



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**“Diseño, implementación y construcción de un prototipo de
máquina procesadora de manzanas semiautomática para la empresa
AMBAFood’s Cia.Ltda”**

AUTORES:

GORDILLO ESPINOSA, DAVID SANTIAGO

JARAMILLO CEPEDA, JUAN CARLOS

SANGOLQUÍ

2017



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA PROCESADORA DE MANZANAS SEMIAUTOMÁTICA PARA LA EMPRESA AMBAFOOD’S. CIA LTDA.” realizado por los señores **DAVID SANTIAGO GORDILLO ESPINOSA** y **JUAN CARLOS JARAMILLO CEPEDA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **DAVID SANTIAGO GORDILLO ESPINOSA** y **JUAN CARLOS JARAMILLO CEPEDA** para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 24 de Febrero del 2017

Ing. Byron Cortez

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **DAVID SANTIAGO GORDILLO ESPINOSA** y **JUAN CARLOS JARAMILLO CEPEDA** cédula de identidad N° 172182686-3 y 172231113-9 declaro que éste trabajo de titulación “**DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA PROCESADORA DE MANZANAS SEMIAUTOMÁTICA PARA LA EMPRESA AMBAFOOD’S. CIA LTDA.**” Ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que éste trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada

Sangolquí, 24 de Febrero del 2017

David Santiago
Gordillo Espinosa

C.C. 172182686-3

Juan Carlos
Jaramillo Cepeda

C.C. 172231113-9



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **DAVID SANTIAGO GORDILLO ESPINOSA** y **JUAN CARLOS JARAMILLO CEPEDA**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE MAQUINA PROCESADORA DE MANZANAS SEMIAUTOMÁTICA PARA LA EMPRESA AMBAFOOD’S. CIA LTDA.**” Cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 24 de Febrero del 2017

David Santiago
Gordillo Espinosa

C.C. 172182686-3

Juan Carlos
Jaramillo Cepeda

C.C. 172231113-9

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mi hija Lilu, por regalarme su alegría y ganas de luchar día a día, a mi esposa Mely, por su apoyo incondicional, cariño, comprensión y exigirme en todo momento a ser más grande, a mis padres Mariany y Marco, por enseñarme todo lo necesario para sobresalir en la vida y siempre estar pendiente de mí, a mis hermanos Pauly y Xavier por estar pendientes de mi formación académica, es por esto y mucho más que se lo dedico a ustedes.

Gordillo Espinosa David Santiago

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios y a la Virgen María por brindarme perseverancia, paciencia para alcanzar esta meta.

A mis padres Carlos Jaramillo y Clara Cepeda que sin importar que tan difícil se vean las cosas jamás dejaron de alentarme en el camino, con sus cuidados, cariño, consejos y apoyo, siempre estuvieron allí con una sonrisa para alegrar los días y ayudarme en lo que fuera necesario sin importar horarios, siempre serán el ejemplo de lucha y dedicación a seguir.

A mi hermana Cristina, que siempre me sacaba sonrisas con sus ocurrencias, y estuvo allí para colaborar en los proyectos con todos sus conocimientos e ideas sin importar la hora el día o el cansancio.

A mis padrinos y familiares que me brindaron sus consejos, apoyo y confianza.

A mis amigos quienes a lo largo de la carrera me brindaron su compañía su amistad y apoyo.

Juan Carlos Jaramillo Cepeda

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Dios y virgencita, por cuidarme y guiarme en el camino del bien, A mi esposa, por el apoyo incondicional, amor, ternura y sacrificio con la que día a día me ha ayudado a seguir en la lucha de ser cada día mejor, por ser mi mano derecha en la vida y enseñarme a luchar juntos hacia el futuro, a mi madre por darme el ejemplo de trabajo constante para conseguir las metas que nos propongamos, a mi padre por ser parte importante en mi desarrollo, a mis hermanos por su preocupación y cuidado desde que yo era pequeño.

A un amigo muy especial Juanito Jaramillo, por su paciencia y apoyo durante toda nuestra vida universitaria y en especial en la realización de este trabajo de titulación, a nuestro tutor, por su ayuda y comprensión en todos estos meses de desarrollo, mostrándonos siempre su lado amigable y ayudándonos a pesar de la falta de tiempo.

Gordillo Espinosa David Santiago

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a la Virgen María que permitieron el cumplir este sueño y compartirlo con mi familia y amigos.

Agradezco a mis padres, por enseñarme a jamás rendirme, que todo logro tiene su sacrificio y que hay que poner prioridades para alcanzar una meta, son los que con su ejemplo de esfuerzo jamás di una batalla por perdida sin importar que tan difícil se vean las cosas.

Agradezco a mi hermana que siempre estuvo allí preocupada, apoyando y regalándome sonrisas haciendo que las cosas sean más llevaderas.

A mis padrinos de bautismo que siempre han tenido mucho cariño para mí y para mi familia, han sido grandes consejeros y un ejemplo de trabajo.

A mi tío abuelo Lucho, a la tía Miche y a los pequeños que siempre han estado en las buenas y en las malas junto a mi familia.

A mi tutor el ingeniero Byron Cortez que con su tutela, apoyo y enseñanzas se logró realizar este sueño, infinitas gracias.

A los ingenieros David Loza y Cristian Narvárez fueron de gran ayuda en la realización de la tesis.

A mis amigos y amigas que siempre estuvieron preocupados, en toda la realización de este proyecto. Con los cuales se compartió a lo largo de la carrera, fiestas, amanecidas y proyectos les agradezco por apoyarme y tener la confianza de que esto era posible.

Juan Carlos Jaramillo Cepeda

Tabla de contenido

| | |
|--|------|
| CERTIFICACIÓN..... | i |
| AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD..... | ii |
| AUTORIZACIÓN..... | iii |
| DEDICATORIA..... | iv |
| AGRADECIMIENTO..... | vi |
| RESUMEN..... | vii |
| ABSTRACT..... | viii |
| CAPÍTULO 1 | |
| 1.1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.2. ANTECEDENTES..... | 1 |
| 1.2.1. MÁQUINAS PELADORAS Y DESCORAZONADORAS DE MANZANAS..... | 1 |
| 1.3. PROBLEMA | 3 |
| 1.4. OBJETIVOS | 3 |
| 1.4.1. OBJETIVO GENERAL..... | 3 |
| 1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| 1.5. ALCANCE..... | 3 |
| 1.6. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO | 4 |
| 2.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS | 5 |
| 2.2. MÁQUINAS EXISTENTES PRODUCIDAS EN ECUADOR | 5 |
| 2.2.1. DESCREMADORAS DE LECHE CAPACIDAD 300 LITROS | 5 |
| 2.2.2. EXTRUSORA PARA CEREAL | 6 |
| 2.2.3. FRUTA Y VERDURAS CORTADAS PARA LA INDUSTRIA..... | 6 |
| 2.3. SEGURIDAD ALIMENTARIA | 7 |
| 2.3.1. ZONAS DE PRODUCCIÓN..... | 7 |
| 2.3.2. ZONA DE CONTACTO CON ALIMENTOS..... | 7 |
| 2.3.3. ZONA DE SALPICADURAS..... | 7 |
| 2.3.4. ZONA SIN CONTACTO CON LOS ALIMENTOS..... | 7 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.4. | SELECCIÓN DE MATERIALES..... | 7 |
| 2.4.1. | MATERIALES COMUNES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA..... | 8 |
| 2.4.1.1. | ACERO INOXIDABLE DE ALEACIÓN FINA..... | 8 |
| 2.4.1.2. | MATERIALES DE ALUMINIO..... | 8 |
| 2.4.1.3. | MATERIALES SINTÉTICOS Y ELASTÓMEROS..... | 9 |
| 2.4.2. | RESISTENCIA QUÍMICA..... | 9 |
| 2.4.3. | LUBRICANTES QUE PUEDEN ENTRAR EN CONTACTO CON LOS ALIMENTOS..... | 10 |
| 2.4.4. | DISEÑO DE MAQUINAS Y ESPECIFICACIONES DE DISEÑO..... | 10 |
| 2.4.4.1. | SUPERFICIES..... | 10 |
| 2.4.4.2. | ELEMENTOS DE UNIÓN, ROSCA..... | 11 |
| 2.4.4.3. | ÁNGULOS INTERIORES, ESQUINAS Y RADIOS..... | 11 |
| 2.4.4.4. | ESPACIOS VACÍOS Y SUPERFICIES OCULTAS..... | 12 |
| 2.4.4.5. | ABERTURAS DE COJINETES Y VÁSTAGOS..... | 13 |
| 2.4.4.6. | FIRMEZA DE LA PULPA DE LA MANZANA..... | 13 |
| 3.1. | SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS..... | 14 |
| 3.2. | LA CASA DE LA CALIDAD..... | 14 |
| 3.2.1. | VOZ DEL USUARIO..... | 14 |
| 3.2.2. | VOZ DEL INGENIERO..... | 14 |
| 3.3. | RESULTADOS DE LA CASA DE LA CALIDAD..... | 15 |
| 3.4. | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS..... | 16 |
| 3.5. | ANÁLISIS FUNCIONAL..... | 18 |
| 3.6. | ESTRUCTURA FUNCIONAL..... | 18 |
| 3.6.1. | NIVEL 0..... | 18 |
| 3.6.2. | NIVEL 1..... | 18 |
| 3.6.3. | NIVEL 2..... | 19 |
| 3.7. | DETERMINACIÓN MODULAR..... | 21 |
| 3.7.1. | MÓDULO 1 INGRESO Y SALIDA DE MANZANAS..... | 21 |
| 3.7.1.1. | SOLUCIÓN 1 CUCHILLA EN CRUZ..... | 21 |
| 3.7.1.2. | SOLUCIÓN 2 TRIDENTE..... | 22 |
| 3.7.1.3. | SOLUCIÓN 3 TRIDENTE MAS EJE DE CENTRO..... | 23 |
| 3.7.1.4. | EVALUACIÓN DE CRITERIOS PARA EL INGRESO Y SALIDA DE MANZANAS (MÓDULO 1)..... | 23 |

| | | |
|----------|---|----|
| 3.7.2. | MÓDULO 2 POSICIONAMIENTO AUTOMÁTICO DE LA MANZANA PARA PROCESOS..... | 27 |
| 3.7.2.1. | SOLUCIÓN 1 TRANSMISIÓN DIRECTA | 27 |
| 3.7.2.2. | SOLUCIÓN 2 TRANSMISIÓN MEDIANTE TREN DE ENGRANAJES..... | 28 |
| 3.7.2.3. | SOLUCIÓN 3 TRANSMISIÓN MEDIANTE CORREA | 29 |
| 3.7.2.4. | EVALUACIÓN DE CRITERIOS PARA POSICIONAMIENTO AUTOMÁTICO DE LA MANZANA | 30 |
| 3.7.3. | MÓDULO 3 CORTE Y PELADO AUTOMÁTICO | 32 |
| 3.7.3.1. | ACTIVAR MOVIMIENTO ROTACIONAL | 32 |
| 3.7.3.2. | PELAR MANZANAS..... | 34 |
| 3.7.3.3. | CORTAR MANZANA | 35 |
| 3.7.3.4. | TABLA DE COMBINACIÓN DE SOLUCIONES | 36 |
| 3.7.3.5. | EVALUACIÓN DE CRITERIOS PARA CORTE Y PELADO AUTOMÁTICO | 39 |
| 3.7.4. | MÓDULO 4 DESCORAZONADO AUTOMÁTICO | 42 |
| 3.7.4.1. | SOLUCIÓN 1 CUCHILLA MÓVIL | 42 |
| 3.7.4.2. | SOLUCIÓN 2 CUCHILLA MANUAL ADAPTADA | 43 |
| 3.7.4.3. | SOLUCIÓN 3 CORTE POR EJE HUECO..... | 44 |
| 3.7.4.4. | EVALUACIÓN DE CRITERIOS PARA DESCORAZONADO AUTOMÁTICO | 45 |
| 3.7.5. | MÓDULO 5 MOVIMIENTO DE CUCHILLAS | 47 |
| 3.7.5.1. | REGRESO DE CUCHILLA A POSICIÓN INICIAL..... | 47 |
| 3.7.5.2. | ALEJAR CUCHILLA | 49 |
| 3.7.5.3. | TABLA DE COMBINACIÓN DE SOLUCIONES MODULO 5 ... | 51 |
| 3.7.5.4. | EVALUACIÓN DE CRITERIOS PARA MOVIMIENTO DE CUCHILLAS (Módulo 5)..... | 55 |
| 3.7.5.5. | SOLUCIÓN OBTENIDA | 59 |
| 3.7.6. | SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS | 60 |
| 3.7.6.1. | SELECCIÓN DE CONTROLADOR | 60 |
| 3.7.6.2. | SOLUCIÓN 1 PIC..... | 60 |
| 3.7.6.3. | SOLUCIÓN 2 ARDUINO | 61 |
| 3.7.6.4. | SOLUCIÓN 3 PLC | 62 |
| 3.7.7. | SELECCIÓN MOTORES DE GIRO CONSTANTE | 64 |
| 3.7.8. | SELECCIÓN DEL MOTOR PARA GIRO DE TORRETA..... | 68 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 3.7.8.1. | MOTOR DC | 69 |
| 3.7.8.2. | MOTOR A PASOS | 69 |
| 3.7.8.3. | SERVO MOTOR | 70 |
| 3.7.8.4. | EVALUACIÓN DE CRITERIOS PARA SELECCIÓN DE EL INGRESO Y SALIDA DE MANZANAS | 70 |
| 3.7.9. | SELECCIÓN DEL MÓDULO DEL CARRO | 73 |
| 3.7.9.1. | MOTOR DC | 73 |
| 3.7.9.2. | MOTOR A PASOS | 73 |
| 3.7.9.3. | SERVO MOTOR | 74 |
| 3.7.9.4. | SOLUCIÓN OBTENIDA PARTE ELECTRÓNICA | 77 |
| 4.1. | DISEÑO DETALLADO | 79 |
| 4.2. | DISEÑO MECÁNICO..... | 79 |
| 4.2.1. | CÁLCULO DEL HUSILLO DE BOLAS | 79 |
| 4.2.2. | CÁLCULO DEL TORQUE DEL MOTOR | 84 |
| 4.2.3. | CÁLCULO DE DEFLEXIÓN DE EJE GUÍA DEL CARRO PORTA HERRAMIENTAS..... | 85 |
| 4.2.4. | DISEÑO CUCHILLA PARA INCRUSTAR LA MANZANA. | 87 |
| 4.2.4.1. | DISEÑO DE LOS ENGRANAJES..... | 87 |
| 4.2.4.2. | CÁLCULO DEL ANCHO DE CARA PARA EL PIÑÓN Y ENGRANE..... | 89 |
| 4.2.5. | DISEÑO DE EJE PARA CICLO DE FLEXIÓN Y TORSIÓN CONSTANTE, EJE PARA INCRUSTAR MANZANAS..... | 92 |
| 4.2.4.3. | SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL RODAMIENTO PARA UN EJE DE 12 MILÍMETROS | 111 |
| 4.2.6. | DISEÑO DE EJE PARA CUCHILLA ROTATORIA | 115 |
| 4.2.6.1. | SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL RODAMIENTO PARA UN EJE DE 12 MILÍMETROS | 128 |
| 4.2.7. | DISEÑO PARA LA TORRETA DE MANZANAS | 131 |
| 4.2.7.1. | DISEÑO DE LA TRANSMISIÓN POR ENGRANES | 133 |
| 4.2.8. | DISEÑO DE EJE PARA TORRETA DE MANZANAS | 141 |
| 4.2.8.1. | SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL RODAMIENTO PARA UN EJE DE 12 MILÍMETROS..... | 151 |
| 4.2.9. | DISEÑO RESORTE HELICOIDAL DE TORSIÓN PARA CUCHILLA PELADORA..... | 152 |
| 4.2.10. | DISEÑO DEL DESCORAZONADOR..... | 160 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 4.2.10.1. | DISEÑO DE RESORTE HELICOIDAL PARA GUÍA DE CUCHILLA PELADORA..... | 161 |
| 4.3. | DISEÑO ELECTRÓNICO | 167 |
| 4.3.1. | CONSUMO DE SENSORES Y ACTUADORES | 167 |
| 4.3.2. | SELECCIÓN DE DRIVERS Y FUENTE..... | 168 |
| 4.3.3. | DESARROLLO DEL ALGORITMO DE CONTROL..... | 169 |
| 4.3.3.1. | DISPOSICIÓN DE PINES DEL CONTROLADOR..... | 171 |
| 4.3.3.2. | PROGRAMACIÓN EN ARDUINO | 172 |
| 4.3.4. | PLACA DE POTENCIA | 172 |
| 4.4. | REDISEÑO | 176 |
| 5.1. | PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO | 179 |
| 5.1.1. | PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE POSICIONAMIENTO DE LA TORRETA..... | 179 |
| 5.1.1.1. | OBJETIVO | 179 |
| 5.1.1.2. | PERSONAS A CARGO DE LA PRUEBA | 179 |
| 5.1.1.3. | ACTIVIDADES | 179 |
| 5.1.1.4. | ENTRADAS..... | 179 |
| 5.1.1.5. | SALIDA | 180 |
| 5.1.1.6. | ESQUEMA..... | 180 |
| 5.1.1.7. | OBSERVACIONES | 180 |
| 5.1.2. | PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO MOVIMIENTO CARRO PORTA HERRAMIENTAS..... | 180 |
| 5.1.2.1. | OBJETIVO | 180 |
| 5.1.2.2. | PERSONAS A CARGO DE LAS PRUEBAS..... | 180 |
| 5.1.2.3. | ACTIVIDADES | 180 |
| 5.1.2.4. | ENTRADAS..... | 181 |
| 5.1.2.5. | SALIDA | 181 |
| 5.1.2.6. | ESQUEMA..... | 181 |
| 5.1.2.7. | OBSERVACIONES | 181 |
| 5.1.3. | PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DESCORAZONADO Y PELADO DE LA MANZANA..... | 182 |
| 5.1.3.1. | OBJETIVO | 182 |
| 5.1.3.2. | PERSONAS A CARGO DE LAS PRUEBAS..... | 182 |
| 5.1.3.3. | ACTIVIDADES | 182 |
| 5.1.3.4. | ENTRADA | 182 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 5.1.3.5. | SALIDAS | 182 |
| 5.1.3.6. | ESQUEMA..... | 183 |
| 5.1.3.7. | OBSERVACIONES..... | 183 |
| 5.1.4. | PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE REBANADO DE LA MANZANA..... | 183 |
| 5.1.4.1. | OBJETIVO..... | 183 |
| 5.1.4.2. | PERSONAS A CARGO DE LAS PRUEBAS..... | 183 |
| 5.1.4.3. | ACTIVIDADES | 184 |
| 5.1.4.4. | ENTRADA..... | 184 |
| 5.1.4.5. | SALIDAS | 184 |
| 5.1.4.6. | ESQUEMA..... | 184 |
| 5.1.4.7. | OBSERVACIONES..... | 185 |
| 6.1. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 186 |
| 6.1.1. | CONCLUSIONES..... | 186 |
| 6.1.2. | RECOMENDACIONES..... | 186 |
| 6.2. | Bibliografía | 188 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Pelador de manzanas Fuente: (Carroll David, 2008)..... | 1 |
| Figura 2 Peladores de manzanas. a) Pelador con tornillo sin fin y b) Pelador con tren de engranajes Fuente (Ibili, 2016, Lurch ,2015)..... | 2 |
| Figura 3 Procesos actualmente en la empresa (Ambafood`s, 2016) | 2 |
| Figura 4 Peladora multifuncional AS 4 Fuente: (KRONEN, 2014) | 4 |
| Figura 5 Descremadora de Leche ingemaq (INGEMAQ, N/A) | 6 |
| Figura 6 Extrusora de Cereal ingemaq (INGEMAQ, N/A) | 6 |
| Figura 7 Elementos de Unión (FESTO, 2013)..... | 11 |
| Figura 8 Ángulos interiores, esquinas y radios (FESTO, 2013) | 12 |
| Figura 9 Espacios vacíos y superficies ocultas (FESTO, 2013) | 12 |
| Figura 10 Casa de la Calidad. | 15 |
| Figura 11 Nivel 0 | 18 |
| Figura 12 Nivel 1 | 19 |
| Figura 13 Nivel 2 | 20 |
| Figura 14 Módulo 1 Ingreso y salida de manzanas..... | 21 |
| Figura 15 Cuchilla en Cruz. | 22 |
| Figura 16 Tridente..... | 22 |
| Figura 17 Tridente más eje de centro..... | 23 |
| Figura 18 Solución Idónea Módulo 1..... | 26 |
| Figura 19 Módulo 2 Posicionamiento automático. | 27 |
| Figura 20 Motor transmisión directa con torreta de manzanas..... | 28 |
| Figura 21 Transmisión con tren de engranajes. | 28 |
| Figura 22 Transmisión por Correa. | 29 |
| Figura 23 Solución idónea Módulo 2..... | 32 |
| Figura 24 Módulo 3 Corte y pelado automático. | 32 |
| Figura 25 Movimiento por fricción..... | 33 |
| Figura 26 Movimiento por contacto de engranes..... | 34 |
| Figura 27 Cuchilla en U para pelar frutas. | 34 |
| Figura 28 Cuchilla en espiral. | 35 |
| Figura 29 Cuchillas de alambres paralelos..... | 36 |
| Figura 30 Combinación de soluciones Módulo 3. | 37 |
| Figura 31 Solución Módulo 3, Alternativa 1. | 37 |
| Figura 32 Solución Módulo 3, Alternativa 2. | 38 |
| Figura 33 Solución Módulo 3, Alternativo 3. | 38 |
| Figura 34 Solución Módulo 3, Alternativa 4. | 39 |
| Figura 35 Solución Idónea Módulo 3..... | 42 |
| Figura 36 Módulo 4 Descorazonado automático. | 42 |
| Figura 37 Módulo 4 Cuchilla para descorazonar. | 43 |
| Figura 38 Módulo 4 Cuchilla de descorazonar manual. (G&Cia, 2012) | 43 |
| Figura 39 Módulo 4 Descorazonado por eje. a) Parte interior y b) eje hueco | 44 |
| Figura 40 Solución idónea Módulo 4..... | 47 |
| Figura 41 Módulo 5 Movimiento de las cuchillas. | 47 |

| | |
|--|-----|
| Figura 42 Movimiento por cremallera | 48 |
| Figura 43 Movimiento por tornillo sin fin. | 48 |
| Figura 44 Biela manivela corredera | 49 |
| Figura 45 Alejamiento de cuchilla por electroimán..... | 50 |
| Figura 46 Combinación de soluciones. Módulo 5 | 52 |
| Figura 47 Alternativa 1 Módulo 5..... | 52 |
| Figura 48 Alternativa 2 Módulo 5..... | 53 |
| Figura 49 Alternativa 3 Módulo 5..... | 53 |
| Figura 50 Alternativa 4 Módulo 5..... | 54 |
| Figura 51 Alternativa 5 Módulo 5..... | 54 |
| Figura 52 Alternativa 6 Módulo 5..... | 55 |
| Figura 53 Solución idónea. Módulo 5..... | 58 |
| Figura 54 Solución idónea | 60 |
| Figura 55 Microcontrolador (MikroElektronica, 2016) | 61 |
| Figura 56 Placa Arduino (Arduino , 2016) | 61 |
| Figura 57 PLC (Siemens , 2016)..... | 62 |
| Figura 58 Solución Idónea. Controlador (Arduino , 2016)..... | 64 |
| Figura 59 Motor DC (Consortium of Cognitive science, 2016) | 65 |
| Figura 60 Motor a Pasos (Inteligencia artificial, 2016) | 65 |
| Figura 61 Motor AC (Vandelvira, 2016) | 66 |
| Figura 62 Motor DC (Consortium of Cognitive science, 2016) | 68 |
| Figura 63 (Consortium of Cognitive science, 2016)..... | 69 |
| Figura 64 (Inteligencia artificial, 2016) | 69 |
| Figura 65 (Robotshop, 2016) | 70 |
| Figura 66 (Inteligencia artificial, 2016) | 72 |
| Figura 67 (Consortium of Cognitive science, 2016)..... | 73 |
| Figura 68 (Inteligencia artificial, 2016) | 73 |
| Figura 69 (Robotshop, 2016) | 74 |
| Figura 70 Solución idónea movimiento de carro | 77 |
| Figura 71 Solución Electrónica..... | 77 |
| Figura 72 Longitud de la tuerca (SKF, 2016, pág. 19) | 81 |
| Figura 73 Factor de corrección de montaje f1 (SKF, 2016, pág. 50)..... | 82 |
| Figura 74 Factor de corrección de montaje f3 (SKF, 2016, pág. 50)..... | 82 |
| Figura 75 Constante μ (SKF, 2016, pág. 51) | 83 |
| Figura 76 Motor DC 24V 400 rpm (Amazon, 2016) | 85 |
| Figura 77 Diagrama de cuerpo Libre | 85 |
| Figura 78 Geometría de diseño preliminar | 92 |
| Figura 79 Diagrama de Cuerpo Libre | 93 |
| Figura 80 Diagrama de cortante y de momento en plano y-z | 95 |
| Figura 81 Diagrama de cortante y de momento plano x-z..... | 95 |
| Figura 82 Diagrama de magnitud de momentos | 96 |
| Figura 83 Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_t .en flexión (Norton, 2011, pág. 998) | 104 |
| Figura 84 Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_{ts} .en torsión (Norton, 2011, pág. 999) | 105 |

| | |
|---|-----|
| Figura 85 Geometría de diseño preliminar cuchilla rotatoria | 116 |
| Figura 86 Diagrama de cuerpo libre Cuchilla giratoria en el plano Y-Z | 117 |
| Figura 87 Diagrama de cuerpo libre Cuchilla giratoria en el plano X-Z | 118 |
| Figura 88 Diagrama esfuerzo cortante y momento flector cuchilla giratoria plano X-Z..... | 120 |
| Figura 89 Diagrama esfuerzo cortante y momento flector cuchilla giratoria plano Y-Z..... | 120 |
| Figura 90 Diagrama de magnitud de momentos Cuchilla Giratoria | 121 |
| Figura 91 Rodamientos de bolas de ranura profunda de una sola hilera. (NSK, 2016, pág. B8)..... | 129 |
| Figura 92 Catalogo para la selección de chumaceras (NSK, 2016, pág. B282) | 130 |
| Figura 93 Torreta de Manzanas..... | 131 |
| Figura 94 Motor a pasos (OMC, 2016)..... | 133 |
| Figura 95 Tren de engranes para eje de torreta de manzanas | 133 |
| Figura 96 Geometría de diseño preliminar eje de torreta..... | 141 |
| Figura 97 Diagrama de cuerpo libre eje torreta de manzanas..... | 142 |
| Figura 98 Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector eje de torreta..... | 143 |
| Figura 99 Representación gráfica de la cuchilla y manzana | 153 |
| Figura 100 Diámetros de alambre preferidos (Norton, 2011, pág. 653)..... | 154 |
| Figura 101 Transmisión de Movimiento..... | 160 |
| Figura 102 Módulo puente H L298 (geekfactory, 2017)..... | 168 |
| Figura 103 Fuente Switching 12V 10 ^a (01seguridad, 2017)..... | 169 |
| Figura 104 Algoritmo de Control..... | 170 |
| Figura 105 Conexión de componentes | 172 |
| Figura 106 Circuito de Potencia..... | 173 |
| Figura 107 Placa de Potencia | 174 |
| Figura 108 Placa de potencia con componentes | 175 |
| Figura 109 Tornillo sin fin (Bangood, 2017)..... | 176 |
| Figura 110 Motor con caja reductora 300rpm 12V (Amazon, 2017) | 177 |
| Figura 111 Actividades en la prueba de Funcionamiento Posicionamiento de torreta | 180 |
| Figura 112 Actividades en la prueba de funcionamiento de Movimiento del carro porta herramientas..... | 181 |
| Figura 113 Actividades en Prueba de funcionamiento de Pelado y descorazonado | 183 |
| Figura 114 Actividades en Prueba de funcionamiento de Rebanado de la manzana | 184 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Aceros Aleación Fina (FESTO, 2013)..... | 8 |
| Tabla 2 Aleaciones de aluminio (FESTO, 2013)..... | 9 |
| Tabla 3 Materiales sintético y elastómeros (FESTO, 2013)..... | 9 |
| Tabla 4 Resistencia química de los plásticos. (Ensinger, 2016)..... | 10 |
| Tabla 5 Firmeza de la Pulpa (Dirección general de normas mexicanas , 1993)..... | 13 |
| Tabla 6 Descripción de las columnas de la casa de la calidad..... | 16 |
| Tabla 7 Especificaciones Técnicas..... | 17 |
| Tabla 8 Evaluación de criterios Módulo 1..... | 24 |
| Tabla 9 Evaluación de alternativas de criterio Facilidad para incrustar la manzana..... | 24 |
| Tabla 10 Evaluación de alternativas para criterio Facilidad de centrar la Manzana..... | 25 |
| Tabla 11 Evaluación de alternativas para criterio Facilidad para retirar..... | 25 |
| Tabla 12 Evaluación de alternativas para criterio Facilidad de construcción..... | 25 |
| Tabla 13 Evaluación de alternativas para criterio Costo..... | 26 |
| Tabla 14 Solución Idónea Módulo 1..... | 26 |
| Tabla 15 Evaluación de criterios Módulo 2..... | 30 |
| Tabla 16 Evaluación de alternativas de criterio Exactitud al Posicionarse..... | 30 |
| Tabla 17 Evaluación de alternativas de criterio Costo de Motor..... | 30 |
| Tabla 18 Evaluación de alternativas de criterio Compacto..... | 31 |
| Tabla 19 Evaluación de alternativas de criterio Alto Torque..... | 31 |
| Tabla 20 Solución idónea Módulo 2..... | 31 |
| Tabla 21 Evaluación de criterios Modulo 3..... | 39 |
| Tabla 22 Evaluación de alternativas de criterio Fácil Implementación..... | 40 |
| Tabla 23 Evaluación de alternativas de criterio Bajo Costo..... | 40 |
| Tabla 24 Evaluación de alternativas de criterio Fácil Mantenimiento..... | 40 |
| Tabla 25 Evaluación de alternativas de criterio Robustez..... | 41 |
| Tabla 26 Solución idónea Módulo 3..... | 41 |
| Tabla 27 Evaluación de criterios Módulo 4..... | 45 |
| Tabla 28 Evaluación de alternativas de criterio Fácil Implementación..... | 45 |
| Tabla 29 Evaluación de alternativas de criterio Facilidad de mantenimiento..... | 45 |
| Tabla 30 Evaluación de alternativas de criterio Expulsa Corazones..... | 46 |
| Tabla 31 Evaluación de alternativas de criterio Bajo costo..... | 46 |
| Tabla 32 Solución idónea Módulo 4..... | 46 |
| Tabla 33 Evaluación de criterios Módulo 5..... | 55 |
| Tabla 34 Criterio Fácil de implementar..... | 56 |
| Tabla 35 Criterio Bajo costo..... | 56 |
| Tabla 36 Criterio Fácil mantenimiento..... | 56 |
| Tabla 37 Criterio Vida útil..... | 57 |
| Tabla 38 Criterio Compacto..... | 57 |
| Tabla 39 Criterio Robusto..... | 58 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 40 Solución idónea Módulo 5 | 58 |
| Tabla 41 Resumen de Soluciones de cada módulo | 59 |
| Tabla 42 Evaluación de controlador | 62 |
| Tabla 43 Evaluación de alternativas criterio Bajo Costo | 63 |
| Tabla 44 Evaluación de alternativas criterio Adquisición | 63 |
| Tabla 45 Evaluación de alternativas criterio Implementación | 63 |
| Tabla 46 Evaluación de alternativas Criterio # elementos | 64 |
| Tabla 47 Solución Idónea Controladores | 64 |
| Tabla 48 Evaluación de criterios Motor giro constante | 66 |
| Tabla 49 Evaluación de alternativas criterio Costo | 67 |
| Tabla 50 Evaluación de alternativas criterio Alta Velocidad | 67 |
| Tabla 51 Evaluación de alternativas criterio Alto Torque | 67 |
| Tabla 52 Evaluación de alternativas de criterio Control | 68 |
| Tabla 53 Solución Idónea motor giro constante | 68 |
| Tabla 54 Evaluación de criterios | 70 |
| Tabla 55 Evaluación de alternativas de Alto torque. | 71 |
| Tabla 56 Evaluación de alternativas de Posicionamiento. | 71 |
| Tabla 57 Evaluación de alternativas Alta Velocidad. | 71 |
| Tabla 58 Evaluación de alternativas Alta corriente. | 72 |
| Tabla 59 Solución Idónea | 72 |
| Tabla 60 Evaluación de criterios movimiento carro. | 74 |
| Tabla 61 Evaluación de alternativas de costo. | 75 |
| Tabla 62 Evaluación de alternativas para vida útil | 75 |
| Tabla 63 Evaluación de alternativas para velocidad | 75 |
| Tabla 64 Evaluación de alternativas para robustez | 76 |
| Tabla 65 Solución Idónea | 76 |
| Tabla 66 Husillos miniatura SDS/BDS/SHS de acero inoxidable (SKF, 2016, pág. 18) | 80 |
| Tabla 67 Longitud de la Tuerca (SKF, 2016, pág. 19) | 81 |
| Tabla 68 Datos técnicos del motor DC | 85 |
| Tabla 69 Factores Km de distribución de carga (Norton, 2011, pág. 577) | 89 |
| Tabla 70 Aplicación de factores Ka (Norton, 2011, pág. 577) | 91 |
| Tabla 71 Factor geométrico J para flexión para ángulo de 20 (Norton, 2011, pág. 574) | 91 |
| Tabla 72 Resumen de características del piñón y engrane | 92 |
| Tabla 73 Propiedades mecánicas del Acero AISI 304 (Norton, 2011, pág. 989) | 97 |
| Tabla 74 Coeficientes del factor de Superficies (Norton, 2011, pág. 263) | 98 |
| Tabla 75 Factores de confiabilidad (Norton, 2011, pág. 265) | 98 |
| Tabla 76 Resumen Valores de Corrección primera iteración punto A | 99 |
| Tabla 77 Constante de Neuber para Aceros (Norton, 2011, pág. 276) | 99 |
| Tabla 78 Estimaciones de primera iteración de los factores de concentración de esfuerzos Kf | 101 |
| Tabla 79 Resumen Valores de Corrección punto A | 102 |
| Tabla 80 Interpolación de Factor geométrico de concentración de esfuerzos Kt.en flexión para D/d=1.33 | 104 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 81 Interpolación de Factor geométrico de concentración de esfuerzos Kt. en flexión para $D/d=1.35$ | 108 |
| Tabla 82 Interpolación de Factor geométrico de concentración de esfuerzos Kts.en torsión para $D/d=1.35$ | 108 |
| Tabla 83 Resumen Valores de Corrección punto C | 109 |
| Tabla 84 Resumen de resultados para pieza incrustar manzanas..... | 110 |
| Tabla 85 Interpolación para valor de 3.98 | 113 |
| Tabla 86 Juegos internos radiales en rodamientos de bolas para motores Eléctricos (NSK, 2016, pág. A90) | 114 |
| Tabla 87 Límites de ajustes..... | 115 |
| Tabla 88 Datos Mecánicos | 121 |
| Tabla 89 Resumen Valores de Corrección punto B | 123 |
| Tabla 90 Interpolación de Factor geométrico de concentración de esfuerzos Kts.en torsión para $D/d=1.5$ | 124 |
| Tabla 91 Resumen Valores de Corrección punto C | 126 |
| Tabla 92 Resumen de resultados para pieza Cuchilla rotatoria | 128 |
| Tabla 93 Diámetros de Rodamientos (NSK, 2016, pág. B8) | 129 |
| Tabla 94 Dimensiones de chumacera (NSK, 2016, pág. B282)..... | 130 |
| Tabla 95 Momentos de inercia Torreta de manzanas..... | 132 |
| Tabla 96 Datos motor a Pasos | 133 |
| Tabla 97 Resumen de características del piñón | 137 |
| Tabla 98 Resumen de características del engrane..... | 141 |
| Tabla 99 Datos Mecánicos | 144 |
| Tabla 100 Interpolación de Factor geométrico de concentración de esfuerzos Kts.en torsión para $D/d=1.5$ | 146 |
| Tabla 101 Resumen Valores de Corrección punto C | 148 |
| Tabla 102 Interpolación de Factor geométrico de concentración de esfuerzos Kt.en flexión para $D/d=1.25$ | 149 |
| Tabla 103 Interpolación de Factor geométrico de concentración de esfuerzos Kts.en torsión para $D/d=1.25$ | 150 |
| Tabla 104 Resumen de resultados para eje de torreta de manzanas | 151 |
| Tabla 105 Coeficientes y exponentes para la ecuación (4. 191)..... | 156 |
| Tabla 106 Resistencia máxima a la fluencia por flexión S_y (Norton, 2011, pág. 697) | 157 |
| Tabla 107 Tabla de Características Técnicas del Acero Inoxidable | 161 |
| Tabla 108 Consumo de corriente de actuadores, sensores y controlador | 167 |
| Tabla 109 Designación de Pines | 171 |
| Tabla 110 Elementos de Placa de potencia | 173 |
| Tabla 111 Datos técnicos de motor DC 300 rpm..... | 178 |

RESUMEN

En el presente proyecto se desarrolló cálculos, diseño y construcción de un prototipo de máquina procesadora de manzanas para la empresa AMBAFOOD'S CIA. LTDA.; la máquina cumplirá las funciones de pelado, cortado y descorazonado de manzanas con alimentación manual y de forma semiautomática. Con el fin de mejorar varios procesos existentes en la empresa, que actualmente se los realiza de manera manual.

El prototipo está realizado de acuerdo a las normas alimentarias, está realizada en acero inoxidable AISI 304 grado alimenticio, la máquina cuenta con varias estaciones de trabajo donde se realiza las diferentes actividades.

La máquina cuenta con actuadores independientes para cada proceso, lo que ayuda que su diseño sea sencillo y que el control pueda ser modificado.

El control realizado es del tipo ON /OFF, se lo realizó con un procesador Arduino mega 2560 y con ayuda de un sensor de distancia, que se encarga de cambiar el sentido de avance del sistema de corte. Para el posicionamiento de las manzanas se usó un motor a pasos, que ubica las manzanas en las diferentes posiciones.

La máquina tiene tres posiciones específicas, la primera es de ingreso de manzana, la segunda es de pelado y cortado, la tercera es de descorazonado.

La forma de utilización de la máquina es la siguiente. Se inserta la manzana, gira a la posición donde es cortada y pelada, dando posibilidad de insertar otra manzana, luego gira a la posición de descorazonado y finalmente a la posición de inicio donde se retira la manzana procesada y se puede ingresar otra.

Palabras clave:

- **ARDUINO MEGA**
- **CONTROL ON /OFF**
- **AISI 304**

ABSTRACT

In the present project we developed calculations, designed and built a prototype of apple processing machine for the company AMBAFOOD'S CIA. LTDA.; The machine will perform the functions of peeling, cutting of apples with manual feeding and semiautomatic form. In order to improve several processes which exist in the company.

The prototype is made according to food standards, it is made of stainless steel AISI 304, the machine has several workstations where different activities are performed.

The machine has independent actuators for each process, which helps that its design is simple and that the control can be modified.

The control is of the ON / OFF type, it is done with an Arduino Mega 2560 processor and with the help of a distance sensor, which is responsible for changing the direction of advance of the cutting system. For the positioning of the apples a stepper motor was used, which places the apples in the different positions.

The machine has three specific positions, the first is apple entry, the second is peeled and cutting, third is discouraged.

The way of using the machine is as follows. The apple is inserted, rotated to the position where it is cut and peeled, allowing the possibility of inserting another apple, then turning to the discouraged position and finally to the starting position where the processed apple is removed and another can be entered.

Keywords

- **ARDUINO MEGA**
- **ON /OFF CONTROL**
- **AISI 304**

CAPÍTULO 1

En el capítulo 1 se hablará sobre la implementación de una máquina procesadora de manzanas que satisfaga las necesidades de la empresa patrocinadora. Se menciona una breve reseña de las máquinas procesadoras de manzanas y su funcionamiento. Se explica la importancia de la implementación, los objetivos planteados para el desarrollo de la máquina y las expectativas que se tienen en esta máquina. También se realiza un resumen de lo que contendrán los capítulos venideros.

1.1. INTRODUCCIÓN

Las máquinas o utensilios procesadores de alimentos son instrumentos utilizados en el ambiente industrial como en el hogar. Las máquinas procesadoras dentro de la industria pueden ser automáticas, semiautomáticas, o manuales.

Dentro de la industria alimenticia la automatización de máquinas procesadoras es un requisito debido a que las máquinas automáticas o semiautomáticas mejoran la calidad del producto, disminuyen tiempo de producción y destinan los recursos humanos a otras áreas de la empresa.

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. MÁQUINAS PELADORAS Y DESCORAZONADORAS DE MANZANAS

Un pelador de manzanas es una máquina que sirve para retirar la corteza de la fruta, se le atribuye su creación a Eli Whitney en 1777 (Figura 1), sin embargo la patente fue en el año de 1803 por Moisés Coates.

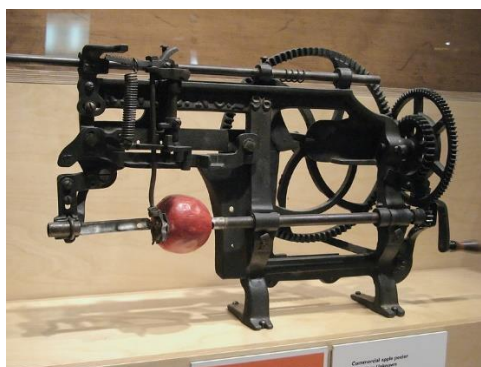


Figura 1 Pelador de manzanas
Fuente: (Carrol David, 2008)

Las peladoras de manzanas en su mayoría consisten de un mecanismo que consta de un tornillo sin fin (Figura 2a) o de un tren de engranes (Figura 2b). Los mecanismos mencionados tiene la función de girar la manzana y mover la manzana en caso de que la cuchilla sea fija o mover la cuchilla en caso de que sea móvil para pelar las manzanas.



a)



b)

Figura 2 a) Pelador con tornillo sin fin y b) Pelador contren de engranajes
Fuente: (Ibili, 2016, Lurch ,2015)

En el mercado además de los peladores vistos anteriormente de accionamiento manual también existen otros que utilizan energía eléctrica y realizan el proceso de pelado automáticamente. Sin embargo la mayoría de ellos no realizan todos los procesos. En el mercado europeo existe una máquina fabricada por Kronen capaz de realizar estas acciones de manera automática.

La empresa Ambafood´s localizada en la provincia de Tungurahua, dedicada a la fabricación de productos innovadores naturales. Es una empresa en desarrollo incluyente que trabaja con asociaciones agrícolas de la región. La empresa utiliza tecnología de bajo costo y en lo posible que sea desarrollada en el país para realizar los diversos procesos necesarios en el tratamiento de la fruta.

Los procesos que se realizan actualmente en la empresa para el procesamiento de manzanas son manuales. Utilizan instrumentos básicos de cocina como peladores, descorazonadores y cortadores utilizados por los operarios. Con el afán de optimizar la producción, la empresa decidió automatizar los procesos de pelado, cortado y descorazonado.

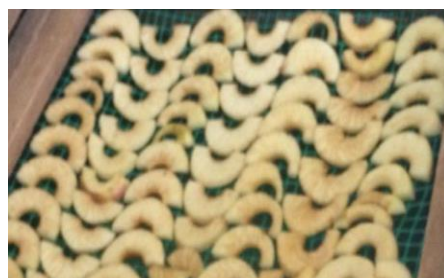


Figura 3 Procesos actualmente en la empresa
Fuente:(Ambafood`s, 2016)

1.3. PROBLEMA

La empresa Ambafood`s desea migrar los procesos manuales de pelado, cortado y descorazonado por procesos automatizados capaces de disminuir los tiempos de producción y oxidación de las frutas. Sin embargo adquirir una máquina en el mercado internacional capaz de realizar automáticamente estas acciones conlleva una gran inversión y una dificultad para obtenerla.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1.OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar y construir un prototipo de máquina semiautomática procesadora de manzanas para la empresa Ambafood`s.

1.4.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos que se usen en la construcción de la máquina procesadora de manzanas
- Generar un programa que controle cada uno de los procesos de la máquina procesadora de manzanas
- Seleccionar la instrumentación adecuada para poder realizar el control del proceso automatizado.
- Implementar la máquina procesadora de manzanas.
- Realizar las pruebas de los distintos procesos que ha de realizar la procesadora de manzanas.

1.5. ALCANCE

El presente proyecto se desarrollará con muchas características semejantes a la “peladora multifuncional AS 4”. La peladora multifuncional Kronen AS 4 (Figura 4) es perfectamente adecuada para procesar una amplia gama de manzanas (Θ 55 -85 mm): pelado, descorazonado, corte en rodajas y/o rodajas en un solo ciclo (KRONEN, 2014).



Figura 4 Peladora multifuncional AS 4
Fuente: (KRONEN, 2014)

. Las características que estarán presentes para el proyecto son:

- Pelado automático.
- Cortado automático.
- Descorazonado automático.

El proceso se da de manera consecutiva. Las manzanas serán ingresadas de forma manual. En la primera posición la manzana es ingresada, en la segunda posición es pelada y cortada en anillos y en la tercera posición la manzana es descorazonada finalizando el proceso.

1.6. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El presente documento consta con seis capítulos.

El primer capítulo proporciona la información sobre la importancia del proyecto, antecedentes, objetivos y alcance del mismo.

El segundo capítulo nos muestra la fundamentación teórica y normas para la construcción de máquinas para la industria alimentaria.

En el tercer capítulo se realiza una evaluación de alternativas para el diseño de la máquina. Se utilizara el diseño concurrente para obtner una mejor alternativa.

En el cuarto capítulo se encuentra el diseño mecánico, control electrónico de la máquina, así como la incorporación y cuantificación de sensores y actuadores en la procesadora de manzanas.

En el capítulo cinco se habla del desempeño de la máquina mediante la realización de pruebas de funcionamiento. Se define el tipo de actividades realizadas para comprobar el buen funcionamiento de la máquina.

Finalmente el sexto capítulo contiene conclusiones y recomendaciones durante el desarrollo del trabajo.

CAPÍTULO 2

2.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La limpieza en el procesamiento de alimentos es indispensable para la protección del consumidor. Uno de los principales objetivos es proteger a los consumidores de brotes de enfermedades que pueden ser transmitidas por los alimentos.

De acuerdo a la resolución No. 14346 por parte del Ministerio de industrias y productividad. Declara que el instituto Ecuatoriano de normalización INEN es el encargado en la elaboración de las normas y reglamentos necesarios para precautelar la seguridad de la vida humana, animal, vegetal y el medio ambiente. La reglamentación técnica comprende la elaboración, adopción y aplicación de reglamentos técnicos necesarios, para lo cual se ha formulado el reglamento técnico Ecuatoriano RTE. INEN 131 “Seguridad e higiene de maquinaria para procesamiento de alimentos” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, 2014). El reglamento se regirá con las normas UNE-EN 1672-2 y UNE-EN ISO 12100. En el presente capítulo se presenta información sobre las normas que debe cumplir las máquinas de la industria alimentaria. Se presenta también las generalidades sobre las manzanas que serán útiles para el desarrollo del presente proyecto.

2.2. MÁQUINAS EXISTENTES PRODUCIDAS EN ECUADOR

2.2.1. DESCREMADORAS DE LECHE CAPACIDAD 300 LITROS

Esta máquina es creada por la empresa INGEMAQ, especializada en el diseño y construcción de máquinas procesadoras de alimento, selladoras, hornos para termo encogido. La descremadora de leche tiene una capacidad de 300 litros con regulador para diferentes espesores de crema, funciona a 220 voltios con un motor monofásico, posee tolva, discos y platos en acero inoxidable de grado alimenticio.



Figura 5 Descremadora de Leche ingemaq
Fuente: (INGEMAQ, N/A)

2.2.2.EXTRUSORA PARA CEREAL

Máquina extrusora de tornillo que permite obtener diferentes tipos o figuras de cereales como maíz, quinua, arroz, cebada, con capacidades variables según las necesidades del cliente. Ideal para reducir tiempos de producción y mano de obra.



Figura 6 Extrusora de Cereal ingemaq
Fuente: (INGEMAQ, N/A)

2.2.3.FRUTA Y VERDURAS CORTADAS PARA LA INDUSTRIA

A las frutas o verduras después de ser cortadas se los conoce como productos mínima o ligeramente procesados. Un proceso mínimo o ligero de frutas o vegetales puede comprender el lavado, pelado, cortado o triturado. En conclusión cualquier proceso que cambien de alguna manera la forma de la fruta lo convierte en un producto ligeramente procesado. El procesamiento mínimo requiere de un alto nivel de higiene con una etapa de desinfección de cuchillas y de elementos que entraran en contacto.

2.3. SEGURIDAD ALIMENTARIA

En el diseño de una máquina hay que tomar en cuenta que el equipo debe permitir mantenimiento y limpieza adecuados. Se debe tomar en cuenta todos los riesgos e integrar medidas para su eliminación o reducción. La directiva de máquinas 2006/42/CE habla sobre la protección y seguridad de operarios y consumidores en todas las zonas donde los alimentos están en contacto directo con piezas y componentes de la máquina evitando cualquier peligro posible. Las máquinas deben estar diseñadas y construidas de manera que no haya riesgo de transmitir infecciones, enfermedades ni contagios. Por lo cual se han designado tres zonas de producción.

2.3.1.ZONAS DE PRODUCCIÓN

Las zonas de producción son los elementos de las máquinas que se encuentran en contacto directo o indirecto con los alimentos.

2.3.2.ZONA DE CONTACTO CON ALIMENTOS.

En esta zona se encuentran ubicados todos los componentes de la máquina que se encuentran en contacto directo con el flujo de los alimentos. Los componentes de esta zona deben poder ser lavadas, desinfectadas, resistentes a la corrosión, no tóxicas ni absorbentes (Wagner, Libro blanco – Seguridad alimentaria, 2015, pág. 2).

2.3.3.ZONA DE SALPICADURAS.

La máquina debe estar diseñada de manera que retenga la mayor cantidad de salpicaduras. Los componentes de la máquina que se encuentran en esta zona están en contacto con los alimentos que no retornan al flujo de producción. Pero deben ser diseñados de acuerdo a los criterios expuestos en la zona de contacto con los alimentos.

2.3.4.ZONA SIN CONTACTO CON LOS ALIMENTOS.

En la zona sin contacto con los alimentos están los componentes de la máquina que no entran en contacto con los alimentos. Sin embargo estas partes deben construirse con material anticorrosivo, lavable y desinfectable (Wagner, Libro blanco – Seguridad alimentaria, 2015).

