

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**Escuela de Postgrado**



**DISEÑO DE UN SISTEMA MECÁNICO ELÉCTRICO PARA LA SELECCIÓN  
DE CHIRIMOYAS**

**Tesis para optar al grado de Magister en Ingeniería Mecatrónica**

**Presentado por:**

**HANS NIETO ORDAYA**

**Marzo 2016**

**Lima - Perú**



© 2015, Hans Nieto Ordaya

Se autoriza la reproducción total o parcial,  
Con fines académicos a través de cualquier  
Medio o procedimiento, incluyendo la cita

## RESUMEN

La demanda de chirimoya al mercado internacional necesita de una gestión más efectiva de los recursos durante la postcosecha. Consecuentemente, la presente tesis propone el diseño de un sistema mecánico eléctrico para selección de 5tn/día de chirimoyas categoría primera ecotipo Aurora producida por la asociación de agricultores Santa Rosa de Huarochiri. Además, el proyecto comprende la elaboración de diseños de los sistemas desde el ingreso al sistema alimentador hasta la selección final del producto en el sistema seleccionador, la selección de los motores y emplea el código sanitario impuesto por el Food and Drugstore Administration (FDA) requerido por el mercado estadounidense. El diseño genera un impacto favorable en agricultores peruanos y ecuatorianos con una producción a mediana escala de chirimoyas porque cumple con seleccionar el producto adecuado y genera a largo plazo retorno en la inversión. Finalmente la presente tesis está compuesta por cuatro capítulos más la introducción, conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos. El primer capítulo comprende el producto y sus variedades, el estado actual de la tecnología y la técnica a emplear; con lo cual se logró determinar la categoría adecuada de chirimoya a emplear en el diseño. El segundo capítulo comprende los conceptos de solución tomando como datos de entrada lo elaborado en el primer capítulo, después de la selección se llevará a cabo el desarrollo de los conceptos preliminares de los cuales se selecciona el mejor de acuerdo a una evaluación técnica y económica; con lo cual se obtuvo el diseño óptimo, que luego es analizado en el siguiente capítulo. En el tercer capítulo se presentan los resultados finales del desarrollo de la solución óptima; en la cual se determina las dimensiones de los elementos críticos como ejes; también se seleccionan los perfiles, los motores, el material que cumple con lo requerido por la FDA y los elementos de transmisión tales como sprockets y cadenas. El cuarto capítulo muestra la lista de planos junto con un análisis de costo; se logró determinar que la producción realizada por la máquina en un día triplica a la producción actual de 1.6Tn que es realizada por 10 personas en un día. Finalmente, las conclusiones muestra el cumplimiento de los objetivos.

## APROBACIÓN DE TEMARIO DE TESIS

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER EN INGENIERÍA  
MECATRÓNICA

DISEÑO DE UN SISTEMA MECÁNICO ELÉCTRICO DE SELECCIÓN DE  
CHIRIMOYAS

### INTRODUCCIÓN

1. ESTADO DEL ARTE
2. DISEÑO PRELIMINAR DEL SISTEMA MECANICO ELECTRICO PARA LA PRODUCCIÓN DE 5Tn/día DE CHIRIMOYA
3. DISEÑO ÓPTIMO DEL SISTEMA MECÁNICO ELÉCTRICO PARA LA PRODUCCIÓN DE 5Tn/día DE CHIRIMOYA
4. COSTOS Y PLANOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

ANEXOS

---

Ing. Benjamin Barriga Gamarra

Asesor

DEDICATORIA



*Dedicado a mis padres.*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos los que colaboraron en el desarrollo de la presente tesis.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

|  | Pág. |
|--|------|
| RESUMEN .....  | 3    |
| APROBACIÓN DE TEMARIO DE TESIS .....   | 4    |
| DEDICATORIA .....  | 5    |
| AGRADECIMIENTOS .....  | 6    |
| ÍNDICE DE CONTENIDO .....  | 7    |
| ÍNDICE DE TABLAS .....   | 9    |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....  | 10   |
| LISTA DE SÍMBOLOS.....   | 12   |
| INTRODUCCIÓN.....  | 1    |
| 1. ESTADO DEL ARTE .....   | 4    |
| 1.1. Producto .....  | 4    |
| 1.2. Tecnología .....  | 9    |
| 1.3. Técnica.....  | 19   |
| 2. DISEÑO PRELIMINAR DEL SISTEMA MECÁNICO ELÉCTRICO PARA LA<br>PRODUCCIÓN DE 5Tn/día DE CHIRIMOYA..... | 20   |
| 2.1. Abstracción .....   | 20   |
| 2.2. Determinar los principios tecnológicos .....  | 20   |
| 2.3. Lista de requerimientos.....  | 21   |
| 2.4. Fijar los procesos técnicos .....   | 22   |
| 2.5. Determinar la aplicación del sistema técnico y sus limitaciones.....                              | 23   |
| 2.6. Determinar la agrupación de las funciones.....  | 24   |
| 2.7. Matriz morfológica del sistema para la selección de chirimoyas .....                              | 30   |
| 2.8. Determinar el concepto de solución preliminar .....   | 33   |
| 2.9. Determinar el proyecto preliminar.....  | 34   |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.     | DISEÑO ÓPTIMO DEL SISTEMA MECÁNICO ELÉCTRICO PARA LA PRODUCCIÓN DE 5Tn/día DE CHIRIMOYA .....   | 39 |
| 3.1    | Preproceso de diseño del sistema mecánico eléctrico.....  | 39 |
| 3.1.1  | Datos empleados por el sistema mecánico eléctrico .....   | 39 |
| 3.1.2  | Modelos esquemáticos del sistema mecánico eléctrico .....   | 40 |
| 3.1.3  | Materiales a emplear en el diseño del sistema mecánico eléctrico .....  | 41 |
| 3.1.4  | Determinación de la velocidad de transporte limitada por el sistema de visión cumple con la demanda solicitada por la asociación de agricultores..... | 42 |
| 3.2    | Proceso de diseño del sistema mecánico eléctrico .....  | 45 |
| 3.2.1  | Análisis cinemático .....   | 45 |
| 3.2.2  | Análisis cinemático de la relación de transmisión del seleccionador.....  | 47 |
| 3.2.3  | Análisis cinemático de la relación de transmisión del alimentador .....   | 49 |
| 3.2.4  | Análisis de fuerza de transmisión requerida del sistema seleccionador.....  | 51 |
| 3.2.5  | Selección de la potencia del motor del sistema seleccionador .....  | 52 |
| 3.2.6  | Análisis de fuerza de transmisión requerida del sistema alimentador.....  | 53 |
| 3.2.7  | Selección de la potencia del motor del sistema alimentador.....   | 54 |
| 3.2.8  | Cálculo del diámetro del eje del seleccionador .....  | 55 |
| 3.2.9  | Análisis neumático .....  | 62 |
| 3.2.10 | Análisis del sistema eléctrico .....  | 67 |
| 3.2.11 | Análisis estructural.....   | 70 |
| 4.     | PLANOS Y COSTOS .....   | 74 |
| 4.1    | Lista de planos .....   | 74 |
| 4.2    | Cálculos económicos .....   | 75 |
|        | CONCLUSIONES .....  | 83 |
|        | RECOMENDACIONES.....  | 86 |
|        | BIBLIOGRAFÍA .....  | 87 |
|        | ANEXOS .....  | 90 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1.1. Clasificación de chirimoya ecotipo Aurora.....   | 5    |
| Tabla 1.2. Precio de venta de un kilogramo de chirimoya .....   | 6    |
| Tabla 1.3. Principales importadores del producto chirimoya.....   | 7    |
| Tabla 1.4. Propiedades fisiológicas y mecánicas de la chirimoya .....   | 7    |
| Tabla 1.5. Capacidad de carga de transportes tipo aéreo .....   | 8    |
| Tabla 1.6. Resumen de los distintos sistemas que emplean el método de selección o<br>clasificación por tamaño ..... | 18   |
| Tabla 2.1. Lista de requerimientos .....  | 22   |
| Tabla 2.2. Matriz de soluciones para la etapa de conceptos del dominio mecánico .....                               | 30   |
| Tabla 2.3. Evaluación de criterios técnicos y económicos del concepto de solución .....                             | 33   |
| Tabla 2.4. Criterios de evaluación para diseños preliminares .....  | 37   |
| Tabla 3.1: Datos suministrados .....  | 39   |
| Tabla 3.2. Tabla de materiales permitidos por la FDA .....  | 42   |
| Tabla 3.3. Tabla de especificaciones de los materiales permitidos por la FDA.....                                   | 42   |
| Tabla 3.4. Datos de sprockets 3 y 4 .....   | 47   |
| Tabla 3.5. Datos de entrada de transmisión 1 y 2 .....  | 48   |
| Tabla 3.6. Datos de entrada del subsistema alimentador .....  | 49   |
| Tabla 3.7. Datos de entrada de transmisión 5 y 6 .....  | 50   |
| Tabla 3.8. Cuadro de masas sobre unidad de longitud.....  | 51   |
| Tabla 3.9. Cuadro de masas sobre unidad de longitud.....  | 53   |
| Tabla 3.10. Componentes neumáticos .....  | 66   |
| Tabla 3.11. Cuadro de cargas del sistema .....  | 67   |
| Tabla 3.12. Fuerzas externas sobre la estructura.....   | 70   |
| Tabla 3.13. Elementos de la barra y nodos sobre los que actúa .....   | 70   |
| Tabla 3.14. Características de los perfiles.....  | 71   |
| Tabla 3.15. Fuerzas normales sobre cada una de las barras .....   | 72   |
| Tabla 4.1. Lista de planos del diseño mecánico eléctrico para selección de chirimoyas .....                         | 74   |
| Tabla 4.2. Costos fijos y variables de los sistemas .....   | 81   |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  | Pág. |
|--|------|
| Fig.1.1. Chirimoya (Redibujado de A. K. Thompson [5], 2003) .....  | 6    |
| Fig.1.2. Conatainer reefer.....  | 8    |
| Fig.1.3. Distribución de container Reefer dentro de Boeing 767-200 .....   | 8    |
| Fig.1.4. Distribución de las unidades de empaquetamiento de la chirimoya .....   | 9    |
| Fig.1.5. Operaciones básicas sistema en general para la producción a pequeña y mediana<br>(Redibujado de Lisa Kitinoja y Adel A. Kader [11], Julio 2002) ..... | 10   |
| Fig.1.6. Seleccionador de cebollas (Redibujado de Lisa Kitinoja y Adel A. Kader [11], Julio<br>2002) .....   | 10   |
| Fig.1.7. Seleccionador de naranjas (Redibujado de Lisa Kitinoja y Adel A. Kader[11], Julio<br>2002) .....  | 11   |
| Fig.1.8. Seleccionador de fresas por criterio de tamaño color y forma (Redibujado de Zu Liming<br>y Zhao Yanchao [11], Septiembre 2009) .....                  | 13   |
| Fig.1.9. Fruta dentro del contorno de un sensor óptico en forma de aro (Redibujado de G.P.<br>Moreda [], Noviembre 2008) .....                                 | 14   |
| Fig.1.10 Operaciones básicas sistema en general para la producción a gran escala (Redibujado<br>de Adel A. Kader [13], Julio 2002).....                        | 14   |
| Fig.1.11. Clasificador de naranjas (Redibujado de Naoshi Kondo [14], Setiembre 2009) .....   | 15   |
| Fig.1.12. Clasificador de beterraga (Redibujado de Naoshi Kondo [15], Set.2009).....   | 16   |
| Fig.1.13. Clasificador de rábano (Redibujado de Naoshi Kondo[15], Setiembre 2009).....   | 17   |
| Fig.1.14. Clasificador de frutas suaves (Redibujado de Naoshi Kondo [15], Setiembre 2009)..  | 18   |
| Fig.2.1. Caja negra .....  | 20   |
| Fig.2.2. Dominio mecánico.....   | 25   |
| Fig.2.3. Dominio energía .....   | 26   |
| Fig.2.4. Dominio control.....  | 27   |
| Fig.2.5. Dominio electrónico .....   | 28   |
| Fig.2.6. Integración de los dominios.....  | 29   |
| Fig.2.7. Solución 1 tipo tornamesa .....   | 31   |
| Fig.2.8. Solución 2 tipo transportador con cadena de arrastre .....  | 31   |
| Fig.2.9. Solución 3 tipo faja transportadora.....  | 32   |
| Fig.2.10. Solución 1 tipo transportador alimentación y selección una línea.....  | 34   |
| Fig.2.11. Solución 2 tipo transportador de arrastre alimentación y selección una línea .....   | 35   |
| Fig.2.12. Solución 3 tipo transportador de arrastre alimentación dos líneas y selección dos líneas<br>.....  | 36   |
| Fig. 2.13.Gráfico comparativo de diseños preliminares.....   | 38   |
| Fig. 3.1 Sistema alimentador y seleccionador.....  | 40   |
| Fig. 3.2 Sistema alimentador con rampa de ingreso al alimentador.....  | 40   |
| Fig. 3.3 Sistema seleccionador con rampa de ingreso al seleccionador.....  | 41   |
| Fig.3.4 Diámetro de una bandeja comercial.....   | 43   |
| Fig.3.5 Giro de la bandeja en el instante de la selección .....  | 44   |
| Fig. 3.6 Sistema seleccionador y rampa del seleccionador .....   | 45   |
| Fig.3.7 Sistema alimentador y rampa del alimentador.....   | 46   |
| Fig.3.8 Sistema seleccionador transmisión entre los sprockets 3 y 4.....   | 47   |

|  |    |
|--|----|
| Figura 3.9. Sistema seleccionador transmisión entre los sprockets 1 y 2 .....  | 49 |
| Fig. 3.10 Sistema alimentador transmisión entre los sprockets 7 y 8 .....  | 50 |
| Fig.3.11 Sistema alimentador transmisión entre los sprockets 5 y 6 .....   | 51 |
| Fig.3.12. Sistema seleccionador masa a transportar.....  | 51 |
| Fig.3.13. Sistema alimentador masa a transportar .....   | 54 |
| Fig.3.14 Esquemático sistema de alimentación .....   | 55 |
| Fig.3.15 Diagrama de cuerpo libre del sistema seleccionador.....   | 56 |
| Fig.3.16. Diagrama de momento torsor del sprocket 2 .....  | 57 |
| Fig.3.17. Diagrama de cuerpo libre en los planos XY y XZ.....  | 58 |
| Fig.3.18 Reacciones en los apoyos en los planos XY y XZ.....   | 58 |
| Fig.3.19 Diagrama de fuerza cortante en los planos XY y XZ .....   | 59 |
| Fig.3.20 Diagrama de momento flector en los planos XY y XZ .....   | 60 |
| Fig. 3.21 Diagrama de cuerpo libre en el instante que la bandeja es volteada por el pistón .....   | 63 |
| Fig.3.22 Fuerza que ejerce el pistón según su diámetro.....  | 64 |
| Fig.3.23 Sistema potencia y control neumático .....  | 65 |
| Fig. 3.24 Tiempo de respuesta de pistón a la salida y al retorno .....   | 66 |
| Fig.3.25 Fuente de suministro y equipos de protección.....   | 68 |
| Fig.3.26 Circuito de conexión al motor 1MTR.....   | 69 |
| Fig. 3.27 Circuito de conexión al motor 2MTR.....  | 69 |
| Fig.3.28 Diagrama de cuerpo libre de la estructura del seleccionador.....  | 70 |
| Fig.3.29 Reacciones en el plano XZ .....   | 71 |
| Fig.3.30 Diagrama de fuerza cortante en el plano XZ .....  | 71 |
| Fig. 3.31 Diagrama de momento flector en el plano XZ.....  | 72 |
| Fig.3.32 Diagrama de fuerzas normales en el plano XZ.....  | 72 |
| Fig.3.33 Carga sobre la columna 3.....   | 73 |
| Fig.3.34 Factor de seguridad sobre la columna 3.....   | 73 |
| Fig.4.1. Clasificación manual de chirimoyas .....  | 75 |
| Fig.4.2 Clasificadora por tamaños de frutas.....   | 76 |
| Fig.4.3 Clasificadora por tamaños de frutas.....   | 77 |
| Fig.4.4 Sistema mecánico – eléctrico para selección de chirimoyas.....   | 78 |
| Fig.4.5. Calibrador electrónico de copas para una central hortofrutícola .....   | 80 |
| Fig.4.6 Curva de costo para comparar el trabajo manual, Sistema de selección a mediana escala y el sistema de selección elaborado en la presente tesis ..... | 82 |
| Fig.0.1 Esquemático sistema de alimentación .....  | 32 |
| Fig.0.2 Diagrama de cuerpo libre del sistema seleccionador .....   | 33 |
| Fig.0.3. Diagrama de momento torsor del sprocket 5 .....   | 34 |
| Fig.0.4. Diagrama de cuerpo libre en los planos XY y XZ.....   | 35 |
| Fig.0.5 Reacciones en los apoyos en los planos XY y XZ.....  | 35 |
| Fig.0.6 Diagrama de fuerza cortante en los planos XY y XZ .....  | 36 |
| Fig.0.7 Diagrama de momento flector en los planos XY y XZ .....  | 37 |
| Fig.0.8 Diagrama de momento flector en los planos XY y XZ .....  | 40 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $Q_{dis}$  : Capacidad de diseño [kg/día]
- $Q_{req}$  : Capacidad solicitada por el cliente [kg/día]
- $Qty$  : Cantidad de chirimoyas [a dimensional]
- $d$  : Separación entre bandejas [m]
- $V$  : Velocidad de transporte [m/s]
- $t_1$  : Tiempo de demora entre chirimoyas para atravesar un punto fijo [s]
- $T_{dis}$  : Tiempo total para cubrir con el procesamiento del total de chirimoyas [s]
- $t$  : Tiempo que requiere para recorrer una longitud dada [s]
- $e$  : Separación entre centros de ejes [m]
- $V_0$  : Velocidad inicial del producto [m/s]
- $\alpha$  : Inclinación de la rampa de ingreso [°]
- $g$  : Gravedad [m/s<sup>2</sup>]
- $e_1$  : Longitud de la rampa [m]
- $u_{ij}$  : Relación de transmisión [a dimensional]
- $Z_i$  : Número de dientes del sprocket  $i$  [a dimensional]
- $D_i$  : Diámetro del sprocket  $i$  [m]
- $\omega_i$  : Velocidad angular del sprocket  $i$  [RPM]
- $m_B$  : Masa de la cadena (kg)
- $m_p$  : Masa de las bandejas y de las chirimoyas (kg)
- $\mu_G$  : Coeficiente de fricción nylon y acero [a dimensional]
- $F_E$  : Fuerza en la cadena [N]
- $P_{cal}$  : Potencia calculada (W)
- $P_{dis}$  : Potencia de diseño (W)
- $FS_{mot}$  : Factor de seguridad (a dimensional)
- $F_{dis}$  : Fuerza de diseño (N)

$T_{dis3}$  : Torque de diseño del sprocket 3 (N m)

$T_{dis4}$  : Torque de diseño del sprocket 4 (N m)

$T_{dismot}$  : Torque de diseño del motor (N m)

$F_{motc}$  : Fuerza que transmite el motor [N]

$d_{motc}$  : Diámetro del sprocket del motor [m]

$\omega_{motc}$  : Velocidad angular del motor [RPM]

$T_2$  : Torque del sprocket 2 [N m]

$D_2$  : Diámetro del sprocket 2 [m]

$M_{t,max}$  : Torque máximo en eje conductor [N m]

$d_{eje1}$  : Diámetro de la sección crítica sobre el eje conductor [mm]

$\tau_{tm}$  : Esfuerzo cortante medio por torsión [MPa]

$M_{b,max}$  : Momento flector máximo en eje conductor [N m]

$\sigma_{ba}$  : Esfuerzo normal alternante por flexión [MPa]

$R_e$  : Resistencia máxima a la tracción [MPa]

$R_m$  : Límite de fluencia a la tracción [MPa]

$K_t$  : Factor de concentración de esfuerzos [adimensional]

$C_s$  : Factor de forma [adimensional]

$C_t$  : Factor de tamaño [adimensional]

$C_{temp}$  : Factor de temperatura [adimensional]

$C_{carg}$  : Factor de carga [adimensional]

$C_c$  : Factor de confiabilidad [adimensional]

$\sigma'_{ba}$  : Esfuerzo normal alternante por flexión aumentado [MPa]

$\sigma_{meq}$  : Esfuerzo medio equivalente [MPa]

$\sigma_{bm}$  : Esfuerzo de normal por flexión medio [MPa]

$\sigma_{aeq}$  : Esfuerzo alternante equivalente [MPa]

$\tau'_{ta}$  : Esfuerzo cortante alternante por torsión aumentado [MPa]

$FS_{fat}$  : Factor de seguridad a la fatiga [MPa]

$FS_{flu}$  : Factor de seguridad a la fluencia [MPa]

$F_{pis}$  : Fuerza ejercida por el pistón [N]

$P_{neu}$  : Presión de aire en la central hortofrutícola [Pa]

$d_{vas}$  : Diámetro del vastago [m]

$R$  : Fricción [N]

$P_{atm}$  : Presión atmosférica [Pa]

$r_{neu}$  : Relación de presiones [adimensional]

$L_{pis}$  : Carrera del pistón [m]

$D_{emb}$  : Diámetro del embolo [m]

$n_{ciclo}$  : Número veces que trabaja el pistón en un minuto [adimensional]

$r_{OA}$  : Brazo de palanca OA [mm]

$r_{OB}$  : Brazo de palanca OB [mm]

$F_{emp}$  : Fuerza requerida para voltear la bandeja y el producto [N]

$F_{sol}$  : Fuerza que ejerce la bandeja y el producto [N]

$F_{req}$  : Fuerza de diseño para voltear la bandeja y el producto [N]

$P_{FRL}$  : Presión de salida del filtro regulador y lubricador [Pa]

$PI$  : Potencia instalada [W]

$Fd$  : Factor de demanda [adimensional]

$MD$  : Máxima demanda [W]

$I_n$  : Corriente nominal [A]

$k$  : Constante debido a corriente trifásica [adimensional]

$V$  : Voltaje [V]

$fp$  : Factor de potencia [adimensional]

$I_n$  : Corriente final [A]

$fc$  : Factor de conductor [adimensional]

$fc$  : Factor de temperatura [adimensional]

$I_{cc}$  : Corriente de cortocircuito [A]

*CO* : Costo operativo [soles]

*CF* : Costo fijo [soles]

*CV* : Costo variable [soles]

*t<sub>días</sub>* : tiempo [días]

*RS* : Recibo por servicios [soles]

*HT* : Costo por trabajadores [soles]

*CM* : Costo por mantenimiento [soles]

*NT* : Número de trabajadores [Adimensional]



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad se acentúa la demanda de chirimoya en distintos países, AREX [1] indica que los mayores importadores son Canadá y Estados Unidos. Para cubrir esta demanda es necesario tener mayor mano de obra que se dedique a seleccionar el producto con las condiciones adecuadas de exportación [1]. Sin embargo este proceso de selección encarece el valor del producto. Por ello, Sierra Exportadora [2] menciona que tiene como misión apoyar a asociaciones de productores agrícolas y proporcionarles la mejor solución [2].

Arex [1] escribe existen 19 regiones que producen actualmente 20000Tn de chirimoya en el Perú de las cuales el 39% se encuentra en Lima. Además de acuerdo a las necesidades de exportación de chirimoya por parte de la Asociación de agricultores Santa Rosa de Callahuanca – Huarochiri, buscan mejores condiciones en sus procesos que ocurren durante la post-cosecha en el lugar destinado como central hortofrutícola. Como por ejemplo, evitar el deterioro del producto por mala manipulación, falta de mano de obra capacitada para cubrir la demanda final de 5Tn/día y la fatiga del operador debido a la falta de ergonomía laboral que genera errores de selección.

Frente a estos problemas se propone como alternativas las siguientes. La primera alternativa corresponde al diseño propio de una máquina semiautomática para la selección del producto de acuerdo a estándares adecuados para la exportación; y la segunda alternativa corresponde al empleo de máquinas de alta producción para la selección automática del producto (que ya existe en el mercado pero con un alto costo).

Se sabe que el enfoque para el uso de máquinas de alta producción no es una opción sostenible para los agricultores. Sin embargo existe un amplio rango de tecnologías que permite reducir pérdidas sin aumentar los costos del producto. Entonces el enfoque consiste en diseñar un sistema mecánico eléctrico acoplado a algún circuito electrónico con criterio de selección por tamaño para la selección de chirimoyas, que opere durante el proceso de postcosecha en el lugar destinado como central hortofrutícola, el sistema antes mencionado cuenta con activación eléctrica, un alimentador automática y un seleccionador del producto a través de un sistema de actuadores, el cual recibe la señal de

activación del sistema de visión artificial para la clasificación de chirimoyas basado en medidas [3].

Consecuentemente, la tesis propone como objetivo principal el diseño de un sistema mecánico eléctrico que sólo se encargue de trasladar 5Tn/día de chirimoyas categoría primera ecotipo Aurora de manera adecuada y evitando daños sobre estas; además tiene que realizar la selección por tamaño a través de un actuador que recibe las señales de un circuito electrónico que cuenta con un algoritmo de reconocimiento por captura de imágenes que no es parte de la presente tesis. También, la tesis propone objetivos específicos, los cuales son elaborar el estado del arte, definir una velocidad óptima en función de una capacidad de 5Tn/día para el transporte de chirimoyas, seleccionar los componentes de transmisión de movimiento, seleccionar la potencia para el transporte de chirimoyas en función de la masa a transportar, calcular los ejes, seleccionar los componentes neumáticos, componentes eléctricos de protección del motor, diseñar las estructuras de soporte, contemplar el cumplimiento del fácil montaje, de la ergonomía y de la economía; finalmente se emplearán programas de simulación para la comprensión del funcionamiento de la máquina.

En la tesis se detallan sus alcances los cuales son primero, el diseño quedará limitado sólo en la elaboración del diseño del dominio mecánico y en la selección de los motores, para ello se llevará acabo la selección óptima de la velocidad en función de la velocidad de captura de la cámara, la capacidad solicitada de 5Tn/día de chirimoyas y del rendimiento óptimo del motor reductor. Segundo, con el valor de la capacidad, la cual es de 5Tn/día se busca determinar la potencia del motor reductor y demás elementos que actúan en la transmisión de movimiento. Tercero, la rápida oxidación de la fruta es un factor limitante durante el proceso de postcosecha en la central hortofrutícola; por lo tanto, se debe procurar que la manipulación de la fruta sea delicada hasta su selección final. Por último, para trasladar el producto con las características requeridas se cuenta con un sistema de actuación, el cual recibe la señal de activación de algún circuito electrónico con criterio de selección por tamaño.

Finalmente se tiene como metodología la VDI [4] 2221 en la cual se debe primero, realizar una lista de exigencias para recoger las necesidades de las partes involucradas en

el tema. Luego hacer un cronograma de actividades para la elaboración del estado del arte, se revisará la literatura científica y tecnológica que sustente el desarrollo del diseño de un sistema mecánico eléctrico para la selección de chirimoyas. Luego, se definirá la estructura de funciones del proceso de la cual se determinarán las subfunciones, que darán lugar a una matriz morfológica, la cual nos permitirá hallar las diversas soluciones. Por último, a través de una ponderación de las necesidades se obtendrá la solución óptima para la elaboración de su ingeniería de detalle.



## CAPÍTULO 1

### I. ESTADO DEL ARTE

La chirimoya es una fruta producida en el Perú la cual no tiene forma ni tamaño exacto. Sabemos que el tamaño y forma son dos propiedades geométricas inseparables y también son muy difíciles de definir matemáticamente debido a la presencia de depresiones y defectos en su superficie que complican todo intento de cuantificar la geometría del producto. Por ello, es deseable un cultivo con una mínima cantidad de defectos. Además, hay dos enfoques que aseguran características geométricas óptimas del producto. Primero, hacer una selección de una adecuada variedad de chirimoya; segundo, distinguir los criterios y métodos empleados para las operaciones de selección.

Por lo mencionado anteriormente en el presente capítulo, se expone una breve descripción; primero, de una variedad adecuada de chirimoya para su posterior selección; segundo, una descripción de la evolución tecnológica de las operaciones de selección en el caso de producción de pequeña, media y alta escala y; tercero, la técnica empleada que nos guiará a hallar el concepto de solución.

