



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE LAVADO Y SELECCIÓN DE PAPAS PARA UNA EMPRESA DISTRIBUIDORA EN EL VALLE DE TUMBACO, QUITO”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

ADRIAN ISRAEL ESPINOSA MOYA
adrian.espinosa@epn.edu.ec

FRANK JHOSEPH MITTE ALCÍVAR
frank.mitte@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. WILSON IVÁN GUACHAMIN ACERO, PhD
wilson.guachamin@epn.edu.ec

QUITO, ABRIL DEL 2022

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **ADRIAN ISRAEL ESPINOSA MOYA** y **FRANK JHOSEPH MITTE ALCÍVAR**, bajo mi supervisión.

Ing. Wilson Guachamín, PhD

DIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo, **Adrian Israel Espinosa Moya**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Adrian Israel Espinosa Moya

Yo, **Frank Jhoseph Mitte Alcívar**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Frank Jhoseph Mitte Alcívar

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a las personas que me ayudaron a formarme y llegar a ser quien soy, quienes me apoyaron a pesar de cualquier cosa, quienes siempre estuvieron y sé que siempre estarán, quienes tendrán todo de mi incondicionalmente, en primer lugar, mis padres Ligia y Jorge, hermanos Dennis y Mateo, tíos Juan y Consuelo, primos Paola y David, de los cuales soy el reflejo, gracias por su perseverancia y paciencia, lo son todo para mí. A mis amigos del colegio, cuyos nombres no cabrían en este espacio por su inmensa generosidad y lealtad. A esos nuevos que llegaron en la universidad, igual de importantes y ejemplares. Y a mi compañero de tesis, un nuevo gran amigo. Todos han aportado de manera incalculable en mi vida. Gracias.

Adrian Israel Espinosa Moya

A lo largo de mi carrera universitaria, aunque desarrollé habilidades y destrezas que parecían ajenas a mí de principio, me encontré desafíos que parecían que acabarían con mis ganas de seguir adelante, pero comprendí en estos momentos difíciles, que después de la tormenta viene la calma.

Por este motivo, quiero dedicar esta tesis a mis padres (María del Pilar y Alejandro) que siempre creyeron en mí, me aconsejaron y me impulsaron a seguir adelante con mis metas, a mis abuelos (Cereira, Limberg y Coqui) que me enseñaron a no rendirme a pesar de las dificultades, a mis tíos (Alexandra, Germania , Luis y Corina) que siempre tuvieron una palabra de aliento para mí, a mi hermana (Alisson) que con sus ocurrencias siempre me hace sonreír y, a mis amigos (Alberto, Cristina y Santiago) quienes hicieron de esta etapa de mi vida una de las mejores.

Les dedico esta tesis a ustedes, por ayudarme siempre a atravesar la tormenta y celebrar mis logros como si fueran suyos.

Frank Jhoseph Mitte Alcívar

AGRADECIMIENTO

En todo este trayecto llamado educación he tenido grandes maestros, a los cuales me gustaría agradecer por ayudarme a mejorar, empezar por agradecer a mis padres y familia, cuyos valores me forjaron y dieron paso a que pueda rodearme de bellas y valiosas personas como lo son mis amigos, todo ellos quienes en mi vida significan felicidad a diario. No está demás agradecer a mis profesores del colegio “Sebastián de Benalcázar” a quienes admiro y de quienes no solo obtuve conocimiento académico, quienes más que profesores supieron ser amigos, ejemplos a seguir y confidentes.

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional, a sus docentes y especialmente a nuestro tutor, PhD. Wilson Guachamín por ser una gran persona, un gran profesor y ejemplo como profesional.

Adrian Israel Espinosa Moya

Completando esta maravillosa etapa de mi vida, extendo un profundo agradecimiento a quienes me ayudaron a hacer posible este sueño, a ustedes, que caminaron a mi lado a pesar de las dificultades y fueron fuente de inspiración, soporte y fortaleza permitiéndome llegar tan lejos. Esta alusión es especialmente a Dios, a mis padres, mis abuelos, mis hermanos y amigos. Les agradezco infinitamente por demostrarme que “se alcanza el éxito convirtiendo cada paso en una meta y cada meta en un paso.”

Mi gratitud a la Escuela Politécnica Nacional, mi agradecimiento sincero al director de tesis, PhD. Wilson Guachamín, gracias a todos los profesores que altruistamente compartieron sus conocimientos, los cuales ahora constituyen el cimiento de mi vida profesional.

Finalmente, agradezco a mi compañero de tesis quién con su perseverancia y dedicación trabajó a la par para llevar a cabo nuestra meta y doy gracias por la amistad que se forjó en el proceso.

Frank Jhoseph Mitte Alcívar

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| Objetivo general..... | 2 |
| Objetivos específicos..... | 2 |
| Alcance | 3 |
| 1. MARCO TEÓRICO | 4 |
| 1.1. Estado del arte..... | 4 |
| 1.1.1. Características de la papa..... | 4 |
| 1.1.2. Tipos de lavadora de papas..... | 7 |
| 1.2. Benchmarking..... | 11 |
| 1.2.1. Disponibilidad de la máquina en el mercado | 11 |
| 1.3. Diseño mecánico | 15 |
| 1.3.1. Diseño a condiciones estáticas..... | 15 |
| 1.3.2. Diseño a fatiga de ejes..... | 17 |
| 1.3.3. Transmisión por cadenas | 20 |
| 1.3.4. Selección de rodamientos..... | 21 |
| 2. METODOLOGÍA..... | 23 |
| 2.1. Parámetros necesarios para procesos..... | 24 |
| 2.2. Determinación de especificaciones técnicas | 25 |
| 2.2.1. Consideraciones para determinar las especificaciones técnicas..... | 25 |
| 2.2.2. Casa de la calidad..... | 25 |
| 2.2.3. Especificaciones técnicas | 26 |
| 2.2.4. Análisis funcional..... | 27 |
| 2.3. Cálculo y selección de componentes..... | 35 |
| 2.3.1. Selección de cepillos..... | 35 |
| 2.3.2. Cálculo de la potencia del motor..... | 36 |
| 2.3.3. Cálculo del sistema de trasmisión (cadena-piñón)..... | 40 |
| 2.3.4. Cálculo de los ejes de lavado..... | 43 |

| | | |
|-----------------|--|----------|
| 2.3.5. | Selección de chavetas..... | 55 |
| 2.3.6. | Selección de chumaceras | 56 |
| 2.3.7. | Cálculo de los ejes de selección | 57 |
| 2.3.8. | Selección del sistema de irrigación..... | 58 |
| 2.3.9. | Diseño de la estructura de soporte | 58 |
| 2.4. | Diseño y construcción de prototipo | 59 |
| 2.4.1. | Construcción..... | 59 |
| 2.4.2. | Montaje | 66 |
| 2.4.3. | Costos..... | 69 |
| 2.5. | Protocolo de pruebas..... | 71 |
| 2.6. | Mantenimiento | 73 |
| 2.6.1. | Mantenimiento diario | 74 |
| 2.6.2. | Mantenimiento semestral | 74 |
| 3. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 75 |
| 3.1. | Resultados | 75 |
| 3.2. | Discusión..... | 78 |
| 4. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 79 |
| 4.1. | Conclusiones..... | 79 |
| 4.2. | Recomendaciones | 81 |
| | Referencias Bibliográficas | 82 |
| ANEXOS..... | | LXXXV |
| Anexo I..... | | LXXXVI |
| Anexo II..... | | LXXXVIII |
| Anexo III..... | | XC |
| Anexo IV..... | | XCII |
| Anexo V..... | | XCV |
| Anexo VI..... | | XCVII |
| Anexo VII..... | | XCIX |
| Anexo VIII..... | | CI |

| | |
|----------------|--------|
| Anexo IX..... | CIII |
| Anexo X..... | CXXIII |
| Anexo XI..... | CXLVII |
| Anexo XII..... | CLII |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1.1 VARIEDADES DE PAPAS DISPONIBLES EN DISTRIBUIDORA CASTRO. | 5 |
| FIGURA 1.2 CURVA TÍPICA FUERZA-DEFORMACIÓN DE UN MATERIAL BIOLÓGICO. | 6 |
| FIGURA 1.3 MÉTODO 2.A DE ENSAYO PARA LA PAPA. | 6 |
| FIGURA 1.4 LAVADORA DE PAPAS POR CEPILLOS. | 8 |
| FIGURA 1.5 LAVADORA HIDRODINÁMICA DE HORTALIZAS. | 9 |
| FIGURA 1.6 PUESTA EN ACCIÓN DE LA LAVADORA HIDRODINÁMICA DE HORTALIZAS. | 9 |
| FIGURA 1.7 LAVADORA HIDRODINÁMICA DE HORTALIZAS. | 10 |
| FIGURA 1.8 LAVADORA POR BOMBO GIRATORIO. | 11 |
| FIGURA 1.9 LAVADORA DE HORTALIZAS POR TURBULENCIA HIDACAM. | 12 |
| FIGURA 1.10 LAVADORA DE HORTALIZAS POR TURBULENCIA INOXIDABLES ELITE. | 13 |
| FIGURA 1.11 LAVADORA DE PAPAS POR RODILLOS HERMOSO & SENTAMANS. | 13 |
| FIGURA 1.12 LAVADORA DE PAPAS POR RODILLOS PROMETALL. | 14 |
| FIGURA 1.13 LAVADORA DE PAPAS KANZDA. | 14 |
| FIGURA 2.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA LAVADORA DE PAPAS. | 23 |
| FIGURA 2.2 FUNCIÓN PRINCIPAL DE LA MÁQUINA. | 24 |
| FIGURA 2.3 FUNCIONES SECUNDARIAS, DIAGRAMA DE FLUJO DEL ANÁLISIS FUNCIONAL DE LA MÁQUINA. | 24 |
| FIGURA 2.4 TOLVA INCLINADA. | 28 |
| FIGURA 2.5 TOLVA CÓNICA. | 28 |
| FIGURA 2.6 SISTEMA PIÑONES -CADENA. | 29 |
| FIGURA 2.7 SISTEMA POLEA -BANDA. | 29 |
| FIGURA 2.8 SISTEMA DE LAVADO POR CEPILLOS. | 30 |
| FIGURA 2.9 SISTEMA DE LAVADO POR TAMBOR GIRATORIO. | 31 |
| FIGURA 2.10 SISTEMA DE TORNILLOS. | 32 |
| FIGURA 2.11 SISTEMA DE RODILLOS. | 32 |
| FIGURA 2.12 BANDEJA DE SALIDA CENTRAL. | 33 |
| FIGURA 2.13 BANDEJA DE SALIDA LATERAL. | 33 |
| FIGURA 2.14 DISEÑO CONCEPTUAL DE LA MÁQUINA LAVADORA Y DE SELECCIÓN DE PAPAS. | 35 |
| FIGURA 2.15 CEPILLOS MODULARES FRUTEROS. | 36 |
| FIGURA 2.16 RODILLO CEPILLO DE NYLON. | 36 |
| FIGURA 2.17 ELEMENTOS EN MOVIMIENTO. | 37 |
| FIGURA 2.18 ESQUEMA PARA LAS CONSIDERACIONES DEL MOMENTO DE INERCIA DE MASA DE LA PAPA. | 37 |
| FIGURA 2.19 ESQUEMA PARA LAS CONSIDERACIONES DEL MOMENTO DE INERCIA DE MASA DEL EJE DE LAVADO. | 37 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 2.20 ESQUEMA PARA LAS CONSIDERACIONES DEL MOMENTO DE INERCIA DE MASA DEL CEPILLO DE LAVADO..... | 38 |
| FIGURA 2.21 ESQUEMA PARA LAS CONSIDERACIONES DEL MOMENTO DE INERCIA DE MASA DEL PIÑÓN..... | 38 |
| FIGURA 2.22 ESQUEMA PARA LAS CONSIDERACIONES DEL MOMENTO DE INERCIA DE MASA DEL TORNILLO SIN FIN..... | 38 |
| FIGURA 2.23 ESQUEMA DE LA DISTRIBUCIÓN DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO (A) EN 2D, (B) EN 3D | 41 |
| FIGURA 2.24 DISPOSICIÓN DE LA PAPA RESPECTO A LOS CEPILLOS..... | 43 |
| FIGURA 2.25 ANÁLISIS DE FUERZAS SOBRE LA PAPA..... | 43 |
| FIGURA 2.26 FUERZAS RESULTANTES SOBRE EL CEPILLO A) FUERZAS DE REACCIÓN. B) PARES DE TORSIÓN SOBRE LOS CEPILLOS | 44 |
| FIGURA 2.27 ESQUEMA DE EJE MOTOR | 45 |
| FIGURA 2.28 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL EJE MOTOR | 45 |
| FIGURA 2.29 ESQUEMA DEL EJE DE LAVADO MONTADO..... | 48 |
| FIGURA 2.30 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL EJE 1 | 48 |
| FIGURA 2.31 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LOS EJES DEL 2 AL 7..... | 51 |
| FIGURA 2.32 CONFIGURACIÓN DE LOS EJES DE SELECCIÓN..... | 57 |
| FIGURA 2.33 DIMENSIONAMIENTO DEL EJE CÓNICO SÓLIDO..... | 57 |
| FIGURA 2.34 DIMENSIONAMIENTO DEL TORNILLO SIN FIN..... | 58 |
| FIGURA 2.35 SISTEMA DE IRRIGACIÓN DE AGUA..... | 58 |
| FIGURA 2.36 PÓRTICO DE COLUMNAS. A) DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE, B) DIAGRAMA DE MOMENTOS | 59 |
| FIGURA 2.37 TOLVA DE ENTRADA | 60 |
| FIGURA 2.38 EJES DE LAVADO | 61 |
| FIGURA 2.39 EJES DE LA BANDEJA DE RECOLECCIÓN DE AGUA..... | 61 |
| FIGURA 2.40 ESTRUCTURA A) DE SOPORTE, B) BASTIDOR..... | 62 |
| FIGURA 2.41 ESTRUCTURA DE RIEGO..... | 62 |
| FIGURA 2.42 EJE DE SELECCIÓN..... | 63 |
| FIGURA 2.43 BANDEJA DE SALIDA DE SELECCIÓN | 63 |
| FIGURA 2.44 ESTRUCTURA: (A) DE SOPORTE, (B) BASTIDOR | 64 |
| FIGURA 2.45 RETENEDORES DE LAVADO Y DE SELECCIÓN | 64 |
| FIGURA 2.46 RAMPA DE TRANSICIÓN | 65 |
| FIGURA 2.47 CONSTRUCCIÓN DEL RETENEDOR | 65 |
| FIGURA 2.48 GUARDA | 66 |
| FIGURA 2.49 MONTAJE DE LA TOLVA..... | 66 |
| FIGURA 2.50 MONTAJE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA | 67 |
| FIGURA 2.51 MONTAJE DEL SISTEMA DE LAVADO..... | 67 |
| FIGURA 2.52 MONTAJE DEL SISTEMA DE SELECCIÓN, A) A LA ESTRUCTURA DE SOPORTE, B) AL BASTIDOR..... | 68 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 2.53 MONTAJE DE LAS BANDEJAS DE SELECCIÓN DE PAPAS..... | 68 |
| FIGURA 2.54 MONTAJE DE LAS BANDEJAS DE SELECCIÓN DE PAPAS..... | 69 |
| FIGURA 3.1 INICIO DE PROCESO: A) INGRESO DE LA PAPA AL SISTEMA DE LAVADO, B) LAVADO DE LA PAPA..... | 76 |
| FIGURA 3.2 PASO DE LA PAPA AL SISTEMA DE SELECCIÓN | 77 |
| FIGURA 3.3 FIN DE PROCESO: A) SELECCIÓN DE LA PAPA, B) PAPA SELECCIONADA DE LONGITUD MENOR A 4 CM, C) PAPA SELECCIONADA DE LONGITUD DE 7 CM, D) PAPA SELECCIONADA DE 10 CM DE LONGITUD | 77 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| TABLA 1.1 CATEGORIZACIÓN DE LA PAPA SEGÚN INEN..... | 4 |
| TABLA 1.2 CARACTERIZACIÓN DE LA PAPA, MÓDULO DE ELASTICIDAD APARENTE..... | 6 |
| TABLA 1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA PAPA CAPIRO, EN CONDICIÓN FRESCA (1-7 DÍAS DE LA COSECHA). | 7 |
| TABLA 1.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MÁQUINA | 11 |
| TABLA 1.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS LAVADORA HIDACAM | 12 |
| TABLA 1.6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS LAVADORA HERMOSO & SENTAMANS. | 13 |
| TABLA 1.7 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA LAVADORA DE PAPAS KANZDA | 14 |
| TABLA 1.8 PARÁMETROS EN EL FACTOR DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL DE MARIN. 18 | |
| TABLA 1.9 FACTORES DE CONFIABILIDAD CORRESPONDIENTES A 8 DESVIACIONES ESTÁNDAR PORCENTUALES DEL LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA. | 18 |
| TABLA 2.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA MÁQUINA. | 27 |
| TABLA 2.2 MÓDULOS DE FUNCIONALIDAD..... | 28 |
| TABLA 2.3 ALTERNATIVAS PARA EL MÓDULO 1. | 28 |
| TABLA 2.4 RESULTADOS DE SELECCIÓN PARA EL MÓDULO 1. | 29 |
| TABLA 2.5 ALTERNATIVAS PARA EL MÓDULO 2. | 29 |
| TABLA 2.6 RESULTADOS DE SELECCIÓN PARA EL MÓDULO 2. | 30 |
| TABLA 2.7 ALTERNATIVAS PARA EL MÓDULO 3. | 30 |
| TABLA 2.8 RESULTADOS DE SELECCIÓN PARA EL MÓDULO 3. | 31 |
| TABLA 2.9 ALTERNATIVAS PARA EL MÓDULO 4. | 32 |
| TABLA 2.10 RESULTADOS DE SELECCIÓN PARA EL MÓDULO 4. | 33 |
| TABLA 2.11 ALTERNATIVAS PARA EL MÓDULO 5. | 33 |
| TABLA 2.12 RESULTADOS DE SELECCIÓN PARA EL MÓDULO 5. | 34 |
| TABLA 2.13 MOMENTO DE INERCIA DE MASA DE LOS ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN LA MÁQUINA. | 37 |
| TABLA 2.14 RESUMEN PARA EL CÁLCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA EN EL MÓDULO 4..... | 40 |
| TABLA 2.15 CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONES DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE LOS PIÑONES CONDUCCIONADOS PARA EL MÓDULO 4. | 43 |
| TABLA 2.16 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL EJE MOTOR..... | 47 |
| TABLA 2.17 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL EJE 1 DE LAVADO CON CARGA (VER FIGURA 2.29)..... | 50 |
| TABLA 2.18 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL 2 AL 7 EJE DE LAVADO CON CARGA ... | 52 |
| TABLA 2.19 DIMENSIONAMIENTO DEL EJE MOTOR..... | 55 |
| TABLA 2.20 COSTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES | 69 |
| TABLA 2.21 COSTO DE ELEMENTOS CONSTRUIDOS | 70 |
| TABLA 2.22 COSTO DE TOTAL DE LA MÁQUINA..... | 71 |
| TABLA 2.23 PROTOCOLO DE PRUEBAS MÁQUINA SIN CARGA..... | 72 |

| | |
|--|----|
| TABLA 2.24 PROTOCOLO DE PRUEBAS CON CARGA | 73 |
| TABLA 3.1 DETALLE DEL PRESUPUESTO Y COSTO DE LA LAVADORA Y SELECCIONADORA DE PAPAS | 76 |

RESUMEN

Esta propuesta de diseño y construcción de una lavadora y seleccionadora comenzó con el estudio de investigaciones previas, así como, la oferta de máquinas similares en el mercado nacional, que sentaron las bases que dieron forma a la máquina. Posteriormente, se realizó un análisis funcional en el cual se detallan los procesos utilizados y, además se plantearon alternativas en base a los requerimientos del cliente. Se eligió la mejor opción de diseño, que consta de un sistema de lavado por medio de cepillos giratorios y un sistema de aspersión de agua y, un sistema de selección de papas de acuerdo con su tamaño mediante ejes cilíndricos giratorios. Luego, se desarrollaron los planos que guiaron en la construcción de los elementos constitutivos y en el ensamblaje de la máquina. Finalmente, se recurrió a un protocolo de pruebas el cual se obtuvieron papas completamente lavadas y seleccionadas, por lo que se verificó que los objetivos planteados fueron alcanzados con éxito. Esta máquina es una contribución a la tecnología nacional de nuestro país.

Palabras clave: Papas, lavado, selección, cepillos, aspersión.

ABSTRACT

This work deals with the design and construction of a washing and classifying machine for potatoes. This project starts by conducting a literature review of the state-of-the-art to assess the offer of similar machines in the national market, which laid the foundations and specifications of the machine. Next, a functional analysis and a study for selection of modular alternatives were proposed based on the client's requirements. For the washing module, the best design option was chosen, which consists of a washing system using rotating brushes and a water spray system and, for the classifying system, the machine uses rotating cylindrical shafts. Then, the drawing for the construction of the constituent elements and the assembly of the machine were developed. Finally, a test protocol was established, which must obtain the main objective, washed and selected potatoes. The machine is a contribution to the national technology of our country.

Keywords: Potato, washed, selection, brushes, spraying.

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE LAVADO Y SELECCIÓN DE PAPAS PARA UNA EMPRESA DISTRIBUIDORA EN EL VALLE DE TUMBACO, QUITO”

INTRODUCCIÓN

En la región sierra del Ecuador, la papa es el alimento consumido por excelencia, además de ser muy aceptado por el resto del país, convirtiendo a este tubérculo en una de las principales fuentes de alimento de la población. El 90% de las papas son adquiridas por restaurantes, supermercados y público en general, mientras que el otro 10% es utilizado por las industrias procesadoras (Pumisacho & Sherwood, 2002).

Los supermercados prefieren comprar las papas lavadas ya que estos no disponen de un sistema de clasificación, lavado y empaquetado (Montoreos, Cuesta, Jiménez, & López, 2005), mientras que los restaurantes las prefieren lavadas para economizar tiempo y recursos. Por lo cual, los agricultores y distribuidores deben ingeniárselas para entregar el producto como el cliente lo requiere. A causa de esto, la empresa “Papas Castro” pensando en el continuo incremento de la demanda de papa, ha decidido reemplazar el lavado manual que se viene realizando, el cual consume una cantidad considerable de recursos, por una máquina que realice el trabajo, con el fin de optimizar tiempo, recursos y personal que puede ser utilizado en otras áreas.

Las empresas privadas, dedicadas a la distribución de productos de primer orden, han focalizado sus esfuerzos a abastecer la industria alimentaria y de servicio como maquiladoras, franquicias, restaurantes y restobares con productos cada vez más prestos a su cocción (Cabezas & Viteri, 2019), alimentos o procesados de cuarta gama que son básicamente hortalizas lavadas, peladas e incluso envasadas listas para el consumo (Chavarrías, 2010), satisfaciendo la necesidad de estos establecimientos de reducir el tiempo de preparación de sus productos finales, conservar sus instalaciones más higiénicas y optimizar el espacio de preparación de los consumibles (GreenTechno, 2015). El 96% de la papa lavada empacada, precocida, preparada o congelada es importada, lo que eleva su precio, en la producción nacional un 74% se destina al consumo diario humano (Monteros, 2011) y considerando que en Ecuador se consumen 23 kilos por persona al año de este tubérculo (González, 2014), lo vuelve el favorito para restaurantes y grandes cadenas como “La Esquina de Ales”, “Papitas Fritas a lo Bestia”, y más que son típicos compradores de hortalizas lavadas, además

de restobares y cervecerías artesanales como “Páramo Brauhaus”, “Western Pizzería”, “Sabai Beer Co.”, etc. los cuales por la situación actual se vieron obligados a ofrecer alimentos para su funcionamiento pero ya han adoptado este producto definitivamente al ver buenos resultados, no obstante requieren de la papa lavada ya que al no ser su principal producto prefieren su rápida preparación como afirma Bolívar Castro, propietario de la empresa de distribución de papas e impulsador de esta iniciativa de proyecto quien reparte mensualmente alrededor de 250 quintales de papas a sus clientes, entre ellos los ya mencionados. Del total, el 40% debe ser lavada o pelada, lo que requiere de mucho tiempo y desgaste físico al no haber maquinaria específica para esta actividad.

Según el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), los supermercados afrontan problemas con el estado de la papa ya que ellos no cuentan con un sistema que clasifique, seleccione y lave las papas (Montoreos, Cuesta, Jiménez, & López, 2005). Por lo tanto, en orden de satisfacer una necesidad, optimizar tiempo y recursos además de eliminar el esfuerzo físico directo del ser humano para obtener un producto lavado y selecto se incentiva la creación de una solución mecánica factible y asequible que sea parte de las actividades contempladas por el cliente beneficiándolo e impulsando su negocio.

Objetivo general

Diseñar y construir una máquina de lavado y selección de papas para una empresa distribuidora en el valle de Tumbaco, Quito.

Objetivos específicos

- Revisar el estado del arte.
- Establecer los parámetros necesarios para los procesos consecutivos de lavado y selección de papa.
- Determinar las especificaciones técnicas de la máquina.
- Calcular y seleccionar los componentes de la lavadora de papas.
- Elaborar los planos que constituyen la lavadora de papas.
- Construir el prototipo.
- Realizar un protocolo de pruebas para la verificación del correcto funcionamiento de la máquina.

Alcance

La máquina lavadora y de selección de papas busca satisfacer la demanda que tiene “Papas Castro” que es de 60 quintales mensuales, el uso de la máquina es de 3 horas diarias de trabajo. Cabe mencionar que esta máquina fue diseñada bajo el requerimiento del cliente, sin embargo, puede lavar otro tipo de hortalizas y/o frutas como el rábano, naranja, limón y productos similares en cuanto a textura y forma.

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se realiza el estudio de las diferentes máquinas desarrolladas hasta la fecha, a través de una revisión estado del arte. Posteriormente se analizan las lavadoras que se encuentran disponible en el mercado, tanto nacional como internacionalmente mediante el benchmarking. Adicionalmente, se describen las ecuaciones necesarias para diseñar una máquina lavadora y seleccionadora de papas.