2.4. SELECCIÓN DE MATERIALES.

Durante la producción, y para proteger el alimento, los componentes de la máquina no deben desprender ni absorber sustancias nocivas ni que alteren negativamente el sabor u olor de los alimentos, tanto por contacto directo como indirecto. Por lo tanto para garantizar la seguridad durante la limpieza, los materiales de la máquina no deben reaccionar a los productos de limpieza ni a productos químicos antimicrobianos (desinfectantes). Por tanto deben ser resistentes a la corrosión, estables mecánicamente y diseñados de forma que el material no sufra alteraciones (Kutz, 2007).

2.4.1. MATERIALES COMUNES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

2.4.1.1. ACERO INOXIDABLE DE ALEACIÓN FINA.

El acero inoxidable es resistente a la corrosión, ya que contiene al menos, un 12% de Cr, lo que permite la formación de una delgada capa de protección de óxido de cromo cuando el acero es expuesto al oxígeno. El acero inoxidable de aleación fina (Tabla 1) es la opción comúnmente más usada para la construcción de máquina y equipos de la industria alimentaria.

Tabla 1
Aceros Aleación Fina

| Aceros de aleación fina (conformidad con la directiva 2002/95/CE (RoHS)) | | | | | |
|--|-------------------|--------|---|--|--|
| AISI | EN10088-1 | DIN | Internacional | Apto para el contacto con productos alimentarios según | Clase de resistencia a la corrosión CRC |
| AISI 304 | X5CrNi18-10 | 1.4301 | 0Cr18Ni9 (China) SUS 304 (Japón) STS 304 (Corea) 08Ch18N10 (CEI) | ANSI/NSF 51 | 3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico) |
| AISI 316 | X5CrNiMo17-12-2 | 1.4401 | STS 316 (Corea) 08Ch16N11M3 (CEI) 0Cr17Ni12Mo2 (China) SUS 316 (Japón) | ANSI/NSF 51 | 3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico) |
| AISI 316L | X2CrNiMo17-12-2 | 1.4404 | 00Cr17Ni14Mo2 (China) STS 316L (Corea) SUS 316L (Japón) | ANSI/NSF 51 | 3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico) |
| AISI 316L | X2CrNiMo18-14-3 | 1.4435 | 00Cr17Ni14Mo2 (China) SUS 316L (Japón) | ANSI/NSF 51 | 3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico) |
| AISI 329 | X3CrNiMoN27-5-2 | 1.4460 | 0Cr26Ni5Mo2 (China) 10Ch26N5M (CEI) SUS 329J1 (Japón) | ANSI/NSF 51 | 3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico) |
| AISI 316Ti | X6CrNiMoTi17-12-2 | 1.4571 | 0Cr18Ni12MoTi (China) 10Ch17N13M2T (CEI) STS 316Ti (Corea) SUS 316Ti (Japón) | ANSI/NSF 51 | El titanio incrementa la CRC a 4 |

Fuente: (FESTO, 2013)

2.4.1.2. MATERIALES DE ALUMINIO

El aluminio es un metal muy ligero, buen conductor eléctrico y térmico que presenta una buena resistencia a la corrosión. El aluminio reacciona con el oxígeno para formar una capa delgada de óxido de aluminio que lo protege de los medios corrosivos.

Los materiales de aleaciones de aluminio (Tabla 2) suelen utilizarse con frecuencia en las estructuras de las máquinas para alimentos. Son más económicos y fáciles de mecanizar.

Tabla 2
Aleaciones de aluminio

| Aleaciones de aluminio (conformidad con la directiva 2002/95/CE (RoHS)) | | | | |
|---|------------------------------------|--|--|---|
| Denominación | Código de material según EN | Apto para el contacto con productos alimentarios según | Clase de resistencia a la corrosión CRC sin tratar | Clase de resistencia a la corrosión CRC anodizado |
| AlCuMg1, AlCuMg2 | EN AW-2017A, EN AW-2024 | – | 0 | 1 |
| Al99,5 | EN-AW-1050A | ANSI/NSF 51 | 0 ... 1 | 2 |
| AlMgSi0,5 | EN-AW-6060 | ANSI/NSF 51 | 1 ... 2 | 3 |
| AlMgSi0,7 | EN-AW-6005A | ANSI/NSF 51 | 1 ... 2 | 3 |
| AlMgSi1 | EN-AW-6082 | ANSI/NSF 51 | 1 ... 2 | 3 |
| AlMg1, AlMg3, AlMg5 | EN-AW-5005, EN-AW-5774, EN-AW-5019 | ANSI/NSF 51 | 1 ... 2 | 3 |

Fuente: (FESTO, 2013)

2.4.1.3. MATERIALES SINTÉTICOS Y ELASTÓMEROS

Los materiales sintéticos y elastómeros para entrar en contacto directo con los alimentos deben cumplir la disposición 1935/ 2004/ CE o la disposición sobre materiales sintéticos 10/2011 o las directivas de la FDA. Los materiales sintéticos y elastómeros para estar en contacto directo con los alimentos deben cumplir con: resistencia a la corrosión, capacidad de limpieza y no deben desprender ni absorber material nocivo.

Tabla 3
Materiales sintético y elastómeros

| Materiales sintéticos y elastómeros | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|
| Denominación | Abreviatura | Conformidad dentro de un grupo posible según: | Resistencia a ácidos diluidos | Resistencia a lejías diluidas |
| Polipropileno | PP | FDA y / o 10/2011 | ± | + |
| Poliamida | PA | FDA y / o 10/2011 | – | o |
| Cloruro de polivinilo | PVC | – | ± | ± |
| Polifluoruro de vinilideno | PVDF | FDA y / o 10/2011 | ± | ± |
| Polioximetileno | POM | FDA y / o 10/2011 | – | o |
| Polimetilmetacrilato | PMMA | FDA y / o 10/2011 | ± | ± |
| Policarbonato | PC | FDA y / o 10/2011 | ± | – |
| Poliétileno HD | PE-HD | FDA y / o 10/2011 | ± | ± |
| Tereftalato de polietileno | PET | FDA y / o 10/2011 | o | – |
| Polietereftercetona | PEEK | FDA y / o 10/2011 | ± | ± |
| Politetrafluoroetileno | PTFE | FDA y / o 10/2011 | ± | ± |
| Caucho etileno-propileno-dieno | EPDM | FDA | ± | ± |
| Caucho fluorado | FKM/caucho fluorado | FDA | ± | – |

–: no resistente; o: limitadamente resistente; ±: resistente

Fuente: (FESTO, 2013)

2.4.2. RESISTENCIA QUÍMICA

Los criterios para la comprobación de la resistencia química son la temperatura, concentración de agentes, tiempo de residencia y sollicitaciones mecánicas. La Tabla 4 muestra plásticos utilizados en la industria de alimentos y su resistencia química de acuerdo a pruebas realizadas en un clima normalizado 23/50 según DIN 50014

Tabla 4
Resistencia química de los plásticos.

| | TECAPEEK (PEEK) | TECAPEEK TF10 azul (PEEK) | TECATRON (PPS) | TECASON P (PPSU) | TECASON S (PSU) | TECAFLON PTFE (PTFE) | TECAFLON PVDF (PVDF) | TECAMID 6 (PA 6) | TECAST T (PA 6 C) | TECAMID 66 (PA 66) | TECANAT (PC) | TECAPET (PET) | TECAFORM AH (POM-C) | TECAFORM AD (POM-H) | TECAPRO (PP) | TECARAN ABS (ABS) |
|-----------------------|-----------------|---------------------------|----------------|------------------|-----------------|----------------------|----------------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------|---------------|---------------------|---------------------|--------------|-------------------|
| Ácidos - débiles | + | + | + | + | + | + | + | - | - | - | (+) | + | (+) | - | + | + |
| Ácidos - fuertes | (+) | (+) | + | (+) | (+) | (+) | (+) | - | - | - | - | - | - | - | (+) | - |
| Alcalis - débiles | + | + | + | + | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | - | - | + | (+) | + | + | + |
| Alcalis - fuertes | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | - | (+) | - | - | + | s.i. |
| Disolventes - alcohol | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | (+) | + | + | + | + | + |
| Disolventes - éter | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | - | + | (+) | (+) | (+) | s.i. |
| Acetona | + | + | + | - | - | + | (+) | + | + | + | - | (+) | (+) | (+) | (+) | - |
| Agua - fría | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Agua - caliente | + | + | + | + | + | + | (+) | (+) | (+) | (+) | (+) | - | + | - | + | + |

+ = resistente
(+) = parcialmente resistente
- = no resistente
s.i. = sin información

Fuente: (Ensinger, 2016)

2.4.3. LUBRICANTES QUE PUEDEN ENTRAR EN CONTACTO CON LOS ALIMENTOS.

Los lubricantes grado alimenticio son similares a los lubricantes típicos. Sus funciones son reducir el desgaste, la fricción, corrosión, oxidación y la acumulación de calor (Kluber Lubrication, 2014).

Las grasas y aceites lubricantes usados deben cumplir con las normas de la FDA. (En especial, el apartado 21 de CFR. 178.3570) o la norma ISO 21469. En caso de existir contacto esporádico con los alimentos los lubricantes deben contar con la certificación NSF-H1 (Wagner, Libro blanco – Seguridad alimentaria, 2015).

2.4.4. DISEÑO DE MAQUINAS Y ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

2.4.4.1. SUPERFICIES

Un acabado de alta calidad de las superficies de los componentes que están en contacto con los productos es algo obligatorio para evitar impurezas microbianas. Las superficies deben tener una rugosidad media de $Ra \leq 0.8 \mu m$ según la norma ISO 468 en la zona de contacto con alimentos. De esta forma los microorganismos y esporas de un tamaño entre $1 \mu m$ y $10 \mu m$ pueden desprenderse con facilidad de la superficie a una velocidad de circulación de detergente de 2 m/s.

En la zona de salpicadura se utilizan componentes con valores de rugosidad de $Ra \leq 3.2 \mu\text{m}$. Debido a una superficie lisa existe una mayor resistencia a la corrosión.

2.4.4.2. ELEMENTOS DE UNIÓN, ROSCA

Los elementos de unión como tornillos, pernos, remaches y similares en lo posible no deben ser usados, en caso de ser utilizados se debe poder limpiarlos y desinfectarlos. No deben existir roscas abiertas. El contacto entre metal y metal no es posible limpiar los espacios intermedios pequeños. Las roscas deben hermetizarse con tuercas ciegas y juntas apropiadas (Figura 7).

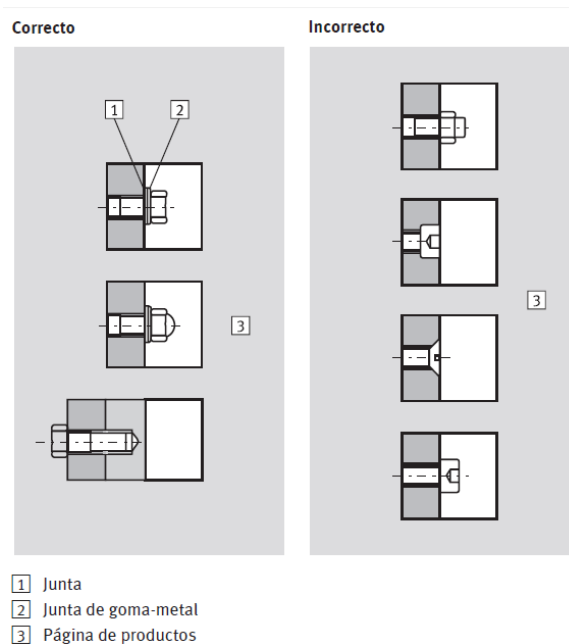


Figura 7 Elementos de Unión
Fuente: (FESTO, 2013)

2.4.4.3. ÁNGULOS INTERIORES, ESQUINAS Y RADIOS

En la Figura 8 nos indica la forma correcta e incorrecta de los ángulos y radios. Los radios pequeños y las esquinas son un riesgo para la higiene por que complican la limpieza. El radio mínimo especificado es de 3 mm. El diseño de este tipo permite mayor facilidad al momento de realizar la limpieza de la máquina.

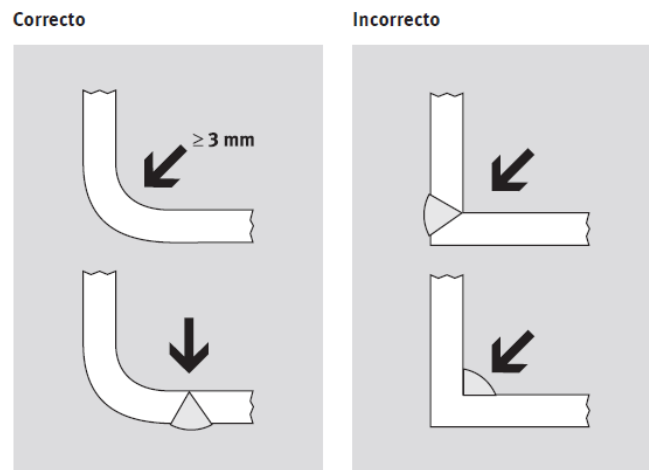


Figura 8 Ángulos interiores, esquinas y radios
Fuente: (FESTO, 2013)

2.4.4.4. ESPACIOS VACÍOS Y SUPERFICIES OCULTAS.

Los componentes de las máquinas y equipos deben montarse en lo posible libre de espacios vacíos. Los espacios vacíos que se encuentran en contacto con los productos tienen mayor riesgo de convertirse en focos de infección. Además los componentes de los equipos deben montarse en totalmente abiertos o totalmente cerrados para evitar focos de contaminación por superficies inaccesibles para la limpieza.

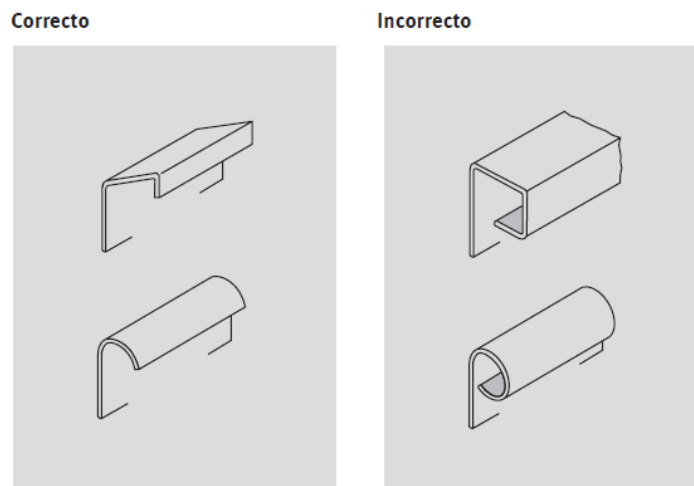


Figura 9 Espacios vacíos y superficies ocultas
Fuente: (FESTO, 2013)

2.4.4.5. ABERTURAS DE COJINETES Y VÁSTAGOS

Los cojinetes deben estar lejos del contacto con los alimentos. En caso de que esto no sea posible deben usarse lubricantes aptos para que estén en contacto con los alimentos (FESTO, 2013).

2.4.4.6. FIRMEZA DE LA PULPA DE LA MANZANA

La firmeza de la pulpa o resistencia a la penetración se determina removiendo la cascara en dos lados de la parte ecuatorial de la manzana y haciendo penetrar un medidor de firmeza con una punta de 1.1 cm de diámetro. Las lecturas se expresan en libras (Lbs), kilogramos (Kg) o Newtons (N) (Dirección general de normas mexicanas , 1993). La firmeza de la pulpa depende del tamaño del fruto. A mayor tamaño del fruto menor firmeza de la pulpa y a mayor firmeza de la pulpa menor tamaño de la manzana. A continuación, se presenta la Tabla 5 expresada en libras fuerza y milímetros.

Tabla 5
Firmeza de la Pulpa

| <i>Tabla de Ajuste para firmeza de la Pulpa o Resistencia a la penetración en Función del tamaño</i> | | |
|--|--|--|
| TAMAÑO COMERCIAL | AJUSTE EN LIBRAS VARIEDADES ROJAS | AJUSTE EN LIBRAS VARIEDADES AMARILLAS |
| 56 | + 1,25 | +1,65 |
| 64 | + 1 | +1,32 |
| 72 | +0,75 | +0,99 |
| 80 | +0,5 | +0,66 |
| 88 | +0,25 | +0,33 |
| 100 | 0 | 0 |
| 113 | -0,25 | -0,33 |
| 125 | -0,5 | -0,66 |
| 138 | -0,75 | -0,99 |
| 150 | -1 | -1,32 |
| 163 | -1,25 | -1,65 |

Fuente: (Dirección general de normas mexicanas , 1993)

En el capítulo dos, se habló sobre los fundamentos teóricos y las máquinas que se crean dentro del país para la industria de los alimentos. También se habló sobre la seguridad alimentaria, materiales a utilizarse en las máquinas, así como los elementos de diseño que hay que tomar en consideración.

En la última parte del capítulo hace referencia a propiedades físicas de la manzana como la dureza de la corteza, tamaños regulares etc. Que serán de utilidad en el capítulo de diseño detallado de máquina.

CAPÍTULO 3

3.1. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

La selección de las alternativas tiene por objetivo obtener las especificaciones técnicas y físicas dadas por la empresa AMBAFOOD`S, las cuales se consideraran en el momento del diseño. Para lo cual se usa la casa de la calidad, que ayuda a encaminar de mejor manera el diseño del prototipo de máquina procesadora de manzanas semiautomática.

3.2. LA CASA DE LA CALIDAD

3.2.1.VOZ DEL USUARIO

Las características requeridas por la empresa Ambafood`s para la máquina requerida para procesar manzanas fueron las siguientes:

- Fácil ingreso de las manzanas
- Que pueda pelar las manzanas
- Descorazone
- Corte en anillos
- Rápida para realizar los procesos
- Fácil de limpiar
- Fácil de usar
- Económica
- Segura
- Pequeña
- Que la cuchilla no se rompa ni desafile con facilidad

3.2.2.VOZ DEL INGENIERO

Conociendo los requerimientos pedidos por el cliente estas fueron traducidas a características técnicas de la siguiente manera:

- Alimentación manual
- Remoción de la corteza
- Descorazonado
- Cortado automático
- Proceso automático
- Materiales adecuados
- Interface Humano Máquina (HMI)
- Instrumentación
- Robusto
- Dimensiones
- Vida útil

3.3. RESULTADOS DE LA CASA DE LA CALIDAD

La casa de la calidad (Figura 10) ayuda a obtener información necesaria que satisfagan las características técnicas y a su vez que cumpla con las especificaciones requeridas por el cliente. En la Casa de la Calidad. Se describió los elementos puestos a valorarse dentro de la casa de la calidad allí tenemos productos que existen en el mercado que se tomarán como referencia. De esta forma podemos se obtuvo las conclusiones más importantes, que son las siguientes.

FACTOR DE VENTA

| | |
|---------|-----|
| FUERTE | 1.5 |
| POSIBLE | 1.2 |
| NINGUNO | 1 |

EVALUACIÓN TÉCNICA

| | |
|--------|---|
| FUERTE | ⑨ |
| MEDIO | ③ |
| BAJO | △ |

| | |
|--------------|---|
| MUY POSITIVO | ⊕ |
| POSITIVO | + |
| NEGATIVO | - |
| MUY NEGATIVO | ⊖ |

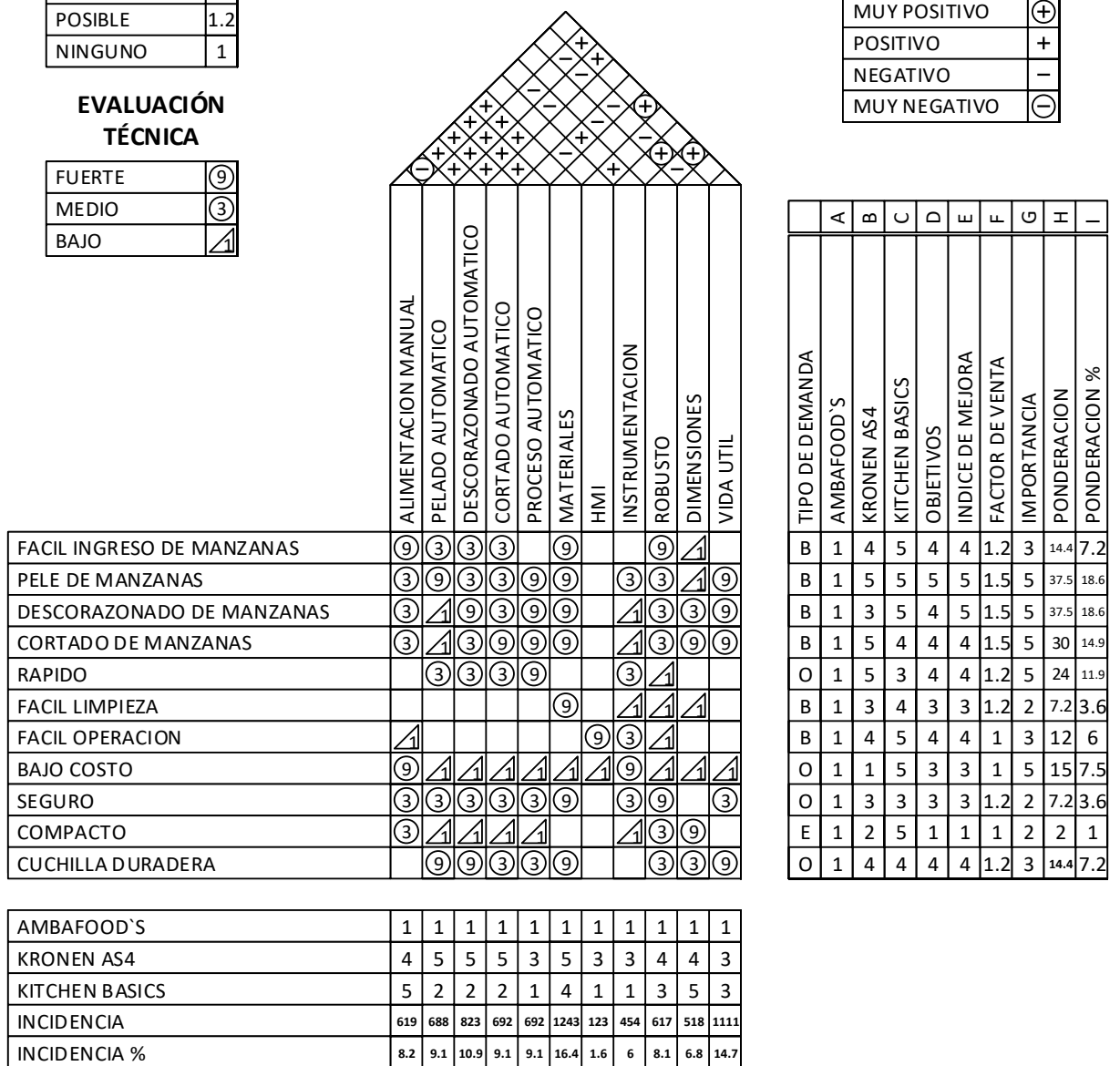


Figura 10 Casa de la Calidad.

Tabla 6
Descripción de las columnas de la casa de la calidad

| COLUMNA | DESCRIPCIÓN |
|---------|---|
| A | Evaluación del grado de cumplimiento del producto actual de la empresa Ambafood`s |
| B | Evaluación del grado de cumplimiento del producto Kronen AS4 |
| C | Evaluación del grado de cumplimiento del producto Kitchen Basics |
| D | Objetivos a cumplirse en el diseño de la maquina |
| E | Índice de mejora |
| F | Factor de venta |
| G | Importancia según la respuesta de los usuarios |

- Pelado automático: Se debe tomar en cuenta que no todas las manzanas son del mismo tamaño.
- Descorazonado automático: Paso importante requerido por el cliente.
- Materiales: Su importancia yace en que gran parte de las partes de la máquina tienen contacto directo con las manzanas. Es necesario el uso de un material adecuado que no perjudique el proceso contaminándolo de alguna manera.
- Instrumentación: Es la parte electrónica que ha de ayudar a realizar el control de los actuadores y sensores.

3.4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Con los resultados obtenidos en la casa de la calidad, se procede a sacar las especificaciones técnicas que se mostrará en la siguiente tabla (Tabla 7).

Tabla 7
Especificaciones Técnicas.

| EMPRESA CLIENTE | | PRODUCTO | | FECHA INICIAL |
|-------------------------|-------|-------------------------------|-----|---|
| AMBAFOOD'S | | <i>PROCESADOR DE MANZANAS</i> | | 07/06/2016 |
| DISEÑADORES: | | | | ULTIMA REVISIÓN |
| JUAN JARAMILLO | | | | |
| DAVID GORDILLO | | | | PAGINA 1/1 |
| ESPECIFICACIONES | | | | |
| CONCEPTO | FECHA | PROPONE | R/D | DESCRIPCIÓN |
| FUNCIÓN | | C | R | Maquina semiautomática para procesado de manzanas |
| | | C | R | Pelado automático |
| | | C | R | Descorazonado automático |
| | | C | R | Corte en anillos de 5mm de grosor |
| DIMENSIONES | | I | R | Peso máximo aproximado de manzanas 200g |
| | | I | R | Diámetro máximo de manzanas 90mm |
| | | I | R | Diámetro mínimo de manzanas 50mm |
| | | I | R | Altura máxima de manzana 80mm |
| MOVIMIENTOS | | C+I | R | Movimiento lineal en el pelador y descorazonador |
| | | C+I | R | Posicionamiento Circular |
| | | I | D | Cortador Fijo |
| FUERZA | | I | R | Fuerza de corte y descorazonado mínima de 1,11 N |
| MATERIALES | | C+I | R | Acero Inoxidable aleación fina |
| | | C+I | R | Materiales Sintéticos |
| | | I | D | Aleaciones de aluminio |
| ENERGÍA | | C+I | R | Eléctrica |
| | | C+I | R | Mecánica |
| SEÑALES Y CONTROL | | I | R | Sensores de posición |
| | | C+I | R | Actuadores Electrónicos |
| | | C+I | R | Microcontrolador |
| FABRICACIÓN Y MONTAJE | | C+I | R | Montaje y pruebas de funcionamiento |
| | | C | D | |

| | | | | |
|-------------|--|-----|---|--|
| | | | | Velocidad de manzanas procesadas 600 manzanas /h |
| SEGURIDAD Y | | C | R | Paro de emergencia |
| ERGONOMÍA | | C+I | R | Encendido por pulsador |

Propone : C= Cliente , I= Ingeniería

R/D : R= Requerimiento , D= Deseo

3.5. ANÁLISIS FUNCIONAL

El análisis funcional está orientado a materializar el diseño mediante la ayuda de funciones capaces de describir el producto a diseñarse. Estas funciones son funciones globales y subfunciones. Las funciones globales son aquellas que son la razón principal para que el cliente escoja el producto, mientras que las subfunciones son aquellas que hacen que la función global se pueda realizar. Si un sistema tiene varias formas de operación deben desarrollarse tantas estructuras funcionales como modos de operación existan. (Cortez Pazmiño & Erazo Arteaga, 2013)

La descomposición funcional se lo realizó mediante una estructura de diagramas de flujo llamada estructura funcional en los que cada recuadro significa una función y las flechas identifican un tipo de entrada o salida. Las estructuras funcionales tienen diferentes niveles empezando por el nivel 0 hasta el nivel que se crea necesario.

3.6. ESTRUCTURA FUNCIONAL

3.6.1.NIVEL 0

En el nivel 0 se representó la tarea global que debe realizar el producto a diseñar en este caso Procesar Manzanas, para lo cual se ha asignado las entradas y las salidas como se ve en la Figura 11 Nivel 0. La entrada de material es una manzana al no existir una energía y una señal definida no se especifica el tipo de energía de entrada o de señal de entrada, sin embargo se conoce la salida que es el producto obtenido al realizar todo el proceso de “Procesar Manzanas” que en este caso será una manzana procesada.

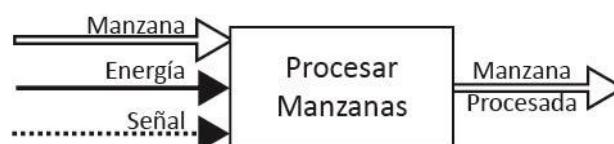


Figura 11 Nivel 0

3.6.2.NIVEL 1

En el nivel 1 (Figura 12) se especifica de manera general las funciones que intervienen en el proceso “Procesar Manzanas” además se asignan los tipos de energía que intervienen en el proceso.

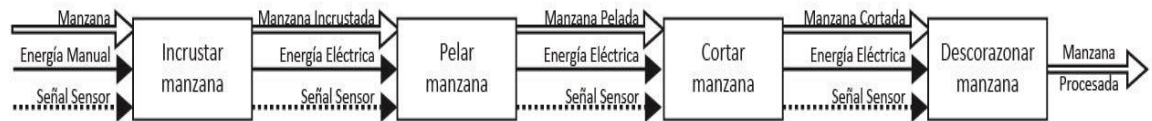


Figura 12 Nivel 1

3.6.3.NIVEL 2

En el nivel 2 (Figura 13) se detalló específicamente las funciones que se han de ejecutar durante el proceso al igual que los tipos de energía que se van involucrando durante el proceso.

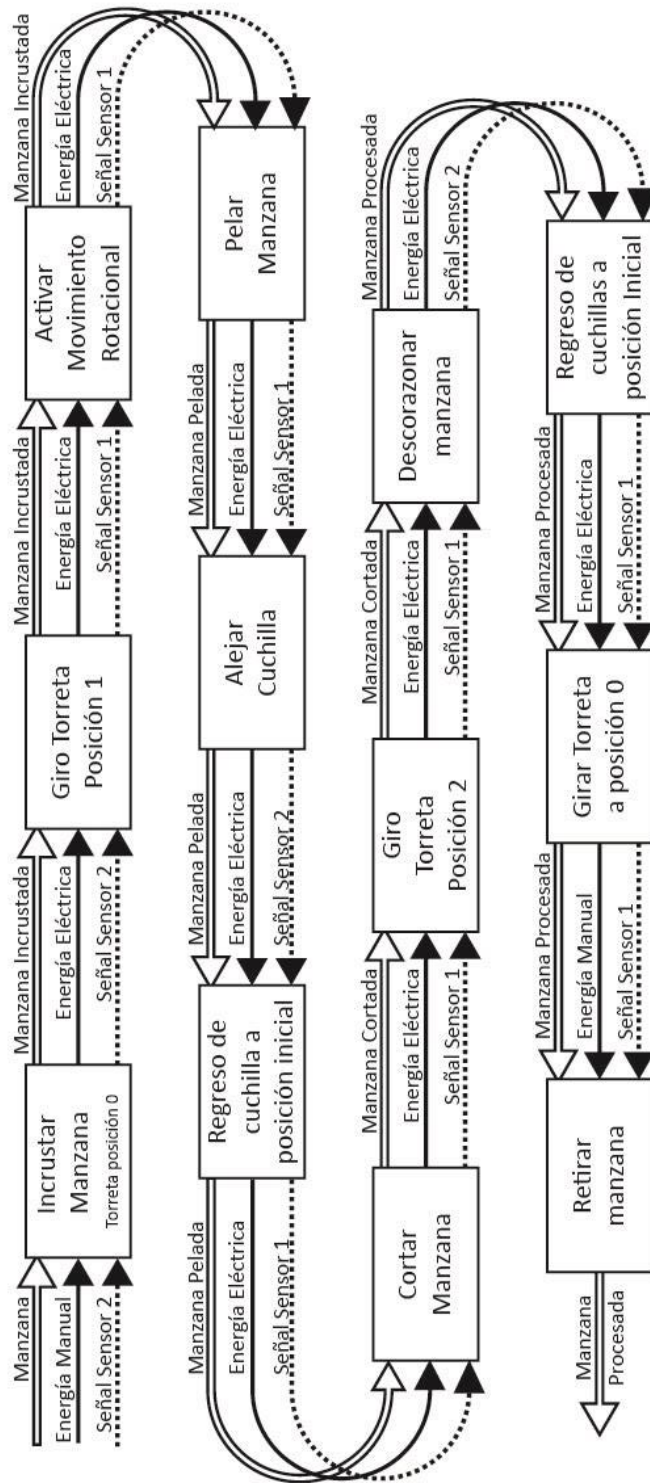


Figura 13 Nivel 2

3.7. DETERMINACIÓN MODULAR

La estructura modular es la combinación de funciones para conseguir objetivos prioritarios. El despliegue de las diferentes funciones y los flujos que las interconectan componen el marco de referencia a la que cualquier solución de la estructura modular debe satisfacer. (Riba Romeva, 2002)

Para facilitar el diseño se ha separado en módulos, en lo cual se proponen posibles soluciones para cada una de las funciones que se han de combinar para dar la posible solución.

La determinación para la máquina procesadora de manzanas es la siguiente:

3.7.1.MÓDULO 1 INGRESO Y SALIDA DE MANZANAS

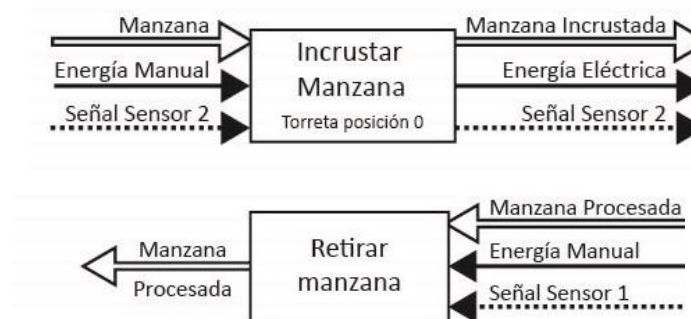


Figura 14 Módulo 1 Ingreso y salida de manzanas.

El módulo 1 (Figura 14) realiza la función de recibir la manzana (incrustar manzana). El incrustarla debe ser fácil, no debe haber problema para incrustar la manzana. De la misma forma no debe existir dificultad para extraer la manzana.

3.7.1.1. SOLUCIÓN 1 CUCHILLA EN CRUZ

Se ingresa la manzana por el vértice de la cuchilla en cruz. La cuchilla en cruz de la Figura 15 fija la manzana impidiendo que resbale.

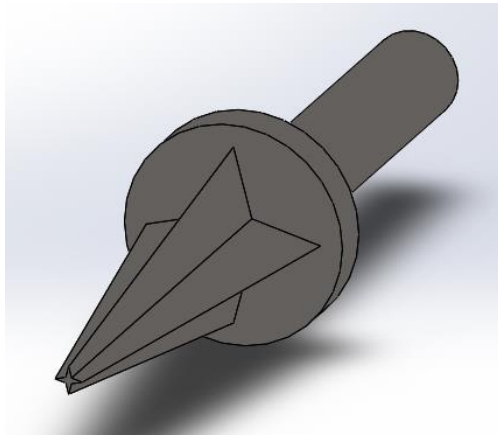


Figura 15 Cuchilla en Cruz.

3.7.1.1.1. VENTAJAS

- Fácil funcionamiento
- Fácil limpieza
- Fácil ingreso de manzana

3.7.1.1.2. DESVENTAJAS

- Difícil construcción
- Peligro de partir la manzana
- Necesidad de afilarlo continuamente
- Alto costo de implementación.

3.7.1.2. SOLUCIÓN 2 TRIDENTE

La manzana es incrustada en el tridente (Figura 16) que cuenta con tres ejes con punta. Los ejes que forman un triángulo y fijan la manzana impidiendo que se mueva.

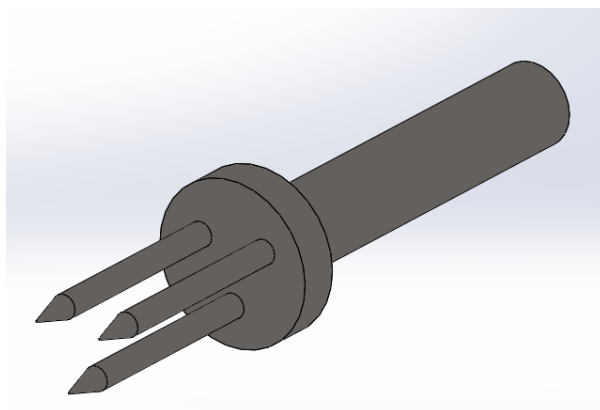


Figura 16 Tridente.

3.7.1.3.1.1. VENTAJAS

- Bajo Costo

- Fácil construcción
- Fácil Limpieza

3.7.1.3.2. DESVENTAJAS

- Problemas al centrar la manzana

3.7.1.3. SOLUCIÓN 3 TRIDENTE MAS EJE DE CENTRO

La solución tres (Figura 17), es una variante de la solución dos que únicamente cuenta con los ejes que forman el triángulo. Al aumentar un eje central con mayor longitud ayuda a centrar la manzana, el sépalo de la manzana se incrusta en el eje central hasta que llegue al tridente fijando a la manzana impidiendo que se mueva.

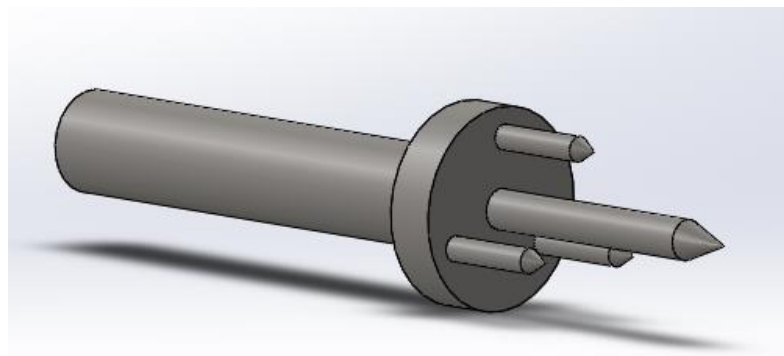


Figura 17 Tridente más eje de centro.

3.7.1.3.1. VENTAJAS

- Fácil construcción
- Bajo costo
- Centra la manzana
- Fácil Limpieza
- Fija la manzana

3.7.1.3.2. DESVENTAJAS

- En el momento de descorazonar la manzana el corazón podría quedarse incrustado y no salir con el descorazonador

3.7.1.4. EVALUACIÓN DE CRITERIOS PARA EL INGRESO Y SALIDA DE MANZANAS (MÓDULO 1)

Una vez obtenidas las alternativas para la solución del módulo 1 se someterán a los criterios de evaluación (Tabla 8) para escoger la mejor opción de ellas que se ajuste a las necesidades.

Tabla 8
Evaluación de criterios Módulo 1.

| | FACILIDAD PARA INCRUSTAR LA MANZANA | FACILIDAD PARA CENTRAR LA MANZANA | FACILIDAD PARA RETIRAR | FACILIDAD DE CONSTRUCCIÓN | COSTO | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------------|--------------|------------|-------------|
| MÓDULO 1 | | | | | | | |
| FACILIDAD PARA INCRUSTAR LA MANZANA | | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 1,5 | 0,10 |
| FACILIDAD PARA CENTRAR LA MANZANA | 1 | | 0,5 | 1 | 1 | 4,5 | 0,30 |
| FACILIDAD PARA RETIRAR | 1 | 0,5 | | 1 | 1 | 4,5 | 0,30 |
| FACILIDAD DE CONSTRUCCIÓN | 1 | 0 | 0 | | 1 | 3 | 0,20 |
| COSTO | 0,5 | 0 | 0 | 0 | | 1,5 | 0,10 |
| | | | | | TOTAL | 15 | 1,00 |

Facilidad para centrar la manzana =Facilidad para retirar > Facilidad de construcción > Facilidad para incrustar la manzana = Costo

Tabla 9
Evaluación de alternativas de criterio Facilidad para incrustar la manzana.

| FACILIDAD PARA INCRUSTAR LA MANZANA | SOLUCIÓN 1 | SOLUCIÓN 2 | SOLUCIÓN 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|--|------------|------------|--------------|------------|-------------|
| SOLUCIÓN 1 | | 1 | 0,5 | 2,5 | 0,42 |
| SOLUCIÓN 2 | 0 | | 0 | 1 | 0,17 |
| SOLUCIÓN 3 | 0,5 | 1 | | 2,5 | 0,42 |
| | | | TOTAL | 6 | 1,00 |

Solución 1 =Solución 3 > Solución 2

Tabla 10
Evaluación de alternativas para criterio **Facilidad de centrar la Manzana.**

| <u>FACILIDAD PARA CENTRAR LA MANZANA</u> | SOLUCIÓN 1 | SOLUCIÓN 2 | SOLUCIÓN 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|--|------------|------------|--------------|------------|-------------|
| SOLUCIÓN 1 | | 1 | 0,5 | 2,5 | 0,42 |
| SOLUCIÓN 2 | 0 | | 0 | 1 | 0,17 |
| SOLUCIÓN 3 | 0,5 | 1 | | 2,5 | 0,42 |
| | | | TOTAL | 6 | 1,00 |

Solución 1 = Solución 3 > Solución 2

Tabla 11
Evaluación de alternativas para criterio **Facilidad para retirar.**

| <u>FACILIDAD PARA RETIRAR</u> | SOLUCIÓN 1 | SOLUCIÓN 2 | SOLUCIÓN 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|-------------------------------|------------|------------|--------------|------------|-------------|
| SOLUCIÓN 1 | | 0 | 0,5 | 1,5 | 0,25 |
| SOLUCIÓN 2 | 1 | | 1 | 3 | 0,5 |
| SOLUCIÓN 3 | 0,5 | 0 | | 1,5 | 0,25 |
| | | | TOTAL | 6 | 1 |

Solución 2 > Solución 1 = Solución 3

Tabla 12
Evaluación de alternativas para criterio **Facilidad de construcción.**

| <u>FACILIDAD DE CONSTRUCCIÓN</u> | SOLUCIÓN 1 | SOLUCIÓN 2 | SOLUCIÓN 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|----------------------------------|------------|------------|--------------|------------|-------------|
| SOLUCIÓN 1 | | 0 | 0 | 1 | 0,17 |
| SOLUCIÓN 2 | 1 | | 0,5 | 2,5 | 0,42 |
| SOLUCIÓN 3 | 1 | 0,5 | | 2,5 | 0,42 |
| | | | TOTAL | 6 | 1 |

Solución 2 = Solución 3 > Solución 1

Tabla 13
Evaluación de alternativas para criterio Costo.

| <u>COSTO</u> | SOLUCIÓN 1 | SOLUCIÓN 2 | SOLUCIÓN 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|--------------|------------|------------|--------------|------------|-------------|
| SOLUCIÓN 1 | | 0 | 0 | 1 | 0,17 |
| SOLUCIÓN 2 | 1 | | 1 | 3 | 0,50 |
| SOLUCIÓN 3 | 1 | 0 | | 2 | 0,33 |
| | | | TOTAL | 6 | 1 |

Solución 2 > Solución 3 > Solución 1

Tabla 14
Solución Idónea Módulo 1

| <u>CONCLUSIÓN</u> <u>N</u> | FACILIDAD PARA INCRUSTAR LA MANZANA | FACILIDAD PARA CENTRAR LA MANZANA | FACILIDAD PARA RETIRAR | FACILIDAD DE CONSTRUCCIÓN | COSTO | $\Sigma+1$ | PRIORIDAD |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------------|-------|------------|-----------|
| SOLUCIÓN 1 | 0,042 | 0,125 | 0,075 | 0,033 | 0,017 | 0,292 | 3 |
| SOLUCIÓN 2 | 0,017 | 0,05 | 0,15 | 0,083 | 0,050 | 0,350 | 2 |
| SOLUCIÓN 3 | 0,042 | 0,125 | 0,075 | 0,083 | 0,033 | 0,358 | 1 |

Con la información adquirida de las tablas se ha evaluado cada una de las soluciones para obtener la solución idónea (Tabla 14). La Solución Idónea Módulo 1 indica que la solución que cumple de mejor manera las características analizadas para satisfacer el ingreso y salida de las manzanas es la solución 3 nombrada como tridente más eje de centro.

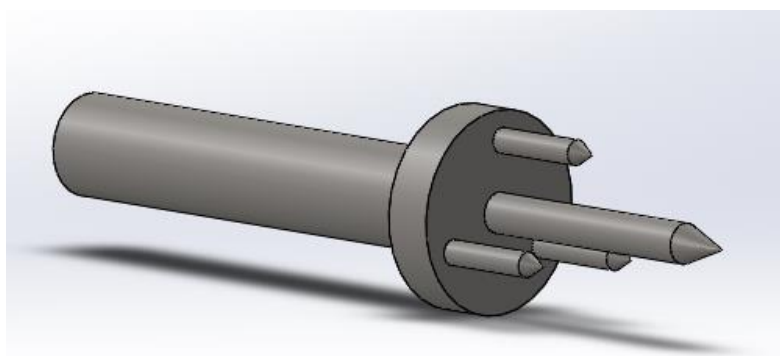


Figura 18 Solución Idónea Módulo 1

3.7.2.MÓDULO 2 POSICIONAMIENTO AUTOMÁTICO DE LA MANZANA PARA PROCESOS

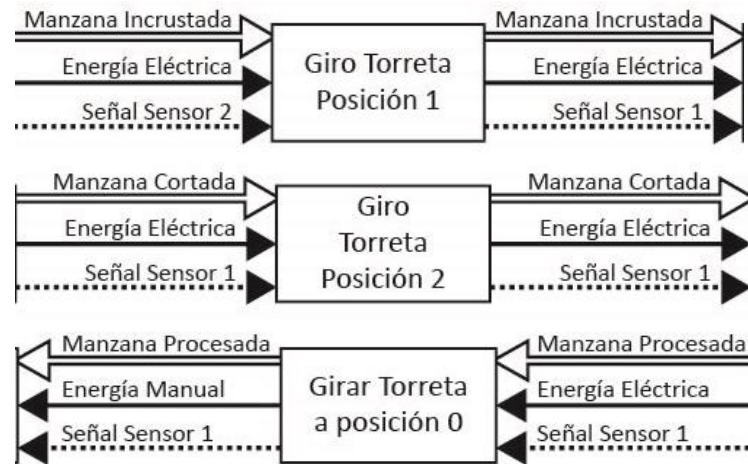


Figura 19 Módulo 2 Posicionamiento automático.

El Módulo 2 Posicionamiento automático. Cumple la función de girar la torreta de manzanas para posicionarlas. El control se realizó mediante programación para determinar la posición en los diferentes procesos, también se analiza el tipo de transmisión para mover la torreta.

3.7.2.1. SOLUCIÓN 1 TRANSMISIÓN DIRECTA

En la Figura 20 el eje del motor está unido a la torreta de manzanas mediante un acoplamiento rígido. El motor hace que la torreta gire junto con las manzanas a las diferentes posiciones para el proceso.

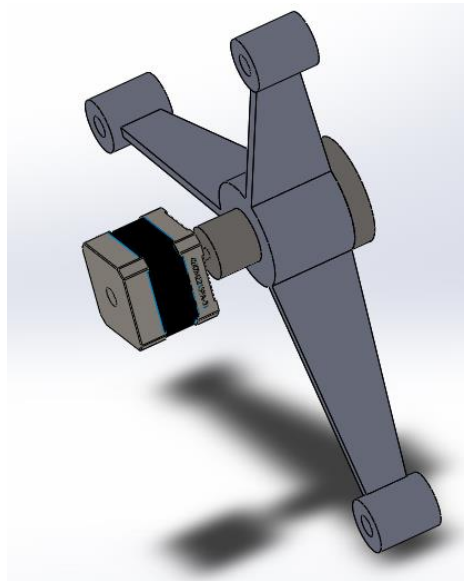


Figura 20 Motor transmisión directa con torreta de manzanas.

3.7.2.1.1. VENTAJAS

- No necesita mecanismos extras para su movimiento
- Fácil construcción
- Fácil ensamblaje
- La transmisión de movimiento no ocupa mucho espacio.
- Fácil de implementar el control de posición

3.7.2.1.2. DESVENTAJAS

- Se necesitaría un motor de gran torque

3.7.2.2. SOLUCIÓN 2 TRANSMISIÓN MEDIANTE TREN DE ENGRANAJES

La Figura 21 Transmisión con tren de engranajes. Muestra al eje del motor unido a un tren de engranajes que gira la torreta de manzanas.

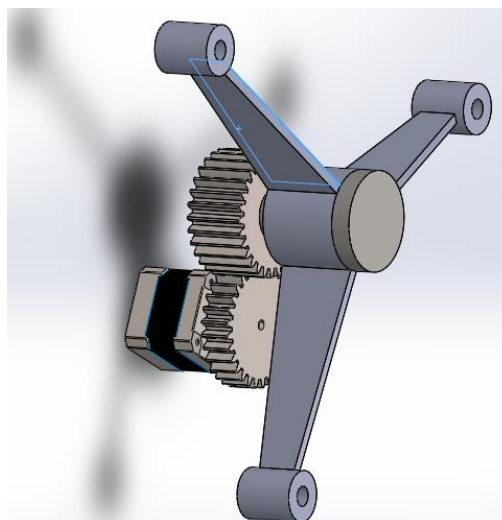


Figura 21 Transmisión con tren de engranajes.

3.7.2.2.1. VENTAJAS

- Bajo costo de motor.
- Facilidad de mantenimiento.
- Es configurable con la combinación de engranes.

3.7.2.2.2. DESVENTAJAS

- Dificulta el control de posición.
- Necesita mayor espacio para su implementación.
- Difícil de implementar.

3.7.2.3. SOLUCIÓN 3 TRANSMISIÓN MEDIANTE CORREA

En la Figura 22 Transmisión por Correa. El eje del motor es unido con la correa a la torreta de manzanas moviéndole a las posiciones consecutivas.

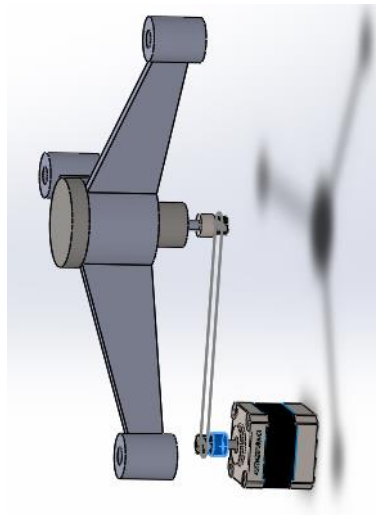


Figura 22 Transmisión por Correa.

3.7.2.3.1. VENTAJAS

- Bajo costo.
- Fácil Mantenimiento.
- Fácil limpieza.