#### 1.1. Producto

A. K. Thompson [5], ilustra un bosquejo de la chirimoya fig.1.1 y publica que el nombre científico del producto es *annona cherimolia*, *annonaceae*. este producto está clasificado como un producto estacional. El fruto consiste de una fusión de berries que forman una pulpa carnosa, este fruto tiene forma de corazón con una piel tono verde cubierta con marcadas depresiones que resalta la cantidad de la pulpa o también cada pulpa puede terminar en picos. Las chirimoyas pueden tener un diámetro máximo de 15cm y con un peso superior de 2kg. La pulpa es cremosa blanca con una textura de natillas cuando está totalmente maduro y contiene varias semillas de color negro oscuro. Los frutos crecen en arboles estos son superiores a 6m de alto y son oriundos del Perú.

Su tiempo de oxidación en condiciones de laboratorio a una temperatura de 25°C y un 60% de humedad relativa se demostró que fue de 3-4 días [5].

Dentro del amplio rango de chirimoyas nativas del Perú se cuenta con un ecotipo conocido como “Aurora”, el cual es producido por la asociación de agricultores Santa Rosa de Callahuanca – Huarochiri ubicado en Lima. Ver tabla 1.1.

*Tabla 1.1. Clasificación de chirimoya ecotipo Aurora*

| Categoría         | Propiedades             | Valor   |
|-------------------|-------------------------|---|
| Segunda y tercera | Forma                   | Cardioide ó redonda   |
|                   | Diámetro [6]            | <100mm  |
|                   | Altura [6]              | <90mm   |
|                   | Rango de peso del fruto | $\geq 150\text{g}$ hasta $\leq 300\text{g}$ , $\geq 50\text{g}$ hasta $\leq 95\text{g}$ |
|                   | Color de epidermis      | Tono verde exentas de defectos en la piel   |
| Primera           | Forma                   | Cardioide   |
|                   | Diámetro *              | 120mm   |
|                   | Altura **               | 100mm   |
|                   | Rango de peso del fruto | $\geq 301\text{g}$ hasta $\leq 600\text{g}$   |
|                   | Color de epidermis      | Tono verde exentas de defectos en la piel   |
| Extra             | Forma                   | Cardioide   |
|                   | Diámetro *              | $\geq 120\text{mm}$   |
|                   | Altura **               | $\geq 100\text{mm}$   |
|                   | Rango de peso del fruto | $\geq 601\text{g}$  |
|                   | Color de epidermis      | Tono verde exentas de defectos en la piel   |

Los autores [6], \*describen que en el caso de las comunidades Europeas (EC) tienen como estándar determinar el tamaño de los productos de acuerdo al mayor diámetro de la sección ecuatorial; \*\*mientras que en el caso de Estados Unidos tienen como estándar definir el tamaño del producto como la mayor altura que tiene el producto proyectada sobre un eje que se forma entre el tallo y el lado por donde florece.

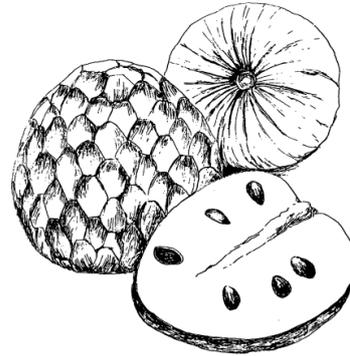


Fig.1.1. Chirimoya (Redibujado de A. K. Thompson [5], 2003)

### Producción

La asociación de agricultores de Callahuanca – Huarochiri cuenta con 350 hectáreas de chirimoya con una capacidad de 6.3 toneladas de chirimoya por hectárea y la producción actual es de 2200Tn entre los meses de Marzo a Julio. La mayor cantidad de chirimoyas producidas son de la categoría extra y primera; por ello Callahuanca es conocido como el Paraíso de las chirimoyas gigantes.

### Precios de venta de la chirimoya

Los precios de venta de un kilogramo de chirimoya son mayores en el mercado exterior, como se puede ver en la tabla 1.2 [7]. Por ello, luego se procederá a identificar a los principales importadores.

Tabla 1.2. Precio de venta de un kilogramo de chirimoya

| No | Punto Venta         | Precio S/. | Precio \$ |
|----|---------------------|------------|-----------|
| 01 | Chacra              | 3.30       |           |
| 02 | Mercado Lima        | 4.30       |           |
| 03 | Mercado Exportación | —          | 3.50      |

Principales importadores del producto chirimoya

De acuerdo a Arex [1], indica que los mayores importadores son Canadá y Estados Unidos. Ver tabla 1.3. Además se sabe que sólo Estados Unidos tiene una demanda de 3000Tn de chirimoyas al año.

Tabla 1.3. Principales importadores del producto chirimoya

| PAÍSES DE DESTINO         | 2008          | 2009       | 2010           | 2011          | 2012           | % Part. 2012 | % Var. 11/12 |
|---------------------------|---------------|------------|----------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| CANADA                    |               | 2          | 92,575         | 87,799        | 90,297         | 75           | 3            |
| ESTADOS UNIDOS            |               | 1          | 2,915          | 8,698         | 23,700         | 20           | 172          |
| JAPON                     |               |            |                |               | 4,013          | 3            | 0            |
| ESPAÑA                    |               |            | 8,288          |               | 2,288          | 2            | 0            |
| ITALIA                    |               |            |                |               | 197            | 0            | 0            |
| SUECIA                    |               |            | 6              |               | 13             | 0            | 0            |
| COREA (SUR), REPUBLICA DE |               |            |                | 108           |                | 0            | -100         |
| ALEMANIA                  | 156           |            |                | 492           |                | 0            | -100         |
| CHILE                     |               |            | 15             |               |                | 0            | 0            |
| PAISES BAJOS              | 1,898         | 199        | 716            | 2,262         |                | 0            | -100         |
| SUIZA                     |               |            |                |               | 579            | 0            | -100         |
| ARUBA                     |               | 150        | 122            |               |                | 0            | 0            |
| CHINA                     |               |            | 903            |               |                | 0            | 0            |
| FRANCIA                   | 15,589        |            | 7              |               |                | 0            | 0            |
| <b>Total general</b>      | <b>17,642</b> | <b>351</b> | <b>105,548</b> | <b>99,937</b> | <b>120,508</b> | <b>100</b>   | <b>21</b>    |

Descripción de propiedades importantes del producto chirimoyas

De los autores Sunil Pareek et al.[8] y también de Donald J. Batten [9], se obtienen las propiedades fisiológicas y mecánicas de las chirimoyas. Ver tabla 1.4.

Tabla 1.4. Propiedades fisiológicas y mecánicas de la chirimoya

| Dominios         | Datos   |
|------------------|---|
| Fruto estacional | La producción neta ocurre en los meses de Marzo hasta Julio   |
| PH               | El PH de la chirimoya disminuye de 6 a 4. Durante el transcurso de 4 a 6 días de almacenamiento   |
| Firmeza          | La firmeza de la chirimoya en la etapa de maduración decrece rápidamente de 73N a 5N a una temperatura de 25°C. Durante el transcurso de 4 a 6 días de almacenamiento |
| Pérdida de masa  | Durante 2 días de almacenamiento de chirimoya a 25°C la pérdida de masa fue del 6%  |

### Tipo de transporte

Debido a la distancia que hay entre el Perú a los consumidores de Canadá y Estados Unidos de 18000 y 5400 km respectivamente; además teniendo en cuenta la rápida oxidación del producto y que se estima atender el 25% de la demanda de chirimoya del mercado de Estados Unidos que equivale a 750Tn de chirimoya durante 5 meses. Por todo ello, es que el transporte debe ser vía aérea.

En la tabla 1.5, se muestran las distintas capacidades de los transportes tipo aéreo indicadas por Proexport Colombia [10].

*Tabla 1.5. Capacidad de carga de transportes tipo aéreo*

| Item \ Nave                | BOEING 767 - 200 | BOEING 757 - 200 | MD-83      |
|----------------------------|------------------|------------------|------------|
| Capacidad máxima por vuelo | 6.000 Kg..       | 4.000 Kg..       | 1.400 Kg.. |

Los productos comestibles se almacenan dentro de un container reefer como el mostrado en la fig.1.2, cuya distribución dentro de un Boeing 767-200 se muestra en color rojo en la fig.1.3, cada uno con un volumen interior de 5.48 x 2.3 x 2.16 m.



Fig.1.2. Conatainer reefer



Fig.1.3. Distribución de container Reefer dentro de Boeing 767-200

Entran 5 paletas dentro de cada uno de estos containers, debido a que ya tiene dimensiones estándar; además cada paleta contiene 104 cajas cada una con un peso de 5.3 kg, debido

a que se considera la pérdida de masa durante el viaje (Las dimensiones de la caja, la paleta y el contenedor se muestran en la fig.1.4). De lo anterior se obtiene un peso a transportar de 5512 kg de chirimoyas y considerando el peso de los paletas y demás elementos de sujeción se tiene un peso próximo a los 6000 kg; lo cual es el peso límite del Boeing 767-200, el cual es el adecuado para el transporte del producto. Por lo tanto de esta forma se estima que se requieren 5Tn de chirimoya por día para poder abastecer la demanda de los consumidores finales de 750Tn de chirimoya durante los meses de Marzo hasta Julio.

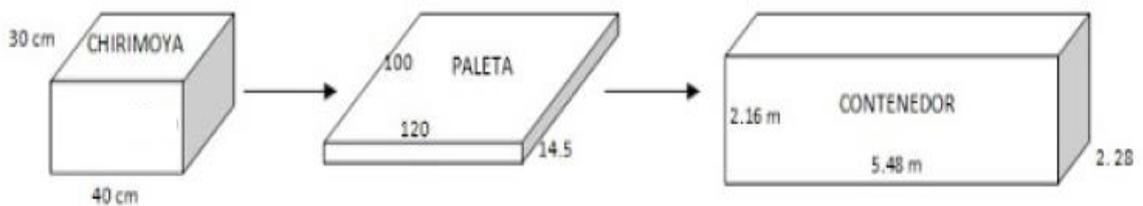


Fig.1.4. Distribución de las unidades de empaquetamiento de la chirimoya

## 1.2. Tecnología

Se debe hacer una adecuada selección de los equipos específicos y las operaciones básicas que aplican durante la postcosecha de acuerdo a la demanda solicitada, la cual puede ser para una producción de alta, mediana o pequeña escala.

### Operaciones básicas para la producción a pequeña y mediana escala

Lisa Kitinoja y Adel A. Kader [11], representan en la fig.1.5, un modelo esquemático de todas las operaciones básicas durante el proceso de postcosecha para una producción pequeña y mediana escala, además resaltan que en la central hortofrutícola, los productos que sean de menor tamaño van a ser procesados o enviados al mercado local; mientras que los productos de mayor calidad van a ser empaquetados y vendidos al mercado regional o nacional.

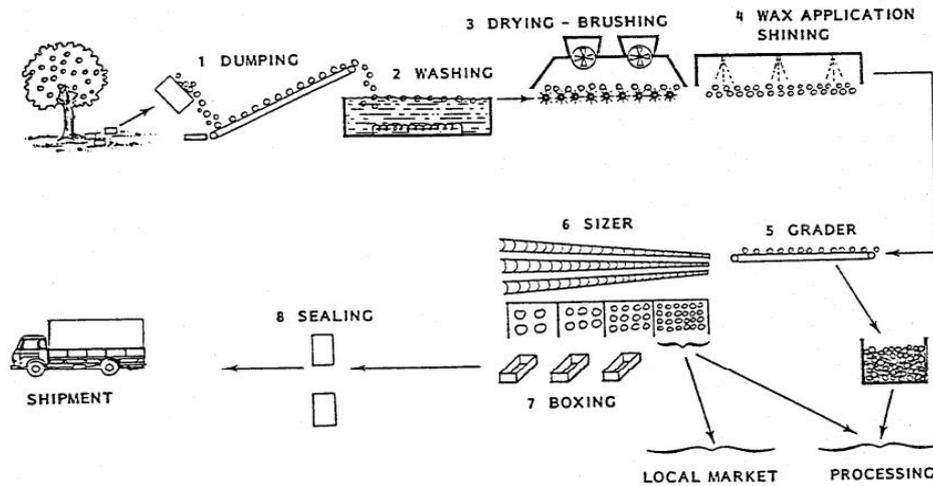


Fig.1.5. Operaciones básicas sistema en general para la producción a pequeña y mediana (Redibujado de Lisa Kitinoja y Adel A. Kader [11], Julio 2002)

### Sistemas manuales simples para la producción a pequeña escala

#### Seleccionador de cebollas

Lisa Kitinoja y Adel A. Kader [11], comentan que este seleccionador consta de una tabla perforada con agujeros de tamaños específicos, ver fig.1.6. Luego un conjunto de cebollas son volcados en la tabla superior. Los que no pasen a través de esta tabla son clasificados como tamaño extra-largo. Los que logran pasar caen dentro de la malla y ruedan hacia el contenedor. Este contenedor es volcado hacia una segunda mesa de selección por tamaño y las cebollas que no pasen a través de ésta son clasificadas como tamaño largo y así sucesivamente.

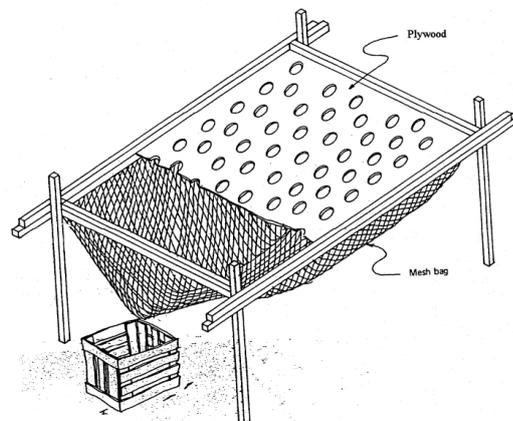
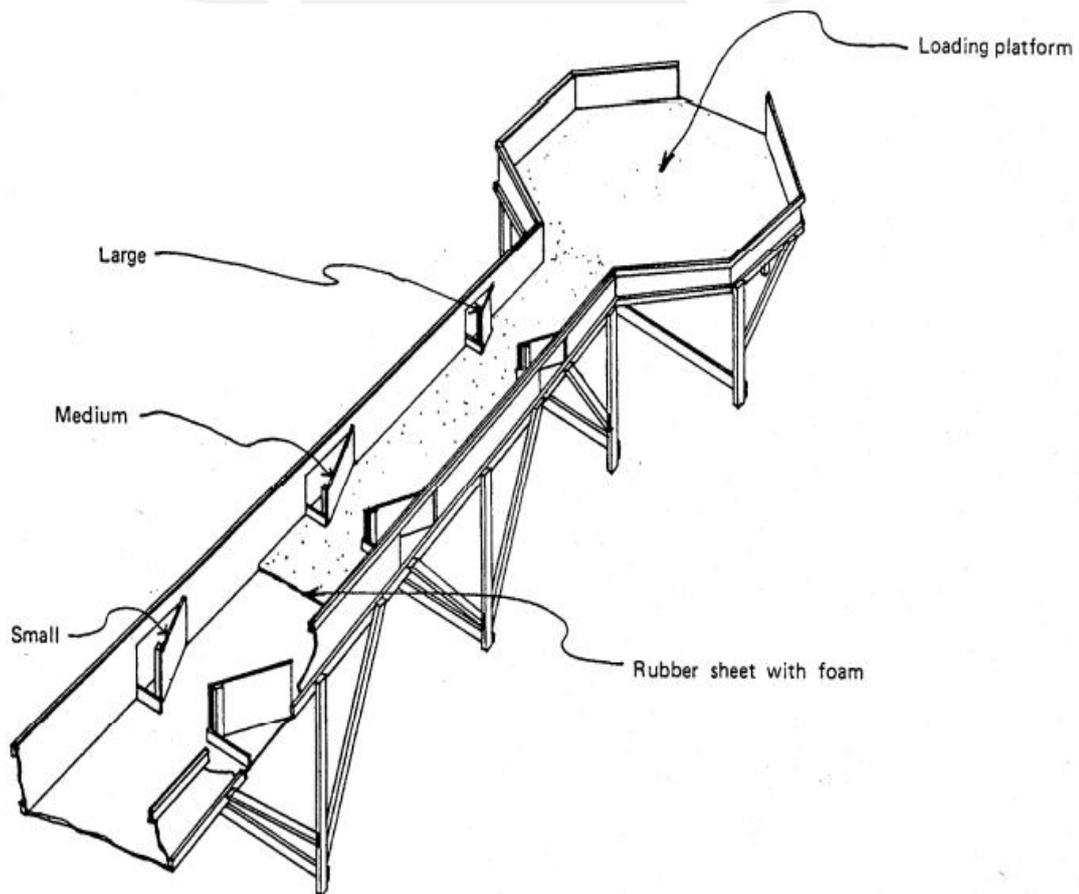


Fig.1.6. Seleccionador de cebollas (Redibujado de Lisa Kitinoja y Adel A. Kader [11], Julio 2002)

### Seleccionador de naranjas

Lisa Kitinoja y Adel A. Kader [11], mencionan que este seleccionador está compuesto de un chute rectangular acolchado con almohadas para prevenir daños por moretones, ver fig.1.7. Luego la fruta es volcada en la plataforma octogonal en la parte superior del chute. Seguidamente se hace rodar una por una a través de una serie de restricciones. Las frutas largas son cojidas por la primera restricción, las medianas son cojidas por la segunda restricción y las pequeñas son cojidas por la última restricción. Las de menor medida pasan a través de todo el chute hasta un contenedor. Los trabajadores deben remover manualmente cada fruta y colocar estas en su apropiado contenedor por tamaño antes que la siguiente fruta pase a través del chute. Se necesitan 5 personas para operar este equipo.

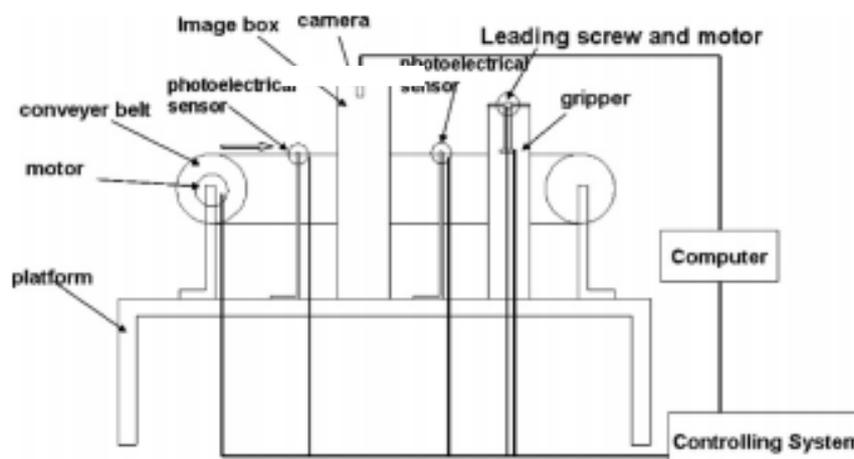


*Fig.1.7. Seleccionador de naranjas (Redibujado de Lisa Kitinoja y Adel A. Kader[11], Julio 2002)*

## Sistemas electrónicos simples en línea para la producción a mediana escala

Clasificación de fresas por el método de tamaño, color y forma

Xu Liming y Zhao Lang Chao [12], indican el empleo de un sistema por visión para clasificar fresas por los métodos de forma, tamaño o color de acuerdo a las necesidades también puede aplicar dos de los métodos mencionados anteriormente, ver fig.1.8; en el caso de método de selección por tamaño se basa en hallar el mayor de los diámetros en la fresa respecto al eje que pasa por su tallo. Xu Liming y Zhao Lang escriben respecto al sistema mecánico el cual se compone de una faja transportadora, una plataforma, un tornillo sin fin usado como puente grúa, una pinza y dos motores que se encargan del transporte para la clasificación de fresas. Xu Liming y Zhao Lang describen el proceso en el cual primero se coloca de forma manual y adecuada la fresa en la faja transportadora que se traslada a velocidad constante, segundo el sensor fotoeléctrico detecta las fresas que se trasladan frente a él y captura la imagen que luego es comparada con distintos modelos de la base para determinar a qué clase pertenece la fresa; tercero la fresa anterior se encuentra en movimiento el cual es detectado por el segundo sensor fotoeléctrico el cual controla la parte mecánica que traslada la fresa con las pinzas hacia su clase correspondiente; finalmente se repite el proceso nuevamente con la siguiente fresa. Por último Xu Liming y Zhao Lang Chao concluyen que para el método de clasificación por tamaño el error fue menor al 5%, en el método de selección por color la exactitud fue de un 88.8% y en el método de selección por forma la exactitud fue de un 90%. La capacidad promedio del sistema fue de 1 fresa cada 3 segundos.



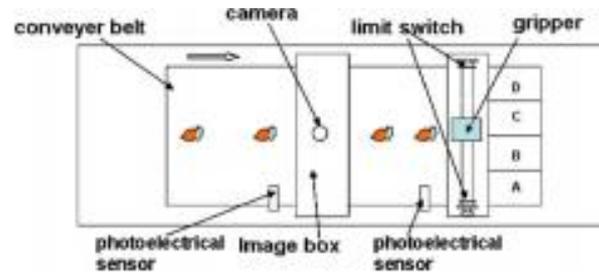


Fig. 1. The structure of the strawberry automated grading system.

*Fig.1.8. Seleccionador de fresas por criterio de tamaño color y forma (Redibujado de Zu Liming y Zhao Yanchao [11], Septiembre 2009)*

Selección de frutas por el método de tamaño a través de un sensor óptico en forma de aro.

Los autores, indican que el presente método no destructivo aplicable durante el proceso de seleccionado en la postcosecha para determinar el tamaño de las frutas busca mejorar la clasificación y automatizar el control de calidad del producto. Los autores escriben acerca del sistema el cual comprende el sensor óptico en forma de aro, ver fig.1.9; y el proceso de singularización que se realiza con dos fajas transportadoras inclinadas un ángulo de  $120^\circ$  y con un ancho de faja de 55m, los cuales son accionados por un motor de 0.37kw. Las fajas se alimentan con modelos ideales de los productos como un cilindro largo o una esfera truncada las cuales cuando son trasladadas a una velocidad de 1m/s el sensor forma una hélice de paso 2.5mm sobre el producto y cuando son trasladadas a una velocidad de 2m/s el sensor forma una hélice de paso 5mm sobre el producto. Los autores concluyen que influye bastante evaluar el producto con el cual se está trabajando debido a que la forma de funcionamiento del sensor y la forma de cálculo de la geometría del sensor óptico en forma de anillo influyen en la exactitud del sensor ya que el producto se debe trasladar de forma paralela al eje del sensor sin hacer giros.

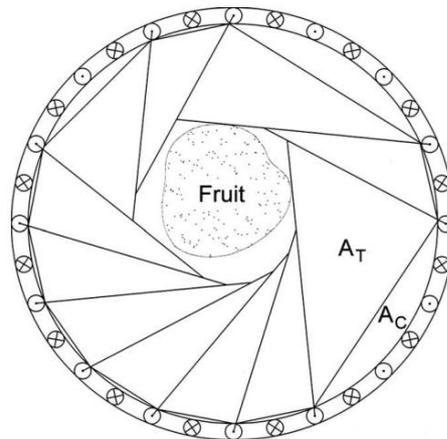


Fig.1.9. Fruta dentro del contorno de un sensor óptico en forma de aro (Redibujado de G.P. Moreda [13], Noviembre 2008)

### Operaciones básicas para una producción a alta escala

Adel A. Kader [14], explica acerca de la fig.1.10 operaciones básicas durante el proceso de postcosecha para una producción a alta escala, la cual muestra varias alternativas para el método de selección por tamaño a través de máquinas seleccionadoras.

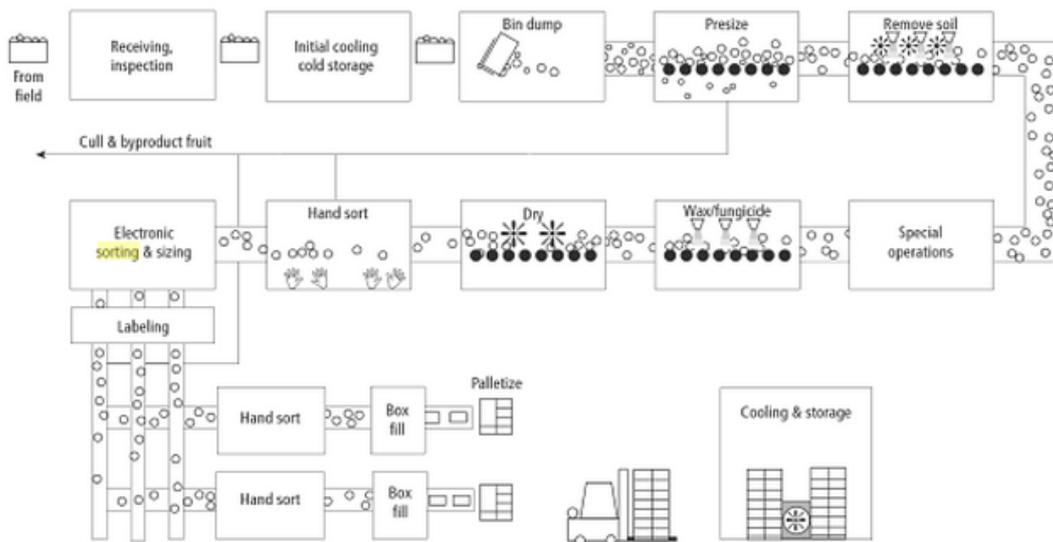


Fig.1.10 Operaciones básicas sistema en general para la producción a gran escala (Redibujado de Adel A. Kader [13], Julio 2002)

### Clasificador de naranjas

Naoshi Kondo [15], muestra en la fig.1.11 un sistema de inspección para la clasificación en línea de naranjas. Luego del volcado del contenedor lleno de naranjas, cada fruta es llevada individualmente por el transportador y son enviadas al sistema de inspección para medir la cantidad de azúcar y la acidez. Adicionalmente, se puede medir el contenido de agua en la fruta. La segunda inspección es a través de la cámara de rayos X para medir la calidad interna. Para la inspección externa se hace por 6 máquinas de visión, todos los cuadros de estas imágenes son capturados para luego ser procesados por la computadora. Cuatro de estas cámaras capturan imágenes de los costados y las dos cámaras finales capturan la imagen superior e inferior. Todas las imágenes en la computadora son procesadas a través de algoritmos específicos para la detección de color, tamaño, forma y defectos externos. Las señales de salida del procesador son transmitidas a la computadora la cual toma la decisión final de clasificación, que es hecha en base a modelos y propiedades de la fruta. Naoshi Kondo concluye para el presente sistema que la velocidad de la línea es de 60m/min y alrededor de 5 frutas son procesadas en 1 segundo por línea. Una característica importante del diseño del sistema es la adaptabilidad para poder inspeccionar otros productos con solo ajustar los códigos de procesamiento.

