

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Escuela de Posgrado



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

## DISEÑO MECÁNICO-ELÉCTRICO DE UNA MÁQUINA MECATRÓNICA PARA SELECCIONAR UVAS DE MESA

Tesis para optar el grado de Magister en Ingeniería Mecatrónica.

Presentado por:

**RENZO JO LAURENT**

**ASESOR:**

**Dipl. Ing. Benjamín Barriga Gamarra**

**Lima, Abril del 2016**



© 2015, Renzo Jo Laurent

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

## RESUMEN

El continuo aumento de la exportación de uvas de mesa en el Perú lleva a implementar nuevas técnicas y mejoras en la cadena de producción con el fin de cubrir la demanda externa. Uno de los procesos más críticos es la selección, la cual se realiza manualmente según parámetros específicos para cada región de destino y relacionados al color, tamaño, forma de las bayas así como en el peso del racimo.

En este trabajo se presenta el diseño mecánico-eléctrico de una máquina mecatrónica, que junto con un sistema de visión y control realizado en el trabajo de tesis “Estudio de un sistema para el control de tamaño y peso de uva de mesa” por el Ing. André Basilio Vela, permite la automatización en la selección de uvas de mesa Red Globe por tamaño y peso a una capacidad máxima de procesamiento de 200 kg/hr. El diseño realizado tiene como finalidad poder ser fabricado en un trabajo futuro para evaluar su eficiencia y eficacia real y aumentar la capacidad de producción de la máquina.

La máquina consta principalmente de una mesa transportadora, un módulo de selección por visión y un módulo de separación. La mesa transportadora utiliza un motorreductor para dar el giro a una faja transportadora de uvas de mesa ingresadas por un operario; se utiliza aire comprimido para la remoción de gotas de agua que se encuentren en la superficie de la uva de mesa accionada por un sensor de proximidad, el módulo de selección por computadora identifica que producto cumple las condiciones físicas de tamaño y peso mínimo; y el módulo de separación utiliza básicamente un pistón neumático para remover de la mesa transportadora las uvas rechazadas previamente por el sistema de visión y ser trasladadas por gravedad a una zona de descarga manual que amortigua la caída. Las uvas seleccionadas también se descargan manualmente y al final de la faja transportadora. Por último, las condiciones de selección son ingresadas a través de una interfaz Hombre-Máquina.

Se incluye como elementos de seguridad protectores mecánicos para los componentes móviles de la máquina y elementos de protección eléctricos. Se consideró también temas de ergonomía básica en el diseño de la mesa transportadora y en la ubicación tanto de la caja de mando como en la de interfaz Hombre-Máquina. El costo total estimado correspondiente a la fabricación de la máquina sin incluir la adquisición de los equipos del sistema de visión es S/48,675.00.

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

TÍTULO : **DISEÑO MECÁNICO-ELÉCTRICO DE UNA MÁQUINA MECATRÓNICA PARA SELECCIONAR UVAS DE MESA**

ÁREA : Diseño

PROPUESTO POR : Ing. Eliseo Benjamín Barriga Gamarra  
Ing. Julio Cesar Tafur Sotelo

ASESOR(ES) : Ing. Eliseo Benjamín Barriga Gamarra

TESISTA : Renzo Jo Laurent

CÓDIGO : 20060553

FECHA : 14 de Marzo del 2016

### **DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:**

El continuo aumento de la exportación de uvas de mesa en el Perú lleva a implementar nuevas técnicas y mejoras en la cadena de producción con la finalidad de cubrir la demanda externa. La actividad más crítica en esta cadena es la selección, la cual se realiza manualmente según parámetros específicos para cada región de destino y que se encuentran relacionados al color, tamaño, forma de las bayas así como en el peso del racimo completo.

Es por eso que el presente trabajo propone una máquina mecatrónica que junto con un sistema de visión realizado en el trabajo de tesis “Estudio de un sistema para el control de tamaño y peso de uva de mesa” por el Ing. André Basilio Vela permitan la automatización en la selección de uvas de mesa Red Globe por tamaño y peso de las uvas de mesa a una capacidad máxima de 200 kg/hr. El diseño tiene como finalidad ser un prototipo con el fin de poder aumentar la capacidad de producción en un trabajo futuro, además de reducir la cantidad de operarios por máquina sin perder calidad en el producto. Se analizarán, diseñarán y seleccionarán los mecanismos, equipos eléctricos y componentes mecánicos involucrados en el proceso para obtener un proyecto óptimo.

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

**“DISEÑO MECÁNICO-ELÉCTRICO DE UNA MÁQUINA  
MECATRÓNICA PARA SELECCIONAR UVAS DE MESA”**

Introducción

1. La Uva de Mesa y Máquinas Seleccionadoras
2. Diseño Conceptual
3. Análisis y Cálculo de los Mecanismos
4. Planos y Costos

Conclusiones

Observaciones y Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

---

Ing. Eliseo Benjamín Barriga Gamarra  
Asesor



**Dedicada a mis padres por el apoyo incondicional durante toda mi carrera.**

iv

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN .....	i
APROBACIÓN DE TEMARIO DE TESIS .....	ii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>1. LA UVA DE MESA Y MÁQUINAS SELECCIONADORAS .....</b>	<b>3</b>
1.1. La uva de mesa y sus variedades en el Perú.....	3
1.2. Proceso de producción .....	5
1.2.1. Recepción y lavado.....	6
1.2.2. Selección .....	6
1.2.3. Clasificación y pesaje.....	6
1.2.4. Empaquetado.....	6
1.2.5. Paletizado .....	7
1.2.6. Fumigación .....	7
1.2.7. Pre-enfriamiento y almacenamiento.....	7
1.3. Problemática actual de la uva de mesa en el Perú.....	8
1.4. Máquinas Seleccionadoras .....	10
1.4.1. Tecnologías automatizadas.....	10
1.4.2. Tecnologías semi-automatizadas.....	14
<b>2. DISEÑO CONCEPTUAL .....</b>	<b>15</b>
2.1. Consideraciones y Requerimientos.....	15
2.1.1. Función Principal .....	15
2.1.2. Recepción del producto .....	16
	v

2.1.3. Calidad de las uvas.....	16
2.1.4. Eléctrica.....	17
2.1.5. Seguridad.....	18
2.1.6. Ergonomía.....	18
2.1.7. Costos.....	18
2.1.8. Resumen de Requerimientos.....	18
2.2. Estructura de funciones.....	19
2.2.1. Entradas del Sistema.....	21
2.2.2. Funciones y actividades en el sistema.....	22
2.2.3. Salidas del Sistema.....	24
2.3. Diseño del concepto óptimo.....	24
2.3.1. Diseño conceptual N° 1.....	25
2.3.2. Diseño conceptual N° 2.....	26
2.3.3. Diseño conceptual N° 3.....	27
2.3.4. Concepto Óptimo.....	27
2.4. Diseño del proyecto óptimo.....	30
2.4.1. Diseño del proyecto N° 1.....	30
2.4.2. Diseño del proyecto N° 2.....	31
2.4.3. Diseño del proyecto N° 3.....	32
2.4.4. Proyecto Óptimo.....	33
<b>3. ANÁLISIS Y CÁLCULO DE LOS MECANISMOS.....</b>	<b>35</b>
3.1. Presentación de la Máquina.....	35
3.2. Diseño del sistema de transmisión de potencia.....	37
3.2.1. Faja Transportadora.....	37
3.2.2. Selección de Componentes.....	45
3.3. Diseño del sistema neumático.....	49
3.3.1. Zona de secado superficial.....	50
3.3.2. Zona de separación de racimos.....	54
3.4. Resistencia de componentes mecánicos.....	59
3.4.1. Eje de transmisión.....	59
3.4.2. Estructura de la Máquina.....	64
3.5. Diseño del Sistema Eléctrico.....	67
3.5.1. Selección de Dispositivos Eléctricos.....	73
3.5.2. Dimensionamiento de los Conductores.....	77
	vi

<b>4. PLANOS Y COSTOS DEL PROYECTO</b> .....	85
4.1 Análisis de Costos .....	85
4.1.1. Costos de Fabricación y Ensamble .....	85
4.1.2. Costos de diseño Mecánico-Eléctrico .....	86
4.1.3. Costo Total del diseño Mecánico-Eléctrico.....	87
4.2 Lista de Planos .....	87
 CONCLUSIONES .....	 89
 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES .....	 91
 BIBLIOGRAFÍA .....	 92
 ANEXOS:	
 ANEXO 1: Matriz de requerimientos.	
 ANEXO 2: Estructura de funciones.	
 ANEXO 3: Matriz morfológica del diseño conceptual.	
 ANEXO 4: Matriz morfológica del diseño del proyecto.	
 ANEXO 5: Hoja de datos de faja HABASIT NAB-8EEWV11.	
 ANEXO 6: Hoja de datos de motor BALDOR VWDM3534.	
 ANEXO 7: Hoja de datos del reductor DODGE HB383CN56C292_41A1SM25.	
 ANEXO 8: Hoja de datos del piñon 100BTL13H-2012.	
 ANEXO 9: Hoja de datos de la chumacera y “Take Up” DODGE.	
 ANEXO 10: Hoja de datos de los componentes neumáticos en la zona de secado.	
 ANEXO 11: Hoja de datos de los componentes neumáticos en la zona separación de racimos.	
 ANEXO 12: Hoja de datos de los componentes del sistema eléctrico.	
 ANEXO 13: Plano de Ensamble y Fabricación del diseño mecánico-eléctrico.	

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1. 1.- Variedades de la Uva en el Perú y sus características .</i>	4
<i>Tabla 1. 2.- Calendario de cosecha de la Uva de Mesa en el Perú .</i>	5
<i>Tabla 1. 3.- Cantidad y tipo de cajas por pallets.</i>	7
<i>Tabla 1. 4.- Superficie de uva en Perú por zona en hectáreas.</i>	9
<i>Tabla 2. 1.- Resumen de requerimientos para el diseño.</i>	19
<i>Tabla 2. 2.- Evaluación Técnica del Diseño Conceptual.</i>	28
<i>Tabla 2. 3.- Evaluación Económica del Diseño Conceptual.</i>	29
<i>Tabla 2. 4.- Evaluación Técnica del Diseño del Proyecto.</i>	33
<i>Tabla 2. 5.- Evaluación Económica del Diseño del Proyecto.</i>	34
<i>Tabla 3. 1.- Consideraciones de la uva para el diseño básico.</i>	37
<i>Tabla 3. 2.- Medidas del espacio de trabajo.</i>	38
<i>Tabla 3. 3.- Resultados de los cálculos básicos.</i>	39
<i>Tabla 3. 4.- Masas de componentes principales.</i>	41
<i>Tabla 3. 5.- Valores para la elección del factor “C<sub>1</sub>”</i>	43
<i>Tabla 3. 6.- Valores para la elección del factor “C<sub>3</sub>”</i>	43
<i>Tabla 3. 7.- Resultados de cálculo de fuerzas en la faja transportadora.</i>	44
<i>Tabla 3. 8.- Resultados de cálculos de potencia transmitida en la faja transportadora.</i>	45
<i>Tabla 3. 9.- Consumos de aire de diferentes dispositivos neumáticos [10].</i>	52
<i>Tabla 3. 10.- Resultados de los cálculos básicos neumáticos en la zona de secado.</i>	53
<i>Tabla 3. 11.- Lista de componentes neumáticos en la zona de secado.</i>	53
<i>Tabla 3. 12.- Variables en dimensionamiento de la trampa de racimos rechazados.</i>	56
<i>Tabla 3. 13.- Resultados del dimensionamiento de la trampa de racimos rechazados.</i>	56
<i>Tabla 3. 14.- Resultados respecto a cálculos de consumo de aire en el pistón neumático.</i>	58
<i>Tabla 3. 15.- Lista de componentes neumáticos en la zona de división de racimos.</i>	59
<i>Tabla 3. 16.- Resultados del D.C.L. del eje motriz.</i>	60
<i>Tabla 3. 17.- Resultados obtenidos del cálculo de resistencia del eje motriz.</i>	64
<i>Tabla 3. 18.- Leyenda de la Verificación de la Estructura por SAP2000.</i>	66

<i>Tabla 3. 19.- Factor de Seguridad de la Estructura. ....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 3. 20.- Designación de Dispositivos de Actuación, Mando, Señalización y Protección. ....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 3. 21.- Consumos de Corrientes de los Elementos de Mando y Señalización conectados al PLC. ....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 3. 22.- Consumos de Corriente Total del PLC y los Dispositivos de Actuación. .....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 3. 23.- Fuente de Alimentación del Sistema Eléctrico. ....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 3. 24.- Interruptores de Protección del Sistema Eléctrico.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 3. 25.- Contactores del Sistema Eléctrico. ....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 3. 26.- Pulsadores y Contactor del Sistema Eléctrico. ....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 3. 27.- Luminarias de Señalización del Sistema Eléctrico.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 3. 28.- Sensor de Proximidad de la Zona de Secado.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 3. 29.- Tabla de Instalaciones Eléctricas Referenciales del CNE.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 3. 30.- Equivalencias de Instalaciones Eléctricas del CNE .....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 3. 31.- Factores de Corrección por Temperatura del CNE.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 3. 32.- Factores de Corrección por Número de Conductores del CNE.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 3. 33.- Capacidad de Corriente según Método de Instalación del CNE.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 3. 34.- Cables de Alimentación del Sistema Eléctrico. ....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 3. 35.- Caídas de Tensión Admisible según el CNE. ....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 3. 36.- Caída de Tensión de los Elementos del Sistema Eléctrico. ....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 4. 1.- Costos de Fabricación y Ensamble. ....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 4. 2.- Lista y Costos de Elementos Estándar. ....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 4. 3.- Resumen de Costos.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 4. 4.- Lista de Planos de Ensamble. ....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 4. 5.- Lista de Planos de Despiece. ....</i>	<i>88</i>

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. 1.- Flujo de Procesos de Producción de la Uva de Mesa.....</i>	8
<i>Figura 1. 2.- Exportaciones en toneladas de uva de mesa en el Perú. ....</i>	9
<i>Figura 1. 3.- Transportador de Tornillos sin fin. ....</i>	11
<i>Figura 1. 4.- Brazo Robot para manipulación de frutas.....</i>	11
<i>Figura 1. 5.- Elevador de Cangilones. ....</i>	12
<i>Figura 1. 6.- Faja Transportadora.....</i>	12
<i>Figura 1. 7.- Mecanismo de volteo para transporte y división de fruta. ....</i>	12
<i>Figura 1. 8.- Pistón neumático para dividir frutas.....</i>	13
<i>Figura 1. 9.- Línea automatizada de selección de bayas de uva para la vendimia. ..</i>	14
<i>Figura 1. 10.- Máquina de selección de bayas de uvas por visión por computadora. 14</i>	14
<i>Figura 2. 1.- Dominio Mecánico de la Estructura de Funciones.....</i>	20
<i>Figura 2. 2.- Diseño Conceptual N° 1. ....</i>	25
<i>Figura 2. 3.- Diseño Conceptual N° 2. ....</i>	26
<i>Figura 2. 4.- Diseño Conceptual N° 3. ....</i>	27
<i>Figura 2. 5.- Gráfica de Decisión del Diseño Conceptual.....</i>	29
<i>Figura 2. 6.- Diseño del Proyecto N° 1. ....</i>	30
<i>Figura 2. 7.- Diseño del Proyecto N° 2. ....</i>	31
<i>Figura 2. 8.- Diseño del Proyecto N° 3. ....</i>	32
<i>Figura 2. 9.- Gráfica de decisión.....</i>	34
<i>Figura 3. 1.- a) Vista isométrica de la máquina. b) Vista personalizada de la máquina. .....</i>	36
<i>Figura 3. 2.- Dimensiones del espacio de trabajo.....</i>	37
<i>Figura 3. 3.- Distribución de procesos en la faja transportadora.....</i>	38
<i>Figura 3. 4.- Esquema de Distancia Mínima de Actuación por el Sistema de Control. .....</i>	39
<i>Figura 3. 5.- Rodillo de deslizamiento para faja.....</i>	40
<i>Figura 3. 6.- Configuración del sistema transportador a usar. ....</i>	41
<i>Figura 3. 7.- Tensor lineal "Take Up".....</i>	42
<i>Figura 3. 8.- Esquema de fuerzas en la faja transportadora. ....</i>	44
<i>Figura 3. 9.- Sistema de transmisión de potencia.....</i>	46

<i>Figura 3. 10.- Componentes neumáticos en la zona de secado superficial. ....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 3. 11.- Esquema de experimento para determinar presión de secado. ....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 3. 12.- Plano neumático de la zona de secado. ....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 3. 13.- Componentes neumáticos en la zona de división de racimos. ....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 3. 14.- a) Vista de planta de la zona de división de ramos. ....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 3. 15.- a) Esquema con longitud de carrera 0 [mm]. b) Esquema con longitud de carrera <math>r_p</math> [mm]. ....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 3. 16.- Plano neumático de la zona de división de racimos. ....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 3. 17.- Diagrama de cuerpo libre sin incluir torques para el eje motriz. ....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 3. 18.- Diagrama de Fuerza Cortante x-z del eje de transmisión. ....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 3. 19.- Diagrama de Fuerza Cortante y-z del eje de transmisión. ....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3. 20.- Diagrama de Momento Flector x-z del eje de transmisión. ....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3. 21.- Diagrama de Momento Flector y-z del eje de transmisión. ....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3. 22.- Diagrama de Momento torsor del eje de transmisión. ....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3. 23.- Modelamiento de la Estructura en SAP2000. ....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 3. 24.- Verificación de las Estructura en SAP2000. ....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 3. 25.- Diagrama de Fuerza del Motor. ....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 3. 26.- Diagrama de Mando del Motor. ....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 3. 27.- Diagrama Eléctrico del PLC y la Fuente de Alimentación. ....</i>	<i>71</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

• $A_{1y}$	: Carga en el eje y en el apoyo 1.	[N]
• $A_{1z}$	: Carga en el eje z en el apoyo 1.	[N]
• $A_{2y}$	: Carga en el eje y en el apoyo 2.	[N]
• $A_{2z}$	: Carga en el eje z en el apoyo 2.	[N]
• $a_{uv}$	: Ancho del racimo.	[cm]
• $b_0$	: Ancho de la faja.	[mm]
• $C_1$	: Factor para el tambor motriz.	-
• $C_3$	: Factor de recubrimiento del tambor motriz.	-
• $C_u$	: Capacidad de procesamiento de la máquina.	[kg/hr]
• $d$	: Distancia entre pivote de la trampa y el pistón.	[mm]
• $d_A$	: Diámetro mínimo del tambor motriz.	[mm]
• $d_b$	: Diámetro de un orificio de la pistola de aire.	[mm]
• $d_c$	: Diámetro de la sección crítica.	[mm]
• $D_e$	: Diámetro del embolo.	[mm]
• $d_v$	: Diámetro del vástago.	[mm]
• $d_{vs}$	: Distancia Mínima de Actuación por el Sistema de Control.	[mm]
• $F_1$	: Fuerza de tracción máxima.	[N]
• $F_2$	: Fuerza de tracción máxima en el tambor conducido.	[N]
• $F_s$	: Fuerza de secado.	[N]
• $F_U$	: Fuerza tangencial máxima.	[N]
• $F_{WA}$	: Carga sobre ejes en estado de funcionamiento.	[N]
• $F_{Winst}$	: Carga sobre ejes durante el tensado de la faja.	[N]
• $FS$	: Factor de seguridad.	-

• $F_{Winst}$	: Carga sobre ejes durante el tensado de la faja.	[N/cm]
• $g$	: Gravedad.	[m/s <sup>2</sup> ]
• $h$	: Altura de trabajo.	[mm]
• $h_u$	: Alto del racimo.	[cm]
• $i$	: Índice de reducción de velocidad motor/tambor motriz.	-
• $I_d$	: Corriente de Diseño del conductor.	[A]
• $I_{dct}$	: Corriente de Diseño Corregida del conductor	[A]
• $I_{il}$	: Corriente nominal de la luminaria Blanca.	[A]
• $I_{am220}$	: Corriente de arranque a 220 V del motor.	[A]
• $I_{am440}$	: Corriente de arranque a 440 V del motor.	[A]
• $I_{nm}$	: Corriente Nominal del equipo a alimentar.	[A]
• $I_{nm220}$	: Corriente nominal a 220V del motor.	[A]
• $I_{nm440}$	: Corriente nominal a 440V del motor.	[A]
• $I_{PLC}$	: Corriente de alimentación a 220 VAC del PLC.	[mA]
• $I_{SR}$	: Corriente máxima en zona de Separación de Racimos.	[A]
• $I_{SS}$	: Corriente máxima en Secado Superficial.	[A]
• $K_c$	: Factor de corrección por agrupación de conductores.	-
• $K_t$	: Factor de corrección por temperatura.	-
• $L$	: Longitud de la trampa.	[mm]
• $L'$	: Posición del pistón respecto al pivote de la trampa.	[mm]
• $L_{min}$	: Longitud mínima de la faja transportadora.	[cm]
• $L_{uv}$	: Longitud del racimo.	[cm]
• $M$	: Masa de la carga total.	[kg]
• $M_f^{xy}$	: Momento flector en el eje yz de la sección crítica.	[N.mm]