3.7.2.3.2. DESVENTAJAS

- No es exacto.
- No es robusto.
- El tamaño de las bandas son limitadas

3.7.2.4. EVALUACIÓN DE CRITERIOS PARA POSICIONAMIENTO AUTOMÁTICO DE LA MANZANA PARA PROCESOS (Módulo 2)

Tabla 15
Evaluación de criterios Módulo 2

| MÓDULO 2 | EXACTITUD AL POSICIONARSE | COSTO DE MOTOR | COMPACTO | ALTO TORQUE | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------|------------|--------------------|
| EXACTITUD AL POSICIONARSE | | 1 | 1 | 0,5 | 3,5 | 0,35 |
| COSTO DE MOTOR | 0 | | 0,5 | 0 | 1,5 | 0,15 |
| COMPACTO | 0 | 0,5 | | 0 | 1,5 | 0,15 |
| ALTO TORQUE | 0,5 | 1 | 1 | | 3,5 | 0,35 |
| | | | | TOTAL | 10 | 1 |

Exactitud al Posicionarse = Alto Torque > Costo= Compacto

Tabla 16
Evaluación de alternativas de criterio Exactitud al Posicionarse.

| EXACTITUD AL POSICIONARSE | SOLUCIÓN 1 | SOLUCIÓN 2 | SOLUCIÓN 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|--------------------|
| SOLUCIÓN 1 | | 1 | 1 | 3 | 0,5 |
| SOLUCIÓN 2 | 0 | | 0,5 | 1,5 | 0,25 |
| SOLUCIÓN 3 | 0 | 0,5 | | 1,5 | 0,25 |
| | | | TOTAL | 6 | 1 |

Solución 1 > Solución 2= Solución 3

Tabla 17
Evaluación de alternativas de criterio Costo de Motor.

| COSTO DE MOTOR | SOLUCIÓN 1 | SOLUCIÓN 2 | SOLUCIÓN 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|--------------------|
| SOLUCIÓN 1 | | 0 | 0 | 1 | 0,17 |
| SOLUCIÓN 2 | 1 | | 0,5 | 2,5 | 0,42 |
| SOLUCIÓN 3 | 1 | 0,5 | | 2,5 | 0,42 |
| | | | TOTAL | 6 | 1 |

Solución 2 = Solución 3 > Solución 1

Tabla 18
Evaluación de alternativas de criterio Compacto.

| <u>COMPACTO</u> | SOLUCIÓN 1 | SOLUCIÓN 2 | SOLUCIÓN 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|-----------------|------------|------------|--------------|------------|-------------|
| SOLUCIÓN 1 | | 1 | 1 | 3 | 0,50 |
| SOLUCIÓN 2 | 0 | | 0,5 | 1,5 | 0,25 |
| SOLUCIÓN 3 | 0 | 0,5 | | 1,5 | 0,25 |
| | | | TOTAL | 6 | 1 |

Solución 1 > Solución 2 = Solución 3

Tabla 19
Evaluación de alternativas de criterio Alto Torque.

| <u>ALTO TORQUE</u> | SOLUCIÓN 1 | SOLUCIÓN 2 | SOLUCIÓN 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|--------------------|------------|------------|--------------|------------|-------------|
| SOLUCIÓN 1 | | 0 | 0 | 1 | 0,17 |
| SOLUCIÓN 2 | 1 | | 1 | 3 | 0,50 |
| SOLUCIÓN 3 | 1 | 0 | | 2 | 0,33 |
| | | | TOTAL | 6 | 1 |

Solución 2 > Solución 3 > Solución 1

Tabla 20
Solución idónea Módulo 2

| <u>CONCLUSIÓN</u> <u>N</u> | EXACTITUD AL POSICIONARSE | COSTO DE MOTOR | COMPACTO | ALTO TORQUE | $\Sigma+1$ | PRIORIDAD |
|-------------------------------|---------------------------|----------------|----------|-------------|------------|-----------|
| SOLUCIÓN 1 | 0,175 | 0,025 | 0,075 | 0,058 | 0,333 | 2 |
| SOLUCIÓN 2 | 0,088 | 0,063 | 0,038 | 0,175 | 0,363 | 1 |
| SOLUCIÓN 3 | 0,088 | 0,063 | 0,038 | 0,117 | 0,304 | 3 |

De acuerdo al análisis realizado la mejor opción para satisfacer posicionamiento automático de la manzana para procesos es la solución 2. Transmisión por tren de engranajes (Figura 23).

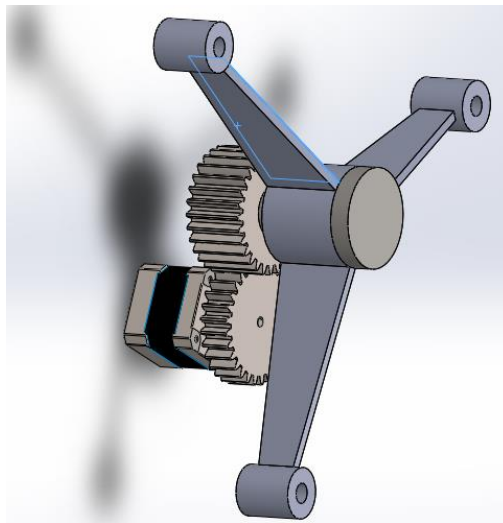


Figura 23 Solución idónea Módulo 2

3.7.3.MÓDULO 3 CORTE Y PELADO AUTOMÁTICO

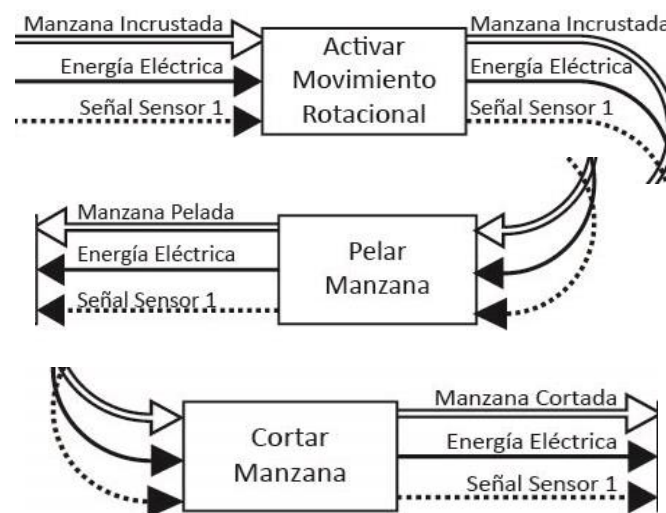


Figura 24 Módulo 3 Corte y pelado automático.

El módulo debe cumplir las siguientes funciones.

- Activar movimiento rotacional
- Pelar Manzana
- Cortar Manzana

Para lo cual se ha de buscar soluciones independientes para cada una y realizar una combinación de conceptos para encontrar la solución idónea.

3.7.3.1. ACTIVAR MOVIMIENTO ROTACIONAL

El pelado de la manzana se realiza en la primera posición. La manzana que va a ser pelada debe tener un movimiento rotacional en su eje.

3.7.3.1.1. SOLUCIÓN 1 MOVIMIENTO TRANSMITIDO POR FRICCIÓN

El movimiento de la manzana se transmite por fricción. El eje del motor es revestido con goma y transmite el movimiento a una pieza moleteada unida al tridente con centro.

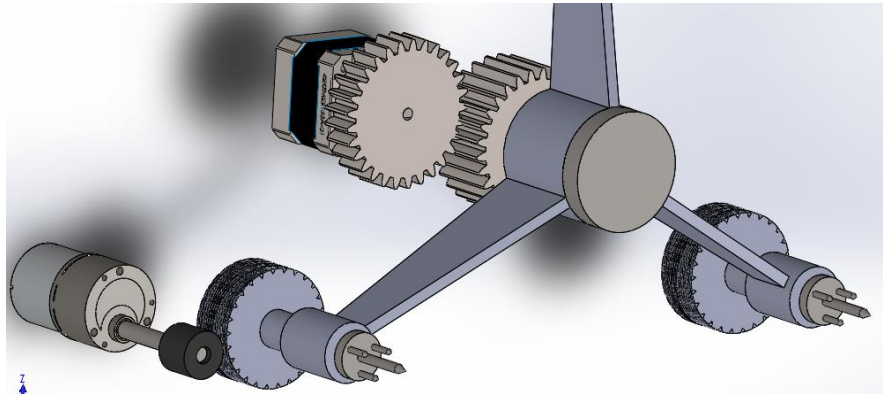


Figura 25 Movimiento por fricción.

3.7.3.1.1.1. VENTAJAS

- Fácil construcción.
- Compacto.

3.7.3.1.1.2. DESVENTAJAS

- Alto costo de motor.
- Rápido desgaste de rueda de goma debido a fricción.

3.7.3.1.2. SOLUCIÓN 2 MOVIMIENTO MEDIANTE CONTACTO DE ENGRANES

El motor tendrá en su eje un engrane. El eje donde se incrustó la manzana habrá un engrane que transmita el movimiento a la manzana.

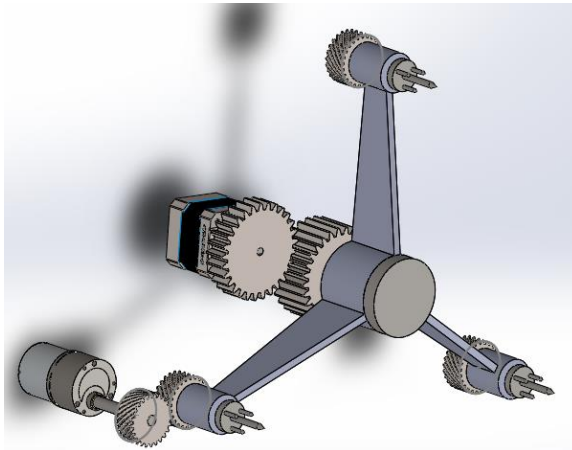


Figura 26 Movimiento por contacto de engranes.

3.7.3.1.2.1. VENTAJAS

- Bajo costo.
- Robusto.
- Fácil mantenimiento.

3.7.3.1.2.2. DESVENTAJAS

- Difícil implementación.
- Grande.

3.7.3.2. PELAR MANZANAS

El pelador retirará la corteza de la manzana mediante una cuchilla cuando la manzana se encuentre moviéndose en su propio eje.

3.7.3.2.1. CUCHILLA EN U

Mientras el eje se encuentre en movimiento, la manzana es pelada con una cuchilla, la cual se moverá por la periferia de la manzana.

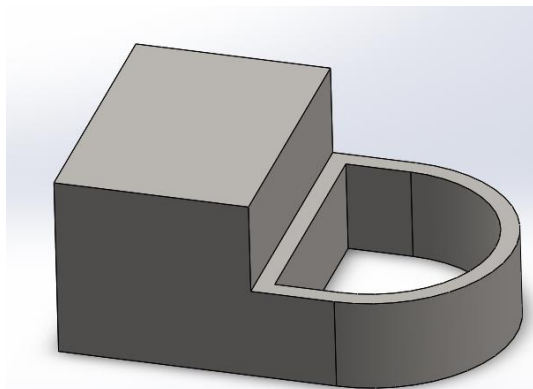


Figura 27 Cuchilla en U para pelar frutas.

3.7.3.2.1.1. VENTAJAS

- Fácil construcción.
- Bajo costo.
- Compacto.
- Fácil limpieza.

3.7.3.2.1.2. DESVENTAJAS

- Necesita un ángulo específico para poder cortar la cascara

3.7.3.3. CORTAR MANZANA

Este proceso corta la manzana de forma que pueda ser separada en círculos. El proceso se realiza mientras la manzana gira en su propio eje.

3.7.3.3.1. SOLUCIÓN 1 CUCHILLAS EN ESPIRAL

En la Figura 28 se observa la cuchilla espiral. La cuchilla se moverá con un movimiento rotacional contrario al giro de la manzana para que esta pueda ser cortada con mayor facilidad.

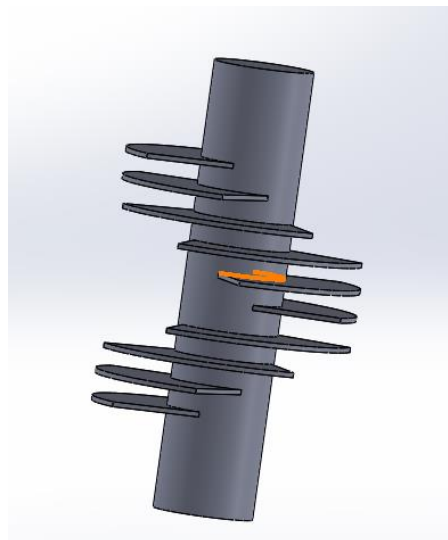


Figura 28 Cuchilla en espiral.

3.7.3.3.1.1. VENTAJAS

- Bajo costo.
- Fácil mantenimiento.
- Fácil limpieza
- Robusto

3.7.3.3.1.2. DESVENTAJAS

- Difícil implementación
- Gran cantidad de piezas

3.7.3.3.2. SOLUCIÓN 2 CUCHILLAS DE ALAMBRES PARALELOS

La manzana girando se acerca a las cuchillas que se encuentran inmóviles para ser cortada mientras gira.

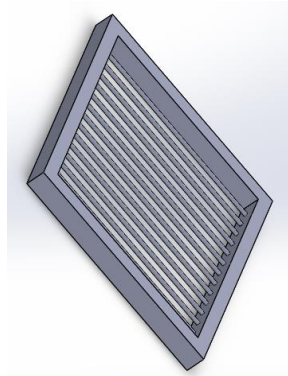


Figura 29 Cuchillas de alambres paralelos.

3.7.3.3.2.1. VENTAJAS

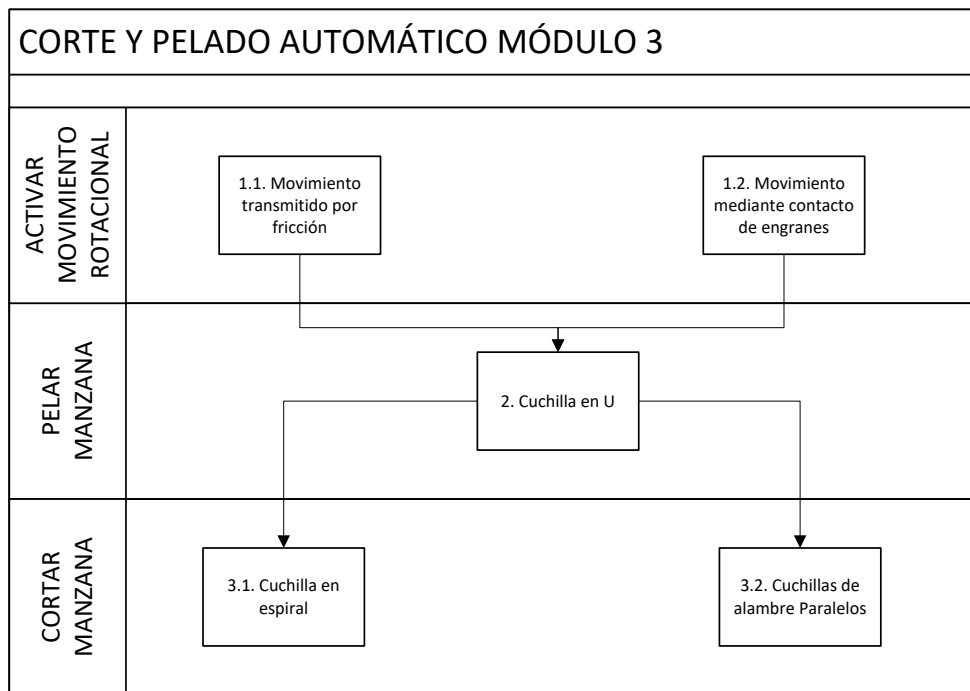
- Bajo costo.
- Fácil implementación.
- Fácil limpieza.

3.7.3.3.2.2. DESVENTAJAS

- Frágil.

3.7.3.4. TABLA DE COMBINACIÓN DE SOLUCIONES

Con la Figura 30 Combinación de soluciones Módulo 3. Se buscó combinar los conceptos para luego poder evaluarlos en conjunto. En esta tabla tenemos las funciones de: activar movimiento rotacional, pelar manzana y cortar manzana, cada una con sus respectivas soluciones. Al realizar la combinación de soluciones obtenemos las alternativas que se han de evaluar.



ALTERNATIVA 1: 1.1, 2, 3.1

ALTERNATIVA 3: 1.2, 2, 3.1

ALTERNATIVA 2: 1.1, 2, 3.2

ALTERNATIVA 4: 1.2, 2, 3.2

Figura 30 Combinación de soluciones Módulo 3.

ALTERNATIVA 1

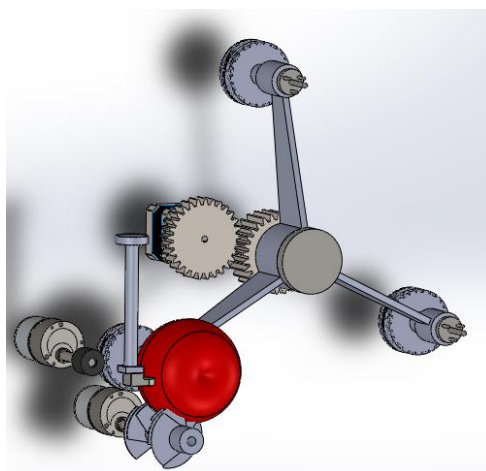


Figura 31 Solución Módulo 3, Alternativa 1.

ALTERNATIVA 2

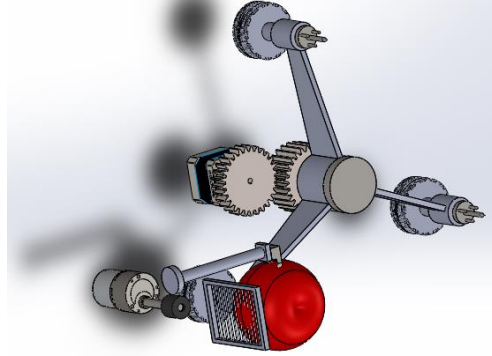


Figura 32 Solución Módulo 3, Alternativa 2.

ALTERNATIVA 3

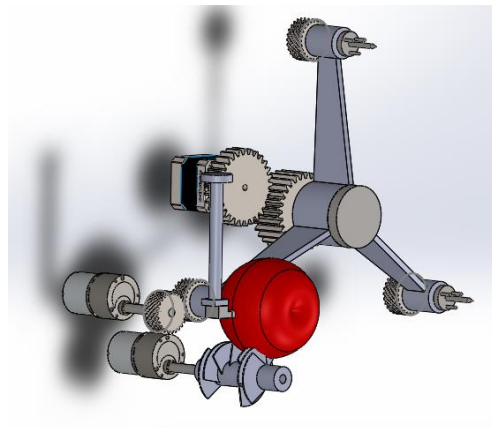


Figura 33 Solución Módulo 3, Alternativo 3.

ALTERNATIVA 4

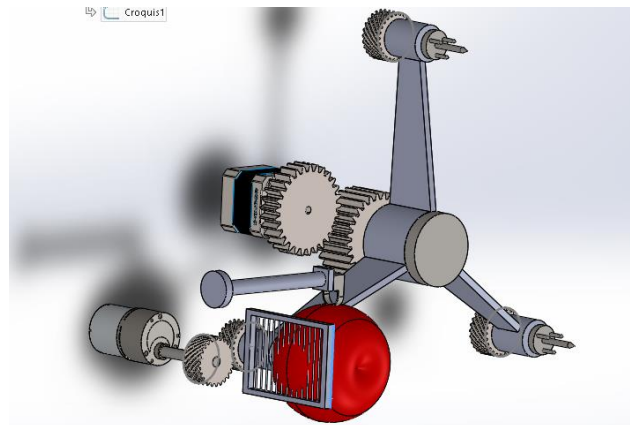


Figura 34 Solución Módulo 3, Alternativa 4.

3.7.3.5. EVALUACIÓN DE CRITERIOS PARA CORTE Y PELADO AUTOMÁTICO (Módulo 3)

Teniendo estas cuatro alternativas se realiza la evaluación de criterios para obtener la solución que más se ajuste a las necesidades.

Tabla 21
Evaluación de criterios Modulo 3.

| <u>MÓDULO 3</u> | FÁCIL DE IMPLEMENTAR | BAJO COSTO | FÁCIL MANTENIMIENTO | ROBUSTEZ | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|----------------------|----------------------|------------|---------------------|--------------|------------|-------------|
| FÁCIL DE IMPLEMENTAR | | 1 | 1 | 0,5 | 3,5 | 0,35 |
| BAJO COSTO | 0 | | 0,5 | 0 | 1,5 | 0,15 |
| FÁCIL MANTENIMIENTO | 0 | 0,5 | | 0 | 1,5 | 0,15 |
| ROBUSTEZ | 0,5 | 1 | 1 | | 3,5 | 0,35 |
| | | | | TOTAL | 10 | 1 |

Facilidad de implementación = Robustez > Bajo costo = Fácil Mantenimiento

Tabla 22
Evaluación de alternativas de criterio Fácil Implementación.

| <u>FÁCIL IMPLEMENTACIÓN</u> | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | ALTERNATIVA 4 | Σ^+ 1 | PONDERACIÓN |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-------------|
| ALTERNATIVA 1 | | 0 | 0,5 | 0 | 1,5 | 0,15 |
| ALTERNATIVA 2 | 1 | | 1 | 1 | 4 | 0,4 |
| ALTERNATIVA 3 | 0,5 | 0 | | 0 | 1,5 | 0,15 |
| ALTERNATIVA 4 | 1 | 0 | 1 | | 3 | 0,3 |
| | | | | TOTAL | 10 | 1 |

Alternativa 2 > Alternativa 4 > Alternativa 1 = Alternativa 3

Tabla 23
Evaluación de alternativas de criterio Bajo Costo.

| <u>BAJO COSTO</u> | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | ALTERNATIVA 4 | Σ^+ 1 | PONDERACIÓN |
|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-------------|
| ALTERNATIVA 1 | | 0 | 1 | 0,5 | 2,5 | 0,25 |
| ALTERNATIVA 2 | 1 | | 1 | 1 | 4 | 0,4 |
| ALTERNATIVA 3 | 0 | 0 | | 0 | 1 | 0,1 |
| ALTERNATIVA 4 | 0,5 | 0 | 1 | | 2,5 | 0,25 |
| | | | | TOTAL | 10 | 1 |

Alternativa 2 > Alternativa 4 = Alternativa 1 > Alternativa 3

Tabla 24
Evaluación de alternativas de criterio Fácil Mantenimiento.

| <u>FÁCIL MANTENIMIENTO</u> | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | ALTERNATIVA 4 | Σ^+ 1 | PONDERACIÓN |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-------------|
| ALTERNATIVA 1 | | 1 | 0 | 1 | 3 | 0,3 |
| ALTERNATIVA 2 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0,1 |
| ALTERNATIVA 3 | 1 | 1 | | 1 | 4 | 0,4 |
| ALTERNATIVA 4 | 0 | 1 | 0 | | 2 | 0,2 |
| | | | | TOTAL | 10 | 1 |

Alternativa 3 > Alternativa 1 > Alternativa 4 > Alternativa 2

Tabla 25
Evaluación de alternativas de criterio Robustez.

| <u>ROBUSTEZ</u> | ALTERNAT IVA 1 | ALTERNAT IVA 2 | ALTERNAT IVA 3 | ALTERNAT IVA 4 | $\Sigma+$ 1 | PONDERAC IÓN |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------|-----------------|
| ALTERNAT IVA 1 | | 1 | 0 | 1 | 3 | 0,3 |
| ALTERNAT IVA 2 | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0,1 |
| ALTERNAT IVA 3 | 1 | 1 | | 1 | 4 | 0,4 |
| ALTERNAT IVA 4 | 0 | 1 | 0 | | 2 | 0,2 |
| | | | | TOTAL | 10 | 1 |

Alternativa 3 > Alternativa 1 > Alternativa 4 > Alternativa 2

Tabla 26
Solución idónea Módulo 3

| <u>CONCLUSION ES</u> | FÁCIL DE IMPLEMENT AR | BAJO COST O | FÁCIL MANTENIMIEN TO | ROBUST EZ | $\Sigma+1$ | PRIORID AD |
|--------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------------|--------------|------------|---------------|
| ALTERNATIV A 1 | 0,012 | 0,038 | 0,045 | 0,105 | 1,20 0 | 2 |
| ALTERNATIV A 2 | 0,012 | 0,060 | 0,015 | 0,035 | 1,12 2 | 4 |
| ALTERNATIV A 3 | 0,012 | 0,015 | 0,060 | 0,140 | 1,22 7 | 1 |
| ALTERNATIV A 4 | 0,012 | 0,038 | 0,030 | 0,070 | 1,15 0 | 3 |

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 26, la mejor opción para satisfacer el pelado y cortado automático es la alternativa 3.

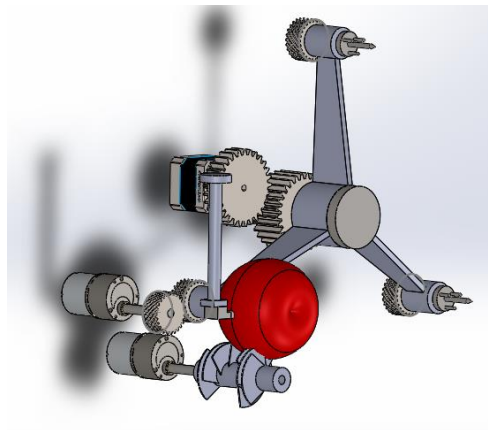


Figura 35 Solución Idónea Módulo 3

3.7.4.MÓDULO 4 DESCORAZONADO AUTOMÁTICO



Figura 36 Módulo 4 Descorazonado automático.

El módulo 4 cumple la función de descorazonar las manzanas ejerciendo una fuerza en dirección al sépalo. La cuchilla entra en la manzana haciendo que el corazón sea separado de la manzana.

3.7.4.1. SOLUCIÓN 1 CUCHILLA MÓVIL

La cuchilla se incrusta en la manzana hasta llegar al tope. Luego se debe girar para separar el corazón del resto de la manzana.

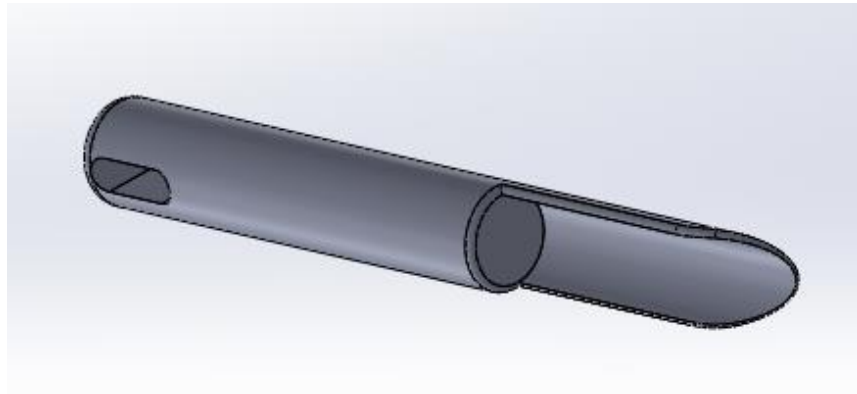


Figura 37 Módulo 4 Cuchilla para descorazonar.

3.7.4.1.1. VENTAJAS

- Fácil de usar
- Fácil de limpiar

3.7.4.1.2. DESVENTAJAS

- Costoso.
- Necesita un actuador extra.
- Ocupa mucho espacio.

3.7.4.2. SOLUCIÓN 2 CUCHILLA MANUAL ADAPTADA

La Figura 38 muestra un tipo de cuchilla usado en descorazonadores de uso doméstico. Posee un cilindro dentado que necesita de una fuerza que lo ayude a ingresar en la manzana.

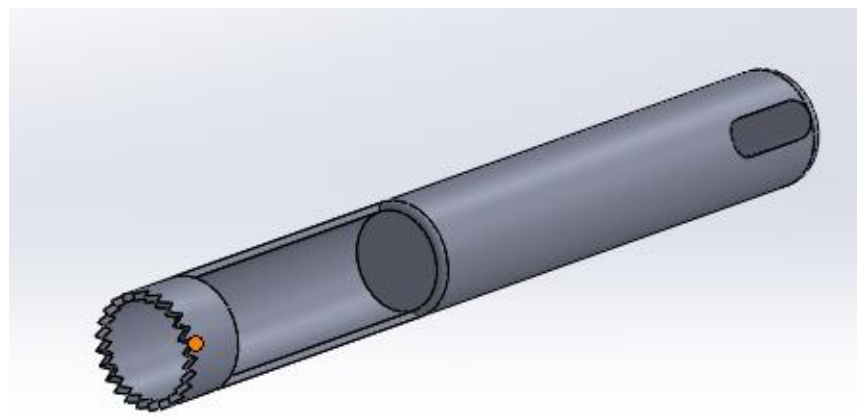


Figura 38 Módulo 4 Cuchilla de descorazonar manual.

Fuente: (G&Cia, 2012)

3.7.4.2.1. VENTAJAS

- Fácil de Usar.
- Fácil de limpiar.

3.7.4.2.2. DESVENTAJAS

- Difícil mantenimiento.
- Diámetro específico.
- No hechos para procesos industriales.

3.7.4.3. SOLUCIÓN 3 CORTE POR EJE HUECO

La Figura 39 nos muestra un eje afilado hueco. Al empujarlo contra la manzana este ira separando el corazón del resto de la manzana. Al ser el eje hueco el corazón de la manzana saldrá por la parte posterior.

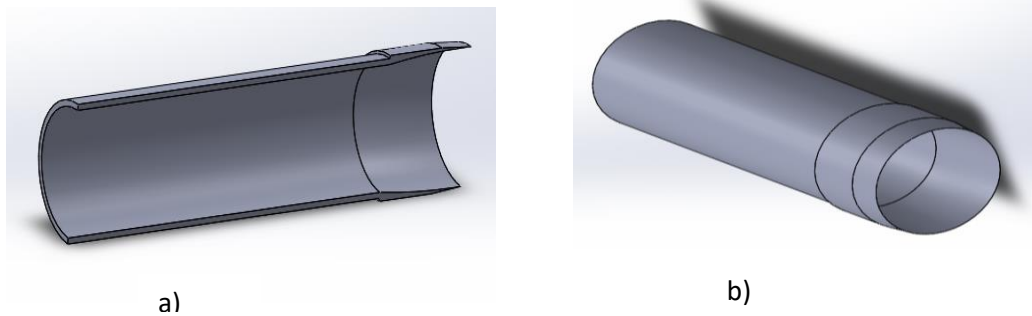


Figura 39 Módulo 4 Descorazonado por eje. a) Parte interior y b) eje hueco

3.7.4.3.1. VENTAJAS

- Fácil implementación
- Robusto
- Bajo costo
- Fácil mantenimiento
- Fácil Limpieza
- Fácil Funcionamiento

3.7.4.3.2. DESVENTAJAS

- Mantenimiento continuo

3.7.4.4. EVALUACIÓN DE CRITERIOS PARA DESCORAZONADO AUTOMÁTICO (Modulo 5)

Tabla 27
Evaluación de criterios Módulo 4.

| <i>MÓDULO 4</i> | FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN | FACILIDAD DE MANTENIMIENTO | EXPULSA LOS CORAZONES | BAJO COSTO | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------|------------|-------------|
| FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN | | 1 | 0 | 1 | 3 | 0,3 |
| FACILIDAD DE MANTENIMIENTO | 0 | | 0 | 0,5 | 1,5 | 0,15 |
| EXPULSA LOS CORAZONES | 1 | 1 | | 1 | 4 | 0,4 |
| BAJO COSTO | 0 | 0,5 | 0 | | 1,5 | 0,15 |
| | | | | TOTAL | 10 | 1 |

Expulsa los corazones > Facilidad de implementación > Facilidad de mantenimiento = Bajo costo

Tabla 28
Evaluación de alternativas de criterio Fácil Implementación.

| <i>FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN</i> | SOLUCIÓN 1 | SOLUCIÓN 2 | SOLUCIÓN 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|------------------------------------|------------|------------|--------------|------------|-------------|
| SOLUCIÓN 1 | | 1 | 0 | 2 | 0,33 |
| SOLUCIÓN 2 | 0 | | 0 | 1 | 0,17 |
| SOLUCIÓN 3 | 1 | 1 | | 3 | 0,50 |
| | | | TOTAL | 6 | 1,00 |

Solución 3 > Solución 1 > Solución 2

Tabla 29
Evaluación de alternativas de criterio Facilidad de mantenimiento.

| <i>FACILIDAD DE MANTENIMIENTO</i> | SOLUCIÓN 1 | SOLUCIÓN 2 | SOLUCIÓN 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|-----------------------------------|------------|------------|--------------|------------|-------------|
| SOLUCIÓN 1 | | 1 | 0,5 | 2,5 | 0,42 |
| SOLUCIÓN 2 | 0 | | 0 | 1 | 0,17 |
| SOLUCIÓN 3 | 0,5 | 1 | | 2,5 | 0,42 |
| | | | TOTAL | 6 | 1,00 |

Solución 1 = Solución 3 > Solución 2

Tabla 30
Evaluación de alternativas de criterio Expulsa Corazones.

| <u>EXPULSA CORAZONES</u> | SOLUCIÓN 1 | SOLUCIÓN 2 | SOLUCIÓN 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| SOLUCIÓN 1 | | 0 | 0 | 1 | 0,17 |
| SOLUCIÓN 2 | 1 | | 0 | 2 | 0,33 |
| SOLUCIÓN 3 | 1 | 1 | | 3 | 0,50 |
| | | | TOTAL | 6 | 1,00 |

Solución 3 > Solución 2 > Solución 1

Tabla 31
Evaluación de alternativas de criterio Bajo costo.

| <u>BAJO COSTO</u> | SOLUCIÓN 1 | SOLUCIÓN 2 | SOLUCIÓN 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| SOLUCIÓN 1 | | 0 | 0 | 1 | 0,17 |
| SOLUCIÓN 2 | 1 | | 0,5 | 2,5 | 0,42 |
| SOLUCIÓN 3 | 1 | 0,5 | | 2,5 | 0,42 |
| | | | TOTAL | 6 | 1,00 |

Solución 2 = Solución 3 > Solución 1

Tabla 32
Solución idónea Módulo 4

| <u>CONCLUSIONE S</u> | FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓ N | FACILIDAD DE MANTENIMIEN T O | EXPULSA LOS CORAZONE S | BAJO COST O | $\Sigma+1$ | PRIORIDA D |
|--------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-------------------|------------|---------------|
| SOLUCIÓN 1 | 0,10 | 0,06 | 0,07 | 0,03 | 1,2 5 | 3 |
| SOLUCIÓN 2 | 0,05 | 0,03 | 0,13 | 0,06 | 1,2 7 | 2 |
| SOLUCIÓN 3 | 0,15 | 0,06 | 0,20 | 0,06 | 1,4 8 | 1 |

De las tablas utilizadas los resultados adquiridos se usaron en la Solución idónea Módulo 4. La Tabla 32 nos da como resultado la solución más idónea

para solucionar el problema de descorazonado automático. La solución idónea corresponde a la SOLUCIÓN 3 CORTE POR EJE HUECO.

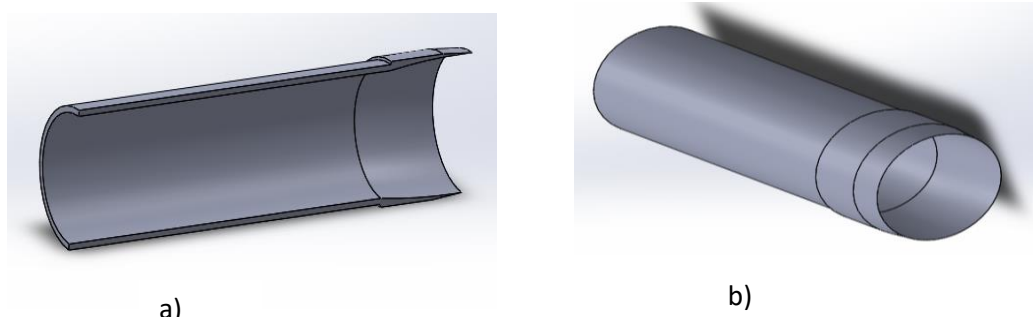


Figura 40 Solución idónea Módulo 4

3.7.5. MÓDULO 5 MOVIMIENTO DE CUCHILLAS

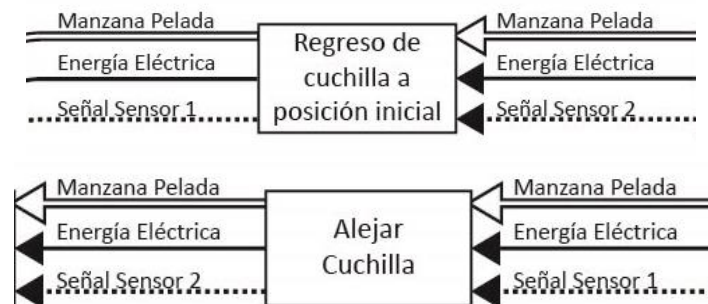


Figura 41 Módulo 5 Movimiento de las cuchillas.

El módulo 5 conocido como movimiento de cuchillas debe cumplir con las siguientes funciones.

- Regreso de cuchilla a posición inicial
- Alejar cuchilla

Las soluciones se presentaran por separado y se analizara el mejor conjunto de alternativas para dar solución a este módulo.

3.7.5.1. REGRESO DE CUCHILLA A POSICIÓN INICIAL

La cuchilla de pelado como la de descorazonado deben volver a su posición inicial.

3.7.5.1.1. SOLUCIÓN 1 MOVIMIENTO POR CREMALLERA

En la Figura 42 Movimiento por cremallera, la cremallera mueve un carro que contiene las cuchillas. El movimiento será accionado por un motor unido a un engrane capaz de mover las cuchillas.

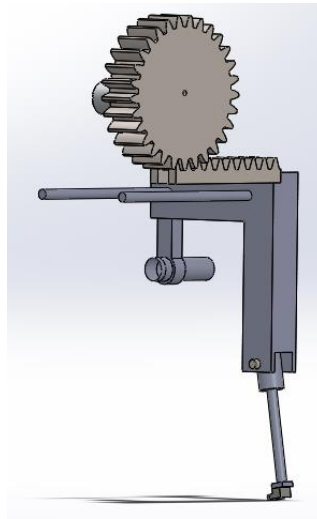


Figura 42 Movimiento por cremallera

3.7.5.1.1.1. VENTAJAS

- Robusto
- Fácil mantenimiento

3.7.5.1.1.2. DESVENTAJAS

- Ocupa mucho espacio.
- Difícil implementar.
- Control de cambio de giro electrónico.

3.7.5.1.2. SOLUCIÓN 2 MOVIMIENTO POR TORNILLOS SIN FIN

En la Figura 43 Movimiento por tornillo sin fin. Se observa un tornillo el cual estará unido directamente al eje del motor. El motor mueve el carro portador de cuchillas para que se acerque o aleje.

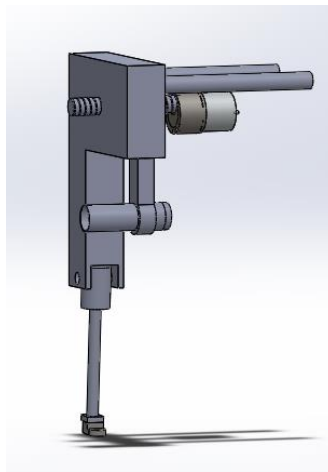


Figura 43 Movimiento por tornillo sin fin.

3.7.5.1.2.1. VENTAJAS

- Acoplamiento directo.
- Compacto.
- Fácil de implementar.

3.7.5.1.2.2. DESVENTAJAS

- Necesita un motor de gran torque
- Control de giro electrónico

3.7.5.1.3. SOLUCIÓN 3 BIELA MANIVELA CORREDERA

En la Figura 44 el movimiento conjunto de las cuchillas junto con el carrito es realizado por el mecanismo de biela manivela corredera que se encuentra conectado al eje del motor.

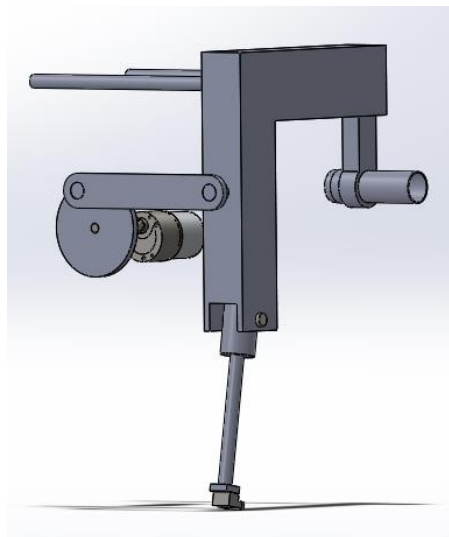


Figura 44 Biela manivela corredera

3.7.5.1.3.1. VENTAJAS

- Robusto
- Fácil implementación
- No necesita realizarse cambio de giro en el motor

3.7.5.1.3.2. DESVENTAJAS

- Requiere de mucho espacio
- Necesita un motor con un gran torque

3.7.5.2. ALEJAR CUCHILLA

La cuchilla debe regresar a su posición inicial, sin embargo la cuchilla no puede volver por el mismo camino ya que volvería a pelar las frutas.

3.7.5.2.1. SOLUCIÓN 1 ALEJAMIENTO DE CUCHILLA POR ELECTROIMÁN

La solución 2 utiliza un electroimán para conseguir alejar la cuchilla de la fruta.

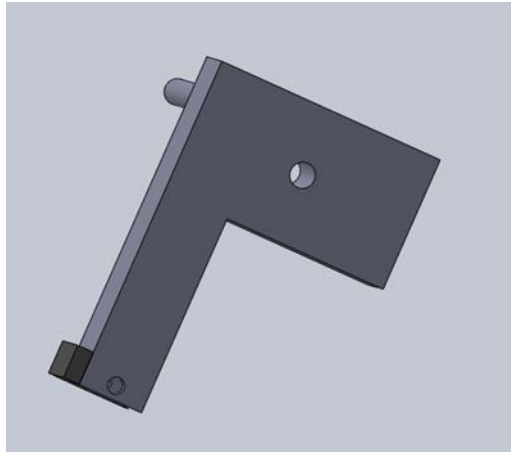


Figura 45 Alejamiento de cuchilla por electroimán

3.7.5.2.1.1. VENTAJAS.

- Fácil de implementar.
- Fácil de automatizar.
- Bajo costo.
- Compacto.

3.7.5.2.1.2. DESVENTAJAS

- Requiere instrumentación específica.
- Necesita mantenimiento constante.
- Utiliza cables.

3.7.5.2.2. SOLUCIÓN 2 ALEJAMIENTO DE CUCHILLA POR RIEL

La solución 3 utiliza un riel fija unida a la estructura de la máquina que aleja la cuchilla de la fruta en el camino de regreso.

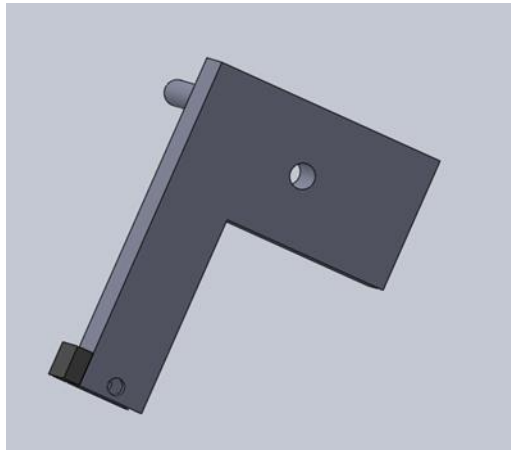


Figura 46 Alejamiento cuchilla por riel

3.7.5.2.2.1. VENTAJAS.

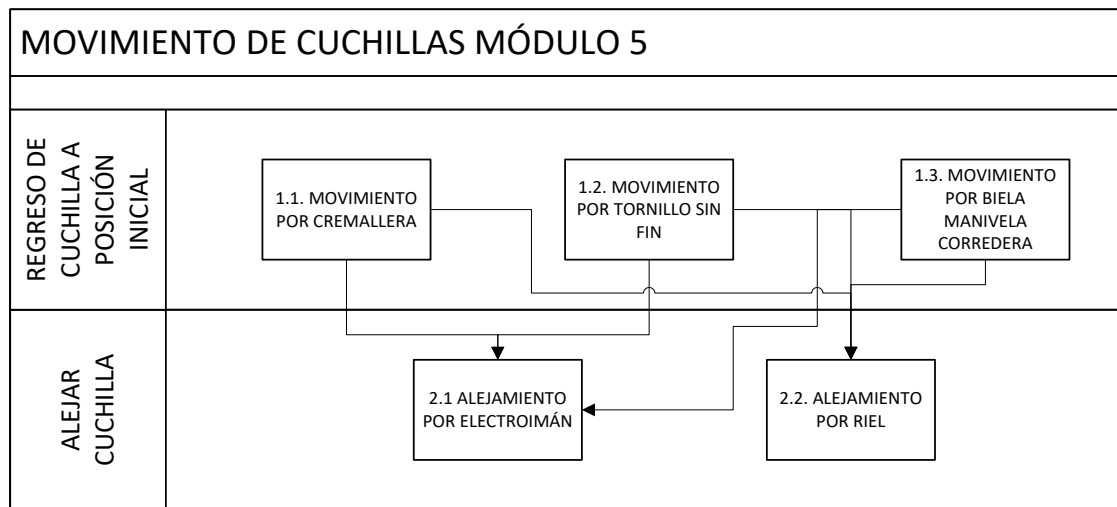
- Bajo costo.
- Sin cables.
- Fácil mantenimiento
- Mayor vida útil.

3.7.5.2.2.2. DESVENTAJAS

- Requiere más espacio para la implementación

3.7.5.3. TABLA DE COMBINACIÓN DE SOLUCIONES MODULO 5

En la Figura 47 Combinación de soluciones. Módulo 5. Se busca combinar los conceptos para el movimiento de cuchillas. Al realizar la combinación de soluciones obtenemos las alternativas que se han de evaluar.



ALTERNATIVA 1: 1.1 , 2.1
 ALTERNATIVA 2: 1.2, 2.1
 ALTERNATIVA 3: 1.3, 2.1

ALTERNATIVA 4: 1.1 , 2.2
 ALTERNATIVA 5: 1.2, 2.2
 ALTERNATIVA 6: 1.3, 2.2

Figura 47 Combinación de soluciones. Módulo 5

ALTERNATIVA 1

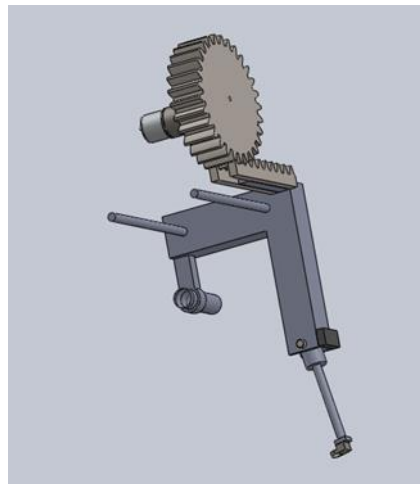
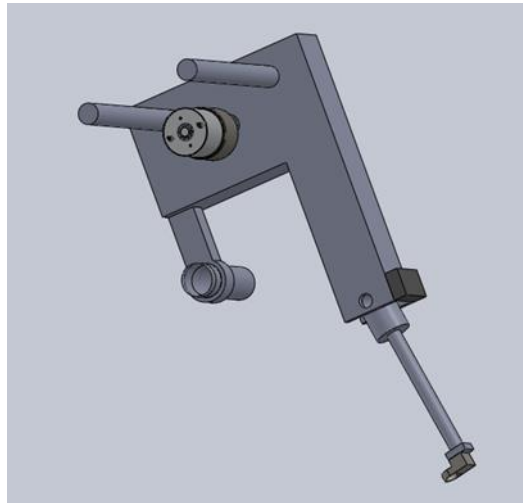
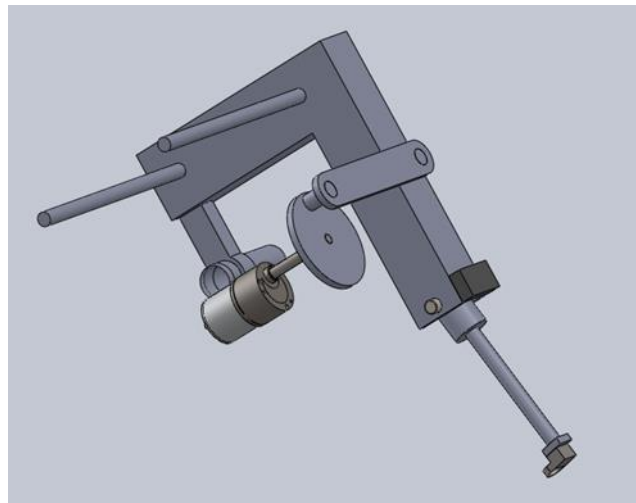


Figura 48 Alternativa 1 Módulo 5

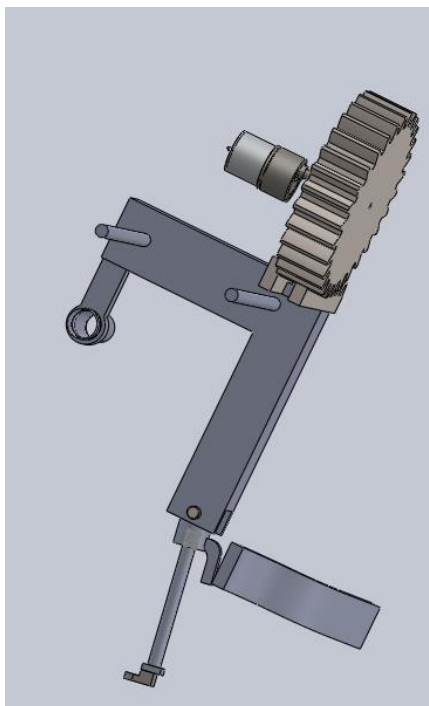
ALTERNATIVA 2

**Figura 49 Alternativa 2 Módulo 5**

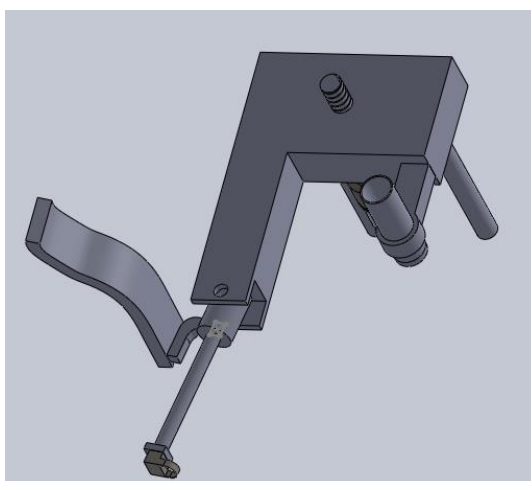
ALTERNATIVA 3

**Figura 50 Alternativa 3 Módulo 5**

ALTERNATIVA 4

**Figura 51 Alternativa 4 Módulo 5**

ALTERNATIVA 5

**Figura 52 Alternativa 5 Módulo 5**

ALTERNATIVA 6

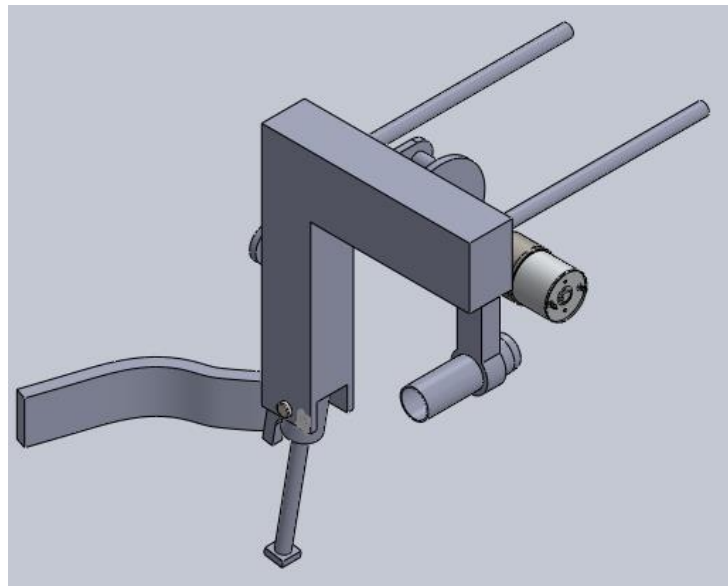


Figura 53 Alternativa 6 Módulo 5

3.7.5.4. EVALUACIÓN DE CRITERIOS PARA MOVIMIENTO DE CUCHILLAS (Módulo 5)

Con la ayuda de las siguientes tablas se realiza la combinación y evaluación de las alternativas para el módulo 5. En la Tabla 33 se está poniendo los criterios a ser evaluados en las tablas consecutivas.

