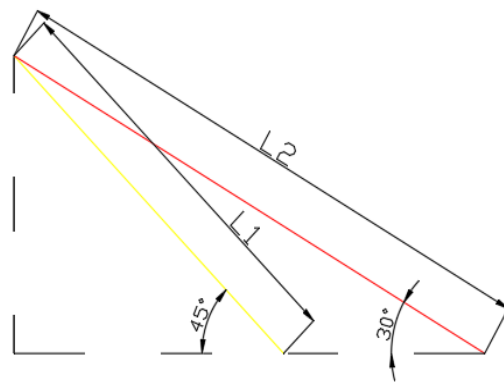
La deflexión (D) del extremo libre de la cerda depende de su longitud (L) y de la distancia (R) entre el extremo empotrado y la superficie del gancho. Como en la aplicación el sistema de limpieza va a contar con 2 cepillos cilíndricos (ver sección 2.4), no es conveniente que las cerdas de los cepillos tengan una longitud de contacto muy grande entre ellas para evitar atascamientos (traslape). Por esta razón, se seleccionaron las dimensiones de la cerda mediante la evaluación de la fuerza de limpieza, para lo cual se usó un módulo de elasticidad de 450 ksi correspondiente al Nylon 6-12, y se trabajó con una deflexión (D) unitaria de 1 pg, la cual debe ser posteriormente corregida, y recalculada la magnitud de la fuerza de limpieza. Los resultados se presentan en el ANEXO C.

De esta manera, se seleccionó una cerda con 0.06 pg (1.524 mm) de diámetro y 4 pg (101.6 mm) de longitud por generar la mayor fuerza bajo una misma condición de desplazamiento (D = 1 pg). Por otra parte, las dimensiones del núcleo pueden ser escogidas a conveniencia según las especificaciones del fabricante. Por esto, se trabajó con un núcleo de diámetro externo 2 pg, para tener un sistema compacto y de poco peso. Este núcleo puede ser metálico (acero inoxidable y aluminio) o de un material polimérico (Nylon, polipropileno, PVC, UHMW, ABS) (Gordon Brush, 2018), de donde se selecciona nuevamente Nylon 6-12, por sus buenas propiedades, bajo peso y gran aceptación en la industria de los alimentos (FDA, 2017).

De los fabricantes consultados previamente (Tekpro, Metalúrgica ALBACE y JA Equipamentos), se pudo apreciar que el montaje de los cepillos cilíndricos se realiza con una inclinación cercana a los 45° (sección 2.4). No obstante, otros fabricantes tienen ángulos menores, de 40° (Cattaruzi, 2019) y 30° (Processing Poultry Equipment, 2019).

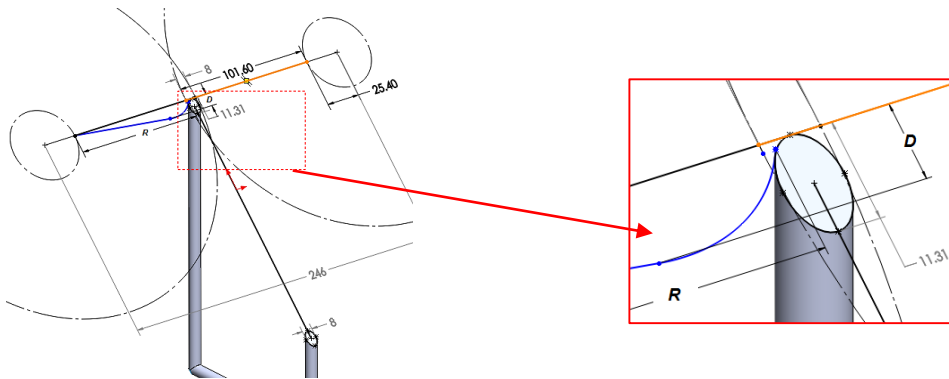
Aunque todas las opciones son posibles, los ángulos más bajos hacen que los rodillos tengan una mayor longitud (Figura 3-3), aumentando el peso y los costos, afectando también la manipulación a la hora de hacer mantenimiento. Por lo tanto, se selecciona  $45^\circ$  para este diseño.

**Figura 3-3:** Longitud de cepillos en función del ángulo de inclinación.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3-4:** Gancho en corte oblicuo.



Fuente: Elaboración propia.

Al tener el eje de los rodillos una inclinación de  $45^\circ$ , los planos de las cerdas al girar tienen un ángulo igual con respecto al gancho (Figura 3-4). Esto significa que la superficie exterior del gancho a limpiar pasa de circular a elíptica. La cerda está resaltada en color naranja. La deflexión determinada esquemáticamente es  $11.31$  mm, aproximada a  $12$  mm para recalcular la magnitud de la fuerza de limpieza ( $0.028$  N). Se emplearon las dimensiones seleccionadas de las cerdas y el módulo de elasticidad del Nylon 6-12.

### 3.2.2 Distribución de las cerdas

En los cepillos comerciales, no se suelen encontrar cerdas individualmente distribuidas a lo largo del núcleo, sino que éstas se agrupan en mechones (Figura 3-5). La cantidad de cerdas en cada mechón depende del diámetro de los agujeros a lo largo del núcleo y del diámetro de cada cerda. Luego, se define la densidad de cerdas de un cepillo como el número de mechones por unidad de área (Iriondo, 2002). En la Tabla 3-4 se muestran las características dimensionales de las densidades de cerdas más empleadas y que han sido clasificadas por los fabricantes Iriondo Carmelo y Cepillería Aker.

**Figura 3-5:** Mechones de cerdas de Nylon.



Fuente: Cepillería Aker (2014).

**Tabla 3-4:** Densidad de cerdas.

Clasificación de densidades	Diámetro de los agujeros para los mechones (mm)	Distancia entre los mechones (mm)
A-5	5.0	10
A-7.5	7.5	10
B-5	5.0	14
B-7.5	7.5	12

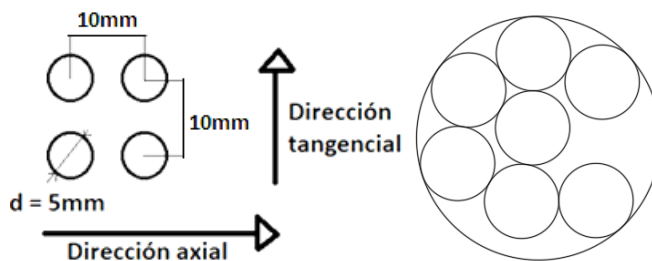
Fuente Iriondo (2002)

De estas densidades comerciales, se seleccionó la A-5 (Figura 3-6) porque tiene una buena separación entre mechones y facilita el mantenimiento de los cepillos. Además, al tener un menor diámetro de agujero para cada mechón, la cantidad de cerdas de 0.06" en cada mechón será menor, con lo que se tiene una menor probabilidad de acumular

suciedad entre cerdas. Si se divide el área del agujero del mechón ( $19.63 \text{ mm}^2$ ) entre el área de las cerdas seleccionadas ( $1.82 \text{ mm}^2$ ) se tiene que teóricamente pueden haber 10.78 cerdas por mechón.

Sin embargo, como se trata de geometrías circulares no es posible aprovechar toda el área. Por tal razón, se realizó un análisis gráfico para determinar cuántas cerdas caben realmente en el agujero del mechón. Para esto, mediante el software AutoCad 2017 versión estudiantil, se dibujó un círculo de 5 mm correspondiente al diámetro del agujero del mechón y en éste se inscribieron círculos tangentes de 0.06" (1.52 mm) en diferentes configuraciones (Figura 3-6). De aquí se determinó que caben 7 cerdas libres (sin generar interferencia).

**Figura 3-6:** Dimensiones de la densidad A-5 y cerdas por mechón.

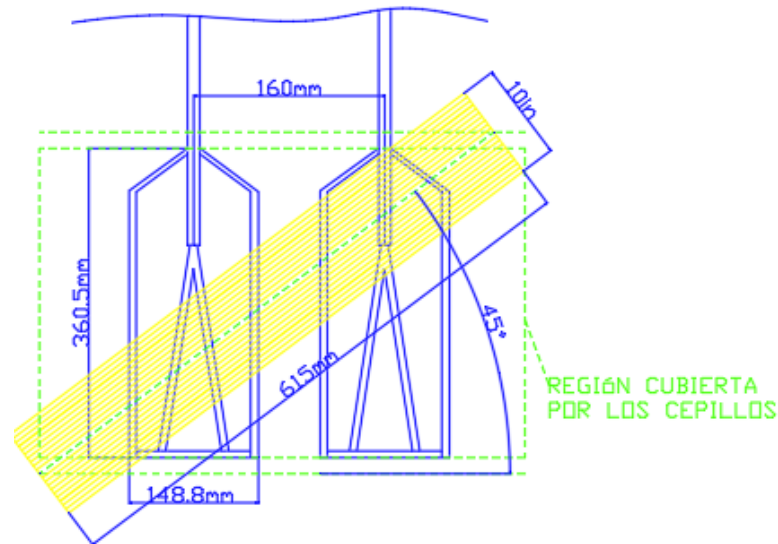


Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.3 Dimensionamiento del cepillo cilíndrico

Los cepillos con inclinación de  $45^\circ$  permiten dirigir la suciedad hacia abajo, disminuyendo la probabilidad de ensuciar los ganchos contiguos. De esta manera, se definió una región o área que debe ser cubierta completamente por los cepillos (Figura 3-7). Para construir dicha región se consideró que los cepillos, y en general, el sistema de limpieza, deben ser lo más compacto posible para su fácil instalación, manipulación y mantenimiento. Según las dimensiones seleccionadas de las cerdas, del núcleo del cepillo y la separación entre ganchos, se estimó que los cepillos deben tener un diámetro externo de 10 pg (254 mm) y una longitud de 615 mm. Con esto se puede garantizar que por lo menos 2 ganchos del transportador sean limpiados simultáneamente.

**Figura 3-7:** Cepillos inclinados.



Fuente: Elaboración propia.

En el ANEXO D se presentan las dimensiones, materiales y otros parámetros de los cepillos a implementar en el diseño. El número de mechones y el número de cerdas en los cepillos se determinaron a partir de las dimensiones del núcleo y de las distancias entre mechones definidas por la densidad A-5, como se muestra a continuación:

- Número de mechones en dirección axial:

$$N_a = \frac{\text{longitud del núcleo}}{\text{distancia axial entre mechones}} = \frac{615 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 61.5 \quad N_a = 61 \quad (3.1)$$

- Número de mechones en la dirección tangencial:

$$N_t = \frac{\text{perímetro del núcleo}}{\text{distancia tangencial entre mechones}} = \frac{2\pi r}{10 \text{ mm}} = \frac{159.6 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 15.9 \quad (3.2)$$

$$N_t = 15$$

- Número total de mechones:

$$N_T = N_a \cdot N_t = 61 \cdot 15 = 915 \text{ mechones} \quad (3.3)$$

- Número de cerdas por cepillo:

$$N_{CC} = N_T \cdot \#cerdas \text{ por mechón} = 915 \text{ mechones} \cdot 7 \text{ cerdas} \quad (3.4)$$

$$N_{CC} = 6405 \text{ cerdas}$$

### 3.2.4 Requerimiento de potencia de los cepillos

Considerando la operación de limpieza, se multiplicó el número de cerdas en contacto con los ganchos por el torque generado en cada cerda (fuerza de limpieza) y por la velocidad angular del cepillo. Se seleccionó la velocidad de 400 RPM por tratarse de una superficie metálica. Por otra parte, como el área superficial de los ganchos es pequeña debido al diámetro de la varilla y los espacios entre ellas, las cerdas en contacto con los ganchos en un instante de tiempo serán muy pocas. Por esto, se tomó la longitud del tramo de cepillo que entra en contacto con los ganchos, la cual es igual a dos veces el ancho de uno de los ganchos dividido entre el coseno de  $45^\circ$ , y se estimó el número de mechones que caben en dicha longitud, según la densidad de cerda establecida. Luego, se calculó el número de cerdas activas como se muestra a continuación.

- Longitud del tramo de cepillo en contacto con el gancho

$$L_{TC} = \frac{\text{anchura de un gancho}}{\text{Cos}(45^\circ)} = \frac{(148.8 \text{ mm} \cdot 2)}{\text{Cos}(45^\circ)} = 420.8 \text{ mm} \quad (3.5)$$

- Número de mechones en contacto con el gancho

$$N_{MC} = \frac{L_{TC}}{\text{distancia axial entre mechones}} = \frac{(420.8 \text{ mm})}{10 \text{ mm}} = 42.08 \quad N_{MC} = 42 \quad (3.6)$$

- Número de cerdas activas

$$N_{CA} = N_{MC} \cdot \#cerdas \text{ por mechón} = 42 \cdot 7 = 294 \quad (3.7)$$

Pensando en evitar atascamientos o bajo desempeño del sistema de limpieza, se tomó la decisión de añadir un factor de seguridad al diseño. Para esto, el número de cerdas activas

se multiplicó por 3 y se procedió a estimar el torque generado en cada cerda, el torque total requerido por el cepillo y la potencia requerida por cada cepillo mediante las ecuaciones de la sección 2.5.

- Torque generado en cada cerda:

$$T_C = F \cdot L = 0.028 \text{ N} \cdot 0.127 \text{ m} = 0.0036 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (3.8)$$

- Torque total requerido por cada cepillo:

$$T_{TC} = N_{CA} \cdot 3 \cdot T_C = 294 \cdot 3 \cdot 0.0036 \text{ N} \cdot \text{m} = 3.17 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (3.9)$$

- Potencia requerida por cada cepillo:

$$P_{TC} = T_{TC} \cdot \omega = 3.17 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot 41.88 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 132.78 \text{ W} = 0.18 \text{ hp} \quad (3.10)$$

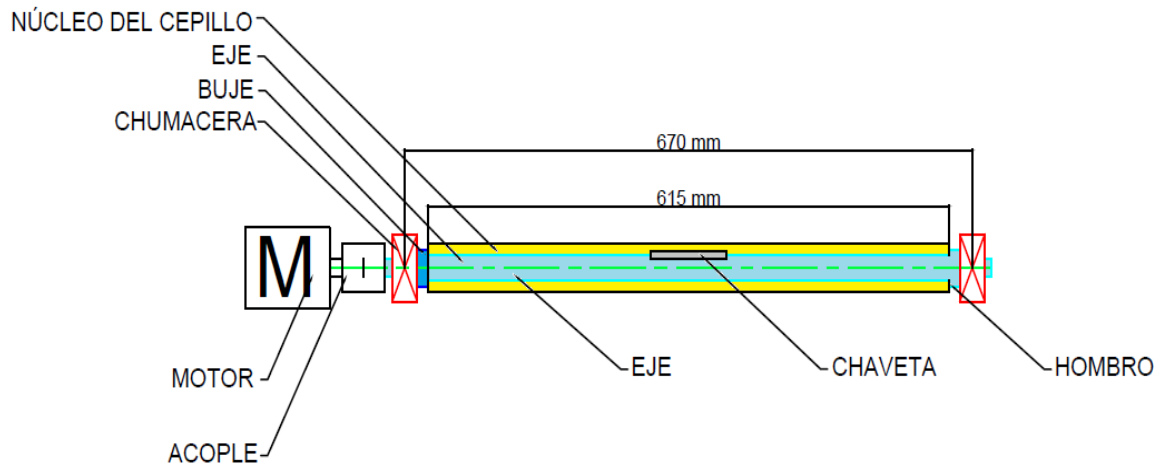
### 3.3 Diseño del eje de potencia

Fueron considerados componentes para un ensamble funcional, garantizando un posicionamiento adecuado. De esta forma, se llegó al ensamble presentado en la Figura 3-8. El eje tiene un hombro en la parte derecha donde se apoya el rodamiento, y a su vez sirve de apoyo para el núcleo del cepillo. Al lado izquierdo del cepillo se ubica un buje para restringirlo axialmente. Después se ubica otra chumacera, seguida del acople mecánico y por último el motor. La transmisión de potencia hacia el cepillo se da mediante una chaveta ubicada en el centro del eje. En este ensamble se respetó la longitud del cepillo cilíndrico (615 mm) y se fijó la distancia entre apoyos (670 mm). Así, las longitudes del hombro y del buje serán definidas después de la selección de las chumaceras.