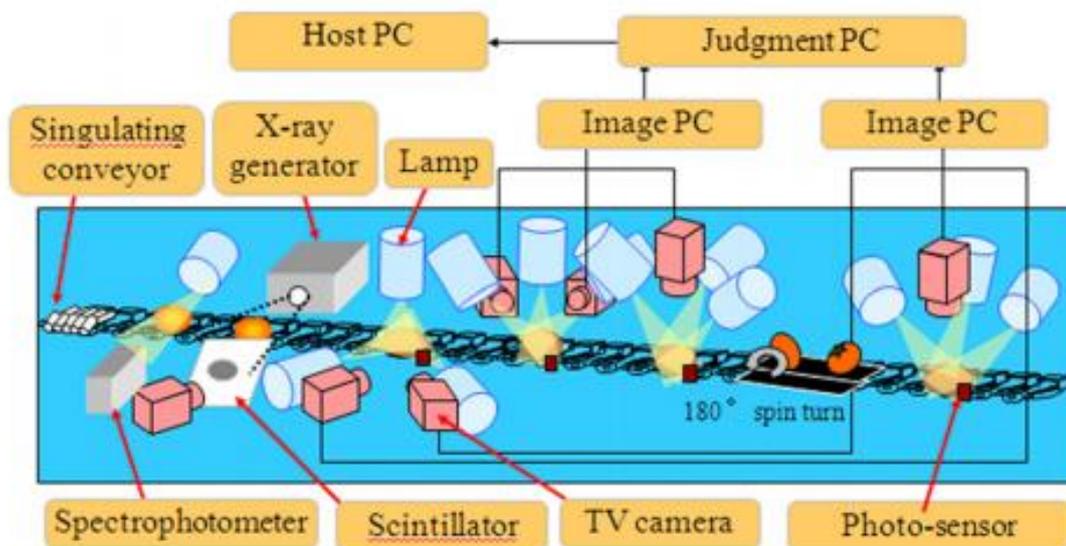
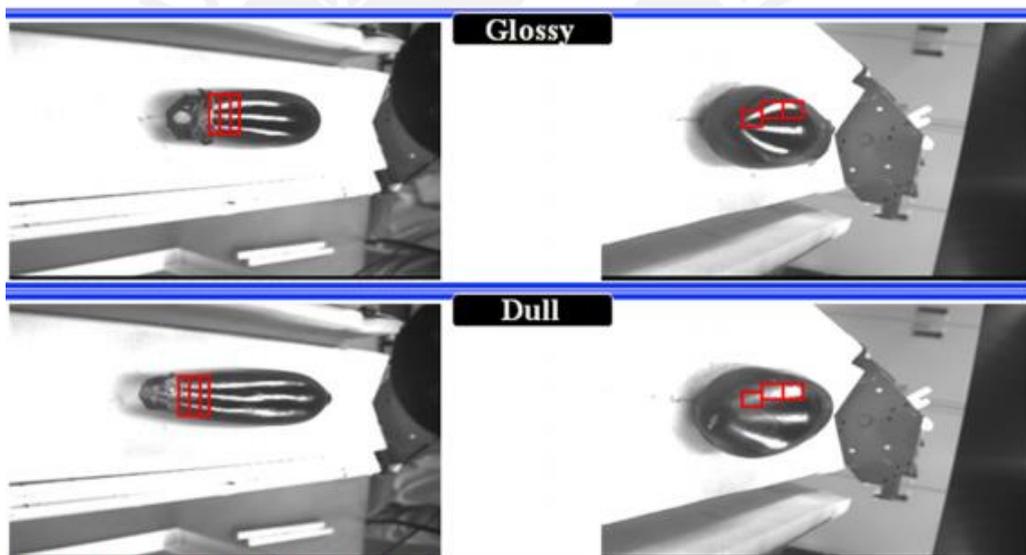


Fig.1.11. Clasificador de naranjas (Redibujado de Naoshi Kondo [14], Setiembre 2009)

### Clasificador de beterraga

Naoshi Kondo [15], muestra en la fig.1.12 un nuevo tipo de clasificador para frutas largas el cual no solo inspecciona tamaño, color, forma y defectos sino también brillo de la superficie del fruto. Esta línea de clasificación consiste en una bandeja individual, la cual puede hacer al fruto girar sobre un transportador y de dos cámaras las cuales inspeccionan el lado inicial y el lado final del fruto. En este caso se emplean 348 bandejas las cuales forman una longitud de 30m. Está máquina cuenta con 6 líneas y cada una con una velocidad de 38.1m/min, Naoshi Kondo[15] concluye que el sistema es capaz de clasificar un total de 504000 frutos por día. Con un par de operarios se trabaja para alimentar la máquina y luego 60 operarios se encargan de empacar las frutas. Este proceso de empacado toma alrededor de 30 a 40 segundos para empacar una caja de 2kg.



*Fig.1.12. Clasificador de beterraga (Redibujado de Naoshi Kondo [15], Set.2009)*

### Clasificador de rabanos

Naoshi Kondo[15], escribe que en el caso de los rabanos, fig.1.13, es uno de los vegetales largos que crece en campos arenosos, este producto tiene que ser cortado uniformemente para no disminuir su valor en el mercado. Por eso es necesario diferenciar el tallo de la raíz. Por ello dos cámaras con detección ultravioleta están colocadas en la parte superior e inferior del producto. Otra cámara detecta la parte superior del tallo entre las hojas para que la compresora de aire pueda soplar el producto

desde este punto hacia el cortador. El más importante índice de evaluación en este producto es la uniforme longitud de la parte blanca del producto y el ancho. Naoshi Kondo [15] demuestra que a una velocidad de la línea de 30m/min son procesadas 10000 rabanos en una hora.

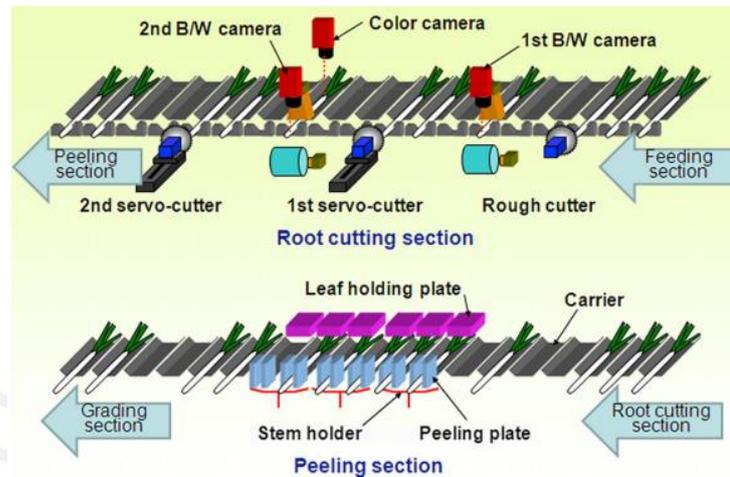


Fig.1.13. Clasificador de rábano (Redibujado de Naoshi Kondo[15], Setiembre 2009)

#### Clasificador de frutas suaves

Naoshi Kondo [15], presenta un robot clasificador para frutas suaves fig.1.14 que automáticamente toma las frutas de las jabas e inspecciona todo los lados de la fruta. Primero las jabas son transportadas abajo del robot, luego 12 frutas son succionadas al mismo tiempo, y transportadas hacia una posición intermedia. El otro robot manipulador toma el fruto nuevamente y 12 imágenes son tomadas por la parte inferior mientras que el fruto se traslada hacia un transportador con bandejas en línea. Justo antes de colocar el producto en la bandeja, se capturan imágenes alrededor de cada fruto haciendolo rotar. Y luego la fruta es presionada en la línea y finalmente imágenes de la parte superior son capturadas por otra cámara en cada línea.

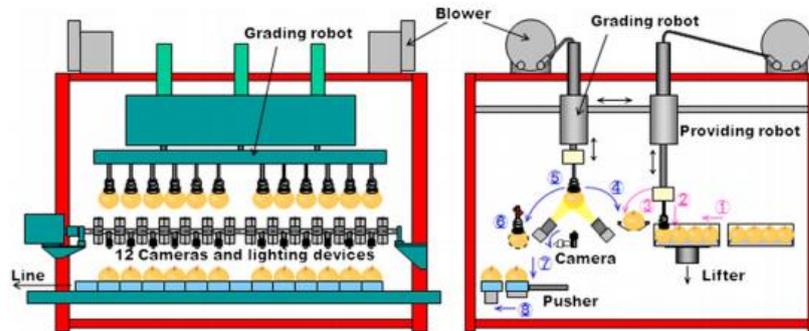


Fig.1.14. Clasificador de frutas suaves (Redibujado de Naoshi Kondo [15], Setiembre 2009)

Tabla 1.6. Resumen de los distintos sistemas que emplean el método de selección o clasificación por tamaño

| Sistema   | Autor                         | Vide o cámara | Número de dimensiones | Capacidad por línea | Costo del sistema | Potencia del motor |
|---|-------------------------------|---------------|-----------------------|---------------------|-------------------|--------------------|
| Seleccionador de cebollas   | Lisa kitinoja y Adel A. kader | No            | N.A.                  | Menor a 0.1         | Bajo              | N.A.               |
| Seleccionador de naranjas   | Lisa kitinoja y Adel A. kader | No            | N.A.                  | Menor a 0.1         | Bajo              | N.A.               |
| Clasificador de fresas  | Xu Liming y Zhao Lang Chao    | Sí            | 2D                    | 0.3                 | Medio             | ~300W              |
| Diseño y ensayo de una máquina seleccionadora de mango por tamaño | B. Jarimopas y otros          | No            | N.A.                  | 0.5                 | Medio             | 187W               |
| Seleccionador de frutas por sensor óptico en forma de aro         | G.P. Moreda y otros           | No            | 3D                    | 8                   | Medio             | 400W               |
| Clasificador de naranjas  | Naoshi Kondo                  | Sí            | 2D                    | 5                   | Alto              |                    |
| Clasificador de berenjenas  | Naoshi Kondo                  | Sí            | 3D                    | 3                   | Alto              |                    |
| Clasificador de rábanos   | Naoshi Kondo                  | Sí            | 2D                    | 3                   | Alto              |                    |
| Clasificador de frutas suaves                                     | Naoshi Kondo                  | Sí            | 3D                    | 12                  | Alto              |                    |

De la tabla 1.6 se puede concluir que hay una gran tendencia al usar grupos constructivos electrónicos para la clasificación de fruta por tamaño, también a mayores capacidades se elevan los costos del equipo. Por lo tanto de lo anterior se tiene que el sistema que más se adecua al proyecto son los que corresponden al grupo de sistemas electrónicos simples en línea para la producción a mediana escala.

### 1.3. Técnica

El diseño empleará la metodología VDI 2221 para la elaboración del presente proyecto la cual trata acerca de “Métodos para el desarrollo y diseño de sistemas técnicos y productos”, una descripción detallada y el fundamento de aplicación puede verse en el anexo A.

Siguiendo esta metodología presentamos la lista de exigencias que se llevó a cabo en una reunión coordinada con la asociación de agricultores Santa Rosa de Huarochiri - Callahuanca y los encargados de Sierra exportadora, en la lista se indican los deseos y exigencias de todos los involucrados en el proyecto. Luego en el siguiente capítulo se seguirán los pasos de la metodología para llegar a un concepto de solución.

## CAPÍTULO 2

### II. DISEÑO PRELIMINAR DEL SISTEMA MECÁNICO ELÉCTRICO PARA LA PRODUCCIÓN DE 5Tn/día DE CHIRIMOYA

Básicamente en el capítulo se empleará el proceso generalizado de desarrollo y diseño VDI 2221. Para tener más detalle de los pasos empleados ver anexo A. Teniendo como base esta metodología y la lista de exigencias mostradas en el capítulo anterior se llevará a cabo la elaboración de varios conceptos de solución, luego de un análisis de los parámetros económicos y técnicos de los conceptos de solución se elegirá la solución más adecuada.

#### 2.1. Abstracción

En la fig.2.1, se detallan las variables más importantes que entran al sistema y sus respectivas variables de salida luego de atravesar los procesos técnicos del sistema.

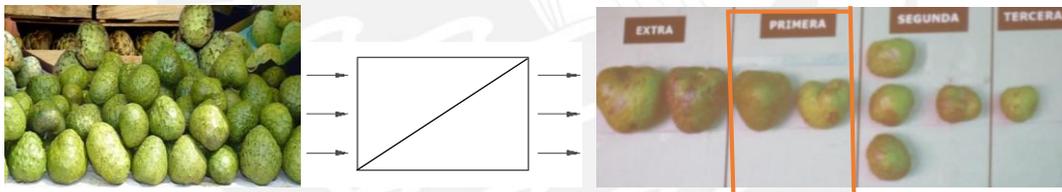


Fig.2.1. Caja negra

#### 2.2. Determinar los principios tecnológicos

De acuerdo a los sistemas mostrados en el capítulo uno, de los cuales el principio tecnológico a emplear corresponde al de sistemas de producción en línea para la selección de fruta a mediana escala, esto sirve para estructurar los procesos técnicos, los procedimientos de trabajo y sus secuencias.

### 2.3. Lista de requerimientos

El diseño de la máquina debe cumplir con lo acordado por el cliente y el fabricante, además estos requerimientos se detallan en una lista de requerimientos que ha sido elaborado por ambas partes, ver tabla 2.1.

-La función principal, además de lo indicado en el ítem 1 de la tabla 2.1. También, se contempla evitar daños durante el traslado de las chirimoyas ingresando chirimoyas con un tiempo de almacenamiento no mayor a dos días para mantener el valor de la firmeza en 73N (en caso se necesitara colocar chirimoyas con más días de almacenamiento; entonces, se deberá recubrir los puntos críticos como rampas de film stretch adhesivo, adhesivo PTFE ó con espumas para absorber el impacto)

-Capacidad, aparte de lo indicado en el ítem 2 de la tabla 2.1. También, está capacidad fue estimada en el capítulo 1, en el subtítulo producto a través de la producción total de la región Callahuanca y a través de lo requerido por los principales importadores; además una máquina con esta capacidad logra triplicar la producción actual tal como se indica en el capítulo 4, en el subtítulo producción manual.

-Geometría, además de lo indicado en el ítem 3 de la tabla 2.1. También las dimensiones solicitadas cumplen con el tamaño adecuado para entrar en una caja de exportación de 0.40x0.30x0.12m.

-Horas de trabajo, se trabajará con el horario indicado en el ítem 4 de la tabla 2.1.

-Fuentes de energía, se trabajará con las fuentes indicadas en el ítem 5 de la tabla 2.1.

-Seguridad, aparte de la función indicada en el ítem 6 de la tabla 2.1. También estas guardas permitirán el fácil acceso para su fácil mantenimiento.

-Montaje, además de lo indicado en el ítem 7 de la tabla 2.1. También, se conservará la simetría para reemplazar algún componente defectuoso del sistema por otro que se encuentre en stock, como en el caso del eje conductor y conducido, cuyos rodamientos tienen el mismo diámetro para ambos ejes.

-Control de calidad, se trabajará con los materiales indicados en el ítem 8 de la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Lista de requerimientos

| Lista de requerimientos |                     |  |
|-------------------------|---------------------|--|
| It.                     | Funciones           | Descripción  |
| 1                       | Función principal:  | Diseño de un sistema mecánico eléctrico que sólo se encargue de trasladar 5Tn/día de chirimoyas categoría primera ecotipo Aurora.  |
| 2                       | Capacidad:          | La capacidad, que fue determinada por el cliente, es de 5Tn/día.   |
| 3                       | Geometría:          | El criterio de selección por tamaño aplica para los tamaños de chirimoya categoría extra y primera ecotipo Aurora (10 y 12 cm en su máxima sección transversal).   |
| 4                       | Horas de trabajo:   | La central hortofrutícola opera durante 9h en un día.  |
| 5                       | Fuentes de energía: | La central hortofrutícola cuenta con puntos de corriente 380Vac, instalaciones de agua, desagüe y neumáticas de 6bar.  |
| 6                       | Seguridad:          | El sistema contará con guarda para la protección mecánica de los elementos en movimiento.  |
| 7                       | Montaje             | El sistema será modular par su fácil transporte e instalación.   |
| 8                       | Control de calidad: | Los componentes tienen que cumplir con la norma de seguridad alimentaria FDA (Food and Frugstore Administration) [16], la cual indica que la fabricación de los materiales cercanos al producto deben ser de acero grado alimenticio y los que estén en contacto con el producto deben ser fabricados de acuerdo al PH del producto. Algunos de estos materiales son el AISI 304, AISI 430, film stretch adhesivo, lámina PTFE (politetrafluroetileno), etc. |

#### 2.4. Fijar los procesos técnicos

Analizando en detalle el proceso técnico se tiene las siguientes fases:

##### i. Preparación

-Preparar la jaba de chirimoyas para su volcado.

-Volcar lentamente la jaba hasta vaciarla totalmente.

-Repetir el proceso hasta formar sólo un nivel de chirimoyas en la tolva.

#### ii. Ejecución

-Alinear el producto en dos filas mientras se traslada al sub-sistema de alimentación.

-Elevar el producto hacia el sub-sistema de seleccionado.

-Individualizar el producto en el sistema de seleccionado para su fácil reconocimiento.

-Trasladar el producto al sub-sistema que contiene el circuito electrónico con el método de toma de datos por captura de imágenes.

-Ubicar el producto en el subsistema de actuadores el cual recibe una señal acondicionada del circuito electrónico.

-Seleccionar el producto en su categoría correspondiente.

#### iii. Control

-Verificar que el producto a ingresar al sistema corresponde a chirimoyas categoría primera o extra eco-tipo Aurora.

-Encender el sistema para iniciar el traslado del producto a través de él

-Controlar variables para el correcto funcionamiento de los subsistemas.

-Controlar la parada de emergencia y demás elementos de seguridad.

-Controlar el proceso de principio a fin.

#### iv. Fase final

-Retirar las chirimoyas seleccionadas al final del sistema en cada una de las tolvas antes que estas se saturen.

-Reiniciar nuevamente los pasos desde la preparación.

-Realizar una inspección diaria a los equipos del sistema.

### 2.5. Determinar la aplicación del sistema técnico y sus limitaciones

Actualmente las fases mencionadas anteriormente se llevan a cabo manualmente por lo cual se requiere un sistema mecánico eléctrico que cuente con un grupo electrónico de método de selección por tamaño para una producción a mediana escala que sólo se encargue de trasladar el producto de manera adecuada para evitar daños y con una capacidad de 5Tn/día de chirimoya categoría primera ecotipo Aurora.

## 2.6. Determinar la agrupación de las funciones

Del proceso anterior se tienen las siguientes estructuras de funciones por dominios. El dominio mecánico en la fig.2.2, tiene como variable de ingreso las chirimoyas categoría Primera y Extra ecotipo Aurora; además, comprende las funciones volcar, alinear, individualizar, trasladar a grupo electrónico de selección, trasladar a actuación, seleccionar; y finalmente tiene como variable de salida las chirimoyas con características adecuadas y no adecuadas.

El dominio energía en la fig.2.3, tiene como variable de ingreso una fuente de energía; además, comprende las funciones activar, distribuir cambiar del estado de reposo activado, reducir velocidades y actuar; finalmente tiene como variables de salida el ruido, calor, vibración y trabajo.

El dominio control en la fig.2.4, tiene como variable de ingreso la información; además, comprende las funciones sensor, integrar, controlar variables, controlar sistemas, ejecutar el cambio; finalmente tiene como variable de salida información procesada.

El dominio electrónico en la fig.2.5, tiene como variable de ingreso la geometría de la chirimoya, comprende las funciones capturar, extraer, generar candidatos, clasificar candidatos, refinar decisión, decidir, ampliar, transmitir; finalmente tiene como variable de salida la señal amplificada.

Por último, la estructura de funciones óptima de los dominios anteriores se integra en una sola estructura de funciones total del sistema fig.2.6, en la cual se resalta el dominio mecánico el cual será elaborado en la presente tesis.

Dominio mecánico

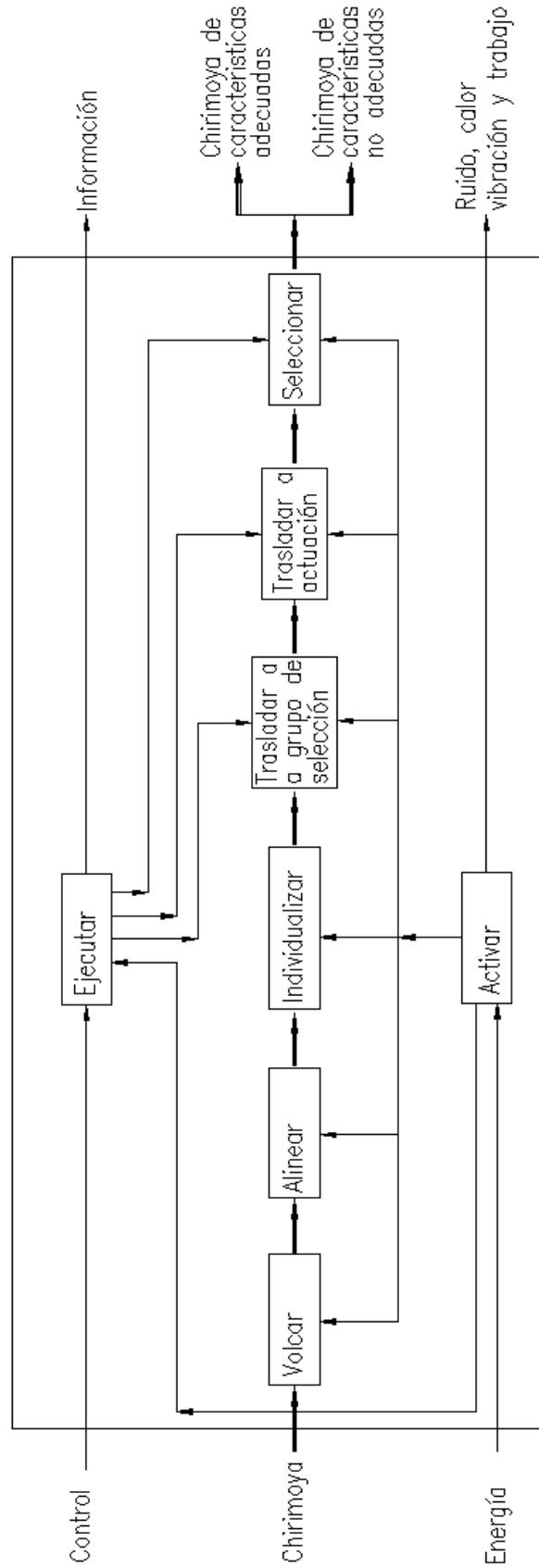


Fig.2.2. Dominio mecánico

Dominio energía

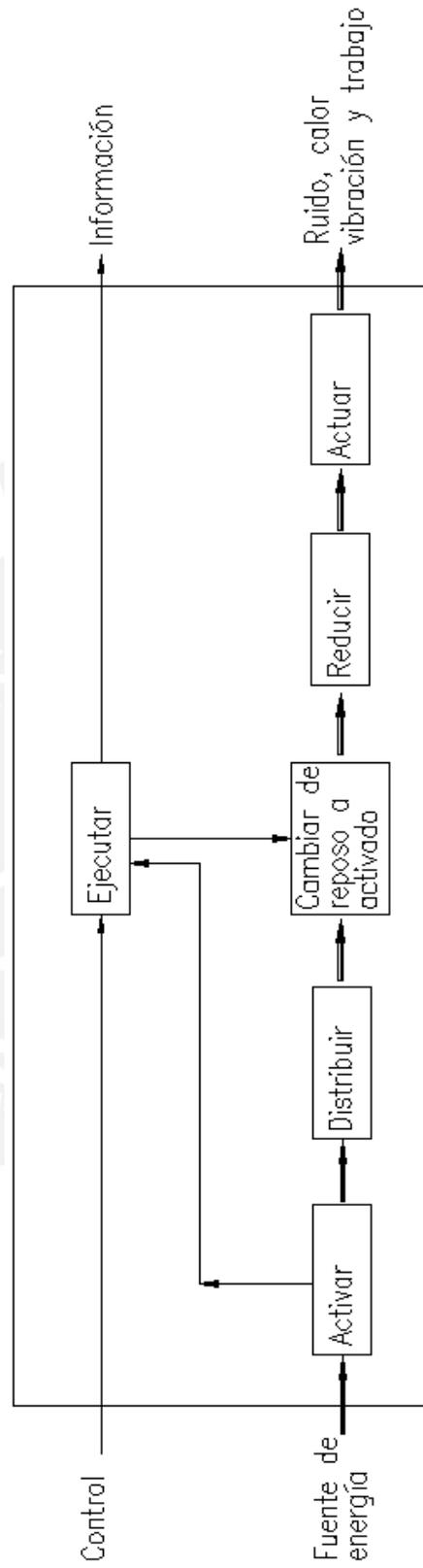


Fig.2.3. Dominio energía

Dominio control

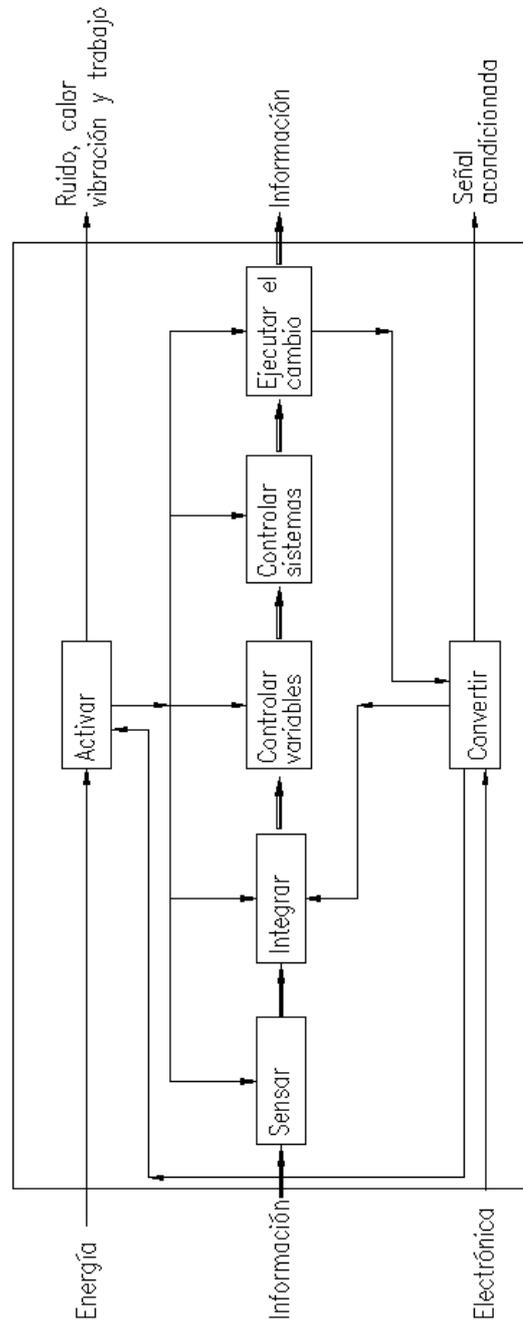


Fig.2.4. Dominio control

Dominio electrónico

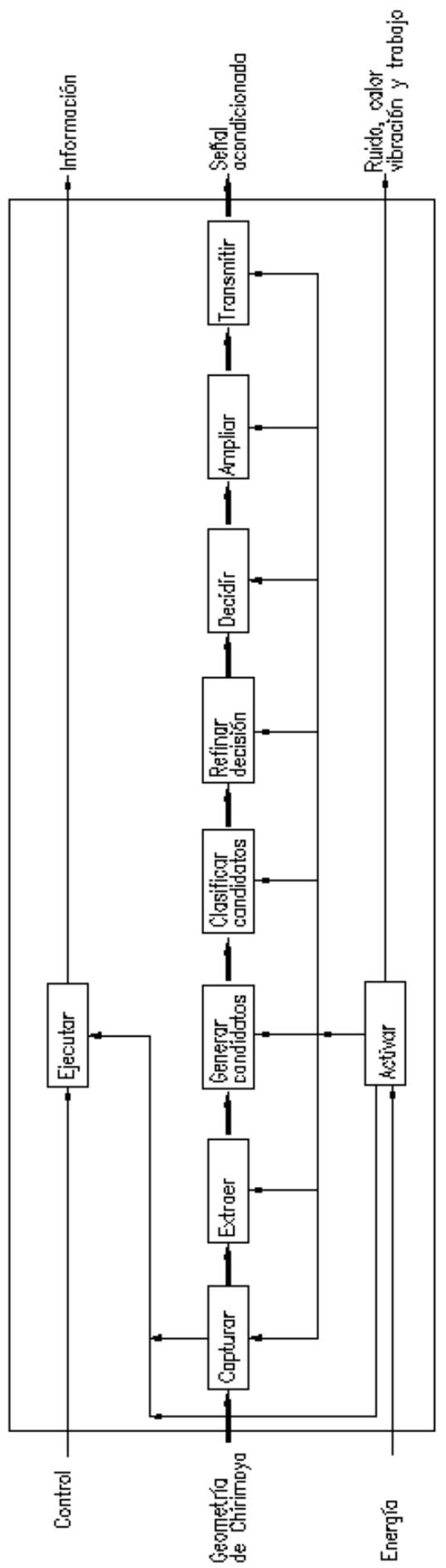


Fig.2.5. Dominio electrónico

Estructura de funciones de los dominios anteriores

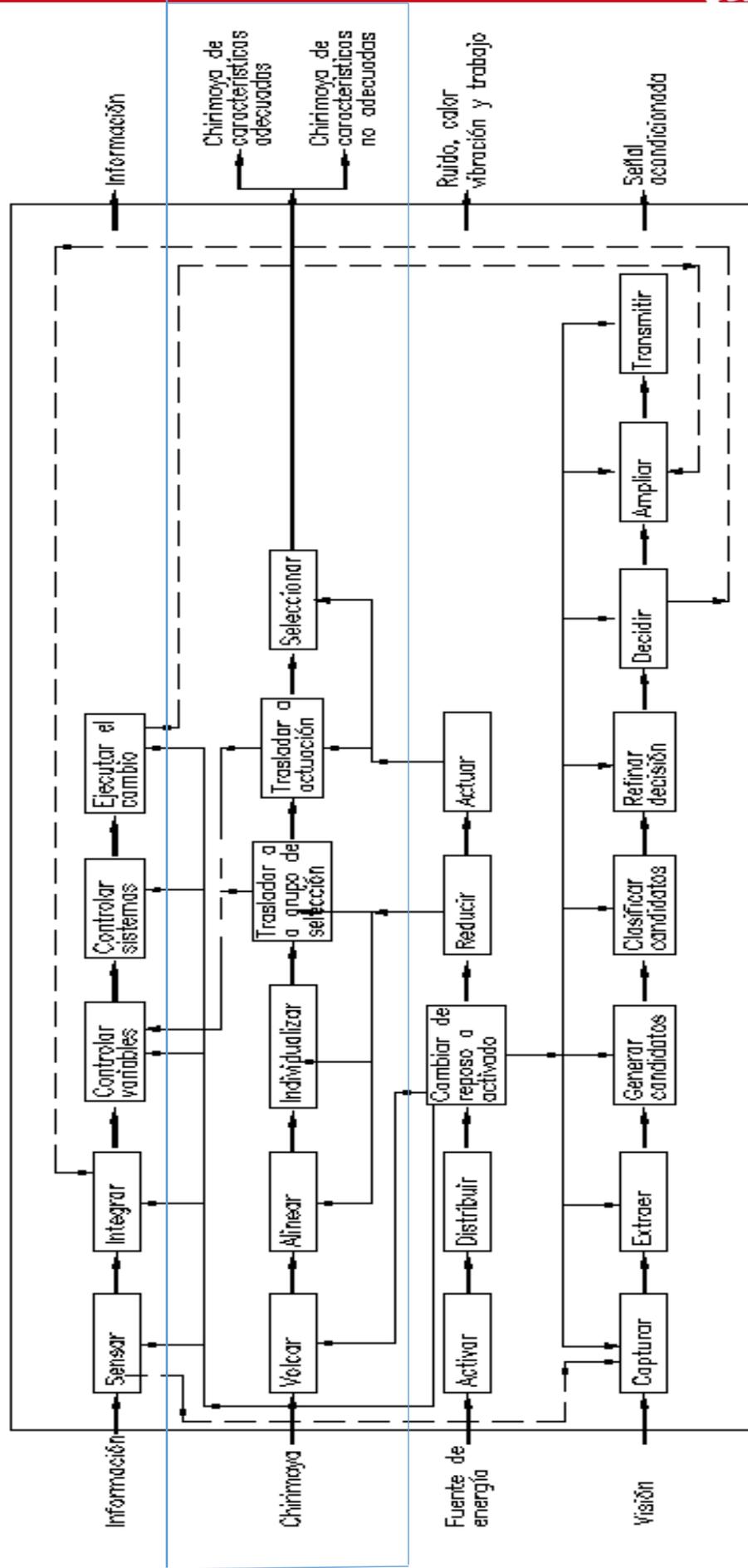


Fig.2.6. Integración de los dominios

2.7. Matriz morfológica del sistema para la selección de chirimoyas

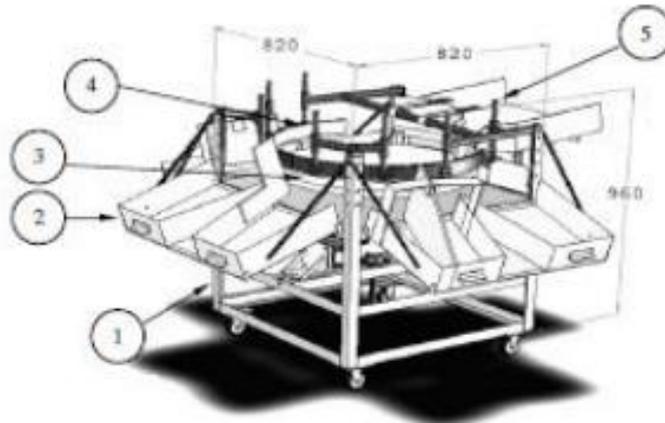
Empleando la matriz morfológica mostrada en la tabla 2.2, se deben elegir las soluciones que lleven al desarrollo de varios conceptos de solución acorde con los procesos que se emplean en la producción a mediana escala.

