Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería Electromecánica

Propuesta de diseño detallado de una máquina lavadora y clasificadora adaptada a las necesidades de la producción de limones en la hacienda San Antonio

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Ingeniero Electromecánico.

AUTORA:

Andrea Stephanie Jiménez Cabrera

DIRECTOR:

Ing. José Fabricio Cuenca Granda Mg. Sc

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 23 de enero de 2024

Ing. José Fabricio Cuenca Granda, Mg. Sc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de titulación denominado: **Propuesta de diseño detallado de una máquina lavadora y clasificadora adaptada a las necesidades de la producción de limones en la hacienda San Antonio**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Electromecánica**, de la autoría de la estudiante **Andrea Stephanie Jiménez Cabrera,** con **cédula de identidad** Nro. **1105108698**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Firmado electrónicamente por:
JOSE FABRICIO
CUENCA GRANDA

Ing. José Fabricio Cuenca Granda, Mg. Sc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo**, Andrea Stephanie Jiménez Cabrera,** declaro ser autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

C. I: 1105108698

Fecha: 23/01/2024

Correo electrónico: asjimenez@unl.edu.ec

Teléfono: 0985139290

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Andrea Stephanie Jiménez Cabrera,** declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Propuesta de diseño detallado de una máquina lavadora y clasificadora adaptada a las necesidades de la producción de limones en la hacienda San Antonio;** como requisito para optar el título de **Ingeniera Electromecánica**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la reproducción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Digital Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con los cuales tengan convenio la Universidad.
La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

Para la constancia de esta autorización en la ciudad de Loja, a los veintitrés días del mes de enero del dos mil veinticuatro.

Firma:

Autor: Andrea Stephanie Jiménez Cabrera
C.I.: 1105108698
Correo electrónico: asjimenez@unl.edu.ec
Teléfono: 0985139290
Dirección: Av. Calicuchima

DATOS COMPLEMENTARIOS:
Director del trabajo de titulación: Ing. José Fabricio Cuenca Granda, Mg. Sc

Dedicatoria

A mis padres y esposo.

Con inmenso cariño y gratitud, dedico este Trabajo de Titulación a ustedes. Son una parte esencial de mi vida y un pilar fundamental en mi camino hacia el logro de este importante hito académico. El apoyo incondicional, amor y aliento han sido un regalo invaluable que ha impulsado mi éxito.

La presencia constante y la fe en mis capacidades me han inspirado a perseverar incluso en los momentos más desafiantes. Han sido mi roca, brindándome la sabiduría, paciencia y comprensión cuando más lo he necesitado. Gracias por escucharme, por alentarme y por creer en mí incluso cuando dudaba de mí misma.

Este Trabajo de Titulación es el resultado de un esfuerzo conjunto, y quiero reconocer sus contribuciones significativas en cada paso del camino. Su influencia ha sido una fuente inagotable de inspiración y motivación para seguir adelante, y no puedo agradecerles lo suficiente por sus valiosos aportes.

Hoy, al celebrar este logro, celebro también nuestra conexión profunda y duradera. Sus presencias en mi vida ha sido un regalo inmenso, y este logro es solo una pequeña muestra de cómo el amor de ustedes y apoyo han dado forma a mi camino académico y personal.

Que esta dedicatoria sea un recordatorio permanente de mi gratitud hacia ustedes. Sus influencias perdurarán más allá de estas páginas, y llevaré sus enseñanzas y su amor conmigo a medida que emprenda nuevos desafíos en el futuro.

Con todo mi amor y agradecimiento,

Andrea Stephanie Jiménez Cabrera

Agradecimientos

Querida familia y estimados docentes,
Hoy, al llegar a la culminación de este emocionante viaje de Titulación, quiero detenerme un momento para expresar mi más profundo agradecimiento a cada uno de ustedes. Han sido pilares fundamentales en mi camino hacia la realización de este trabajo, y su apoyo incondicional ha sido un regalo invaluable.

A mi amada familia, les agradezco desde lo más profundo de mi corazón. Su amor, paciencia y comprensión han sido mi refugio durante los momentos de desafío y dudas. Cada palabra de aliento, cada abrazo, ha sido un bálsamo que me ha dado fuerzas para seguir adelante. Gracias por creer en mí, por estar siempre presentes y por ser mi motivación constante. Este trabajo de titulación es el resultado de nuestro trabajo en equipo y la celebración de nuestro amor y apoyo mutuo.

A mis queridos docentes, quiero expresar mi gratitud por su dedicación y pasión por la enseñanza. Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi vida académica y personal. Gracias por compartir su conocimiento, por alentarme a explorar nuevas ideas y por desafiarme a superar mis propios límites. Su orientación y sabiduría han sido una luz en el camino, guiándome hacia el éxito. Valoraré siempre sus enseñanzas y los consideraré modelos a seguir en mi carrera profesional.

A mis asesores y tutores, les agradezco sinceramente por su guía experta y apoyo constante. Sus consejos y comentarios constructivos han enriquecido enormemente mi trabajo y me han ayudado a crecer tanto a nivel académico como personal. Su compromiso con mi éxito y desarrollo ha sido evidente en cada interacción, y estoy profundamente agradecido/a por su dedicación y disposición para compartir su experiencia. Celebro este hito en mi vida sabiendo que ha sido posible gracias a su presencia y contribución en ella.

Andrea Stephanie Jiménez Cabrera

Índice de contenidos

Portada ..... **i**

Certificación ..... **ii**

Autoría ..... **iii**

Carta de autorización ..... **iv**

Dedicatoria ..... **v**

Agradecimientos ..... **vi**

Índice de contenidos ..... **vii**

Índice de figuras ..... **x**

Índice de tablas ..... **xii**

Índice de anexo ..... **xiii**

1 Título **1**

2 Resumen **2**

Abstract 3

3 Introducción **4**

3.1 Objetivos 5

3.1.1 Objetivo general 5

3.1.2 Objetivos específicos 5

4 Marco teórico **6**

4.1 Generalidades 6

4.1.1 Limón 6

4.1.2 Tipos de limones 6

4.2 Proceso de clasificado del limón 6

4.2.1 Recolección del limón y almacenamiento del cítrico 7

4.2.2 Proceso de lavado 7

4.2.3 Proceso de secado del limón 7

4.3 Tipos de clasificadoras de limones 8

4.3.1 Introducción 8
4.4 Método de lavado de limones 11
4.4.1 Introducción 11
4.4.2 Aplicación del detergente en el lavado del limón 12
4.4.3 Lavadora de limones 12
4.5 Normas establecidas en el país 17
4.5.1 Norma Técnica Ecuatoriana 17
4.6 Propuesta de diseño de la máquina lavadora y secadora de limones 18
4.6.1 Esquema de diseño de la lavadora y clasificadora de limones 18
4.7 Bombas hidráulicas 24
4.8 Resistencia de materiales 24
4.8.1 Cálculo del recipiente de agua 24
5 Metodología 25
5.1 Materiales 25
5.2 Métodos 25
5.2.1 Analizar y caracterizar las dimensiones del limón 26
5.2.2 Descripción del proceso de clasificación del limón 27
5.2.3 Diseño y selección de componentes mecánicos 29
5.2.4 Lavado 29
5.2.5 Dosificación 32
5.2.6 Cepillos 32
5.3 Selección del motorreductor 32
5.3.1 Cálculo del sistema de rotación 36
5.3.2 Cálculo del sistema hidráulico 37
5.3.3 Cálculo del sistema de transferencia 39
5.3.4 Sistema de clasificación 40
6 Resultados 42

6.1 Descripción de la máquina diseñada 42
6.1.1 Mediciones del limón 43
6.1.2 Selección del tipo de lavadora de limones 45
6.1.3 Tipo de clasificadora de limones 46
6.1.4 Diseño de la máquina lavadora y clasificadora 48
6.1.5 Parámetros de diseño de la máquina 48
6.1.6 Diseño mecánico 48
6.2 Sistema de lavado 54
6.2.1 Almacenamiento inicial 54
6.2.2 Transportador y cepillos 59
6.2.3 Lavado 75
6.2.4 Transportador de transferencia 100
6.2.5 Sistema eléctrico 105
6.3 Sistema de clasificado 109
6.3.1 Secador 109
6.3.2 Clasificador 111
6.4 Costo de instalación del proyecto 114
6.4.1 Materiales e insumos 114
7 Discusión 118
8 Conclusiones 120
9 Recomendaciones 122
10 Bibliografía 123
11 Anexos 127

Índice de figuras

Figura 1. Clasificación del producto. 7
Figura 2. Clasificación del limón de manera manual. 8
Figura 3. Anillos clasificadores. 9
Figura 4. Clasificadora por cilindros rotatorios. 10
Figura 5. Mesa clasificadora de limones. 10
Figura 6. Clasificadora de conducto inclinado. 11
Figura 7. Lavadora tipo cilindro con aspersores de agua. 13
Figura 8: Lavadora de cepillos giratorios con aspersores de agua. 14
Figura 9. Lavadora de cepillo con tanque sumergido. 16
Figura 10. Estructura del diseño de la lavadora y clasificadora de limones. 18
Figura 11. Tipos de cepillos 19
Figura 12. Rodamiento de doble hilera de rodillos 23
Figura 13. Motorreductor axial 24
Figura 14. Principales partes del sistema diseñado. 42
Figura 15. Mediciones de limones. 43
Figura 16. Distribución normal del diámetro del limón. 44
Figura 17. Conjunto de la máquina lavadora, secadora y clasificadora 53
Figura 18. Tolva de alimentación. 55
Figura 19. Medidas en mm de la tolva de la clasificadora de limones. 57
Figura 20. Pared de la tolva de alimentación. 58
Figura 21. Compuerta dosificadora. 59
Figura 22. Transportador y cepillos. 60
Figura 23. Número de cepillos 61
Figura 24. Fuerza que debe ejercer el rodillo para mover un limón. 61
Figura 25. Número de hileras de limones. 63
Figura 26. Configuración del sistema de trasmisión. 64
Figura 27. Sistema de lavado a plena carga. 67
Figura 28. Motorreductor coaxial MR 3I 64 - 71 B 6 68
Figura 29. Catarina es impulsada por una cadena. 68
Figura 30. Configuración de la transmisión de la cadena. 69
Figura 31. Eje 71
Figura 32. Chumacera de pared. 72

Figura 33. Bandeja de drenaje. 73
Figura 34. Medidas de la bandeja de drenaje. 74
Figura 35. Sistema de bombeo..... 75
Figura 36. Diseño del recipiente. 76
Figura 37. Aspersor BA-04..... 78
Figura 38. Cobertura y altura de instalación. 79
Figura 39. Distribución de la tubería de la máquina lavadora. 79
Figura 40. Sistema de transporte y secado de los limones. 101
Figura 41. Configuración de la banda transportadora. 102
Figura 42. Circuito de fuerza. 106
Figura 43. Circuito de control. 108
Figura 44. Botón de paro de emergencia con llave. 108
Figura 45. Tablero de control INX403020 de acero inoxidable. 109
Figura 46. Diseño para el sistema de secado. 110
Figura 47. Ventilador BS-500..... 111
Figura 48. Estructura de la clasificadora de limones. 111
Figura 49. Criba. 112
Figura 50. Tolva colectora de limones. 113

Índice de tablas

Tabla 1. Secciones del cilindro rotatorio 10
Tabla 2. Alternativas para el diseño del método de limpieza. 12
Tabla 3. Descripción de las partes de la lavadora tipo cilindro. 13
Tabla 4. Descripción de la lavadora de cepillos giratorios. 15
Tabla 5. Lavadora de cepillos con tanque sumergido 16
Tabla 6. Factor de servicio en función del tipo de mecanismo. 21
Tabla 7. Mediciones del limón 43
Tabla 8. Criterios a evaluar para el tipo de máquina a diseñar 45
Tabla 9. Ponderación para la selección de la lavadora 45
Tabla 10. Aceptación para cada opción de la lavadora 46
Tabla 11. Selección del tipo de lavadora a diseñar 46
Tabla 12. Criterios para evaluar 47
Tabla 13. Valores asignados para cada alternativa 47
Tabla 14. Selección del SCORE de mejor puntuación. 47
Tabla 15. Sistemas de la máquina clasificadora y lavadora de limones. 49
Tabla 16. Características de la cadena y catarina seleccionada. 71
Tabla 17. Selección de rodamientos. 72
Tabla 18. Selección del aspersor. 78
Tabla 19. Pérdidas en el tramo E-F. 90
Tabla 20. Pérdidas por longitud de tubería. 99
Tabla 21. Materiales requeridos de la máquina. 114
Tabla 22. Materiales requeridos para el sistema de control de la máquina. 115

Índice de anexo

Anexo 1. Peso de los limones. 127
Anexo 2. Cepillo seleccionado para el lavado del limón 128
Anexo 3. Motorreductor coaxial. 129
Anexo 4. Piñones y discos de acuerdo a la norma europea (DIN). 130
Anexo 5. Cadena de rodillos simple. 130
Anexo 6. Material seleccionado para el eje 131
Anexo 7. Factores Fo para rodamiento de bolas 131
Anexo 8. Factores Radiales y axiales de los rodamientos 132
Anexo 9. Factores de servicio para maquina impulsada. 132
Anexo 10. Cobertura teórica y ángulo de aspersión. 133
Anexo 11. Velocidades recomendadas según el flujo volumétrico. 133
Anexo 12: Diámetros de tuberías plastigama PVC. 134
Anexo 13: Coeficientes de rugosidad de tuberías. 135
Anexo 14: Coeficientes de fricción de Hazen Williams. 135
Anexo 15. Pérdidas de carga en accesorios convertidas a metros de longitud. 136
Anexo 16. Curva característica de la bomba. 137
Anexo 17. Motorreductor coaxial seleccionado. 138
Anexo 18. Características del conductor AWG de corriente alterna. 138
Anexo 19. Certificado de traducción. 139
Anexo 20. Planos. 140

1 Título

Propuesta de diseño detallado de una máquina lavadora y clasificadora adaptada a las necesidades de la producción de limones en la hacienda San Antonio

2 Resumen

La máquina lavadora y clasificadora de limones que se diseñó para la hacienda San Antonio tiene como objetivo mejorar la calidad del producto final, para una capacidad de 150 kg por ciclo, con intervalos de recarga de limones cada 20 minutos logrando una capacidad total de procesamiento de 450 kg/h.

Para ello, se diseñó un sistema que permite lavar, secar y clasificar los limones de acuerdo a su diámetro, priorizando los tamaños más demandados por el mercado. El sistema funciona con una alimentación eléctrica monofásica de 220 V y requiere de un solo operador para su manejo. Además, se utilizaron materiales resistentes a la corrosión para garantizar la durabilidad de la máquina.

El sistema se compone de tres áreas principales: el área de lavado, el área de secado y el área de clasificación. En el área de lavado, los limones son sometidos a un cepillado con agua a una presión de salida de 29 PSI mediante aspersores conectados a una bomba de 3 kW que elimina las impurezas y residuos de la superficie. El agua se recicla mediante un tanque con un sistema de sedimentación y filtrado que evita el desperdicio. En el área de secado, los limones son transportados por una banda conectada a un motorreductor de 0.12 kW que los expone al aire generado por tres ventiladores de 80 W que eliminan la humedad. En el área de clasificación, los limones son filtrados por una estructura metálica inclinada a 20 grados que los separa según su tamaño.

La inversión determinada para la construcción de la máquina fue de 8189.14 dólares americanos, incluyendo los costos de materiales y mano de obra. El gasto anual estimado para la operación de la máquina, considerando una hora de uso diario por 180 días al año, más el costo de mantenimiento preventivo y el salario del operador, fue de 2089.99 dólares americanos.

Palabras clave: Clasificadora de limones, lavadora de limones, sistema de escurrido, cribas grizzli.

Abstract

The lemon washing and sorting machine that was designed for the San Antonio farm aims to improve the quality of the final product, for a capacity of 150 kg per cycle, with lemon refill intervals every 20 minutes, achieving a total processing capacity of 450 kg/h.

To do this, a system was designed that allows washing, drying and sorting lemons according to: diameter, prioritizing the sizes most in demand by the market. The system works with a single-phase 220 V electrical supply and requires a single operator to operate. Additionally, corrosion-resistant materials were used to ensure the durability of the machine.

The system is made up of three main areas: the washing area, the drying area and the sorting area. In the washing area, the lemons are brushed with water at an outlet pressure of 29 PSI using sprinklers connected to a 3 kW pump that removes impurities and residue from the surface. The water is recycled through a tank with a sedimentation and filtering system that prevents waste. In the drying area, the lemons are transported by a belt connected to a 0.12 kW gear motor that exposes them to air generated by three 80 W fans that remove humidity. In the classification area, the lemons are filtered through a metal structure inclined at 20 degrees that separates them according to their size.

The investment determined for the construction of the machine was 8189.14 US dollars, including the costs of materials and labor. The estimated annual expense for the operation of the machine, considering one hour of daily use for 180 days a year, plus the cost of preventive maintenance and the operator's salary, was 2089.99 US dollars.

Keywords: Lemon sorter, lemon washing machine, draining system, grizzly sieves.

3 Introducción

En el entorno agrícola, la eficiencia en los procesos de lavado y clasificación de productos es de gran importancia para garantizar la calidad y la rentabilidad del producto para su comercio. En este contexto, la hacienda "San Antonio" se ha destacado como un referente en la producción de limones, incrementado significativamente la oferta en los últimos años.

Con el objetivo de mejorar la venta de los limones, surge la necesidad de diseñar una máquina lavadora y clasificadora adaptada específicamente a las particularidades de la hacienda "San Antonio". Esta propuesta de diseño detallado busca brindar una solución integral que permita agilizar y mejorar el proceso de limpieza y clasificación de los limones, maximizando así la eficiencia y la productividad en la operación.

Esta máquina lavadora y clasificadora fue diseñada teniendo en cuenta los requerimientos específicos de la hacienda, considerando factores como el volumen de producción, el tamaño y la calidad de los limones, así como los estándares de higiene y los criterios de selección de los productos. Además, se buscó incorporar tecnologías y componentes que contribuyan a la automatización y a la reducción de los tiempos de procesamiento.

El diseño detallado de esta máquina lavadora y clasificadora incluyó una descripción exhaustiva de su estructura, los sistemas de lavado y clasificación utilizados, los mecanismos de transporte y manipulación de los limones, así como los controles para facilitar su operación. Además, se consideró la integración de dispositivos de seguridad y la facilidad de mantenimiento para asegurar un funcionamiento confiable y duradero.

Para el diseño de la máquina fue necesario definir correctamente los procesos de lavado y clasificado del cítrico, conocer el funcionamiento correcto, lo que permitió seleccionar correctamente cada uno de los componentes que conforman la máquina.

Para poder cumplir con el diseño se planteó los siguientes objetivos.

3.1 Objetivos

3.1.1 Objetivo general

- Propuesta de diseño detallado de una máquina lavadora y clasificadora adaptada a las necesidades de la producción de limones en la hacienda “San Antonio”

3.1.2 Objetivos específicos

- Identificar los requerimientos específicos de diseño electromecánico para el sistema de lavado y clasificación de limones producidos en la hacienda San Antonio.
- Diseñar la máquina lavadora y clasificadora, en función de la capacidad requerida, tipo y nivel de producción, operación, transporte, mantenimiento y demanda del producto.
- Desarrollar el diseño a detalle de cada uno de los elementos constitutivos de la máquina lavadora y clasificadora, así como la determinación del costo de su construcción, operación y mantenimiento.

4 Marco teórico

4.1 Generalidades

El limón, originario de Asia, fue introducido a nuestro país durante la colonización española. En la actualidad forma parte de la cultura alimentaria nacional, y gracias a la ubicación geográfica de nuestro país, contamos con las condiciones climáticas y ambientales adecuadas para su siembra y cultivo, se lo puede cultivar en terrenos de textura arcillosa con temperaturas de hasta 40 ºC.

4.1.1 Limón

El limón es un cítrico, que se caracteriza por tener un fuerte sabor ácido, su estructura es esférica y se encuentra revestido por una concha gruesa, lisa, de un color verde intenso, el interior es de color amarillo donde el jugo se encuentra distribuido en vesículas que se agrupan formando gajos similares a los de las naranjas.

4.1.2 Tipos de limones

En Ecuador existen cuatro variedades predominantes de limones, según Alfonzo Valarezo, técnico de la estación del Instituto Nacional Autónoma de Investigación Agropecuaria. Este técnico asegura que el limón sutil, el criollo y la lima son más para el consumo nacional, mientras que el Tahití está destinado a la exportación. También existe el Meyer (limón mandarina), el cual se produce en menor cantidad, especialmente, en Loja, Azuay, Imbabura y Pichincha.

4.2 Proceso de clasificado del limón

Para poder clasificar el limón se tiene que seguir algunos procesos, desde la cosecha hasta llevarlo al mercado, en la **Figura 1**, se muestra un proceso de clasificación de limones.

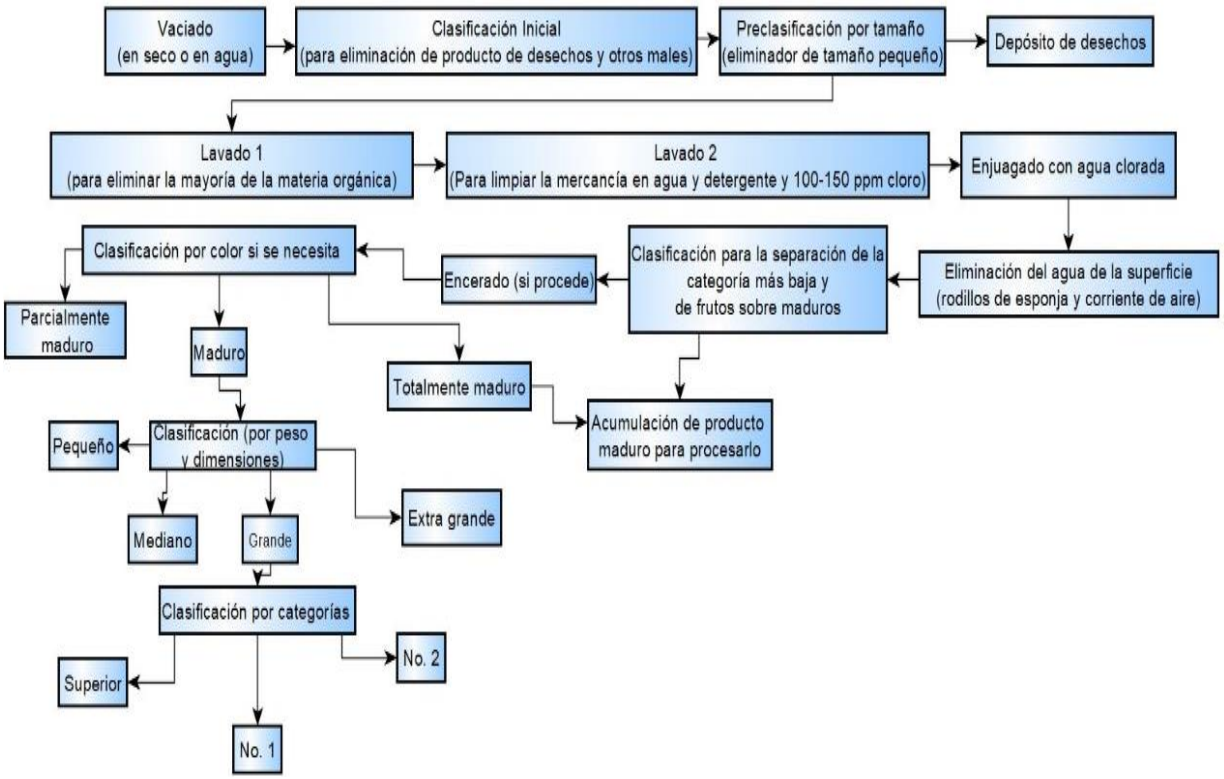


Figura 1. Clasificación del producto.
Fuente: (FAO, 2006).

4.2.1 Recolección del limón y almacenamiento del cítrico

El limón es cosechado de las plantas en cajas, para luego ser transportado al centro de acopio y acumularlo. Puede permanecer hasta 15 días almacenado, dependiendo de su estado.

4.2.2 Proceso de lavado

En el proceso de preparación de los limones, se lleva a cabo un paso esencial para asegurar su calidad y frescura. Una vez recolectados, los limones son cuidadosamente depositados en una tina llena de agua. En esta etapa, los trabajadores utilizan cepillos convencionales con cerdas de plástico, para realizar una limpieza superficial exhaustiva, esta acción tiene como objetivo eliminar cualquier rastro de lodo o barro que pueda adherirse a la superficie de los limones durante su cosecha.

4.2.3 Proceso de secado del limón

Una vez que los limones han completado el proceso de lavado, se continúa con una fase crucial: el proceso de secado. Esta etapa se lleva a cabo empleando mantas especialmente diseñadas, que son dispuestas sobre una mesa apropiada para esta tarea. Los limones son colocados sobre estas mantas, permitiendo que el agua se evapore de manera uniforme y eficiente.

4.3 Tipos de clasificadoras de limones

4.3.1 Introducción

En la actualidad, se encuentran disponibles diversas opciones automatizadas para la clasificación de limones que se presentan en los catálogos de los fabricantes, principalmente dirigidos a producciones de gran envergadura. No obstante, muchos de estos sistemas resultan costosos para aplicarse en producciones de menor escala.

En la provincia de Loja aún prevalece el método manual como forma principal de clasificación. Algunos agricultores han decidido adquirir mesas clasificadoras artesanales, logrando una significativa disminución en el tiempo invertido en el proceso de clasificación. No obstante, esta elección también implica que la categorización de los limones quede sujeta a la habilidad y criterio de los trabajadores.

4.3.1.1 Clasificador manual

Este trabajo lo realizan personas calificadas, dependiendo de la experiencia adquirida durante los años de los agricultores en la selección del cítrico, y la calidad depende de la habilidad de los encargados en escoger el producto.

Uno de los factores que afectan al trabajador para la clasificación del producto es la iluminación, donde la clasificación se debe ejecutar a la luz del día, para que las personas encargadas en este proceso puedan diferenciar con mucha facilidad el color del cítrico; por otra parte, la clasificación por tamaño depende de la experiencia del personal que realiza este proceso. En la **Figura 2,** se muestra este proceso de clasificación.

Figura 2. Clasificación del limón de manera manual.
Fuente: (Autora)

La selección del limón en este contexto está fuertemente influenciada por la velocidad y eficiencia del personal que lleva a cabo la tarea. Aunque la clasificación

manual puede ser una práctica valiosa, presenta algunas desventajas que es importante considerar:

- Errores que se comete a la hora de clasificar.
- Tiempo que se utiliza para la clasificación.
- Iluminación del lugar.
- Fatiga y monotonía.
- Capacidades limitadas para grandes volúmenes.

4.3.1.2 Clasificación por anillos

Si el limón es redondo, se puede clasificar usando anillos, que vienen de distintos tamaños. Los anillos pueden ser fabricados o comprados, y vienen en una amplia gama de tamaños. En la **Figura 3**, se muestran los anillos clasificadores de limones.

Figura 3. Anillos clasificadores.
Fuente: (Infoagro)

En este método de clasificación se emplean calibradores individuales para adaptarse a diámetros específicos, correspondientes al tamaño de cada limón. Sin embargo, llevar a cabo este procedimiento para cada fruto se vuelve un proceso tedioso. Por esta razón, la selección se realiza de manera más efectiva mediante una evaluación visual directa.

4.3.1.3 Clasificación por cilindros rotatorios

En el proceso de clasificación mediante cilindros rotatorios, se utiliza un rodillo perforado con varios diámetros de agujeros. Este rodillo se encuentra dispuesto en una inclinación, y a medida que gira, cada limón avanza y se inserta en el agujero correspondiente. Posteriormente, los limones caen en un contenedor designado. La **Figura 4**, ilustra un ejemplo de este método.

Figura 4. Clasificadora por cilindros rotatorios.
Fuente: Infoagro

La clasificadora de cilindros rotatorios está diseñada con 4 secciones. En la **Tabla 1,** se muestran las secciones de clasificación.

Tabla 1. Secciones del cilindro rotatorio

Clasificadora de limones de cilindros rotatorios			
Sección 1	**Sección 2**	**Sección 3**	**Sección Adicional**
Pequeño (cm)	Mediano (cm)	Grande (cm)	Extra (cm)
<5-6	>6-6.5	>6.5-7	7

Fuente: (Autora)

4.3.1.4 Mesa clasificadora

La mesa clasificadora se construye generalmente con madera, y presenta perforaciones de diversos tamaños dispersos en tres niveles de clasificación. En el nivel superior, se encuentran los agujeros de menor diámetro, mientras que en el nivel inferior se sitúan las perforaciones de mayor diámetro. Esta mesa desempeña un papel fundamental al seleccionar los cítricos según su tamaño. Además, en el caso de los limones que no se ajustan a ninguna perforación, se clasifican como extragrandes y son recolectados en una bolsa separada. En la **Figura 5**, se muestra una representación de mesa clasificadora.

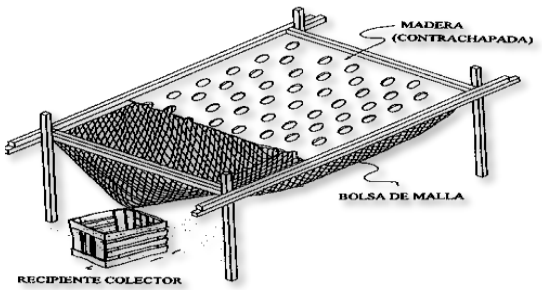
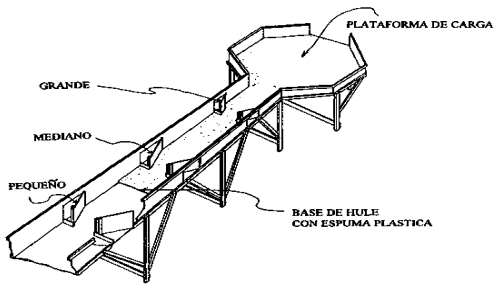


Figura 5. Mesa clasificadora de limones.
Fuente: (López, 2020)

4.3.1.5 Clasificación por conducto inclinado

La clasificación mediante un conducto inclinado se ilustra en la **Figura 6.** Está compuesto por un conducto inclinado, típicamente confeccionado en madera contrachapada, y revestido con espuma plástica para proteger los frutos de posibles daños. Los cítricos son vertidos en la plataforma octogonal ubicada en la parte superior del conducto inclinado. Una vez que los productos se depositan en esta plataforma, comienzan a desplazarse hacia la sección inferior del conducto, donde se presentan una serie de estrechamientos. Los cítricos más grandes son capturados en el primer estrechamiento, los medianos en la segunda, y los de menor tamaño en la última. Aquellos cítricos que logran pasar estos estrechamientos son recogidos por un recipiente dispuesto al final de la mesa. Este método de clasificación requiere la colaboración simultánea de al menos cinco operadores para su funcionamiento.



Fuente: Reyes, M.U. (Ed.) 1988. Design Concept and Operation of ASEAN Packinghouse Equipment for Fruits and Vegetables. Postharvest Horticulture Training and Research Center, University of Los Baños, College of Agriculture, Laguna, Philippine.

Figura 6. Clasificadora de conducto inclinado.
Fuente: (López, 2020)

4.4 Método de lavado de limones

Los cítricos, cuando llegan a los almacenes, suelen tener acumulado polvo, tierra, restos de vegetales, insectos, residuos de pesticidas y esporas de hongos, por lo que el lavado de los cítricos es de suma importancia antes de clasificarlo y ponerlo a la venta (Roca, 2018)

4.4.1 Introducción

Para poder tener un producto de calidad en el mercado es necesario seleccionar el cítrico por tamaño y lavarlo correctamente para retirar la suciedad acumulada. Con el lavado también se debe eliminar cítricos podridos que pueden ensuciar la línea de clasificación, impidiendo tener un producto fresco y limpio.

4.4.2 Aplicación del detergente en el lavado del limón

Para el lavado de los limones, la aplicación del detergente se realiza de dos formas:

- Continua espuma: La espuma debe ser uniforme y regular, sin exceso de espuma o en otras faltas de espuma.
- Barra de goteo: Debe ser controlada el agua con un chorro continuo, lo que significa una dilución excesiva del producto.

4.4.3 Lavadora de limones

El diseño debe satisfacer los requerimientos específicos de la hacienda San Antonio, así como cumplir con las funciones para las cuales será diseñada. Los parámetros principales de funcionamiento son los siguientes:

- Realizar el lavado de limones de forma continua.
- Cumplir con buenas prácticas de manufactura (BPM).
- Facilidad de instalación, montaje, desmontaje y mantenimiento.
- Cumplir con los estándares ergonómicos para los operarios.

Además, será crucial elegir el tipo de lavado que se implementará en la máquina. En la **Tabla 2**, se presentan dos alternativas para el diseño del proceso de limpieza de limones.

Tabla 2. Alternativas para el diseño del método de limpieza.

Alternativas			
A: Método de limpieza en seco		B: Método de limpieza húmedo	
-Tamizado -Aspirado -Cepillado -Abrasión	Ventajas: Relativamente barato, la materia prima debe estar completamente seca. Desventajas: No es efectivo, y existe re contaminación.	-Inmersión -Chorros de agua -Agitación	Ventajas: Eliminación de partículas adheridas, se puede implementar detergentes y productos sanitarios. Desventajas: Emplea grandes cantidades de agua.

Fuente: (Alfredo, 2018)

4.4.3.1 Métodos de lavado de limones

Existen diversos métodos de lavado para el cítrico. En este apartado, se abordarán tres de ellos:

- Lavado mediante cilindros con aspersores de agua.
- Lavado con cepillos giratorios y aspersores de agua.
- Lavado con cepillos y tanque sumergido.

4.4.3.1.1 Lavadora tipo cilindro con aspersores de agua

Este tipo de lavadoras se caracterizan por tener un cilindro dispuesto en posición horizontal, lo que permite llevar a cabo el proceso de lavado mediante el rozamiento entre los limones, gracias a la rotación propia del cilindro. Además, la lavadora está diseñada para incluir aspersores de agua estratégicamente ubicados. Estos aspersores rocían agua sobre los limones mientras están en el interior del cilindro en movimiento. El agua juega un papel crucial en la limpieza al ayudar a eliminar las partículas de suciedad y contaminantes de los limones. En la **Figura 7**, se ilustra una representación visual de esta lavadora tipo cilindro que está equipada con aspersores de agua.

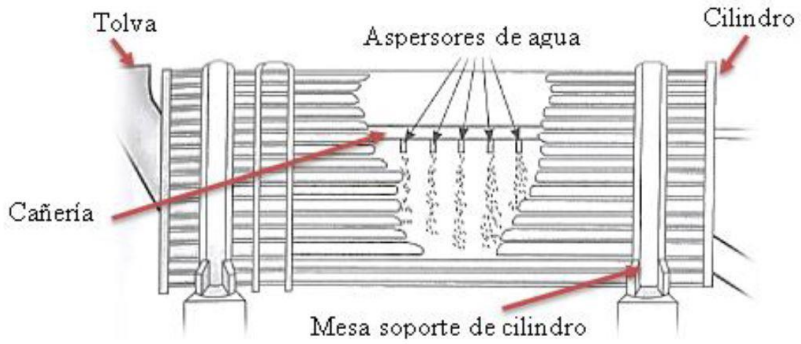


Figura 7. Lavadora tipo cilindro con aspersores de agua.
Fuente: (Lavadora Rotativa - Maquinaria - Vulcanotec, 2018)

En la **Tabla 3**, se muestran las ventajas y desventajas de la lavadora tipo cilindro con aspersores de agua, y los componentes con los que está constituida.

Tabla 3. Descripción de las partes de la lavadora tipo cilindro.

Lavadora tipo cilindro con aspersores de agua	
Componentes	**Descripción**
Tolva	Los limones son descargados en una tolva, la misma que realiza la recepción del producto.
Duchas de aspersión de agua a presión	Son aspersores de agua a presión que permiten ablandar la tierra y facilitar el lavado del producto.
Cañerías y aspersores	Permite crear un profundo lavado de los limones.
Mesa de rodillos	Tiene una mesa giratoria de rodillos, que permite una mejor dispersión del producto y eliminación de pelusas de limón.
Bomba de agua	Se la utiliza a la bomba de agua para el sistema de aspersión, la cual abastece al sistema hidráulico del lavado de los limones.

Carcaza	Es la estructura en la que está montada la lavadora, donde se colocan todos los componentes que la conforman.
Ventajas	El lavado del limón es de buena calidad.
	Fácil eliminación de los residuos o desechos de la limpieza del limón.
	Capacidad variable dependiendo de la cantidad de limón a lavar.
	Mínimo gasto de agua, por tener un sistema de recirculación.
Desventajas	Tiene tiempos muertos en el proceso del lavado, ya que no lo realiza de forma continua, sino por paradas para volver a cargar el cítrico.
	Si el tiempo de lavado es mayor que el necesario, la fricción origina daños en la corteza del producto.
	La tierra que se desprende al momento del lavado y no ser evacuada oportunamente, actúa como elemento abrasivo y disminuye la calidad del limón.
	La superficie cerrada del que está constituido, presenta complicaciones a la hora de realizar mantenimiento.

Fuente: (Autora)

4.4.3.1.2 Lavadora de cepillos giratorios con aspersores de agua

Esta lavadora ejecuta una limpieza eficiente de los limones, empleando chorros de agua simultáneamente a su movimiento sobre una disposición de cepillos. Estos cepillos eliminan el residuo de tierra, basura, abono y pesticidas, dejando el limón completamente limpio. A medida que el limón avanza a lo largo de los cepillos, se lleva a cabo un proceso de enjuague. En la **Figura 8**, se representa este tipo de lavadora.

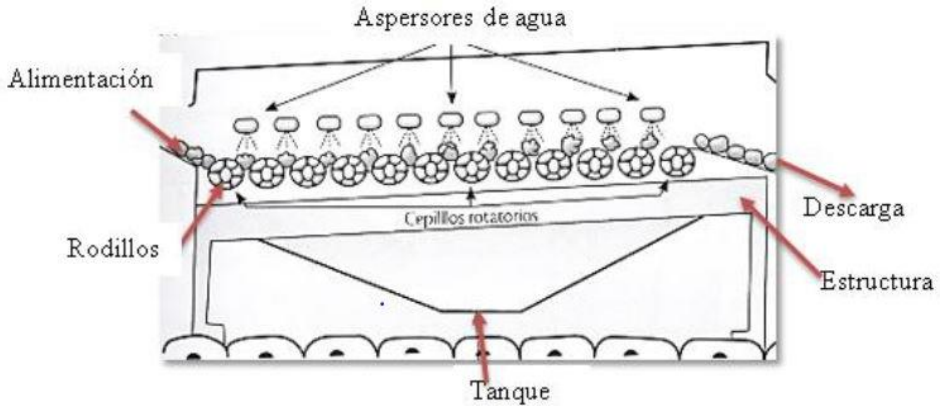


Figura 8: Lavadora de cepillos giratorios con aspersores de agua.
Fuente:

En la **Tabla 4**, se detallan los elementos que conforman a la lavadora de cepillos giratorios, con aspersores de agua.

Tabla 4. Descripción de la lavadora de cepillos giratorios.

Lavadora de cepillos giratorios con aspersores de agua	
Componentes	**Descripción**
Estructura	Es el elemento que soporta el mecanismo del lavado y transporte del cítrico, el cual cuenta con una mesa de rodillos giratorios, aspersores, bomba, tanque de almacenamiento de agua y otros elementos.
Rodillo de cerdas	Se encarga de eliminar la suciedad del limón y retira cualquier pelusa.
Tubería de agua	Distribuye el fluido hacia los aspersores para el lavado de los limones.
Bomba de agua	Distribuye el agua por toda la tubería hasta llegar a los aspersores.
Tanque	Es el encargado de almacenar y filtrar el agua que se la utiliza para lavar el limón.
Transmisión con motor	El que permite el movimiento de los rodillos de cerdas.
Aspersores	Son los encargados de dar el chorro de agua para el lavado del limón.
Ventajas	Lavado eficiente reduciendo la posibilidad de recontaminación.
	Transporta el cítrico al mismo tiempo que la lava.
	Optimización de tiempo, ya que no requiere paradas repentinas.
	El cítrico no se lastima.
	Optimización del agua debido a los filtros y la recirculación con la que cuenta.
Desventajas	Requiere sistema de transmisión.
	Requiere de un espacio amplio.
	Se debe realizar un cambio periódico de rodillos.

Fuente: (Autora)

4.4.3.1.3 Lavadora de cepillos con tanque sumergido

Este tipo de lavadoras poseen una tolva que permite la entrada del producto, el cual es transferido al tanque de lavado a través de una cinta transportadora. Dentro del tanque de lavado, se instalan rodillos con cerdas que, al girar, realizan el proceso de lavado del limón y eliminan cualquier impureza presente en el producto. En la **Figura 9**, se muestra una lavadora de cepillos con tanque sumergido.

Figura 9. Lavadora de cepillo con tanque sumergido.
Fuente: (Martin, 2018)

En la **Tabla 5**, se exponen las características, ventajas y desventajas de la lavadora de cepillos con tanque sumergido.

Tabla 5. Lavadora de cepillos con tanque sumergido

Lavadora de cepillos con tanque sumergido	
Componentes	Descripción
Tolva	Recipiente donde se colocan los limones para ser distribuidos hacia el tanque de lavado.
Estructura	Es la que se encarga de unir los componentes de la lavadora.
Banda dosificadora	Es la encargada de llevar los limones hacia el tanque de lavado.
Cepillos	Son cilindros delgados que contienen cerdas en su periferia.
Tanque de lavado	Es el encargado de lavar los limones, el cual se encuentra casi lleno en su totalidad, también cuenta con un desagüe en la parte inferior para realizar la limpieza cuando se termine de lavar el producto.
Motores	Esta máquina tiene implementada motores de transmisión para dar movimiento a las bandas y los cepillos.
Banda transportadora de extracción	Es la encargada de sacar los limones del tanque de lavado, después de haber realizado el lavado del cítrico.
Ventajas	Los cepillos entran por todas las cavidades del limón dándole una limpieza total.
	El requerimiento de agua es bajo.
	El limón no es maltratado.
	Es de fácil construcción y mantenimiento.
Desventajas	Gran espacio para su ubicación.
	El sistema de transmisión ocasiona pérdidas de potencia.
	Los cepillos requieren de un cambio cada cierto tiempo.
	Elevado costo de construcción.
	Elevado consumo de energía.

Fuente: (Autora)

4.4.3.1.4 Lavado en seco

Este método de lavado remueve los contaminantes mediante tamices o mallas con perforaciones de determinadas dimensiones, en el mercado existen muchos diseños de tamices: de tambor rotatorio, de lecho plano, etc. Pero se ven restringidos mediante los siguientes factores:

- Los cítricos deben soportar la operación, ya que puede lastimar al producto.
- Solo funciona cuando la parte más fina por separar es esférica y puede pasar por las perforaciones de la malla.

4.5 Normas establecidas en el país

4.5.1 Norma Técnica Ecuatoriana

Es una pauta que se establece por un consenso y aprobada por un organismo autorizado, que brinda directrices para productos, procesos y/o servicios, que pueden ser voluntarios o de cumplimiento obligatorio.

4.5.1.1 Norma Ecuatoriana Frutas frescas - Limón

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1757). Esta norma establece los requisitos para el limón, de todas las variedades que se dan en nuestro país, destinado tanto al consumo en estado fresco como para procesamiento industrial.

4.5.1.2 Norma para diseño de máquinas

Para el diseño de máquinas se emplea la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN-ISO 12100-2), la cual brinda la información para la seguridad de las máquinas, conceptos básicos, principios generales para el diseño.

4.6 Propuesta de diseño de la máquina lavadora y secadora de limones

4.6.1 Esquema de diseño de la lavadora y clasificadora de limones

En esta parte se tendrá en cuenta los requerimientos que se debe tener para el diseño de la lavadora y clasificadora de limones. En la **Figura 10**, se detallan cada uno los pasos a seguir en el diseño de la lavadora y clasificadora de limones.

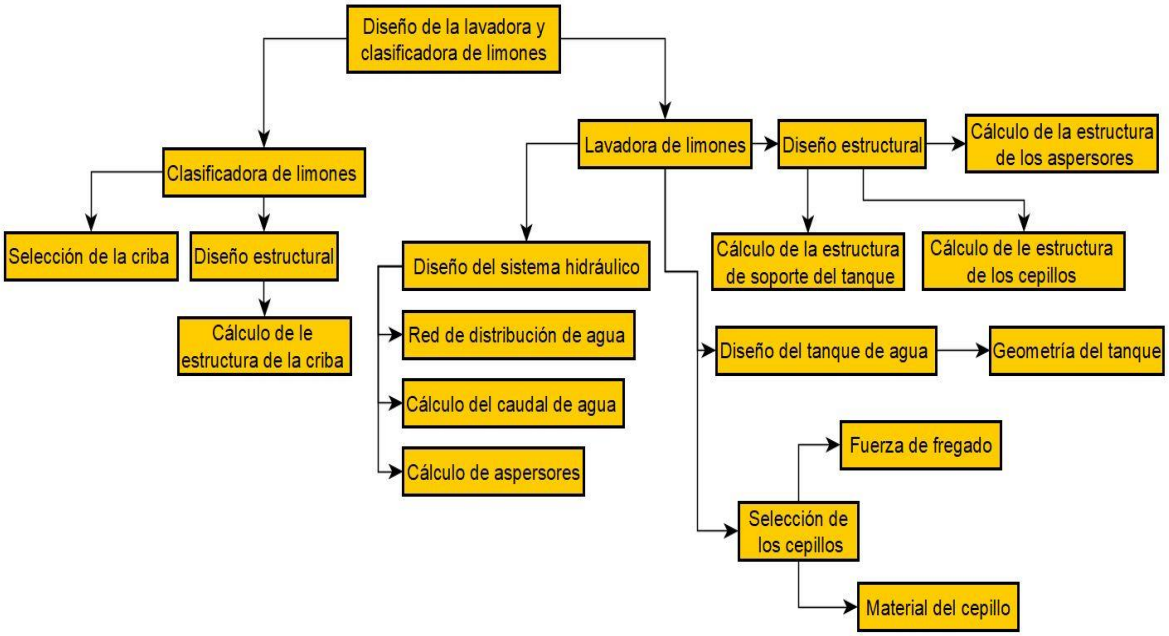


Figura 10. Estructura del diseño de la lavadora y clasificadora de limones.
Fuente: (Autora)

4.6.1.1 Cepillos para el lavado de limones

Los cepillos más utilizados para el lavado de los cítricos son los cilíndricos, se los usa principalmente para todo tipo de superficies exteriores planas o curvas, en la **Figura 11**, se muestran los distintos tipos de cepillos cilíndricos que existen en el mercado.

En el mercado, los cepillos más utilizados para el lavado de los cítricos son los siguientes:

- Polipropileno (PP) blando
- Polipropileno (PP) duro
- Nylon abrasivo

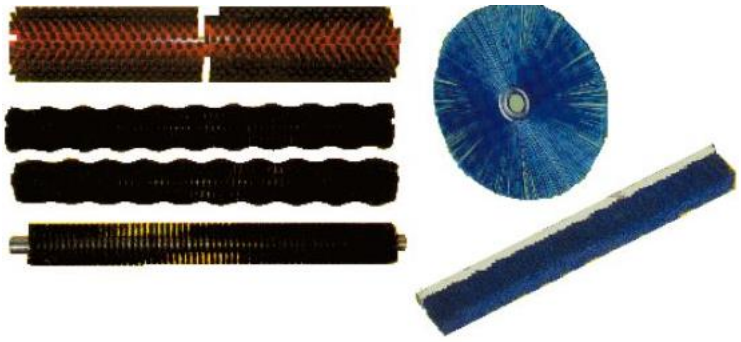


Figura 11. Tipos de cepillos.
Fuente: (Cepillos para Lavado o Encerado Multimarca, s. f.)

4.6.1.2 Velocidad lineal y angular

La velocidad lineal se la define como la rapidez que se mueve una partícula en una trayectoria circular, y sé expresa por la **Ecuación (1).**

$$v = \omega * R \qquad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

$v = Velocidad\ lineal\ [^{m}/_{s}]$

$\omega = Velocidad\ angular\ \left[^{rad}/_{s}\right]$

$R = Radio\ [m]$

Mientras que la velocidad angular es el ángulo de barrido de una partícula en un cierto tiempo y queda definido por la **Ecuación (2).**

$$\omega = \frac{\theta}{t} \qquad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

$\theta = Desplazamiento\ angular\ [rad]$

$t = Tiempo\ [s]$

4.6.1.3 Selección del motor

Para la selección de la máquina se necesita saber la potencia necesaria para el tipo de trabajo que se desea desarrollar, para lo cual se plantea el procedimiento a seguir para la selección.

4.6.1.4 Potencia de servicio ($P_{máq}$)

Según (Mott P., 2006), para calcular la potencia requerida para el motor de una máquina se lo calcula mediante la **Ecuación (3).**

$$P_{máq} = T * \omega \qquad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

$P_{maq} = Potencia\ de\ la\ máquina\ \ [W]$

$T = Par\ de\ torsión\ [N * m]$

$\omega = Velocidad\ de\ rotación\ \left[\frac{rad}{s}\right]$

Para poder calcular el par de torsión del sistema de cepillos se aplica la **Ecuación (4).**

$$T = F_{total} * R \qquad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

$F_r = Peso\ del\ producto\ [N]$

$R = Radio\ del\ rodillo\ [m]$

4.6.1.5 Potencia a transmitir (P_t)

Es la relación que existe entre la potencia de servicio y la eficiencia del sistema a transmitir, y se expresa mediante la siguiente **Ecuación (5).**

$$P_t = \frac{P_{máq}}{\eta} \qquad \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

$\eta = Rendimiento$

4.6.1.6 Potencia de diseño (Pd)

En una publicación realizada por (Calderón et al., 2017), describe el concepto de potencia, el cual expresa que es la velocidad con la que se puede disponer del par motor. Este artículo considera la potencia motriz como la potencia del motor que moverá el mecanismo se mide en (watts). Y viene expresado mediante la **Ecuación (6).**

$$P_d = P_t * F_s \qquad \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

$f_s = Factor\ de\ servicio$

El factor de servicio considera el tipo de carga que tendrá la máquina, es utilizado especialmente para simular las condiciones de trabajo que tendrá la máquina, (Budynas, 2008), lo define como Ks factor de régimen de carga C_t. En la **Tabla 6**, se expresan los factores para diferentes tipos de máquinas, regímenes de tiempos de trabajo.

Tabla 6. Factor de servicio en función del tipo de mecanismo.

	Motor Eléctrico síncrono. Motor de combustión interna, multicilindro. Turbinas			**Motor eléctrico de alto par. Motor de combustión interna multicilindro.**		
	8 h/día	8 h/día	8 h/día	8 h/día	8 h/día	8 h/día
Carga ligera Agitadores de Líquido. Bombas y compresores centrífugos. Transportadores de banda. Ventiladores. Máquinas herramienta de corte continuo	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Carga Normal Bombas y compresores de 3 y más cilindros. Transportadores de cadena. Fresadoras.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Carga pesada Bombas de compresores de uno y dos cilindros. Elevadores de cangilones. Cepilladoras y mortajadoras	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Cargas muy pesadas Mecanismo de elevación de grúas. Prensa. Cizallas.	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

Fuente: (Dunlop.S.A)

4.6.1.7 *Esfuerzo de trabajo y factor de seguridad*

Según (Singer y Pytel, 2008), el esfuerzo de trabajo es el esfuerzo real que soporta el material, baja la acción de las cargas, y no debe sobrepasar el esfuerzo admisible, que es lo máximo que puede ser sometido el material, y se lo expresa mediante la siguiente **Ecuación (7).**

$$\sigma_{adm} = \frac{S_y}{n_s} \qquad \text{Ecuación (7)}$$

Donde:

$S_y = Resistencia\ a\ la\ fluencia\ del\ material$

$n_s = Factor\ de\ seguridad$

4.6.1.8 Cálculo del eje del cepillo

Es un elemento que permite rotar la sesión transversal circular, se lo emplea generalmente para transmitir potencia y movimiento, emplea otros elementos adicionales como engranajes, poleas, volantes de inercia, manivelas, catarinas etc.

A los ejes se los emplea generalmente para transmitir un par de torsión, por lo que el eje debe tener el tamaño adecuado para poder soportar los esfuerzos y la flexión por torsión. El método de cálculo para ejes depende del tipo de mecanismo que se va a diseñar (Budynas, 2008)

Los esfuerzos que son sometidos los ejes son de flexión, torsión o axiales, los cuales pueden estar presentes simultáneamente, para analizarlos, se puede realizar una combinación de los diferentes tipos de esfuerzos de acuerdo a la teoría de Von Mises.