Después de tener las longitudes, se pasa a calcular las reacciones en los apoyos y los diagramas de momentos flectores y torsores. Para esto, se plantea el diagrama de cuerpo libre del eje en el plano XY (Figura 3-9), en el cual se consideran las reacciones en las chumaceras derecha (B) e izquierda (A), una carga  $W = 50.2 \text{ N}$ , la cual es la suma de los pesos del cepillo, el eje y el buje, y también la fuerza del cepillo durante su operación

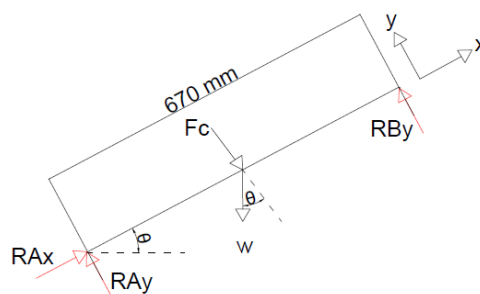
( $F_c = 8.23 \text{ N}$ ) que corresponde a la fuerza en cada cerda (0.028 N) multiplicada por el número de cerdas activas (294). Para determinar la masa real del eje, se realizaron iteraciones en las cuales establecieron los diámetros del eje en sus distintas secciones, se calcularon las cargas, luego los momentos y torsores, y por último se verificaron la resistencia del eje en sus zonas críticas. El eje se modeló como una viga simplemente apoyada.

**Figura 3-8:** Ensamble del eje de potencia.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3-9:** DCL en el plano XY con carga puntual.



Fuente: Elaboración propia.

$$\Sigma F_x = R_{Ax} - W \text{sen}(45^\circ) = 0$$

$$\Sigma F_y = R_{Ay} + R_{By} - W \text{cos}(45^\circ) - F_c = 0$$

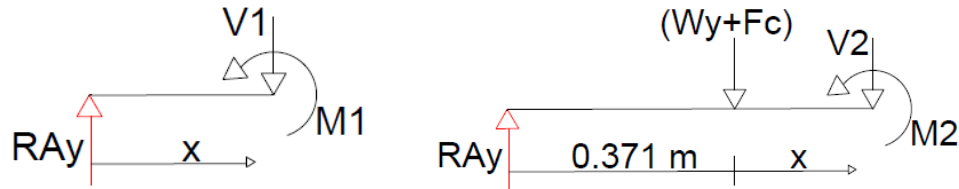


$$\Sigma M_A = RBy(L) - (W \cos(45^\circ) + F_c) \left(\frac{L}{2}\right) = 0$$

$$RAx = 35.5 \text{ N}, \quad RAy = 5.4 \text{ N}, \quad RBy = 21.86 \text{ N}$$

Como las cargas en dirección axial (X) no generan momentos flectores en el eje, para determinar el diagrama de momentos sólo se consideró la componente vertical del peso ( $W_y$ ) y la fuerza del cepillo ( $F_c$ ). Para esto, se realizaron dos cortes en el eje antes y después (Figura 3-10) de la carga puntual ( $W_y + F_c$ ).

**Figura 3-10:** Primer corte del eje y segundo corte del eje.



Fuente: Elaboración propia.

Así, la ecuación del momento en el eje, es una función por partes descrita mediante las siguientes expresiones.

$$M1 = RA_y x \quad (0 < x < 0.371 \text{ m}) \quad (3.11)$$

$$M2 = RA_y x - (F_c + W_y)(x - 0.371 \text{ m}) \quad (0.371 \text{ m} < x < 0.742 \text{ m}) \quad (3.12)$$

Por otra parte, el torque máximo al que se somete el eje de potencia, que corresponde al torque suministrado por el motor ( $T_m = 3.41 \text{ N}\cdot\text{m}$ ), se calculó según la expresión 2.27 (sección 2.9) y es constante desde el acoplamiento mecánico hasta la cuña. En el ANEXO E se presentan los diagramas de momento y torque, así como los puntos críticos del eje (A, B y C). Donde los momentos máximos se presentan en la parte media y extremo opuesto al motor. Al comparar el estado de carga de cada sección, se encuentra que mediante las ecuaciones mostradas en la sección 2.6, se calcularon los momentos flectores medios y alternantes, así como el torque medio en los puntos B y C. Asimismo, se determinaron los factores de concentración de esfuerzo.

Además, para determinar el límite de resistencia a la fluencia se consideró el acero inoxidable austenítico AISI 304 pues para este caso de estudio se requiere un acero con buena resistencia a la corrosión, sin presencia de elevadas temperaturas, agentes químicamente agresivos ni ácidos. Este material presenta un módulo de Young, límite de fluencia y resistencia a la tracción de 193 GPa, 205 MPa y 515 MPa, respectivamente. El dimensionamiento en las secciones críticas del eje se resume en el ANEXO F.

Todos los parámetros fueron calculados según las ecuaciones de la sección 2.6. Se evidencia que la sección C fue la más crítica en el análisis del eje, pues su factor de seguridad a fatiga para el diámetro especificado, fue el menor. También se puede apreciar que las demás zonas del eje no son críticas bajo condiciones de operación y sus dimensiones pueden ser mucho menores a las especificadas. Sin embargo, para no perder rigidez y evitar grandes costos de mecanizado, se conservaron las dimensiones mostradas en el ANEXO F.

### **3.3.1 Selección del acoplamiento mecánico, rodamientos y chavetas.**

Según la sección 2.8.1, en el diseño realizado en este trabajo de investigación se puede utilizar un acople rígido, pues los ejes a acoplar son colineales. Se consideró la selección mediante el catálogo de acoples comerciales en el mercado colombiano (RINGSPANN, 2017). A este catálogo se ingresó con el diámetro del eje del motor (19 mm), el cual se selecciona en la siguiente sección, y el diámetro del eje de potencia (19 mm). Luego se verificó que el torque máximo requerido en este servicio (3.41 Nm) es menor que el par de transmisión permisible del acople seleccionado (170 Nm). El acople seleccionado es un acople rígido con manguito cónico de la referencia RKW 50 d19 (Figura 3-11).

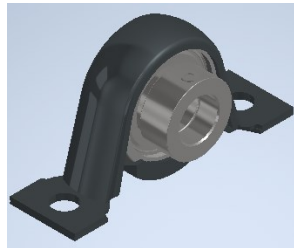
**Figura 3-11:** Acoplamiento RKW 50 d19.



Fuente: RINGSPANN (2017).

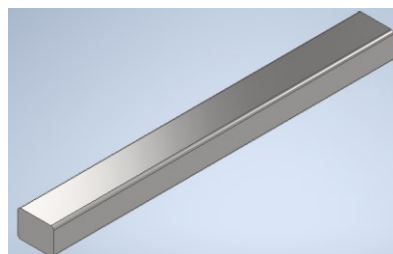
Según el espacio disponible, las bajas cargas de servicio y la colinealidad de los ejes, se seleccionó una chumacera que cuenta con un rodamiento rígido de bolas. Para esto se empleó el catálogo en línea de la compañía SKF (ANEXO G). Para lo cual se calculó la carga equivalente (69.2 N) según la expresión 2.15 y se comparó con la capacidad de carga estática (6.55 kN) y dinámica del rodamiento (12.7 kN) y además se verificó que la velocidad de servicio (400 rpm) fuese menor a la velocidad permisible del rodamiento (8500 rpm). Los factores de carga axial y radial se extrajeron de la tabla mostrada en el ANEXO H. En nuestro caso, el cociente entre la carga axial y la carga dinámica del rodamiento es  $5.4 \times 10^{-3}$ . Debido a esto, se tomaron los mayores valores presentes en esta tabla ( $X = 0.46$  e  $Y = 1.88$ ) para considerar una condición crítica de carga.

**Figura 3-12:** Chumacera SKF P52 R-3/4 FM.



Fuente: SKF (2020).

**Figura 3-13:** Chaveta de transmisión de potencia.



Fuente: Elaboración propia.

Para el dimensionamiento de la chaveta, primero se buscaron las dimensiones correspondientes para un eje de 1 pg de diámetro (ANEXO I). Obteniendo un ancho y una altura de  $1/4$  y  $3/16$  pg, respectivamente, y una profundidad del chavetero de  $3/32$  pg. Luego, considerando una chaveta se sección rectangular y extremos rectos, se

despejó la longitud de la chaveta, estipulando como material el mismo acero empleado para el eje (AISI 304) y un factor de seguridad de 1.3. Luego, la longitud de la chaveta dio de 0.3 mm. Por otra parte, se sabe que la longitud de la chaveta debe ser por lo menos 1.5 veces el diámetro del eje (JyM Soldevilla, 2008), es decir 38.1 mm. Por esta razón, se decidió redondear esta dimensión y trabajar con una chaveta de 40 mm de longitud (Figura 3-13).

### **3.3.2 Selección del motor asíncrono**

Para entregarle potencia al sistema, en un principio se pensó en utilizar un solo motor para alimentar los dos cepillos, sin embargo, bajo esta configuración se pueden requerir poleas y correas, o engranes para transmitir la potencia del motor a los ejes de ambos cepillos. Esto implica un mayor número de elemento mecánicos y por tanto mayores costos de mantenimiento. Por dicha razón, en el diseño se usarán dos motores con acople directo al núcleo de los cepillos y variadores de frecuencia para controlar la velocidad de giro, con lo cual se obtendrá un sistema más compacto.

Algunos equipos convencionales de limpieza, con cepillos de 1050 mm de longitud, emplean dos motores de 0.37 kW (0.5 hp) (Cattaruzi, 2019). Mientras otros, con cepillos de 1600 mm de longitud, requieren una potencia de  $\frac{3}{4}$  hp (Prime Equipment Group. Tomando esta información como referencia, se puede afirmar que el equipo diseñado es este trabajo de investigación requiere una menor potencia, pues las longitud de los cepillos es considerablemente menor. Siguiendo el procedimiento descrito en la sección 2.10, se calculó la potencia del motor a emplear.

Para esto, se determinó la inercia total del sistema, que corresponde a la suma de la inercia del acople mecánico ( $146.1 \text{ kg}\cdot\text{mm}^2$ ), que se obtuvo mediante un software CAD, la inercia del eje de potencia ( $212.5 \text{ kg}\cdot\text{mm}^2$ ), la inercia del cepillo cilíndrico ( $9451 \text{ kg}\cdot\text{mm}^2$ ) y la inercia intrínseca del motor ( $11400 \text{ kg}\cdot\text{mm}^2$ ), que se iteró mediante los datos del catálogo hasta encontrar la magnitud de torque real. Esta inercia total se multiplicó por la aceleración angular calculada ( $20.9 \text{ rad/s}^2$ ) y a este valor se le sumó el torque requerido por el cepillo (ver sección 3.2.4). Luego, el torque obtenido ( $3.41 \text{ N}\cdot\text{m}$ ) se multiplicó por la velocidad angular ( $41.9 \text{ rad/s}$ ) para determinar la potencia.

Posteriormente, el valor de potencia obtenido (142.8 W) se corrigió al multiplicarse por un factor de carga  $C_s = 1.5$  y dividirse sobre una eficiencia  $\eta = 75\%$ , pues este es un valor crítico de rendimiento para motores con potencias menores a 1 hp (ElectroIndustria, 2009). De esta manera, la potencia real del motor es de 285.6 W (0.38 hp). Para la selección del motor, el personal de compras de la planta de beneficio sugirió utilizar el catálogo de la compañía motores ABB, por ser el proveedor principal de la compañía. Se encontró un motor de inducción o asíncrono con la potencia más cercana a la requerida en esta aplicación (motor M2QA 80M6A), con 6 polos, 0.5 hp a 1108 RPM (velocidad asíncrona), 440 V y 60 Hz, con una corriente nominal de 0.9 A (Motores ABB, 2008).

### 3.3.3 Selección del variador de frecuencia

En primera instancia se calcula el deslizamiento ( $s$ ) del motor. Para esto se emplea la ecuación 2.25, tomando como parámetros de entrada la frecuencia de alimentación de la red eléctrica ( $f = 60 \text{ Hz}$ ), la velocidad nominal ( $n = 1108 \text{ RPM}$ ) y el número de polos ( $p = 6$ ) del motor seleccionado. De esta forma el deslizamiento será de  $s = 0.076$ . Posteriormente, se puede calcular la frecuencia que debe entregar el variador para conseguir una velocidad de 400 RPM, empleando la misma expresión 2.25. Esta frecuencia fue de 21.6 Hz. Para seleccionar el variador de frecuencia, se usó una herramienta digital de la compañía Schneider Electric (Schneider Electric, 2019b).

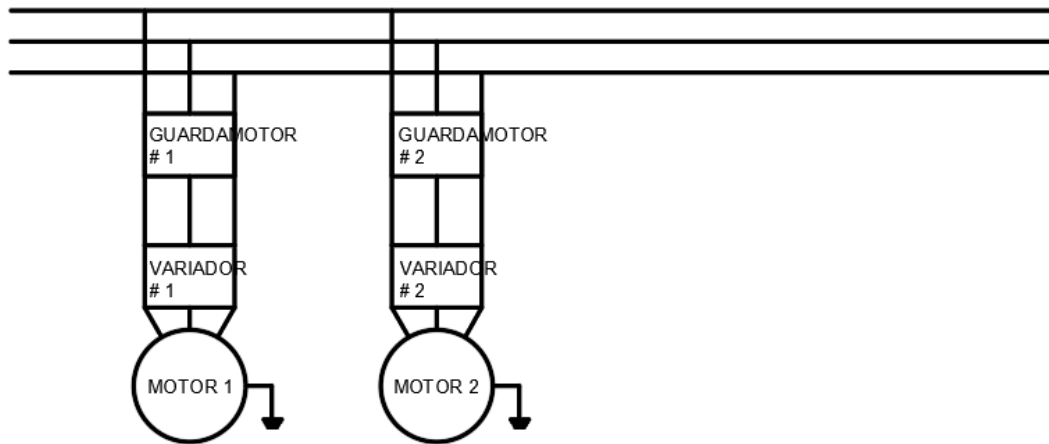
**Figura 3-14:** Variador de frecuencia Schneider ATV12P075M3 y variador de frecuencia Yaskawa CIMR-VU4A0001FAA.



Fuente: Schneider Electric (2019a).