Tabla 33
Evaluación de criterios Módulo 5

| <i>MODULO 5</i> | FÁCIL DE IMPLEMENTAR | BAJO COSTO | FÁCIL MANTENIMIENTO | VIDA ÚTIL | COMPACTO | ROBUSTO | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|----------------------|----------------------|------------|---------------------|-----------|----------|--------------|------------|-------------|
| FÁCIL DE IMPLEMENTAR | | 1 | 1 | 0,5 | 1 | 1 | 5,5 | 0,31 |
| BAJO COSTO | 0 | | 0 | 0 | 0,5 | 0 | 1,5 | 0,09 |
| FÁCIL MANTENIMIENTO | 0 | 1 | | 0 | 1 | 0,5 | 3,5 | 0,20 |
| VIDA ÚTIL | 0,5 | | 1 | | 1 | 1 | 4,5 | 0,26 |
| COMPACTO | 0 | 0,5 | 0 | 0 | | 0 | 1,5 | 0,09 |
| ROBUSTO | | | | | | | 1 | 0,06 |
| | | | | | | TOTAL | 17,5 | 1,00 |

Fácil de implementar = Vida útil > Fácil Mantenimiento = Robusto > Bajo Costo = Compacto

Tabla 34
Criterio Fácil de implementar

| <u>FÁCIL DE IMPLEMENTAR</u> | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | ALTERNATIVA 4 | ALTERNATIVA 5 | ALTERNATIVA 6 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| ALTERNATIVA 1 | | 0,5 | 1 | 0 | 0 | 1 | 3,5 | 0,17 |
| ALTERNATIVA 2 | 0,5 | | 1 | 0 | 0 | 1 | 3,5 | 0,17 |
| ALTERNATIVA 3 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0,5 | 1,5 | 0,07 |
| ALTERNATIVA 4 | 1 | 1 | 1 | | 0,5 | 1 | 5,5 | 0,26 |
| ALTERNATIVA 5 | 1 | 1 | 1 | 0,5 | | 1 | 5,5 | 0,26 |
| ALTERNATIVA 6 | 0 | 0 | 0,5 | 0 | 0 | | 1,5 | 0,07 |
| | | | | | | TOTAL | 21 | 1,00 |

Alternativa 4 = Alternativa 5 > Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3 = Alternativa 6

Tabla 35
Criterio Bajo costo

| <u>BAJO COSTO</u> | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | ALTERNATIVA 4 | ALTERNATIVA 5 | ALTERNATIVA 6 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| ALTERNATIVA 1 | | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0,10 |
| ALTERNATIVA 2 | 1 | | 1 | 0,5 | 0 | 0 | 3,5 | 0,17 |
| ALTERNATIVA 3 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,05 |
| ALTERNATIVA 4 | 1 | 0,5 | 1 | | 0 | 0 | 3,5 | 0,17 |
| ALTERNATIVA 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 6 | 0,29 |
| ALTERNATIVA 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | | 5 | 0,24 |
| | | | | | | TOTAL | 21 | 1,00 |

Alternativa 5 > Alternativa 6 > Alternativa 4 = Alternativa 2 > Alternativa 1 > Alternativa 3

Tabla 36
Criterio Fácil mantenimiento

| <u>FÁCIL MANTENIMIENTO</u> | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | ALTERNATIVA 4 | ALTERNATIVA 5 | ALTERNATIVA 6 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| ALTERNATIVA 1 | | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,5 | 0,07 |
| ALTERNATIVA 2 | 0,5 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,5 | 0,07 |
| ALTERNATIVA 3 | 1 | 1 | | 0,5 | 0 | 0 | 3,5 | 0,17 |
| ALTERNATIVA 4 | 1 | 1 | 0,5 | | 0 | 0 | 3,5 | 0,17 |
| ALTERNATIVA 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 6 | 0,29 |
| ALTERNATIVA 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | | 5 | 0,24 |
| | | | | | | TOTAL | 21 | 1,00 |

Alternativa 5 > Alternativa 6 > Alternativa 3 = Alternativa 4 > Alternativa 1 = Alternativa 2

Tabla 37
Criterio Vida útil

| <i>VIDA ÚTIL</i> | ALTERNAT IVA 1 | ALTERNAT IVA 2 | ALTERNAT IVA 3 | ALTERNAT IVA 4 | ALTERNA TIVA 5 | ALTERNA TIVA 6 | $\Sigma+1$ | PONDERAC IÓN |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|-----------------|
| ALTERNAT IVA 1 | | 0 | 0 | 0,5 | 0 | 0 | 1,5 | 0,07 |
| ALTERNAT IVA 2 | 1 | | 0,5 | 1 | 0 | 0 | 3,5 | 0,17 |
| ALTERNAT IVA 3 | 1 | 0,5 | | 1 | 0 | 0 | 3,5 | 0,17 |
| ALTERNAT IVA 4 | 0,5 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 1,5 | 0,07 |
| ALTERNAT IVA 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 6 | 0,29 |
| ALTERNAT IVA 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | | 5 | 0,24 |
| | | | | | | TOTA L | 21 | 1,00 |

Alternativa 5 > Alternativa 6 > Alternativa 3 = Alternativa 2 > Alternativa 1 =
Alternativa 4

Tabla 38
Criterio Compacto

| <i>COMPACT Q</i> | ALTERNA TIVA 1 | ALTERNA TIVA 2 | ALTERNA TIVA 3 | ALTERNA TIVA 4 | ALTERNA TIVA 5 | ALTERNA TIVA 6 | $\Sigma+1$ | PONDER ACIÓN |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|-----------------|
| ALTERNA TIVA 1 | | 0 | 0,5 | 1 | 1 | 1 | 4,5 | 0,21 |
| ALTERNA TIVA 2 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | 0,29 |
| ALTERNA TIVA 3 | 0,5 | 0 | | 1 | 1 | 1 | 4,5 | 0,21 |
| ALTERNA TIVA 4 | 0 | 0 | 0 | | 0,5 | 1 | 2,5 | 0,12 |
| ALTERNA TIVA 5 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | | 1 | 2,5 | 0,12 |
| ALTERNA TIVA 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0,05 |
| | | | | | | TOTAL | 21 | 1,00 |

Alternativa 2 > Alternativa 3 = Alternativa 1 > Alternativa 5 = Alternativa 4 >
Alternativa 6

Tabla 39
Criterio Robusto

| ROBUSTO | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | ALTERNATIVA 4 | ALTERNATIVA 5 | ALTERNATIVA 6 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------|--------------------|
| ALTERNATIVA 1 | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0,10 |
| ALTERNATIVA 2 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,05 |
| ALTERNATIVA 3 | 1 | 1 | | 1 | 0 | 0 | 4 | 0,19 |
| ALTERNATIVA 4 | 1 | 1 | 0 | | 0 | 0 | 3 | 0,14 |
| ALTERNATIVA 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 0 | 5 | 0,24 |
| ALTERNATIVA 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 6 | 0,29 |
| | | | | | | TOTAL | 21 | 1,00 |

Alternativa 6 > Alternativa 5 > Alternativa 3 > Alternativa 4 > Alternativa 1 > Alternativa 2

Tabla 40
Solución idónea Módulo 5

| CONCLUSIONES | FÁCIL DE IMPLEMENTAR | BAJO COSTO | FÁCIL MANTENIMIENTO | VIDA ÚTIL | COMPACTO | ROBUSTO | $\Sigma+1$ | PRIORIDAD |
|---------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------------|------------------|-----------------|----------------|------------|------------------|
| ALTERNATIVA 1 | 0,052 | 0,008 | 0,014 | 0,018 | 0,018 | 0,005 | 0,117 | 6 |
| ALTERNATIVA 2 | 0,052 | 0,014 | 0,014 | 0,043 | 0,024 | 0,003 | 0,151 | 4 |
| ALTERNATIVA 3 | 0,022 | 0,004 | 0,033 | 0,043 | 0,018 | 0,011 | 0,132 | 5 |
| ALTERNATIVA 4 | 0,082 | 0,014 | 0,033 | 0,018 | 0,010 | 0,008 | 0,167 | 3 |
| ALTERNATIVA 5 | 0,082 | 0,024 | 0,057 | 0,073 | 0,010 | 0,014 | 0,261 | 1 |
| ALTERNATIVA 6 | 0,022 | 0,020 | 0,048 | 0,061 | 0,004 | 0,016 | 0,172 | 2 |

De acuerdo al análisis realizado en la Tabla 40 la solución que satisface de mejor manera las funciones del módulo 5, es la alternativa 5 que tiene como elementos el tornillo sin fin junto con el riel guía.

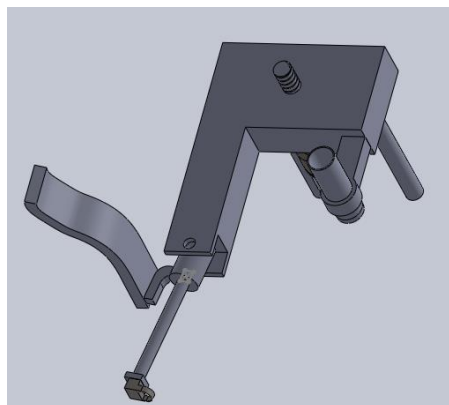
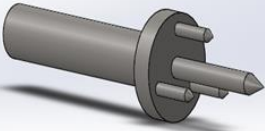
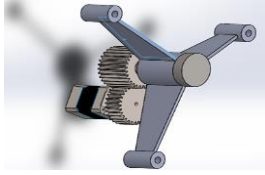
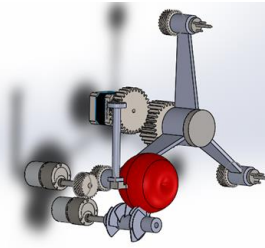
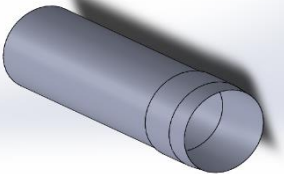


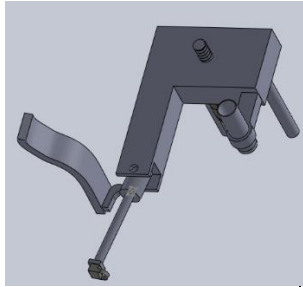
Figura 54 Solución idónea. Módulo 5

3.7.5.5. SOLUCIÓN OBTENIDA

El conjunto de soluciones obtenidas de cada módulo, da como resultado la mejor combinación para el prototipo de máquina procesadora. En la Tabla 41 se encuentra un resumen de las soluciones idóneas obtenidas para cada módulo, así como sus ventajas, desventajas e imagen.

Tabla 41
Resumen de Soluciones de cada módulo

| # | MÓDULO | SOLUCIÓN IDÓNEA | VENTAJAS | DESVENTAJAS | IMAGEN |
|---|--|---|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| 1 | INGRESO Y SALIDA DE MANZANAS | TRIDENTE MAS EJE CENTRO Solución 3 | Facilidad para incrustar la manzana | Dificultad para retirar la manzana |  |
| | | | Fácil de centrar | Costo | |
| | | | Fácil Construcción | | |
| 2 | POSICIONAMIENTO AUTOMÁTICO DE LA MANZANA PARA PROCESOS | TRANSMISIÓN MEDIANTE TREN DE ENGRANAJES Solución 2 | Menor costo del motor | Exactitud al posicionarse |  |
| | | | Alto torque | Compacto | |
| 3 | CORTE Y PELADO AUTOMÁTICO | MOVIMIENTO MEDIANTE CONTACTO DE ENGRANES. Solución 2, CUCHILLA EN U, CUCHILLAS EN ESPIRAL Solución 2. Alternativa 3 | Fácil mantenimiento | Difícil implementación |  |
| | | | Robusto | Alto costo | |
| 4 | DESCORAZONADO AUTOMÁTICO | CORTE POR EJE HUECO. Solución 3 | Fácil implementación | |  |
| | | | Fácil mantenimiento | | |
| | | | Fácil Aplicación | | |
| | | | Bajo costo | | |
| 5 | MOVIMIENTO DE CUCHILLAS | MOVIMIENTO POR TORNILLO SIN FIN | Fácil implementación | Grande | |
| | | | Bajo costo | | |

| | | | | |
|--|---|------------------------|--|---|
| | Solución 2, ALEJAMIENTO O DE CUCHILLA POR RIEL GUÍA Solución 2. Alternativa 5 | Fácil mantenimiento | |  |
| | | Vida útil | | |
| | | Robusto | | |

La combinación de todas estas soluciones, proporciona una idea aproximada de lo que será el prototipo de maquina procesadora de manzanas con sus diversos componentes (Figura 55).

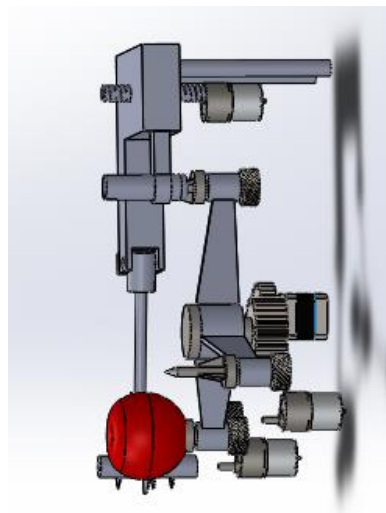


Figura 55 Solución idónea

3.7.6. SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELECTRÓNICOS

3.7.6.1. SELECCIÓN DE CONTROLADOR

El módulo electrónico que ejecuta las acciones de control de los actuadores se lo ha nombrado modulo controlador.

3.7.6.2. SOLUCIÓN 1 PIC

El controlador PIC tiene como función realizar los accionamientos de los actuadores, controlar la secuencia de activación y leer los sensores que intervienen.

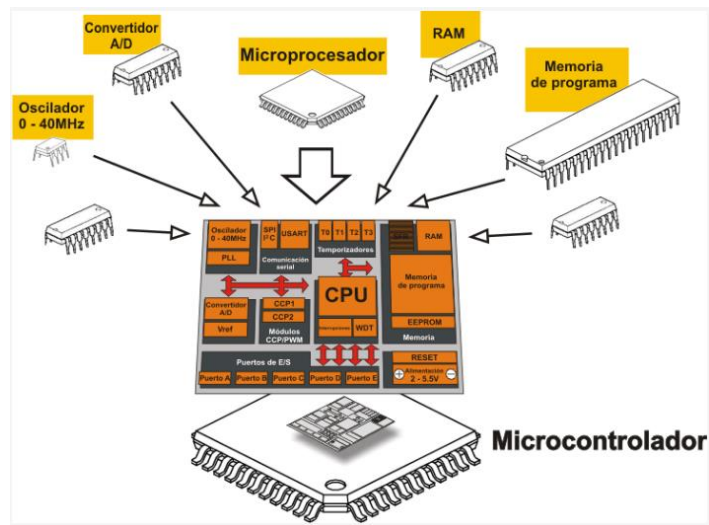


Figura 56 Microcontrolador
Fuente: (MikroElektronica, 2016)

3.7.6.2.1. VENTAJAS

- Bajo costo
- Fácil adquisición
- Necesita elementos extra para su funcionamiento

3.7.6.2.2. DESVENTAJAS

- Difícil implementación
- Necesita etapa de potencia

3.7.6.3. SOLUCIÓN 2 ARDUINO

La placa Arduino cumplirá la función de realizar el proceso de control de los actuadores de acuerdo a los datos que indiquen los sensores.



Figura 57 Placa Arduino
Fuente: (Arduino , 2016)

3.7.6.3.1. VENTAJAS

- Bajo costo
- Fácil adquisición
- Fácil implementación
- No necesita de elementos extra para su funcionamiento

3.7.6.3.2. DESVENTAJAS

- Necesita una etapa de potencia

3.7.6.4. SOLUCIÓN 3 PLC

El PLC cumple la función de realizar las acciones de control de la máquina.



Figura 58 PLC
Fuente: (Siemens , 2016)

3.7.6.4.1. VENTAJAS

- Fácil implementación

3.7.6.4.2. DESVENTAJAS

- Alto costo
- Difícil adquisición
- Necesita etapa de potencia

Tabla 42
Evaluación de controlador

| <u>CONTROLADOR</u> | BAJO COSTO | ADQUISICIÓN | IMPLEMENTACIÓN | # ELEMENTOS | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|--------------------|------------|-------------|----------------|--------------|------------|-------------|
| BAJO COSTO | | 1 | 1 | 1 | 4 | 0,40 |
| ADQUISICIÓN | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0,10 |
| IMPLEMENTACIÓN | 0 | 1 | | 0,5 | 2,5 | 0,25 |
| # ELEMENTOS | 0 | 1 | 0,5 | | 2,5 | 0,25 |
| | | | | TOTAL | 10 | 1,00 |

Bajo Costo > Implementación = # Elementos > Adquisición

Tabla 43
Evaluación de alternativas criterio Bajo Costo

| <u>BAJO COSTO</u> | ALTERNATIV A 1 | ALTERNATIV A 2 | ALTERNATIV A 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓ N |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|-----------------|
| ALTERNATIV A 1 | | 1 | 1 | 3 | 0,50 |
| ALTERNATIV A 2 | 0 | | 1 | 2 | 0,33 |
| ALTERNATIV A 3 | 0 | 0 | | 1 | 0,17 |
| | | | TOTAL | 6 | 1,00 |

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3

Tabla 44
Evaluación de alternativas criterio Adquisición

| <u>ADQUISICIÓN</u> | ALTERNATIV A 1 | ALTERNATIV A 2 | ALTERNATIV A 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓ N |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|-----------------|
| ALTERNATIV A 1 | | 0,5 | 1 | 2,5 | 0,42 |
| ALTERNATIV A 2 | 0,5 | | 1 | 2,5 | 0,42 |
| ALTERNATIV A 3 | 0 | 0 | | 1 | 0,17 |
| | | | TOTAL | 6 | 1,00 |

Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3

Tabla 45
Evaluación de alternativas criterio Implementación

| <u>IMPLEMENTACIÓ N</u> | ALTERNATIV A 1 | ALTERNATIV A 2 | ALTERNATIV A 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓ N |
|----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|-----------------|
| ALTERNATIVA 1 | | 0 | 1 | 2 | 0,33 |
| ALTERNATIVA 2 | 1 | | 1 | 3 | 0,50 |
| ALTERNATIVA 3 | 0 | 0 | | 1 | 0,17 |
| | | | TOTAL | 6 | 1,00 |

Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3

Tabla 46
Evaluación de alternativas Criterio # elementos

| <u># ELEMENTOS</u> | ALTERNATIV A 1 | ALTERNATIV A 2 | ALTERNATIV A 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓ N |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|------------|--------------|
| ALTERNATIV A 1 | | 0 | 1 | 2 | 0,33 |
| ALTERNATIV A 2 | 1 | | 1 | 3 | 0,50 |
| ALTERNATIV A 3 | 0 | 0 | | 1 | 0,17 |
| | | | TOTAL | 6 | 1,00 |

Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3

Tabla 47
Solución Idónea Controladores

| <u>CONCLUSIONE S</u> | BAJO COSTO | ADQUISICIÓ N | IMPLEMENTACIÓ N | # ELEMENTO S | $\Sigma+1$ | PRIORIDA D |
|----------------------|------------|--------------|-----------------|--------------|------------|------------|
| ALTERNATIV A 1 | 0,200 | 0,042 | 0,083 | 0,083 | 1,408 | 2 |
| ALTERNATIV A 2 | 0,133 | 0,042 | 0,125 | 0,125 | 1,425 | 1 |
| ALTERNATIV A 3 | 0,067 | 0,017 | 0,042 | 0,042 | 1,167 | 3 |

La información obtenida en la Tabla 47
Solución Idónea Controladores se obtuvo. Que la mejor solución para controlador es la solución 2, conocida como Arduino.



Figura 59 Solución Idónea. Controlador
Fuente: (Arduino , 2016)

3.7.7. SELECCIÓN MOTORES DE GIRO CONSTANTE

La cuchilla de inserción de la manzana y la cuchilla rotatoria deben realizar un giro constante para sus distintos procesos. La selección de estos motores se realizará a continuación para elegir la mejor solución.

3.7.7.1.1. SOLUCIÓN 1 MOTOR DC

El motor transmite su movimiento a los elementos de una manera constante.



Figura 60 Motor DC

Fuente: (Consortium of Cognitive science, 2016)

3.7.7.1.1.1. VENTAJAS

- Bajo costo
- Pequeño
- Bajo consumo
- Alta velocidad

3.7.7.1.1.2. DESVENTAJAS

- Bajo torque

3.7.7.1.2. SOLUCIÓN 2 MOTOR A PASOS

El motor se activa mediante pulsos para girar los elementos. A una velocidad constante.



Figura 61 Motor a Pasos

Fuente: (Inteligencia artificial, 2016)

3.7.7.1.2.1. VENTAJAS

- Alto torque
- Pequeño

3.7.7.1.2.2. DESVENTAJAS

- Alto costo
- Alto consumo
- Instrumentación específica

3.7.7.1.3. SOLUCIÓN 3 MOTOR AC

El motor gira. Y transmite el movimiento a los elementos.

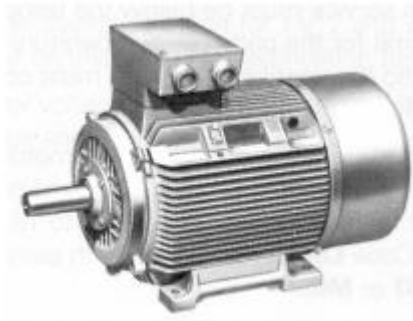


Figura 62 Motor AC
Fuente: (Vandelvira, 2016)

3.7.7.1.3.1. VENTAJAS

- Alto torque
- Alta velocidad

3.7.7.1.3.2. DESVENTAJAS

- Instrumentación específica
- Difícil control
- Alto consumo

Tabla 48
Evaluación de criterios Motor giro constante

| <i>MOTOR GIRO CONSTANTE</i> | BAJO COSTO | ALTA VELOCIDAD | ALTO TORQUE | CONTROL | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|--|-----------------------|---------------------------|------------------------|----------------|------------|--------------------|
| BAJO COSTO | | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,17 |
| ALTA VELOCIDAD | 1 | | 1 | 0 | 3 | 0,50 |
| ALTO TORQUE | 1 | 0 | | 0 | 2 | 0,33 |
| CONTROL | 1 | 1 | 1 | | 4 | 0,67 |
| | | | | TOTAL | 6 | 1,00 |

Control > Bajo Costo> Implementación= # Elementos > Adquisición

Tabla 49
Evaluación de alternativas criterio Costo

| <u>BAJO COSTO</u> | ALTERNATIV A 1 | ALTERNATIV A 2 | ALTERNATIV A 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓ N |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|-----------------|
| ALTERNATIV A 1 | | 1 | 1 | 3 | 0,50 |
| ALTERNATIV A 2 | 0 | | 1 | 2 | 0,33 |
| ALTERNATIV A 3 | 0 | 0 | | 1 | 0,17 |
| | | | TOTAL | 6 | 1,00 |

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3

Tabla 50
Evaluación de alternativas criterio Alta Velocidad

| <u>ALTA VELOCIDAD</u> | ALTERNATIV A 1 | ALTERNATIV A 2 | ALTERNATIV A 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓ N |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|-----------------|
| ALTERNATIV A 1 | | 1 | 0,5 | 2,5 | 0,42 |
| ALTERNATIV A 2 | 0 | | 0 | 1 | 0,17 |
| ALTERNATIV A 3 | 0,5 | 1 | | 2,5 | 0,42 |
| | | | TOTAL | 6 | 1,00 |

Alternativa 3 = Alternativa 1 > Alternativa 3

Tabla 51
Evaluación de alternativas criterio Alto Torque

| <u>ALTO TORQUE</u> | ALTERNATIV A 1 | ALTERNATIV A 2 | ALTERNATIV A 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓ N |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|-----------------|
| ALTERNATIV A 1 | | 1 | 0,5 | 2,5 | 0,42 |
| ALTERNATIV A 2 | 0 | | 0 | 1 | 0,17 |
| ALTERNATIV A 3 | 0,5 | 1 | | 2,5 | 0,42 |
| | | | TOTAL | 6 | 1,00 |

Alternativa 3 = Alternativa 2 > Alternativa 1

Tabla 52
Evaluación de alternativas de criterio Control

| CONTROL | ALTERNATIV A 1 | ALTERNATIV A 2 | ALTERNATIV A 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓ N |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|---------------------|
| ALTERNATIV A 1 | | 0,5 | 1 | 2,5 | 0,50 |
| ALTERNATIV A 2 | 0,5 | | 0 | 1,5 | 0,30 |
| ALTERNATIV A 3 | 0 | 0 | | 1 | 0,20 |
| | | | TOTAL | 5 | 1,00 |

Alternativa 2 = Alternativa 1 > Alternativa 3

Tabla 53
Solución Idónea motor giro constante

| CONCLUSIONES | BAJO COSTO | ALTA VELOCIDAD | ALTO TORQUE | CONTROL | $\Sigma+1$ | PRIORIDAD |
|----------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|----------------|------------|------------------|
| ALTERNATIVA 1 | 0,083 | 0,208 | 0,139 | 0,333 | 1,764 | 1 |
| ALTERNATIVA 2 | 0,056 | 0,083 | 0,056 | 0,200 | 1,394 | 3 |
| ALTERNATIVA 3 | 0,028 | 0,208 | 0,139 | 0,133 | 1,508 | 2 |

La información obtenida en la Tabla 53 se obtuvo. Que la mejor solución para los movimientos constantes es la solución 1, motor DC.



Figura 63 Motor DC
Fuente: (Consortium of Cognitive science, 2016)

3.7.8. SELECCIÓN DEL MOTOR PARA GIRO DE TORRETA

Este motor está encargado de:

- Girar la manzana para permitir el corte
- Girar las cuchillas encargadas de cortar la manzana.

Se puede elegir entre dos tipos de motores que nos permiten el movimiento que se necesita,

3.7.8.1. MOTOR DC

Motor capaz de mover las manzanas, con dificultad de un control de posicionamiento.



Figura 64

Fuente: (Consortium of Cognitive science, 2016)

3.7.8.1.1. VENTAJAS

- Velocidades Altas
- Velocidad regulable
- Poco consumo de corriente.

3.7.8.1.2. DESVENTAJAS

- Bajo torque

3.7.8.2. MOTOR A PASOS



Figura 65 Motor a Pasos

Fuente: (Inteligencia artificial, 2016)

3.7.8.2.1. VENTAJAS

- Torque alto
- Fácil control de posición

3.7.8.2.2. DESVENTAJAS

- Necesidad instrumentación

3.7.8.3. SERVO MOTOR



Figura 66 Servo Motor
Fuente: (Robotshop, 2016)

3.7.8.3.1. VENTAJAS

- Torque alto
- Fácil control de posición

3.7.8.3.2. DESVENTAJAS

- Necesidad instrumentación
- Paso mínimo de ángulo 5° grados

3.7.8.4. EVALUACIÓN DE CRITERIOS PARA SELECCIÓN DE EL INGRESO Y SALIDA DE MANZANAS (MÓDULO 1)

Una vez obtenidas las alternativas para la solución del módulo 1 se someterán a los criterios de evaluación (Tabla 54) para ser escogida la mejor opción de ellas que se ajuste a las necesidades.

Tabla 54
Evaluación de criterios.

| <u>GIRO DE TORRETA</u> | ALTO TORQUE | POSICIONAMIENTO | ALTA VELOCIDAD | ALTA CORRIENTE | $\Sigma+$ | PONDERACIÓN |
|------------------------|-------------|-----------------|----------------|----------------|-----------|-------------|
| ALTO TORQUE | | 0,5 | 1 | 1 | 3,5 | 0,37 |
| POSICIONAMIENTO | 0,5 | | 1 | 1 | 3,5 | 0,37 |
| ALTA VELOCIDAD | 0 | 0 | | 0,5 | 1,5 | 0,16 |
| ALTA CORRIENTE | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0,11 |
| | | | | TOTAL | 9,5 | 1,00 |

Posicionamiento = Alto Torque > Alta Velocidad > Alta corriente

Tabla 55
Evaluación de alternativas de Alto torque.

| <u>ALTO TORQUE</u> | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|--------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| ALTERNATIVA 1 | | 0 | 0 | 1 | 0,17 |
| ALTERNATIVA 2 | 1 | | 0,5 | 2,5 | 0,42 |
| ALTERNATIVA 3 | 1 | 0,5 | | 2,5 | 0,42 |
| | | | TOTAL | 6 | 1,00 |

Alternativa 3 = Alternativa 2 > Alternativa 1

Tabla 56
Evaluación de alternativas de Posicionamiento.

| <u>POSICIONAMIENTO</u> | ALTERNATIVA A 1 | ALTERNATIVA A 2 | ALTERNATIVA A 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------|-------------|
| ALTERNATIVA 1 | | 0 | 0 | 1 | 0,17 |
| ALTERNATIVA 2 | 1 | | 0,5 | 2,5 | 0,42 |
| ALTERNATIVA 3 | 1 | 0,5 | | 2,5 | 0,42 |
| | | | TOTAL | 6 | 1,00 |

Alternativa 3 = Alternativa 2 > Alternativa 1

Tabla 57
Evaluación de alternativas Alta Velocidad.

| <u>ALTA VELOCIDAD</u> | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|-----------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| ALTERNATIVA 1 | | 1 | 1 | 3 | 0,60 |
| ALTERNATIVA 2 | 0 | | 1 | 2 | 0,40 |
| ALTERNATIVA 3 | 0 | 0 | | 1 | 0,20 |
| | | | TOTAL | 6 | 1,20 |

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 1

Tabla 58
Evaluación de alternativas Alta corriente.

| <u>ALTA CORRIENTE</u> | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|-----------------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| ALTERNATIVA 1 | | 1 | 1 | 3 | 0,60 |
| ALTERNATIVA 2 | 0 | | 0,5 | 1,5 | 0,30 |
| ALTERNATIVA 3 | 0 | 0,5 | | 1,5 | 0,30 |
| | | | TOTAL | 6 | 1,20 |

Alternativa 1>Alternativa 2= Alternativa 1

Tabla 59
Solución Idónea

| <u>CONCLUSIONES</u> | ALTO TORQUE | POSICIONAMIENTO | ALTA VELOCIDAD | ALTA CORRIENTE | $\Sigma+1$ | PRIORIDAD |
|---------------------|-------------|-----------------|----------------|----------------|------------|-----------|
| ALTERNATIVA 1 | 0,063 | 0,062 | 0,096 | 0,063 | 0,283 | 3 |
| ALTERNATIVA 2 | 0,155 | 0,154 | 0,064 | 0,032 | 0,404 | 1 |
| ALTERNATIVA 3 | 0,155 | 0,154 | 0,032 | 0,032 | 0,372 | 2 |

Con la información adquirida de las tablas se ha evaluado cada una de las soluciones para obtener la solución idónea (Tabla 59)

. La solución que se tomara es la del motor a pasos.



Figura 67 Motor a Pasos
Fuente: (Inteligencia artificial, 2016)

3.7.9. SELECCIÓN DEL MÓDULO DEL CARRO

Este módulo se encargará de:

- Acercar y alejar el carro

Se puede elegir entre tres tipos de motores que nos permiten el movimiento que se necesita.

3.7.9.1. MOTOR DC

Motor capaz de cambiar de giro cambiando la polaridad en la que se envíe el voltaje



Figura 68 Motor DC

Fuente: (Consortium of Cognitive science, 2016)

3.7.9.1.1. VENTAJAS

- Velocidades Altas
- Fácil de cambiar el giro
- Económico

3.7.9.1.2. DESVENTAJAS

- Bajo torque

3.7.9.2. MOTOR A PASOS

Motor que cambia el giro activando en diferente secuencia sus bobinados internos



Figura 69 Motor a Pasos

Fuente: (Inteligencia artificial, 2016)

3.7.9.2.1. VENTAJAS

- Torque alto

- Fácil control de posición

3.7.9.2.2. DESVENTAJAS

- Necesidad instrumentación
- Mayor costo
- Menor durabilidad

3.7.9.3. SERVO MOTOR

Motor que por medio de una modulación de pulsos puede cambiar su posición.



Figura 70 Servo Motor
Fuente: (Robotshop, 2016)

3.7.9.3.1. VENTAJAS

- Torque alto
- Fácil control de posición

3.7.9.3.2. DESVENTAJAS

- Necesidad instrumentación
- Engranajes plásticos
- Velocidad baja

Tabla 60
Evaluación de criterios movimiento carro.

| <u>GIRO DE TORRETA</u> | COSTO | VIDA ÚTIL | VELOCIDAD | ROBUSTO | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|------------------------|-------|-----------|-----------|--------------|------------|-------------|
| COSTO | | 0,5 | 0,5 | 1 | 3 | 0,32 |
| VIDA ÚTIL | 0,5 | | 0,5 | 1 | 3 | 0,32 |
| VELOCIDAD | 0,5 | 0,5 | | 1 | 3 | 0,32 |
| ROBUSTO | 0 | 0 | 0 | | 1 | 0,11 |
| | | | | TOTAL | 10 | 1,05 |

Costo = Vida Útil = Velocidad > Robusto

Tabla 61
Evaluación de alternativas de costo.

| <u>COSTO</u> | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------|-------------|
| ALTERNATIVA 1 | | 0 | 0,5 | 1,5 | 0,38 |
| ALTERNATIVA 2 | 0 | | 0 | 1 | 0,25 |
| ALTERNATIVA 3 | 0,5 | 0 | | 1,5 | 0,38 |
| | | | TOTAL | 4 | 1,00 |

Alternativa 3 = Alternativa 1 > Alternativa 2

Tabla 62
Evaluación de alternativas para vida útil

| <u>VIDA ÚTIL</u> | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------|-------------|
| ALTERNATIVA 1 | | 0,5 | 0 | 1,5 | 0,38 |
| ALTERNATIVA 2 | 0,5 | | 0 | 1,5 | 0,38 |
| ALTERNATIVA 3 | 0 | 0 | | 1 | 0,25 |
| | | | TOTAL | 4 | 1,00 |

Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3

Tabla 63
Evaluación de alternativas para velocidad

| <u>VELOCIDAD</u> | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------|-------------|
| ALTERNATIVA 1 | | 0,5 | 1 | 2,5 | 0,42 |
| ALTERNATIVA 2 | 0,5 | | 1 | 2,5 | 0,42 |
| ALTERNATIVA 3 | 0 | 0 | | 1 | 0,17 |
| | | | TOTAL | 6 | 1,00 |

Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 1

Tabla 64
Evaluación de alternativas para robustez

| <u>ROBUSTEZ</u> | ALTERNATIVA 1 | ALTERNATIVA 2 | ALTERNATIVA 3 | $\Sigma+1$ | PONDERACIÓN |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|------------|-------------|
| ALTERNATIVA 1 | | 0,5 | 1 | 2,5 | 0,42 |
| ALTERNATIVA 2 | 0,5 | | 1 | 2,5 | 0,42 |
| ALTERNATIVA 3 | 0 | 0 | | 1 | 0,17 |
| | | | | 6 | 1,00 |

Alternativa 1 > Alternativa 2 = Alternativa 1

Tabla 65
Solución Idónea

| <u>CONCLUSIONES</u> | COSTO | VIDA ÚTIL | VELOCIDAD | ROBUSTO | $\Sigma+1$ | PRIORIDAD |
|---------------------|-------|-----------|-----------|---------|------------|-----------|
| ALTERNATIVA 1 | 0,118 | 0,118 | 0,132 | 0,044 | 0,412 | 1 |
| ALTERNATIVA 2 | 0,079 | 0,118 | 0,132 | 0,044 | 0,373 | 2 |
| ALTERNATIVA 3 | 0,118 | 0,079 | 0,053 | 0,018 | 0,268 | 3 |

Con la información adquirida de las tablas se ha evaluado cada una de las soluciones para obtener la solución idónea (Tabla 65). La Solución idónea es la del Motor DC.



Figura 71 Solución idónea movimiento de carro

3.7.9.4. SOLUCIÓN OBTENIDA PARTE ELECTRÓNICA

La combinación de todas estas soluciones proporciona una idea aproximada de lo que será la parte electrónica del prototipo de máquina procesadora de manzanas.

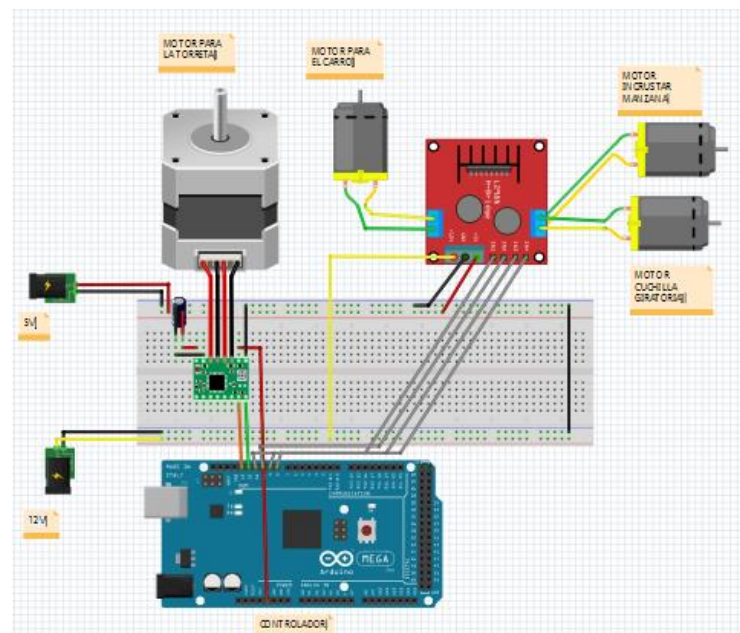


Figura 72 Solución Electrónica

En el tercer capítulo se realizó el estudio de los requerimientos técnicos de la máquina, así como las posibles soluciones tanto mecánicas como electrónicas.

El desarrollo de conceptos para las soluciones mecánicas se realizó en la Tabla 8 hasta la Tabla 40. Mostrando las soluciones más óptimas en la Tabla 41 y en la Figura 55.

La selección de elementos electrónicos se los realiza desde la Tabla 42 hasta la Tabla 64, en la Figura 72 se muestra los componentes seleccionados para dar solución a la parte electrónica de la máquina procesadora de alimentos.

Con las soluciones obtenidas, se procederá en el capítulo cuatro al diseño y dimensionamiento de los elementos mecánicos y electrónicos para el funcionamiento de la máquina.

CAPÍTULO 4

4.1. DISEÑO DETALLADO

Luego de haber obtenido el diseño preliminar de la máquina en el capítulo 3, se procede a realizar el diseño detallado de cada uno de los componentes, donde se involucran el dimensionamiento de cada uno de los elementos mecánicos y electrónicos que intervendrán en los procesos. Se realiza con los cálculos la selección de los materiales que se usaran de acuerdo a las normas y recomendaciones que se encuentran en los capítulos anteriormente expuestos.

4.2. DISEÑO MECÁNICO.

Los requerimientos que debe cumplir la máquina procesadora de manzanas son los siguientes.

La máquina deberá ser capaz de procesar 600 manzanas por hora. Las dimensiones promedio de la manzana son diámetro 90 milímetros y 80 milímetros de largo.

El tiempo para procesar cada manzana será.

$$\frac{3600 \text{ segundos}}{600 \text{ manzanas procesadas}} = 6 \text{ segundos} / \text{manzana procesada}$$

4.2.1. CÁLCULO DEL HUSILLO DE BOLAS

El cálculo del husillo nos proporciona la velocidad necesaria a la que deben girar los motores para pelar las manzanas.

Para poder realizar el cálculo del husillo se asumirá que el tiempo que se demora en pelar la manzana es de 5 segundos.

La distancia lineal recorrida para pelar la manzana es de 80 milímetros, por tanto la el avance requerido es de 16mm/s.

El peso conjunto del carro y sus elementos, que serán transportados por el husillo da como resultado una fuerza de 8N que se utilizara para los cálculos del husillo

Vida nominal

$$L_{10} = \left(\frac{C_a}{F_m} \right)^3 \quad (4.1)$$

Tabla 66
Husillos miniatura SDS/BDS/SHS de acero inoxidable

| DIÁMETRO NOMINAL | PASO | TUERCA | | Número de circuitos de bolas | Juego estándar | Reducción de juego a petición | Inercia | Grasa | Peso | EJE DE HUSILLO | | Grasa | DESIGNACIÓN |
|------------------|------------|------------|------------|------------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------|-----------------|--------------|----------------|----------------------|--------------------|-----------------------|
| | | Ca | Co | | | | | | | Masa | Inercia | | |
| d0 | Ph | Ca | Co | | | | | | | | | | |
| mm | mm | K N | - | | mm | | Kgmm ² | cm ³ | Kg | Kg/m | Kgmm ² /m | cm ³ /m | - |
| 6 | 2 | 1,2 | 1,1 | 1x2,5 | 0,05 | 0,02 | 7,7 | 0,1 | 0,025 | 0,18 | 0,7 | 0,7 | SHS 6X2 r |
| 8 | 2,5 | 1,4 | 1,3 | 3 | 0,07 | 0,03 | 1,12 | 0,1 | 0,026 | 0,32 | 2,1 | 1,1 | SDS/BDS 8X2,5R |
| 10 | 2 | 1,6 | 1,8 | 3 | 0,07 | 0,03 | 1,7 | 0,1 | 0,03 | 0,51 | 5,2 | 1,4 | SDS/BDS 10X2R |
| 12 | 2 | 1,9 | 2,3 | 3 | 0,07 | 0,03 | 1,5 | 0,1 | 0,023 | 0,67 | 10 | 1,7 | SDS/BDS 12X2R |

Fuente: (SKF, 2016, pág. 18)

La Tabla 66 proporciona los datos de capacidad de carga básica dinámica C_a utilizada en la ecuación (4. 1).

$$L_{10} = \left(\frac{1400}{8}\right)^3 = 5359375 \text{ millones de revoluciones}$$

En el cálculo de la distancia recorrida, se tomó en cuenta el largo de la manzana (80 milímetros) que debe ser de la misma longitud del descorazonador, también se toma en cuenta una holgura de 30 milímetros. La distancia utilizada para el cálculo es de 210 milímetros.

Numero de revoluciones para un ciclo completo

$$\begin{aligned} \# \text{ de revoluciones en un ciclo completo} \\ &= \frac{(2 \times \text{Distancia recorrida})}{\text{paso}} \end{aligned} \quad (4. 2)$$

$$\# \text{ de revoluciones en un ciclo completo} = \frac{(2 \times 210)}{2.5} = 168 \text{ revoluciones}$$

Longitud roscada

$$\begin{aligned} l = \text{distancia recorrida} + \text{longitud de la tuerca} \\ + (\text{longitud sin roscar}) \end{aligned} \quad (4. 3)$$

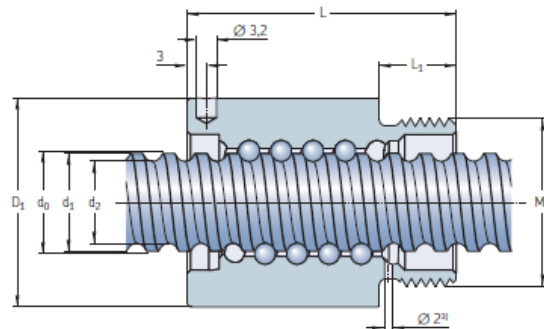


Figura 73 Longitud de la tuerca
Fuente: (SKF, 2016, pág. 19)

Tabla 67
Longitud de la Tuerca

| EJE DEL HUSILLO | TUERCA | | | | | | EJE DEL HUSILLO | | |
|-----------------|--------|-------|--------------|--------------|------------------|---------|-----------------|-----|-----|
| | | | Sin rascador | Con Rascador | Llave de apriete | | | | |
| d0 x Ph | D1 | M1 | L | | | | | | |
| | h10 | 6g | ± 0,3 | | L1 | (FACOM) | Longitud máx. | d2 | d1 |
| mm | mm | mm | mm | mm | mm | - | mm | mm | mm |
| 6x2 | 16,5 | M14X1 | 20 | - | 7,5 | 126-A35 | 1000 | 4,7 | 6 |
| 8x2,5 | 17,5 | M15X1 | 23,5 | 23,5 | 7,5 | 126-A35 | 1000 | 6,3 | 7,6 |
| 10x2 | 19,5 | M17x1 | 22 | 22 | 7,5 | 126-A35 | 1000 | 8,3 | 9,5 |

Fuente: (SKF, 2016, pág. 19)

La Tabla 67 proporciona los datos de paso del eje del husillo P_h , diámetro raíz d_2 , diámetro nominal del eje del husillo d_0 . Utilizados en los cálculos siguientes.

$$l = 210 + 23.5 + (2 \times 2 \times 2.5) = 243.5 \text{ mm}$$

Velocidad Máxima

$$V_{max} = \frac{\text{Velocidad de avance}}{P_h} \times 60 \quad (4.4)$$

$$V_{max} = \frac{16}{2.5} \times 60 = 384 \text{ rpm}$$

Velocidad crítica

$$n_{cr} = 49 \times 10^6 \cdot \frac{f_1 \cdot d_2}{l^2} \quad (4.5)$$

f_1 = factor de corrección de montaje

| | | |
|-----|--------|----------------------|
| 0,9 | ●●—— | fijo, libre |
| 3,8 | ●●——● | fijo, soporte radial |
| 5,6 | ●●——●● | fijo, fijo |

Figura 74 Factor de corrección de montaje f_1

Fuente: (SKF, 2016, pág. 50)

El husillo está montado con un extremo fijo y el otro con soporte radial. Dando un factor de corrección de montaje de 3.8 (Figura 74) para el cálculo de velocidad crítica

$$n_{cr} = 49 \times 10^6 \cdot \frac{3.8 \cdot 6.3}{243.5^2} = 1.978 \times 10^4 \text{ rpm} > V_{max} \therefore OK$$

Resistencia al pandeo

$$F_c = \frac{34 \times 10^3 \cdot f_3 \cdot d_2^4}{l^2} \quad (4.6)$$

f_3 = factor de corrección de montaje

| | | |
|------|--------|----------------------|
| 0,25 | ●●—— | fijo, libre |
| 2 | ●●——● | fijo, soporte radial |
| 4 | ●●——●● | fijo, fijo |

Figura 75 Factor de corrección de montaje f_3

Fuente: (SKF, 2016, pág. 50)

La Figura 75 proporciona el valor del factor de corrección de montaje f_3 con valor de 2.

$$F_c = \frac{34 \times 10^3 \cdot 2 \cdot 6.3^4}{243.5^2} = 1,807 \text{ KN} > 7,84 \text{ N}$$

Eficiencia Teórica

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\pi \cdot d_0}{P_h} \cdot \mu} \quad (4.7)$$

$$\begin{aligned}\mu &= 0,0065 \text{ para SH/SHS} \\ \mu &= 0,006 \text{ para SD/BD, SDS/BDS, SX/BX,} \\ &\quad \text{SND/BND/PND, SN/BN/PN, SL/TL,} \\ &\quad \text{SLT/TLT}\end{aligned}$$

Figura 76 Constante μ
Fuente: (SKF, 2016, pág. 51)

La Figura 76 muestra que la designación del husillo es SDS/BDS 8x2.5R. Por lo tanto el valor de μ es de 0.006.

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\pi \cdot 8}{2.5} \cdot 0.006} = 0.943$$

Eficiencia Teórica Indirecta

$$\eta' = 2 - \frac{1}{\eta} \quad (4. 8)$$

$$\eta' = 2 - \frac{1}{0.9387} = 0.94$$

Eficiencia Práctica

$$\eta_p = 0.9 \cdot \eta \quad (4. 9)$$

$$\eta_p = 0.9 \cdot 0.943 = 0.849$$

Par de entrada en funcionamiento

$$T = \frac{F \cdot P_h}{2000 \cdot \pi \cdot \eta_p} \quad (4. 10)$$

$$T = \frac{8 \cdot 2.5}{2000 \cdot \pi \cdot 0.849} = 3.75 \times 10^{-3} \text{ Nm}$$

Potencia de funcionamiento

$$P = \frac{F \cdot n \cdot P_h}{60000 \cdot \eta_p} \quad (4. 11)$$

$$P = \frac{8 \cdot 384 \cdot 2.5}{60000 \cdot 0.849} = 0.151 \text{ W}$$

4.2.2.CÁLCULO DEL TORQUE DEL MOTOR

Del cálculo del husillo de bolas se obtuvo que la velocidad mínima del motor debe ser de 384 rpm. Sin embargo el valor que más se le aproxima es de 400rpm.

Para efectos de cálculo del torque de arranque del motor, se asumirá la manzana como un cuerpo cilíndrico de diámetro de 90 milímetros, longitud de 80 milímetros y un peso máximo de la manzana junto con el eje de la cuchilla de 300g.rf

Calculo de la inercia

$$I = \frac{1}{12} \cdot m \cdot r^2 \quad (4.12)$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot 0.3 \cdot (90 \times 10^{-3})^2 = 2.025 \times 10^{-4}$$

$$w = w_0 + \alpha t \quad (4.13)$$

$$41.89 = 0 + \alpha$$

$$\alpha = 41.89 \text{ rad/s}^2$$

$$T = I \cdot \alpha \quad (4.14)$$

$$T = 2.025 \times 10^{-4} \cdot 41.89 = 0.0085 \text{ Nm}$$

El motor seleccionado ha sido el siguiente.