1.1. Estado del arte

1.1.1. Características de la papa

Las papas comercializadas en mayor cantidad en el Ecuador son la Super Chola, Chola, Capiro, Pera, Pareja, Chaucha, Bolona, Uvilla, Leona, Única, Victoria, Diamante, Rosita y Suprema ya que son las más populares de las 350 variedades tradicionales y mejoradas, existentes y nativas del Ecuador. Un 90% del total comercializado en el territorio nacional se producen en la sierra ecuatoriana, donde se tienen 3 zonas bien marcadas en cuanto a producción papera se refiere: Zona norte (Carchi), Zona Centro (Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar y Chimborazo) y Zona Sur (Cañar, Azuay y Loja), además existen también las zonas marginales templadas de las provincias Napo, Pastaza, el Oro y las regiones frías de la provincia de las Galápagos (Torres & Cuesta, 2011).

Dentro de las zonas mencionadas la que más destaca por su cercanía a la capital y a las grandes provincias consumidoras, está la zona norte, en la cual se enfoca el presente proyecto. En esta región productora, la demanda prefiere las variedades de cáscara clara, “carne” color crema, como se llama comúnmente al alimento en sí, gran contenido de producto seco y en tamaño de grado 3 o 4, ver tabla 1.1, sin embargo, se ha popularizado en las últimas décadas adoptar y comercializar variedades de la zona centro debido a que el consumo ha incrementado y se debe satisfacer esta necesidad (Torres & Cuesta, 2011). En la tabla 1.1 se tiene la clasificación de la papa de acuerdo con el tamaño según el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN.

En la tabla 1.1 se muestra la clasificación de la papa de acuerdo con el tamaño según el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN.

Tabla 1.1 Categorización de la papa según INEN.

| Tipo – Categoría | Diámetro (mm) |
|------------------|----------------|
| Grado 1 | 65 en adelante |
| Grado 2 | 45 – 64 |

| | |
|--|---------|
| Grado 3 | 30 – 44 |
| Grado 4 (no comercial para consumo humano) | 10 – 29 |

(Fuente: NTE INEN 1516:2013)

En el caso específico de la empresa distribuidora de papas “Castro”, existe disponibilidad constante de seis tipos de papa de las ya mencionadas y que son originarias de las zonas norte y centro: Chola común (Pareja) y Chola Chaupi que es el ejemplar de mayor tamaño disponible, Única Pera, Única Blanca, Capiro y Chaucha, presentes en la figura 1.1. De estos tipos la papa Chaucha es la única que se vende tal como se la cosecha debido a que la corteza es bastante delicada y debe lavarse a mano considerando que tradicionalmente en esta región se la consume cocida con cáscara. Los otros cinco tipos de papa tienen una corteza bastante más resistente y pueden lavarse o no para la entrega al cliente.



Figura 1.1 Variedades de papas disponibles en Distribuidora Castro.

(a) Chola chaupi (b) Chola pareja (c) Única blanca (d) Única Pera (e) Capiro (f) Chaucha.

Fuente: (Torres & Cuesta, 2011)

En la producción de la papa se puede hablar de 4 etapas, siembra, cosecha, post – cosecha y adecuación, mismas que poseen sus propios retos y dificultades. No obstante, los procesos más complejos tecnológicamente hablando son cosecha y post – cosecha debido a que se ha introducido maquinaria que agiliza el proceso y reduce el esfuerzo humano para llevar a cabo todas las actividades. Por lo que para poder diseñar máquinas que sean útiles, eficaces y eficientes es necesario conocer las propiedades y características del producto, en este caso la papa (Torres & Cuesta, 2011).

La papa al igual que muchos otros tubérculos y hortalizas, tienen un comportamiento lineal similar al de los materiales estructurales como se puede apreciar en la figura 1.2, donde la curva de fuerza-deformación de un material biológico se asemeja a la del acero, donde se aplica la carga y el material tiene comportamiento elástico hasta alcanzar el punto de fluencia P, llamado para estos materiales, biofluencia (Buitrago, López, Coronado, & Osorno, 2003).

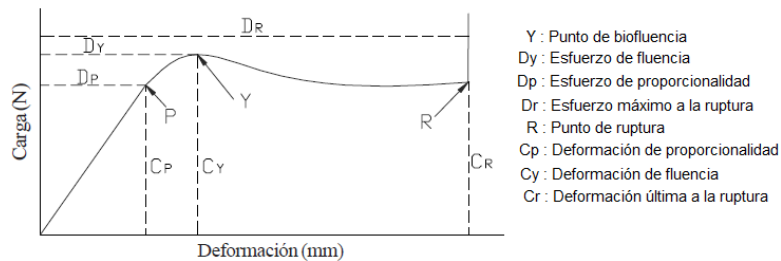


Figura 1.2 Curva típica fuerza-deformación de un material biológico.
 Fuente: (Buitrago, López, Coronado, & Osorno, 2003)

Los biomateriales son ensayados de manera similar que los estructurales teniendo distintos tipos de ensayo acorde a la geometría y consistencia de este para lograr de este modo conseguir identificar los valores de las principales propiedades mecánicas como la dureza, el módulo de elasticidad, relación de Poisson y la influencia del almacenamiento en dichas propiedades, ver tabla 1.2 (ASABE, 2008).

Tabla 1.2 Caracterización de la papa, módulo de elasticidad aparente.

| Producto | Método | Tasa de Carga para ensayo mm/min | Módulo de Elasticidad E | Observaciones y Comentarios |
|----------|--------|----------------------------------|-------------------------|---|
| Papa | 2.A | 50 | 1.04 – 5.76 MPa | Relación de Poisson de 0,48; Temperaturas de almacenamiento de 5 a 30 ° C; almacenado hasta 8 semanas; E disminuyó con el tiempo de almacenamiento. |

Fuente: (ASABE, 2008)

El método 2.A (ver tabla 1.2) de evaluación para hallar el módulo de elasticidad aparente de la papa es propuesto por la American Society Of Agricultural And Biological Engineers (ASABE) en el informe de prueba de compresión de materiales alimenticios de forma convexa, como se puede ver en la figura 1.3 a continuación.

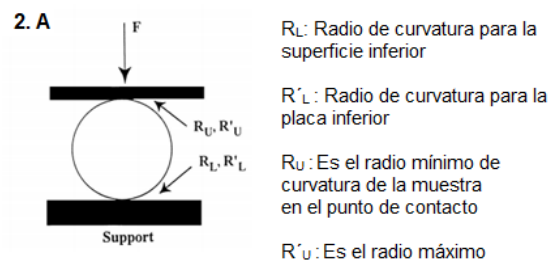


Figura 1.3 Método 2.A de ensayo para la papa.
 Fuente: (ASABE, 2008)

La papa en Ecuador es comercializada cuando esta fresca, casi nunca se almacena más de 4 a 5 días, caso en el que se recomienda mantener una temperatura de 10 a 15 °C y la humedad relativa en un rango entre 80 y 85%, además del cuidado en el

traslado del producto ya que la papa generalmente ya sufre daños con una caída superior a 15 cm de altura (Torres & Cuesta, 2011).

La papa a medida que aumenta de tamaño pasa de una forma redonda a una forma oblonga, y, tomando como guía los datos de la experimentación con la variedad Capiro ya que las propiedades en las variedades presentes en el fin de estudio de este proyecto, no fluctúan considerablemente, se puede afirmar que la densidad real promedio tiene un valor de $\rho_{\text{real}} = 1297 \text{ Kg/m}^3$, la porosidad está en un rango de 52% a 59%, además de los resultados presentes en la siguiente tabla 1.3 (Buitrago, López, Coronado, & Osorno, 2003).

Tabla 1.3 Características de la papa Capiro, en condición fresca (1-7 días de la cosecha).

| Característica | Valor resultado promedio | Tamaño o grado |
|--|----------------------------------|----------------|
| Compresión | | |
| FB (N) | 13.5 | 1 – 2 – 3 |
| FM (N) | 16.2 | 1 – 2 – 3 |
| Punzonamiento | | |
| FM (N) | 15.3 | 1 – 2 – 3 |
| DM (mm) | 22.5 | 1 – 2 – 3 |
| WM (J) | 0.23 | 1 – 2 – 3 |
| Corte | | |
| FM (N) | Cáscara 1.4 Tubérculo 3.5 | 1 – 2 – 3 |
| DM (mm) | Cáscara 4.0 Tubérculo 13.1 | 1 – 2 – 3 |
| WM (J) | Cáscara 0.011 Tubérculo 0.025 | 1 – 2 – 3 |
| Coeficiente de fricción: papa – nylon | | |
| Estático | 0.36 | 1 – 2 – 3 |
| Dinámico | 0.67 | 1 – 2 – 3 |
| FB: Carga para llevar al tubérculo al punto de fluencia; FM: carga máxima soportada por el tubérculo; DM: deformación máxima soportada por el tubérculo; WM: trabajo en carga máxima. | | |

Fuente: (Buitrago, López, Coronado, & Osorno, 2003)

1.1.2. Tipos de lavadora de papas

A la fecha existen diferentes tipos de lavadora de tubérculos, vegetales y frutas. Estas máquinas industriales de lavado cumplen una función indispensable en la siempre creciente demanda de economizar recursos, como el tiempo; es por esta razón se busca satisfacer una empresa distribuidora de papas con la construcción de una máquina lavadora que cumpla con sus requerimientos. Entre los tipos de lavadora de tubérculos se encuentran los siguientes:

- Máquina de lavado por Cepillos.
- Máquina de lavado por Turbulencia (Hidrodinámica).
- Máquina de lavado por Vibración.
- Máquina de lavado por Bombo Giratorio.

1.1.1.1 Lavadora de papas por cepillos

En la figura 1.4 se puede observar el diseño de este tipo de máquinas en donde, los tubérculos entran a la máquina a través de los rodillos de entradas (1), los cepillos giratorios empiezan a girar (7), gracias a este movimiento se expande al máximo la superficie sobre la cual el agua incide (3) dando como resultado una completa limpieza de los tubérculos. La lavadora de cepillos cuenta con 27 cepillos, dos rodillos de entrada y un rodillo de descarga (6) (JBT, 2015).

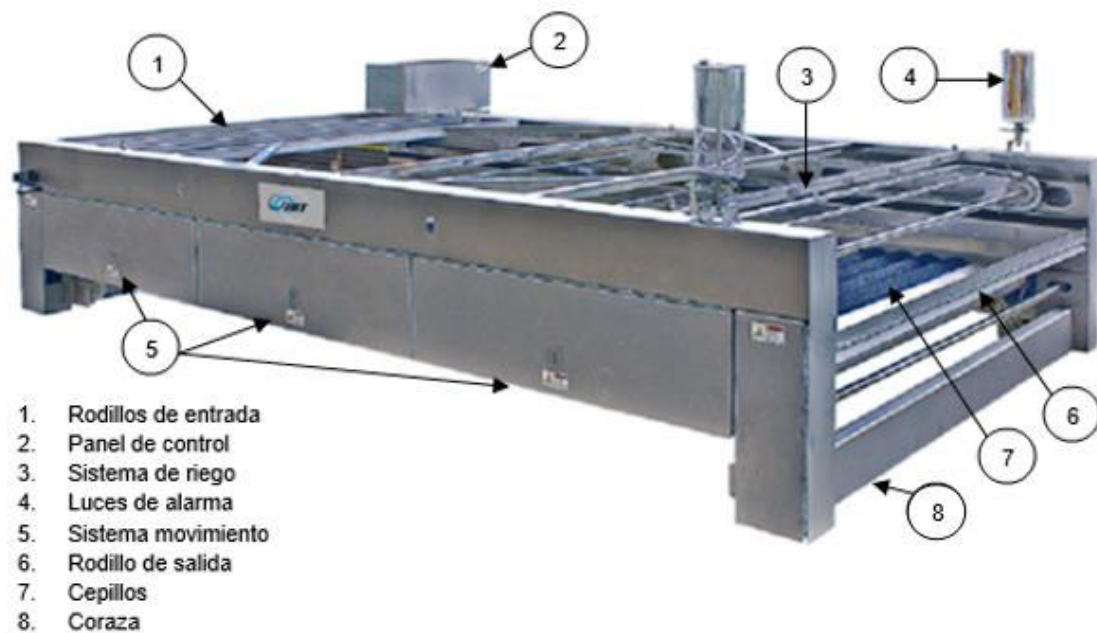


Figura 1.4 Lavadora de papas por cepillos.
Fuente: (JBT, 2015)

Este tipo de máquinas de lavado se caracterizan por su eficiente lavado en un tiempo corto, no necesita de grandes cantidades de agua, además, los tubérculos no se maltratan debido a que los cepillos son flexibles, posee un mantenimiento y operación sencillos. Por otro lado, estas lavadoras requieren de un espacio amplio, requiere de mucha potencia por los sistemas de transmisión, los cuales también deben ser alineados y es necesario cambiar los cepillos periódicamente.

1.1.1.2 Lavadora de papas por turbulencia (hidrodinámica)

En la figura 1.5 se puede visualizar un este tipo de lavadoras. Estas máquinas tienen un principio de funcionamiento basado en la turbulencia del agua en un tanque de lavado (4), el agua es suministrada por tuberías (5) ubicadas en la parte inferior del tanque de lavado. Las tuberías ingresan agua a presión en la cámara llena, lo que genera movimiento en el agua y hace que las hortalizas y tubérculos añadidos puedan lavarse mediante este movimiento, evitando la fricción entre ellos o con la máquina. Es un proceso bastante eficiente debido a que el movimiento hidrodinámico se encarga de retirar la tierra de la superficie de la papa, mientras la empuja hacia la banda transportadora que la llevara al siguiente proceso; esto quiere decir, que no hay intervención humana más que para el ingreso del tubérculo. Este tipo de lavadora cuenta con: una bomba eléctrica, motor eléctrico, toda su estructura es de acero inoxidable AISI A304 y posee una banda plástica transportadora agujereada para dejar pasar el líquido restante; este líquido es transferido al filtro para poder reutilizarlo en el proceso teniendo así un menor gasto de agua. El proceso puesto en acción se puede identificar en la figura 1.6 (Camacho, 2012).



Figura 1.5 Lavadora hidrodinámica de hortalizas.
Fuente: (Camacho, 2012)



Figura 1.6 Puesta en acción de la lavadora hidrodinámica de hortalizas.
Fuente: (Solis, 2015)

1.1.1.3 Lavadora de papas por vibración

Esta máquina de lavado de hortalizas es bastante práctica, cuenta con una construcción estructural en su totalidad de acero inoxidable AISI 304 y su banda transportadora regulable en inclinación dependiendo del producto que se vaya a lavar.

La máquina tiene una cámara principal como se puede apreciar en la figura 1.7, en donde el agua llena la cámara hasta cierto nivel dependiendo del producto ingresado, la base posee un sistema vibratorio con motor eléctrico el cual brinda un movimiento potente para que el agua retire la tierra existente mediante el rozamiento entre las papas, el flujo de agua es continuo mientras entra agua limpia, el agua contaminada va saliendo hacia un filtro para su recirculación. Transcurrido el tiempo de lavado, las hortalizas y tubérculos estarán totalmente limpios y, podrán ser transportados al siguiente proceso. En el tablero de control posee encendido, reseteo y apagado de emergencia además de un selector de velocidad. (Teng, 2012)



Figura 1.7 Lavadora hidrodinámica de hortalizas.
Fuente: (Teng, 2012)

1.1.1.4 Lavadora de papas por bombo giratorio

En la figura 1.8 se observa un diseño común de este tipo de lavadoras, las cuales poseen un sistema de auto centrado de bombo, trampillas de limpieza, detector de nivel de agua, válvulas para la eliminación de tierra lo que hace posible un trabajo continuo. Además, tienen una compuerta regulable en la salida del bombo con la cual se controla el importe de tubérculos que salen de la lavadora y variadores de velocidad para cilindro rotatorio (MartinMaq, 2011).



Figura 1.8 Lavadora por bombo giratorio.
 Fuente: (Inagro, 2019)

Entre las ventajas que este tipo de máquinas poseen, se puede mencionar que tienen un detector de nivel de agua, motores con variadores de velocidad mecánicos y un bajo consumo de agua. Por otro lado, presenta algunas desventajas como dificultad para el desmontaje y el mantenimiento y requieren una mayor fuerza para el lavado.

1.2. Benchmarking

1.2.1. Disponibilidad de la máquina en el mercado

En la actualidad, existen en el mercado nacional e internacional distribuidores que se dedican a la venta de máquinas de lavado y la selección de papas y otros tubérculos. A continuación, se muestran algunos modelos genéricos existentes en el mercado.

1.1.1.5 Lavadora de papas Croper

Esta máquina agroindustrial está construida de acero inoxidable AISI 304, ver figura 1.8. Puede funcionar ya sea mediante combustibles fósiles como el diésel o la gasolina, así como a través del uso de energía eléctrica (Inagro, 2019).

En la tabla 1.4 se aprecian las características técnicas de la lavadora de papas Croper.

Tabla 1.4 Especificaciones técnicas de la máquina

| | |
|---------------------|--------------|
| Capacidad de lavado | 50 kg/hora |
| Velocidad de giro | 40 – 50 rpm |
| Tipo de lavado | Por rotación |

| | |
|--------------------|-----------------|
| Cavidad de entrada | 25 x 17 cm |
| Motor reductor | 3 hp a 1800 rpm |
| Soporte | Base fija |
| | Base móvil |
| Industria | Colombiana |
| Costo aproximado | USD 6500 |

Fuente: (Inagro, 2019)

1.1.1.6 Lavadora hidrodinámica de hortalizas HIDACAM

La lavadora HIDACAM para hortalizas y frutos flotantes, ver figura 1.9, basa su funcionamiento en el sistema hidrodinámico o turbulento. Está fabricada en su totalidad en acero inoxidable AISI 304. (Camacho, 2012)



Figura 1.9 Lavadora de hortalizas por turbulencia HIDACAM.

Fuente: (Camacho, 2012)

En la tabla 1.5 se pueden apreciar las características técnicas de la lavadora HIDACAM.

Tabla 1.5 Especificaciones técnicas lavadora HIDACAM

| | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Capacidad | 300 kg/hora - 11.02 lbs/min |
| Flujo de agua recirculada | 50– 60 L/min |
| Tipo de lavado | Por turbulencia |
| Cavidad de entrada | 180 x 70 cm |
| Motor | 2 hp |
| Motor banda transportadora | 0.5 hp |
| Soporte | Base fija |
| | Base móvil |
| Área total de trabajo requerido | 3 x 5 m |
| Procedencia | Bogotá – Colombia |
| Costo aproximado | USD 6700 |

Fuente: (Camacho, 2012)

En el Ecuador se comercializa un modelo similar fabricado en Chimborazo, por la compañía INOXIDABLES ELITE, ver el modelo de la figura 1.10. Esta máquina se fabrica bajo pedido y acorde a las necesidades del cliente, con características exactas al modelo colombiano.



Figura 1.10 Lavadora de hortalizas por turbulencia INOXIDABLES ELITE.
Fuente: (ELITE, 2020)

1.1.1.7 Lavadora de papas por rodillos HERMOSO & SENTAMANS S.L.

Este modelo de tiene el principio de funcionamiento que se basa en el rozamiento lubricado como se aprecia en la figura 1.11. Todos los componentes a excepción de los cepillos están fabricados en acero inoxidable AISI 304 (Hermoso & Sentamans, S.L., 2009).



Figura 1.11 Lavadora de papas por rodillos HERMOSO & SENTAMANS.
Fuente: (Hermoso & Sentamans, S.L., 2009)

En la tabla 1.6 se muestran las características técnicas de la lavadora HERMOSO & SENTAMANS.

Tabla 1.6 Especificaciones técnicas lavadora HERMOSO & SENTAMANS.

| | |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| Capacidad | Fabricada a petición, 11 – 50 lbs/min |
| Flujo de agua | 5 – 10 L/min |
| Tipo de lavado | Por rodillos cepilladores |
| Cavidad de entrada | 100 x 40 cm |
| Motor | 2 hp |
| Fuerza motriz requerida | Motor eléctrico |
| | Presión hídrica - bomba eléctrica |
| Soporte | Base fija |
| | Base móvil |
| Área total de trabajo requerido | 2 x 4 m |
| Procedencia | España |
| Costo aproximado | USD 5500 |

Fuente: (Hermoso & Sentamans, S.L., 2009)

La empresa ecuatoriana PROMETALL ubicada en Quito, también ofrece modelos funcionalmente idénticos, sin embargo, esta empresa enfoca su trabajo a la fabricación bajo pedido y usualmente para plantas de procesamiento de

tamaño industrial. Utiliza acero inoxidable AISI 304 pero lo combina con materiales como tubería PVC como se puede apreciar en la figura 1.12 reduciendo costos de fabricación.



Figura 1.12 Lavadora de papas por rodillos PROMETALL.
Fuente: (Alarcón, 2018)

1.1.1.8 Lavadora de Papas Kanzda

Esta máquina está fabricada con acero inoxidable AISI 304, puede ser utilizada para lavar frutas y vegetales como tomates, plátanos y papas. Esta lavadora de papas funciona mediante energía eléctrica, su velocidad de lavado es ajustable dependiendo del tipo de alimento que se requiera utilizar (Kanzda, 2018). En la tabla 1.7 se pueden observar las especificaciones técnicas de esta lavadora.

Tabla 1.7 Especificaciones técnicas de la lavadora de papas Kanzda

| | |
|-------------------------|---------------------------|
| Capacidad | 300 – 3500 kg/h |
| Tipo de lavado | Por rodillos cepilladores |
| Cavidad de entrada | 100 x 40 cm |
| Motor | 4.5 kW |
| Fuerza motriz requerida | Motor eléctrico |
| Soporte | Base fija |
| Dimensiones | 4 x 1,4 x 1,2 m |
| Procedencia | China |
| Costo aproximado | USD 18 500 |

Fuente: (Kanzda, 2018)

En la figura 1.13 se observa el diseño de la máquina lavadora de papas Kanzda.



Figura 1.13 Lavadora de papas Kanzda
Fuente: (Kanzda, 2018)

1.3. Diseño mecánico

Para el diseño mecánico se ha tomado en consideración las máquinas analizadas en los subcapítulos anteriores, enfocando los sistemas y componentes. En este subcapítulo se detallan las ecuaciones utilizadas para diseñar los posibles elementos que compondrán la máquina.

1.3.1. Diseño a condiciones estáticas

Se realiza un diseño a condiciones estáticas para los materiales que se encuentran sometidos a cargas estacionarias (por ejemplo: fuerza, pares de torsión), las cuales no varían en magnitud ni posición de aplicación.

1.3.1.1. Esfuerzos axiales

Los esfuerzos axiales se obtienen al aplicar fuerzas normales a la sección transversal de un elemento, es decir, es la fuerza F para el área transversal A del elemento, como se muestra en la ecuación 1-1

$$\sigma_{axial} = \frac{F}{A_{trans}} \quad 1-1$$

En donde:

σ_{axial} Esfuerzo axial, Pa

F Fuerza normal al elemento, N

A_{trans} Área transversal del elemento, m²

1.3.1.2. Esfuerzos normales debido a momentos flectores

En elementos estructurales como las vigas, puede existir flexión pura, este tipo de esfuerzo se lo obtiene a partir del producto entre el momento flector M y la distancia desde su eje neutro hasta el punto en análisis c dividido para el segundo momento de área I del perfil de la viga, ver ecuación 1-2.

$$\sigma_{flexión} = \frac{M * c}{I} \quad 1-2$$

En donde:

$\sigma_{flexión}$ Esfuerzo de flexión, Pa

M Momento flector, Nm

c Distancia desde el eje neutro al punto de análisis, m

I Segundo momento del área, m^4

Cuando existen casos de esfuerzos normales combinados, el esfuerzo combinado σ_x se lo muestra en la ecuación 1-3.

$$\sigma_x = \sigma_{axial} + \sigma_{flexión} \quad 1-3$$

1.3.1.3. Esfuerzos de corte por torsión

Este tipo de esfuerzos son producidos por un par de torsión T , el cual se lo encuentra mediante la ecuación 1-4.

$$\tau_{torsión} = \frac{T * c}{J_0} \quad 1-4$$

En donde:

$\tau_{torsión}$ Esfuerzo de corte por torsión, Pa

T Par de torsión, Nm

J_0 Momento polar del área, m^4

En casos bidimensionales, el esfuerzo de corte por torsión $\tau_{torsión}$ es igual a τ_{xy} .

1.3.1.4. Teoría de falla por energía de distorsión en materiales dúctiles

La teoría de falla por energía de la distorsión predice que la falla de un material por fluencia ocurre cuando la energía de deformación total por unidad de volumen es igual a la energía de deformación por unidad de volumen correspondiente a la resistencia a la fluencia en tensión S_y del mismo material (Budynas & Nisbett, 2015), en otras palabras, la fluencia ocurre cuando $\sigma \geq S_y$.

Cuando existen esfuerzo combinados, se requiere de un esfuerzo equivalente σ' , también llamado como “Esfuerzo equivalente de Von Misses”, en casos bidimensionales se lo obtiene mediante la ecuación 1-5.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad 1-5$$

En donde:

σ_x , σ_y y τ_{xy} Esfuerzos básicos normales y cortantes

σ' Esfuerzo equivalente

El factor de seguridad n_s se lo encuentra con la ecuación 1-6.

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma'} \quad 1-6$$

Aunque se ha analizado un diseño a condiciones estáticas, también se puede realizar un análisis cuando existen cargas cíclicas que varían en función del tiempo.

1.3.2. Diseño a fatiga de ejes

Existen elementos que se encuentran sometidos a cargas cíclicas como los ejes, estas cargas provocan que los elementos mecánicos estén sometidos a esfuerzos de fatiga, por lo tanto, se realiza un análisis a fatiga.

1.3.2.1. Resistencia para vida infinita.

Se determina el límite de la resistencia a la fatiga utilizando la ecuación 1-7.