• $M_f^{xz}$	: Momento flector en el eje xz de la sección crítica.	[N.mm]
• $m_B$	: Masa de la faja transportadora.	[kg]
• $M_f$	: Momento flector total de la sección crítica.	[N.m]
• $m_R$	: Masa de todos los tambores/rodillos a excepción del tambor motriz.	[kg]
• $M_t$	: Momento torsor en el la sección crítica.	[N.m]
• $n$	: Cantidad de boquillas usadas.	-
• $n_m$	: Revoluciones por minuto del motor eléctrico.	[rev/s]
• $n_{tm}$	: Revoluciones por minuto del tambor motriz.	[rev/s]
• $N_u$	: Cantidad de racimos de uva por hora.	[uvas/hr]
• $n_{uf}$	: Cantidad de racimos sobre la faja.	[uvas]
• $P_A$	: Potencia mecánica en el tambor motriz.	[kW]
• $P_M$	: Potencia del Motor.	[kW]
• $P_N$	: Presión normalizada de 1.	[bar]
• $P_t$	: Presión de trabajo.	[bar]
• $P_{Cm}$	: Peso aproximado de los componentes mecánicos.	[N/cm]
• $P_{uv}$	: Peso total de los racimos en toda la faja.	[N]
• $P'_{uv}$	: Fuerza equivalente del racimo en un tambor.	[N]
• $Q_b$	: Consumo de aire por cada boquilla.	[litros/min].
• $Q_{bn}$	: Consumo de aire por cada boquilla a 1 [bar] y 20 [°C].	[Nlitros/s]
• $Q_{btot}$	: Consumo de aire por el total de cada boquilla.	[litros/min].
• $Q_p$	: Consumo de aire a 6 [bar].	[l/min]
• $r$	: Longitud del cilindro del pistón.	[mm]
• $Rf$	: Torque generado por la el tambor motriz.	[N.m]
• $r_p$	: Carrera del pistón.	[mm]

- $Rp$  : Torque generado por la rueda de transmisión. [N.m]
- $s$  : Separación entre racimos. [mm]
- $T_N$  : Temperatura normalizada de 20°C en °K. [°K]
- $T_t$  : Temperatura de trabajo. [°K]
- $t_{vs}$  : Tiempo Mínimo de Actuación por el Sistema de Control. [s]
- $Ty$  : Tensión en el eje y generado por la faja de transmisión. [N]
- $Tz$  : Tensión en el eje x generado por la faja de transmisión. [N]
- $V_c^{xz}$  : Fuerza cortante en el eje xz de la sección crítica. [N]
- $V_c^{yz}$  : Fuerza cortante en el eje yz de la sección crítica. [N]
- $V_d$  : Volumen desplazado por el pistón. [m<sup>3</sup>]
- $V_{lu}$  : Velocidad lineal del racimo. [cm/s]
- $W_{eje}$  : Peso aproximado del eje. [N]
- $Wp$  : Peso de la polea de transmisión. [N]
- $W_u$  : Masa de la uva. [kg]
- $\alpha$  : Angulo formado por la trampa durante la carrera del pistón. °
- $\beta$  : Ángulo de contacto °
- $\Delta U\%_{3f}$  : Caída de tensión trifásica %
- $\Delta U\%_{ac}$  : Caída de tensión admisible en el circuito. %
- $\Delta U\%_{dc}$  : Caída de tensión en corriente continua %
- $\eta$  : Eficiencia del motor -
- $\mu_R$  : Coeficiente de Fricción de la faja sobre rodillos -
- $\mu_T$  : Coeficiente de Fricción de la faja sobre perfiles -
- $\sigma_{eq}$  : Esfuerzo equivalente la sección crítica [MPa]
- $\sigma_f$  : Esfuerzo axial por flexión de la sección crítica [MPa]

- $\sigma_F$  : Esfuerzo de fluencia del material del eje en la sección crítica [MPa]
- $\tau$  : Esfuerzo cortante total de la sección crítica [MPa]
- $\tau_c^{xz}$  : Esfuerzo cortante en el eje xz de la sección crítica [MPa]
- $\tau_c^{yz}$  : Esfuerzo cortante en el eje yz de la sección crítica [MPa]
- $\tau_t$  : Esfuerzo cortante por momento torsor de la sección crítica [MPa]
- $\varphi$  : Ángulo de aplicación del momento flector  $M_f$  [°]



## INTRODUCCIÓN

Las uvas por lo general se agrupan en 3 clases: para mesa, para pasas y finalmente para vinos y piscos. A nivel mundial la selección de uvas destinadas para vinos y piscos puede ser realizada mediante una máquina automatizada o de forma manual. Las máquinas automatizadas utilizan un sistema de visión que sólo pueden seleccionar las uvas baya por baya. Por ejemplo, existe una máquina que selecciona bayas de uvas a 2 toneladas en 12 minutos [1]. En uvas para pasa, la selección se efectúa de forma manual o automatizada después del proceso de secado. Por último, la selección de uvas de mesa es realizada manualmente.

En los últimos cinco años el Perú ha escalado nueve posiciones en el ranking de exportadores de uva de mesa, superando a importantes exportadores como México, India y España. En el 2013 fue el séptimo exportador de uvas de mesa a nivel mundial, con 5% del volumen total exportado a ese año, siendo los principales mercados de destino son Estados Unidos (19.7%), Holanda (15.9%), China (13.6%) y Hong Kong (12.5%) [2]. Además, se estima que el incremento de producción a finales del 2015 sea de 15.8% mayor respecto al 2014 [3]. El aumento en la exportación se debe principalmente a la mayor demanda en china y la apertura de nuevos mercados en la región Asiática, sumados también tanto al incremento de las áreas sembradas como a la mayor productividad de los cultivos.

Por tanto, se deben implementar nuevas técnicas y mejoras en la cadena de producción con la finalidad de cubrir la demanda externa. Los procesos más críticos en esta cadena son la selección y clasificación, las cuales en el Perú se realizan manualmente según parámetros específicos para cada región de destino y que tienen que ver con el color, tamaño, forma de las bayas así como en el peso del racimo completo. Respecto al proceso de selección manual, éste se realiza con el uso de una faja transportadora y con trabajadores debidamente capacitados, por lo general entre 4 a 8 personas por máquina que pueden llegar a obtener un máximo de 2 [Ton/hr] aproximadamente. Esta modalidad puede ocasionar fatiga el cual puede llevar a una selección ineficiente cuando la misma persona se encuentra realizando la selección dentro de una jornada laboral, esto da motivo a incorporar doble personal en el proceso resultando a largo plazo un mayor costo para la planta y por ende a la cadena de producción.

En consecuencia, se utilizará como base a la mecatrónica ya que es un medio automatizado, controlado y rápido para procesos de selección, permitiendo así incrementar el volumen de producción, además de tener un registro histórico de manera fácil y confiable. Entonces, el presente trabajo propone el diseño mecánico-eléctrico de una máquina mecatrónica que, junto con un sistema de visión y control realizado en el trabajo de tesis “Estudio de un sistema para el control de tamaño y peso de uva de mesa” realizado por el Ing. André Basilio, permite la automatización en la selección de uvas de mesa Red Globe por tamaño y peso a una capacidad máxima de 200 [kg/hr].

Entonces, el proyecto seguirá la metodología de diseño recomendada por la Norma Europea VDI 2221 [4]. Se investigará y evaluará extensamente los diferentes componentes y dispositivos utilizados en selección automatizada de productos agrícolas para después proponer varias soluciones y elegir el diseño óptimo. Se elaborarán los esquemas y cálculos mecatrónicos necesarios con el fin de satisfacer los objetivos del proyecto. Se mostrarán los costos involucrados, así como también se realizarán los planos mecánicos y diagramas eléctricos los cuales se utilizarán para fabricar en un trabajo futuro un prototipo y así realizar ajustes al diseño e incluir más variedades de uva en la selección.

## CAPÍTULO 1

### LA UVA DE MESA Y MÁQUINAS SELECCIONADORAS

En el presente capítulo se presenta las características físicas de la uva de mesa y sus variedades en el Perú, así como el proceso de producción y problemática actual respecto a la exportación de las mismas. Mencionamos también algunas máquinas mecatrónicas que seleccionan uvas y se encuentran en el mercado mundial.

#### 1.1. La Uva de Mesa y sus variedades en el Perú

El nombre científico de la uva es *Vitis Vinifera* y crece como fruto de los racimos de la vid común o vid europea. Las uvas vienen en racimos, por lo general en formas redondas y pequeñas de sabor dulce. Se utilizan principalmente en la elaboración de vinos y piscos, fabricación de pasas y para alimentos, denominándose ésta última como uvas de mesa.

En el Perú, las uvas de mesa se encuentran registradas en la partida arancelaria 0806.1000.00 con la descripción de “UVAS FRESCAS” y los requisitos de calidad e inocuidad se encuentran normadas por la NTP 011.012:2005 [5]. El Perú provee uva durante todo el año en las regiones de Ica, Piura, Lima, La Libertad, Tacna, entre otras y se beneficia del periodo de diciembre a marzo, periodo en el cual disminuye la oferta mundial. En la Tabla 1.1 se muestra las principales variedades en el Perú reconocidas a nivel mundial y en la Tabla 1.2 el calendario de cosecha de la uva de mesa con más producción.

Tabla 1. 1.- Variedades de la Uva en el Perú y sus características [6].

TIPO DE UVA	MES DE COSECHA	IMÁGEN	DESCRIPCIÓN DEL RACIMO	DESCRIPCIÓN DE LAS BAYAS
<b>Red Globe</b>	Oct-Mar		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño grande-muy grande.</li> <li>• Pedúnculo largo y delgado.</li> <li>• Exportado por peso de 1040-1200 gramos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibre 24-28mm.</li> <li>• Con semilla.</li> <li>• Redondeadas.</li> <li>• De color rojo.</li> </ul>
<b>Crimson Seedless</b>	Oct-Ene		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño grande.</li> <li>• Cónico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibre 18-19mm.</li> <li>• Sin semilla.</li> <li>• Ovalada alargada.</li> <li>• De color rojo.</li> <li>• Profundo y brillante.</li> </ul>
<b>Flame Seedless</b>	Oct-Ene		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño medio-grande.</li> <li>• Cónico.</li> <li>• Compacidad media.</li> <li>• Exportado por peso de 550-750 gramos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibre 18-19mm.</li> <li>• Sin semilla.</li> <li>• De color rojo suave a brillante.</li> <li>• Esféricas, ligeramente aplastadas.</li> </ul>
<b>Surgraone (Superior)</b>	Oct-Mar		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño grande.</li> <li>• Alargado.</li> <li>• Relativamente suelto</li> <li>• Uniforme.</li> <li>• Abundante.</li> <li>• Exportado por peso de 550-750 gramos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibre 18-22mm.</li> <li>• Sin semilla.</li> <li>• Alargadas, ovales, ovoides.</li> <li>• De color verde claro y amarillento.</li> </ul>
<b>Thompson Seedless</b>	Dic-Feb		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño medio-grande.</li> <li>• Alado.</li> <li>• Excesivamente compacto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibre 18-20mm.</li> <li>• Con semilla.</li> <li>• De color verde-amarillo.</li> </ul>

Tabla 1. 2.- Calendario de cosecha de la Uva de Mesa en el Perú [7].

Variedad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Red Globe	X	X	X							X	X	X
Flame Seedless	X									X	X	X
Surgraone	X									X	X	X
Thompson Seedless	X	X	X							X	X	X
Crimson Seedless	X	X										X

Cada tipo de uva tiene un uso particular debido a que poseen diferentes características físicas, químicas, entre otras. A continuación mencionamos los tipos de uva que se usan según su producto final:

▪ **Para mesa:**

- Blancas sin semilla : Superior seedless, Thompson seedless.
- Coloreadas sin semilla : Flame seedless , black seedless y Ruby seedless.
- Coloreadas con semilla : Red Globe Blancas con semilla: Palestina y Italia.

▪ **Para vinificación:**

- Par vino tintos y rozados : Quebranta, Malbec/Merlot , Ruby Cabernet, Sauvignon, Carignan.
- Para vinos blancos : Sauvignon Blanc Pinot blanco, Albilla, torontel.
- Para Pisco : Quebranta, Italia, moscatel, negra corriente, albilla.

▪ **Para pasas** : Italia y Thompson seedless.

## 1.2. Proceso de producción de la Uva de Mesa

El proceso de producción que se describe a continuación es realizado después de la cosecha y en lugares dentro de la edificación con buenas condiciones higiénicas, tanto en las máquinas como en el personal en contacto con el producto.

### 1.2.1. Recepción y Lavado

Las uvas llegan a la planta de producción en jabas de 11 [kg] aproximadamente y son limpiadas manualmente para remover todo tipo de material extraño que no se encuentre apto para la presentación y calidad o altere su peso y volumen real. Además se recurre a baños en tinas de agua con 0.02 [ppm] de Anhídrido Sulfuroso a 16 [°C] durante 10 minutos para la preservación de la fruta sin deteriorarla.

### 1.2.2. Selección

La labor de selección es el siguiente proceso y consiste en retirar manualmente aquellos racimos o bayas de uva que presenten deterioro de calidad o manifiesten tamaños muy pequeños, heridas, pudriciones, manchas por residuos de pesticidas y falta de coloración.

### 1.2.3. Clasificación y Pesaje

Posteriormente, las uvas seleccionadas se clasifican manualmente por tamaño, color y consistencia para ajustarla a los requisitos mínimos de calidad exigidos por los compradores y consumidores finales y separar aquellas que van para el mercado de fruta fresca de las que van para la agroindustria (azúcares, colorantes, pasas, etc.).

### 1.2.4. Empaquetado

Luego, las uvas seleccionadas se pesan en una báscula pequeña y por lo general se colocan dentro de bandejas de poliestireno expandido, llamado comúnmente “tecnopor” en Perú, que contendrán una libra (500 [gr] aprox.) de uva. También se usan cajas y bolsas de plástico tipo V-Shape, ziploc o slider. Seguidamente, las bandejas se depositan dentro de un empaque máster, en donde según el mercado de destino puede ser de canastillas plásticas, cajas de cartón, etc. y se encuentran estandarizadas en pesos de 7, 8.2, 9 y 12,5 [kg]. Por ejemplo, para el mercado de Estados Unidos se utilizan cajas de cartón de 18 [lb] o 8.2 [kg]. Además, se coloca un generador de anhídrido sulfuroso antes de cerrar la caja para evitar el crecimiento de microorganismos causantes de enfermedades.

### 1.2.5. Paletizado

Después se procede al paletizado, el cual consiste en colocar las cajas en pallets de madera. A continuación se muestra en la Tabla 1.3 la cantidad y tipos de cajas por pallets que se realizan comúnmente:

Tabla 1. 3.- Cantidad y tipo de cajas por pallets.

EMPAQUE	PESO	PRESENTACIÓN	EMBALAJE
Caja Frigolit	9 kg.	9-10 Bolsas individuales tipo V-shape, ziploc, slider.	72 cajas/Pallet
Caja Cartón	8.2 kg.	9-10 Bolsas individuales tipo V-shape, ziploc, slider.	90 cajas/Pallet
Caja Cartón	20 lbs.	4 clamshell.	75 cajas/Pallet
Caja Plástico	9 kg.	10 Bolsas Individuales.	102 cajas/Pallet

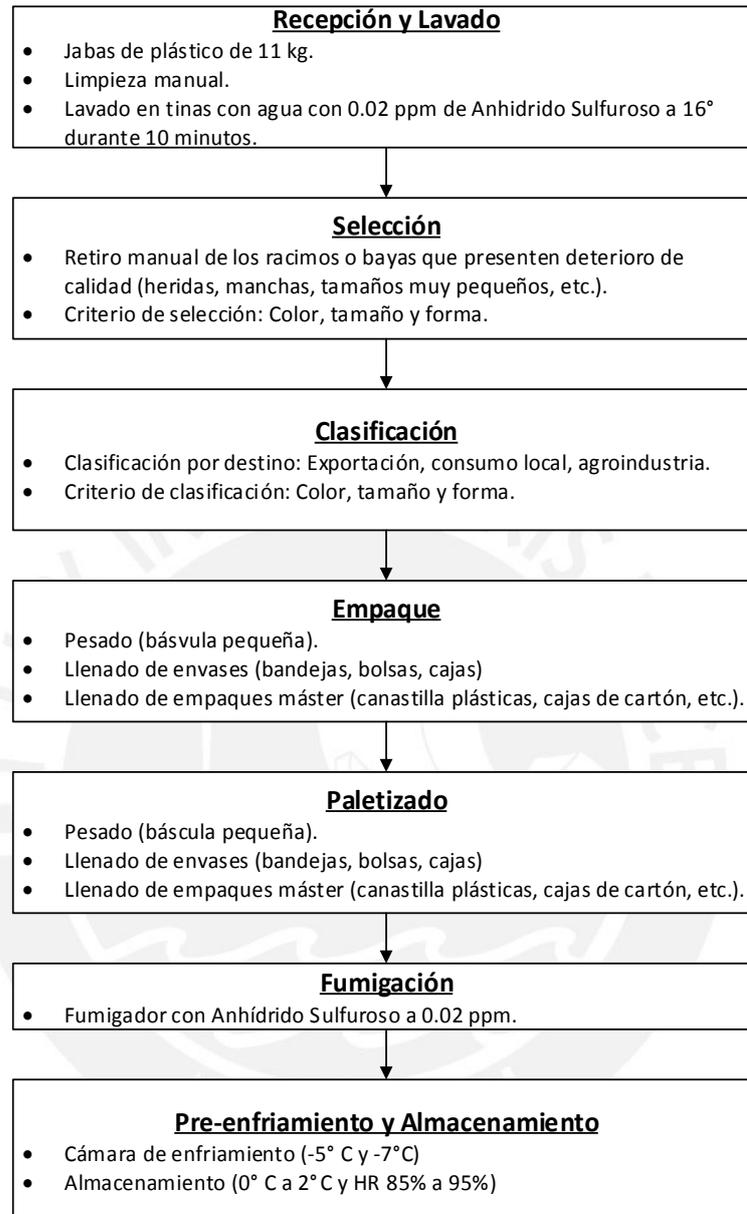
### 1.2.6. Fumigación

El siguiente paso es el tratamiento con fumigantes químicos destinados a eliminar la presencia de posibles plagas. Entre ellos se utiliza el Anhídrido Sulfuroso a 0.02 [ppm].

### 1.2.7. Pre-Enfriamiento y Almacenamiento

Por último, los pallets son conducidos a cámaras de enfriamiento que operan con aire forzado a temperaturas entre los -5 [°C] y -7 [°C]. Esto permite disminuir la temperatura de la fruta hasta un nivel cercano a los 0 [°C], facilitando así su ingreso posterior a la cámara de almacenamiento refrigerado, entre 0 [°C] y 2 [°C], y a una humedad relativa de entre 85% y 95%.

Cabe mencionar que a lo largo de todas las etapas logísticas se debe de tener cuidado en el transporte de las uvas, así como no romper la cadena de frío desde la cámara hasta el consumidor final. A continuación se presenta en la Figura 1.1 el flujo de procesos de la uva de mesa durante la producción:



**Figura 1. 1.- Flujo de Procesos de Producción de la Uva de Mesa.**

### 1.3. Problemática actual de la uva de mesa en el Perú

Durante los últimos años, el desarrollo de la industria peruana y la búsqueda de nuevos mercados extranjeros para la exportación de la uva de mesa ha tenido como consecuencia que los productores comiencen a plantar en zonas de producción temprana, ubicando a Piura como la segunda zona de mayor producción y desplazando a Ica como zona más tradicional de producción de uvas en el Perú.

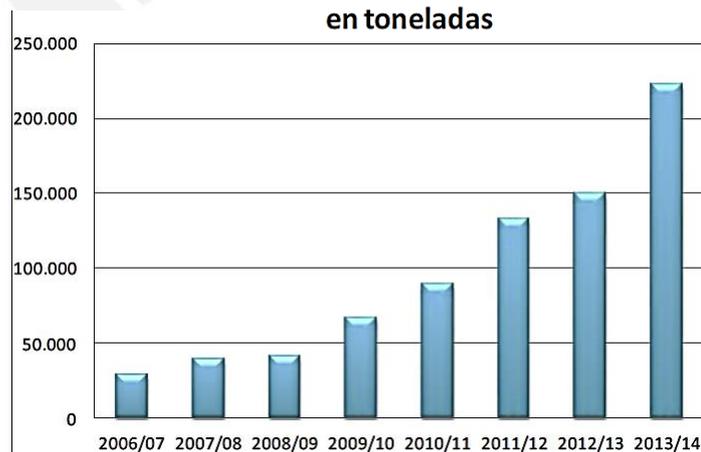
El crecimiento de la superficie plantada hasta Agosto del 2014 respecto al 2010 fue de 47%, siendo un significativo aumento considerando que las plantaciones comenzaron en el 2008. El crecimiento de la superficie de uva por zonas se muestra en la Tabla 1.4:

**Tabla 1. 4.- Superficie de uva en Perú por zona en hectáreas<sup>1</sup>.**

<b>SUPERFICIE DE UVA EN PERÚ POR ZONA EN HECTÁREAS</b>					
<b>Zona</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
Piura	2,042	2,404	2,766	3,138	3,510
Lambayeque	300	335	370	563	757
La Libertad	244	338	431	445	458
Ancash	30	115	200	248	297
Lima	33	34	35	35	35
Ica	4,761	5,016	5,144	5,272	5,783
Arequipa	199	231	263	294	324
<b>Total</b>	<b>7,609</b>	<b>8,473</b>	<b>9,209</b>	<b>9,994</b>	<b>11,163</b>

Las exportaciones de uvas de mesa han presentado un crecimiento sostenible y se espera que se mantenga al alza por lo menos los próximos 5 años (Figura 1.2). La exportación es el objetivo principal del acelerado desarrollo de la uva de mesa, debido a que los costos productivos son altos mientras que el consumo y los precios en el mercado interno son bajos. Sin embargo, el crecimiento de los volúmenes ha sido tan rápido que algunos exportadores acusan la falta de servicios, rapidez en la producción y logística asociada a la exportación.

**Uva de Mesa de Perú: Exportaciones en toneladas**



**Figura 1. 2.- Exportaciones en toneladas de uva de mesa en el Perú.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Fuente: Portal AGROREPORTS.

<sup>2</sup> Fuente: PROMPERU.

Respecto a la rapidez en la producción, ésta se traduce en la poca capacidad de una planta en procesar cierta cantidad de uvas, siendo los procesos más críticos la selección y la clasificación por el mayor tiempo empleado respecto a los demás. La selección y clasificación se realizan manualmente según parámetros específicos por cada región de destino y que tienen que ver con el color, tamaño, forma de las bayas así como en el peso del racimo completo.