Figura 77 Motor DC 24V 400 rpm

Fuente: (Amazon, 2016)

Tabla 68

Datos técnicos del motor DC

| MODEL O | VOLTAJ E | VELOCID AD | CORRIEN TE | TORQUE | | POTENCI A |
|--------------|-------------|---------------|---------------|--------|------|--------------|
| DFGB37 R6 | V | Rpm | A | Kg cm | N m | W |
| | 24 | 400 | 0.03 | 0.8 | 0.08 | 0.72 |

4.2.3. CÁLCULO DE DEFLEXIÓN DE EJE GUÍA DEL CARRO PORTA HERRAMIENTAS

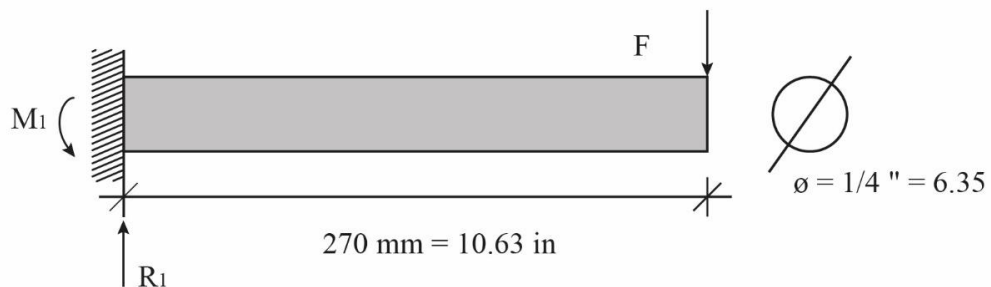


Figura 78 Diagrama de cuerpo Libre

El eje guía ayuda a que la carga del carro no afecte al husillo, además ayuda a seguir al carro porta herramientas un mismo camino en todos los recorridos.

El eje guía estará sujeto a la estructura y se usará un eje de diámetro comercial de 0.25 pulgadas o 6.35 milímetros. (DIPAC Productos de Acero, 2016). Que soportará una carga de 1.2 Kg (2.645 lb) en su extremo.

El módulo de elasticidad E para el acero AISI 304 es de 30.458 Mpsi y se utilizara el segundo momento de inercia para los cálculos.

Calculo del segundo momento de inercia para un diámetro de 0.25 in

$$I = \frac{\pi D^4}{64} \quad (4.15)$$

$$I = 1.9174 \times 10^{-4} \text{ in}^4$$

Cálculo de la deflexión máxima.

$$q = -M_1 \langle x - 0 \rangle^{-2} + R_1 \langle x - 0 \rangle^{-1} - F \langle x - l \rangle^{-1} \quad (4.16)$$

$$v = \int q \, dx = -M_1 \langle x - 0 \rangle^{-1} + R_1 \langle x - 0 \rangle^0 - F \langle x - l \rangle^0 + C_1 \quad (4.17)$$

$$M = \int v \, dx = -M_1 \langle x - 0 \rangle^0 + R_1 \langle x - 0 \rangle^1 - F \langle x - l \rangle^1 + C_1 x + C_2 \quad (4.18)$$

$$\theta = \int \frac{M}{EI} \, dx = \frac{1}{EI} \left(-M_1 \langle x - 0 \rangle^1 + \frac{R_1}{2} \langle x - 0 \rangle^2 - \frac{F}{2} \langle x - l \rangle^2 + \frac{C_1 x^2}{2} + C_2 x + C_3 \right) \quad (4.19)$$

$$y = \int \theta \, dx = \frac{1}{EI} \left(-\frac{M_1}{2} \langle x - 0 \rangle^2 + \frac{R_1}{6} \langle x - 0 \rangle^3 - \frac{F}{6} \langle x - l \rangle^3 + \frac{C_1 x^3}{6} + \frac{C_2 x^2}{2} + C_3 x + C_4 \right) \quad (4.20)$$

Se asume para los cálculos que el valor de C_1 , C_2 , V , M serán igual a cero y el valor para evaluación x será la longitud máxima del eje guía.

Reemplazando los valores en la ecuación (4.17) se obtiene lo siguiente.

$$v(l^+) = 0 = R_1 \langle l - 0 \rangle^0 - F \langle l - l \rangle^0 + 0$$

$$R_1 = F \therefore R_1 = 2.6451 \text{ lbf}$$

Reemplazando los valores en la ecuación (4.18) obtenemos

$$M(l^+) = 0 = -M_1\langle l - 0 \rangle^0 + R_1\langle l - 0 \rangle^1 - F\langle l - l \rangle^1 + 0l + C_2$$

$$M_1 = 28.116 \text{ lbf in}$$

En los cálculos de la deflexión angular y deflexión general del eje guía se utilizara los siguientes valores para el remplazo. $X=0$, $\Theta=0$ y $x=0$, $y=0$.

Remplazando en la ecuación (4. 19)

$$\theta(0) = \frac{1}{EI} \left(-M_1\langle 0 - 0 \rangle^1 + \frac{R_1}{2}\langle 0 - 0 \rangle^2 - \frac{F}{2}\langle 0 - l \rangle^2 + C_3 \right)$$

$$C_3 = 149.43$$

Remplazando en la ecuación (4. 20)

$$y(0) = \frac{1}{EI} \left(-\frac{M_1}{2}\langle 0 - 0 \rangle^2 + \frac{R_1}{6}\langle 0 - 0 \rangle^3 - \frac{F}{6}\langle 0 - l \rangle^3 + C_4 \right)$$

$$C_4 = -529.51$$

Con los datos obtenidos remplazamos en la ecuación (4. 20) para obtener la deflexión máxima, evaluando para el valor de, $l= 10.63$ in.

$$y_{max} = \frac{1}{(30.458 \times 10^6)(1.9174 \times 10^{-4})} \left(-\frac{28.116}{2}\langle 10.63 \rangle^2 + \frac{2.645}{6}\langle 10.63 \rangle^3 + 149.43(10.63) - 529.51 \right)$$

$$y_{max} = -1.189 \times 10^{-5} \text{ in} \approx -3.02 \times 10^{-4} \text{ mm}$$

4.2.4.DISEÑO CUCHILLA PARA INCRUSTAR LA MANZANA.

La cuchilla tiene un movimiento rotacional que se transmite al contacto mediante engranes. En los cálculos se dimensionará los diámetros del eje, los engranes y los rodamientos que se ha de utilizar.

4.2.4.1. DISEÑO DE LOS ENGRANAJES.

TORQUE SOBRE EL EJE DEL PIÑÓN

$$T_p = \frac{P}{w_p} \tag{4. 21}$$

$$T_p = \frac{0.1809hp \left(6600 \frac{\text{in} \cdot \text{lb}}{\text{hp}} \right)}{1000rpm \left(\frac{2\pi}{60} \frac{\text{rad}}{\text{rpm}} \right)} = 11.404 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

TORQUE DE SALIDA

$$T_g = m_g \times T_p \quad (4.22)$$

$$T_g = 1 \times 11.404 = 11.404 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

$$m = \frac{d}{N}$$

$$1.75 = \frac{d_p}{26}$$

$$d_p = 45.5 \text{ mm} \approx 1.79 \text{ in}$$

$$P_d = \frac{N}{d_p} \quad (4.23)$$

$$P_d = 14.525 \text{ in}$$

CARGA TRANSMITIDA

$$W_t = \frac{T_p}{\frac{d_p}{2}} \quad (4.24)$$

$$W_t = \frac{11.404}{\frac{1.79}{2}} = 12.742 \text{ lb}$$

COMPONENTE RADIAL

$$W_r = W_t \times \tan \phi \quad (4.25)$$

$$W_r = 12.742 \times \tan(20^\circ) = 4.638 \text{ lb}$$

CARGA TOTAL

$$W = \frac{W_t}{\cos(\phi)} \quad (4.26)$$

$$W = \frac{12.742}{\cos(20^\circ)} = 13.56 \text{ lb}$$

4.2.4.2. CÁLCULO DEL ANCHO DE CARA PARA EL PIÑÓN Y ENGRANE

ANCHO DE CARA EN FUNCIÓN DEL Pd

$$\frac{8}{P_d} < F < \frac{16}{P_d} \quad (4.27)$$

$$F = \frac{12}{P_d} \quad (4.28)$$

$$F = \frac{12}{14.525} = 0.826 \text{ in}$$

Suponiendo carga y fuentes uniformes $K_a = 1$.

Tabla 69
Factores K_m de distribución de carga

| Factores K_m de distribución de carga | | |
|---|------|-------|
| Ancho de cara | | K_m |
| in | (mm) | |
| <2 | 50 | 1,6 |
| 6 | 150 | 1,7 |
| 9 | 250 | 1,8 |
| >20 | 500 | 2 |

Fuente:(Norton, 2011, pág. 577)

Debido a que el valor del ancho de la cara es 0.826 in, entonces el valor de distribución de carga K_m es 1.6.

Cálculo del factor dinámico K_v

$$V_t = \frac{d_p}{2} \times \omega_p \quad (4.29)$$

$$V_t = \frac{1.79 \text{ in}}{2 \times 12} \times 1000 \text{ rpm} \times 2\pi = 468.62 \text{ ft}/\text{min}$$

$$6 \leq Q_v \leq 11$$

$$B = \frac{(12 - Q_v)^{2/3}}{4} \quad (4.30)$$

$$B = \frac{(12 - 6)^{2/3}}{4} = 0.825$$

$$A = 50 + 56(1 - B) \quad (4.31)$$

$$A = 50 + 56(1 - 0.825) = 59.773$$

$$K_v = \left(\frac{A}{A + \sqrt{V_t}} \right)^B \quad (4.32)$$

$$K_v = \left(\frac{59.773}{59.773 + \sqrt{468.62}} \right)^{0.825} = 0.775$$

Los factores restantes son los siguientes:

Factor de tamaño $K_s = 1$

Factor de espesor del aro $K_B = 1$, porque es un engrane plano.

Factor de aplicaciones

Tabla 70
Aplicación de factores Ka

| Aplicación de factores Ka | | | |
|-----------------------------|-------------------|------------------|----------------|
| | Máquina impulsada | | |
| Máquina impulsora | Uniforme | Impacto moderado | Impacto fuerte |
| Uniforme | 1,00 | 1,25 | 1,75 o mayor |
| (motor eléctrico, turbina) | | | |
| Impacto suave | 1,25 | 1,50 | 2,00 o mayor |
| (motor de varios cilindros) | | | |
| Impacto medio | 1,50 | 1,75 | 2,25 o mayor |
| (motor de un solo cilindro) | | | |

Fuente: (Norton, 2011, pág. 577)

El factor de aplicación K_a tiene por valor uno, debido que el movimiento es uniforme y no tiene impactos.

Factor geométrico J de resistencia a la flexión.

Tabla 71
Factor geométrico J para flexión para ángulo de 20

| Factor geométrico J para flexión de la AGMA, para 20° y dientes de profundidad total con carga del HPSTC | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----|---|----|---|----|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| Dientes en el piñón | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| dientes en el engrane | 12 | | 14 | | 17 | | 21 | | 26 | | 35 | | 55 | | 135 | | |
| | P | G | P | G | P | G | P | G | P | G | P | G | P | G | P | G | |
| 12 | U | U | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | U | U | U | U | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | U | U | U | U | U | U | | | | | | | | | | | |
| 21 | U | U | U | U | U | U | 0,33 | 0,33 | | | | | | | | | |
| 26 | U | U | U | U | U | U | 0,33 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | | | | | | | |
| 35 | U | U | U | U | U | U | 0,34 | 0,37 | 0,36 | 0,38 | 0,39 | 0,39 | | | | | |
| 55 | U | U | U | U | U | U | 0,34 | 0,4 | 0,37 | 0,41 | 0,4 | 0,42 | 0,43 | 0,43 | | | |
| 135 | U | U | U | U | U | U | 0,35 | 0,43 | 0,38 | 0,44 | 0,41 | 0,45 | 0,45 | 0,47 | 0,49 | 0,49 | |

Fuente: (Norton, 2011, pág. 574)

El factor geométrico J toma como referencia la relación entre los dientes del piñón y del engrane. Ya que la relación del engrane y piñón es de uno entonces el piñón y el engrane cuenta con 26 dientes, por tanto el valor para el factor geométrico J es 0.35.

Ecuación de la AGMA esfuerzo de flexión

$$\sigma_{bp} = \frac{w_t \times P_d}{F \times J} \times \frac{K_a \times K_m}{K_v} \times K_s \times K_B \quad (4.33)$$

$$\sigma_{bp} = \frac{12.742 \times 14.525}{0.826 \times 0.35} \times \frac{1 \times 1.6}{0.775} \times 1 \times 1 = 1322 \text{ psi}$$

Tabla 72
Resumen de características del piñón y engrane

| # DIENTES | ÁNGULO | ANCHO DE CARA | | MÓDULO |
|-----------|--------|---------------|----|--------|
| | | In | mm | |
| 26 | 20 | 0.827 | 21 | 1.75 |

4.2.5. DISEÑO DE EJE PARA CICLO DE FLEXIÓN Y TORSIÓN CONSTANTE, EJE PARA INCRUSTAR MANZANAS.

En la Figura 79 se muestra el diseño preliminar de lo que será el la cuchilla para incrustar manzanas, así como las fuerzas y elementos que estarán en contacto con ellas.

La fuerza F_{cu} es la fuerza aplicada por la cuchilla y que recorrerá a lo largo de la manzana. El peso establecido de la manzana es de 200 g que se lo representa como una fuerza distribuida F_{ma} . Además se tiene el torque que es transmitido por el engrane $T_p = T_m = 11.404 \text{ lb in.}$

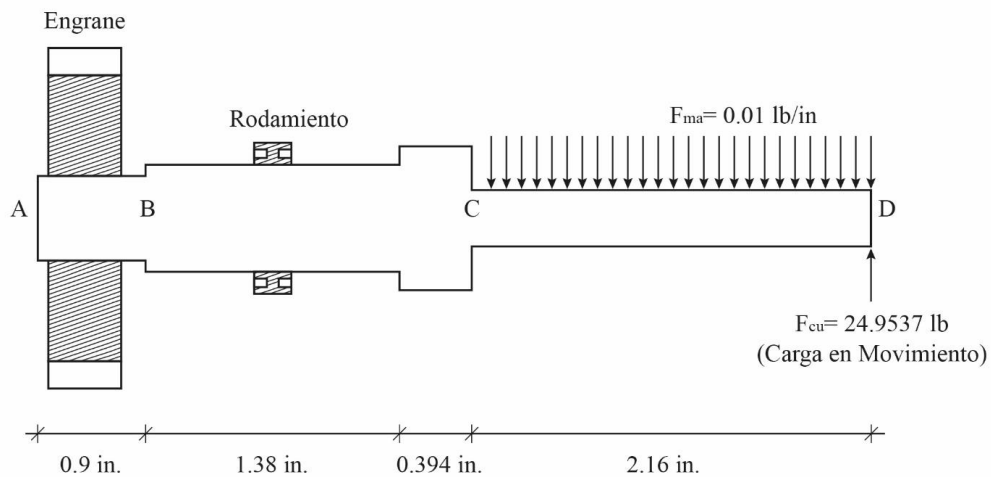


Figura 79 Geometría de diseño preliminar

Con los datos que se obtiene del gráfico de la Figura se ha creado el diagrama de cuerpo libre (Figura 80). Donde F_{en} representa la fuerza generada por el engrane, F_{ro} es la fuerza de reacción del rodamiento, F_m es la fuerza distribuida de la manzana F_{ma} aplicada en un solo punto y F_{cu} es la fuerza que aplica la cuchilla.

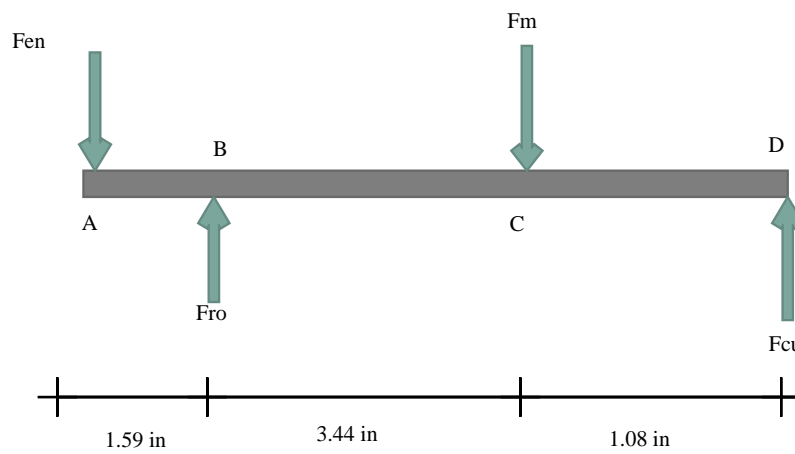


Figura 80 Diagrama de Cuerpo Libre

$$\sum F_y = 0 \quad (4.34)$$

$$-F_{en} + F_{ro} - F_m + F_{cu} = 0 \quad (4.35)$$

$$-F_{en} + F_{ro} - (0.01 \times 2.165) + 24.9537 = 0 \quad (4.36)$$

$$-F_{en} + F_{ro} = -24.9321 \text{ lb}$$

$$\sum M_B = 0 \quad (4.37)$$

$$F_{en} \times (1.59) - F_m \times (3.44) + F_{cu} \times (4.52) = 0$$

$$F_{en} \times (1.59) - 0.01 \times (3.44) + 24.9537 \times (4.52) = 0$$

$$F_{en} = -70.916 \text{ in}$$

Remplazando F_{en} en Ecuación (4. 36)

$$70.916 + F_{ro} = -24.9321 \text{ lb}$$

$$F_{ro} = -95.848 \text{ lb}$$

$$\sum F_x = 0 \tag{4. 38}$$

$$-F_{en} + F_{ro} = 0$$

$$-0.453 + F_{ro} = 0$$

$$F_{ro} = 0.453 \text{ lb}$$

$$q = -F_{en}\langle z - 0 \rangle^{-1} + F_{ro}\langle z - 0.9 \rangle^{-1} - F_m\langle z - 2.364 \rangle^0 + F_{cu}\langle z - 4.529 \rangle^{-1} \tag{4. 39}$$

$$v = \int qdz = -F_{en}\langle z - 0 \rangle^0 + F_{ro}\langle z - 0.9 \rangle^0 - F_m\langle z - 2.364 \rangle^1 + F_{cu}\langle z - 4.529 \rangle^0 + C_1 \tag{4. 40}$$

$$M = \int vdz = -F_{en}\langle z - 0 \rangle^1 + F_{ro}\langle z - 0.9 \rangle^1 - \frac{F_m}{2}\langle z - 2.364 \rangle^2 + F_{cu}\langle z - 4.529 \rangle^1 + C_1z + C_2 \tag{4. 41}$$

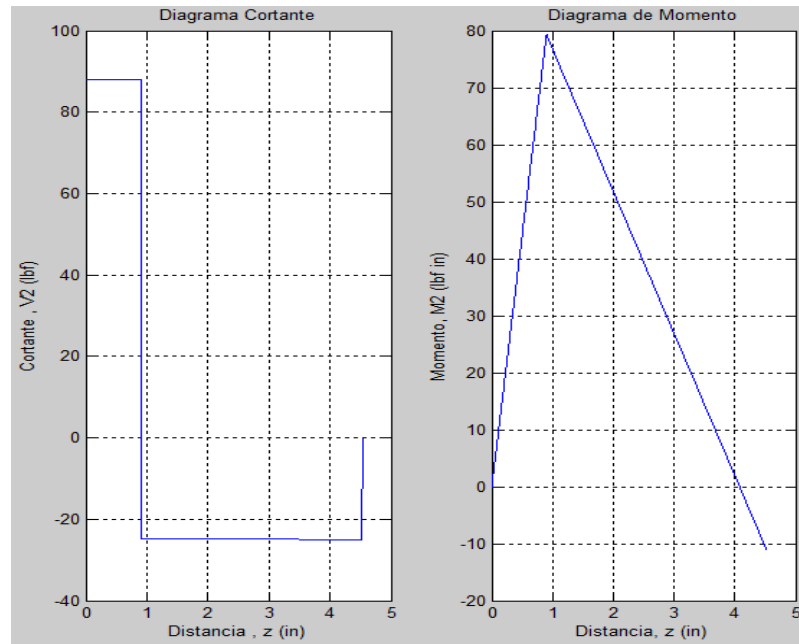


Figura 81 Diagrama de cortante y de momento en plano y-z

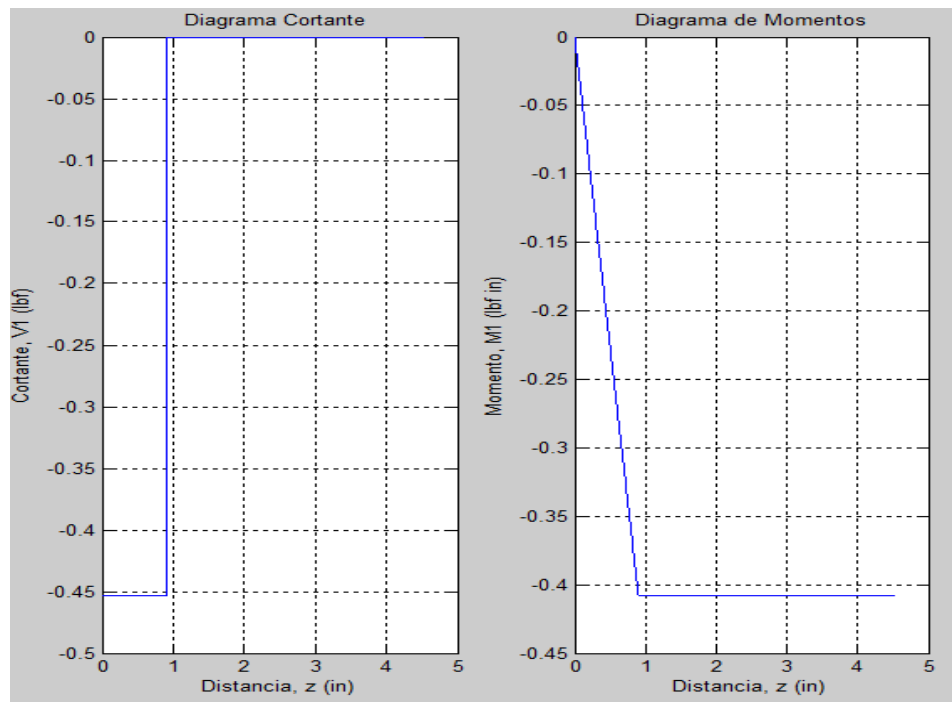


Figura 82 Diagrama de cortante y de momento plano x-z

MAGNITUD DEL MOMENTO

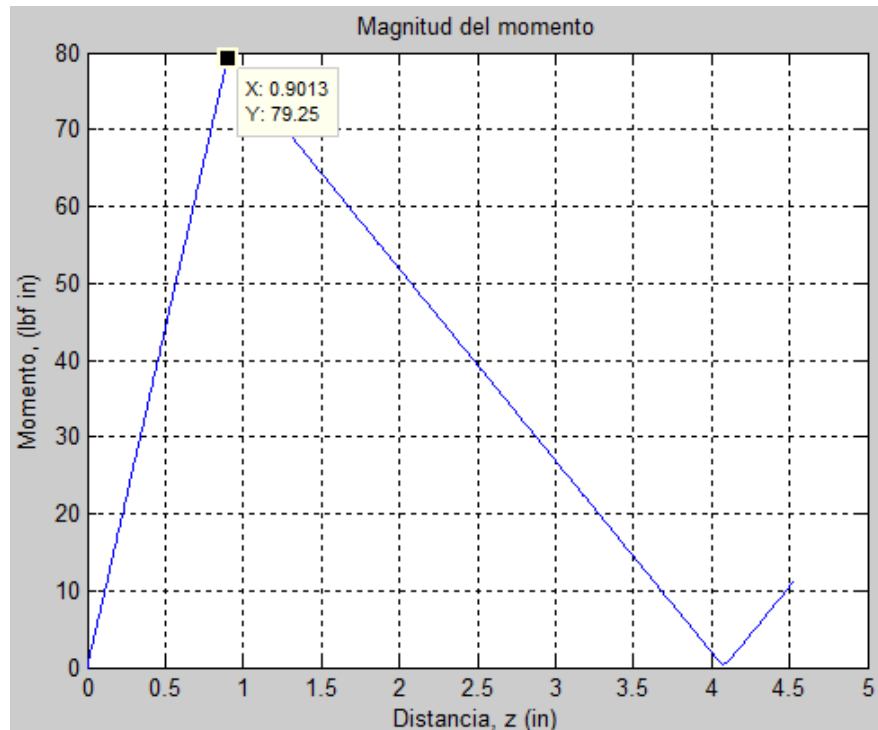


Figura 83 Diagrama de magnitud de momentos

En la Figura 81 y Figura 82 se muestran las distribuciones de cortante y momento sobre la longitud del eje. El torque aplicado es uniforme. La Figura 83 muestra la resultante de los momentos en los planos X-Z y Y-Z. El momento máximo en la Figura 83 (M_a) tiene un valor de 79.25 lb in.

El material que se usara para la construcción del eje para incrustar manzanas es el acero AISI 304 rolando en frío. Los valores de resistencia a la fluencia por tensión y resistencia a la última tensión se encuentran en la

Tabla 73.

Tabla 73
Propiedades mecánicas del Acero AISI 304

| <i>ACERO AISI 304</i> | | | | |
|---|----------|----------|--|----------|
| Resistencia a la fluencia por Tensión S_y | | | Resistencia a la última Tensión S_{ut} | |
| RECOCIDO EN LAMINAS | 35 Kpsi | 241 MPa | 85 Kpsi | 586 Mpa |
| ROLADO EN FRIO | 160 Kpsi | 1103 MPa | 185 Kpsi | 1276 MPa |

Fuente: (Norton, 2011, pág. 989)

ANÁLISIS EN EL PUNTO A

LIMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA

$$S'_e = 0.5 \times S_{ut} \quad (4.42)$$

$$S'_e = 0.5 \times 185000$$

$$S'_e = 92500 \text{ psi}$$

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA LA RESISTENCIA A LA FATIGA TEÓRICA

$$S_e = C_{carga} \times C_{tamaño} \times C_{superficial} \times C_{temperatura} \times C_{confiabilidad} \times S'_e \quad (4.43)$$

$$C_{superficial} \cong A(S_{ut})^b \quad (4.44)$$

Tabla
Coefficientes del factor de Superficies

74

| Acabado superficial | Para Sut en MPa se usa | | Para Sut en kpsi (no psi) se usa | |
|----------------------------|------------------------|--------|----------------------------------|--------|
| | A | b | A | b |
| Esmerilado | 1,58 | -0,085 | 1,34 | -0,085 |
| Maquinado o rolado en frío | 4,51 | -0,265 | 2,7 | -0,265 |
| Rolado en caliente | 57,7 | -0,718 | 14,4 | -0,718 |
| Forjado | 272 | -0,995 | 39,9 | -0,995 |

Fuente: (Norton, 2011, pág. 263)

Para el cálculo del factor de corrección superficial tomamos los valores descritos en la

Tabla 74 para maquinado o rolado en frío.

$$C_{superficial} \cong 2.7(185)^{-0.265} = 0.67$$

Tabla 75
Factores de confiabilidad

| % de confiabilidad | Cconf |
|--------------------|-------|
| 50 | 1 |
| 90 | 0,897 |
| 95 | 0,868 |
| 99 | 0,814 |
| 99,9 | 0,753 |
| 99,99 | 0,702 |
| 99,999 | 0,659 |
| 99,9999 | 0,62 |

Fuente: (Norton, 2011, pág. 265)

La Tabla 75 proporciona la correspondencia de porcentaje de confiabilidad para el diseño de la máquina y su respectivo factor de corrección. El porcentaje de confiabilidad será de 99.9%.

$$\% \text{ de confiabilidad} = 99.9\% \cdots C_{\text{confiabilidad}} = 0.753 \quad (4.45)$$

Tabla 76

Resumen Valores de Corrección primera iteración punto A

| FACTORES DE CORRECCIÓN | VALOR |
|-------------------------------|--------------|
| C carga | 1.00 |
| C tamaño | 1.00 |
| C superficial | 0.67 |
| C temperatura | 1.00 |
| C confiabilidad | 0.753 |

Tabla **76** se realizó un resumen de los factores de corrección utilizados para el cálculo del límite de resistencia a la fatiga.

$$S_e = 1 \times 1 \times 0.67 \times 1 \times 0.753 \times 92500$$

$$S_e = 46667.175$$

SENSIBILIDAD A LA MUESCA (KUHN HARDRATH)

El cálculo de la sensibilidad de la muesca necesita los datos de la resistencia a la última tensión que se encuentran en la

Tabla 73.

Tabla 77
Constante de Neuber para Aceros

| CONSTANTE DE NEUBER | |
|------------------------------|----------------------------|
| S_{ut} (Kpsi) | √a (in²) |
| 180 | 0,0240 |
| 185 | 0,0225 |
| 200 | 0,0180 |
| 205 | 0,0168 |
| 220 | 0,0130 |

Fuente: (Norton, 2011, pág. 276)

FLEXIÓN

El valor utilizado para el cálculo de la sensibilidad a la muesca en flexión es, S_{ut}= 185 Kpsi que tiene como correspondiente el valor de √a = **0.0225**.

$$q_{flexión} = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}} \quad (4.46)$$

$$q_{flexión} = \frac{1}{1 + \frac{0.0225}{\sqrt{0.12}}}$$

$$q_{flexión} = 0.94$$

TORSIÓN

En carga por torsión se usa un S_{ut} que sea 20 Kpsi mayor que la del material seleccionado. (Norton, 2011).

Dando los valores de S_{ut} = 205 Kpsi y √a= **0.0168**.

$$q_{torsión} = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}} \quad (4.47)$$

$$q_{torsión} = \frac{1}{1 + \frac{0.0168}{\sqrt{0.12}}}$$

$$q_{torsión} = 0.954$$

FACTOR DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS

Debido a que no se conoce aún los diámetros del eje, se utilizara una tabla de estimaciones.

Tabla 78

Estimaciones de primera iteración de los factores de concentración de esfuerzos Kf

| | Flexión | Torsión | Axial |
|---|---------|---------|-------|
| Filete de hombro: agudo(r/d=0,02) | 2,7 | 2,2 | 3,0 |
| Filete de hombro: bien redondeado (r/d=0,1) | 1,7 | 1,5 | 1,9 |
| Cuñero fresado (r/d=0,02) | 2,2 | 3,0 | - |
| Cuñero de patín o trapezoidal | 1,7 | - | - |
| Ranura para anillo de retención | 5,0 | 3,0 | 5,0 |

De acuerdo a la Tabla 78 Estimaciones de primera iteración de los factores de concentración de esfuerzos Kf, se tomara como valor de $K_t = 1.7$ y $K_{ts} = 1.5$.

$$K_f = 1 + q_{flexión} (K_t - 1) \quad (4.48)$$

$$K_f = 1 + 0.94(1.7 - 1)$$

$$K_f = 1.658$$

$$K_{fs} = 1 + q_{torsión} (K_{ts} - 1) \quad (4.49)$$

$$K_{fs} = 1 + 0.954(1.5 - 1)$$

$$K_{fs} = 1.477$$

GOODMAN

Se asumió un Criterio de falla mínimo $n=1.5$ para el cálculo del diámetro.

$$d_A = \left\{ \frac{16 \times n}{\pi} \left(\frac{2 \times (K_f \times M_a)}{S_e} + \frac{[3 \times (K_{fs} \times T_m)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right) \right\}^{1/3} \quad (4.50)$$

$$d_A = \left\{ \frac{16 \times 1.5}{\pi} \left(\frac{2 \times (1.658 \times 79.25)}{46667.175} + \frac{[3 \times (1.477 \times 11.404)^2]^{1/2}}{185000} \right) \right\}^{1/3}$$

$$d_A = 0.354 \text{ in} = 8.99 \text{ mm}$$

Utilizando el diámetro calculado

Para $0.3 \text{ in} < d \leq 10 \text{ in}$

$$C_{\text{tamaño}} = 0.869 \times d^{-0.097} \quad (4.51)$$

$$C_{\text{tamaño}} = 0.869 \times 0.304^{-0.097}$$

$$C_{\text{tamaño}} = 0.975$$

Tabla 79

Resumen Valores de Corrección punto A

| FACTORES DE CORRECCIÓN | VALOR |
|------------------------|-------|
| C carga | 1 |
| C tamaño | 0.975 |
| C superficial | 0.67 |
| C temperatura | 1 |
| C confiabilidad | 0.753 |

La Tabla 79 contiene el resumen de valores de corrección corregidos, ya que el valor del tamaño ahora es conocido, el cálculo del límite de resistencia a la fatiga más exacta.

$$S_e = 1 \times 0.975 \times 0.67 \times 1 \times 0.753 \times 92500$$

$$S_e = 4.546 \times 10^4$$

$$d_A = \left\{ \frac{16 \times n}{\pi} \left(\frac{2 \times (K_f \times M_a)}{S_e} + \frac{[3 \times (K_{fs} \times T_m)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right) \right\}^{1/3} \quad (4.52)$$

$$d_A = \left\{ \frac{16 \times 1.5}{\pi} \left(\frac{2 \times (1.7 \times 51.78)}{4.546 \times 10^4} + \frac{[3 \times (1.477 \times 11.404)^2]^{1/2}}{185000} \right) \right\}^{1/3}$$

$$d_A = 0.358 \text{ in} = 9.09 \text{ mm}$$

$$d_A = 9 \text{ mm} = 0.354 \text{ in}$$

El diámetro del eje en el punto A es de 0.354 correspondiente a 9 mm.

ANÁLISIS EN EL PUNTO B

$$d_A = 0.354 \text{ in}$$

$$D = 1.2 \times 0.354 = 0.425 \text{ in}$$

$$D = 0.425 \text{ in} \approx 0.472 \text{ in} = 12 \text{ mm}$$

El diámetro del punto B tiene un valor de 0.472 in o 12 mm.

$$\frac{D}{d} = \frac{0.472}{0.354} = 1.33$$

Concentración de esfuerzos teórico

$$K_t = A \times \left(\frac{r}{d}\right)^b \quad (4.53)$$

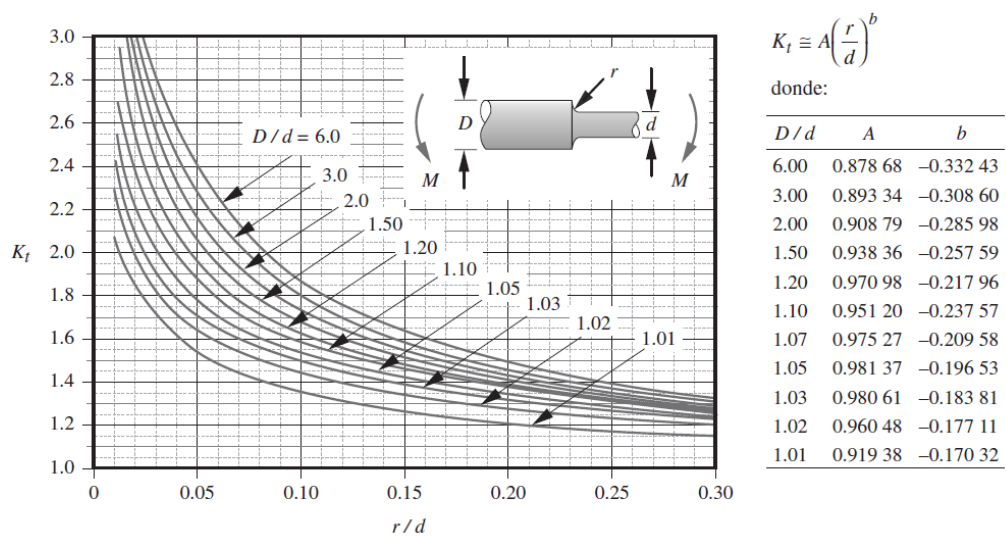


Figura 84 Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_t en flexión

Fuente: (Norton, 2011, pág. 998)

La Figura 84 proporciona el valor del factor geométrico de concentración de esfuerzos en flexión.

El valor de la relación diámetro mayor dividido para diámetro menor es de 1.33. En la Tabla 80 se encuentran los valores correspondientes.

Tabla 80
Interpolación de Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_t en flexión para $D/d=1.33$

| D/d | A | b |
|-------------|----------------|-----------------|
| 1,5 | 0,93836 | -0,25759 |
| 1,33 | 0,95684 | -0,23513 |
| 1,2 | 0,97098 | -0,21796 |

$$K_t = 0.95684 \times \left(\frac{0.12}{0.354} \right)^{-0.23513}$$

$$K_t = 1.234$$

$$K_f = 1 + q_{flexión} (K_t - 1) \quad (4.54)$$

$$K_f = 1 + 0.94(1.234 - 1)$$

$$K_f = 1.22$$

$$K_{ts} = A \times \left(\frac{r}{d} \right)^b \quad (4.55)$$

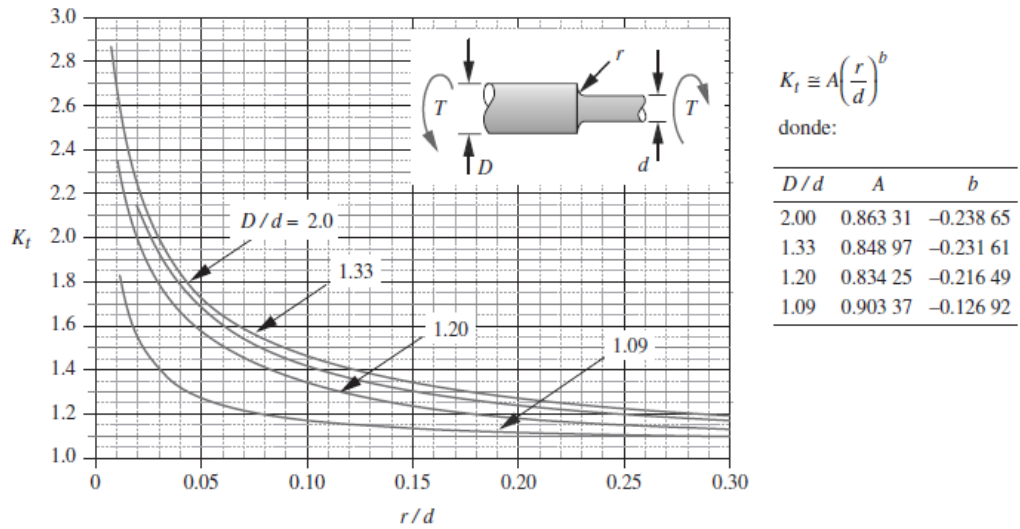


Figura 85 Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_{ts} en torsión
Fuente: (Norton, 2011, pág. 999)

La Figura 85 proporciona el valor del factor geométrico de concentración de esfuerzos en flexión.

$$K_{ts} = 0.84897 \times \left(\frac{0.12}{0.354} \right)^{-0.23161}$$

$$K_{ts} = 1.091$$

$$K_{fs} = 1 + q_{torsión} (K_{ts} - 1) \quad (4.56)$$

$$K_{fs} = 1 + 0.954(1.091 - 1)$$

$$K_{fs} = 1.087$$

VON MISSES

$$\sigma'_a = \frac{32 \times K_f \times M_a}{\pi \times d^3} \quad (4.57)$$

$$\sigma'_a = \frac{32 \times 1.22 \times 79.25}{\pi \times 0.354^3} = 2.219 \times 10^4 \text{ psi}$$

$$\sigma'_m = \left[3 \times \left(\frac{16 \times K_{fs} \times T_m}{\pi \times d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.58)$$

$$\sigma'_m = \left[3 \times \left(\frac{16 \times 1.087 \times 11.404}{\pi \times 0.354^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 2.464 \times 10^3 \text{ psi}$$

$$\frac{1}{n_f} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad (4.59)$$

$$\frac{1}{n_f} = \frac{2.219 \times 10^4}{4.486 \times 10^4} + \frac{2.464 \times 10^3}{185000} = 0.508$$

$$n_f = 1.968$$

ANÁLISIS EN EL PUNTO C

Para el punto C tenemos que la relación entre el diámetro mayor D y el diámetro menor d tiene que estar entre los valores de 1.09 a 2.

El valor del diámetro del punto B se lo coloca como el diámetro mayor. Y el valor de la relación se lo pone como 1.5.

$$1.09 < \frac{D}{d} < 2$$

D=0.472 in

$$\frac{D}{d} = 1.5$$

$$1.5 = \frac{0.425}{d} \dots d = 0.314 \text{ in}$$

$$d \approx 0.314 \text{ in} = 8 \text{ mm}$$

$$\frac{D}{d} = \frac{0.425}{0.314} = 1.35$$

$$K_t = A \times \left(\frac{r}{d}\right)^b \quad (4.60)$$

Tabla 81

Interpolación de Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_t en flexión para $D/d=1.35$

| D/d | A | B |
|-------------|----------------|-----------------|
| 1,5 | 0,93836 | -0,25759 |
| 1,35 | 0,95467 | -0,23777 |
| 1,2 | 0,97098 | -0,21796 |

La Tabla 81 está basada en los valores de la tabla de la Figura 83. Proporciona los valores de A y b para una relación de diámetros de 1.35.

$$K_t = 0.95467 \times \left(\frac{0.12}{0.314}\right)^{-0.23777}$$

$$K_t = 1.2$$

$$K_f = 1 + q_{flexión} (K_t - 1) \quad (4.61)$$

$$K_f = 1 + 0.94(1.2 - 1) = 1.188$$

$$K_{ts} = A \times \left(\frac{r}{d}\right)^b \quad (4.62)$$

Tabla 82
Interpolación de Factor geométrico de concentración de esfuerzos Kts.en torsión para D/d=1.35

| D/d | A | B |
|-------------|----------------|-----------------|
| 2 | 0,86331 | -0,23865 |
| 1,35 | 0,84939 | -0,23182 |
| 1,33 | 0,84897 | -0,23161 |

La Tabla 82 está basada en los valores de la tabla de la Figura 85 Factor geométrico de concentración de esfuerzos Kts.en torsión Fuente: Proporciona los valores de A y b para una relación de diámetros de 1.35.

$$K_{ts} = 0.84939 \times \left(\frac{0.12}{0.314}\right)^{-0.23182}$$

$$K_{ts} = 1.062$$

$$K_{fs} = 1 + q_{torsión} (K_{ts} - 1) \quad (4.63)$$

$$K_{fs} = 1 + 0.954(1.062 - 1)$$

$$K_{fs} = 1.059$$

Tabla 83
Resumen Valores de Corrección punto C

| FACTORES DE CORRECCIÓN | VALOR |
|------------------------|-------|
| C carga | 1.00 |
| C tamaño | 0.972 |

| | |
|------------------------|-------|
| C superficial | 0.67 |
| C temperatura | 1.00 |
| C confiabilidad | 0.753 |

La Tabla 83 muestra un resumen de los valores de corrección calculados para el cálculo de la última tensión en el punto C.

$$S_e = 1 \times 0.972 \times 0.67 \times 1 \times 0.753 \times 92500$$

$$S_e = 4.538 \times 10^4$$

VON MISSES

$$\sigma'_a = \frac{32 \times K_f \times M_a}{\pi \times d^3} \quad (4.64)$$

$$\sigma'_a = \frac{32 \times 1.188 \times 79.25}{\pi \times 0.314^3} = 3.097 \times 10^4 \text{ psi}$$

$$\sigma'_m = \left[3 \times \left(\frac{16 \times K_{fs} \times T_m}{\pi \times d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.65)$$

$$\sigma'_m = \left[3 \times \left(\frac{16 \times 1.059 \times 11.404}{\pi \times 0.314^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 3.44 \times 10^3 \text{ psi}$$

$$\frac{1}{n_f} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad (4.66)$$

$$\frac{1}{n_f} = \frac{3.097 \times 10^4}{4.538 \times 10^4} + \frac{3.44 \times 10^3}{185000} = 0.701$$

$$n_f = 1.426$$

En la Tabla 84 se muestra los resultados para los puntos de análisis del eje, con su respectivo factor de seguridad.

Tabla 84
Resumen de resultados para pieza incrustar manzanas

| PUNTO DE ANÁLISIS | VALORES CALCULADOS | | |
|-------------------|--------------------|---------------|---------------------|
| | DIÁMETRO (in) | DIÁMETRO (mm) | FACTOR DE SEGURIDAD |
| A | 0,354 | 9 | 1.50 |
| B | 0,472 | 12 | 1.968 |
| C | 0,314 | 8 | 1.426 |

4.2.4.3. SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL RODAMIENTO PARA UN DIÁMETRO DE EJE DE 12 MILÍMETROS

Para el cálculo de los rodamientos se tomó en cuenta el peso máximo del objeto que va a usar el rodamiento. Los elementos tomados en cuenta son el peso de la manzana, engrane y el eje que dan como resultado una fuerza radial F_r de 4.9N.

La carga axial que se toma en cuenta para la selección del rodamiento se obtiene de la Figura 81 Diagrama de cortante y de momento en plano y-z. La velocidad que será aplicada a este sistema es de $n=1000$ rpm

FACTOR DE VIDA DE FATIGA

Calculo del factor de velocidad f_n .

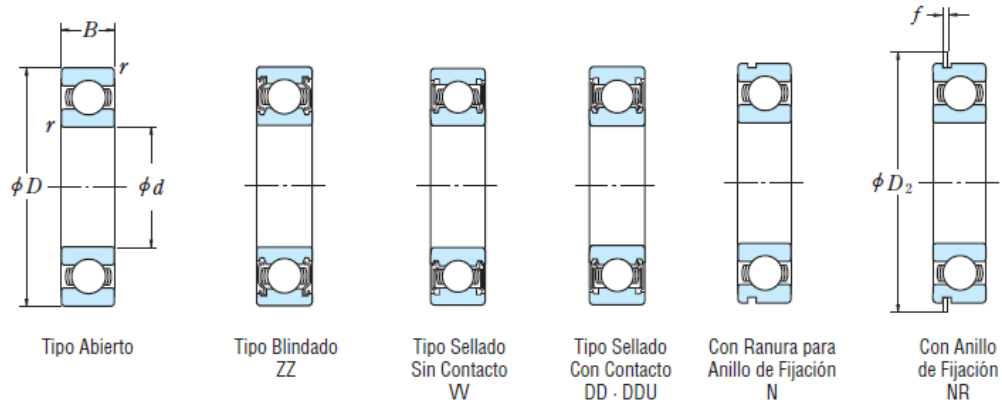
$$f_n = (0.03 \times n)^{-\frac{1}{3}} \quad (4.67)$$

$$f_n = (0.03 \times 1000)^{-\frac{1}{3}} = 0.322$$

$$\frac{f_o \times F_a}{C_{or}} \quad (4.68)$$

RODAMIENTOS DE BOLAS DE RANURA PROFUNDA DE UNA SOLA HILERA

Diámetro interior 10~22 mm



| Dimensiones (mm) | | | | Índices de Carga Básica (N) | | | | Factor f_0 | Velocidad Limite (rpm) | | | Números de Rodamiento | | |
|------------------|-----|-----|----------|-----------------------------|----------|-------|----------|--------------|------------------------|-----------|--------|-----------------------|----------|---------|
| d | D | B | r min. | C_r | C_{or} | C_r | C_{or} | | Grasa | | Aceite | Abierto | Blindado | Sellado |
| | | | | | | | | Abierto Z | DU | Abierto Z | | | | |
| 10 | 19 | 5 | 0.3 | 1 720 | 840 | 175 | 86 | 34 000 | 24 000 | 40 000 | 6800 | ZZ | VV | DD |
| | 22 | 6 | 0.3 | 2 700 | 1 270 | 275 | 129 | 32 000 | 22 000 | 38 000 | 6900 | ZZ | VV | DD |
| | 26 | 8 | 0.3 | 4 550 | 1 970 | 465 | 201 | 30 000 | 22 000 | 36 000 | 6000 | ZZ | VV | DDU |
| | 30 | 9 | 0.6 | 5 100 | 2 390 | 520 | 244 | 24 000 | 18 000 | 30 000 | 6200 | ZZ | VV | DDU |
| 12 | 35 | 11 | 0.6 | 8 100 | 3 450 | 825 | 350 | 22 000 | 17 000 | 26 000 | 6300 | ZZ | VV | DDU |
| | 21 | 5 | 0.3 | 1 920 | 1 040 | 195 | 106 | 32 000 | 20 000 | 38 000 | 6801 | ZZ | VV | DD |
| | 24 | 6 | 0.3 | 2 890 | 1 460 | 295 | 149 | 30 000 | 20 000 | 36 000 | 6901 | ZZ | VV | DD |
| | 28 | 7 | 0.3 | 5 100 | 2 370 | 520 | 241 | 28 000 | — | 32 000 | 16001 | — | — | — |
| | 28 | 8 | 0.3 | 5 100 | 2 370 | 520 | 241 | 28 000 | 18 000 | 32 000 | 6001 | ZZ | VV | DDU |
| | 32 | 10 | 0.6 | 6 800 | 3 050 | 695 | 310 | 22 000 | 17 000 | 28 000 | 6201 | ZZ | VV | DDU |
| | 37 | 12 | 1 | 9 700 | 4 200 | 990 | 425 | 20 000 | 16 000 | 24 000 | 6301 | ZZ | VV | DDU |



Figura 1 Tablas de rodamiento Diámetro

Fuente: (NSK, 2016, pág. B8)

Se utilizó el catálogo de rodamientos y conociendo el diámetro del eje, escogemos el rodamiento de diámetro exterior de 24mm. Con valores de $f_0=14.5$, $C_{or}=1460$ y $C_r=2890$.

$$\frac{f_0 \times F_a}{C_{or}} = \frac{14.5 \times 400.34}{1460} = 3.976$$

$$P = XF_r + YF_a$$

| $\frac{f_0 F_a}{C_{0r}}$ | e | $\frac{F_a}{F_r} \leq e$ | | $\frac{F_a}{F_r} > e$ | |
|--------------------------|------|--------------------------|-----|-----------------------|------|
| | | X | Y | X | Y |
| 0.172 | 0.19 | 1 | 0 | 0.56 | 2.30 |
| 0.345 | 0.22 | 1 | 0 | 0.56 | 1.99 |
| 0.689 | 0.26 | 1 | 0 | 0.56 | 1.71 |
| 1.03 | 0.28 | 1 | 0 | 0.56 | 1.55 |
| 1.38 | 0.30 | 1 | 0 | 0.56 | 1.45 |
| 2.07 | 0.34 | 1 | 0 | 0.56 | 1.31 |
| 3.45 | 0.38 | 1 | 0 | 0.56 | 1.15 |
| 5.17 | 0.42 | 1 | 0 | 0.56 | 1.04 |
| 6.89 | 0.44 | 1 | 0 | 0.56 | 1.00 |

Figura 2 Carga Dinámica Equivalente
Fuente: (NSK, 2016, pág. B9)

Basados en los valores de la Equivalente se obtiene el valor de “e” y “y” mediante interpolación para el valor de 3.98.