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e \quad 1-7$$

En donde:

k_a Factor de modificación de la condición superficial

k_b Factor de modificación del tamaño

k_c Factor de modificación de la carga

k_d Factor de modificación de la temperatura

k_e Factor de confiabilidad

k_f Factor de modificación de efectos varios

S'_e Límite de resistencia a la fatiga de la viga rotatoria

S_e Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso

Para el cálculo del factor de modificación de la condición de superficie se utiliza la ecuación 1-8

$$k_a = a * S_{ut}^b \quad 1-8$$

En donde a y b dependen del acabado superficial y el material; estos se pueden obtener de la tabla 1.8.

Tabla 1.8 Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin.

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

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2015)

El factor de modificación de tamaño se lo encuentra utilizando la ecuación 1-9

$$k_b = \left(\frac{D_t}{7.62} \right)^{-0.107}, \quad 2.7989 \leq d \leq 51 \text{ mm} \quad 1-9$$

En donde

D_t Es el diámetro del eje

Por otro lado, en la determinación del factor de modificación de la carga intervienen los tipos de carga a la cual los ejes se encuentran sometidos, siendo 1 para una carga de flexión rotatoria. Por otro lado, el factor de temperatura depende de la temperatura, siendo 1 para temperaturas menores a 50°C. El factor de confiabilidad se lo determina mediante la tabla 1.9.

Tabla 1.9 Factores de confiabilidad correspondientes a 8 desviaciones estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga.

| Confiabilidad, % | Variación de transformación z_α | Factor de confiabilidad k_α |
|------------------|--|------------------------------------|
| 50 | 0 | 1.000 |
| 90 | 1.288 | 0.897 |
| 95 | 1.645 | 0.868 |
| 99 | 2.326 | 0.814 |
| 99.9 | 3.091 | 0.753 |
| 99.99 | 3.719 | 0.702 |
| 99.999 | 4.265 | 0.659 |
| 99.9999 | 4.753 | 0.620 |

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2015)

El factor de modificación de efectos varios se lo estima dependiendo de las condiciones a las cuales se encuentra trabajando el eje.

Finalmente, el límite de resistencia a la fatiga de una probeta se lo calcula mediante la ecuación 1-10.

$$S'_e = 0.5 * S_{ut} \quad 1-10$$

En donde:

S_{ut} Límite de resistencia último a la tensión

Se debe tener en cuenta que un eje aloja un cuñero, el cual permite localizar el componente que transmite la carga, por lo tanto, debe ser considerado durante el diseño del eje los factores concentración de esfuerzo.

1.3.2.2. Concentradores de esfuerzo por fatiga

Los factores de concentración de esfuerzo se obtienen utilizando la ecuación 1-11 y 1-12

$$K_f = 1 + q * (K_t - 1) \quad 1-11$$

$$K_{fs} = 1 + q_s * (K_{ts} - 1) \quad 1-12$$

En donde:

K_f Factor de concentración de esfuerzo por fatiga a flexión

K_{fs} Factor de concentración de esfuerzo por fatiga a torsión

K_t Factor de concentración reducido de esfuerzo por fatiga a flexión

K_{ts} Factor de concentración reducido de esfuerzo por fatiga a torsión

q Sensibilidad de la muesca sometida a flexión inversa

q_s Sensibilidad de la muestra sometida a torsión inversa

1.3.2.3. Trabajo a fatiga bajo esfuerzos combinados

Los esfuerzos fluctuantes, debido a la flexión y torsión presentes en los ejes, provocan esfuerzos medios y alternas que se pueden encontrar en las ecuaciones 1-13,14,15 y 16.

$$\sigma_a = K_f \frac{32M_a}{\pi D_t^3} \quad 1-13$$

$$\sigma_m = K_f \frac{32M_m}{\pi D_t^3} \quad 1-14$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16T_a}{\pi D_t^3} \quad 1-15$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16T_m}{\pi D_t^3} \quad 1-16$$

En donde:

n_s Factor de seguridad

M_a Momento flexionante alternante (N.m)

M_m Momento flexionante medio (N.m)

T_a Par de torsión alternante (N.m)

T_m Par de torsión medio (N.m)

Los esfuerzos de Von Mises para ejes giratorios sólidos que se encuentran sometidos a cargas combinadas se obtienen de las ecuaciones 1-17 y 1-18

$$\sigma'_a = \sqrt{\left(\frac{32 K_f M_a}{\pi D_t^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16 K_{fs} T_a}{\pi D_t^3}\right)^2} \quad 1-17$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\left(\frac{32 K_f M_m}{\pi D_t^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16 K_{fs} T_m}{\pi D_t^3}\right)^2} \quad 1-18$$

En donde:

σ'_a Esfuerzo alternante equivalente (Pa)

σ'_m Esfuerzo medio equivalente (Pa)

Existen varios criterios de falla como: Goodman modificada, Gerber, Soderberg y ASME. El presente estudio utiliza el criterio de Soderberg que se muestra en la ecuación 1-19.

$$\frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y} = \frac{1}{n_s} \quad 1-19$$

Debido a que los ejes rotatorios tienen cargas de flexión y torsión constantes $M_m = 0$ y $T_a = 0$. Por lo tanto, el diámetro del eje utilizando el criterio de falla de ED-Soderberg, como se muestra en la ecuación 1-20

$$D_t = \sqrt[3]{\frac{16 * n_s}{\pi} \left(\frac{2 * K_f * M_a}{S_e} + \frac{\sqrt{3 * (K_{fs} * T_m)^2}}{S_y} \right)} \quad 1-20$$

1.3.3. Transmisión por cadenas

Para el dimensionamiento de un sistema de transmisión primeramente se calculará la potencia de diseño utilizando la ecuación 1-21 que se muestra a continuación.

$$P_d = P_M * C_1 \quad 1-21$$

En donde, P_M es la potencia del motor y C_1 es el factor de servicio que depende del tipo de potencia de entrada, así como del tipo de carga o aplicación. Se lo determina por medio de la tabla en el anexo VII.

Una vez que se tiene la potencia de diseño junto con la velocidad de giro que se requiere en la máquina, se procede a utilizar tablas (ver anexo II y III) la selección del

tipo y del paso de la cadena. Mientras, que la longitud de la cadena se la calcula mediante la ecuación 1-22.

$$L = 2 * C + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{((N_1 - N_2)/6.28)^2}{C} \quad 1-22$$

En donde:

- L Longitud de la cadena
- C Distancia entre centros de ejes
- P Paso
- N_1 Número de dientes del piñón (conductor)
- N_2 Número de dientes de la catalina (conducido)

1.3.4. Selección de rodamientos

Las superficies de las pistas de los rodamientos se encuentran de manera continua sometidos a esfuerzos de compresión que causan daño a estas superficies. Este daño, es ocasionado por la fatiga del material y eventualmente provocarán que el rodamiento falle por fatiga (NTN, 2009). Por lo tanto, se debe estimar el tiempo de vida útil del rodamiento, estimando la carga radial dinámica equivalente, utilizando la ecuación 1-23.

$$P_r = X * F_r + Y * F_a \quad 1-23$$

En donde:

- P_r Carga radial dinámica equivalente, (N)
- F_r Carga radial real, (N)
- F_a Carga axial real, (N)
- X Factor de carga radial
- Y Factor de carga axial

Los factores de carga axial y radial se los determina utilizando la tabla IV.2 del anexo 4, y la ecuación 1-24

$$\frac{f_o * F_a}{C_{or}} \quad 1-24$$

En donde:

f_o Factor para determinar la carga dinámica equivalente

C_{or} Capacidad básica de la carga estática

Finalmente, se determina la relación entre la vida nominal básica, la capacidad básica de carga dinámica y la carga del rodamiento, utilizando la ecuación 1-25.

$$L_{10} = \frac{10^6}{60 * w} \left(\frac{C_r}{P_r} \right)^3 \quad 1-25$$

En donde:

L_{10} Vida nominal básica, (horas)

C_r Capacidad básica de carga dinámica, (N)

w Velocidad angular, (rpm)

2. METODOLOGÍA

En el capítulo anterior se desarrolló el estudio del estado del arte donde se analizaron distintos tipos de máquinas y procesos además de modelos existentes en el mercado (paso 1). Luego, se procede con el capítulo 2, en donde se consideran los requerimientos expuestos por el cliente (paso 2), se tabularán estos requerimientos como voz de usuario y cliente (paso 3) para construir la casa de la calidad (paso 4). Una vez obtenidas las conclusiones de la casa de la calidad se designan las especificaciones técnicas (paso 5). Luego se realiza un análisis funcional (paso 6) de la máquina en donde se tiene la identificación de los módulos para los procesos (paso 7). Mediante el método de criterios ponderados se escoge una solución de las alternativas propuestas para cada módulo (paso 8). Se elabora un diseño conceptual (paso 9) con las soluciones encontradas. Al tener bien definido el diseño del paso anterior se propondrá la ingeniería de detalle (paso 10) con el cálculo y selección de los elementos que conformarán la máquina. El siguiente paso será la construcción (paso 11) seguido del análisis de costos (paso 12) para finalmente ejecutar el protocolo de pruebas (paso 13) y verificar el correcto funcionamiento. De no cumplirse con lo deseado se da el proceso de rediseño (paso 14) para volver a evaluar el último ciclo desde la ingeniería de detalle. Como se muestra en la figura 2.1.

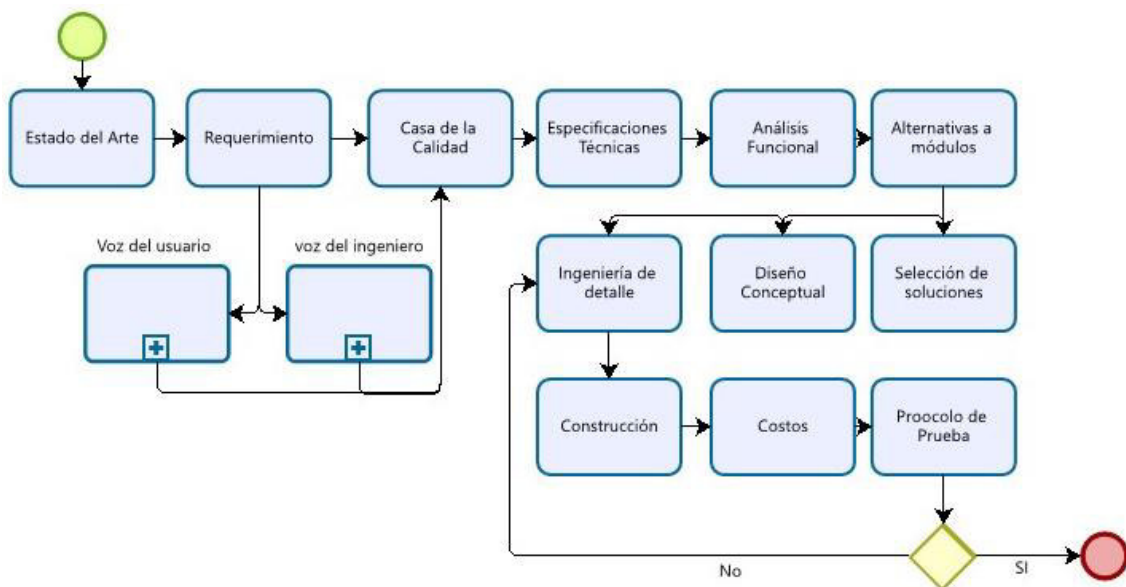


Figura 2.1 Diagrama de flujo de la metodología para el diseño y construcción de la máquina lavadora de papas.
Fuente: Propia

2.1. Parámetros necesarios para procesos

Para determinar los parámetros necesarios para procesos se debe realizar un análisis funcional como se muestra en la figura 2.2, en donde se detalla el proceso general de la máquina, el cual empieza por la recepción de papas sucias de todo tamaño, donde mediante el uso de energía eléctrica y la señal de inicio del proceso se lavan y posteriormente se seleccionan las papas de acuerdo con los tamaños requeridos por el cliente. Finalmente, se obtiene un producto limpio y agrupado por tamaño.

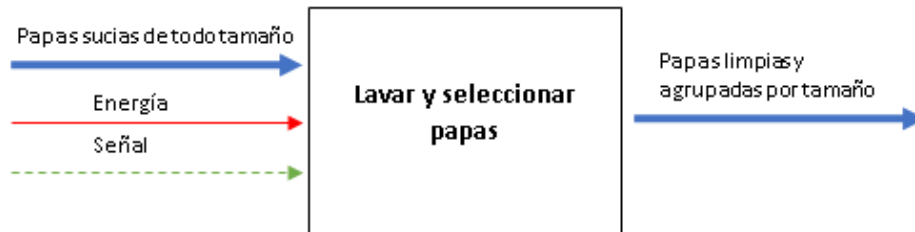


Figura 2.2 Función principal de la máquina
Fuente: Propia

En la figura 2.3 se observa el desglose de los módulos, el cuál empieza por la tolva, en donde mediante trabajo manual se depositan las papas sucias. Luego éstas ingresan a la zona de lavado, aquí por medio de la señal se enciende la máquina y empieza la etapa de lavado. Posteriormente se pasa al módulo 2, que es la selección de las papas de acuerdo con el tamaño. En esta etapa las papas ya limpias son separadas para que finalmente los tubérculos pasen al módulo 3 que es el direccionamiento de las papas a las canastas de recolección y posterior secado por las condiciones ambientales.

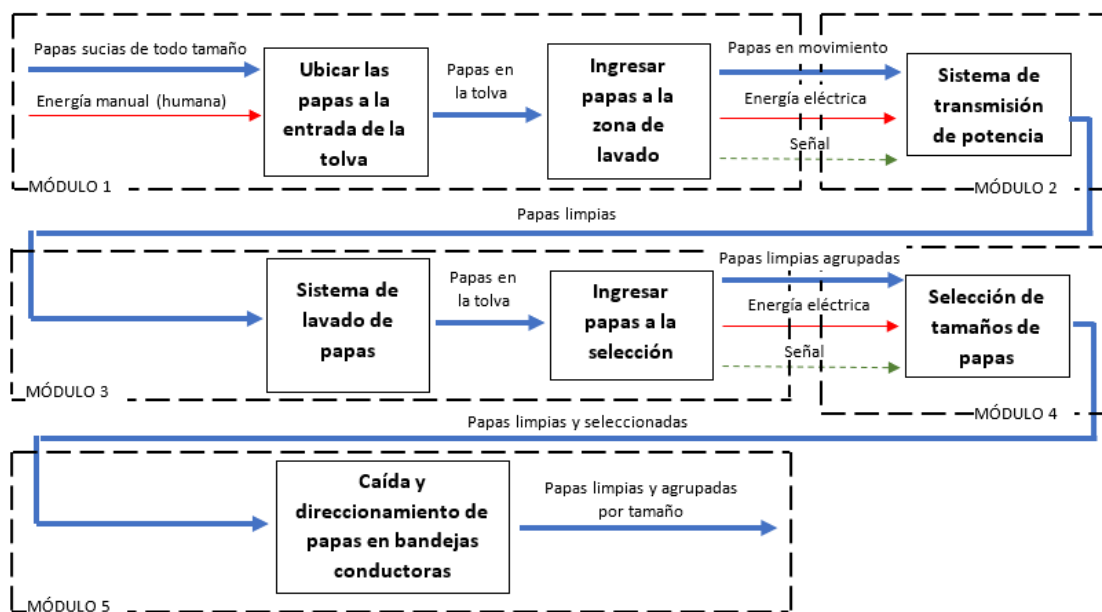


Figura 2.3 Funciones secundarias, diagrama de flujo del análisis funcional de la máquina.
(Fuente: Propia)

2.2. Determinación de especificaciones técnicas

2.2.1. Consideraciones para determinar las especificaciones técnicas

Para la determinación de las especificaciones técnicas se recurrió a entrevistas con el cliente, con el fin de identificar sus requerimientos tanto de espacio, capacidad, economía y ergonomía. Estas consideraciones se las puede ver más detalladamente en la casa de la calidad que está en el Anexo 1.

2.2.2. Casa de la calidad

Para satisfacer las necesidades y aspiraciones del cliente se emplea la herramienta QFD (Quality Function Deployment), de esta manera se calculan las características que se deben añadir a la lavadora de papas y cuáles de estas cualidades pueden incurrir en un exceso de gastos, además, aporta una visión de cómo se posiciona la máquina con respecto a otras existentes en el mercado. (Ver Anexo 1)

2.2.2.1. Voz del usuario

En base a las entrevistas realizadas en la empresa Distribuidora Papas Castro, quienes requieren la implementación de una máquina lavadora y de selección de papas para mejorar su proceso de manufactura, se determinaron los siguientes requerimientos:

- Capaz de lavar papas de hasta 12 cm de diámetro
- Capaz de seleccionar las papas de diámetros menores a 4 cm, de 4 a 8 cm y 8 cm en adelante
- Bajo tiempo de lavado
- Debe ser de fácil operación para las personas que lo ocupen
- Debe ser duradero
- De tamaño compacto
- No se debe oxidar
- Sin acumulación de tierra
- Bajo costo
- Los componentes no deben representar un peligro para el usuario
- Debe usar energía eléctrica (debe funcionar como una sola máquina y, funcionar por separado el lavado y secado)

2.2.2.2. Voz del ingeniero

Con base a las necesidades del consumidor, se han establecido los siguientes requerimientos técnicos:

- Alta capacidad
- Modularidad
- Potencia
- Maniobrable
- Vida útil prolongada
- Dimensiones acordes al espacio disponible por el cliente
- Materiales usados en la industria alimenticia
- Mantenimiento sencillo
- Presupuesto económico
- Eficiente
- Motor eléctrico

2.2.2.3. Conclusiones de la Casa de la Calidad

Con las consideraciones previamente solicitadas por el usuario, se determina que los requerimientos más importantes son, la selección de los tres tamaños de papas, una capacidad alta en un menor tiempo de lavado. Por lo tanto, en función de los resultados de la casa de la calidad se han encontrado las siguientes características técnicas.

- Potencia del motor: Aproximadamente 0.5 a 3 [hp]
- Tiempo de lavado: Aproximadamente de 2 a 3 min
- Capacidad de lavado 56 kg
- Materiales aptos para la industria alimenticia
- Clasificación: por tamaño

2.2.3. Especificaciones técnicas

Para determinar las especificaciones técnicas de la máquina se utilizó la tabla 2.1 donde están relacionados los requerimientos del cliente, la ingeniería y el diseño, así como también la función de cada uno de los requerimientos.

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas de la máquina.

| | | | | | |
|--|------------|---|-----|---|-------------------|
| Empresa – Cliente: Sector Agrícola | | Producto: Máquina lavadora y seleccionadora de papas | | | Fecha inicial: |
| Diseñadores: | | | | | Segunda revisión: |
| Espinosa Adrián Mitte Jhoseph | | | | | Página 1 |
| Especificaciones Técnicas | | | | | |
| Concepto | Fecha | Propone | R/D | Descripción | |
| Función | 06-10-2021 | C | R | Lavar 56 Kg de papas por tanda en un tiempo de 2 a 3 minutos. | |
| | 06-10-2021 | C | R | Seleccionar la papa lavada por tamaños para la recepción en recipientes. | |
| Materiales | 06-10-2021 | D+I | R | Resistencia a la corrosión y posibilidad de uso para contacto con alimentos. Piezas comerciales para su fácil reemplazo. | |
| Energía | 06-10-2021 | D+M | D | Motor eléctrico, conexión a red doméstica 110V y 60 Hz. | |
| Seguridad y ergonomía | 06-10-2021 | I+D | R | Máquina de tamaño reducido, desmontable, con capacidad de fijación al piso, bajo nivel de ruido, sistemas motrices cubiertos. | |
| Automatización | 06-10-2021 | C+D | R | De fácil accionamiento desde un tablero con regulación de velocidad y poca o nula intervención humana en el proceso. | |
| Propone: M = Marketing, D = Diseño, P = Producción, F = Fabricación, I= Ingeniería, C=Cliente. R/D: R = Requerimiento, D = Deseo, MR = Modificación de Requerimiento. | | | | | |

(Fuente: Propia)

2.2.4. Análisis funcional

En este apartado se llevará a cabo el análisis funcional antes mencionado en la figura 2.3. Para ello se estudiarán las posibles soluciones para cada uno de los módulos proponiendo las debilidades y fortalezas en cada uno de los diseños propuestos, criterio que ayudará posteriormente a la aplicación del método de criterios ponderados para la selección de prioridades o resultados a la mejor alternativa.

2.2.4.1. Diseño y selección de alternativas para cada módulo

La modularidad de la máquina se establece en la división de subprocesos inherentes al lavado y selección de las papas, en donde se encuentran los siguientes componentes modulares del análisis funcional ubicados en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Módulos de funcionalidad.

| Módulo | Descripción |
|--------|---|
| 1 | Ingreso de la papa al sistema de lavado |
| 2 | Sistema de transmisión de potencia |
| 3 | Sistema de lavado |
| 4 | Sistema de selección |
| 5 | Salida de la papa |

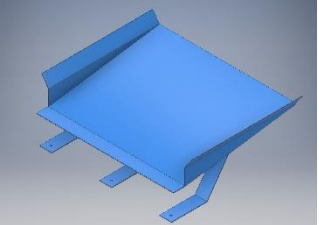
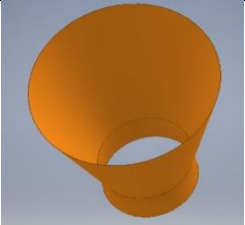
Fuente: (Propia)

Para la selección de la mejor opción se utilizará el método de ponderación de criterios, donde un criterio o solución se evalúa con respecto a los criterios o soluciones restantes de modo que se puntúa como se indica en el anexo V.

2.2.4.2. Módulo 1: Ingreso de la papa al sistema de lavado

El módulo 1 hace referencia a la tolva de ingreso del producto a la máquina, donde se ubicarán las papas para la dosificación de estas facilitando su distribución en el sistema de lavado. La primera de ellas es una tolva con inclinación y apertura para la ubicación de algunas papas al ingreso del siguiente proceso, mientras que la segunda es una tolva cónica que ofrece la caída vertical del producto con una menor cantidad simultánea de tubérculos a la salida. Las alternativas se muestran en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Alternativas para el módulo 1.

| Alternativa | Ventajas | Desventajas | Esquema |
|--------------------|--|--------------------------------------|---|
| A. Tolva inclinada | Mejor distribución a la entrada del lavado | Posible atascamiento |  Figura 2.4 Tolva inclinada Fuente: (Propia) |
| | Facilidad de construir | Aristas vivas | |
| | Facilidad de acoplamiento | Desperdicio de material al construir | |
| | Bajo costo | No hay dosificación | |
| B. Tolva cónica | Gran capacidad | Atascamiento |  Figura 2.5 Tolva cónica Fuente: (Propia) |
| | Mejor direccionamiento | Dificultad de acople | |
| | Existe dosificación | Dificultad de construcción | |
| | | Costo mayor a la tolva inclinada | |

Fuente: (Propia)

Se seleccionan los criterios más importantes de la casa de la calidad, teniendo de este modo:

- Dosificación: Las papas ingresan de manera ordenada y con buena distribución al sistema de lavado.
- Fabricación: el proceso de elaboración de los componentes debe ser el de menor tiempo posible y de mayor facilidad.
- Anclaje o acoplamiento: Facilidad de armado
- Costo: Se evaluará la mejor opción considerando el menor costo de obtención.

Los resultados de la evaluación de alternativas indican que la mejor opción es la alternativa A, tal como se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Resultados de selección para el módulo 1.

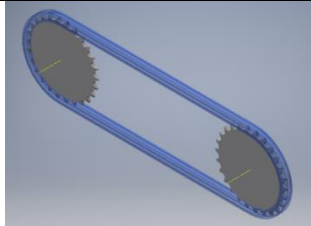
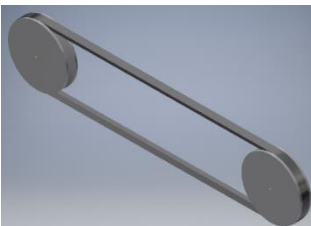
| Alternativa | Dosificación | Fabricación | Anclaje o acoplamiento | Costo | Σ | Prioridad |
|-------------|--------------|-------------|------------------------|-------|----------|-----------|
| A | 0.333 | 0.667 | 0.667 | 0.667 | 2.333 | 1 |
| B | 0.667 | 0.333 | 0.333 | 0.333 | 1.667 | 2 |

Fuente: (Propia)

2.2.4.3. Módulo 2: Sistema de transmisión de potencia

En este módulo se analiza la transmisión de potencia y movimiento desde el motorreductor hacia los siguientes subsistemas, se tienen las opciones de cadena o bandas para poder llevar a cabo el trabajo de lavado y selección de las papas, las alternativas se muestran en la tabla 2.5.

Tabla 2.5 Alternativas para el módulo 2.

| Alternativa | Ventajas | Desventajas | Esquema |
|-----------------------------|---|--|---|
| A. Sistema cadena – piñones | Buena transmisión de potencia | Requiere lubricación |  Figura 2.6 Sistema piñones -cadena Fuente: (Propia) |
| | Mayor vida útil | Existe ruido | |
| | Mantenimiento basado en tensión correcta hasta el término de su vida útil | Pueden generar vibraciones | |
| | No hay deslizamiento | Coste considerable | |
| B. Sistema banda – poleas | Bajo nivel de ruido | Se ve más afectado por el calor que la alternativa A |  Figura 2.7 Sistema polea - banda Fuente: (Propia) |
| | No necesitan lubricación | Requieren de tensores | |
| | Más utilizado en distancias entre centros considerables | Ocupa un mayor espacio que las cadenas | |
| | Disipación de vibraciones | Deterioro más acelerado | |

Fuente: (Propia)

Se seleccionan los criterios más importantes de la casa de la calidad, teniendo de este modo:

- Transmisión: La mejor opción es la que pueda transmitir la mayor potencia y brinde más confiabilidad.
- Deslizamiento: La mejor opción es la que presente menos pérdidas al momento de transmitir la potencia.
- Vida útil: Aquí se hace referencia al mayor tiempo de vida útil, menor cantidad de mantenimientos y mayor facilidad de estos, así como también, a la menor degradación de los materiales del componente.
- Costo: Se evaluará la mejor opción considerando el menor costo de implementación.