Respecto al proceso de selección manual, el cual se trabajará en el proyecto, éste se realiza con el uso de una faja transportadora y con trabajadores debidamente capacitados, por lo general entre 4 a 8 personas por máquina que pueden llegar a obtener un máximo de 2 [Ton/hr] aproximadamente. Esta modalidad puede ocasionar fatiga el cual puede llevar a una selección ineficiente cuando la misma persona se encuentra realizando la selección dentro de una jornada laboral, esto da motivo a incorporar doble personal en el proceso resultando a largo plazo un mayor costo para la planta y por ende a la cadena de producción.

Por tanto, existen aún desafíos que la industria tiene que afrontar en el corto plazo con el fin de poder mantener el dinamismo que ha venido registrando desde los inicios de las plantaciones de uva de mesa en el Perú.

#### **1.4. Máquinas Seleccionadoras**

En la actualidad existen diversas máquinas de selección de frutas. Estas pueden ser clasificadas como automatizadas y semi-automatizadas. A continuación se muestra algunas de las tecnologías más usadas para la selección de frutas.

##### **1.4.1. Tecnologías automatizadas**

Estas tecnologías automatizan todos los procesos relacionados a la selección, tales como la recepción, selección, transporte, clasificación, división, descarga, etc., debido al uso de sensores de proximidad y actuadores controlados por desde simples

microcontroladores hasta sistemas de control distribuido o SCD<sup>3</sup>. Los sensores pueden ser ultrasónicos, capacitivos, fotoeléctricos, etc. Estos sistemas pueden incluir energía neumática, hidráulica, eléctrica, etc.

En la recepción y descarga, es común usar tolvas de recepción o descarga en donde el producto se almacena para después ser introducidas a la maquina a través de cualquiera de las siguientes tecnologías: tornillos sin fin, utilizados mayormente en la selección de grano y bayas (Ver Figura 1.3); brazos robots, utilizados por lo general para productos medianos a grandes (Ver Figura 1.4), mecanismos de volteo, como el elevador de cangilones (Ver Figura 1.5), etc.



Figura 1. 3.- Transportador de Tornillos sin fin<sup>4</sup>.



Figura 1. 4.- Brazo Robot para manipulación de frutas<sup>5</sup>.

---

<sup>3</sup> Sistema de control programable aplicado a procesos industriales complejos en la industria agrícola, petroquímica, metalurgia, centrales de generación, tratamiento de aguas, industria farmacéutica, etc.

<sup>4</sup> Figura extraída de la página web: <https://i.ytimg.com/vi/Txa8x37ixEY/hqdefault.jpg>.

<sup>5</sup> Figura extraída de la página web: [http://img.directindustry.es/images\\_di/photo-m2/12463-8138974.jpg](http://img.directindustry.es/images_di/photo-m2/12463-8138974.jpg).



**Figura 1. 5.- Elevador de Cangilones<sup>6</sup>.**

En los procesos de transporte, clasificación y división, por lo general se usan fajas transportadoras (Ver Figura 1.6), Mecanismos de volteo (Ver Figura 1.7), actuadores neumáticos y eléctricos (Ver Figura 1.8),



**Figura 1. 6.- Faja Transportadora<sup>7</sup>.**



**Figura 1. 7.- Mecanismo de volteo para transporte y división de fruta<sup>8</sup>.**

<sup>6</sup> Figura extraída de la página web: <https://www.logismarket.es/ip/equipenvas-elevador-de-cangilones-elevador-de-cangilones-807900-FGR.jpg>.

<sup>7</sup> Figura extraída de la página web:

[http://www.dellatoffola.it/\\_prodotti/big/dellatoffola/enologia/Selezione\\_Trasporto/Nastri/nastro\\_04.jpg](http://www.dellatoffola.it/_prodotti/big/dellatoffola/enologia/Selezione_Trasporto/Nastri/nastro_04.jpg).

<sup>8</sup> Figura extraída de la página web: [http://www.bsbiosystems.com/apple\\_sorter/cups\\_apples.jpg](http://www.bsbiosystems.com/apple_sorter/cups_apples.jpg).



**Figura 1. 8.- Pistón neumático para dividir frutas<sup>9</sup>.**

El proceso de selección de los productos es la parte más crítica de la máquina, ya que es aquí en donde se evalúa la calidad del producto. Un mal sistema de selección genera desde pérdidas económicas hasta daños contra la salud para el consumidor final siempre y cuando no se tenga un buen proceso de control de calidad en la planta donde se opera. Entonces los sistemas usados en este proceso son por visión por computadora capaces de detectar el tamaño, forma, color y textura del producto. Este sistema realiza las funciones de adquirir, procesar, analizar y comprender las imágenes del mundo real, en este caso las frutas a seleccionar, con el fin de producir información numérica para luego ser tratados por un computador y actuar según la situación a través de un sistema de control, es decir trata de reproducir el mismo efecto que realiza la función humana en la selección manual. La adquisición de imágenes para la selección de frutas es realizada por sensores ópticos, los más usados son las cámaras fotografías y/o de video.

En el mercado internacional existen empresas que diseñan y fabrican una línea automatizada completa de selección de bayas de uvas, ejemplo de ello es la realizada por el Grupo Della Toffola la cual se muestra en la Figura 1.9.

---

<sup>9</sup> Figura extraída de la página web: <http://www.thompsonscale.com/wp-content/uploads/2014/01/10-Intermediate-Sweep-Arm-Reject.jpg>.



Figura 1. 9.- Línea automatizada de selección de bayas de uva para la vendimia<sup>10</sup>.

#### 1.4.2. Tecnologías semi-automatizadas

Estas tecnologías consisten en el empleo de uno o más procesos automatizados adicionales al proceso de selección por visión por computadora. Ejemplo de ella se puede apreciar en la Figura 1.10, en ella se muestra la máquina de selección de bayas de uvas “Selectiv process Vision 2” de la empresa Jesús Espier S.L. que utiliza una videograbadora para expulsar elementos no deseables de la vendimia (residuos verdes, granos no maduros o en mal estado sanitario, uvas pasas, etc.) a través del módulo de boquillas de aire comprimido.



Figura 1. 10.- Máquina de selección de bayas de uvas por visión por computadora<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> Figura extraída de la página web: [http://www.dellatoffola.com/enology/Grape-sorting-lines\\_2\\_0\\_161\\_\\_\\_\\_0#prettyPhoto](http://www.dellatoffola.com/enology/Grape-sorting-lines_2_0_161____0#prettyPhoto).

<sup>11</sup> Figura extraída de la página web: <http://jesusespier.com/seleccionadora-de-uva/>.

## CAPÍTULO 2

### DISEÑO CONCEPTUAL

Se va a obtener un diseño óptimo a partir de las consideraciones y requerimientos necesarios que se exponen en el presente capítulo. Además, se muestra la estructura de funciones y la matriz morfológica por módulo mecánico, electrónico y de control de la máquina con el fin de disponer de diferentes alternativas y configuraciones para el análisis que llevan al diseño a cumplir mejor con los requerimientos y por ende al objetivo principal del proyecto. Se utiliza la metodología de diseño de la Norma Europea VDI 2221.

#### 2.1. Consideraciones y Requerimientos

A continuación se describen brevemente las exigencias que permiten la selección de las uvas de mesa cumpliendo con las normas de calidad mínimas para la exportación y teniendo en cuenta para la máquina temas de seguridad, ergonomía, costos, entre otros.

##### 2.1.1. Función Principal

La máquina seleccionará como máximo 200 [kg/hr] de uva de mesa Red Globe destinadas a la exportación según el estándar de calidad estipulado en la Norma Técnica Peruana 011.012:2005 en relación al tamaño y peso de las bayas.

### 2.1.2.Recepción del Producto

El producto a seleccionar es la uva de mesa con semilla denominada Red Globe, también es denominada en diferentes regiones como Gorda Negra, Uva Gruesa o simplemente Globo Rojo. El motivo de esta elección es debido a que presenta color rojo y por el tamaño grande de racimo, facilitando así su identificación por parte del sistema de visión. En un trabajo futuro y posterior a los resultados del presente proyecto se puede realizar ajustes al diseño con la finalidad de abarcar más variedades de uvas y aumentar la capacidad en la selección.

El diseño de la máquina es un prototipo que tiene como finalidad poder ser fabricado en un trabajo futuro y evaluar su eficiencia y eficacia real, por tanto la capacidad de procesamiento de la máquina será de 200 [kg/hr]. El ingreso de las uvas de mesa deberá ser de manera individual y manual por el personal asignado en la zona de recepción de la máquina con la finalidad de evitar lo más posible el maltrato del producto, ya que por lo general es propenso al desprendimiento y al daño superficial de la baya. Además, no es requisito para las uvas haber pasado por una selección previa en los campos de cultivo, pero si es requisito haber pasado por el proceso de limpieza. No obstante, ya que en la limpieza siempre se utiliza el agua, se permite el ingreso de las uvas de mesa con presencia de agua de manera superficial.

### 2.1.3.Calidad de las Uvas

El requerimiento más importante se encuentra relacionado a la calidad de uvas, ya que de éste depende si la selección se considera eficiente o deficiente. Por tanto, se muestra a continuación los requisitos necesarios que permiten a la máquina seleccionar adecuadamente:

#### I. Uvas Aceptadas:

Las uvas de mesa que sean aceptadas por el sistema de visión y entregadas por la máquina deberán cumplir los siguientes puntos de la Norma Técnica Peruana 011.012:2005:

**a. Relativas a la Calidad:**

- Limpios y prácticamente exentos de cualquier materia extraña visible.
- Los granos de uva deberán estar enteros, bien formados y normalmente desarrollados.
- Categoría Extra: Los granos de la uva deben ser de pulpa firme, firmemente adheridos al escobajo, espaciados homogéneamente a través del mismo y tener su pruina virtualmente intacta.

**b. Relativas al Calibre:**

- El tamaño de los granos de uva con semilla deben ser como mínimo de 15.9 [mm].
- El peso mínimo de los racimos para uvas de mesa en la categoría Extra es de 200 [gr].

**II. Uvas Rechazadas:**

Las uvas que no cumplan con los requisitos mencionados en la sección 2.1.2.I. Uvas Aceptadas, serán separadas y entregadas en un sector diferente que al de las uvas aceptadas en el mismo estado físico en el cual ingreso a la máquina con la finalidad de poder ser posteriormente separado fuera de la maquina a aquellas que van para el mercado de fruta fresca de las que van para la agroindustria (azúcares, colorantes, pasas, etc.).

**2.1.4. Eléctrica**

Los dispositivos eléctricos deben ser fabricados por un ente internacional que verifique su funcionabilidad y seguridad. La energía eléctrica de uso debe considerar corriente alterna para los elementos de potencia y corriente continua para sensores y elementos electrónicos.

### **2.1.5. Seguridad**

La seguridad de las personas que interactúan con la máquina debe ser tal que eviten lesiones punzocortantes, por calor o por descargas eléctricas, por tanto la máquina debe de tener resguardos contra riesgo mecánico y estar debidamente aislada para canalizar las descargas eléctricas a tierra. Respecto a la máquina, se debe implementar alarmas de fallos y dispositivos automáticos para paralizar el proceso si es necesario.

### **2.1.6. Ergonomía**

El diseño debe tener en cuenta que las zonas o dispositivos que interactúan con la persona deben estar al alcance de ella. El recorrido que presenta la uva de mesa debe poder ser visualizada fácilmente por las personas con fines de supervisión. Los tableros de control y mando deben de estar posicionados según la disponibilidad de manipulación y visualización de la persona. El dimensionamiento de las zonas de recepción y descarga deben ser tales que permitan a una persona realizar la labor manualmente.

### **2.1.7. Costos**

Como en todo proyecto de inversión, se requiere economizar sin perder la calidad, eficiencia y eficacia de la máquina con la intención de ser atractiva y accesible para el medio en donde se adquiere y se dará uso. Por tanto, los materiales y tecnologías elegidas deben ser tal que permitan ser adquiridos en el mercado local y los componentes seleccionados deben ser estandarizados a la medida de lo posible para una fácil adquisición de repuestos en caso de ser necesario. Además, los procesos de fabricación y ensamble deben poder ser realizados en talleres locales.

### **2.1.8. Resumen de Requerimientos**

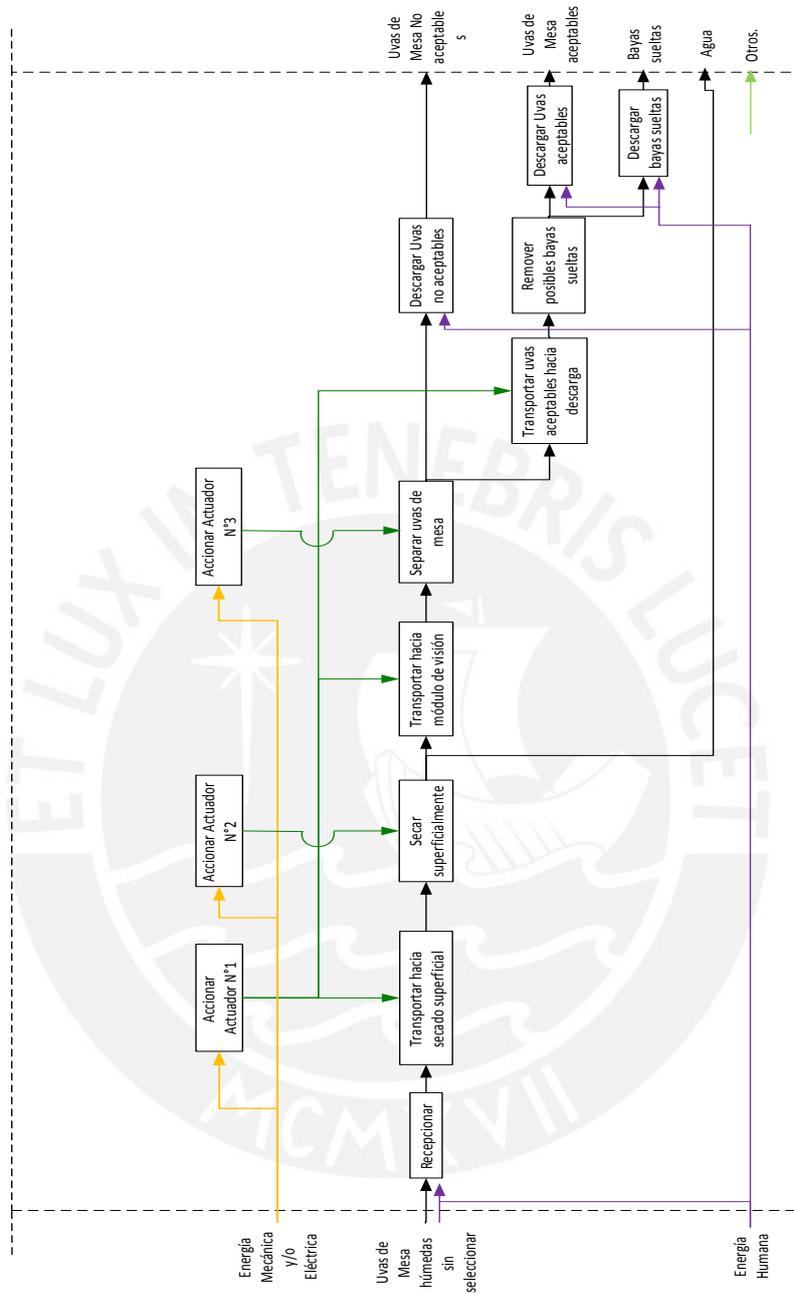
Con la finalidad de sintetizar los requerimientos más importantes, se muestra un cuadro resumen en la Tabla 2.1. En el Anexo 1 se muestra una tabla indicando todos los requerimientos:

**Tabla 2. 1.- Resumen de requerimientos para el diseño.**

<b>LISTA DE REQUERIMIENTOS</b>		
<b>CLIENTE:</b> PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERÚ		
Nº	DENOMINACION	Descripción
1	Función Principal	- Seleccionar uvas de mesa Red Globe a una capacidad de 200 [kg/hr] según el tamaño y peso.
2	Recepción del Producto	- Las uvas de mesa serán introducidas directamente después del proceso de limpieza y/o lavado. Además, ingresarán individualmente y de forma manual con la finalidad de evitar el maltrato del producto lo más posible.
3	Calidad de Uvas	-Las uvas de mesa que sean entregadas como "aceptables" por la máquina deberán cumplir con la Norma Técnica Peruana 011.012:2005 en relación a los siguientes puntos: * Punto 4. Relativas a la calidad. * Punto 5. Sobre la clasificación por calibres.
4	Eléctrica	- Los dispositivos deben tener una certificación de un ente internacional para verificación de funcionalidad y seguridad.
5	Seguridad	La máquina será diseñada de tal modo que no ponga en peligro la seguridad física de los operarios ni del medio ambiente siguiendo la Directiva Europea 2006/42/CE relativa a máquinas, así como también se evitará poner en peligro a la propia máquina, protegiéndola contra corto circuitos, sobrecargas y daños mecánicos que la deterioren.
6	Ergonomía	- El recorrido que presenta la uva de mesa debe poder ser visualizada fácilmente por las personas con fines de supervisión. - Los tableros de control y mando deben de estar posicionados según la disponibilidad de manipulación y visualización de la persona. - El dimensionamiento de las zonas de recepción y descarga deben ser tales que permitan a una persona realizar la labor manualmente.
7	Bajo Costo	FABRICACIÓN Y ENSAMBLE: - Los materiales y tecnologías elegidas deben ser tal que permitan ser adquiridos en el mercado local y los componentes seleccionados deben ser estandarizados a la medida de lo posible. Los procesos de fabricación y ensamble deben poder ser realizados en talleres locales.

## 2.2. Estructura de funciones

Una vez definida las consideraciones y requerimientos, la estructura de funciones es el siguiente paso en el cual se definen los procesos y sub-procesos que la máquina debe tener para cumplir con el objetivo del proyecto. En la Figura 2.1 se muestra la estructura de funciones del dominio mecánico, en el cual nos centraremos para el diseño.



**Figura 2. 1.- Dominio Mecánico de la Estructura de Funciones.**

En el Anexo 2 se encuentra la estructura de funciones correspondientes a todo el sistema, es decir dominio mecánico, electrónico, control y visión. El sistema y el proceso se muestran desde que las uvas de mesa ingresan a la máquina después del proceso de lavado, es decir se encuentran húmedas, hasta el momento en que se haya realizado

la selección y la remoción de las uvas no aceptables y posibles uvas sueltas, además se detallará todas las entradas y salidas del procedimiento.

### **2.2.1. Entradas del sistema**

Se refiere con entradas al sistema a las variables que ingresan al sistema para la realización de las funciones propias de la máquina a diseñar.

#### **i. Uvas de Mesa húmedas sin seleccionar**

En primer lugar, las uvas de mesa deben pasar previo al ingreso en la máquina por una limpieza manual y un lavado con agua. La limpieza manual debe realizarse con la finalidad de no presentar material extraño o ajeno a la uva de mesa en sí, como por ejemplo: hojas, insectos, etc. El lavado con agua contienen anhídrido sulfuroso y se realiza para la preservación de la fruta. Entonces, el proceso inicia con la introducción de las uvas de mesa que se encuentran húmedas debido al proceso de lavado previo que se les ha realizado.

#### **ii. Energía Humana**

La energía humana como entrada está relacionada en la recepción y descarga de las uvas a la máquina. El ingreso de las uvas a la máquina debe ser realizada manualmente e individualmente, es decir el personal asignado debe ingresar las uvas una por una a la máquina. Similarmente, las descargas deben ser realizadas manualmente por el personal asignado en las zonas especificadas de la máquina con la finalidad de continuar con el proceso de producción.

#### **iii. Energía Eléctrica de Potencia**

La energía eléctrica de potencia resulta ser la entrada a los accionamientos respectivos y para el proceso de transformación a energía de control que alimentaran los dispositivos electrónicos. Esta energía debe ser proporcionada por la planta de producción en forma de voltaje en cualquiera de los siguientes valores: 220/440 V trifásicos.

#### iv. Energía Mecánica

La energía mecánica entregará trabajo al sistema mediante dispositivos puramente mecánicos o los que transformen energía eléctrica a mecánica. Dentro de la energía mecánica se encuentra a energía neumática, la cual será la entrada a los accionamientos que la requieran y será proporcionada por el medio ambiente de la zona circundante que debe ser como máximos de clase 5 según ISO 14644-1:1999<sup>12</sup>, la maquina será diseñada tal que pueda filtrar, acondicionar y dosificar el aire ingresado ya que parte de ella estará en contacto directo con las uvas de mesa.

##### 2.2.2. Funciones y actividades en el sistema

A continuación se muestran las funciones que tienen que cumplir la máquina. Cabe resaltar que para todas las funciones es importante no dañar físicamente a la uva, ya que ocasionaría una reducción en la eficiencia de selección.

###### i. Recepcionar Uvas de Mesa

Nos referimos a que la máquina debe recibir la uva de mesa en un ambiente amplio que permita el ingreso manual por el personal asignado.

###### i. Transportar Uvas de Mesa hacia Zona de Secado

Las uvas ingresadas anteriormente deben ser transportadas hacia la zona de secado. El transporte se realizará a través de un accionamiento eléctrico.

###### ii. Secar Uvas de Mesa

El secado utiliza un aire acondicionado para secar de manera superficial la uva de mesa. El aire acondicionado es tal que no contamine la uva de mesa y cumplirá con la siguiente clasificación de calidad de aire comprimido según ISO 8573-1:2010:

- Partículas sólidas: clase 1.
- Agua: clase 4.
- Aceite: clase 1.

---

<sup>12</sup> Clasificación que reporta Fitzpatrick (1994).

### **iii. Transportar Uvas de Mesa hacia el Módulo de Visión**

Las uvas secas deben ser transportadas hacia el módulo de visión para su discriminación por parte del sistema de visión. El transporte se realizará a través de un accionamiento eléctrico.