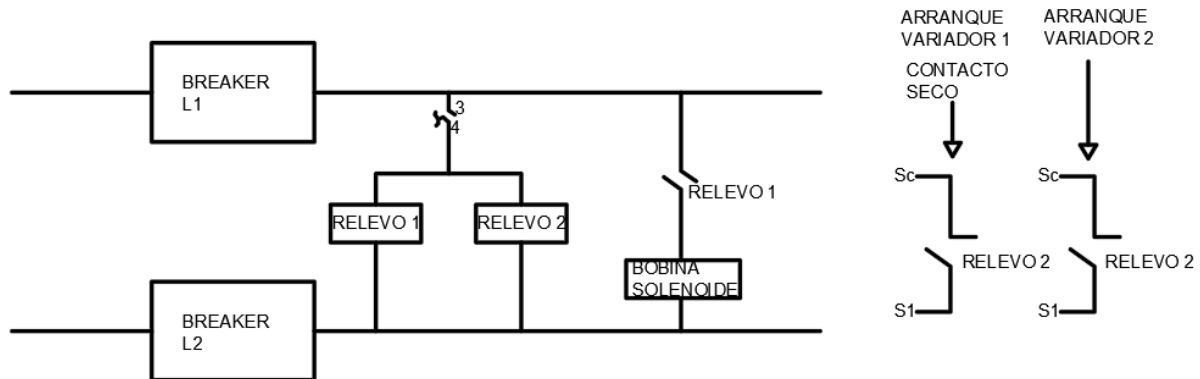
Para la cual se consideró la tensión de alimentación nominal (440 V), el número de fases de la red (3) y la potencia (0.5 hp). Especificando estos valores, la herramienta digital sugirió la referencia Schneider ATV12P075M3 (Figura 3-14). Sin embargo, al consultar esta selección con el área de proyectos de la planta de beneficio, se decidió implementar un variador Yaskawa CIMR-VU4A0001FAA (Figura 3-14), que cuenta con las mismas características que el Schneider y ha tenido un mejor desempeño en el tiempo. La ficha se muestra en el ANEXO J. En las figuras 3-16 y 3-17, se presentan los diagramas de potencia y de control de los motores del sistema de limpieza.

**Figura 3-15:** Diagrama de potencia 440 V.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3-16:** Diagrama de control 220 V.



Fuente: Elaboración propia.

## 4. Sistema de distribución de agua y estructura de soporte

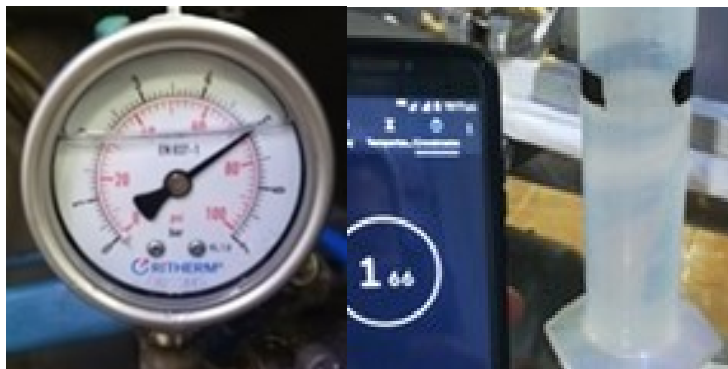
### 4.1 Medición de la presión y el caudal disponibles para el sistema de limpieza

En la Figura 4-1 se presentan los instrumentos usados para realizar la medición de presión y caudal. Asimismo, en las tablas 4-1 y 4-2, se presentan los resultados de las mediciones realizadas en la toma de agua más cercana al sistema de limpieza. De aquí se obtuvo un caudal y una presión promedio de 4.7 bar (68.17 psi) y 528.7 ml/s, respectivamente.

**Tabla 4-1:** Medición de presión.

Día	Horario	Presión (bar)
1	Mañana	4,6
	Tarde	4,6
	Noche	4,7
2	Mañana	4,6
	Tarde	4,7
	Noche	5
3	Mañana	4,6
	Tarde	4,8
	Noche	5,1
PRESIÓN PROMEDIO (bar)		4,7

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4-1:** Medición de presión en la toma de agua y aforo volumétrico.

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo de reacción promedio determinado con las simulaciones en la herramienta virtual fue de 0.375 segundos. Con este tiempo de reacción se corrigió el tiempo medido mediante la ecuación 2.31.

**Tabla 4-2:** Medición de caudal.

Día	Volumen (ml)	Tiempo (s)		Caudal (ml/s)	
		Medido	Corregido	Calculado	Corregido
1	485	1,66	0,91	292,17	532,8
	480	1,65	0,90	290,91	533,2
	490	1,68	0,93	291,67	526,8
2	460	1,64	0,89	280,49	516,7
	480	1,66	0,91	289,16	527,3
	470	1,65	0,90	284,85	522,1
3	490	1,66	0,91	295,18	538,3
	485	1,66	0,91	292,17	532,8
	470	1,64	0,89	286,59	528,0
Caudal promedio (ml/s)				289,24	528,7

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 Selección del detergente

Para la selección del detergente, se optó por emplear alguno que ya fuese empleado en la planta de beneficio, y al mismo tiempo que cumpla con los requerimientos según la suciedad presente en los ganchos. Para esto, se buscó la ficha técnica del detergente y se comparó con los parámetros mencionados en el marco teórico (sección 2.11.1).



Actualmente, en la planta operan con el detergente AV-21B. Este detergente, según su ficha técnica (Rich Chemical Green, 2015) es usado principalmente para la remoción de grasa animal, vegetal y mineral. Además, puede reemplazar la soda caustica en aplicaciones de limpieza y en la industria de alimentos se emplea para el lavado de equipo, estibas y superficies de procesamiento de alimento.

### **4.2.1 Características principales del detergente AV-21B**

Este detergente es una mezcla de tensoactivos biodegradables, secuestrantes y solventes, que actúan de forma sinérgica para remover altos niveles de grasa y suciedad. Este producto tiene un pH de entre 11,5 y 13.7 (alcalino). Además, es inicialmente amarillo claro y de baja viscosidad, sin embargo, después de un tiempo de almacenamiento puede tornarse rojizo (Rich Chemical Green, 2015). Por otra parte, la dosificación de este detergente, para la limpieza de equipos y superficies que se lavan a diario, se recomienda entre el 1% y 2%.

### **4.2.2 Efectividad de la limpieza**

Para evaluar el nivel de limpieza alcanzado al emplear el detergente seleccionado en sinergia con los cepillos cilíndricos, se recomienda realizar un análisis de microbiológico en el cual se identifican las familias de microorganismos y se hace un conteo del número de microorganismo, para luego compararlo con los rangos permisibles (Arias, 2018). Los alcances de este proyecto no permiten la verificación de la limpieza mediante un análisis microbiológico, sin embargo, se dejan plasmados los métodos convencionales de realizar dicha verificación para ser aplicados en una futura implementación.

Para realizar el análisis microbiológico, se deben tomar muestras de la superficie a evaluar. Para esto se debe seleccionar el método de muestreo, que depende de las características de la superficie. En primer lugar, se definen dos superficies principales. Las superficies inertes, son las que entran en contacto directo con los alimentos, tales como equipos, vajillas, superficies de corte, entre otros. De otro lado, las superficies vivas, son básicamente las manos de los operarios que manipulan los alimentos, y además, en esta clasificación también entran (DIGESA, 2016).

### 4.3 Selección del dosificador

A partir de la investigación realizada acerca de los tipos de dosificadores (sección 2.11.5), se consideró que la mejor opción para nuestro caso de estudio, es el uso de un dosificador de accionamiento hidráulico. Pues estos no requieren alimentación de energía eléctrica, son de fácil instalación y permiten pequeños porcentajes de dosificación. Para realizar la selección, se consultaron catálogos en línea de proveedores (Dosatronic, 2017) (TEFEN, 2017) (DilutionSolutions, 2018) (MixRite, 2016) y se evaluaron en función de los parámetros de operación establecidos en este proyecto. Estos son: la presión medida en la planta de beneficio (4.7 bar / 68.17 psi) y el caudal medido (528.17 ml/s / 8.38 GPM). De esta manera, se seleccionó la referencia D25RE5 (Figura 4-2) de la compañía Dosatron. Las especificaciones de este dosificador se presentan en la tabla 4-3.

**Tabla 4-3:** Características del dosificador D25RE5.

Rango de dosificación (%)	1 - 5
Caudal de operación (GPM)	0,5 - 11
Presión de operación (PSI)	4,3 - 85
Material	Poliacetal
Tamaño de conexión (pg)	3/4 NTP
Máxima temperatura de operación (°F)	104

Fuente: Dosatronic (2017).

**Figura 4-2:** Dosificador D25RE5.



Fuente: Dosatronic (2017).

## 4.4 Selección de boquillas

Pensando en una mayor cobertura del área de los ganchos, se decidió trabajar con una boquilla de tipo cono completo (ver sección 2.12.6). Para la selección se empleó un catálogo comercial de una compañía estadounidense (Spraying Systems co, 2018) con sede en Bogotá, Colombia. En éste, se compararon algunos tipos de boquillas entre las cuales se escogió el tipo GG, por presentar el mayor rango de ángulos de aspersion (43° a 94°). Posteriormente, se seleccionó el material de la boquilla. Los posibles materiales para este tipo de boquilla son el latón, acero dulce, acero inoxidable 303, acero inoxidable 316 y PVC (ANEXO K).

En primer lugar, pensando en la resistencia al desgaste y a la corrosión, se pensó en emplear acero (ver sección 2.12.7). Entre el inoxidable 303 y el 316, se seleccionó el 316, pues este es ampliamente usado en equipos de procesamiento de alimentos, mientras que el 303 se usa más en componentes maquinados, bujes y ejes (Castro, 2017). Luego, pensando en una mayor versatilidad a la hora de distribuir y posicionar las boquillas, se seleccionó una boquilla relativamente pequeña. Esta cuenta con un tamaño de conexión de 1/8 pg y un diámetro de salida del chorro de 2 mm. Según el catálogo, bajo las condiciones de operación del sistema de limpieza aquí diseñado, se obtendrá un chorro cónico con un ángulo de salida de 59°. En la Figura 4-3 se muestra la boquilla seleccionada.

**Figura 4-3:** Boquilla 1/8 GG – SS 5.



Fuente: Spraying Systems co (2018)

## 4.5 Cálculo de pérdidas en el sistema hidráulico

Para determinar las pérdidas en el sistema de distribución de agua, primero se procedió a calcular los caudales y velocidades en cada uno de los tramos del sistema (Figura 4-4). Luego se especificaron los diámetros nominales de los diferentes tramos en función del tamaño de las conexiones de los accesorios seleccionados. Posteriormente, se buscaron las dimensiones correspondientes a estos diámetros nominales, para tubería cédula 20. Luego, se dedujeron las ecuaciones de continuidad en los nodos del sistema de distribución. Estas se presentan a continuación.

$$Q_1 = Q_2 + Q_5 \quad (4.1)$$

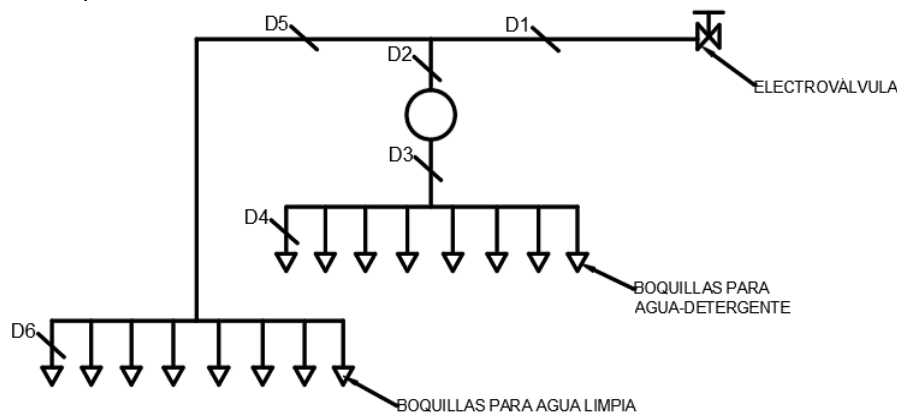
$$Q_2 = Q_3 \quad (4.2)$$

$$Q_3 = 8Q_4 \quad (4.3)$$

$$Q_5 = 8Q_6 \quad (4.4)$$

$$Q_4 = Q_6 \quad (4.5)$$

**Figura 4-4:** Esquema de distribución de tuberías.



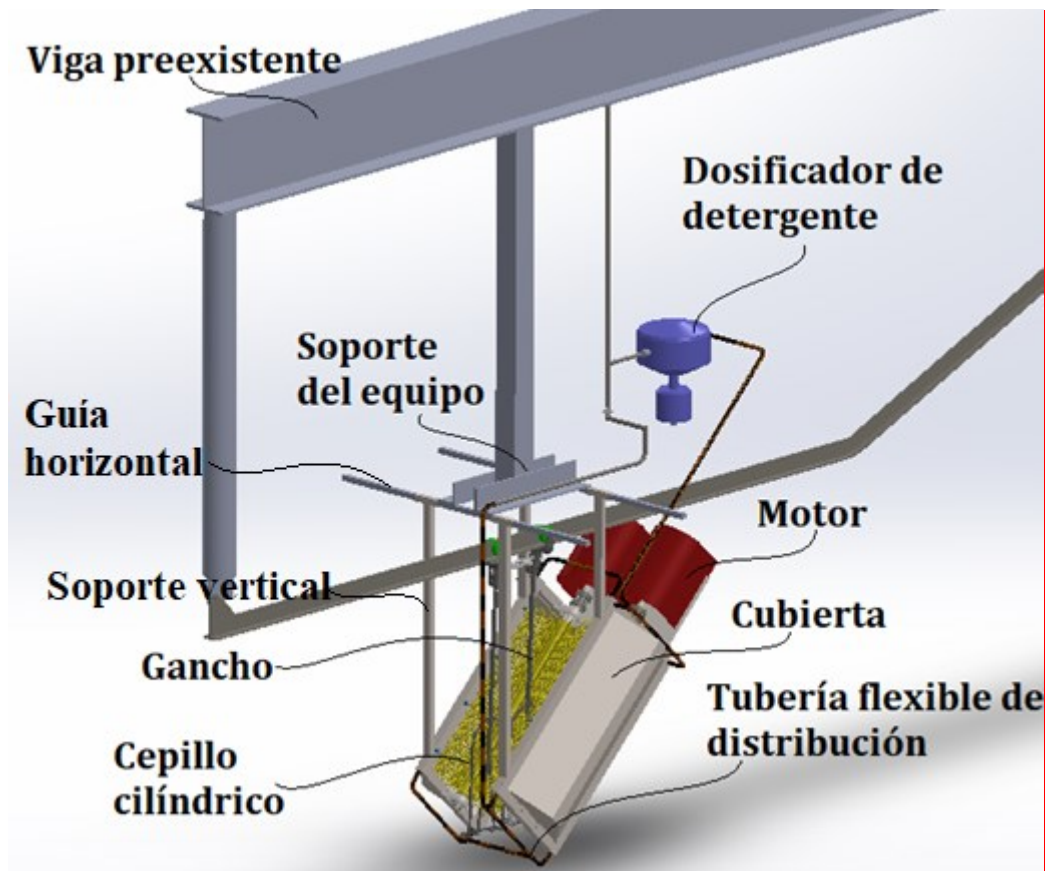
Fuente: Elaboración propia.

Solucionando este sistema de ecuaciones, donde  $Q_1$  es el caudal medido con el aforo volumétrico, se obtienen los valores mostrados en el ANEXO L. Después, mediante el procedimiento descrito en la sección 2.12.2, se calcularon las pérdidas primarias debidas

a la fricción en la tubería. Se consideró la rugosidad absoluta del PVC (0.0015 mm) (UDLAP, 2016). Los resultados se presentan en el ANEXO M. Por otro lado, para determinar las pérdidas secundarias o pérdidas en accesorios, se buscaron los factores K (Jiménez, 2017) correspondientes al tipo de accesorio y se empleó la ecuación 2.31 para determinar la magnitud de la pérdida.