Tabla 85
Interpolación para valor de 3.98

| $\frac{f_0 \times F_a}{C_{0r}}$ | e | $\frac{F_a}{F_r} > e$ |
|---------------------------------|-------------|-----------------------|
| | | Y |
| 3.45 | 0.38 | 1.15 |
| 3.98 | 0.39 | 1.12 |
| 5.17 | 0.42 | 1.04 |

$$\frac{F_a}{F_r} \tag{4.69}$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{400.34}{4.90} = 81.702 > e$$

$$X = 0.56$$

Carga dinámica equivalente P

$$P = XF_r + YF_a \tag{4.70}$$

$$P = (0.56 \times 4.90) + (1.12 \times 400.34) = 451.125 \text{ N}$$

Factor de vida de fatiga “ f_h ”.

$$f_h = f_n \times \frac{C_r}{P} \quad (4.71)$$

$$f_h = 0.322 \times \frac{2890}{451.125} = 2.062$$

Índice básico de vida “ L_h ”

$$L_h = 500 \times f_h^3 \quad (4.72)$$

$$L_h = 500 \times 2.062^3 = 4.382 \times 10^3 \text{ horas}$$

La vida de estos rodamientos de bolas es de 4.382×10^3 horas. El rodamiento seleccionado es un rodamiento de 12mm de diámetro interior y 24mm de diámetro exterior y con tipo de sellado sin contacto. Tiene la numeración 6901VV.

CÁLCULO DE AJUSTES PARA RODAMIENTOS

La Tabla 86 muestra las configuraciones más utilizadas para ajustes de rodamientos en aplicaciones con motores eléctricos.

El diámetro del eje en el que se usara el rodamiento es de 12mm, y el diámetro exterior del rodamiento es de 24 mm.

Tabla 86

Juegos internos radiales en rodamientos de bolas para motores Eléctricos

| DIÁMETRO INTERIOR NOMINAL Diam d(mm) | | JUEGO | | OBSERVACIONES | |
|---|-------|-------|------|---------------|--------------------------|
| más de | hasta | min | máx. | EJE | AJUSTE RECOMENDADO |
| 10 (incl.) | 18 | 4 | 11 | js5 (j5) | H6 ~7 o JS6 ~ 7 (J6 ~ 7) |
| 18 | 30 | 5 | 12 | k5 | |
| 30 | 50 | 9 | 17 | | |
| 50 | 80 | 12 | 22 | | |
| 80 | 100 | 18 | 30 | | |
| 100 | 120 | 18 | 30 | m5 | |
| 120 | 160 | 24 | 38 | | |

Fuente: (NSK, 2016, pág. A90)

La configuración recomendada para el eje es 12 H6/JS5 y para el rodamiento es 24 H6/K5.

Tabla
Límites de ajustes

| AJUSTE | EJE | | RODAMIENTO | |
|------------------------|-----------|---------|------------|---------|
| | 12 H6/JS5 | | 24 H6/K5 | |
| | EJE | AGUJERO | EJE | AGUJERO |
| LIMITE SUPERIOR | 12,004 | 12,011 | 24,011 | 24,013 |
| LIMITE INFERIOR | 11,996 | 12 | 24,002 | 24 |

4.2.6.DISEÑO DE EJE PARA CUCHILLA ROTATORIA

El eje de la cuchilla rotatoria, se encuentra doblemente apoyado y soporta las cuchillas que se posicionan en el segmento B-C. La carga que produce las cuchillas sobre el eje es de 0.028 lb/in. El valor de velocidad del motor es de 1000 rpm o 104.72 rad/s.

Cálculo de la inercia

$$I = \frac{1}{12} \cdot m \cdot r^2 \quad (4.73)$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot 0.3 \cdot (80 \times 10^{-3})^2 = 9.6 \times 10^{-4}$$

$$w = w_0 + \alpha t \quad (4.74)$$

$$\alpha = 104.72 \text{ rad/s}^2$$

$$T = I \cdot \alpha \quad (4.75)$$

$$T = 9.6 \times 10^{-4} \cdot 104.72 = 0.100 \text{ Nm}$$

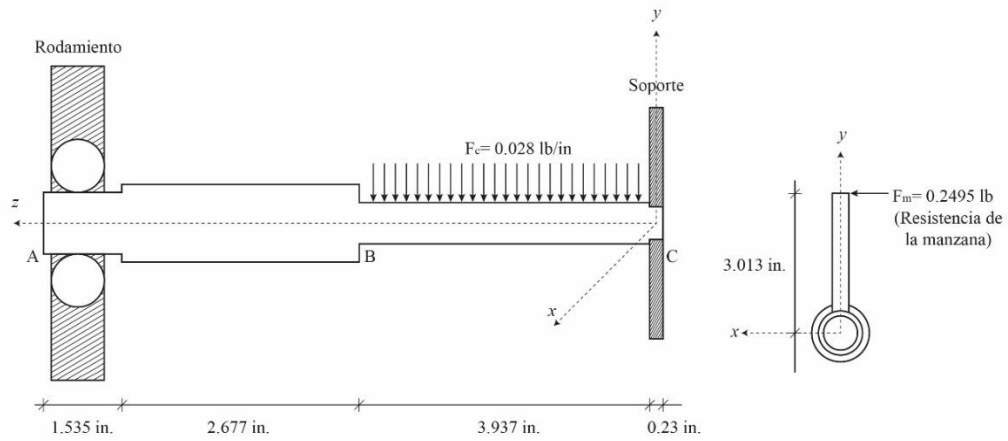


Figura 86 Geometría de diseño preliminar cuchilla rotatoria

DATOS

Torque Motor (T_{mo}): 11.404 lb in

Carga Distribuida: 500 g = 4.9 N/m

Fuerza de manzanas (F_m): 1.11 N

$$4.9 \text{ N/m} \left| \frac{0.2248 \text{ lb}}{1 \text{ N}} \right| \left| \frac{1 \text{ m}}{39.37 \text{ in}} \right| = 0.028 \text{ lb/in}$$

$$F_m = 1.11 \text{ N} = 0.249 \text{ lb}$$

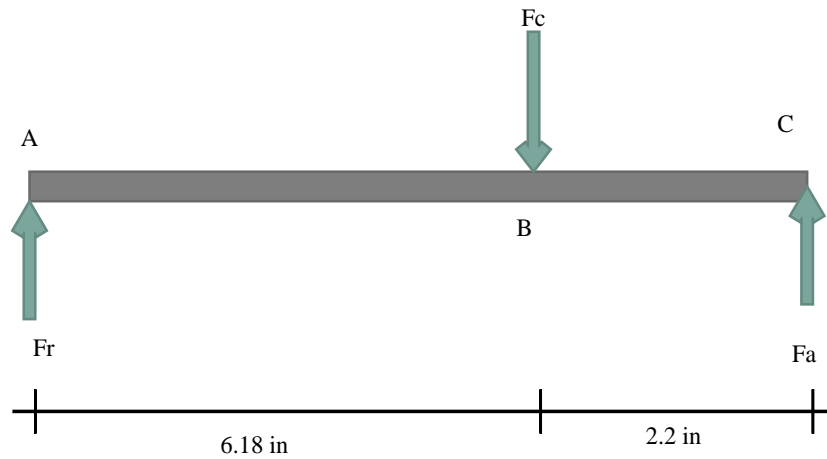


Figura 87 Diagrama de cuerpo libre Cuchilla giratoria en el plano Y-Z

$$F_c = 3.94 \text{ in} \times 0.028 \text{ lb/in} = 0.11 \text{ lb}$$

$$\sum F_y = 0 \quad (4.76)$$

$$F_r + F_a - F_c = 0 \quad (4.77)$$

$$F_r + F_a = 0.11 \quad (4.78)$$

$$\sum M_A = 0 \quad (4.79)$$

$$F_a(8.38) - F_c(6.18) = 0 \quad (4.80)$$

$$F_a(8.38) - 0.11(6.18) = 0$$

$$F_a = 0.08112 \text{ lb}$$

Remplazando F_a en la ecuación (4. 78)

$$F_r + 0.08112 = 0.11$$

$$F_r = 0.0288 \text{ lb}$$

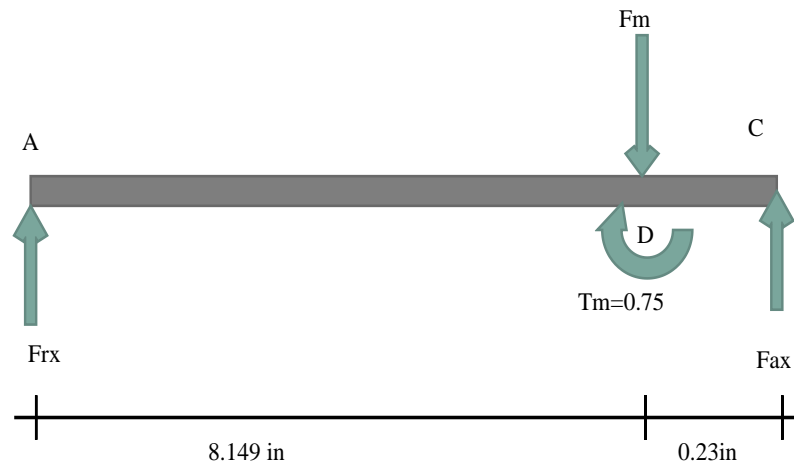


Figura 88 Diagrama de cuerpo libre Cuchilla giratoria en el plano X-Z

$$\sum F_x = 0 \quad (4. 81)$$

$$-F_{mx} + F_{rx} + F_{ax} = 0 \quad (4. 82)$$

$$F_{rx} + F_{ax} = 0.249 \quad (4. 83)$$

$$\sum M_{Ax} = 0 \quad (4. 84)$$

$$F_{ax} \times 8.379 - T_m = 0 \quad (4. 85)$$

$$F_{ax} = 0.0895 \text{ lb}$$

$$F_r = 0.1595 \text{ lb}$$

Ecuaciones en el plano zy

$$q = F_{ry}\langle z - 0 \rangle^{-1} - F_{cy}\langle z - 4.027 \rangle^0 + F_{ay}\langle z - 8.379 \rangle^{-1}$$

$$v = \int q \, dz = F_{ry}\langle z - 0 \rangle^0 - F_{cy}\langle z - 4.027 \rangle^1 + F_{ay}\langle z - 8.379 \rangle^0 + C_1 \quad (4.86)$$

$$M = \int v \, dz = F_{ry}\langle z - 0 \rangle^1 - \frac{F_{cy}}{2}\langle z - 4.027 \rangle^2 + F_{ay}\langle z - 8.379 \rangle^1 + C_1 z + C_2 \quad (4.87)$$

Ecuaciones en el plano zx

$$q = F_{rx}\langle z - 0 \rangle^{-1} - F_{mx}\langle z - 8.149 \rangle^{-1} + F_{ax}\langle z - 8.379 \rangle^{-1} \quad (4.88)$$

$$v = \int q \, dz = F_{rx}\langle z - 0 \rangle^0 - F_{mx}\langle z - 8.149 \rangle^0 + F_{ax}\langle z - 8.379 \rangle^0 + C_1 \quad (4.89)$$

$$M = \int v \, dz = x\langle z - 0 \rangle^1 - \frac{F_{mx}}{2}\langle z - 8.149 \rangle^1 + F_{ax}\langle z - 8.379 \rangle^1 + C_1 z + C_2 \quad (4.90)$$

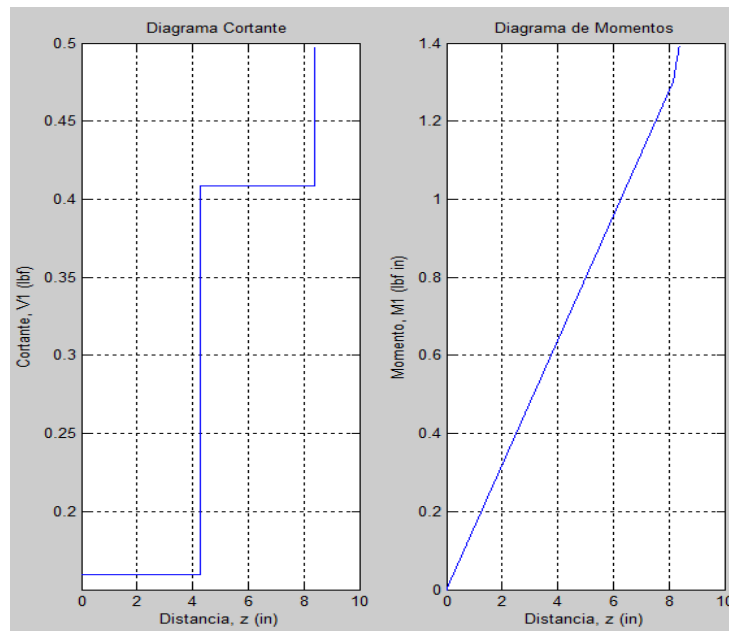


Figura 89 Diagrama esfuerzo cortante y momento flector cuchilla giratoria plano X-Z

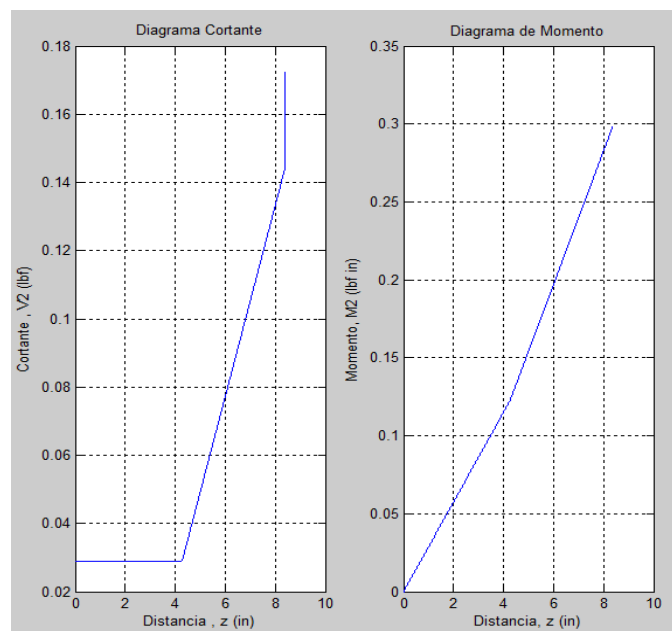


Figura 90 Diagrama esfuerzo cortante y momento flector cuchilla giratoria plano Y-Z

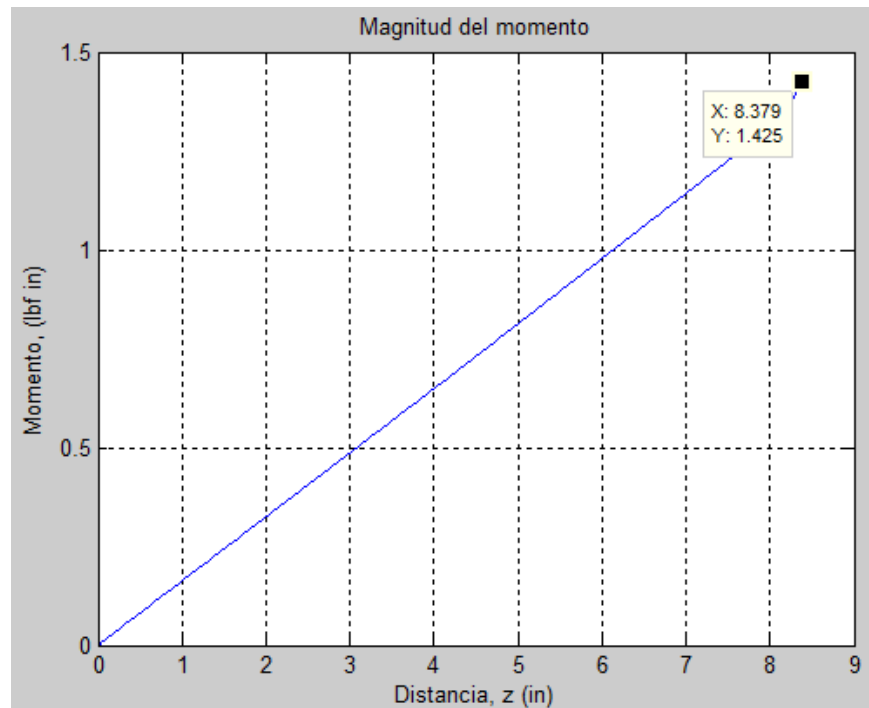


Figura 91 Diagrama de magnitud de momentos Cuchilla Giratoria

En la Figura 89 y Figura 90 se muestran las distribuciones de cortante y momento sobre la longitud del eje. El torque aplicado es uniforme. La Figura 91 muestra la resultante de los momentos en los planos X-Z y Y-Z. El momento máximo en la Figura 91 (M_a) tiene un valor de 1.425 lb in.

El material a utilizarse para el eje es el acero AISI 304, por lo cual en la Tabla 88 se muestra los valores necesarios para los cálculos de este eje y la referencia con respecto a los cálculos del eje donde se incrusta la manzana.

ANÁLISIS EN EL PUNTO A

Tabla 88

Datos Mecánicos

| DATOS | VALOR | REFERENCIA |
|-----------------|--------------|------------|
| Se' | 92500 psi | (4. 42) |
| C carga | 1 | |
| C tamaño | 1 | |
| C superficial | 0.67 | (4. 44) |
| C temperatura | 1 | |
| C confiabilidad | 0.753 | (4. 45) |
| Se | 44660.49 psi | (4. 43) |

| | | |
|------------------|----------|-----------------|
| Sut | 185 Kpsi | |
| | | Tabla 73 |
| r | 0.12 in | |
| q flexión | 0.94 | (4. 46) |
| q torsión | 0.954 | (4. 47) |
| Kt | 2.7 | Tabla 78 |
| Kts | 2.2 | Tabla 78 |

$$K_f = 1 + q_{flexión} (K_t - 1) \quad (4. 91)$$

$$K_f = 1 + 0.94(2.7 - 1) = 2.596$$

$$K_{fs} = 1 + q_{torsión} (K_{ts} - 1) \quad (4. 92)$$

$$K_{fs} = 1 + 0.954(2.2 - 1) = 2.144$$

GOODMAN

Asumiendo un criterio de falla mínimo de $n=5$

$$d_A = \left\{ \frac{16 \times n}{\pi} \left(\frac{2 \times (K_f \times M_a)}{S_e} + \frac{[3 \times (K_{fs} \times T_{mo})^2]^{\frac{1}{2}}}{S_{ut}} \right) \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (4. 93)$$

$$d_A = 0.214 \text{ in} \approx 5.44 \text{ mm}$$

Debido a que el diámetro mínimo para una chumacera según el catalogo (NSK, 2016) es de 12mm. Se tomará ese valor para el diámetro en el punto A.

$$d_A = 12\text{mm} \approx 0.472\text{ in}$$

El factor de seguridad para un diámetro de 0.472 in es $n=109.33$.

ANÁLISIS EN EL PUNTO B

El valor del diámetro del punto A es de 12mm o 0.472 in, con el cual se calculará el diámetro del punto B

$$d_b = \frac{d_a}{1.5} = 0.315\text{ in} \approx 8.001\text{ mm}$$

$$S_e = C_{\text{carga}} \times C_{\text{tamaño}} \times C_{\text{superficial}} \times C_{\text{temperatura}} \times C_{\text{confiabilidad}} \times S'_e \quad (4.94)$$

Utilizando el diámetro calculado

Para $0.3\text{ in} < d \leq 10\text{ in}$

$$C_{\text{tamaño}} = 0.869 \times d^{-0.097} \quad (4.95)$$

$$C_{\text{tamaño}} = 0.869 \times 0.315^{-0.097} = 0.972$$

Tabla 89
Resumen Valores de Corrección punto B

| FACTORES DE CORRECCIÓN | VALOR |
|------------------------|-----------|
| C carga | 1.000 |
| C tamaño | 0.972 |
| C superficial | 0.670 |
| C temperatura | 1.000 |
| C confiabilidad | 0.753 |
| Se` | 92500 psi |

$$S_e = 1 \times 0.972 \times 0.67 \times 1 \times 0.753 \times 92500 = 45360\text{ psi}$$

$$\frac{D_a}{d_b} = \frac{0.472}{0.315} = 1.498 \approx 1.5$$

CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS TEÓRICOS

$$K_t = A \times \left(\frac{r}{d}\right)^b \quad (4.96)$$

Valores tomados de la Figura 84 Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_t en flexión Fuente:

$$K_t = 0.93836 \times \left(\frac{0.12}{0.315}\right)^{-0.25759} = 1.203$$

$$K_f = 1 + q_{flexión} (K_t - 1) \quad (4.97)$$

$$K_f = 1 + 0.94(1.203 - 1) = 1.19$$

$$K_{ts} = A \times \left(\frac{r}{d}\right)^b \quad (4.98)$$

Tabla 90
Interpolación de Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_{ts} en torsión para $D/d=1.5$

| D/d | A | b |
|------------|----------------|-----------------|
| 2 | 0,86331 | -0,23865 |
| 1,5 | 0.85261 | -0.23339 |
| 1,33 | 0,84897 | -0,23161 |

La Tabla 90 muestra el valor de A y b para diámetros de 1.5. La Tabla 90 está basada en la Figura 85 Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_{ts} en torsión Fuente:

$$K_{ts} = 0.85261 \times \left(\frac{0.12}{0.315}\right)^{-0.23339} = 1.068$$

$$K_{fs} = 1 + q_{torsión} (K_{ts} - 1) \quad (4.99)$$

$$K_{fs} = 1 + 0.954(1.068 - 1) = 1.065$$

VON MISSES

$$\sigma'_a = \frac{32 \times K_f \times M_a}{\pi \times d^3} \quad (4.100)$$

$$\sigma'_a = \frac{32 \times 1.068 \times 1.425}{\pi \times 0.315^3} = 554.609 \text{ psi}$$

$$\sigma'_m = \left[3 \times \left(\frac{16 \times K_{fs} \times T_{mo}}{\pi \times d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.101)$$

$$\sigma'_m = \left[3 \times \left(\frac{16 \times 1.065 \times 11.404}{\pi \times 0.315^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 3.437 \times 10^3 \text{ psi}$$

$$\frac{1}{n_f} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad (4.102)$$

$$\frac{1}{n_f} = \frac{554.609}{45360} + \frac{3.437 \times 10^3}{185000} = 0.031$$

$$n_f = 31.953$$

ANÁLISIS EN EL PUNTO C

El diámetro del punto B tiene un valor de 0.315 in, que se usará para el cálculo del diámetro del punto C.

$$d_c = \frac{d_B}{1.2} = 0.263 \text{ in} \approx 6.68 \text{ mm}$$

$$S_e = C_{carga} \times C_{tamaño} \times C_{superficial} \times C_{temperatura} \times C_{confiabilidad} \times S_e' \quad (4. 103)$$

Utilizando el diámetro calculado se calcula el factor de corrección de tamaño $C_{tamaño}$. El diámetro está entre los valores de 0.3 in y 10 in. Entonces se utiliza la ecuación (4. 104).

$$C_{tamaño} = 0.869 \times d^{-0.097} \quad (4. 104)$$

$$C_{tamaño} = 0.869 \times 0.263^{-0.097} = 0.989$$

Tabla 91
Resumen Valores de Corrección punto C

| FACTORES DE CORRECCIÓN | VALOR |
|------------------------|-----------|
| C carga | 1.000 |
| C tamaño | 0.989 |
| C superficial | 0.670 |
| C temperatura | 1.000 |
| C confiabilidad | 0.753 |
| Se` | 92500 psi |

La Tabla 91 tiene los resultados de los factores de corrección para el cálculo de S_e .

$$S_e = 1 \times 0.989 \times 0.67 \times 1 \times 0.753 \times 92500 = 46170 \text{ psi}$$

$$\frac{D_B}{d_c} = \frac{0.315}{0.263} = 1.197 \approx 1.2$$

CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS TEÓRICOS

$$K_t = A \times \left(\frac{r}{d}\right)^b \quad (4. 105)$$

Valores tomados de la Figura 84 Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_t en flexión Fuente:

$$K_t = 0.97098 \times \left(\frac{0.12}{0.263} \right)^{-0.21796} = 1.152$$

$$K_f = 1 + q_{flexión} (K_t - 1) \quad (4. 106)$$

$$K_f = 1 + 0.94(1.152 - 1) = 1.142$$

$$K_{ts} = A * \left(\frac{r}{d} \right)^b \quad (4. 107)$$

Valores tomados de la Figura 85 Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_{ts} en torsión Fuente:

$$K_{ts} = 0.83425 \times \left(\frac{0.12}{0.263} \right)^{-0.21649} = 0.988$$

$$K_{fs} = 1 + q_{torsión} (K_{ts} - 1) \quad (4. 108)$$

$$K_{fs} = 1 + 0.954(0.988 - 1) = 0.989$$

VON MISSES

$$\sigma'_a = \frac{32 \times K_f \times M_a}{\pi \times d^3} \quad (4. 109)$$

$$\sigma'_a = \frac{32 \times 0.988 \times 1.425}{\pi \times 0.263^3} = 916.708 \text{ psi}$$

$$\sigma'_m = \left[3 \times \left(\frac{16 \times K_{fs} \times T_{mo}}{\pi \times d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.110)$$

$$\sigma'_m = \left[3 \times \left(\frac{16 \times 0.989 \times 11.404}{\pi \times 0.263^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 5.5 \times 10^3 \text{ psi}$$

$$\frac{1}{n_f} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad (4.111)$$

$$\frac{1}{n_f} = \frac{916.708}{46170} + \frac{5.5 \times 10^3}{185000} = 0.05$$

$$n_f = 20.169$$

Tabla 92
Resumen de resultados para pieza Cuchilla rotatoria

| PUNTO DE ANÁLISIS | VALORES CALCULADOS | | |
|-------------------|--------------------|---------------|---------------------|
| | DIÁMETRO (in) | DIÁMETRO (mm) | FACTOR DE SEGURIDAD |
| A | 0,472 | 12 | 109.33 |
| B | 0,315 | 8.001 | 31.953 |
| C | 0,263 | 6.68 | 20.169 |

En la Tabla 92 se encuentra los diámetros de los puntos A, B, C con sus respectivos factores de seguridad.

4.2.6.1. SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL RODAMIENTO PARA UN DIÁMETRO DE EJE DE 12 MILÍMETROS

Para el cálculo del rodamiento que se usará en el eje de la cuchilla rotatoria, se ha tomado la carga radial $F_r = P = 3.063 \text{ N}$, generada por el peso de la cuchilla giratoria. Además se conoce que la velocidad del motor es de 1000 rpm. Con estos datos se ha de realizar los cálculos para la selección del rodamiento.

Calculo del factor de velocidad f_n .

(4. 112)

$$f_n = (0.03 \times n)^{-\frac{1}{3}}$$

$$f_n = (0.03 \times 1000)^{-\frac{1}{3}} = 0.322$$

RODAMIENTOS DE BOLAS DE RANURA PROFUNDA DE UNA SOLA HILERA

Diámetro interior 10~22 mm

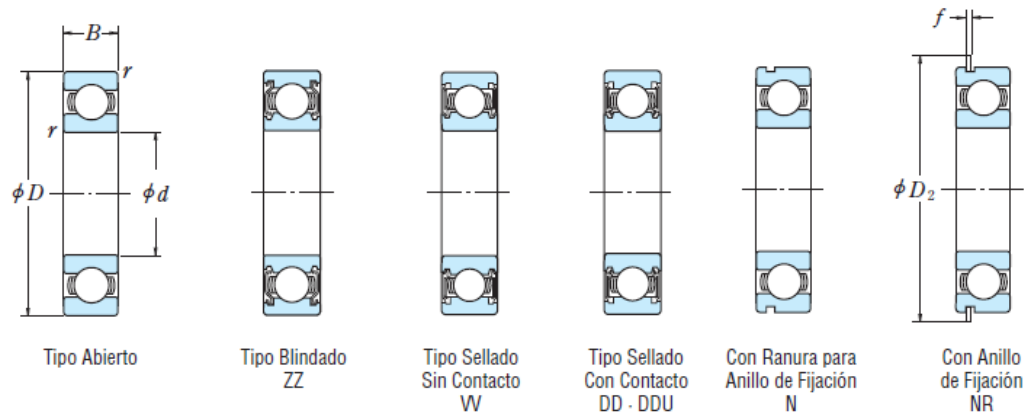


Figura 92 Rodamientos de bolas de ranura profunda de una sola hilera.
Fuente: (NSK, 2016, pág. B8)

La Figura 92, muestra la nomenclatura utilizada en la tabla para la selección de rodamientos.

Tabla 93
Diámetros de Rodamientos

| d | Dimensiones (mm) | | | Índices de Carga Básica (N) | | | | Factor f_0 | Velocidad Límite (rpm) | | | Números de Rodamiento | | | |
|------|------------------|-----------|--------------|-----------------------------|----------|-------------|------|--------------|------------------------|--------|--------|-----------------------|----------|---------|-----|
| | D | B | r min. | C_r | C_{0r} | C_r (kgf) | | | Grasa | | Aceite | Abierto | Blindado | Sellado | |
| | Z · ZZ V · VV | DU DDU | Abierto Z | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 19 | 5 | 0.3 | 1 720 | 840 | 175 | 86 | 14.8 | 34 000 | 24 000 | 40 000 | 6800 | ZZ | VV | DD |
| | 22 | 6 | 0.3 | 2 700 | 1 270 | 275 | 129 | 14.0 | 32 000 | 22 000 | 38 000 | 6900 | ZZ | VV | DD |
| | 26 | 8 | 0.3 | 4 550 | 1 970 | 465 | 201 | 12.4 | 30 000 | 22 000 | 36 000 | 6000 | ZZ | VV | DDU |
| | 30 | 9 | 0.6 | 5 100 | 2 390 | 520 | 244 | 13.2 | 24 000 | 18 000 | 30 000 | 6200 | ZZ | VV | DDU |
| | 35 | 11 | 0.6 | 8 100 | 3 450 | 825 | 350 | 11.2 | 22 000 | 17 000 | 26 000 | 6300 | ZZ | VV | DDU |
| → 12 | 21 | 5 | 0.3 | 1 920 | 1 040 | 195 | 106 | 15.3 | 32 000 | 20 000 | 38 000 | 6801 | ZZ | VV | DD |
| | 24 | 6 | 0.3 | 2 890 | 1 460 | 295 | 149 | 14.5 | 30 000 | 20 000 | 36 000 | 6901 | ZZ | VV | DD |
| | 28 | 7 | 0.3 | 5 100 | 2 370 | 520 | 241 | 13.0 | 28 000 | — | 32 000 | 16001 | — | — | — |
| | 28 | 8 | 0.3 | 5 100 | 2 370 | 520 | 241 | 13.0 | 28 000 | 18 000 | 32 000 | 6001 | ZZ | VV | DDU |
| | 32 | 10 | 0.6 | 6 800 | 3 050 | 695 | 310 | 12.3 | 22 000 | 17 000 | 28 000 | 6201 | ZZ | VV | DDU |
| 37 | 12 | 1 | 9 700 | 4 200 | 990 | 425 | 11.1 | 20 000 | 16 000 | 24 000 | 6301 | ZZ | VV | DDU | |

Fuente: (NSK, 2016, pág. B8)

En la Tabla 93 Diámetros de Rodamientos. Se puede observar que el rodamiento seleccionado para los cálculos el valor del diámetro exterior es 21 mm, el factor f_0 es 15.3 y el índice de carga básica C_r es 1920.

Factor de vida de fatiga “ f_h ”.

$$f_h = f_n \times \frac{C_r}{P} \quad (4.113)$$

$$f_h = 0.322 \times \frac{1920}{3.063} = 201.735$$

Índice básico de vida “ L_h ”

$$L_h = 500 \times f_h^3 \quad (4.114)$$

$$L_h = 500 \times 201.735^3 = 4.105 \times 10^9 \text{ horas}$$

La vida de estos rodamientos de bolas es de 4.105×10^9 horas.

Chumacera seleccionada

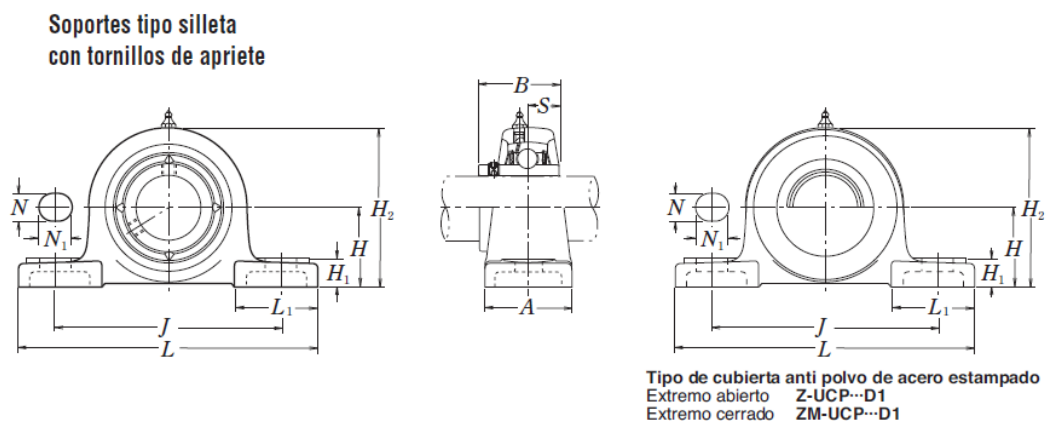


Figura 93 Catalogo para la selección de chumaceras

Fuente: (NSK, 2016, pág. B282)

La Figura 93, muestra la nomenclatura que se usará en la tabla para la selección de chumaceras.

Tabla 94
Dimensiones de chumacera

| Diám. Eje mm pulgadas | Designación soporte (1) | Dimensiones nominales | | | | | | | | | | | Tamaño tornillo mm pulgadas | Número de rodamiento |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------------|-----|------------------|------------------|-----|----------------|----------------|-------------------|--------------------|--------|-------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| | | H | L | J | A | N | N ₁ | H ₁ | H ₂ | L ₁ | B | S | | |
| 12 1/2 | UCP201D1 | 30.2 | 127 | 95 | 38 | 13 | 16 | 14 | 62 | 42 | 31 | 12.7 | M10 3/8 | UC201D1 UC201-008D1 |
| | UCP201-008D1 | 1 ^{3/16} | 5 | 3 ^{3/4} | 1 ^{1/2} | 1/2 | 5/8 | 9/16 | 2 ^{7/16} | 1 ^{21/32} | 1.2205 | 0.500 | | |
| 15 9/16 5/8 | UCP202D1 | 30.2 | 127 | 95 | 38 | 13 | 16 | 14 | 62 | 42 | 31 | 12.7 | M10 3/8 | UC202D1 UC202-009D1 UC202-010D1 |
| | UCP202-009D1 UCP202-010D1 | 1 ^{3/16} | 5 | 3 ^{3/4} | 1 ^{1/2} | 1/2 | 5/8 | 9/16 | 2 ^{7/16} | 1 ^{21/32} | 1.2205 | 0.500 | | |

Fuente: (NSK, 2016, pág. B282)

La Tabla 94, muestra que la chumacera seleccionada tiene la designación de soporte UCP201D1 y numero de rodamiento UC201D1.

4.2.7.DISEÑO PARA LA TORRETA DE MANZANAS

La torreta de manzanas es la encargada de posicionar las manzanas en cada una de las estaciones de procesamiento de la máquina. Para el funcionamiento de la torreta se realiza los cálculos, para dimensionar el motor a utilizar así como las dimensiones del eje, engranes, y selección de los rodamientos.

Cálculo de la aceleración del motor

$$\theta = \theta_0 + W_0 t + \frac{\alpha}{2} t^2 \quad (4.115)$$

$$2.094 = 0 + 0 + \frac{\alpha}{2} 1^2$$

$$2.094 = 0 + 0 + \frac{\alpha}{2} 1^2$$

$$\alpha = 4.188$$

Cálculo del torque de arranque del motor

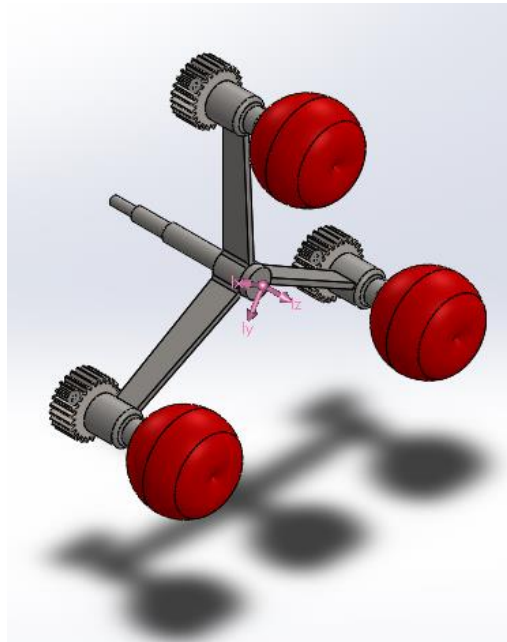


Figura 94 Torreta de Manzanas

La inercia de la torreta de manzanas (Figura 94) fue obtenida con la ayuda de un software CAD, dando los resultados de la Tabla 95. La torreta de manzanas gira alrededor del eje zz y tiene un valor de 25823690.63 g mm² o 0.026 Kg m² que se usara para el cálculo del torque de arranque.

Tabla 95
Momentos de inercia Torreta de manzanas

| MOMENTOS DE INERCIA: (gramos*milímetros cuadrados) | | | | | |
|--|------------|------------|-------------|------------|-------------|
| Ixx | 67909797,7 | Ixy | 549694,39 | Ixz | 17464336,15 |
| Iyx | 549694,39 | Iyy | 64627591,09 | Iyz | 1063230,44 |
| Izx | 17464336,2 | Izy | 1063230,44 | Izz | 25823690,63 |

$$T = I \cdot \alpha$$

(4. 116)

$$T = 0.026 \cdot (4.188) = 0.1088 \text{ N m}$$

$$\text{Numero de pulsos} = \frac{\text{Grados}}{\text{Paso}}$$

(4. 117)

$$\text{Numero de pulsos} = \frac{120}{0.3} = 400 \text{ pulsos}$$

$$\text{Frecuencia de pulso} = \frac{\text{Numero de pulsos}}{t_0} \quad (4.118)$$

$$\text{Frecuencia de pulso} = \frac{400}{1}$$

$$\text{Frecuencia de pulso media} = \frac{\text{Numero de pulsos}}{t_1 - t_0} \quad (4.119)$$

$$\text{Frecuencia de pulso media} = \frac{400}{1 - 0.25} = 533.33 \text{ pps}$$

El motor escogido para realizar la acción es el siguiente.



Figura 95 Motor a pasos
Fuente: (OMC, 2016)

Tabla 96
Datos motor a Pasos

| MODEL O | VOLTAJ E | VELOCIDA D | CORRIENT E | TORQUE | POTENCI A |
|------------|-------------|---------------|---------------|--------|--------------|
|------------|-------------|---------------|---------------|--------|--------------|

| 17HS13-0404S – PG5 | V | Rpm | A | Kg cm | N m | W |
|--------------------|----|-----|-----|-------|-------|-------|
| | 12 | 200 | 0.8 | 1.23 | 0.121 | 2.533 |

4.2.7.1. DISEÑO DE LA TRANSMISIÓN POR ENGRANES

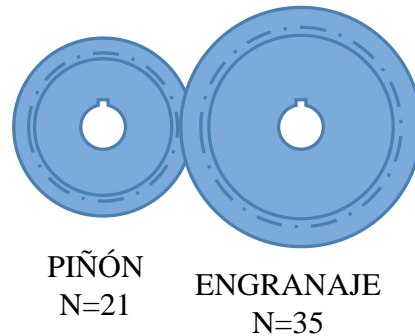


Figura 96 Tren de engranes para eje de torreta de manzanas

La relación de momentos entre el piñón y el engrane es de 1.67. Se realizará el diseño individual del piñón como del engrane. La cantidad de dientes del Piñón es de 21 con un módulo de 1.75 y un ángulo de 20° . La cantidad de dientes del engrane es de 35.

4.2.7.1.1. DISEÑO DEL PIÑÓN

El piñón se encuentra conectado a un motor que tiene las características de la Tabla 96

Datos motor a Pasos.

$$T_p = \frac{P}{w_p} \quad (4.120)$$

$$T_p = \frac{0.0034hp \left(6600 \frac{in-lb}{s} \right)}{200rpm \left(\frac{2\pi}{60} \frac{rad}{rpm} \right)} = 1.166 lb-in$$

TORQUE DE SALIDA

$$T_g = m_g \times T_p \quad (4.121)$$

$$T_g = 1.67 \times 1.166 = 1.947 \text{ lb} - \text{in}$$

$$m = \frac{d}{N}$$

$$1.75 = \frac{d_p}{21}$$

$$d_p = 36.75 \text{ mm} \approx 1.447 \text{ in}$$

$$P_d = \frac{N}{d_p} \tag{4. 122}$$

$$P_d = 14.513 \text{ in}$$

CARGA TRANSMITIDA

$$W_t = \frac{T_p}{\frac{d_p}{2}} \tag{4. 123}$$

$$W_t = \frac{1.166}{\frac{1.447}{2}} = 1.612 \text{ lb}$$

COMPONENTE RADIAL

$$W_r = W_t \times \tan \phi \tag{4. 124}$$

$$W_r = 1.612 \times \tan(20^\circ) = 0.587 \text{ lb}$$

CARGA TOTAL

$$W = \frac{W_t}{\cos(\phi)} \tag{4. 125}$$

$$W = \frac{1.612}{\cos(20^\circ)} = 1.715 \text{ lb}$$

CALCULO DEL ANCHO DE CARA PARA EL PIÑÓN

ANCHO DE CARA EN FUNCIÓN DEL Pd

$$\frac{8}{P_d} < F < \frac{16}{P_d} \quad (4.126)$$

$$F = \frac{12}{P_d} \quad (4.127)$$

$$F = \frac{12}{14.513} = 0.827 \text{ in}$$

El ancho de cara del piñón es de 0.827 in o 21 mm.

Suponiendo carga y fuentes uniformes $K_a = 1$. El factor K_m de distribución de carga se lo obtiene de la Tabla 69 Factores K_m de distribución de carga

Cálculo del factor dinámico K_v

$$V_t = \frac{d_p}{2} \times w_p \quad (4.128)$$

$$V_t = \frac{1.447 \text{ in}}{2 \times 12} \times 200 \text{ rpm} \times 2\pi = 75.764 \text{ ft}/\text{min}$$

$$6 \leq Q_v \leq 11$$

$$B = \frac{(12 - Q_v)^{2/3}}{4} \quad (4.129)$$

$$B = \frac{(12 - 6)^{2/3}}{4} = 0.825$$

$$A = 50 + 56(1 - B) \quad (4.130)$$

$$A = 50 + 56(1 - 0.825) = 59.773$$

$$K_v = \left(\frac{A}{A + \sqrt{V_t}} \right)^B \quad (4.131)$$

$$K_v = \left(\frac{59.773}{59.773 + \sqrt{468.62}} \right)^{0.825} = 0.775$$

Factor de tamaño $K_s = 1$

Factor de espesor del aro $K_B = 1$, porque es un engrane plano.

El factor de aplicaciones se lo obtiene de la Tabla 70 Aplicación de factores K_a , el valor del factor K_a será 1 ya que el movimiento es uniforme.

El factor geométrico J de la resistencia a la flexión se lo obtiene de la Tabla 71 Factor geométrico J para flexión para ángulo de 20°, conociendo que la cantidad de dientes del piñón es 21 y que los dientes del engrane son 35 entonces el valor de J es 0.37.

Ecuación de la AGMA esfuerzo de flexión

$$\sigma_{bp} = \frac{w_t \times P_d}{F \times J} \times \frac{K_a \times K_m}{K_v} \times K_s \times K_B \quad (4.132)$$

$$\sigma_{bp} = \frac{1.612 \times 14.513}{0.827 \times 0.37} \times \frac{1 \times 1.6}{0.775} \times 1 \times 1 = 157.864 \text{ psi}$$

Tabla 97
Resumen de características del piñón

| # DIENTES | ÁNGULO | ANCHO DE CARA | | MÓDULO |
|-----------|--------|---------------|----|--------|
| | | in | mm | |
| 21 | 20 | 0.827 | 21 | 1.75 |

4.2.7.1.2. DISEÑO DEL ENGRANE

El engrane se encuentra en contacto con el piñón y a su vez con el eje de la torreta de manzanas. Se tomó en cuenta de que tanto la velocidad y el torque que se transmite al eje es diferente que el del motor. Se calculará los datos necesarios para el cálculo del engrane. Con los datos que proporciona la Figura 96

$$m_A = \frac{1}{m_v} = \frac{N_{engrane}}{N_{piñon}} = \frac{35}{21} = 1.67 \quad (4.133)$$

El torque de salida es

$$\text{Torque de salida} = \text{Torque del motor} \cdot m_A \quad (4.134)$$

$$\text{Torque de salida} = 0.121 \text{ Nm} \cdot 1.67 = 0.202 \text{ Nm} \cong 1.788 \text{ lb in}$$

La velocidad de salida es

$$\text{Velocidad de salida} = \text{Velocidad del motor} \cdot m_v \quad (4.135)$$

$$\text{Velocidad de salida} = 20.944 \text{ rad/s} \cdot 0.599 = 12.541 \text{ rad/s} \cong 119.8 \text{ rpm}$$

Con estos datos obtenemos la potencia de salida

$$\text{Potencia} = \text{velocidad} \left(\text{rad/s} \right) \cdot \text{Torque} (\text{Nm}) \quad (4.136)$$

$$\text{Potencia} = 12.541 \text{ rad/s} \cdot 0.202 \text{ Nm} = 2.533 \text{ W} \cong 0.0034 \text{ hp}$$

$$T_p = \frac{P}{\omega_p} \quad (4.137)$$

$$T_p = \frac{0.0034hp \left(6600 \frac{\frac{in-lb}{s}}{hp} \right)}{119.8rpm \left(\frac{2\pi \frac{rad}{s}}{60 rpm} \right)} = 1.788 lb-in$$

TORQUE DE SALIDA

La relación de transmisión entre el eje y el engrane es de $m_g = 1$

$$T_g = m_g \times T_p \quad (4.138)$$

$$T_g = 1 \times 1.788 = 1.788 lb-in$$

$$m = \frac{d}{N}$$

$$1.75 = \frac{d_p}{35}$$

$$d_p = 64.25 mm \approx 2.411 in$$

$$P_d = \frac{N}{d_p} \quad (4.139)$$

$$P_d = 14.517 in$$

CARGA TRANSMITIDA

$$W_t = \frac{T_p}{\frac{d_p}{2}} \quad (4.140)$$

$$W_t = \frac{1.788}{\frac{2.411}{2}} = 1.483 lb$$

COMPONENTE RADIAL

$$W_r = W_t \times \tan \phi \quad (4.141)$$

$$W_r = 1.483 \times \tan(20^\circ) = 0.54 \text{ lb}$$

CARGA TOTAL

$$W = \frac{W_t}{\cos(\phi)} \quad (4. 142)$$

$$W = \frac{1.483}{\cos(20^\circ)} = 1.578 \text{ lb}$$

4.2.7.1.3. CALCULO DEL ANCHO DE CARA PARA EL ENGRANE

ANCHO DE CARA EN FUNCIÓN DEL Pd

$$\frac{8}{P_d} < F < \frac{16}{P_d} \quad (4. 143)$$

$$F = \frac{12}{P_d} \quad (4. 144)$$

$$F = \frac{12}{14.517} = 0.827 \text{ in}$$

Suponiendo carga y fuentes uniformes $K_a=1$. El factor K_m de distribución de carga se lo obtiene de la Tabla 69 Factores K_m de distribución de carga

Calculo del factor dinámico K_v

$$V_t = \frac{d_p}{2} \times w_p \quad (4. 145)$$

$$V_t = \frac{2.411 \text{ in}}{2 \times 12} \times 119.8 \text{ rpm} \times 2\pi = 75.62 \text{ ft}/\text{min}$$

$$6 \leq Q_v \leq 11$$

$$B = \frac{(12 - Q_v)^{2/3}}{4} \quad (4. 146)$$

$$B = \frac{(12 - 6)^{2/3}}{4} = 0.825$$

$$A = 50 + 56(1 - B) \quad (4. 147)$$

$$A = 50 + 56(1 - 0.825) = 59.773$$

$$K_v = \left(\frac{A}{A + \sqrt{V_t}} \right)^B \quad (4. 148)$$

$$K_v = \left(\frac{59.773}{59.773 + \sqrt{468.62}} \right)^{0.825} = 0.775$$

Factor de tamaño $K_s = 1$

Factor de espesor del aro $K_B = 1$, porque es un engrane plano.

El factor de aplicaciones se lo obtiene de la Tabla 70 Aplicación de factores K_a , el valor del factor K_a será 1 ya que el movimiento es uniforme.

El factor geométrico J de la resistencia a la flexión se lo obtiene de la Tabla 71 Factor geométrico J para flexión para ángulo de 20° , conociendo que la cantidad de dientes del piñón es 21 y que los dientes del engrane son 35 entonces el valor de J es 0.34.

Ecuación de la AGMA esfuerzo de flexión

$$\sigma_{bp} = \frac{w_t \times P_d}{F \times J} \times \frac{K_a \times K_m}{K_v} \times K_s \times K_B \quad (4. 149)$$

$$\sigma_{bp} = \frac{1.483 \times 14.517}{0.827 \times 0.34} \times \frac{1 \times 1.6}{0.775} \times 1 \times 1 = 158.165 \text{ psi}$$

Tabla 98 Resumen de características del engrane

| # DIENTES | ÁNGULO | ANCHO DE CARA | | MÓDULO |
|-----------|--------|---------------|----|--------|
| | | In | mm | |
| 35 | 20 | 0.827 | 21 | 1.75 |

4.2.8. DISEÑO DE EJE PARA TORRETA DE MANZANAS

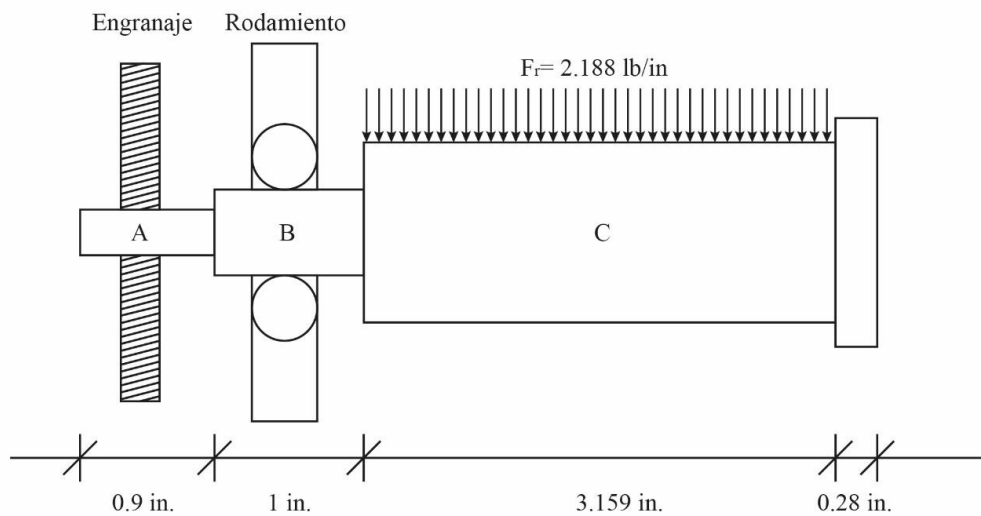


Figura 97 Geometría de diseño preliminar eje de torreta

El eje de la torreta de manzanas se encuentra en voladizo, los componentes que generan reacción en el eje son un engrane, una chumacera y la torreta de manzanas que tiene una carga distribuida de 2.188 lb/in. De los cálculos de los engranes se obtuvo que el torque que es transmitido al eje es de 1.788 lb in, con una velocidad angular de 119.8 rpm y con una potencia de 0.0034 hp.