### **iv. Separar de Uvas de Mesa**

El módulo de visión decide si las uvas de mesa que evalúa son aceptables o no. Entonces nos referimos con esta función a separar las uvas de mesa no aceptables de la línea principal con la ayuda de un accionamiento neumático. Las uvas aceptables siguen su curso sin ser alteradas.

### **v. Remover Posibles Bayas Sueltas de las Uvas de Mesa Aceptables**

Durante todos los procesos anteriores es posible que algunas bayas de los racimos se desprendan, por tanto la máquina debe remover las bayas sueltas para que no interfiera con el producto final deseado, que es el racimo.

### **vi. Descargar Bayas Sueltas**

La descarga de las bayas sueltas será realizada manualmente en una zona acondicionada para ellos.

### **vii. Transportar Uvas de Mesa Aceptables**

Las uvas de mesa aceptables deben ser transportadas hacia la zona de descarga. El transporte se realizará a través de un accionamiento eléctrico.

### **viii. Descarga de Uvas Aceptables**

La máquina debe entregar las uvas de mesas aceptables en un ambiente amplio que permita el ingreso manual por el personal asignado.

### **ix. Transportar Uvas de Mesa No Aceptables**

Las uvas de mesa no aceptables deben ser transportadas hacia la zona de descarga. El transporte se realizará a través de un accionamiento eléctrico.

## **x. Descarga de Uvas No Aceptables**

La máquina debe entregar las uvas de mesas no aceptables en un ambiente amplio que permita el ingreso manual por el personal asignado.

### **2.2.3. Salidas del sistema**

Se refiere con salidas de sistema a las variables que entrega la máquina como producto final después de que se hayan realizado las funciones o actividades antes descritas.

#### **i. Uvas de Mesa Aceptables**

La máquina entrega las uvas de mesa que son considerados aceptables según el criterio del sistema de visión y seguirán con el proceso respectivo de la línea de producción.

#### **ii. Uvas de Mesa No Aceptables**

Las uvas de mesa no aceptables que son descargadas de la máquina son las que no cumplan con el criterio del sistema de visión, éstas pueden presentar deterioros de calidad o manifestar bayas muy pequeñas, heridas, pudriciones, etc. El destino de estas uvas puede ser el mercado de fruta fresca local o la agroindustria (azúcares, colorantes, pasas, etc.).

#### **iii. Bayas Sueltas**

Las bayas sueltas que entrega la máquina vienen del desprendimiento desde los racimos, por tanto su destino puede ser el mercado de fruta fresca, vinificación u otro asignado por el productor.

#### **iv. Otros**

Las salidas resultantes por dispositivos y/o mecanismos eléctricos, mecánicos u otros motivos están contemplados aquí. Por ejemplo: ruido, vibraciones, calor, etc.

### **2.3. Diseño del concepto óptimo**

En esta etapa se realiza una matriz morfología, en el cual se muestra diferentes posibles soluciones para cada función y/o actividad de la estructura de funciones realizada

previamente. En esencia, es un cuadro en el cual se colocan todas las actividades a realizar y las diferentes representaciones físicas que tenga.

Luego se realiza un bosquejo de las soluciones a mano alzada con la finalidad de incluir detalles no considerados para el diseño.

El resultado del análisis y la evaluación de las alternativas o conceptos de solución escogidos de la matriz morfológica es el diseño conceptual óptimo. La evaluación se realiza según la metodología VDI 2225 parte 1, el cual exige la utilización de un cuadro de evaluación con puntajes que muestran de manera puntual los mejores aspectos de cada diseño conceptual.

Lo importante para la solución es mantener la calidad de las frutas durante todo el proceso. La matriz morfológica realizada para el diseño en cuestión se muestra en el Anexo 3 donde las flechas de un mismo color indican la secuencia de soluciones de actividades para un mismo diseño conceptual. En los siguientes puntos se realiza una breve descripción de cada diseño conceptual.

### 2.3.1. Diseño conceptual N° 1

El diseño se muestra en la Figura 2.2.

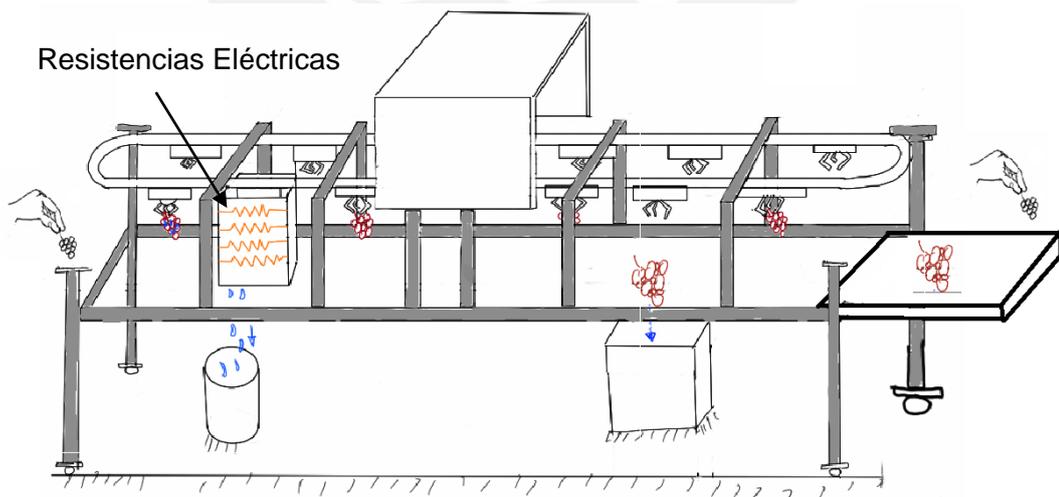


Figura 2. 2.- Diseño Conceptual N° 1.

Las uvas de mesa entran a la máquina a través de un operario, quien es el que coloca la uva en el sujetador en forma de pinzas. Una vez la uva se encuentre sujeta permanecerá así en todo el proceso, a excepción de las uvas que rechace el sistema de visión. El proceso de remoción de agua es realizado en una cabina en cual se encuentra equipado con resistencias eléctricas. Luego se va a la zona de selección, en donde el sistema de visión determina que uvas deben ser soltadas, las uvas que se dejan pasar son consideradas uvas aceptables. Por último, las uvas aceptadas son puestas en una mesa de descarga en donde el personal encargado las retira para el siguiente proceso.

### 2.3.2. Diseño conceptual N° 2

El diseño se muestra en la Figura 2.3.

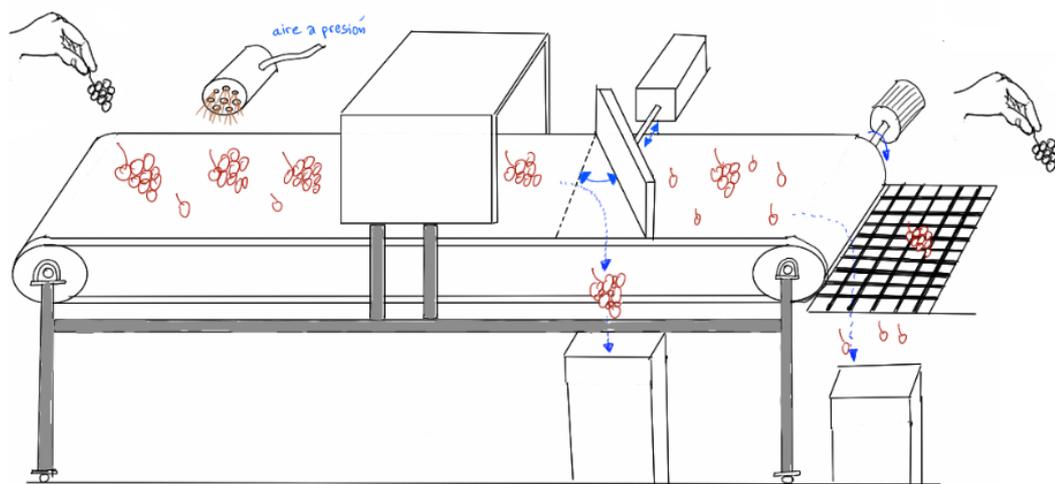


Figura 2. 3.- Diseño Conceptual N° 2.

En esta solución el transporte de las uvas es realizada mediante un apoyo móvil, en este caso se ha representado como una faja. La zona de secado superficial se realiza mediante aire comprimido. Después de que el sistema de visión seleccione las uvas aceptadas, este mandara una señal al actuador tipo pistón, el cual realiza un movimiento lineal para desplazar una trampa de uvas no aceptadas que fuerza a estas a salir de la faja transportadora. La remoción de bayas en este caso se realiza a través de un filtrado tipo malla, en donde las bayas caen por caída libre por ser más pequeños que la abertura de la malla. Por último, la descarga es realizada de forma manual por el operario encargado.

### 2.3.3. Diseño conceptual N° 3

El diseño se muestra en la Figura 2.4.

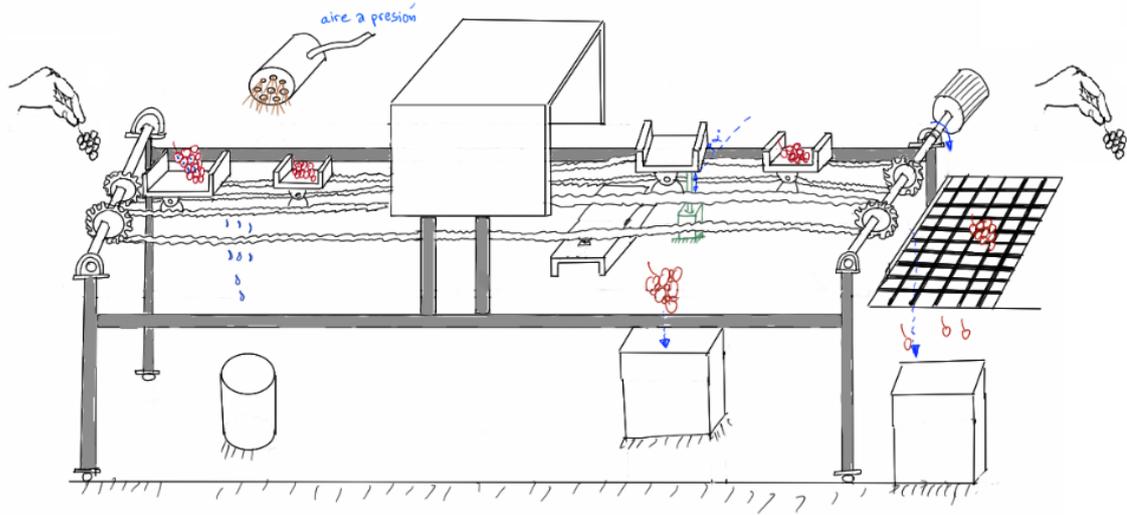


Figura 2. 4.- Diseño Conceptual N° 3.

Este diseño es muy similar al diseño conceptual n° 2. La primera diferencia es que la superficie de apoyo es ahora una bandeja que contiene una uva de mesa. El movimiento de la bandeja es accionado por un movimiento giratorio que a través de una conversión de giro a desplazamiento lineal, representada por ruedas dentadas y cadenas, transporta durante todo el proceso a la uva de mesa. La segunda diferencia es que la separación de las uvas de mesa no aceptadas por el sistema de visión se realiza por un mecanismo de volteo de la bandeja, que debido a su inclinación la uva de mesa cae por su propio peso.

### 2.3.4. Concepto Óptimo

Como se mencionó anteriormente, la metodología recomendada para determinar qué diseño es el óptimo se indica en la norma VDI 2225 parte 1, la cual consta del empleo de formatos para evaluar cuantitativamente las alternativas de diseño, es decir dar puntajes a ciertos criterios de aspecto técnico y económico que se toman como importantes en el diseño. La calificación de los criterios está establecida en un rango del 0 al 4 y mediante una ecuación establecida se obtienen valores que se presentan en una gráfica de decisión.

Las alternativas que hayan alcanzado valores mayores o iguales a 0.6 mediante las ecuaciones son consideradas aceptables. La mejor alternativa será aquella que esté más cerca a la recta de diseño ideal, el cual genera coordenadas (1,1) y una recta de 45°.

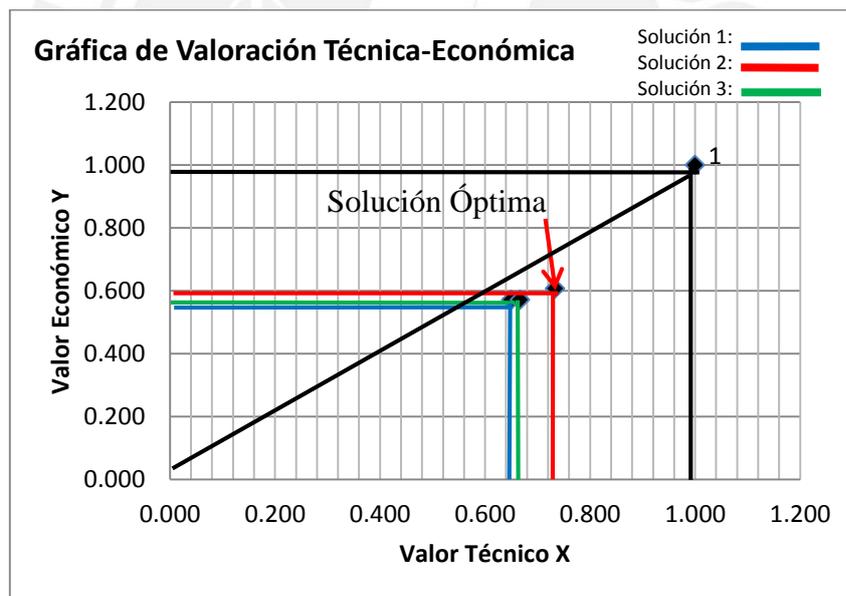
Con respecto al diseño, se muestra los cuadros resultantes de la evaluación técnica en la Tabla 2.2, económica en la Tabla 2.3, y la gráfica de decisión (Ver Figura 2.5).

**Tabla 2. 2.- Evaluación Técnica del Diseño Conceptual.**

VALOR TÉCNICO		Maestría en Ingeniería Mecatrónica			
DISEÑO MECÁNICO-ELÉCTRICO DE UNA MÁQUINA MECATRÓNICA PARA SELECCIONAR UVAS DE MESA		Fecha: 15/07/2015			
p: puntaje de 0 a 4 según escala de valores VDI 2225		Pontificia Universidad Católica del Perú			
Variantes del concepto / Proyectos		Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución Ideal
Nro.	Criterios de evaluación	p	p	p	p
1	Función de la Máquina	3	3	3	4
2	Capacidad de la Máquina	2	3	3	4
3	Rapidez del Proceso Seleccionador	2	3	2	4
4	Calidad del Producto	3	3	3	4
5	Exactitud del Proceso	3	3	3	4
6	Automatización de los Procesos	3	3	3	4
7	Ergonomía	3	3	3	4
8	Seguridad	3	3	3	4
9	Eficiencia	3	3	3	4
10	Mantenimiento de la Máquina	2	3	2	4
11	Complejidad Proceso	2	3	2	4
12	Complejidad Control	3	3	2	4
13	Tamaño de la máquina	2	2	2	4
14	Ensamblaje	2	3	3	4
15	Disponibilidad de Equipos	3	3	3	4
<b>Puntaje máximo</b>		39	44	40	60
Valor técnico		0.650	<b>0.733</b>	0.667	1.000

**Tabla 2. 3.- Evaluación Económica del Diseño Conceptual.**

VALOR ECONÓMICO		Maestría en Ingeniería Mecatrónica			
DISEÑO MECÁNICO-ELÉCTRICO DE UNA MÁQUINA MECATRÓNICA PARA SELECCIONAR UVAS DE MESA		Fecha: 15/07/2015			
p: puntaje de 0 a 4 según escala de valores VDI 2225		Pontificia Universidad Católica del Perú			
Variantes del concepto / Proyectos		Solución 1	Solución 2	Solución 3	Solución Ideal
Nro.	Criterios de evaluación	p	p	p	p
1	Costos de las tecnologías	2	3	3	4
2	Productividad	3	3	2	4
3	Cantidad de Maquinas	3	2	2	4
4	Cantidad de Operarios	2	2	2	4
5	Consumo eléctrico	2	3	3	4
6	Costos de Mantenimiento	2	2	2	4
7	Costos de Operación	2	2	2	4
<b>Puntaje máximo</b>		16	17	16	28
Valor Económico		0.571	0.607	0.571	1.000



**Figura 2. 5.- Gráfica de Decisión del Diseño Conceptual.**

Por tanto, podemos apreciar que el mejor diseño conceptual corresponde a la solución N° 2.

## 2.4. Diseño del proyecto óptimo

El objetivo en esta etapa es similar al de diseño conceptual óptimo. La diferencia radica en que partimos de la mejor solución conceptual encontrada para luego dar soluciones más específicas que permitan al diseño ser realizable y evaluarlos para obtener el diseño del proyecto óptimo. La metodología, como en el diseño conceptual, es realizar una matriz morfológica (Ver Anexo 4) y encontrar múltiples soluciones.

### 2.4.1. Diseño del Proyecto N° 1

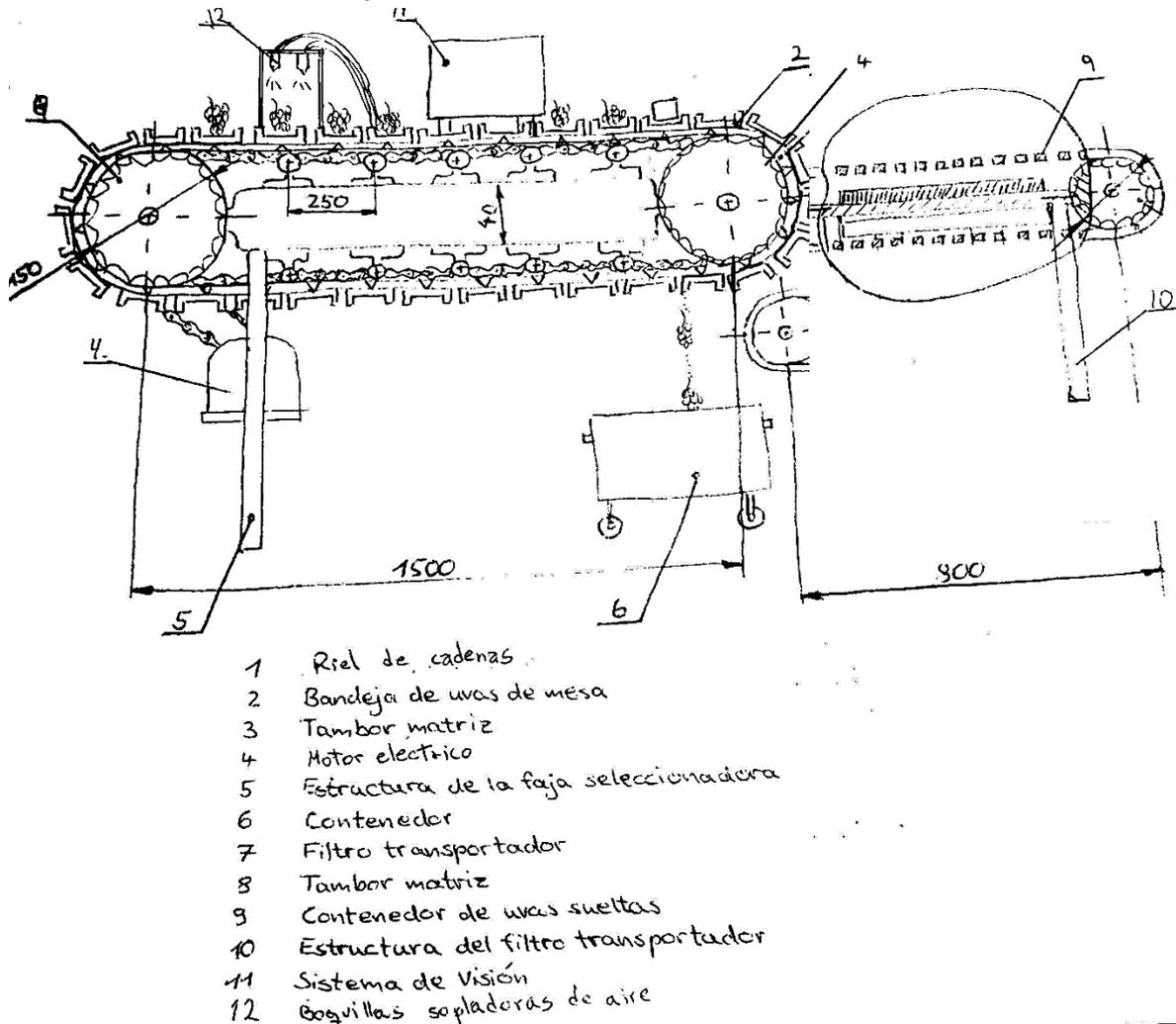
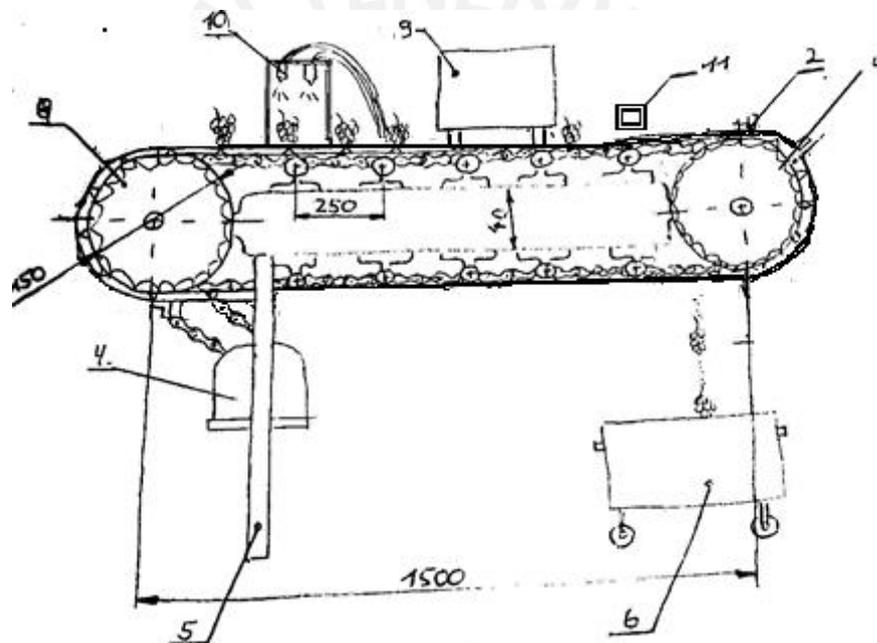


Figura 2. 6.- Diseño del Proyecto N° 1.