En este cálculo se pueden despreciar las pérdidas en las boquillas (Guha, Barron, & Balachandar, 2011). Asimismo, para el dosificador se consideró la pérdida correspondiente a las máximas condiciones de operación, la cual se reporta en el catálogo del equipo (Dosatron, 2012) Los resultados se muestran en el ANEXO N. Por su parte, mediante un software de dibujo asistido por computador (CAD) se realizó la geometría de cada uno de los componentes del sistema de limpieza y su posterior ensamble (Figura 4-5).

**Figura 4-5:** Ensamble general del sistema de limpieza.

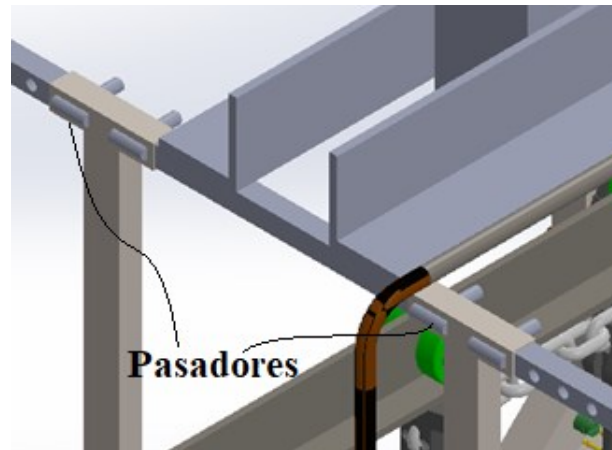


Nombre de la fuente: elaboración propia.

Para soportar el equipo se usó un perfil estructural tubular de la norma ASTM A500 75X75 con un espesor de pared de 4 mm (Colmena, 2018) el cual está unido por su parte superior a un perfil preexistente y por la parte inferior a un par de perfiles en L de 70x70x6 mm (Díaz F, 2019), que a su vez sujetan dos tubos cuadrados horizontales que sirven como guías para desplazar los cepillos y permitir el contacto con los ganchos durante la operación de limpieza, y luego retirarlos cuando la actividad haya terminado. Adicional a esto, para fijar el equipo temporalmente durante la operación, se usarán pasadores que atraviesan las guías horizontales y los soportes verticales (figura 4-6).

Por otra parte, los cepillos cuentan con una carcasa abierta, que tiene como función evitar que el agua y los residuos de los ganchos se dirijan hacia los alrededores. En vez de esto, los productos de limpieza se dirigen verticalmente hacia el suelo, el cual cuenta una rejilla de desagüe. Adicional a esto, para el sistema de distribución de detergente y agua, se usó tubería convencional y tubería flexible (o manguera) para permitir el libre desplazamiento del equipo mediante las guías ya mencionadas.

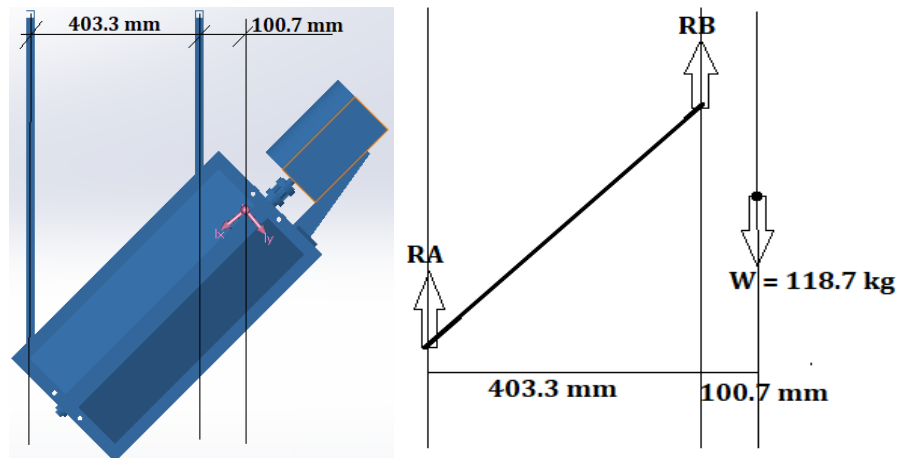
**Figura 4-6:** Pasadores para fijación del equipo



Nombre de la fuente: elaboración propia.

Para determinar la resistencia de la estructura, se empleó el software para determinar el peso (118.7 Kg) y el centroide de masa de los componentes que van a ser efectivamente soportados por la estructura. Luego, mediante el diagrama de cuerpo libre (Figura 4-7), se calcularon las reacciones en los soportes verticales.

**Figura 4-7:** Cálculo del centroide de masa y diagrama de cuerpo libre.

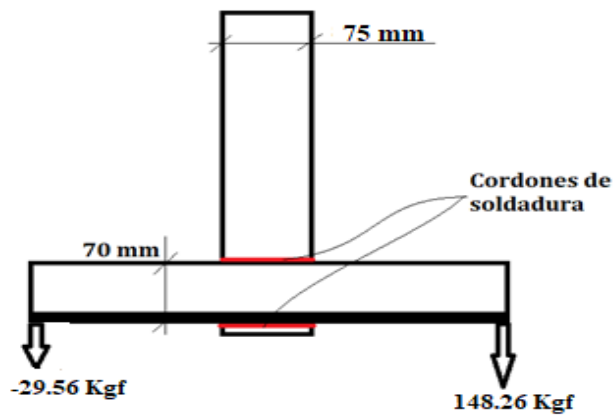


Fuente: Elaboración propia.

Donde  $RB = 148.26 \text{ Kgf}$  y  $RA = -29.56 \text{ Kgf}$ .

A partir de estas reacciones, se puede determinar el estado de carga de las soldaduras. Para este caso particular, se consideró que la soldadura más crítica es la que une el perfil vertical de sección cuadrada, con los perfiles en L. Esta configuración se muestra en la Figura 4-8.

**Figura 4-8:** Geometría para cálculo de soldadura.



Fuente: Elaboración propia.

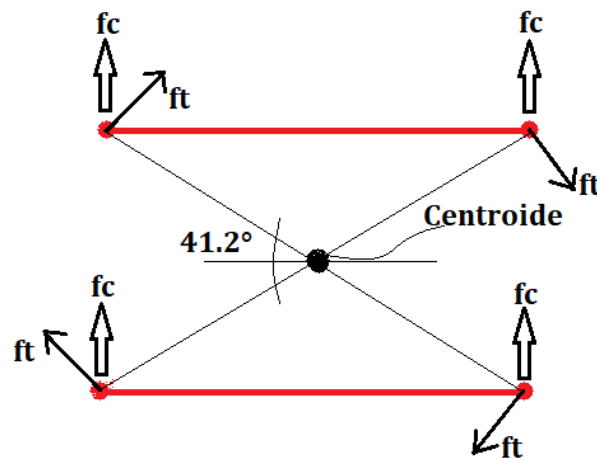
Bajo el estado de cargas mostrado, los cordones de soldadura están sometidos a torsión y cortante. Por otra parte, como el sistema de limpieza es simétrico, se calculará la soldadura para un solo lado, por lo tanto se usará la mitad de las cargas soportada por dos

cordones de soldadura y no por cuatro. Empleando las ecuaciones de la sección 2.13 se calcularon las fuerzas de torsión y cortantes por unidad de longitud en la soldadura (ANEXO O). La inercia polar se calculó mediante la expresión que se muestra a continuación. Donde  $L_1$  y  $L_2$  son el ancho del perfil cuadrado y distancia horizontal entre las reacciones  $RA$  y  $RB$ , respectivamente.

$$J_w = \frac{L_1^3 + 3L_1L_2^2}{6} \quad (5.1)$$

Para continuar con el dimensionamiento de la soldadura, se asume que toda la carga va estar soportado por un único punto de soldadura. Bajo este supuesto, se obtiene la configuración de cargas mostrada en la Figura 4-9. Luego, se realizó la suma vectorial de las fuerzas en cada uno de los puntos de soldadura y se verificó que el punto de soldadura más crítico es el del cuadrante superior izquierdo. Por último, considerando un electrodo E60 con 18 ksi (124 MPa) de esfuerzo cortante admisible (Mott, 2006) y un factor de seguridad de 2.5, se calcularon las dimensiones del cordón de soldadura. Estos resultados se presentan en la tabla 4-4.

**Figura 4-9:** Estado de cargas en puntos de soldadura.



Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 4-4, se puede observar que la soldadura está sobredimensionada. Por tal razón, una unión soldada con un solo cordón y de menor longitud hubiese sido suficiente. Sin embargo, por cuestiones de estabilidad se dejaron los dos cordones. Por otra parte, se



consideró que el perfil crítico es el perfil vertical cuadrado, pues este es quien recibe todo el peso de la estructura. Este perfil está sometido a tensión y fue chequeado según las ecuaciones de la sección 2.13.2. Los resultados mostraron un valor de esfuerzo de 0.97 MPa, el cuál es significativamente más bajo que la resistencia del material.

**Tabla 4-4:** Dimensionamiento de la soldadura.

Esfuerzo cortante permisible	MPa 124
Factor de seguridad	2.5
Resultante (N/mm)	1,27
t (mm)	0,03
w (mm)	0,04

Fuente: elaboración propia.

Como el equipo va a estar sometido a cargas variables, se realizó un análisis simplificado en el cual se estimó el tiempo en el cual deben ser revisadas las soldaduras. Para esto, se tomó como base una investigación en la cual se analizó el comportamiento a fatiga de uniones soldadas a tope en aceros de bajo carbono (Michel, Zaldivar, Andrés, & Cingualbres, 2015). En esta investigación se encontró que para uniones soldadas sometidas a un bajo nivel de carga, los ciclos límites de fatiga son 6020593. Con este valor y las RPM de los cepillos se estimó el periodo en el que se deben revisar las soldaduras.

Para esto, se asumió que cada giro del cepillo, corresponde a un ciclo de carga en las soldaduras. De esta manera, se dividieron los ciclos límite entre la velocidad de giro de los cepillos y se encontró el tiempo (15051,5 minutos). Luego este tiempo se dividió entre el periodo diario de operación del equipo de limpieza (70 min/día), dando como resultado un periodo de 215 días para la primera revisión de las soldaduras. Como el sistema de limpieza aquí diseñado cuenta con un funcionamiento continuo, se puede esperar que los 1400 ganchos con los que cuenta el transportador sean lavados en 70 minutos, como se especificó en la sección 3.1.

Esto implica una reducción en los tiempos de limpieza de aproximadamente 20 minutos. Como el transportador tiene una capacidad de 12000 pollos/hora, los 20 minutos ganados representan 4000 pollos adicionales. En 25 días hábiles, la tasa de sacrificio mensual se aumenta en 100000 pollos, que corresponde a una cuarta parte del aumento proyectado

por la empresa avícola. Desde el punto de vista económico, se sabe que 1 minuto en la operación de beneficio representa \$168.623 para la empresa avícola en cuestión. Esto es \$ 84.311.500 de ganancia mensual si fuese implementado el equipo de limpieza. Por otra parte, según averiguaciones con la compañía Tekpro, su sistema de limpieza tiene un costo de \$16.990.000 sin contar envío ni instalación.

Para algunos ítems menores como el acople, las boquillas, las chumaceras y las láminas de acero, se hizo una estimación de costos, pues no fue posible conseguir una oportuna cotización. Los resultados de esta evaluación de costos se presentan en la tabla 4-5. De aquí se puede observar que el equipo diseñado en este proyecto presenta un costo inferior (\$ 14.681.008) respecto al comercial.

**Tabla 4-5:** Costo del equipo de limpieza diseñado.

COMPONENTE	CANT.	COSTO (COP)
Dosificador	1	\$ 2.944.330
Cepillo cilíndrico	2	\$ 1.522.000
Motor eléctrico	2	\$ 1.229.298
Eje AISI 304	2	\$ 960.000
Chumacera	4	\$ 2.000.000
Acople mecánico	2	\$ 1.000.000
Boquillas	16	\$ 1.500.000
Lámina inoxidable	3	\$ 1.500.000
Variador de frecuencia	2	\$ 2.025.380
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 14.681.008</b>

Fuente: Elaboración propia

## 5. Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

Se llevó a cabo el diseño de un sistema de limpieza para un transportador aéreo de una planta de beneficio de carne de pollo. Para comenzar el diseño, se definieron los requerimientos del sistema de limpieza, en función de los tiempos y las condiciones de suciedad actuales del transportador, y además, teniendo en consideración el espacio disponible. A partir de esto, se concibió que el sistema debe contar un mecanismo de limpieza por fricción, como lo son los cepillos cilíndricos y un mecanismo auxiliar para la aplicación de agua y detergente líquido. Además, se estipuló que este sistema debe ser accionado mediante motores trifásicos y su montaje debe ser sobre el nivel del suelo (colgado).

Para los cepillos cilíndricos se seleccionó Nylon 6-12 como material de construcción, pues este posee una baja absorción de agua en comparación con otros materiales. Esto es un parámetro importante para su durabilidad y prevención de patógenos. Por otra parte, se encontró que este material es ampliamente aceptado en la industria de alimentos. El cepillo se compone de un núcleo de 2 pg de diámetro externo y 1 pg de diámetro interno, y un conjunto de cerdas o filamentos de 4 pg de longitud y 0.06 pg de diámetro.

Por otra parte, mediante las fuerzas de reacción en el cepillo durante la actividad de limpieza y su velocidad de rotación, se logró determinar una potencia requerida de 0.18 hp por cada cepillo, con lo cual se procedió a dimensionar el eje de potencia y a seleccionar el motor, el acople y las chumaceras, mediante un proceso iterativo.

Para el diseño del eje se consideraron los pesos del cepillo, el acoplamiento mecánico que transmite la potencia desde el motor, y su peso propio. Además, se consideró un par de torsión de 3.41 Nm, que es el torque máximo que puede presentarse en el motor durante

su servicio. Por otro lado, se seleccionó un acero AISI 304 por sus buenas propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión. A partir de estos parámetros se calcularon los esfuerzos flectores y torsores en los puntos críticos del eje y se calcularon los factores de seguridad a fatiga. El factor de seguridad más bajo fue de 6.5 y se presentó hacia uno de los apoyos del eje. Esta sección cuenta con un diámetro de 19 mm.

Por su parte, durante la selección del motor se consideró un factor de servicio de 1.5 y una eficiencia de 75% bajo las recomendaciones del manual de selección, obteniendo una potencia de 0.38 hp. Por otra parte, se consideró operar con un motor asíncrono o de inducción, pues estos son de bajo costo por su estructura sencilla, y además, son ligeros y fácilmente controlables mediante variadores de frecuencia. Teniendo en cuenta estos parámetros y el voltaje de alimentación establecido (440 V) se seleccionó un motor de 6 polos ABB M2QA 80M6A de 0.5 hp a 1108 RPM. Asimismo, se seleccionó un variador de frecuencia Yaskawa CIMR-VU4A0001FAA pues cumple con los rangos de operación y puede presentar mejor desempeño que otros variadores con las mismas características.