Los esfuerzos que actúan debido a la torsión vienen dados por la **Ecuación (8).**

$$\tau_{máx} = \frac{T * c}{J} \qquad \text{Ecuación (8)}$$

Donde:

$\tau_{máx} = Esfuerzo\ de\ torsión\ máxima$

$T = Par\ de\ torsión\ aplicado\ en\ la\ sección\ de\ interés$

$c = Radio\ de\ la\ sección\ transversal\ (\frac{D}{2})$

$J = Momento\ polar\ de\ inercia\ de\ la\ sección\ transversal$

El momento polar de inercia de una sección transversal se lo expresa con la **Ecuación (9)**

$$J = \frac{\pi * D^4}{32} \qquad \text{Ecuación (9)}$$

Si se combinan la Ecuación (8) y la Ecuación (9), da como resultado la siguiente **Ecuación (10).**

$$\tau_{máx} = \frac{16 * T}{\pi D^3} \qquad \text{Ecuación (10)}$$

El esfuerzo de torsión máximo se relaciona con el esfuerzo Von-Mises mediante la siguiente **Ecuación (11).**

$$\sigma_{adm} = \tau_{máx} * \sqrt{3} \qquad \text{Ecuación (11)}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{16 * T}{\pi D^3} * \sqrt{3}$$ Ecuación (12)

Para el diseño del eje se busca la resistencia a la fluencia del material y un factor de seguridad, y se lo calcula mediante la siguiente **Ecuación (13).**

$$\frac{S_y}{n_s} = \frac{16 * T}{\pi D^3} * \sqrt{3}$$ Ecuación (13)

Finalmente se despeja el diámetro del eje y resulta la **Ecuación (14).**

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 * T * n_s}{\pi * S_y} * \sqrt{3}}$$ Ecuación (14)

4.6.1.9 Selección de rodamientos

Según lo expuesto por (Mott P., 2006), la función que cumplen los rodamientos es de soportar las cargas, y al mismo tiempo permitir el movimiento rotacional entre dos elementos de una máquina con un rozamiento mínimo. De acuerdo al tipo de carga que vaya a soportar el rodamiento lo podemos definir como: axiales, radiales o de carga combinada. Donde la parte interna del rodamiento puede ser de bolas, rodillos, palillos, tambores y cónicos. Para seleccionarlos existen algunos métodos como el que está expuesto en él catálogo de FAG (2000), en la siguiente **Figura 12,** se muestra un rodamiento rígido de rodillos.

Figura 12. Rodamiento de doble hilera de rodillos.
Fuente: (NKS, 2022)

4.6.1.10 Motorreductor

Según (Roydisa, 2019), define a los motorreductores como una máquina muy compacta que combina un reductor de velocidad con un motor. Estos van unidos en una

sola pieza y se los utiliza para reducir la velocidad de un equipo de forma automática. En la **Figura 13**, se muestra un motorreductor axial.

Figura 13. Motorreductor axial
Fuente: (roydisa, 2019)

4.7 Bombas hidráulicas

Una bomba hidráulica es una máquina generadora de trabajo con un fluido incompresible en la que se produce una transformación de energía mecánica en hidráulica (Salvador de las Heras, 2011).

4.8 Resistencia de materiales

4.8.1 Cálculo del recipiente de agua

Según (Singer y Pytel, 2008), se denomina recipiente, cuando el espesor de un recipiente cilíndrico a presión, se acerca a un vigésimo de su radio o menos y el esfuerzo radial del recipiente es muy pequeño comparado con el esfuerzo tangencial.

En la mayoría de los casos los recipientes son cilíndricos, por lo que los principales esfuerzos encontrados son tangenciales, y se calcula el esfuerzo tangencial mediante la **Ecuación (15).**

$$e_{pared} = \frac{P_{fondorecipiente} * D_{recipiente}}{2 * \sigma_{permisible}} \qquad \text{Ecuación (15)}$$

Donde:

$e_{pared} = Espesor\ de\ la\ pared\ del\ recipiente\ [m]$

$P_{fondorecipiente} = Presión\ en\ el\ fondo\ del\ recipiente$

$D_{recipiente} = Diámetro\ del\ recipiente\ [m]$

$\sigma_{permisible} = Esfuerzo\ permisible\ del\ material\ [Pa]$

5 Metodología.

5.1 Materiales.

Para el desarrollo del proyecto se emplearon los siguientes recursos y materiales:

- Recursos humanos
  - Tutor del proyecto de Trabajo de Titulación.
  - Técnico-conocedor del proceso de selección de limones.
- Recursos bibliográficos
  - Libro de diseño mecánico y de resistencia de materiales.
  - Catálogos de elementos de transmisión, de rodamientos y de motorreductores.
  - Catálogo de la FAO
- Recursos de oficina
  - Elementos computacionales
  - Materiales de oficina
  - Software
    - SolidWorks
    - AutoCAD
    - Inventor
    - Mathcad
    - MdSolids
    - Cade SIMU
    - Paquete office

5.2 Métodos

El proceso de selección de la máquina para lavar y clasificar limones se basó en una recopilación exhaustiva de información. Para lograrlo, se llevaron a cabo revisiones detalladas de catálogos, tales como: del fabricante chino Taibo Industrial (Taibo, 2023), la empresa española Washturnkey (Washturnkey, 2022), el directorio en línea especializado en la agricultura Agroshow (Agroshow, 2023); así como otros recursos relacionados con el tema, tales como los videos de promoción de maquinaria de la empresa: FstSort (FstSort, 2023), (First Industry, 2023), (ERE maquinaria industrial, 2023), entre otras. Además, se realizaron mediciones de campo para obtener las dimensiones reales de los limones y establecer una clasificación por tamaño mediante un

ajuste normal, definiendo categorías: grandes, medianas y pequeñas. Estos datos resultantes fueron fundamentales en los cálculos de diseño y selección de componentes.

La evaluación y comparación de las opciones disponibles de máquinas lavadoras y clasificadoras se llevó a cabo mediante el método de factores ponderados (Scoring), considerando criterios como eficiencia, capacidad, mantenibilidad y costo. A partir de esta evaluación, se identificaron los parámetros y condiciones esenciales para diseñar una máquina que satisficiera óptimamente las necesidades de la hacienda.

Se realizó una revisión exhaustiva en la literatura especializada en mecánica de fluidos (Mecánica de fluidos de Mott, 7ma Edición), diseño de máquinas (Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 9na Edición), resistencia de materiales (Resistencia de materiales de Singer, 4ta Edición) y elementos de transmisión. Esta revisión proporcionó el respaldo teórico necesario para justificar las decisiones tomadas durante el proceso de diseño.

Para el diseño detallado de la máquina, se llevaron a cabo cálculos específicos abordando temas clave, como el sistema de lavado de limones, que incluyó el diseño del sistema de transmisión, rotación, sistema hidráulico y selección de los mecanismos para el proceso de secado. Asimismo, para el sistema de clasificación, se abordaron cálculos relacionados con la selección del sistema de clasificación y el diseño estructural del sistema.

La culminación de los cálculos de los componentes principales permitió la elaboración de planos detallados en 2D y 3D utilizando herramientas CAD. Este enfoque metodológico integral respaldó el diseño y desarrollo preciso de la máquina lavadora y clasificadora adaptada a las necesidades específicas de la hacienda.

5.2.1 Analizar y caracterizar las dimensiones del limón

En esta etapa, utilizando la información obtenida, se definieron parámetros de medida para determinar el tamaño de los limones y así poder clasificarlos en categorías de grande, mediano y pequeño. Además, se reserva una categoría adicional, denominada

"extragrande", para los limones que no se ajustan a las medidas preestablecidas en la distribución normal.

5.2.2 Descripción del proceso de clasificación del limón

Para la clasificación del limón, se desarrollan los siguientes pasos:

Paso 1:

El proceso inicia con la recolección de limones de las plantas y su disposición en cajas. Estas cajas son transportadas al centro de almacenaje, donde los limones permanecen resguardados hasta su posterior traslado al proceso de clasificación.

Paso 2:

Los limones se sumergen en un recipiente lleno de agua, donde el personal se encarga de lavarlos utilizando cepillos de cerdas. Durante esta fase, se eliminan limones dañados y cualquier impureza presente en la superficie de la fruta.

Paso 3:

Después del lavado, se procede al secado, utilizando mantas u otros medios apropiados. Los limones se disponen en una mesa específicamente diseñada para el secado, facilitando el escurrimiento eficiente del agua.

Una vez que los limones están completamente secos, se inicia la etapa de clasificación. En esta fase, los trabajadores llevan a cabo la categorización de los limones, dividiéndolos en las clases de "grande", "mediano" y "pequeño" basándose en su experiencia adquirida por años.

Paso 4:

Concluido el proceso de clasificación, los limones son embolsados para su transporte posterior al mercado y su venta.

En el proceso de selección del tipo de lavadora y clasificadora de limones, se adoptó el método de factores ponderados (Scoring) para evaluar criterios cruciales como comodidad, ergonomía, mantenimiento, seguridad y costo. A continuación, se describen las alternativas y el procedimiento para cada uno de estos equipos.

5.2.2.1 Selección del tipo de lavadora

Alternativas para la selección del tipo de lavadora

En el mercado existen diversas opciones de lavadoras industriales para limones. Se presentan tres opciones a considerar:

- **Opción A**. Lavadora tipo cilindro con aspersores de agua.
- **Opción B.** Lavadora de cepillos giratorios con aspersores de agua.
- **Opción C.** Lavadora de cepillos con tanque sumergido

Criterios de ponderación de acuerdo a cada alternativa

Los criterios serán valorados en una escala del 1 al 5, donde 1 es deficiente y 5 es excelente, según cómo se satisfagan las necesidades.

Margen de aceptación para cada alternativa.

Se establece un margen de aceptación en una escala de 1 a 9, donde 1 es extra bajo y 9 es extra alto, para evaluar la viabilidad de cada alternativa.

Selección de alternativas.

Se relacionan los resultados de la ponderación con el margen de aceptación para cada criterio, y se calcula el puntaje total multiplicando los valores ponderados por los valores de margen de aceptación. Se selecciona la alternativa con la calificación más alta.

5.2.2.2 Selección del tipo de clasificadora de limones

Existen varios tipos de clasificadoras de limones en la industria. Se presentan tres opciones:

- **Clasificadora A.** Clasificador por cilindros rotativos.
- **Clasificadora B.** Clasificadora por anillos.
- **Clasificadora C**. Mesa clasificadora.

Asignación de criterio para la ponderación.

Los criterios son valorados en una escala del 1 al 5, donde 1 es deficiente y 5 es excelente, según los parámetros y necesidades.

Margen de aceptación para cada alternativa

Se establece un margen de aceptación en una escala de 1 a 9, donde 1 es extra bajo y 9 es extra alto, para evaluar cada opción.

Selección de alternativas

Los resultados de la ponderación se relacionan con el margen de aceptación para calcular el puntaje total. Se elige la alternativa con la puntuación más alta.

Este método de evaluación permitirá tomar decisiones y seleccionar las alternativas más adecuadas tanto para la lavadora como para la clasificadora de limones, considerando una variedad de criterios y necesidades específicas.

5.2.3 Diseño y selección de componentes mecánicos

En el desarrollo y selección de los componentes mecánicos, se implementó una metodología respaldada por literatura específica en diseño mecánico. Se llevaron a cabo cálculos de parámetros relevantes como la velocidad lineal de la máquina, la potencia requerida, el diámetro de los ejes y el espesor de la tolva. La consulta de catálogos y manuales facilitó el dimensionamiento de elementos críticos, entre ellos, chumaceras, bombas, motorreductores y componentes hidráulicos necesarios. Adicionalmente, se realizó un análisis del sistema de transmisión y bombeo de la máquina.

Este proceso de diseño no se limitó a la teoría, sino que incorporó la observación de máquinas similares. Esta práctica proporcionó una importante información sobre la geometría de la máquina y la ubicación adecuada de los diversos componentes. La observación no solo orientó el diseño, sino que también se aprovechó para desarrollar de manera efectiva el sistema de secado correspondiente previo a la etapa de clasificación.

5.2.4 Lavado

En el cálculo del sistema de lavado se siguió un procedimiento detallado que se describe a continuación:

- Inicialmente, se estimó el volumen del limón utilizando la **Ecuación (16).**

$$V_{limón} = \frac{4}{3} * \pi * R_{limón}^3 \qquad \text{Ecuación (16)}$$

Donde:

$V_{limón} = Volúmen\ del\ limón\ [m^3]$

$R_{limón} = Radio\ de\ limón\ [m]$

- La densidad del limón se obtuvo dividiendo su masa por el volumen, como se muestra en la **Ecuación (17).**

$$\rho_{limón} = \frac{m_{limón}}{V_{limón}} \qquad \text{Ecuación (17)}$$

Donde:

$\rho_{limón} = Densidad\ del\ limón\ \left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$m_{limón} = Masa\ de\ limón\ [kg]$

- Para determinar la masa que ingresa a la tolva es la relación que existe entre el flujo másico con respecto al tiempo de alimentación se lo calcula mediante la **Ecuación (18).**

$$m_{limón-tolva} = (\dot{m})(t_{alimentación}) \qquad \text{Ecuación (18)}$$

Donde:

$m_{limón-tolva} = Masa\ del\ limón\ que\ ingresa\ en\ la\ tolva\ [m]$

$t_{alimentación} = Tiempo\ de\ alimentación\ [s]$

- Se calcula el volumen de la tolva, en el cual se considera un factor de seguridad adicional por los espacios que hay entre limón y limón con la **Ecuación (19).**

$$V_{requerido} = \frac{m_{limón-tolva}}{\rho_{limón}} * F_s \qquad \text{Ecuación (19)}$$

Donde:

$V_{requerido} = Volomen\ requerido\ [m^3]$

$F_s = Factor\ de\ servicio$

- Se calcula el área de la tolva con la **Ecuación (20).**

$$A = a * b \qquad \text{Ecuación (20)}$$

Donde:

$A = Area\ [m^2]$

$a = Largo\ [m]$

$b = Ancho\ [m]$

- Finalmente se calcula el volumen de la tolva con la **Ecuación (21).**

$$V_T = \frac{h}{3}\left(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 * A_2}\right) \qquad \text{Ecuación (21)}$$

Donde:

$V_T = Volumen\ de\ la\ tolva\ [m^3]$

$h = Altura\ de\ la\ tolva\ [m]$

Para poder determinar el espesor de la pared de la tolva se precede de la siguiente manera:

- Se calcula el peso del limón con la **Ecuación (22).**

$$W_{limón} = m_{limón} * g \qquad \text{Ecuación (22)}$$

Donde:

$W_{limón} = Peso\ del\ limón\ [N]$

$m_{limón} = Masa\ del\ limón\ [kg]$

$g = Aceleración\ de\ la\ gravedad\ \left[\frac{m}{s^2}\right]$

- Para calcular la presión que ejerce el limón en las paredes de la tolva se utiliza la **Ecuación (23).**

$$q = \frac{W_{limón} * sen(60°)}{A_T} \qquad \text{Ecuación (23)}$$

Donde:

$q = Presión\ que\ se\ ejerce\ en\ las\ paredes\ \left[\frac{N}{m^2}\right]$

- Se determina el esfuerzo permisible del material con la **Ecuación (24).**

$$\sigma_{permisible} = \frac{\sigma_{fluencia}}{n_s} \qquad \text{Ecuación (24)}$$

Donde:

$\sigma_{permisible} = Esfuerzo\ permisible\ del\ material\ [MPa]$

$\sigma_{permisible} = Esfuerzo\ a\ la\ fluencia\ del\ material\ [MPa]$

$n_s = Coeficiente\ de\ seguridad$

- Por último, se calcula el espesor del material con la **Ecuación (25).**

$$e_{plancha} = \frac{q * b}{2 * \sigma_{permisible}} \quad \text{Ecuación (25)}$$

Donde:

$e_{plancha} = Espesor\ de\ la\ plancha\ [m]$

5.2.5 Dosificación

Para la dosificación se diseñó un sistema de resortes que permita el paso del limón cuando un operario realice una fuerza y se cierre por acción del resorte cuando ya sece la fuerza.

5.2.6 Cepillos

Para el diseño de los cepillos se sigue el siguiente procedimiento.

- Se determina la velocidad lineal del limón se mediante la **Ecuación (26).**

$$v_{lineal} = \frac{l_{mesa}}{t_{lavado}} \quad \text{Ecuación (26)}$$

Donde:

$v_{lineal} = Velocidad\ lineal\ \left[\frac{m}{s}\right]$

$l_{mesa} = Longitud\ de\ la\ mesa\ [m]$

$t_{lavado} = Tiempo\ de\ lavado\ [s]$

- Se calcula el número de cepillos de la máquina con la **Ecuación (27).**

$$n_{cepillos} = \frac{l_{mesa}}{D_{cepillos}} \quad \text{Ecuación (27)}$$

Donde:

$n_{cepillos} = Número\ de\ cepillos$

$l_{mesa} = Longitud\ de\ la\ mesa$

$D_{cepillos} = Diámetro\ de\ los\ epillos$

5.3 Selección del motorreductor

Para seleccionar el motorreductor de la máquina lavadora y clasificadora de cepillos se procedió de la siguiente manera.

- Se calcula la fuerza necesaria de un cepillo para trasladar un limón con la **Ecuación (28).**

$$F_{cepillo} = m_{limón} * g \qquad \text{Ecuación (28)}$$

Donde:

$F_{cepillo} = Fuerza\ del\ cepillo\ [N]$

- Se determina el torque necesario para desplazarlo por los rodillos con la **Ecuación (29).**

$$\tau_{torque} = F_{cepillo} * r_{cepillo} \qquad \text{Ecuación (29)}$$

Donde:

$\tau_{torque} = Torque$

- Después, se determina la velocidad angular de los rodillos con la **Ecuación (30).**

$$\omega_{cepillos} = \frac{v_{lineal}}{r_{cepillo}} \qquad \text{Ecuación (30)}$$

Donde:

$\omega_{cepillos} = Velocidad\ angular\ de\ los\ cepillos$

$v_{lineal} = Velocidad\ lineal$

- Se determina la potencia necesaria para levantar el limón con la **Ecuación (31).**

$$P = \tau_{torque} * \omega_{cepillo} \qquad \text{Ecuación (31)}$$

Donde:

$P = Potencia\ neesaria\ para\ levantar\ un\ limón\ [Nm]$

- Finalmente se determina la potencia necesaria para mover 13 limones con la **Ecuación (32).**

$$P_{cepillo} = P * n_h \qquad \text{Ecuación (32)}$$

Donde:

$P_{cepillo} = Potencia\ del\ cepillo$

$n_h = Número\ de\ hileras$

- Finalmente se calcula la potencia de diseño utilizando la **Ecuación (33).**

$$P_d = P_t * F_s$$ Ecuación (33)

Donde:

$P_d = Potencia\ de\ diseño\ [W]$

$F_s = Factor\ de\ seguridad$

Por último, se calcula la potencia total con la **Ecuación (34)**.

$$P_d = P_{Total} * F_s$$ Ecuación (34)

Donde:

$P_{total} = Potencia\ total\ [W]$

$P_d = Potencia\ de\ diseño\ [W]$

$F_s = Número\ de\ cepillos$

Selección de la cadena

En la evaluación del sistema de transmisión mediante cadenas, se siguió la metodología propuesta en el libro de (Budynas, 2008) y el catálogo de (CAUSER, s. f.), que está enfocada únicamente en cadenas y piñones.

- La potencia de diseño de las cadenas se define mediante la **Ecuación (35).**

$$P_D = P_{motorreductor} * (F_{cadenas})$$ Ecuación (35)

Donde:

$P_D = Potencia\ de\ diseño\ [W]$

$P_{motorreductor} = Potencia\ del\ motorreductor\ [W]$

$F_{cadenas} = Factor\ de\ seguridad$

- La longitud de la cadena se calculó usando la **Ecuación (36).**

$$\frac{L_c}{P_{paso}} = \frac{2D_{centros}}{P_{paso}} + \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{4 * \pi^2 * \frac{D_{centros}}{P_{paso}}}$$ Ecuación (36)

Donde:

$L_c = Longitud\ de\ la\ cadena\ [m]$

$P_{paso} = Paso\ de\ la\ cadena\ [m]$

$D_{centros} = Distancia\ entre\ centros\ [m]$

$Z_1 = N\acute{u}mero\ de\ dientes$

- El diámetro de la Catarina se determinó con la **Ecuación (37).**

$$D_{catarina} = \frac{P_{paso}}{sen\left(\frac{180}{Z_1}\right)} \qquad \text{Ecuación (37)}$$

Donde:

$D_{catarina} = Diámetro\ de\ la\ catarina$

- La velocidad lineal de la cadena se calcula mediante la **Ecuación (38).**

$$v_{LCaadena} = \frac{P_{paso} * Z_1 * n_{motor}}{60} \qquad \text{Ecuación (38)}$$

Donde:

$v_{LCaadena} = Velocidad\ lineal\ de\ la\ cadena\ \left[\frac{m}{s}\right]$

$n_{motor} = Revoluciones\ por\ minuto\ [rpm]$

- El esfuerzo útil y la fuerza centrífuga se evaluaron con las ecuaciones **Ecuación (39)** y **Ecuación (40)**, respectivamente.

$$F_u = \frac{P_D}{v_{LCaadena}} \qquad \text{Ecuación (39)}$$

Donde:

$F_u = Esfuerzo\ \acute{u}til\ [N]$

- Se calcula la fuerza centrífuga.

$$F_c = (v_{Lcadena}^2) * \left(m_{peso_unitario}\right) \qquad \text{Ecuación (40)}$$

Donde:

$F_c = Fuerza\ centrífuga\ [N]$

$v_{Lcadena} = Velocidad\ lineal\ de\ la\ cadena$

$m_{peso_unitario} = Peso\ unitario\ de\ la\ cadena\ \left[\frac{kg}{m}\right]$

- El esfuerzo total que soporta la cadena se calcula mediante la **Ecuación (41).**

$$F_0 = F_u + F_c \qquad \text{Ecuación (41)}$$

Donde:

$F_0 = Esfuerzo\ total\ que\ soporta\ la\ cadena\ [N]$

- Finalmente, el coeficiente de seguridad se determinó usando la **Ecuación (42).**

$$C_s = \frac{F_B}{F_0} \qquad \text{Ecuación (42)}$$

Donde:

$C_s = Coeficiente\ de\ seguridad$

$F_B = Carga\ de\ ruptura\ [N]$

Este es el proceso que se siguió para el cálculo del sistema de transmisión por cadenas de la máquina lavadora de limones.

5.3.1 Cálculo del sistema de rotación

Para el sistema de rotación se basó en la metodología propuesta por el libro de resistencia de materiales de (Mott., 2006), y el catálogo de (Ivan BOHMAN, s. f.) para la selección de los materiales. El diámetro del eje viene dado por la **Ecuación (43).**

$$D_{eje} = \sqrt[3]{\frac{16 * T_{total} * n_s}{\pi * S_y} * \sqrt{3}} \qquad \text{Ecuación (43)}$$

Donde:

$D_{eje} = Diámetro\ del\ eje\ [m]$

$T_{total} = Torque\ total\ [Nm]$

$S_y = Esfuerzo\ a\ la\ cedencia\ [Pa]$

Selección de rodamientos

Para la selección de rodamientos se aplicó la metodología propuesta por FAG (2000), empleando el diámetro mínimo calculado del eje y se selecciona un rodamiento. Para el cual se sigue el siguiente procedimiento:

- Se determina la carga P que actúa con la siguiente **Ecuación (44).**

$$P = (X * F_r) + (Y * F_a) \qquad \text{Ecuación (44)}$$

Donde:

$P = Carga\ que\ soporta\ el\ rodamiento\ [N]$

$F_r = Fuerza\ radial$

$X = Factor\ selecionado\ de\ catálogo$

$F_a = Fuerza\ axial\ [N]$

$Y = Factor\ de\ catálogo$

A partir de la página 152-177, del catálogo de FAG, se selecciona un rodamiento que tenga un diámetro interior igual al diámetro calculado del eje.

- Se seleccionan los factores para cargas radiales y axiales de los rodamientos para obtener un valor para e y x, y poder aplicar la siguiente **Ecuación (45).**

$$\frac{f_o * F_a}{C_o} \qquad \text{Ecuación (45)}$$

Donde:

$C_o = Carga\ estática$

- Después se calcula la vida nominal del rodamiento en revoluciones, aplicando la **Ecuación (46).**

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^p [10^6\ revoluciones] \qquad \text{Ecuación (46)}$$

Donde:

$L = vida\ nominal\ en\ revoluciones$

$C = Capacidad\ de\ carga$

$p = Exponente\ de\ vida\ para\ un\ rodamiento\ de\ bolas$

5.3.2 Cálculo del sistema hidráulico

Para el diseño hidráulico, se consideró un reservorio de almacenaje de agua, el sistema de bombeo, los aspersores y la bomba que es la encargada de suministrar el agua a los aspersores.

Para el cálculo del sistema hidráulico se basó en la metodología propuesta (Mott ., 2006) y (Claudio Mataix, 2006), para la selección de la tubería se utilizó el catálogo de PVC, en cambio para la bomba se la selección de catálogo de Pedrollo.

- Selección de los aspersores: en esta parte se determinó el caudal y la presión a la salida de cada aspersor.
- Se calcula el diámetro de la tubería mediante la **Ecuación (47).**

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}} \qquad \text{Ecuación (47)}$$

Donde:

$D = Diámetro\ de\ la\ tubería\ [m]$

$Q = Caudal\ \left[\frac{m^3}{s}\right]$

$v = velocidad\ \left[\frac{m}{s}\right]$

- Se calcula las pérdidas primarias mediante la **Ecuación (48).**

$$Hr_p = \frac{10.674 * (L + \Sigma pérdidas) * (Q)^{1.852}}{C_{HW}{}^{1.852}(D)^{4.871}} \qquad \text{Ecuación (48)}$$

Donde:

$Hr_p = Pérdidas\ primarias\ [m]$

$L = Longitud\ de\ la\ tubería\ [m]$

$\Sigma pérdidas = Pérdidas\ de\ accesorios\ \ [m]$

$C_{HW} = Coeficiente\ de\ Hazen\ Willians$

- Luego se calcula las pérdidas secundarias mediante la **Ecuación (49):**

$$Hr_s = \Sigma K\left(\frac{8Q^2}{g\pi^2 D^4}\right) \qquad \text{Ecuación (49)}$$

Donde:

$Hr_s = Pérdidas\ secundarias\ [m]$

$\Sigma K = Pérdidas\ por\ accesorios$

$g = Constante\ de\ la\ gravedad\ \left[\frac{m}{s^2}\right]$

- Después se calcula la altura manométrica de la instalación aplicando la ecuación de Bernoulli, la cual está expresada por la **Ecuación (50).**

$$Z_1 + \frac{v^2{}_1}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + H_{mi} = Z_2 + \frac{v^2{}_2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Hr_{PT} + Hr_{ST} \qquad \text{Ecuación (50)}$$

Donde:

$Z = Altura\ manométrica\ \ [m]$

$P = Presión\ [Pa]$

$\gamma = Peso\ específico\ \left[\frac{N}{m^3}\right]$

$H_{mi} = Altura\ de\ bombeo$

$Hr_{PT} = Pérdidas\ primarias\ totales\ [m]$

$Hr_{ST} = Pérdidas\ secundarias\ totales\ [m]$

Por último, se calcula la potencia de la bomba con la siguiente **Ecuación (51):**

$$P_{Bomba} = \rho * g * H_{mi} * Q_{total} \qquad \text{Ecuación (51)}$$

Donde:

$P_{Bomba} = Potencia\ de\ la\ bomba\ [W]$

$\rho = Densidad\ \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

$Q_{total} = Caudal\ total\ \left[\frac{m^3}{s}\right]$

5.3.3 Cálculo del sistema de transferencia

Para calcular el sistema de transferencia se calculó el sistema de transportación desde la lavadora hasta el sistema de clasificado mediante una banda transportadora, se sigue los siguientes pasos:

- Se calcula la longitud de la banda transportadora con la **Ecuación (52).**

$$L_{banda} = 2 * C + \pi D_{rodillo}$$ Ecuación (52)

Donde:

$L_{banda} = Longitud\ de\ la\ banda\ transportadora\ [m]$

$C = Distancia\ entre\ centros\ [m]$

- Se determina el área de la banda transportadora con la **Ecuación (53).**

$$A_{banda} = L_{banda} * a_{banda}$$ Ecuación (53)

Donde:

$A_{banda} = Área\ de\ la\ banda\ [m^2]$

$a_{banda} = Ancho\ de\ la\ banda\ [m]$

- La masa de la banda se calcula con la **Ecuación (54).**

$$m_{banda} = \frac{m_{banda-unidad\ de\ área}}{m^2} * A_{banda}$$ Ecuación (54)

Donde:

$m_{banda} = Masa\ de\ la\ banda\ [kg]$

$m_{unidad\ de\ área} = Masa\ de\ la\ banda\ por\ unidad\ de\ área\ \left[\frac{kg}{m^2}\right]$

- Se calcula la fuerza necesaria multiplicando la fuerza normal por el coeficiente de rozamiento con la **Ecuación (55).**

$$F_{necesaria} = W_{total} * \mu$$ Ecuación (55)

Donde:

$F_{necesaria} = Fuerza\ necesaria\ [N]$

$W_{total} = Peso\ total\ [N]$

$\mu = Coeficiente\ de\ rozamiento$

5.3.4 Sistema de clasificación

Para el sistema de clasificación se determinará el porcentaje de área abierta mediante la **Ecuación (56).**

$$A_o = \left(\frac{L_A}{L_A + L_w}\right)^2 * 100$$ Ecuación (56)

Donde:

$A_o = Porcentaje\ de\ area\ abierta\ [\%]$

$L_A = Distancia\ de\ separación [m]$

$L_w = Espesor\ de\ la\ varilla\ [m]$

6 Resultados

6.1 Descripción de la máquina diseñada

El mecanismo permite agilizar el proceso de lavado y clasificación de limones. El diseño propuesto se muestra en la **Figura 14**, donde se destacan las principales partes de la máquina lavadora, secadora y clasificadora.

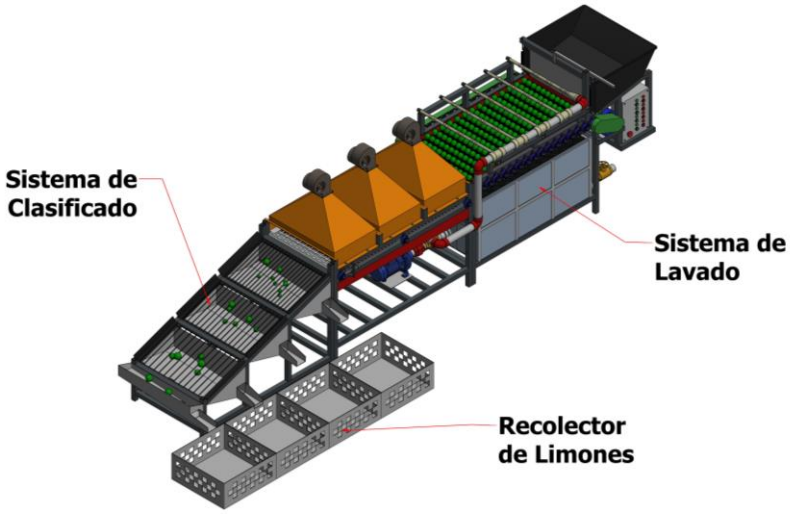


Figura 14. Principales partes del sistema diseñado.
Fuente: (Autora)

Para determinar los parámetros de diseño, se establece la demanda diaria necesaria para la hacienda “San Antonio” en cuanto a la producción de limones. Se requiere una lavadora y clasificadora capaz de procesar 450 kg/h (30 cajas de limones de 33 libras cada una). Se considera la diversidad de tamaño de limones, los cuales se encuentran detallados en la **Figura 15**. Estos tamaños fueron obtenidos a través de un levantamiento de información en el campo, lo que permitió establecer los siguientes parámetros a considerar.

- Capacidad de la lavadora y clasificador de limones 450 kg/h.
- El diámetro promedio de los limones.

Figura 15. Mediciones de limones.
Fuente: (Autora).

Se inició considerando las dimensiones del producto, lo que ofreció diversas alternativas para la elección de la máquina a diseñar. Posteriormente, se evaluó todas las condiciones relevantes y se optó por una selección específica.

6.1.1 Mediciones del limón

De acuerdo a las mediciones realizadas del producto, se determinó los requisitos que debe cumplir la máquina a diseñar. En la **Tabla 7**, se muestran los diámetros y el número de mediciones que se le realizaron al limón, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 7. Mediciones del limón.

Nº de Medición	Diámetro (cm)	Diámetro (cm)	Diámetro (cm)
1	5.05	4.13	3.57
2	4.74	4.24	3.61
3	4.54	3.91	3.83
4	4.88	4.31	3.50
5	4.54	4.00	3.94
6	4.82	4.41	3.94
7	5.18	4.06	3.77
8	4.43	3.92	3.79
9	4.62	4.14	3.65
10	4.76	4.04	3.90
11	4.79	4.10	3.44
12	4.68	4.00	3.63
13	5.00	4.12	3.51
14	4.74	4.20	3.70
15	4.81	4.21	3.60
16	4.68	3.91	3.54
17	4.30	4.42	3.71
18	4.48	3.90	3.74
19	4.49	4.07	3.33
20	4.49	4.13	3.81

Fuente: (Autora).

Es importante destacar que los meses de mayor producción en la hacienda abarca desde junio hasta octubre.

En la **Figura 16**, se utiliza un histograma para representar la distribución de tamaños (diámetros medidos en centímetros) de una muestra de 60 limones tomados al azar de una cosecha registrada previamente, realizada entre los meses de junio y julio de 2022. A partir de estos datos, se llevó a cabo un ajuste aproximado a una distribución normal. Esto posibilita realizar una estimación razonable de los porcentajes de limones que se obtendrían en cada categoría de tamaño en futuras producciones y que se busca que sean clasificadas correctamente con la máquina que se propone en este trabajo.

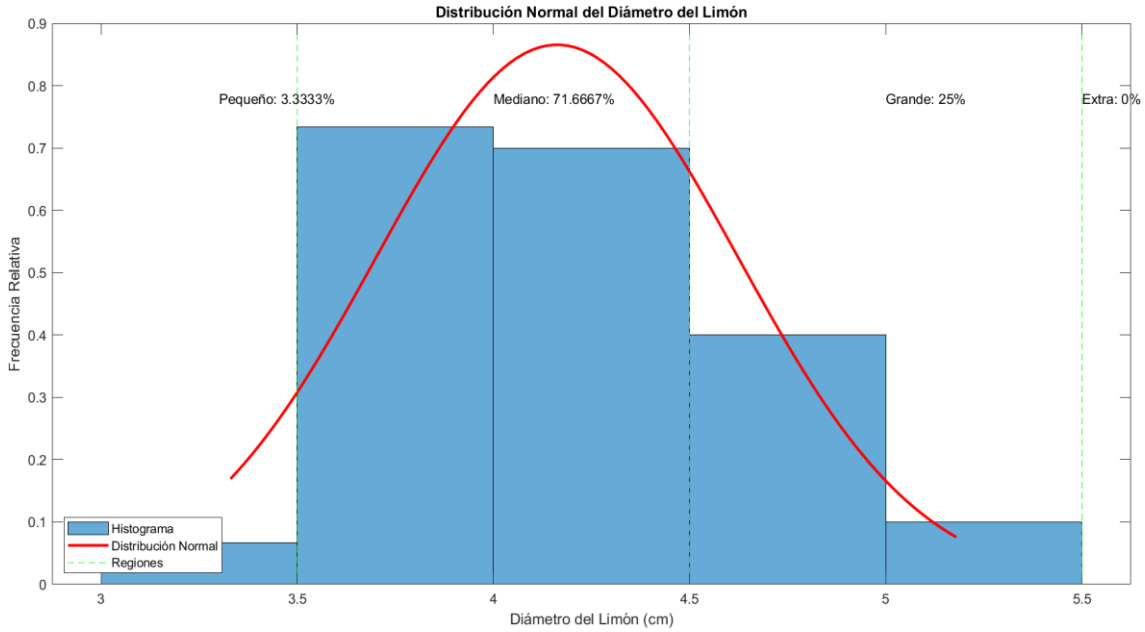


Figura 16. Distribución normal del diámetro del limón.
Fuente: (Autora).

Por lo tanto, el diseño de la máquina clasificadora tiene que ajustarse a estos rangos, aunque, debe permitir, ajustarse a otros rangos en función de las necesidades del producto.

Esta gráfica y resultados permitirá también, mediante los porcentajes asociados, determinar la rentabilidad del proyecto al conocer la cantidad de producto clasificado y los precios asociados a cada tamaño.

En la gráfica de distribución normal, se puede apreciar que el limón de tamaño pequeño abarca un 3.3%, mientras que el limón de tamaño mediano comprende el 71.7%. Por otro lado, el limón de tamaño grande representa el 25% de la distribución. Es relevante destacar que no hay una categoría adicional en la clasificación, la cual corresponde al 0%.

6.1.2 Selección del tipo de lavadora de limones

Para este proceso se aplica el método Scoring propuesto por (Romeva, 2010), para elegir la opción más adecuada. A continuación, se presentan las alternativas, criterios de evaluación, parámetros considerados para determinar la mejor opción de diseño tanto para el sistema de lavado como para el de clasificación. En la **Tabla 8**, se muestran los criterios a evaluar para el tipo de máquina a diseñar.

Tabla 8. Criterios a evaluar para el tipo de máquina a diseñar

Parámetros de evaluación de la máquina	
CRITERIOS A EVALUAR	DESCRIPCIÓN
Operación	Método de lavado y clasificado del producto.
Seguridad	Riesgos que presente durante su operación.
Ensamble y Construcción	Menor número de tareas para su construcción.
Facilidad de transporte	Facilidad de transportarla al lugar de trabajo.
Mantenimiento	Facilidad para desarrollar el mantenimiento de sus partes.
Ruido	Menor intensidad de sonidos provenientes de la máquina.
Costo	Menor costo de los materiales para la construcción.

Fuente: (Autora)

Ponderación para la selección de la lavadora

Se asignan valores de 1 a 5 para cada criterio, donde 1 = deficiente y 5 = excelente. Los valores asignados se presentan en la **Tabla 9**, los cuales son:

Tabla 9. Ponderación para la selección de la lavadora

CRITERIOS A EVALUAR	**DESCRIPCIÓN**
4	Operación
3	Seguridad
4	Ensamble y Construcción
4	Facilidad de transporte
5	Mantenimiento
3	Ruido
4	Costo

Fuente: (Autora)

Aceptación para cada opción

Los valores de aceptación para cada opción se presentan en la **Tabla 10**, en una escala de 1 a 9, distribuidos de la siguiente manear:

1=extra bajo, 2=muy bajo, 3=bajo, 4=poco bajo, 5=medio, 6=poco alto, 7=alto, 8=muy alto, 9=extra alto.

Tabla 10. Aceptación para cada opción de la lavadora

Criterio	OPCIONES		
	A	B	C
Operación	8	9	8
Seguridad	9	9	9
Ensamble y Construcción	6	7	6
Facilidad de transporte	8	9	8
Mantenimiento	6	7	5
Ruido	3	2	3
Costo	3	2	4

Fuente: (Autora).

La selección del tipo de lavadora se muestra en la **Tabla 11**, donde se realizó el cálculo de la puntuación, multiplicando los valores de ponderación por los de aceptación y sumando los resultados. El mecanismo con la puntuación más alta se elige como la opción preferida. En este caso la opción B obtiene la mayor puntuación.

Tabla 11. Selección del tipo de lavadora a diseñar

CRITERIO	PONDERACIÓN	MECANISMO		
		A	B	C
Operación	4	32	36	32
Seguridad	3	27	27	27
Ensamble y Construcción	4	24	28	24
Facilidad de transporte	4	32	36	32
Mantenimiento	5	30	35	25
Ruido	3	9	6	9
Costo	4	12	8	16
SCORE		166	176	165

Fuente: (Autora)

Tipo de mecanismo seleccionado

El mecanismo de referencia para el diseño es una lavadora de cepillo giratorio con aspersores de agua. Esta máquina cuenta con un motorreductor, un tanque de agua de almacenamiento, rodillos giratorios para el transporte de los limones y un sistema de transmisión que permite el movimiento de los rodillos.

6.1.3 Tipo de clasificadora de limones

Para clasificar los limones en función de su diámetro en grande, mediano, pequeño y extragrande, siga un proceso similar al de la lavadora. Se aplican los mismos pasos usando el método Scoring y se evalúan los mismos criterios de selección.

La ponderación de criterios para evaluar se muestra en la **Tabla 12**.

Tabla 12. Criterios para evaluar

CRITERIOS A EVALUAR	DESCRIPCIÓN
4	Operación
3	Seguridad
4	Ensamble y Construcción
3	Montaje y desmontaje
3	Facilidad de transporte
3	Mantenimiento
4	Ruido
4	Costo

Fuente: (Autora)

La aceptación para cada alternativa se muestra en la **Tabla 13.** Los valores de aceptación se asignan en una escala de 1 a 9.

Tabla 13. Valores asignados para cada alternativa

Criterio	CLASIFICADORA		
	A	B	C
Operación	8	9	9
Seguridad	8	8	9
Ensamble y Construcción	9	8	5
Montaje y desmontaje	6	6	7
Facilidad de transporte	4	4	9
Mantenimiento	5	5	6
Ruido	4	4	5
Costo	9	9	6

Fuente: (Autora)

Selección del tipo de clasificadora

Se realiza el cálculo del puntaje para cada alternativa, multiplicando la ponderación por la aceptación y sumando los resultados. La alternativa con el puntaje más alto se elige como la opción preferida. En este caso, la alternativa C obtiene la puntuación más alta.

Tabla 14. Selección del SCORE de mejor puntuación.

CRITERIO	PONDERACIÓN	CLASIFICADORA		
		A	B	C
Operación	4	32	36	36
Seguridad	3	24	24	27
Ensamble y Construcción	4	36	32	20
Montaje y desmontaje	3	18	18	21
Facilidad de transporte	3	12	12	27
Mantenimiento	3	15	15	18
Ruido	4	16	16	20
Costo	4	36	36	24
SCORE		189	189	193

Fuente: (Autora)

Tipo de clasificadora seleccionada

La clasificadora de limones seleccionada cuenta con tres niveles de clasificación: grande, mediano, pequeño y una sección extragrande. Una vez determinados los tipos de lavadora y clasificadora de limones adecuados para el diseño, se procede a realizar los cálculos correspondientes.

6.1.4 Diseño de la máquina lavadora y clasificadora

6.1.5 Parámetros de diseño de la máquina

La información brindada por el propietario de la finca acerca de las funciones que la máquina debe desempeñar durante el proceso de lavado y clasificado de los limones, fue empleada para establecer los requisitos fundamentales para el diseño de la máquina.

Las especificaciones clave para el diseño de esta herramienta innovadora son las siguientes:

- La máquina se instalará en un galpón con dimensiones de 6 metros de largo por 4 metros de ancho.
- La alimentación eléctrica monofásica de 2 fases tres hilos (220/110 V).
- La capacidad de lavado y clasificación requerido es de aproximadamente 450 kg/h.
- El proceso de clasificación debe realizarse en tres categorías de tamaños distintos, a saber.
    - Tamaño pequeño: limones con un diámetro inferior a 3.5 cm.
    - Tamaño medio: limones con un diámetro superior a 3.5 cm, pero que no exceda a 4.5 cm.
    - Tamaño grande: Limones con un diámetro mayor a 4.5 cm hasta 5.5 cm.

Estos criterios constituyen los requisitos mínimos que deben ser considerados durante el proceso de diseño para asegurar la funcionalidad de la máquina lavadora y clasificadora de limones, garantizando así que cumpla con las necesidades y requerimientos de los propietarios de la hacienda “San Antonio”

6.1.6 Diseño mecánico

En esta fase, se desarrolla el diseño detallado de los sistemas que componen la máquina para el procesamiento de limones, descrita en dos sistemas principales: Lavadora y clasificadora. En la **Tabla 15**, se muestran los sistemas y subsistemas.

Tabla 15. Sistemas de la máquina clasificadora y lavadora de limones.

SISTEMA	SUBSISTEMAS	Componentes	Descripción
Sistema de lavado	Almacenamiento inicial	Tolva inicial.	Garantiza una alimentación controlada en función de la capacidad de procesamiento (450 kg/h) y condiciones de trabajo.
		Compuerta dosificadora.	Permite regular el flujo de limones, su función principal es proporcionar una dosificación en un punto determinado del proceso.
	Transportador y cepillado	Cepillos.	Son cilindros delgados que contienen cerdas que permiten limpiar y eliminar la suciedad de la piel de los limones sin dañar la corteza.
		Transmisión por cadenas.	Permite el movimiento de los cepillos mediante una configuración de cadenas, para transmitir la potencia entre los ejes.
		Motorreductor.	El motorreductor proporciona una adecuada velocidad de giro de los rodillos para el lavado de los limones.
		Ejes.	Es el encargado de transmitir el movimiento, y soportar las cargas de los cepillos y limones.
		Tolva de drenaje	Permite recoger el agua de los aspersores y rodillos para llevarlo al tanque de agua.

		Sistema de lubricación por grasa	El grado alimenticio es NSF-H2, el cual indica que el lubricante está diseñado para su uso en áreas donde hay un riesgo mínimo de contacto directo con alimentos, y en caso de que ocurra la cantidad de contacto es limitada y no representa un peligro significativo para la salud del consumidor.
	Lavado	Tanque de agua.	Almacena el agua para luego ser bombeado hasta los aspersores mediante la tubería de transporte impulsada por una bomba de agua.
		Aspersores.	Rocían agua para limpiar la superficie externa del limón de manera uniforme y eficiente.
		Tubería y accesorios.	Distribuye el fluido desde el tanque de almacenamiento hasta los aspersores para el lavado de los limones.
		Bomba.	Es la encargada de distribuir el agua del tanque por la tubería hasta los aspersores.

		Sedimentador y filtrado.	Permite separar partículas suspendidas en un líquido, estas partículas se depositen en el fondo debido a la gravedad. En el filtrado se pasa al líquido por una superficie porosa, como un filtro o una membrana para retener partículas sólidas, permitiendo obtener un líquido limpio y libre de impurezas.
	Transportador de transferencia	Banda transportadora.	La banda transportadora permite trasladar el limón desde el sistema de lavada hasta el sistema de clasificado, pasando por el sistema de secado por aire forzado.
	Sistema eléctrico	Circuito de fuerza.	Permite controlar y suministrar energía eléctrica a los motores.
		Circuito de control. Dispositivos de emergencia.	Permite controlar los motores y dispositivos eléctricos y electrónicos de la máquina lavadora y clasificadora de limones. El paro de emergencia permite detener la máquina completamente si ocurre algún fallo para seguridad de los operadores.

		Tablero de control.	El tablero de control cuenta con los indicadores que muestra la información del proceso específico, en los cuales se encuentran las luces de señalización, botoneras de encendido apagado el paro de emergencia.
Sistema de clasificado	Secador	Ventilador.	Permite agilitar el proceso de secado de los limones.
	Clasificador	Criba.	Garantiza la clasificación de los limones de acuerdo a los tamaños requeridos en grande mediano y pequeño adicionalmente cuenta con una sección extragrande para los limones que no encajan en ninguna de las anteriores.

Fuente: (Autora)

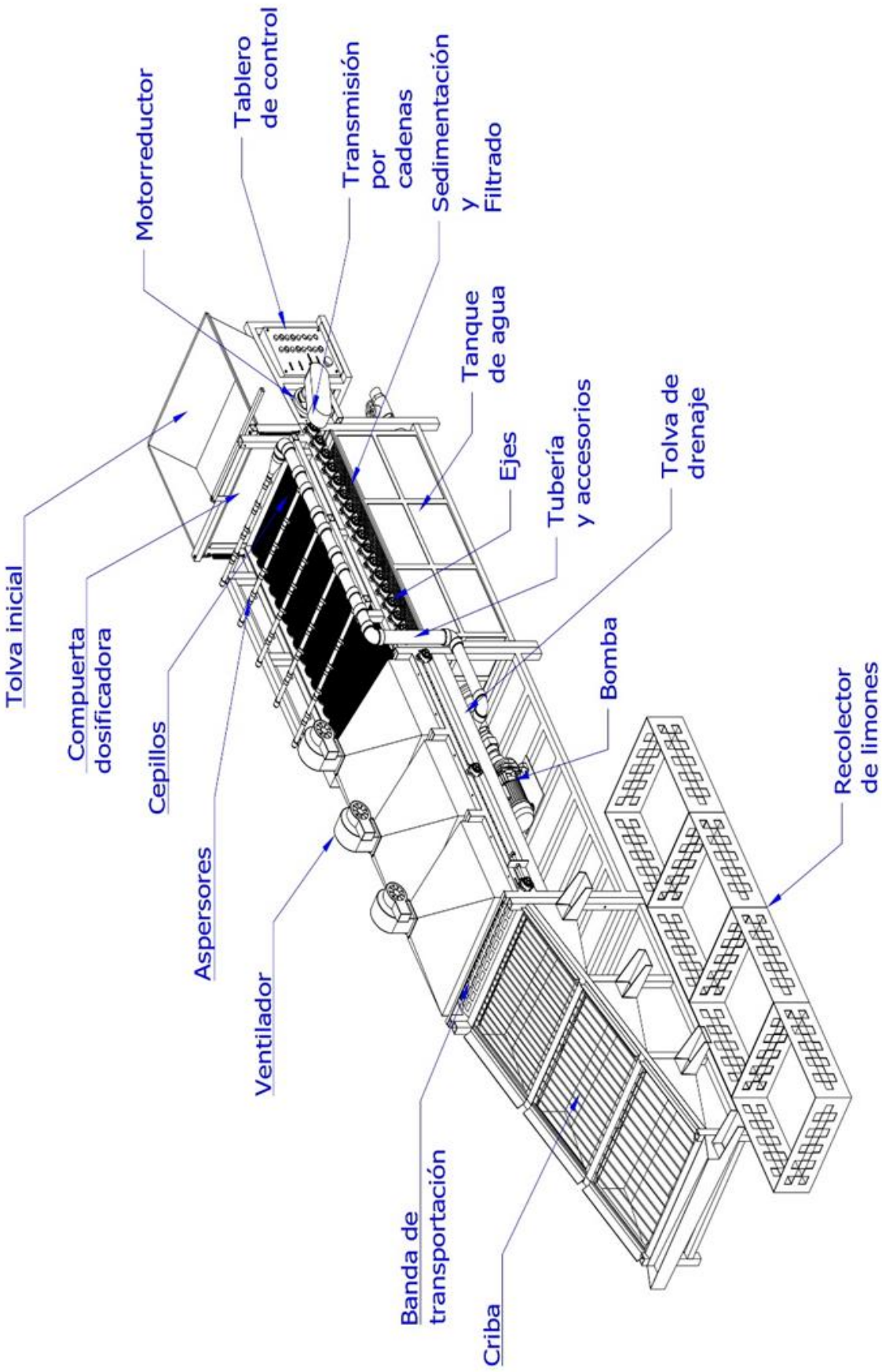


Figura 17. Conjunto de la máquina lavadora, secadora y clasificadora
Fuente: (Autora)

El proceso de lavado se inicia en la tolva, la cual requiere una capacidad de procesamiento de 450 kg/h, con un ciclo de recarga cada 20 minutos. Los cítricos se depositan en la tolva de almacenamiento inicial, desde donde son transportados hacia los cepillos de cerdas en movimiento, diseñados para llevar a cabo el lavado sin causar daños a la corteza del cítrico. Luego, son dirigidos hacia la banda transportadora del sistema de secado, que facilita el secado y drenaje del agua mediante un flujo de aire controlado.

El agua que se encuentra en la corteza del limón, se escurre y se recolectada por una bandeja que la devuelve al tanque de almacenamiento para su reutilización. Finalmente, los cítricos pasan por un sistema de clasificación según su tamaño, que los divide en tres categorías de pequeño, mediano y grande y una sección extragrande para los limones que no den en ninguna de las tres categorías antes mencionadas. Los limones después de ser clasificados son recolectados en cuatro bandejas separadas de acuerdo al tamaño del limón.

6.2 Sistema de lavado

El sistema de lavado, está conformado por los siguientes subsistemas:

1. Almacenamiento inicial.
2. Transportador y cepillado.
3. Lavado.
4. Transportador de transferencia.
5. Sistema eléctrico.

6.2.1 Almacenamiento inicial

Para el almacenamiento inicial se cuenta con una tolva que tiene la capacidad de almacenar 150 kg de limones, para evitar atasco en la compuerta dosificadora se implementó una palanca con dos resortes a los costados que permitan al operario levantar la compuerta y esta regrese al punto de inicio una vez que haya cesado la fuerza. Ver **Figura 18**.

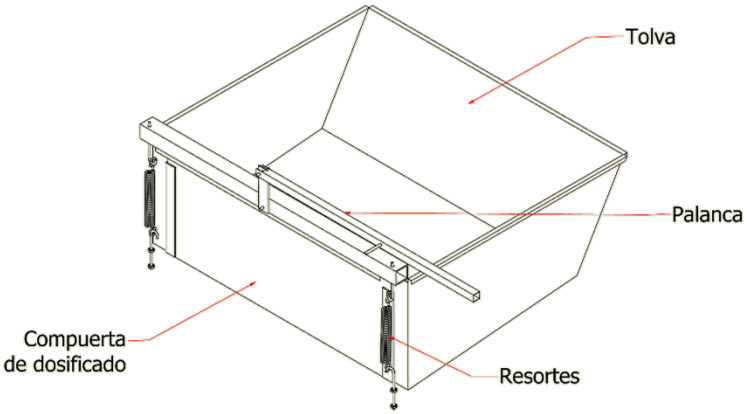


Figura 18. Tolva de alimentación.
Fuente: (Autora)

El material que se utilizó para la tolva y la compuerta dosificadora es de acero inoxidable SAE 304, ya que proporciona resistencia a la corrosión en una amplia variedad de condiciones de oxidación.

6.2.1.1 Tolva inicial

La tolva es la encargada de alimentar de limones al sistema de lavado, las dimensiones están basadas en la altura promedio de una persona de 1.70 m; y se planteó la siguiente metodología de cálculo.

Geometría y volumen de la tolva

Para determinar la geometría y el volumen de la tolva se determinó algunos parámetros como la masa del limón, el flujo másico y el diámetro del limón. Obteniendo los siguientes resultados. Ver **Anexo 1**.