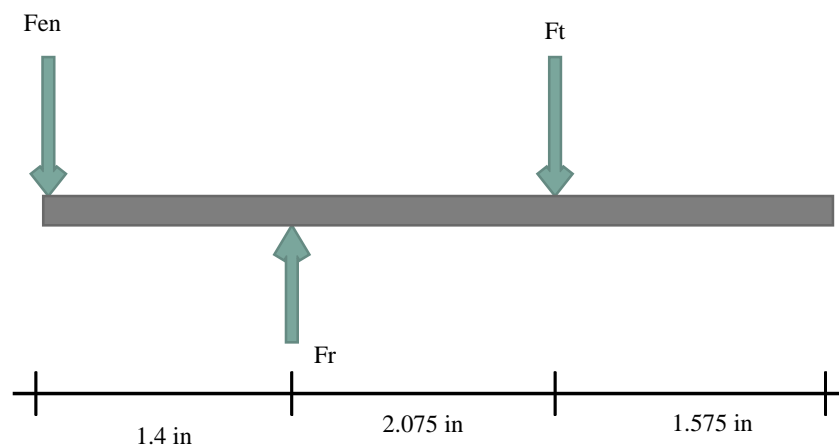


Figura 98 Diagrama de cuerpo libre eje torreta de manzanas

$$\sum F_x = 0 \quad (4. 150)$$

$$-F_{en} + F_r - F_T = 0 \quad (4. 151)$$

$$-F_{en} + F_r = 6.912 \quad (4. 152)$$

$$\sum M_{Ax} = 0 \quad (4. 153)$$

$$(F_r \cdot 1.4) - (F_T \cdot 3.475) = 0$$

$$1.4 \cdot F_r = 24.02 \text{ lb}$$

$$F_r = 17.16 \text{ lb}$$

Remplazando F_r en la ecuación (4. 152)

$$-F_{en} + 17.16 = 6.912$$

$$F_{en} = 10.248 \text{ lb}$$

Ecuaciones en el plano zy

$$q = -F_{en}\langle z - 0 \rangle^{-1} + F_r\langle z - 0.9 \rangle^{-1} - F_T\langle z - 1.9 \rangle^0 \quad (4. 154)$$

$$v = \int q \, dz = -F_{en}\langle z - 0 \rangle^0 + F_r\langle z - 0.9 \rangle^0 - F_T\langle z - 1.9 \rangle^1 + C_1 \quad (4. 155)$$

$$M = \int v dz = -F_{en}\langle z - 0 \rangle^1 + F_r\langle z - 0.9 \rangle^1 - \frac{F_T}{2}\langle z - 1.9 \rangle^2 + C_1z + C_2 \quad (4.156)$$

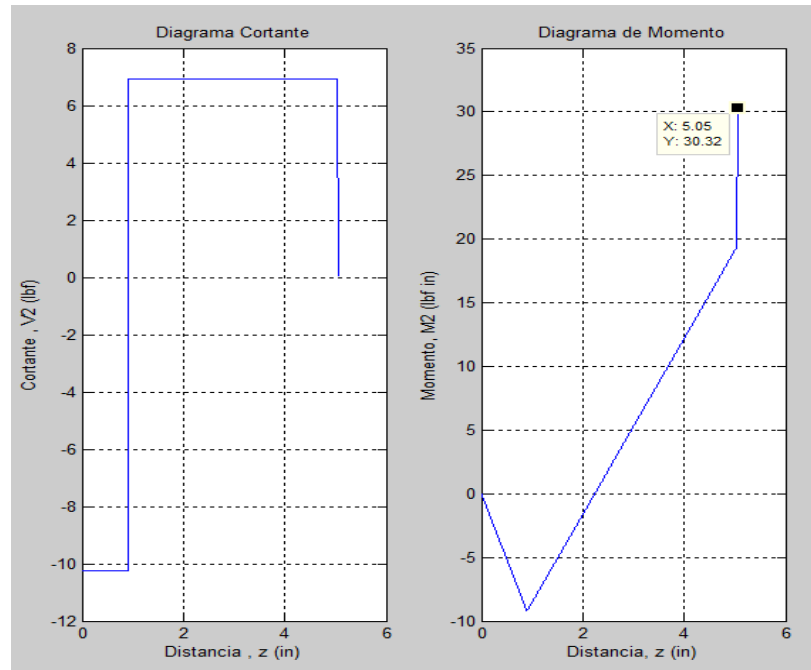


Figura 99 Diagrama de esfuerzo cortante y momento flector eje de torreta.

En la Figura 99 se observa en el diagrama de momento, que el momento máximo M_a tiene un valor de 30.32 lb in.

El material a utilizarse es el acero AISI 304. En la Tabla 99 Datos Mecánicos se encuentran algunos valores útiles para el diseño del eje.

Para el diseño del eje de la torreta de manzanas se usarán los datos de la Tabla 99, que contiene datos obtenidos para el diseño de los ejes anteriores y que no variaran debido a que se utilizara el mismo material y proceso para la construcción.

Tabla 99
Datos Mecánicos

| DATOS | VALOR | REFERENCIA |
|---------------|-----------|------------|
| Se' | 92500 psi | (4.42) |
| C carga | 1 | |
| C tamaño | 1 | |
| C superficial | 0.67 | (4.44) |
| C temperatura | 1 | |

| | | |
|------------------------|--------------|-----------------|
| C confiabilidad | 0.753 | (4. 45) |
| Se | 44660.49 psi | (4. 43) |
| Sut | 185 Kpsi | |
| | | Tabla 73 |
| r | 0.12 in | |
| q flexión | 0.94 | (4. 46) |
| q torsión | 0.954 | (4. 47) |
| Kt | 2.7 | Tabla 78 |
| Kts | 2.2 | Tabla 78 |

ANÁLISIS DEL PUNTO A

$$K_f = 1 + q_{flexión} (K_t - 1) \quad (4. 157)$$

$$K_f = 1 + 0.94(2.7 - 1) = 2.596$$

$$K_{fs} = 1 + q_{torsión} (K_{ts} - 1) \quad (4. 158)$$

$$K_{fs} = 1 + 0.954(2.2 - 1) = 2.144$$

GOODMAN

Asumiendo un criterio de falla mínimo de $n= 1.5$

$$d_A = \left\{ \frac{16 \times n}{\pi} \left(\frac{2 \times (K_f \times M_a)}{S_e} + \frac{[3 \times (K_{fs} \times T_{mo})^2]^{\frac{1}{2}}}{S_{ut}} \right) \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (4. 159)$$

$$d_A = 0.296 \text{ in} = 7.52 \text{ mm}$$

Redondeando

$$d_A = 8 \text{ mm} = 0.315 \text{ in}$$

El diámetro del eje en el punto A es de 0.315 correspondiente a 8 mm.

ANÁLISIS EN EL PUNTO B

$$d_A = 0.315 \text{ in}$$

$$D = 1.2 \times 0.315 = 0.378 \text{ in}$$

$$D = 0.378 \text{ in} \approx 0.472 \text{ in} = 12 \text{ mm}$$

El diámetro del punto B se le ha puesto un valor de 0.472 in o 12 mm, ya que este es el valor más pequeño que se encuentra de chumaceras en los catálogos.

$$\frac{D}{d} = \frac{0.472}{0.315} = 1.5$$

Concentración de esfuerzos teórico

$$K_t = A \times \left(\frac{r}{d} \right)^b \quad (4. 160)$$

La Figura 84 proporciona el valor del factor geométrico de concentración de esfuerzos en flexión.

$$K_t = 0.93836 \times \left(\frac{0.12}{0.315} \right)^{-0.25759}$$

$$K_t = 1.203$$

$$K_f = 1 + q_{flexión} (K_t - 1) \quad (4. 161)$$

$$K_f = 1 + 0.94(1.203 - 1)$$

$$K_f = 1.191$$

$$K_{ts} = A \times \left(\frac{r}{d}\right)^b \quad (4. 162)$$

La relación entre los diámetros nos da como resultado 1.5. La Figura 85 proporciona el valor del factor geométrico de concentración de esfuerzos en flexión.

Tabla 100

Interpolación de Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_{ts} en torsión para $D/d=1.5$

| D/d | A | B |
|------------|----------------|-----------------|
| 2 | 0.86331 | -0.23865 |
| 1.5 | 0,85608 | -0.23339 |
| 1,33 | 0.84897 | -0.23161 |

$$K_{ts} = 0.85608 \times \left(\frac{0.12}{0.315}\right)^{-0.23339}$$

$$K_{ts} = 1.062$$

$$K_{fs} = 1 + q_{torsión} (K_{ts} - 1) \quad (4. 163)$$

$$K_{fs} = 1 + 0.954(1.062 - 1)$$

$$K_{fs} = 1.059$$

VON MISSES

$$\sigma'_a = \frac{32 \times K_f \times M_a}{\pi \times d^3} \quad (4.164)$$

$$\sigma'_a = \frac{32 \times 1.191 \times 30.32}{\pi \times 0.315^3} = 1.177 \times 10^4 \text{ psi}$$

$$\sigma'_m = \left[3 \times \left(\frac{16 \times K_{fs} \times T_m}{\pi \times d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.165)$$

$$\sigma'_m = \left[3 \times \left(\frac{16 \times 1.087 \times 1.788}{\pi \times 0.315^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 534.276 \text{ psi}$$

$$\frac{1}{n_f} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad (4.166)$$

$$\frac{1}{n_f} = \frac{1.177 \times 10^4}{4.667 \times 10^4} + \frac{534.276}{185000} = 0.261$$

$$n_f = 3.835$$

ANÁLISIS EN EL PUNTO C

$$d_B = 0.472 \text{ in}$$

$$D = 1.2 \times 0.472 = 0.57 \text{ in} \approx 14.48 \text{ mm}$$

$$D = 0.57 \text{ in} \approx 0.59 \text{ in} = 15 \text{ mm}$$

El diámetro del punto C tiene un valor de 0.59 in o 15 mm.

$$S_e = C_{carga} \times C_{tamaño} \times C_{superficial} \times C_{temperatura} \times C_{confiabilidad} \times S'_e \quad (4. 167)$$

Utilizando el diámetro calculado

Para $0.3 \text{ in} < d \leq 10 \text{ in}$

$$C_{tamaño} = 0.869 \times d^{-0.097} \quad (4. 168)$$

$$C_{tamaño} = 0.869 \times 0.472^{-0.097} = 0.944$$

Tabla 101
Resumen Valores de Corrección punto C

| FACTORES DE CORRECCIÓN | VALOR |
|------------------------|-----------|
| C carga | 1.000 |
| C tamaño | 0.944 |
| C superficial | 0.670 |
| C temperatura | 1.000 |
| C confiabilidad | 0.753 |
| Se` | 92500 psi |

$$S_e = 1 \times 0.944 \times 0.67 \times 1 \times 0.753 \times 92500 = 4.404 \times 10^4 \text{ psi}$$

$$\frac{D}{d} = \frac{0.59}{0.472} = 1.25$$

Concentración de esfuerzos teórico

$$K_t = A \times \left(\frac{r}{d}\right)^b \quad (4. 169)$$

La Figura 84 proporciona el valor del factor geométrico de concentración de esfuerzos en flexión.

El valor de la relación es de 1.25. En la que se encuentran los valores correspondientes.

Tabla 102

Interpolación de Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_t en flexión para $D/d=1.25$

| D/d | A | b |
|-------------|----------------|-----------------|
| 1,5 | 0,93836 | -0,25759 |
| 1,25 | 0,96554 | -0,22457 |
| 1,2 | 0,97098 | -0,21796 |

$$K_t = 0.96554 \times \left(\frac{0.12}{0.472} \right)^{-0.22457}$$

$$K_t = 1.284$$

$$K_f = 1 + q_{flexión} (K_t - 1) \quad (4. 170)$$

$$K_f = 1 + 0.94(1.284 - 1)$$

$$K_f = 1.267$$

$$K_{ts} = A \times \left(\frac{r}{d} \right)^b \quad (4. 171)$$

La Figura 85 proporciona el valor del factor geométrico de concentración de esfuerzos en torsión. La relación entre diámetros es de 1.25, la Tabla 103 proporciona los valores de A y b para calcular el factor geométrico de concentración de esfuerzos K_{ts}

Tabla 103
Interpolación de Factor geométrico de concentración de esfuerzos K_{ts} en torsión para $D/d=1.25$

| D/d | A | b |
|-------------|----------------|-----------------|
| 1,33 | 0,84897 | -0.23161 |
| 1,25 | 0,83991 | -0,22231 |
| 1,2 | 0,83425 | -0.21649 |

$$K_{ts} = 0.83991 \times \left(\frac{0.12}{0.472} \right)^{-0.22231}$$

$$K_{ts} = 1.114$$

$$K_{fs} = 1 + q_{torsión} (K_{ts} - 1) \quad (4. 172)$$

$$K_{fs} = 1 + 0.954(1.114 - 1)$$

$$K_{fs} = 1.108$$

VON MISSES

$$\sigma'_a = \frac{32 \times K_f \times M_a}{\pi \times d^3} \quad (4. 173)$$

$$\sigma'_a = \frac{32 \times 1.267 \times 30.32}{\pi \times 0.472^3} = 5.025 \times 10^3 \text{ psi}$$

$$\sigma'_m = \left[3 \times \left(\frac{16 \times K_{fs} \times T_m}{\pi \times d^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.174)$$

$$\sigma'_m = \left[3 \times \left(\frac{16 \times 1.108 \times 1.788}{\pi \times 0.472^3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 224.563 \text{ psi}$$

$$\frac{1}{n_f} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad (4.175)$$

$$\frac{1}{n_f} = \frac{5.025 \times 10^3}{4.404 \times 10^4} + \frac{224.563}{185000} = 0.115$$

$$n_f = 8.673$$

Tabla 104
Resumen de resultados para eje de torreta de manzanas

| PUNTO DE ANÁLISIS | VALORES CALCULADOS | | |
|-------------------|--------------------|---------------|---------------------|
| | DIÁMETRO (in) | DIÁMETRO (mm) | FACTOR DE SEGURIDAD |
| A | 0,315 | 8 | 1.5 |
| B | 0.472 | 12 | 3.835 |
| C | 0.59 | 15 | 8.673 |

La Tabla 104 muestra un resumen de los diámetros y el factor de seguridad para los puntos calculados en el diseño del eje.

4.2.8.1. SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL RODAMIENTO PARA UN DIÁMETRO DE EJE DE 12 MILÍMETROS

El cálculo del rodamiento para el eje de la cuchilla rotatoria, se lo realiza con una carga radial $F_r = P = 22.56 \text{ N}$, generada por el peso del eje con la torreta de manzanas.

Además se conoce que la velocidad en el eje es de 119.8 rpm. Con estos datos se ha de realizar los cálculos para la selección del rodamiento.

$$f_n = (0.03 \times n)^{-\frac{1}{3}} \quad (4. 176)$$

$$f_n = (0.03 \times 119.8)^{-\frac{1}{3}} = 0.653$$

En la Figura 92 Rodamientos de bolas de ranura profunda de una sola hilera. Fuente: Y en la Tabla 93 Diámetros de Rodamientos . Se puede observar que el rodamiento seleccionado para los cálculos el valor del diámetro exterior es 21 mm, el factor f_0 es 15.3 y el índice de carga básica C_r es 1920.

Factor de vida de fatiga “ f_h ”.

$$f_h = f_n \times \frac{C_r}{P} \quad (4. 177)$$

$$f_h = 0.653 \times \frac{1920}{22.56} = 55.561$$

Índice básico de vida “ L_h ”

$$L_h = 500 \times f_h^3 \quad (4. 178)$$

$$L_h = 500 \times 55.561^3 = 8.576 \times 10^7 \text{ horas}$$

La vida de estos rodamientos de bolas es de 8.576×10^7 horas. Con los datos obtenidos la chumacera seleccionada tiene la designación de soporte UCP201D1 y numero de rodamiento UC201D1 (Tabla 94)

4.2.9.DISEÑO RESORTE HELICOIDAL DE TORSIÓN PARA CUCHILLA PELADORA

El resorte helicoidal a torsión se lo analizara en su estado en el que se encuentra más deformado.

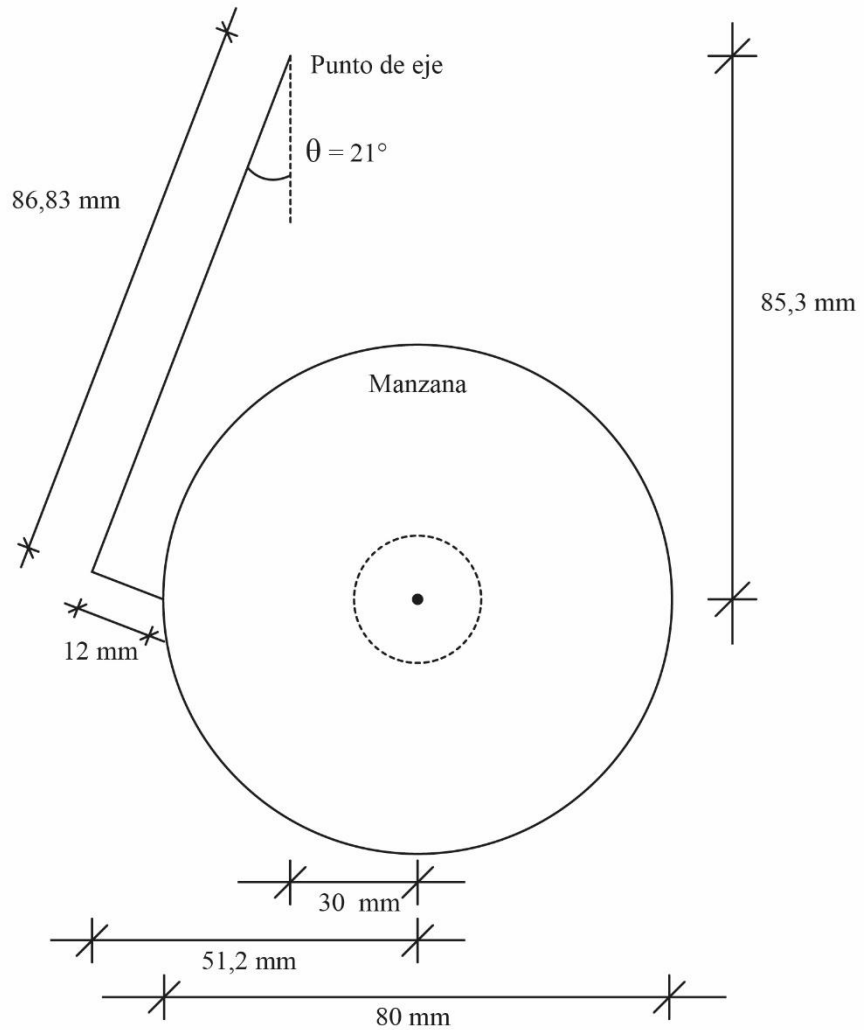


Figura 100 Representación gráfica de la cuchilla y manzana

$$\theta = 21^\circ \cong 0.0583 \text{ rev}$$

CÁLCULO DE MOMENTO MÍNIMO Y MÁXIMO

La fuerza mínima que ejerce la cuchilla contra la manzana para pelarla es de 1.11 N, mientras que la fuerza máxima será de 1.15N. Con las dichas fuerzas se calcula el momento mínimo y el momento máximo.

$$M_{min} = F_{min} \cdot r \tag{4. 179}$$

$$M_{min} = 1.11 \cdot (86.83 \times 10^{-3})$$

$$M_{min} = 0.096 \text{ Nm} \cong 0.8497 \text{ lb in}$$

(4. 180)

$$M_{max} = F_{max} \cdot r$$

$$M_{max} = 1.15 \cdot (86.83 \times 10^{-3})$$

$$M_{max} = 0.1 \text{ Nm} \approx 0.89 \text{ lb in}$$

El alambre que se utilizará es de material ASTM A228 (alambre musical) debido a que es el más utilizado y por tanto más fácil de encontrar en el mercado.

El diámetro el alambre fue escogido con la ayuda de la Figura 101 Diámetros de alambre preferidos

Fuente: El diámetro escogido es de 0.03 in \approx 0.762 mm

| | U.S. (in) | SI (mm) |
|--|-----------|---------|
| | 0.004 | 0.10 |
| | 0.005 | 0.12 |
| | 0.006 | 0.16 |
| | 0.008 | 0.20 |
| | 0.010 | 0.25 |
| | 0.012 | 0.30 |
| | 0.014 | 0.35 |
| | 0.016 | 0.40 |
| | 0.018 | 0.45 |
| | 0.020 | 0.50 |
| | 0.022 | 0.55 |
| | 0.024 | 0.60 |
| | 0.026 | 0.65 |
| | 0.028 | 0.70 |
| | 0.030 | 0.80 |
| | 0.035 | 0.90 |
| | 0.038 | 1.00 |
| | 0.042 | 1.10 |
| | 0.045 | 1.20 |
| | 0.048 | 1.40 |
| | 0.055 | 1.60 |
| | 0.059 | 1.80 |
| | 0.062 | 2.00 |
| | 0.067 | 2.20 |
| | 0.072 | 2.50 |
| | 0.076 | 2.80 |
| | 0.081 | 3.00 |
| | 0.085 | 3.50 |
| | 0.092 | 4.00 |
| | 0.098 | 4.50 |
| | 0.105 | 5.00 |
| | 0.112 | 5.50 |
| | 0.125 | 6.00 |
| | 0.135 | 6.50 |
| | 0.148 | 7.00 |
| | 0.162 | 8.00 |
| | 0.177 | 9.00 |
| | 0.192 | |
| | 0.207 | |
| | 0.225 | |
| | 0.250 | |
| | 0.281 | |
| | 0.312 | |
| | 0.343 | |
| | 0.362 | |
| | 0.375 | |
| | 0.406 | |
| | 0.437 | |
| | 0.469 | |
| | 0.500 | |
| | 0.531 | |
| | 0.562 | |
| | 0.625 | |

Figura 101 Diámetros de alambre preferidos

Fuente: (Norton, 2011, pág. 653)

CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA ESPIRA.

Para el cálculo de la espira se asumirá el índice del resorte $C = 9$.

(4. 181)

$$D = C \cdot d$$

$$D = 9 \cdot 0.03$$

$$D = 0.27 \text{ in} \approx 6.858 \text{ mm}$$

MOMENTOS MEDIO Y ALTERNANTE

(4. 182)

$$M_m = \frac{M_{max} + M_{min}}{2}$$

$$M_m = \frac{0.89 + 0.8497}{2} = 0.87 \text{ lb}$$

$$M_a = \frac{M_{max} - M_{min}}{2} \quad (4.183)$$

$$M_m = \frac{0.89 - 0.8497}{2} = 0.02 \text{ lb}$$

FACTOR DE FLAXION DE WAHL K_{b1} , PARA LA SUPERFICIE INTERIOR

$$K_{b1} = \frac{4C^2 - C - 1}{4C(C - 1)} \quad (4.184)$$

$$K_{b1} = \frac{4(9)^2 - 9 - 1}{4 \cdot 9 \cdot (9 - 1)} = 1.09$$

ESFUERZO DE COMPRESION

$$\sigma_{imax} = K_{b1} \cdot \frac{32 \cdot M_{max}}{\pi \cdot d^3} \quad (4.185)$$

$$\sigma_{imax} = 1.09 \cdot \frac{32 \cdot 0.89}{\pi \cdot 0.03^3} = 3.661 \times 10^5 \text{ psi}$$

FACTOR DE FLEXION DE WAHL K_{b0} SUPERFICIE EXTERIOR

$$K_{b0} = \frac{4C^2 + C - 1}{4C(C + 1)} \quad (4.186)$$

$$K_{b1} = \frac{4(9)^2 + 9 - 1}{4 \cdot 9 \cdot (9 + 1)} = 0.922$$

ESFUERZOS MAXIMO, MINIMO, ALTERNANTE Y MEDIO DE TENSION EN LA SUPERFICIE EXTERIOR DE LA ESPIRA

$$\sigma_{omin} = K_{b0} \cdot \frac{32 \cdot M_{min}}{\pi \cdot d^3} \quad (4.187)$$

$$\sigma_{omin} = 0.922 \cdot \frac{32 \cdot 0.8497}{\pi \cdot 0.03^3} = 2.956 \times 10^5 \text{ psi}$$

$$\sigma_{0max} = K_{b0} \cdot \frac{32 \cdot M_{max}}{\pi \cdot d^3} \quad (4.188)$$

$$\sigma_{0max} = 0.922 \cdot \frac{32 \cdot 0.89}{\pi \cdot 0.03^3} = 3.096 \times 10^5 \text{ psi}$$

$$\sigma_{0media} = \frac{\sigma_{0max} + \sigma_{0min}}{2} \quad (4.189)$$

$$\sigma_{0media} = \frac{3.096 \times 10^5 + 2.956 \times 10^5}{2} = 3.026 \times 10^5 \text{ psi}$$

$$\sigma_{0alt} = \frac{\sigma_{0max} - \sigma_{0min}}{2} \quad (4.190)$$

$$\sigma_{0alt} = \frac{3.096 \times 10^5 - 2.956 \times 10^5}{2} = 7.01 \times 10^3 \text{ psi}$$

RESISTENCIA A LA ÚLTIMA TENSIÓN S_{ut}

(4.191)

$$S_{ut} = Ad^b$$

Tabla 105

Coefficientes y exponentes para la ecuación (4.191)

| COEFICIENTES Y EXPONENTES PARA EL CALCULO DE S_{ut} | | | | | | | |
|---|-----------------------|-------------|------------------|---------------|---------------|------------|------------------------------|
| AST M | Material | Intervalo | | Exponent e | Coeficiente A | | Factor de correlació n |
| # | | mm | Intervalo | b | Mpa | psi | |
| A227 | Forjado en frio | 0,5- 1,6 | 0,0020- 0,625 | -0,1822 | 1753, 3 | 14104 0 | 0,998 |
| A228 | Alambre Musical | 0,3-6 | 0,010-0,250 | -0,1625 | 2153, 5 | 18464 9 | 0,9997 |
| A229 | Revenido en Aceite | 0,5-16 | 0,020-0,625 | -0,1833 | 1831, 2 | 14678 0 | 0,999 |
| A232 | Cromo-v | 0,5-12 | 0,020-0,500 | -0,1453 | 1909, 9 | 17312 8 | 0,998 |
| A401 | Cromo-s | 0,8-11 | 0,031-0,437 | -0,0934 | 2059, 2 | 22077 9 | 0,991 |

El material utilizado para el resorte es el alambre musical A228 que tiene los siguientes valores de coeficiente $A = 184649$ psi y exponente $b = -0.1625$ que se ha de utilizar en la ecuación (4. 191).

$$S_{ut} = 184649 \cdot 0.03^{-0.1625} = 3.264 \times 10^5$$

La resistencia de fluencia por flexión, suponiendo que no se han mitigado los esfuerzos.

Tabla 106
Resistencia máxima a la fluencia por flexión S_y

| RESISTENCIA MÁXIMA A LA FLUENCIA S_y, RECOMENDADA PARA RESORTES HELICOIDALES DE TORSIÓN EN APLICACIONES ESTÁTICAS | | |
|---|---|------------------------------------|
| Material | Porcentaje máximo de resistencia a la última tensión | |
| | Esfuerzo eliminado | Esfuerzo residual favorable |
| Acero al carbono forjado en frío (p. ej., A227, A228) | 80% | 100% |
| Acero al carbono endurecido y revenido, (y aleación de acero al bajo carbono revenido y endurecido (p. ej. A229, A230, A232, A401) | 85% | 100% |
| Acero inoxidable austenítico y aleaciones no ferrosas (p. ej. A313, B134, B159, B197) | 60% | 80% |

Fuente: (Norton, 2011, pág. 697)

(4. 192)

$$S_y = 1 \cdot S_{ut}$$

$$S_y = 1 \cdot 3.264 \times 10^5 = 3.264 \times 10^5$$

RESISTENCIA LIMITE A LA FATIGA POR FLEXION DEL ALAMBRE PARA RESORTE NO GRANALLADOS

$$S_{ew'b} = \frac{45000}{0.577} = 77990 \text{ psi} \quad (4. 193)$$

RESISTENCIA A LA FATIGA POR FLEXIÓN TOTALMENTE INVERTIDO

$$S_e = 0.5 \cdot \frac{S_{ewf_b} \cdot S_{ut}}{S_{ut} - 0.5 \cdot S_{ewf_b}} \quad (4. 194)$$

$$S_e = 0.5 \cdot \frac{77990 \cdot 3.264 \times 10^5}{3.264 \times 10^5 - 0.5 \cdot 77990} = 4.428 \times 10^4 \text{ psi}$$

FACTOR DE SEGURIDAD CONTRA LA FATIGA

$$N_{fb} = \frac{S_e \cdot (S_{ut} - \sigma_{0min})}{S_e \cdot (\sigma_{0medio} - \sigma_{0min}) + S_{ut} \cdot \sigma_{0alt}} \quad (4. 195)$$

$$N_{fb} = \frac{4.428 \times 10^4 \cdot (3.264 \times 10^5 - 2.956 \times 10^5)}{4.407 \times 10^4 \cdot (3.026 \times 10^5 - 2.956 \times 10^5) + (3.264 \times 10^5 \cdot 7.01 \times 10^3)}$$

$$N_{fb} = 0.525$$

FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO CONTRA LA AFLUENCIA ES

$$N_{yb} = \frac{S_y}{\sigma_{imax}} \quad (4. 196)$$

$$N_{yb} = \frac{3.264 \times 10^5}{3.661 \times 10^5} = 0.892$$

CONSTANTE DEL RESORTE CON LA DEFLEXIÓN RELATIVA

$$K = \frac{\Delta M}{\theta} \quad (4. 197)$$

$$K = \frac{0.89 - 0.8497}{0.0583} = 0.691 \text{ lb} - \text{in}/\text{rev}$$

DETERMINACIÓN DEL NUMERO DE ESPIRAS

$$N_a = \frac{d^4 \cdot E}{10.8 \cdot D \cdot k} \quad (4. 198)$$

$$N_a = \frac{0.03^4 \cdot 30 \times 10^6}{10.8 \cdot 0.27 \cdot 0.691} = 12.055$$

Los extremos son extremos tangentes resctos de 1 in.

ESPIRAS ACTIVAS

$$N_e = \frac{L_1 + L_2}{3 \cdot \pi \cdot D} \quad (4. 199)$$

$$N_e = \frac{0.5 + 0.5}{3 \cdot \pi \cdot 0.27} = 0.393$$

NUMERO DE ESPIRAS EN EL RESORTE

$$N_b = N_a - N_e \quad (4. 200)$$

$$N_b = 12.055 - 0.393 = 11.662 \cong 12$$

Las deflexiones angulares para las cargas especificadas son:

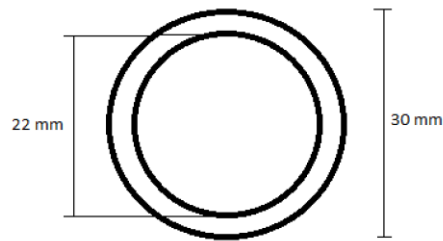
$$\theta_{min} \cong 10.8 \cdot \frac{M_{min} \cdot D \cdot N_a}{d^4 \cdot E} \quad (4. 201)$$

$$\theta_{min} \cong 10.8 \cdot \frac{0.8497 \cdot 0.27 \cdot 12.055}{0.03^4 \cdot 30 \times 10^6} = 1.229 \text{ rev} \approx 442.44^\circ$$

$$\theta_{max} \cong 10.8 \cdot \frac{M_{max} \cdot D \cdot N_a}{d^4 \cdot E} \quad (4. 202)$$

$$\theta_{max} \cong 10.8 \cdot \frac{0.89 \cdot 0.27 \cdot 12.055}{0.03^4 \cdot 30 \times 10^6} = 1.288 \text{ rev} \approx 463.68^\circ$$

4.2.10. DISEÑO DEL DESCORAZONADOR

**Figura 102 Transmisión de Movimiento**

Se desea estimar el diámetro que debe tener el descorazonador para soportar la fuerza ejercida por la manzana al momento del descorazonado. La fuerza mínima que se debe ejercer para la manzana es de 1.11 N. El material a utilizarse es el Acero AISI 304 que tiene un límite elástico de 175 -550 N/mm²

ÁREA TOTAL

$$A_T = A_{\text{cilindro}} - A_{\text{hueco}} \quad (4.203)$$

$$A_T = \frac{\pi(0.030)^2}{4} - \frac{\pi(0.022)^2}{4}$$

$$A_T = 3.27 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

COMPRESIÓN DEL CILINDRO

$$Com = \frac{C}{At} \quad (4.204)$$

$$Com = \frac{1.11 \text{ N}}{3.27 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$Com = 3.40 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} = 3.4 \text{ N/mm}^2$$

Tabla 107
Tabla de Características Técnicas del Acero Inoxidable

| TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE | | SERIE 300 - | | | | | | |
|--|--|-----------------------|--|---|---|---|--|--|
| | | Acero al Cromo Níquel | | | | | | |
| DESIGNACIÓN | TIPO ASTM (AISI) | 301 | 302 | 303 | 304 | 304 L | 321 | |
| | | COMPOSICIÓN QUÍMICA | C% 0,15 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 16,0018,00 Ni% 6,008,00 | C% 0,15 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 Ni% 8,0010,00 | C% 0,15 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 Ni% 8,0010,00 S% 0,15 Min. | C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 18,0020,00 Ni% 8,0010,50 | C% 0,030 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 18,0020,00 Ni% 8,0012,00 | C% 0,08 Máx. Mn% 2,00 Máx. Si% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 Ni% 9,0012,00 Ti% >5xC%0,07 |
| PROPIEDADES FÍSICAS | PESO ESPECÍFICO (g/cm ³) | 7,9 | 7,9 | 7,9 | 7,9 | 7,9 | 7,9 | |
| | MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm ²) | 193.000 | 193.000 | 193.000 | 193.000 | 193.000 | 193.000 | |
| | ESTRUCTURA | AUSTENÍTICO | AUSTENÍTICO | AUSTENÍTICO | AUSTENÍTICO | AUSTENÍTICO | AUSTENÍTICO | |
| | CALOR ESPECÍFICO A 20C (J/Kg K) | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | |
| | CONDUCTIBILIDAD TÉRMICA (W/m K) | a 100 C | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| | | a 150 C | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21,5 |
| | COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICO MEDIO (x 10 ⁶ C ⁻¹) | 0100 C | 16,92 | 17,28 | 17,3 | 17,30 | 17,30 | 16,74 |
| | | 0300 C | 17,10 | 17,82 | 17,8 | 17,80 | 17,80 | 17,10 |
| 0500 C | | 18,18 | 18,36 | 18,4 | 18,40 | 18,40 | 18,54 | |
| 0700 C | | 18,72 | 18,72 | 18,7 | 18,80 | 18,80 | 19,26 | |
| INTERVALO DE FUSIÓN (C) | 13981420 | 13981420 | 13981420 | 13981454 | 13981454 | 13981427 | | |
| PROPIEDADES ELÉCTRICAS | PERMEABILIDAD TÉRMICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO | AMAGNÉTICO 1,02 | AMAGNÉTICO 1,008 | AMAGNÉTICO 1,008 | AMAGNÉTICO 1,008 | AMAGNÉTICO 1,008 | AMAGNÉTICO 1,008 | |
| | CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C (μΩm) | 0,72 | 0,72 | 0,72 | 0,72 | 0,72 | 0,72 | |

El valor calculado de la compresión del cilindro entra en los límites del acero que se va a usar.

4.2.10.1. DISEÑO DE RESORTE HELICOIDAL PARA GUÍA DE CUCHILLA PELADORA

En el diseño del resorte helicoidal a torsión se lo analizará en sus estados deformados para obtener los datos mínimo y máximo, a los que se encuentra sometido.

El sistema guía tiene una parte curva y una recta, la deformación será mayor cuando la cuchilla peladora se encuentre empujando la parte curva.

La distancia entre la parte recta del sistema guía y la cuchilla peladora tiene una distancia de 14.93mm, mientras que la distancia entre la parte curva y la cuchilla peladora es de 0mm cuando no se encuentra incrustada una manzana.

La deformación para una manzana de 40mm de radio y para una de 25mm de radio cambia de la siguiente forma.

Sistema guía parte plana y eje de cuchilla peladora:

$$\begin{aligned} & \text{Deformación mínima} \\ & = (\text{Radio manzana} + \text{Tamaño cuchilla}) \\ & \quad - \text{Distancia guía cuchilla} \end{aligned} \quad (4. 205)$$

$$(40 + 27) - 14.93 = 52.07 \text{ mm y } 40.46^\circ$$

$$(25 + 27) - 14.93 = 37.07 \text{ mm y } 28.5^\circ$$

Sistema guía parte curva y eje de cuchilla peladora:

$$\text{Deformacion máxima} = \text{Radio manzana} + \text{Tamaño cuchilla} \quad (4. 206)$$

$$40 + 27 = 67\text{mm y } 52.83^\circ$$

$$25 + 27 = 52\text{mm y } 40.4^\circ$$

CÁLCULO DE MOMENTO MÍNIMO Y MÁXIMO

La fuerza que ejercerá el resorte al eje de la cuchilla debe ser muy pequeño para que no altere el comportamiento de la cuchilla. Se asumió una fuerza máxima de 0.02N y una mínima de 0.01 N. La longitud del sistema guía es de 73.5mm.

$$M_{min} = F_{min} \cdot r \quad (4. 207)$$

$$M_{min} = 0.01 \cdot (73.5 \times 10^{-3})$$

$$M_{min} = 0.000735 \text{ Nm} \cong 0.006505 \text{ lb in}$$

$$M_{max} = F_{max} \cdot r \quad (4. 208)$$

$$M_{max} = 0.02 \cdot (73.5 \times 10^{-3})$$

$$M_{max} = 0.00147 \text{ Nm} \approx 0.01301 \text{ lb in}$$

El alambre que se utiliza es de material ASTM A228 (alambre musical) debido a que es el más utilizado y por tanto más fácil de encontrar en el mercado.

El diámetro el alambre fue escogido con la ayuda de la Figura 101 Diámetros de alambre preferidos

Fuente: . El diámetro escogido es de 0.018 in \approx 0.4572 mm

CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA ESPIRA.

Para el cálculo de la espira se asumirá el índice del resorte $C = 12$.

$$D = C \cdot d \quad (4. 209)$$

$$D = 12 \cdot 0.018$$

$$D = 0.216 \text{ in} \approx 5.487 \text{ mm}$$

MOMENTOS MEDIO Y ALTERNANTE

$$M_m = \frac{M_{max} + M_{min}}{2} \quad (4. 210)$$

$$M_m = \frac{0.01301 + 0.006505}{2} = 9.758 \times 10^{-3} \text{ lb}$$

$$M_a = \frac{M_{max} - M_{min}}{2} \quad (4. 211)$$

$$M_m = \frac{0.01301 - 0.006505}{2} = 3.252 \times 10^{-3} \text{ lb}$$

FACTOR DE FLAXION DE WAHL K_{b1} , PARA LA SUPERFICIE INTERIOR

$$K_{b1} = \frac{4C^2 - C - 1}{4C(C - 1)} \quad (4. 212)$$

$$K_{b1} = \frac{4(12)^2 - 12 - 1}{4 \cdot 12 \cdot (12 - 1)} = 1.066$$

ESFUERZO DE COMPRESION

$$\sigma_{imax} = K_{b1} \cdot \frac{32 \cdot M_{max}}{\pi \cdot d^3} \quad (4. 213)$$

$$\sigma_{imax} = 1.09 \cdot \frac{32 \cdot 0.01301}{\pi \cdot 0.018^3} = 2.423 \times 10^4 \text{ psi}$$

FACTOR DE FLEXION DE WAHL K_{b0} SUPERFICIE EXTERIOR

$$K_{b0} = \frac{4C^2 + C - 1}{4C(C + 1)} \quad (4. 214)$$

$$K_{b0} = \frac{4(12)^2 + 12 - 1}{4 \cdot 12 \cdot (12 + 1)} = 0.941$$

ESFUERZOS MÁXIMO, MÍNIMO, ALTERNANTE Y MEDIO DE TENSIÓN EN LA SUPERFICIE EXTERIOR DE LA ESPIRA

$$\sigma_{0min} = K_{b0} \cdot \frac{32 \cdot M_{min}}{\pi \cdot d^3} \quad (4. 215)$$

$$\sigma_{0min} = 0.922 \cdot \frac{32 \cdot 0.006505}{\pi \cdot 0.018^3} = 1.069 \times 10^4 \text{ psi}$$

$$\sigma_{0max} = K_{b0} \cdot \frac{32 \cdot M_{max}}{\pi \cdot d^3} \quad (4. 216)$$

$$\sigma_{0max} = 0.922 \cdot \frac{32 \cdot 0.01301}{\pi \cdot 0.018^3} = 2.138 \times 10^4 \text{ psi}$$

$$\sigma_{0media} = \frac{\sigma_{0max} + \sigma_{0min}}{2} \quad (4. 217)$$

$$\sigma_{0media} = \frac{2.138 \times 10^4 + 1.069 \times 10^4}{2} = 1.603 \times 10^4 \text{ psi}$$

$$\sigma_{0alt} = \frac{\sigma_{0max} - \sigma_{0min}}{2} \quad (4. 218)$$

$$\sigma_{0alt} = \frac{2.138 \times 10^4 - 1.069 \times 10^4}{2} = 5.344 \times 10^3 \text{ psi}$$

RESISTENCIA A LA ÚLTIMA TENSIÓN S_{ut}

$$S_{ut} = Ad^b \quad (4. 219)$$

El material utilizado para el resorte es el alambre musical ASTM A228 que tiene los siguientes valores de coeficiente $A = 184649$ psi y exponente $b = -0.1625$ (Tabla 105) que se ha de utilizar en la ecuación (4. 191).

$$S_{ut} = 184649 \cdot 0.018^{-0.1625} = 3.547 \times 10^5$$

La resistencia de fluencia por flexión, suponiendo que no se han mitigado los esfuerzos.

$$S_y = 1 \cdot 3.547 \times 10^5 = 3.547 \times 10^5$$

RESISTENCIA LIMITE A LA FATIGA POR FLEXION DEL ALAMBRE PARA RESORTE NO GRANALLADOS

$$S_{ewfb} = \frac{45000}{0.577} = 7.799 \times 10^4 \text{ psi} \quad (4. 220)$$

RESISTENCIA A LA FATIGA POR FLEXIÓN TOTALMENTE INVERTIDO

$$S_e = 0.5 \cdot \frac{S_{ewfb} \cdot S_{ut}}{S_{ut} - 0.5 \cdot S_{ewfb}} \quad (4. 221)$$

$$S_e = 0.5 \cdot \frac{7.799 \times 10^4 \cdot 3.547 \times 10^5}{3.547 \times 10^5 - 0.5 \cdot 7.799 \times 10^4} = 4.381 \times 10^4 \text{ psi}$$

FACTOR DE SEGURIDAD CONTRA LA FATIGA

$$N_{fb} = \frac{S_e \cdot (S_{ut} - \sigma_{0min})}{S_e \cdot (\sigma_{0medio} - \sigma_{0min}) + S_{ut} \cdot \sigma_{0alt}} \quad (4. 222)$$

$$N_{fb} = \frac{4.381 \times 10^4 \cdot (3.547 \times 10^5 - 1.069 \times 10^4)}{4.381 \times 10^4 \cdot (1.603 \times 10^4 - 1.069 \times 10^4) + (3.547 \times 10^5 \cdot 5.344 \times 10^3)}$$

$$N_{fb} = 1.076$$

FACTOR DE SEGURIDAD ESTÁTICO CONTRA LA AFLUENCIA

$$N_{yb} = \frac{S_y}{\sigma_{imax}} \quad (4. 223)$$

$$N_{yb} = \frac{3.547 \times 10^5}{2.423 \times 10^4} = 14.64$$

CONSTANTE DEL RESORTE CON LA DEFLEXIÓN RELATIVA

$$K = \frac{\Delta M}{\theta} \quad (4. 224)$$

$$K = \frac{0.01301 - 0.006505}{0.1123} = 0.058 \text{ lb} - \text{in}/\text{rev}$$

DETERMINACIÓN DEL NUMERO DE ESPIRAS

$$N_a = \frac{d^4 \cdot E}{10.8 \cdot D \cdot k} \quad (4. 225)$$

$$N_a = \frac{0.018^4 \cdot 30 \times 10^6}{10.8 \cdot 0.216 \cdot 0.058} = 23.306$$

Los extremos son extremos tangentes resctos de 1 in.

ESPIRAS ACTIVAS

$$N_e = \frac{L_1 + L_2}{3 \cdot \pi \cdot D} \quad (4. 226)$$

$$N_e = \frac{0.5 + 0.5}{3 \cdot \pi \cdot 0.216} = 0.491$$

NUMERO DE ESPIRAS EN EL RESORTE

$$N_b = N_a - N_e \quad (4. 227)$$

$$N_b = 23.306 - 0.491 = 22.815 \cong 23$$

Las deflexiones angulares para las cargas especificadas son:

$$\theta_{min} \cong 10.8 \cdot \frac{M_{min} \cdot D \cdot N_a}{d^4 \cdot E} \quad (4. 228)$$

$$\theta_{min} \cong 10.8 \cdot \frac{0.006505 \cdot 0.216 \cdot 23.306}{0.018^4 \cdot 30 \times 10^6} = 0.112 \text{ rev} \approx 40.32^\circ$$

$$\theta_{max} \cong 10.8 \cdot \frac{M_{max} \cdot D \cdot N_a}{d^4 \cdot E} \quad (4.229)$$

$$\theta_{max} \cong 10.8 \cdot \frac{0.01301 \cdot 0.216 \cdot 23.306}{0.018^4 \cdot 30 \times 10^6} = 0.225 \text{ rev} \approx 81^\circ$$

4.3. DISEÑO ELECTRÓNICO

En el diseño electrónico, se dimensiona los actuadores que ayudaran a cumplir los procesos, se selecciona los drivers y elementos adecuados para el correcto funcionamiento.

4.3.1. CONSUMO DE SENSORES Y ACTUADORES

Para el funcionamiento de la máquina se utilizan, 3 motores DC con caja reductora, que realizaran las funciones de rotación de la manzana, pelado y descorazonado, y corte un motor a pasos para el posicionamiento de la torreta de manzanas y un sensor de distancia.

En la siguiente tabla se especifican las características de los elementos principales que intervienen en el proceso.

Tabla 108
Consumo de corriente de actuadores, sensores y controlador

| ELEMENTO | CÓDIGO | VOLTAJE | CORRIENTE | CARACTERÍSTICAS |
|---------------------|--------------|-----------|-----------|--------------------------------------|
| Sensor de Distancia | GPY0A41SKOF | 4,5 a 5,5 | 12mA | Mide distancias de 4 a 30cm |
| Motor a pasos | NEMA 23 | 5 V | 1A | Torque de 9Kg.cm, pasos de 1,8° |
| Motoreductor DC | DFGA32RO-39i | 12V | 1A | Torque de 5.4Kg.cm velocidad 300 rpm |
| Motoreductor DC | DFGA32RO-39i | 12V | 1A | Torque de 5.4Kg.cm velocidad 300 rpm |
| Motoreductor DC | | 12V | 800mA | |
| Controlador | Arduino Mega | 5V | 93mA | |

4.3.2. SELECCIÓN DE DRIVERS Y FUENTE

Con los datos obtenidos de la Tabla 108 seleccionamos los drivers adecuados para el manejo de los motores.

La Figura 103 Módulo puente H L298 muestra una placa que posee un circuito de L298, capaz de realizar la función de placa de potencia para controlar los motores DC y el motor a pasos.



Figura 103 Módulo puente H L298
Fuente: (geekfactory, 2017)

El módulo puente H L298 posee las siguientes características:

Corriente pico de 4 amperios, voltaje de alimentación de los motores de 4.8 voltios hasta 46 voltios, inmune al ruido, alimentación lógica de 6 a 12 voltios, temperatura de funcionamiento de -25 a +130 °C. (Bricogeek, 2017).

La fuente escogida es una fuente switching regulable de AC-DC 12V 10Amp, regulación de voltaje de 110V-220V, potencia de 120W, protección de sobrecarga y cortocircuito, dimensiones 200x100x43mm, doble bornera de salida, regulación de tensión, construida en aluminio y enfriamiento por convección de aire.



Figura 104 Fuente Switching 12V 10A
Fuente: (01seguridad, 2017)

4.3.3.DESARROLLO DEL ALGORITMO DE CONTROL

El algoritmo de control (Figura 105), muestra de forma gráfica como debe ser el comportamiento de la máquina, las posibles situaciones y como deben ser activados cada uno de los actuadores para cumplir el proceso.

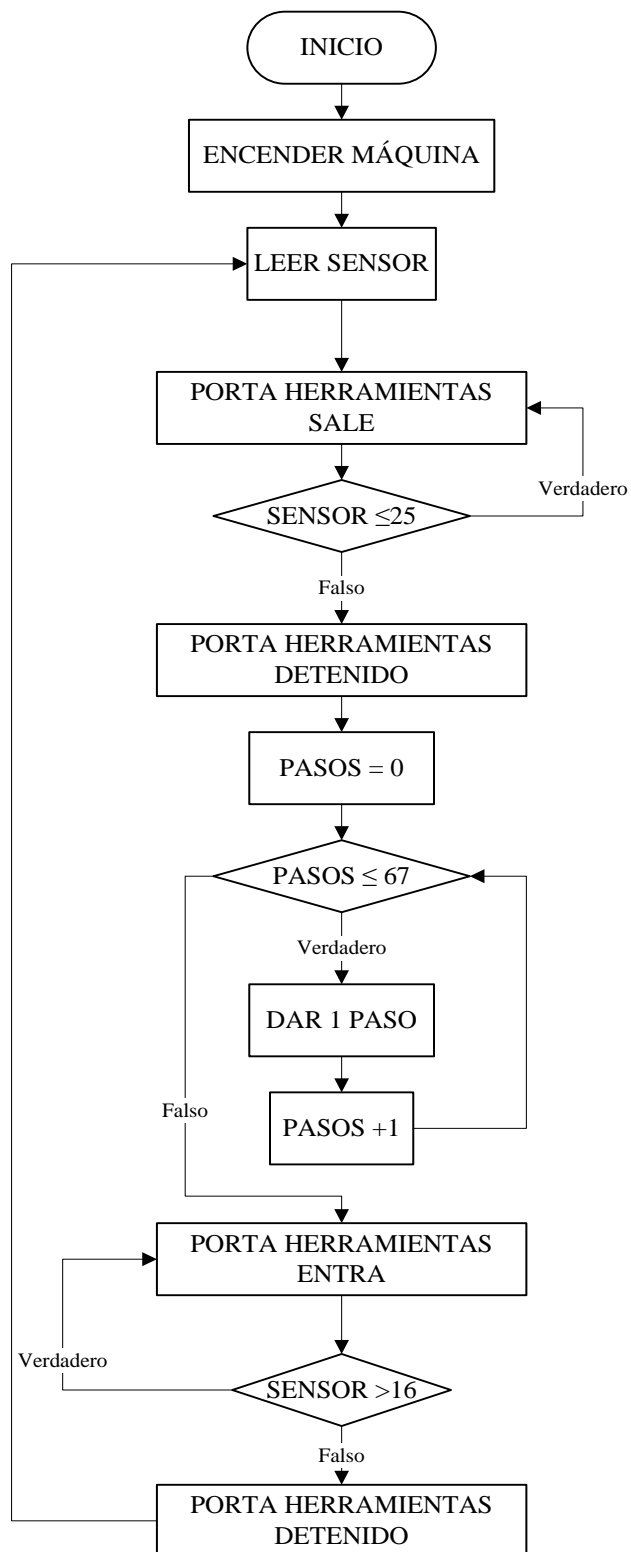


Figura 105 Algoritmo de Control

4.3.3.1. DISPOSICIÓN DE PINES DEL CONTROLADOR

El controlador Arduino tendrá las siguientes conexiones que se mostraran en su programación. La Tabla 109 y la Figura 106 Conexión de componentes muestran como están distribuidos los componentes en los pines de la placa controladora.