Los resultados de la evaluación de alternativas indican que la mejor opción es la alternativa A, tal como se muestra en la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Resultados de selección para el módulo 2.


| Alternativa | Transmisión | Deslizamiento | Vida útil | Costo | Σ | Prioridad |
|-------------|-------------|---------------|-----------|-------|----------|-----------|
| A | 0.667 | 0.667 | 0.667 | 0.333 | 2.333 | 1 |
| B | 0.333 | 0.333 | 0.333 | 0.667 | 1.667 | 2 |

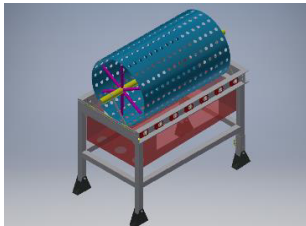
Fuente: (Propia)

2.2.4.4. Módulo 3: Sistema de lavado

El módulo 3 trata el proceso más importante de la máquina donde se desprende mediante lubricación y fricción, la tierra de la corteza de la papa para obtener un producto limpio. Se consideran las dos mejores opciones: por cepillos cilíndricos que suponen una cama de 7 filas de rodillos, que junto a una tubería que proporciona agua atomizada desde la parte superior, removerá la suciedad de la papa y recogerá en una bandeja inferior el agua sucia. La otra opción es un tambor perforado, el cual brinda fricción en su movimiento y el chorro de agua a través de la tubería en su eje central de paletas cilíndricas agujeradas, este modelo también cuenta con una bandeja inferior para la recolección de agua del proceso. Las alternativas para este módulo se muestran en la tabla 2.7.

Tabla 2.7 Alternativas para el módulo 3.

| Alternativa | Ventajas | Desventajas | Esquema |
|--|---------------------------|-----------------------------------|---|
| A. Sistema de lavado por cepillos cilíndricos con chorro de agua externo | Poco desperdicio de agua | Posible estancamiento |  <p>Figura 2.8 Sistema de lavado por cepillos Fuente: (Propia)</p> |
| | Facilidad de construcción | Desgaste de cepillos | |
| | Seguridad y ergonomía | Disponibilidad de materiales | |
| | Poco tiempo de lavado | Corto tiempo entre mantenimientos | |

| | | | |
|--|-------------------------------------|--|---|
| B. Sistema de lavado por tambor giratorio con chorro de agua interno | Mayor capacidad | Ocupa mucho espacio |  <p>Figura 2.9 Sistema de lavado por tambor giratorio Fuente: (Propia)</p> |
| | Amplio período entre mantenimientos | Alto tiempo de lavado y gran desperdicio de agua | |
| | Disponibilidad de materiales | Dificultad de construcción | |
| | Puede estar expuesta al ambiente | Puede generar vibraciones indeseadas | |

Fuente: (Propia)

Se seleccionan los criterios más importantes de la casa de la calidad, teniendo de este modo:

- Eficiencia: La alternativa que logre lavar la papa en menor tiempo y que deje mejores resultados.
- Mantenimiento: Se refiere al período de tiempo entre mantenimientos, donde uno menor es mejor, además del reemplazo o reparación de componentes.
- Fabricación: Hace referencia a la dificultad de la construcción de cada sistema, así como del tiempo que tomará en el armado.
- Seguridad: Se refiere a la posibilidad de intervención del operador durante el proceso, ya sea para interactuar como para inspeccionar.
- Uso de agua: El ahorro de agua es de gran importancia por lo que se debe esperar que exista el mínimo desperdicio posible en el proceso de remoción de tierra.
- Costo: Se evaluará la mejor opción considerando el menor costo de implementación, de fabricación y de los elementos individuales.

Los resultados de la evaluación de alternativas indican que la mejor opción es la alternativa A, tal como se muestra en la tabla 2.8.

Tabla 2.8 Resultados de selección para el módulo 3.

| Alternativa | Eficiencia | Mantenimiento | Fabricación | Seguridad | Uso de agua | Costo | Σ | Prioridad |
|-------------|------------|---------------|-------------|-----------|-------------|-------|----------|-----------|
| A | 0.667 | 0.333 | 0.667 | 0.667 | 0.667 | 0.333 | 3.334 | 1 |
| B | 0.333 | 0.667 | 0.333 | 0.333 | 0.333 | 0.667 | 2.666 | 2 |

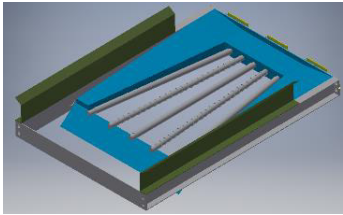
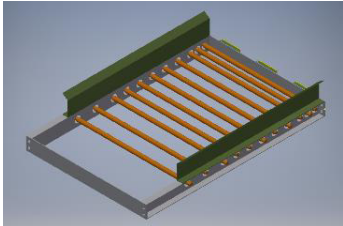
Fuente: (Propia)

2.2.4.5. Módulo 4: Sistema de selección

Este módulo analiza opciones sencillas y eficaces para la selección de papas por tamaño teniendo las dos siguientes opciones: la primera es una selección mediante tornillos sin fin transportadores que mediante su separación graduada y su movimiento de avance llevan las papas a caer de menor a mayor tamaño conforme avancen, la segunda opción son rodillos de pequeño diámetro separados con las dimensiones de

cada uno de los tipos de papa que caigan de igual manera que la anterior, de menor a mayor tamaño conforme avancen. Las alternativas se muestran en la tabla 2.9.

Tabla 2.9 Alternativas para el módulo 4.

| Alternativa | Ventajas | Desventajas | Esquema |
|--|--|--|--|
| A. Sistema de selección mediante tornillos sin fin | No requiere inclinación | Posible atrapamiento |  <p>Figura 2.10 Sistema de tornillos Fuente: (Propia)</p> |
| | Bajo error de selección | Requiere transmisión de movimiento | |
| | Permite seleccionar gran variedad de tamaños | Puede requerir lubricación tornillo-papa | |
| | Generalmente no requiere intervención del operador | Mayor dificultad de construcción | |
| B. Sistema de selección mediante rodillos espaciados | Facilidad de construcción | Requiere inclinación |  <p>Figura 2.11 Sistema de rodillos Fuente: (Propia)</p> |
| | No requiere transmisión de movimiento | Posibilidad de caída de papa en lugar incorrecto | |
| | | Puede requerir intervención del operador | |
| | | Permite seleccionar limitada variedad de tamaños | |

Fuente: (Propia)

Se seleccionan los criterios más importantes de la casa de la calidad, teniendo de este modo:

- **Eficiencia:** Un sistema capaz de seleccionar correctamente la papa por tamaños, teniendo la menor cantidad posible de papas que se ubiquen en la clasificación incorrecta debido a rebotes, atascamiento o por la geometría del tubérculo.
- **Intervención humana:** Se refiere la intervención del operador para corregir posibles atascamientos y para inspeccionar que el proceso funcione correctamente.
- **Fabricación:** Hace referencia a la dificultad de la construcción de cada sistema, así como del tiempo que tomará en el armado.
- **Variedad de tamaños:** Cada sistema debe seleccionar las papas por su tamaño, sin embargo, debido a las dimensiones de la máquina uno puede lograr seleccionar una mayor cantidad de tipos que otro debido a su precisión.
- **Costo:** Se evaluará la mejor opción considerando el menor costo de implementación, de fabricación y de los elementos individuales.

Los resultados de la evaluación de alternativas indican que la mejor opción es la alternativa A, tal como se muestra en la tabla 2.10.

Tabla 2.10 Resultados de selección para el módulo 4.

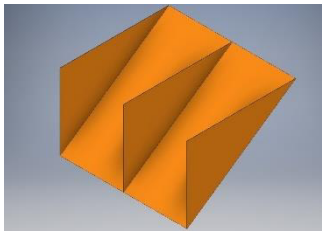
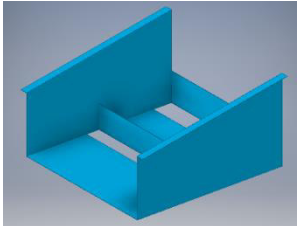
| Alternativa | Eficiencia | Fabricación | Intervención humana | Variedad de tamaños | Costo | Σ | Prioridad |
|-------------|------------|-------------|---------------------|---------------------|-------|----------|-----------|
| A | 0.667 | 0.333 | 0.667 | 0.667 | 0.333 | 2.667 | 1 |
| B | 0.333 | 0.667 | 0.333 | 0.333 | 0.667 | 2.333 | 2 |

Fuente: (Propia)

2.2.4.6. Módulo 5: Salida de la papa

El último módulo hace referencia a la tolva de salida del producto a la máquina, donde se ubicarán las papas para la dosificación de estas facilitando su caída a las bandejas de recolección. La primera es una opción de tolva con salida central separada a manera de cámaras receptoras con ángulo de inclinación, la segunda es una salida lateral mediante una bandeja plana inclinada hacia un costado y separación para tipo de papas mediante paredes, las alternativas se muestran en la tabla 2.11.

Tabla 2.11 Alternativas para el módulo 5.

| Alternativa | Ventajas | Desventajas | Esquema |
|--|--|---|--|
| A. Bandeja de salida lateral por tamaños | Facilidad de construcción | Existen aristas vivas |  Figura 2.12 Bandeja de salida central Fuente: (Propia) |
| | Facilidad de limpieza | Puede haber rebote de papa a sección no deseada | |
| | Facilidad de acople | Puede requerir intervención del operador | |
| | Accesibilidad al proceso | Requiere espacio aledaño a la máquina | |
| B. Bandeja de salida central por tamaños | No requiere espacio aledaño a la máquina | Puede haber atascamiento |  Figura 2.13 Bandeja de salida lateral Fuente: (Propia) |
| | Evita rebote de papa a otras zonas | Puede retener humedad e impurezas | |
| | Buena dosificación | Mayor dificultad de fabricación que la alternativa A. | |
| | | Puede requerir intervención del operador | |

Fuente: (Propia)

Se seleccionan los criterios más importantes de la casa de la calidad, teniendo de este modo:

- Dosificación: Las papas salen de manera ordenada y con buena distribución a las canastas de recolección.
- Espacio aledaño a la máquina: Se refiere a la mejor adaptación para poder aprovechar el espacio de la máquina sin estorbar a los procesos que puedan darse posteriormente, al espacio de trabajo del operador o su desplazamiento alrededor de la máquina.
- Fabricación: Hace referencia a la dificultad de la construcción de cada sistema, así como del tiempo que tomará en el armado.
- Limpieza: Se refiere a la facilidad de acceso al componente para poder limpiarlo evitando que se albergue suciedad o humedad propia del proceso.
- Costo: Se evaluará la mejor opción considerando el menor costo de implementación, de fabricación y de los elementos individuales.

Los resultados de la evaluación de alternativas indican que la mejor opción es la alternativa A, tal como se muestra en la tabla 2.12.

Tabla 2.12 Resultados de selección para el módulo 5.

| Alternativa | Dosificación | Espacio aledaño a la máquina | Fabricación | Limpieza | Costo | Σ | Prioridad |
|-------------|--------------|------------------------------|-------------|----------|-------|----------|-----------|
| A | 0.667 | 0.667 | 0.5 | 0.333 | 0.5 | 2.667 | 1 |
| B | 0.333 | 0.333 | 0.5 | 0.667 | 0.5 | 2.333 | 2 |

Fuente: (Propia)

2.2.4.7. Diseño conceptual

En la figura 2.14 se observa el diseño final de la máquina, el proceso de lavado empieza por la tolva de entrada, luego, las papas pasan a los cepillos de lavado, estos, son los encargados transportar y de lavar junto con el sistema de riego los tubérculos. Una vez finalizado el proceso de lavado, las papas caen al sistema de selección en donde por medio de tornillos sin fin, el producto es separado dependiendo de su tamaño. La estructura de soporte está fabricada con acero ASTM A36, los cepillos cilíndricos tienen un alma de duralón, mientras que las cerdas son de nylon, los ejes de selección están hechos de duralón, el sistema de riego utiliza tuberías PVC y el resto de la estructura es a base de acero inoxidable A304.

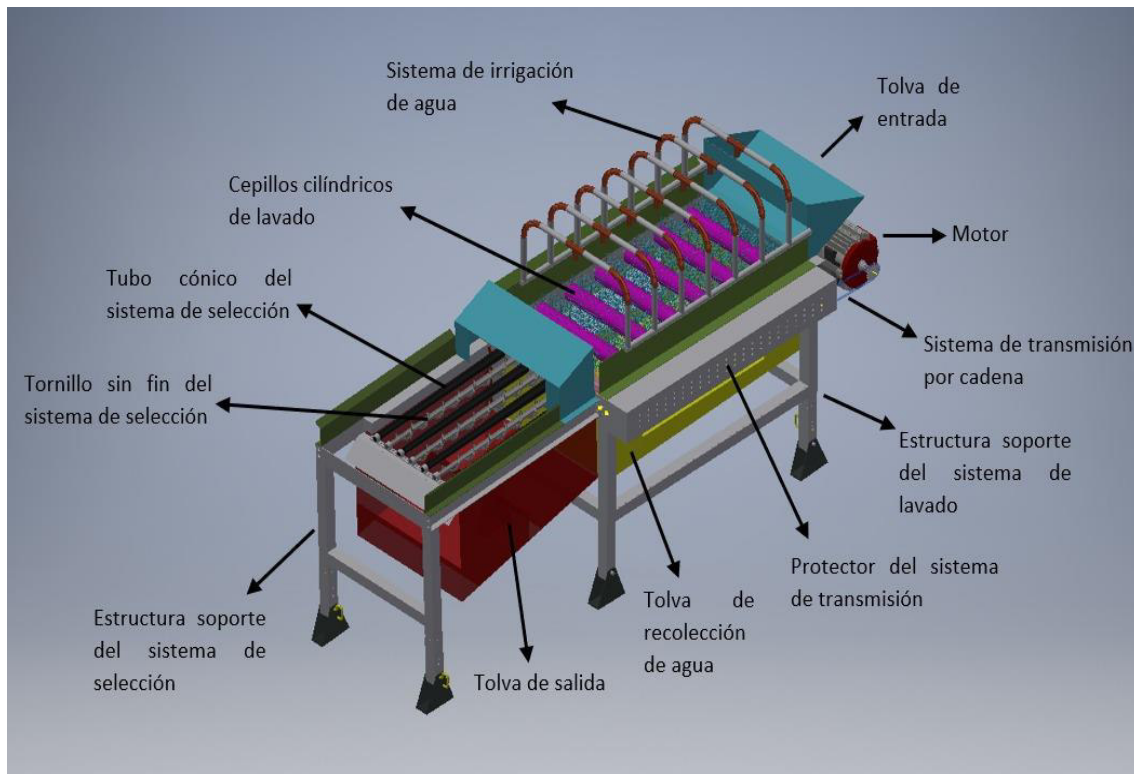


Figura 2.14 Diseño conceptual de la máquina lavadora y de selección de papas.
(Fuente: Propia)

2.3. Cálculo y selección de componentes

Para el cálculo y selección de los componentes que conforman la máquina, se empezó seleccionando los cepillos, luego se procede con el cálculo del eje. Una vez que se tienen las dimensiones del eje se procede a seleccionar las chumaceras. Posteriormente se realiza el cálculo de los pernos para que la máquina sea desmontable, facilitando de esta manera el mantenimiento. Finalmente, se calcula la potencia del motor y de esta manera poder realizar el cálculo de la transmisión y la relación de velocidad para el módulo de selección.

2.3.1. Selección de cepillos

Un cepillo cilíndrico, o también conocido como rodillos, pueden barrer superficies eliminando polvo y suciedad, pueden lavar junto con agua y jabón, así como otros productos, además limpian superficies, bandas transportadoras, alimentos, piezas tras procesos, quitan suciedad, recogen polvo y residuos, también limpian bandejas para hornear, lavan vidrios, etc. (CepilloTécnico, 2021). Por lo tanto, se selecciona, en base a la función que va a desempeñar. Para reducir el costo de mantenimiento se utilizan los cepillos modulares (ver figura 2.15) con los cuales, no es necesario cambiar todo el

rodillo, solo se cambia la pieza desgastada que compone el rodillo. Además, no requiere encamisar el eje con la pieza entera.

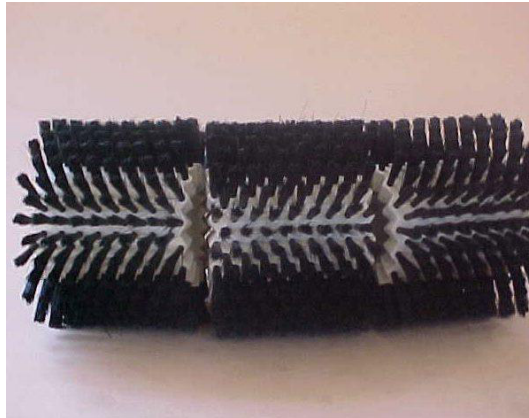


Figura 2.15 Cepillos modulares fruteros.
Fuente: (Vanderusten, 2018)

Las fibras sintéticas como el nylon o las poliamidas recuperan la forma de mejor manera y presentan buena resistencia al desgaste, además, al ser cuerpos de poliamida son materiales aptos para industria alimentaria según la FDA/UE (Food and Drug Administration – United State) (CepilloTécnico, 2021). Por lo tanto, el cepillo cilíndrico seleccionado se muestra en la figura 2.16.



Figura 2.16 Rodillo cepillo de nylon.
Fuente: (CepilloTécnico, 2021)

2.3.2. Cálculo de la potencia del motor

Para determinar la potencia requerida se realiza un análisis del momento de inercia de masa de los elementos que se encuentran girando (ver figura 2.17).

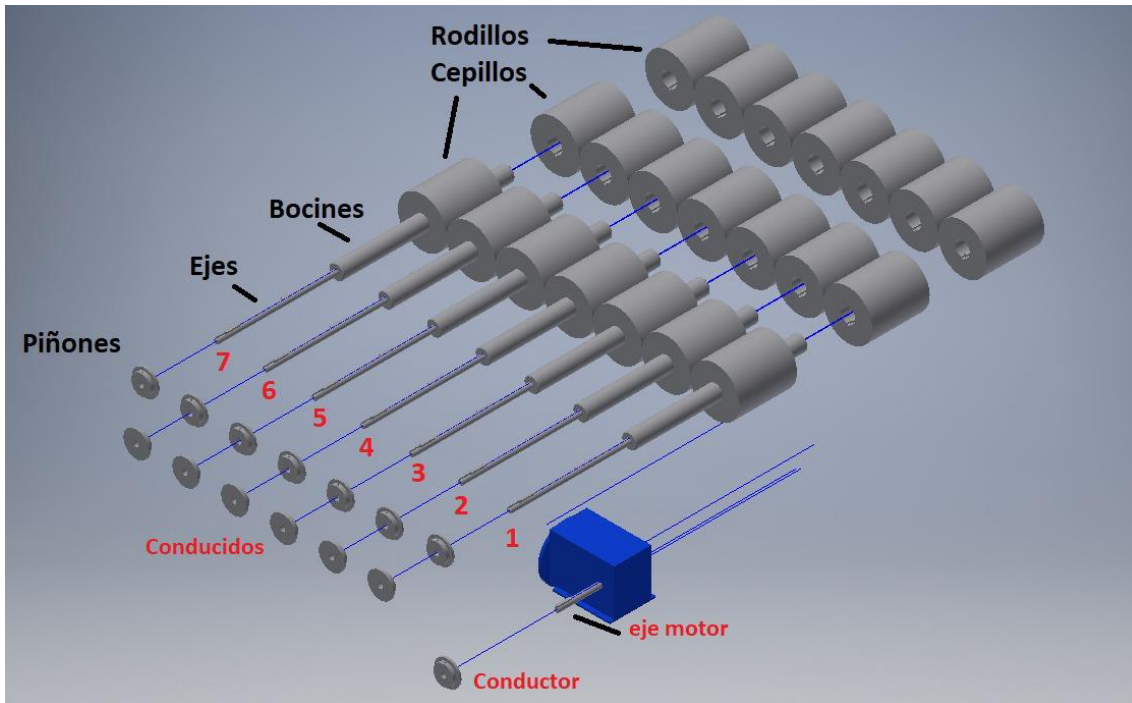
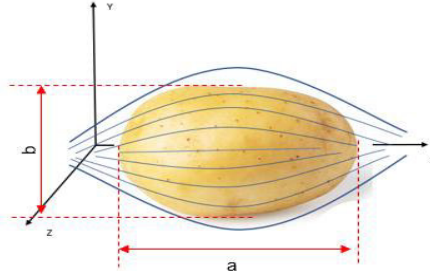
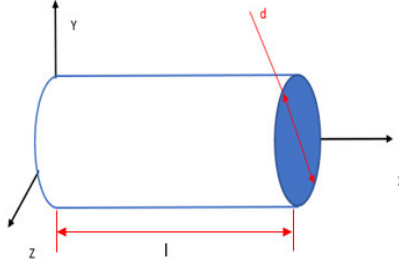
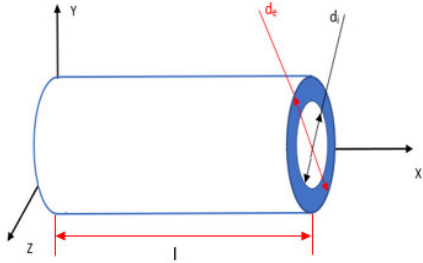
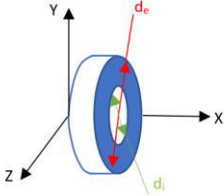
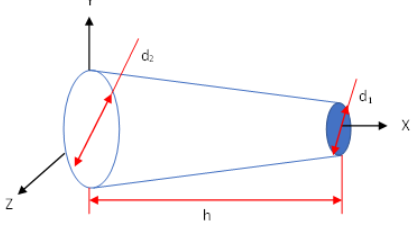


Figura 2.17 Elementos en movimiento.
Fuente: Propia.

En la tabla 2.13, se detallan las geometrías de los elementos y el cálculo del momento de inercia de masa.

Tabla 2.13 Momento de inercia de masa de los elementos que intervienen en la máquina.

| Elemento | Ecuación del momento de inercia de masa | Momento de inercia de masa I_x [$kg \cdot m^2$] |
|---|---|---|
|  <p data-bbox="247 1541 646 1624">Figura 2.18 Esquema para las consideraciones del momento de inercia de masa de la papa.</p> | $I_{xp} = \frac{8}{15} \pi \rho a b^4$ $\rho = 1297 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ $a = 0.12 [m]$ $b = 0.085 [m]$ | $I_{xp} = 0.014$ |
|  <p data-bbox="247 1910 646 1993">Figura 2.19 Esquema para las consideraciones del momento de inercia de masa del eje de lavado.</p> | $I_{xe} = \frac{\pi \rho l d^4}{32}$ $\rho = 8000 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ $l = 0.8 [m]$ $d = 0.019 [m]$ | $I_{xe} = 1.023 \times 10^{-4}$ |

| | | |
|---|--|----------------------------------|
|  <p>Figura 2.20 Esquema para las consideraciones del momento de inercia de masa del cepillo de lavado.</p> | $I_{Xc} = \frac{\pi \rho l (d_e^2 - d_i^2)^2}{32}$ $\rho = 1140 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ $l = 0.6 [m]$ $d_e = 0.18 [m]$ $d_i = 0.019 [m]$ | $I_{Xc} = 0.0689$ |
|  <p>Figura 2.21 Esquema para las consideraciones del momento de inercia de masa del piñón.</p> | $I_{Xc} = \frac{\pi \rho l (d_e^2 - d_i^2)^2}{32}$ $\rho = 8000 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ $l = 0.025 [m]$ $d_e = 0.098 [m]$ $d_i = 0.019 [m]$ | $I_{Xcat} = 1.67 \times 10^{-3}$ |
|  <p>Figura 2.22 Esquema para las consideraciones del momento de inercia de masa del tornillo sin fin.</p> | $I_{Xe} = \frac{\pi \rho h}{160} * \left(\frac{d_2^5 - d_1^5}{d_2 - d_1} \right)$ $\rho = 1140 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ $h = 0.7 [m]$ $d_1 = 0.019 [m]$ $d_2 = 0.050 [m]$ | $I_{Xe} = 1.56 \times 10^{-4}$ |

Fuente: (Propia)

Para calcular el momento total de inercia de masa para el lavado se considera que existen 7 ejes con 21 cepillos y 14 piñones. Además, en el área de lavado puede haber hasta 30 papas. Entonces, el momento total de inercia de masa se muestra en la ecuación 2-1:

$$I_T = 7 * (I_{Xe} - I_{Xc}) + 14 * (I_{Xcat}) + 30 * (I_{Xp}) \quad 2-1$$

$$I_T = 7 * (1.023 \times 10^{-4} + 0.0689) + 14 * 1.67 \times 10^{-3} + 30 * 0.014$$

$$I_T = 0.92 [kg * m^2]$$

Conociendo que el rango de la velocidad de los cepillos de lavado de papas va de 200 a 250 rpm en las máquinas comerciales, se procede a calcular la aceleración angular, tomando en consideración su velocidad máxima (ecuación 2-2).

$$\alpha = \frac{\omega}{t} \quad 2-2$$

En donde ω es la velocidad angular y t es el tiempo de estabilización que se considera 1.5 s. por el fabricante. Por lo tanto, la aceleración angular es:

$$\alpha = \frac{250 \frac{rev}{min} * \frac{2\pi rad}{rev} * \frac{min}{60s}}{1.5 s}$$

$$\alpha = 17.45 \left[\frac{rad}{s^2} \right]$$

Una vez calculada la aceleración angular, se procede a calcular el torque, con la ecuación 2-3.

$$\tau_{I_T} = I_T * \alpha \quad 2-3$$

$$\tau_{I_T} = 0.92 * 17.45$$

$$\tau_{I_T} = 16.05 \text{ [Nm]}$$

Finalmente, una vez encontrado el torque se puede calcular la potencia de trabajo utilizando la ecuación 2-4.

$$P = \tau_{I_T} * \omega \quad 2-4$$

$$P = 16.05 \text{ [Nm]} * 26.18 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

$$P = 420.29 \text{ [W]}$$

$$P = \frac{420.29 \text{ [W]}}{746} = 0.56 \text{ [hp]}$$

Finalmente, la potencia total requerida (P_{T_L}) en el módulo 3 se la determina con la ecuación 2-5, utilizando un factor de servicio (n_s) de 3 ya que se pierde aproximadamente el 30% de la potencia por la fricción entre elementos y, se utilizará un variador de velocidad, el cual reduce la potencia para la velocidad de giro del eje motriz.

$$P_{T_L} = P * n_s \quad 2-5$$

$$P_{T_L} = 0.56 * 3$$

$$P_{T_L} = 1.69 \text{ [hp]}$$

Considerando que en el mercado no existen motores de 1.69 hp, se selecciona un motor WEG tipo 22 trifásico de 2 [hp], el cual requerirá de un reductor de velocidad mecánico a 90° (B3) marca Rossi AS series modelo MR V 535 – 24x200 (reduce la potencia a 1.72 hp, ver anexo VIII) y un variador de velocidad de 2 hp trifásico para reducir la velocidad nominal del motor a 200 rpm.