Tabla 2.2. Matriz de soluciones para la etapa de conceptos del dominio mecánico

| Funciones parciales | Portadores de funciones |                       |                            |                            |                            |
|---------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Volcar              | Automatic<br>           | Hidraulico<br>        | Manual<br>                 | Gravedad<br>               |                            |
| Alinear             | Tolva<br>               |                       |                            |                            | Manual<br>                 |
| Individualizar      | Guías<br>               | Accesorio de faja<br> | Guías circular<br>         |                            |                            |
| Trasladar a         | Grupo constructivo<br>  | Bandeja<br>           | Seleccionador mecanico<br> | Seleccionador mecanico<br> | Seleccionador mecanico<br> |
| Empujar             | Neumatico<br>           | Hidraulico<br>        |                            |                            |                            |
| Seleccionar         | Tolva<br>               | Lonas<br>             |                            |                            |                            |

Solución2    Solución 1    Solución 3

Concepto de solución 1

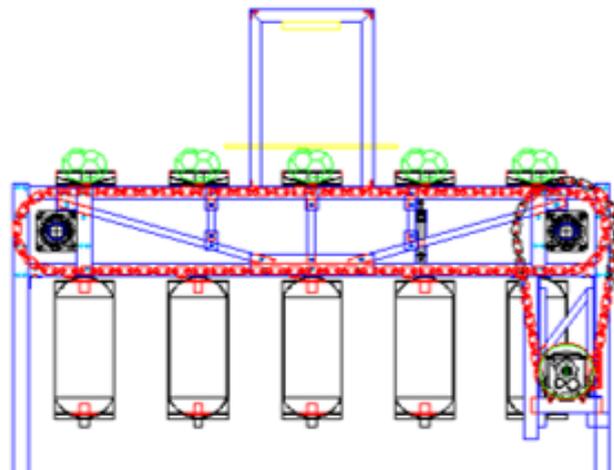


*Fig.2.7. Solución 1 tipo tornamesa*

Descripción concepto solución 1

Luego de volcar el producto a la faja transportadora las chirimoyas son trasladadas al sistema seleccionador tipo tornamesa, ver fig.2.7, el cual por medio de la fuerza que produce el giro traslada las chirimoyas hacia el borde de la tornamesa para luego ser seleccionadas por medio de cintas calibradas a una altura específica o por un pistón y finalmente separa las chirimoyas de características adecuadas de las otras.

Concepto de solución 2



*Fig.2.8. Solución 2 tipo transportador con cadena de arrastre*

### Descripción concepto solución 2

Luego de ser alineadas en el sistema alimentador las chirimoyas se ubican en cada una de las bandejas, ver figura 2.8, para individualizar el producto y luego se trasladan a la zona de captura; después de la cual se ubica el pistón neumático que se encarga de voltear cada una de las bandejas si el producto no cumple con las características adecuadas; y finalmente los productos que cumplen con las características adecuadas caen hacia una lona en el final del transportador para luego ser embaladas y comercializadas.

### Concepto de solución 3

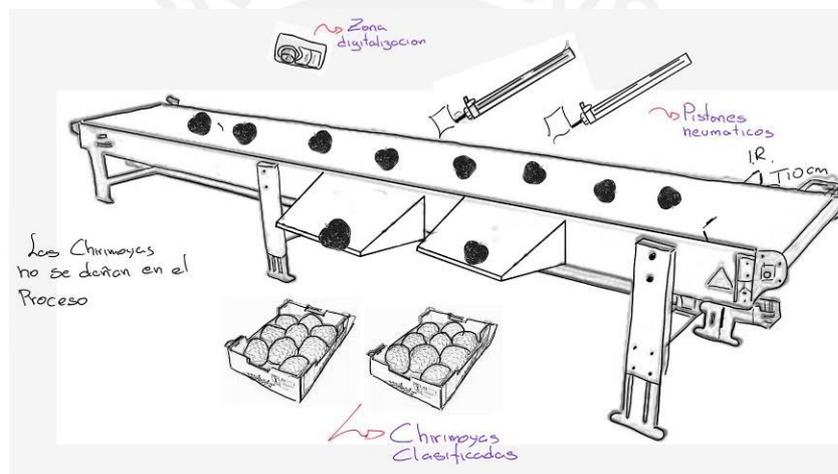


Fig.2.9. Solución 3 tipo faja transportadora

### Descripción concepto solución 3

Se vuelcan de forma adecuada para que las chirimoyas se ubiquen en una sola fila sobre la faja transportadora, ver fig.2.9, la cual cuenta con un sistema de visión que identifica las chirimoyas con características adecuadas luego envía una señal hacia los actuadores los cuales clasifican el producto en chirimoyas con el tamaño adecuado para luego ser recolectado en una tolva de selección. Finalmente estas chirimoyas son acomodadas en su respectiva caja de exportación para su posterior comercialización.

## 2.8. Determinar el concepto de solución preliminar

A los conceptos de solución mostradas anteriormente se le aplicarán los criterios de evaluación técnicos y económicos según recomienda la norma VDI 2221. Ver tabla 2.3. Después de la aplicación de este criterio se obtiene las funciones que luego deben ser divididas en subfunciones que permiten obtener las soluciones preliminares.

Tabla 2.3. Evaluación de criterios técnicos y económicos del concepto de solución

| N°         | Criterios técnicos y económicos     | Soluciones |    |    |
|------------|-------------------------------------|------------|----|----|
|            |                                     | 1          | 2  | 3  |
| 1          | Buen uso de la fuerza o energía     | 4          | 3  | 3  |
| 2          | Seguridad                           | 2          | 3  | 4  |
| 3          | Rapidez                             | 4          | 4  | 3  |
| 4          | Estabilidad                         | 4          | 3  | 4  |
| 5          | Confiabilidad                       | 4          | 3  | 3  |
| 6          | Facilidad de Manejo                 | 2          | 2  | 4  |
| 7          | Complejidad                         | 2          | 2  | 4  |
| 8          | Lista de Exigencias                 | 4          | 4  | 2  |
| 9          | Protección de Chirimoyas            | 4          | 4  | 0  |
| 10         | Grado de Contaminación              | 3          | 4  | 3  |
| 11         | Número de Piezas                    | 2          | 2  | 1  |
| 12         | Fácil Adquisición de los Materiales | 3          | 2  | 2  |
| 13         | Productividad                       | 3          | 4  | 1  |
| 14         | Costos Diversos                     | 2          | 2  | 3  |
| 15         | Pocos desperdicios                  | 1          | 4  | 3  |
| 16         | Numero de Operarios                 | 2          | 2  | 2  |
| 17         | Costo de la Tecnología              | 4          | 3  | 2  |
| 18         | Facilidad de montaje                | 1          | 3  | 4  |
| 19         | Mantenibilidad                      | 3          | 3  | 2  |
| 20         | Costos de Operación                 | 2          | 3  | 2  |
| Suma total |                                     | 56         | 60 | 52 |

Donde:

0: No aceptable

2: Suficiente

4: Muy satisfactorio

1: Poco satisfactorio

3: Satisfactorio

Se toma como concepto de solución la solución 2 que es la que obtuvo mayor puntaje. Esta comprende un sistema de alimentación con rodillos de empuje y una transmisión por cadena de bandejas por las que se va a transportar las chirimoyas.

## 2.9. Determinar el proyecto preliminar

Un proceso similar a la matriz de soluciones anterior, es aplicado nuevamente a cada una de las funciones y subfunciones en caso existan para hallar soluciones más detalladas y de esta manera poder obtener los elementos mecánicos principales para la máquina. Este proceso se muestra en el Anexo B. A continuación, se muestran las soluciones preliminares obtenidas del proceso anterior.

### Solución preliminar 1

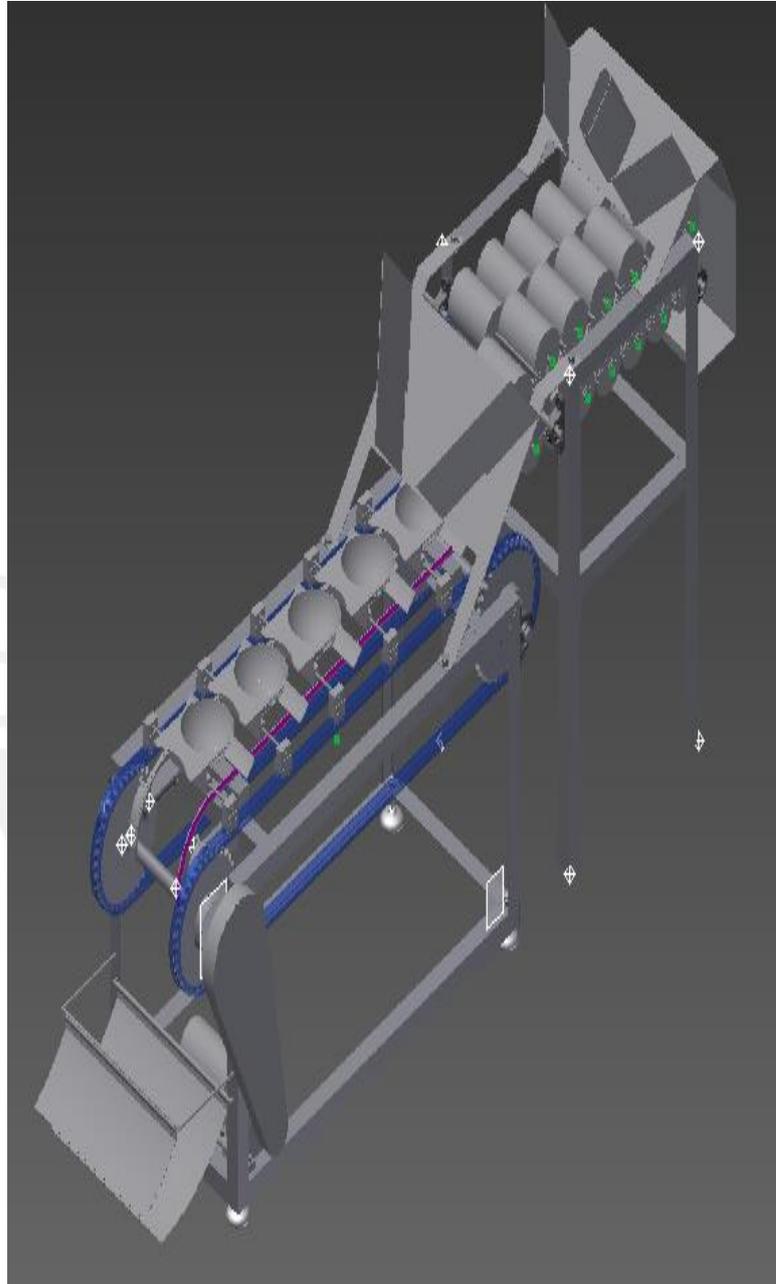


*Fig.2.10. Solución 1 tipo transportador alimentación y selección una línea*

### Descripción de la solución preliminar 1

En el sistema fig.2.10, las chirimoyas son alineadas a través de guías mientras se traslada en la faja transportadora. Luego pasa a través de un sistema de balanzas electrónicas que cuenta con una bandeja individual para cada una de las chirimoyas. Este sistema tiene la ventaja de ser comercial y tener un ancho igual al del producto. Sin embargo, para evitar la saturación en el sistema de la balanzas electrónicas, la velocidad de este sistema debe ser mayor al de la faja transportadora por ello se observa bandejas vacías que separan el producto.

## Solución preliminar 2



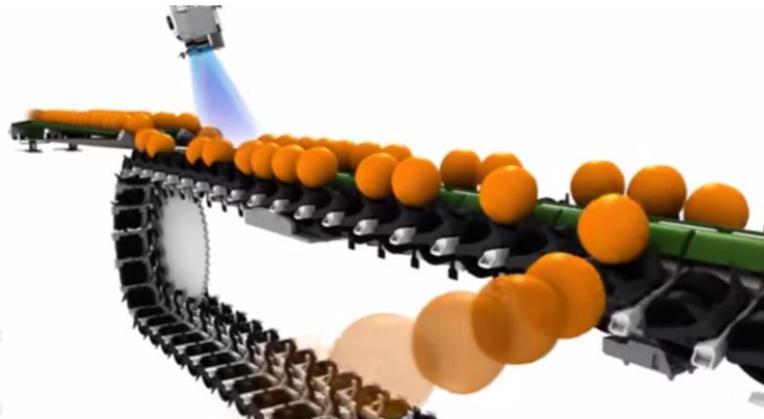
*Fig.2.11. Solución 2 tipo transportador de arrastre alimentación y selección una línea*

### Descripción de la solución preliminar 2

En la solución.2.11, se puede observar una rampa de ingreso que distribuye las chirimoyas en dos filas que son llevadas a través de una faja con cilindros de arrastre hacia las

bandejas semielípticas. Es en este subsistema donde ocurre el proceso de captura de imágenes y selección final de producto. En este caso se observa que el producto ingresa en dos filas para que no se sature.

### Solución preliminar 3



*Fig.2.12. Solución 3 tipo transportador de arrastre alimentación dos líneas y selección dos líneas*

### Descripción de la solución preliminar 3

En la solución fig.2.12, se muestra un sistema que distribuye el producto en 2 filas y también cuenta con dos sistemas de balanzas electrónicas que realiza el proceso de captura de imágenes y selección final del producto. Sin embargo este sistema requiere de mayor espacio y mayor inversión por la cantidad de bandejas y cámaras que se requieren para la selección simultánea del producto en dos filas.

A las soluciones preliminares mostradas anteriormente se le aplicarán los criterios de evaluación técnicos y económicos según recomienda la norma VDI 2221. Después de la aplicación de este criterio se obtiene la solución óptima en la cual se realizarán los cálculos para la elaboración del diseño. Ver tabla 2.4.

Tabla 2.4. Criterios de evaluación para diseños preliminares

| N°    | Criterios técnicos y Económicos                     |     | Soluciones |      |      |      |      |      |            |      |
|-------|---|-----|------------|------|------|------|------|------|------------|------|
|       |   |     | 1          |      | 2    |      | 3    |      | Sol. Ideal |      |
|       |   | G   | p          | Gp   | p    | Gp   | p    | Gp   | p          | Gp   |
| 1     | Buen uso de la F o E                                | 5%  | 3          | 0.15 | 3    | 0.15 | 4    | 0.20 | 4          | 0.2  |
| 2     | Seguridad   | 5%  | 4          | 0.2  | 3    | 0.15 | 2    | 0.10 | 4          | 0.2  |
| 3     | Rapidez   | 1%  | 3          | 0.03 | 4    | 0.04 | 4    | 0.04 | 4          | 0.04 |
| 4     | Estabilidad   | 5%  | 4          | 0.2  | 3    | 0.15 | 4    | 0.20 | 4          | 0.2  |
| 5     | Confiabilidad                                       | 5%  | 3          | 0.15 | 3    | 0.15 | 4    | 0.20 | 4          | 0.2  |
| 6     | Facilidad de Manejo                                 | 4%  | 4          | 0.16 | 2    | 0.08 | 2    | 0.08 | 4          | 0.16 |
| 7     | Complejidad   | 3%  | 4          | 0.12 | 2    | 0.06 | 2    | 0.06 | 4          | 0.12 |
| 8     | Lista de Exigencias                                 | 5%  | 2          | 0.1  | 4    | 0.2  | 4    | 0.20 | 4          | 0.2  |
| 9     | Protección de Chirimoyas                            | 18% | 0          | 0    | 4    | 0.72 | 4    | 0.72 | 4          | 0.72 |
| 10    | Grado de Contaminación                              | 7%  | 3          | 0.21 | 4    | 0.28 | 3    | 0.21 | 4          | 0.28 |
| Eje x | Total de la ponderación de los criterios técnicos   |     | 30         | 1.32 | 32   | 1.98 | 33   | 2.01 | 40         | 2.32 |
|       |   |     | 0.75       | 0.57 | 0.8  | 0.85 | 0.83 | 0.87 | 1          | 1    |
|       | Xi  |     |            | 0.57 |      | 0.85 |      | 0.87 |            | 1    |
| 11    | Número de Piezas                                    | 5%  | 4          | 0.2  | 2    | 0.1  | 2    | 0.1  | 4          | 0.2  |
| 12    | Fácil Adquisición de los Mat.                       | 5%  | 4          | 0.2  | 2    | 0.1  | 3    | 0.15 | 4          | 0.2  |
| 13    | Productividad                                       | 1%  | 3          | 0.03 | 4    | 0.04 | 3    | 0.03 | 4          | 0.04 |
| 14    | Costos Diversos                                     | 5%  | 4          | 0.2  | 2    | 0.1  | 2    | 0.1  | 4          | 0.2  |
| 15    | Pocos desperdicios                                  | 3%  | 4          | 0.12 | 4    | 0.12 | 1    | 0.03 | 4          | 0.12 |
| 16    | Numero de Operarios                                 | 5%  | 2          | 0.1  | 2    | 0.1  | 2    | 0.1  | 4          | 0.2  |
| 17    | Costo de la Tecnología                              | 5%  | 4          | 0.2  | 2    | 0.1  | 4    | 0.2  | 4          | 0.2  |
| 18    | Facilidad de montaje                                | 4%  | 4          | 0.16 | 3    | 0.12 | 1    | 0.04 | 4          | 0.16 |
| 19    | Mantenibilidad                                      | 4%  | 4          | 0.16 | 3    | 0.12 | 3    | 0.12 | 4          | 0.16 |
| 20    | Costos de Operación                                 | 5%  | 4          | 0.2  | 3    | 0.15 | 2    | 0.1  | 4          | 0.2  |
| Eje y | Total de la ponderación de los criterios económicos |     | 37         | 1.57 | 27   | 1.05 | 23   | 0.97 | 40         | 1.67 |
|       |   |     | 0.93       | 0.93 | 0.68 | 0.63 | 0.58 | 0.58 | 1          | 1    |
|       | Yi  |     |            | 0.93 |      | 0.63 |      | 0.58 |            | 1    |

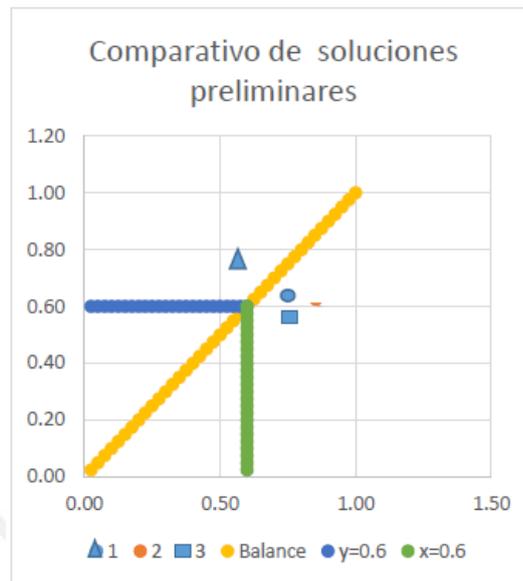


Fig. 2.13. Gráfico comparativo de diseños preliminares

De acuerdo al criterio de selección de la solución preliminar se debe elegir la solución más cercana a la diagonal la cual indica que hay un balance entre los aspectos técnicos y económicos. Por lo tanto, de acuerdo a la fig.2.13 la solución más adecuada viene a ser la solución preliminar 2. La cual comprende un sub-sistema de alimentación automático de dos líneas esto permite que el producto no se sature al ingresar al sistema, luego pasa a un sub-sistema seleccionador de una línea el cual es lo adecuado para cubrir la demanda requerida de 5Tn/día de chirimoya y lo cual resulta más económico que un sistema seleccionador de 2 líneas. En el siguiente capítulo se pasa a elaborar los cálculos de la solución óptima del diseño preliminar seleccionado anteriormente.

## CAPÍTULO 3

 III. DISEÑO ÓPTIMO DEL SISTEMA MECÁNICO ELÉCTRICO PARA LA  
PRODUCCIÓN DE 5Tn/día DE CHIRIMOYA

Diseñar un sistema mecánico eléctrico para la selección de chirimoyas que cuenta con una demanda de 5Tn/día según lo solicitado por el cliente (Este valor también ha sido estimado en el subcapítulo 1.1 Producto), el cual debe contar con un circuito electrónico simple y que cuente con las operaciones básicas para la producción a mediana escala. Se describe en el presente capítulo las fases que se llevaron a cabo para la obtención del diseño óptimo que constan de un preproceso y luego un proceso de diseño del sistema mecánico eléctrico. A continuación, se detallan las fases del proceso y preproceso del diseño del sistema mecánico eléctrico.

## 3.1 Preproceso de diseño del sistema mecánico eléctrico

Diseñar el sistema mecánico eléctrico requiere; primero, de un resumen de los datos obtenidos hasta el momento por los distintos dominios; segundo, modelos esquemáticos del sistema mencionando sus componentes; tercero, conocer el tipo de material a emplear; cuarto, determinar que la velocidad de transporte suministrada por el sistema visión cumple con la capacidad solicitada por el cliente.

## 3.1.1 Datos empleados por el sistema mecánico eléctrico

Con la finalidad de obtener el diseño óptimo del sistema mecánico eléctrico se requieren los datos suministrados por otros dominios según muestra la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Datos suministrados

| Dominios   | Datos  | Valor   |
|--|--|---------|
| Sistema de visión artificial para la clasificación de chirimoyas basado en medidas [3] | Velocidad de transporte máxima permitida por la cámara.                                  | 0.33m/s |
| Solicitud del cliente  | Capacidad requerida (Este valor también ha sido estimado en el subcapítulo 1.1 Producto) | 5Tn/día |
| Producto   | Peso promedio de una chirimoya categoría primera ecotipo Aurora                          | 0.5 kg  |
| Bandeja comercial  | Diámetro de la bandeja comercial   | 0.18m   |

### 3.1.2 Modelos esquemáticos del sistema mecánico eléctrico

El sistema mecánico eléctrico está compuesto, según fig.3.1, por el sistema alimentador, el sistema seleccionador y por el sistema de visión artificial, el cual no es parte de la presente tesis.

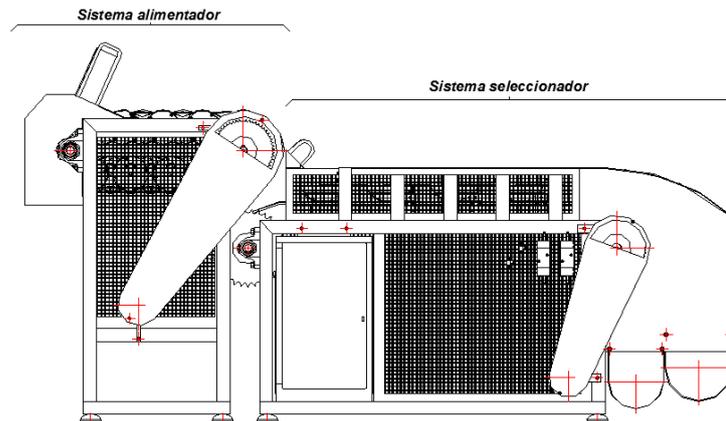


Fig. 3.1 Sistema alimentador y seleccionador

#### Sistema alimentador

Según se muestra en la fig.3.2, primero se debe volcar la jaba que contiene chirimoyas categoría primera y extra sobre la rampa de alimentación con una inclinación de  $24^\circ$  hasta vaciarla por completo; segundo, se lleva a cabo la alineación del producto trasladando y separando este uniformemente con respecto al anterior; finalmente, el producto ingresa al sistema seleccionador a través de su rampa de ingreso.

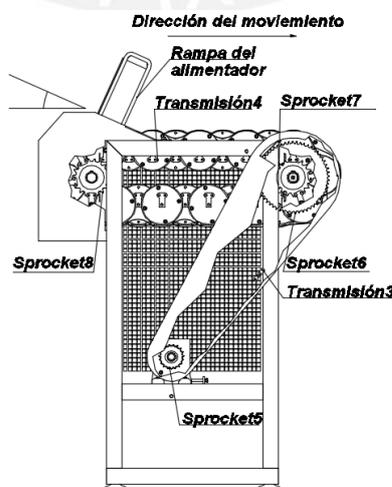


Fig. 3.2 Sistema alimentador con rampa de ingreso al alimentador

### Sistema seleccionador

De acuerdo a la fig.3.3; primero, cuando la chirimoya ingresa al sistema seleccionador es trasladado por bandejas hacia el sistema de visión cuya elaboración no ha sido realizada en la presente tesis y de la cual sólo se empleará el dato de la velocidad de transporte. Segundo una señal es recibida por el actuador el cual se encarga de seleccionar el producto en su categoría correspondiente. Finalmente, la chirimoya es recepcionada por un operario sobre una lona para ser empaquetada y enviada a su respectivo consumidor final.