El sistema de distribución de agua-detergente y agua limpia se diseñó de tal forma que operara de forma relativamente sencilla. Este es controlado completamente desde una válvula de bola que ya existe en la planta. En agua de alimentación sigue dos caminos, por una parte se mezcla con detergente líquido por medio de un dosificador DOSATRON D25RE5 y por otro lado sigue sin mezclarse hasta llegar a un conjunto de boquillas GG  $\frac{3}{4}$  - SS 5, que impulsan el fluido hacia la superficie de los ganchos. Se consideró que el sistema de distribución debía incluir tuberías de PVC rígidas y flexible, con el fin de permitir la apertura y cierre de los cepillos cilíndricos durante la actividad de limpieza. La pérdida de carga total en el sistema, incluyendo pérdidas primarias y secundarias, fue de 0.824 m.

Por último, se verificó que la estructura planteada para soportar el sistema es lo suficientemente resistente. Esto se chequeo mediante el análisis estático del perfil considerado como el más crítico y del dimensionamiento de la soldadura. Haciendo una comparación con los sistemas comerciales, se evidencia que la principal ventaja del equipo aquí diseñado es el control de velocidad brindado por el variador de frecuencia, que a su vez evita el uso de reductores mecánicos pesados y con varios componentes de desgaste. Esto minimiza costos y tiempo de mantenimiento. Por otra parte, el adicionar un dosificador

de detergente líquido, que no viene incluido en sistemas convencionales, se supone una mejor efectividad en la limpieza de los ganchos. Otra ventaja relevante, es que el equipo desarrollado en este proyecto presentó un costo menor al de los sistemas comerciales.

## 5.2 Recomendaciones

Para trabajos futuros se sugiere la evaluación de cepillos cilíndricos con núcleos más compactos, pues se evidenció un sobredimensionamiento del eje de potencia debido al diámetro interno seleccionado para el núcleo (1 pg). Por otra parte, este sobredimensionamiento del eje, puede ocasionar elevados costos de los demás componentes como el acople y las chumaceras.

Por otra parte, se sugiere realizar el diseño de un mecanismo de apertura de los ganchos, que puede ser, por ejemplo, mediante un conjunto de barras conectadas por pines, que permitan abrir y cerrar los cepillos por el accionamiento de una palanca. Adicionalmente, se deben adicionar bujes o rodamientos lineales en la zona de deslizamiento del equipo para reducir la fricción y facilitar la apertura y cierre de los cepillos.

Además, se propone plantear una estructura de soporte diferente, que incluya perfiles de menor dimensión, para aligerar peso y así facilitar los futuros procesos de montaje del sistema. Por otro lado, se sugiere que se analice un método diferente para soportar el sistema, pues actualmente toda la carga es asumida por la unión soldada entre el perfil cuadrado y la viga principal existente. Otra configuración puede ser mediante pernos o sujeción desde la parte de arriba del perfil principal, es decir, como un apoyo en el cual los esfuerzos sean de compresión y no de tensión.

En cuanto al sistema de distribución de agua, se puede pensar en otra forma de configurar las boquillas, por ejemplo, aumentando la cantidad de boquillas o posicionándolas de forma vertical para lograr una mejor cobertura de la superficie de los ganchos.

## A. Anexo: Propiedades y aplicaciones de los aceros inoxidable austeníticos.

Grado	Composición química (%)							Propiedades	Aplicaciones
	C	Cr	Ni	Mo	S	Mn	Si		
AISI 304	<0,08	18 - 20	8 - 10,5	-	<0,03	<2	<1	Buena resistencia a la corrosión, buena conformación en frío y soldabilidad.	Industria agrícola, equipos de cocina, cubiertos y equipos de procesamiento de alimentos.
AISI 304L	<0,03	18 - 20	8 - 12	-	<0,03	<2	<1	Buena resistencia a la corrosión, buena conformación en frío y soldabilidad. Resistencia a la corrosión intercrystalina hasta 350°C.	Procesos en condiciones químicamente agresivas como atmósferas marinas, industrias petroquímicas y farmacéuticas.
AISI 316	<0,08	16 - 18,5	10 - 14	2 - 3	<0,03	<2	<0,03	Alta resistencia a los agentes ácidos y extrema resistencia a la corrosión.	
AISI 316L	<0,03	16 - 18,5	10 - 14	2 - 3	<0,03	<2	<0,03	Resistencia a la corrosión intercrystalina hasta los 400°C y alta resistencia a la corrosión superficial.	
AISI 310S	<0,08	24 - 26	19 - 22	-	<0,03	<2	<1,5	Buena resistencia a la corrosión hasta 1000°C y resistencia a la fluencia a altas temperaturas.	Equipos donde se requiera resistencia mecánica a altas temperaturas como hornos, calderas y cámaras de combustión.

Fuente: Laufgang (2008).

## B. Anexo: Comparación de detergentes.

Nombre del detergente	Descripción	Dosificación (%)	Ph	Denominación
Sekusept Cleaner	limpieza de equipos y superficies de trabajo	0,5 - 1	-	-
Deterdina	desengrasante y desincrustante para superficies	1,5	6 – 7	Ligeramente ácido
RM-39	desengrasante con propiedades anticorrosivas	1 - 5	7	Neutro
RM-58	elimina suciedad de grasa y restos de alimentos	1 - 2	13,1	Alcalino
AV-21B	remoción de grasa animal, vegetal y mineral	1 - 2	11,5 - 13,7	Alcalino

Fuente: Drager (2016), Holandina (2020), KARCHER S.A, (2013), Rich Chemical Green (2015).

## C. Anexo: Cálculo de fuerza de limpieza para una deflexión D de 1 $\mu\text{g}$ .

Diámetro		Longitud		Fuerza	
[ $\mu\text{g}$ ]	[mm]	[ $\mu\text{g}$ ]	[mm]	[lb]	[N]
0,060	1,524	4,00	101,6	5,97E-02	5,97E+01
		4,50	114,3	4,19E-02	4,19E+01
		5,00	127,0	3,06E-02	3,06E+01
0,040	1,016	4,00	101,6	1,18E-02	1,18E+01
		4,50	114,3	8,28E-03	8,28E+00
		5,00	127,0	6,04E-03	6,04E+00
0,035	0,889	4,00	101,6	6,91E-03	6,91E+00
		4,50	114,3	4,86E-03	4,86E+00
		5,00	127,0	3,54E-03	3,54E+00
0,022	0,559	4,00	101,6	1,08E-03	1,08E+00
		4,50	114,3	7,58E-04	7,58E-01
		5,00	127,0	5,53E-04	5,53E-01
0,018	0,457	4,00	101,6	4,84E-04	4,84E-01
		4,50	114,3	3,40E-04	3,40E-01
		5,00	127,0	2,48E-04	2,48E-01
0,012	0,305	4,00	101,6	9,55E-05	9,55E-02
		4,50	114,3	6,71E-05	6,71E-02
		5,00	127,0	4,89E-05	4,89E-02

Fuente: Elaboración propia.

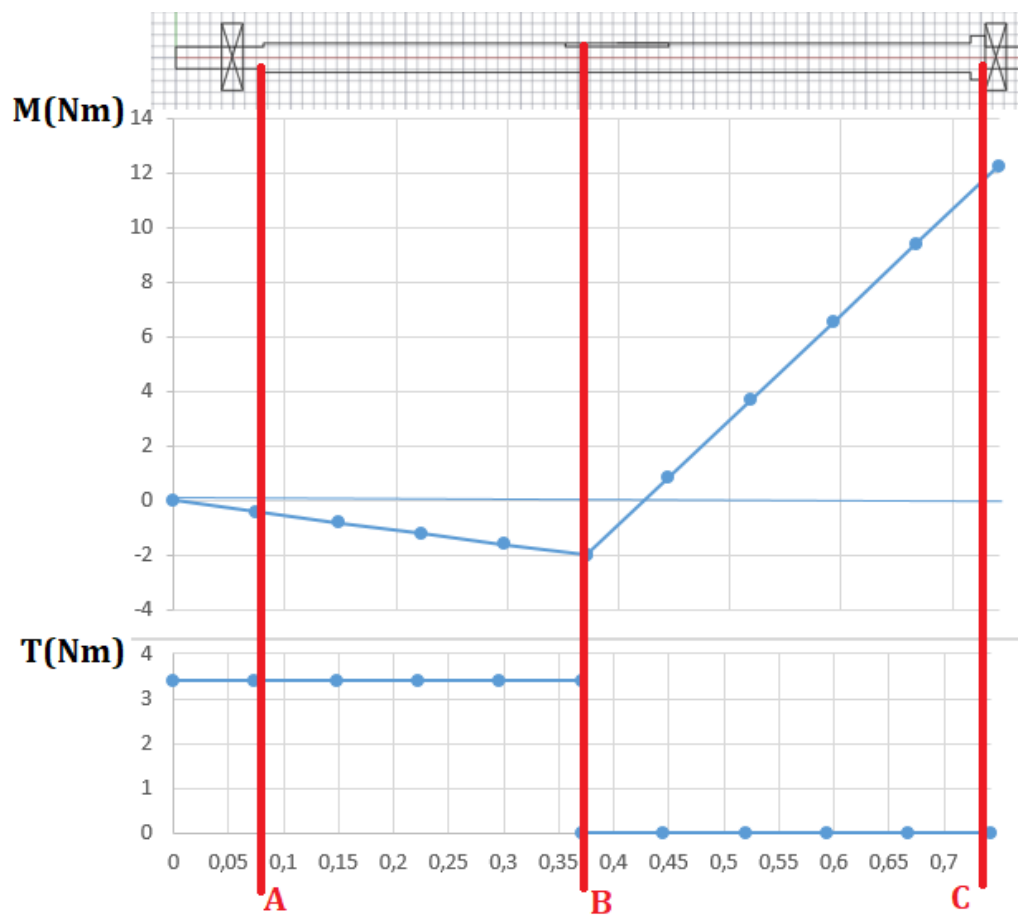


## D. Anexo: Características de los cepillos.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Magnitud</b>
Número de cepillos del sistema	-	2
Diámetro externo de los cepillos	pg [mm]	10 [254]
Longitud de los cepillos	mm	615
Inclinación de los cepillos	grados	45
Diámetro externo del núcleo	pg [mm]	2 [50.8 ]
Material del núcleo	-	Nylon 6-12
Número de mechones en el núcleo	-	915
Longitud de las cerdas	pg [mm]	4 [101.6]
Diámetro de las cerdas	pg [mm]	0.06 [1.524]
Material de las cerdas	-	Nylon 6-12
Número de cerdas por cepillo	-	6405

Fuente: Elaboración propia.

## E. Anexo: Diagrama de momentos flector y torsor.



Fuente: Elaboración propia.

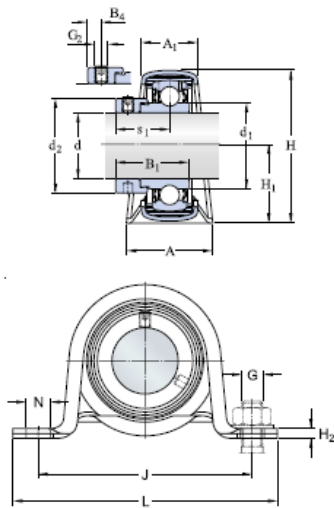
## F. Anexo: Cálculo del diámetro mínimo y factores de seguridad.

Parámetros	Sección A	Sección B	Sección C
$S_e$ (MPa)	101.4	101.4	101.4
$K_f$	1.45	1.6	1.57
$K_{fs}$	1.32	1.3	1.45
$S_{ut}$ (MPa)	515	515	515
$S_y$ (MPa)	205	205	205
$d$ (mm)	19	24.5	19
$n$	64	67	6.5

Fuente: Elaboración propia.

## G. Anexo: Ficha técnica de la chumacera.

### Dimensiones



d	19	mm
A	32	mm
A <sub>1</sub>	23	mm
B <sub>1</sub>	30,5	mm
H	56	mm
H <sub>1</sub>	28,4	mm
H <sub>2</sub>	3,2	mm
J	86	mm
L	108	mm
N	11,2	mm
s <sub>1</sub>	23,5	mm

### Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	12,7	kN
Capacidad de carga estática básica	C <sub>0</sub>	6,55	kN
Carga límite de fatiga	P <sub>u</sub>	0,28	kN
Carga radial admisible del soporte		max. 1,8	kN
Velocidad límite (con tolerancia de eje h6)		8500	r/min

### Masa

Unidad de masa		0,28	kg
----------------	--	------	----

### Mounting information

Rosca del prisionero	G <sub>2</sub>	1/4-28 UNF
----------------------	----------------	------------

### Información de montaje

Tamaño de llave hexagonal para prisionero	N	3,175	mm
Par de apriete recomendado para el prisionero		4	N·m
Diámetro recomendado para los tornillos de fijación, mm	G	10	mm
Diámetro recomendado para los tornillos de fijación, pulgadas	G	0,375	in

Fuente: SKF (2020).

## H. Anexo: Factores de carga axial y radial para rodamientos rígidos de bolas.

Factores de cálculo			
$f_0 F_a/C_0$	Series de rodamientos YAT 2, YAR 2, YARAG 2, YET 2, YEL 2, YELAG 2, YSP 2, YSPAG 2, YSA 2		
	e	X	Y
0,172	0,29	0,46	1,88
0,345	0,32	0,46	1,71
0,689	0,36	0,46	1,52
1,03	0,38	0,46	1,41
1,38	0,4	0,46	1,34
2,07	0,44	0,46	1,23
3,45	0,49	0,46	1,1
5,17	0,54	0,46	1,01
6,89	0,54	0,46	1

Fuente: SKF (2015).

# I. Anexo: Dimensiones de la cuña o chaveta

Diámetro del eje		Tamaño de la cuña		Profundidad del cuñero
Más de	Hasta (inclusive)	w	h	
$\frac{5}{16}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
		$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
		$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
		$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{32}$
$1\frac{3}{8}$	$1\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$
		$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{16}$
$2\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
		$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$

Fuente: Budynas, R., Keith Nisbett (2008).

## J. Anexo: Datos técnicos del variador de frecuencia.

### ITEM 1. Variador Yaskawa V1000 de 440VAC a 1A/0.5HP

Referencia	CIMR-VU4A0001FAA
Alimentación	440V/3F/60Hz
Corriente trabajo Nominal (Amp)	1,20
Potencia Nominal (Hp)	0,50
Corriente trabajo Severo (Amp)	1,2
Potencia Aplicación Severa (Hp)	0,50
Dimensión (WxHxD)	108x128x81



Fuente: Variadores S.A.S. (2020).

## K. Anexo: Materiales para la boquilla

Model	Connection/ Type	Connection Size (in.)	Materials
G	F	1/8 to 1/2	Brass, Mild steel (I), 303 stainless steel (SS), 316 stainless steel (316SS), Polyvinyl chloride (PVC)
GG	M	1/8 to 1/2	
GD	F, Wall-mount	1/8 to 1/2	Brass, Mild steel (I), 303 stainless steel (SS)
GGD	M, Wall-mount	1/8 to 1/2	
GA	F, Angle-type	1/8 to 1/2	
GGA	M, Angle-type	1/8 to 1/2	

Fuente: Spraying Systems co. (2018).