Para el módulo 4 se utilizará el momento de inercia de masa de la papa, mientras que para los tornillos sin fin (I_{xt}) se los consideró como cilindros sólidos que se encuentran en la tabla 2.13. Tomando en cuenta que en el módulo 3, hay hasta 30 papas, el total aproximado de papas que se va a estar en el módulo 4 es de 30. Además, existen 7 cilindros sólidos de selección. El torque necesario, medido experimentalmente mediante un dinamómetro, para hacer mover una papa es $\tau_p = 4.28 [N]$, entonces, el torque generado por esta fuerza es $\tau_p = 0.38 [N.m]$, por lo tanto, el torque para mover las 30 papas es $\tau_p = 11.55 [Nm]$, considerando la papa más grande con un diámetro 12 cm. Finalmente, conociendo que los tornillos sin fin deben girar a una velocidad máxima de 100 rpm y con un factor de seguridad de 2, en la tabla 2.14, se muestra la potencia total requerida (P_{T_S}) para el módulo 4.

Tabla 2.14 Resumen para el cálculo de la potencia requerida en el módulo 4

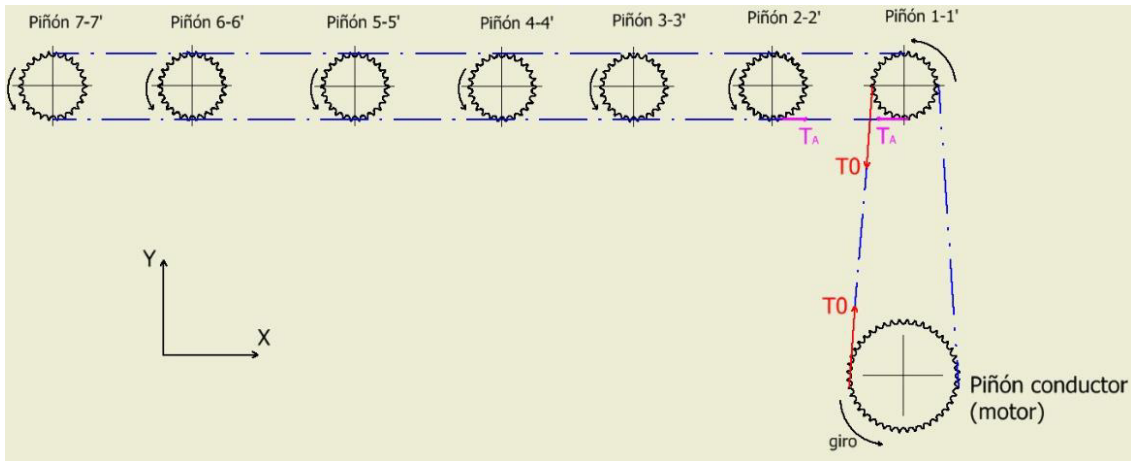
| Aceleración angular de los tornillos de selección $\left[\frac{rad}{s^2}\right]$ | Torque necesario [Nm] | Potencia total, P_{T_S} [hp] |
|--|-----------------------|--------------------------------|
| 6.98 | 11.55 | 0.32 |

Fuente: (Propia)

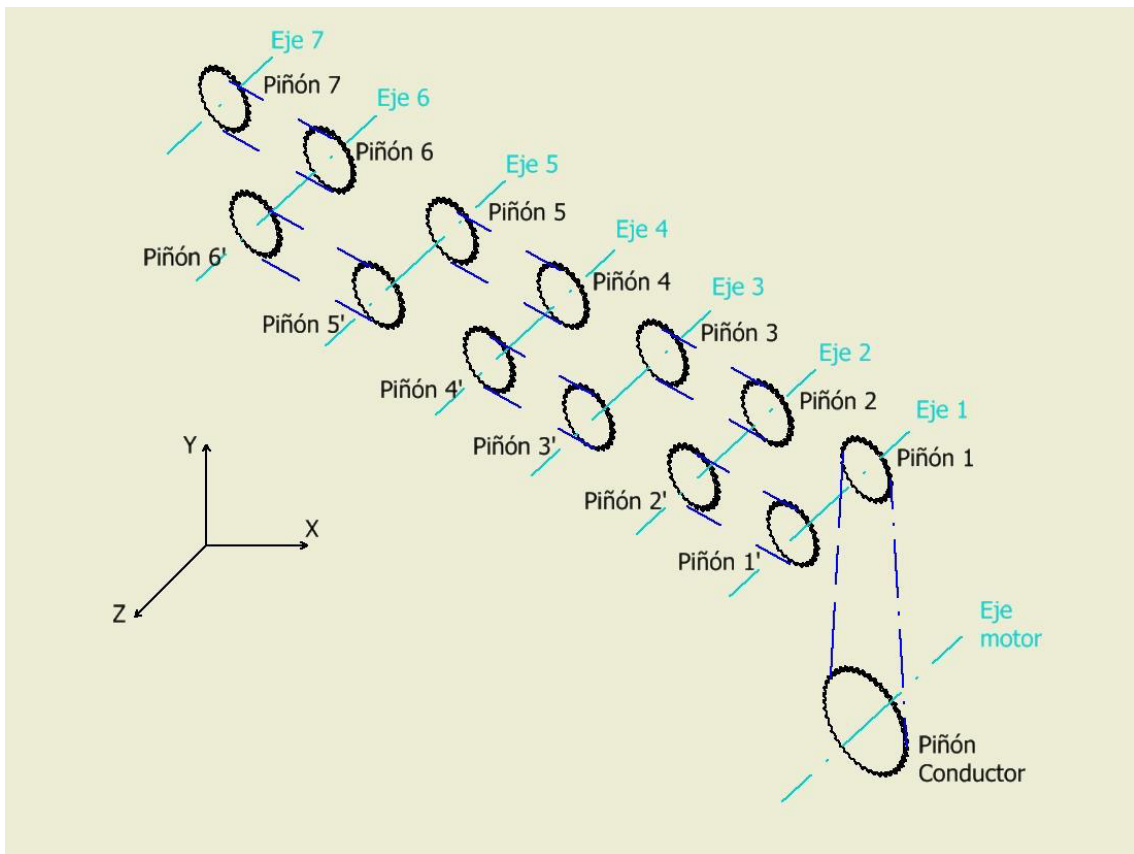
Teniendo en cuenta que en el mercado no existen motorreductores de 0.32 hp, se selecciona uno de 0.5 [hp], el cual requerirá de un reductor de velocidad para reducir la velocidad nominal del motor a 80 rpm.

2.3.3. Cálculo del sistema de transmisión (cadena-piñón)

La determinación del sistema de transmisión se la realizará en dos en dos partes, el sistema de transmisión para el lavado y para la selección, en la figura 2.23 (a) se muestra la distribución del sistema de transmisión en 2D, mientras que la figura 2.23 (b) muestra el sistema en 3D. Este arreglo es el mismo tanto para el lavado como para la selección



(a)



(b)

Figura 2.23 Esquema de la distribución de transmisión de movimiento (a) en 2D, (b) en 3D
Fuente: (Propia)

2.3.3.1. Sistema de transmisión para el lavado

Como primer paso se determina el factor de servicio mediante la tabla VII.1 del anexo VII en donde, se tiene que para un motor eléctrico usado en máquinas de todo tipo de carga uniforme no reversible es $c_1 = 1.0$.

El siguiente paso es calcular la potencia de diseño utilizando el factor de servicio hallado y la potencia calculada para el motor eléctrico ($P = 2$ [hp]), del siguiente modo, usando a fórmula 1-21.

$$P_d = 2 \text{ [hp]} * 1.0$$

$$P_d = 2 \text{ [hp]}$$

Una vez encontrada la potencia de servicio se utiliza este nuevo dato junto con el rango de velocidad en rpm requerida para encontrar el tipo de cadena a usarse mediante la tabla hallada en el catálogo y ubicada en el anexo II. El modelo de cadena adecuado a estas características es la ANSI 40 con un paso de 12.7 mm.

En la tabla III.1 del anexo III se puede encontrar el número de dientes conociendo la potencia de diseño y la velocidad en rpm. El número de dientes requerido en el piñón conductor es de $N = 22$. Mientras que en la tabla III.2 del anexo III, se detallan las dimensiones como el diámetro exterior (96 mm) y el diámetro de paso (89.24 mm).

Conociendo que la velocidad del motor – reductor – variador es de 245 rpm, la velocidad requerida por los ejes es de 200 rpm y que el número de dientes del piñón conductor es de 22, entonces el número de dientes del piñón conducido es de 18 (diámetro exterior 80 mm y diámetro de paso 73.14 mm, en la tabla III.2 del anexo III).

Como último punto es necesario calcular la longitud de la cadena considerando que la longitud entre centros es de $C = 380$ mm. Se utiliza la ecuación 1-10.

$$L = 2 * 38.0 + \frac{18 + 22}{2} + \frac{((22 - 18)/6.28)^2}{38.0}$$

$$L = 97 \text{ pasos}$$

$$L = 97 \text{ pasos} * 12.5 \text{ mm} = 1212.5 \text{ [mm]}$$

2.3.3.2. Sistema de transmisión para la selección de papas

Conociendo que la velocidad del motor – reductor de 0.5 hp es de 124 rpm, la velocidad requerida por los ejes es de 80 rpm y que el número de dientes del piñón conductor es de 17 mediante la tabla III.1 del anexo III (diámetro exterior 76 mm y diámetro de paso 69.12 mm, en la tabla III.2 del anexo III), entonces el número de dientes del piñón conducido es de 11 (diámetro exterior 51 mm y diámetro de paso 45.08 mm, en la tabla III.2 del anexo III).

En la tabla 2.15 se muestran las características y dimensiones necesarias para dar el movimiento requerido en este módulo.

Tabla 2.15 Características y dimensiones del sistema de transmisión de los piñones conducidos para el módulo 4.

| Modelo de la cadena | Número de dientes piñón conductor | Distancia entre centros [mm] |
|---------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| ANSI 40 | 17 | 285 |
| Paso [mm – in] | Número de dientes piñón conducido | Longitud [mm] |
| 12.5 – 0.5 | 11 | 887.5 |

Fuente: Propia

2.3.4. Cálculo de los ejes de lavado

En la figura 2.24 se observa la disposición de la papa con respecto a los cepillos, misma que se utilizó para determinar las reacciones producidas por el peso y las fuerzas de fricción que se muestran en el diagrama de cuerpo libre de la figura 2.25. Una vez encontradas las fuerzas de fricción estas se transmiten a los cepillos como se indica en la figura 2.26.

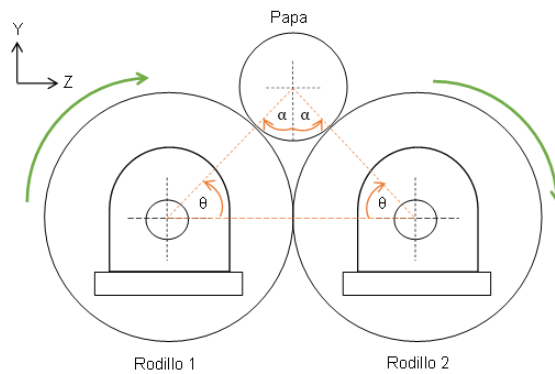


Figura 2.24 Disposición de la papa respecto a los cepillos
Fuente: (Propia)

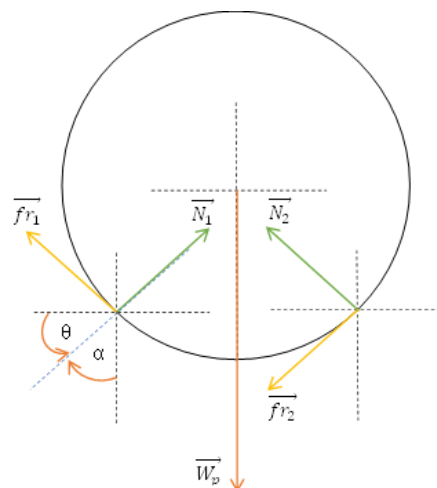


Figura 2.25 Análisis de fuerzas sobre la papa
Fuente: (Propia)

$$\sum F_N = 0$$

$$\overline{W}_p * \cos \alpha - \overline{N}_1 = 0$$

$$\overline{N}_1 = 9.81 * \cos 48.6^\circ$$

$$\overline{N}_1 = \overline{N}_2 = 6.48 [N]$$

$$\overline{f}r_1 = \mu_c * \overline{N}_1$$

$$\overline{f}r_1 = 0.39 * 6.48 [N]$$

$$\overline{f}r_1 = \overline{f}r_2 = 4.34 [N]$$

En donde:

$\overline{f}r_1$ Fuerza de fricción producida entre la papa y el rodillo 1, 4.34 [N]

$\overline{f}r_2$ Fuerza de fricción producida entre la papa y el rodillo 2, 4.34 [N]

\overline{N}_1 Fuerza normal de contacto entre la papa y el rodillo 1, 6.48 [N]

\overline{N}_2 Fuerza normal de contacto entre la papa y el rodillo 2, 6.48 [N]

\overline{W}_p Peso de la papa, 9.81 [N], tomando como referencia la masa de la papa más grande.

Θ Ángulo del eje normal respecto al eje Z, 41.4°

α Ángulo del eje normal respecto al eje Y, 48.6°

μ_c Coeficiente de fricción dinámico para papa – nylon, tabla 1.3

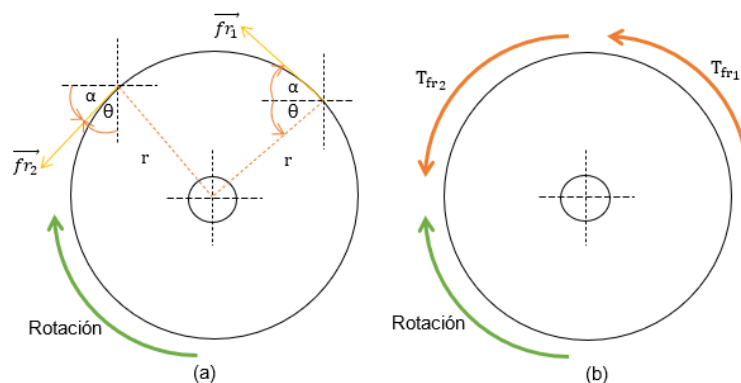


Figura 2.26 Fuerzas resultantes sobre el cepillo a) Fuerzas de reacción. b) pares de torsión sobre los cepillos

Fuente: (Propia)

$$T_{fr_1} = \overline{f}r_1 * r$$

$$T_{fr_1} = 4.34 [N] * 0.085 [m]$$

$$T_{fr_1} = T_{fr_2} = 0.3689 [N.m]$$

En donde:

r Radio de los cepillos

T_{fr1} Momento torsor producido por la fuerza de rodadura de la papa respecto al rodillo a, 0.3689 [N.m]

T_{fr2} Momento torsor producido por la fuerza de rodadura de la papa respecto al rodillo b, 0.3689 [N.m]

2.3.4.1. Reacciones en el eje motor

En la determinación del eje motor se consideraron las fuerzas a la que estos se encuentran sometidos a condiciones de fatiga. Se ha determinado de la longitud total del eje es de 200 mm para el eje motor, como en la figura 2.27.

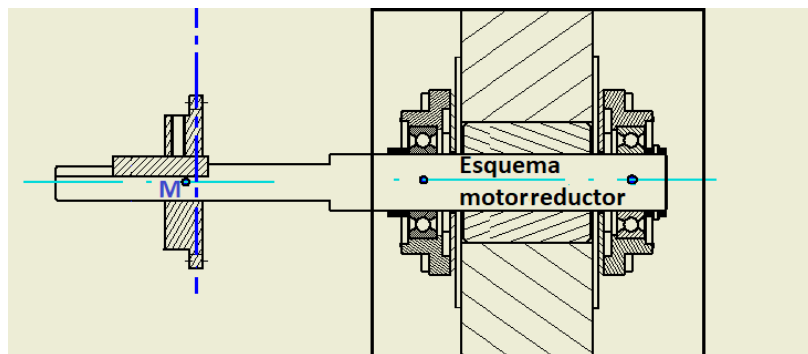


Figura 2.27 Esquema de eje motor
Fuente: (Propia)

El diagrama de cuerpo libre para el eje motor se muestra en la figura 2.28.

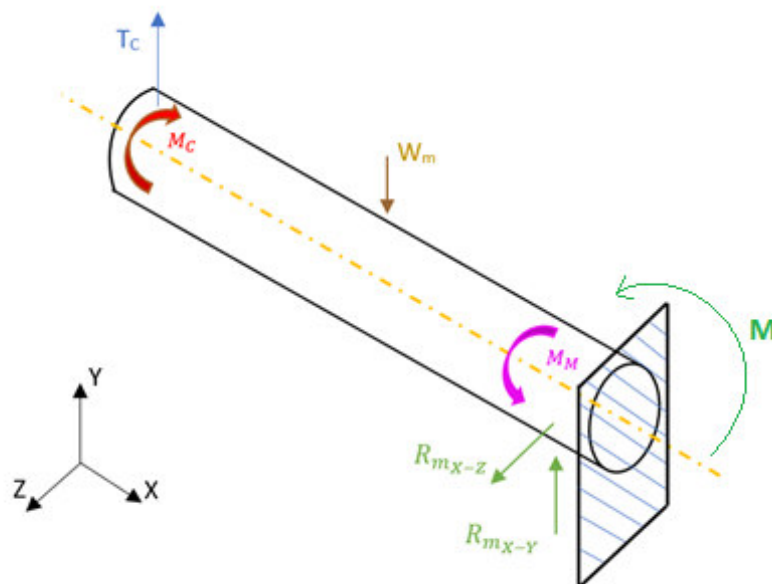


Figura 2.28 Diagrama de cuerpo libre del eje motor
Fuente: (Propia)

En donde:

T_C Tensión de la cadena conductora (ver figura 2.23 (a)), N

$R_{m\ x-y}$ Reacción en el empotramiento, en el plano X-Y, N

$R_{m\ x-z}$ Reacción en el empotramiento, en el plano X-Z, N

W_m Peso del eje motor, 4.45 N

M_m Momento torsor producido por el motor, 11.39 Nm

M_C Momento torsor de la cadena conductora, 11.39 Nm

M Momento en C, Nm

Conociendo que la potencia y la velocidad que entrega el motor reductor es de 1.72 hp y 245 rpm respectivamente, se obtiene que $M_M = M_C = 11.39$ [Nm] (utilizando la ecuación 2-4) y, conociendo el diámetro de la catalina (96 mm, encontrado en el punto 2.3.3.), se obtiene que $T_C = 913.75$ [N].

Al determinar las cargas que intervienen en el eje motor, se calculan las reacciones y se procede a realizar el diagrama de esfuerzo cortante, momento flector y momento torsor, considerando el peso del eje (W_m) despreciable en comparación con la fuerza provocada por la cadena conductora (T_C) (ver tabla 2.15).

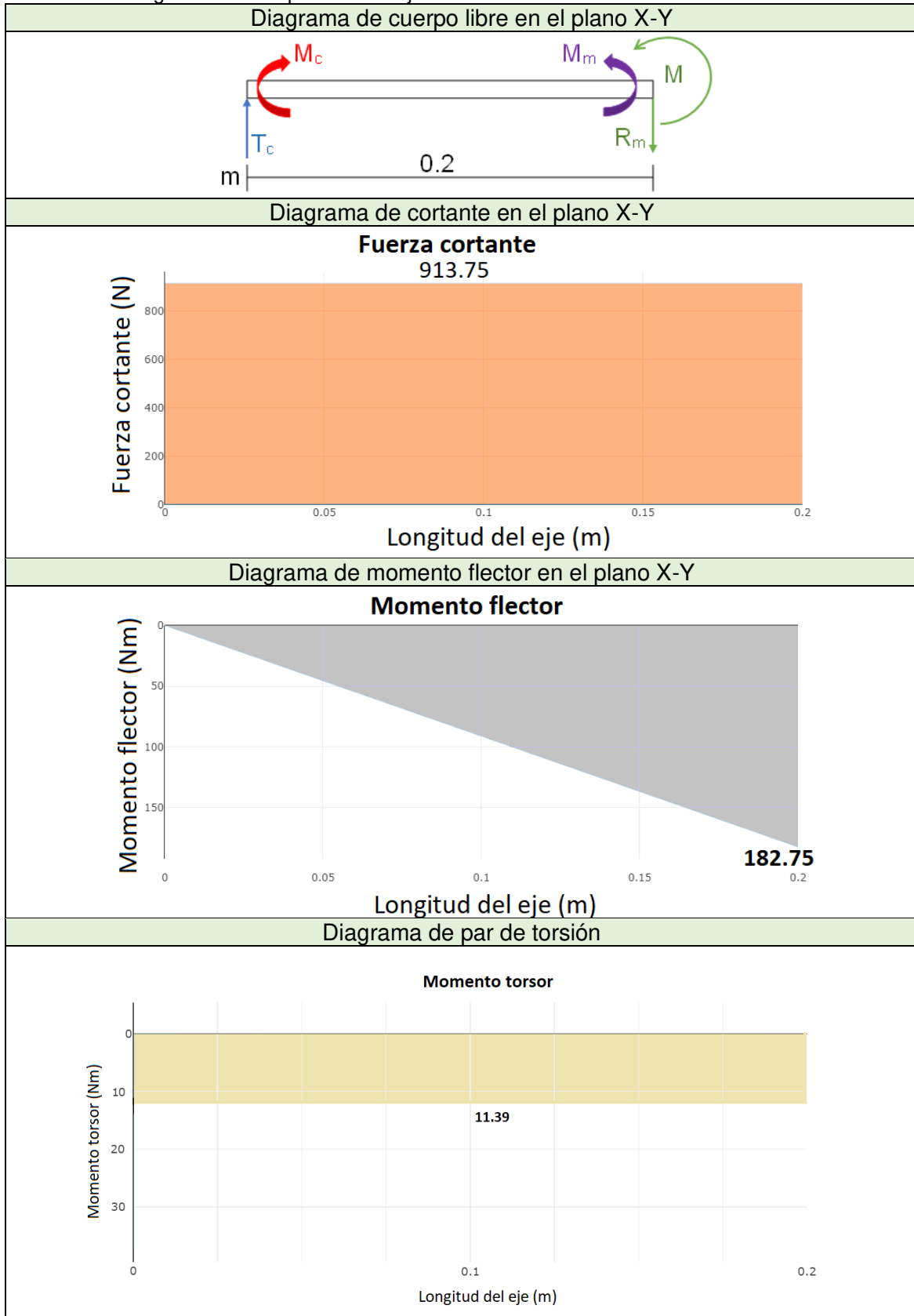
Para el plano x-y las reacciones son:

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{m\ x-y} = T_C$$
$$R_{m\ x-y} = 913.75 [N]$$

$$\sum M = 0 \rightarrow M = T_C * \overline{CM}$$
$$M = 913.75 * 0.2$$
$$M = 182.75 [Nm]$$

En la tabla 2.16, se muestran las fuerzas a la cual se encuentra sometido el eje motor, las reacciones generadas por los apoyos y el torque que provocan las cadenas.

Tabla 2.16 Diagrama de cuerpo libre del eje motor



Fuente: (Propia)

2.3.4.2. Reacciones en el eje 1 de lavado

Para el eje 1 (ver figura 2.17) se ha determinado una longitud total del eje de 800 mm, su esquema se observa en la figura 2.29.

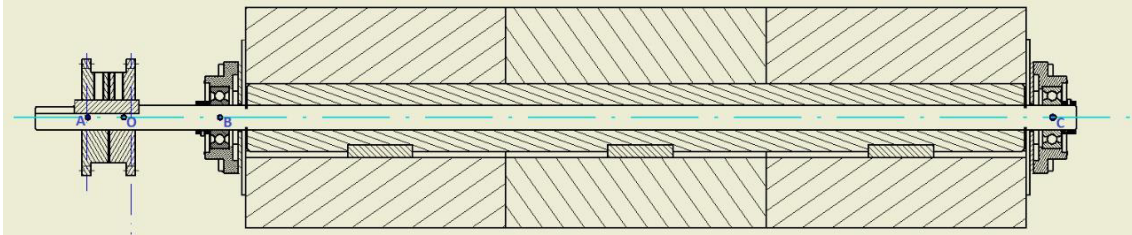


Figura 2.29 Esquema del eje de lavado montado
Fuente: (Propia)

El diagrama de cuerpo libre para el eje se muestra en la figura 2.30.