Tal como se muestra en la Figura 2.6, las uvas de mesa entran en el proceso por descarga manual hacia una bandeja montada en un riel. La remoción de agua superficial se realiza por aire comprimido antes de que las uvas pasen a la zona de visión. El

módulo de visión realiza la detección de uvas aceptables. Luego, la división de los racimos se realiza por un mecanismo de volteo de las bandejas. Cuando se detecta un racimo no aceptable, la bandeja se voltea y el racimo cae por gravedad hacia la zona de descarga de uvas rechazadas. Las uvas aceptadas se mantienen en la bandeja. Cuando la bandeja llega al extremo del riel, el racimo cae en la mesa de descarga. La mesa de descarga está compuesta por una malla con agujeros por donde caen las bayas desprendidas durante el proceso. Los racimos en esta zona son descargados manualmente.

#### 2.4.2. Diseño del Proyecto N° 2

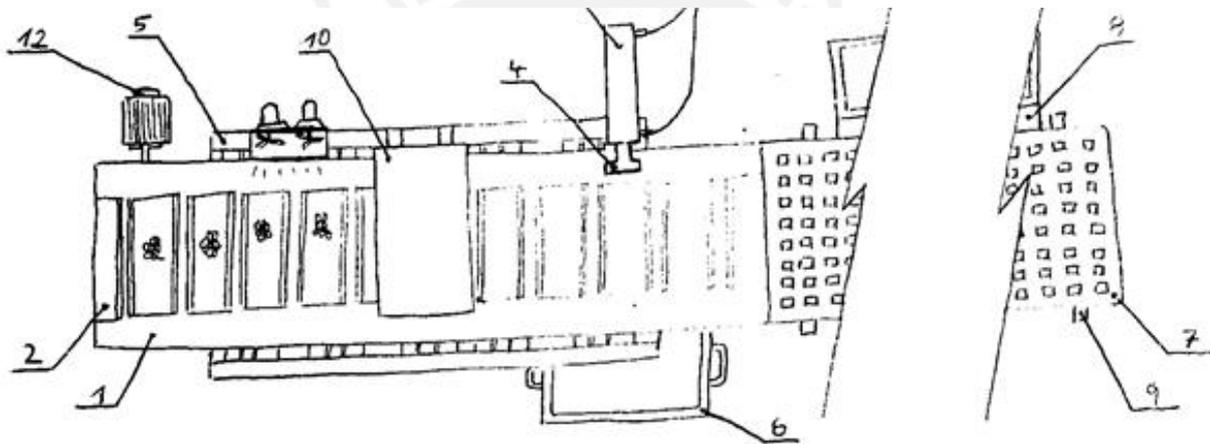


- 1 Riel de cadenas
- 2 Bandeja de uvas de mesa
- 3 Tambor matriz
- 4 Motor eléctrico
- 5 Estructura de la faja seleccionadora
- 6 Contenedor
- 7 Filtro transportador
- 8 Tambor matriz
- 9 Sistema de Visión
- 10 Bujillas sopladoras de aire
- 11 Cilindro neumático

Figura 2. 7.- Diseño del Proyecto N° 2.

Similar al diseño del proyecto n° 1, las uvas de mesa son ingresadas manualmente y la remoción de agua es realizada por aire comprimido (Ver Figura 2.7). Sin embargo, el transporte del racimo durante todo el proceso lo realiza una faja transportadora plana. La división de los racimos rechazados se realiza con un pistón neumático que coloca un obstáculo que direcciona los racimos hacia una canal en donde caen por gravedad a un canal hacia un depósito. Las uvas aceptadas llegan al final de la faja para su descarga manual. Se utilizan canaletas que se encuentran en ambos lados, a lo largo y al final de la faja transportadora para direccionar las bayas hacia el canal que va al depósito de racimos rechazados.

### 2.4.3. Diseño del Proyecto N° 3



- 1 Faja transportadora
- 2 Bandeja de uvas de mesa
- 4 Pistón de empuje
- 5 Estructura de la faja seleccionadora
- 6 Contenedor
- 7 Filtro transportador
- 8 Contenedor de uvas sueltas
- 9 Estructura del filtro transportador
- 10 Sistema de visión
- 11 Cilindro neumático
- 12 Motor faja transportadora
- 13 Ventiladores eléctricos

Figura 2. 8.- Diseño del Proyecto N° 3.

El diseño del proyecto n° 3 se diferencia del diseño del proyecto n° 2 en que la remoción de agua se realiza con aire impulsado por un ventilador eléctrico y las bayas sueltas son removidas por una malla con agujeros por donde caen por gravedad (Figura 2.8).

### 2.4.4. Proyecto Óptimo

Similar a la evaluación de los conceptos, se realiza la evaluación técnica y económica para así encontrar en la gráfica de decisión la mejor solución. En este caso la calificación de los criterios se encuentran sometidas a pesos en función a su importancia. Los pesos se encuentran en un rango de 0 a 3 y el puntaje está establecido en un rango del 0 al 4.

Las alternativas que hayan alcanzado valores mayores o iguales a 0.6 mediante las ecuaciones son consideradas aceptables. La mejor alternativa será aquella que esté más cerca a la recta de diseño ideal (coordenadas (1,1) y una recta de 45°).

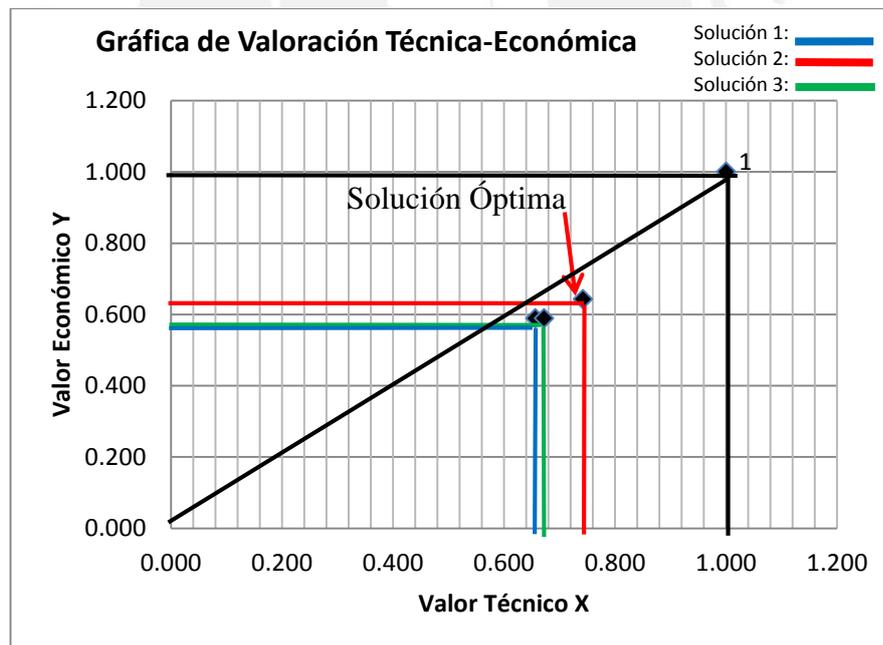
Con respecto al diseño, se muestra los cuadros resultantes de la evaluación técnica en la Tabla 2.4, económica en la Tabla 2.5 y la gráfica de decisión obtenida (Ver Figura 2.9).

**Tabla 2. 4.- Evaluación Técnica del Diseño del Proyecto.**

VALOR TÉCNICO			Maestría en Ingeniería Mecatrónica							
DISEÑO MECÁNICO-ELÉCTRICO DE UNA MÁQUINA MECATRÓNICA PARA SELECCIONAR UVAS DE MESA			Fecha: 15/07/2015							
p: puntaje de 0 a 4 según escala de valores VDI 2225			Revisión: 1							
g: peso ponderado en función a la importancia de los criterios de evaluación (pesos de 1 a 3)			Pontificia Universidad Católica del Perú							
Variantes del concepto / Proyectos			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
Nro.	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función de la Máquina	3	3	9	3	9	3	9	4	12
2	Capacidad de la Máquina	3	2	6	3	9	3	9	4	12
3	Rapidez del Proceso Seleccionador	3	2	6	3	9	2	6	4	12
4	Calidad del Producto	3	3	9	3	9	3	9	4	12
5	Exactitud del Proceso	3	3	9	3	9	3	9	4	12
6	Automatización de los Procesos	2	3	6	3	6	3	6	4	8
7	Ergonomía	2	3	6	3	6	3	6	4	8
8	Seguridad	2	3	6	3	6	3	6	4	8
9	Eficiencia	2	3	6	3	6	3	6	4	8
10	Mantenimiento de la Máquina	2	2	4	3	6	2	4	4	8
11	Complejidad Proceso	2	2	4	3	6	2	4	4	8
12	Complejidad Control	2	3	6	3	6	2	4	4	8
13	Tamaño de la máquina	1	2	2	2	2	2	2	4	4
14	Ensamblaje	1	2	2	3	3	3	3	4	4
15	Disponibilidad de Equipos	1	3	3	3	3	3	3	4	4
<b>Puntaje máximo</b>		<b>60</b>	<b>39</b>	<b>84</b>	<b>44</b>	<b>95</b>	<b>40</b>	<b>86</b>	<b>60</b>	<b>128</b>
Valor técnico			0.656		0.742		0.672		1.000	

**Tabla 2. 5.- Evaluación Económica del Diseño del Proyecto.**

VALOR ECONOMICO			Maestría en Ingeniería Mecatrónica							
DISEÑO MECÁNICO-ELÉCTRICO DE UNA MÁQUINA MECATRÓNICA PARA SELECCIONAR UVAS DE MESA			Fecha: 15/07/2015							
p: puntaje de 0 a 4 según escala de valores VDI 2225			Revisión: 1							
g: peso ponderado en función a la importancia de los criterios de evaluación			Pontificia Universidad Católica del Perú							
Variantes del concepto / Proyectos			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
Nro.	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Costos de las tecnologías	3	2	6	3	9	3	9	4	12
2	Productividad	3	3	9	3	9	2	6	4	12
3	Cantidad de Maquinas	2	3	6	2	4	2	4	4	8
4	Cantidad de Operarios	2	2	4	2	4	2	4	4	8
5	Consumo eléctrico	2	2	4	3	6	3	6	4	8
6	Costos de Mantenimiento	1	2	2	2	2	2	2	4	4
7	Costos de Operación	1	2	2	2	2	2	2	4	4
<b>Puntaje máximo</b>		<b>28</b>	<b>16</b>	<b>33</b>	<b>17</b>	<b>36</b>	<b>16</b>	<b>33</b>	<b>28</b>	<b>56</b>
Valor Económico			0.589		0.643		0.589		1.000	



**Figura 2. 9.- Gráfica de decisión.**

Como se pudo observar en la gráfica de decisión, **el diseño del proyecto n° 2** es el que más se aproxima a la recta de 45°, por tanto es el diseño del proyecto óptimo.

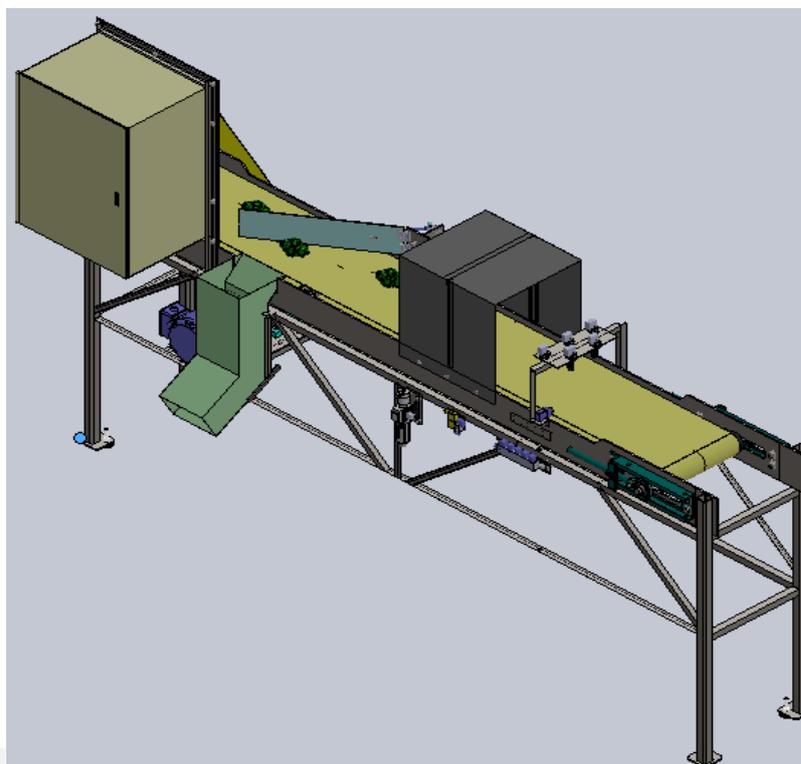
## CAPÍTULO 3

### ANÁLISIS Y CÁLCULO DE LOS MECANISMOS

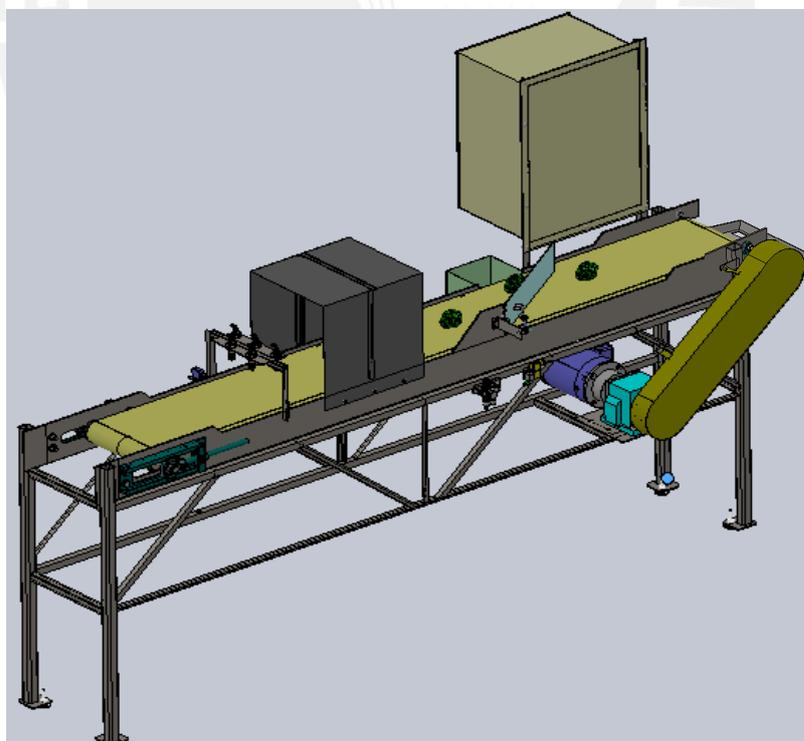
En el presente capítulo se presentan los diversos análisis ingenieriles básicos (dimensionamiento básico de componentes, potencia y velocidad de la faja, fuerza del pistón, etc.) necesarios para el diseño de la alternativa elegida en el capítulo anterior, así como la selección de componentes mecánicos, neumáticos y eléctricos (reductor de velocidad, pistón neumático, válvulas, sensores, motores, etc.) basados en las especificaciones del diseño y calculo previo. Por último, se realiza el análisis de resistencia del eje de transmisión y la estructura de tal manera que le permitan a la máquina cumplir su función de la manera más eficiente y segura posible.

#### 3.1. Presentación de la Máquina

En la Figura 3.1 se muestra el modelamiento en 3D del diseño final de la máquina con los componentes ya seleccionados y diseñados con la finalidad de dar un mejor entendimiento a los cálculos en las siguientes secciones.



a)



b)

Figura 3. 1.- a) Vista isométrica de la máquina. b) Vista personalizada de la máquina.

### 3.2. Diseño del Sistema de Transmisión de Potencia

En esta sección se calcula las especificaciones técnicas necesarias para la selección de los componentes mecánicos y eléctricos que permiten generar el torque y la velocidad a la faja transportadora de la máquina.

#### 3.2.1. Faja Transportadora

##### i. Cálculos Básicos

En primer lugar se realiza el dimensionamiento básico de la faja según el tamaño de la uva de mesa teniendo las consideraciones mostradas en la Tabla 3.1.

Tabla 3. 1.- Consideraciones de la uva para el diseño básico.

Consideraciones de la Uva de Mesa			
Capacidad de procesamiento de la máquina	$C_u$	[kg/hr]	200
Masa de la uva	$W_u$	[kg]	[450 a 700]
Longitud del racimo	$L_{uv}$	[cm]	20
Ancho del racimo	$a_{uv}$	[cm]	10
Alto del racimo	$h_u$	[cm]	8

Con el fin de tener un espacio de trabajo lo suficientemente amplio para cada uva de mesa y basándonos en sus dimensiones, definimos respecto a la Figura 3.2 las medidas mostradas en la Tabla 3.2:

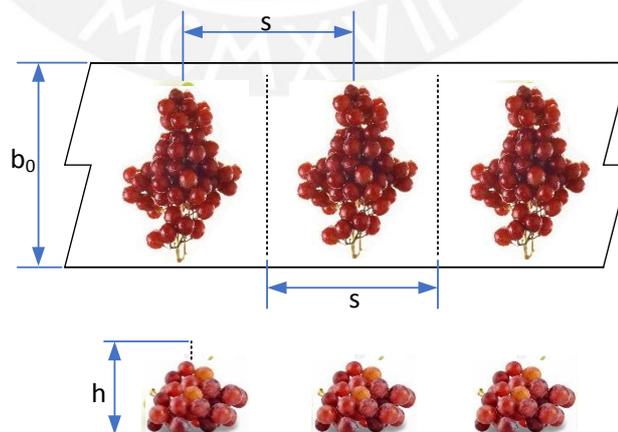


Figura 3. 2.- Dimensiones del espacio de trabajo.

Tabla 3. 2.- Medidas del espacio de trabajo.

Espacio de trabajo			
Altura de trabajo	h	[mm]	150
Ancho de faja	$b_0$	[mm]	300
Separación entre racimos	s	[mm]	200

Si se considera que la máquina debe tener en total “ $n_{uf}$ ” racimos en la parte superior de la faja con la finalidad de tener espacio libre entre cada proceso. Por tanto, la longitud de la faja vista desde un plano superior debe ser según la (Ec. 3.1) tal como se muestra en la Figura 3.3.

- $L_{min} = 0.2.s.n_{uf}$  ... (3.1)

$L_{min}$  = Longitud mínima de la faja transportadora [cm].

$n_{uf}$  = Cantidad de racimos sobre la faja [uvas].



Figura 3. 3.- Distribución de procesos en la faja transportadora.

Considerando el peso mínimo referencial de la uva de mesa a procesar de la Tabla 3.1, a fin de encontrar la mayor cantidad de uvas posibles que cumplen, la cantidad de uvas a procesar por hora se calcula según la (Ec. 3.2).

- $N_u = C_u \cdot W_u$  ... (3.2)

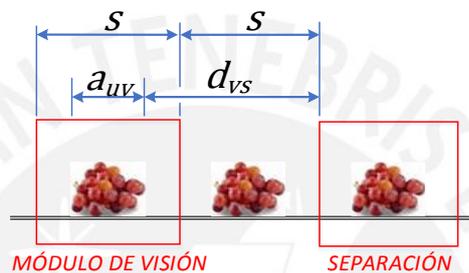
$N_u$  = Cantidad de racimos de uva por hora [uvas/hr].

Entonces la velocidad de procesamiento se calcula multiplicado la cantidad de racimos por hora con la separación entre las uvas (Ec 3.3):

- $V_{lu} = \frac{N_u \cdot s}{600}$  ... (3.3)

$V_{lu}$  = Velocidad lineal del racimo [cm/seg].

Por otro lado, la velocidad de procesamiento del sistema de visión (adquisición, procesamiento y control) debe ser tal que permita la acción oportuna de los actuadores involucrados según el esquema de la Figura 3.4. La distancia y el tiempo transcurrido desde que la uva se encuentra en la posición de captura de imágenes en el sistema de visión hasta entrar al espacio de trabajo del módulo de separación, es decir los parámetros mínimos de actuación por el sistema de control, se calcula con la (Ec. 3.4) y (Ec. 3.5) respectivamente.



**Figura 3. 4.- Esquema de Distancia Mínima de Actuación por el Sistema de Control.**

- $d_{vs} = \frac{(s-10.a_{uv})}{2} + s$  ... (3.4)

- $t_{vs} = \frac{d_{vs}}{10.v_{lu}}$  ... (3.5)

$d_{vs}$  = Distancia Mínima de Actuación por el Sistema de Control [mm].

$t_{vs}$  = Tiempo Mínimo de Actuación por el Sistema de Control [s].

En la Tabla 3.3 se muestran los resultados de las ecuaciones del (3.1) al (3.5).