Datos:

$\dot{m} = 450 \frac{kg}{h}$

$m_{limón} = 0.076\ kg$

$D_{limón} = 5.05\ cm$

Se determina el volumen aproximado del limón mediante la **Ecuación (16):**

$$V_{limón} = \frac{4}{3} * \pi * R_{limón}^3$$

$$V_{limón} = \frac{4}{3} * \pi * (0.02525\ m)^3$$

$$V_{limón} = 6.743 * 10^{-5}\ m^3$$

Se determina la densidad del limón con la **Ecuación (17):**

$$\rho_{limón} = \frac{m_{limón}}{V_{limón}}$$

$$\rho_{limón} = \frac{0.076\ kg}{6.743 * 10^{-5}\ m^3}$$

$$\rho_{limón} = 1.127 * 10^3 \frac{kg}{m^3}$$

Se determina la masa que ingresará a la tolva con la **Ecuación (18).**

$$m_{limón-tolva} = (\dot{m})(t_{alimentación})$$

$$m_{limón-tolva} = \left(450 \frac{kg}{h}\right)\left(\frac{1h}{3600s}\right)(1200s)$$

$$m_{limón-tolva} = 150\ kg$$

Cálculo del volumen que debe tener la tolva, considerando un factor de corrección del 30% por los espacios que hay entre limón y limón con la **Ecuación (19).**

$$V_{requerido} = \frac{m_{limón-tolva}}{\rho_{limón}} * 1.3$$

$$V_{requerido} = \frac{150\ \ kg}{1.127 * 10^3\ \frac{kg}{m^3}} * 1.3$$

$$V_{requerido} = 0.17\ m^3$$

En la **Figura 19**, se muestra la geometría de la tolva que se realizó para la alimentación de la máquina lavadora la cual tiene una inclinación de 10º para que permita que el limón ruede hacia los cepillos, en el diseño se utilizó acero inoxidable.

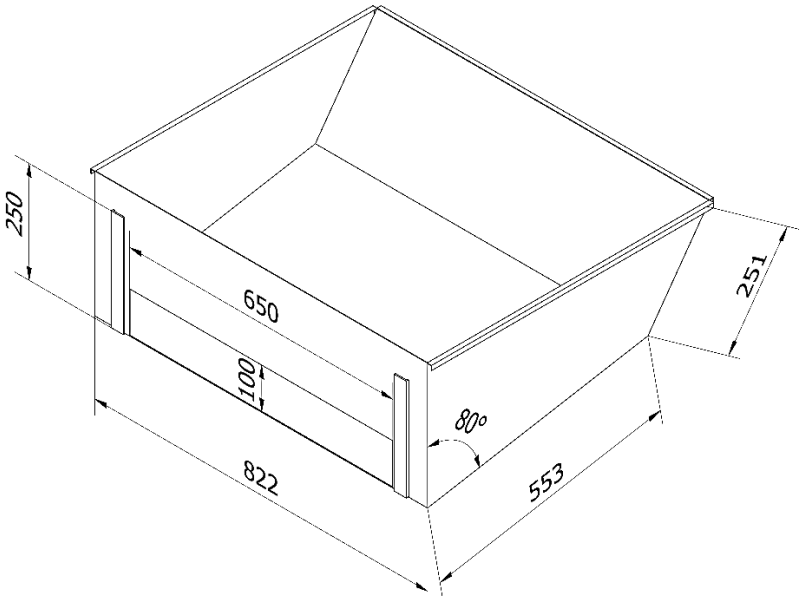


Figura 19. Medidas en mm de la tolva de la clasificadora de limones.
Fuente: (Autora)

Se calcula el volumen de la tolva y el espesor de la plancha mediante las siguientes formulas:

Cálculo de las áreas

$A_1 = (0.546m) * (0.822m) = 0.20m^2$

$A_2 = (0.695m) * (0.822m) = 0.57m^2$

Cálculo del volumen de la tolva con la **Ecuación (21).**

$$V_T = \frac{h}{3}\left(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 * A_2}\right)$$

$$V_T = \frac{0.3m}{3}\left(0.20m^2 + 0.57m^2 + \sqrt{0.20m^2 * 0.57m^2}\right)$$

$V_T = 0.17\ m^3$

El volumen de la tolva debe ser mayor o igual al volumen del limón requerido, siendo estos dos volúmenes iguales. Por lo que las medidas establecidas para la tolva son aceptables.

Cálculo del área de una pared de la tolva. Ver **Figura 20**.

$A_T = b * h$

$A_T = (0.822m) * (0.347m)$

$A_T = 0.2852\ m^2$

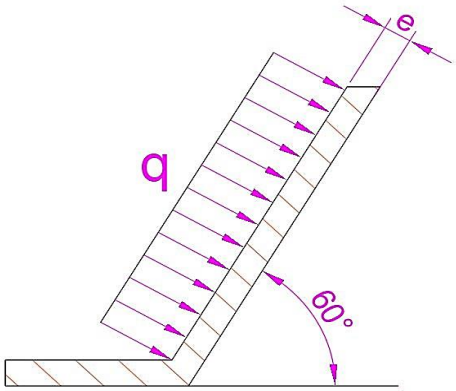


Figura 20. Pared de la tolva de alimentación.
Fuente: (Autora)

Cálculo del peso del limón con la **Ecuación (22).**

$$W_{limón} = m_{limón} * g$$

$$W_{limón} = (150kg) * \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)$$

$$W_{limón} = 1471.5\ N$$

Se calcula la presión en la pared del recipiente mediante la **Ecuación (23).**

$$q = \frac{W_{limón} * sen(60°)}{A_T}$$

$$q = \frac{(1471.5\ N) * sen(60)}{0.2852m^2}$$

$$q = 4868.3 \frac{N}{m^2}$$

Luego se calcula el esfuerzo permisible del material, para lo cual se emplea el esfuerzo a la fluencia ($\sigma_{fluencia} = 25\ \frac{kg}{mm^2}$) en este caso acero inoxidable SAE 304, pera el cual se propone usar un coeficiente de 3.5.

$$\sigma_{permisible} = \frac{\sigma_{fluencia}}{n_s}$$

$$\sigma_{permisible} = \frac{25\ MPa}{3.5}$$

$$\sigma_{permisible} = 7.14\ MPa$$

Se considera como recipiente de pared delgada, y se determina el esfuerzo tangencial que está sometido.

$$\sigma_{tangencial} = \frac{q * b}{2 * e_{plancha}} \leq \sigma_{permisible}$$

Se despeja el espesor de la plancha **Ecuación (25).**

$$e_{plancha} = \frac{q * b}{2 * \sigma_{permisible}}$$

$$e_{plancha} = \frac{\left(4868.3 \frac{N}{m^2}\right) * (0.850m)}{2 * 7.14\ MPa}$$

$$e_{plancha} = 2.89x10^{-4}\ m = 0.3mm$$

El espesor de la plancha seleccionado es de 1 mm de espesor de acero inoxidable SAE 304. Se seleccionó dicho espesor para evitar deformaciones por golpes de los limones al momento de la descarga que hacen los trabajadores, además cuenta con dobleces en los bordes y la mitad de la tolva para aumentar la rigidez.

6.2.1.2 Compuerta dosificadora

La compuerta dosificadora, permite controlar y regular la cantidad necesaria de limones que se van a lavar. Está diseñada para que se abra y cierre de una manera controlada, como se muestra en la **Figura 21**. Permitiendo controlar la cantidad de limones a pasar.

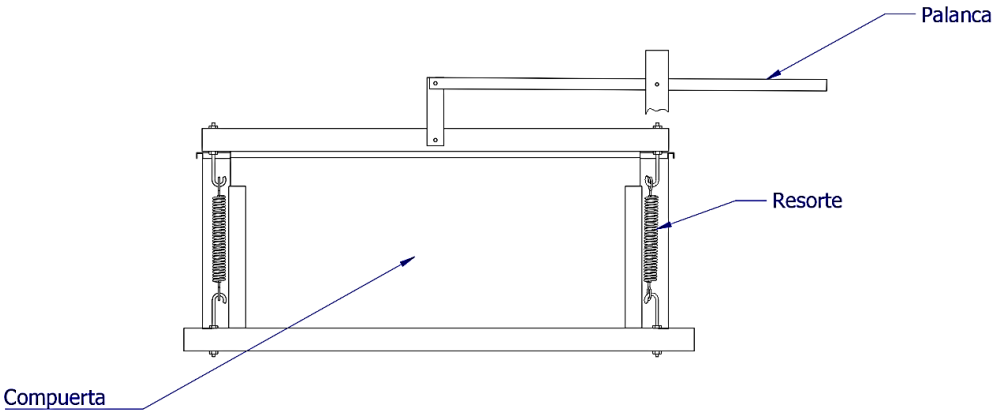


Figura 21. Compuerta dosificadora.
Fuente: (Autora)

El operador presiona la palanca permitiendo que se abra la compuerta dosificadora y permite el paso de los limones, cuando cesa la fuerza ejercida en la palanca los resortes cierran la compuerta impidiendo el paso del cítrico.

6.2.2 Transportador y cepillos

Para el diseño del transportador y cepillos se utilizó una guía descrita en (Lavadora de cepillos y rodillos, s. f.). Permite tener información sobre los componentes necesarios para el lavado de cítricos. En la **Figura 22**, se muestra el transportador y cepillos.

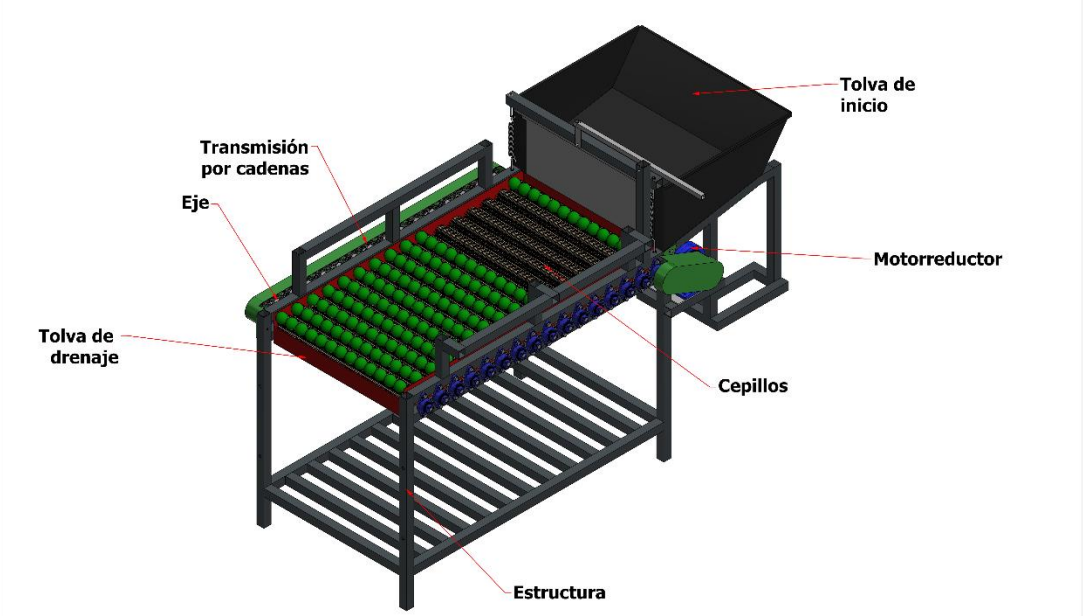


Figura 22. Transportador y cepillos.
Fuente: (Autora)

Velocidad lineal del limón

La velocidad lineal del limón se determina mediante la relación entre la longitud total de la mesa y el tiempo que se requiere para lavarlo mientras recorre dicha distancia. Para lograr esto, se realizó una revisión de libros, revistas y catálogos de lavadoras de limones, tales como del fabricante chino Taibo Industrial (Taibo, 2023), la empresa española Washturnkey (Washturnkey, 2022), el directorio en línea especializado en la agricultura Agroshow (Agroshow, 2023); así como otros recursos relacionados con el tema, tales como los videos de promoción de maquinaria de la empresa: FstSort (FstSort, 2023), (First Industry, 2023), (ERE maquinaria industrial, 2023), entre otras. A partir de estos datos, se establece que la longitud de la mesa es $l_{mesa} = 1.27\ m$ y se necesita un tiempo $t_{lavado} = 25\ s$, para lograr el lavado completo del cítrico. Utilizando esta información, se calculó la velocidad lineal del proceso con la **Ecuación (26):**

$$v_{lineal} = \frac{l_{mesa}}{t_{lavado}}$$

$$v_{lineal} = \frac{1.27\ m}{25\ s}$$

$$v_{lineal} = 0.051 \frac{m}{s}$$

6.2.2.1 Cepillos

La longitud de los cepillos se extenderá mediante la configuración de 7 módulos, cada uno con una extensión de 10 cm, resultando en una longitud total de 70 cm. Los parámetros

relevantes fueron seleccionados a partir del catálogo de Cepillería KER, cuyos detalles se encuentran en el **Anexo 2**.

Datos:

$D_{exterior-cepillo} = 0.08\,m$

$D_{interior-min-cepillo} = 0.02\,m$

Cálculo del número de cepillos con la **Ecuación (27).**

$$n_{cepillos} = \frac{l_{mesa}}{D_{cepillos}}$$

$$n_{cepillos} = \frac{1.275\,m}{0.08\,m}$$

$$n_{cepillos} = 15.9575$$

En el diseño, se considera un conjunto total de 16 cepillos separados a intervalos de 85 mm entre sí, como se visualiza en la **Figura 23**.

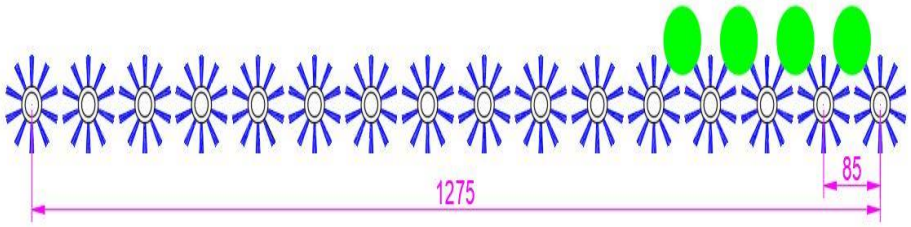


Figura 23. Número de cepillos
Fuente: (Autora)

6.2.2.2 Motorreductor

Se procede a determinar la fuerza que debe ejercer el cepillo sobre el limón para trasladarlo de un cepillo a otro como se muestra en la **Figura 24**.

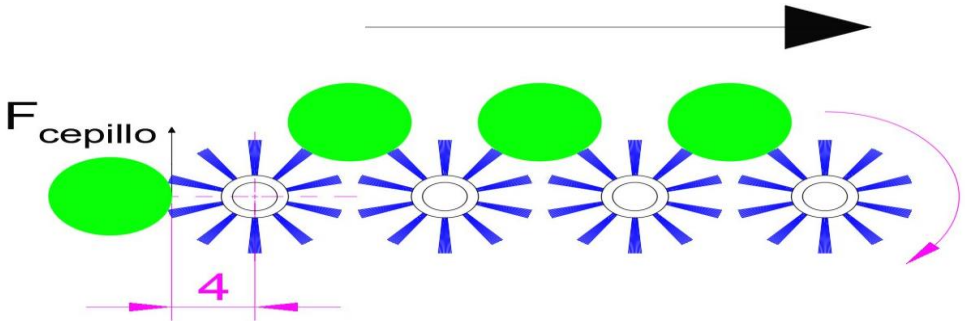


Figura 24. Fuerza que debe ejercer el rodillo para mover un limón.
Fuente: (Autora)

Cálculo de la fuerza del cepillo para trasladar el limón.

$F_{cepillo} = m_{limón} * g$

$F_{cepillo} = (0.076\,kg)\left(9.81\frac{m}{s^2}\right)$

$F_{cepillo} = 0.746\ N$

Se supondrá que el centro de gravedad del limón estará en la parte periférica del rodillo de radio 4 cm, siendo esta la posición más desfavorable para ser desplazado por los rodillos. Ver **Figura 24**, y se calcula mediante la **Ecuación (29).**

$\tau_{torque} = F_{cepillo} * r_{cepillo}$

$\tau_{torque} = (0.746\ N) * (0.04\ m)$

$\tau_{torque} = 0.0298\ Nm$

Con la velocidad lineal calculada anteriormente y el radio del cepillo se calcula la velocidad angular con la **Ecuación (30).**

$v = \omega * R$

$\omega_{cepillos} = \frac{v_{lineal}}{r_{cepillo}}$

$\omega_{cepillos} = \frac{0.051 \frac{m}{s}}{0.04\ m}$

$\omega_{cepillos} = 1.275 \frac{rad}{s}$

Se determina la potencia necesaria para levantar un limón de la máquina, con la **Ecuación (31).**

$P = \tau_{torque} * \omega_{cepillo}$

$P = (0.0298\ Nm)(1.275 \frac{rad}{s})$

$P = 0.0380\ W$

Potencia que se necesita para moverlo, el rodillo debe mover 13 limones al mismo tiempo y se debe multiplicar la potencia que se requiere para mover un limón por el número de hileras (13). Ver la **Figura 25**.

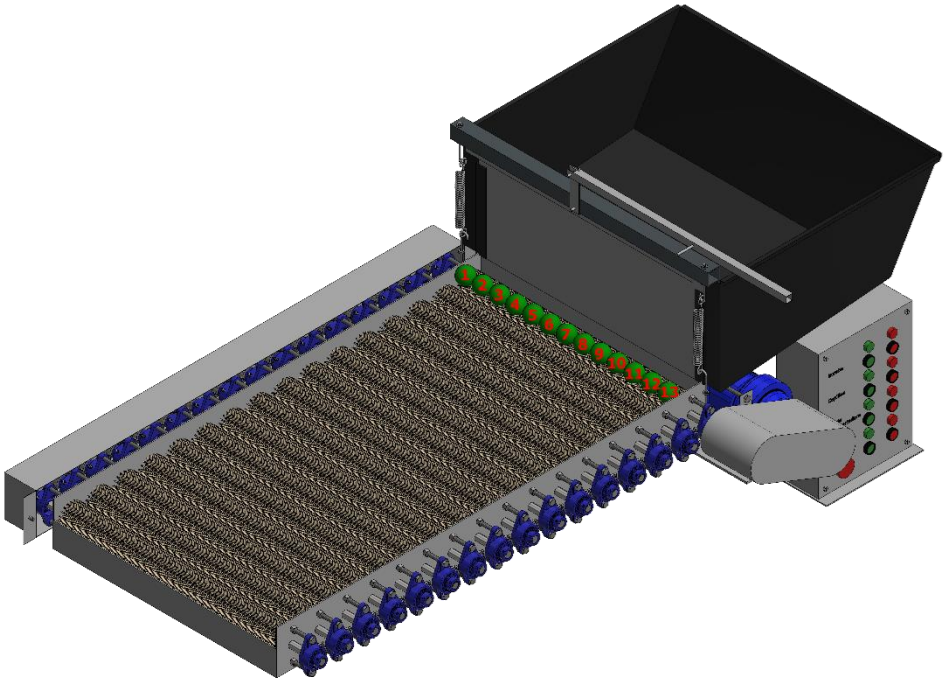


Figura 25. Número de hileras de limones.
Fuente: (Autora)

$$P_{cepillo} = P * n_h$$

$$P_{cepillo} = (0.0380\ W) * (13)$$

$$P_{cepillo} = 0.494\ W$$

Potencia requerida por un cepillo para mover una hilera de 13 limones y transportarlo al siguiente cepillo.

El sistema está conformado por 16 cepillos, y se calcula la potencia necesaria que debe tener el motorreductor para poder moverlos y transportarlos, también se tiene en cuenta el rendimiento de transmisión por cadena, se considera que es de 95% en condiciones óptimas (Cueva, s. f.). Se calcula la potencia necesaria para los 16 cepillos instalados en la máquina. En la **Figura 26**, se muestra la configuración de los rodillos y la cadena.

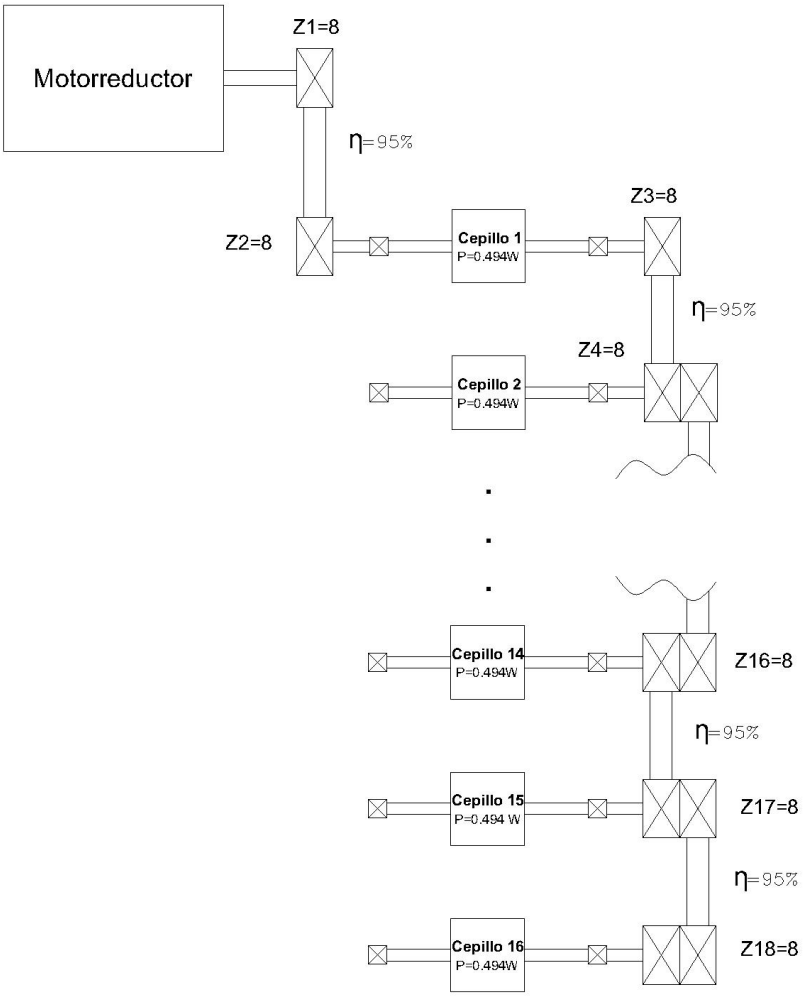


Figura 26. Configuración del sistema de trasmisión.
Fuente: (Autora)

Cálculo de la potencia para el cepillo 1.

$$P_{cepillo1} = \frac{P_{cepillo}}{\eta}$$

$$P_{cepillo1} = \frac{0.494\ W}{0.95}$$

$$P_{cepillo1} = 0.52\ W$$

Cálculo de la potencia para el cepillo 2.

$$P_{cepillo2} = \frac{P_{cepillo1} + P_{cepillo}}{\eta}$$

$$P_{cepillo2} = \frac{0.52\ W + 0.494\ W}{0.95}$$

$$P_{cepillo2} = 1.067\ W$$

Cálculo de la potencia para el cepillo 3.

$$P_{cepillo3} = \frac{P_{cepillo2} + P_{cepillo}}{\eta}$$

$$P_{cepillo3} = \frac{1.067\ W + 0.494\ W}{0.95}$$

$$P_{cepillo3} = 1.644\ W$$

Cálculo de la potencia para el cepillo 4.

$$P_{cepillo4} = \frac{P_{cepillo3} + P_{cepillo}}{\eta}$$

$$P_{cepillo4} = \frac{1.644\ W + 0.494\ W}{0.95}$$

$$P_{cepillo4} = 2.25\ W$$

Cálculo de la potencia para el cepillo 5.

$$P_{cepillo5} = \frac{P_{cepillo4} + P_{cepillo}}{\eta}$$

$$P_{cepillo5} = \frac{2.25\ W + 0.494\ W}{0.95}$$

$$P_{cepillo5} = 2.88\ W$$

Cálculo de la potencia para el cepillo 6.

$$P_{cepillo6} = \frac{P_{cepillo5} + P_{cepillo}}{\eta}$$

$$P_{cepillo6} = \frac{2.88\ W + 0.494\ W}{0.95}$$

$$P_{cepillo6} = 3.56\ W$$

Cálculo de la potencia para el cepillo 7.

$$P_{cepillo7} = \frac{P_{cepillo6} + P_{cepillo}}{\eta}$$

$$P_{cepillo7} = \frac{3.56\ W + 0.494\ W}{0.95}$$

$$P_{cepillo7} = 4.268\ W$$

Cálculo de la potencia para el cepillo 8.

$$P_{cepillo8} = \frac{P_{cepillo7} + P_{cepillo}}{\eta}$$

$$P_{cepillo8} = \frac{4.268\ W + 0.494\ W}{0.95}$$

$$P_{cepillo8} = 5.013\ W$$

Cálculo de la potencia para el cepillo 9.

$$P_{cepillo9} = \frac{P_{cepillo8} + P_{cepillo}}{\eta}$$

$$P_{cepillo9} = \frac{5.013\ W + 0.494\ W}{0.95}$$

$$P_{cepillo9} = 5.796\ W$$

Cálculo de la potencia para el cepillo 10.

$$P_{cepillo10} = \frac{P_{cepillo9} + P_{cepillo}}{\eta}$$

$$P_{cepillo10} = \frac{5.796\ W + 0.494\ W}{0.95}$$

$$P_{cepillo10} = 6.621\ W$$

Cálculo de la potencia para el cepillo 11.

$$P_{cepillo11} = \frac{P_{cepillo10} + P_{cepillo}}{\eta}$$

$$P_{cepillo11} = \frac{6.621\ W + 0.494\ W}{0.95}$$

$$P_{cepillo11} = 7.49\ W$$

Cálculo de la potencia para el cepillo 12.

$$P_{cepillo12} = \frac{P_{cepillo11} + P_{cepillo}}{\eta}$$

$$P_{cepillo12} = \frac{7.49\ W + 0.494\ W}{0.95}$$

$$P_{cepillo12} = 8.404\ W$$

Cálculo de la potencia para el cepillo 13.

$$P_{cepillo13} = \frac{P_{cepillo12} + P_{cepillo}}{\eta}$$

$$P_{cepillo13} = \frac{8.404\ W + 0.494\ W}{0.95}$$

$$P_{cepillo13} = 9.366\ W$$

Cálculo de la potencia para el cepillo 14.

$$P_{cepillo14} = \frac{P_{cepillo13} + P_{cepillo}}{\eta}$$

$$P_{cepillo14} = \frac{9.366\ W + 0.494\ W}{0.95}$$

$$P_{cepillo14} = 10.379\ W$$

Cálculo de la potencia para el cepillo 15.

$$P_{cepillo15} = \frac{P_{cepillo14} + P_{cepillo}}{\eta}$$

$$P_{cepillo15} = \frac{10.379\ W + 0.494\ W}{0.95}$$

$$P_{cepillo15} = 11.446\ W$$

Cálculo de la potencia para el cepillo 16.

$$P_{cepillo16} = \frac{P_{cepillo14} + P_{cepillo}}{\eta}$$

$$P_{cepillo16} = \frac{11.446\ W + 0.494\ W}{0.95}$$

$$P_{cepillo16} = 12.568\ W$$

Esta es la potencia necesaria requerida para trasladar el limón desde la tolva de alimentación hasta la banda transportadora por medio de los cepillos. Se debe tener en cuenta que la condición más crítica es cuando los cepillos estén cargados completamente tanto en número de hileras como de columnas como se muestra en la **Figura 27.**

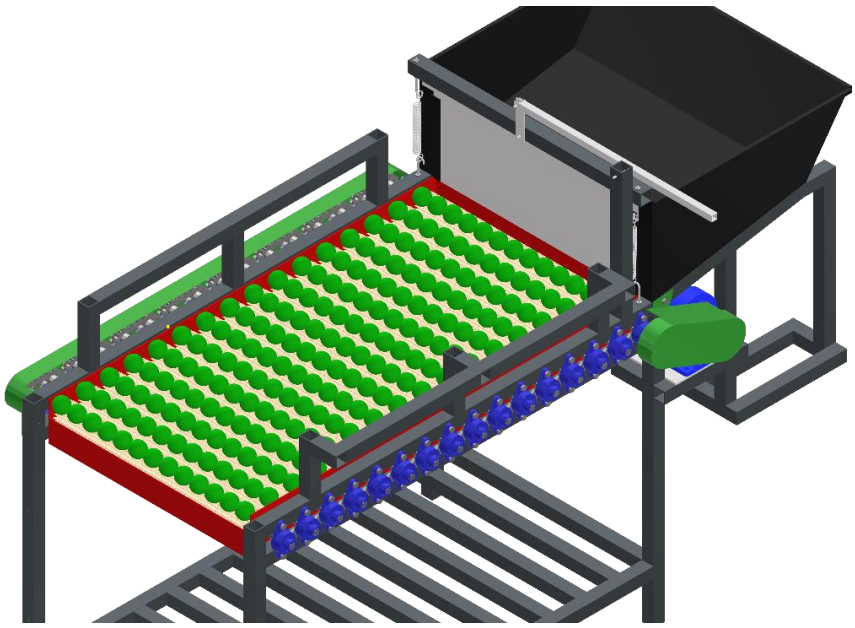


Figura 27. Sistema de lavado a plena carga.
Fuente: (Autora)

Siendo la potencia total la multiplicación de la potencia del cepillo 16 con el número de columnas (15) de limones mediante la ecuación:

$$P_{total} = P_{cepillo16} * (15)$$

$$P_{total} = (12.586W) * (15)$$

$$P_{total} = 188.79\ W$$

Se determina la potencia de diseño, con la **Ecuación (34),** y el factor de seguridad se lo selecciona de la **Tabla 6**.

$P_d = P_{Total} * F_s$

$P_d = (188.79\ W) * (1.2)$

$P_d = 1236.6\ W$

$P_d = 226.55\ W \approx 1/2\ hp \rightarrow motorreductor\ comercial$

Selección del motorreductor

El motorreductor seleccionado pertenece a la marca Rossi, con una potencia de $0.25\ kW$ que da una frecuencia de giro 12.1 RPM. Esta selección se basó en la información proporcionada del catálogo. (*Reductores de Velocidad | Reductores y Motorreductores Coaxial | Motorex*, s. f.). Este motor proporciona un par de salida de 19 Nm. En el **Anexo** 3, se muestra el motorreductor seleccionado.

Figura 28. Motorreductor coaxial MR 3I 64 - 71 B 6

6.2.2.3 Transmisión por cadenas

En la transmisión del eje del motorreductor al eje de los cepillos se tiene una velocidad angular de 12.1 RPM para la limpieza de los limones, para la cual se optó instalar catarinas de 8 dientes y tener una relación de transmisión de 1:1 en la **Figura 29**, se muestra una catarina impulsada por cadenas.

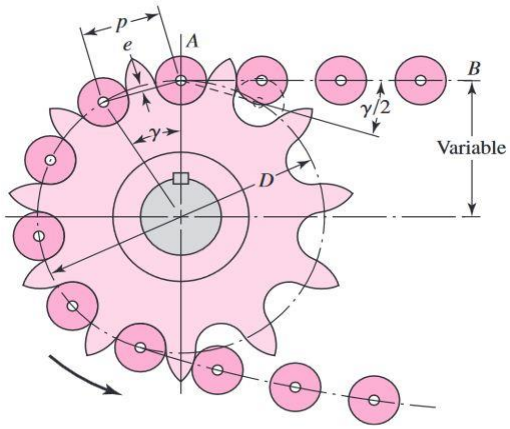


Figura 29. Catarina es impulsada por una cadena.
Fuente: (Budynas, 2008)

Se aplicó la teoría presentada del libro de Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley, y el catálogo ECA de piñones y discos / engranajes / cremalleras. La catarina que se seleccionó se muestra en el **Anexo 4**, la cual tiene una Z=8, de dos hileras, en la **Figura 30,** se muestra la configuración de la transmisión.

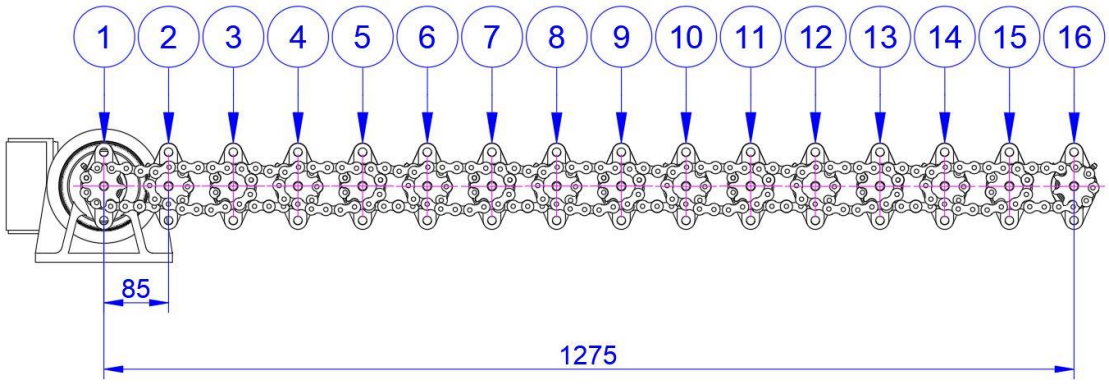


Figura 30. Configuración de la transmisión de la cadena.
Fuente: (Autora)

Para calcular la potencia de diseño de las cadenas, se utiliza el catálogo "Chains" y se emplea la **Ecuación (35).**

$$P_D = P_{motorreductor} * (F_{cadenas})$$

$$P_D = (250\ W) * (1.25)$$

$$P_D = 312.5\ W$$

La longitud de la cadena se la calcula mediante la **Ecuación (36):**

Datos:

$$D_{centros} = Distancia\ entre\ centros\ [85\ mm]$$

$$P_{paso} = Paso\ [19.05\ mm]$$

$$Z_1 = 8$$

$$\frac{L_c}{P_{paso}} = \frac{2D_{centros}}{P_{paso}} + \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{4 * \pi^2 * \frac{D_{centros}}{P_{paso}}}$$

$$\frac{L_c}{P_{paso}} = \frac{2(85\ mm)}{19.05\ mm} + \frac{8 + 8}{2} + \frac{(8 - 8)^2}{4 * \pi^2 * \frac{85mm}{19.05mm}}$$

$$\frac{L_c}{P_{paso}} = 16.924$$

$$L_C = 322.4\ mm$$

Diámetro de la catarina se la calcula mediante la **Ecuación (37):**

$$D_{catarina} = \frac{P_{paso}}{sen\left(\frac{180}{Z_1}\right)}$$

$$D_{catarina} = \frac{19.05mm}{sen\left(\frac{180}{8}\right)}$$

$$D_{catarina} = 49.78\ mm$$

La velocidad lineal de la cadena se la calcula con la **Ecuación (38):**

$$v_{LCadena} = \frac{P_{paso} * Z_1 * n_{motor}}{60}$$

$$v_{LCadena} = \frac{(0.01905m) * (8) * (12.1rpm)}{60}$$

$$v_{LCadena} = 0.0307\frac{m}{s}$$

Se calcula el esfuerzo útil de la cadena mediante la **Ecuación (39):**

$$F_u = \frac{P_D}{v_{LCadena}}$$

$$F_u = \frac{312.5\ W}{0.0307\frac{m}{s}}$$

$$F_u = 1047.23\ N$$

Después se calcula la fuerza centrífuga mediante la **Ecuación (40):**

$$F_c = (v_{Lcadena}^2) * \left(m_{peso_unitario}\right)$$

$$F_c = \left(0.0307\frac{m}{s}\right)^2 * \left(1.25\frac{kg}{m}\right)$$

$$F_c = 1.18x10^{-3}\ N$$

El esfuerzo total que soporta la cadena se lo calcula con la **Ecuación (41):**

$$F_0 = F_u + F_c$$

$$F_0 = 1047.23\ N + 1.18x10^{-3}\ N$$

$$F_0 = 1047.23\ N$$

La carga de ruptura F_B se lo escoge del catálogo de "Chains", Ver **Anexo 5**. Se calcula el coeficiente de seguridad mediante la **Ecuación (42):**

$$C_s = \frac{F_B}{F_0}$$

$$C_s = \frac{29\ 500\ N}{1047.23\ N}$$

$$C_s = 28.2$$

La característica de la cadena y catarina que se seleccionó se muestran en la **Tabla 16**.

Tabla 16. Características de la cadena y catarina seleccionada.

Cadena						Catarina		
Serie	Paso (mm)	Tipo	longitud	Distancia entre centros (mm)	Eslabones	Serie	Dientes	Diámetro primitivo (mm)
12B	19.05	Cadena simple de rodillos	322.4	85	17	12B2	8	49.78

Fuente: (Autora)

6.2.2.4 Diseño del eje

El material seleccionado para el diseño del eje de los rodillos es el SAE 1018, el cual tiene un esfuerzo a la cedencia de 31 kg/mm^2 (ver **Anexo 6**) tiene una equivalencia de 304 MPa, se seleccionó un factor de seguridad recomendado por Mott de 4 para una torsión repetida. En la **Figura 31,** se muestra el diseño del eje.

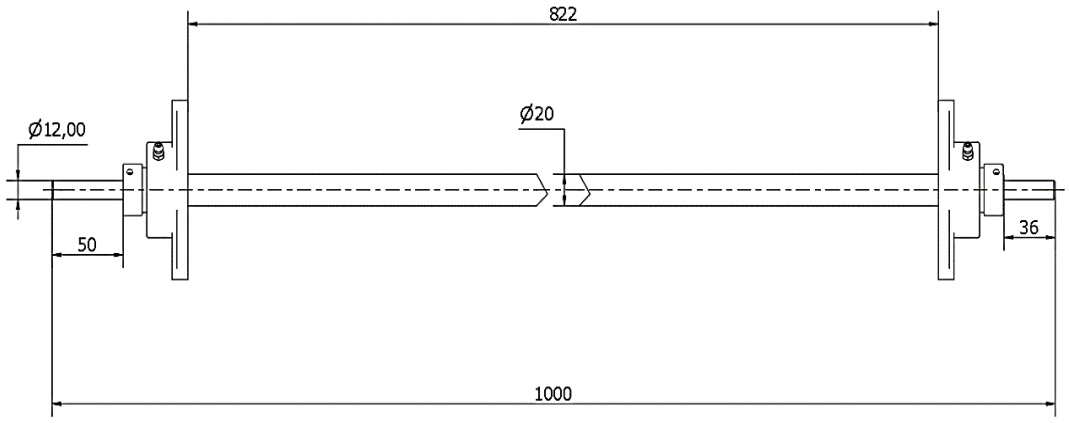


Figura 31. Eje.
Fuente: (Autora)

$S_y = 304\ MPa$

$n_s = 4$

$$D_{eje} = \sqrt[3]{\frac{16 * (\tau_{torque} * n_h) * n_s}{\pi * S_y} * \sqrt{3}}$$

$$D_{eje} = \sqrt[3]{\frac{16 * (0.0298\ Nm * (13))(4)}{\pi * (304\ MPa)} * \sqrt{3}}$$

$D_{eje} = 0.0035\ m$

$D_{eje} \approx 4\ mm$

El diámetro mínimo interior de los cepillos es de 20 mm, por lo que se escoge un eje de 20 mm para los cepillos.

Selección de los rodamientos

Con el cálculo del diámetro mínimo del eje se seleccionan los rodamientos, para lo cual se utiliza el método de FAG (2000). En la **Figura 32**, se muestra una chumacera de pared.

Figura 32. Chumacera de pared.
Fuente: (Koyo, 2019)

Se determina la carga P que actúa con la **Ecuación (44)**:

$$P = (X * F_r) + (Y * F_a)$$

Donde la carga que predomina es la carga radial F_r, y al no existir compresión en el eje se descarta la carga axial donde $F_a = 0$.

$$P = (X * F_r)$$

Se escoge un rodamiento que tenga el diámetro interior igual al del eje seleccionado, se establecen los parámetros de funcionamiento, como la carga estática, la carga dinámica y la denominación del rodamiento. Ver **Tabla 17**.

Tabla 17. Selección de rodamientos.

Rodamientos		
Carga Estática $\boldsymbol{C_o}$ $\boldsymbol{kN}$	Carga Dinámica C kN	Denominación
6.55	12.7	6204

Fuente: (Autora)

Una vez seleccionado el rodamiento se comienza a determinar los factores que inciden, siendo el $f_0 = 13.1$ como se muestra en el **Anexo 7**, Se calcula el factor axial del rodamiento de bolas, mediante la **Ecuación (45):**

$$\frac{f_o * F_a}{C_o}$$

$$\frac{13.1 * 0}{6.55} = 0$$

Se emplea el catálogo de FAG para seleccionar el valor de e, y x ver **Anexo 8.**

$e = 0.22$

$x = 1$

$P = (X * F_r)$

$P = (1) * (4.8445N)$

$P = 4.8445\ N$

Luego se calcula la vida nominal del rodamiento en revoluciones con la **Ecuación (46):**

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^p [10^6\ revoluciones]$$

De acuerdo a lo expuesto en el catálogo de FAG se emplea $p = 3$ para el exponente de vida útil.

$$L = \left(\frac{12700\text{N}}{4.8445N}\right)^3 [10^6\ revoluciones]$$

$L = 1.259 * 10^{10}$

6.2.2.5 Bandeja de drenaje

La bandeja de drenaje permite recoger el agua que utiliza para lavar los limones y depositarla de nuevo en el tanque de almacenaje. Como se muestra en la **Figura 33**. Además, permite mantener en su lugar a los cepillos giratorios.

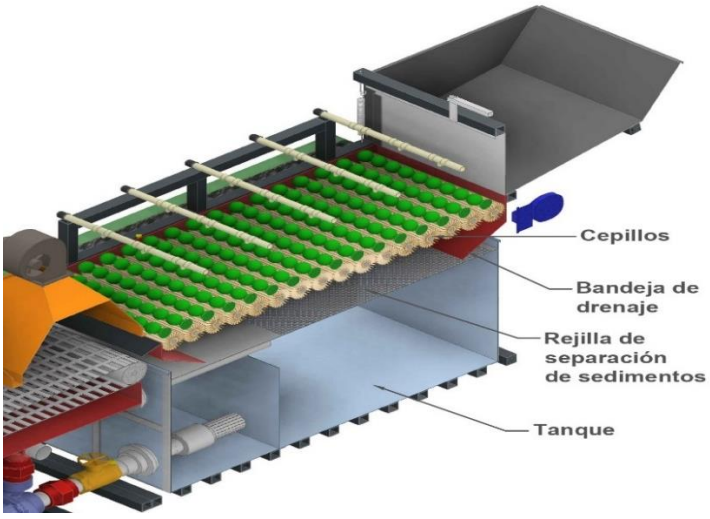


Figura 33. Bandeja de drenaje.
Fuente: (Autora)

Se la diseñó para ser construida en acero inoxidable SAE 304 de 1 mm de espesor.

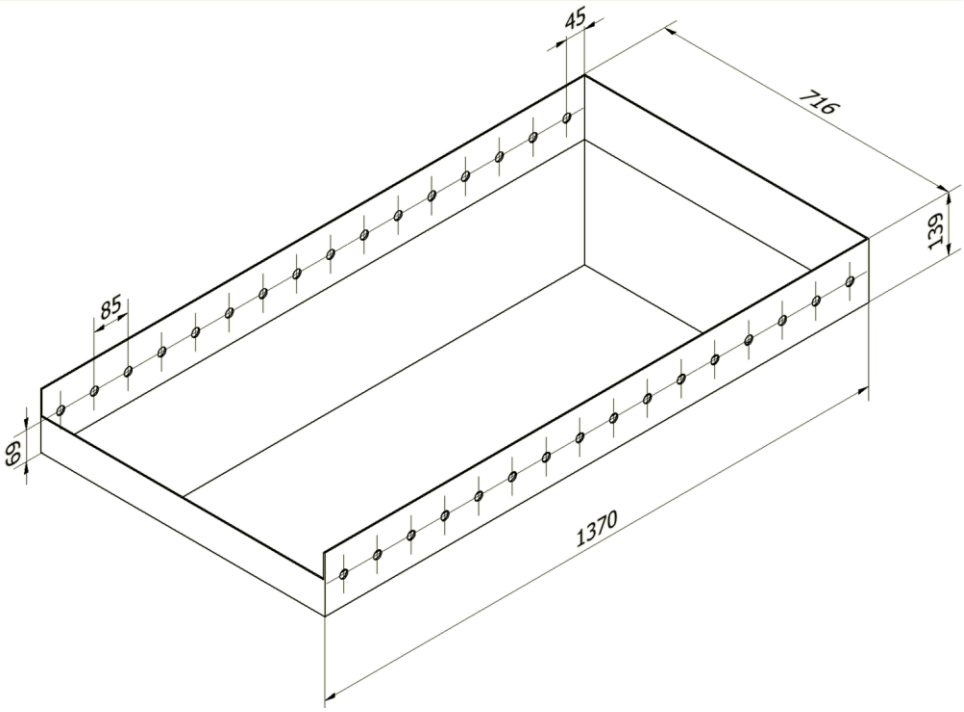


Figura 34. Medidas de la bandeja de drenaje.
Fuente: (Autora)

6.2.2.6 Sistema de lubricación por grasa

Se lo utiliza en la industria alimenticia para mantener componentes mecánicos, como rodamientos y engranajes, funcionando sin problemas. Se emplea lubricantes de grado alimentario que cumplan con regulaciones de seguridad alimenticia, para esta máquina se utilizó las regulaciones de seguridad establecidas por FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos). La lubricación debe contar con una certificación de grado alimenticio del tipo NSF-H2 para la cual se puede emplear grasa de litio en spray, tiene un rango de temperatura de uso de -10ºC a 250ºC.

6.2.3 Lavado

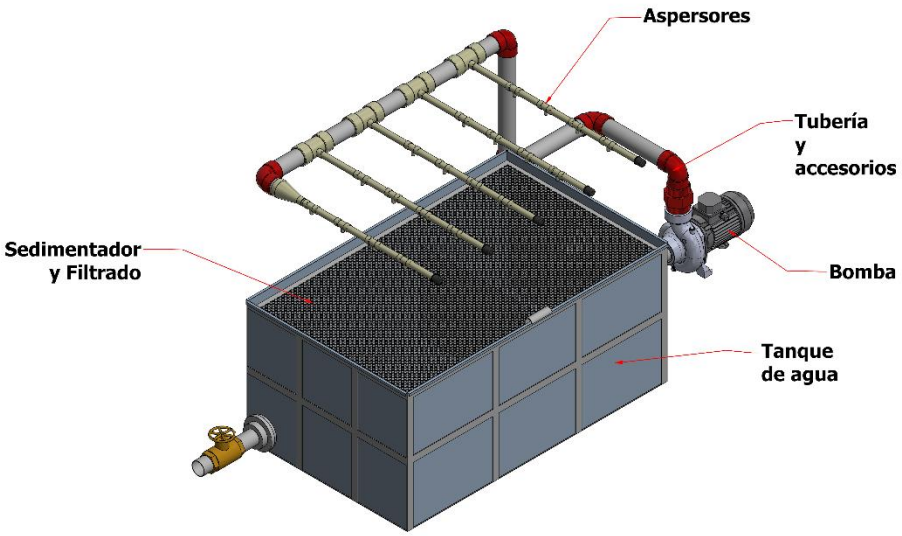


Figura 35. Sistema de bombeo.
Fuente: (Autora.)

El sistema de lavado está conformado por el tanque de almacenamiento de agua, la bomba, la tubería y accesorios, aspersores, el sedimentador y filtrado. Estas son todos los componentes que conforman el subsistema de lavado. Ver **Figura 35**.

6.2.3.1 Tanque de agua

Para el diseño se propone un recipiente rectangular, para almacenar $0.6\,m^3$ de agua, de esta cantidad de líquido se determina el tamaño del recipiente ver **Figura 36**, se propone las dimensiones de la base $a = 1.3\,m$ y $b = 0.8\,m$ y la altura $h = 0.60\,m$. El volumen de $0.6\,m^3$ para cada lavado con un sistema de recirculación de agua.

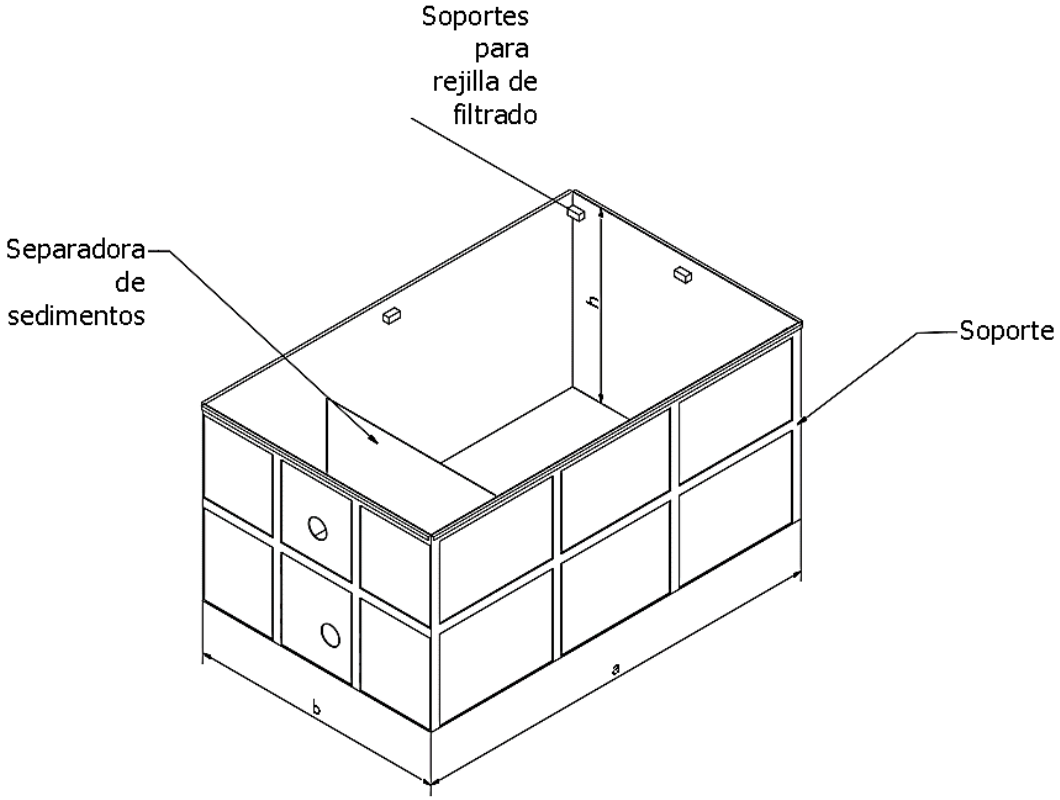


Figura 36. Diseño del recipiente.
Fuente: (Autora)

Se determina el área del recipiente

$A_{fondorecipiente} = a * b$

$A_{fondorecipiente} = (1.3m)(0.8m)$

$A_{fondorecipiente} = 1.04\ m^2$

Se determina la altura del recipiente.

$V_{diseño} = A_{fondorecipiente} * h_{resipiente}$

$$h_{recipiente} = \frac{V_{diseño}}{A_{fondorecipiente}}$$

$$h_{recipiente} = \frac{0.5\ m^3}{1.04\ m^2}$$

$h_{recipiente} = 0.557\ m$

$h_{recipientefinal} = 0.60\ m$

Donde la altura calculada $h_{recipiente}$ es menor a la altura propuesta h.

Cálculo del espesor del recipiente

El material que se utilizara para el diseño es una plancha laminada en caliente acabado en acero negro, proporciona una mayor resistencia a la corrosión y es producida de aleaciones de acero ASTM A36.

Se calcula la presión al fondo del recipiente, se considerará que el recipiente está completamente lleno.

$$P_{fondorecipiente} = \rho_{agua} * g * h_{recipiente}$$

$$P_{fondorecipiente} = \left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) * \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right) * (0.6m)$$

$$P_{fondorecipiente} = 5886 \ \frac{N}{m^2}$$

Se calcula el esfuerzo permisible del material, emplea el esfuerzo a la fluencia del material ($\sigma_{fluencia} = 250 \ MPa$) en este caso de la plancha laminada en caliente acabado acero negro, para el recipiente sometido a altas presiones se propone usar un coeficiente de seguridad de 3.5.

$$\sigma_{permisible} = \frac{\sigma_{fluencia}}{n_s}$$

$$\sigma_{permisible} = \frac{250 \ MPa}{3.5}$$

$$\sigma_{permisible} = 71.42 \ MPa$$

Se considera como recipiente de pared delgada, y se determina el esfuerzo tangencial que está sometido.

$$\sigma_{tangencial} = \frac{P_{fondorecipiente} * a}{2 * e_{plancha}} \leq \sigma_{permisible}$$

Se despeja el espesor de la plancha

$$e_{plancha} = \frac{P_{fondorecipiente} * a}{2 * \sigma_{permisible}}$$

$$e_{plancha} = \frac{\left(5886 \ \frac{N}{m^2}\right) * (1.3 \ m)}{2 * (71.42 \ MPa)}$$

$$e_{plancha} = 5.354 * 10^{-5} m$$

$$e_{plancha} = 0.054 \ mm$$

El espesor calculado para el diseño es de 0.054 mm. Sin embargo, para propósitos de diseño práctico, se emplearán planchas comerciales de 1 mm. La cual cuenta con refuerzos a los costados para darle una mayor rigidez al tanque.

6.2.3.2 Aspersores

El agua es aplicada sobre la superficie de los rodillos en forma de lluvia, esta sale a presión a través de pequeños orificios o boquillas, generalmente la presión se obtiene por bombeo de agua. Existen en la actualidad muchos tipos de boquillas para aspersores, la elección depende de la operación a la cual se los vaya a emplear:

- Abanico plano.
- Cono hueco.
- Cono llano.