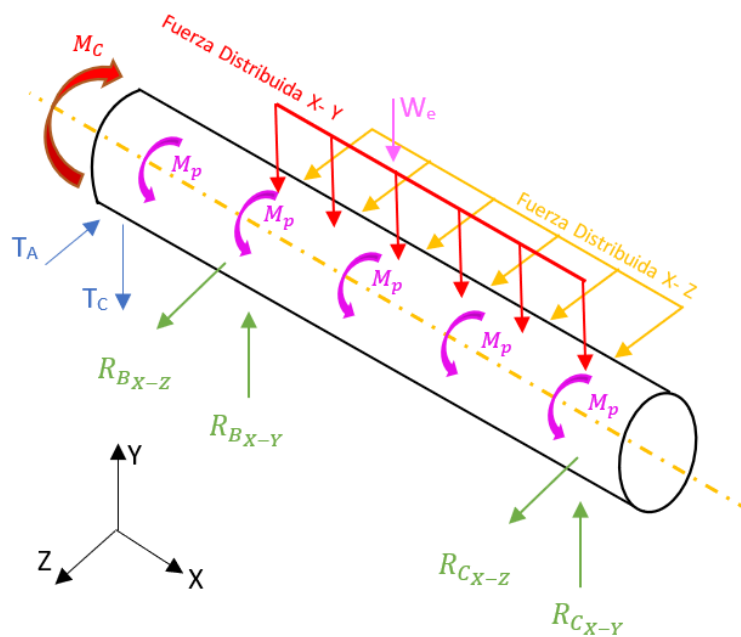


Figura 2.30 Diagrama de cuerpo libre del eje 1
Fuente: (Propia)

En donde:

$R_{C\ x-y}$ Reacción en la chumacera A, en el plano X-Y, N

$R_{C\ x-z}$ Reacción en la chumacera A, en el plano X-Z, N

$R_{B\ x-y}$ Reacción en la chumacera B, en el plano X-Y, N

$R_{B\ x-z}$ Reacción en la chumacera B, en el plano X-Z, N

W_e Peso del eje, 22.25 N

M_p Momento torsor provocado por la oposición de cada papa entre rodillos, 1.44 Nm

T_A Tensión de la cadena conducida, 317 N

M_C Momento torsor producido por la cadena, 8,68 Nm

Conociendo T_C y el diámetro del piñón conducido (80 mm, determinado en el punto 2.3.3.) se encuentra que $T_A = 317$ [N].

Una vez determinadas las cargas que intervienen en el eje, se calculan las reacciones y se procede a realizar el diagrama de esfuerzo cortante, momento flector y momento torsor (ver tabla 2.17).

Para el plano x-y las reacciones son:

$$\begin{aligned}\sum F_y = 0 &\rightarrow T_C + W_e + W_2 = R_{B_{x-y}} + R_{C_{x-y}} \\ 913.75 + 22.25 + 90.56 &= R_{B_{x-y}} + R_{C_{x-y}} \quad (1)\end{aligned}$$

En donde:

W_2 Fuerza puntual resultante de la fuerza distribuida, 90.56 [N] que es el producto de la fuerza distribuida (150.49 [N/m]) por la distancia (0.6 [m]).

$$\begin{aligned}\sum M_B = 0 &\rightarrow W_1 * \left(\frac{\overline{AC}}{2} - \overline{AB}\right) + W_2 * \frac{\overline{BC}}{2} = T_C * \overline{OB} + R_{C_{x-y}} * \overline{BC} \\ 22.25 * \left(\frac{0.8}{2} - 0.15\right) + 90.56 * \frac{0.6}{2} - 913.75 * 0.1 &= R_{C_{x-y}} * 0.6 \\ R_{C_{x-y}} &= -97.74 \text{ [N]}\end{aligned}$$

Reemplazando $R_{C_{x-y}}$ en (1),

$$R_{B_{x-y}} = 1124.3 \text{ [N]}$$

Para el plano x-z, las reacciones son:

$$\begin{aligned}\sum F_y = 0 &\rightarrow W_3 = R_{B_{x-z}} + R_{C_{x-z}} + T_A \\ -317 + 24.35 &= R_{B_{x-z}} + R_{C_{x-z}} \quad (2)\end{aligned}$$

En donde:

W_3 Fuerza puntual resultante de la fuerza distribuida, 24.35 [N] que es el producto de la fuerza distribuida (40.58 [N/m]) por la distancia (0.6 [m]).

$$\sum M_0 = 0 \rightarrow T_A * \overline{AB} + W_3 * \frac{\overline{BC}}{2} = R_{C_{x-z}} * \overline{BC}$$

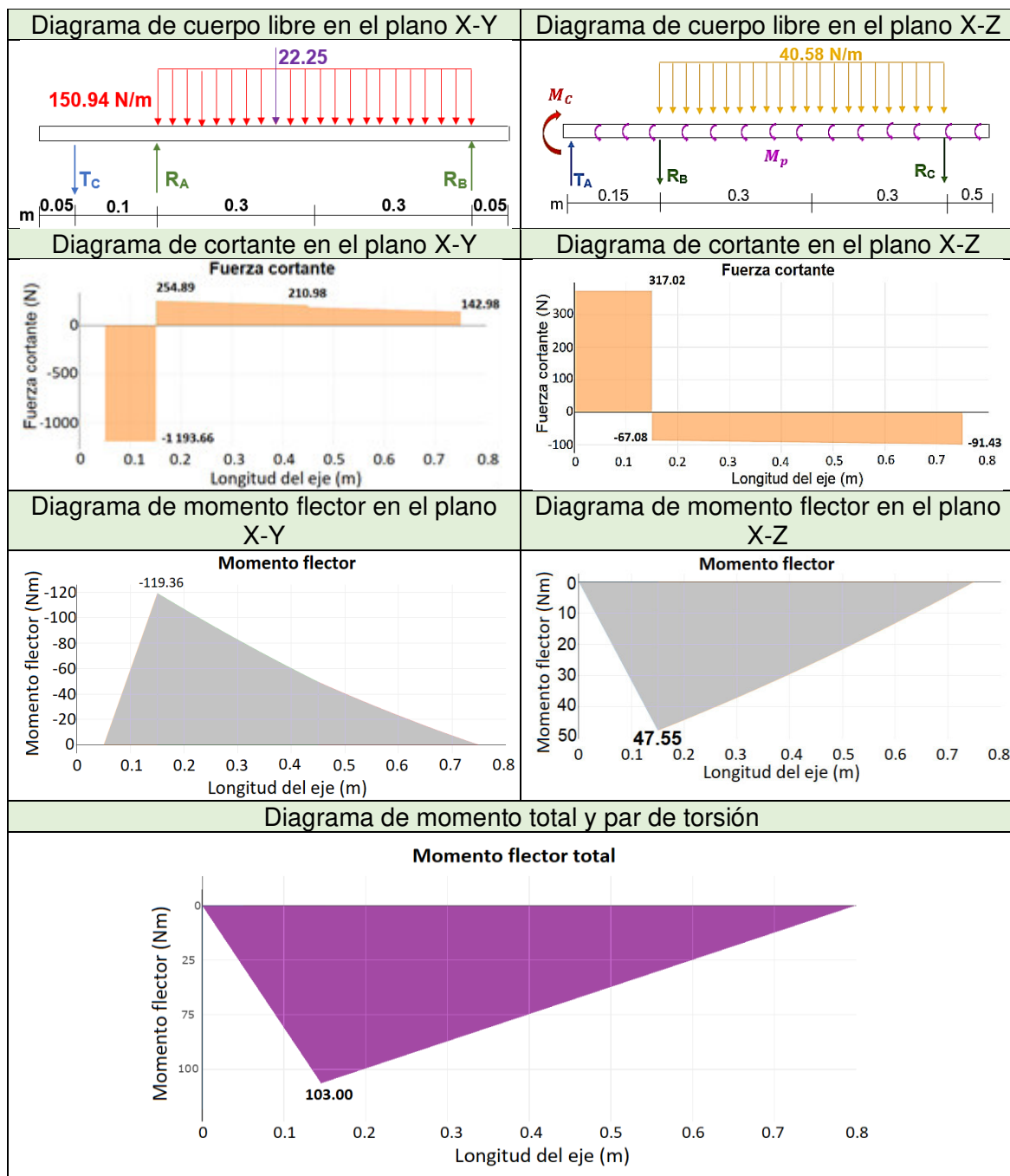
$$317 * 0.15 + 24.35 * \frac{0.6}{2} = R_{C_{x-z}} * 0.6$$

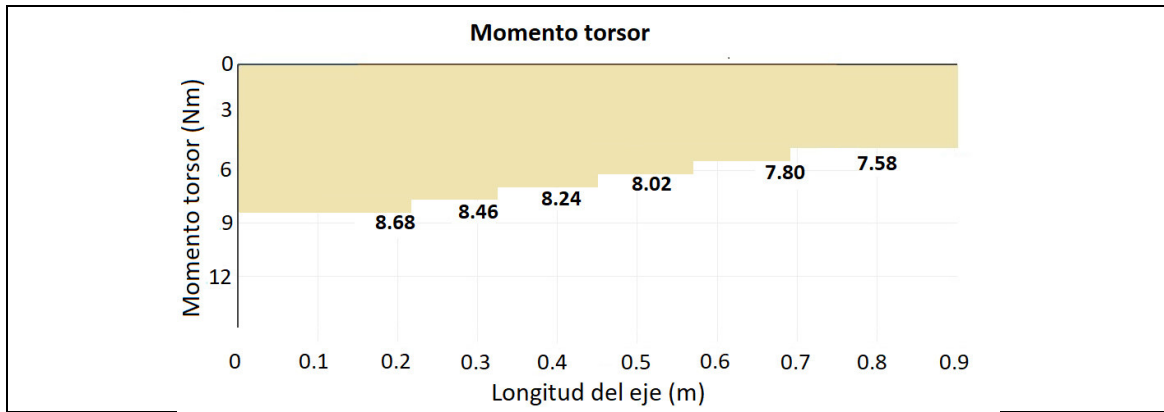
$$R_{C_{x-z}} = 91.43 \text{ [N]}$$

Reemplazando $R_{C_{x-z}}$ en (2),

$$R_{B_{x-y}} = -384.1 \text{ [N]}$$

Tabla 2.17 Diagrama de cuerpo libre del eje 1 de lavado con carga (ver figura 2.29)





Fuente: (Propia)

2.3.4.3. Reacciones en los ejes 2 al 7

Para identificar los ejes 2 – 7 (ver la figura 2.17), mientras que el esquema de estos ejes se encuentra en la figura 2.29. El diagrama de cuerpo libre para estos ejes se muestra en la figura 2.31.

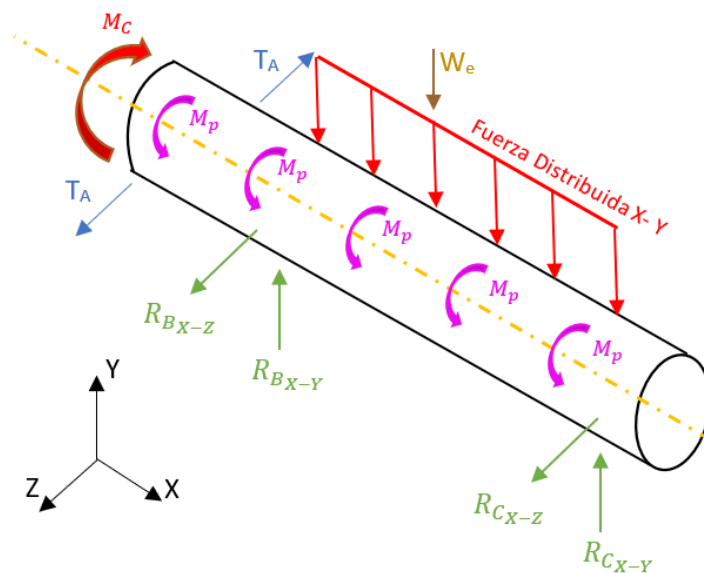


Figura 2.31 Diagrama de cuerpo libre de los ejes del 2 al 7
Fuente: (Propia)

En donde:

$R_{C_{x-y}}$ Reacción en la chumacera A, en el plano X-Y, -54.55 [N]

$R_{C_{x-z}}$ Reacción en la chumacera A, en el plano X-Z, - 26.42 [N]

$R_{B_{x-y}}$ Reacción en la chumacera B, en el plano X-Y, 57.88 [N]

$R_{B_{x-z}}$ Reacción en la chumacera B, en el plano X-Z, 26.42 [N]

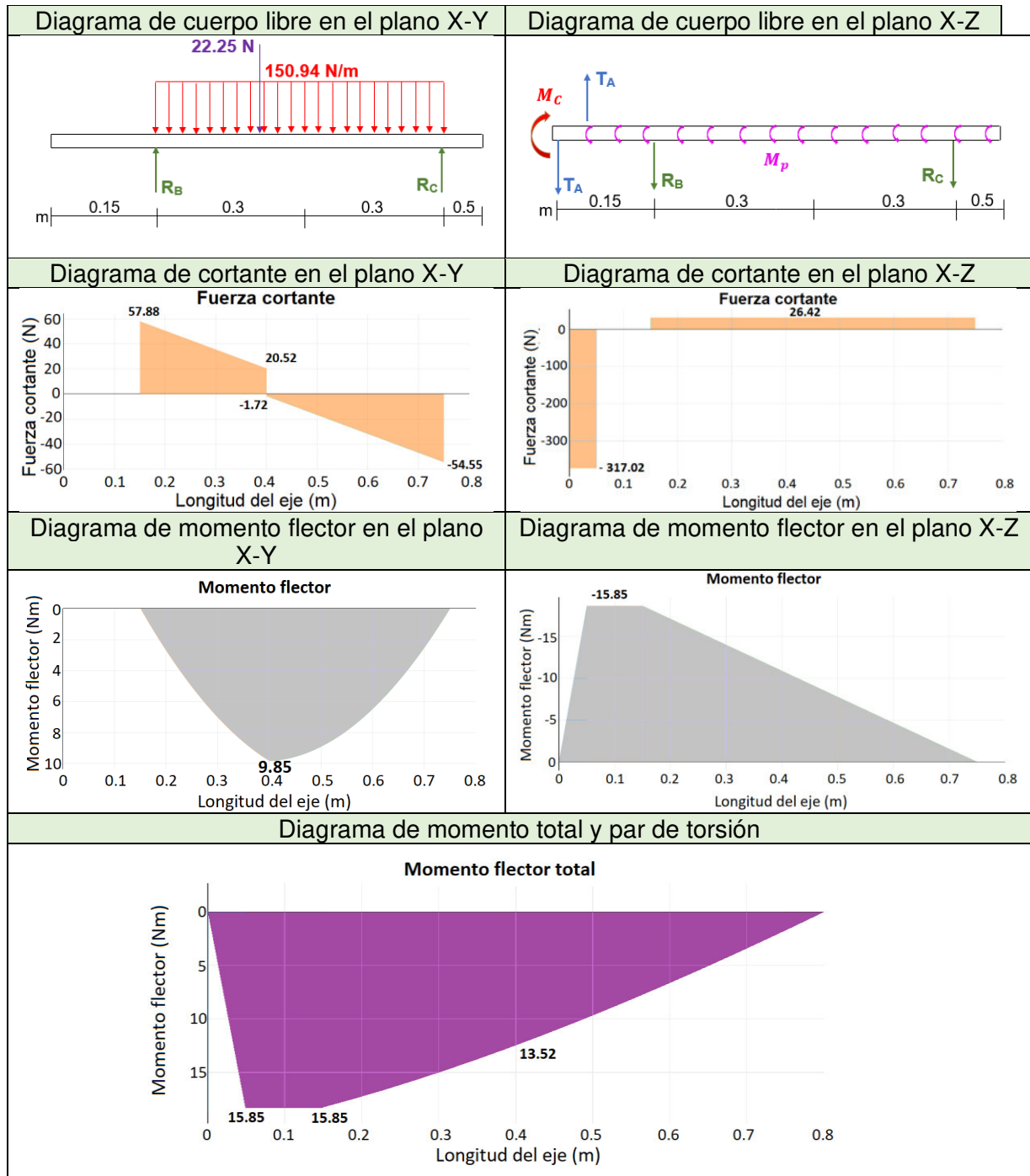
W_e Peso del eje, 22.25 [N]

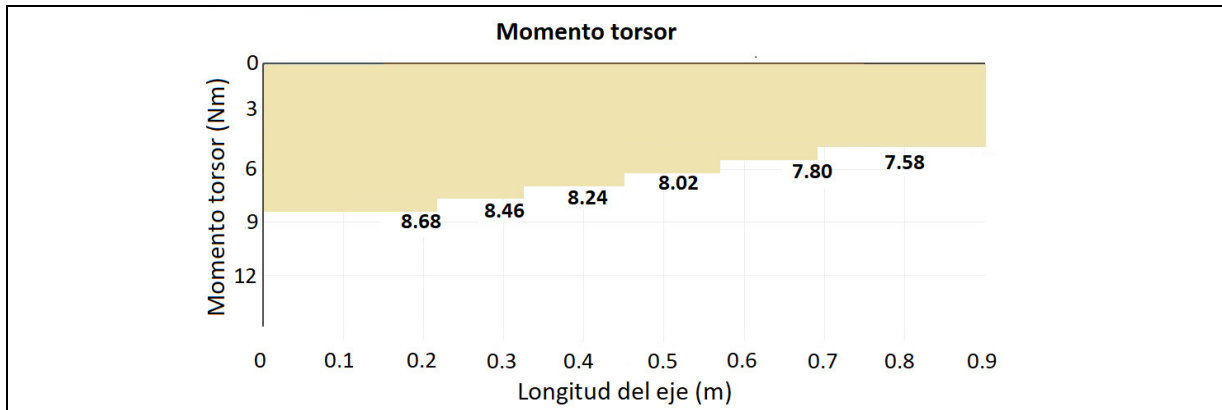
T_A Tensión de la cadena conducida, 317 [N]

M_p Momento torsor provocado por la oposición de cada papa entre rodillos, 0.22 [Nm]

En la tabla 2.18, se muestra las fuerzas a la cual cada eje se encuentra sometido, la fuerza distribuida que generan los cepillos y las papas, además de las reacciones generadas por los apoyos y el torque que provocan las cadenas.

Tabla 2.18 Diagrama de cuerpo libre del 2 al 7 eje de lavado con carga





Fuente: (Propia)

Punto crítico: Se encuentra en el tramo 0-B (ver figura 2.29) que es en donde se encuentra el máximo momento. Para los ejes, el punto crítico se encuentra en la sección B (ver figura 2.29 y las figuras en las tablas 2.17 y 2.18), considerando que es ahí en donde existe el mayor momento flector y que, existen concentradores de esfuerzo provocados por las chavetas existentes en este tramo.

Para el cálculo de deflexión por torsión de los ejes de lavado se recurre las figuras en las tablas 2.17 y 2.18, en donde se observa el diagrama de cuerpo libre, y el momento torsor, por lo tanto, considerando el módulo de rigidez para el acero es de 85 [GPa] y el momento polar de inercia de área, la deflexión es igual a $\theta = 0.009^\circ$.

Finamente, se considera el primer modo de vibración, debido a que es el más crítico ya que se trabaja a bajas revoluciones, entonces, a la velocidad a la que el eje no debe trabajar es, $W_n = 107.83 [rpm]$, siendo W_n la frecuencia natural de los ejes con los cepillos montados y las papas sobre ellos.

Se ha considerado un eje de acero inoxidable 304 de alta transmisión, el cual tiene buenas propiedades anticorrosivas. Tiene una resistencia última a tracción S_{ut} de 860 [MPa] y un esfuerzo de fluencia S_y de 655 [MPa].

Para calcular un diámetro preliminar del eje se debe calcular el factor de superficie, utilizando la ecuación 1-8 y los factores se los determina utilizando la tabla 1.8 (considerando un eje maquinado el factor a es 4.51 y b es -0.265), el resto de los factores de concentración de esfuerzo de asume como 1.

$$k_a = 4.51 * 860^{-0.265}$$

$$k_a = 0.75$$

Entonces, por medio de la ecuación 1-4 se calcula el límite de resistencia a la fatiga ($S'_e = 430$ [MPa]), conociendo estos datos se utiliza la ecuación 1.7 para determinar el límite de resistencia a la fatiga corregido.

$$S_e = 0.75 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 430 \text{ [MPa]}$$

$$S_e = 323.6 \text{ [MPa]}$$

A partir de este punto se realizó la primera estimación del diámetro del eje mediante la ecuación 1-7 considerando un factor de seguridad de 1.20.

$$D_t = \sqrt[3]{\frac{16 * 1.5}{\pi} \left(\frac{2 * 1 * 103}{323.6 * 10^6} + \frac{\sqrt{3 * (1 * 8.68)^2}}{655 * 10^6} \right)}$$

$$D_t = 0.017 \text{ [m]} \approx 17 \text{ [mm]}$$

Al tener ya el diámetro tentativo del eje se procede a cálculos los factores de Marin que se habían asumido inicialmente. Entonces utilizando la ecuación 1-9 se encuentra el factor de tamaño.

$$k_b = \left(\frac{17}{7.62} \right)^{-0.107}$$

$$k_b = 0.92$$

Ya que el eje se encuentra sometido a una carga de flexión rotatoria, por lo tanto, el factor de modificación de la carga k_c es igual a 1, igual que el factor de modificación de la temperatura k_d . Utilizando la tabla 1.9 con una confiabilidad del 99%, se obtiene el factor de confiabilidad k_e de 0.814. Por último, para la determinación del factor de modificación por efectos varios k_f , se ha considerado un valor de 1 ya que la máquina va a estar en condiciones óptimas de trabajo, además, los materiales son anticorrosivos. Encontrados los factores de Marin, se vuelve a calcular la resistencia corregida con la ecuación 1-7.

$$S_e = 0.75 * 0.92 * 1 * 1 * 0.814 * 1 * 430 \text{ [MPa]}$$

$$S_e = 241.51 \text{ [MPa]}$$

Mediante las ecuaciones 1-11 y 1-12 se encuentran los concentradores de esfuerzos debido a las chavetas, los cuales son:

$$K_f = 1 + 0.82 * (2.14 - 1) \rightarrow K_f = 1.93$$

$$K_{fs} = 1 + 0.88 * (3 - 1) \rightarrow K_{fs} = 2.76$$

Una vez que todos los factores han sido calculados se procede a calcular el diámetro definitivo del eje utilizando la ecuación 1-20, con un factor de seguridad de 1.5.

$$D_t = \sqrt[3]{\frac{16 * 1.5}{\pi} \left(\frac{2 * 1.93 * 103}{241.51 * 10^6} + \frac{\sqrt{3 * (2.76 * 8.68)^2}}{655 * 10^6} \right)}$$

$$D_t = 0.01857 [m] \approx 19 [mm]$$

El análisis del eje motor se encuentra en la tabla 2.19 considerando un acero inoxidable de alta transmisión (ver anexo IX).

Tabla 2.19 Dimensionamiento del eje motor

| | | | |
|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Longitud [m] | S'_e [MPa] | S_e [MPa] | k_a |
| 0.2 | 430 | 233.64 | 0.75 |
| k_b | k_c | k_d | k_e |
| 0.89 | 1 | 1 | 0.814 |
| k_f | M_a [Nm] | T_m [Nm] | d [mm] |
| 1 | 182.75 | 11.39 | 19 |
| K_f | K_{f_s} | n_s | D_t [mm] |
| 1.72 | 1.33 | 1.5 | 28 |

Fuente: (Propia)

2.3.5. Selección de chavetas

La chaveta, que se utiliza frecuentemente para transmitir movimiento en elementos rotativos de hasta 6 pulgadas de diámetro, es una cuadrada (Rodamientos Vigo, 2008). Se debe comprobar previamente la resistencia de fluencia en los materiales utilizados en los elementos montados en el eje que tienen contacto con la chaveta, para evitar que fallen los elementos (cepillo cilíndrico y eje).

Considerando los elementos conectados, cepillo cilíndrico (duralón, $S_y = 77.25 [MPa]$) (Velásquez, 2018), eje (AISI 304, $S_y = 655 [MPa]$) y chaveta cuadrada de 6x6 mm (AISI 316, $S_y = 590 [MPa]$, $w = 6 mm$) y un par torsor igual a $M_c = 8.68 [Nm]$ (revisar sección 2.3.4.1.). Se concluye que el elemento de menor resistencia a la fluencia es el cepillo cilíndrico, por lo tanto, se calcula la longitud mínima de la chaveta para evitar la falla por transmisión de movimiento del eje al cepillo, por medio de la ecuación 2-6 (Mott, 2006), utilizando un factor de seguridad $n_c = 3$.

$$L_{min} = \frac{4 * M_c * n_c}{d * w * S_y} \quad 2-6$$

$$L_{min} = \frac{4 * 8.68 [Nm] * 3}{0.019 [m] * 0.006 [m] * 655 * 10^6 [Pa]}$$

$$L_{min} = 0.00345 [m] \approx 3.45 [mm]$$

Se considera una chaveta AISI 316 de 6x6 mm con una longitud de 50 [mm] para facilidades de construcción.

2.3.6. Selección de chumaceras

Para la selección de la chumacera se tiene en consideración tres factores fundamentales de modo que se tenga un modelo acorde a los requerimientos de carga y diseño.

Como primer parámetro se tiene el diámetro mínimo calculado para el eje $D_t = 0.01857 [m] \approx 19 [mm]$. El siguiente parámetro es la distancia entre ejes $C_0 = 0.170 [m] \approx 170 [mm]$ para poder asegurar que la dimensión máxima de la chumacera encaje con el diseño, teniendo el espacio suficiente y que permita su ajuste de ser necesario. Como tercer y último parámetro a considerar, se selecciona un tipo de chumacera que mejor se acople al diseño de la máquina. Al tener perfiles tipo vigas UPN, se puede aprovechar el espacio utilizando una chumacera de pared. De este modo se seleccionó la chumacera ISO UCF-204 que tiene un diámetro para eje de 20mm (ver tabla IV.1, anexo 4). Además, tiene una capacidad de carga dinámica (C_r) de 12.8 [kN] y capacidad de carga estática (C_{or}) de 6.68 [kN] (ver tabla IV.2, anexo 4). Para el cálculo de la capacidad dinámica de carga equivalente se utiliza la ecuación 1-23, conociendo que $F_a = 0 [N]$, y que:

$$F_r = \sqrt{R_{B_{x-y}}^2 + R_{B_{x-z}}^2}$$

$$F_r = \sqrt{1124.3^2 + 384.1^2} = 1188.1 [N]$$

Entonces, mediante la tabla IV.2, se obtiene $X = 1$ y $Y = 0$. Por lo tanto, la carga dinámica equivalente es:

$$P_r = 1 * 1188.1 + 0 * 0$$

$$P_r = 1188.1 [N]$$

Finalmente, utilizando la ecuación 1-25 se encuentra la vida útil de la chumacera conociendo que la velocidad es de 200 rpm.

$$L_{10} = \frac{10^6}{60 * 200} \left(\frac{12800}{1188.1} \right)^3$$

$$L_{10} = 1.05 * 10^5 \text{ horas}$$

2.3.7. Cálculo de los ejes de selección

Para el módulo 4, se determinó experimentalmente que la mejor configuración de los ejes de selección debe ser alternando un cono truncado sólido y, un cono truncado sólido con una espiral de paso igual a $\frac{3}{4}$ del largo de la papa más grande, simulando un tornillo sin fin (ver figura 2.32). A partir de esta disposición se obtiene un montaje simple, con una separación variable a lo largo del eje, consiguiendo de esta manera, una selección en base al tamaño de las papas.