## L. Anexo: Velocidades en los tramos de tubería.

Tramo	D Nominal (pg)	DI (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Caudal (mm <sup>3</sup> /s)	Velocidad (mm/s)	Velocidad (m/s)
D1	1	27,86	609,70	528700	867,15	0,87
D2	¾	22,45	395,98	264350	667,58	0,67
D3	¾	22,45	395,98	264350	667,58	0,67
D4	1/8	7,80	47,78	33044	691,53	0,69
D5	½	17,12	230,30	264350	1147,83	1,15
D6	1/8	7,80	47,78	33044	691,53	0,69

Fuente: Elaboración propia

## M. Anexo: Pérdidas primarias.

Tramo	DI (m)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Reynolds	Rugosidad relativa	Factor de fricción	Pérdida primaria (m)
D1	0,03	0,87	1,50	27034,9	5,384E-05	0,01	0,021
D2	0,02	0,67	0,35	16773,1	6,680E-05	0,011	0,004
D3	0,02	0,67	0,35	16773,1	6,680E-05	0,011	0,004
D4	0,01	0,69	0,30	6035,63	1,923E-04	0,015	0,014
D5	0,02	1,15	1,50	21993,9	8,760E-05	0,008	0,047
D6	0,01	0,69	0,30	6035,63	1,923E-04	0,015	0,014
PÉRDIDA PRIMARIA TOTAL							0,104

Fuente: Elaboración propia

## N. Anexo: Pérdidas secundarias.

Accesorio	Material	Cantidad	Velocidad del flujo (m/s)	K	Pérdida (m)
T con reducción 1 - 3/4 pg	PVC	1	0,87	1,8	0,138
Reducción de 1 - 1/2 pg	PVC	1	0,87	0,25	0,019
T de 3/4 pg	PVC	1	0,67	0,6	0,027
Reducción de 3/4 - 1/8"	PVC	8	0,67	0,65	0,030
Codo de 1/2 pg	PVC	1	1,15	0,9	0,121
T de 1/2	PVC	1	1,15	0,9	0,121
Reducción de 1/2 - 1/8 pg	PVC	8	1,15	0,45	0,060
Dosificador	Poliacetal	1	-	-	0,204
PÉRDIDA SECUNDARIA TOTAL					0,720

Fuente: Elaboración propia.

## O. Anexo: Fuerza por unidad de longitud en la soldadura.

FUERZA CORTANTE		FUERZA DE TOSIÓN	
RA/2 (Kgf)	-14,78	RA/2 (Kgf)	14,78
RB/2 (Kgf)	74,13	RB/2 (Kgf)	74,13
F (Kgf)	59,35	T (Kgf mm)	17919,06
L (mm)	80,00	r (mm)	53,15
N° Cordones	2,00	Jw (mm <sup>3</sup> )	6585240,22
fc (KgF/mm)	0,37	ft (Kgf/mm)	0,14

Fuente: Elaboración propia.

## P. Anexo: Cotización equipo de limpieza Tekpro.



<b>TEKPRO SAS</b>		200221-S004
MAQUINARIA PARA EL PROCESAMIENTO DE AVES		
<b>COTIZACION EQUIPOS PLANTA DE BENEFICIO AVICOLA</b>		
SR. CARLOS SÁNCHEZ	21 de febrero de 2020	
<b>MAC POLLO</b>	Buga, Valle	

Reciba un cordial saludo.

Dando respuesta a su amable solicitud, tengo el gusto de someter a su consideración la cotización de los equipos solicitados para la planta de proceso.

ACCIONAMIENTO	2 moto-reductores 0.75 HP - Voltaje 120 V - 50 / 60 Hz
---------------	--



<b>PRECIO FACTURACION</b> (PRECIO EXWORK SABANETA, COLOMBIA)	<b>COP \$ 16'990.000</b>
---	--------------------------

**\*PRECIOS NO INCLUYEN EMBALAJE - FLETE E INSTALACION**

### CONDICIONES DE VENTA

FORMA DE PAGO 100% Anticipo

TIEMPO DE ENTREGA A convenir

Fuente: Tekpro (2019).

## Q. Anexo: Cotización del maquinado del eje de potencia.



**TALLER AGRICOLA INDUSTRIAL VELASQUEZ NIT 16.236.765-8**  
Diseño, Reparación y Montaje de toda clase de Maquinaria  
Agrícola e Industrial

Guacari, Mayo 16 2020

Señores  
CARLOS SANCHEZ Y/O

N° 0001

Asunto: COTIZACION

Reciba un cordial saludo de acuerdo a su amable invitacion. Me permito cotizarle.

ITEM	DESCRIPCION	CANT	VALOR	VALOR
1	Fabricar eje para cepillo de lavador de ganchos en material acero inoxidable 304 según plano.	1	\$ 480.000	\$ 480.000
	Maquina LAVADOR DE GANCHOS			
	Tiempo de entrega 2 Dias habiles en total.		<b>VALOR TOTAL</b>	<b>\$ 480.000</b>

Tiempo de vigencia: 30 días Calendario

GRACIAS

Atentamente  
Ing. Gilberto Velasquez

Variante Guacari-Buga km 1 enseguida a la estacion de Servicio MOBIL Villa Diana

Telefax 2530374 Cel 311-3332969 Guacari - Valle

Email: taiv.gilevez@gmail.com

Fuente: Taller Agrícola Industrial Velasquez.

## R. Anexo: Cotización de cepillos cilíndricos.



Ingeniería en Materiales y Repuestos Plásticos de uso Industrial.

Señores: AVIDESA DE OCCIDENTE SA  
NIT: 815000863  
Direccion: KM 3 VIA BUGA-TULUA  
Ciudad: GUADALAJARA DE BUGA

Atendiendo a su solicitud, nos permitimos cotizar los siguientes artículo:

MATERIALES Y REPUESTOS PLASTICOS DE USO MECANICOS  
EN NYLON, EMPACK (UHMV), TEFLON, BAQUELITA, ACETAL,  
POLIETILENO, REVESTIMIENTO EN POLIURETANO.  
**POLINDUSTRIALES COLOMBIA S.A.S.**  
**Nit. 900.394.253-1**

CONTACTO:  
VENDEDOR:  
FORMA DE PAGO:

**COTIZACION No: 025908**  
Fecha y Hora: 06/05/2020 02:20:37 p.m.  
Solicitud No. : 36266  
Pagina : 1

DAVID ARENAS  
ANGELA PATRICIA AGUDELO GIL  
CREDITO

VALIDEZ DE LA COTIZACION HASTA: 04/06/2020

Itm	Código	Descripción	Cantidad	Unitario	Dias Entrega	Subtotal
0	5905992025400250615	CEPILLO LAVA GANCHOS POLIPROPILENO NATURAL 254MM X 25.4MM X 615MM LONG. -	2.00	761,000.00	12	1,522,000.00

Fuente: POLINDUSTRIALES SAS.

## S. Anexo: Cotización del motor eléctrico.



TECNICAS EN AUTOMATIZACION Y CONTROL S.A.S.  
 Distribuidor autorizado Danfoss Colombia  
 Nit 900.488.465-0  
 Av. 3CN # 38A - 41, Cali - Colombia  
 Tel.: +57 2 374 70 88 - 374 70 93  
 E-mail: [asistente@tecnacon.com](mailto:asistente@tecnacon.com)  
<http://www.tecnacon.com>

COTIZACIÓN	FECHA
050451-20	04-05-20

Para/to

Empresa / Nombre / Company / Name  
 AVIDESA DE OCCIDENTE - MAC POLLO  
 MARCO JAVIER RESTREPO ( E )  
 Analista Compras Repuestos  
[analistacomprasrepuestos.occidente@macpollo.com](mailto:analistacomprasrepuestos.occidente@macpollo.com)

De/from

Bralam Serna González  
 Grupo de ventas Danfoss, Power Electronic Division.  
 Representante de ventas, Region Sur Occidente  
 Cel: +57 313 730 3990  
 Tel 57 -2- 3747093  
[b.serna@tecnacon.com](mailto:b.serna@tecnacon.com) [ventascall1@danfoss.com](mailto:ventascall1@danfoss.com)

Item	Cant.	Código	Descripción	V/Unit	V/Total
3	1	PG.50123CPA	MOTOR WEG DE 0,5HP DE 1200RPM 6 POLOS A 220/440VAC, 2,05/1,02Amperios, F.S. 1,15, Eficiencia 95,8%, Frame 80 peso 13 kg	\$ 614.649	\$ 614.649
SUBTOTAL				\$	614.649

### CARACTERISTICAS TECNICAS

#### CONDICIONES COMERCIALES:

**VALIDEZ DE LA OFERTA:** Hasta acabar existencias

**GARANTÍA:** 24 meses por defectos de fabricación, para ítem 1 Y 2

**GARANTÍA:** 12 meses por defectos de fabricación, para ítem 3

**MONEDA:** Los valores están expresados en COP

**ENTREGA:** 2 A 3 DIAS SALVO VENTA PREVIA, SE ENTREGA SOBRE PLATAFORMA DE CAMION

#### FORMA DE PAGO:

##### NOTAS:

- \* Favor enviar orden de compra a nombre de TECNACON S.A.S
- \* Precios no incluyen IVA
- \* En caso de pago con cheque favor girar a nombre de TECNACON S.A.S
- \* Transferir a la cuenta corriente Bancolombia 06423682461
- \* Para órdenes inferiores a USD 50, el cliente asumirá el costo del flete.
- \* Asesoría y asistencia para programación de los equipos sujeta a las políticas de servicio

Gracias por darnos la oportunidad de ofrecerle este presupuesto. Si desea discutir alguno de los puntos o alguna información adicional, no dude en contactarnos.

Fuente: Compañía Tecnacon.



## T. Anexo: Cotización del variador de frecuencia.



Jueves, 30 de abril de 2020  
VARIADORES S.A.S  
Nit.800.002.482-8

N° Cotización: SGT-200430-00

**Empresa:** Avidesa de Occidente SA  
**Contacto:** David Arenas  
**Cargo:** Analista Compras Repuestos  
**Tel:** 3158937478  
**Dirección:** Km 3 Carretera Central Vía Buga-Tuluá

**Nit:** 815000863  
**Correo:** [auxcomprasrepuestos.occidente@macpollo.com](mailto:auxcomprasrepuestos.occidente@macpollo.com)  
**Ciudad:** Buga

Le agradecemos su interés presentándole a continuación nuestra oferta según sus requerimientos y las condiciones generales de nuestra empresa.

### ITEM 1. Variador Yaskawa V1000 de 440VAC a 1A/0.5HP

Referencia	CIMR-VU4A0001FAA
Alimentación	440V/3F/60Hz
Corriente trabajo Nominal (Amp)	1,20
Potencia Nominal (Hp)	0,50
Corriente trabajo Severo (Amp)	1,2
Potencia Aplicación Severa (Hp)	0,50
Dimensión (WxHxD)	108x128x81



PRECIO  
ENTREGA

\$ 851.640 + I.V.A (Desc. Inc. MEGA OFERTA)  
INMEDIATA SALVO VENTA PREVIA, 2 A 3 DIAS

Fuente: Variadores S.A.S (2020).

## U. Anexo: Cotización del dosificador (precio en dólares).

Estimado Sr Sanchez

Esta unidad D25RESVFII tiene un costo de \$612.40 . Esta disponible para entrega

Kit de empaques #PJ119VF \$59.16.

El flete seria de \$178 Vía FedEx (Valor aproximado para solo transporte)

Esta unidad es para trabajar con activos ácidos . Si requiere una para activos alcalinos ---D25RE5AFII tiene el mismo precio

Para una cotización formal necesitamos :

NOMBRE DE LA EMPRESA

DIRECCION DE FACTURACION

DIRECCION DE ENTREGA

PERSONA CONTACTO . Nombre/ Telefono/ Correo

Atento a sus comentarios

Thanks,

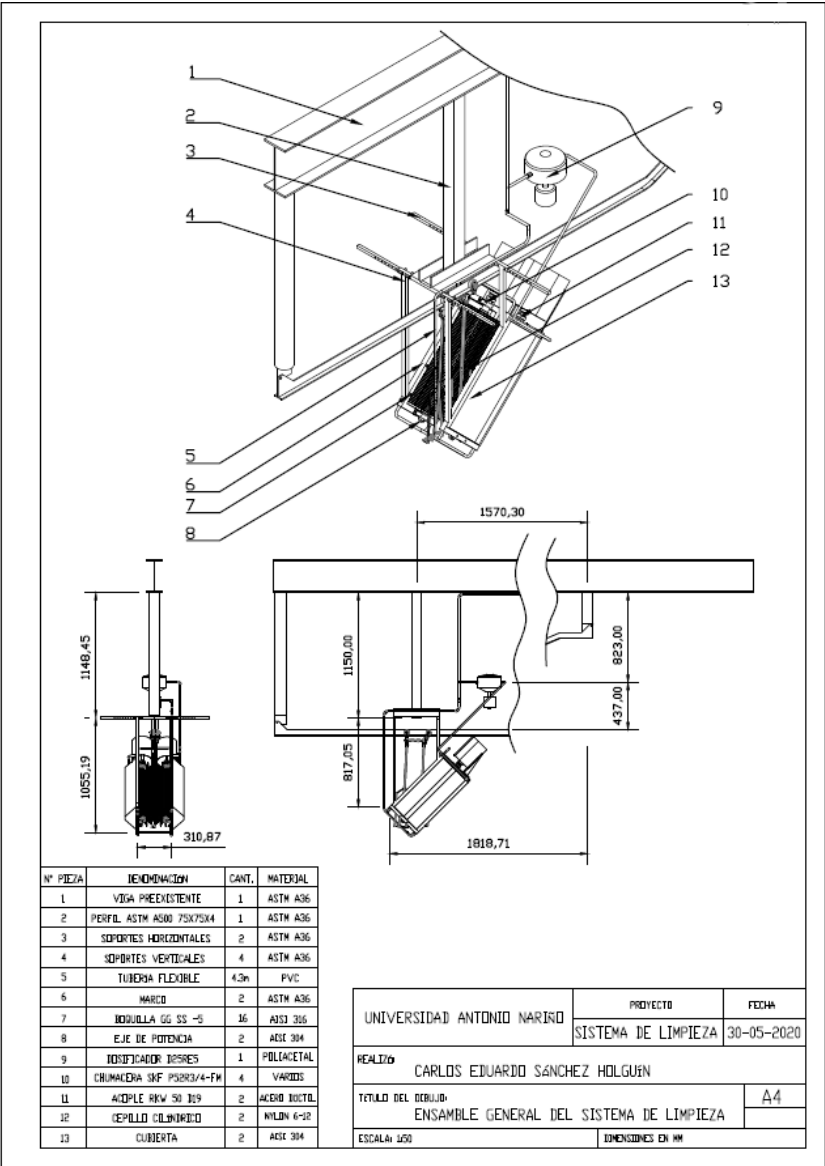


**Juan Emilio Acosta**  
Dosatron/Dilution Solutions  
Business Manager – Latin America  
Office: ++1 727 443 5404, ext. 155  
Direct: ++1 727 219 9936  
2090 Sunnydale Blvd. • Clearwater, FL 33765 USA  
Juan.acosta@dosatronusa.com  
[juan.acosta@dilutionsolutions.com](mailto:juan.acosta@dilutionsolutions.com)  
[www.dilutionsolutions.com](http://www.dilutionsolutions.com) • [www.dosatronusa.com](http://www.dosatronusa.com)

We at Dilution Solutions, Inc. are happy to share our knowledge and experience to aid in product selection, where applicable, based on the operational parameters of your application that

Fuente: Dilution Solutions (2018)