Para la selección de los aspersores de la máquina lavadora, se revisó catálogos y revistas de aspersores de lavado de cítricos y legumbres, permitió seleccionar el aspersor de abanico plano, forma un patrón estrecho, elíptico, en forma de V invertida. En la **Figura 37**, se muestra el aspersor seleccionado y en la **Tabla 18**, se presentan sus características.

Figura 37. Aspersor BA-04.
Fuente: (BA04 - Boquillas de Aspersión, 2020)

Tabla 18. Selección del aspersor.

Aspersor BA-04			
Presión (BAR)	Presión (PSI)	Consumo (L/min)	Consumo (m^3/s)
2	29	16.3	$2.72x10^{-4}$

Fuente: (BA04 - Boquillas de Aspersión, 2020)

La cobertura de aspersión fue una de las principales variables para la selección de la boquilla. En la **Figura 38**, se detalla la cobertura de aspersión y la altura de instalación

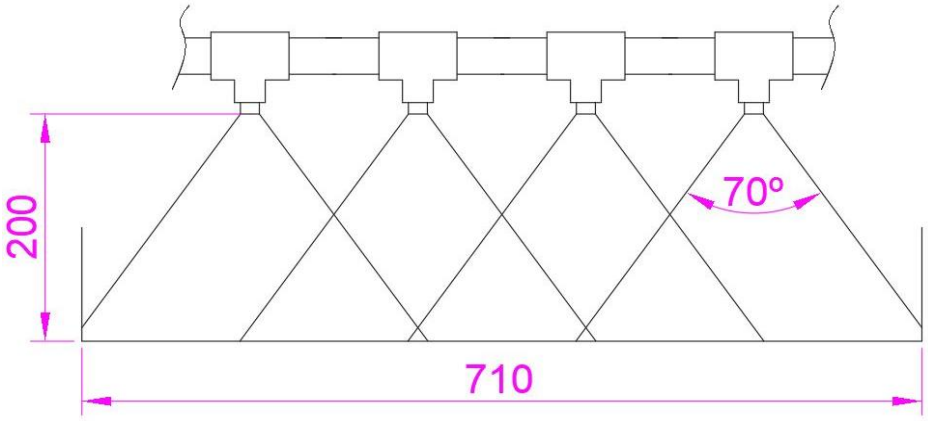


Figura 38. Cobertura y altura de instalación.
Fuente: (Autora).

Para el ángulo de abertura del chorro de agua se lo seleccionó del **Anexo 10**, el cual da la cobertura teórica considerando el ángulo de aspersión y la distancia sobre el eje a impactar.

6.2.3.3 Tubería y accesorios

Para el cálculo hidráulico del sistema de lavado, se toma en cuenta las pérdidas del sistema principal, secundario, pérdidas de carga y las pérdidas producidas por los accesorios. Para este cálculo se utilizó el método de Hazen Willians, los cálculos se los realizó por tramos de tubería principal y secundaría.

Se realizó el cálculo de la tubería de succión y descarga, se seleccionó los diámetros comerciales, para poder seleccionar la bomba. En la **Figura 39**, se muestra la distribución de la tubería de la máquina lavadora.

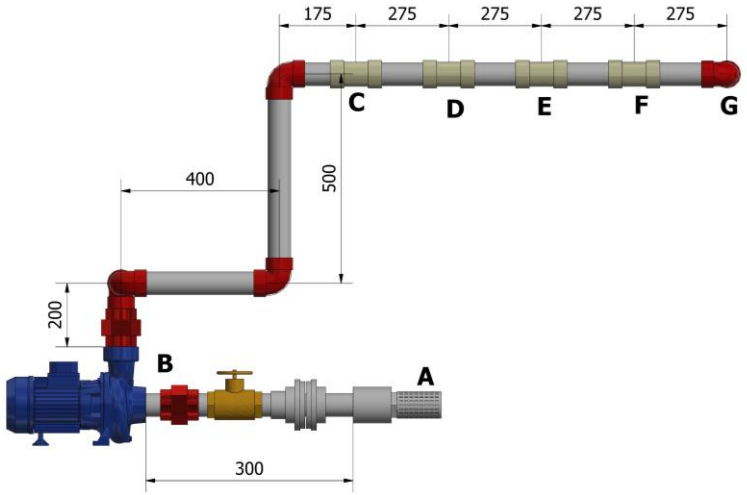


Figura 39. Distribución de la tubería de la máquina lavadora.

Fuente: (Autora).

Se calcula el caudal total que se necesita mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{total} = Q_{asperso} * N_{aspersores}$$

$$Q_{total} = \left(2.72 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}\right) * (20)$$

$$Q_{total} = 5.44 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 19.584 \frac{m^3}{h}$$

- **Cálculo del primer tramo de succión A-B**

A continuación, se presenta el procedimiento para determinar el caudal necesario con el fin de llevar a cabo el lavado de limones. Posteriormente, se detalla cómo se calcula el diámetro de la tubería en la sección de succión, utilizando como referencia el caudal total. Finalmente, la velocidad del flujo en el tramo de succión, se la selecciona del libro de Roberth Mott la cual es $v_{A-B} = 2 \frac{m}{s}$. Ver **Anexo 11**. Al diámetro se lo calcula con la **Ecuación (47):**

$$D_{A-B} = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v_{A-B}}}$$

$$D_{A-B} = \sqrt{\frac{4 * \left(5.44 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}\right)}{\pi * \left(2 \frac{m}{s}\right)}}$$

$$D_{A-B} = 0.058\, m$$

Se eligió un tubo específico del catálogo de Plastigama, el cual presenta un diámetro interno de 59.8 mm y un diámetro externo de 63 mm. A partir de esta selección, se procede a recalcular la velocidad del flujo. Para obtener más detalles sobre este cálculo y una explicación completa, se puede consultar el **Anexo 12**.

$$v_{A-B} = \frac{4 * Q_{total}}{\pi * D_{A-B}^2}$$

$$v_{A-B} = \frac{4 * \left(5.44 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}\right)}{\pi * (0.0598\, mm)^2}$$

$$v_{A-B} = 1.93 \frac{m}{s}$$

Esto indica que en la succión va a tener esta velocidad. Para poder obtener el valor de la rugosidad para una tubería PVC, se escoge del **Anexo 13**. La cual es: $\varepsilon_{PVC} = 0.0007\, cm$.

$$R_{rugosidad} = \frac{\varepsilon_{PVC}}{D_{A-B}}$$

$$R_{rugosidad} = \frac{0.0007cm}{5.98cm}$$

$$R_{rugosidad} = 1.17 * 10^{-4}$$

La rugosidad sirve para encontrar el coeficiente de Hazen-Williams el cual es de $C_{HW} = 130$, Ver **Anexo 14**.

Las pérdidas producidas por fricción en los accesorios, se muestran en el **Anexo 15**. Las cuales se las representa en metros de longitud de tubería.

Pérdidas en accesorios de succión A-B			
Accesorios	Cantidad	L (m)	Total (m)
Válvula check	1	7.01	7.01
Válvula de bola	1	10	10
		$\Sigma pérdidas$	17.01

Cálculo de pérdidas primarias en la succión de A-B

Para el cálculo de pérdidas primarias se utiliza la **Ecuación (48):**

Datos:

$L_{A-B} = 0.3\ m$

$\Sigma pérdidas\ A - B = 17.01\ m$

$Q_{total} = 5.44 * 10^{-3}\ \frac{m^3}{s}$

$C_{HW} = 130$

$D_{A-B} = 0.0598\ m$

$$Hr_{psA-B} = \frac{10.674 * (L_{A-B} + \Sigma pérdidas) * (Q_{total})^{1.852}}{{C_{HW}}^{1.852} * {D_{A-B}}^{4.871}}$$

$$Hr_{psA-B} = \frac{10.674 * (0.3m + 17.01m) * \left(5.44 * 10^{-3}\frac{m^3}{s}\right)^{1.852}}{130^{1.852}(0.0598\ )^{4.871}}$$

$Hr_{psA-B} = 1.3\ m$

Es la pérdida de presión por fricción que ejerce el fluido sobre las paredes de la tubería.

Cálculo de las pérdidas secundarias en la succión A-B

Para el cálculo de las pérdidas secundarias se utilizó la **Ecuación (49):**

Datos:

$Q_{total} = 5.44 * 10^{-3}\ \frac{m^3}{s}$

$D_{A-B} = 0.0598\ m$

Pérdida de carga por accesorios en la instalación.

Accesorio	Tramo	∑K
Válvula de pie	A-B	2.4

$$Hr_{ssA-B} = \Sigma K \left(\frac{8 * {Q_{total}}^2}{g\pi^2 {D_{A-B}}^4} \right)$$

$$Hr_{ssA-B} = 2.4 \left(\frac{8 * \left(5.44 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}\right)^2}{\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)(\pi^2)(0.0598\ m)^4} \right)$$

$Hr_{ssA-B} = 0.46\ m$

Tramo de succión	
Caudal	$5.44 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}$
Velocidad	$1.93 \frac{m}{s}$
Diámetro interior	$59.8\ mm$
Diámetro exterior	$63\ mm$
Pérdidas primarias en aspiración	$1.3\ m$
Pérdidas secundarias en aspiración	$0.46\ m$

Fuente: (Autora)

Cálculo del segundo tramo del sistema hidráulico: Descarga B-C

Para el cálculo del tramo B-C de la tubería, la velocidad de descarga es de $v_{descarB-C} = 2.9 \frac{m}{s}$, la misma que es recomendada por Mott, y el caudal es el mismo de la succión $Q_{total} = 5.44 * 10^{-3}\ \frac{m^3}{s}$.

$$D_{descarB-C} = \sqrt{\frac{4 * Q_{total}}{\pi * v_{descarB-C}}}$$

$$D_{descarB-C} = \sqrt{\frac{4 * \left(5.44 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}\right)}{\pi * \left(2.9 \frac{m}{s}\right)}}$$

$$D_{descarB-C} = 0.049\ m$$

De acuerdo al catálogo de plastigama se escogió el tubo que tiene el diámetro interior de 56.8 mm y el exterior de 63 mm y se recalcula la velocidad, ver **Anexo 12**.

$$v_{descarB-C} = \frac{4 * Q_{total}}{\pi * D^2_{descarB-C}}$$

$$v_{descarB-C} = \frac{4 * \left(5.44 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}\right)}{\pi * (0.0568m)^2}$$

$$v_{descarB-C} = 2.147 \frac{m}{s}$$

Es la velocidad de descarga que va a circular en el tramo B-C, y se calcula los valores de la rugosidad para el tubo PVC. Ver **Anexo 13**.

$$R_{rugosidad} = \frac{\varepsilon_{PVC}}{D_{descarB-C}}$$

$$R_{rugosidad} = \frac{0.0007cm}{5.68cm}$$

$$R_{rugosidad} = 1.23 * 10^{-4}$$

El valor del coeficiente de la rugosidad permite encontrar el coeficiente de Hazen-Williams que es de $C_{HW} = 130$. Ver **Anexo 14**.

Del catálogo de tubería PVC **Anexo 15**. Se seleccionan las pérdidas por fricción en los accesorios, los cuales son representados en metros de pérdidas de tubería, para el tramo que está comprendido entre B-C. En la tabla se muestran las pérdidas producidas en el tramo B-C.

Pérdidas en accesorios de succión B-C			
Accesorios	Cantidad	L (m)	Total (m)
Bushing	4	0.40	1.6
Tee	1	3.20	3.20
Universal	1	0.40	0.40
Codos de 90º	5	3.40	17.00
Válvula check	1	2.75	2.75
		$\Sigma pérdidas$	24.95

Fuente: (Autora)

Cálculo de las pérdidas primarias en la descarga tramo B-C.

Datos:

$L_{B-C} = 1.26\ m$

$\Sigma pérdidasB - C = 24.95\ m$

$Q_{total} = 5.44 * 10^{-3}\ \frac{m^3}{s}$

$C_{HW} = 130$

$D_{B-c} = 0.0568\ m$

$$Hr_{pB-C} = \frac{10.674 * (L_{B-C} + \Sigma pérdidasB - C) * (Q_{total})^{1.852}}{{C_{HW}}^{1.852} * {D_{B-C}}^{4.871}}$$

$$Hr_{pB-C} = \frac{10.674 * (1.26m + 24.95m) * \left(5.44 * 10^{-3}\frac{m^3}{s}\right)^{1.852}}{130^{1.852}(0.0568\ )^{4.871}}$$

$Hr_{pB-C} = 2.54\ m$

Tramo de pérdidas primarias en la descarga en el tramo B-C	
Caudal	$5.44 * 10^{-3}\ m^3/_S$
Velocidad	$2.147\ ^m/_S$
Diámetro interior	$56.8\ mm$
Diámetro exterior	$63\ mm$
Pérdidas primarias en descarga	$2.54\ m$

Cálculo del segundo tramo C-D

$Q_{C-D} = Q_{total} - (Q_{aspersores} * N_{aspersoresC})$

$$Q_{C-D} = 5.44 * 10^{-3}\frac{m^3}{s} - \left(2.72 * 10^{-4}\frac{m^3}{s}\right) * (4)$$

$$Q_{C-D} = 4.352 * 10^{-3}\frac{m^3}{s} = 15.67\ \frac{m^3}{h}$$

Este cálculo representa el caudal que va a pasar de C a D. Luego se calcula el diámetro de la tubería, la velocidad según el libro de Roberth Mott es de $v_{C-D} = 1.8\frac{m}{s}$. Ver **Anexo 11**.

$$D_{C-D} = \sqrt{\frac{4 * Q_{C-D}}{\pi * v_{C-D}}}$$

$$D_{C-D} = \sqrt{\frac{4 * \left(4.352 * 10^{-3}\frac{m^3}{s}\right)}{\pi * \left(1.8\frac{m}{s}\right)}}$$

$$D_{C-D} = 0.055\ m$$

Del diámetro calculado se va al catálogo de plastigama y se selecciona un tubo comercial que tiene el diámetro interior de 56.8 mm y exterior de 63 mm y se recalcula la velocidad.

$$v_{C-D} = \frac{4 * Q_{C-D}}{\pi * D_{C-D}^2}$$

$$v_{C-D} = \frac{4 * \left(4.352 * 10^{-3}\frac{m^3}{s}\right)}{\pi * (0.0568m)^2}$$

$$v_{C-D} = 1.71\ \frac{m}{s}$$

Es la velocidad de descarga que va a circular en el tramo C-D, y se calcula los valores de la rugosidad para el tubo PVC. Ver **Anexo 13**.

$$R_{rugosidad} = \frac{\varepsilon_{PVC}}{D_{descarB-C}}$$

$$R_{rugosidad} = \frac{0.0007cm}{5.68cm}$$

$$R_{rugosidad} = 1.2 * 10^{-4}$$

El valor del coeficiente de la rugosidad permite encontrar el coeficiente de Hazen-Williams que es de $C_{HW} = 130$. Ver **Anexo 14**.

Del catálogo de tubería PVC **Anexo 15**. Se selecciona las pérdidas por fricción en los accesorios, los cuales son representados metros de pérdidas de tubería, para el tramo que está comprendido entre C-D.

Pérdidas en accesorios de succión C-D			
Accesorios	Cantidad	L (m)	Total (m)
Tee	1	3.20	3.20
		$\Sigma pérdidas$	3.20

Fuente: (Autora)

Cálculo de las pérdidas primarias en la descarga del tramo C-D.

Datos:

$L_{C-D} = 0.275\ m$

$\Sigma pérdidasC - D = 3.20\ m$

$Q_{C-D} = 4.352 * 10^{-3}\ \frac{m^3}{s}$

$C_{HW} = 130$

$D_{C-D} = 0.0568\ m$

$$Hr_{pC-D} = \frac{10.674 * (L_{C-D} + \Sigma pérdidasC - D) * (Q_{C-D})^{1.852}}{{C_{HW}}^{1.852} * {D_{A-B}}^{4.871}}$$

$$Hr_{pC-D} = \frac{10.674 * (0.275m + 3.20m) * \left(4.352 * 10^{-3}\ \frac{m^3}{s}\right)^{1.852}}{130^{1.852}(0.0568\ m\ )^{4.871}}$$

$Hr_{pC-D} = 0.22\ m$

Tramo de pérdidas primarias en la descarga en el tramo C-D	
Caudal	$4.352 * 10^{-3}\ m^3/_s$
Velocidad	$1.71\ ^m/_s$
Diámetro interior	$56.8\ mm$
Diámetro exterior	$63\ mm$
Pérdidas primarias en descarga	$0.22\ m$

Cálculo del tercer tramo D-E

Para determinar el caudal que circula por el tramo D-E debe restar el caudal anterior el cual es el del tramo C-D.

$Q_{D-E} = Q_{C-D} - (Q_{aspersores} * N_{aspersoresD})$

$$Q_{D-E} = 4.352 * 10^{-3}\frac{m^3}{s} - \left(2.72 * 10^{-4}\frac{m^3}{s}\right) * (4)$$

$$Q_{D-E} = 3.264 * 10^{-3}\frac{m^3}{s} = 11.75\frac{m^3}{h}$$

Este cálculo representa el caudal que va a pasar de D a E. Luego se calcula el diámetro de la tubería, la velocidad según el libro de Roberth Mott es de $v_{D-E} = 1.8\ \frac{m}{s}$. Ver **Anexo 11**.

$$D_{D-E} = \sqrt{\frac{4 * Q_{D-E}}{\pi * v_{D-E}}}$$

$$D_{D-E} = \sqrt{\frac{4 * \left(3.264 * 10^{-3}\frac{m^3}{s}\right)}{\pi * \left(1.8\frac{m}{s}\right)}}$$

$$D_{D-E} = 0.048\ m$$

Del diámetro calculado se va al catálogo de plastigama y se selecciona un tubo con diámetro comercial, que tiene el diámetro interior de 56.8 mm y el diámetro exterior de 63 mm y se recalcula la velocidad.

$$v_{D-E} = \frac{4 * Q_{D-E}}{\pi * D_{D-E}^2}$$

$$v_{D-E} = \frac{4 * \left(3.264 * 10^{-3}\frac{m^3}{s}\right)}{\pi * (0.0568m)^2}$$

$$v_{D-E} = 1.28\ \frac{m}{s}$$

Es la velocidad de descarga que va a circular en el tramo D-E, y se calcula los valores de la rugosidad para el tubo PVC. Ver **Anexo 13**.

$$R_{rugosidad} = \frac{\varepsilon_{PVC}}{D_{descarD-E}}$$

$$R_{rugosidad} = \frac{0.0007cm}{5.68cm}$$

$$R_{rugosidad} = 1.23 * 10^{-4}$$

El valor del coeficiente de la rugosidad permite encontrar el coeficiente de Hazen-Williams que es de $C_{HW} = 130$. Ver **Anexo 14**.

Del catálogo de tubería PVC **Anexo 15**. Se selecciona las pérdidas por fricción en los accesorios, los cuales son representados metros de pérdidas de tubería, para el tramo que está comprendido entre D-E.

Pérdidas en accesorios de succión D-E			
Accesorios	Cantidad	L (m)	Total (m)
Tee	1	3.20	3.20
		$\Sigma pérdidas$	3.20

Cálculo de las pérdidas primarias en la descarga en la sección D-E.

Datos:

$L_{D-E} = 0.275m$

$\Sigma pérdidasD - E = 3.20\ m$

$Q_{D-E} = 3.264 * 10^{-3}\ \frac{m^3}{s}$

$C_{HW} = 130$

$D_{D-E} = 0.0568\ m$

$$Hr_{psD-E} = \frac{10.674 * (L_{D-E} + \Sigma pérdidasD - E) * (Q_{D-E})^{1.852}}{{C_{HW}}^{1.852} * {D_{D-E}}^{4.871}}$$

$$Hr_{pD-E} = \frac{10.674 * (0.275m + 3.20m) * \left(3.264 * 10^{-3}\ \frac{m^3}{s}\right)^{1.852}}{130^{1.852}(0.0568\ m\ )^{4.871}}$$

$Hr_{pD-E} = 0.13\ m$

Tramo de pérdidas primarias en la descarga en el tramo D-E	
Caudal	$3.263 * 10^{-3}\ m^3/_S$
Velocidad	$1.28\ ^m/_S$
Diámetro interior	$56.8\ mm$
Diámetro exterior	$63\ mm$
Pérdidas primarias en descarga	$0.13\ m$

Cálculo del cuarto tramo E-F

Para determinar el caudal que circula por el tramo E-F debe restar el caudal anterior el cual es el del tramo D-E.

$Q_{E-F} = Q_{D-E} - (Q_{aspersores} * N_{aspersoresE})$

$$Q_{E-F} = 3.264 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} - \left(2.72 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}\right) * (4)$$

$$Q_{E-F} = 2.176 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 7.8336 \ \frac{m^3}{h}$$

Este cálculo representa el caudal que va a pasar de E a F. Luego se calcula el diámetro de la tubería, la velocidad según el libro de Roberth Mott es de $v_{D-E} = 1.8 \ \frac{m}{s}$. Ver **Anexo 11**.

$$D_{E-F} = \sqrt{\frac{4 * Q_{E-F}}{\pi * v_{E-F}}}$$

$$D_{E-F} = \sqrt{\frac{4 * \left(2.176 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}\right)}{\pi * \left(1.8 \frac{m}{s}\right)}}$$

$$D_{E-F} = 0.040 \ m$$

Del diámetro calculado se va al catálogo de plastigama y se selecciona un tubo con diámetro comercial interior de 45 mm y el diámetro exterior de 50 mm y se recalcula la velocidad.

$$v_{E-F} = \frac{4 * Q_{D-E}}{\pi * D_{D-E}^2}$$

$$v_{E-F} = \frac{4 * \left(2.176 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}\right)}{\pi * (0.045m)^2}$$

$$v_{E-F} = 1.36 \ \frac{m}{s}$$

Es la velocidad de descarga que va a circular en el tramo E-F, y se calcula los valores de la rugosidad para el tubo PVC. Ver **Anexo 13**.

$$R_{rugosidad} = \frac{\varepsilon_{PVC}}{D_{descarE-F}}$$

$$R_{rugosidad} = \frac{0.0007cm}{4.5 \ cm}$$

$$R_{rugosidad} = 1.5 * 10^{-4}$$

El valor del coeficiente de la rugosidad permite encontrar el coeficiente de Hazen-Williams que es de $C_{HW} = 130$. Ver **Anexo 14**.

Del catálogo de tubería PVC **Anexo 15**. Se selecciona las pérdidas por fricción en los accesorios, los cuales son representados metros de pérdidas de tubería, para el tramo que está comprendido entre E-F.

Tabla 19. Pérdidas en el tramo E-F.

Pérdidas en accesorios de succión E-F			
Accesorios	Cantidad	L (m)	Total (m)
Tee	1	3.20	3.20
		$\Sigma pérdidas$	3.20

Fuente: (Autora)

Cálculo de las pérdidas primarias en la descarga del tramo E-F.

Datos:

$L_{E-F} = 0.275\ m$

$\Sigma pérdidasE - F = 3.20\ m$

$Q_{E-F} = 2.176 * 10^{-3}\ \frac{m^3}{s}$

$C_{HW} = 130$

$D_{E-F} = 0.045\ m$

$$Hr_{pE-F} = \frac{10.674 * (L_{E-F} + \Sigma pérdidasE - F) * (Q_{E-F})^{1.852}}{{C_{HW}}^{1.852} * {D_{E-F}}^{4.871}}$$

$$Hr_{pE-F} = \frac{10.674 * (0.275m + 3.20m) * \left(2.176 * 10^{-3}\frac{m^3}{s}\right)^{1.852}}{130^{1.852}(0.045\ m\ )^{4.871}}$$

$Hr_{pE-F} = 0.199\ m$

Tramo de pérdidas primarias en la descarga en el tramo E-F	
Caudal	$2.176 * 10^{-3}\ m^3/_s$
Velocidad	$1.36\ ^m/_s$
Diámetro interior	$45.0\ mm$
Diámetro exterior	$50\ mm$
Pérdidas primarias en descarga	$0.199\ m$

Cálculo del quinto tramo F-G

Para determinar el caudal que circula por el tramo F-G debe restar el caudal anterior el cual es el del tramo E-F.

$Q_{F-G} = Q_{E-F} - (Q_{aspersores} * N_{aspersoresF})$

$$Q_{F-G} = 2.176 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} - \left(2.72 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}\right) * (4)$$

$$Q_{F-G} = 1.088 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} = 3.9168 \frac{m^3}{h}$$

Este cálculo representa el caudal que va a pasar de F a G. Luego se calcula el diámetro de la tubería, la velocidad según el libro de Roberth Mott es de $v_{F-G} = 1.8 \frac{m}{s}$. Ver **Anexo 11**.

$$D_{F-G} = \sqrt{\frac{4 * Q_{F-G}}{\pi * v_{F-G}}}$$

$$D_{F-G} = \sqrt{\frac{4 * (1.088 * 10^{-3})}{\pi * \left(1.8 \frac{m}{s}\right)}}$$

$$D_{F-G} = 0.027\ m$$

Del diámetro calculado se va al catálogo de plastigama y se selecciona un tubo con diámetro comercial, que tiene el diámetro interior de 28.8 mm y el diámetro exterior de 32 mm y se recalcula la velocidad.

$$v_{F-G} = \frac{4 * Q_{F-G}}{\pi * D_{F-G}^2}$$

$$v_{F-G} = \frac{4 * \left(1.088 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}\right)}{\pi * (0.0288\ m)^2}$$

$$v_{F-G} = 1.67 \frac{m}{s}$$

Es la velocidad de descarga que va a circular en el tramo F-G, y se calcula los valores de la rugosidad para el tubo PVC. Ver **Anexo 13**.

$$R_{rugosidad} = \frac{\varepsilon_{PVC}}{D_{descarF-G}}$$

$$R_{rugosidad} = \frac{0.0007cm}{2.28\ cm}$$

$$R_{rugosidad} = 3.07 * 10^{-4}$$

El valor del coeficiente de la rugosidad permite encontrar el coeficiente de Hazen-Williams que es de $C_{HW} = 130$. Ver **Anexo 14**.

Del catálogo de tubería PVC **Anexo 15**. Se selecciona las pérdidas por fricción en los accesorios, los cuales son representados metros de pérdidas de tubería, para el tramo que está comprendido entre F-G

Pérdidas en accesorios de succión F-G			
Accesorios	Cantidad	L (m)	Total (m)
Tee	1	3.20	3.20
Codo de 90º	1	3.40	3.40
		$\Sigma pérdidas$	6.60

Cálculo de las pérdidas primarias en la descarga del tramo F-G.

Datos:

$L_{F-G} = 0.435\ m$

$\Sigma pérdidasF - G = 6.60\ m$

$Q_{F-G} = 1.088 * 10^{-3}\ \frac{m^3}{s}$

$C_{HW} = 130$

$D_{F-G} = 0.0228\ m$

$$Hr_{pF-G} = \frac{10.674 * (L_{F-G} + \Sigma pérdidasF - G) * (Q_{F-G})^{1.852}}{{C_{HW}}^{1.852} * {D_{F-G}}^{4.871}}$$

$$Hr_{pF-G} = \frac{10.674 * (0.275m + 6.60m) * \left(1.088 * 10^{-3}\frac{m^3}{s}\right)^{1.852}}{130^{1.852}(0.0228\ m\ )^{4.871}}$$

$Hr_{pF-G} = 2.89\ m$

Tramo de pérdidas primarias en la descarga en el tramo F-G	
Caudal	$1.088 * 10^{-3}\ m^3/_s$
Velocidad	$1.67\ ^m/_s$
Diámetro interior	$28.8\ mm$
Diámetro exterior	$32\ mm$
Pérdidas primarias en descarga	$2.89\ m$

Cálculo del sexto tramo G-H

$Q_{G-H} = Q_{F-G} - (Q_{aspersores} * N_{aspersoresF})$

$$Q_{G-H} = 1.088 * 10^{-3}\frac{m^3}{s} - \left(2.72 * 10^{-4}\frac{m^3}{s}\right) * (1)$$

$$Q_{G-H} = 8.16 * 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 2.9376 \frac{m^3}{h}$$

Este cálculo representa el caudal que va a pasar de G a H. Luego se calcula el diámetro de la tubería, la velocidad según el libro de Roberth Mott es de $v_{G-H} = 1.8 \frac{m}{s}$. Ver **Anexo 11**.

$$D_{G-H} = \sqrt{\frac{4 * Q_{G-H}}{\pi * v_{G-H}}}$$

$$D_{G-H} = \sqrt{\frac{4 * \left(8.16 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}\right)}{\pi * \left(1.8 \frac{m}{s}\right)}}$$

$$D_{G-H} = 0.024\ m$$

Del diámetro calculado se va al catálogo de plastigama y se selecciona un tubo con diámetro comercial que tiene el diámetro interior de 28.8 mm y el diámetro exterior de 32 mm y se recalcula la velocidad.

$$v_{G-H} = \frac{4 * Q_{G-H}}{\pi * D_{G-H}^2}$$

$$v_{G-H} = \frac{4 * \left(8.16 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}\right)}{\pi * (0.0288m)^2}$$

$$v_{G-H} = 2.25 \frac{m}{s}$$

Es la velocidad de descarga que va a circular en el tramo G-H, y se calcula los valores de la rugosidad para el tubo PVC. Ver **Anexo 13**.

$$R_{rugosidad} = \frac{\varepsilon_{PVC}}{D_{descarG-H}}$$

$$R_{rugosidad} = \frac{0.0007cm}{2.88\ cm}$$

$$R_{rugosidad} = 2.43 * 10^{-4}$$

El valor del coeficiente de la rugosidad permite encontrar el coeficiente de Hazen-Williams que es de $C_{HW} = 130$. Ver **Anexo 14**.

Del catálogo de tubería PVC **Anexo 15**. Se selecciona las pérdidas por fricción en los accesorios, los cuales son representados metros de pérdidas de tubería, para el tramo que está comprendido entre G-H.

Pérdidas en accesorios de succión G-H			
Accesorios	Cantidad	L (m)	Total (m)
Tee	1	3.20	3.20
		$\Sigma pérdidas$	3.20

Cálculo de las pérdidas primarias en la descarga.

Datos:

$L_{G-H} = 0.140\ m$

$\Sigma pérdidasG - H = 3.20\ m$

$Q_{G-H} = 8.16 * 10^{-4}\ \frac{m^3}{s}$

$C_{HW} = 130$

$D_{G-H} = 0.0288\ m$

$$Hr_{pG-H} = \frac{10.674 * (L_{G-H} + \Sigma pérdidasG - H) * (Q_{G-H})^{1.852}}{{C_{HW}}^{1.852} * {D_{G-H}}^{4.871}}$$

$$Hr_{pG-H} = \frac{10.674 * (0.140\ m + 3.20m) * \left(8.16 * 10^{-4}\ \frac{m^3}{s}\right)^{1.852}}{130^{1.852}(0.0288m\ )^{4.871}}$$

$Hr_{pG-H} = 0.26\ m$

Tramo de pérdidas primarias en la descarga en el tramo G-H	
Caudal	$8.16 * 10^{-4}\ {m^3}/{s}$
Velocidad	$2.81\ {m}/{s}$
Diámetro interior	$28.8\ mm$
Diámetro exterior	$32.0\ mm$
Pérdidas primarias en descarga	$0.26\ m$

Cálculo del sexto tramo H-I

$Q_{H-I} = Q_{G-H} - (Q_{aspersores} * N_{aspersoresH})$

$$Q_{H-I} = 8.16 * 10^{-4}\ \frac{m^3}{s} - \left(2.72 * 10^{-4}\ \frac{m^3}{s}\right) * (1)$$

$$Q_{H-I} = 5.44 * 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 1.9584 \ \frac{m^3}{s}$$

Este cálculo representa el caudal que va a pasar de H a I. Luego se calcula el diámetro de la tubería, la velocidad según el libro de Roberth Mott es de $v_{H-I} = 1.8 \ \frac{m}{s}$. Ver **Anexo 11**.

$$D_{H-I} = \sqrt{\frac{4 * Q_{H-I}}{\pi * v_{H-I}}}$$

$$D_{H-I} = \sqrt{\frac{4 * \left(5.44 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}\right)}{\pi * \left(1.8 \frac{m}{s}\right)}}$$

$$D_{H-I} = 0.019 \ m$$

Del diámetro calculado se va al catálogo de plastigama y se selecciona un tubo con diámetro comercial que tiene el diámetro interior de 21.8 mm y el diámetro exterior de 25 mm y se recalcula la velocidad.

$$v_{H-I} = \frac{4 * Q_{H-I}}{\pi * D_{H-I}^2}$$

$$v_{H-I} = \frac{4 * \left(5.44 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}\right)}{\pi * (0.0218m)^2}$$

$$v_{H-I} = 1.45 \ \frac{m}{s}$$

Es la velocidad de descarga que va a circular en el tramo H-I, y se calcula los valores de la rugosidad para el tubo PVC. Ver **Anexo 13**.

$$R_{rugosidad} = \frac{\varepsilon_{PVC}}{D_{descarH-I}}$$

$$R_{rugosidad} = \frac{0.0007cm}{2.18 \ cm}$$

$$R_{rugosidad} = 3.21 * 10^{-4}$$

El valor del coeficiente de la rugosidad permite encontrar el coeficiente de Hazen-Williams que es de $C_{HW} = 130$. Ver **Anexo 14**.

Del catálogo de tubería PVC **Anexo 15**. Se selecciona las pérdidas por fricción en los accesorios, los cuales son representados metros de pérdidas de tubería, para el tramo que está comprendido entre H-I.

Pérdidas en accesorios de succión H-I			
Accesorios	Cantidad	L (m)	Total (m)
Tee	1	3.20	3.20
		$\Sigma pérdidas$	3.20

Cálculo de las pérdidas primarias en la descarga.

Datos:

$L_{H-I} = 0.140\ m$

$\Sigma pérdidasH - I = 3.20\ m$

$Q_{H-I} = 5.44 * 10^{-4}\ \frac{m^3}{s}$

$C_{HW} = 130$

$D_{H-I} = 0.0218\ m$

$$Hr_{pH-I} = \frac{10.674 * (L_{H-I} + \Sigma pérdidasH - I) * (Q_{H-I})^{1.852}}{C_{HW}{}^{1.852} * D_{H-I}{}^{4.871}}$$

$$Hr_{pH-I} = \frac{10.674 * (0.140\ m + 3.20m) * \left(5.44 * 10^{-4}\frac{m^3}{s}\right)^{1.852}}{130^{1.852}(0.0218m\ )^{4.871}}$$

$Hr_{pH-I} = 0.84\ m$

Tramo de pérdidas primarias en la descarga en el tramo H-I	
Caudal	$5.44 * 10^{-4}\ m^3/_S$
Velocidad	$1.45\ ^m/_S$
Diámetro interior	$21.8\ mm$
Diámetro exterior	$25\ mm$
Pérdidas primarias en descarga	$0.84\ m$

Cálculo del sexto tramo I-J

$Q_{I-J} = Q_{H-I} - (Q_{aspersores} * N_{aspersoresI})$

$$Q_{I-J} = 5.44 * 10^{-4}\frac{m^3}{s} - \left(2.72 * 10^{-4}\frac{m^3}{s}\right) * (1)$$

$$Q_{I-J} = 2.72 * 10^{-4}\frac{m^3}{s} = 0.9792\frac{m^3}{h}$$

Este cálculo representa el caudal que va a pasar de I a J. Luego se calcula el diámetro de la tubería, la velocidad según el libro de Roberth Mott es de $v_{I-J} = 1.8\ \frac{m}{s}$. Ver **Anexo 11**.

$$D_{I-J} = \sqrt{\frac{4 * Q_{I-J}}{\pi * v_{I-J}}}$$

$$D_{I-J} = \sqrt{\frac{4 * \left(2.72 * 10^{-4}\frac{m^3}{s}\right)}{\pi * \left(1.8\frac{m}{s}\right)}}$$

$$D_{I-J} = 0.013\ m$$

Del diámetro calculado se va al catálogo de plastigama y se selecciona un tubo con diámetro comercial que tiene el diámetro interior de 16.8 mm y el diámetro exterior de 20 mm y se recalcula la velocidad.

$$v_{I-J} = \frac{4 * Q_{I-J}}{\pi * D_{I-J}^2}$$

$$v_{I-J} = \frac{4 * \left(2.72 * 10^{-4}\frac{m^3}{s}\right)}{\pi * (0.0168m)^2}$$

$$v_{I-J} = 1.22\ \frac{m}{s}$$

Es la velocidad de descarga que va a circular en el tramo I-J, y se calcula los valores de la rugosidad para el tubo PVC. Ver **Anexo 13**.

$$R_{rugosidad} = \frac{\varepsilon_{PVC}}{D_{descarI-J}}$$

$$R_{rugosidad} = \frac{0.0007cm}{1.68\ cm}$$

$$R_{rugosidad} = 4.16 * 10^{-4}$$

El valor del coeficiente de la rugosidad permite encontrar el coeficiente de Hazen-Williams que es de $C_{HW} = 130$. Ver **Anexo 14**.

Del catálogo de tubería PVC **Anexo 15**. Se selecciona las pérdidas por fricción en los accesorios, los cuales son representados metros de pérdidas de tubería, para el tramo que está comprendido entre I-J.

Pérdidas en accesorios de succión I-J			
Accesorios	Cantidad	L (m)	Total (m)
Tee	1	3.20	3.20
		$\Sigma pérdidas$	3.20

Cálculo de las pérdidas primarias en la descarga.

Datos:

$L_{I-J} = 0.140\ m$

$\Sigma pérdidas I-J = 3.20\ m$

$Q_{I-J} = 2.72 * 10^{-4}\ \frac{m^3}{s}$

$C_{HW} = 130$

$D_{I-J} = 0.0168\ m$

$$Hr_{pI-J} = \frac{10.674 * (L_{H-I} + \Sigma pérdidas H-I) * (Q_{H-I})^{1.852}}{C_{HW}{}^{1.852} * D_{H-I}{}^{4.871}}$$

$$Hr_{pI-J} = \frac{10.674 * (0.140\ m + 3.20m) * \left(2.72 * 10^{-4}\frac{m^3}{s}\right)^{1.852}}{130^{1.852}(0.0168m\ )^{4.871}}$$

$Hr_{pI-J} = 0.48\ m$

Tramo de pérdidas primarias en la descarga en el tramo I-J	
Caudal	$2.72 * 10^{-4}\ m^3/_S$
Velocidad	$2.81\ ^m/_S$
Diámetro interior	$16.8\ mm$
Diámetro exterior	$20\ mm$
Pérdidas primarias en descarga	$0.48\ m$

Cálculo de pérdidas secundarias en el tramo I-J

Datos:

$Q_{I-J} = 2.72 * 10^{-4}\frac{m^3}{s}$

$D_{I-J} = 0.0168\ m$

Tramo	Salida	Pérdidas
I-J	Atmósfera	∑K
Aspersor	1	1
Tee	2.4	2.4

$$Hr_{sdI-J} = \Sigma K \left(\frac{8 * {Q_{total}}^2}{g\pi^2 {D_{A-B}}^4} \right)$$

$$Hr_{sdI-J} = 3.4 \left(\frac{8 * \left(2.72 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}\right)^2}{\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)(\pi^2)(0.0168m)^4} \right)$$

$$Hr_{sdI-J} = 0.26\, m$$

Ecuación de Bernoulli

Una vez calculado las pérdidas primarias y secundarias que se generan por el transporte del líquido y accesorios, se determina la altura manométrica de la instalación mediante la ecuación de Bernoulli. En la **Tabla 20**, se muestran los datos calculados anteriormente.

Tabla 20. Pérdidas por longitud de tubería.

Datos		
$\boldsymbol{P_{aspersor}}$	$29\ Psi$	$20.38\ m$
Pérdidas primarias		
Tramos	Pérdidas	Longitud de tubería
$\boldsymbol{Hr_{psA-B}}$	$1.3\ m$	$0.3\ m$
$\boldsymbol{Hr_{pB-C}}$	$2.54\ m$	$1.26\ m$
$\boldsymbol{Hr_{pC-D}}$	$0.22\ m$	$0.275\ m$
$\boldsymbol{Hr_{pD-E}}$	$0.13\ m$	$0.275\ m$
$\boldsymbol{Hr_{pE-F}}$	$0.199\ m$	$0.275\ m$
$\boldsymbol{Hr_{pF-G}}$	$2.89\ m$	$0.435\ m$
$\boldsymbol{Hr_{pG-H}}$	$0.26\ m$	$0.140\ m$
$\boldsymbol{Hr_{pH-I}}$	$0.84\ m$	$0.140\ m$
$\boldsymbol{Hr_{pI-J}}$	$0.48\ m$	$L_{I-J} = 0.140\ m$
Pérdidas secundarias		
$\boldsymbol{Hr_{ssA-B}}$	$0.46\ m$	$0.46\ m$
$\boldsymbol{Hr_{sdI-J}}$	$0.48\ m$	$0.26\ m$

Fuente: (Autora)

Para el cálculo de la altura manométrica de la instalación se utiliza la **Ecuación (50):**

$$Z_S + \frac{{v^2}_s}{2g} + \frac{P_s}{\gamma} + H_{mi} = Z_C + \frac{{v^2}_C}{2g} + \frac{P_{aspersor}}{\gamma} + Hr_{PT} + Hr_{ST}$$

$$H_{mi} = (Z_C - Z_S) + \frac{P_{aspersor}}{\gamma} + Hr_{PT} + Hr_{ST}$$

$$H_{mi} = (0.904m - 0m) + 20.38m + (1.3m + 2.54m + 0.22\,m + 0.13\,m + 0.199\,m + 2.89\,m + 0.26\,m + 0.84\,m + 0.48\,m) + (0.46\,m + 0.48\,m)$$

$$H_{mi} = 31.083\,m$$

6.2.3.4 Bomba

Se calcula la potencia de la bomba con la **Ecuación (51)**, y posteriormente se selecciona una bomba que posea una potencia igual o superior a la potencia calculada.

$$P_{Bomba} = \rho * g * H_{mi} * Q_{total}$$

$$P_{Bomba} = \left(1000\,\frac{kg}{m^3}\right) * \left(9.81\,\frac{m}{s^2}\right) * (31.083\,m) * \left(5.44 * 10^{-3}\,\frac{m^3}{s}\right)$$

$$P_{Bomba} = 1648.78\,W$$

La bomba elegida es la F32/160B de la marca Pedrollo, seleccionada con una potencia superior a la nominal. La potencia asignada es de 2.2 kW, equivalente a 3 HP. Esta bomba opera con alimentación monofásica a 220 V, lo cual se adecua perfectamente a la infraestructura eléctrica actualmente disponible en la hacienda San Antonio. Para un mejor análisis del rendimiento y estado de operación de la bomba se puede ver en el **Anexo 16**.

6.2.4 Transportador de transferencia

6.2.4.1 Banda transportadora.

Para la transferencia de limones desde el sistema de lavado hasta el proceso de clasificación, se emplea una banda transportadora. Esta banda, además de su función de transporte, facilita el escurrimiento de los limones mediante un sistema de aire forzado, como se ilustra en la **Figura 40**.

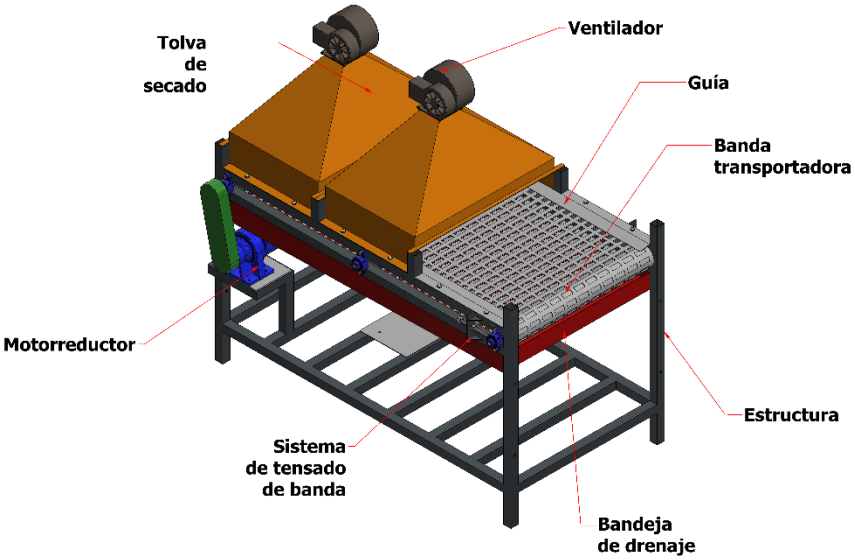


Figura 40. Sistema de transporte y secado de los limones.
Fuente: (Autora)

El agua que se escurre es recogida por una bandeja que se encuentra en la parte inferior de la estructura y llevada nuevamente al tanque de almacenamiento para su recirculación. Toda la estructura está diseñada en acero inoxidable SAE 304.

Cálculo de la potencia del motor de la banda transportadora.

Para determinar la potencia que se requiere en la banda transportadora se consideraron los siguientes parámetros:

$m_{limón} = 450\ kg$

$v_{inicial} = 0\ \frac{m}{s}$

$v_{final} = 0.5\ \frac{m}{s}$

Características de la banda transportadora.

La banda transportadora fue seleccionada del catálogo (MAFDEL, 2015). Es una banda transportadora ancha de 650 mm de anchura máxima y un espesor de 4mm, la cual requiere de un diámetro mínimo de arrollamiento de 100 mm y un peso de 5 kg/m^2.

Cálculo de la longitud de la banda transportadora.

En la figura se muestra como está diseñado el sistema de correas para el transporte de los limones.

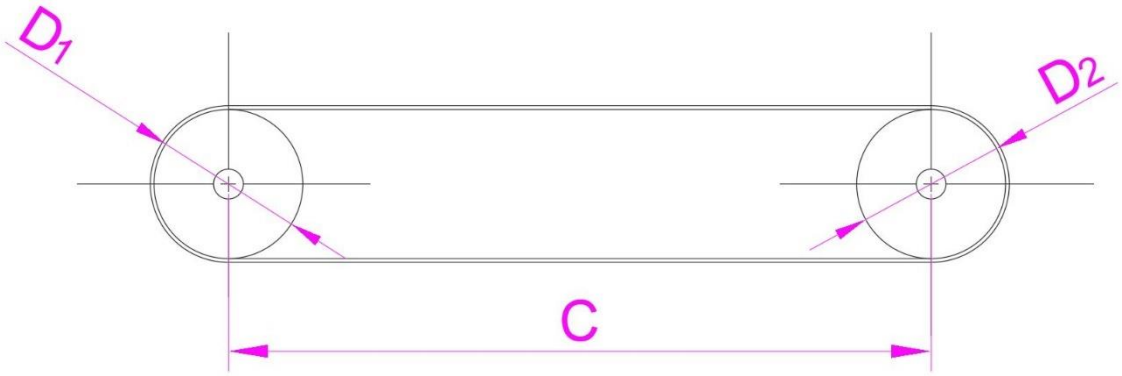


Figura 41. Configuración de la banda transportadora.
Fuente: (Autora)

Donde:

$D_1 = D_2 = 0.1\ m$

$C = 1.440\ m$

La longitud de la banda transportadora viene expresada por la **Ecuación (52).**

$$L_{banda} = 2 * C + \pi D_{rodillo}$$

$$L_{banda} = 2 * (1.440\ m) + \pi * (0.1\ m)$$

$$L_{banda} = 3.19\ m$$

El área de la banda transportadora se la expresa con la **Ecuación (53).**

$$A_{banda} = L_{banda} * a_{banda}$$

$$A_{banda} = (3.19m)(0.650m)$$

$$A_{banda} = 2.07\ m^2$$

Cálculo de la masa de la banda transportadora mediante la **Ecuación (54).**

$$m_{banda} = \frac{m_{banda-unidad\ de\ área}}{m^2} * A_{banda}$$

$$m_{banda} = \left(5\frac{kg}{m^2}\right) * (2.07\ m^2)$$

$$m_{banda} = 10.35\ kg$$

Cálculo del peso de la banda transportadora mediante la ecuación.

$$W_{banda} = m_{banda} * g$$

$$W_{banda} = (10.35\ kg) * \left(9.81\frac{m}{s^2}\right)$$

$$W_{banda} = 101.5\ N$$

Cálculo del peso de los limones.

$$W_{limones} = m_{limones} * g$$

$$W_{limones} = (\,450kg) * \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)$$

$$W_{limones} = 4414.5\ N$$

Para determinar el peso total que debe llevar la banda transportadora se suma el peso total de la banda más el peso total de los limones.

$$W_{total} = W_{limones} + W_{banda}$$

$$W_{total} = 4414.5\ N + 101.5\ N$$

$$W_{total} = 4516\ N$$

Para calcular la fuerza necesaria se multiplica la normal (peso total) por el coeficiente de rozamiento con el rodillo el cual se lo obtiene del catálogo (ULMA, 2018) y se lo calcula con la **Ecuación (55).**

$$F_{necesaria} = W_{total} * \mu$$

$$F_{necesaria} = (4516\ N) * (0.018)$$

$$F_{necesaria} = 81.3\ N$$

Cálculo del par resistente.

$$\tau_{resistente} = F_{necesaria} * r_{rodillo}$$

$$\tau_{resistente} = (\,81.3\ N) * (0.05\ m)$$

$$\tau_{resistente} = 4.1\ Nm$$

Cálculo del tiempo.

$$t = \frac{e}{v}$$

$$t = \frac{1.5\ m}{0.5\ \frac{m}{s}}$$

$$t = 3\ s$$

Cálculo de la aceleración.

$$a = \frac{v_{final} - v_{inicial}}{t}$$

$$a = \frac{0.5\ \frac{m}{s} - 0\ \frac{m}{s}}{3\ s}$$

$$a = 0.17\ \frac{m}{s^2}$$

Cálculo de la fuerza de inercia.

$$F_{inercia} = m_{limón} * a$$

$$F_{inercia} = (450\ kg) * \left(0.06\ \frac{m}{s^2}\right)$$

$$F_{inercia} = 76.5\ N$$

Cálculo del par inercial.

$$\tau_{inercial} = F_{inercial} * r_{rodillo}$$

$$\tau_{inercial} = (76.5\ N) * (0.05\ m)$$

$$\tau_{inercial} = 3.83\ Nm$$

Cálculo del par motor.

$$\tau_{motor} = \tau_{resistente} + \tau_{inercial}$$

$$\tau_{motor} = 4.1\ Nm + 3.83\ Nm$$

$$\tau_{motor} = 7.93\ Nm$$

Cálculo de la velocidad angular.

$$\omega_{cepillos} = \frac{v_{banda}}{r_{rodillo}}$$

$$\omega_{cepillos} = \frac{0.5\ \frac{m}{s}}{0.05m}$$

$$\omega_{cepillos} = 10\ \frac{rad}{s}$$

Cálculo de las RPM de la banda.

$$n = \frac{30 * \omega_{cepillos}}{\pi}$$

$$n = \frac{30 * \left(10\ \frac{rad}{s}\right)}{\pi}$$

$$n = 95.49\ rpm$$

Cálculo de la potencia del motor.

$$P_{motor} = \tau_{motor} * \omega_{cepillos}$$

$$P_{motor} = (7.93\ Nm) * \left(10\ \frac{rad}{s}\right)$$

$$P_{motor} = 79.3\ W$$

Cálculo de la potencia total.

$$P_{motor} = \frac{P_{motor}}{\eta}$$

$$P_{motor} = \frac{79.3\ W}{0.85}$$

$$P_{motor} = 91.76\ W$$

Cálculo de la potencia total del motor.

$P_{d-motor} = P_{motor} * F_s$

$P_{d-motor} = 93.29\ W * 1.2$

$P_{d-motor} = 111.195\ W \approx 0.12\ kW \rightarrow motorreductor\ comercial$

Selección de motorreductor de la banda transportadora

El motorreductor seleccionado es de la marca Rossi, con una potencia de 0.12 kW que da una frecuencia de giro de 104 RPM. Esta selección se basó en la información proporcionada del catálogo. (*Reductores de Velocidad | Reductores y Motorreductores Coaxial | Motorex*, s. f.). En el **Anexo 17**, se muestra el motorreductor seleccionado.

6.2.5 Sistema eléctrico

6.2.5.1 Circuito de fuerza

El sistema de fuerza de la máquina clasificadora y lavadora de limones está compuesto de dos motorreductores, una bomba de agua y 3 ventiladores.

El motorreductor que da movimiento a los rodillos es de 0.25 kW coaxial de la marca Rossi la fuente de alimentación es a 230 V, en cambio el motorreductor que da movimiento a la cinta transportadora es de 0.12 kW coaxial de la marca Rossi y la alimentación es de 220 V. Los 3 ventiladores que ayudan con el secado forzado de los limones son de la marcado Soler & Palau y cuentan con una potencia de 80 W cada uno y su alimentación es monofásica a 120 V, este ventilador tiene un caudal de descarga de 480 m^3/h, y una presión sonora de 64 dB. La bomba de agua es de la marca Pedrollo, la cual tiene una potencia de 2.2 kW, la alimentación es de 220 V. La suma de todas las potencias de los motores de la máquina da una potencia total del circuito de fuerza. En la **Figura 42** se muestra el circuito de fuerza de la máquina lavadora y clasificadora de limones.