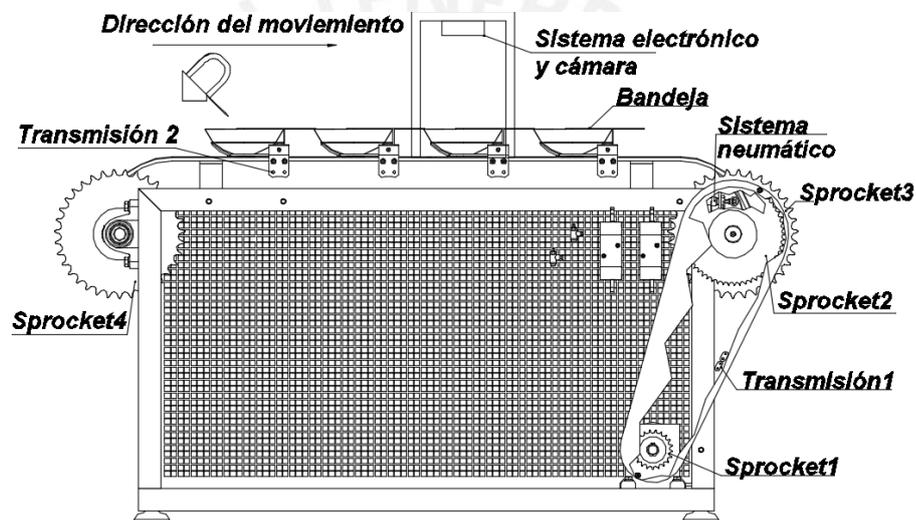


Fig. 3.3 Sistema seleccionador con rampa de ingreso al seleccionador

#### 3.1.3 Materiales a emplear en el diseño del sistema mecánico eléctrico

Con lo definido en el diseño óptimo se tiene un modelo de la estructura final del sistema, luego con lo indicado en el código sanitario FDA [16] se determina el material y sus propiedades para su posterior análisis estructural; por ello, Helio Colombe [17] publica que el valor del PH de la chirimoya es 4 con este valor según indica el código sanitario FDA [16] se definen los materiales para la construcción de equipos en contacto con los alimentos y los que sin tener contacto con los alimentos se encuentran expuestos a salpicadura, derrames o suciedad proveniente de los alimentos o requiere de limpieza frecuente, se deben construir de material resistente a la corrosión no absorbente y liso; finalmente los equipos y utensilios se deben diseñar y construir con el fin de ser durables

y de mantener sus cualidades características bajo condiciones normales de uso. Se presenta la siguiente tabla 3.2 resumen de materiales en contacto con la comida así como sus especificaciones en la tabla 3.3 según FDA, ambas tablas elaboradas por Habasit [18], que son el acero inoxidable AISI 304 (Acero inoxidable austenítico ó SA), AISI 430 (Acero inoxidable ferrítico ó SS), film stretch adhesivo y lámina PTFE (politetrafluoroetileno).

Tabla 3.2. Tabla de materiales permitidos por la FDA

| Characteristics                         | SS | SA |
|---|----|----|
| Impact resistance                       | •  | •  |
| Wear resistance                         | •  | •  |
| Chemical resistance                     | •  |    |
| Chemical resistance (high requirements) |    | •  |
| Low friction                            |    |    |
| Suitability in wet environments         | •  | •  |
| Electrically conductive                 | •  | •  |
| Direct food contact                     | •  | •  |
| Magnetic                                |    |    |
| Noise dampening                         |    |    |

Tabla 3.3. Tabla de especificaciones de los materiales permitidos por la FDA

| Material | Description  | Density [g/cm <sup>3</sup> ] | Temperature range  | Standard color |
|----------|--|------------------------------|--|----------------|
| SS       | Standard applications - Ferritic stainless steel, magnetic qualities, and good chemical resistance. Suitable for most applications and environments. Standard pin for plastic and steel chains. AISI 430 (Chain code K)                                | 7.90                         | Dry conditions: -40 °C to +260 °C (-40 °F to +500 °F)<br>Wet conditions: -40 °C to +120 °C (-40 °F to +248 °F) | Gray           |
| SA       | High chemical resistance - Austenitic stainless steel, non-magnetic, with better chemical resistance and wear resistance, but less mechanical strength. Used in tough environments or for esthetic reasons. Steel chains only. AISI 304 (Chain code P) | 7.90                         | Dry conditions: -40 °C to +400 °C (-40 °F to +752 °F)<br>Wet conditions: -40 °C to +120 °C (-40 °F to +248 °F) | Gray           |

### 3.1.4 Determinación de la velocidad de transporte limitada por el sistema de visión cumple con la demanda solicitada por la asociación de agricultores

Para hallar este parámetro; primero, se define la capacidad de diseño del sistema mecánico eléctrico y el total de chirimoyas a procesar; segundo, se tiene que establecer la distancia de separación entre bandejas; finalmente, con los valores anteriores se

comprueba que el tiempo que demora en realizar el proceso de clasificación no supera al tiempo de una jornada laboral de trabajo el cual es de 9h.

Capacidad de diseño del sistema mecánico eléctrico

De acuerdo al autor Adel A. Kader [19], el requerimiento a considerar en la selección por tamaño es que la capacidad de diseño, debe ser 1.5 veces la capacidad solicitada por el cliente, mostrado en Ec.(3.1). Por lo tanto, se emplea el valor suministrado por el cliente, mostrado en la tabla 3.1, que requiere de una capacidad de 5 ton/día, lo cual equivale a 5000 kg por día. Luego este valor es reemplazado en Ec.3.1 con lo que se obtiene una capacidad de diseño 7500 kg por día.

$$Q_{dis} = 1.5 Q_{req} \quad (3.1)$$

$Q_{dis}$  : Capacidad de diseño [kg / día]

$Q_{req}$  : Capacidad solicitada por el cliente [kg / día]

Finalmente, se requiere saber el equivalente de esta capacidad de diseño en cantidad de chirimoyas, empleando el dato anterior de 7500 kg por día y el dato de la masa de la chirimoya de la tabla 3.1, que es de 0.5kg cada chirimoya, en la Ec.(3.2) se obtiene que son 15000 el total de chirimoyas a procesar por día.

$$Qty = \frac{Q_{dis}}{m} \quad (3.2)$$

$Qty$  : Cantidad de chirimoyas [a dim ensional]

Separación entre bandejas

Primero en la figura 3.4, se muestra una bandeja comercial de diámetro de 0.18m

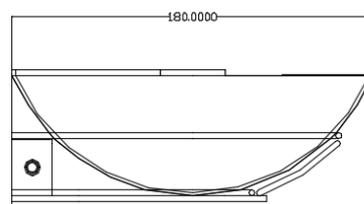


Fig.3.4 Diámetro de una bandeja comercial

Segundo, se sabe que en el instante de la selección la bandeja va a realizar un giro, ver figura 3.5. Por lo tanto, se tiene una separación de 0.09m entre las dos bandejas para que no choquen; finalmente sumando las medidas anteriores se tiene una longitud de bandeja de 0.27m.

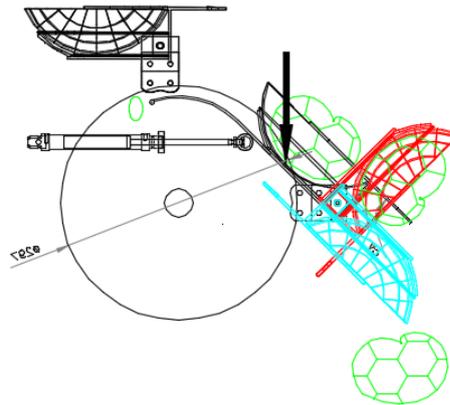


Fig.3.5 Giro de la bandeja en el instante de la selección

De la separación entre bandejas obtenidas del resultado anterior y la velocidad de transporte de 0.33m/s dato obtenido de la tabla 3.1, reemplazados en la Ec.(3.3), se obtiene que el tiempo de demora entre chirimoyas para pasar a través de un punto fijo en el sistema es de 1s. Finalmente, reemplazando en Ec.(3.4) el valor anterior y el total de 15000 chirimoyas, hallado en Ec.(3.2), se obtiene un tiempo total de 4h en el caso más favorable

$$t_1 = \frac{d}{V} \tag{3.3}$$

$$T_{dis} = Q \cdot t_1 \tag{3.4}$$

$d$  : Separación entre bandejas [m]

$V$  : Velocidad de transporte [m/ s]

$t_1$  : Tiempo de demora entre chirimoyas para atravesar un punto fijo [s]

$T_{dis}$  : Tiempo total para cubrir con el procesamiento del total de chirimoyas [s]

El caso desfavorable se produce cuando se trasladan de forma alternada, una bandeja vacía y una bandeja llena, con lo cual se obtiene una distancia de separación de 0.54m. Manteniendo los valores anteriores se obtiene, de la Ec.(3.3), un tiempo de demora entre

chirimoyas para pasar a través de un punto fijo en el sistema de 2s. Finalmente, reemplazando en Ec.(3.4) el valor anterior y el total de 15000 chirimoyas hallado en Ec.(3.2), se obtiene un tiempo total de 8h en el caso desfavorable.

En ambos casos, se observa que el tiempo que demora en seleccionar las chirimoyas es aproximado al tiempo de una jornada laboral de trabajo de 8h; con lo cual se tiene que la velocidad de transporte cumple con lo solicitado por el cliente.

### 3.2 Proceso de diseño del sistema mecánico eléctrico

Comprende el análisis cinemático, fuerza de transporte de la cadena, potencia del motor, cálculo del diámetro de ejes, análisis neumático, eléctrico y estructural de los sistemas alimentador y seleccionador, según corresponda.

#### 3.2.1 Análisis cinemático

Del dominio visión, de la tabla 3.1, se tiene una velocidad de transporte de 0.33m/s y de la geometría del sistema seleccionador, ver figura 3.6, se tiene una distancia entre centros de ejes de 1.4m. Luego, aplicando la Ec.(3.5), se obtiene que el tiempo que requiere para recorrer la longitud dada es de 4.7s.

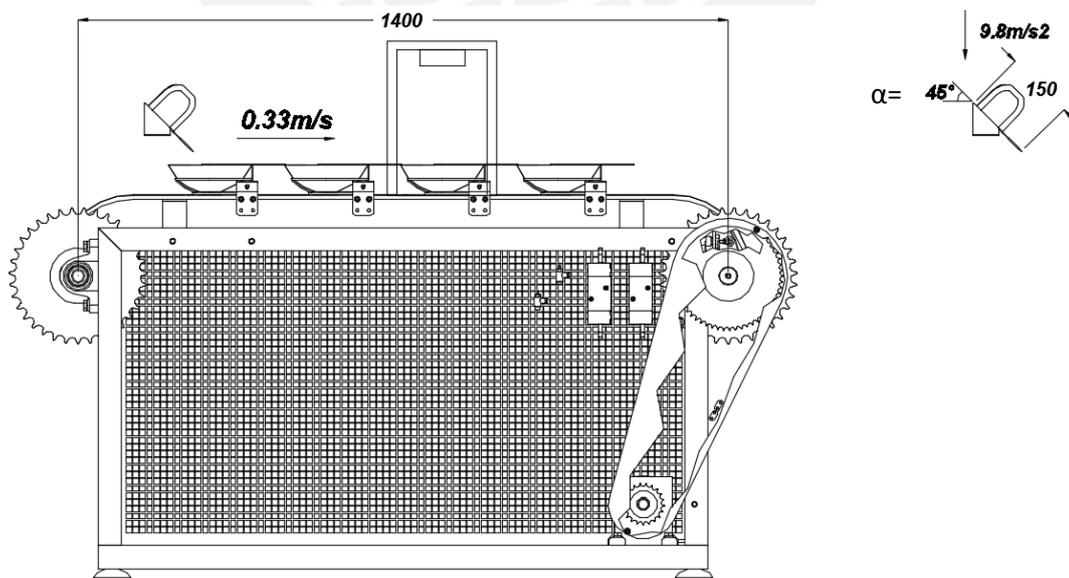


Fig. 3.6 Sistema seleccionador y rampa del seleccionador

$$t = \frac{e}{V} \tag{3.5}$$

$e$  : Separación entre centros de ejes [m]

$t$  : Tiempo que requiere para recorrer una longitud dada [s]

La rampa de ingreso al seleccionador, cuenta con un ángulo de inclinación de la rampa de ingreso de  $45^\circ$  y con una longitud de la rampa de 0.15m; además por ser un movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV), con velocidad inicial cero; Luego, se aplica la Ec.(3.6) de la cual se obtiene, que el tiempo que requiere para recorrer la longitud dada es de 0.2s.

$$e_1 = V_0 t + 0.5 g \operatorname{sen}(\alpha) t^2 \tag{3.6}$$

$V_0$  : Velocidad inicial del producto [m/s]

$\alpha$  : Inclinación de la rampa de ingreso [°]

$g$  : Gravedad [ $m/s^2$ ]

$e_1$  : Longitud de la rampa [m]

El tramo de alimentación, ver figura 3.7, el cual cuenta con una distancia entre centros de ejes de 0.65m y una velocidad de transporte de 0.08m/s; Luego, empleando la Ec.(3.5), se obtiene que el tiempo, que requiere para recorrer la longitud dada, es de 8s.

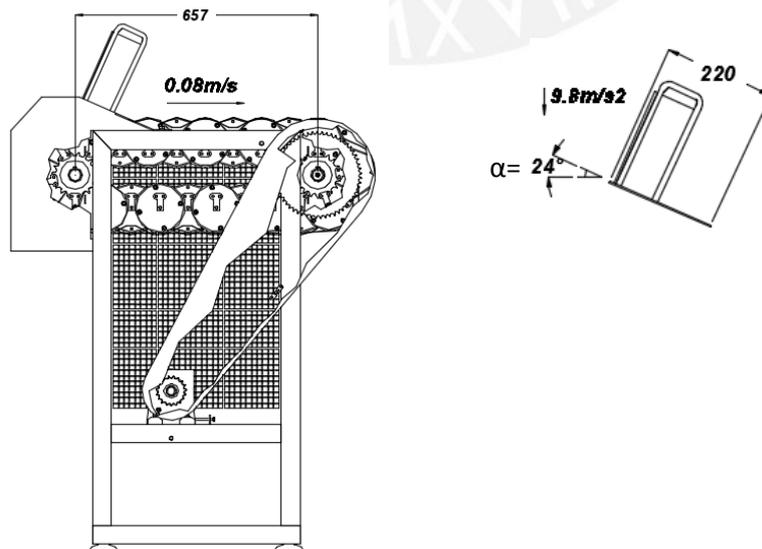


Fig.3.7 Sistema alimentador y rampa del alimentador

Además, la rampa de ingreso al alimentador cuenta con un ángulo de inclinación de  $24^\circ$  y una longitud de rampa de 0.22m; además es un MRUV, con velocidad inicial cero; luego, se aplica la Ec.(3.6) de la cual se obtiene que el tiempo, que requiere para recorrer la longitud dada, es de 0.3s. Sumando los tiempos anteriores, se obtiene un tiempo total de 13.2s en trasladar una chirimoya a través de todos los sistemas.

### 3.2.2 Análisis cinemático de la relación de transmisión del seleccionador

Se tiene una velocidad de transporte lineal de 0.33m/s (recomendado por el dominio visión) generada por los sprockets 3 y 4, ver figura 3.8, cuyos datos se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Datos de sprockets 3 y 4

| Dato                    | Nomenclatura | Valor   |
|-------------------------|--------------|---------|
| Dientes sprocket 3 y 4  | $Z_3$        | 35      |
| Diámetro sprocket 3 y 4 | $D_3$        | 304 mm  |
| Paso sprocket 3 y 4     | $P_3$        | 25.4 mm |

Elaboración: Propia.

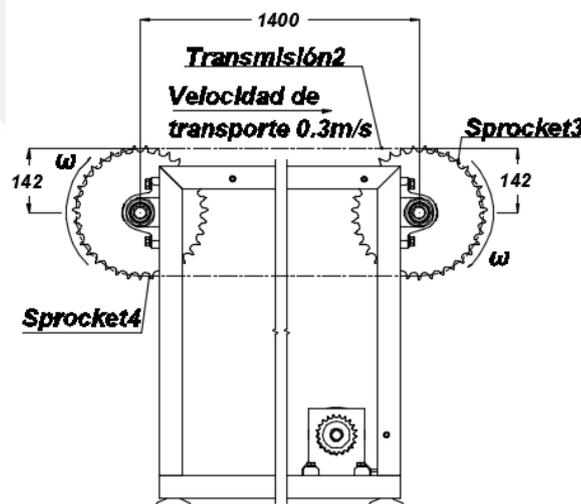


Fig.3.8 Sistema seleccionador transmisión entre los sprockets 3 y 4

Empleando los valores de la tabla 3.4 en la Ec.(3.7) se tiene, que la relación de transmisión entre los sprockets 3 y 4, es 1 y la velocidad angular según Ec.(3.8) del sprocket 3, que es igual a la del sprocket 4, es de 18.85 RPM.

$$u_{i,j} = \frac{Z_j}{Z_i} \tag{3.7}$$

$$\omega_i = \frac{V}{D_i/2} \frac{1}{2} \frac{60}{\pi} \tag{3.8}$$

*i* : Sprocket conductor

*j* : Sprocket conducido

*u<sub>ij</sub>* : Relación de transmisión [a dimensional]

*Z<sub>i</sub>* : Número de dientes del sprocket *i* [a dimensional]

*D<sub>i</sub>* : Diámetro del sprocket *i* [m]

*ω<sub>i</sub>* : Velocidad angular del sprocket *i* [RPM]

Analogamente, para la transmisión mostrada en la fig.3.9 entre los sprockets 1 ,que está conectado al motor, y el sprocket 2, que reduce y transmite el giro de 18.85RPM a la transmisión 3 y 4, cuyos datos se muestran en la tabla 3.5; luego, cuando se aplica la Ec.(3.7) a estos sprockets se obtiene una relación de transmisión, entre los sprockets 1 y 2, de 2.28; y finalmente, de la Ec.(3.9) se tiene una velocidad angular del sprocket 1 de 43 RPM.

$$\omega_j = \omega_i u_{i,j} \tag{3.9}$$

Tabla 3.5. Datos de entrada de transmisión 1 y 2

| Dato                | Nomenclatura         | Valor     |
|---------------------|----------------------|-----------|
| Dientes sprocket 2  | <i>Z<sub>2</sub></i> | 57        |
| Diámetro sprocket 2 | <i>D<sub>2</sub></i> | 230.54 mm |
| Paso sprocket 2     | <i>P<sub>2</sub></i> | 12.7 mm   |
| Dientes sprocket 1  | <i>Z<sub>1</sub></i> | 25        |
| Diámetro sprocket 1 | <i>D<sub>1</sub></i> | 101.33 mm |
| Paso sprocket 1     | <i>P<sub>1</sub></i> | 12.7 mm   |

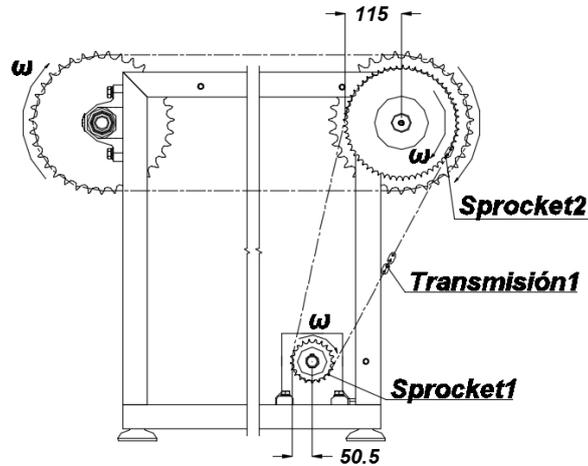


Figura 3.9. Sistema seleccionador transmisión entre los sprockets 1 y 2

### 3.2.3 Análisis cinemático de la relación de transmisión del alimentador

Empleando en Ec.3.5, la distancia de separación entre los rodillos del alimentador es 0.07m y 1.5s es el tiempo en promedio que demoran las chirimoyas del seleccionador en atravesar un punto fijo, ver figura 3.10; luego, aplicando la Ec.3.3, se obtiene una velocidad de transporte del alimentador de 0.047m/s, generado por los sprockets 7 y 8 cuyos datos se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Datos de entrada del subsistema alimentador

| Dato                    | Nomenclatura | Valor     |
|-------------------------|--------------|-----------|
| Dientes sprocket 7 y 8  | $Z_7$        | 19        |
| Diámetro sprocket 7 y 8 | $D_7$        | 115.74 mm |
| Paso sprocket 7 y 8     | $P_7$        | 19.05 mm  |

Empleando los valores de la tabla 3.6 en la Ec.(3.7) se tiene, que la relación de transmisión entre los sprockets 7 y 8, es 1 y la velocidad angular según Ec.(3.8) del sprocket 7, que es igual a la del sprocket 4, es de 8 RPM.

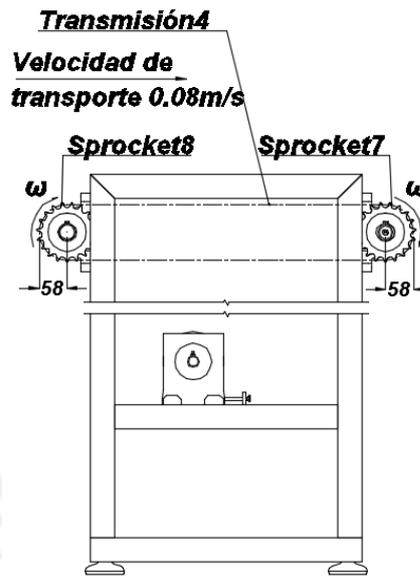


Fig. 3.10 Sistema alimentador transmisión entre los sprockets 7 y 8

Analogamente, para la transmisión mostrada en la fig.3.11 entre los sprockets 5 ,que está conectado al motor, y el sprocket 6, que reduce y transmite el giro de 8RPM a la transmisión 3 y 4, cuyos datos se muestran en la tabla 3.7; luego, cuando se aplica la Ec.(3.7) a estos sprockets se obtiene una relación de transmisión, entre los sprockets 5 y 6, de 3; y finalmente, de la Ec.(3.9) se tiene una velocidad angular del sprocket 5 de 24 RPM.

Tabla 3.7. Datos de entrada de transmisión 5 y 6

| Dato                | Nomenclatura | Valor     |
|---------------------|--------------|-----------|
| Dientes sprocket 6  | $Z_6$        | 57        |
| Diámetro sprocket 6 | $D_6$        | 230.54 mm |
| Paso sprocket 6     | $P_6$        | 12.7 mm   |
| Dientes sprocket 5  | $Z_5$        | 19        |
| Diámetro sprocket 5 | $D_5$        | 77.16 mm  |
| Paso sprocket 5     | $P_5$        | 12.7 mm   |

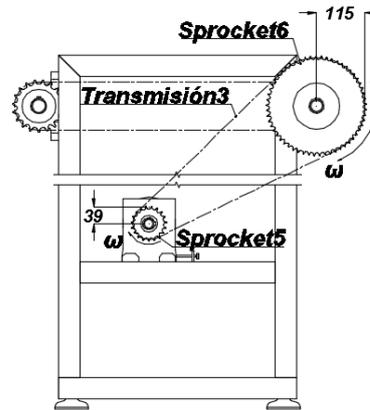


Fig.3.11 Sistema alimentador transmisión entre los sprockets 5 y 6

### 3.2.4 Análisis de fuerza de transmisión requerida del sistema seleccionador

En la tabla 3.8, se resumen las masas que traslada el sistema seleccionador; además de la geometría del sistema, se tiene una longitud de cadena de 3.81m. Ver figura 3.12.

Tabla 3.8. Cuadro de masas sobre unidad de longitud

| Descripción  | kg  |
|--|-----|
| Cadena P=25.4 simple ASA 80 de longitud 4m (3kg/m) | 12  |
| Cinco chirimoyas                                   | 2.5 |
| Quince bandejas                                    | 45  |

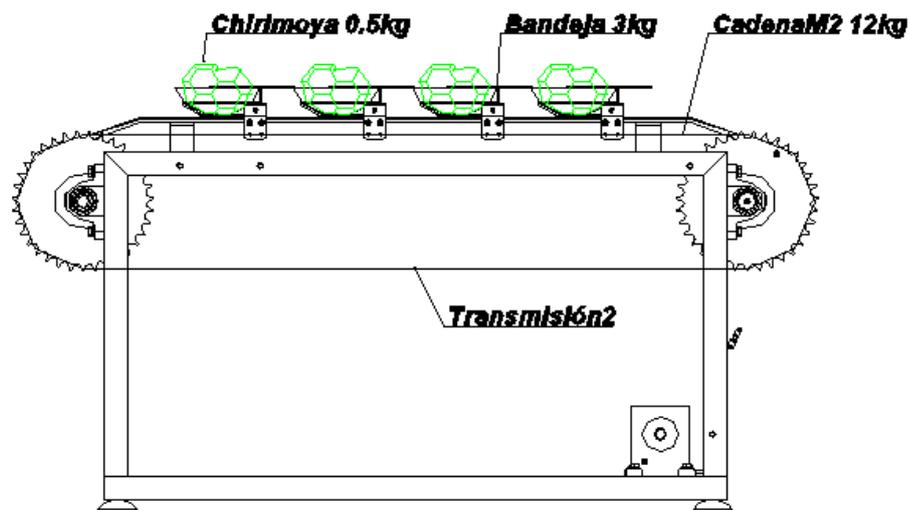


Fig.3.12. Sistema seleccionador masa a transportar

Luego, sea la gravedad  $9.81\text{m/s}^2$ ; además, el coeficiente de fricción, entre el nylon y el acero, es de 0.35, según Anexo C. Entonces, aplicando los datos anteriores a la Ec.(3.10), de la cual se obtiene la fuerza que ejerce la cadena debido a la fricción que ejercen las masas de la tabla 3.8, se tiene una fuerza en la cadena de 230N

$$F_E = (2 m_B + m_p) g \mu_G \quad (3.10)$$

$m_B$  : Masa de la cadena (kg)

$m_p$  : Masa de las bandejas y de las chirimoyas (kg)

$\mu_G$  : Coeficiente de fricción nylon y acero [a dimensional]

$F_E$  : Fuerza en la cadena [N]

### 3.2.5 Selección de la potencia del motor del sistema seleccionador

La potencia calculada se halla a partir de la Ec.(3.11) y reemplazando los valores de la fuerza resultante de 245N y la velocidad de transporte en la transmisión 2 es de 0.33m/s se obtiene un valor de 74.61 W.

$$P_{cal} = F_E V \quad (3.11)$$

$P_{cal}$  : Potencia calculada (W)

Luego al resultado anterior se reemplaza en la Ec.(3.12) y se considera de acuerdo a la guía de diseño de transmisión de potencia de Renold[20] un factor de seguridad de 5; finalmente, se obtiene una potencia de diseño del sistema seleccionador de 373.27W.

$$P_{dis} = P_{cal} FS_{mot} \quad (3.12)$$

$P_{dis}$  : Potencia de diseño (W)

$FS_{mot}$  : Factor de seguridad (a dimensional)

Además, con el valor de la fuerza en la cadena de 245N al cual también se le aplica el factor de seguridad de 5 con lo cual se tiene una fuerza de 1225N. Ver Ec.(3.13).

$$F_{dis} = F_E FS_{mot} \quad (3.13)$$

$F_{dis}$  : Fuerza de diseño (N)

A continuación, se tiene sobre el sprocket 3, cuyos datos se muestran en la tabla 3.4, una fuerza de 613.7N a la cual se le multiplica el radio del sprocket 3 para obtener un torque de 94.5 N m. Ver Ec.(3.14).

$$T_{dis3} = F_{dis} D_3 0.5 \tag{3.14}$$

$T_{dis3}$  :Torque de diseño del sprocket 3 (N m)

Debido a que hay dos sprocket 3 cada uno con este torque se obtiene un torque de 189N m sobre el sprocket 2. Ver Ec.(3.15).

$$T_{dis4} = 2 T_{dis3} \tag{3.15}$$

$T_{dis4}$  :Torque de diseño del sprocket 4 (N m)

Finalmente debido a la relación de transmisión entre el sprocket 1 y 2 de 2.28, se obtiene un torque 83 N m, sobre el sprocket 1, el cual es el torque de diseño que requiere el motor. Ver Ec.(3.16).

$$T_{dismot} = T_{dis4} / u_{i,j} \tag{3.16}$$

$T_{dismot}$  :Torque de diseño del motor (N m)

Por catálogo se obtiene que el motor más adecuado tiene una potencia de 550W, una velocidad angular de 43 RPM, un torque de 122 N m y que se encuentra disponible en el mercado . Se adjunta el data sheet del motor en el Anexo D.