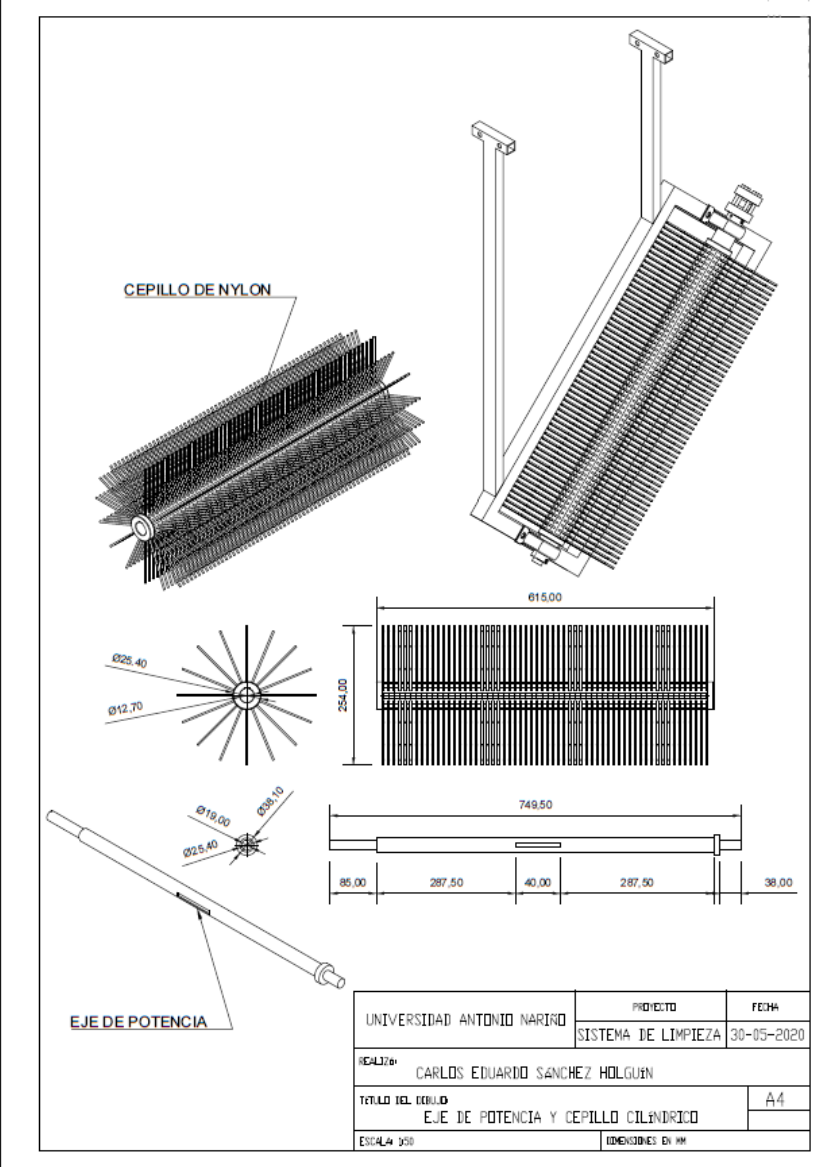
# V. Anexo: Detalle del ensamble general.



Fuente: elaboración propia.



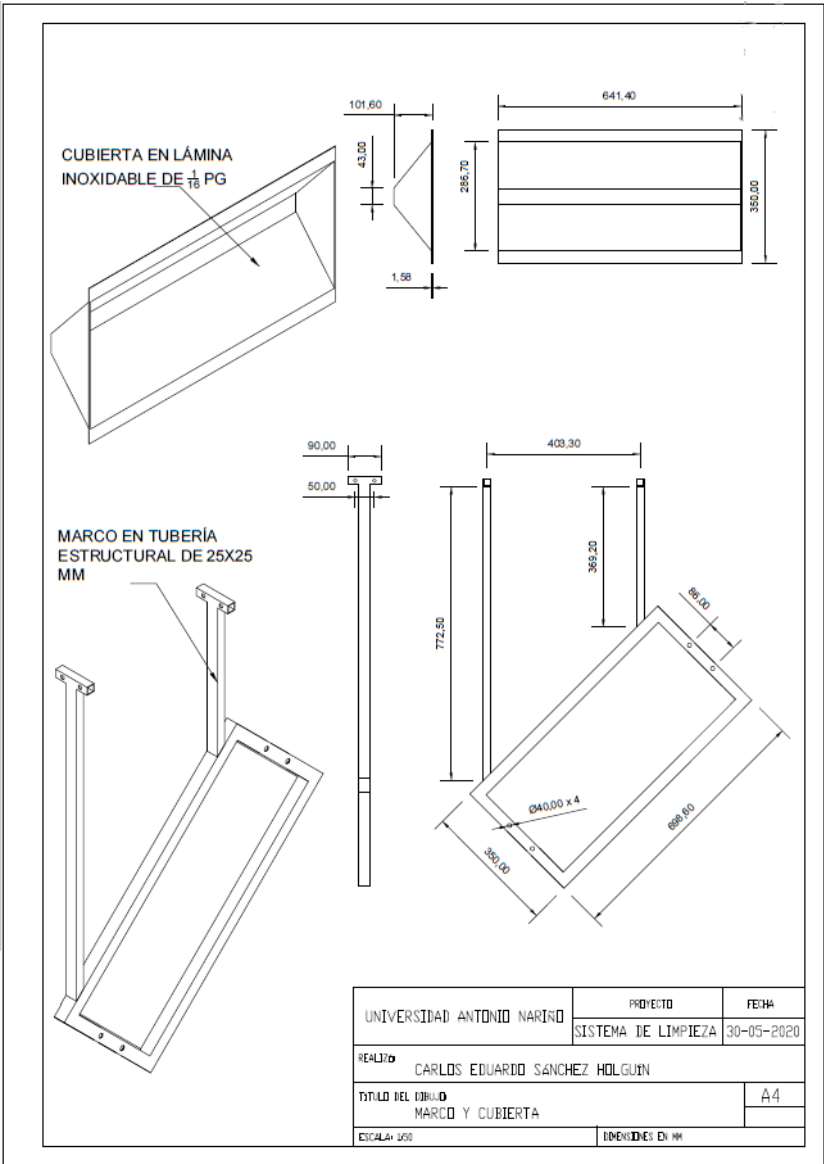
# W. Anexo: Detalle del ensamble del cepillo.



Fuente: elaboración propia.



# X. Anexo: Detalle del marco y la cubierta.



Fuente: elaboración propia.

## Bibliografía

ACQUATRON. (2016). *Bombas Dosificadoras*. Mayo 2 de 2020, de ACQUATRON Sitio web: <https://www.acquatron.com.ar/man/esp/instrumento-pH-C.pdf>

ACRISON. (2016). *Dosificadores Gravimétricos*. Mayo 2 de 2020, de ACRISON Sitio web: <https://acrison.com/es/linea-de-productos/dosificadores-gravimetricos/>

Aguilera, M. (2014). *Determinantes del desarrollo en la avicultura en Colombia*. Octubre 15 de 2019, de Banco de la república Sitio web: [https://www.banrep.gov.co/docum/Lectura\\_finanzas/pdf/dtser\\_214.pdf](https://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/dtser_214.pdf)

American Chemical Society. (1995). *The first nylon plant*. Enero 4 de 2020, de American Chemical Society Sitio web: <http://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/whatischemistry/landmarks/carotherspolymers/first-nylon-plant-historical-resource.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>

Arana, L. (2017). *Variadores de frecuencia para el control de velocidad de motores asíncronos jaula de ardilla*. Marzo 25 de 2020, de UCE Sitio web: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/12956/1/T-UCE-0010-002-2017.pdf>

Arias, B. (2018). *Evaluación de la concentración óptima de detergentes y desinfectante industrial, en el proceso de lavado y desinfección de envases de policarbonato para el embotellamiento de agua de consumo humano* (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.



- Banco Caja Social. (2017). *Avícola: Oportunidades y riesgos*. Septiembre 4 de 2019, de Banco Caja Social Sitio web:  
[https://www.bancocajasocial.co/sites/default/files/page/file/avicola\\_-\\_primer\\_semestre\\_de\\_2017.pdf](https://www.bancocajasocial.co/sites/default/files/page/file/avicola_-_primer_semestre_de_2017.pdf)
- Beltrán, J., & Cepeda, J. (2008). *Automatización de una máquina dosificadora para dosis pequeñas de líquidos en la empresa Fuller Pinto* (Tesis de pregrado). Universidad San Buenaventura, Bogotá, Colombia.
- Betelgeux. (2010). *Desinfectantes Utilizados En La Industria Alimentaria*. Febrero 2 de 2020, de Betelgeux Sitio web:  
[betelgeux.es/images/files/Documentos/Articulo\\_boletin\\_Desinfectantes\\_y\\_Modo\\_de\\_accion\\_en\\_IIAA.pdf](http://betelgeux.es/images/files/Documentos/Articulo_boletin_Desinfectantes_y_Modo_de_accion_en_IIAA.pdf)
- Boada, M. (2016). *Motores mínimos (I)*. Marzo 25 de 2020, de Investigación y Ciencia Sitio web: <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/en-el-interior-del-cerebro-690/motores-mnimos-i-14762>
- Bohórquez, V. (2014). *Perspectiva de la producción avícola en Colombia* (Tesis de maestría). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
- Bonnet. (2017). *Clasificación de los aceros inoxidables*. Abril 18 de 2020, de Bonnet Sitio web: <http://www.bonnet.es/clasificacionacerinox.pdf>
- Budynas, R., Keith Nisbett, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGraw Hill.
- Bueno, D. (2014). *Motor Eléctrico - Tipos y Fundamentos*. Marzo 27 de 2020, de Mecanizados Sitio web:  
<https://1mecanizadoelarenal.files.wordpress.com/2014/11/motor-electrico.pdf>
- Calero, J., & Paneluisa, E. (2015). *Diseño y construcción de un dosificador para el llenado de glicerina en manómetros de tipo Bourdon*. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.

- Calle, C., Estrada, M., Barrios, D., & Agudelo, G. (2015, agosto 14). Construcción de un índice de competitividad para el sector avícola colombiano. *Lecturas de Economía*, 83, pp. 193-228.
- Carmelo Iriondo S.L. (2002). *Cepillos para aplicaciones industriales*. Noviembre 9 de 2019, de Carmelo Iriondo S.L Sitio web:  
<https://www.ciriondo.com/PDFs/16%20Articulos%20para%20Aplicaciones%20Especificas/04%20Cepillos%20Industriales-CI.pdf>
- Carmelo Iriondo SL. (2015). *Dosificación y mezcla proporcional de aceites*. Abril 4 de 2020, de Carmelo Iriondo SL. Sitio web: [https://www.ciriondo.com/PDFs/04 Dosificacion y Control Fluidos/01 Dosatron-CI.pdf](https://www.ciriondo.com/PDFs/04%20Dosificacion%20y%20Control%20Fluidos/01%20Dosatron-CI.pdf)
- Carrión, F. (2012). *Materials pel disseny de productes tèxtils*. Enero 9 de 2020, de UPC Sitio web: <https://ocw.upc.edu/sites/all/modules/ocw/estadistiques/download.php?file=320076/2014/1/54816/poliester-5467.pdf>
- Cattaruzi. (2019). *Shackle washer*. Abril 26 de 2020, de Cattaruzi Sitio web: [http://www.cattaruzzi.com/en/SHACKLE\\_WASHER](http://www.cattaruzzi.com/en/SHACKLE_WASHER)
- Cepillería Aker. (2014). *Catálogo Aker*. Enero 5 de 2020, de Cepillería Aker Sitio web: <https://cepilleriaaker.com/catalogo/CatalogoCepilleriaAker.pdf>
- Colmena. (2018). *Perfil estructural tubular*. Abril 27 de 2020, de Tubos Colmena Sitio web: <http://tuboscolmena.com/colmena/wp-content/uploads/2018/03/perfil-estructural.pdf>
- DMC. (2019). *Ejes de alineación*. Mayo 1 de 2020, de DCM Sitio web: <https://www.dmc.pt/es/alinhamento-de-veios/>
- Díaz, F. (2018). *Cuñas y pasadores*. Marzo 29 de 2020, de UNAM Sitio web: [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m1/Cuñas\\_y\\_pasadores.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m1/Cuñas_y_pasadores.pdf)

- Díaz, F. (2019). *Perfiles estructurales*. Mayo 3 de 2020, de UNAM Sitio web:  
[http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m5/Perfiles\\_estructurales\\_2019-1.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m5/Perfiles_estructurales_2019-1.pdf)
- DIGESA. (2016). *Guía Técnica Sobre Criterios Y Procedimientos Para El Examen Microbiológico De Superficies En Relación Con Alimentos Y Bebidas*. Marzo 4 de 2020, de DIGESA Sitio web:  
[http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma\\_consulta/microbiologico.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/microbiologico.pdf)
- DilutionSolutions. (2018). *Product Catalogue*. Abril 15 de 2020, de DilutionSolutions Sitio web: <https://dilutionsolutions.com/wp-content/uploads/DilutionSolutionsCatalogue-2Up-3.pdf>
- Dosatronic. (2017). *Dosificador proporcional*. Abril 14 de 2020, de Dosatronic Sitio web:  
Dosatronic. (2017). Catálogo de productos. Abril 15 de 2020, de Dosatronic Sitio web:  
[https://www.dosatronic.de/fileadmin/user\\_upload/produktuebersicht/DOSATRONIC\\_Catalogo\\_de\\_Productos\\_1901\\_capitulo\\_III\\_ES.pdf](https://www.dosatronic.de/fileadmin/user_upload/produktuebersicht/DOSATRONIC_Catalogo_de_Productos_1901_capitulo_III_ES.pdf)
- Dosatron. (2012). *Water powered dosing technology*. Abril 14 de 2020, de Dosatron Sitio web:  
[http://bd.dosatron.com/Products\\_Produits/Depliant\\_Leaflet/AnimalHealth/DOCDEPGAMMEALEN\\_BD.pdf](http://bd.dosatron.com/Products_Produits/Depliant_Leaflet/AnimalHealth/DOCDEPGAMMEALEN_BD.pdf)
- Dosatron. (2020). *Salud animal*. Abril 10 de 2020, de Dosatron Sitio web:  
<https://www.dosatronusa.com/medicators-for-animal-health?language=es>
- Drager. (2016). *Sekusept® Cleaner Detergente líquido Limpieza, desinfección y secado*. Marzo 25 de 2020, de Drager Sitio web:  
<https://www.draeger.com/Products/Content/sekusept-cleaner-fluessigreiniger-pi-9094628-es.pdf>

- DrobTECH. (2018). *Equipo de procesamiento avícola*. Septiembre 15 de 2019, de drobTECH Sitio web: <http://es.drobtech.com/productos/5,1,matanza/24,lavador-de-ganchos.html>
- DuPont. (2014). *Filament Performance in Brushes*. Noviembre 26 de 2019, de DuPont Sitio web: <http://www.fiberbuilt.com/industrial/wp-content/uploads/sites/4/2016/11/Dupont-Filament-Performance.pdf>
- Fábregas, X., & Feu, M. R. (1997). Control higiénico-sanitario de carnes frescas de aves de corral. *EUROCARNE*, 59, 1-9.
- FDA. (2017). *CFR Code of Federal Regulations Title 21*. Noviembre 1 de 2019, de FDA Sitio web: <https://extranet.who.int/nutrition/gina/sites/default/files/USA%202017%20Code%20of%20Federal%20Regulations%20Title%2021.pdf>
- FLOW CHEM. (2018). *Detergentes especializados para el sector de alimentos*. Septiembre 16 de 2019, de FLOW CHEM Sitio web: <https://www.flowchem.com.co/productos/detergentes-especializados/>
- Gordon Brush. (2018). *Cylinder Brushes*. Enero 25 de 2020, de Gordon Brush Sitio web: [http://www.marxbrush.com/catalog/pr\\_cyln2.htm](http://www.marxbrush.com/catalog/pr_cyln2.htm)
- GRID. (2018). *Motor de Inducción y Motor Síncrono*. Noviembre 24 de 2020, de Rexel Sitio web: <https://thegrid.rexel.com/en-us/knowledge/electricista-wiki-espanol/w/wiki/812/motor-de-induccion-y-motor-sincrono-similitudes-y-diferencias>
- Grisso, R., Hipkins, P., Askew, S. D., Hipkins, L., & McCall, D. (2013, marzo 15). Nozzles : Selection and Sizing. *Virginia Corporative Extension*, 442, 1-12.