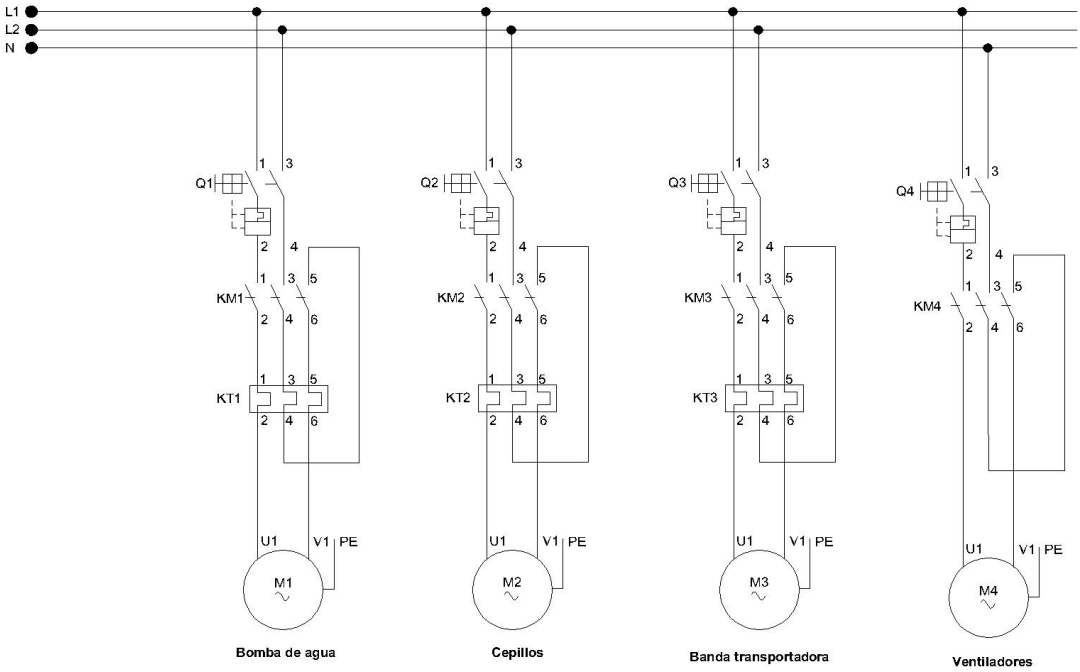


Figura 42. Circuito de fuerza.
Fuente: (Autora)

$$P_{total-Fuerza} = P_{mor-rodillos} + P_{mor-banda} + 3(P_{ventiladores}) + P_{bomba-agua}$$

$$P_{total-Fuerza} = (0.25\ kW + 0.12\ kW + 3(0.08kW) + 2.2\ kW$$

$$P_{total-Fuerza} = 2.81\ kW$$

El sistema de alimentación de la red eléctrica de la hacienda San Antonio es de 220 V y una frecuencia de 60 Hz.

Cálculo de la intensidad de corriente que circula por el conductor.

$$I_{corriente} = \frac{P_{total-Fuerza}}{V_{alimentación}}$$

$$I_{corriente} = \frac{3.61\ kW}{220\ V}$$

$$I_{corriente} = 12.77\ A$$

La distancia que hay desde la máquina hasta el tablero de alimentación es de 20 m y se calcula la caída de tensión mediante la ecuación. La sección del conductor se la escoge del **Anexo 18**. El coeficiente de resistividad del cobre es $\rho_{cond} = 0.0178 \frac{\Omega mm^2}{m}$.

$$\Delta V_{ca} = \frac{2(\rho_{cond} * l_{cond} * i_{cond})}{S_{cond}}$$

$$\Delta V_{ca} = \frac{2\left(\left(0.0178\,\frac{\Omega \mathrm{mm}^2}{m}\right) * (20m) * (12.77\ A)\right)}{8.34\ mm^2}$$

$$\Delta V_{ca} = 1.4\ V$$

Luego se calcula el porcentaje de caída de tensión, el cual no debe superar 3% del voltaje nominal. En el **Anexo 18**, se muestra las características de cable AWG.

$$\%\Delta V_{ca} = \frac{\Delta V_{ca}}{V_{alimentación}} * 100\%$$

$$\%\Delta V_{ca} = \frac{1.4\ V}{220\ V} * 100\%$$

$$\%\Delta V_{ca} = 0.63\ \%$$

6.2.5.2 Circuito de control

Para el circuito de control se elaboró el diagrama de conexiones eléctricas de la máquina lavadora y clasificadora de limones como se muestra en la **Figura 43** el cual consta de 4 partes que controlan una sección de la máquina de forma esquemática, es decir, se inicia con el control de maniobra de la bomba, seguidamente del motorreductor de los cepillos, posterior a ello del motorreductor de la banda transportadora y finalmente el circuito de control de los ventiladores, cada sección consta de un botón de encendido y otro de apagado, con su respectiva luz piloto, y de forma general se tiene un paro de emergencia que detiene por completo el funcionamiento total de la máquina. Para la realización de este esquema se empleó el software CADe SIMU.

En el circuito de control se implementó un sensor de nivel (SN) adicional. Este sensor previene que la bomba opere en vacío, añadiendo un nivel de seguridad complementario al sistema y está representado en el diagrama de conexiones eléctricas de la máquina lavadora y clasificadora de limones. Ver **Figura 43**.

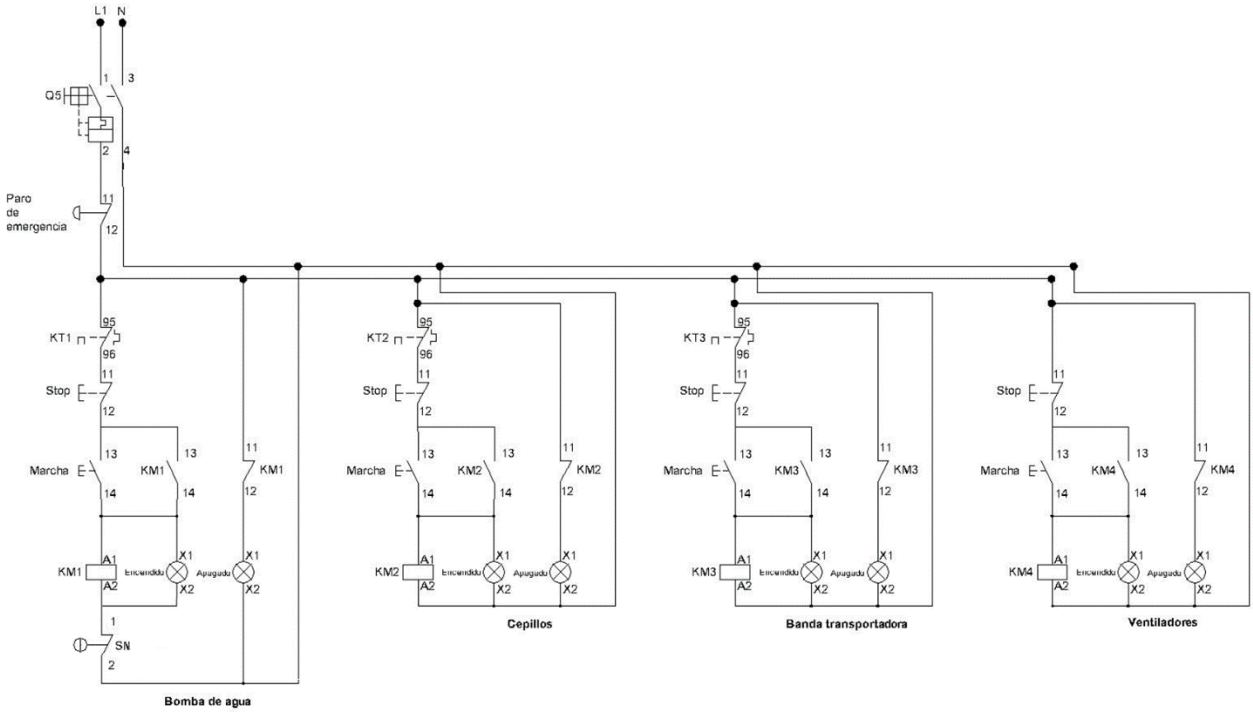


Figura 43. Circuito de control.
Fuente: (Autora)

6.2.5.3 Dispositivos de emergencia

La máquina lavadora y clasificadora de limones cuenta con un pulsador de paro de emergencia. El cual puede ser utilizado en condiciones normales de funcionamiento una vez finalizado el lavado y clasificado de limones, o en una maniobra anormal de funcionamiento cuando aparezca una situación peligrosa durante el trabajo ya sea en los operarios o en la misma máquina. En la **Figura 44**, se muestra el dispositivo empleado para el paro de emergencia.

Figura 44. Botón de paro de emergencia con llave.
Fuente: (Autora)

Al ser accionado (Pulsado) queda enclavado parando todo el sistema de lavado y clasificado de limones, para ponerlo de nuevo en marcha (desenclavarlo) solo puede hacerse por medio de una llave.

El pulsador es de tipo hongo de 40 mm con llave y caja, la cabeza es de color rojo y la parte posterior es de color amarillo. La máquina cuenta solo con un paro de emergencia instalado en la caja de control.

6.2.5.4 Tablero de control

El tablero de control que se seleccionó es de fijación mural en acero inoxidable IP66, hermético al polvo y protegido contra chorros de agua. Destinado a instalaciones industriales y exteriores con agentes agresivos externos o entornos salinos, la denominación de la caja es INX403020 y las dimensiones son 400x300x200 mm en la **Figura 45** se muestra el tablero de control.

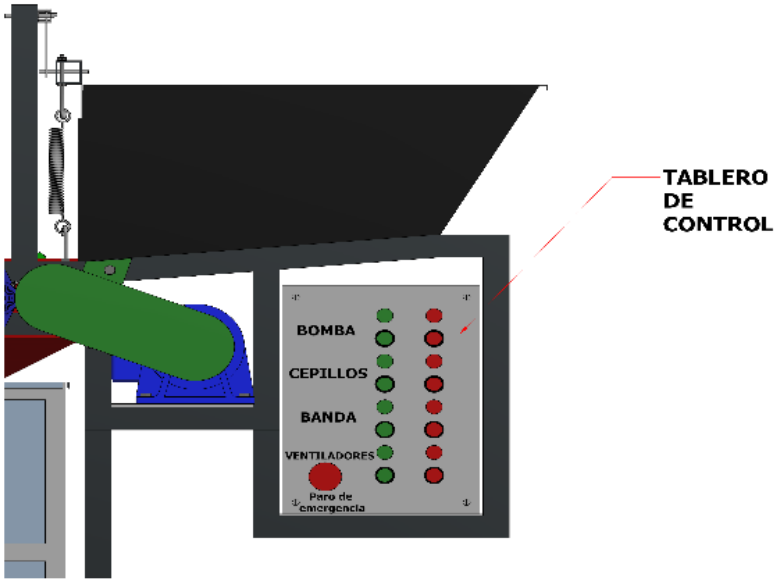


Figura 45. Tablero de control INX403020 de acero inoxidable.
Fuente: (ide, 2021)

6.3 Sistema de clasificado

6.3.1 Secador

El diseño del mecanismo que permite agilizar el proceso de secado de los limones, se muestra en la **Figura 46**.

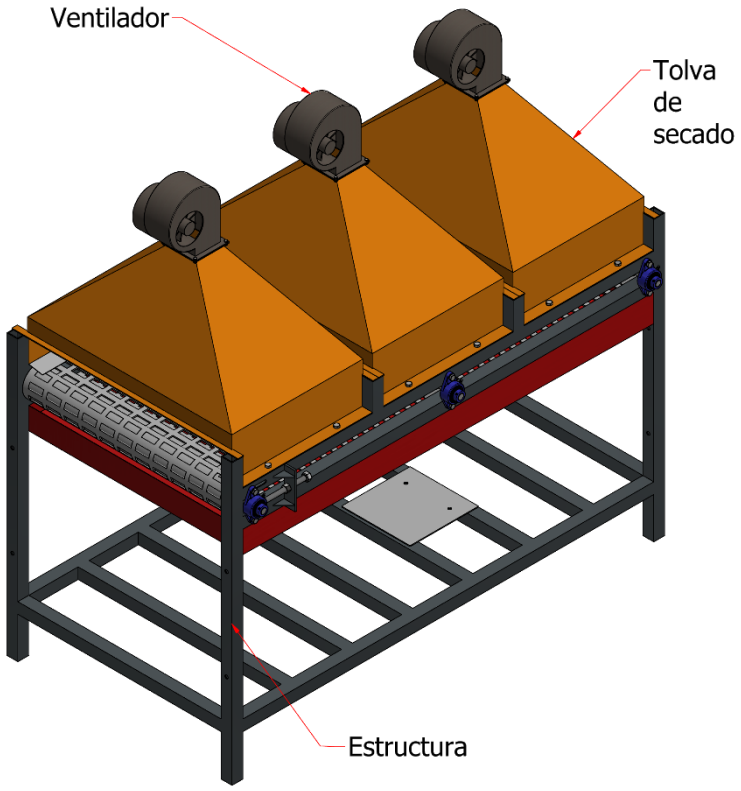


Figura 46. Diseño para el sistema de secado.
Fuente: (Autora)

El limón luego de haber pasado por la lavadora es llevado al sistema de secado, en el cual es transportado por una cinta transportadora colocada debajo de las tolvas que conducen el aire inyectado por los ventiladores hacia los limones, logrando de esta manera agilizar el proceso de secado. El sistema de secado se encuentra montado en una estructura de acero inoxidable ASTM 304.

6.3.1.1 Ventilador

Para agilitar el proceso de secado de los limones antes de la clasificación se diseñó un sistema de secado por aire forzado. El sistema cuenta con tres ventiladores centrífugos de álabes curvados adelantados, el modelo del ventilador es el BS-500 el cual da una velocidad de 1450 rpm, la potencia es de 80 W y la tensión de trabajo 120 V, la intensidad de corriente es de 0.31 A y tiene un caudal de descarga 480 m^3/h. En la **Figura 47**, se muestra el ventilador seleccionado.

Figura 47. Ventilador BS-500.
Fuente: (Autora)

6.3.2 Clasificador

6.3.2.1 Criba

El sistema de clasificación de limones está montado en una estructura metálica, compuesta por tubos cuadrados de acero inoxidable de 40x40 mm y un espesor de 3 mm. Esta estructura tiene una inclinación angular de 20 grados, tal como se observa en la **Figura 48**, proporcionada.

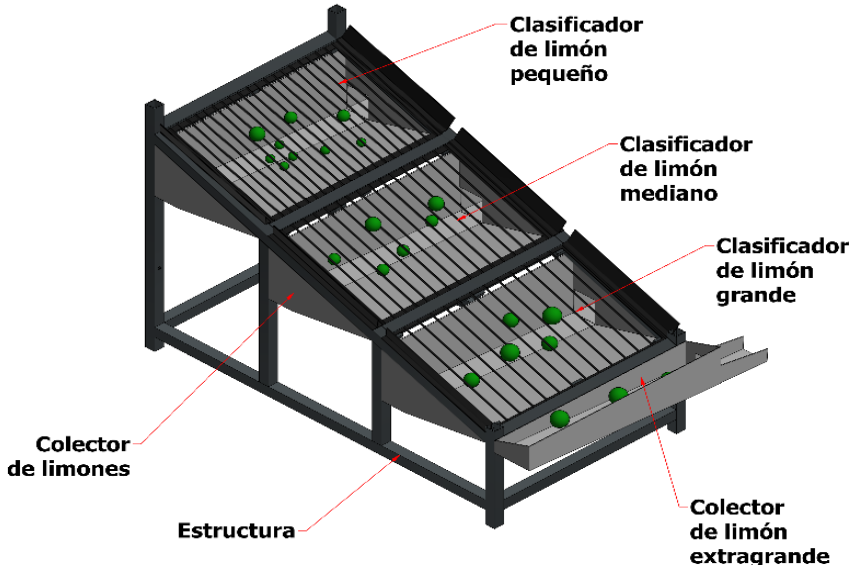


Figura 48. Estructura de la clasificadora de limones.
Fuente: (Autora)

El núcleo del proceso de clasificación radica en tres niveles de clasificadores, denominados "unidades clasificadoras". Cada una de estas unidades clasificadoras se materializa mediante barras de acero inoxidable de ¼ de pulgada, hechas en forma de rejillas de filtrado. Estas rejillas permiten el flujo de limones en función de su dimensión, estableciendo una separación entre las distintas categorías. En la **Figura 49**, se muestra una criba grizzli.

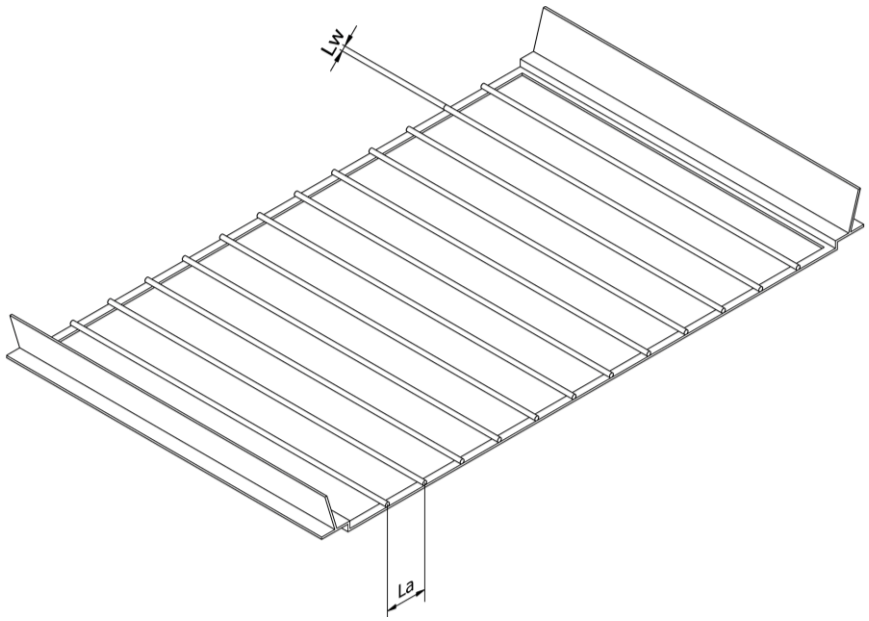


Figura 49. Criba.
Fuente: (Autora)

Para alcanzar los tres niveles de clasificación, se han incorporado tres tipos de rejillas en el sistema. Estas rejillas tienen una separación específica entre barras, diseñadas para acomodar tres diámetros diferenciados de limones.

La primera rejilla, con una separación mínima de 3.5 cm entre barras, se configura como una herramienta de clasificación de limones de pequeña envergadura. Para el cálculo del porcentaje de área abierta se utiliza la ecuación:

$$L_A = 0.038\ [m]$$
$$L_w = 0.006\ [m]$$
$$A_o = \left(\frac{L_A}{L_A + L_w}\right)^2 * 100$$
$$A_o = \left(\frac{0.038}{0.038m + 0.006m}\right)^2 * 100$$
$$A_o = 74.59\%$$

Este valor es para una criba horizontal, para poder calcular el valor real se lo multiplica por el coseno del ángulo de inclinación y se obtiene el valor real.

$A_{20°} = A_o * \cos(20°)$

$A_{20°} = 74.59\%(\cos(20°))$

$A_{20°} = 70.09\%$

Para los limones que no cumplen con los requisitos de tamaño establecidos por las rejillas de clasificación, el sistema dispone de una cuarta categoría para los limones que no entran en ninguna de las anteriores. Al final de la estructura, hay una bandeja diseñada para recoger los limones que no corresponden a ningún tamaño definido.

El sistema de clasificación de limones se integra en una estructura metálica inclinada a 20 grados. Las unidades clasificadoras, diseñadas a partir de rejillas de acero inoxidable, son los componentes centrales para efectuar una clasificación basada en la dimensión de los limones. Tres tipos de rejillas, con separaciones específicas, organizan la clasificación de limones pequeños, medianos y grandes. Además, el sistema presenta una solución flexible con una bandeja dedicada para los limones no categorizados. Los limones clasificados son recolectados en una bandeja recolectora individual, generando un proceso ordenado y eficiente en su totalidad. En la **Figura 50** se muestra el diseño de la tolva colectora del limón clasificado.

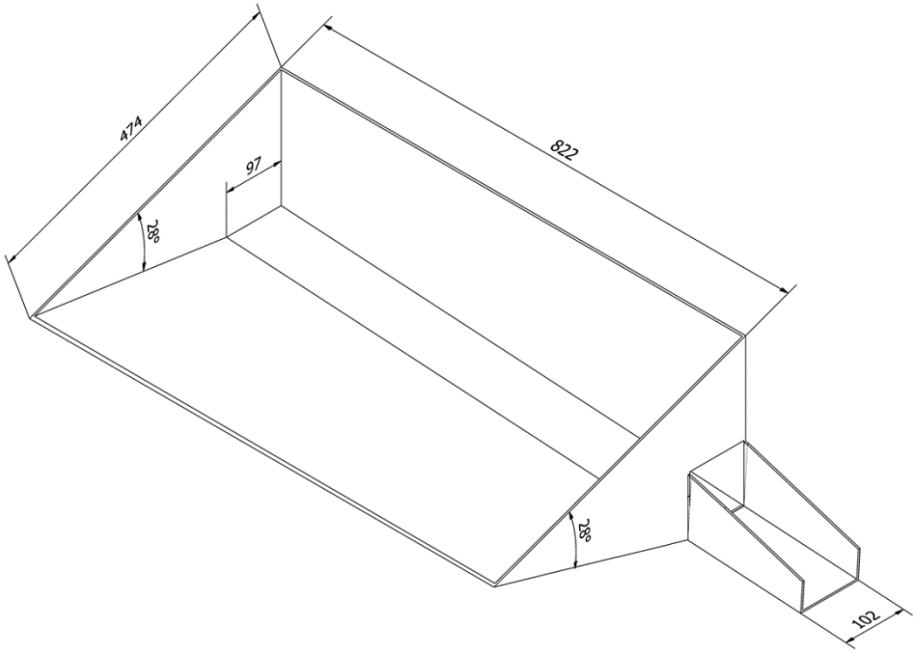


Figura 50. Tolva colectora de limones.
Fuente: (Autora)

6.4 Costo de instalación del proyecto

6.4.1 Materiales e insumos

Los principales materiales e insumos que se requiere para la construcción del prototipo de lavado, secado y clasificado de limones se exponen en la **Tabla 21**. Sin tener en consideración la mano de obra.

Tabla 21. Materiales requeridos de la máquina.

Número	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Motorreductor de 1/2 hp	---------	1	400	400.00
2	Bomba de agua de 4 hp Pedrollo	---------	1	450	450.00
3	Tubo cuadrado inoxidable de 40x40x3 mm	m	10	30.85	308.5
4	Plancha de acero inoxidable 1 mm	---------	8	118.00	944.00
5	Motorreductor de 1/4 hp	---------	1	120.00	120.00
6	Pintura anticorrosiva	---------	3	6.20	18.60
7	Chumaceras de pared F2B 20M-WF	---------	32	4.50	144.00
8	Pernos M10x1.5x50 y tuerca	---------	64	1.50	96.00
9	Electrodo AWS E308L-17 2.5	kg	1	39.18	39.18
10	Rodillos de nylon	---------	16	12.50	200.00
11	Acero para eje SAE 1018	m	6	29.70	89.10
12	Varilla de acero inoxidable 1/4	m	6	36	216.00
13	Tubo PVC de 63 mm de diámetro	m	1	40	40.00
14	Codos de 63 mm de diámetro	---------	6	6.80	40.80
15	Uniones de 63 mm de diámetro	---------	3	5.20	15.60
16	Válvula de pie de 63 mm de diámetro	---------	1	58.95	58.95
17	Universales de 63 mm de diámetro	---------	2	15.53	31.36
18	Cadenas de paso 19	m	16	15.50	248.00
19	Piñones	---------	32	10.50	336.00
20	Acople	---------	1	23.40	23.40
21	Válvula de bola de 63 mm de diámetro	---------	1	28.70	28.70
21	Perno M12x1.5x90 y tuerca	---------	8	1.50	12.00
22	Conector de tanque	---------	2	4.72	9.44
23	Aspersores	---------	20	6.90	138.00
24	Tee	---------	20	7.20	144.00
25	Tapones hembra	---------	5	4.70	18.80
26	Gastos varios	---------	----------	500.00	500.00
27	Sensor de nivel de agua	---------	----------	50.00	50.00
	Subtotal				4688.39
	Total, incluido IVA 12%				5251.00

Fuente: (Autora)

En la

Tabla *22*, se muestran los componentes eléctricos de la máquina clasificadora de limones.

Tabla 22. Materiales requeridos para el sistema de control de la máquina.

Número	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Contactor	--------	4	25.70	102.8
2	Breaker termomagnético	--------	1	8.50	8.50
3	Pulsador de encendido	--------	4	3.90	15.6
4	Pulsador de apagado	--------	4	3.90	15.6
5	Paro de emergencia	--------	1	5.00	5.00
6	Luz piloto verde	--------	4	1.20	4.8
7	Luz piloto roja	--------	4	1.20	4.8
8	Tablero de control	--------	1	180.00	180.00
9	Relé térmico	--------	4	25.80	103.2
Subtotal					440.3
Total, incluido IVA 12%					494.14

Fuente: (Autora)

Costo de materiales y construcción

El costo asociado a los materiales y la construcción de la máquina clasificadora y lavadora de limones comprende la suma de los materiales necesarios para la máquina junto con los componentes eléctricos, alcanzando un total de 5745.14 dólares americanos. Adicionalmente, se contempla un gasto de 5000.00 dólares americanos para el equipo de montaje y ensamblaje. En consecuencia, el costo global de construcción asciende a 10745.14 dólares americanos.

Costo de operación

El análisis del costo operativo de la máquina se estructura de la siguiente manera:

- El consumo proyectado de energía es de 3.17 kWh por hora.
- La tarifa eléctrica nacional promedio es de $0.092 por kWh.
- El costo asociado al consumo de agua se fija en $0.26 por cada metro cúbico de agua utilizado, considerando la categoría comercial y utilizando como referencia las tarifas aplicadas por la Junta de agua potable el Tambo.

Si la máquina opera durante al menos 2 horas al día durante los meses de máxima producción, que abarcan de julio a diciembre, equivalentes a 184 días al año, se establece el cálculo del consumo diario de energía.

$$E = P_c * T$$

$$E = (3.17\ \text{kW})(2h)$$

$$E = 6.34 \frac{kWh}{día}$$

Consumo de energía anual

$$E_{anual} = E * D_{opaño}$$

$$E_{anual} = \left(6.34 \frac{kWh}{día}\right)(184\ día)$$

$$E_{anual} = 1166.6\ kWh$$

Costo anual de energía

$$C_{anual} = E_{anual} * C_e$$

$$C_{anual} = 1166.6\ kWh * \frac{0{,}092\$}{kWh}$$

$$C_{anualenegía} = 107.32\ \$$$

Durante los meses de agosto, septiembre y octubre, se experimenta el pico de producción de limones, con una frecuencia de cosecha promedio de dos veces por semana. En cada jornada de recolección, que involucra a 10 trabajadores, se asigna un día adicional exclusivamente para llevar a cabo la clasificación de los limones. Actualmente, el proceso de lavado no forma parte de las actividades realizadas. En base a este calendario, durante los tres meses de producción y con dos cosechas semanales, se necesitan 24 días de trabajo para la clasificación y empaquetado (2 cosechas/semana * 4 semanas/mes * 3 meses). Con 10 trabajadores requeridos por jornada, esto implica un total de 240 jornadas de trabajo. Considerando un salario diario de 20 USD por cada trabajador, el presupuesto necesario para cubrir los gastos de clasificación y empaquetado durante la temporada asciende a 4800 dólares, sin tener en cuenta el limitado tratamiento de lavado realizado actualmente.

Si bien los 4800 dólares son significativos para el empaquetado actual, la inversión de 10745.14 dólares estadounidenses en la construcción de la máquina lavadora y clasificadora será compensada por los ahorros generados mediante la implementación de este sistema mecanizado. La incorporación de esta solución tecnológica no solo permitiría un ahorro considerable a largo plazo, sino que también agregaría un valor significativo al proceso de producción. La capacidad de realizar el lavado integral de toda

la fruta, junto con una clasificación más precisa y eficiente, contribuirá a mejorar la calidad del producto final y a acelerar el proceso de manejo de la cosecha.

No obstante, los datos previamente mencionados reflejan condiciones ideales de una alta producción, típicamente asociada a periodos de climatología propicia y máximos rendimientos en la hacienda. Sin embargo, es importante tener en cuenta que también existen temporadas en las cuales la producción disminuye considerablemente debido a la escasez de lluvias, lo que resulta en un rendimiento mínimo. Este aspecto introduce una variable significativa en la ecuación del cálculo del retorno de la inversión, ya que las condiciones climáticas fluctuantes pueden afectar sustancialmente la frecuencia y cantidad de cosechas, impactando directamente en la necesidad de recursos y la rentabilidad del proceso mecanizado propuesto.

En este sentido, la viabilidad y rentabilidad de la construcción de la máquina están considerablemente condicionadas por la variabilidad en la producción y los fluctuantes precios del mercado. La necesidad de realizar un estudio estadístico se convierte necesario, no solo para comprender mejor la producción y sus patrones estacionales, sino también para evaluar la dinámica del mercado y los precios, que pueden experimentar variaciones significativas. Las temporadas de alta demanda y precios elevados contrastan con años de abundante producción en la región, donde la sobreoferta de limones conlleva a una disminución considerable en los precios. Estos factores volátiles deben ser considerados de manera integral en el análisis de factibilidad económica y sostenibilidad a largo plazo del proyecto.

7 Discusión

La planificación y desarrollo del diseño de la máquina lavadora y clasificadora de limones representa un paso significativo hacia la modernización y eficiencia en el procesamiento de limones en la hacienda San Antonio. La estructura, compuesta principalmente de un sistema de lavado con rodillos rotativos de cerdas y aspersores de agua, una cinta transportadora para el secado y una clasificadora con tres niveles y sección adicional, ha sido concebida para agilizar el proceso previamente realizado de manera manual.

En términos de transmisión de potencia, se ha optado por un sistema de cadena-catarina doble y se han realizado cálculos detallados para determinar la velocidad angular de los rodillos, el tipo de cadena y catarina, así como el diámetro de los ejes, estos últimos fabricados con acero SAE 1018. La selección del motor axial de 1/2 hp para el sistema de lavado y el motorreductor de 0.12 kW para la cinta transportadora detalla el cálculo detallado de cada componente.

El proceso de secado se ha optimizado mediante el uso de tres ventiladores centrífugos de álabes curvados, y la clasificación por tamaños se lleva a cabo en la clasificadora con una inclinación de 20º y cribas configuradas con el patrón grizzly. La estructura general, construida con tubo cuadrado de 40x40x3 mm, asegura la robustez y durabilidad de la máquina.

En comparación con soluciones comerciales, se ha observado que empresas como Unisorting, China Fruit Washing Machine, Wash Turnkey Solutions, Limonite, Fenco Food Machinery y JBT FoodTech ofrecen una variedad de máquinas y sistemas de procesamiento de limones. Cada una tiene características específicas, como la capacidad de procesamiento, tecnología de clasificación y materiales de construcción, que podrían proporcionar perspectivas adicionales y consideraciones para la implementación del diseño propuesto.

Es esencial señalar que la máquina diseñada no solo ofrece eficiencia en la clasificación y lavado, sino también una potencial reducción de costos a largo plazo. La inversión inicial de 10745.14 dólares podría amortizarse a través de los ahorros generados al evitar los gastos asociados con la contratación de trabajadores para la clasificación manual y, además, proporcionaría un valor agregado al incorporar el proceso de lavado, mejorando la calidad del producto final.

Sin embargo, para garantizar la viabilidad económica y sostenibilidad del proyecto, es crucial llevar a cabo un análisis estadístico y de mercado, considerando la variabilidad en la producción y los precios fluctuantes del limón. Esto permitirá una evaluación más precisa de la rentabilidad en diversas condiciones climáticas y económicas, fortaleciendo así la base para la toma de decisiones futuras en la implementación de la máquina lavadora y clasificadora de limones en la hacienda San Antonio.

8 Conclusiones

Para satisfacer las necesidades de producción en la hacienda San Antonio, se ha determinado que la máquina lavadora y clasificadora de limones debe alcanzar un rendimiento aproximado 450 kg/h, con ciclos de recarga de 20 minutos, y contar con la capacidad de clasificar los limones según su diámetro, dando prioridad a los tamaños medianos (72%) y grandes (25%). Asimismo, se ha establecido que la máquina debe estar diseñada para funcionar con una alimentación eléctrica monofásica de 220 V, ser operada por un único operador y que sus componentes y equipos posean una alta resistencia a la corrosión debido a la acidez de la fruta.

La máquina propuesta para alcanzar una producción de 450 kg/h se compone de dos sistemas en serie: el sistema de lavado y el de secado. El primer sistema inicia con una tolva de almacenamiento temporal de 150 kg, la cual está equipada con una compuerta dosificadora que libera la fruta hacia un transportador con cepillos giratorios. Este transportador facilita el desplazamiento de los limones y los somete a un rociado con agua a presión mediante aspersores. La rotación de los cepillos es impulsada a través de transmisiones por cadena desde un motorreductor. En el segundo sistema, se utiliza una banda transportadora, accionada por otro motorreductor, para guiar los limones a través del subsistema de secado y hacia la criba donde se realiza la clasificación final.

En el diseño detallado de los componentes principales, se ha determinado que para el proceso de lavado con aspersores se requiere una presión de 29 PSI, y para garantizar el caudal necesario, se debe emplear una bomba de agua de una potencia comercial de 2.2 kW (3 hp). Para el accionamiento del transportador con los cepillos circulares, se necesita un motorreductor de 0.25 kW y, para el desplazamiento de la banda transportadora hacia la zona de secado, se debe incorporar un motorreductor de 0.12 kW. Además, para el proceso de secado, se requerirán 3 ventiladores de 80 W cada uno. La mayoría de los materiales necesarios serán de acero inoxidable para garantizar la resistencia a la corrosión por el contacto con la fruta y el agua utilizada.

La máquina diseñada ofrece eficiencia, reducción de costos y mejora en la calidad del producto final. Aunque la inversión inicial de 10745.14 dólares puede amortizarse al

evitar costos de mano de obra manual, la viabilidad a largo plazo requiere un análisis estadístico y de mercado para evaluar la rentabilidad en diversas condiciones.

9 Recomendaciones

Realizar un seguimiento constante de los datos de producción y precios del limón para evaluar patrones a lo largo del tiempo. Esto permitirá ajustar estrategias operativas y económicas de manera proactiva, considerando las fluctuaciones estacionales y climáticas.

Explorar posibilidades de utilizar la máquina para procesar otros cítricos o frutas similares. La versatilidad en el procesamiento puede aumentar la eficiencia y rentabilidad, amortiguando posibles impactos negativos derivados de la variabilidad en la producción de limones.

Asegurar que el personal esté debidamente capacitado para operar y dar mantenimiento a la máquina. Un equipo bien instruido contribuirá a la eficiencia operativa, minimizará tiempos de inactividad y garantizará la longevidad y efectividad del equipo.

10 Bibliografía

Alfredo, F. V. G. (2018). “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA LAVADORA DE NARANJILLA DE 55 Kg DE CAPACIDAD PARA LA ASOCIACIÓN DE NARANJILLA Y FRUTALES AMAZÓNICOS MURIALDO”.

BA04 – CONO LLENO – VENA ESPECIAL – 3/8″ BSPT (GAS) – 100º – 20 LIT/MIN @3BAR (ACERO INOXIDABLE)—Boquillas de Aspersión. (2020, marzo 9). https://boquillasdeaspersion.es/comprar/cono-lleno-acero-full-jet-spray-nozzles-spraying-systems-da-ba-04/, http://https%3A%2F%2Fboquillasdeaspersion.es%2Fcomprar%2Fcono-lleno-acero-full-jet-spray-nozzles-spraying-systems-da-ba-04%2F

Budynas, R. G. (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley.

Calderón, J. D. C., Reinoso, E. V. R., & Coral, J. E. M. (2017). Determinación del Torque y Potencia de un Motor de Combustión Interna a Gasolina Mediante el Uso de Bujía con Sensor de Presión Adaptado y Aplicación de un Modelo Matemático. Revista Politécnica, 39(1), Article 1.

CAUSER, C. de productos. (s. f.). Imarca. Recuperado 29 de junio de 2023, de http://www.imarca.com.ve/Lavadora-general-de-Alimentos.php

CEPILLERÍA AKER. (s. f.).

Cepillos para Lavado o Encerado Multimarca. (s. f.). Recuperado 19 de junio de 2023, de http://www.somca.com/sitio/index.php/cepilladoras/9-repuestos/48-cepillos-para-lavado-o-encerado-multimarca

Claudio Mataix. (2006). Mecánica de fluidos y Máquinas Hidráulicas.

Cueva, M. A. C. (s. f.). TESIS DE GRADO PREVIO A OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECÁNICO.

FAO. (2006). Evaporación del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de los cultivos.

Ferias Comerciales 2022. (s. f.). Recuperado 25 de septiembre de 2023, de https://www.sab-cables.eu/noticias/noticias-mostrar-detalles/ferias-comerciales-2022.html

ide. (2021). Catálogo.

Ivan BOHMAN. (s. f.). Aceros.

Koyo. (2019).

Lavadora de cepillos y rodillos en línea: Máquinas profesionales de envasado de alimentos y proveedor de soluciones de producción de alimentos de China. (s. f.). Recuperado 20 de septiembre de 2023, de https://landercn.com/es/maquinas-procesadoras-de-verduras-y-frutas/lavadora-de-rodillo-de-cepillo-en-linea/

Lavadora Rotativa—Maquinaria—Vulcanotec. (2018, agosto 9). https://vulcanotec.com/maquinaria/lavadora-rotativa/

López, M. V. (2020). Diseño de una planta piloto que trata un caudal de 2000 L/ d para concentración de polifenoles de la corteza del limón mediante técnicas de membrana (UF/NF).

MAFDEL. (2015). Catálogo bandas transportadoras mafdel.

Martin, M. M. (2018). Lavadora por inmersión, aire y sacado. 2.

Mott P., R. l. (2006). (PDF) Diseño de Elementos de Máquinas—Robert L. Mott(10). dokumen.tips. https://dokumen.tips/documents/diseno-de-elementos-de-maquinas-robert-l-mott10.html

NKS. (2022). Http://4412091b3e51432ca9a9d7c725ed7a0b.pages.ubembed.com/4b1c5793-447d-40a9-b020-c3c2bc15b9c3/.

https://4412091b3e51432ca9a9d7c725ed7a0b.pages.ubembed.com/4b1c5793-447d-40a9-b020-c3c2bc15b9c3/b.html?closedAt=0

Reductores de Velocidad | Reductores y Motorreductores Coaxial | Motorex. (s. f.). Recuperado 26 de junio de 2023, de https://www.motorex.com.pe/c/reductores-de-velocidad/reductores-y-motorreductores-coaxial/

Roca, E. (2018). Línia de manipulación, llavado, tratamiento, seleción y calobrado.

Romeva, C. R. (2010). Diseo concurrente. Edicions Upc.

roydisa. (2019, septiembre 11). Motorreductores: Cómo funcionan y de qué elementos están compuestos. Roydisa. https://www.roydisa.es/archivos/5419

Salvador de las Heras. (2011). Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas.

Singer y Pytel. (2008). (PDF) resistencia de materiales , singer y pytel.pdf. dokumen.tips. https://dokumen.tips/documents/resistencia-de-materiales-singer-y-pytelpdf.html

TransLink. (2012). Piñones y discos /engranajes /cremalleras.

Tuberias y accesorios PVC. (s. f.). Catálogo de tuverias PVC.

ULMA. (2018). Catálogo técnico.

China Proveedores y fabricantes de máquinas de lavado y clasificación de frutas - Precio - Taibo Industrial. (s/f). Fruitwashingmachine.com. Recuperado el 14 de diciembre de 2023, de https://www.fruitwashingmachine.com/fruit-processing-machine/fruit-washing-machine/fruit-washing-and-sorting-machine.html

ERE maquinaria industrial. (s/f). Youtube. Recuperado el 14 de diciembre de 2023, de https://www.youtube.com/channel/UCsg47Ka2Unb9vXGulUsRqwA

First Industry-Fruits Processing [@Fruitsprocessingmachine]. (2021, diciembre 6). línea de clasificación de encerado de secado de lavado de limón. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=TPGvqpM_2Ns

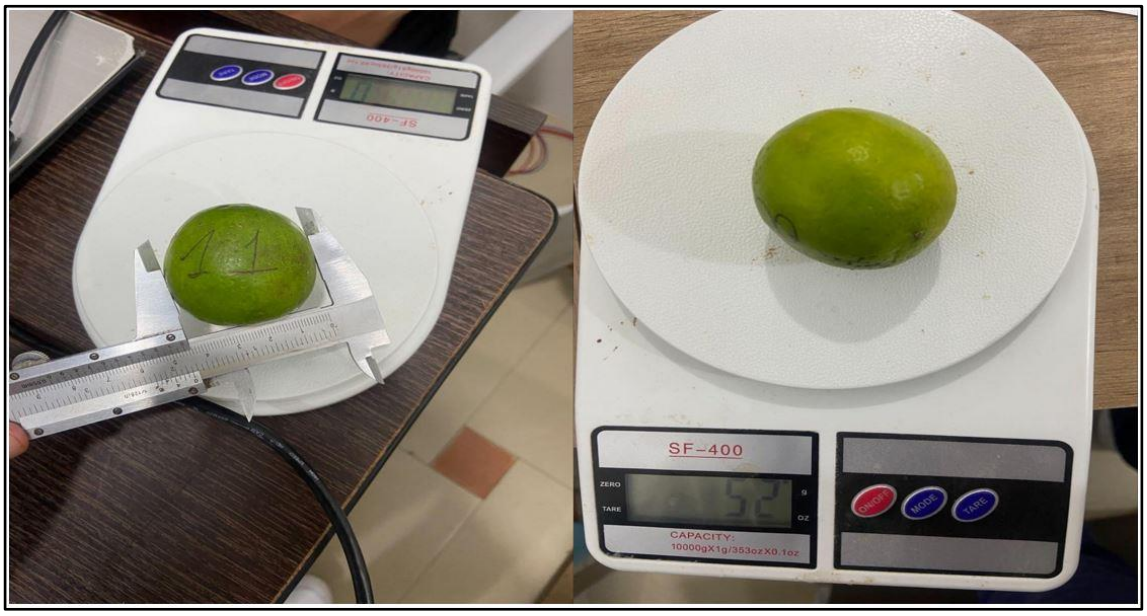
FstSort--clasificadoras de frutas y Verduras. (s/f). Youtube. Recuperado el 14 de diciembre de 2023, de https://www.youtube.com/channel/UCrx4z63vFZD_Qe55Vouz5gQ

Industrial Máquina De Limpieza De Limones Lavadora De Limon. (2022, enero 27). Fabricante llave en mano de soluciones de lavado de vegetales. https://es.washturnkey.com/producto/maquina-de-limpieza-de-limones/

Lavadora y enceradora de frutas. (s/f). Agroshow.info. Recuperado el 14 de diciembre de 2023, de https://agroshow.info/productos/maquinarias-y-equipos/post-cosecha/lavadora-y-enceradora-de-frutas/

11 Anexos

Anexo 1. Peso de los limones.



Fuente: (Autora)

Anexo 2. Cepillo seleccionado para el lavado del limón

WAVE SYSTEM

CEPILLERIA AKER

CILÍNDRICO MODULAR

Los **Módulos** han sido concebidos para formar **Cepillos Cilíndricos** de longitud variable, mediante una composición sucesiva de los mismos unidos entre sí por un dentado que evita las "calles" dando una sensación de cepillo de una sola pieza. Esto tiene como ventaja que sólo se cambia el módulo estropeado y no el cepillo completo. Se puede fabricar en fibras como: **nylon, PLP, Tampico, pelo de Caballo, etc.**

Conseguimos con ello:
Reducir los plazos de entrega.
Facilitar los cambios.
Reponer únicamente la zona dañada.
Abaratamiento de costos.

A la hora de elegir el tamaño del módulo hay que tener en cuenta los siguientes parámetros:

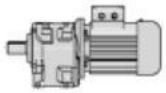
Diámetro del eje.
Saliente de Fibra.
Diámetro total del cepillo.

MODELO	NUCLEO			FIBRA	
	DIÁMETRO EXTERIOR D	EJE MIN. D1	EJE MAX. D1	DIÁMETRO (fibra a consultar)	SALIENTE
M-80	80	20	50	0,25 - 0,50 0,80	25 - 50
M-120	120	40	80		75 - 100

Fuente: (CEPILLERÍA AKER, s. f.)

Anexo 3. Motorreductor coaxial.

8 - Programa de fabricación (motorreductores)
8 - Programme de fabrication (motoréducteurs)



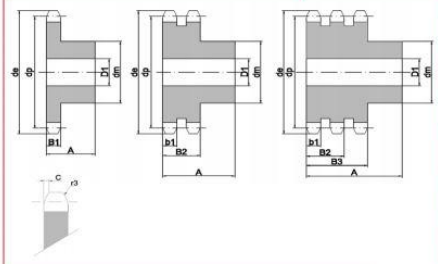
P_1 kW 1)	n_2 min^{-1}	M_2 daN m	fs	Reductor - Motor Réducteur - Moteur 2)	i
0,18	21,2	7,8	1,25	MR 3I 41 - 63 B 4	65,9
	21,5	7,7	2,12	MR 3I 50 - 63 B 4	65
	21,5	7,7	3	MR 3I 51 - 63 B 4	65
	23,5	7	2,24	MR 3I 50 - 63 B 4	59,5
	25	6,6	1,12	MR 3I 40 - 63 B 4	55,9
	25	6,6	1,4	MR 3I 41 - 63 B 4	55,9
	27,2	6,1	2,65	MR 3I 50 - 63 B 4	51,4
	27,3	6	1,25	MR 3I 40 - 63 B 4	51,3
	27,3	6	1,5	MR 3I 41 - 63 B 4	51,3
	31,3	5,3	1,4	MR 3I 40 - 63 B 4	44,7
	31,3	5,3	1,7	MR 3I 41 - 63 B 4	44,7
	32,5	5,1	3,15	MR 3I 50 - 63 B 4	43
	35,3	4,67	1,6	MR 3I 40 - 63 B 4	39,6
	35,3	4,67	2	MR 3I 41 - 63 B 4	39,6
	35,7	4,62	3,35	MR 3I 50 - 63 B 4	39,2
	39,1	4,22	3,75	MR 3I 50 - 63 B 4	35,8
	39,2	4,21	0,85	MR 3I 32 - 63 B 4	35,7
	41,6	3,96	1,9	MR 3I 40 - 63 B 4	33,6
	41,6	3,96	2,36	MR 3I 41 - 63 B 4	33,6
	43,7	3,78	0,9	MR 3I 32 - 63 B 4	32,1
	45,5	3,63	2	MR 3I 40 - 63 B 4	30,8
	45,5	3,63	2,5	MR 3I 41 - 63 B 4	30,8
	49,9	3,31	1,06	MR 3I 32 - 63 B 4	28,1
	53,4	3,09	2,24	MR 3I 40 - 63 B 4	26,2
	53,4	3,09	2,65	MR 3I 41 - 63 B 4	26,2
	55,6	3,03	1,9	MR 2I 40 - 71 A 6	16,2
	56,3	2,93	1,18	MR 3I 32 - 63 B 4	24,9
	63,3	2,66	2,12	MR 2I 40 - 63 B 4	22,1
	66,3	2,49	1,4	MR 3I 32 - 63 B 4	21,1
	67,7	2,49	2,65	MR 2I 40 - 71 A 6	13,3
	73,9	2,23	1,6	MR 3I 32 - 63 B 4	18,9
	77,3	2,18	3	MR 2I 40 - 63 B 4	18,1
	85	1,94	1,7	MR 3I 32 - 63 B 4	16,5
	86,3	1,95	3,35	MR 2I 40 - 63 B 4	16,2
	96,6	1,74	4	MR 2I 40 - 63 B 4	14,5
	104	1,62	1,9	MR 2I 32 - 63 B 4	13,5
	109	1,54	4,5	MR 2I 40 - 63 B 4	12,8
	130	1,3	2,65	MR 2I 32 - 63 B 4	10,8
	146	1,15	3	MR 2I 32 - 63 B 4	9,57
	172	0,98	3,35	MR 2I 32 - 63 B 4	8,12
	192	0,88	3,75	MR 2I 32 - 63 B 4	7,29
	221	0,76	4,5	MR 2I 32 - 63 B 4	6,33
	277	0,61	4,5	MR 2I 32 - 63 B 4	5,06
0,25	8,09	28,3	1,06	MR 3I 63 - 71 B 6	111
	8,09	28,3	1,32	MR 3I 64 - 71 B 6	111
	9,85	23,3	1,18	MR 3I 63 - 71 A 4	142
	10,1	22,7	1,5	MR 3I 63 - 71 B 6	89
	10,1	22,7	1,9	MR 3I 64 - 71 B 6	89
	11,6	19,8	0,95	MR 3I 51 - 71 B 6	77,7
	12,1	19	2,36	MR 3I 64 - 71 B 6	74,5
	12,6	18,2	2	MR 3I 64 - 71 A 4	111
	13,1	17,6	0,85	MR 3I 50 - 63 C 4	107

P_1 kW 1)	n_2 min^{-1}	M_2 daN m	fs	Reductor - Motor Réducteur - Moteur 2)	i
0,25	18,8	12,2	2,8	MR 3I 63 - 71 A 4	74,5
	19,4	11,8	2,8	MR 3I 63 - 71 B 6	46,3
	19,6	11,7	1,4	MR 3I 50 - 63 C 4	71,4
	19,6	11,7	1,9	MR 3I 51 - 63 C 4	71,4
	21,2	10,8	0,9	MR 3I 41 - 63 C 4	65,9
	21,5	10,6	1,5	MR 3I 50 - 63 C 4	65
	21,5	10,6	2,12	MR 3I 51 - 63 C 4	65
	22,1	10,4	1,5	MR 3I 50 - 71 A 4	63,2
	22,1	10,4	2,12	MR 3I 51 - 71 A 4	63,2
	22,8	10	3,35	MR 3I 63 - 71 A 4	61,3
	23,5	9,7	1,6	MR 3I 50 - 63 C 4	59,5
	23,5	9,7	2,36	MR 3I 51 - 63 C 4	59,5
	24,5	9,4	1,6	MR 3I 50 - 71 A 4	57,1
	24,5	9,4	2,24	MR 3I 51 - 71 A 4	57,1
	25	9,2	0,8	MR 3I 40 - 63 C 4	55,9
	25	9,2	1,06	MR 3I 41 - 63 C 4	55,9
	25,3	9,1	3,75	MR 3I 63 - 71 A 4	55,4
	26	8,8	0,85	MR 3I 40 - 71 A 4	53,9
	26	8,8	1,06	MR 3I 41 - 71 A 4	53,9
	27,1	8,5	1,9	MR 3I 50 - 71 A 4	51,7
	27,1	8,5	2,5	MR 3I 51 - 71 A 4	51,7
	27,2	8,4	1,9	MR 3I 50 - 63 C 4	51,4
	27,2	8,4	2,65	MR 3I 51 - 63 C 4	51,4
	27,3	8,4	0,9	MR 3I 40 - 63 C 4	51,3
	27,3	8,4	1,06	MR 3I 41 - 63 C 4	51,3
	29,3	7,8	0,95	MR 3I 40 - 71 A 4	47,7
	29,3	7,8	1,18	MR 3I 41 - 71 A 4	47,7
	29,7	7,7	2	MR 3I 50 - 71 A 4	47,1
	29,7	7,7	2,8	MR 3I 51 - 71 A 4	47,1
	31,3	7,3	1	MR 3I 40 - 63 C 4	44,7
	31,3	7,3	1,25	MR 3I 41 - 63 C 4	44,7
	32,5	7,1	2,24	MR 3I 50 - 71 A 4	43,1
	32,5	7,1	3,15	MR 3I 51 - 71 A 4	43,1
	32,5	7	2,24	MR 3I 50 - 63 C 4	43
	34,6	6,6	1,12	MR 3I 40 - 71 A 4	40,5
	34,6	6,6	1,4	MR 3I 41 - 71 A 4	40,5
	35,3	6,5	1,12	MR 3I 40 - 63 C 4	39,6
	35,3	6,5	1,4	MR 3I 41 - 63 C 4	39,6
	35,7	6,4	2,5	MR 3I 50 - 63 C 4	39,2
	37,6	6,1	2,65	MR 3I 50 - 71 A 4	37,2
	37,7	6,1	1,25	MR 3I 40 - 71 A 4	37,1
	37,7	6,1	1,5	MR 3I 41 - 71 A 4	37,1
	39,1	5,9	2,65	MR 3I 50 - 63 C 4	35,8
	40,4	5,8	2,24	MR 2I 50 - 71 B 6	22,3
	41,6	5,5	1,32	MR 3I 40 - 63 C 4	33,6
	41,6	5,5	1,7	MR 3I 41 - 63 C 4	33,6
	43,2	5,3	1,32	MR 3I 40 - 71 A 4	32,4
	43,2	5,3	1,7	MR 3I 41 - 71 A 4	32,4
	44,9	5,1	3	MR 3I 50 - 71 A 4	31,2
	45,2	5,1	3,15	MR 3I 50 - 63 C 4	31
	45,5	5	1,5	MR 3I 40 - 63 C 4	30,8
	45,5	5	1,8	MR 3I 41 - 63 C 4	30,8
	48,8	4,7	1,5	MR 3I 40 - 71 A 4	28,7
	48,8	4,7	1,9	MR 3I 41 - 71 A 4	28,7
	49,3	4,65	3,35	MR 3I 50 - 71 A 4	28,4
	49,9	4,6	0,8	MR 3I 32 - 63 C 4	28,1
	53,4	4,3	1,6	MR 3I 40 - 63 C 4	26,2
	53,4	4,3	1,9	MR 3I 41 - 63 C 4	26,2

Fuente: (ROSSI)

Anexo 4. Piñones y discos de acuerdo a la norma europea (DIN).