**Tabla 3. 3.- Resultados de los cálculos básicos.**

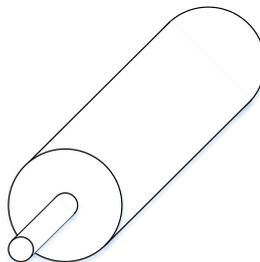
Nomenclatura	Unidades	Valores
$n_{uf}$	[uvas]	11
$L_{min}$	[cm]	440
$N_u$	[uvas /hr]	445
$V_{lu}$	[cm/s]	2.5
$d_{vs}$	[mm]	250
$t_{vs}$	[s]	10

## ii. Fuerzas en la faja transportadora

En el cálculo de las fuerzas en la faja transportadora es necesario tener cierta información de la misma tales como: densidad, espesor, resistencia a la tracción, etc. El material de la faja transportadora debe ser sanitaria y su uso debe estar aprobado por alguna entidad o agencia reconocida como la FDA<sup>13</sup>, RoHS<sup>14</sup>, etc. debido a que tiene contacto directo con la uva de mesa. Las fajas sanitarias pueden ser de PVC o Poliuretano, siendo las de material PVC la elegida para la máquina ya que es la opción más económica según el mercado nacional. Entonces, se selecciona el producto “NAB-8EEWV 11” (Anexo 5) recomendado según el folleto ‘PVC Belts for Agro Applications’ de la empresa Suiza Habasit y la cual tiene presencia en el Perú.

De acuerdo a la guía “Recomendaciones para la construcción/cálculos” [8] y “Cálculo de la banda transportadora” [9] de la marca “Siegling Transilon” pertenecientes a la compañía “Forbo Movement Systems”, empresa alemana y líder internacional en tecnología, calidad y servicio relacionado a fajas, se calculan en esta sección las fuerzas involucradas en el sistema de faja transportadora para encontrar la potencia del motor, el diámetro del tambor, la relación de transmisión y la velocidad angular del tambor motriz.

Primero se define que la configuración del sistema transportador de fajas será realizada sobre rodillos sin revestimiento (Figura 3.5) sin utilizar rodillos de reenvío (Figura 3.6). Esto permite un desgaste de manera uniforme y es ideal para cargas bajas a moderadas y de longitud menor a 2.5 metros siendo además un diseño económico.



**Figura 3. 5.- Rodillo de deslizamiento para faja.**

---

<sup>13</sup> Food and Drug Administration US

<sup>14</sup> Restriction of Hazardous Substances or Directive 2002/95/EC.

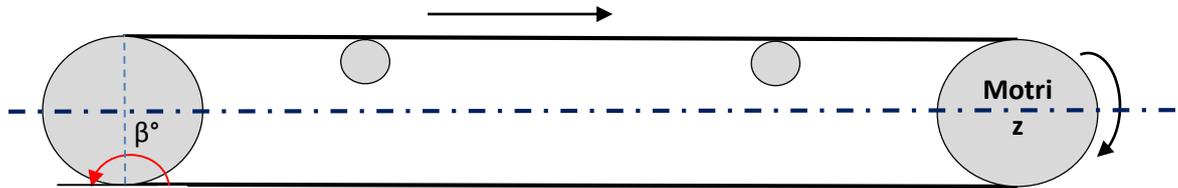


Figura 3. 6.- Configuración del sistema transportador a usar.

Se necesitan también hallar las masas de los componentes principales (Tabla 3.4). Con respecto a la faja, esta se calcula con la densidad y dimensiones. La carga total se calcula con el peso máximo de todos los racimos sobre la faja transportadora. Las masas de los tambores se aproximan a 30 [kg/m] y los rodillos se aproximan a 15 [kg/m] según la recomendación de la guía, ya que en este paso aún no se tiene información al respecto.

Tabla 3. 4.- Masas de componentes principales.

Descripción	Nomenclatura	Unidades	Valores
Masa de la carga total	m	[kg]	7.7
Masa de la faja transportadora	$m_B$	[kg]	3.0
Masa de todos los tambores/rodillos a excepción del tambor motriz	$m_R$	[kg]	18.0

A lo largo del cálculo de fuerzas, se necesitara definir el ángulo de contacto “ $\beta$ ” (Figura 3.6). Cuando se desea que “ $\beta$ ” sea menor a  $180^\circ$  para evitar deslizamiento de la faja en aplicaciones de alta carga, es necesario el uso de poleas tensoras para aplicaciones. Sin embargo, siendo la masa de la carga total baja, las poleas tensoras se reemplazan por elementos de tensión lineales en los apoyos del tambor secundario denominados “Take Up” (Figura 3.7).

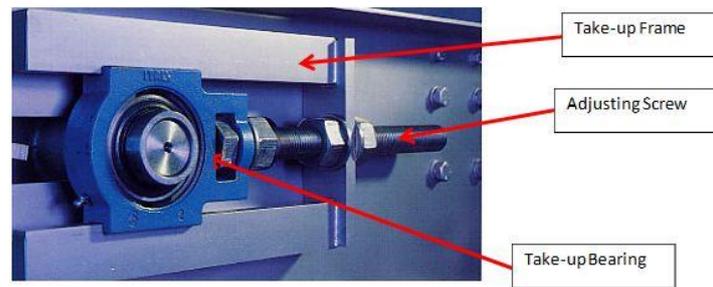


Figura 3. 7.- Tensor lineal "Take Up"<sup>15</sup>.

Entonces, para la configuración mencionada se procede a hallar la fuerza tangencial máxima "Fu" con la (Ec. 3.6):

$$\bullet \quad F_U = \mu_T \cdot g \cdot \left( m + \frac{m_B}{2} \right) + \mu_R \cdot g \cdot \left( \frac{m_B}{2} + m_R \right) \quad \dots(3.6)$$

$F_U$  = Fuerza Tangencial Máxima [N].

$\mu_T$  = Coeficiente de Fricción de la faja sobre perfiles.

$\mu_R$  = Coeficiente de Fricción de la faja sobre rodillos.

$g$  = Gravedad [m/s<sup>2</sup>].

Luego, se procede a calcular la fuerza de tracción máxima de la faja con la (Ec. 3.7).

$$\bullet \quad F_1 = F_U \cdot C_1 \quad \dots(3.7)$$

$F_1$  = Fuerza de Tracción Máxima [N].

$C_1$  = Factor para el tambor motriz.

Se utiliza un factor "C<sub>1</sub>" de 1.6 de la Tabla 3.5 para hallar la fuerza de tracción máxima de la faja utilizando tambor con recubrimiento seco.

<sup>15</sup> Figura extraída de la página web:

<http://www.globalspec.com/ImageRepository/LearnMore/20124/takeup%20bearing889b3ca3fa8f45ed9045a0e2ca6a7d0d.png>

**Tabla 3. 5.- Valores para la elección del factor “C<sub>1</sub>”.**

Recubrimiento de la cara inferior Siegling Transilon	V3, V5, U2, A5, E3			V1, U1, UH, U2H V2H, V5H			0, U0, NOVO, E0, A0, T, P		
	Para fajas de PVC								
Ángulo de contacto β	180°	210°	240°	180°	210°	240°	180°	210°	240°
<b>Tambor de acero liso</b>									
Seco	1,5	1,4	1,3	1,8	1,6	1,5	2,1	1,9	1,7
Mojado	3,7	3,2	2,9	5,0	4,0	3,0	No recomendable		
<b>Tambor con forro de fricción</b>									
Seco	1,4	1,3	1,2	1,6	1,5	1,4	1,5	1,4	1,3
Mojado	1,8	1,6	1,5	3,7	3,2	2,9	2,1	1,9	1,7

Hallamos el diámetro mínimo del tambor motriz con la (Ec. 3.8):

- $$d_A = \frac{F_U \cdot C_3 \cdot 180}{b_0 \beta} \quad \dots(3.8)$$

$d_A$  = Diámetro mínimo del tambor motriz [mm].  
 $C_3$  = Factor de recubrimiento del tambor motriz.  
 $b_0$  = ancho de la faja [mm].

Se utiliza un factor “C<sub>3</sub>” de 25 de la Tabla 3.6 para hallar el diámetro mínimo de tambor motriz utilizando recubrimiento seco.

**Tabla 3. 6.- Valores para la elección del factor “C<sub>3</sub>”.**

Recubrimiento de la cara inferior Siegling Transilon	V3, V5, U2, A5, E3	V1, U1, UH	0, U0, NOVO, T, P
<b>Tambor de acero liso</b>			
Seco	25	30	40
Mojado	50	No recomendable	No recomendable
<b>Tambor con forro de fricción</b>			
Seco	25	25	30
Mojado	30	40	40

El valor de “d<sub>A</sub>” elegido es aproximado y está basado en criterios constructivos y de dimensión de componentes. En los cálculos siguientes se utilizara este valor. En el diseño final, el valor de “d<sub>A</sub>” puede variar ligeramente

Durante el tensado de fajas pueden aparecer fuerzas instantáneas elevadas que deben ser consideradas en el dimensionamiento estático de los componentes como por ejemplo de los rodamientos. Por tanto, el cálculo de la fuerza instantánea de tensado “F<sub>Winst</sub>” se realiza con la (Ec. 3.9), (Ec. 3.10) y la (Ec. 3.11) en base a la Figura 3.8.

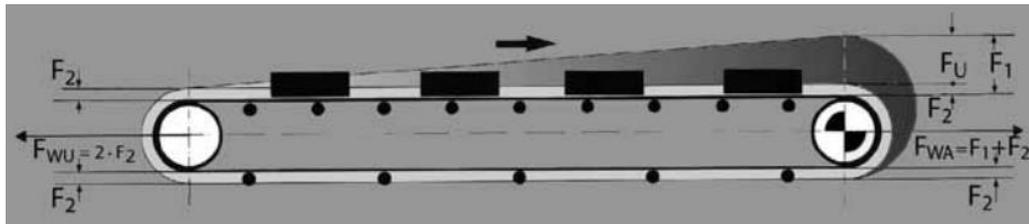


Figura 3. 8.- Esquema de fuerzas en la faja transportadora.

- $F_2 = F_1 - F_u$  ... (3.9)
- $F_{WA} = F_1 + F_2$  ... (3.10)
- $F_{Winst} = 1.5 \cdot F_{WA}$  ... (3.11)

$F_2$  = Fuerza de tracción máxima en el tambor conducido [N].  
 $F_{WA}$  = Carga sobre ejes en estado de funcionamiento [N].  
 $F_{Winst}$  = Carga sobre ejes durante el tensado de la faja [N].

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.7.

Tabla 3. 7.- Resultados de cálculo de fuerzas en la faja transportadora.

Variable	Unidades	Valores
$F_u$	[N]	99
$F_1$	[N]	158
$d_A$ calculado	[mm]	9
$d_A$ elegido	[mm]	80
$F_2$	[N]	59
$F_{WA}$	[N]	217
$F_{Winst}$	[N]	326

### iii. Potencia Eléctrica

A continuación se procede a calcular la potencia necesaria del motor eléctrico de acuerdo a la guía “Siegling Transilon” de la compañía “Forbo Movement Systems”. Entonces se hallar la potencia mecánica en el tambor motriz “ $P_A$ ” con la (Ec. 3.12):

- $P_A = \frac{F_u \cdot v_{lu}}{10^{-5}}$  ... (3.12)

$P_A$  = Potencia mecánica en el tambor motriz [kW].

Hallamos la Potencia del Motor con la (Ec. 3.13):

- $P_M = \frac{P_A}{\eta}$  ... (3.13)

$P_M$  = Potencia del Motor [kW].  
 $\eta$  = Eficiencia del motor .

Con la velocidad lineal del racimo, el cual es la misma a la velocidad de la faja, y el diámetro del tambor motriz obtenemos la velocidad de rotación necesaria en el tambor es como sigue en la (Ec. 3.14):

- $$n_{tm} = \frac{600.v_{lu}}{\pi.dA} \quad \dots(3.14)$$

$n_{tm}$  = Revoluciones por minuto del tambor motriz [ $^{rev}/s$ ].

Entonces, considerando que la velocidad del motor “ $n_m$ ”, la relación de reducción “ $i$ ” necesaria se calcula con la (Ec. 3.15):

- $$i = \frac{n_m}{n_{tm}} \quad \dots(3.15)$$

$i$  = Índice de reducción de velocidad motor/tambor motriz.

$n_m$  = Revoluciones por minuto del motor eléctrico [ $^{rev}/s$ ].

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.8

**Tabla 3. 8.- Resultados de cálculos de potencia transmitida en la faja transportadora.**

Variable	Unidades	Valores
$P_A$	[kW]	$2.5 \times 10^3$
$P_M$	[kW]	$3.1 \times 10^3$
$n_{tm}$	RPM	5.3
$n_m$	RPM	1755
$r$	-	292.5

Como se puede observar en los resultados, la potencia “ $P_A$ ” necesaria es baja y la reducción “ $r$ ” es alta.

### 3.2.2. Selección de componentes

En esta sección se describen los pasos utilizados para la selección de los componentes los cuales se utilizaran para el diseño. Se empieza por presentar en la Figura 3.9 los componentes seleccionados y ensamblados para una mejor visualización.

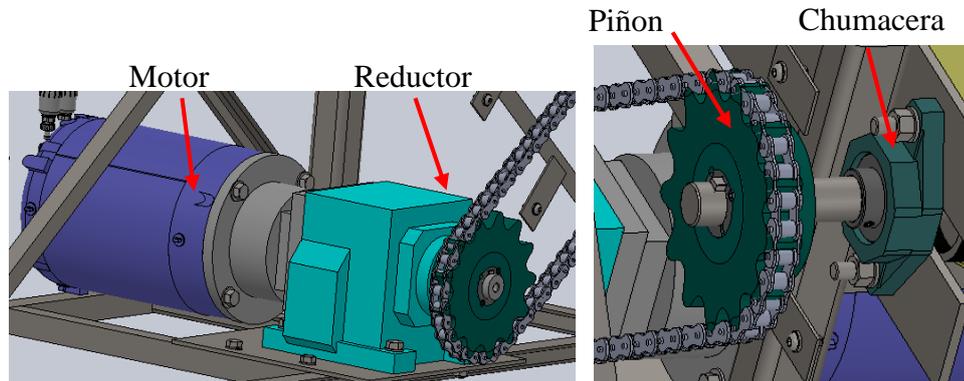


Figura 3. 9.- Sistema de transmisión de potencia.

### I. Motor Eléctrico

Se considera para la selección que el motor trabajara en un ambiente húmedo y sujeto al contacto con agua a presión. Además, el montaje será tipo brida, ya que se ensamblara directamente al reductor con la finalidad de dar simplicidad al diseño. Entonces la selección se realiza en base al catálogo de productos de motores eléctricos NEMA de la empresa BALDOR, miembro del grupo ABB S.A.<sup>16</sup> por el cual se eligió el motor de menor potencia y tamaño disponible. El motivo de la elección basada en la norma NEMA es el gran uso que se le da en el ámbito nacional, además de ser reconocida mundialmente por su calidad. Las especificaciones necesarias para la selección se detallan a continuación:

- Potencia eléctrica : 0.5 [kW]
- Voltaje requerido : 220/440 [V]
- Fases : 3
- Polos : 4
- Configuración de montaje : Montada por brida tipo “Clamp Collar”
- Tipo de motor : Washdown duty Motors
- Norma : NEMA
- Tamaño : 56C

El tipo de motor seleccionado cumple las condiciones de aislamiento bajo contacto con agua a presión. La hoja de datos del motor se muestra en el Anexo 6.

<sup>16</sup> Página web del catálogo de Baldor Motors: <http://www.baldor.com/resources-and-support/download-center?keywordsearch=ca501>

## II. Reductor

Se considera que el montaje del reductor será en una base de pie la cual se encontrara debajo de la faja transportadora con la finalidad de brindar estabilidad a la máquina. Además, se consideró usar en la configuración de ejes el tipo colineal, ya que son estos los más sencillos en su diseño. Entonces la selección se realiza en base al catálogo de productos de reductores de velocidad Quantis<sup>17</sup> de la empresa DODGE, miembro del grupo ABB S.A. Los reductores Quantis cumplen la norma AGMA<sup>18</sup> clase 11, por tanto asegura un alto estándar en la fabricación de sus engranajes por lo cual reduce considerablemente la posibilidad de fallas mecánicas. Las especificaciones necesarias para la selección se detallan a continuación:

- Relación de transmisión : 292.4
- Revolución de entrada/salida : 1755 / 5.3 [RPM]
- Potencia transmitida : 0.5 [kW]
- Ciclo de trabajo : Continuo
- Configuración del eje de salida : Colineal
- Configuración del montaje con el motor: Por brida para motor NEMA 56C
- Posición de Montaje : Montada al pie
- Diámetro de eje de salida : 25 [mm]

Cabe mencionar que la selección se realiza en base a la máxima potencia entregada por el motor. La hoja de datos del reductor se muestra en el Anexo 7.

## III. Piñon y Cadenas

La función de los piñones es transmitir potencia y variar las revoluciones entregada por el motor en ejes que se encuentran alejados. Su elección se basó en que son ideales para revoluciones bajas, ya que las cadenas utilizadas con los piñones son más resistentes que las fajas. Esto es debido a que a menores revoluciones se aumenta el torque. Ya que el reductor elegido nos entrega las revoluciones necesarios, se utilizará una reducción entre piñones de 1:1. Entonces la selección se realiza en base al catálogo

<sup>17</sup> Página web del catálogo del reductor Quantis DODGE <http://www.baldor.com/brands/baldor-dodge/products/enclosed-gearing/in-line-concentric-reducers/quantis-ilh>.

<sup>18</sup> American Gear Manufacturers Association

de productos de componentes de transmisión mecánica<sup>19</sup> de la empresa DODGE, miembro del grupo ABB S.A. Las especificaciones necesarias para la selección se detallan a continuación:

- Relación de transmisión : 1
- Potencia transmitida : 0.5 [kW]
- Ciclo de trabajo : Continuo
- Revolución de entrada : 5.3 [rpm]
- Diámetro de eje de salida : 25 [mm]
- Cantidad de cadenas : 1
- Número de dientes : 13
- Tamaño del diente : 1.25 [pulg] o #100
- Código de Piñon : 100BTL13-2012
- Distancia entre ejes : 600 [mm]

La distancia entre ejes es resultado del diseño final. La hoja de datos del piñon se muestra en el Anexo 8.

#### IV. Chumaceras

En la selección de chumaceras, los cálculos tienen como objetivo hallar la capacidad dinámica, la capacidad estática y la vida útil L10. Estos dependen básicamente de la magnitud y dirección de las fuerzas en los apoyos y de las revoluciones del eje. Debido a que en el presente diseño, las revoluciones son muy bajas, no es necesario calcular la capacidad dinámica. Las fuerzas y geometría a utilizar para el cálculo provienen del eje de mayor esfuerzo, es decir el eje correspondiente al tambor motriz. Por tanto, se consideran el diagrama de cuerpo libre (D.C.L.) y los valores la Figura 3.17 y la Tabla 3.17 de la Sección 3.4.1.Eje de transmisión.

La carga estática del rodamiento debe ser mayor a la carga en los apoyos, es decir mayor a 200 [N]. Los cálculos del dimensionamiento del rodamiento resultan en la elección del rodamiento con menor capacidad.

---

<sup>19</sup> Página web del catálogo de PT Components DODGE <http://www.baldor.com/brands/baldor-dodge/products/mechanical-drive-components>

Entonces la selección se realiza en base al catálogo de productos de chumaceras<sup>20</sup> de la empresa DODGE, miembro del grupo ABB S.A. Como se definió anteriormente en la sección 3.1.1.ii, los apoyos para el eje motriz cumplen también la función de tensar la faja. Entonces las especificaciones necesarias para la selección mencionada se detallan a continuación:

- Diámetro de ejes : 25 [mm]
- Tipo de rodamientos : Bolas de una hilera
- Montaje del rodamiento : Por tornillos prisioneros
- Tamaño de rodamiento : 205
- Tipo de estructura "Take Up" : Canal Estrecho
- Recorrido del tensor : 6 [pulg]

La selección de las chumaceras en los apoyos del eje secundario se elige de montaje tipo brida para optimizar ligeramente espacios. Las especificaciones necesarias para la selección mencionada se detallan a continuación:

- Diámetro de ejes : 25 [mm]
- Tipo de rodamientos : Bolas de una hilera
- Tamaño de rodamiento : 205
- Montaje del rodamiento : Por tornillos prisioneros
- Montaje de la estructura : Brida de 2 pernos.

Las hojas de datos de ambos apoyos se muestran en el Anexo 9.

### 3.3. Diseño del Sistema Neumático

En esta sección se realiza el diseño del sistema neumático. Se calculan las especificaciones técnicas necesarias para la selección de los actuadores, electroválvulas y equipos de mantenimiento.

Se considera en el diseño que la planta, en donde trabaja la máquina, tiene incluido aire comprimido como energía de trabajo disponible a una presión de 6 [bar], el cual es una presión de uso común en las plantas de selección de frutos.

---

<sup>20</sup> Página web del catálogo de chumaceras de Bolas Dodge <http://www.baldor.com/brands/baldor-dodge/products/mounted-bearings/mounted-ball-bearings>

### 3.3.1. Zona de secado superficial

La consideración más importante en esta zona con respecto al aire comprimido es que se encuentra en contacto directo con el racimo, ya que su función es remover las gotas de agua superficiales que se encuentren en el racimo y que puedan dificultar la visualización por el sistema de visión. Por tanto las condiciones del aire comprimido que entrega la maquina cumple la norma ISO 8573-1 1.4.1 el cual no acepta partículas sólidas por  $[m^3]$  de tamaño  $5 [\mu m]$ ; respecto a la humedad, el punto de rocío debe ser de  $7[^\circ C]$  y respecto a presencia de partículas de aceite por  $[m_3]$  debe ser de  $0.01 [mg]$ .

A continuación se detalla los elementos considerados en la Figura 3.10.