- Guha, A., Barron, R. M., & Balachandar, R. (2010, diciembre 10). An experimental and numerical study of water jet cleaning process. *Journal of Materials Processing Technology*, 211, 610-618.
- Holandina. (2020). *Deterdina*. Abril 2 de 2020, de Holandina Sitio web: <https://www.holandinacolombia.com/wp-content/uploads/2020/03/MSDS-DETERDINA-01-2020.pdf>
- Hönh, R., & Moros, D. (2002). *Diseño y construcción de una desplumadora para el sector avícola* (Tesis de pregrado). *Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela*.
- Indumetavi. (2017). *Maquinaria para Mataderos de Aves*. Mayo 29 de 2020, de Indumetavi Sitio web: <https://www.indumetavi.com.ar/productos-automaticos/>
- IngeElectro. (2011). *Frecuencia a aplicar a un motor AC*. Febrero 25 de 2020, de TodoExpertos Sitio web: <https://www.todoexpertos.com/categorias/ciencias-e-ingenieria/ingenieria-electronica/respuestas/2788954/frecuencia-aplicar-a-un-motor>
- ISO. (2008). *Norma Internacional ISO 9001:2008*. Octubre 15 de 2019, de ISO Sitio web: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-4:v2:es>
- Jiménez, S. (2017). *Pérdidas de carga localizadas o en accesorios*. Marzo 9 de 2020, de Comisión Nacional del Agua Sitio web: <https://www.hidraulicafacil.com/2017/07/perdida-de-carga-localizada-o-en.html>
- JyM Soldevilla. (2008). *DIMENSIONES CHAVETEROS Y CHAVETAS*. Abril 22 de 2020, de JyM Soldevilla Sitio web: [https://www.jymsoldevilla.net/archivos/upload/170810202921\\_chavet.pdf](https://www.jymsoldevilla.net/archivos/upload/170810202921_chavet.pdf)
- KARCHER S.A. (2013). *Detergentes*. Febrero 24, de ARLIM Sitio web: <http://www.arlim-sl.com/karcher/detergente.pdf>

Laufgang, S. (2008). *Acero inoxidable*. Abril 12 de 2020, de Cia. General de Aceros S.A  
Sitio web: [http://materias.fi.uba.ar/6713/ACEROS\\_INOXIDABLES.pdf](http://materias.fi.uba.ar/6713/ACEROS_INOXIDABLES.pdf)

Michel, P., Zaldivar, A., Andrés, R., & Cingualbres, E. (2015, Octubre 25). Evaluación del comportamiento a fatiga de una unión soldada a tope de acero AISI 1015. *Revista de ingeniería mecánica*, 19, 22-34.

Ministerio de salud y protección social. (2013). *Resolución 2674 de 2013*. Noviembre 10 de 2020, de Minsalud Sitio web:  
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-2674-de-2013.pdf>

Ministerio de salud pública. (2011). *Guía de Procedimientos para la Limpieza y Desinfección en Unidades de Rehidratación*. Diciembre 14 de 2020, de Ministerio de salud pública Sitio web:  
[https://www.paho.org/dor/images/stories/archivos/4\\_Guia\\_Limpieza\\_Unidades\\_Rehidratacion.pdf](https://www.paho.org/dor/images/stories/archivos/4_Guia_Limpieza_Unidades_Rehidratacion.pdf)

Minsalud. (2015). *Abecé de zoonosis*. Diciembre 13 de 2020, de Minsalud Sitio web:  
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/abc-zoonosis.pdf>

MixRite. (2016). *Bomba de dosificación proporcional*. Abril 20 de 2020, de MixRite Sitio web:  
[https://www.3tres3.com/3tres3\\_common/tienda/doc/Manual%20Espa%C3%B1ol.pdf](https://www.3tres3.com/3tres3_common/tienda/doc/Manual%20Espa%C3%B1ol.pdf)

Motores ABB. (2008). *Motores eléctricos trifásicos*. Marzo 2 de 2020, de Motores ABB  
Sitio web: <http://www2.electron.frba.utn.edu.ar/archivos/Motores.pdf>

Mott, R. (2006). *Elementos de elementos de máquinas*. México: Parson Education.

Norton, R. (2011). *Diseño de máquinas*. México: Pearson Education.

- NSK. (2012). *Tipos Y Características De Los Rodamientos*. Abril 8 de 2020, de NSK Sitio web: <https://sicoris-sa.com/pdf/catalogos/nsk-rodamientos-catalogo-general-catalogo.pdf>
- OIRSA. (2010). *Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y de Manufactura (BPM)*. Diciembre 1 de 2019, de Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria Sitio web: [https://honduras.eregulations.org/media/SENASA-DIA\\_FV\\_BPA-BPM\\_Guia%20Tecnica%20Industria\\_Agosto2010\\_1.pdf](https://honduras.eregulations.org/media/SENASA-DIA_FV_BPA-BPM_Guia%20Tecnica%20Industria_Agosto2010_1.pdf)
- Ortiz, D., & Zambrano, C. (2017). *Diseño de un sistema de dosificación volumétrica para jabón en polvo* (Tesis de pregrado). Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia.
- Parra, F. (2018). *Manejo de productos no conformes en la industria avícola mediante lineamientos de la norma ISO 9001-2008* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Pogliani. (2018). *Filamentos Sintéticos*. Octubre 11 2019, de Pogliani Sitio web: <https://www.poglianisrl.com/filamentos-sinteticos>
- Prime Equipment Group. (2017). *SW-Series Shackle Washers*. Diciembre 14 de 2019, de Prime Equipment Group Sitio web: <https://www.primeequipmentgroup.com/catalog-item/sw-series-shackle-washers-2/>
- Processing Poultry Equipment. (2019). Chicken shackle washer. Retrieved November 14, 2019, from [https://www.poultryprocessingequipment.com/killing\\_and\\_defeathering/shackle\\_washer.asp](https://www.poultryprocessingequipment.com/killing_and_defeathering/shackle_washer.asp)
- PUCP. (2001). *Selección de motores asíncronos trifásicos*. Abril 22 de 2020, de PUCP Sitio web: [http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28690/maquinas\\_electricas\\_cap09.pdf?sequence=22&isAllowed=y](http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28690/maquinas_electricas_cap09.pdf?sequence=22&isAllowed=y)

- Rich Chemical Green. (2015). *DETERGENTE AV-21 B*. Marzo 2 de 2020, de Rich Chemical Green Sitio web: <http://richchemicalgreen.com/producto/av-21-b-avicola/>
- RINGSPANN. (2017). *Acoplamiento para la unión de ejes*. Marzo 6 de 2020, de RINGSPANN Sitio web: <http://www.ringspann.fr/en/files/p44-S-170522-1496393044-1822.pdf>
- Rivera, H. A., Malaver, J. D., Peña, K. T., & Malaver Marleny Tatiana. (2011). *Perdurabilidad empresarial: el caso del sector avícola en Colombia*. Octubre 28 de 2019, de Facultad de Administración Universidad Del Rosario Sitio web: [https://www.urosario.edu.co/Escuela-administracion/Documentos/investigacion/publicaciones/DI119\\_Admon\\_finalb.pdf](https://www.urosario.edu.co/Escuela-administracion/Documentos/investigacion/publicaciones/DI119_Admon_finalb.pdf)
- Rodríguez, H. (2018). *Cálculo Mecánico De Las Uniones Soldadas*. Marzo 30 de 2020, de Ingemecánica Sitio web: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/tutorial46.pdf>
- Ruiz, B. (2016). *Los 5 temas de la avicultura colombiana en 2016*. Septiembre 15 de 2019, de IndustriaAvícola Sitio web: <https://www.industriaavicola.net/enfermedades-y-sanidad/los-5-temas-de-la-avicultura-colombiana-en-2016/>
- SACEMA. (2017). *Cepillo cilíndrico de limpieza*. Enero 5 de 2020, de Direct Industry Sitio web: <https://www.directindustry.es/prod/sacema/product-161936-1690170.html>
- Salager, J. (1988). *DETERGENTES: COMPONENTES, FABRICACIÓN, FÓRMULAS*. Febrero 15 de 2020, de Laboratorio FIRP Sitio web: [http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S332A\\_Detergentes.pdf](http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S332A_Detergentes.pdf)
- Schneider Electric. (2018). *¿Cómo seleccionar correctamente un variador de velocidad?*. Abril 19 de 2020, de Schneider Electric Sitio web: <https://www.se.com/co/es/faqs/FA352323/>



- Schneider Electric. (2019). Product data sheet ATV12P075M3. Abril 20 de 2020, de Schneider Electric Sitio web: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Product+Data+Sheet&p\\_File\\_Name=ATV12P075M3\\_DATASHEET\\_ES\\_es-ES.pdf&p\\_Doc\\_Ref=ATV12P075M3\\_DATASHEET](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Product+Data+Sheet&p_File_Name=ATV12P075M3_DATASHEET_ES_es-ES.pdf&p_Doc_Ref=ATV12P075M3_DATASHEET)
- Schneider Electric. (2019). *Variable speed drives - Altivar 12*. Abril 22 de 2020, de Schneider Electric Sitio web: <https://www.se.com/ww/en/product-range/2253-altivar-12?parent-category-id=2900&filter=business-1-industrial-automation-and-control>
- SKF. (2012). *Bearing calculation*. Marzo 21 de 2020, de SKF Sitio web: <http://www.skf.com/binary/49-62749/RTB-1-05-Bearing-calculation.pdf>
- SKF. (2015). *Selección de Rodamientos*. Marzo 22 de 2020, de SKF Sitio web: [https://www.skf.com/binary/87-121486/0901d19680416953-10000\\_2-ES---Rolling-%20%20%20bearings.pdf](https://www.skf.com/binary/87-121486/0901d19680416953-10000_2-ES---Rolling-%20%20%20bearings.pdf)
- SKF. (2020). *Soportes de pie con rodamientos de bolas*. Abril 2 de 2020, de SKF Sitio web: <http://redirects.skf.com/mx/products/bearings-units-housings/product-tables.html>
- Spartan de Chile. (2012). *Funciones de los Detergentes*. Enero 11 de 2020, de Sociedad Chilena de Enfermeras Sitio web: <http://www.enfermeraspabellonyesterilizacion.cl/trabajos/detergentes.pdf>
- Spiral Brushes. (2019). *Nylon Cylinder Brushes*. Noviembre 16 de 2019, de Spiral Brushes Sitio web: <https://www.spiralbrushes.com/brush-products/cylinder-brushes-and-conveyor-cleaning-brushes/nylon-cylinder-brushes/>
- Spraying Systems co. (2018). *Full Cone Nozzles*. Mayo 3 de 2020, de Direct Industry Sitio web: <https://pdf.directindustry.com/pdf/spraying-systems-co/full-cone-nozzles/5300-266867.html>

- TeeJet Technologies. (2013). *A User's Guide To Spray Nozzles To Spray Nozzles*. Abril 30 de 2020, de TeeJet Technologies Sitio web:  
[https://www.teejet.com/CMSImages/TEEJET/documents/bulletins/spray-application/LI-TJ178\\_a-users-guide-to-spray-nozzles.pdf](https://www.teejet.com/CMSImages/TEEJET/documents/bulletins/spray-application/LI-TJ178_a-users-guide-to-spray-nozzles.pdf)
- TEFEN. (2017). *Bombas dosificadoras*. Abril 5 de 2020, de TEFEN Sitio web:  
[http://tefentech.com/wp-content/uploads/2017/02/tefen\\_catalog\\_mixrite\\_140514\\_SPANISH\\_.pdf](http://tefentech.com/wp-content/uploads/2017/02/tefen_catalog_mixrite_140514_SPANISH_.pdf)
- Tekpro. (2019). *Lavadora de Ganchos y Cadena*. Noviembre 3 de 2019, de Tekpro Sitio web: <https://tekpro.com.co/portfolio/lavadora-ganchos-cadena/>
- TIMKEN. (2019). *Catálogo de rodamientos*. Abril 27 de 2020, de TIMKEN Sitio web:  
<https://www.timken.com/wp-content/uploads/2019/08/E10481-ES.pdf>
- Tornado Industries. (2017). *What Is Cylindrical Brush Scrubbing and How Does it Work*. Enero 16 de 2020, de Tornado Industries Sitio web:  
<https://tornadovac.com/knowledge/cylindrical-brush-scrubbers.aspx>
- UDLAP. (2016). *Tuberías de PVC y Polietileno PAD*. Febrero 28 de 2020, de UDLAP Sitio web:  
[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/mgc/osorio\\_e\\_fj/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mgc/osorio_e_fj/capitulo3.pdf)
- UGR. (2001). *Diseño del sistema de tuberías y cálculo de bombas*. Marzo 11 de 2020, de AulaVirtualPFC Sitio web:  
<http://www.ugr.es/~aulavirtualpfc/q/descargas/documentos/BOMBAS%20Y%20TUBERIAS.pdf>
- UNB. (2013). *Manual de laboratorio de resistencia de materiales*. Abril 12 de 2020, de citt Sitio web: <http://www.udb.edu.sv/udb/archivo/guia/mecanica-ingenieria/resistencia-de-materiales/2013/i/guia-5.pdf>

- UNL. (2011). *Uniones móviles*. Abril 19 de 2020, de UNL Sitio web:  
<http://www.eis.unl.edu.ar/z/adjuntos/239/Chaveta1.pdf>
- UNLP. (2018). *Mecanismos y elementos de máquinas*. Abril 14 de 2020, de UNLP Sitio web: [http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/PRESENTACION ACOPLES y JUNTAS 2018 -Junta Cardanica.pdf](http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/PRESENTACION%20ACOPLES%20y%20JUNTAS%202018%20-Junta%20Cardanica.pdf)
- Vanegas, L. (2010). *Acoples*. Abril 27 de 2020, de UTP Sitio web:  
<http://blog.utp.edu.co/lvanegas/files/2011/08/Cap-11-P1-Acoples.pdf>
- Variadores S.A.S. (2020). *Línea industrial: Variadores*. Mayo 1 de 2020, de Variadores S.A.S Sitio web: <http://www.variadores.com.co/linea-industrial/>
- Veeco. (2017). *Immersion and Single Wafer Processing*. Noviembre 28 de 2019, de Veeco Sitio web:  
<https://veeco.s3.amazonaws.com/4aeb8cf29b1d479cff4febbbbc5fcab2.pdf>
- Viteri, M. (2013). *Mejoramiento del Proceso de Sacrificio de Pollos de Engorde, Utilizando el Analisis de Peligros y Puntos de Control Critico (HACCP) en la Empresa Pofrescol LTDA* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Weg. (2008). *Induction motors fed by PWM frequency inverters*. Abril 30 de 2020, de Weg Sitio web: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hcb/h20/WEG-induction-motors-fed-by-pwm-frequency-inverters-50029350-brochure-english-web.pdf>
- White, F. (2011). *Fluid Mechanics*. New York: McGraw Hill.