PIÑONES SPROCKETS	3/4"x7/16" 12B-1-2-3
Para cadena de rodillos For roller chains	s/ DIN 8187 ISO/R 606



PIÑÓN	SPROCKET		mm
Radio diente	Tooth radius	r3	19
Ancho curva	curve width	C	2
Ancho diente	Tooth width	B1	11,1
Ancho diente	Tooth width	b1	10,8
Ancho diente	Tooth width	B2	30,3
Ancho diente	Tooth width	B3	49,8

CADENA	CHAIN	mm
Paso	Pitch	19,05
Ancho interior	Inner width	11,68
Diámetro rodillo	Roller diámeter	12,07

Z	d_e	d_p	Simple				Doble				Triple			
			d_m	D_1	A	Kg.	d_m	D_1	A	Kg.	d_m	D_1	A	Kg.
8	57,60	49,78	31	12	30	0,21	31	12	45	0,31	31	16	65	0,45
9	62,00	55,70	37	12	30	0,29	37	12	45	0,44	37	16	65	0,64
10	69,00	61,64	42	12	30	0,38	42	12	45	0,59	42	16	65	0,86
11	75,00	67,61	46	16	35	0,51	47	16	50	0,81	47	20	70	1,09
12	81,50	73,61	52	16	35	0,65	53	16	50	1,02	53	20	70	1,39
13	87,50	79,59	58	16	35	0,8	59	16	50	1,25	59	20	70	1,72
14	93,60	85,61	64	16	35	0,97	65	16	50	1,46	65	20	70	2,08
15	99,80	91,63	70	16	35	1,16	71	16	50	1,74	71	20	70	2,47
16	105,50	97,65	75	16	35	1,34	77	20	50	2,03	77	20	70	2,89
17	111,50	103,67	80	16	35	1,53	83	20	50	2,36	83	20	70	3,34
18	118,00	109,71	80	16	35	1,62	89	20	50	2,7	89	20	70	3,83
19	124,20	115,75	80	16	35	1,7	95	20	50	3,07	95	20	70	4,35
20	129,70	121,78	80	16	35	1,8	100	20	50	3,43	100	20	70	4,87
21	136,00	127,82	90	20	40	2,35	100	20	50	3,69	100	20	70	5,2
22	141,80	133,86	90	20	40	2,46	100	20	50	3,97	100	20	70	5,65
23	149,00	139,90	90	20	40	2,56	110	20	50	4,51	110	20	70	6,38
24	153,90	145,94	90	20	40	2,68	110	20	50	4,81	110	20	70	6,87
25	160,00	152,00	90	20	40	2,8	120	20	50	5,41	120	20	70	7,77
26	165,90	158,04	95	20	40	3,08	120	20	50	5,73	120	20	70	8,21
27	172,30	164,09	95	20	40	3,21	120	20	50	6,08	120	20	70	8,77
28	178,00	170,13	95	20	40	3,34	120	20	50	6,43	120	20	70	9,35
29	184,10	176,19	95	20	40	3,48	120	20	50	6,8	120	20	70	9,96
30	190,50	182,25	95	20	40	3,63	120	20	50	7,19	120	20	70	10,59
31	196,30	188,31	100	20	40	3,78	130	20	50	7,59	130	25	70	11,55
32	203,30	194,35	100	20	40	3,93	130	20	50	8	130	25	70	12,22
33	209,30	200,40	100	20	40	4,09	130	20	50	8,42	130	25	70	12,92
34	214,60	206,46	100	20	40	4,25	130	20	50	8,86	130	25	70	13,64
35	221,00	212,52	100	20	40	4,42	130	20	50	9,31	130	25	70	14,38
36	226,80	218,58	100	20	40	4,71	130	25	50	9,71	130	25	70	15,14
37	232,90	224,64	100	20	40	4,89	130	25	50	10,19	130	25	70	15,93
38	239,00	230,69	100	20	40	5,07	130	25	50	10,78	130	25	70	16,73
39	245,10	236,75	100	20	40	5,26	130	25	50	11,19	130	25	70	17,57
40	251,30	242,81	100	20	40	5,46	130	25	50	11,71	130	25	70	18,42

Fuente: (TransLink, 2012)

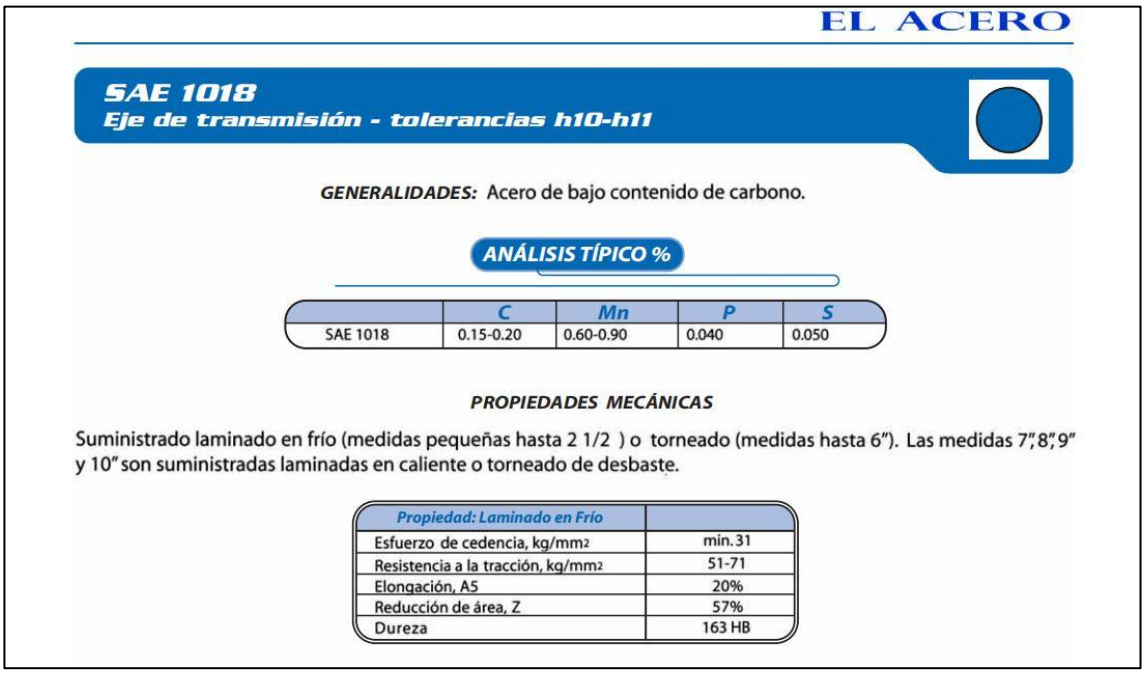
Anexo 5. Cadena de rodillos simple.

Cadena de rodillos simple DIN 8187 / Simple roller chain DIN 8187

ISO Nr.	Paso (P) Pitch (P)		b_1 [mm]	d_2 [mm]	d_1 [mm]	a_2 [mm]	g [mm]	F_B [N]	q [kg/m]
	[mm]	[inch]	min.		max.	max.	max.	min.	≈
04-1	6	-	2,8	1,85	4	7,4	5	3.000	0,12
05B-1	8	-	3	2,31	5	8,6	7,11	4.600	0,18
06B-1	9,525	3/8"	5,72	3,28	6,35	13,5	8,26	9.100	0,41
081-1	12,7	1/2"	3,3	3,66	7,75	10,2	9,91	8.200	0,28
083-1	12,7	1/2"	4,88	4,09	7,75	12,9	10,3	12.000	0,44
084-1	12,7	1/2"	4,88	4,09	7,75	14,8	11,15	16.000	0,49
08B-1	12,7	1/2"	7,75	4,45	8,51	17	11,81	18.200	0,7
10B-1	15,875	5/8"	9,65	5,08	10,16	19,6	14,73	22.700	0,95
12B-1	19,05	3/4"	11,68	5,72	12,07	22,7	16,13	29.500	1,25
16B-1	25,4	1"	17,02	8,28	15,88	36,1	21,08	58.000	2,7
20B-1	31,75	1"1/4	19,56	10,19	19,05	43,2	26,42	95.000	3,6
24B-1	38,1	1"1/2	25,4	14,63	25,4	53,4	33,4	170.000	6,7
28B-1	44,45	1 "3/4	30,99	15,9	27,94	65,1	37,08	200.000	8,3
32B-1	50,8	2"	30,99	17,81	29,21	67,4	42,29	260.000	10,5
40B-1	63,5	2" 1/2	38,1	22,89	39,37	82,6	52,9	355.000	16,99

Fuente:(TransLink, 2012)

Anexo 6. Material seleccionado para el eje



EL ACERO

SAE 1018
Eje de transmisión - tolerancias h10-h11

GENERALIDADES: Acero de bajo contenido de carbono.

ANÁLISIS TÍPICO %

	C	Mn	P	S
SAE 1018	0.15-0.20	0.60-0.90	0.040	0.050

PROPIEDADES MECÁNICAS

Suministrado laminado en frío (medidas pequeñas hasta 2 1/2) o torneado (medidas hasta 6"). Las medidas 7",8",9" y 10" son suministradas laminadas en caliente o torneado de desbaste.

Propiedad: Laminado en Frío	
Esfuerzo de cedencia, kg/mm2	mín. 31
Resistencia a la tracción, kg/mm2	51-71
Elongación, A5	20%
Reducción de área, Z	57%
Dureza	163 HB

Fuente: (Ivan BOHMAN, s. f.)

Anexo 7. Factores Fo para rodamiento de bolas

▼ Factor f_o para rodamientos rígidos de bolas

Número característico del agujero	Factor f_0 Serie de rodamientos 618	160	161	60	62	622	63	623	64
3					12,9				
4					12,2		13,2		
5					13,2		13		
6					13				
7				13	12,4				
8				12,4	13				
9				13	12,4				
00			12,4	12,4	12,1	12,1	11,3		
01			13	13	12,3	12,2	11,1		
02		13,9		13,9	13,1	13,1	12,1	12,1	
03		14,3		14,3	13,1	13,1	12,3	12,2	12,4
04		14,9		13,9	13,1	13,1	12,4	12,1	11
05		15,4		14,5	13,8	13,8	12,4	12,4	12,1
06		15,2		14,8	13,8	13,8	13	13	12,2
07		15,6		14,8	13,8	13,8	13,1	13,1	12,1

Fuente: (Tuberias y accesorios PVC, s. f.)

Anexo 8. Factores Radiales y axiales de los rodamientos

▼ Factores radiales y axiales de los rodamientos rígidos de bolas

$\frac{f_0 \cdot F_a}{C_0}$	Juego normal de rodamiento					Juego de rodamiento C3					Juego de rodamientot C4				
	e	$\frac{F_a}{F_r} \leqq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		e	$\frac{F_a}{F_r} \leqq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		e	$\frac{F_a}{F_r} \leqq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
		X	Y	X	Y		X	Y	X	Y		X	Y	X	Y
0,3	0,22	1	0	0,56	2	0,32	1	0	0,46	1,7	0,4	1	0	0,44	1,4
0,5	0,24	1	0	0,56	1,8	0,35	1	0	0,46	1,56	0,43	1	0	0,44	1,31
0,9	0,28	1	0	0,56	1,58	0,39	1	0	0,46	1,41	0,45	1	0	0,44	1,23
1,6	0,32	1	0	0,56	1,4	0,43	1	0	0,46	1,27	0,48	1	0	0,44	1,16
3	0,36	1	0	0,56	1,2	0,48	1	0	0,46	1,14	0,52	1	0	0,44	1,08
6	0,43	1	0	0,56	1	0,54	1	0	0,46	1	0,56	1	0	0,44	1

Fuente: (Tuberias y accesorios PVC, s. f.)

Anexo 9. Factores de servicio para maquina impulsada.

		Características del Impulsor		
Características de la Máquina Impulsada		**OPERACIÓN SUAVE** Motores eléctricos, turbinas a vapor o a gas.	**GOLPETEO LIGERO** motores eléctricos con arranques frecuentes.	**GOLPETEO MODERADO** Motores de combustión interna con menos de 4 cilindros y acoplamiento mecánico.
OPRECION SUAVE	Bombas centrífugas y compresores, máquinas punteadoras, calandrias papeleras, transportadores uniformemente cargados, escaleras, agitadores para líquidos y mezcladores, secadores rotatorios y ventiladores.	1	1.1	1.3
GOLPETEO LIGERO	Bombas y compresores (3 o más cilindros), máquinas mezcladoras de concreto, transportadores no cargados uniformemente, agitadores y mezcladores de sólidos.	1.4	1.5	1.7
GOLPETEO FUERTE	Aplanadoras, excavadoras, molinos de rodillos y de bolas, máquinas procesadoras de hule, bombas y compresores de 1 y 2 cilindros, prensas y perforadoras petroleras.	1.8	1.9	2.1

Fuente: (FAG 2000.)

Anexo 10. Cobertura teórica y ángulo de aspersión.

distancia/ ángulo	10 cm	20 cm	40 cm	80 cm	100 cm
10°	1,8	3,5	7,0	14,0	17,5
20°	3,5	7,1	14,1	28,2	35,3
40°	7,3	14,6	29,1	58,2	72,8
60°	11,6	23,1	46,2	92,4	115
70°	14,0	28,0	56,0	112	140
100°	23,8	47,7	95,3	191	238
120°	34,6	69,3	139		

Fuente: (Boquillasdeaspersion.es)

Anexo 11. Velocidades recomendadas según el flujo volumétrico.

Línea de succión					**Línea de descarga**		
Flujo volumétrico		Tamaño de	Velocidad		Tamaño de	Velocidad	
Gal/min	m^3/h	tub. (pulg)	Pies/s	m/s	tub. (pulg)	Pies/s	m/s
10	2.3	1	3.7	1.1	1/4	6.0	1.8
100	22.7	2 1/2	6.7	2.0	2	9.6	2.9
500	114	5	8.0	2.4	3 1/2	16.2	4.9
2000	454	8	12.8	3.9	6	22.2	6.8

Fuente: (Mott., 2006)

Anexo 12: Diámetros de tuberías plastigama PVC.

Diámetro Nominal (mm)		Diámetro Interior	Espesor Nominal	Presión de Trabajo		
UNIÓN U/Z	UNIÓN E/C	mm	mm	MPa	PSI (lb/pulg^2)	Kgf/cm^2
	20	17.8	1.1	1.25	181	12.75
		16.8	1.6	2.00	290	20.40
	25	22.8	1.1	1.00	145	10.20
		21.8	1.6	1.60	232	16.32
	32	29.8	1.1	0.80	116	8.16
		28.8	1.6	1.25	181	12.75
	40	37.8	1.1	0.63	91	6.43
		36.8	1.6	1.00	145	10.20
		36.0	2.0	1.25	181	12.75
50		47.4	1.3	0.63	91	6.43
		46.8	1.6	0.80	116	8.16
		46.0	2.0	1.00	145	10.20
		45.0	2.5	1.25	181	12.75
63		59.8	1.6	0.63	91	6.43
		58.8	2.1	0.80	116	8.16
		58.0	2.5	1.00	145	10.20
		56.8	3.1	1.25	181	12.75
75		72.0	1.5	0.50	73	5.10
		71.2	1.9	0.63	91	6.43
		70.2	2.4	0.80	116	8.16
		69.0	3.0	1.00	145	10.20
		67.6	3.7	1.25	181	12.75
90		86.4	1.8	0.50	73	5.10
		85.4	2.3	0.63	91	6.43
		84.2	2.9	0.80	116	8.16
		82.8	3.6	1.00	145	10.20
		81.2	4.4	1.25	181	12.75
110		105.6	2.2	0.50	73	5.10
		104.6	2.7	0.63	91	6.43
		103.2	3.4	0.80	116	8.16
		101.6	4.2	1.00	145	10.20
		99.6	5.2	1.25	181	12.75
	140	134.4	2.8	0.50	73	5.10
		133.2	3.4	0.63	91	6.43
		131.4	4.3	0.80	116	8.16

Fuente:(Tuberias y accesorios PVC, s. f.)

Anexo 13: Coeficientes de rugosidad de tuberías.

Tipo de tubería	Valores de ϵ en centímetros (cm)	
	Intervalo	Valor de diseño
Acero roblonado	0.091-0.91	0.18
Hormigón	0.03-0.3	0.12
Fundición	0.012-0.06	0.026
Madera	0.0183-0.09	0.06
Hierro Galvanizado	0.006-0.024	0.015
Fundición asfaltada	0.006-0.018	0.012
Acero comercial y soldado	0.003-0.009	0.006
Hierro forjado	0.003-0.009	0.006
Tubo estirado	0.00024	0.00024
Latón y cobre	0.00015	0.00015
Fibrocemento	0.01	0.01
PVC y PE	0.0007	0.0007

Fuente: (Almandoz & Rubén)

Anexo 14: Coeficientes de fricción de Hazen Williams.

Muy lisas	$C_{HW} = 150$	$\frac{\epsilon}{D} \leq 1.5x10^{-5}$
Lisas	$C_{HW} = 140$	$1.5x10^{-5} < \frac{\epsilon}{D} \leq 2x10^{-4}$
Semilisas	$C_{HW} = 130$	$2x10^{-4} < \frac{\epsilon}{D} \leq 1x10^{-3}$
Rugosas	$C_{HW} = 120$	$1x10^{-3} < \frac{\epsilon}{D} \leq 4x10^{-3}$
Muy rugosas	$C_{HW} = 110$	$4x10^{-3} < \frac{\epsilon}{D} \leq 1.5x10^{-2}$
Excesivamente rugosas	$C_{HW} = 100$	$\frac{\epsilon}{D} \leq 1.5x10^{-2}$

Fuente: (Almandoz & Rubén)

Anexo 15. Pérdidas de carga en accesorios convertidas a metros de longitud.

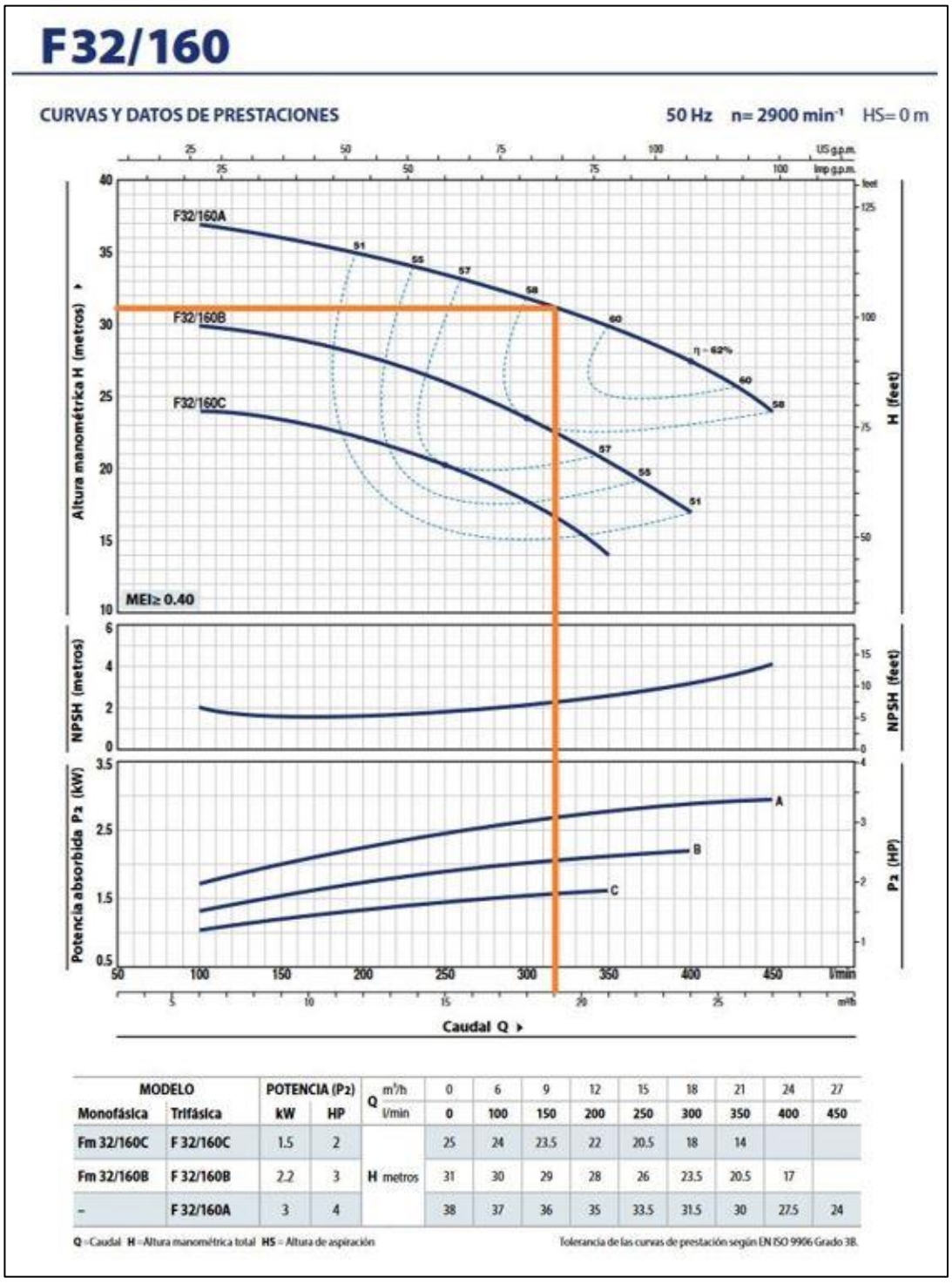
PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS

Pérdidas de fricción en accesorios, convertidas a metros de longitud de tubería de PVC.

DIÁMETRO NOMINAL		20	25	32	40	50	63	75	90	110	160	200
PÉRDIDAS DE CARGA							(m)					
TEE		0.70	0.80	0.90	1.50	2.20	2.30	2.40	2.50	2.60	3.60	5.00
CODO 90º		1.10	1.20	1.50	2.00	3.20	3.40	3.70	3.90	4.30	5.40	5.50
CODO 45º		0.40	0.50	0.70	1.00	1.30	1.50	1.70	1.80	1.90	2.60	3.50
CODO 90º L/R		0.40	0.50	0.60	0.70	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	2.10	2.60
CODO 45º L/R		0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.20	1.40
VÁLVULA CHECK		2.50	2.70	3.80	4.90	6.80	7.10	8.20	9.30	10.40	13.90	17.60
VÁLVULA DE BOLA		11.10	11.40	15.00	22.00	35.80	37.90	38.00	40.00	42.30	56.70	72.10
VÁLVULA DE COMPUERTA		0.10	0.20	0.30	0.40	0.70	0.80	0.90	0.90	1.00	1.20	1.40

Fuente: (Tuberías y accesorios PVC, s. f.)

Anexo 16. Curva característica de la bomba.



MODELO		POTENCIA (P2)		Q m³/h	0	6	9	12	15	18	21	24	27
Monofásica	Trifásica	kW	HP	Q l/min	0	100	150	200	250	300	350	400	450
Fm 32/160C	F 32/160C	1.5	2		25	24	23.5	22	20.5	18	14		
Fm 32/160B	F 32/160B	2.2	3	H metros	31	30	29	28	26	23.5	20.5	17	
–	F 32/160A	3	4		38	37	36	35	33.5	31.5	30	27.5	24

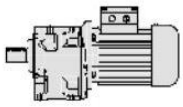
Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grado 3B.

Fuente: (Catálogo de pedrollo, s. f.)

Anexo 17. Motorreductor coaxial seleccionado.

9 - Programa de fabricación (motorreductores)
9 - Programme de fabrication (motoréducteurs)



P_1 kW 1)	n_2 min^{-1}	M_2 daN m	fs	Reductor - Motor / Réducteur - Moteur 2)				i
0,09	6,91	11,9	1,12	MR 3I 50 - 11×140	63	A	6	130
	8,4	9,8	1,5	MR 3I 50 - 11×140	63	A	6	107
	8,4	9,8	1,9	MR 3I 51 - 11×140	63	A	6	107
	9,7	8,5	0,8	MR 3I 40 - 11×140	63	A	6	92,8
	10,3	8	2	MR 3I 50 - 11×140	63	A	6	87,3
	10.3	8	2.8	MR 3I 51 - 11×140	63	A	6	87,3
	12,1	6,8	1,12	MR 3I 40 - 11×140	63	A	6	74,4
	12,1	6,8	1,32	MR 3I 41 - 11×140	63	A	6	74,4
	12,6	6,5	2,5	MR 3I 50 - 11×140	63	A	6	71,4
	13,7	6	1,25	MR 3I 40 - 11×140	63	A	6	65,9
	13,7	6	1,6	MR 3I 41 - 11×140	63	A	6	65,9
	13,8	6	2,65	MR 3I 50 - 11×140	63	A	6	65
	15,1	5,5	3	MR 3I 50 - 11×140	63	A	6	59,5
	16,1	5,1	1,5	MR 3I 40 - 11×140	63	A	6	55,9
	16.1	5,1	1,9	MR 3I 41 - 11×140	63	A	6	55,9
	17,5	4,7	1,6	MR 3I 40 - 11×140	63	A	6	51,3
	17,5	4,7	2	MR 3I 41 - 11×140	63	A	6	51,3
	17,5	4,71	3,35	MR 3I 50 - 11×140	63	A	6	51,4
	18,9	4,35	0,85	MR 3I 32 - 11×140	63	A	6	47,5
	20,1	4,1	1,8	MR 3I 40 - 11×140	63	A	6	44,7
	20,1	4,1	2,24	MR 3I 41 - 11×140	63	A	6	44,7
	20,9	3,94	4	MR 3I 50 - 11×140	63	A	6	43
	21,4	3,86	0,95	MR 3I 32 - 11×140	63	A	6	42,1
	22,7	3,63	2,12	MR 3I 40 - 11×140	63	A	6	39,6
	22,7	3,63	2,65	MR 3I 41 - 11×140	63	A	6	39,6
	25,2	3,27	1,12	MR 3I 32 - 11×140	63	A	6	35,7
	26,8	3,08	2,5	MR 3I 40 - 11×140	63	A	6	33,6
	28,1	2,94	1,25	MR 3I 32 - 11×140	63	A	6	32,1
	29,2	2,82	2,65	MR 3I 40 - 11×140	63	A	6	30,8
	32,1	2,57	1,4	MR 3I 32 - 11×140	63	A	6	28,1
	34,3	2,41	3	MR 3I 40 - 11×140	63	A	6	26,2
	36,2	2,28	1,6	MR 3I 32 - 11×140	63	A	6	24,9
	40,7	2,07	2,8	MR 2I 40 - 11×140	63	A	6	22,1
	42,6	1,94	1,9	MR 3I 32 - 11×140	63	A	6	21,1

P_1 kW 1)	n_2 min^{-1}	M_2 daN m	fs	Reductor - Motor / Réducteur - Moteur 2)				i
0,12	21,2	5,2	1,8	MR 3I 41 - 11×140	63	A	4	65,9
	21,5	5,1	3,15	MR 3I 50 - 11×140	63	A	4	65
	22,7	4,84	2	MR 3I 41 - 11×140	63	B	6	39,6
	23,5	4,67	3,35	MR 3I 50 - 11×140	63	A	4	59,5
	25	4,4	1,7	MR 3I 40 - 11×140	63	A	4	55,9
	25	4,4	2,12	MR 3I 41 - 11×140	63	A	4	55,9
	25,2	4,37	0,85	MR 3I 32 - 11×140	63	B	6	35,7
	27,2	4,04	4	MR 3I 50 - 11×140	63	A	4	51,4
	27,3	4,03	1,9	MR 3I 40 - 11×140	63	A	4	51,3
	27,3	4,03	2,24	MR 3I 41 - 11×140	63	A	4	51,3
	29,5	3,73	1	MR 3I 32 - 11×140	63	A	4	47,5
	31,3	3,51	2,12	MR 3I 40 - 11×140	63	A	4	44,7
	31,3	3,51	2,65	MR 3I 41 - 11×140	63	A	4	44,7
	33,3	3,31	1,12	MR 3I 32 - 11×140	63	A	4	42,1
	35,3	3,11	2,36	MR 3I 40 - 11×140	63	A	4	39,6
	35,3	3,11	3	MR 3I 41 - 11×140	63	A	4	39,6
	36,2	3,04	1,18	MR 3I 32 - 11×140	63	B	6	24,9
	39,2	2,81	1,32	MR 3I 32 - 11×140	63	A	4	35,7
	40,7	2,76	2,12	MR 2I 40 - 11×140	63	B	6	22,1
	41,6	2,64	2,8	MR 3I 40 - 11×140	63	A	4	33,6
	43,7	2,52	1,4	MR 3I 32 - 11×140	63	A	4	32,1
	45,5	2,42	3	MR 3I 40 - 11×140	63	A	4	30,8
	49,7	2,26	3	MR 2I 40 - 11×140	63	B	6	18,1
	49,9	2,21	1,6	MR 3I 32 - 11×140	63	A	4	28,1
	53,4	2,06	3,35	MR 3I 40 - 11×140	63	A	4	26,2
	55,5	2,02	3,35	MR 2I 40 - 11×140	63	B	6	16,2
	56,3	1,95	1,8	MR 3I 32 - 11×140	63	A	4	24,9
	63,3	1,77	3,35	MR 2I 40 - 11×140	63	A	4	22,1
	66,3	1,66	2,12	MR 3I 32 - 11×140	63	A	4	21,1
	66,8	1,68	1,9	MR 2I 32 - 11×140	63	B	6	13,5
	73,9	1,49	2,36	MR 3I 32 - 11×140	63	A	4	18,9
	83,4	1,35	2,5	MR 2I 32 - 11×140	63	B	6	10,8
	85	1,29	2,5	MR 3I 32 - 11×140	63	A	4	16,5
	104	1,08	3	MR 2I 32 - 11×140	63	A	4	13,5

Fuente: (ROSSI)

.

Anexo 18. Características del conductor AWG de corriente alterna.

AWG	Sección mm^2	Diámetro mm	Resistencia Ω/km
0	53.4	8.25	0.37
1	42.4	7.35	0.47
2	33.6	6.54	0.57
3	26.7	5.83	0.71
4	21.2	5.19	0.91
5	16.8	4.62	1.12
6	13.3	4.11	1.44
7	10.6	3.67	1.78
8	8.34	3.26	2.36
9	6.62	2.91	2.77
10	5.26	2.59	3.64

Fuente:(SAB. BROCKSKES 2022, s. f.)

Anexo 19. Certificado de traducción.

Loja, 30 de octubre de 2023

Jenny Vicenta Sanmartín Loarte, identificado con número de cédula 1105023772, Licenciada en Ciencias de la Educación mención Idioma Inglés,

CERTIFICA:

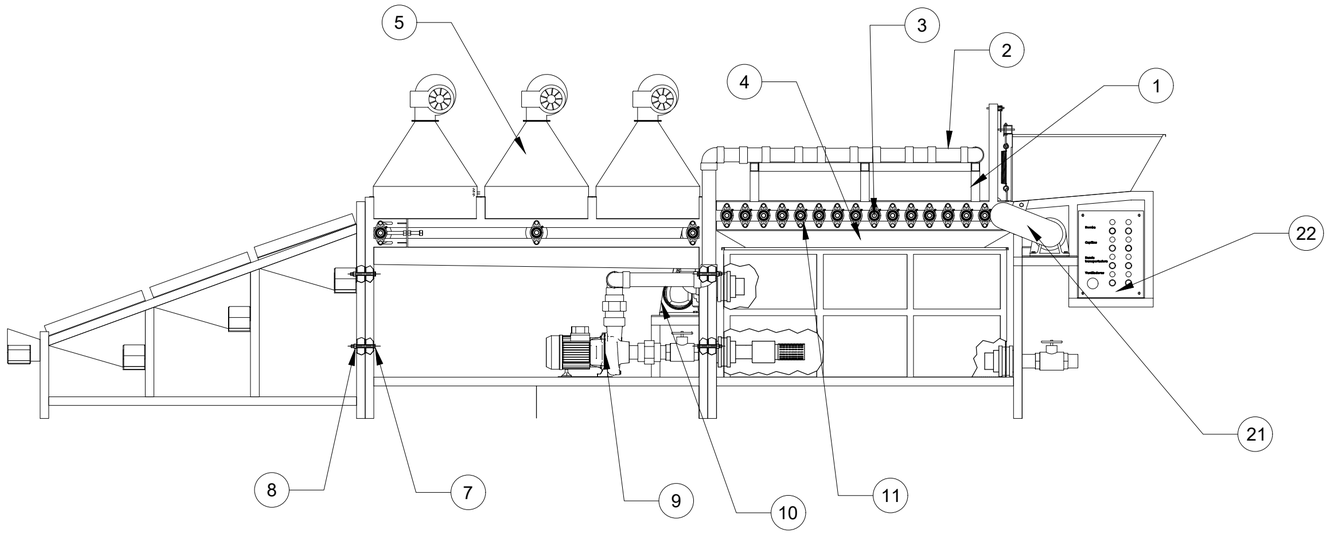
Que el texto traducido al idioma inglés que compone el **Resumen** del Trabajo de Titulación denominado "**Propuesta de diseño detallado de una máquina lavadora y clasificadora adaptada a las necesidades de la producción de limones en la hacienda San Antonio**" correspondiente a la **Srta. Andrea Stephania Jiménez Cabrera,** con número de cédula **1105108698,** fue realizado y verificado bajo mi supervisión.

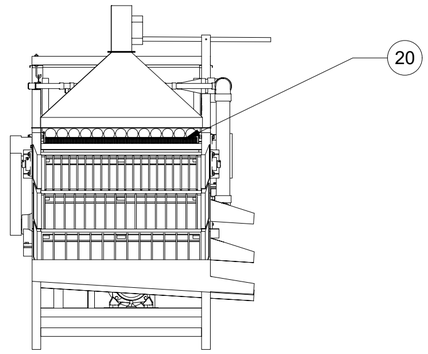
Es todo en cuanto puedo informar en honor a la verdad, facultando a la interesada hacer uso del presente documento para fines que crea pertinente.

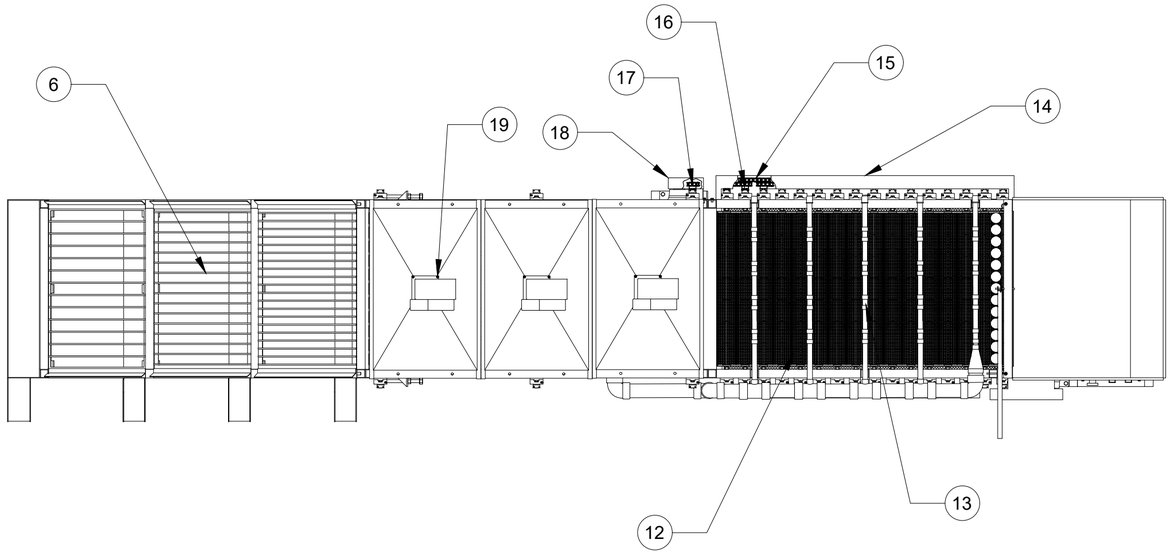
Lic. Jenny Sanmartín
C.I: 1105023772
Celular: 0983546274

Anexo 20. Planos.

Planos







Cant	Denominación	N. de norma o dibujo	Material	No.de pieza	Número del modelo	Peso	Observaciones
1	Tablero de control			22	01.06.00		
1	Cubierta transmisión motorreduc			21	01.06.00		
1	Banda transportadora		Nylon	20			
1	Ventilador		Aluminio	19			
4	Cubierta transmisión banda		Galvanizado	18			
4	Piñón simple	ISO	Galvanizado	17			12B de 8 dientes
1	Piñón doble	ISO	Galvanizado	16			12B de 8 dientes
16	Cadena	ISO	Galvanizado	15			DIN 8187 p:19.08
1	Cubierta transmisión cepillos		Galvanizado	14	01.06.00		
20	Aspersores		PVC	13			
112	Cepillo		Nylon	12			10 cm
32	Chumacera	ISO	H. Fundido	11			6204
2	Motorreductor		Acero	10			
1	Bomba		Acero	9			
100	Tuerca hexagonal M12X1.5	ANSI	Nylon	8			Seguridad nylon
100	Perno M12X1.5X45	ANSI	Galvanizado	7			
1	Sistema de clasificado		Acero negro	6	01.06.00		
1	Sistema de escurrido		Acero negro	5	01.05.00		
1	Tolva de drenaje de lavado		Acero negro	4	01.04.00		
1	Sistema de trasmisión		Acero negro	3	01.03.00		
1	Sistema de bombeo		Acero negro	2	01.02.00		
1	Sistema de estructura		Acero negro	1	01.01.00		

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia

Peso

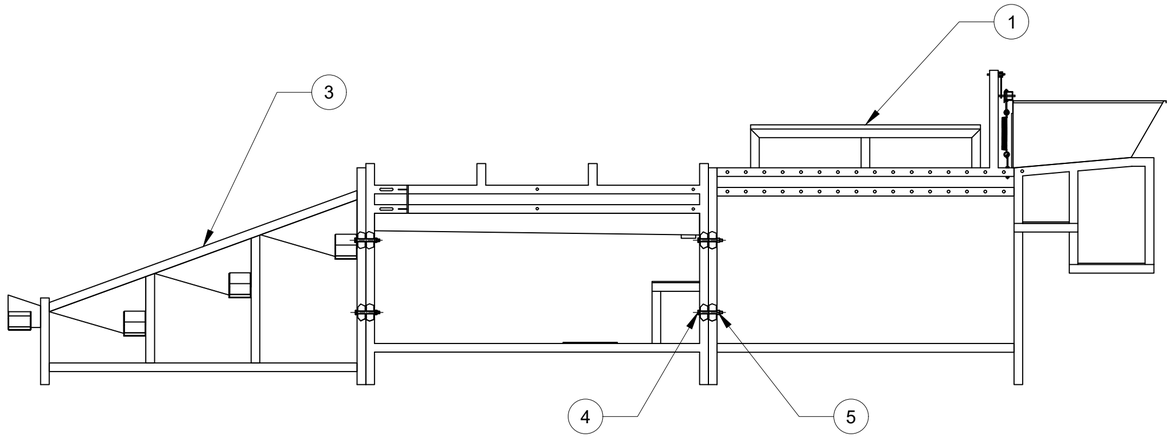
Materiales: Aluminio, acero, nylon e hierro fundido

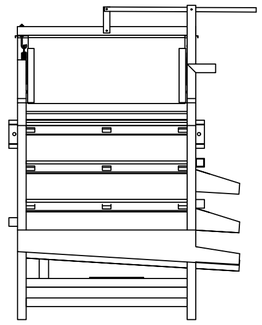
	Fecha	Nombre
Dib.	27/10/23	Jiménez S.
Rev.		
Aprob.		

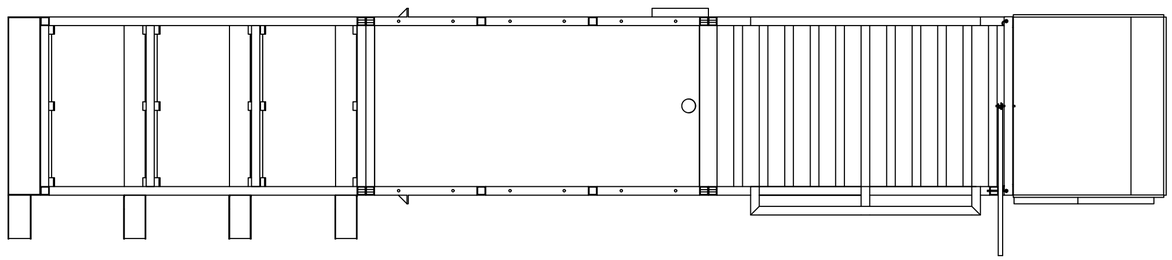
Denominación: Lavadora, secadora y clasificadora de limones

Escala: 1:20

01.00.00







Cant	Denominación	N. de norma o dibujo	Material	No.de pieza	Número del modelo	Peso	Observaciones
8	Tuerca hexagonal M12X1.5	ANSI	Galvanizado	5			Seguridad nylon
8	Perno M12X1.5X45	ANSI	Galvanizado	4			
1	Estructura de clasificado		Acero negro	3	01.01.03		
1	Estructura de escurrido		Acero negro	2	01.01.02		
1	Estructura de lavado		Acero negro	1	01.01.01		

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia

Peso

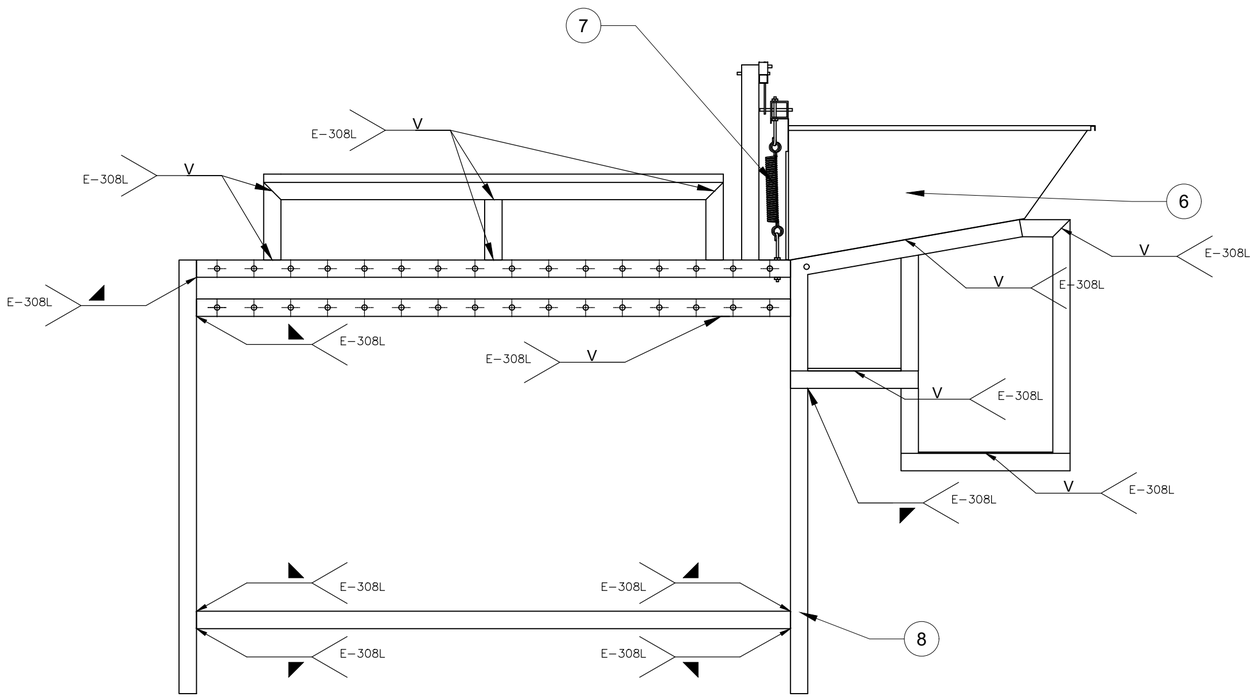
Materiales: Acero negro y galvanizado

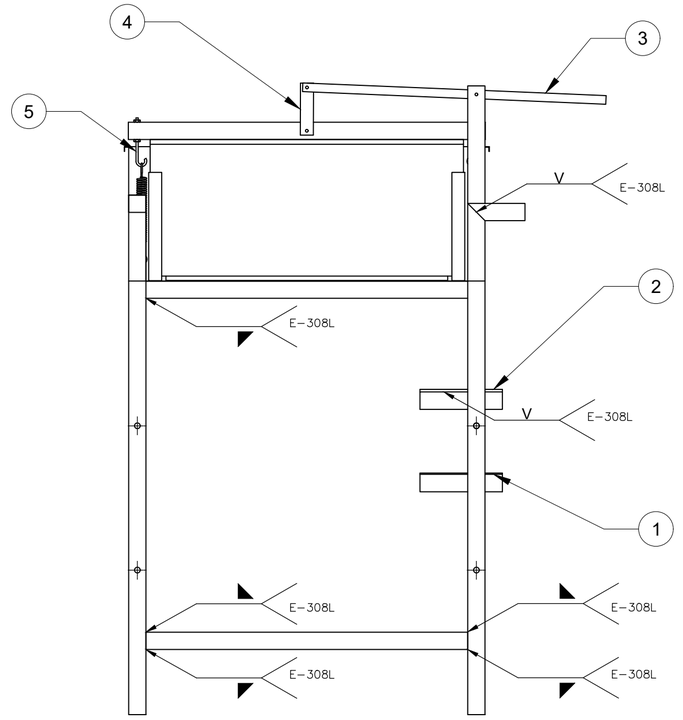
	Fecha	Nombre
Dib.	27/10/23	Jiménez S.
Rev.		
Aprob.		

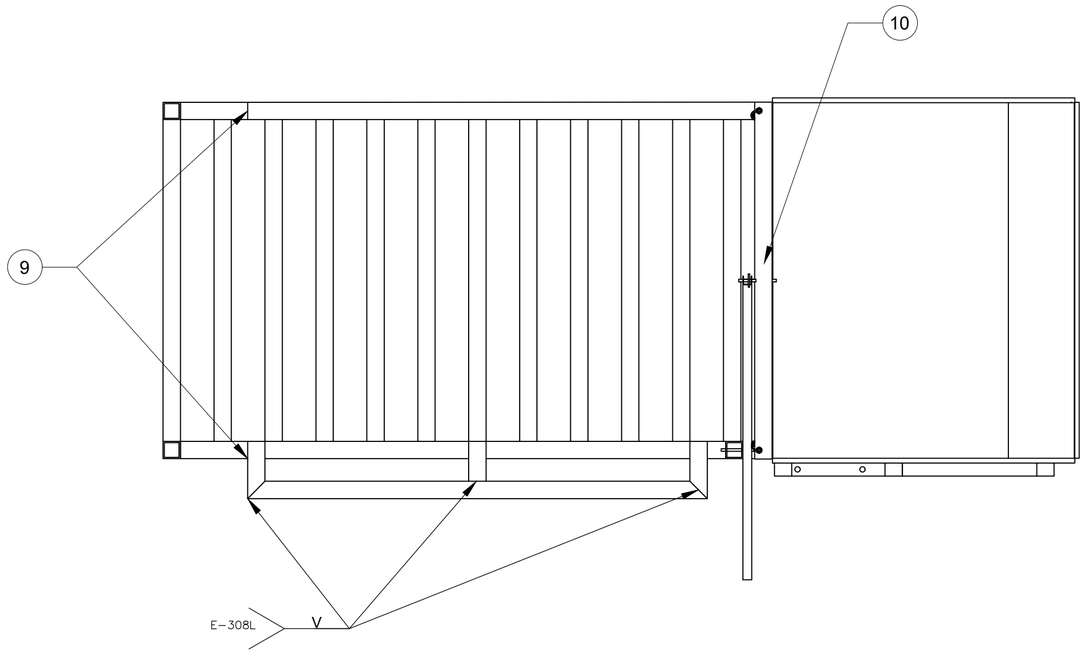
Denominación: Sistema de estructura

Escala: 1:20

01.01.00







Cant	Denominación	N. de norma o dibujo	Material	No.de pieza	Número del modelo	Peso	Observaciones
1	Tapa dosificadora		Acero	10	01.01.01.09		Espesor 1 mm
1	Soporte para tuberías		Acero	9	01.01.01.08		
1	Estructura de lavado		Acero	8	01.01.01.08		Tubo □ 40x40x3
2	Resorte		Acero	7	01.01.01.07		
1	Tolva inicial		Acero	6	01.01.01.06		Espesor 1 mm
4	Gancho		Acero	5	01.01.01.05		
1	Eslabón para palanca		Acero negro	4	01.01.01.04		Espesor 3 mm
1	Palanca		Acero negro	3	01.01.01.03		Tubo □ 20x20x3
1	Plataforma para motor		Acero	2	01.01.01.02		Espesor 6 mm
1	Plataforma para tablero		Acero negro	1	01.01.01.01		Espesor 3 mm

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia | Peso

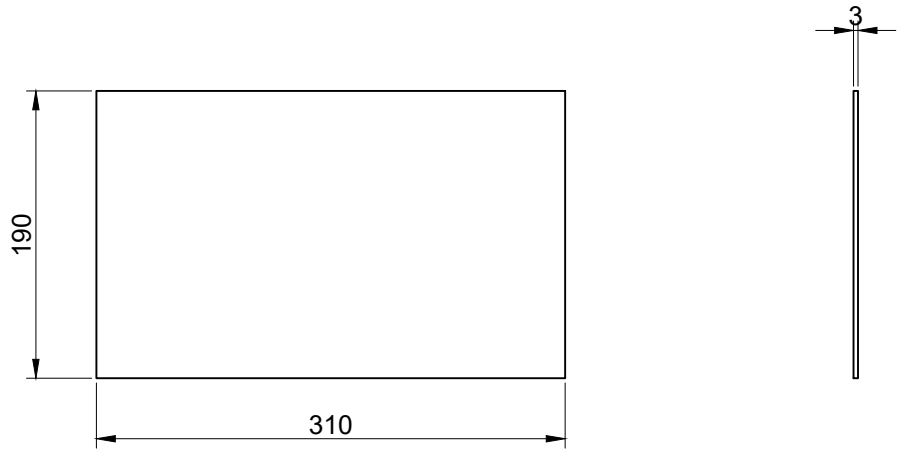
Materiales: Acero negro

	Fecha	Nombre
Dib.	27/10/23	Jiménez S.
Rev.		
Aprob.		