### 3.2.6 Análisis de fuerza de transmisión requerida del sistema alimentador

En la tabla 3.9 se resumen las masas sobre unidad de longitud que traslada el sistema alimentador. Ver figura 3.13.

Tabla 3.9. Cuadro de masas sobre unidad de longitud

| Descripción               | kg |
|---------------------------|----|
| Cadena P=19 simple ASA 60 | 3  |
| Cuatro chirimoyas         | 5  |
| Veintidos rodillos        | 35 |

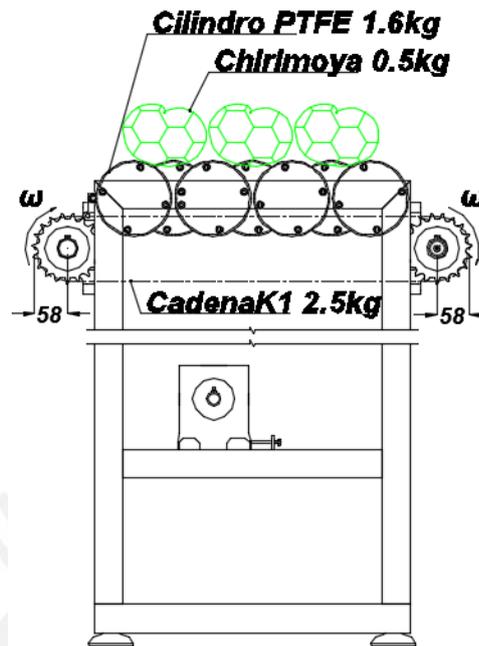


Fig.3.13. Sistema alimentador masa a transportar

Luego, sea la gravedad  $9.81\text{m/s}^2$  y el coeficiente de fricción entre el nylon y el acero de 0.35 según Anexo C. Entonces aplicando los datos anteriores a la Ec.(3.10), esta ecuación es la fuerza de fricción que tiene que vencer la cadena debido a las masas de la tabla 3.9, se tiene una fuerza en la cadena de 160N.

### 3.2.7 Selección de la potencia del motor del sistema alimentador

La potencia calculada se halla a partir de la Ec.(3.11) y reemplazando los valores de la fuerza resultante de 160 N y la velocidad de la transmisión 4 es de  $0.08\text{m/s}$  se obtiene un valor de 16W.

Luego al resultado anterior se reemplaza en la Ec.(3.12) y se considera de acuerdo a la guía de diseño de transmisión de potencia de Renold[20] un factor de seguridad de 5; finalmente se obtiene una potencia de diseño del sistema alimentador de 80W

Además, con el valor de la fuerza en la cadena de 160N al cual también se le aplica el factor de seguridad de 5 con lo cual se tiene una fuerza de 800N, según Ec.(3.13).

A continuación, se tiene sobre el sprocket 7, cuyos datos se muestran en la tabla 3.4, una fuerza de 400N a la cual se le multiplica el radio del sprocket 7 para obtener un torque de 24 N m, según Ec.(3.14).

Debido a que hay dos sprocket 7 cada uno con este torque se obtiene de Ec.(3.15) un torque de 48 N m sobre el sprocket 6.

Finalmente debido a la relación de transmisión entre el sprocket 5 y 6 de 3, se obtiene un torque 16 N m, sobre el sprocket 5 según Ec.(3.16), el cual es el torque de diseño que requiere el motor.

Por catálogo se obtiene que el motor más adecuado tiene una potencia de 370W, una velocidad angular de 24 RPM (es el de menor RPM de los que actualmente se encuentran en stock), un torque de 99 N m y que se encuentra disponible en el mercado. Se adjunta el data sheet del motor en el anexo E.

### 3.2.8 Cálculo del diámetro del eje del seleccionador

En la figura 3.14, se muestra un esquemático del sistema seleccionador de chirimoyas.

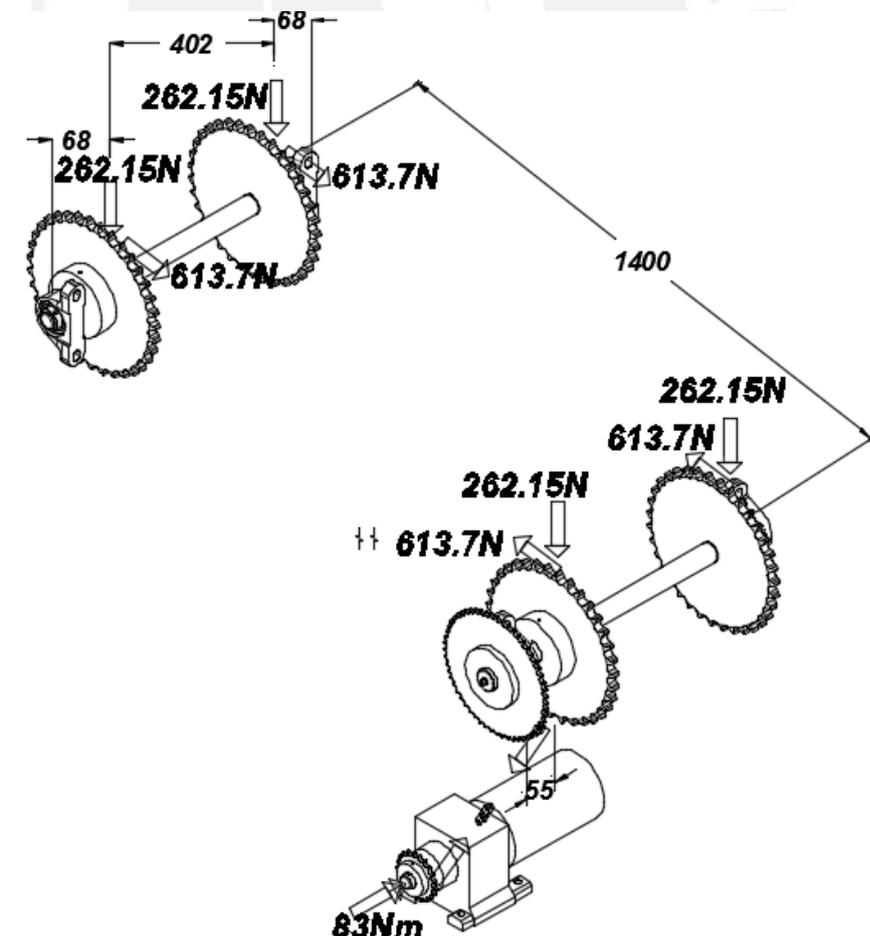


Fig.3.14 Esquemático sistema de alimentación



$$F_{motc} = \frac{P_{dis}}{\omega_{motc} d_{motc} / 2} \quad (3.17)$$

$F_{motc}$  : Fuerza que transmite el motor [N]

$d_{motc}$  : Diámetro del sprocket del motor [m]

$\omega_{motc}$  : Velocidad angular del motor [rad/s]

Luego, del dato anterior y del diámetro 230.54 mm del sprocket 2, se calcula el momento torsor resultante de la figura 3.16; luego, por medio de la Ec.(3.18), se obtiene un torque sobre el sprocket 2 de 189 N m que actúa a lo largo de todo el eje.

$$T_2 = F_{motc} D_2 / 2 \quad (3.18)$$

$T_2$  : Torque del sprocket 2 [N m]

$D_2$  : Diámetro del sprocket 2 [m]

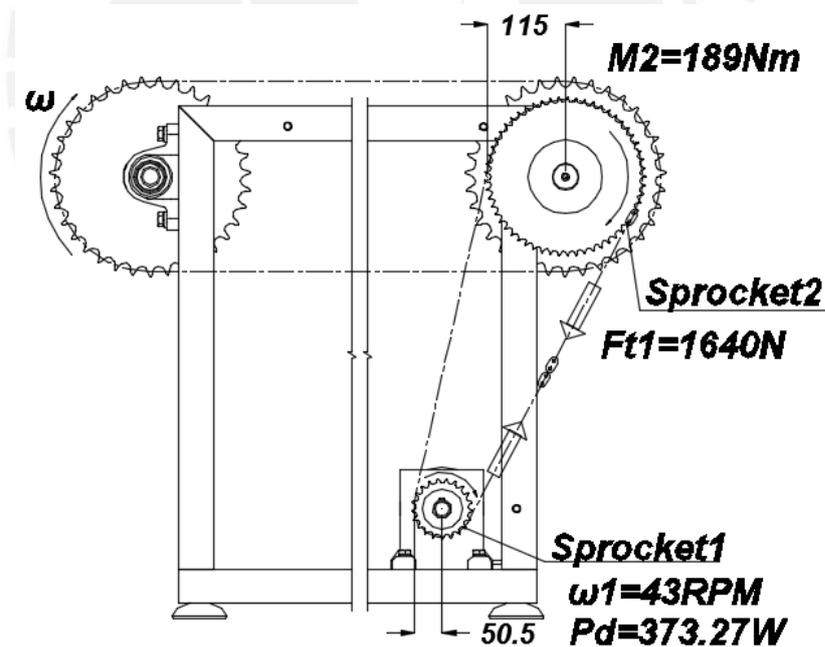


Fig.3.16. Diagrama de momento torsor del sprocket 2

Después, con el valor anterior hallado y el valor del diámetro del eje de 30mm se reemplazan en la Ec.(3.19), para hallar el esfuerzo cortante por torsión, que es de 36.25 MPa.

En la figuras 3.17, 3.18, 3.19 y 3.20 se representan los resultados del los diagramas del eje conductor del sistema seleccionador.

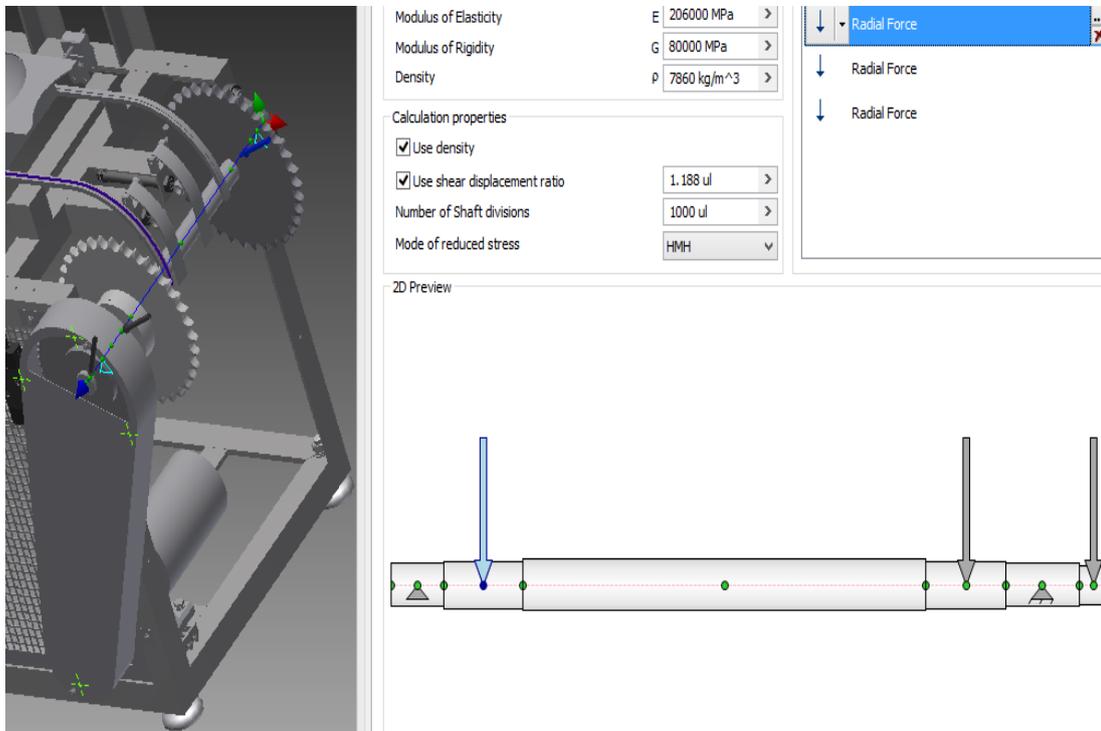


Fig.3.17. Diagrama de cuerpo libre en los planos XY y XZ

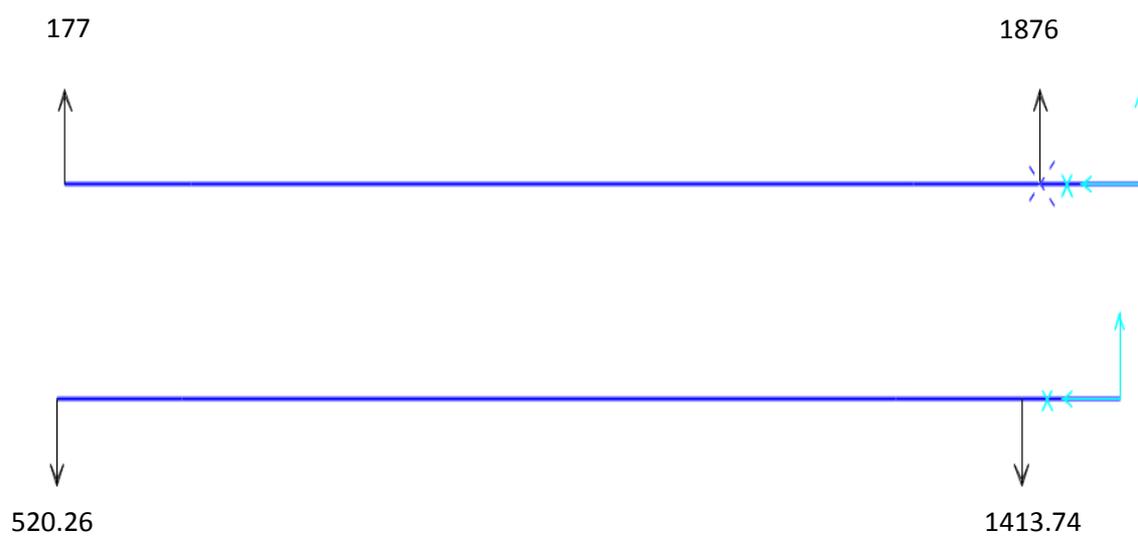


Fig.3.18 Reacciones en los apoyos en los planos XY y XZ

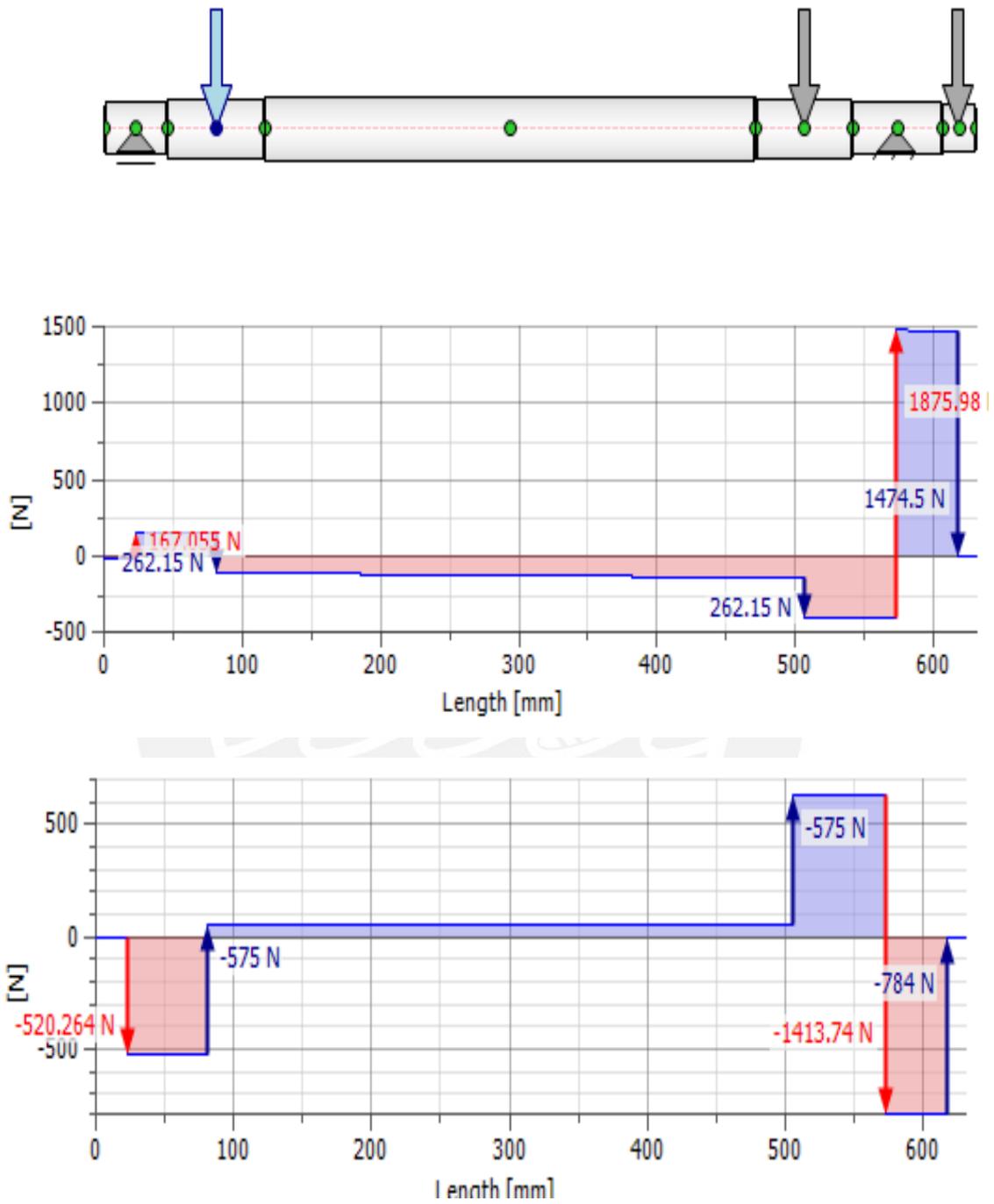


Fig.3.19 Diagrama de fuerza cortante en los planos XY y XZ

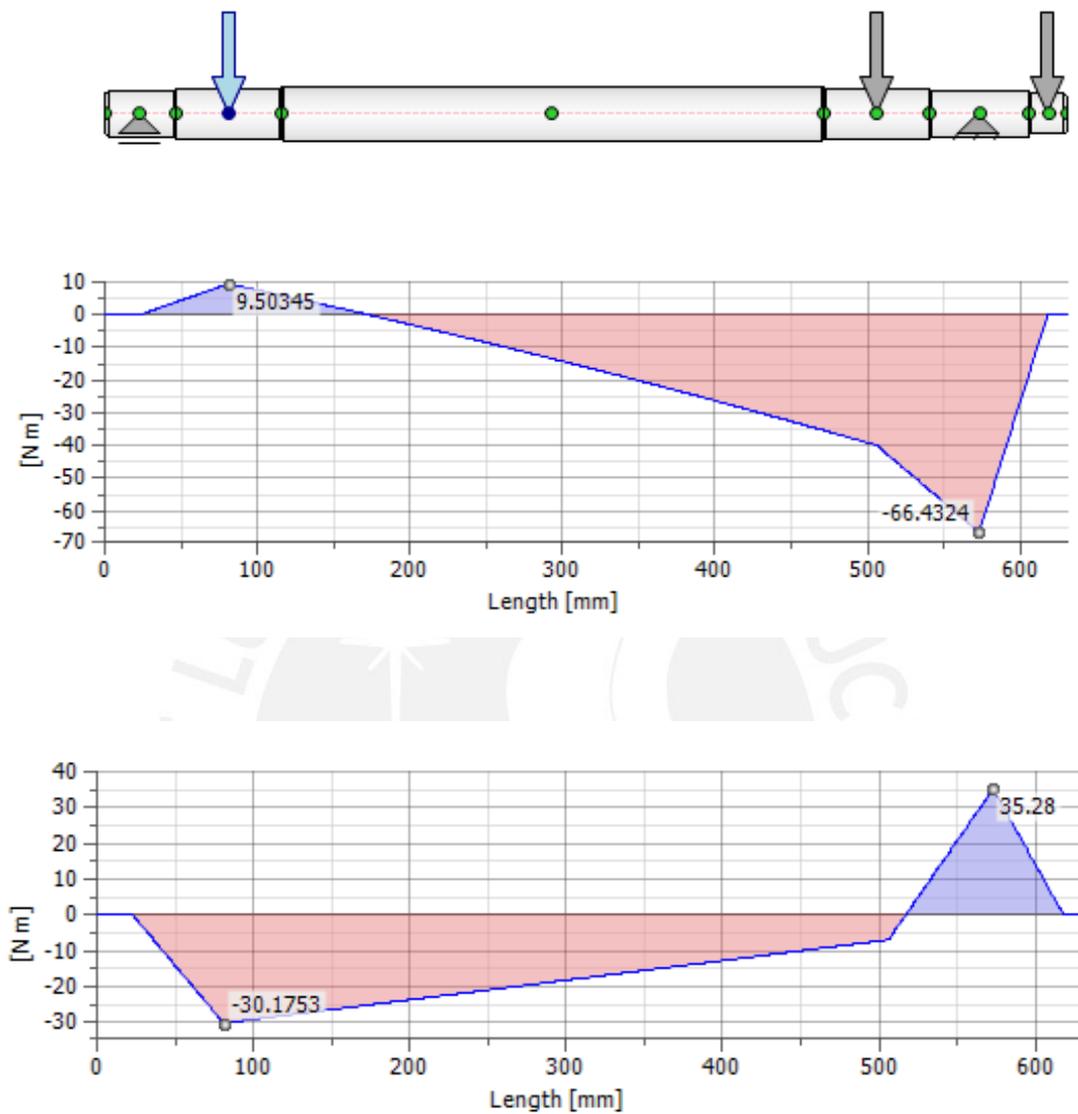


Fig.3.20 Diagrama de momento flector en los planos XY y XZ

$$\tau_m = \frac{16 M_{t,max}}{\pi d_{eje1}^3} \quad (3.19)$$

$M_{t,max}$  : Torque máximo en eje conductor [N m]

$d_{eje1}$  : Diámetro de la sección crítica sobre el eje conductor [mm]

$\tau_m$  : Esfuerzo cortante medio por torsión [MPa]

A continuación, por medio de la figura 3.20, se obtiene el máximo momento flector sobre el eje, el cual es de 80 N m y junto con el valor del diámetro del eje de 30mm; Luego, se

reemplazan los datos anteriores en la Ec.(3.20) con lo cual se obtiene el esfuerzo normal por flexión que es de 30.18 MPa.

$$\sigma_{ba} = \frac{32 M_{b\max}}{\pi d_{eje1}^3} \quad (3.20)$$

$M_{b\max}$  : Momento flector máximo en eje conductor [N m]

$\sigma_{ba}$  : Esfuerzo normal alternante por flexión [MPa]

De las propiedades del material AISI 431, según Anexo F; se tiene como esfuerzos de resistencia a la tracción de 850 MPa, límite de fluencia a la tracción 635 MPa y límite de fluencia a la tracción alternante de 430 MPa.

Además, de acuerdo a la geometría y condiciones de trabajo se pueden hallar los factores que afectan a la fatiga del Anexo G, entre los cuales se tiene el factor de forma 0.65 porque el vernier tiene una precisión de 50micras, factor de tamaño 0.78 porque el diámetro es de 30mm, factor de temperatura 1 porque la temperatura es de 25°C, factor de carga 1, factor de confiabilidad 1 porque se emplean tablas con valores de laboratorio, factor de concentración de esfuerzo 3.5 porque hay canal chavetero; luego, se procede a reemplazar estos factores en la Ec.(3.21) para hallar el esfuerzo normal alternante por flexión aumentado, el cual es de 181 MPa;

$$\sigma'_{ba} = \frac{1 + \frac{1}{1 + 4 \left(1 - \frac{R_e}{R_m}\right)^3} (K_t - 1)}{C_s C_t C_{temp} C_{carg} C_c} \sigma_{ba} \quad (3.21)$$

$R_e$  : Resistencia máxima a la tracción [MPa]

$R_m$  : Límite de fluencia a la tracción [MPa]

$K_t$  : Factor de concentración de esfuerzos [adimensional]

$C_s$  : Factor de forma [adimensional]

$C_t$  : Factor de tamaño [adimensional]

$C_{temp}$  : Factor de temperatura [adimensional]

$C_{carg}$  : Factor de carga [adimensional]

$C_c$  : Factor de confiabilidad [adimensional]

$\sigma'_{ba}$  : Esfuerzo normal alternante por flexión aumentado [MPa]

A continuación se determina los esfuerzos equivalentes en el eje aplicando Von Mises a los esfuerzos medios Ec.(3.22) con lo que se obtiene 60.1 MPa y aplicando Von Mises a los esfuerzos alternantes Ec.(3.23) con lo que se obtiene 181 MPa.

$$\sigma_{meq} = (\sigma_{bm}^2 + 3 \tau_{tm}^2)^{0.5} \quad (3.22)$$

$\sigma_{meq}$  : Esfuerzo medio equivalente [MPa]

$\sigma_{bm}$  : Esfuerzo de normal por flexión medio [MPa]

$$\sigma_{aeq} = (\sigma_{ba}^2 + 3 \tau_{ta}^2)^{0.5} \quad (3.23)$$

$\sigma_{aeq}$  : Esfuerzo alternante equivalente [MPa]

$\tau'_{ta}$  : Esfuerzo cortante alternante por torsión aumentado [MPa]

Finalmente, se puede hallar el factor de seguridad a la fatiga de la Ec.(3.24) cuyo valor es 2 y el factor de seguridad a la fluencia de la Ec.(3.25) cuyo valor es 9. Lo cual es el adecuado para soportar las cargas mostradas en el diagrama de cuerpo libre fig.3.15 y es el recomendado para el caso de ejes sometidos a fatiga.

$$\frac{1}{FS_{fat}} = \frac{\sigma_{meq}}{R_m} + \frac{\sigma_{aeq}}{\sigma_{tAlt}} \quad (3.24)$$

$FS_{fat}$  : Factor de seguridad a la fatiga [MPa]

$$FS_{flu} = \frac{R_e}{\sigma_{aeq}} \quad (3.25)$$

$FS_{flu}$  : Factor de seguridad a la fluencia [MPa]

### 3.2.9 Análisis neumático

Primero, se muestra el instante en que el producto es volcado por la bandeja, la fuerza que ejerce la bandeja y el producto es 34N generadas por sus masas; este dato y los brazos de palanca mostrados en la fig.3.21 son reemplazados en la Ec.(3.26), con lo cual se obtiene una fuerza requerida de 35N.

$$r_{OA} F_{emp} \text{sen}(45^\circ) = r_{OB} F_{sol} \quad (3.26)$$

$r_{OA}$  : Brazo de palanca OA [mm]

$r_{OB}$  : Brazo de palanca OB [mm]

$F_{sol}$  : Fuerza requerida para voltear la bandeja y el producto [N]

$F_{emp}$  : Fuerza que ejerce la bandeja y el producto [N]

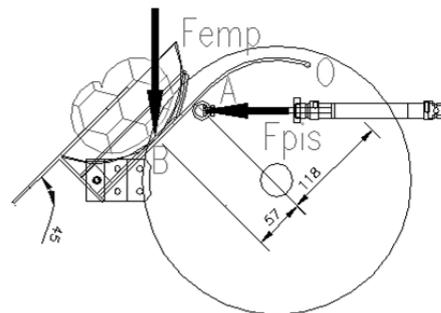


Fig. 3.21 Diagrama de cuerpo libre en el instante que la bandeja es volteada por el pistón

Además, debido a la válvula de estrangulamiento se debe considerar un factor de seguridad de 2 sobre la fuerza de empuje, según Ec.(3.27). Por ello, el valor de la fuerza de diseño es de 70N

$$F_{dis} = 2 F_{emp} \quad (3.27)$$

$F_{dis}$  : Fuerza de diseño para voltear la bandeja y el producto [N]

También, se consideró que de acuerdo a la correcta selección de la categoría de chirimoya se tiene que 2 de cada 3 chirimoyas cumplen con lo adecuado por lo tanto en un minuto el pistón trabaja 20 veces; además, la presión neumática en el punto de acopio es 6 bar. Luego, se está empleando una estructura L 2"x2"x3/16, a la cual se le puede realizar agujeros de hasta 16mm sin presentar problemas de resistencia ni de estabilidad, según Anexo H. Por lo tanto, el pistón tiene un diámetro de 16 mm, un diámetro de vástago de 6 mm y una longitud de carrera de 80mm, según fig.3.21. Reemplazando, estos valores en Ec.(3.28) y considerando una fuerza de fricción de 10N, se obtiene una fuerza del pistón de 109 N.

$$F_{pis} = \left(\frac{P_{neu}}{10}\right) \frac{d_{piston}^2 \pi}{4} - R \tag{3.28}$$

$F_{pis}$  : Fuerza ejercida por el pistón [N]

$P_{neu}$  : Presión de aire en la central hortofrutícola [Pa]

$d_{piston}$  : Diámetro del pistón[m]

$R$  : Fricción[N]

Por lo tanto, el pistón de 16mm es el adecuado porque, según fig.3.22, un pistón de menor diámetro no generaría la fuerza suficiente para voltear la bandeja.

| Operating Pressure |  |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|
| bar                |  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
| Piston Diameter mm |  |      |      |      |      |      |      |      |
| 2.5                |  | 0.4  | 0.9  | 1.3  | 1.8  | 2.2  | 2.7  | 3.1  |
| 3.5                |  | 0.9  | 1.7  | 2.6  | 3.5  | 4.3  | 5.2  | 6.1  |
| 5.35               |  | 2.0  | 4.0  | 6.1  | 8.1  | 10.1 | 12.1 | 14.1 |
| 6                  |  | 2.5  | 5.1  | 7.6  | 10.2 | 12.7 | 15.3 | 17.8 |
| 8                  |  | 4.5  | 9.0  | 13.6 | 18.1 | 22.6 | 27.1 | 31.6 |
| 10                 |  | 7.1  | 14.1 | 21.2 | 28.3 | 35.3 | 42.4 | 49.5 |
| 12                 |  | 10.2 | 20.4 | 30.5 | 40.7 | 50.9 | 61.1 | 71.2 |
| 16                 |  | 18.1 | 36.2 | 54.3 | 72.4 | 90.5 | 109  | 127  |

Fig.3.22 Fuerza que ejerce el pistón según su diámetro

Luego, de la Ec.(3.29), se tiene una relación de presiones de 7,

$$r_{neu} = \frac{P_{atm} + P_{neu}}{P_{atm}} \tag{3.29}$$

$P_{atm}$  : Presión atmosférica [Pa]

$r_{neu}$  : Relación de presiones [adimensional]

También, de la Ec.(3.30) se obtiene un volumen de consumo de 2.1 L/min;

$$V_{cons} = \left( \frac{L_{pis} \pi D_{emb}^2}{4} + \frac{L_{pis} \pi (D_{emb}^2 - d_{vas}^2)}{4} \right) \frac{r_{neu} n_{ciclo}}{10^9} 448 \quad (3.30)$$

$V_{cons}$  : volumen de consumo [ $\frac{L}{min}$ ]

$L_{pis}$  : Carrera del pistón [mm]

$D_{emb}$  : Diámetro del embolo [mm]

$d_{vas}$  : Diámetro del vástag[mm]

$n_{ciclo}$  : Número veces que trabaja el pistón en un minuto [a dimensional]

Luego, de la Ec.(3.31), se tiene que seleccionar un filtro regulador y lubricador de 2.88 bar.

$$P_{FRL} = P_{neu} \frac{F_{dis}}{F_{pis}} \quad (3.31)$$

$P_{FRL}$  : Presión de salida del filtro regulador y lubricador [Pa]

Finalmente, en la fig.3.23, se muestra un esquemático de los elementos seleccionados anteriormente lo cual es el sistema potencia de la parte neumática y junto a este se muestra la parte de control neumático. Del conjunto se puede apreciar que la salida del pistón es controlada por la válvula de estrangulamiento para que el producto sea expulsado de la bandeja como se muestra en la fig.3.21, y luego el retorno sea controlado por el fin de carrera; por ello, el pistón retorna inmediatamente al haber alcanzado el fin de carrera.