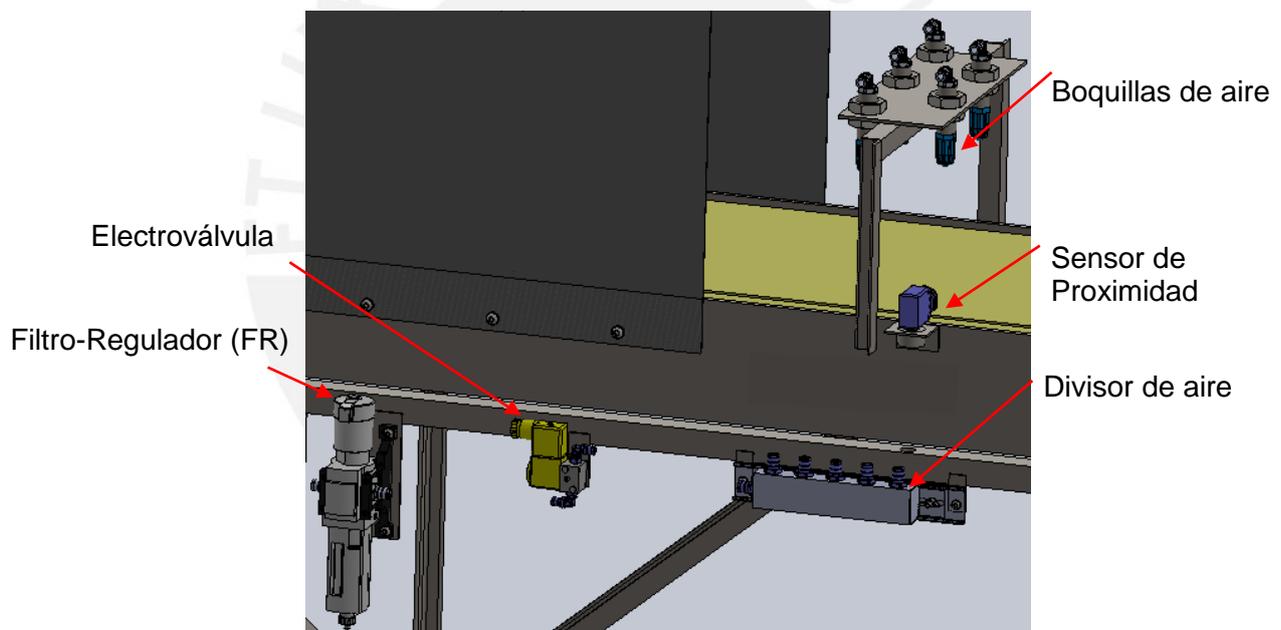


Figura 3. 10.- Componentes neumáticos en la zona de secado superficial.

El divisor de aire es un elemento de elaboración propia de aluminio que cumple la función de entregar aire comprimido a las 5 boquillas neumáticas desde una sola entrada. El sensor de proximidad es un transductor que indicará al sistema de control la presencia de la uva de mesa para que ésta pueda accionar las electroválvulas que permiten el paso del aire a las boquillas. La selección del sensor se realiza en la sección 3.5.1.iii. Elementos de Mando y Señalización.

### i. Cálculos básicos

El racimo de uva es considerada frágil, ya que debido a pequeños golpes las bayas pueden desprenderse del racimo o puede dañar su superficie, teniendo como consecuencia ser rechazada por el sistema de visión. Con la finalidad de evitar lo mencionado, se realizó un pequeño experimento que consiste en exponer el racimo a aire comprimido con una pistola neumática y variando la presión de trabajo para probar la presión máxima que puede estar en contacto con la uva sin presentar daños (Figura 3.11).

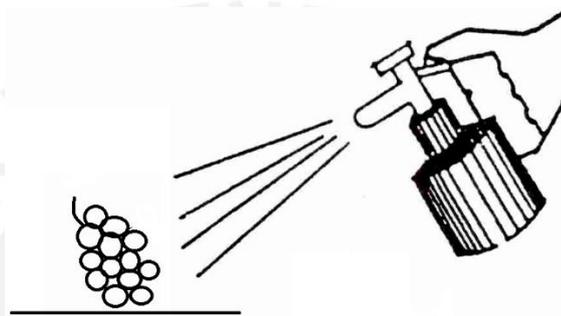


Figura 3. 11.- Esquema de experimento para determinar presión de secado.

Los resultados obtenidos muestran que el aire comprimido a más de 3 [bar], exponen potencialmente a daños superficiales en el racimo. Entonces, la fuerza ejercida hacia el racimo de uvas por la pistola de aire se calcula con la siguiente (Ec. 3.16).

$$\bullet \quad F_s = P_t \cdot \frac{\pi d_b^2}{40} \quad \dots(3.16)$$

$F_s$  = Fuerza de secado [N].

$P_t$  = Presión de trabajo [bar].

$d_b$  = Diámetro de un orificio de la pistola de aire [mm].

Ya que la boquilla neumática actúa como pistola de aire, según consumos de aire promedio de dispositivos neumáticos realizado por la empresa FESTO mostradas en la Tabla 3.9, consideraremos que cada boquilla tiene un consumo de 8 [Nlitros/s].

Tabla 3. 9.- Consumos de aire de diferentes dispositivos neumáticos [10].

Dispositivo neumático	Consumo (Nlitros/s)	Dispositivo neumático	Consumo (Nlitros/s)	Dispositivo neumático	Consumo (Nlitros/s)
Elevador neumático 0,5-5,0 Ton	20-55	Taladradora 1 kW	18	Motor neumático 1,4 kW	36
Taladro	3-22	Taladradora 2 kW	35	Motor neumático 3,5 kW	84
Amoladora	5-824	Lijadora 0,75 kW	17	Martillo cincelador	8
Llave neumática de impacto	8-14	Lijadora 1,5 kW	28	Cilindro de avance	16
Pistola (general)	8	Destornillador neumático 0,3 kW	5	Pistola de inyección	10
Pistola de chorro de arena	20-32	Destornillador percusor	15 a 30	Cortador de roscas	16

Entonces definiendo la siguiente variable “ $Q_{bn}$ ”:

$$Q_{bn} = \text{Consumo de aire por cada boquilla a 1 bar y } 20^{\circ} \text{ C [Nlitros/seg]}$$

Se necesita convertir “ $Q_{bn}$ ” a unidades de trabajo reales “ $Q_b$ ”, las cuales son a presión 3 [bar] y 20 [°C]. Entonces utilizando la ecuación ideal de los gases se obtiene (Ec. 3.17).

$$\bullet \quad Q_b = 60 \cdot \frac{P_N \cdot Q_{bn} \cdot T_t}{T_N \cdot P_t} \quad \dots(3.17)$$

$Q_b$  = Consumo de aire por cada boquilla [litros/min].

$P_N$  = Presión normalizada de 1 [bar].

$T_N$  = Temperatura normalizada de 20°C en °K [°K].

$T_t$  = Temperatura de trabajo [°K].

Entonces el consumo total en la zona de secado superficial es como sigue (Ec. 3.18).

$$\bullet \quad Q_{btot} = n \cdot Q_b \quad \dots(3.18)$$

$Q_{btot}$  = Consumo de aire por el total de cada boquilla [litros/min].

$n$  = Cantidad de boquillas usadas.

Los resultados de los cálculos se muestran en la Tabla 3.10.

Tabla 3. 10.- Resultados de los cálculos básicos neumáticos en la zona de secado.

Variable	Unidades	Valores
$P_t$	[bar]	3
$d_b$	[mm]	4
$F_s$	[N]	4
$Q_{bn}$	[Nlitros/s]	8
$T_t$	[°K]	293
$Q_b$	[lit/min]	160.0
$n$	-	5
$Q_{btot}$	[lit/min]	800.0

ii. Selección de componentes

De acuerdo a las especificaciones mostradas se seleccionan los componentes de la empresa FESTO. El plano neumático de este sistema se muestra en la Figura 3.12 y sus componentes en la Tabla 3.11. La hoja de datos de los componentes se puede encontrar en el Anexo 10.

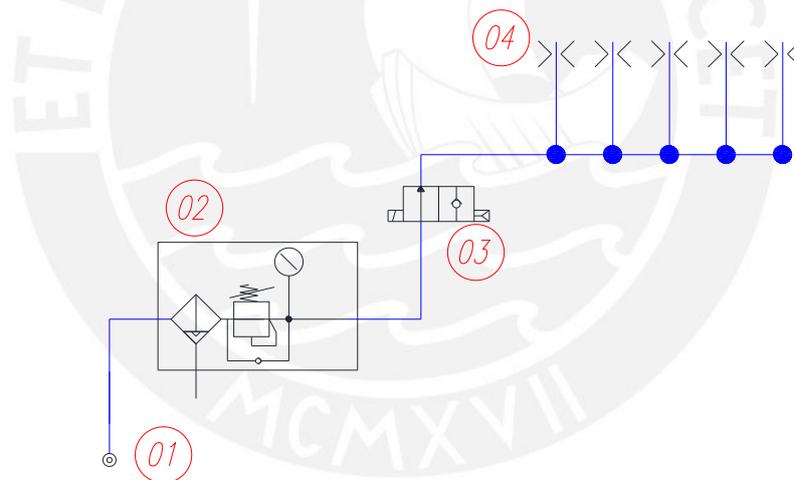


Figura 3. 12.- Plano neumático de la zona de secado.

Tabla 3. 11.- Lista de componentes neumáticos en la zona de secado.

N°	Variable	Modelo	Marca
1	Toma de aire en planta	-	-
2	Filtro Regulador	MS4-LFR-1_4-D6-C-R-V-RG-AS	FESTO
3	Electroválvula	MFH-2-M5	FESTO
4	Boquilla neumática	LPZ-LD	FESTO

### 3.3.2. Zona de Separación de Racimos

El sistema neumático en esta zona cumple la función de desplazar una trampa en la faja transportadora para desviar la trayectoria del racimo rechazado hacia un canal de depósito de racimos rechazados. Las condiciones del aire comprimido que entrega la máquina cumplen la norma ISO 8573-1 4.4.4, el cual indica que las partículas sólidas deben tener un tamaño entre 1  $[\mu\text{m}]$  y 40  $[\mu\text{m}]$  y una concentración menor a 10,000  $[\text{mg}/\text{m}^3]$ , un punto de rocío de 3  $[\text{°C}]$  y 5  $[\text{mg}]$  de partículas de aceite por  $[\text{m}^3]$ . Además, debe tenerse en cuenta que es necesario regular la velocidad del pistón en la alimentación con la finalidad de realizar los ajustes necesarios para no golpear ni dañar a la uva de mesa durante su accionamiento. A continuación se detalla los elementos considerados en la Figura 3.13.

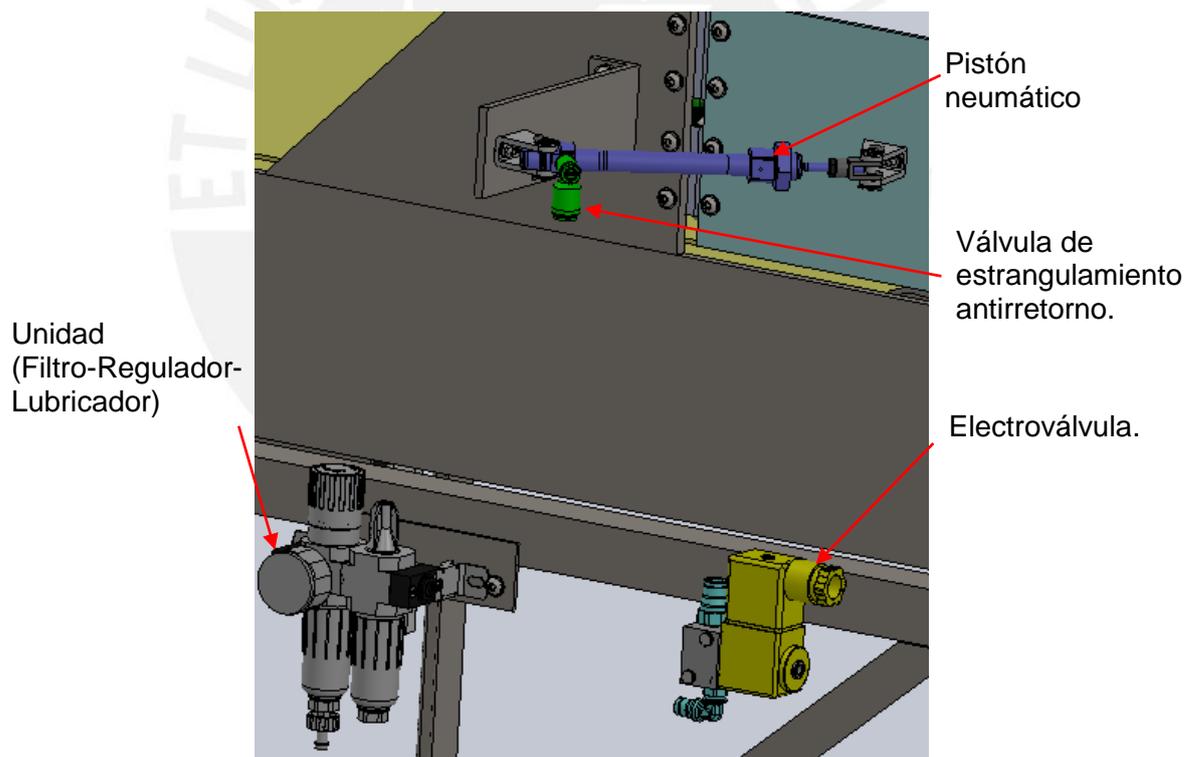
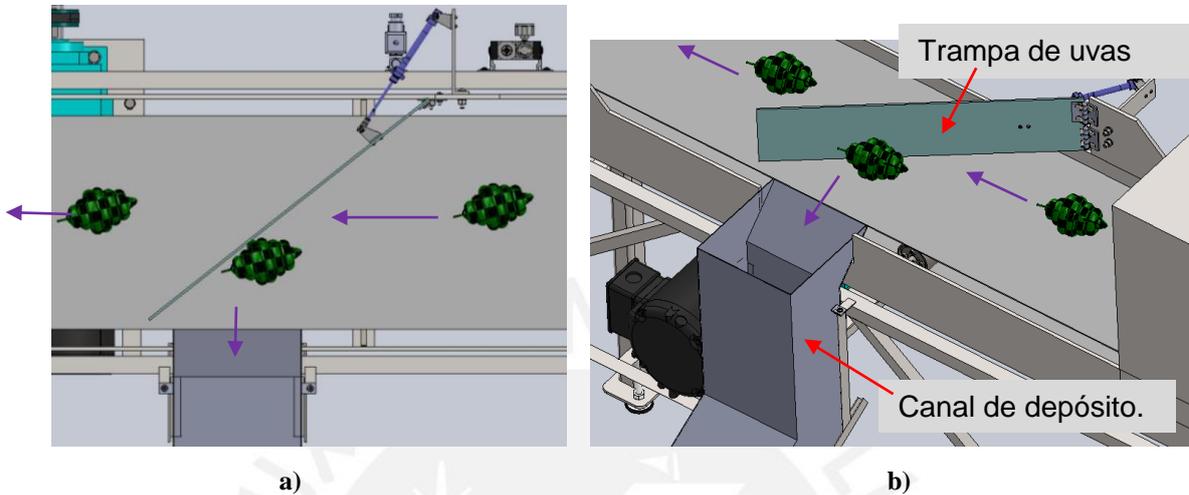


Figura 3. 13.- Componentes neumáticos en la zona de división de racimos.

#### i. Cálculos básicos

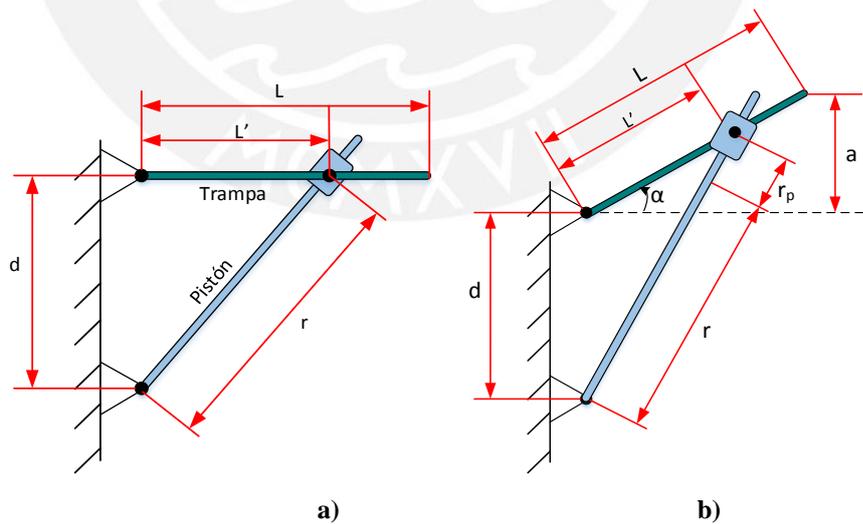
En el diseño de un sistema neumático con un pistón como actuador, el objetivo es calcular el caudal desplazado por el pistón, la velocidad lineal de recorrido y retorno, así

como la fuerza de empuje del pistón. A continuación se muestra la trayectoria del racimo rechazado (Figura 3.14).



**Figura 3. 14.- a) Vista de planta de la zona de división de ramos.  
b) Vista isométrica de la zona de división de ramos.**

En primer lugar, se calcula las dimensiones de la trampa de uvas y la longitud de carrera del pistón. Entonces, en base al esquema de la Figura 3.15 con el detalle de variables en la Tabla 3.12, se obtiene un modelo para el cálculo de las dimensiones con las (Ec. 3.19), (Ec. 3.20) y (Ec. 3.21).



**Figura 3. 15.- a) Esquema con longitud de carrera 0 [mm].  
b) Esquema con longitud de carrera  $r_p$  [mm].**

**Tabla 3. 12.- Variables en dimensionamiento de la trampa de racimos rechazados.**

Descripción	Nomenclatura	Unidades
Longitud de la trampa	L	[mm]
Posición del pistón respecto al pivote de la trampa	L'	[mm]
Distancia entre pivote de la trampa y el pistón	d	[mm]
Ancho de Faja	a	[mm]
Angulo formado por la trampa durante la carrera del pistón	$\alpha$	°
Longitud del cilindro del pistón	r	[mm]
Carrera del pistón	$r_p$	[mm]

- $\alpha = \arcsen\left(\frac{a}{L}\right)$  ... (3.19)

- $d^2 + L'^2 = r^2$  ... (3.20)

- $(r + r_p)^2 = d^2 + L'^2 - 2dL'\cos(90 + \alpha)$  ... (3.21)

Los resultados se muestran en la Tabla 3.13, estos valores fueron el resultado obtener un menor desplazamiento o carrera en el pistón neumático.

**Tabla 3. 13.- Resultados del dimensionamiento de la trampa de racimos rechazados.**

Nomenclatura	Unidades	Valores
L	[mm]	335.0
L'	[mm]	84.0
d	[mm]	110.0
a	[mm]	300.0
$\alpha$	°	60.0
r	[mm]	138.0
$r_p$	[mm]	49.0

Cabe mencionar que el ángulo “ $\alpha$ ” debe ser tal que permita el deslizamiento de la uva en la trampa, ya que si se mantiene en su posición, los racimos se amontonarían ocasionando una falla en el proceso de división. Por tanto la selección del ángulo “ $\alpha$ ” fue realizada a través de pruebas sencillas simulando el movimiento del racimo de uva a diferentes ángulos de trampa. Las dimensiones reales en el diseño final pueden variar ligeramente. Según lo calculado la longitud de carrear “ $r_p$ ” debe ser cercano a 49 [mm]. Además, se busca que el sistema neumático tenga la configuración más simple. Entonces partiendo de esas dos premisas, se recurre nuevamente a la empresa FESTO para la selección de los pistones.

La carga del pistón neumático incluye solo el peso de la trampa y la fuerza de empuje de la uva, Ya que estas fuerzas son muy pequeñas respecto a las capacidades de los pistones de menor tamaño, su selección se basará en obtener el pistón de menor capacidad disponible con la finalidad de ahorrar costos. Las especificaciones necesarias para la selección mencionada se detallan a continuación:

- Tipo de pistón : Simple efecto
- Geometría del pistón : Redondos con vástago
- Norma : ISO 6432
- Presión de trabajo : 6 [bar]
- Diámetro del embolo : 20 [mm]
- Longitud de Carrera : 50 [mm]
- Tipo de montaje en la base : Pivoteado
- Tipo de montaje en la punta : Pivoteado
- Características especiales : Rosca prolongada en el vástago de 12 [mm]

Se debe hallar el consumo de aire del pistón neumático para poder seleccionar la electroválvula y unidad de mantenimiento, por tanto se utiliza la ecuación (Ec. 3.22) considerando el pistón seleccionado.

$$\bullet \quad V_d = \frac{r_p \cdot \pi (D_e^2 - d_v^2)}{4 \cdot 10^9} \quad \dots(3.22)$$

$V_d$  = Volumen desplazado por el pistón [ $m^3$ ].

$D_e$  = Diámetro del émbolo [mm].

$d_v$  = Diámetro del vástago [mm].

Se necesita determinar el ciclo de trabajo del pistón. Para ello, se supondrá que todos los racimos serán rechazados. Entonces un ciclo de trabajo ocurre cuando un racimo recorre una distancia equivalente a su separación entre el siguiente racimo. Lo mencionado se muestra en la ecuación (Ec. 3.23).

$$\bullet \quad n_p = \frac{s}{10 \cdot v_{lu}} \quad \dots(3.23)$$

Entonces el consumo de aire queda según la ecuación (Ec. 3.24).

$$\bullet \quad Q_p = 60,000 \cdot n_p \cdot V_d \quad \dots(3.24)$$

$$Q_p = \text{Consumo de aire a 6 bar [l/min]}.$$

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.14.