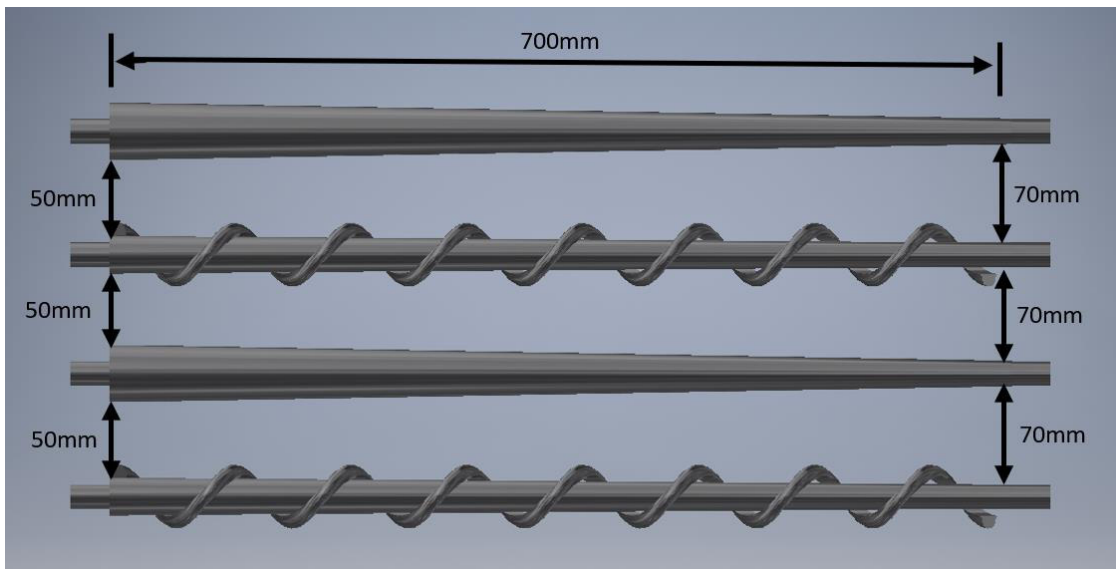


Figura 2.32 Configuración de los ejes de selección.
Fuente: (Propia)

Para el eje cónico sólido se han determinado las dimensiones que se muestran en la figura 2.33, mientras que, para el tornillo sin fin se encuentran en la figura 2.34. El material utilizado es el duralón, y la hélice es de manguera plástica para gas de 5/16" para evitar que la corteza de la papa se vea afectada.

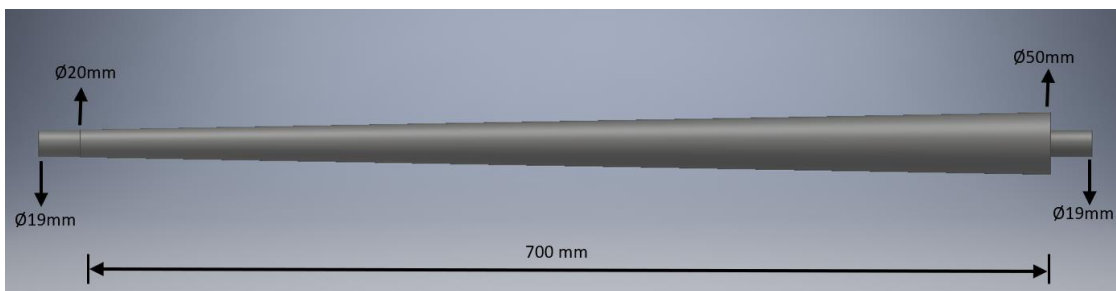


Figura 2.33 Dimensionamiento del eje cónico sólido.
Fuente: (Propia)

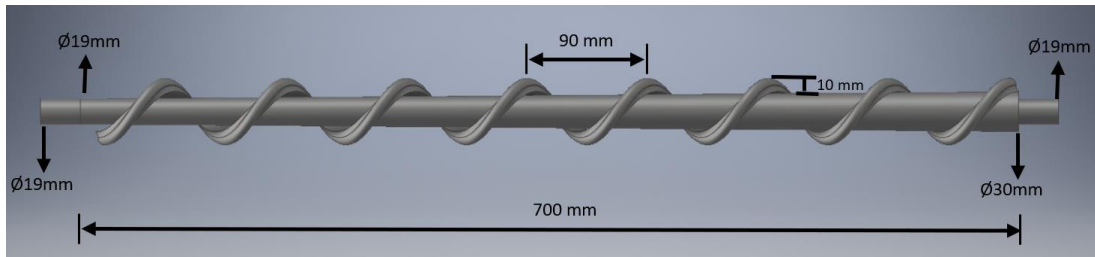


Figura 2.34 Dimensionamiento del tornillo sin fin.
Fuente: (Propia)

El peso de las papas genera un esfuerzo muy bajo (10.48 kPa) en comparación con la resistencia de fluencia del duralón (77,7 MPa, (Velásquez, 2018)), por lo tanto, la integridad de los ejes no se ve afectada.

2.3.8. Selección del sistema de irrigación

En el sistema de riego se selecciona un sistema de aspersion de agua conectado a un tanque de agua, el cual está compuesto por tuberías de PVC de 1 pulgada de diámetro, formando 6 filas y dentro de cada fila existen 3 aspersores que se encargan de distribuir el agua en toda la superficie de lavado, como se muestra en la figura 2.35.

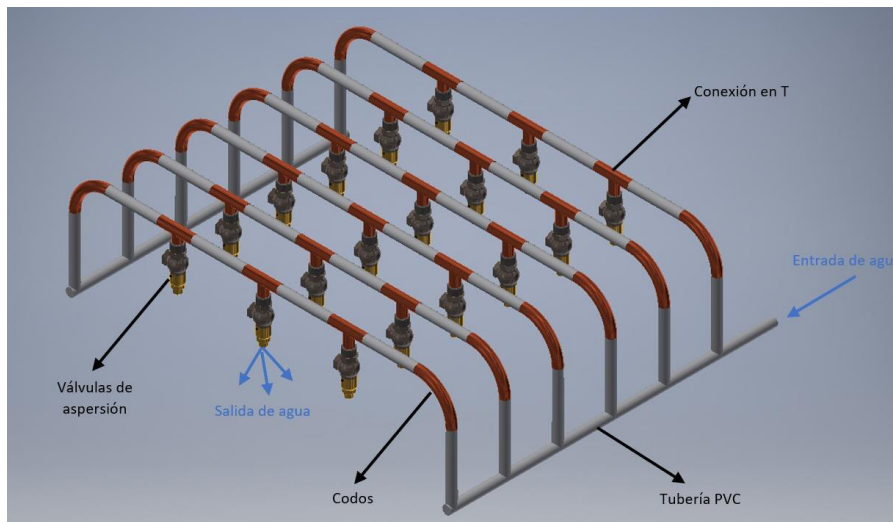


Figura 2.35 Sistema de irrigación de agua.
Fuente: (Propia)

El tipo de aspersor es VIBRONET™ SD, el cual es un micro emisor sin puente con mecanismo de vibración que rompe el chorro de agua generando gotas de tamaño uniforme evitando la acumulación de sales en la boquilla y asegura una dispersión uniforme del agua, ver anexo VI.

2.3.9. Diseño de la estructura de soporte

Para el diseño del pórtico de columnas se considera un tubo cuadrado hueco de acero ASTM A36 con dimensiones 50x50x2 mm para las columnas, mientras que, para la viga, se utiliza un perfil tipo “U” UPN 100 de acero inoxidable A304 y una carga distribuida de $q = 1226.25 \left[\frac{N}{m} \right]$. En la figura 2.36a) se muestra un esquema representando a la carga distribuida en el pórtico, mientras que la figura 2.36b) muestra el momento flector al cual se ve sometido el arreglo.

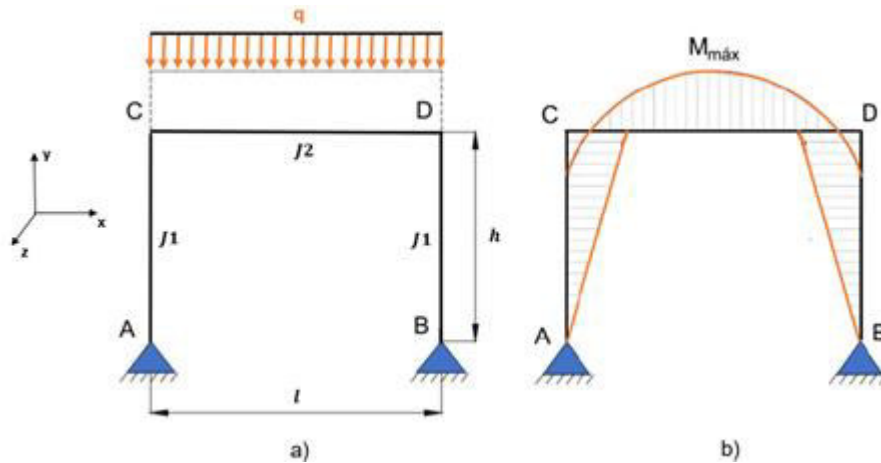


Figura 2.36 Pórtico de columnas. a) Diagrama de cuerpo libre, b) Diagrama de momentos

Fuente: (Propia)

De la figura 2.35b, se conoce que el punto crítico del arreglo se encuentra en donde está el momento flector máximo ($M_{m\acute{a}x} = 77 [Nm]$), el cual provoca un esfuerzo de flexión igual a $\sigma_f = 18.7 [MPa]$, y debido a que este esfuerzo de flexión es mucho menor al esfuerzo de fluencia del acero inoxidable AISI A304 ($S_y = 235 [MPa]$), no es necesario realizar un análisis más profundo del arreglo.

2.4. Diseño y construcción de prototipo

En la construcción de la máquina se utilizan los parámetros determinados previamente, separando la fabricación en construcción, en donde se desarrollarán todas las partes no estandarizadas, y montaje, en donde se unen los módulos que se encuentran en la figura 2.3.

2.4.1. Construcción

Los elementos por construirse son:

- Tolva
- Ejes de lavado
- Bandeja de recolección de agua
- Estructura de lavado – bastidor de lavado

- Sistema de riego
- Ejes de selección
- Bandejas de selección
- Estructura de selección – bastidor de selección
- Retenedores laterales de lavado y de selección
- Rampa de transición
- Retenedor
- Guarda

Fabricación de la tolva

La tolva de entrada sostiene las papas que ingresan a la lavadora, no necesita de requerimientos estructurales importantes, por lo tanto, para su construcción se utiliza una placa de acero inoxidable AISI A304 de 1.5 mm de espesor. Las dimensiones y el proceso de fabricación se encuentran en el plano EM: 002 - 201 del anexo IX. Los laterales plegados de la tolva son soldados a la estructura principal también plegada. Además, se sueldan 3 perfiles en “L” en la parte inferior. En la figura 2.37, se muestra la tolva de entrada.



Figura 2.37 Tolva de entrada
Fuente: (Propia)

Fabricación de ejes de lavado

Los ejes de lavado deben transmitir el movimiento a los cepillos. Estos se fabrican con acero inoxidable AISI A304, las dimensiones y el proceso de fabricación de los ejes se encuentran en el plano EM: 002 - 213 del anexo IX. Para su fabricación se tornearon los ejes hasta el diámetro calculado, se fresaron los espacios destinados como chaveteros, se fabricaron las chavetas mediante cortado con amoladora y se los desbastó hasta las dimensiones correctas mediante rectificado. Para los bocines de duralón, se torneó cada uno hasta obtener el diámetro interior y exterior adecuado, para luego proceder a fabricar el espacio del chavetero interior y los chaveteros exteriores que servirán de conexión con el cuerpo del cepillo. Los ejes se muestran en la figura 2.38.



Figura 2.38 Ejes de lavado
Fuente: (Propia)

Fabricación de la bandeja de recolección de agua

La bandeja de recolección de agua recoge el agua que cae hacia los cepillos, no necesita de requerimientos estructurales importantes, por lo tanto, para su construcción se utiliza una placa de acero inoxidable AISI A304 de 1.5 mm de espesor. Las dimensiones y el proceso de fabricación se encuentran en el plano EM: 002 - 206 del anexo IX. La estructura principal es cortada, plegada y se sueldan a los costados dos placas, en los bordes de la estructura principal se realizan 4 agujeros mediante taladro. En la figura 2.39, se muestra la bandeja de recolección.



Figura 2.39 Ejes de la bandeja de recolección de agua
Fuente: (Propia)

Fabricación de la estructura de lavado – bastidor de lavado

La estructura de lavado sostiene los ejes, cepillos, sistema de riego y motor, necesita de requerimientos estructurales importantes, por lo tanto, para su construcción se utiliza una placa de acero inoxidable AISI A304 de 3 mm de espesor. Para el bastidor se utiliza un perfil cuadrado de 40x40x1.5 mm. Las dimensiones de la estructura se encuentran en los planos EM: 002 – 207, 208, 209, 210 del anexo IX; mientras que las del bastidor se encuentran en el plano EM: 002 - 211 del anexo IX. Se corta el perfil cuadrado en base a las dimensiones y posteriormente se sueldan; para anclar a la estructura de los cepillos, se suelda una placa con un orificio para su conexión mediante perno; mientras que, para la estructura de soporte de los cepillos, se cortan láminas, se pliegan sus extremos a 90° para simular perfiles en U y se taladran los

agujeros para el paso de los ejes, anclaje de la chumacera y conexión mediante pernos al resto de la estructura. En la figura 2.40, se muestra la estructura de soporte a) y el bastidor b).



Figura 2.40 Estructura a) de soporte, b) bastidor
Fuente: (Propia)

Fabricación del sistema de riego

El sistema de riego suministra el agua a los cepillos. Para esto, se utiliza tubería de agua de $\frac{1}{2}$ de pulgada, codos de $\frac{1}{2}$ pulgada, T de $\frac{1}{2}$ pulgada, boquilla aspersor de $\frac{3}{4}$ de pulgada, bushing de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ de pulgada, uniones $\frac{1}{2}$ pulgada. Las dimensiones de la estructura de soporte para el sistema de riego se encuentran en el plano EM: 002 – 204, del anexo IX. Se cortan con sierra los neopresos a medida y se roscan los extremos con una tarraja, para de este modo poder conectar los elementos normalizados como tee, codos, y aspersores. En la figura 2.41, se muestra el sistema de irrigación.



Figura 2.41 Estructura de riego.
Fuente: (Propia)

Fabricación de los ejes de selección

Los ejes de lavado deben hacer mover las papas. Estos se fabrican con un cilindro de nylon, las dimensiones para los ejes cónicos con y sin espiral se encuentran en el plano EM: 003 – 315, 316 del anexo X. Para su fabricación se torneá el eje de acero inoxidable hasta el diámetro necesario, luego se fabrican los espacios de chaveteros mediante fresado. El duralón se torneá a un diámetro constante en el interior y se torneá la superficie cónica en el exterior. Se trabaja el espacio del chavetero y se

fabrican las chavetas mediante corte y rectificado. En la figura 2.42, se muestra un eje de selección en su proceso de fabricación

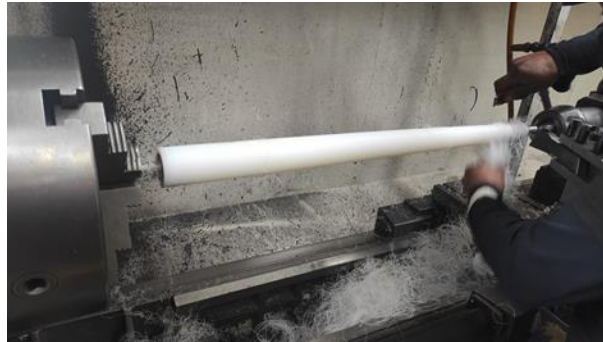


Figura 2.42 Eje de selección
Fuente: (Propia)

Fabricación de las bandejas de selección

Las bandejas de recolección de papas dirigen los tubérculos hacia las canastas de recolección, no necesita de requerimientos estructurales importantes, por lo tanto, para su construcción se utiliza una placa de acero inoxidable AISI A304 de 1.5 mm de espesor. Las dimensiones y el proceso de fabricación se encuentran en el plano EM: 003 - 312 del anexo X. Se corta la placa principal de la bandeja de selección y se sueldan los laterales y el separador de papas intermedio. En la figura 2.43, se muestra la bandeja de salida de las papas construida.



Figura 2.43 Bandeja de salida de selección
Fuente: (Propia)

Fabricación de la estructura de selección – bastidor de selección

La estructura de selección sostiene los ejes y motor, necesita de requerimientos estructurales importantes, por lo tanto, para su construcción se utiliza una placa de acero inoxidable AISI A304 de 1.5 mm de espesor. Para el bastidor se utiliza un perfil cuadrado de 40x40x1.5 mm. Las dimensiones de la estructura se encuentran en los planos EM: 003 – 303, 304, 305, 306 del anexo X; mientras que las del bastidor se encuentran en el plano EM: 003 - 310 del anexo X. Para el bastidor se corta el perfil

cuadrado y se suelda; mientas, que para la estructura de soporte de los ejes de selección se crean placas, se las procede a plegar en forma de “U” y se realizan agujeros mediante taladro para sujeción mediante pernos. En la figura 2.44, se muestra la estructura de soporte (a) y el bastidor (b).



a)



b)

Figura 2.44 Estructura: (a) de soporte, (b) bastidor
Fuente: (Propia)

Fabricación de los retenedores laterales de lavado y de selección

Los retenedores de papas laterales tanto de lavado como de selección evitan que los tubérculos caigan por los bordes de la máquina, por lo tanto, ya que no se requieren de requerimientos estructurales importantes, para su construcción se utiliza una placa de acero inoxidable AISI A304 de 1.5 mm de espesor. Las dimensiones para el retenedor lateral derecho se encuentran en el plano EM: 002 – 202 del anexo IX, para el retenedor lateral izquierdo se encuentran en el plano EM: 002 – 203 del anexo IX, y para los retenedores (izquierdo y derecho) de lavado se encuentran en el plano EM: 003 – 302 del anexo X. Se realizan dos dobleces en la base de las láminas de acero previamente cortadas, uno a 90° y otro a 45° ambos hacia el mismo lado y se taladran los agujeros para conectarse a la estructura base mediante pernos. En la figura 2.45, se muestran los retenedores para el módulo 3 y 4.



Figura 2.45 Retenedores de lavado y de selección
Fuente: (Propia)

Fabricación de la rampa de transición

La rampa de transición del módulo 3 al 4, dirige los tubérculos hacia los ejes de selección, en consecuencia, para su construcción se utiliza una placa de acero

inoxidable AISI A304 de 0.7 mm de espesor ya que no requiere características estructurales importantes. Las dimensiones se encuentran en el plano EM: 002 – 212 del anexo IX. La lámina de acero es plegada en “U”. En la figura 2.46, se muestra la rampa de transición.



Figura 2.46 Rampa de transición
Fuente: (Propia)

Fabricación de retenedor

El retenedor de papas evita que los tubérculos se salten el inicio de la selección, no necesita de requerimientos estructurales importantes, por lo tanto, para su construcción se utiliza una placa de acero inoxidable AISI A304 de 0.7 mm de espesor. Las dimensiones se encuentran en el plano EM: 003 – 301 del anexo X. En los laterales se hace un dobléz a 90° en donde se taladran orificios para sujeción a la estructura de soporte; a los laterales se le suelda una lámina plegada a 30°. En la figura 2.47, se muestra el retenedor fabricado.



Figura 2.47 Construcción del retenedor
Fuente: (Propia)

Fabricación de guarda

La guarda protege del agua el sistema cadenas – piñón – motor y evita que el usuario sufra de algún accidente, no necesita de requerimientos estructurales importantes, de modo que, para su construcción se utiliza una placa de acero inoxidable AISI A304 de 0.7 mm de espesor. Las dimensiones se encuentran en el plano EM: 002 – 205 del anexo IX. Se corta una lámina de acero con las medidas del plano, se pliega a 90° la zona en donde se taladran los orificios de sujeción y mediante un troquel se realizan agujeros para la ventilación. En la figura 2.48, se muestra la guarda.



Figura 2.48 Guarda
Fuente: (Propia)

2.4.2. Montaje

Finalizado el proceso de construcción de los elementos no estandarizados y adquiriendo los normalizados, se procede a montar la lavadora y seleccionadora de papas tomando como guía la estructura modular planteada en la sección 2.1.

Módulo 1: Ingreso de la papa al sistema de lavado

- Traslado de la tolva de admisión de papas al lugar de trabajo
- Empernar la base de la tolva a la estructura de soporte

En la figura 2.49, se muestra el montaje de la tolva.



Figura 2.49 Montaje de la tolva
Fuente: (Propia)

Módulo 2: Sistema de transmisión de potencia

- Comprobar la disponibilidad la disponibilidad en el mercado de los elementos normalizados
- Ensamblar las chumaceras a la estructura de soporte mediante pernos
- Posicionar los cepillos modulares
- Enlazar los cepillos en los ejes mediante un bocín
- Acoplar los ejes en la estructura de soporte
- Montar las chavetas en los ejes
- Acoplar las catalinas a los ejes y ajustar el pasador
- Vincular por medio de tornillos la bandeja de recolección de agua

- Posicionar el motor
- Montar las cadenas, asegurándolas por medio de candados
- Ajustar el templador de las cadenas

En la figura 2.50, se muestra el montaje del sistema de transmisión de potencia a la estructura de soporte.

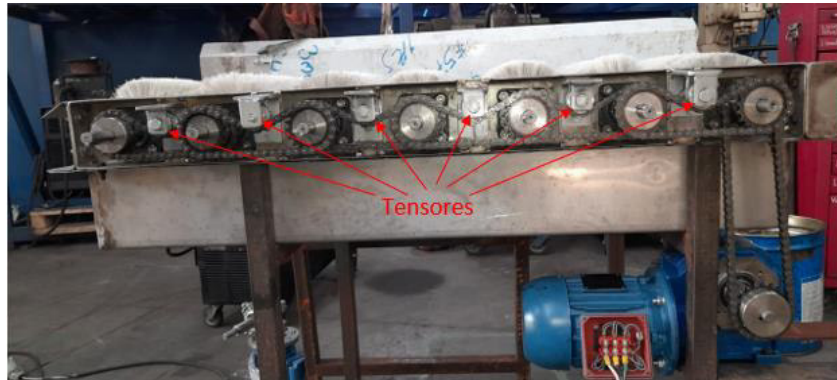


Figura 2.50 Montaje del sistema de transmisión de potencia
Fuente: (Propia)

Módulo 3: Sistema de lavado

- Ensamblar los protectores en la estructura de soporte mediante pernos
- Acoplar la estructura de soporte del sistema de riego
- Enlazar el sistema de riego a su estructura de soporte
- Colocar la guarda

En la figura 2.51, se muestra el montaje del sistema de lavado al bastidor.



Figura 2.51 Montaje del sistema de lavado
Fuente: (Propia)

Módulo 4: Sistema de selección

- Enlazar la estructura de soporte del sistema de selección con la estructura de soporte de sistema de lavado
- Ensamblar los rodamientos de sujeción a la estructura de soporte de selección
- Montar los ejes en la en la estructura de soporte de selección
- Acoplar las chavetas a los ejes de selección
- Encajar las catalinas a los ejes, ajustando el pasador
- Posicionar el motor

- Montar las cadenas y asegurarla por medio de candados

En la figura 2.52, se muestra el montaje del sistema de selección a la estructura de soporte a) y al bastidor b).



a)



b)

Figura 2.52 Montaje del sistema de selección, a) a la estructura de soporte, b) al bastidor
Fuente: (Propia)

Módulo 5: Salida de la papa

- Traslado de la bandeja de recolección de papas al lugar de trabajo
- Soldar la bandeja de recolección de papas a la estructura de soporte de selección

En la figura 2.53, se muestra el montaje de las bandejas de recolección de papas a la estructura de soporte.



Figura 2.53 Montaje de las bandejas de selección de papas
Fuente: (Propia)

Montaje final

Realizado el montaje de los módulos, se realiza por medio del plano de conjunto FIM – EM – 001 en el anexo XII. En los planos de subconjunto FIM – EM 002 Y FIM – EM 003 se muestra el ensamble del sistema de lavado y sistema de selección de papas respectivamente (anexo XI), obteniendo la máquina propuesta en el presente proyecto de titulación.

- Alinear las catalinas en el sistema de transmisión

- Montar los motores eléctricos a sus soportes en los bastidores de lavado y selección
- Ensamblar las chavetas a los ejes de los motores
- Acoplar y fijar las diferentes cubiertas protectoras de la transmisión
- Conectar los motores a la toma de corriente de 220V
- Verificar el correcto funcionamiento

En la figura 2.54, se muestra el montaje final de los módulos, la parte de lavado y de selección se encuentran unidas y listas para su funcionamiento.



Figura 2.54 Montaje de las bandejas de selección de papas
Fuente: (Propia)

2.4.3. Costos

Una vez construida la máquina se procede a realizar un desglose de los gastos en la construcción.

2.4.3.1. Costo de elementos normalizados

Los elementos normalizados como rodamientos, chumaceras, piñones y cadenas fueron adquiridos en RULIMANESA RETENEDORES e IMPORTCOM. Mientras que los elementos de sujeción como pernos, tuercas y arandelas de presión se los adquirieron en CASTILLO HERMANOS S.A. Finalmente, los cepillos normalizados se los obtuvieron en DISTRIBUIDORA MARÍA GRANJA ESCOBAS Y CEPILLOS, ubicado en Pasto Calle. Los costos de estos elementos normalizado se detallan en la tabla 2.20.