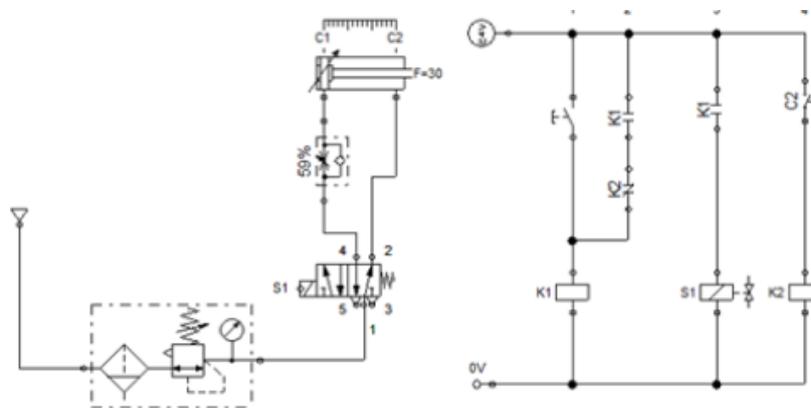


Fig.3.23 Sistema potencia y control neumático

Además, en la fig.3.24 se muestra los tiempos de respuesta del pistón a la salida y al retorno y se puede ver que está respuesta le demora 0.5s lo cual es menor a los 1.5s que demora en promedio otra bandeja con producto en pasar por el mismo punto. También, debido al tamaño del pistón y a su corta longitud de carrera, el tiempo de amortiguación para vencer las resistencias internas lo alcanza cuando se ha trasladado 12mm, según Anexo I, lo cual debido a la velocidad del pistón de 0.23m/s se considera este tiempo despreciable. Finalmente, los componentes seleccionados se muestran en la tabla 3.10.

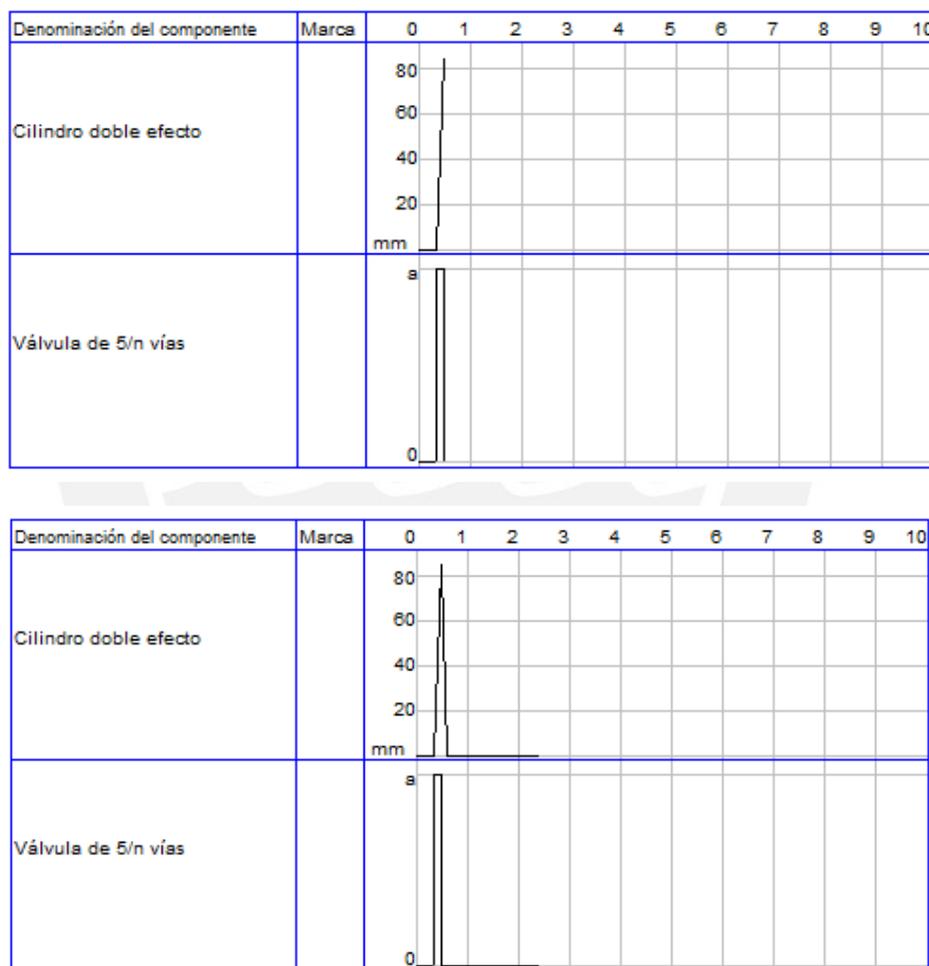


Fig. 3.24 Tiempo de respuesta de pistón a la salida y al retorno

Tabla 3.10. Componentes neumáticos

| Descripción                                  | Votaje |
|--|--------|
| Pistón de doble efecto DNGUL-16-80 tipo Reed | 24 V   |
| Electroválvula MEH-MGH5/3G-1/8"              | 24V    |
| Válvula de estrangulación 1/8"               | -      |
| Filtro regulador y lubricador 2.88 bar       | -      |

### 3.2.10 Análisis del sistema eléctrico

Se muestra en la tabla 3.11 el cuadro de cargas con sus respectivos factores de demanda para la parte eléctrica del sistema según CNE Anexo J

Tabla 3.11. Cuadro de cargas del sistema

| Descripción                                | In(A) | PI (W) | Fd  | MD (W) |
|--|-------|--------|-----|--------|
| Motor 3 $\phi$ del sistema de seleccionado | 2.6   | 560    | 2.2 | 1232   |
| Motor 3 $\phi$ del sistema de alimentación | 1.92  | 370    | 1.5 | 555    |
| PLC  | 1.2   | 30     | 2   | 60     |
| Total                                      |       |        |     | 1856.6 |

$PI$  : Potencia instalada [W]

$Fd$  : Factor de demanda [a dimensional]

$MD$  : Máxima demanda [W]

$In$  : Corriente nominal [A]

Se tiene por ser una corriente trifásica el valor de la constante es  $\sqrt{3}$ , el voltaje es 380V, el factor de potencia es 0.88 y de la Ec.(3.32) se tiene una corriente nominal de 3.2 A; luego se tiene un factor de conductor de 1, un factor de temperatura de 0.88 y de la Ec.(3.33) se tiene una corriente final de 5.46 A; y finalmente se tiene de la Ec.(3.34) una corriente de corto circuito de 22.4 A. Con el valor de la corriente final se tiene un calibre 10 y con el valor de la corriente de corto circuito se determina una llave termo-magnética de 10 A de corriente nominal para el tablero principal.

$$I_n = \frac{MD}{k V f_p} \quad (3.32)$$

$I_n$  : Corriente nominal [A]

$k$  : Constante debido a corriente trifásica [a dimensional]

$V$  : Voltaje[V]

$f_p$  : Factor de potencia [a dimensional]

$$I_f = \frac{1.5 I_n}{fc ft} \tag{3.33}$$

$I_n$  : Corriente final [A]

$fc$  : Factor de conductor [adimensional]

$ft$  : Factor de temperatura [adimensional]

$$I_{cc} = 7 I_n \tag{3.34}$$

$I_{cc}$  : Corriente de cortocircuito [A]

Primero, se tiene una fuente de suministro trifásica con tensión de 380V, corriente alterna a 60Hz y de acuerdo a la Ec.(3.34) un disyuntor magnetotermico de 10 A de corriente nominal es el adecuado para proteger los equipos que se encuentran aguas abajo. También, el amperaje pico que puede soportar el conductor calibre 10 que es 30A. La configuración seleccionada se muestra en la fig.3.25.

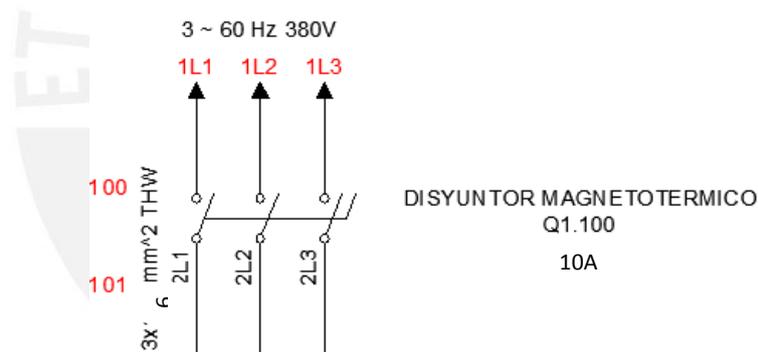


Fig.3.25 Fuente de suministro y equipos de protección

Segundo para la instalación del motor trifásico 1MTR de potencia 550W y corriente nominal de 2.6A que requiere de un disyuntor que por motivo de la corriente pico la cual es 7 veces la corriente del motor necesita ser de 18.2 A, luego se debe instalar un disyuntor de corriente nominal 4A controlado por la contactor bobina ó relé 1MS de 24V; y finalmente, conectar los equipos anteriores al motor a través de los conductores 3N x 6+ 1x 6 mm<sup>2</sup> THW que soporta corrientes pico de 20A, se está manteniendo el mismo calibre del conductor debido a los bajos valores de corriente del sistema. La representación de este circuito de conexión al motor se muestra en la fig.3.26. Similarmente, se emplean la misma configuración para controlar el motor 2MTR de

potencia 370W y corriente nominal 1.92A el cual es controlado por la contactor bobina ó relé 2MS de 24V el cual se muestra en la fig.3.27; está configuración requiere de un disyuntor que por motivo de la corriente pico es de 3 veces la corriente del motor, por lo tanto se requiere un disyuntor de 13.44 A y por motivo de existir comercialmente disyuntores de corriente nominal 4 A se selecciona este.

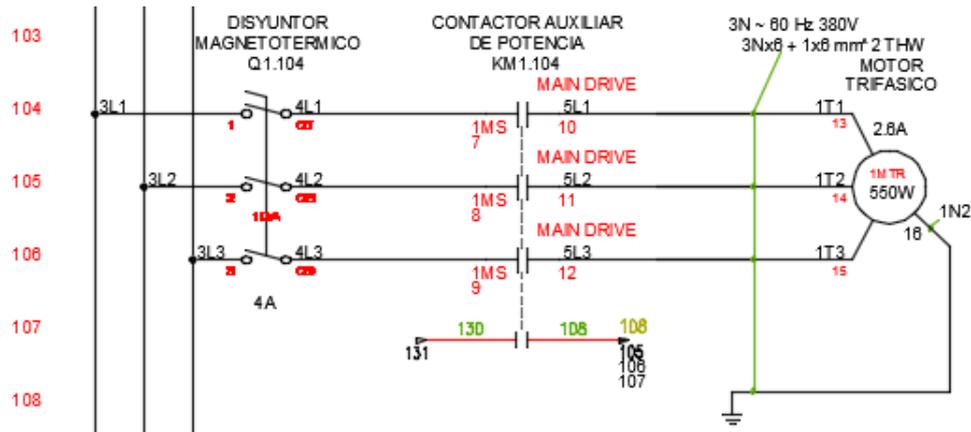


Fig.3.26 Circuito de conexión al motor 1MTR

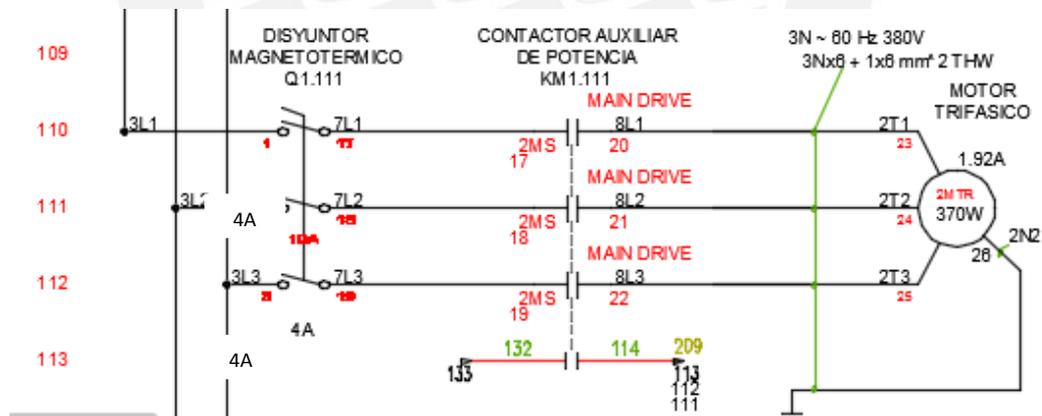


Fig. 3.27 Circuito de conexión al motor 2MTR

1MTR : Motor de 500W

2MTR : Motor de 370W

Q1.105 y KA1.105: Componentes de llave termomagnética 1

Q1.111 y KA1.111: Componentes de llave termomagnética 2

1MS : Bobina ó Relé 1

2MS : Bobina ó Relé 2

### 3.2.11 Análisis estructural

Las especificaciones con las que debe cumplir los materiales PTFE se muestran en el Anexo K.

Se realizará un modelo estructural del sistema a través de su eje neutro figura 3.27.

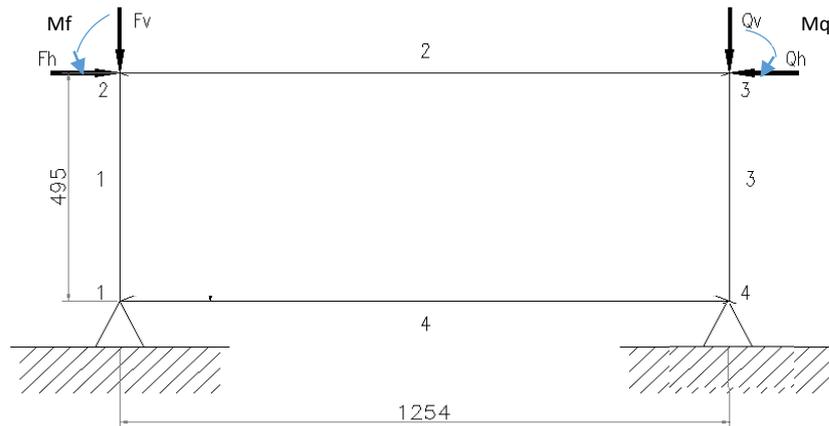


Fig.3.28 Diagrama de cuerpo libre de la estructura del seleccionador

Las fuerzas mostradas en la figura 3.27 son halladas de las reacciones en los apoyos calculadas en la fig.3.18. Ver tabla 3.12.

Tabla 3.12. Fuerzas externas sobre la estructura

| Fuerzas | Valor    |
|---------|----------|
| Fh      | 647.14N  |
| Fv      | 262.15N  |
| Qh      | 1493N    |
| Qv      | 1904N    |
| Mf      | 11.27N m |
| Mq      | 81.87N m |

Luego se definen las variables de cada elemento de la estructura en la tabla 3.13.

Tabla 3.13. Elementos de la barra y nodos sobre los que actúa

| Elemento | Nodo I | Nodo II | Longitud | Área | Inclinación $\beta$ |
|----------|--------|---------|----------|------|---------------------|
| 1        | 1      | 2       | 495      | 461  | 90                  |
| 2        | 2      | 3       | 1254     | 461  | 0                   |
| 3        | 3      | 4       | 495      | 461  | -90                 |
| 4        | 4      | 1       | 1254     | 461  | 180                 |

Usando el método AISC se determina los factores de seguridad de los elementos más críticos en la estructura, la cual ha sido construida con ángulos cuyas características son mostradas en la tabla 3.14.

Tabla 3.14. Características de los perfiles

|                        |                      |
|------------------------|----------------------|
|                        | L 50x50x4.8          |
| Área                   | 461 mm <sup>2</sup>  |
| Peso por longitud      | 3.62 kg/m            |
| I (Momento de Inercia) | 11.3 cm <sup>4</sup> |
| E                      | 200000Mpa            |

En la figuras 3.28, 3.29, 3.30 y 3.31 se representan los resultados del los diagrama de la estructura del sistema seleccionador.



Fig.3.29 Reacciones en el plano XZ

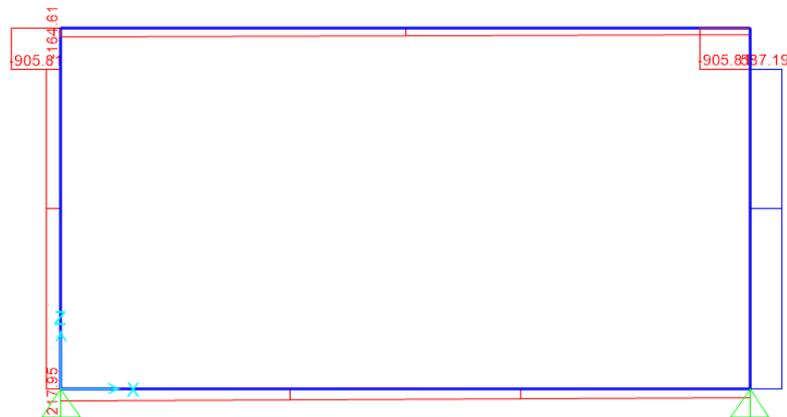


Fig.3.30 Diagrama de fuerza cortante en el plano XZ

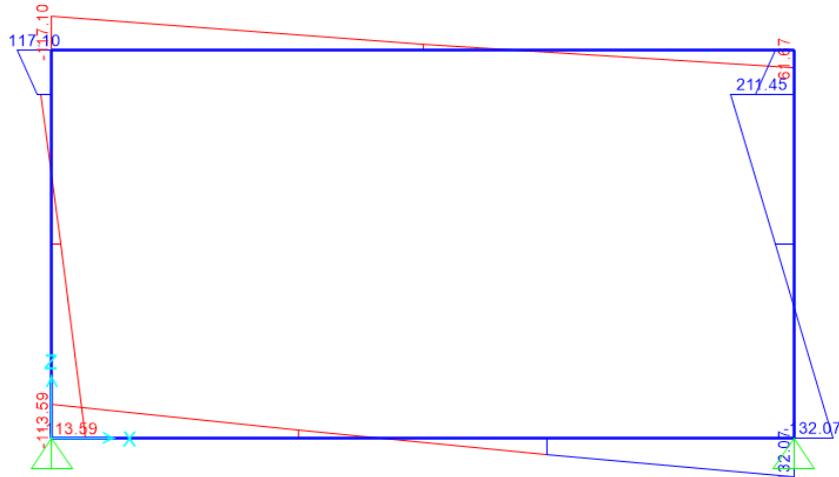


Fig. 3.31 Diagrama de momento flector en el plano XZ

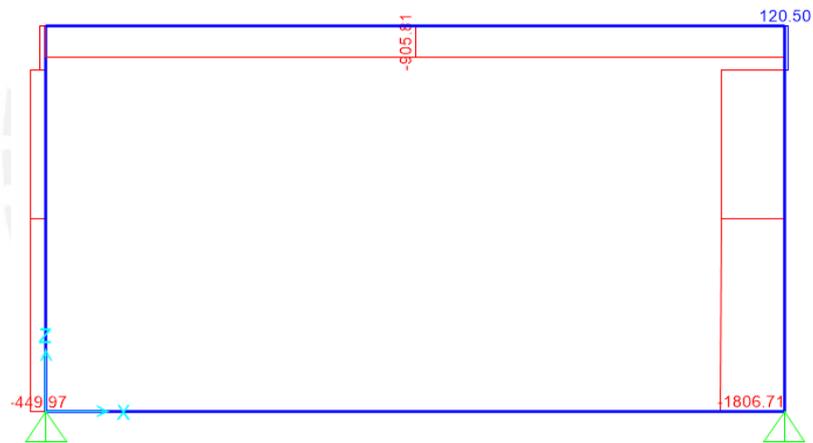


Fig.3.32 Diagrama de fuerzas normales en el plano XZ

Se tiene que las fuerzas en las barras son mostradas en la tabla 3.15.

Tabla 3.15. Fuerzas normales sobre cada una de las barras

| Elemento | Fuerza (N) |
|----------|------------|
| 1        | -449.97    |
| 2        | -905.51    |
| 3        | -1806.71   |
| 4        | 0          |

Luego se analizan los elementos a compresión por ser estos los más críticos  
Se tiene la carga mostrada sobre la columna 3. Ver fig.3.32.

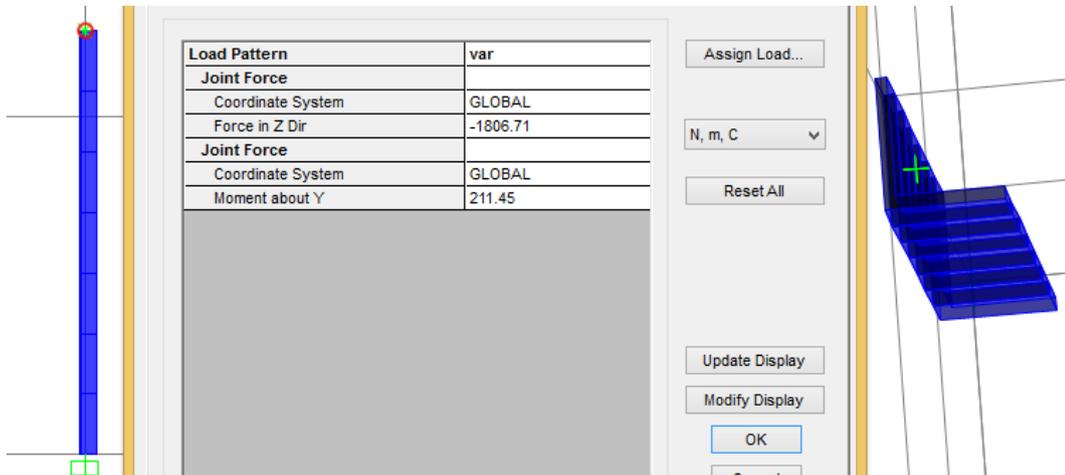


Fig.3.33 Carga sobre la columna 3

Luego se muestra que para la carga aplicada de 1806.71 N se tiene un factor de seguridad de 62 que actúa el menor momento de inercia de la sección. El cual cumple con lo requerido para soportar las cargas mostradas en la fig.3.33.

Deformed Shape (var) - Mode 1; Factor 61.93350

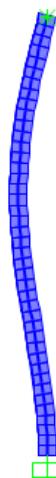


Fig.3.34 Factor de seguridad sobre la columna 3

Cálculos adicionales se muestran en el anexo O

## CAPÍTULO 4

## IV. PLANOS Y COSTOS

## 4.1 Lista de planos

El diseño cuenta con 45 planos, ver anexo P. Los cuales se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Lista de planos del diseño mecánico eléctrico para selección de chirimoyas

| Lámina | Descripción                         |
|--------|-------------------------------------|
| A2-1as | SISTEMA ALIMENTADOR Y SELECCIONADOR |
| A0-1   | SISTEMA SELECCIONADOR DE CHIRIMOYAS |
| A3-2   | BANDEJA SEMIELIPTICA                |
| A2-3   | ESTRUCTURA SELECCIONADOR            |
| A3-4   | EJE CONDUCTOR                       |
| A3-5   | EJE CONDUcido                       |
| A3-6   | SPROCKET 35T 80-1 P=25.4mm          |
| A3-7   | SPROCKET 57T 40-1 P=12.7mm          |
| A3-8   | SPROCKET 25T 40-1 P=12.7mm          |
| A4-9   | TOPE DE EJE Ø40mm                   |
| A4-10  | SOPORTE DE GUARDA MOTOR             |
| A4-11  | TAPA DE GUARDA MOTOR                |
| A4-12  | MECANISMO                           |
| A4-13  | GUIA                                |
| A4-14  | CUBO BANDEJA                        |
| A4-15  | CUBO EJE MECANISMO                  |
| A4-16  | TOPE DE VÁSTAGO Ø12.7mm             |
| A4-17  | EJE BANDEJA                         |
| A4-18  | GUARDA I LATERAL 1                  |
| A4-19  | GUARDA I LATERAL 2                  |
| A4-20  | GUARDA I LATERAL 3                  |
| A4-21  | GUARDA I LATERAL 4                  |
| A4-22  | GUARDA I SUPERIOR 1                 |
| A4-23  | GUARDA I SUPERIOR 2                 |
| A4-24  | GUARDA I SUPERIOR 3                 |
| A4-25  | GUARDA I SUPERIOR 4                 |
| A4-26  | EJE DE LONA                         |
| A4-27  | EJE DE MECANISMO                    |
| A4-28  | PERFIL SENSOR 175mm                 |
| A4-29  | PERFIL SENSOR 200mm                 |
| A4-30  | RAMPA ALIMENTADOR                   |
| A0-1a  | SISTEMA ALIMENTADOR DE CHIRIMOYAS   |
| A2-2a  | SOPORTE ALIMENTADOR                 |
| A3-3a  | EJE CONDUcido                       |
| A3-4a  | EJE CONDUCTOR                       |
| A3-5a  | SPROCKET 19T60-1 P=19mm             |
| A3-6a  | SPROCKET 57T40-1 P=12.7mm           |
| A3-7a  | SPROCKET 19T40-1 P=12.7mm           |
| A4-8a  | SOPORTE DE GUARDA MOTOR             |
| A4-9a  | TAPA DE GUARDA MOTOR                |
| A4-10a | TAPA DE TUBO PTFE                   |
| A4-11a | TUBO PTFE                           |
| A4-12a | EJE DE TUBO PTFE                    |
| A4-13a | RAMPA ALIMENTADOR                   |
| A4-14a | GUARDA LATERAL DEL ALIMENTADOR      |

## 4.2 Cálculos económicos

Se procede a evaluar económicamente el sistema elaborado en la presente tesis, cuyo presupuesto detallado se muestra en el anexo L, con otros sistemas que cumplen con la misma demanda de producción.