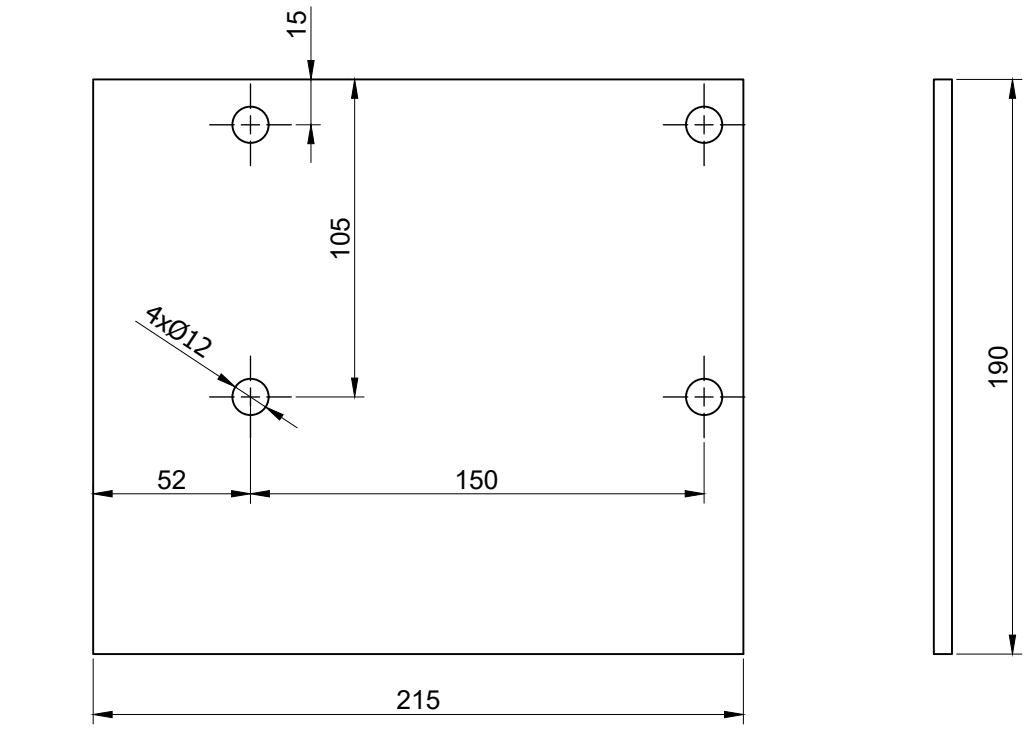
Denominación: ESTRUCTURA DE LAVADO

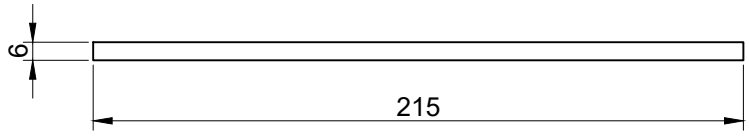
Escala: 1:10

01.01.01



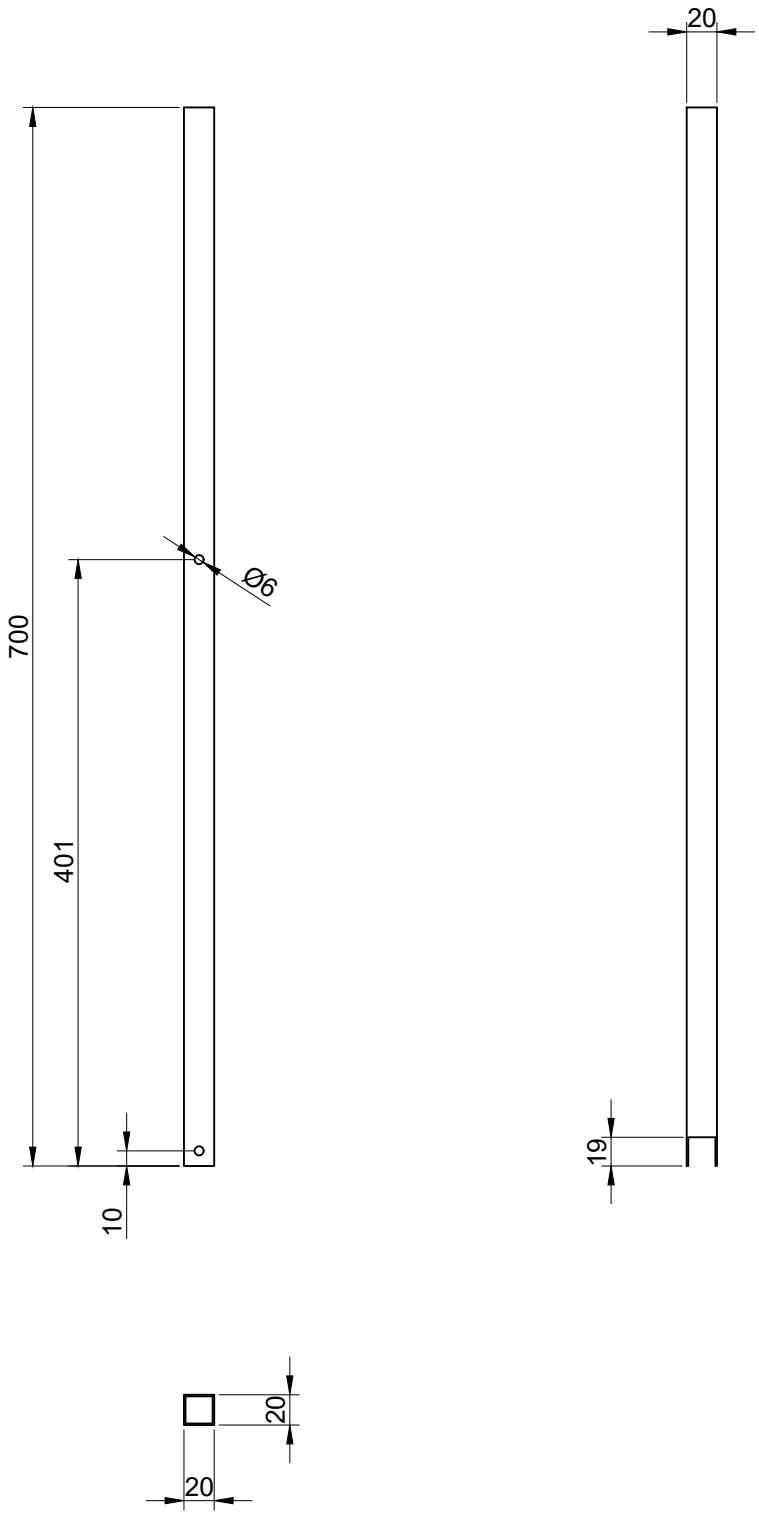
				Tolerancia		Peso	Materiales
							Acero galvanizado
					Fecha	Nombre	Denominación
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.	Plataforma para tablero
				Rev.			Escala 1:5
				Aprob.			
				U.N.L			01.01.01.01
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



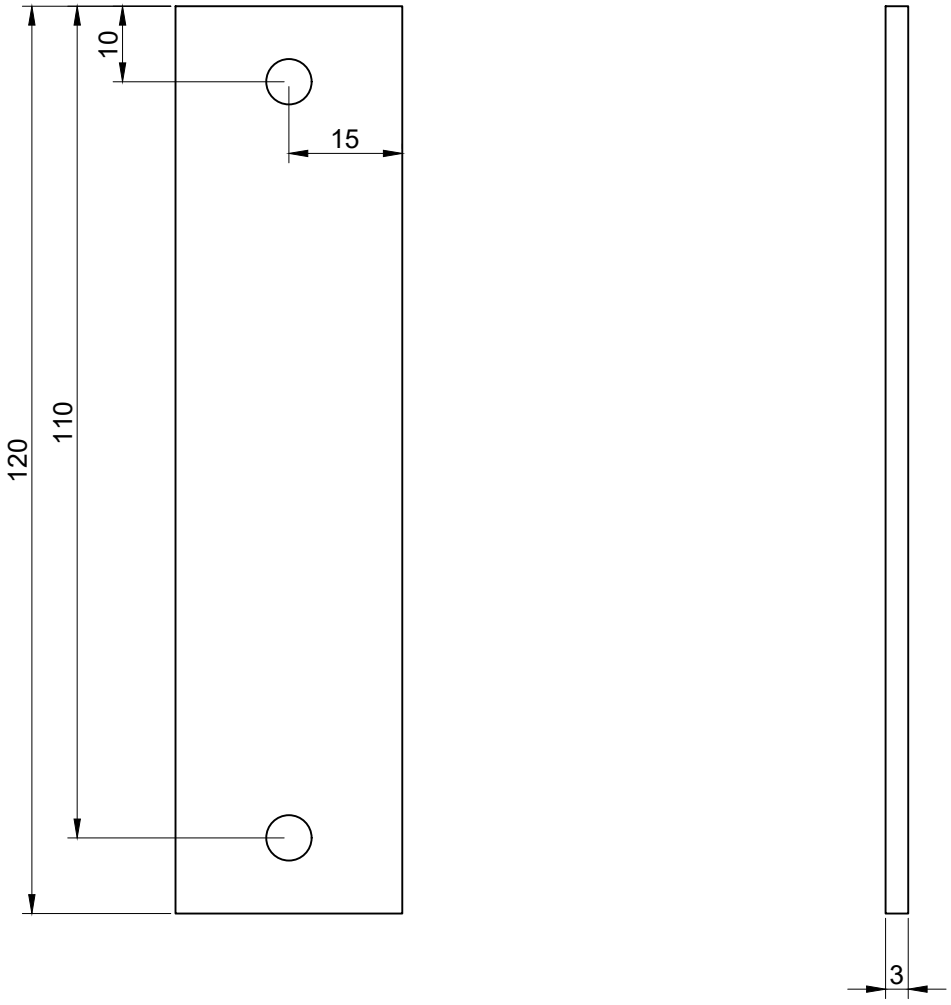


Todas las superficies.

				Tolerancia		Peso	Materiales
							Acero galvanizado
					Fecha	Nombre	Denominación
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.	Plataforma para motor
				Rev.			Escala 1:10
				Aprob.			
				U.N.L			01.01.01.02
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

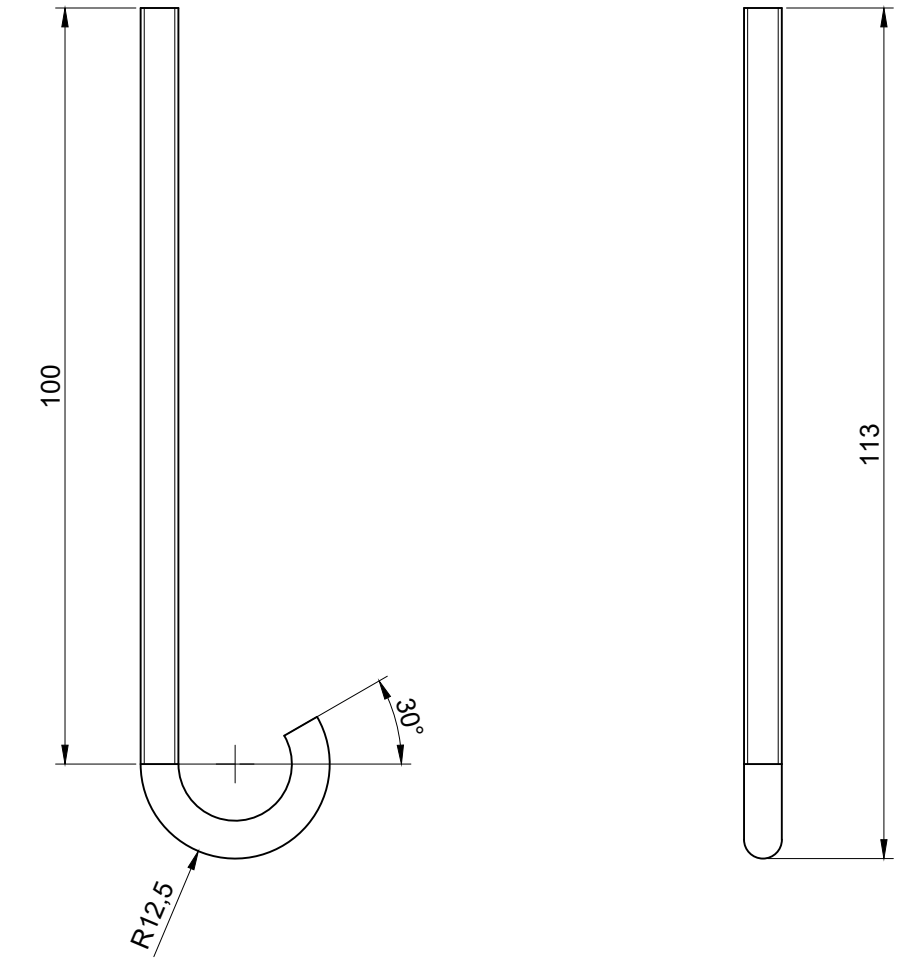


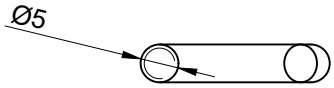
				Tolerancia		Peso	Materiales
							Acero galvanizado
					Fecha	Nombre	Denominación / Escala
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.	Palanca — 1:5
				Rev.			
				Aprob.			
				U.N.L			01.01.01.03
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



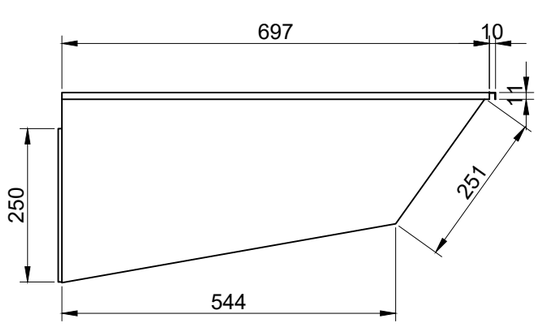
				Tolerancia		Peso	Materiales
							Acero galvanizado
					Fecha	Nombre	Denominación
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.	Eslabón para palanca
				Rev.			
				Aprob.			
				U.N.L			01.01.01.04
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

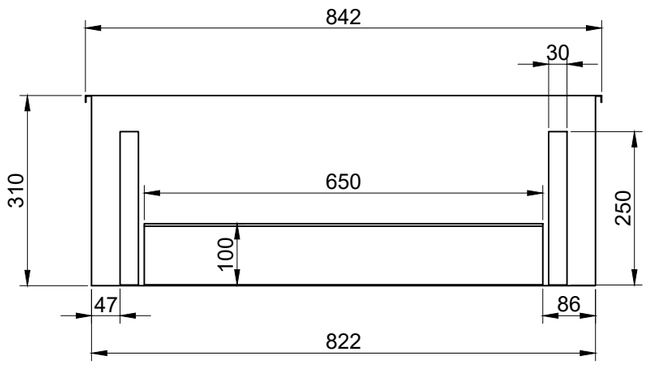
Escala 1:1

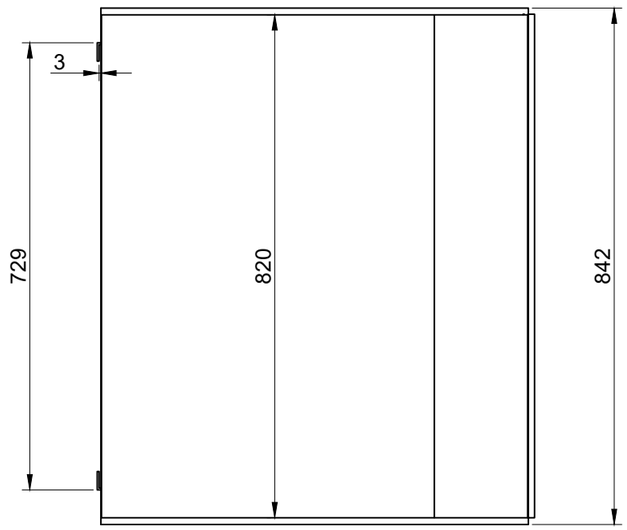




				Tolerancia		Peso	Materiales
							Acero galvanizado
					Fecha	Nombre	Denominación / Escala
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.	Gancho — 1:1
				Rev.			
				Aprob.			
				U.N.L			01.01.01.05
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

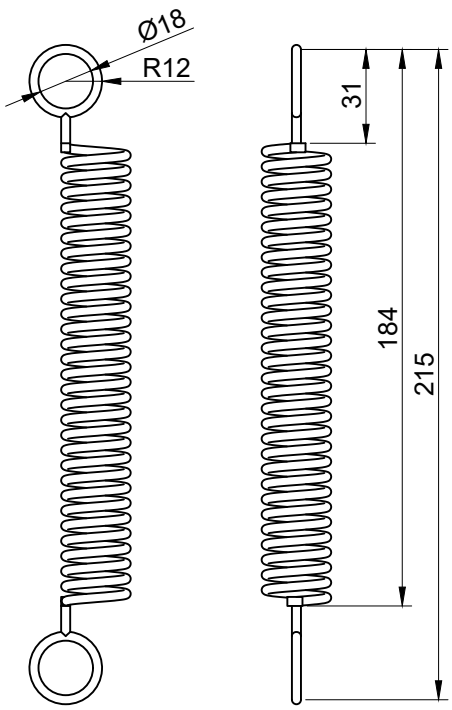




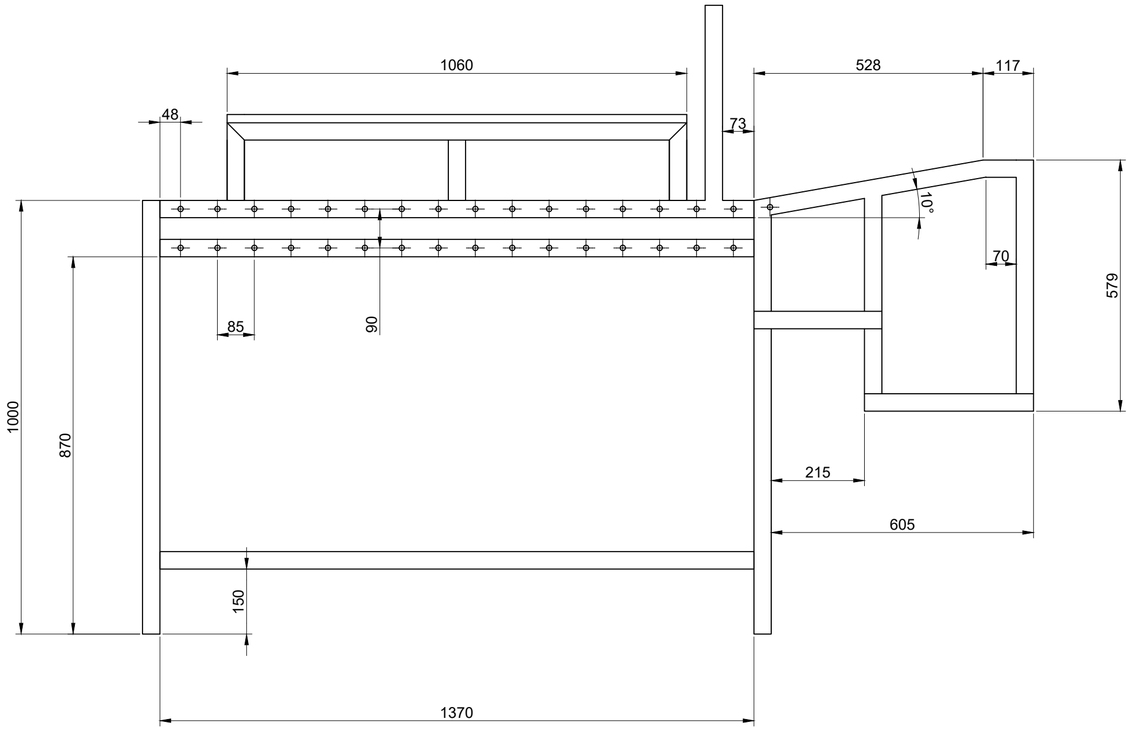


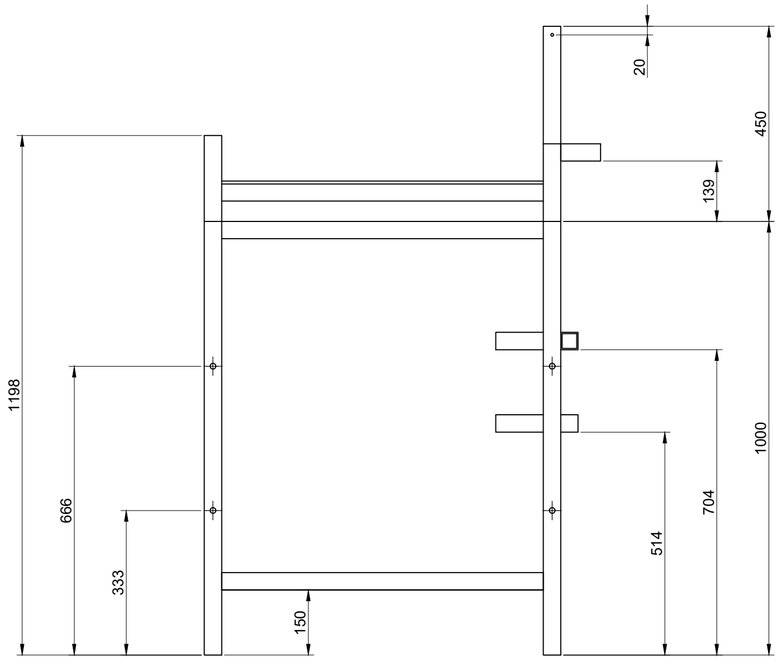
				Tolerancia	Peso	Materiales
						Acero inoxidable
					Fecha	Nombre
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.
				Rev.		
				Aprob.		
Edi-ción	Modifica-ción	Fecha	Nombre			

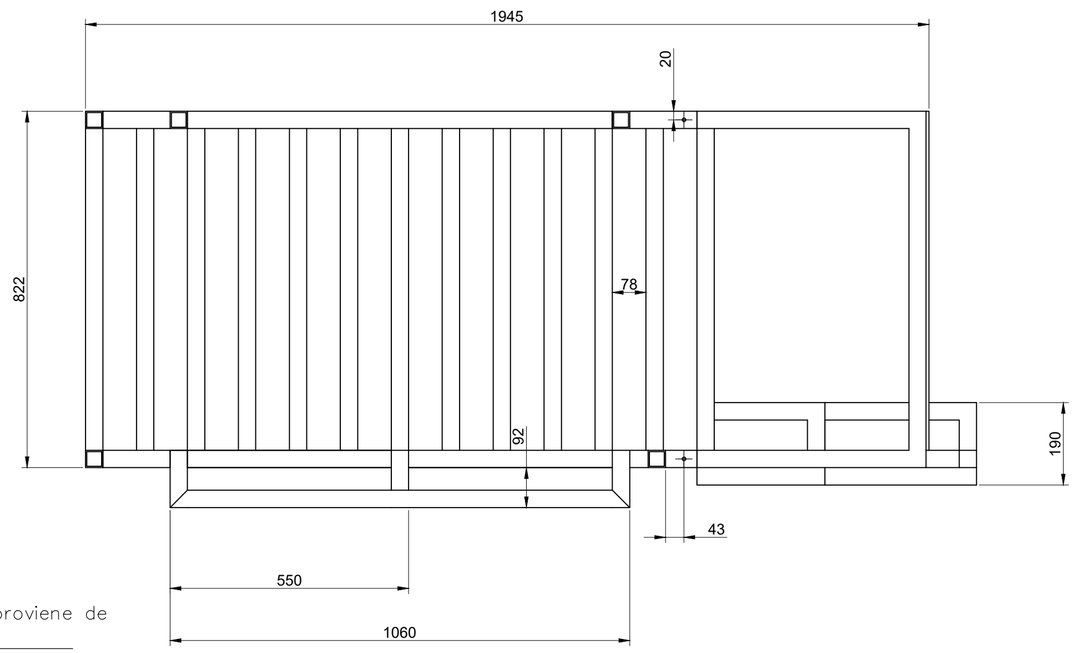
Denominación	Escala
Tolva inicial	1:10
01.01.01.06	



				Tolerancia		Peso	Materiales
							Acero galvanizado
					Fecha	Nombre	Denominación / Escala
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.	Resorte — 1:2,5
				Rev.			
				Aprob.			
				U.N.L			01.01.01.07
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				





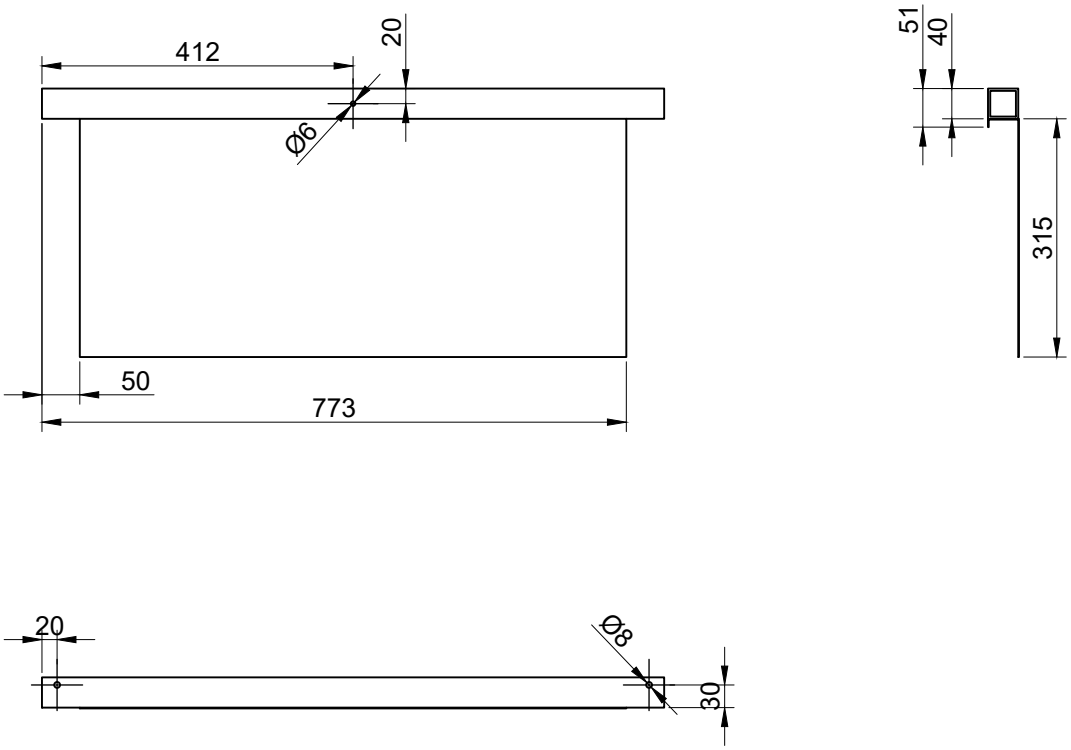


Como proviene de fabrica

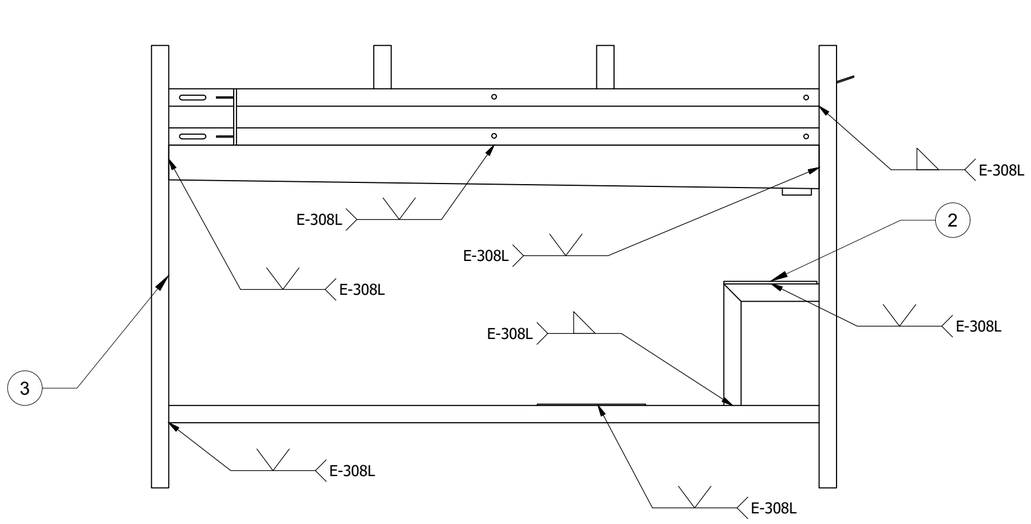
Todas las superficies.

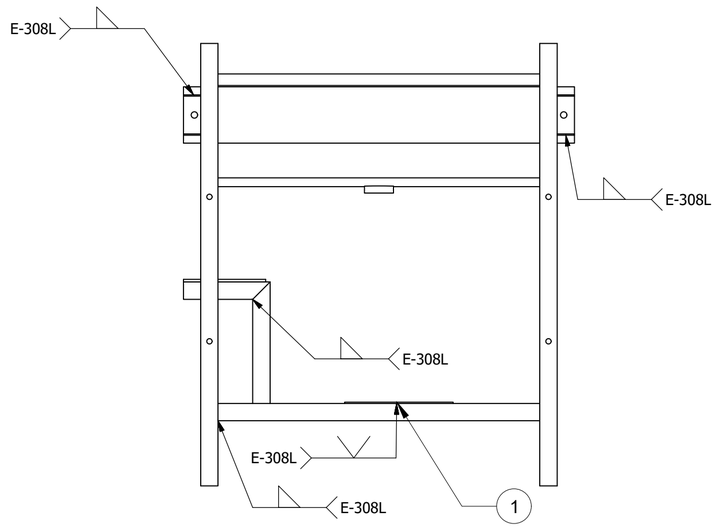
				Tolerancia	Peso	Materiales
						Acero negro y galvanizado
					Fecha	Nombre
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.
				Rev.		
				Aprob.		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			

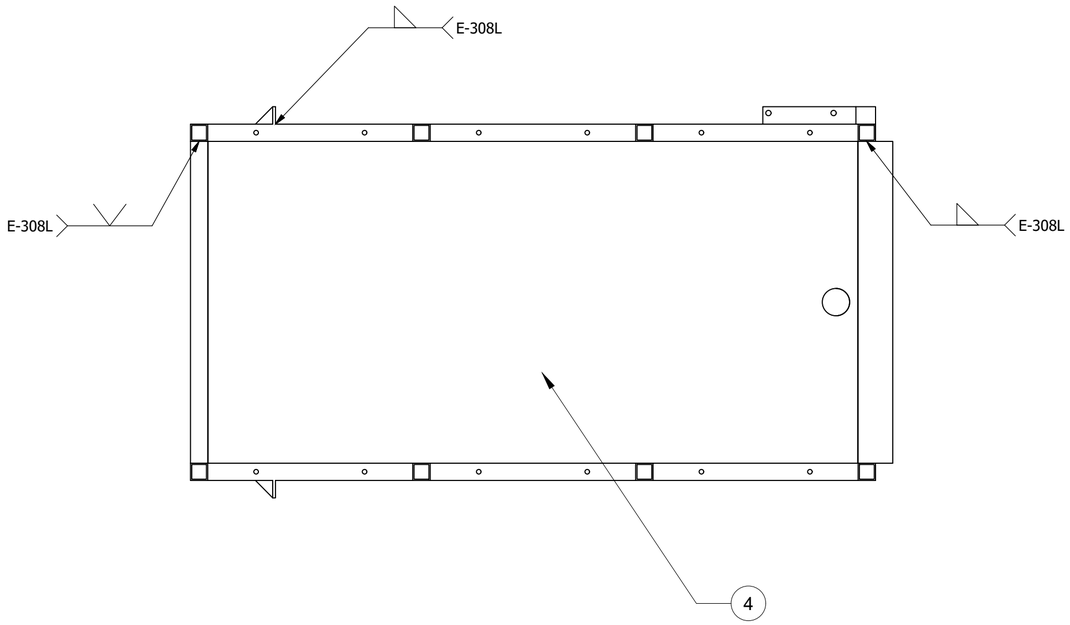
Denominación	Escala
ESTRUCTURA DE LAVADO	1:10
01.01.01.08	



				Tolerancia		Peso	Materiales
							Acero galvanizado
					Fecha	Nombre	Denominación / Escala
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.	Tapa dosificadora — 1:10
				Rev.			
				Aprob.			
				U.N.L			01.01.01.09
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				







Cant	Denominación	N. de norma o dibujo	Material	No.de pieza	Número del modelo	Peso	Observaciones
1	Bandeja de drenaje		Acero inox	4	01.01.02.03		Espesor 1.02 mm
1	Estructura		Acero inox	3	01.01.02.02		
1	Plataforma para motorreductor		Acero negro	2	01.01.01.01		Espesor 6 mm
1	Plataforma para bomba		Acero negro	1	01.01.02.01		Espesor 6 mm

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

	Fecha	Nombre
Dib.	27/10/23	Jiménez S.
Rev.		
Aprob.		

Tolerancia

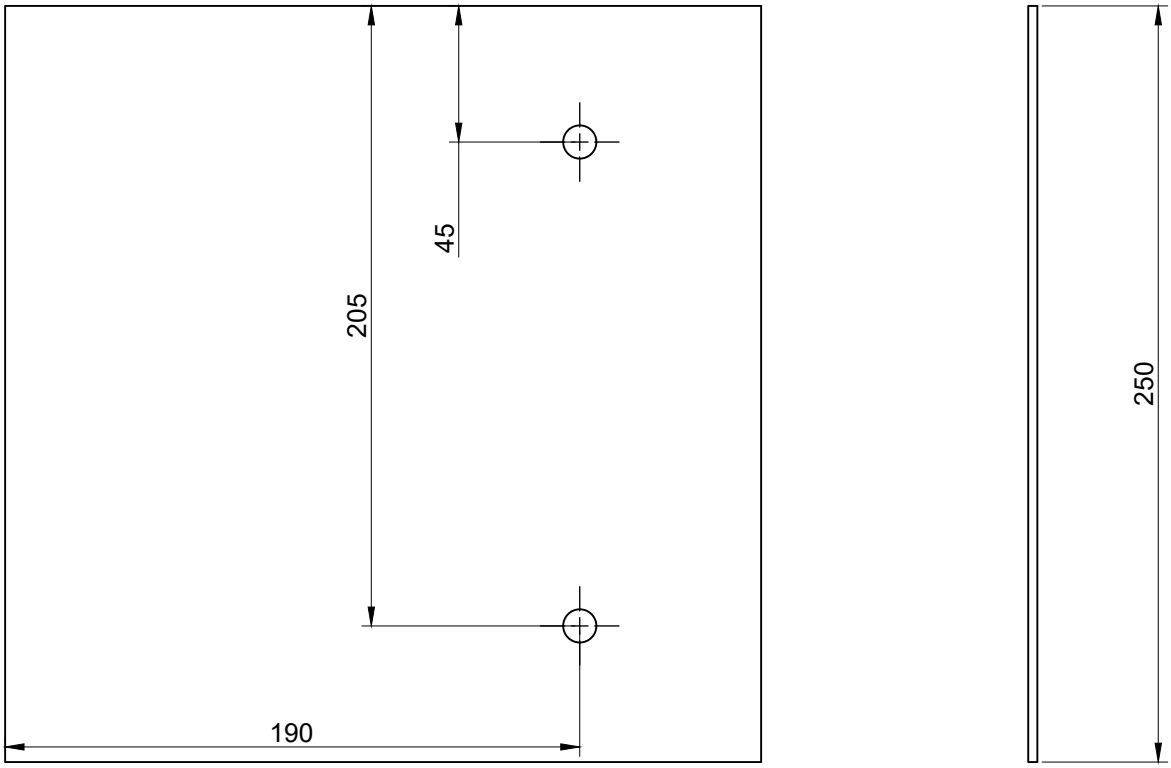
Peso

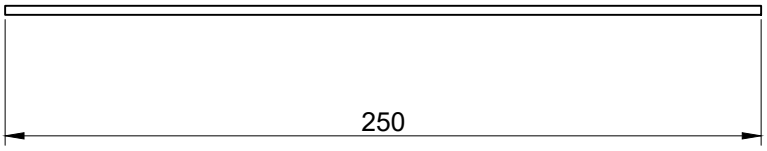
Materiales: Acero y acero negro

Denominación: Estructura de escurrido

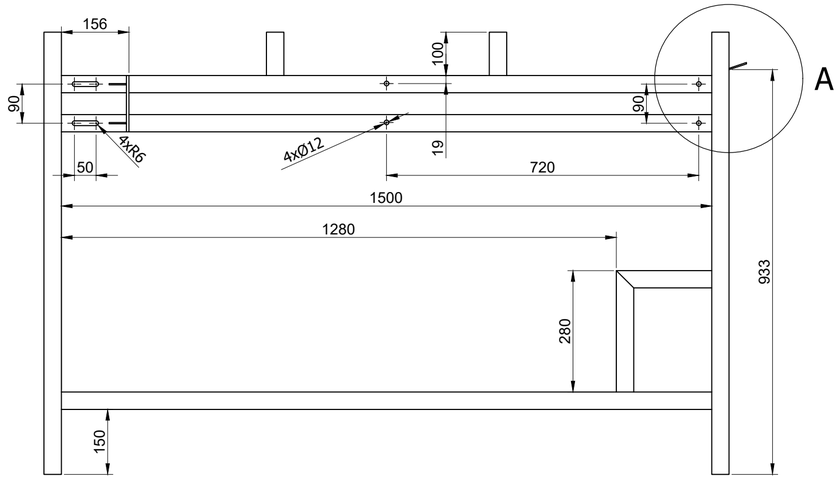
Escala: 1:10

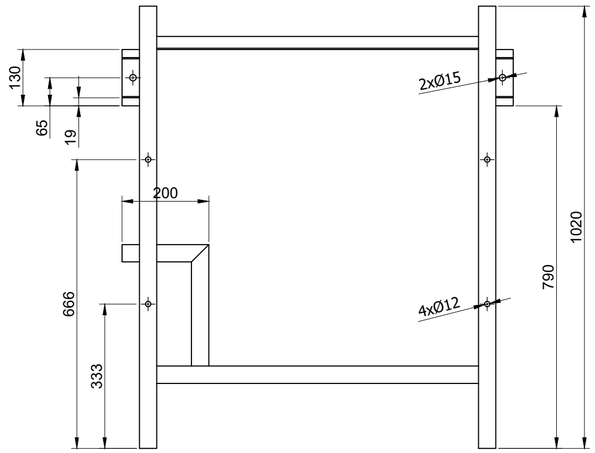
01.01.02



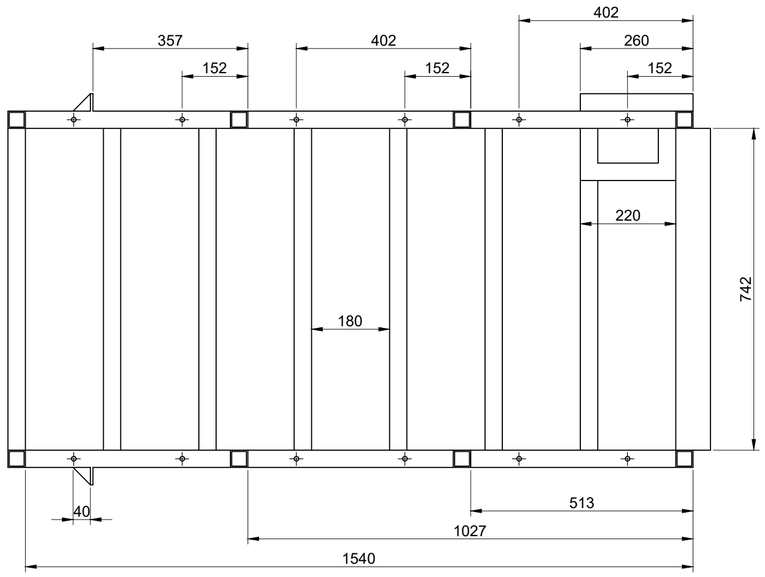


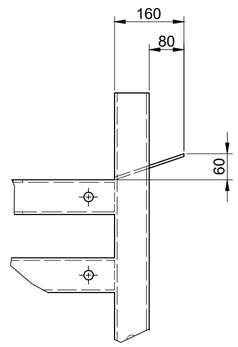
				Tolerancia		Peso	Materiales
							Acero galvanizado
					Fecha	Nombre	Denominación / Escala
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.	Plataforma para bomba — 1:2,5
				Rev.			
				Aprob.			
				U.N.L			01.01.02.01
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				





A (1:5)



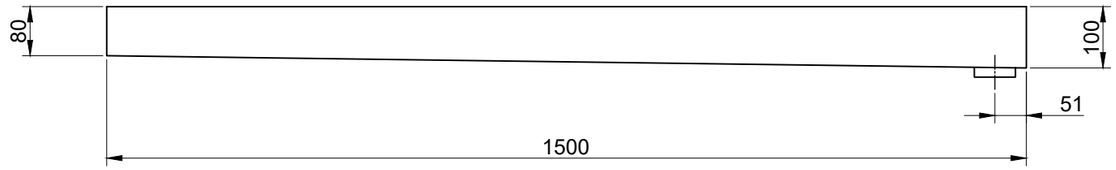


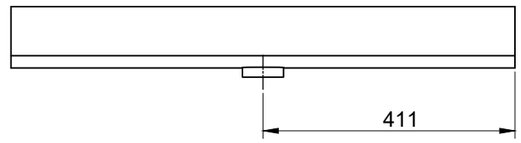
Como proviene de fabrica

Todas las superficies.

				Tolerancia	Peso	Materiales
						Acero negro
					Fecha	Nombre
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.
				Rev.		
				Aprob.		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			

Denominación	Escala
Estructura de escurrido	1:10
01.01.02.02	

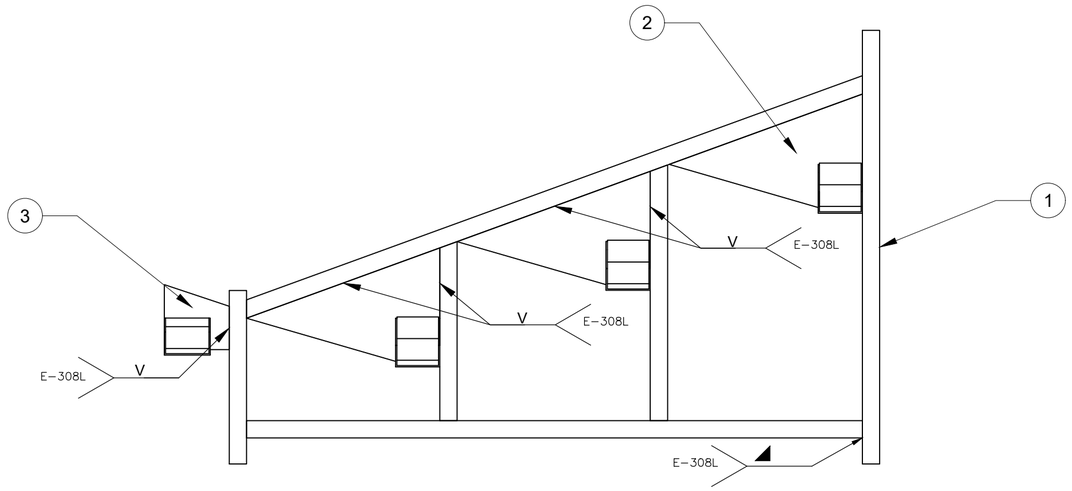


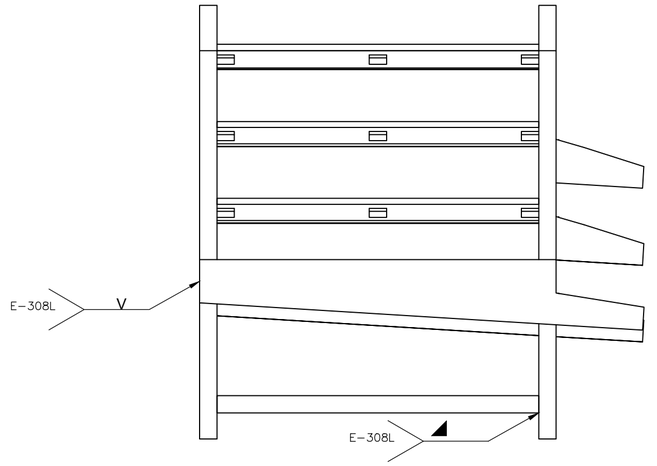


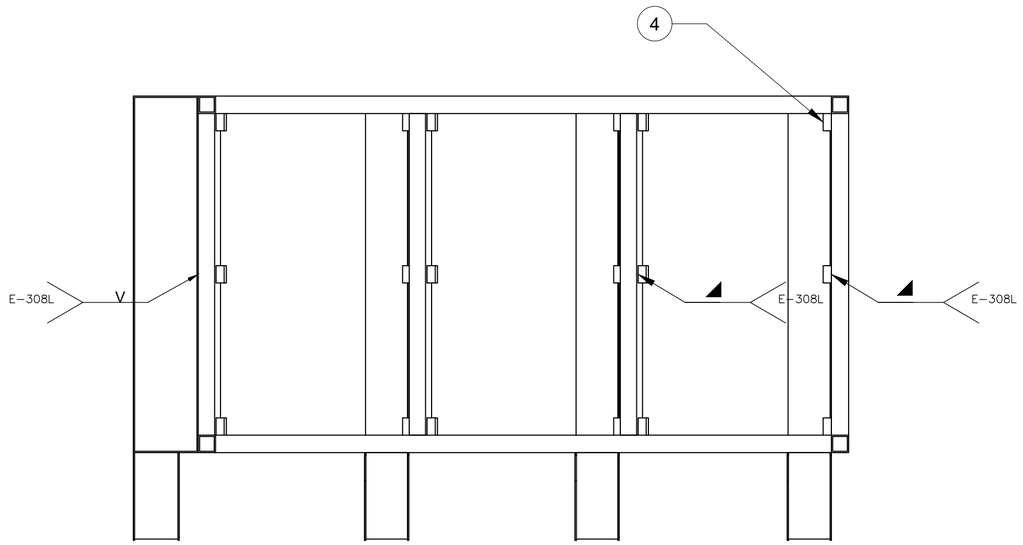
Como proviene de fabrica

Todas las superficies.

				Tolerancia	Peso	Materiales
						Acero inoxidable
					Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.	Tolva de drenaje de escurrido	1:10
				Rev.				
				Aprob.			01.01.02.03	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					







Cant	Denominación	N. de norma o dibujo	Material	No.de pieza	Número del modelo	Peso	Observaciones
18	Tope para parrillas		Acero	4	01.01.03.01		
1	Tolva final recolectora		Acero	3	01.01.03.03		
3	Tolva recolectora		Acero	2	01.01.03.02		
1	Estructura		Acero negro	1	01.01.03.01		

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

	Fecha	Nombre
Dib.	27/10/23	Jiménez S.
Rev.		
Aprob.		

Tolerancia

Peso

Materiales

Acero negro

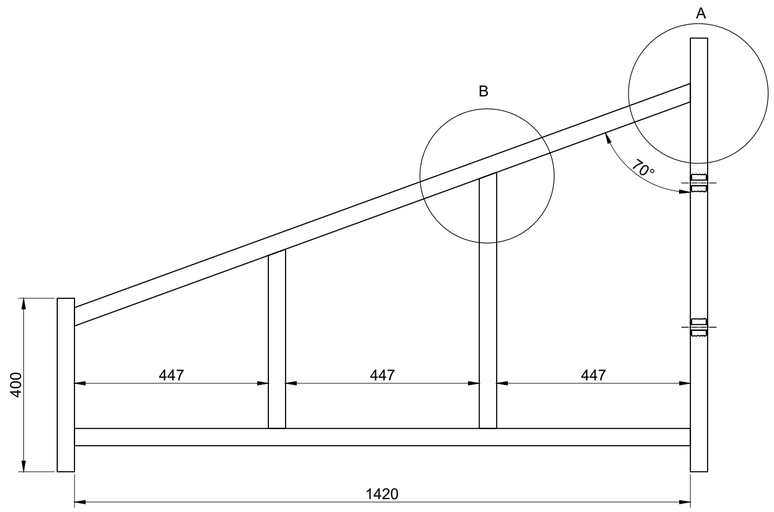
Denominación

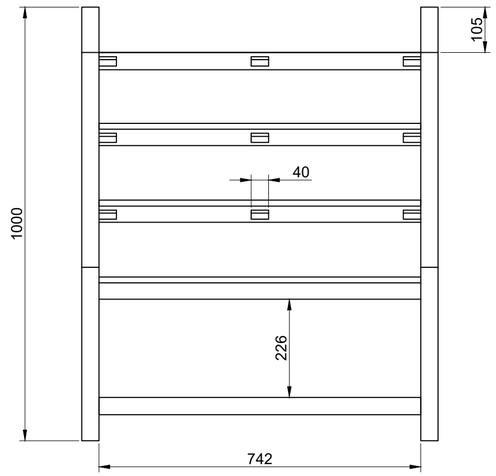
Estructura de clasificado

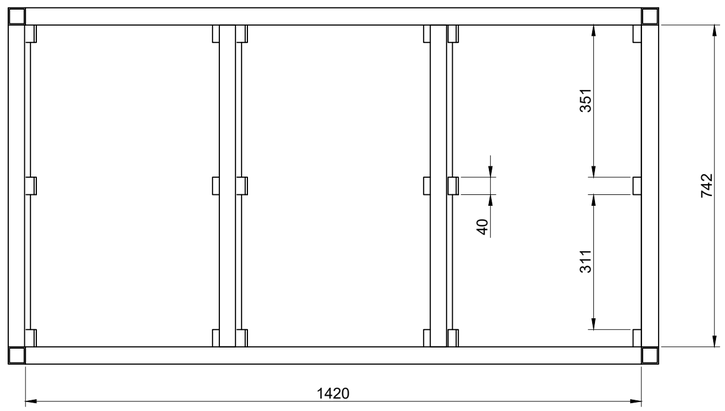
Escala

1:10

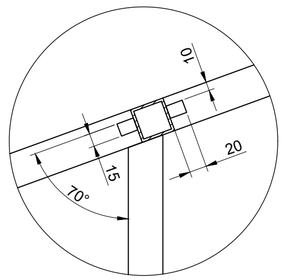
01.01.03



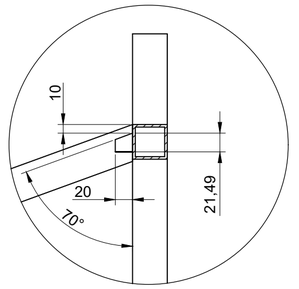




Detalle B (1:5)



Detalle A (1:5)

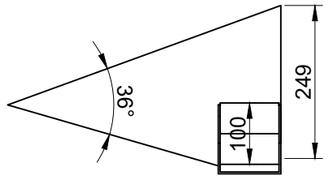


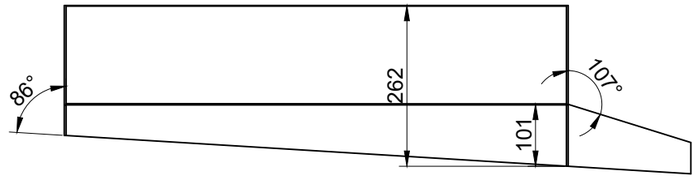
Como proviene de fabrica

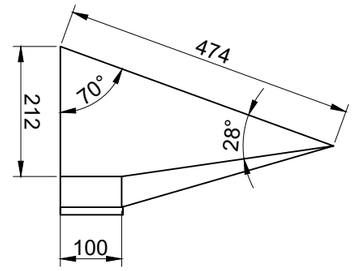
Todas las superficies.

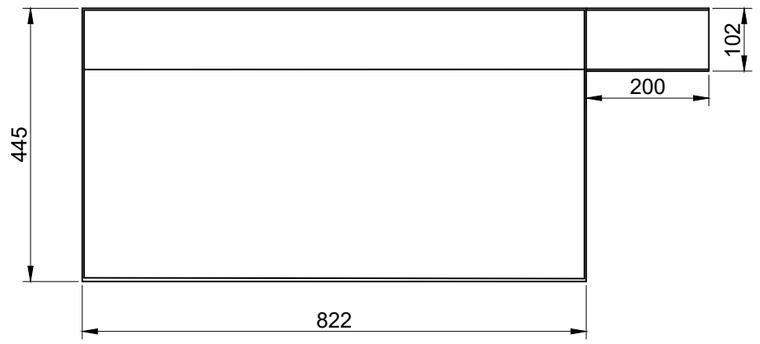
				Tolerancia	Peso	Materiales
						Acero negro
					Fecha	Nombre
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.
				Rev.		
				Aprob.		
Edi-ción	Modifica-ción	Fecha	Nombre			

Denominación	Escala
Estructura de clasificación	1:10
01.01.03.01	







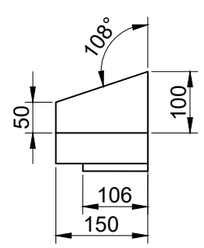


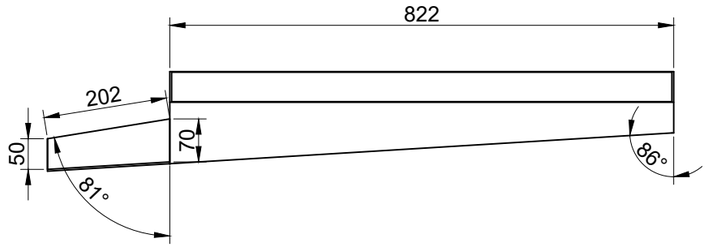
Como proviene de fabrica

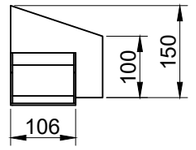
Todas las superficies.

				Tolerancia	Peso	Materiales
						Acero galvanizado
					Fecha	Nombre
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.
				Rev.		
				Aprob.		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			

Denominación	Escala
Tolva recolectora	1:10
01.01.03.02	





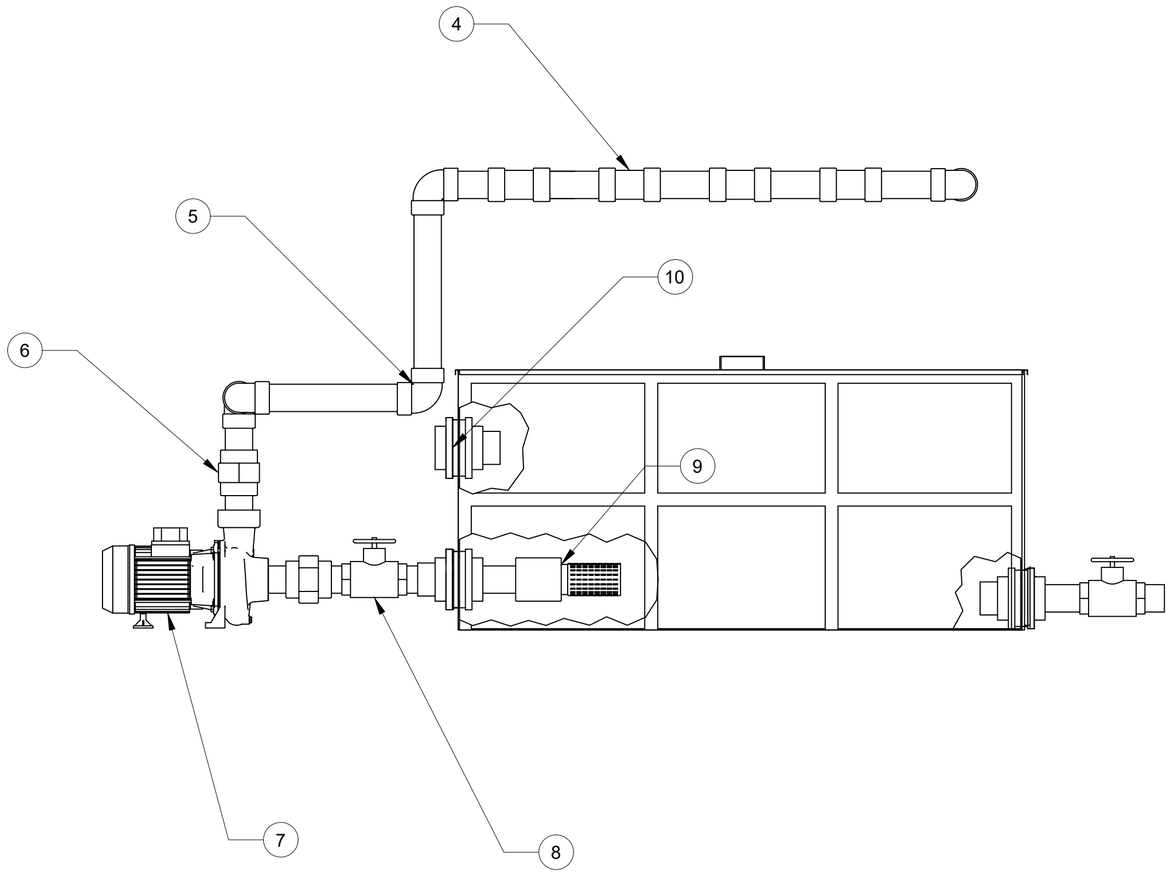


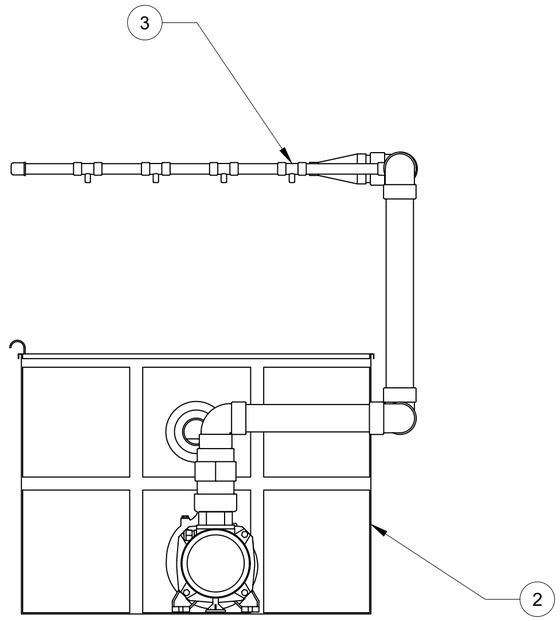
Como proviene de fabrica

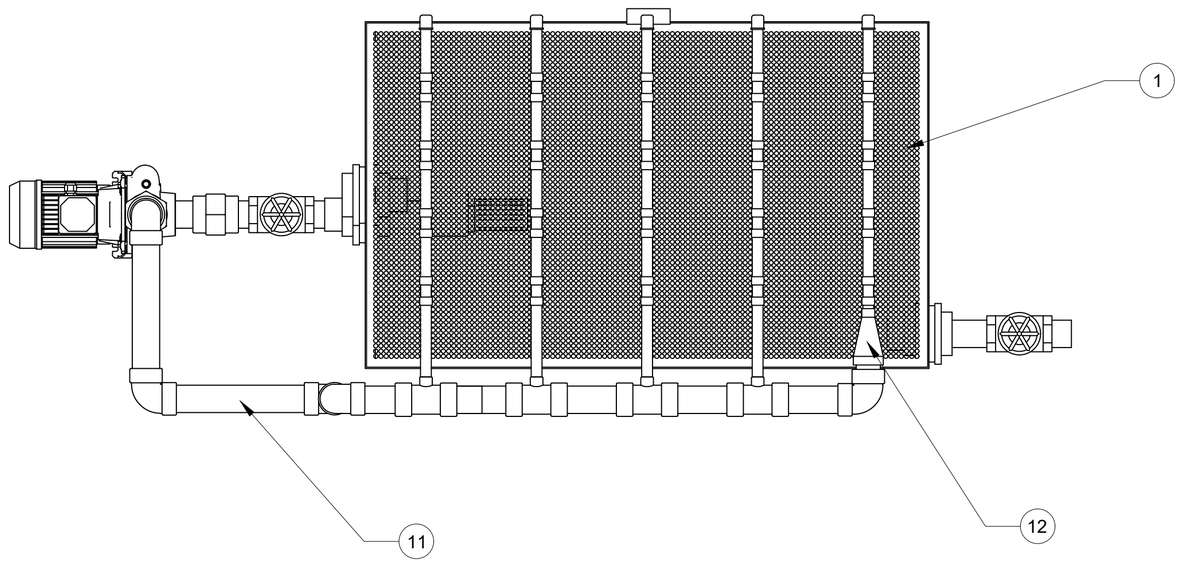
Todas las superficies.