Tabla 109
Designación de Pines

| DESIGNACIÓN DE PINES ARDUINO | | | | |
|------------------------------|----------------|--------------|------------------|-----------------|
| ELEMENTO | FUNCIÓN | DRIVER | PINES DE ARDUINO | FUNCIÓN DEL PIN |
| MOTOR PAP | MOV. TORRETA | L298 | 25 | IN 1 |
| | | | 26 | IN 2 |
| | | | 27 | IN 3 |
| | | | 28 | IN 4 |
| MOTOR DC | MOV. CARRO | L298 | 10 | EN1 |
| | | | 9 | IN 1 |
| | | | 8 | IN 2 |
| MOTOR DC | GIRO MANZANA | L298 | 7 | EN1 |
| | | | 6 | IN 1 |
| | | | 5 | IN 2 |
| MOTOR DC | GIRO CUCHILLAS | L298 | 4 | IN 3 |
| | | | 3 | IN 4 |
| | | | 2 | EN2 |
| SENSOR | DISTANCIA | GP2Y0A41SK0F | A0 | |
| | | | GND | |
| | | | VCC | |

La Figura 106 muestra además la conexión de los motores dc y a pasos al módulo driver L298. El sensor de distancia está conectado al pin analógico 0, del cual se obtendrá el valor de distancia del carro porta herramientas.

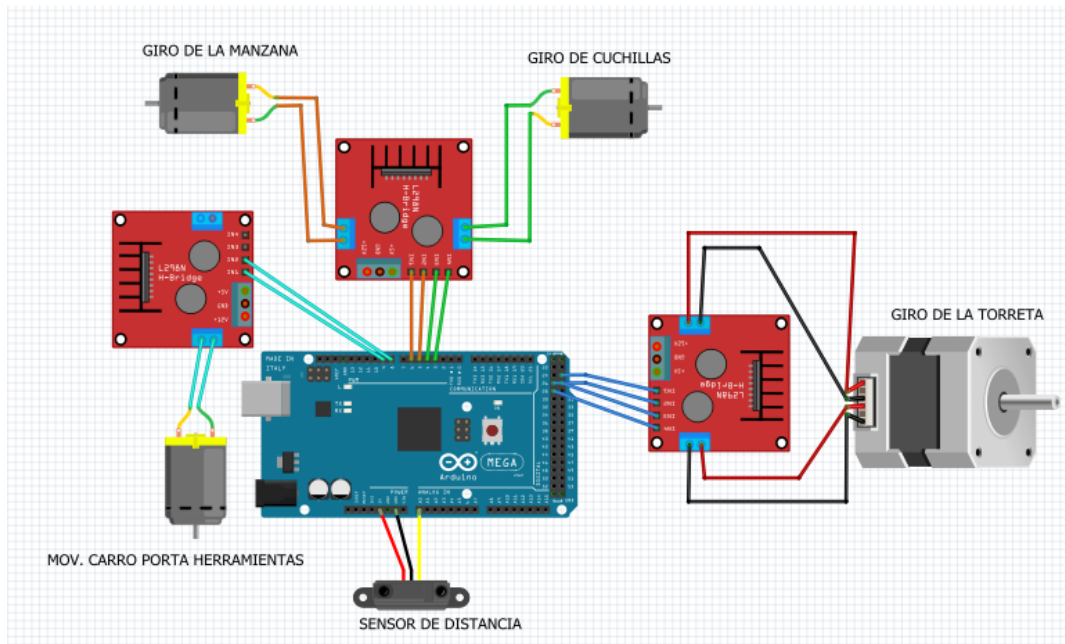


Figura 106 Conexión de componentes

4.3.3.2. PROGRAMACIÓN EN ARDUINO

La programación en el controlador Arduino se la realizó con ayuda de bibliotecas de la misma plataforma y de código abierto. El código utilizado en el programa cumple con el diagrama de bloques especificado anteriormente, El programa de Arduino utiliza la biblioteca Stepper, que facilita la programación del motor a pasos, además utiliza un sensor análogo de distancia.

4.3.4.PLACA DE POTENCIA

La placa de potencia se encargara de suministrar los voltajes de trabajo, para los elementos que interviene en el circuito.

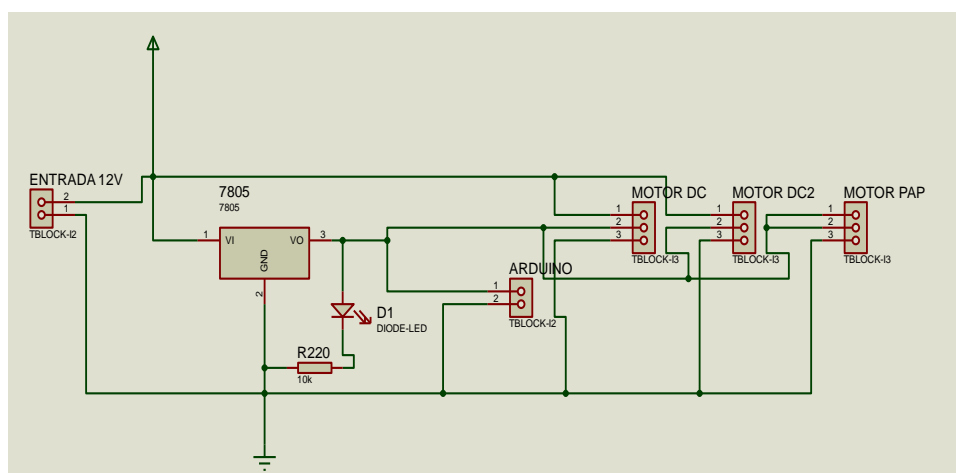


Figura 107 Circuito de Potencia

La estructuración de la placa se observa en la Figura 107 donde se puede observar, que los voltajes que intervendrán son de 12 voltios proporcionada por la fuente y 5 voltios que se logrará obtener de un regulador de voltaje de 5 voltios.

Los materiales utilizados se presentan en la Tabla 110 , aquí se muestra cual será la función de los elementos y que cantidad de ellos se utilizaran en el diseño y construcción.

Tabla 110
Elementos de Placa de potencia

| PLACA DE POTENCIA | | | |
|----------------------|-------|--|------------|
| ELEMENTO | CANT. | FUNCIÓN | NUMERACIÓN |
| Resistencia | 1 | Proteger al Led | R220 |
| Led | 1 | Mostrar funcionamiento de circuito de 5 voltios | |
| Regulador de voltaje | 1 | Regular el voltaje a 5 voltios | 7805 |
| Bornera de 3 | 3 | Conectar los voltajes de alimentación a los drivers | |
| Bornera de 2 | 2 | Conectar con la fuente y conectar con el controlador | |

La placa diseñada que se muestra en la Figura 108 Placa de Potencia se indica cómo están posicionados los elementos.

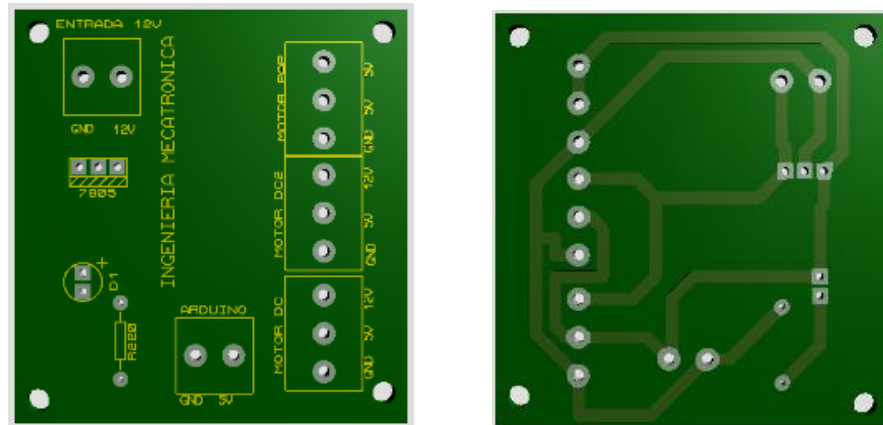


Figura 108 Placa de Potencia

Las dimensiones de la placa de potencia es 55 x 55 milímetros, con un ancho de pista de 1.65 milímetros o 65th capaz de soportar hasta 3.57 amperios.

(4. 230)

$$\text{Ancho de pista} = \text{Área} / (\text{Alto} \times 1.378)$$

Donde el área tiene la siguiente fórmula.

$$\text{Área} = \left(\frac{I}{k_1 \times \Delta T^{k_2}} \right)^{\frac{1}{k_3}} \quad (4. 231)$$

La I representa la corriente máxima, ΔT es la diferencia de temperatura de la pista con respecto a la temperatura ambiente y k_1 , k_2 , k_3 son constantes para el cálculo que tiene diferentes valores en caso de que la pista sea interna o se encuentre expuesta.

Como se observa en la Figura 108 las pistas se encuentran expuestas por lo tanto los valores para las constantes son: $k_1= 0.0647$, $k_2= 0.4281$, $k_3=0.6732$.

Remplazando la ecuación (4. 231) en la ecuación (4. 230), obtenemos la siguiente ecuación.

$$\text{Ancho de pista} = \frac{\left(\frac{I}{k_1 \times \Delta T^{k_2}} \right)^{\frac{1}{k_3}}}{(\text{Alto} \times 1.378)} \quad (4. 232)$$

Remplazando los datos en la ecuación (4. 232), se obtiene lo siguiente.

$$65 = \frac{\left(\frac{I}{0.0647 \times 10^{0.4281}} \right)^{\frac{1}{0.6732}}}{(1 \times 1.378)}$$

Despejando I, tenemos que el valor de corriente máximo soportado por el ancho de pista escogido es de 3.57 amperios.

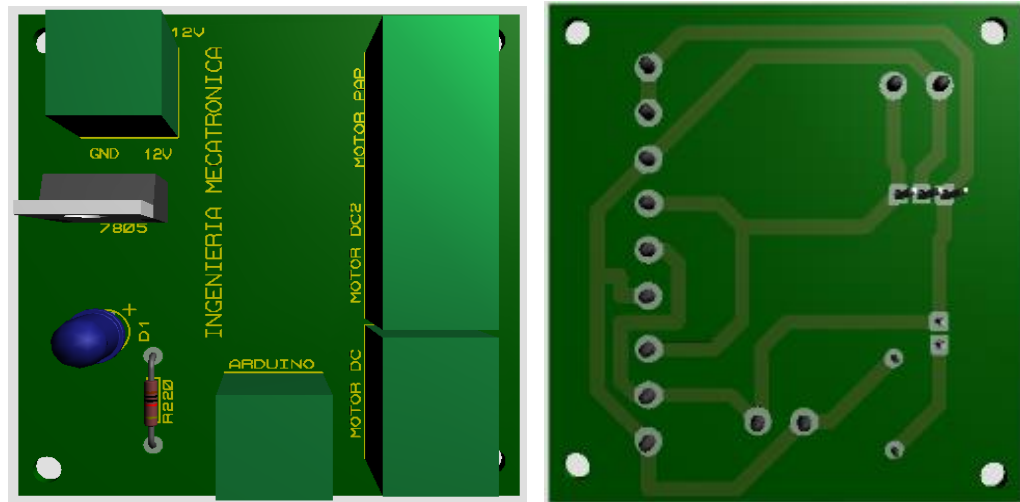


Figura 109 Placa de potencia con componentes

4.4. REDISEÑO

Durante la adquisición de materiales y construcción de la máquina se realizaron algunos cambios, que fueron en algunos casos para dar mayor robustez y otros por la dificultad y costo de algunos materiales.

Uno de los cambios realizados fue en los rodamientos de la torreta ponerle una camisa con rodamientos, para que disminuya la longitud del eje en voladizo mejorando el tiempo de vida del eje. Los cambios realizados se los puede encontrar en la parte de anexos en los planos.

Otro de los cambios realizado fue en el husillo de bolas debido al costo que este suponía, se encontró en el mercado un tornillo sin fin con un paso de 4 (Figura 110).



Figura 110 Tornillo sin fin
Fuente: (Bangood, 2017)

Con estos nuevos datos se realizaron los siguientes cálculos para una selección del motor más adecuada.

La velocidad de avance será de 16mm/s

$$V_{max} = \frac{\text{Velocidad de avance}}{Ph} \times 60 \quad (4. 233)$$

$$V_{max} = \frac{16}{4} \times 60 = 240rpm \approx 300rpm$$

$$300rpm \equiv 31.42 \text{ rad/s}$$

Los datos de velocidad nos indican que el motor debe tener una velocidad de 300 rpm, este dato se utilizara para calcular el torque de arranque del motor.

Calculo de la inercia

$$I = \frac{1}{12} \cdot m \cdot r^2 \quad (4.234)$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot 0.3 \cdot (90 \times 10^{-3})^2 = 2.025 \times 10^{-4}$$

$$w = w_0 + \alpha t \quad (4.235)$$

$$31.42 = 0 + \alpha$$

$$\alpha = 31.42 \text{ rad/s}^2$$

$$T = I \cdot \alpha \quad (4.236)$$

$$T = 2.025 \times 10^{-4} \cdot 31.42 = 0.0064 \text{ Nm}$$

El motor que cumple con las características es el siguiente.



**Figura 111 Motor con caja reductora 300rpm 12V
Fuente: (Amazon, 2017)**

Los datos técnicos del motor se pueden ver en la Tabla 111

Tabla 111
Datos técnicos de motor DC 300 rpm

| VOLTAJE | VELOCIDAD | TORQUE | |
|----------------|------------------|---------------|------------|
| V | Rpm | Kg cm | N m |
| 12 | 300 | 5.8 | 0.57 |

En el presente capítulo se realizó los cálculos necesarios para el dimensionamiento de la máquina, para que pueda sustentar cada una de las actividades, tomando como referencia los conceptos desarrollados en el capítulo tres.

Se puede observar en los cálculos la vida útil y factor de seguridad de los componentes mecánicos que estarán más expuestos a las fuerzas que intervendrán durante las actividades para procesar las manzanas.

En la parte electrónica, se encuentra el diagrama de bloques que indica cual es el funcionamiento de los actuadores, de acuerdo a las sentencias programadas.

CAPÍTULO 5

5.1. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

El capítulo cinco, se realizaron las pruebas de funcionamiento de las partes de la máquina, los objetivos de las pruebas y se detalla las actividades realizadas durante las mismas.

5.1.1. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE POSICIONAMIENTO DE LA TORRETA

5.1.1.1. OBJETIVO

Verificar que la programación del giro de la torreta, alcance las posiciones de trabajo, donde la manzana será procesada, sin que haya colisiones con los demás elementos de la máquina.

5.1.1.2. PERSONAS A CARGO DE LA PRUEBA

- Juan Carlos Jaramillo Cepeda

5.1.1.3. ACTIVIDADES

Las actividades a realizar son las siguientes:

- Encender la máquina
- Verificar alimentación del controlador y motor PAP
- Verificar conexión del driver.
- Cargar el programa
- Verificar giro de la torreta.

5.1.1.4. ENTRADAS

- Energía eléctrica (110 V, 60Hz)

5.1.1.5. SALIDA

- Movimiento de la torreta

5.1.1.6. ESQUEMA

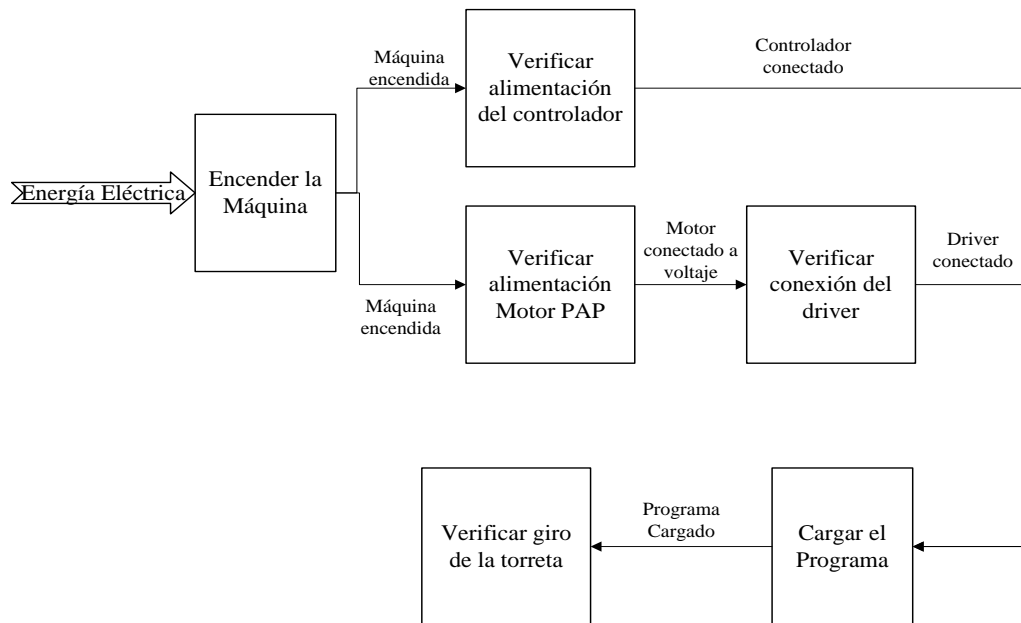


Figura 112 Actividades en la prueba de Funcionamiento Posicionamiento de torreta

5.1.1.7. OBSERVACIONES

En la prueba de posicionamiento de la torreta, se puede observar que el movimiento de la torreta es el adecuado, se posiciona en cada una de las posiciones de procesado.

5.1.2. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO MOVIMIENTO CARRO PORTA HERRAMIENTAS

5.1.2.1. OBJETIVO

Verificar que la programación del controlador, cumpla con las funciones requeridas, verificar el funcionamiento de los sensores y actuadores del sistema.

5.1.2.2. PERSONAS A CARGO DE LAS PRUEBAS

- Juan Carlos Jaramillo Cepeda

5.1.2.3. ACTIVIDADES

- Encender la máquina

- Comprobar conexión del motor DC
- Verificar conexión de la placa de potencia
- Comprobar la conexión del sensor
- Cargar el programa
- Verificar que el programa realice los movimientos establecidos para cada parte
- Terminar el proceso

5.1.2.4. ENTRADAS

- Energía eléctrica

5.1.2.5. SALIDA

- Movimiento del carro porta herramientas

5.1.2.6. ESQUEMA

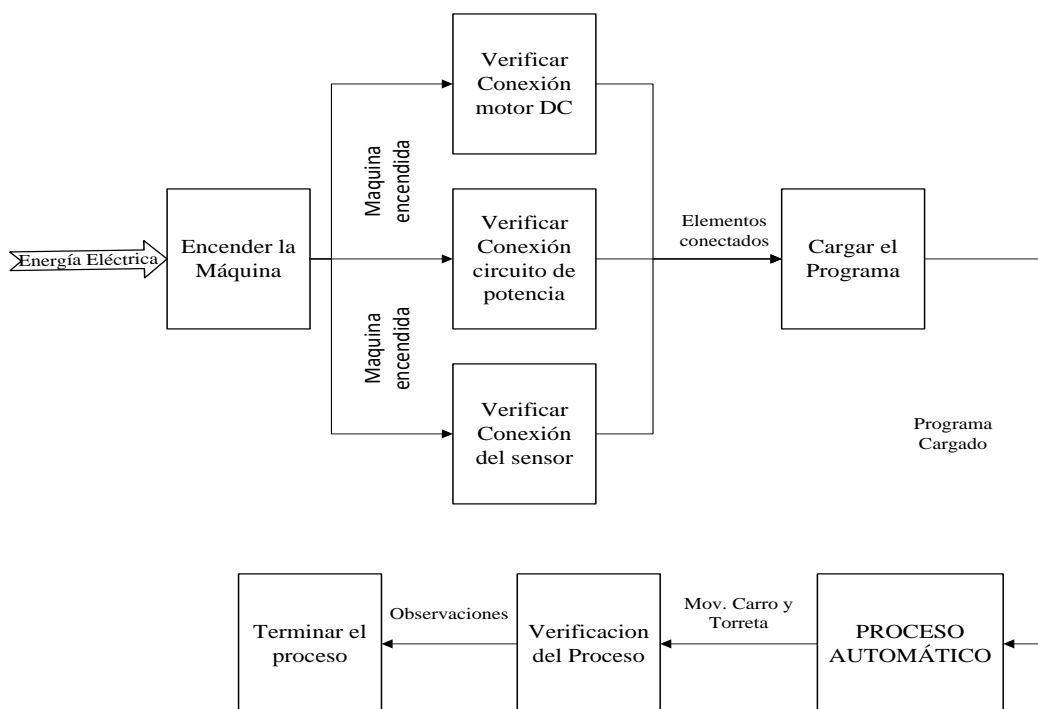


Figura 113 Actividades en la prueba de funcionamiento de Movimiento del carro porta herramientas

5.1.2.7. OBSERVACIONES

En la prueba de funcionamiento del movimiento del carro portaherramientas, se puede verificar que sale de su posición inicial que es a una distancia de aproximadamente 17 centímetros con respecto a la tapa frontal de la máquina, una

vez que llega a una distancia de aproximada de 25 centímetros con respecto al mismo punto de referencia, se realiza el cambio de giro en el motor, logrando que regrese a su posición de partida.

Esto nos indica que la calibración del sensor así como la programación es la adecuada para el control del carro portaherramientas.

5.1.3. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DESCORAZONADO Y PELADO DE LA MANZANA

5.1.3.1. OBJETIVO

Comprobar la velocidad de rotación de la manzana y la velocidad de avance del carro, sean correctas para pelar la manzana.

5.1.3.2. PERSONAS A CARGO DE LAS PRUEBAS

- Juan Carlos Jaramillo Cepeda

5.1.3.3. ACTIVIDADES

- Encender la máquina
- Verificar conexión del motor de giro de la manzana
- Comprobar conexión placa del circuito de potencia
- Cargar programa
- Insertar la manzana
- Confirmar que el programa ejecute los movimientos
- Terminar el proceso

5.1.3.4. ENTRADA

- Energía eléctrica (110 v, 60Hz)

5.1.3.5. SALIDAS

- Movimiento de la máquina

5.1.3.6. ESQUEMA

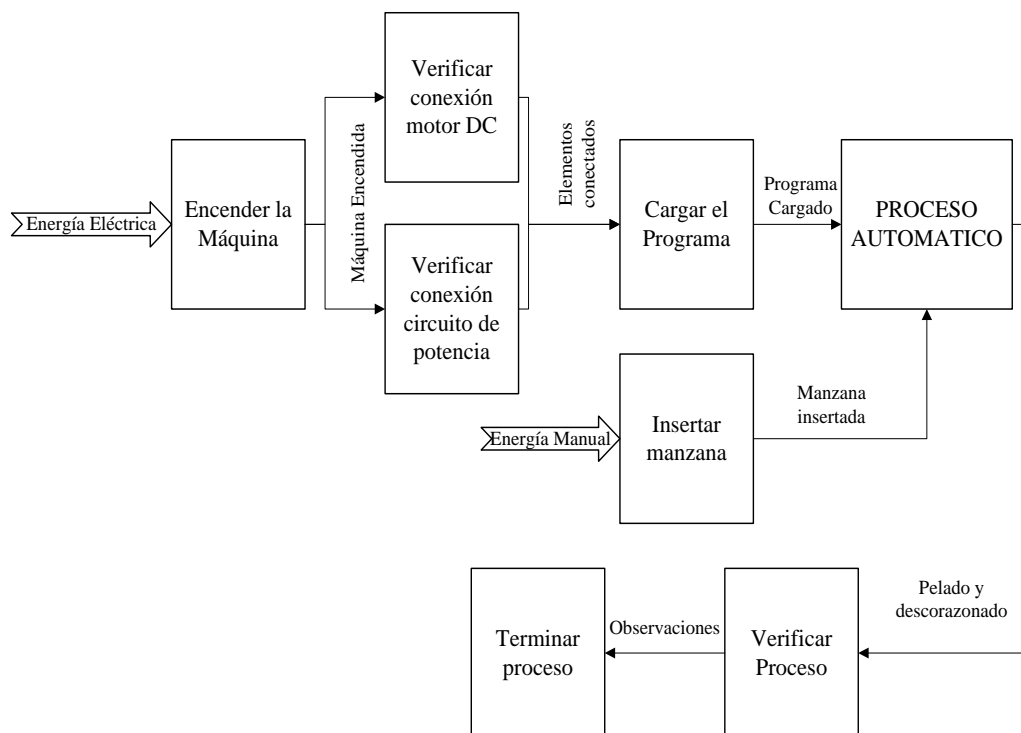


Figura 114 Actividades en Prueba de funcionamiento de Pelado y descorazonado

5.1.3.7. OBSERVACIONES

En la prueba de pelado y descorazonado de la manzana, se observó que la velocidad de rotación de la manzana con respecto al avance de la misma era muy rápida, por lo cual se procedió a regular la velocidad del motor mediante la variación en el ancho de pulso del motor encargado de girar la manzana.

5.1.4. PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE REBANADO DE LA MANZANA

5.1.4.1. OBJETIVO

Comprobar que la velocidad de rotación de las cuchillas con respecto al giro de la manzana, para que la manzana sea rebanada en toda su periferia.

5.1.4.2. PERSONAS A CARGO DE LAS PRUEBAS

- Juan Carlos Jaramillo Cepeda

5.1.4.3. ACTIVIDADES

- Encender la máquina.
- Verificar conexión del motor de giro de la manzana.
- Verificar conexión del motor de giro de cuchillas.
- Comprobar conexión de placas del circuito de potencia.
- Cargar programa.
- Insertar la manzana.
- Confirmar que el programa ejecute los movimientos.
- Terminar el proceso.

5.1.4.4. ENTRADA

- Energía eléctrica (110 v, 60Hz)

5.1.4.5. SALIDAS

- Movimiento de la máquina

5.1.4.6. ESQUEMA

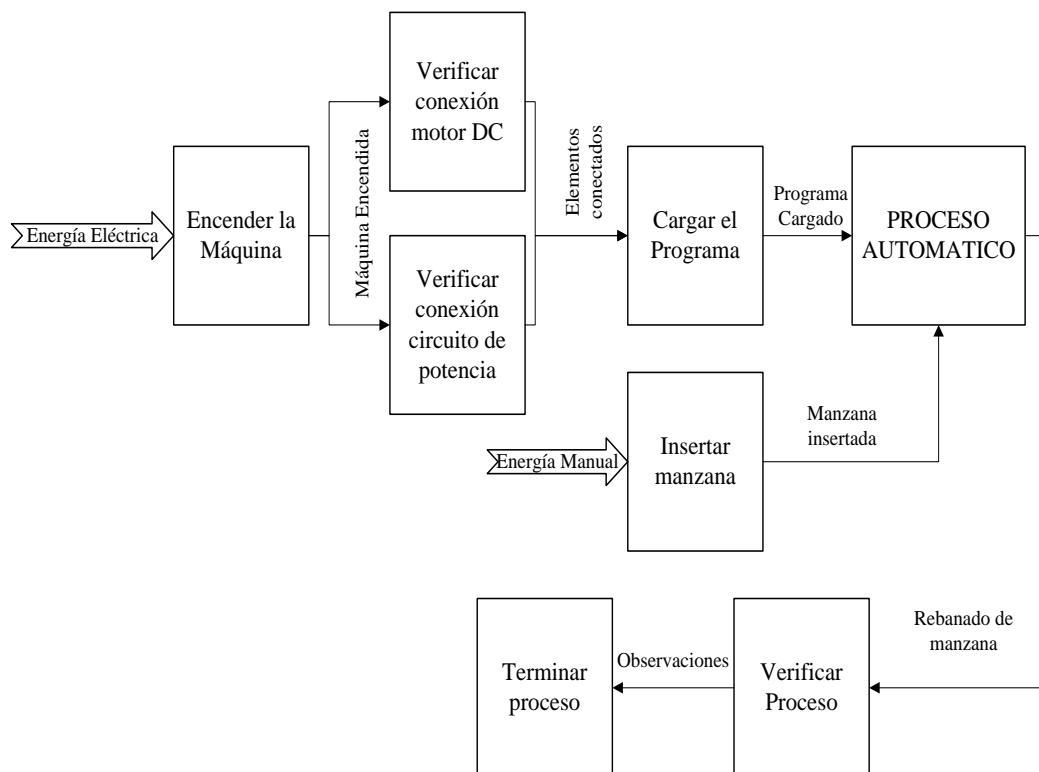


Figura 115 Actividades en Prueba de funcionamiento de Rebanado de la manzana

5.1.4.7. OBSERVACIONES

En la prueba de rebanado de la manzana, se observó que la velocidad de rotación de la manzana con respecto al giro de la cuchilla no era la adecuada, ya que la manzana no salía completamente rebanada. Se procedió a variar el ancho de pulso del motor que gira las cuchillas. Con los cambios realizados se observó una notable mejora en el corte de la manzana.

En este capítulo se realizó cuatro pruebas de funcionamiento, para ver que cumpla el posicionamiento de la torreta, el movimiento del carro porta herramientas, el pelado de la manzana y el rebanado de la manzana. Se estructuró un diagrama de pruebas de funcionamiento, para tener en cuenta los pasos a seguir al ejecutar las pruebas de funcionamiento.

CAPÍTULO 6

6.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se redacta, algunas conclusiones y recomendaciones para el buen manejo del prototipo de procesadora de manzanas. Así como la limpieza y mantenimiento de la misma.

6.1.1. CONCLUSIONES

- Se diseñó, construyó e implemento un prototipo de máquina procesadora de manzanas, que pela, corta en rodajas y descorazona.
- Se realizó un análisis y diseño modular para que el prototipo sea flexible, sus etapas de procesamiento se encuentran con actuadores independientes que facilita realizar cambios en la operación de la máquina.
- Se diseñó una máquina flexible capaz de realizar cambios a nivel de programación, de esta forma se economizó recursos al momento de su construcción.
- Los actuadores para cada proceso son independientes.
- Los materiales utilizados en contacto directo con las manzanas, cumplen con las normativas de higiene y seguridad alimentaria, los elementos que se encuentran en contacto directo son de acero inoxidable AISI 304 grado alimenticio.
- La máquina se diseñó y desarrolló de tal forma que su manipulación sea intuitiva, y no necesite de una capacitación especializada para su uso.
- El sistema de control se realizó con un microcontrolador ATmega 2560, situada en la placa Arduino mega 2560, la cual realiza un control ON/OFF, los actuadores están conectados a las placas de potencia (drivers), para realizar los procesos de posicionamiento, cortado en rodajas, pelado y descorazonado.
- Se ejecutaron cuatro pruebas de funcionamiento de la máquina, posicionamiento de la manzana, movimiento del carro porta herramientas, rebanado de la manzana, pelado y descorazonado de la manzana, en las cuales se observó la flexibilidad del diseño del sistema al realizar las pruebas independientemente.

6.1.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para un buen funcionamiento del prototipo de máquina peladora de manzanas, se debe realizar mantenimiento preventivo por lo menos una vez al año.
- Los elementos que deban ser lubricados, se recomienda que la grasa para los componentes mecánicos debe cumplir con las normas de la FDA o tener la

certificación NSF-H1 para evitar contaminación en el producto que puede generar enfermedades en quienes lo consuman.

- Una vez terminado el uso de la máquina, el procedimiento de limpieza de la máquina se lo puede realizar mediante el método de espuma a baja presión. Con limpieza manual con detergente, para evitar que los ácidos a los que se expone la máquina lleguen a corroerla.
- El proceso de limpieza habitual debería ser sin desmontar los elementos y componentes, haciendo que el proceso sea rápido, sin embargo se recomienda una limpieza intensiva por los menos una vez a la semana en caso de que la maquina se utilice a diario, para evitar focos de infección que contagien al producto,
- El detergente a utilizar para la limpieza debe ser soluble en agua, desprender rápidamente los restos de alimentos de los componentes, tolerantes con las superficies sin provocar corrosión. (FESTO, 2013).

6.2. Bibliografía

- 01seguridad. (28 de Enero de 2017). *Fuente Switching 12v 10A en gabinete metalico*. Obtenido de 01seguridad: https://www.01seguridad.com.ar/fuente-switching-12v-10a-10amp-switching-leds-camaras-120w-01SEGURIDAD-_443
- Acerosbohler. (1 de Noviembre de 2016). *Aceros Inoxidables*. Obtenido de Aceros Bohler: <http://www.acerosbohler.com/spanish/1707.php>
- Alexandre, J. (13 de Febrero de 2017). *Algoritmo para el calculo del ancho de pista de una placa de circuito impreso*. Obtenido de Cuningan Files: <https://cuningan.files.wordpress.com/2010/10/calculos-ancho-pista.pdf>
- Amazon. (2 de Enero de 2014). *Professional Peeler Slicer*. Obtenido de Amazon: https://www.amazon.com/Kitchen-Basics%C2%AE-Professional-Peeler-Slicer/dp/B00HNEOPQG?ie=UTF8&keywords=apple%20peeler&linkCode=s11&linkId=dc5ef93f06c0e12e67c982cad3acfeb6&qid=1443523832&ref_=as_li_ss_tl&s=kitchen&sr=1-3&tag=fdy-tub-20
- Amazon. (24 de septiembre de 2016). *SkyQ 12V 200 RPM Gear Box Motor High Torque DC Electric Motor Speed Reduction 5000r/min Output Shaft*. Obtenido de amazon: https://www.amazon.com/SkyQ-Geared-Motor-Electric-Reducer/dp/B01H6ZQZ7S/ref=sr_1_1?ie=UTF8&qid=1474743655&sr=8-1&keywords=motor+dc+200+rpm
- Amazon. (16 de Octubre de 2016). *uxcell DC 24V 1000RPM 6mmx15mm Shaft 37mm Body Dia Magnetic Gearbox Motor*. Obtenido de Amazon: https://www.amazon.com/uxcell-1000RPM-6mmx15mm-Magnetic-Gearbox/dp/B00DN78FCM/ref=sr_1_13?ie=UTF8&qid=1476225165&sr=8-13&keywords=dc+motor+1000rpm
- Amazon. (8 de Febrero de 2017). *uxcell DC 12V 300RPM Gear Box Motor Speed Reduction Electrical Gearbox Centric Output Shaft*. Obtenido de Amazon: https://www.amazon.com/uxcell-Reduction-Electric-Eccentric-Diameter/dp/B01KTZXZZM/ref=sr_1_fkmr1_3?s=hi&ie=UTF8&qid=1487294624&sr=1-3-fkmr1&keywords=DC%2B12V%2B300RPM%2BMicro%2BGear%2BBox

%2BMotor%2BSpeed%2BReduction%2BElectric%2BGearbox%2BCentric
%2BOutput

- Arduino . (14 de Octubre de 2016). *What is Arduino*. Obtenido de Arduini:
<https://www.arduino.cc/>
- Arduino. (24 de septiembre de 2016). *Arduino Mega*. Obtenido de Arduino foro:
<http://forum.arduino.cc/index.php?topic=125908.0>
- Bangood. (15 de Febrero de 2017). *Tornilo sin fin T8*. Obtenido de Bangood:
<http://www.banggood.com/es/T8-Lead-Screw-500mm-8mm-Nut-KP08-Bearing-Bracket-Coupling-3D-Printer-CNC-p-1091943.html>
- Bricogeek. (28 de Enero de 2017). *Controlador de motores doble puente H L298*. Obtenido de Bricogeek: <http://tienda.bricogeek.com/motores/285-controlador-de-motores-doble-puente-h-l298.html>
- Castillo Rodríguez, F. (7 de Septiembre de 2016). *Diseño de elementos de máquinas*. Obtenido de olimpia.cuautitlan:
http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_me/m1/disenio_elementos%20de%20maquinas.pdf
- Cetronic. (24 de Septiembre de 2016). *Catalogo Cetronic*. Obtenido de Fin de carrera:
<http://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/Catalogo.jsp?idIdioma=1&idTienda=93&cPath=1160>
- Cetronic. (24 de Septiembre de 2016). *Puente H*. Obtenido de Catalogo Cetronic:
<http://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/Catalogo.jsp?idIdioma=1&idTienda=93&cPath=1160>
- Consortium of Cognitive science. (15 de 10 de 2016). *CCSI*. Obtenido de http://www.mind.ilstu.edu/curriculum/medical_robotics/motors.php
- Cortez Pazmiño, B. H., & Erazo Arteaga, V. A. (N/A de Junio de 2013). Diseño y construcción de un prototipo de telar plano automático programable con interface HMI. *Tesis previa a la obtención del grado de máster en diseño, producción y automatización industrial*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Cuningan. (13 de Febrero de 2017). *Cálculo de ancho de pista en una PCB*. Obtenido de Simplificate 2.0:
<https://cuningan.wordpress.com/2010/10/19/calculo-de-ancho-de-pista-en-una-pcb/>
- DIPAC Productos de Acero . (1 de Noviembre de 2016). *Acero Inoxidable AISI*. Obtenido de Dipac Manta: <http://www.dipacmanta.com/ejes/acero-inoxidable-aisi>

- Dirección general de normas mexicanas . (1993). *Dureza de la Manzana . NMFX-FF-061-1993 Fruta Fresca Manzana* . México, México: Direccion general de Normas .
- Directindustry. (24 de septiembre de 2016). *Boton de emergencia* . Obtenido de directindustry products: <http://www.directindustry.es/prod/emas/product-38087-774057.html>
- DX. (24 de septiembre de 2016). *Boton on off*. Obtenido de Catalogo Boton on off: <http://www.dx.com/es/p/ac-220-380v-waterproof-on-off-push-button-switch-167441#.V-bkKih96M8>
- ebay. (24 de Septiembre de 2016). *Módulo RAMPS 1.4*. Obtenido de ebay Shield Arduino: <http://www.ebay.es/itm/MODULO-RAMPS-1-4-PLACA-ELECTRONICA-Arduino-Shield-IMPRESORA-3D-REPRAP-PRUSA-/152038599760>
- Ecuale. (26 de Junio de 2016). *Provincia de Tungurahua*. Obtenido de Ecuale: <http://www.ecuale.com/tungurahua/>
- El Comercio . (30 de Abril de 2011). Seis variedades de manzanas se encuentran en la Sierra centro. Quito, Pichincha, Ecuador.
- elacero. (1 de Noviembre de 2016). *Acero Inoxidable*. Obtenido de El Acero: <http://www.elacero.com.ec/pdf/aceros.pdf>
- Electrical Engineering Portal. (22 de Octubre de 2016). *5 pasos para elegir el mejormotor para su aplicación*. Obtenido de Automatizacion Industrial, Robótica e industria 4.0: <http://www.infopl.net/documentacion/21-motion-control-motores/1823-5-pasos-para-elegir-el-mejor-motor-para-su-aplicacion>
- Ensinger. (22 de Julio de 2016). *Plásticos para la industria alimentaria*. Obtenido de ensinger-inc.com: http://www.ensinger-inc.com/downloads/lit_spanish/Plasticos_industria-alimentaria.pdf
- Espinosa, & Domínguez. (15 de Mayo de 2003). *La ingeniería concurrente una filosofía actual con plenas perspectivas de futuro*. Obtenido de Interempresas.net: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/11292-La-ingenieria-concurrente-una-filosofia-actual-con-plenas-perspectivas-de-futuro.html>
- Evans, B. (N/A de Agosto de 2007). *Arduino Notebook*. Obtenido de Playground.arduino: http://playground.arduino.cc/uploads/Main/arduino_notebook_v1-1.pdf
- FESTO. (N/A de Diciembre de 2013). *Diseño de máquinas y especificaciones de diseño*. Obtenido de FESTO: https://www.festo.com/rep/es_es/assets/pdf/FOOD_manual_design_es.pdf

- FESTO. (5 de 10 de 2013). *El reto de la limpieza: ¡Limpio y seguro!* Obtenido de Conocimientos profesionales y soluciones para la industria alimentaria y de bebidas:
https://www.festo.com/rep/es_es/assets/pdf/FOOD_manual_cleaning_es.pdf
- FESTO. (N/A de Diciembre de 2013). *Materiales*. Obtenido de FESTO:
https://www.festo.com/rep/es_es/assets/pdf/FOOD_manual_materials_es.pdf
- Festo. (N/A de N/A de 2015). *Conocimiento Básico y avanzado, Sectores de Producción*. Obtenido de FESTO:
https://www.festo.com/cms/es_es/16983_17008.htm#id_14788
- G&Cia. (7 de Febrero de 2012). *Descorazonadro de manzanas Cuisipro*. Obtenido de Gastronomía y Cia:
<http://gastronomiaycia.republica.com/2012/02/07/descorazonador-de-manzanas-cuisipro/>
- Garcia, E. (2008). *Copilador de C CCS y simulador Proteus para Miconroladores PIC*. México: Alfaomega.
- GASTRONOMIA & CIA. (7 de Febrero de 2012). *Descorazonador de Manzanas Cuisipro*. Obtenido de GASTRONOMIA & CIA:
<http://gastronomiaycia.republica.com/2012/02/07/descorazonador-de-manzanas-cuisipro/>
- geekfactory. (28 de Enero de 2017). *Módulo Driver puente H L298N*. Obtenido de GeekFactory: <http://www.geekfactory.mx/tienda/motores-y-controladores/modulo-puente-h-l298n/>
- I.E.S. Burguillos-Dpto. de Tecnología. (N/A de N/A de 2009). *Teoria Arduino 2009*. Obtenido de cscjprofes: http://www.cscjprofes.com/wp-content/uploads/2014/02/teoria_arduino2009.pdf
- INEN. (31 de Julio de 2014). Seguridad e higiene de maquinaria para procesamiento. *RESOLUCIÓN No. 14346*, 1-5. Quito, Pichincha , Ecuador: Ministerio de industrias y productividad .
- INGEMAQ. (N/A de N/A de N/A). *Descremadoras de Leche 300 litros*. Obtenido de ingemaq.ec: <http://ingemaq.ec/index.php/selladoras-alimentos-empaques-alimentos-fechadoras-codificadoras-empacadoras-de-carne-lllenadoras-de-leche-envolvedoras-de-alimentos-sacheteadoras-maquinaria-industrial-alimentos/procesadoras-de-alimentos/product/54-descremador>
- INGEMAQ. (N/A de N/A de N/A). *Extrusora de Cereal*. Obtenido de ingemaq.ec: <http://ingemaq.ec/index.php/selladoras-alimentos-empaques-alimentos-fechadoras-codificadoras-empacadoras-de-carne-lllenadoras-de-leche-envolvedoras-de-alimentos-sacheteadoras-maquinaria-industrial-alimentos/procesadoras-de-alimentos/product/48-extrusora-p>

- Instituto Ecuatoriano de Normalizacion . (17 de Diciembre de 2012). Principios Generales de higiene de los alimentos . *Código de práctica ecuatoriano*. Quito, Pichincha , Ecuador : Instituto Ecuatoriano de Normalizacion .
- Inteligencia artificial. (15 de 10 de 2016). *inteligencia artificial*. Obtenido de inteligencia artificial:
<http://www.inteligenciaartificialyrobotica.com/esp/item/63/17/motor-a-pasos-unipolarbipolar>
- Irestal Group. (15 de Octubre de 2016). *Tablas Técnicas del acero Inoxidable*. Obtenido de Irestal:
<http://data.irestal.com/files/files/2012030204152933979.pdf>
- Kluber Lubrication. (Abril de 2014). *Moving beyond NSF H1 What the ISO 21469 lubricant standard means for food safety*. Obtenido de Kluber:
http://www.klueber.com/ecomaXL/get_blob.php?name=Kluber_Lubrication-Moving_beyond_NSF_H1_lowres_14.04_Ed.pdf
- KRONEN. (N/A de N/A de 2014). *Procesadora de Manzanas AS4*. Obtenido de KRONEN : <http://www.kronen.eu/es/maschinen/as4>
- Kutz, M. (2007). *Handbook of Farm, Dairy, and Food Machinery*. Norwich, NY: William Andrew Publishing.
- La Manzana . (N/A de N/A de 2016). *Definición de manzana* . Obtenido de La Manzana.xyz: <http://lamanzana.xyz/definicion/>
- Ma San Zapata, J. F. (2013). *DIseño de Elementos de Máquinas I*. Piura: Universidad Nacional de Piura.
- Madrid Salud. (N/A de N/A de 2011). *Materiales en Contacto con alimentos* . Obtenido de Madrid + Salud:
http://www.madridsalud.es/temas/materiales_contacto_alimentos.php
- Mercado Libre. (24 de Septiembre de 2016). *Fuente 12V*. Obtenido de Mercado Libre: http://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-409696031-transformador-fuente-poder-camaras-cctv-12v-21a-3a-63a-8a-_JM
- MikroElektronika. (14 de Octubre de 2016). *Introducción al mundo de los Microcontroladores*. Obtenido de MikroElektronika:
<http://learn.mikroe.com/ebooks/microcontroladorespicc/chapter/introduccion-al-mundo-de-los-microcontroladores/>
- Myszka, D. (2012). *Máquinas y Mecanismos*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Norton, R. (2011). *Diseño de Máquinas un enfoque integrado*. México: Pearson Educación.
- NSK. (15 de Septiembre de 2016). *Rodamientos*. Obtenido de nsk.com:
<http://www.nsk.com>

- NTN. (5 de Noviembre de 2016). *Bearing Units*. Obtenido de NTN Part Community: http://ntn.partcommunity.com/3d-cad-models/sso?portal=ntn&rlogintoken=ACDxjxYHBI4L8nOqIF8pQ1iwypvEk sxYFJeoBuTlvRdGyQVQgNEyg9wbMI5veVyeHyzp2LyGrwzv_AoRQQx7-a23Z3AJ8XJEiQ&res=OK#79841-ntn%2Fbearing_units%2Fucp_pillow_blocks%2Fucp_pillow_blocks_asmtab.prj
- omc. (12 de Octubre de 2016). *Geared Stepper Motors*. Obtenido de omc stepperonline: <http://www.omc-stepperonline.com/gear-ratio-51-planetary-gearbox-with-nema-17-stepper-motor-17hs130404spg5-p-140.html>
- OMC. (30 de Octubre de 2016). *Geared Stepper Motors*. Obtenido de Stepperonline Motors & Electronics: <http://www.omc-stepperonline.com/gear-ratio-51-planetary-gearbox-high-torque-nema-17-stepper-17hs191684spg5-p-40.html>
- OMC. (24 de septiembre de 2016). *Motor stepper*. Obtenido de Motor stepper: <http://www.omc-stepperonline.com/gear-ratio-51-planetary-gearbox-with-nema-17-bipolar-stepper-17hs151684spg5-p-143.html>
- OMC. (25 de Octubre de 2016). *Nema 17 Planetary Geared Stepper Motor*. Obtenido de Stepperonline: <http://www.omc-stepperonline.com/download/pdf/17HS19-1684S-PG5.pdf>
- Pololu. (24 de septiembre de 2016). *Driver Pololu*. Obtenido de Cordobatec : www.cordobatec.com/driver-pololu-a4988
- Prometec. (1 de Febrero de 2017). *Cuanto consume un Arduino*. Obtenido de Prometec: <http://www.prometec.net/consumos-arduino/>
- Riba Romeva, C. (2002). *Diseño Concurrente*. Barcelona : Ediciones UPC.
- Robotshop. (15 de 10 de 2016). *Robotshop*. Obtenido de Robotshop: <http://www.robotshop.com/en/hitec-hs-5585mh-servo-motor.html>
- Rodriguez Webster, J. (2011). *Diseño sanitario para la industria alimenticia ecuatoriana. Tesis de grado: Maestría en procesamiento y conservación de los alimentos* . Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Salazar, B. (N/A de N/A de 2012). *Ingeniería Concurrente*. Obtenido de [ingenieriaindustrialonline](http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/procesos-industriales/ingenieria-concurrente/): <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/procesos-industriales/ingenieria-concurrente/>
- Sánchez, R. (N/A de Noviembre de 2008). *Accionamientos y actuadores eléctricos* . Obtenido de Universidad de Huelva: <http://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Apuntes%20Tema%206%20nuevo%20formato.pdf>

- Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017*. (2 de Agosto de 2014). Obtenido de Iner:
<http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/2-2-Lineamientos-INNER-al-Plan-Nacional-del-Buen-Vivir-2013-2017.pdf>
- Siemens . (14 de Octubre de 2016). *PLC Siemens* . Obtenido de Siemens:
<https://www.siemens.com.mx/cms/mam/industry/Automatizacion/SIMATIC-sistemas-de-automatizacion-industrial/plc/Pages/plc-siemens-SIMATIC.aspx>
- SKF. (16 de Septiembre de 2016). *Husillo de bolas laminados de precisión* . Obtenido de Precision rolled ball screws: <http://www.skf.com>
- SmartMotorDevices. (22 de Octubre de 2016). *Selección de motor paso a paso*. Obtenido de Drivers y controladores para Electromotores:
<http://stepmotor.biz/es/t-example.htm>
- Ulrich, K., & Eppinger, S. (2012). *Diseño y desarrollo de productos* . México: McGrawHill Education.
- Vandelvira, A. (14 de Octubre de 2016). *Motores de corriente Alterna* . Obtenido de Sistemas Automaticos de Produccion Alimentaria :
http://platea.pntic.mec.es/~jgarrigo/SAP/archivos/leva/introduccion_motores_ca.pdf
- Wagner, A. (N/A de N/A de 2015). *Libro blanco – Seguridad alimentaria*. Obtenido de FESTO:
https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/365870/White_Paper_Foodsa_fety_es.pdf
- Wagner, A. (N/A de N/A de 2015). *Libro blanco – Seguridad alimentaria*. Obtenido de FESTO:
https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/365870/White_Paper_Foodsa_fety_es.pdf
- WORDPRESS. (N/A de N/A de N/A). *La Oxidacion de las Frutas* . Obtenido de WORDPRESS: <https://oxidacionbym.wordpress.com/informacion-conceptual/>