Tabla 2.20 Costo de elementos estructurales

| Material | Unidades | Cantidad | Costo Unitario [USD] | Total [USD] |
|-------------------------|----------|----------|----------------------|-------------|
| Chumacera 3/8 KFD | U | 14 | 9,6 | 134,4 |
| Rodamiento 3/8" GEM | U | 16 | 7,77 | 124,32 |
| Seguro interior de 3/8" | U | 14 | 0,15 | 2,1 |
| Motor de 2 hp | U | 1 | 185 | 185 |
| Motor de 0,5 hp | U | 1 | 130 | 130 |
| Reductor de velocidad | U | 1 | 175 | 175 |

| | | | | |
|---|---|------|--------------|----------------|
| Reductor de velocidad | U | 1 | 135 | 135 |
| Catalina P0210010S 40B 18 | U | 12 | 15,25 | 183 |
| Catalina P0210010S 40B 22 | U | 1 | 20,25 | 20,25 |
| Catalina P0210010S 40B 11 | U | 12 | 10,25 | 123 |
| Catalina P0210010S 40B 17 | U | 1 | 18,25 | 18,25 |
| Cadena 40B | M | 7,67 | 1 | 7,67 |
| Cepillos | U | 21 | 50 | 1050 |
| Codo de 1/2" de PVC | U | 15 | 0,47 | 7,05 |
| T de 1/2" de PVC | U | 23 | 0,56 | 12,88 |
| Boquilla aspersor plástica | U | 18 | 1,47 | 26,46 |
| Neplo de 1/2" | U | 18 | 0,34 | 6,12 |
| Unión 1/2" | U | 6 | 0,48 | 2,88 |
| Bushing de 1/2" - 3/8" | U | 19 | 0,47 | 8,93 |
| Tapón 1/2" | U | 6 | 0,38 | 2,28 |
| Manguera de agua de 1/2" | U | 1 | 6,8 | 6,8 |
| Variador de velocidad 2 hp trifásico | U | 1 | 360,59 | 360,59 |
| Bomba de agua | U | 1 | 120 | 120 |
| Perno y tuerca de acero inoxidable 1/4 x 1" | U | 24 | 0,2 | 4,8 |
| Arandela de presión 1/4" | U | 24 | 0,05 | 1,2 |
| Arandela de presión 3/8" | U | 24 | 0,15 | 3,6 |
| Perno y tuerca de acero inoxidable 3/8 x 3" | U | 24 | 0,45 | 10,8 |
| Tuerca de seguridad 3/8" | U | 6 | 0,46 | 2,76 |
| | | | Total | 2865,14 |

Fuente: (Propia).

2.4.3.2. Costo de elementos contruidos

Los elementos contruidos como tolva, bastidor, bandejas, protectores, marco de lavado y selección, rampa y protector de lavado - selección fueron fabricados en IMPORTADORA CUÑAS. Los costos de estos elementos contruidos se detallan en la tabla 2.21.

Tabla 2.21 Costo de elementos contruidos

| Material | Unidades | Cantidad | Costo Unitario [USD] | Total [USD] |
|---------------------------------|----------|----------|----------------------|-------------|
| Tolva de ingreso | U | 1 | 100 | 100 |
| Rampa | U | 1 | 25 | 25 |
| Protector lavado -selección | U | 1 | 35 | 35 |
| Bandeja de recolección de papas | U | 1 | 80 | 80 |
| Bastidor de lavado | U | 1 | 30 | 30 |
| Bastidor de selección | U | 1 | 20 | 20 |
| Ejes de lavado | U | 7 | 50 | 350 |
| Ejes de selección | U | 7 | 35 | 245 |
| Tablero de control | U | 1 | 350 | 350 |

| | | | | |
|--|---|---|--------------|-------------|
| Marco de lavado | U | 1 | 80 | 80 |
| Marco de selección | U | 1 | 70 | 70 |
| Protectores de lavado | U | 1 | 40 | 40 |
| Protectores de selección | U | 1 | 30 | 30 |
| Bandeja de recolección de agua | U | 1 | 100 | 100 |
| Tensores sistema de transmisión de lavado | U | 6 | 10 | 60 |
| Tensores sistema de transmisión de selección | U | 6 | 10 | 60 |
| Bocín sistema- de selección | U | 2 | 10 | 20 |
| Protector sistema de transmisión | U | 1 | 60 | 60 |
| | | | Total | 1630 |

Fuente: (Propia).

2.4.3.3. Costo total

Conociendo los costos necesarios para fabricar la lavadora y seleccionadora de papas es necesario considerar la utilidad y el diseño para obtener el costo total de la máquina como se detalla en la tabla 2.22.

Tabla 2.22 Costo de total de la máquina

| Descripción | Total [USD] |
|---------------------------------|-----------------|
| Costo de elementos normalizados | 2865,18 |
| Costos elementos fabricados | 1630 |
| Subtotal | 4495,18 |
| Costo diseño (25%) | 1123,795 |
| Utilidad (15%) | 674,277 |
| Total | 6293,252 |

Fuente: (Propia).

2.5. Protocolo de pruebas

Al finalizar el ensamblaje de la máquina, se procede a realizar el protocolo de pruebas para verificar el correcto funcionamiento siguiendo los dos ensayos que se detallan a continuación.

Nombre del proceso: Ensayo 1

Objetivo

- Verificar el funcionamiento de la lavadora y peladora de papas sin carga
- Accionamiento por el operario

Actividades por desarrollar

Para llevar a cabo la ejecución del Ensayo 1, se llevarán a cabo las siguientes actividades:

- Realizar inspección visual de toda la maquina enfocándose específicamente en el sistema de la cámara de lavado y la transmisión de potencia del sistema, ya que son los principales elementos intervinientes en el funcionamiento.
- Poner en marcha la máquina
- Para cada tiempo establecido poner en marcha el sistema completo sin carga.
- Realizar la inspección de cada elemento o subsistema de acuerdo basado en los requisitos de la tabla 2.23.
- Llenar la tabla del protocolo de prueba para su posterior registro.

Tabla 2.23 Protocolo de pruebas máquina sin carga

| Protocolo de pruebas | | | |
|--|------------------------------|----------------------------|----|
| Lavadora y seleccionadora de papas | | | |
| Comprador: Adrian Espinosa – Frank Mitte | | Fecha: 12 de enero de 2022 | |
| Operador: Adrian Espinosa – Frank Mitte | | | |
| Funcionamiento sin carga | | | |
| Tiempo [min] | Elementos | Aprueba | |
| | | SI | NO |
| 15 | Transmisión - Banda o Cadena | X | |
| | Cámara de Lavado y Pelado | X | |
| | Chumaceras – Rodamientos | X | |
| 30 | Transmisión - Banda o Cadena | X | |
| | Cámara de Lavado y Pelado | X | |
| | Chumaceras – Rodamientos | X | |
| 60 | Transmisión - Banda o Cadena | X | |
| | Cámara de Lavado y Pelado | X | |
| | Chumaceras – Rodamientos | X | |
| Observaciones: | | | |

Fuente: (Propia)

Nombre del proceso: Ensayo 2

Objetivo

- Verificar el funcionamiento de la lavadora y selección de papas con carga
- Accionamiento por el operario

Actividades por desarrollar

Para llevar a cabo la ejecución del Ensayo 2, se llevarán a cabo las siguientes actividades:

- Realizar inspección visual de toda la maquina enfocándose específicamente en el sistema de la cámara de lavado y la transmisión de potencia del sistema, ya que son los principales elementos intervinientes en el funcionamiento.
- Poner en marcha todo el sistema, agregando la carga o producto, en este caso las papas a lavarse y seleccionarse.
- Dejar que la maquina lleve a cabo el lavado y selección de la papa durante 5 minutos por cantidad requerida.
- Una vez concluido el proceso se verificará el estado de los componentes detallados en la tabla 2.24.

Tabla 2.24 Protocolo de pruebas con carga

| Protocolo de pruebas | | | |
|--|------------------------------|----------------------------|----|
| Lavadora y seleccionadora de papas | | | |
| Comprador: Adrian Espinosa – Frank Mitte | | Fecha: 12 de enero de 2022 | |
| Operador: Adrian Espinosa – Frank Mitte | | | |
| Funcionamiento con carga | | | |
| Kilogramos [Kg] | Elementos | Aprueba | |
| | | SI | NO |
| 15 | Transmisión - Banda o Cadena | X | |
| | Cámara de Lavado y Pelado | X | |
| | Chumaceras – Rodamientos | X | |
| 30 | Transmisión - Banda o Cadena | X | |
| | Cámara de Lavado y Pelado | X | |
| | Chumaceras – Rodamientos | X | |
| 60 | Transmisión - Banda o Cadena | X | |
| | Cámara de Lavado y Pelado | X | |
| | Chumaceras - Rodamientos | X | |
| Observaciones: | | | |

Fuente: (Propia)

2.6. Mantenimiento

La lavadora y seleccionadora se diseñó para lavar y seleccionar papas de hasta 12 cm de largo, en base a los requerimientos del cliente (ver anexo I). Antes del funcionamiento de la máquina, se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Verificar que la máquina se encuentre conectada a una toma eléctrica y a la fuente de agua
- Revisar que los aspersores se encuentran ajustados correctamente
- Comprobar visualmente que la máquina no tenga desperfectos
- Verificar que el sistema de transmisión este lubricado
- Accionar manualmente cualquiera de los cepillos para asegurar que la transmisión no tenga problemas

- Asegurarse que el tanque de recolección de agua este vacío

Para prolongar la vida útil y verificar el correcto funcionamiento de la máquina se propone un plan de mantenimiento.

2.6.1. Mantenimiento diario

Luego de cada jornada de trabajo se recomienda:

- Limpiar los cepillos
- Eliminar las posibles acumulaciones de tierra en la estructura de lavado

2.6.2. Mantenimiento semestral

- Verificar el estado de los piñones y las cadenas
- Comprobar el estado de los cepillos (reemplazar de ser necesario)
- Revisar que la hélice del tornillo sin fin se encuentre en óptimas condiciones

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se muestra analiza el diseño y el estudio de mercado efectuado. Además, se detallan los resultados obtenidos en los protocolos de pruebas de la lavadora y seleccionadora de papas, tomando como referencia los requerimientos del cliente como el tiempo de lavado de papas y su selección por tamaño.

3.1. Resultados

Del análisis funcional se seleccionó la alternativa más factible, la cual consta de: una tolva de ingreso inclinada, un sistema de movimiento que consta de un motor eléctrico y cadenas – piñones que hace girar los ejes sobre los cuales se encuentran los cepillos cilíndricos, éstos, con la ayuda de un chorro de agua externo lavan las papas. Posteriormente, a través de una rampa, las papas pasan del sistema de lavado al de selección, el cual, también consta de un motor eléctrico y de cadenas y piñones que dan movimiento a los ejes de selección haciendo que las papas caigan por tamaños (menores a 4 cm, de 4 a 8 cm y mayores a 8 cm) en bandejas recolectoras para su posterior secado.

Se analizaron los ejes de lavado a fatiga, encontrando que el punto crítico se encuentra en la sección A – B (ver la figura en la tabla 2.17), debido a que el diámetro de los ejes es pequeño, y, además se tiene una longitud considerable con respecto a la fuerza a la que se ven sometidos los ejes. A pesar de esto, el factor de seguridad garantiza que los ejes no fallaran a fatiga.

Para el protocolo de pruebas se utilizaron papas provenientes de la provincia del Carchi, cabe recalcar que las papas utilizadas en las pruebas tienen una longitud y un peso promedio de 8 cm y 550 g respectivamente, el cual es el rango de papas más solicitado al cliente.

Aunque la potencia de diseño en el módulo de lavado fue de 1.67 hp, en base a costos y disponibilidad, se seleccionó un motor de 2 hp con un reductor y un variador de velocidades, justificando el uso del variador a los diferentes tamaños de papas que se deben lavar.

El costo de la máquina es de 4.495,18 USD, es decir, un 10,1% menos del presupuesto (5 000 USD). El lavado de la papa es el más costoso (69,22% del costo total, 3.111,75 USD) debido a que en el sistema de lavado se encuentran los cepillos que representan un 33,74% del costo de esta sección (1.050 USD). Mientras que el sistema de selección es del 30,88%, como se muestra en el resumen de la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Detalle del presupuesto y costo de la lavadora y seleccionadora de papas

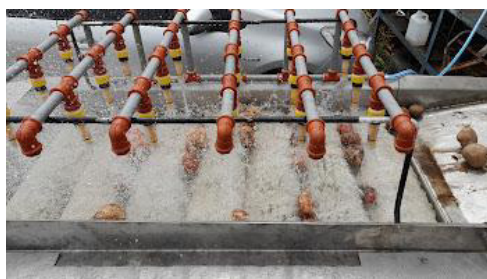
| | | |
|--|-----------------|----------------|
| PRESUPUESTO | 5.000,00 | 100% |
| Máquina | 4.495,14 | 89,90% |
| Excedente | 504,86 | 10,10% |
| Total % máquina + excedente | | 100,00% |
| Sección de lavado | 3.111,54 | 69,22% |
| Cepillos | 1.050,00 | 33,75% |
| Tolvas, catalinas, ejes, etc. | 2061,70 | 66,26% |
| Total, sección de lavado | 3.111,70 | 100,01% |
| Selección | 1.383,60 | 30,78% |
| Ejes, motor, estructura, catalinas, etc. | 1.383,60 | 100,00% |
| Total, selección | 1.383,60 | 100,00% |
| Total, costo de maquina | 4.495,31 | 100,00% |

Fuente: (Propia)

De la tabla 2.22, se muestra que el precio en el mercado de la máquina es de 6293,25 USD, poniendo a este proyecto en un mercado competitivo en el país, debido a que la mayoría de las máquinas de este tipo, aunque tienen un costo similar, deben ser importadas de países como Colombia, España o México. Además, las máquinas disponibles en el mercado no poseen un sistema de selección.

Durante la puesta a punto de la máquina, se evidenció que no en todas partes del Distrito Metropolitano de Quito existe una presión de agua adecuada para que el sistema de riego funcione de la manera esperada. Este inconveniente se solucionó utilizando una bomba, de esta manera todos los aspersores alcanzan la presión de servicio.

El ingreso de la papa a la máquina se muestra en la figura 3.1 a), mientras que en la figura 3.2 b) se observa el proceso de lavado de las papas, mediante cepillos giratorios y chorros de agua que facilitan la remoción de la tierra.



a)



b)

Figura 3.1 Inicio de proceso: a) Ingreso de la papa al sistema de lavado, b) Lavado de la papa
(Fuente: Propia)

Al finalizar el proceso de lavado, una rampa guía a las papas al sistema de lavado y un protector ayuda a que las papas empiecen el proceso de selección desde el principio de este, garantizando una óptima selección (ver figura 3.2).



Figura 3.2 Paso de la papa al sistema de selección
Fuente: (Propia)

Finalmente, en la figura 3.3 a) se muestra las papas siendo seleccionadas a través de tornillos giratorios (ver figura 2.22 y 2.23). Al terminar el proceso de selección, se muestra cómo se obtienen las papas lavadas y seleccionadas (ver figura 3.3 b), 3.3 c) y 3.3 d)).



a)



b)



c)



d)

Figura 3.3 Fin de proceso: a) Selección de la papa, b) Papa seleccionada de longitud menor a 4 cm, c) Papa seleccionada de longitud de 7 cm, d) Papa seleccionada de 10 cm de longitud
Fuente: (Propia)

3.2. Discusión

La máquina montada permite lavar papas mediante cepillos modulares que, junto con el agua remueven casi toda la suciedad que caracteriza a estos tubérculos. Los cepillos modulares tienen hileras horizontales para evitar que las papas se muevan radialmente, lo cual ayuda a los tubérculos a pasar de un cepillo a otro de manera rápida y eficientemente.

La velocidad de lavado de las papas depende de su tamaño, al realizarse el protocolo de pruebas se evidenció que las papas de menor tamaño se lavan más rápido que las papas más grandes. Con 6 mediciones se llegó a la conclusión que el rango de velocidad óptima para el correcto lavado de los diferentes tipos de papas es de 190 a 210 rpm, con esta velocidad, se asegura que los tubérculos más grandes están el tiempo suficiente en los cepillos de lavado, además, las papas de menor tamaño no se quedan en los cepillos demasiado tiempo, de esta forma se garantizan bulbos limpios y sin daños en la corteza. Con respecto al sistema de selección, su baja velocidad y su arreglo (revisar capítulo 2.3.8.) garantiza que las papas más grandes puedan llegar al final del recorrido sin que se queden atrapados entre los ejes.

Durante las pruebas de funcionamiento, la máquina fue capaz de lavar 20 kg/min a una velocidad de giro de los cepillos de lavado de 200 rpm, quitando un 95% de la suciedad, por lo que se requiere un control de calidad al final del proceso mediante inspección visual. Por otro lado, la selección correcta de las papas es de un 90%, debido a las formas irregulares que poseen estos tubérculos, es decir, existen papas que por su aspecto achatado tienden a parecer más un círculo que un elipsoide, por lo tanto, pareciera que no pertenecen a su clasificación cuando si lo hacen.

Para evitar el consumo excesivo del agua, se propone el cierre alternado de las boquillas aspersoras. Además, se plantea a futuro un estudio para la filtración y recirculación del agua.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se diseñó y se construyó una máquina lavadora y seleccionadora en base al tamaño de las papas en base a los requerimientos de cliente, confirmando su completa funcionalidad mediante el protocolo de pruebas.
- Se efectuó el estudio de investigaciones de mercado relacionadas con la disponibilidad de este tipo de máquinas, determinando de esta manera el punto de partida para la máquina propuesta.
- Para establecer los parámetros necesarios, se realizó un análisis funcional en donde se evaluó los procesos que requiere la máquina para cumplir con su objetivo de lavar y seleccionar papas.
- Se determinaron diferentes opciones de diseño para cada uno de los módulos propuestos, recurriendo al método ordinal corregido de criterios ponderados para garantizar que la mejor opción de cada módulo es la utilizada en diseño conceptual y posterior construcción.
- Se realizó un estudio de los elementos críticos como los ejes de lavado y la estructura de soporte, determinando su punto crítico y garantizando una máquina completamente resistente y de larga vida.
- Para el diseño conceptual ganador, se crearon los planos de conjunto, subconjunto y de taller, los cuales orientan en la construcción de los elementos constitutivos de la lavadora y seleccionadora de papas y en el montaje de la máquina.
- El diseño propuesto consta de un módulo de lavado que comprende principalmente de un sistema de irrigación y de los cepillos modulares, los cuales son movidos mediante un sistema de cadena – piñón; y de un módulo de selección que dosifica las papas de acuerdo a 3 diferentes tamaños (ver anexo I), mediante ejes y tornillos cónicos sinfín (ver figura 2.32).
- En el desarrollo de la máquina se consideró el material apto para procesar alimentos y la disponibilidad de la mayoría de los componentes en el mercado nacional.
- Con el fin de aprovechar al máximo la máquina, se desarrolló una instalación eléctrica que permita el funcionamiento de la lavadora y seleccionadora de papas como una sola máquina y como máquinas separadas.

- Se comprobó que la máquina no elimina en su totalidad toda la suciedad que tienen las papas debido a que algunos tubérculos presentan irregularidades en su superficie, sin embargo, se obtiene un 95% de eficacia en la limpieza y se garantiza la calidad superficial de los tubérculos.
- Se corroboró que las papas son seleccionadas correctamente en un 90% de los casos, ya que existen tubérculos que no tienen una geometría uniforme como la considerada en el estudio.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda lubricar el sistema de transmisión tanto de lavado como de selección a mano o utilizando brochas.
- A futuro, es recomendable realizar un análisis de un sistema de secado adicional, a fin de reducir este proceso y reducir el espacio destinado al mismo.
- Para la economización de agua, es recomendable el estudio de un sistema de recirculación de agua, mediante filtros que garanticen una completa absorción de la tierra para evitar bloqueos en los aspersores de agua.
- Se recomienda el lavado tanto de los cepillos de lavado como de los ejes de selección diario.
- Para el reemplazo de los cepillos de lavado, se recomienda la remanufactura.
- En la selección, se recomienda el análisis de una mejora en la realización de las hélices, reemplazado la manguera y su sujeción, por una más uniforme y duradera.
- Se recomienda no utilizar detergentes o ningún tipo de químico en los cepillos de lavado.

Referencias Bibliográficas

- Abarca, D. (2016). Método simplificado para el cálculo del factor de carga en conexiones apernadas. *Alimentos, Ciencia e Ingeniería*, 18.
- Alarcón, R. (2018). *PROMETALL*. Obtenido de PROMETALL, equipos industriales: <http://www.equiposindustrialesprometall.com/equipo-maquinaria-proyecto-mecanico-quito-ecuador.php?recordID=11>
- ASABE. (2008). *Compression Test of Food Materials of Convex Shape*. ASAE. Obtenido de https://mireei.iut.ac.ir/sites/mireei.iut.ac.ir/files//files_course/asae_standard_0.pdf
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2015). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. En K. N. Richard Budynas, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. New York: McGraw-Hill Education,.
- Buitrago, G., López, A., Coronado, A., & Osorno, F. (2003). *Determinacion de las características físicas y propiedades mecánicas de la papa cultivada en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. Bogotá: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Obtenido de <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/xJmndCpRgH94q9wWHC4qYXQ/?lang=es#>
- Cabezas, K., & Viteri, X. (2019). *Optimización de la comercialización de papas, mediante el circuito de proximidad "venta a restaurantes", en la asociación de emprendedores agropecuarios monasterio de Bellavista del cantón Salcedo, Cotopaxí*. Quito: Universidad Tecnológica Indoamérica.
- Camacho, J. (2012). *HIDACAM INGENIEROS S.A.S*. Obtenido de Línea de Proyectos: <https://www.hidacamingenieros.com/proyectos>
- CepilloTécnico. (31 de 01 de 2021). *Cepillo Técnico Modular*. Obtenido de Cepillo Técnico: <https://cepillotecnico.com/2021/01/cepillo-cilindrico-modular/>
- Chavarrías, M. (4 de Agosto de 2010). *El auge de alimentos de IV gama*. Obtenido de Eroski Consumer: <https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/el-auge-de-los-alimentos-de-iv-gama.html>.

- Cristian, T. (21 de 04 de 2017). *Coeficientes de fricción de algunos materiales*. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/document/345830346/Coeficientes-de-Friccion-de-algunos-materiales>
- ELITE. (2020). *ELITE EC*. Obtenido de <https://www.youtube.com/channel/UC7fqSztjFhHfHLnQqxssP6Q>
- Fitzgerald, R. (2007). *Mecánica de Materiales*. Bogotá: Alfaomega.
- González, S. (2014). *En Ecuador se consumen 23 kilos de papa por persona, al año*. Obtenido de El Comercio: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/ecuador-seconsumen-23-kilos.html#:~:text=Seg%C3%BAn%20datos%20del%20Ministerio%20de,2010%2D%20abastece%20la%20demanda%20dom%C3%A9stica>.
- GreenTechno. (2015). *Limpieza y desinfección de frutas y hortalizas delicadas*. Obtenido de <https://greentechnosl.com/limpieza-y-desinfeccion-de-frutas/>
- Hermoso & Sentamans, S.L. (2009). Obtenido de Sector Alimentario: <https://her-sen.com/>
- Hibbeler, R. (2011). *Mecánica de materiales*. Monterrey: Pearson Education.
- Inagro. (18 de 02 de 2019). *Lavadora de papas*. Obtenido de croper.com: <https://www.croper.com/96-indutornometal-inagro/9-maquinaria-y-equipos/3818-lavadoras/2041-lavadora-de-papa>
- JBT. (18 de 11 de 2015). *Lavadora de cepillos de cítricos*. Obtenido de JBT : <https://www.jbtc.com/foodtech/products-and-solutions/products/washers-and-dryers/washers/citrus-brush-washer>
- Kana. (2015). *Products Handled Guide*. Kana Dolls System.
- Kanzda. (31 de 12 de 2018). *Bubble washer VWM-series*. Obtenido de Kanzda Auto washing system: <https://www.vegetable-washer.com/product/114.html/>
- MartinMaq. (7 de 10 de 2011). *Labadoras serie LBI*. Obtenido de Martin MAQ Innovative Engineering: <https://www.martinmaq.com/data/pdf/lavadoras-serie-lbi27.pdf>
- Monteros, C. (2011). *Estudio de mercado para caracterizar y cuantificar la demanda de papas nativas en diferentes segmentos del mercado de Quito*. Quito: Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuaria (INIAP).

- Montoreos, C., Cuesta, X., Jiménez, J., & López, G. (2005). *Las papas nativas del Ecuador: Estudios cualitativos sobre oferta y demanda*. Quito: Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuaria (INIAP).
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Pearson Education.
- NTN, N. T. (2009). *Chumaceras*. NTN Corporation.
- Pisarenco, G., Yákovlev, A., & Matvéev, V. (1979). *Manual de resistencia de materiales*. Rumania: Mir Moscú.
- Pumisacho, M., & Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en el Ecuador*. Quito: Instituto Nacional Autónomo de Investigación Agropecuaria (INIAP).
- Ramos, E. (2012). Determinación experimental del coeficiente de fricción dinámico del suelo, en un suelo ferralítico rojo. *SCIELO Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542012000300006
- Rodamientos Vigo, S. (2008). Chavetas. España.
- Rossi. (2011). *Reductores y motoredutores sinfín*. Rossi Habasit Group.
- Solis. (2015). *Solis Maquinaria Constructores*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=0q1AeFbAhfw>
- Teng, S. (2012). *Teng Sheng Machiney Equipment Co*. Obtenido de Teng Sheng Machiney - Fruit and Vegetable: <http://web.tssun.com/>
- Timken. (2016). *Drives Chain*. Estados Unidos.
- Torres, L., & Cuesta, X. (Diciembre de 2011). *Inventario de Tecnologías e Información para el Cultivo de Papa en Ecuador*. Obtenido de Centro Internacional de la Papa CIP: <https://cipotato.org/papaenecuador/variedades-de-papa/>
- Vanderusten. (2018). *Cepillos Modulares Fruteros*. Obtenido de Vanderusten Cepillos Industriales: <http://cepillosvanderusten.com/productos/cepillos-fruteros-modulares/>
- Velásquez, F. (2018). *Caracterización de las propiedades mecánicas del duralón*. Quito: Universidad de las feurzas Armadas ESPE. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15085/1/T-ESPE-040463.pdf>