				Tolerancia	Peso	Materiales
						Acero galvanizado
					Fecha	Nombre
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.
				Rev.		
				Aprob.		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			

Denominación	Escala
Tolva final recolectora	1:10
01.01.03.03	





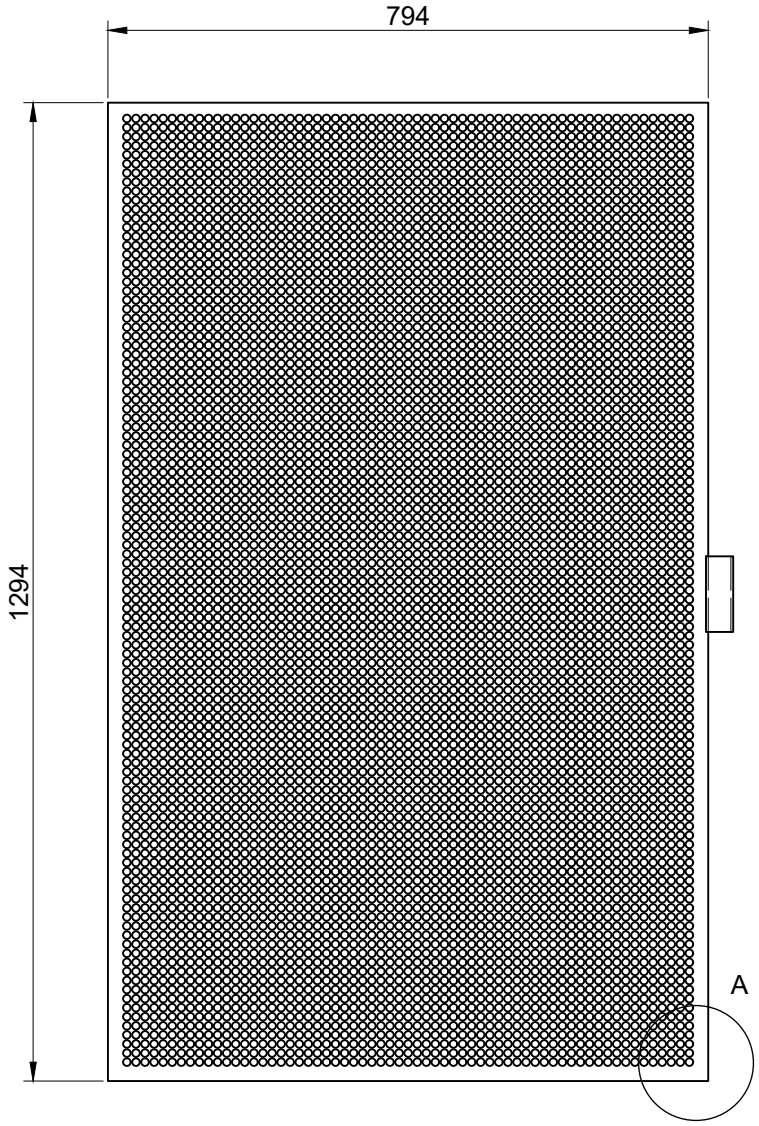


Cant	Denominación	N. de norma o dibujo	Material	No.de pieza	Número del modelo	Peso	Observaciones
1	Reductor concéntrico		PVC	12			
1	Tubería PVC		PVC	11			
3	Unión de tanque		PVC	10			
1	Válvula de pie			9			
2	Válvula de bola		H. Fundido	8			
1	Bomba		Acero	7			
2	Unión universal		PVC	6			
5	Codo 90º		PVC	5			
4	Te reductora		PVC	4			
20	Aspersores			3			
1	Tanque		Acero	2	01.02.02		
1	Rejilla		Acero	1	01.02.01		

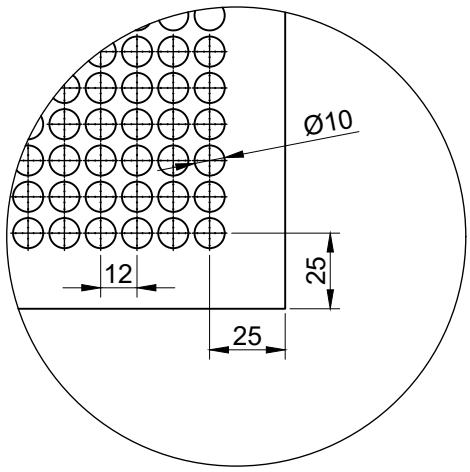
Edición	Modificación	Fecha	Nombre

	Tolerancia	Peso	Materiales
			Acero y PVC

	Fecha	Nombre	Denominación	Escala
Dib.	27/10/23	Jiménez S.	Sistema de bombeo	1:10
Rev.				
Aprob.			01.02.00	



DETALLE A (1:2.5)



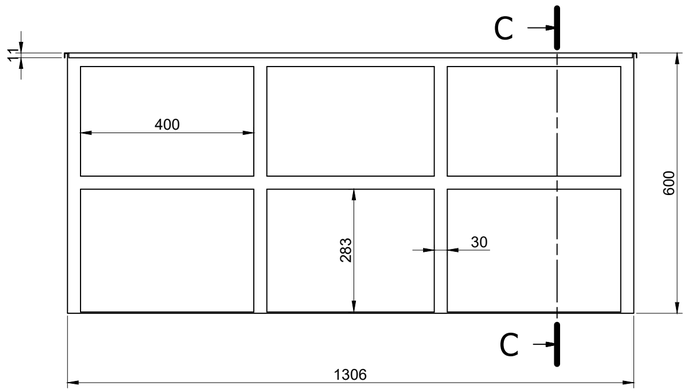
Como proviene de fabrica

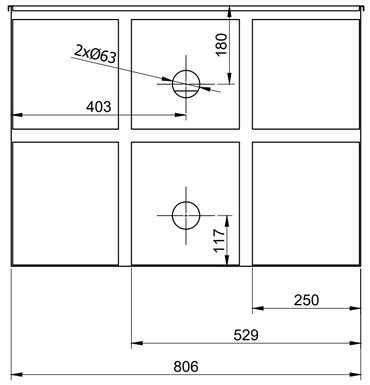
Todas las superficies.

				Tolerancia		Peso	Materiales: Acero
					Fecha	Nombre	Denominación: Rejilla para tanque
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.	Escala 1:10
				Rev.			
				Aprob.			
				U.N.L			01.02.01
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

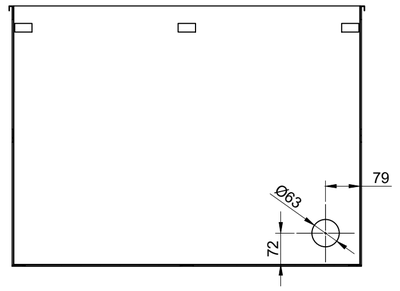
Como proviene de fabrica

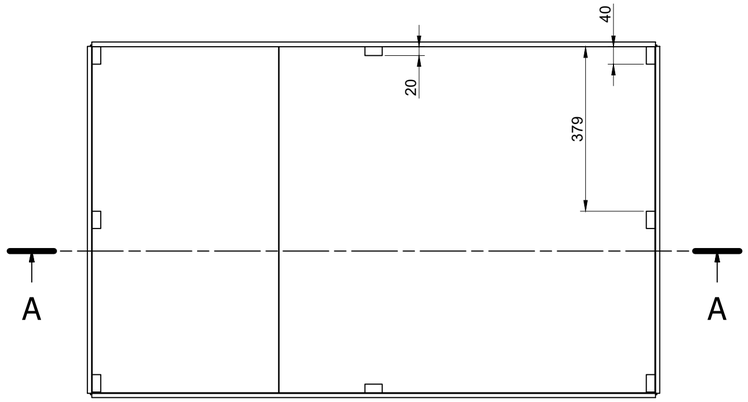
Todas las superficies.



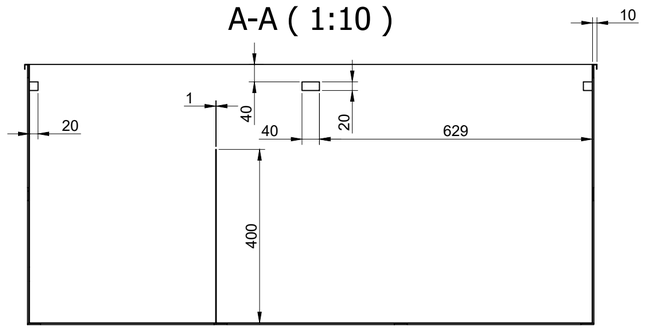


C-C (1:10)



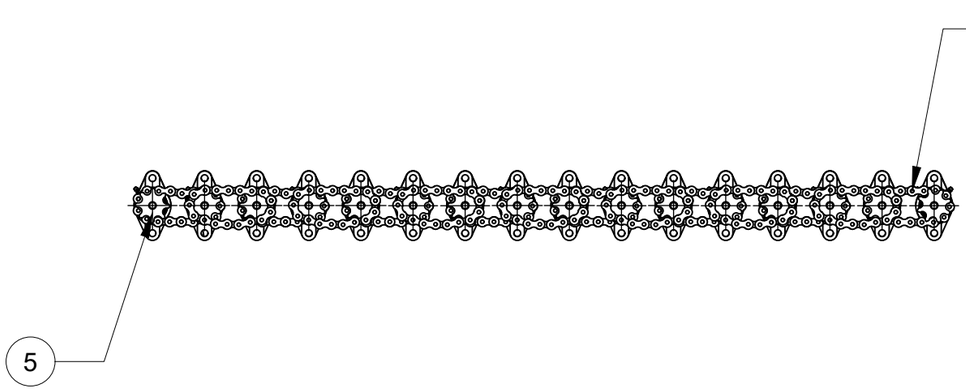


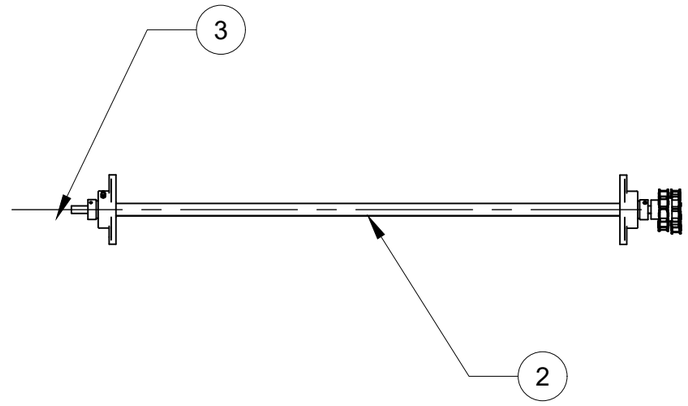
A-A (1:10)

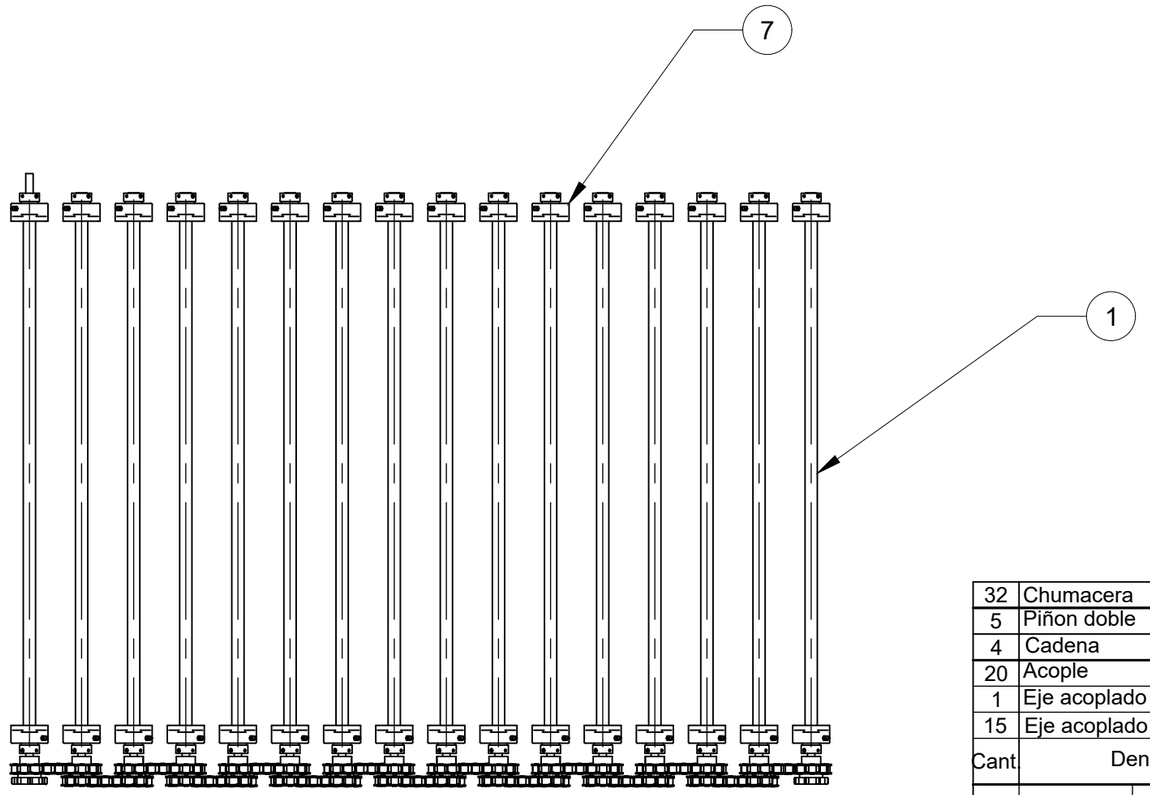


				Tolerancia	Peso	Materiales
						Acero inoxidable
					Fecha	Nombre
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.
				Rev.		
				Aprob.		
Edi-ción	Modifica-ción	Fecha	Nombre			

Denominación	Escala
Tanque	1:10
01.02.02	







Cant.	Denominación	N. de norma o dibujo	Material	No.de pieza	Número del modelo	Peso	Observaciones
32	Chumacera	ISO	H. Fundido	6			
5	Piñon doble	ISO	Galvanizado	5			12B de 8 dientes
4	Cadena	ISO	Galvanizado	4			DIN 8187
20	Acople		Acero	3			
1	Eje acoplado al motorreductor		Acero	2	01.03.02		AISI 1018
15	Eje acoplado a la transmisión		Acero	1	01.03.01		AISI 1018

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia

Peso

Materiales

Acero AISI 1018, acero galvanizado y hierro fundido.

	Fecha	Nombre
Dib.	27/10/23	Jiménez S.
Rev.		
Aprob.		

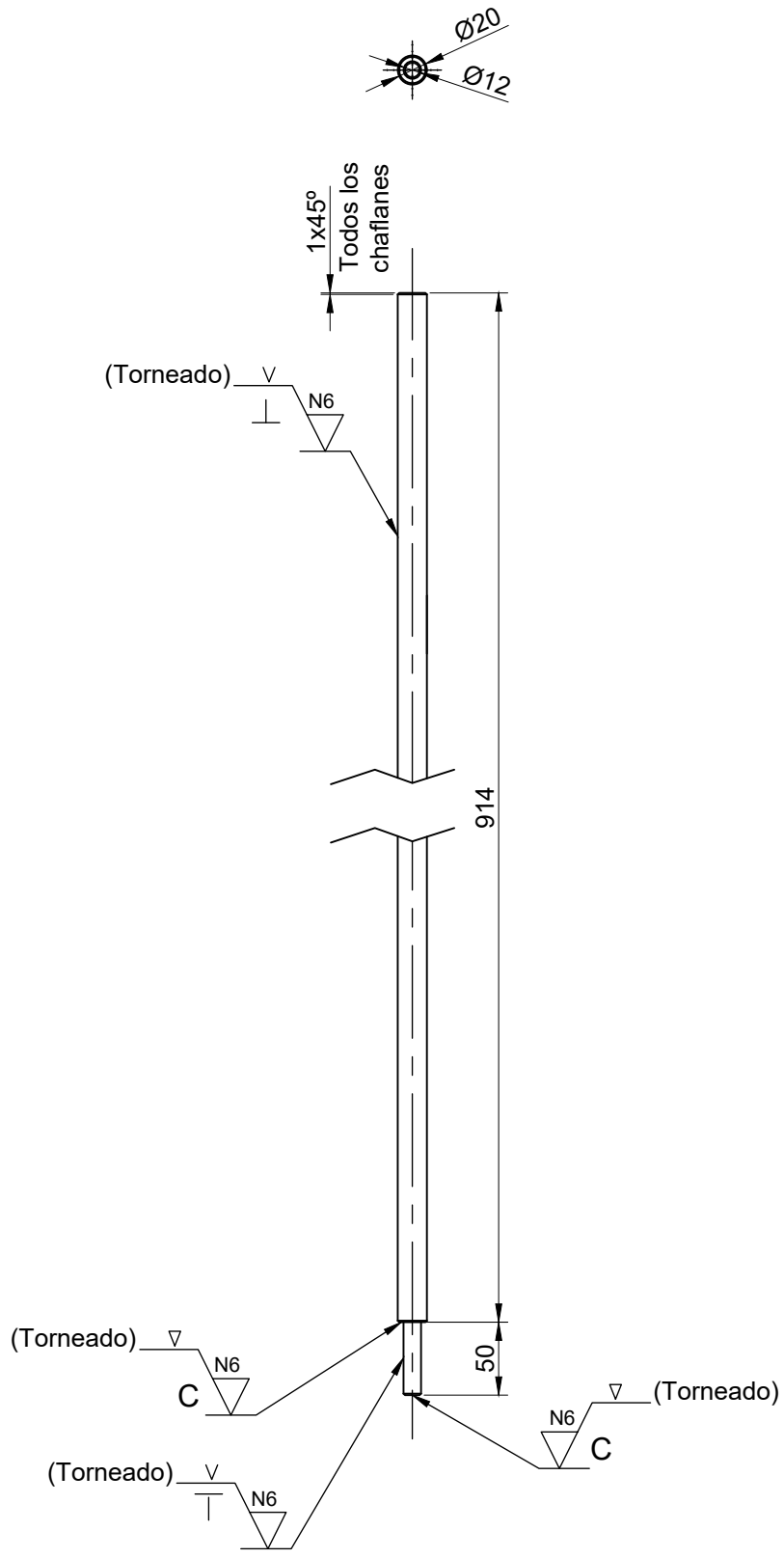
Denominación

Sistema de transmisión

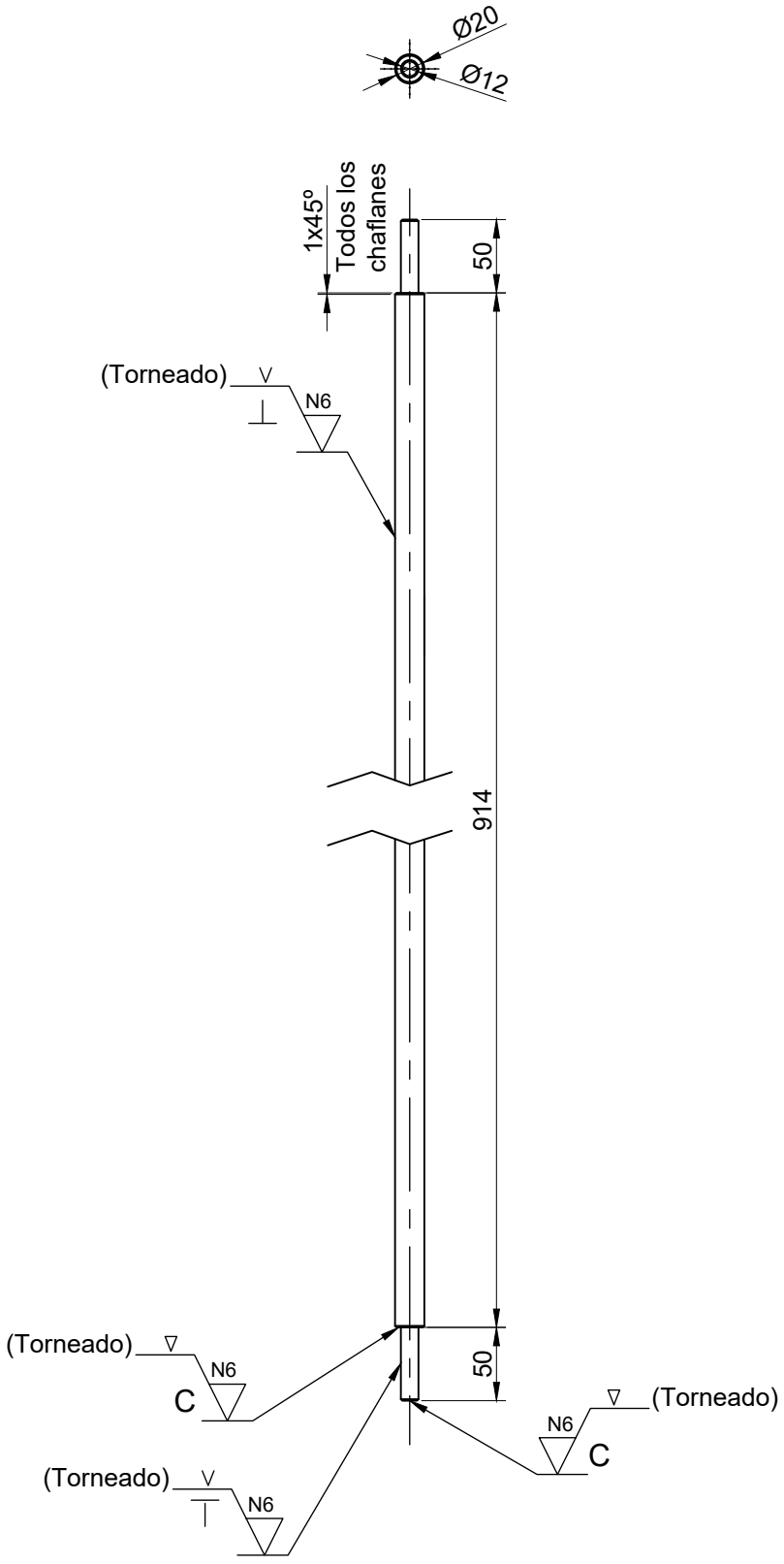
Escala

1:10

01.03.00



				Tolerancia		Peso	Materiales
							Acero AISI 1018
					Fecha	Nombre	Denominación / Escala
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.	Eje acoplado a los cepillos / 1:5
				Rev.			
				Aprob.			
				U.N.L			01.03.01
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				Tolerancia		Peso
					Fecha	Nombre
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.
				Rev.		
				Aprob.		
				U.N.L		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			

Materiales

Acero AISI 1018

Denominación

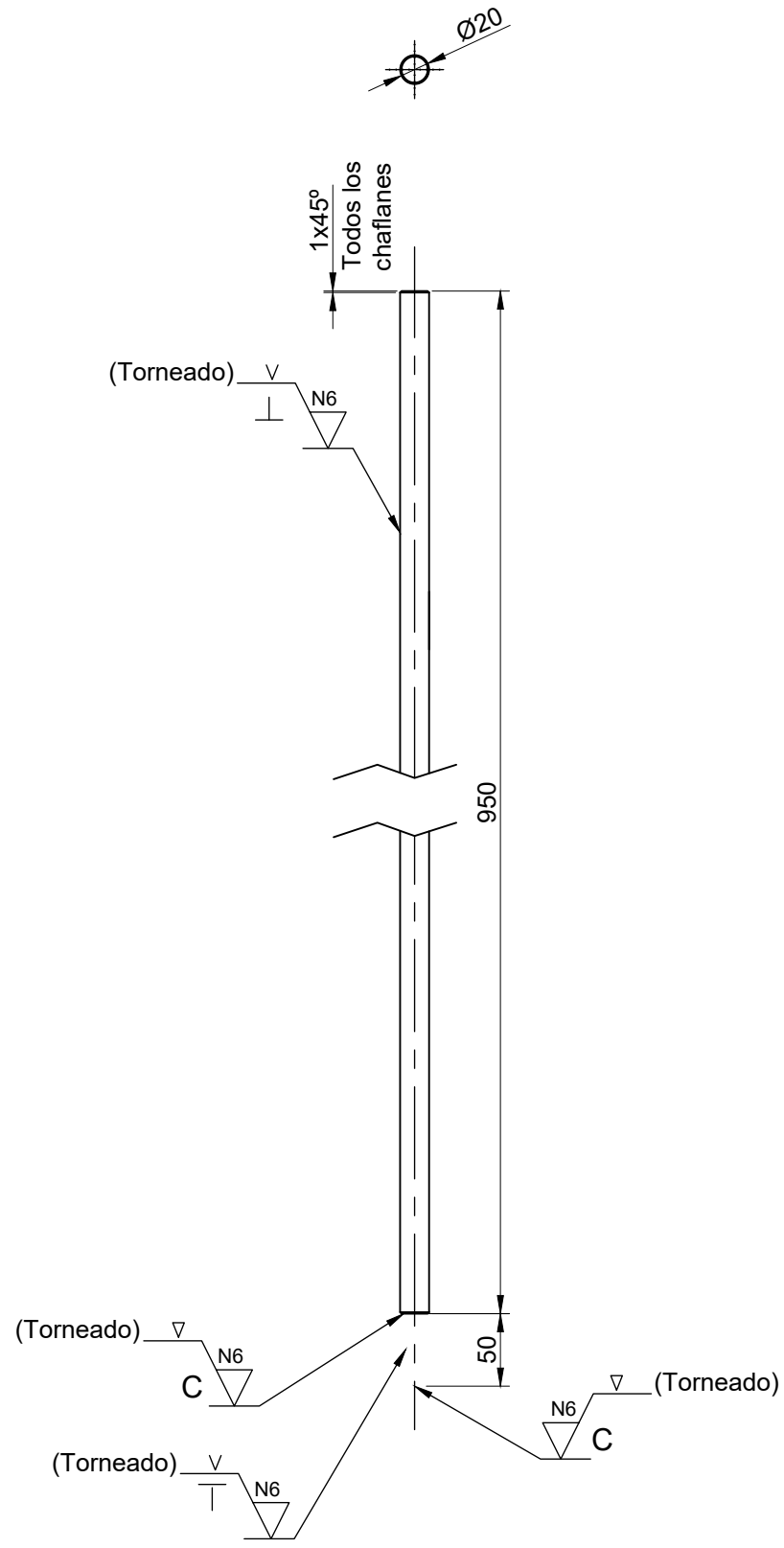
Eje acoplado al motorreductor

Escala

1:5

Número de dibujo

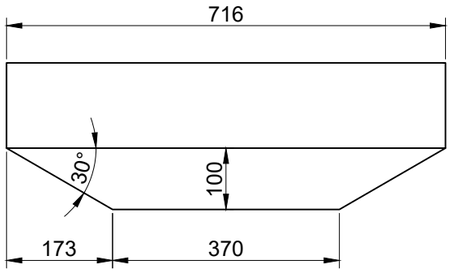
01.03.02

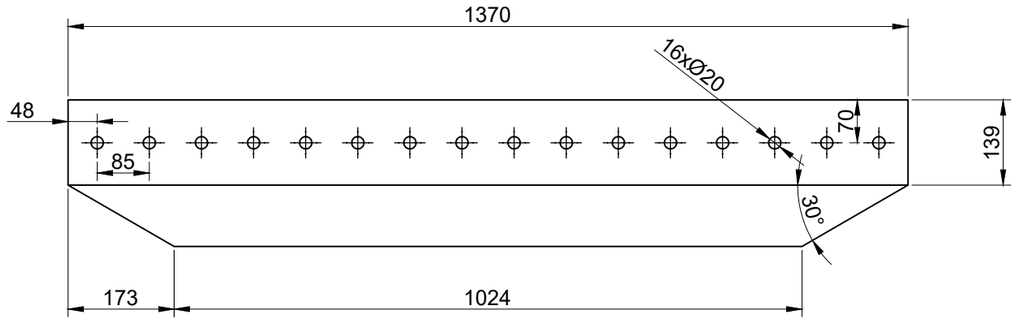


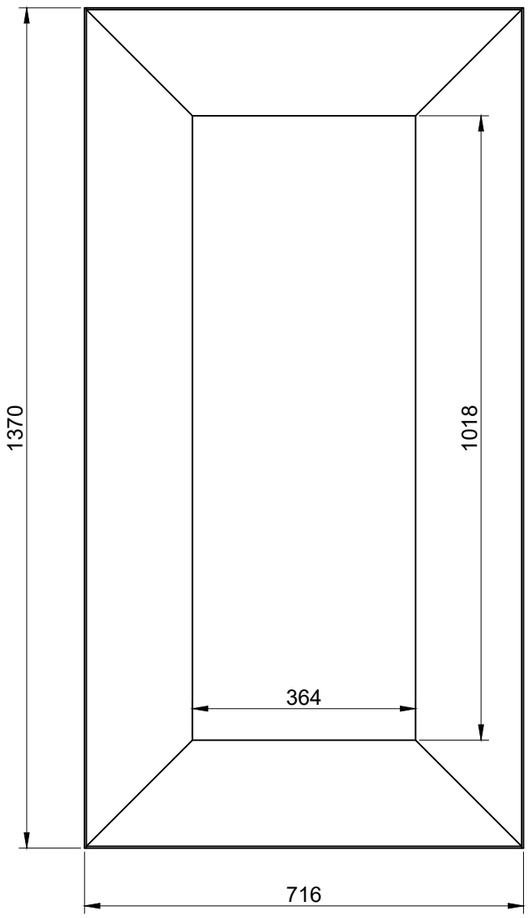
				Tolerancia		Peso	Materiales
							Acero AISI 1018
					Fecha	Nombre	Denominación / Escala
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.	Eje acoplado al rodillo de banda transportadora — 1:5
				Rev.			
				Aprob.			
				U.N.L			Número de dibujo 01.03.03
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

Como proviene de fabrica

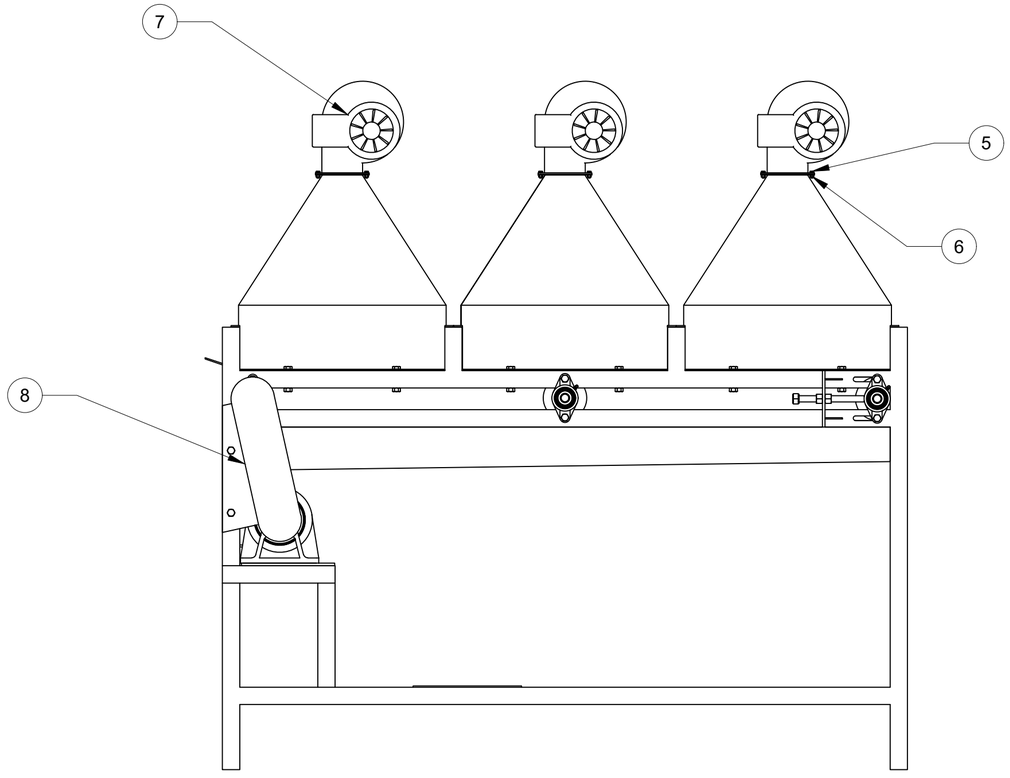
Todas las superficies.

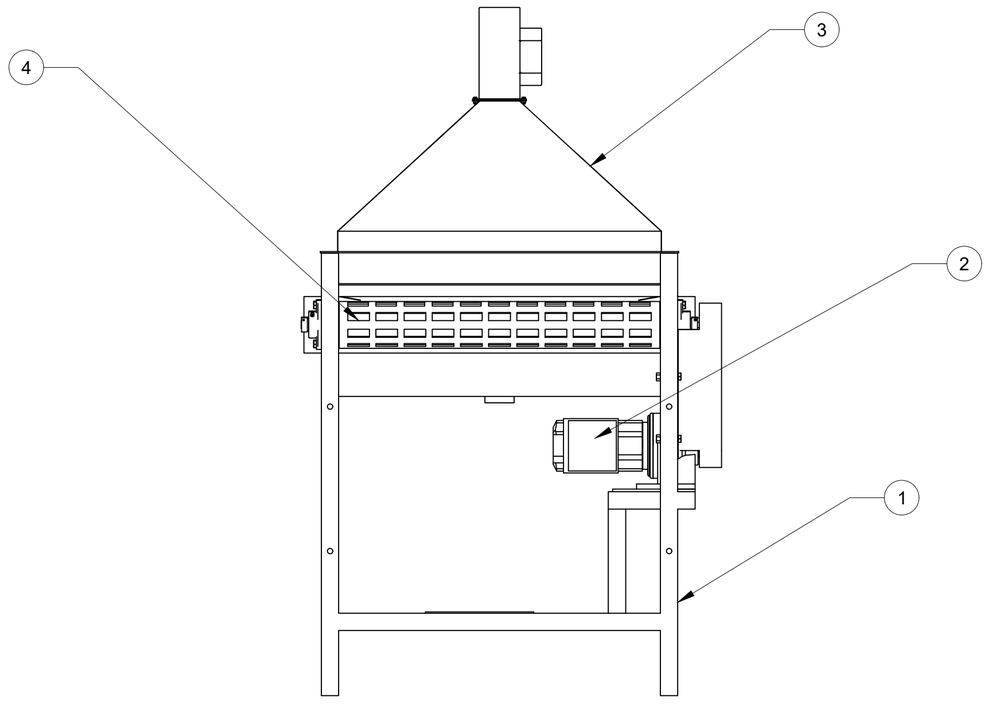


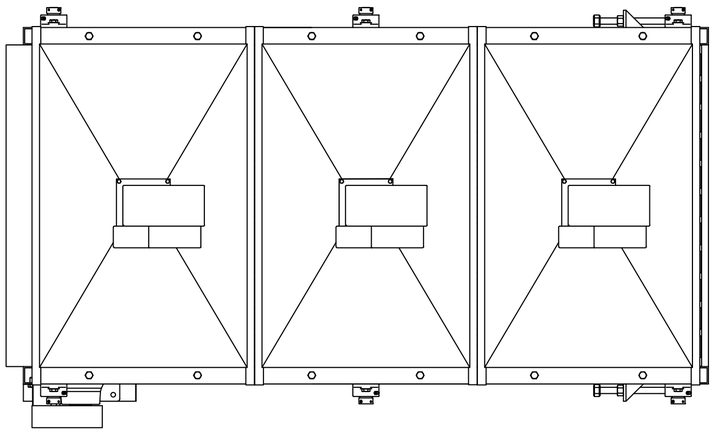




				Tolerancia	Peso	Materiales	
					Fecha	Nombre	Denominación / Escala
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.	Tolva de drenaje de lavado / 1:10
				Rev.			
				Aprob.			01.04.00
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				







Cant	Denominación	N. de norma o dibujo	Material	No.de pieza	Número del modelo	Peso	Observaciones
1	Cubierta transmisión banda		Aluminio	8	01.01.05.02		
1	Ventilador		Aluminio	8			
4	Tuerca hexagonal M10X1.5	ANSI	Galvanizado	7			
4	Perno M10X1.5X45	ANSI	Galvanizado	6			
4	Tuerca hexagonal M12X1.5	ANSI	Galvanizado	5			
1	Banda transportadora		Nylon	4			
1	Tolva de ventilación		Acero	3	01.01.05.01		Inoxidable
1	Motorreductor		Acero	2			
1	Estructura de secado		Acero negro	1	01.01.02		

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia | Peso

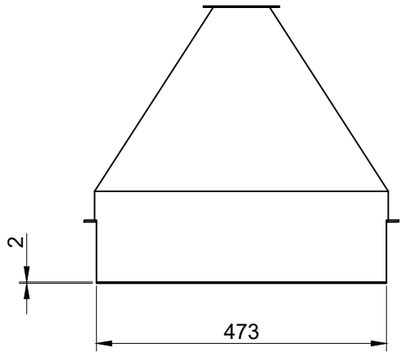
Materiales: Acero y aluminio

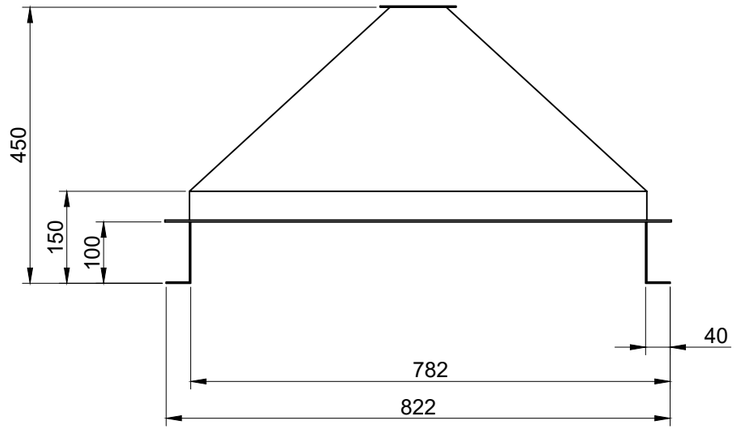
	Fecha	Nombre
Dib.	27/10/23	Jiménez S.
Rev.		
Aprob.		

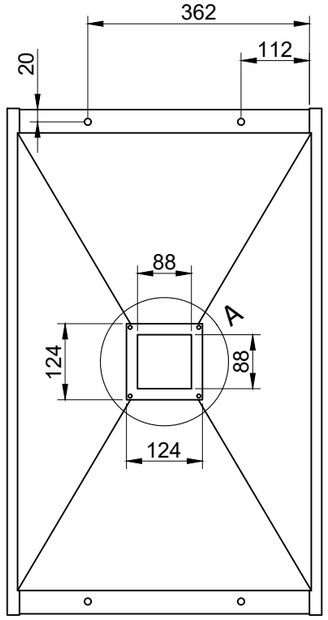
Denominación: Sistema de secado

Escala: 1:10

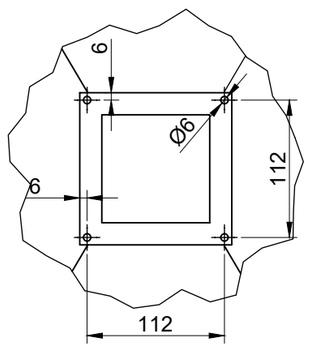
01.05.00





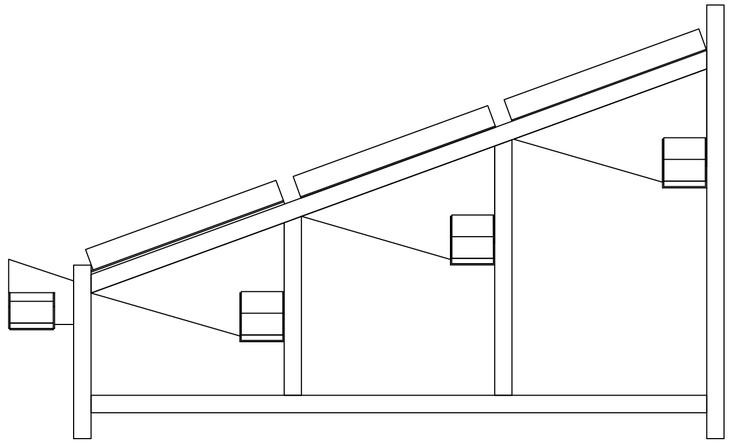


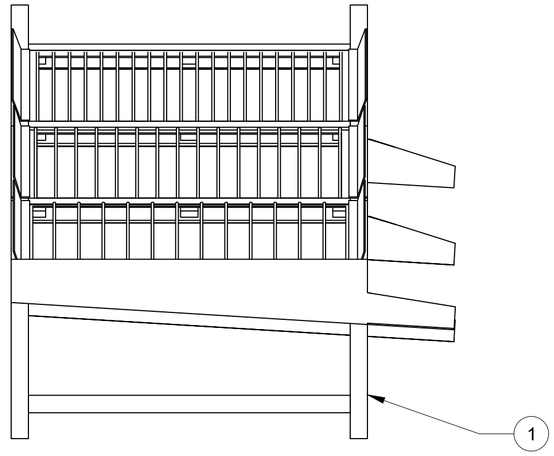
A (1 : 5)

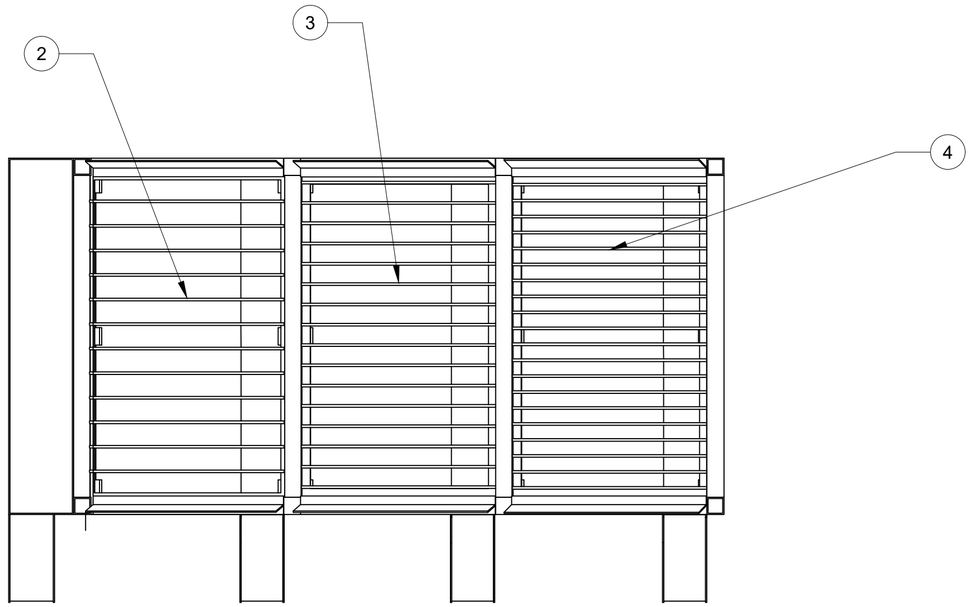


				Tolerancia	Peso	Materiales
						Acero inoxidable
					Fecha	Nombre
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.
				Rev.		
				Aprob.		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			

Denominación	Escala
Tolva de ventilador	1:10
01.05.01	







Cant.	Denominación	N. de norma o dibujo	Material	No.de pieza	Número del modelo	Peso	Observaciones
1	Parrilla clasificadora grande		H. Fundido	4	01.06.03		
1	Parrilla clasificadora mediana		H. Fundido	3	01.06.02		
1	Parrilla clasificadora pequeña		H. Fundido	2	01.06.01		
1	Estructura de clasificado		Acero negro	1	01.01.03		

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

	Fecha	Nombre
Dib.	27/10/23	Jiménez S.
Rev.		
Aprob.		

Tolerancia

Peso

Materiales

Acero e Hierro fundido

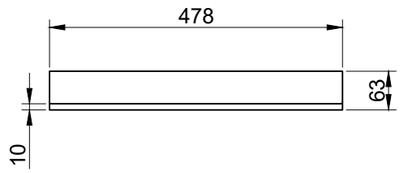
Denominación

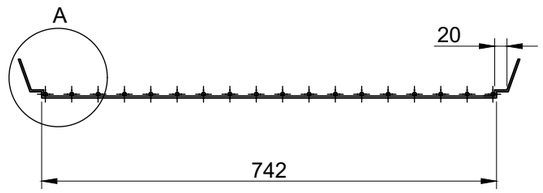
Sistema de clasificado

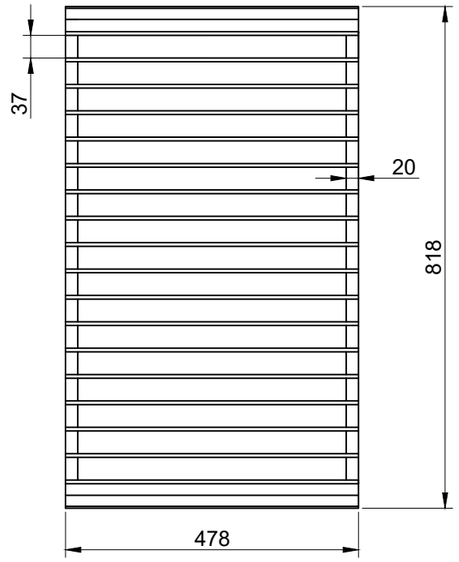
Escala

1:10

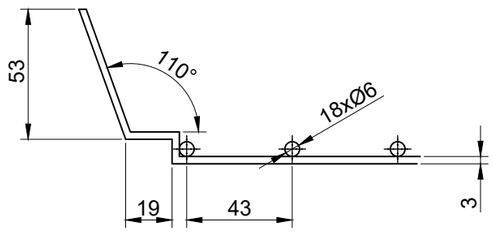
01.06.00







Detalle A (1:2.5)



Como proviene de fabrica

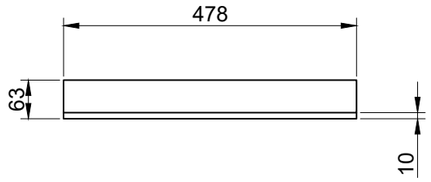
Todas las superficies.

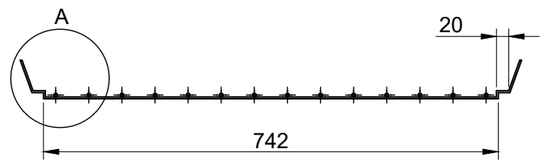
Todas las uniones existentes en la pieza.

E-308L

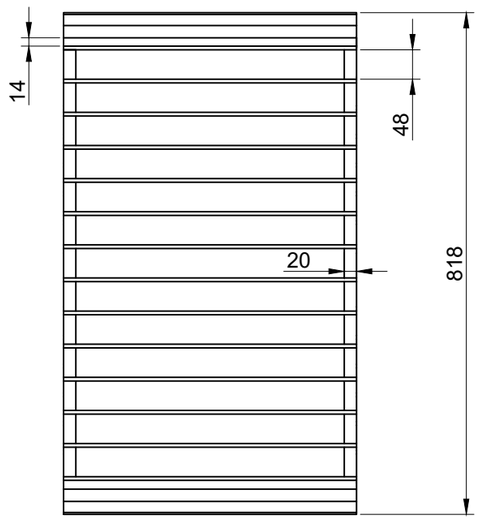
				Tolerancia	Peso	Materiales
						Hierro fundido
					Fecha	Nombre
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.
				Rev.		
				Aprob.		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			

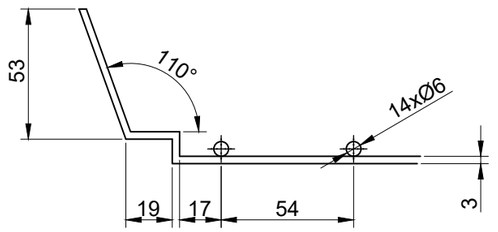
Denominación	Escala
Parrilla clasificadora pequeña	1:10
01.06.01	





Detalle A (1:2.5)





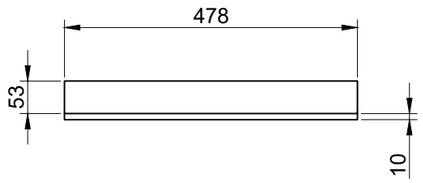
Como proviene de fabrica

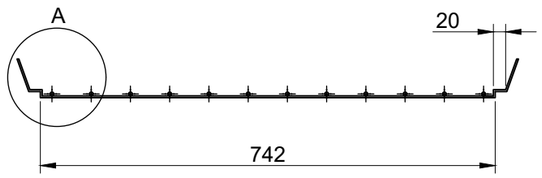
Todas las superficies.

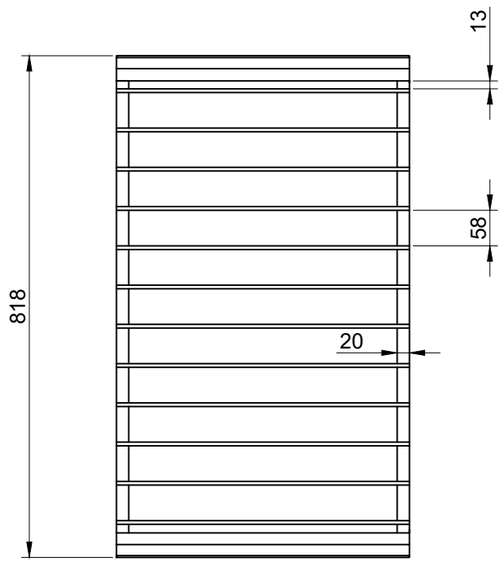
Todas las uniones existentes en la pieza.

E-308L

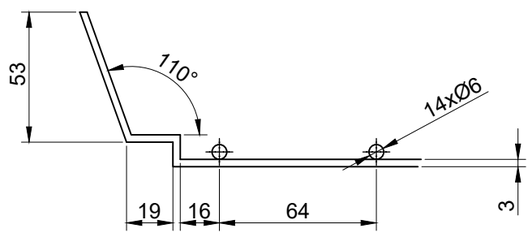
				Tolerancia	Peso	Materiales
						Hierro fundido
					Fecha	Nombre	Denominación	Escala
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.	Parrilla clasificadora mediana	1:10
				Rev.				
				Aprob.				
							01.06.02	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					







Detalle A (1:2.5)



Como proviene de fabrica

Todas las superficies.

Todas las uniones existentes en la pieza.

E-308L

				Tolerancia	Peso	Materiales
						Hierro fundido
					Fecha	Nombre
				Dib.	27/10/23	Jiménez S.
				Rev.		
				Aprob.		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			

Denominación	Escala
Parrilla clasificadora grande	1:10
01.06.03	