### Sistema A

Características del trabajo manual realizado por 10 personas actualmente, los cuales inspeccionan 2500 kg de chirimoya para seleccionar 1600 kg de las chirimoyas con las características adecuadas en un día, ver la fig.4.1.

Se requieren 30 trabajadores laborando durante un jornal de 8h para procesar la demanda de diseño de 7500 kg de chirimoya el costo por trabajador durante un jornal es de 20 soles. Por lo tanto el costo total asciende a 600 soles por día. El presupuesto detallado se muestra en el anexo M.



*Fig.4.1. Clasificación manual de chirimoyas*

### Sistema B

Características de un equipo para mediana escala.

Máquina clasificadora de fruta por tamaño elaborado fig. 4.2 por el departamento de agricultura de Bangkaen [21].

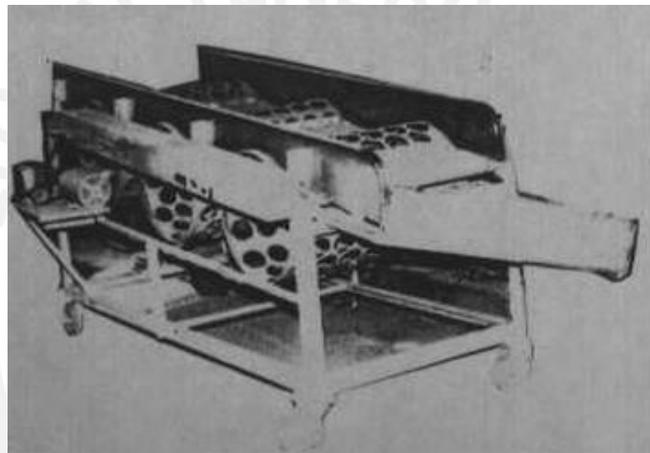
Tipo de máquina      Máquina clasificadora de fruta por tamaño

Nombre comercial    Clasificador por tamaño

Potencia de seleccionador    Motor reductor trifásico P=186.42W

Especificaciones de la máquina

|                  |          |
|------------------|----------|
| Longitud         | 2300 mm  |
| Ancho            | 800 mm   |
| Alto             | 1600 mm  |
| Peso             | 200 kg   |
| Capacidad máxima | 270 kg/h |
| Eficiencia       | 80%      |
| Precio           |          |
| Local(soles)     | 5000     |
| US\$             | 1389     |



*Fig.4.2 Clasificadora por tamaños de frutas*

#### Sistema C

Características de un equipo para mediana escala.

Máquina clasificadora de fruta por disco rotatorio [22], mostrado en fig. 4.3

Tipo de máquina Máquina clasificadora de fruta por tamaño tipo tornamesa

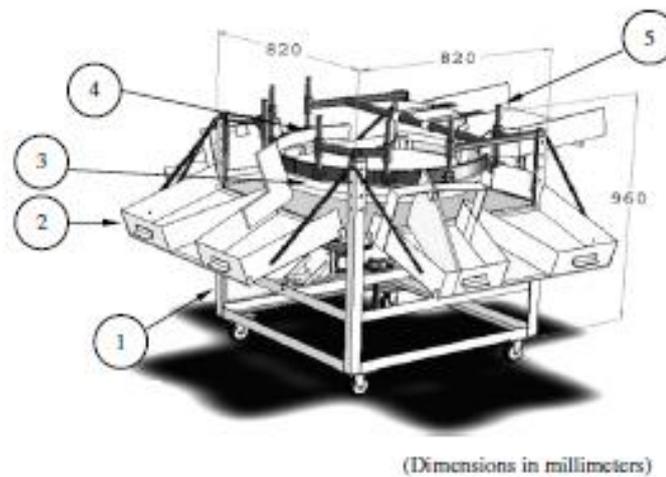
Nombre comercial Clasificador por tamaño

Potencia de seleccionador Motor reductor trifásico P=180 W

Especificaciones de la máquina

|                  |          |
|------------------|----------|
| Longitud         | 820 mm   |
| Ancho            | 600 mm   |
| Alto             | 960 mm   |
| Peso             | 200 kg   |
| Capacidad máxima | 500 kg/h |

|              |      |
|--------------|------|
| Eficiencia   | 80%  |
| Precio       |      |
| Local(soles) | 1600 |
| US\$         | 450  |



*Fig.4.3 Clasificadora por tamaños de frutas*

#### Sistema D

En el caso de producción a mediana escala de chirimoyas las características de un sistema mecánico – eléctrico para selección por el método por tamaño elaborado en la presente tesis fig. 4.4 son:

Tipo de máquina                      Sistema mecánico eléctrico con método de clasificación por tamaño

Nombre comercial      Clasificador por tamaño

Potencia de seleccionador      Motor reductor trifásico P=500 W, n=43RPM

Potencia de alimentador      Motor reductor trifásico P=370 W, n=24RPM

#### Especificaciones de la máquina

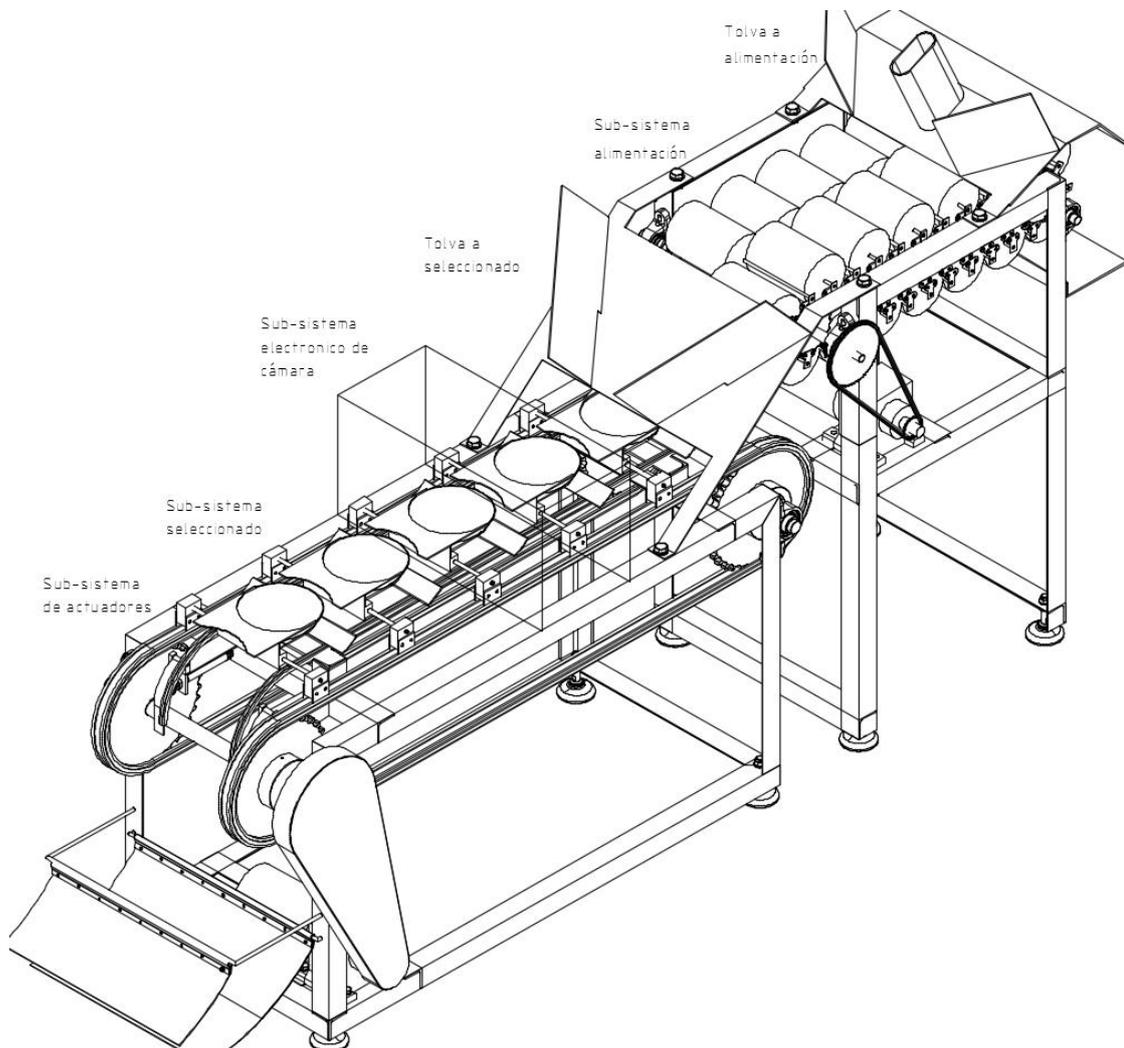
Longitud                      2700 mm

Ancho                              750 mm

Alto                                1300 mm

Peso                                500 kg

|                                  |           |
|----------------------------------|-----------|
| Capacidad máxima                 | 1071 kg/h |
| Eficiencia                       | 95%       |
| Precio (Ver presupuesto Anexo L) |           |
| Local(soles)                     | 77000     |
| US\$                             | 22000     |



*Fig.4.4 Sistema mecánico – eléctrico para selección de chirimoyas*

### Sistema E

En el caso de producción a gran escala en una central hortofrutícola, ver figura 4.5, proyecto elaborado por Luis Eduardo Vega Yáñez [23], presenta un equipo con las siguientes características. El presupuesto de los equipos se muestra en Anexo N.

Tipo de máquina Conjunto desapilador, volteador y apilador de palets vacíos, mesa de inspección, cinta de evacuación, cinta repartidora, calibrador electrónico de copas, cinta acumuladora de fruta, transportador aéreo de cajas vacías, paletizador, báscula, carretilla elevadora, transpaleta

Nombre comercial Calibrador electrónico de copas

Potencia de Conjunto desapilador, volteador y apilador de palets vacíos 3 kW

Potencia de mesa de inspección 0.55 kW

Potencia de cinta de evacuación 0.2 kW

Potencia repartidora 0.4 kW

Potencia del calibrador electrónico de copas 2.5kW

Potencia de cinta acumuladora de fruta 0.55kW

Transportador aéreo de cajas vacías 0.75kW

Paletizador 0.8 kW

Carretilla elevadora 4 kW

Especificaciones de la máquina

Longitud 7000 mm

Ancho 6000 mm

Alto 2000 mm

Peso 10000 kg

Capacidad máxima 12500 kg/h

Eficiencia 95%

Precio

Local(soles) 566560

US\$ 175656



*Fig.4.5. Calibrador electrónico de copas para una central hortofrutícola*

Los sistemas anteriores se comparan en el gráfico de costos de operación Ec.(4.1) en el cual se considera los costos fijos y los costos variables para cada sistema. El costo fijo comprende el costo de los materiales y fabricación de las máquinas necesarias para cubrir la demanda. Además el costo variable en Ec.(4.2) comprende los recibos por servicios como luz y agua, recibos por honorarios de los trabajadores obtenidos por la Ec.(4.3) y costos por mantenimiento.

Primero se debe cubrir la demanda la cual es de 5Tn en una jornada de trabajo recomiendan trabajar con una capacidad de diseño de 1.5 la capacidad demandada; por ello tenemos una capacidad de diseño de 7.5Tn en una jornada de trabajo lo cual nos da una capacidad de diseño del sistema de 937 kg/h. Finalmente del sistema A por ser trabajo manual se requieren de 25 operarios. Del sistema B se requieren de 5 unidades para cubrir la demanda debido a que su eficiencia es baja y por el tipo de diseño del sistema puede generar daños en el producto. Del sistema C se requieren de 3 unidades para cubrir la demanda porque su eficiencia aún es baja y debido al diseño del sistema genera daños en el producto. Del sistema C se requiere de 1 unidad para cubrir la demanda porque procesa más de lo solicitado y su eficiencia es alta. En la tabla 4.2 se consideran los costos fijos y variables de cada sistema que deben ser reemplazados en la Ec.(4.1) y cuyo resultados se muestran superpuestos en la fig.4.6 para comparar cuál de los sistemas genera menos costos durante un lapso de tiempo prudencial.

$$CO = CF + CV * t_{\text{días}} \tag{4.1}$$

*CO* : Costo operativo [soles]

*CF* : Costo fijo [soles]

*CV* : Costo variable [soles]

*t<sub>días</sub>* : tiempo [días]

$$CV = RS + HT + CM \tag{4.2}$$

*RS* : Recibo por servicios [soles]

*HT* : Costo por trabajadores [soles]

*CM* : Costo por mantenimiento [soles]

$$HT = NT * 20 \tag{4.3}$$

*NT* : Número de trabajadores [Adimensional]

Observación: el costo de un día de trabajo por hombre es de 20 soles

Tabla 4.2. Costos fijos y variables de los sistemas

| Sistemas | CF    | CV    |     |     |
|----------|-------|-------|-----|-----|
|          |       | RS    | HT  | CM  |
| A        | 0     | 0     | 500 | 0   |
| B        | 5000  | 0.168 | 200 | 105 |
| C        | 1600  | 0.1   | 80  | 105 |
| D        | 50000 | 0.162 | 40  | 30  |

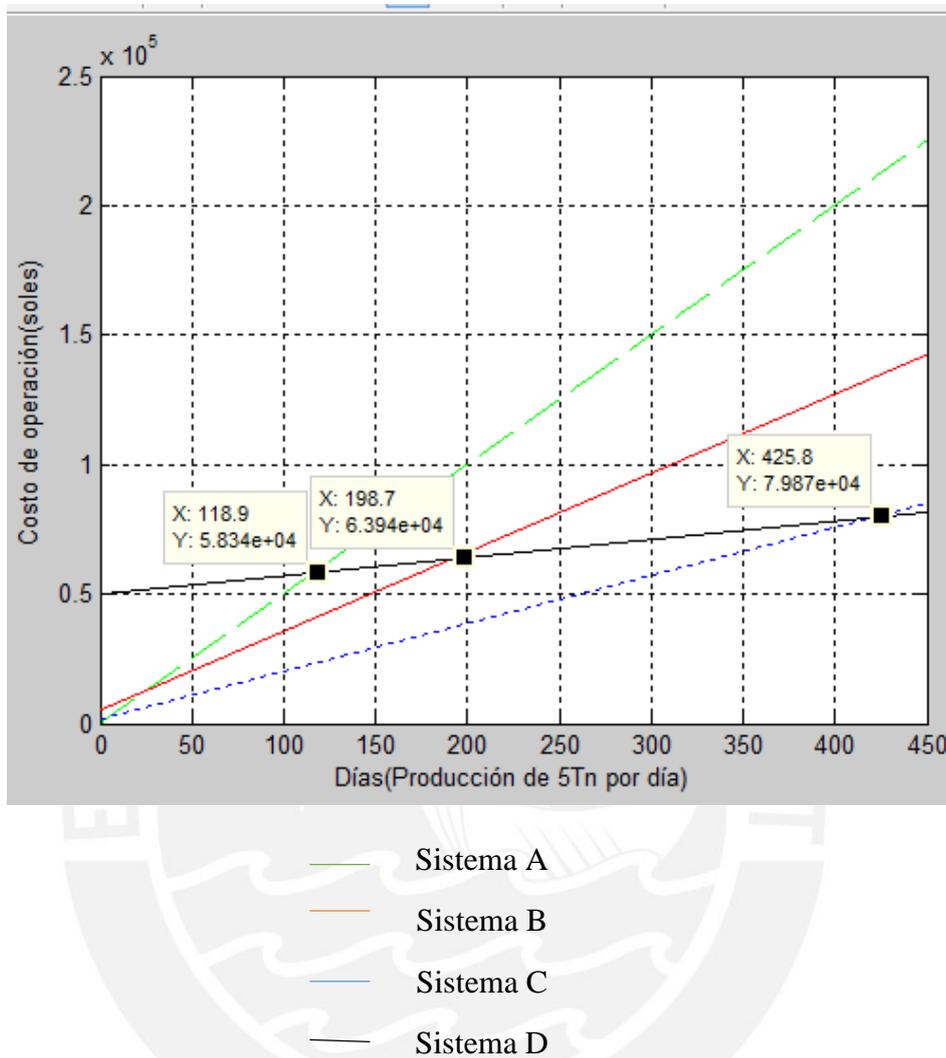


Fig.4.6 Curva de costo para comparar el trabajo manual, Sistema de selección a mediana escala y el sistema de selección elaborado en la presente tesis

## CONCLUSIONES

Se cumplió con el objetivo principal el cual es el diseño mecánico eléctrico de un sistema para la selección de chirimoyas, mostrado en el plano sistema seleccionador y alimentador A2-as en el Anexo P; el cual cumple con lo indicado en la lista de requerimientos tabla 2.1.

De lo planteado en el capítulo 2 estado del arte se puede concluir que hay una gran tendencia al usar grupos constructivos electrónicos para la clasificación de fruta por tamaño, también a mayores capacidades se elevan los costos del equipo. Por lo tanto de lo anterior se tiene que los sistemas que es más adecuados para el proyecto son los que corresponden a los sistemas electrónicos simples en línea para la producción a mediana escala.

Del sistema mostrado en el plano sistema seleccionador y alimentador A2-as en el Anexo P, se tiene que el límite de velocidad máxima del transportador es 0.33 m/s y del análisis preliminar se determinó que la velocidad de transporte limitada por el sistema de visión cumple con la demanda solicitada por la asociación de agricultores; finalmente, se concluyó que se puede cubrir con la capacidad solicitada en una jornada laboral de 8h, como se indica también en la lista de requerimientos tabla 2.1.

Los componentes de transmisión de movimiento del sistema alimentador y seleccionador se hallaron en el capítulo 3, cuyos datos se muestran en las tablas 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7. También, se indicó el material y norma de estos componentes en los planos del alimentador de chirimoyas A0-a y del seleccionador de chirimoyas A0, ambos en el Anexo P. Finalmente, se concluyó que este sistema cumple con transmitir las velocidades de transporte requeridas por el sistema.

El sistema mostrado en el plano sistema seleccionador y alimentador A2-as en el Anexo P empleó la guía del diseño de cadenas de Renold [19] para determinar las cargas de transporte a través del sistema de seleccionado; con ello se justificó el uso de un motor con una potencia de 500W y otro de 37W; también, comparando estos valores con

sistemas similares de la tabla 3.2 se concluye que estas potencias son las adecuadas para sistemas con capacidades similares.

En el caso del cálculo del eje conductor, debido a la existencia de momentos de flexión alternantes y un torque constante sobre la zona crítica; Por ello, se empleó la teoría de falla por fatiga para el cálculo de este elemento crítico, cuya geometría se muestra en el plano del eje conductor A3 en el Anexo P. Se obtuvo un factor de seguridad de 1.5 el cual es el adecuado para resistir las cargas generadas por las masas a transportar. Además, los materiales del diseño de la estructura se seleccionaron de acuerdo al código sanitario FDA para el diseño y construcción de equipos [16] según el cual debido a que la chirimoya tiene PH igual a 4 los materiales a usar en contacto con el producto y los materiales que pueden estar sometidos a salpicaduras de este producto deben ser resistentes a la corrosión; por ello estos materiales son AISI 431 para los ejes.

Los componentes neumáticos se encuentran seleccionados en la tabla 3.10, los cuales fueron seleccionados del catálogo de Festo, cuyos datasheets se muestran en el anexo I. Además, los componentes fueron seleccionados en base a la geometría los componentes y al consumo de los actuadores seleccionados en función a la carga que se debe voltear y buscando que en todo momento el actuador no tenga contacto con el producto para no generar daños en este.

La selección de los motores se llevó a cabo cumpliendo con los requerimientos de velocidad de transporte, capacidad solicitada del sistema y las masas a transportar; por lo tanto de lo anterior se tienen los motores de 0.5kW y de 0.37kW que se detallan en el anexo D y E. Además se realizó la selección de los elementos de protección como las llaves termomagnéticas de 4A, el relé ó bobina contactor de 24V y el calibre del conductor 3N x 6+ 1x6mm<sup>2</sup> THW; todos los cuales están en función de la corriente cortocircuito que se van a generar en los motores y cuya selección final se realiza de acuerdo a lo que existe comercialmente, ver Anexo J.

La estructura de soporte, mostrada en la tabla 3.14, cumple con soportar las cargas generadas por las masas de los elementos a transportar y los generados por la fuerza del motor, con un factor de seguridad de 62 para la carga más crítica, tal como se muestra en la fig.3.32. Igualmente, los materiales del diseño de la estructura se seleccionaron de

acuerdo al código sanitario FDA para el diseño y construcción de equipos [16] según el cual debido a que la chirimoya tiene PH igual a 4 los materiales a usar en contacto con el producto y los materiales que pueden estar sometidos a salpicaduras de este producto deben ser resistentes a la corrosión; por ello, estos materiales son AISI 304 para la estructura; y también se emplea, el film adhesivo, lámina PTFE (politetrafluoroetileno) o espuma látex natural para recubrir zonas como rampas que puedan dañar la chirimoya en el momento que ocurre la caída.

La curva de costo fig. 4.6 que relaciona el costo para una capacidad de 5Tn por día es empleada para comparar el retorno de la inversión del sistema propuesto en la presente tesis fig. 4.1 contra el proceso llevado a cabo de forma manual fig. 4.3 del cual podemos demostrar que el retorno de la inversión se produce en 175 días. También, comparamos el sistema fig. 4.3 contra otros sistemas de selección de frutas de características similares fig. 4.2 y 4.4 de lo cual podemos demostrar que el retorno de la inversión se produce en 425 días; de esta manera se concluye que el sistema fig. 4.3 genera un retorno a mediano plazo de la inversión y esto es lo más adecuado para las asociaciones agrícolas de producción a mediana escala de chirimoyas.

El montaje fue realizado por módulos para el fácil traslado hacia la central hortofrutícola; también, respecto ergonomía cabe mencionar que la altura de ingreso a la máquina es de 1.2m, logrando de esta forma que el operario pueda manipular fácilmente el producto para luego ingresarlo al sistema.

Los programas de simulación fueron empleados para la elaboración de los planos, tal como se puede apreciar en el Anexo P.

## RECOMENDACIONES

Se sugiere en caso de querer trabajar con otro fruto suave y aproximadamente redondo al cual sólo necesite selección por tamaño, hacer cambios en los rodillos del sistema de alimentador para que la separación entre los rodillos se ajuste al tamaño de estos frutos y así poderlos individualizar correctamente antes de entrar al sistema seleccionador.

En caso se necesite seleccionar otra categoría de chirimoya se tiene que corroborar en el preproceso del diseño del sistema mecánico eléctrico de selección de 5Tn/día de chirimoya que la velocidad de la cámara es suficiente para cumplir con la capacidad solicitada.



## BIBLIOGRAFÍA

1. AREX, “Chirimoya,” Accesed Marzo 2015, pp.24, 32, 5. [Online]. Available: [http://www.sierraexportadora.gob.pe/perfil\\_comercial/PERFIL%20COMERCIAL%20CHIRIMOYA.pdf](http://www.sierraexportadora.gob.pe/perfil_comercial/PERFIL%20COMERCIAL%20CHIRIMOYA.pdf)
2. Sierra Exportadora, “Misión y Visión del Portal Sierra Exportadora,” Julio 2012. [En línea]. Disponible: <http://www.sierraexportadora.gob.pe/>.
3. Cesar Valdivia Arias, “Sistema de visión artificial basado en medidas,” Pontificia Universidad Católica del Perú, Mar.2016.
4. Recomendación VDI 2221, “Methodik zum Entwickeln und Konstruieren Technischer Systeme und Produkte (Métodos para el desarrollo y diseño de sistemas técnicos y productos),” Mayo 1993.
5. A. K. Thompson, “Fruit and Vegetables Harvesting, Handling and storage,” 2nd. Ed. California: UCDAVIS, 2003, p. 195. Second Edition Fruit and Vegetables Harvesting, Handling and storage. A. K. Thompson. Publicado 2003. Postharvest technology of fruit and vegetables, p.195
6. G.P. Moreda, J. Ortiz-Cañavate, F.J. García Ramos, M. Ruiz-Altisent, “Non-destructive technologies for fruit and vegetable size determination – a review,” Enero 2009. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877408005451>
7. Ministerio de Agricultura y Riego, “Mercado Mayorista de Lima precios,” Enero 2015. [On line]. Available: <http://siea.minag.gob.pe/?q=publicaciones/abuarios-estadisticos>
8. Sunil Pareek, Elahdi M. Yahia, O.P. Pareek, R.A. Kaushik, “Postharvest physiology and technology of Annona fruits,” Febrero 2011. [Online]. Available: [www.elsevier.com/locate/foodres](http://www.elsevier.com/locate/foodres)
9. Donald J. Battern, “Effect of temperature on ripening and postharvest life of fruit aтемoya,” Marzo 1990. [Online]. Available: <http://www.journals.elsevier.com/sciencepublisher>

10. Proexport Colombia, “Estudio de Mercado Canadá, Frutas exóticas,” Programa de información al exportador, Bogotá, Colombia, Octubre 2004.
11. Lisa Kitinoja y Adel A. Kader, “Small-Scale Postharvest Handling Practices: A Manual for Horticultural Crops,” 4th. ed. California: University of California, Davis Postharvet Technology Research and Information Center, pp. 39-55, July 2002. [Online]. Available: <http://ucce.ucdavis.edu/files/datastore/234-1450.pdf>
12. Xu Liming y Zhao Lang Chao, “Automated strawberry grading system based in image processing,” September 2009. [Online]. Available: <http://www.journals.elsevier.com/computers-and-electronics-in-agriculture>
13. G.P. Moreda, J. Ortiz-Cañavate, F.J. García-Ramos, M. Ruiz-Altisent, “Non-destructive technologies for fruit and vegetable size determination – a review,” Noviembre 2008. [Online]. Available: <http://www.journals.elsevier.com/journal-of-food-engineering>
14. Adel A. Kader, “Postharvest technology of horticultural crops,” Julio 2002. [Online]. Available: [https://books.google.com.pe/books?id=O1zhx2OWftQC&dq=kader+sorting&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.pe/books?id=O1zhx2OWftQC&dq=kader+sorting&hl=es&source=gbs_navlinks_s)
15. Naoshi Kondo, “Automation on fruit and vegetable grading system and food traceability,” September 2009. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224409002611>
16. U.S. Food and drugstore administration, Equipos y utensilios de mantelería, 5th. Ed., Washington, Octubre 2009, pp.120-138. [Online]. Available: <http://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/RetailFoodProtection/FoodCode/ucm188064.htm>
17. Helio Colombe, Tabla PH de los alimentos alimentación alcalina, Agosto 2013. [Online]. Available: [www.heliocolombe.wordpress.com](http://www.heliocolombe.wordpress.com)
18. Habasit, “Slat and conveyer Chains,” Enero 2015, p.14., [Online]. Available: <http://www.habasit.com>

19. Adel A. Kader, "Postharvest technology," California: University of California, 1992, p.37.
20. Transmission chain catalogue Section3: Designer guide Renold Power transmission, Julio 2013, [On line]. Available: [http://www.renold.es/Support/Chain\\_Literature.asp](http://www.renold.es/Support/Chain_Literature.asp)
21. Saipin Maneepun, "Cátalogo de equipos de pequeña escala de procesamiento de comida," Diciembre 2014. [On line]. Available: <http://www.fao.org/docrep/x5424e/x5424e00.htm>
22. B. Jarimopas et al., "Design and testing of a mangosteen fruit sizing machine," Elsevier Ltd. Journal of food Engineering 79, pp.745-771, Abril 2006.
23. Luis Eduardo Vega Yáñez, "Diseño y cálculo de una central hortofrutícola destinada a la manipulación y conservación de fruta en el término municipal de Logroño (La Rioja)," Julio 2013, [On line]. Available: [publicaciones@unirioja.es](mailto:publicaciones@unirioja.es)