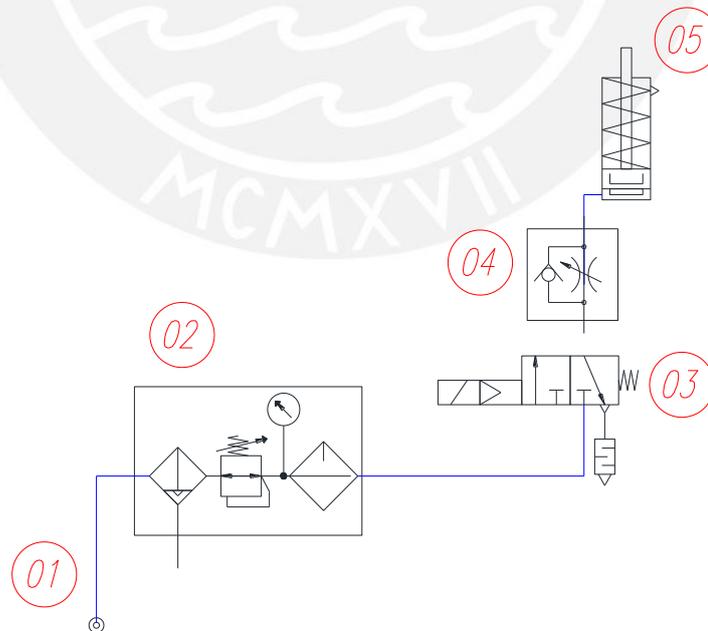
**Tabla 3. 14.- Resultados respecto a cálculos de consumo de aire en el pistón neumático.**

Variable	Unidades	Valores
$V_d$	[m <sup>3</sup> ]	1.85x10 <sup>-6</sup>
$D_e$	[mm]	8
$d_v$	[mm]	4
$n_p$	[1/s]	0.13
$Q_p$	[lit/min]	0.014

Como se puede observar, el consumo de aire es mínimo debido al pequeño tamaño del pistón seleccionado. Por tanto, se eligen los demás componentes teniendo en cuenta la presión de trabajo y el menor caudal disponible.

**i. Selección de componentes**

El esquema neumático de este sistema se muestra en la Figura 3.16 y sus componentes en la Tabla 3.15 seleccionados de la empresa FESTO.



**Figura 3. 16.- Plano neumático de la zona de división de racimos.**

**Tabla 3. 15.- Lista de componentes neumáticos en la zona de división de racimos.**

N°	Variable	Modelo	Marca
1	Toma de aire en planta	-	-
2	Filtro Regulador Lubricador	FRC-QS6-D-7-5M-MICRO-H	FESTO
3	Electroválvula	MFH-3-M5	FESTO
4	Válvula Estranguladora Antirretorno	GRLZ-1/8-QS-6-D	FESTO
5	Pistón neumático	ESNU-20-50-P-A-15K2	FESTO

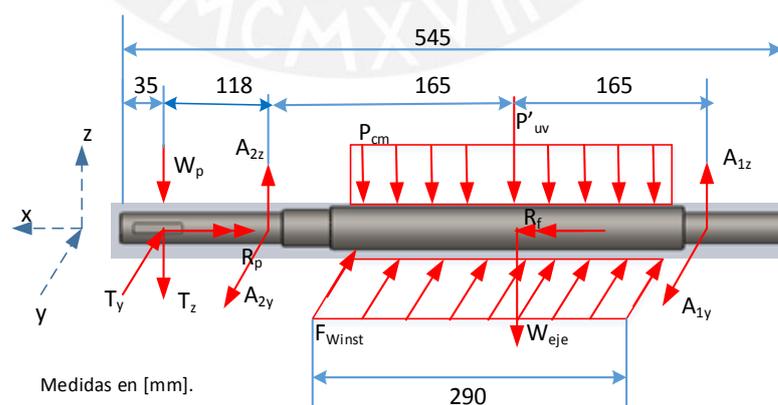
La hoja de datos de los componentes mostrados se puede encontrar en el Anexo 11.

### 3.4. Resistencia de componentes mecánicos

En esta sección se realiza las comprobaciones de resistencia mecánica de los componentes críticos de la máquina.

#### 3.4.1. Eje de transmisión

El eje de transmisión, en el lado del tambor motriz, trasmite el torque generado por el motorreductor a través del sistema de poleas y soporta las cargas radiales provenientes de los componentes mecánicos y de las uvas de mesa. En la Figura 3.17 se puede apreciar el D.C.L del eje mencionado y en la Tabla 3.16 los valores de las fuerzas que la conforman.



**Figura 3. 17.- Diagrama de cuerpo libre sin incluir torques para el eje motriz.**

Tabla 3. 16.- Resultados del D.C.L. del eje motriz.

Descripción	Nomenclatura	Unidades	Valores
Peso de la rueda de transmisión	$W_p$	[N]	4.3
Tensión en el eje y generado por la cadena de transmisión	$T_y$	[N]	105
Tensión en el eje x generado por la cadena de transmisión	$T_z$	[N]	129
Torque generado por la rueda de transmisión	$R_p$	[N.m]	5.59
Torque generado por el tambor motriz	$R_f$	[N.m]	5.59
Peso total de los racimos en toda la faja	$P_{uv}$	[N]	75.5
Fuerza equivalente del racimo en un tambor	$P'_{uv}$	[N]	37.7
Peso aproximado de los componentes mecánicos	$P_{cm}$	[N/cm]	5.9
Carga sobre ejes durante el tensado de la faja	$F_{Winst}$	[N/cm]	10.8
Peso aproximado del eje	$W_{eje}$	[N]	19
Carga en el eje y en el apoyo 1	$A_{1y}$	[N]	119
Carga en el eje z en el apoyo 1	$A_{1z}$	[N]	66.13
Carga en el eje y en el apoyo 2	$A_{2y}$	[N]	299.15
Carga en el eje z en el apoyo 2	$A_{2z}$	[N]	294.87

Se muestran los diagramas de fuerza cortante (DFC) para el eje x-z en la Figura 3.17 y el eje y-z en la Figura 3.18, diagrama de momento flector (DMF) para el eje x-z en la Figura 3.19 y el eje y-z en la Figura 3.20 y por último el diagrama de momento torsor (DMT) en la Figura 3.21.

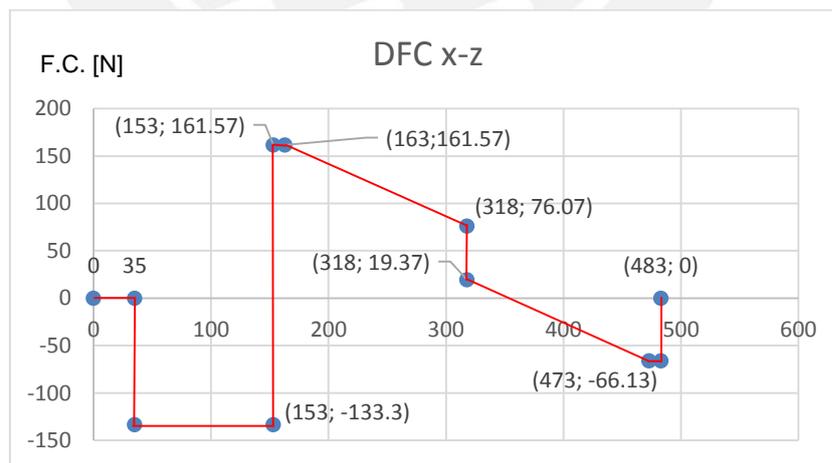


Figura 3. 18.- Diagrama de Fuerza Cortante x-z del eje de transmisión.

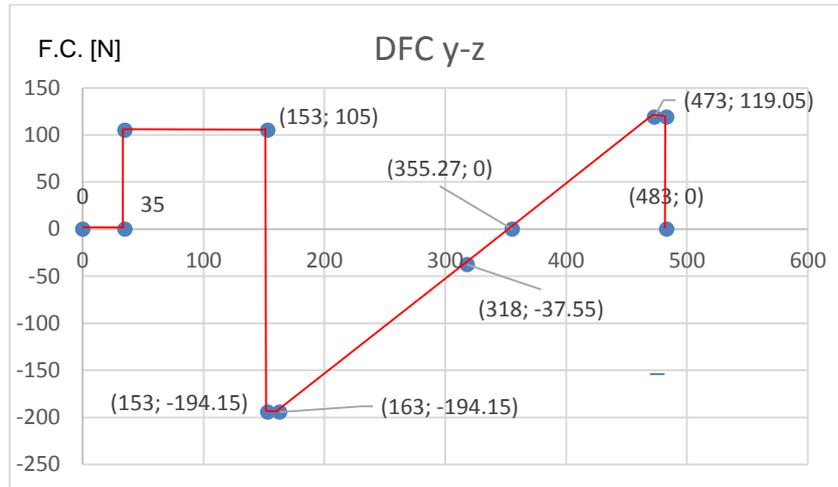


Figura 3. 19.- Diagrama de Fuerza Cortante y-z del eje de transmisión.

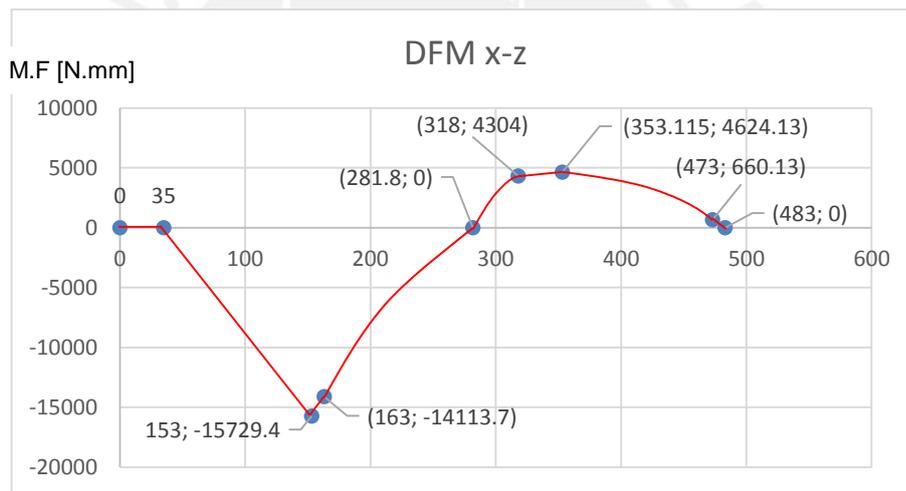


Figura 3. 20.- Diagrama de Momento Flector x-z del eje de transmisión.

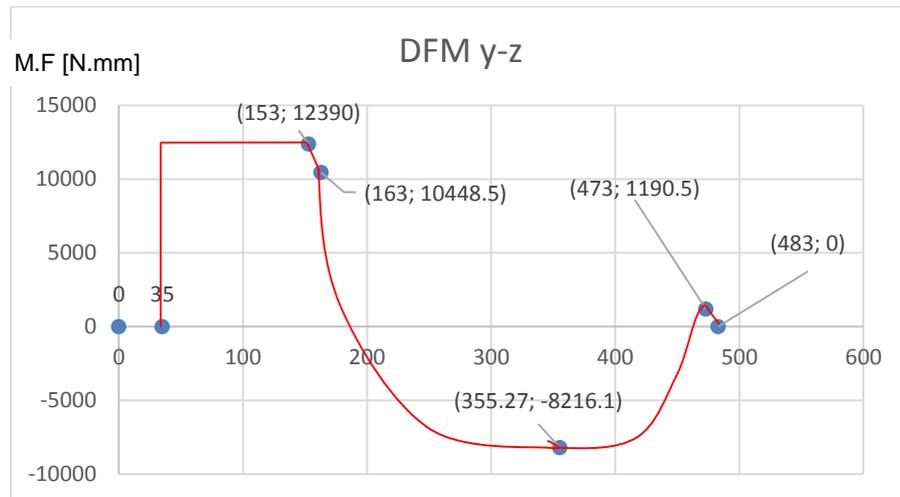


Figura 3. 21.- Diagrama de Momento Flector y-z del eje de transmisión.

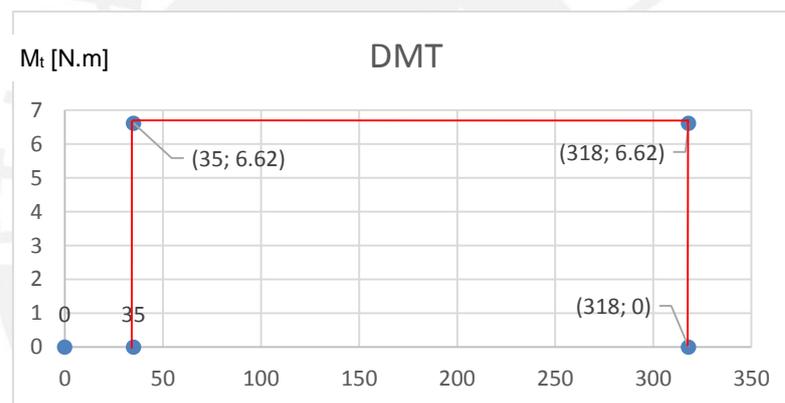


Figura 3. 22.- Diagrama de Momento torsor del eje de transmisión.

Como se puede apreciar en el DMF, la sección crítica se encuentra en el apoyo de la rueda, por tanto los cálculos de resistencia se basarán en los esfuerzos ejercidos en esa sección. Considerando que la velocidad de giro del eje es pequeña ( $n_{tm} = 5.3 \text{ rpm}$ ), sólo se realiza el cálculo estático y no de fatiga. Entonces se utilizan las ecuaciones (Ec. 3.25) para hallar el momento flector resultante en la sección, la ecuación (Ec. 3.26) para hallar el ángulo de aplicación del momento flector, la ecuación (Ec. 3.27) para hallar el esfuerzo resultante en la sección, la ecuación (Ec. 3.28) para hallar el esfuerzo cortante de la sección en el eje x-z, la ecuación (Ec. 3.29) para hallar el esfuerzo cortante de la sección en el eje y-z, la ecuación (Ec. 3.30) para hallar el esfuerzo cortante resultante del momento torsor, la ecuación (Ec. 3.31) para hallar el esfuerzo cortante total en la sección, la ecuación (Ec. 3.32) para hallar el esfuerzo equivalente total de la sección y

por último la ecuación (Ec. 3.33) para hallar el factor de seguridad el cual debe ser mayor a 3.

$$\bullet \quad M_f = 10^{-3} \cdot \sqrt{M_f^{xz2} + M_f^{xy2}} \quad \dots(3.25)$$

$$\bullet \quad \phi = \tan^{-1}\left(\frac{M_f^{xz}}{M_f^{xy}}\right) \quad \dots(3.26)$$

$$\bullet \quad \sigma_f = \frac{32M_f}{\pi \cdot d_c^3} \quad \dots(3.27)$$

$$\bullet \quad \tau_c^{xz} = \frac{4V_c^{xz}}{\pi d_c^2} \quad \dots(3.28)$$

$$\bullet \quad \tau_c^{yz} = \frac{4V_c^{yz}}{\pi d_c^2} \quad \dots(3.29)$$

$$\bullet \quad \tau_t = \frac{1.6 \times 10^4 M_t}{\pi d_c^3} \quad \dots(3.30)$$

$$\bullet \quad \tau = \sqrt{\left((\tau_t + \tau_c^{xz} \cos\phi - \tau_c^{xy} \sin\phi)^2 + (\tau_c^{xz} \sin\phi - \tau_c^{xy} \cos\phi)^2\right)} \quad \dots(3.31)$$

$$\bullet \quad \sigma_{eq} = \sqrt{(\sigma_f^2 + 3\tau^2)} \quad \dots(3.32)$$

$$\bullet \quad FS = \frac{\sigma_F}{\sigma_{eq}} \quad \dots(3.33)$$

$M_f$  = Momento flector total de la sección crítica [N. m].

$M_f^{xz}$  = Momento flector en el eje xz de la sección crítica [N. mm].

$M_f^{xy}$  = Momento flector en el eje yz de la sección crítica [N. mm].

$\phi$  = Ángulo de aplicación del momento flector  $M_f$  [°].

$\sigma_f$  = Esfuerzo axial por flexión de la sección crítica [MPa].

$d_c$  = Diámetro de la sección crítica [mm].

$V_c^{xz}$  = **Fuerza cortante en el eje xz de la sección crítica [N].**

$V_c^{yz}$  = **Fuerza cortante en el eje yz de la sección crítica [N].**

$M_t$  = Momento torsor en la sección crítica [N. m].

$\tau_c^{xz}$  = Esfuerzo cortante en el eje xz de la sección crítica [MPa].

$\tau_c^{yz}$  = Esfuerzo cortante en el eje yz de la sección crítica [MPa].

$\tau_t$  = Esfuerzo cortante por momento torsor de la sección crítica [MPa].

$\tau$  = Esfuerzo cortante total de la sección crítica [MPa].

$\sigma_{eq}$  = Esfuerzo equivalente la sección crítica [MPa].

$\sigma_F$  = Esfuerzo de fluencia del material del eje en la sección crítica [MPa].

FS = Factor de seguridad.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.17.

Tabla 3. 17.- Resultados obtenidos del cálculo de resistencia del eje motriz.

Nomenclatura	Unidades	Valores
$M_f$	[N.m]	20.0
$M_f^{xz}$	[N.mm]	15729.4
$M_f^{xy}$	[N.mm]	12390.0
$\phi$	[°]	51.8
d	[mm]	25.0
$\sigma_f$	[MPa]	0.009
$V_c^{xz}$	[N]	165.7
$V_c^{yz}$	[N]	105.0
$M_t$	[N.m]	5.6
$\tau_c^{xz}$	[MPa]	0.338
$\tau_c^{yz}$	[MPa]	0.214
$\tau_t$	[MPa]	1.832
$\tau$	[MPa]	1.371
$\sigma_{eq}$	[MPa]	2.375
$\sigma_F$	[MPa]	390.0
FS	-	164.2

Como se puede observar, el factor de seguridad del eje es alto y mayor a 3, ya que el eje soporta cargas bajas. Por tanto, el eje no falla por resistencia. Debido a que la velocidad de rotación del eje es baja ( $n_{tm}=5.3$  [RPM]), como se indicó anteriormente en la Tabla 3.18, no se realiza el cálculo por fatiga.

### 3.4.2. Estructura de la Máquina

La estructura de la maquina tiene como finalidad servir de apoyo a todos los componentes considerados y las cargas que se producen durante el funcionamiento de la máquina. Por tanto su cálculo es importante en el diseño.

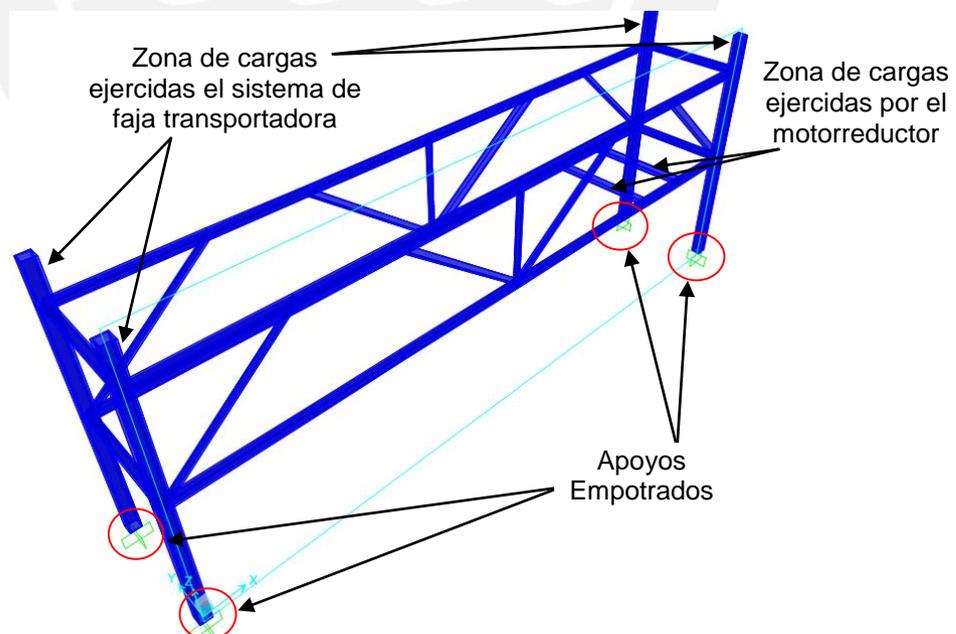
Se realizará una verificación de resistencia según la norma ANSI/AISC 360-10 Specification for Structural Steel Building<sup>21</sup>. Esta norma desarrolla los procedimientos de cálculos para la verificación y diseño de estructuras metálicas en edificaciones considerando cargas muertas (fijas y puntuales), vivas (con movimiento), de viento y sísmicas; sin embargo se puede emplear también para estructuras metálicas

<sup>21</sup> Para mayor información consultar la página web:  
<https://www.aisc.org/WorkArea/showcontent.aspx?id=39246>.

considerando solo las cargas muertas, es decir despreciando las cargas de vivas, de viento y sísmicas. Las consideraciones para el cálculo son las siguientes:

- Todas las cargas son muertas: No se consideran cargas vivas, ya que la velocidad de la faja transportadora es lenta (25 [mm/s]) y el peso que generan las uvas de mesa es pequeña comparado con el sistema de transmisión.
- Las uniones soldadas se consideran como fuerzas distribuidas en la estructura.
- Se utiliza la potencia nominal del motor por motivos de seguridad (la potencia requerida es menor a la capacidad de potencia del motor).
- Se considera peso de la estructura.
- Apoyos Empotrados.
- Material de la estructura ASTM A36.

Se utiliza como herramienta de modelamiento y cálculo el programa SAP2000 v17, el cual utiliza el Método de los Elementos Finitos “FEM” basado en diferentes normas según se especifique en el programa. Entonces se tiene el modelamiento de la estructura mostrada en la Figura 3.23.



**Figura 3. 23.- Modelamiento de la Estructura en SAP2000.**

Se introducen las cargas puntuales y distribuidas a la estructura, considerando la tensión generada por la transmisión de cadenas y se realiza la simulación respectiva. Por último, se realiza la verificación según la norma mencionada y la resistencia del material. En la Figura 3.24 se muestra el cumplimiento de resistencia y la leyenda de colores y valor número normalizado en la Tabla 3.18.

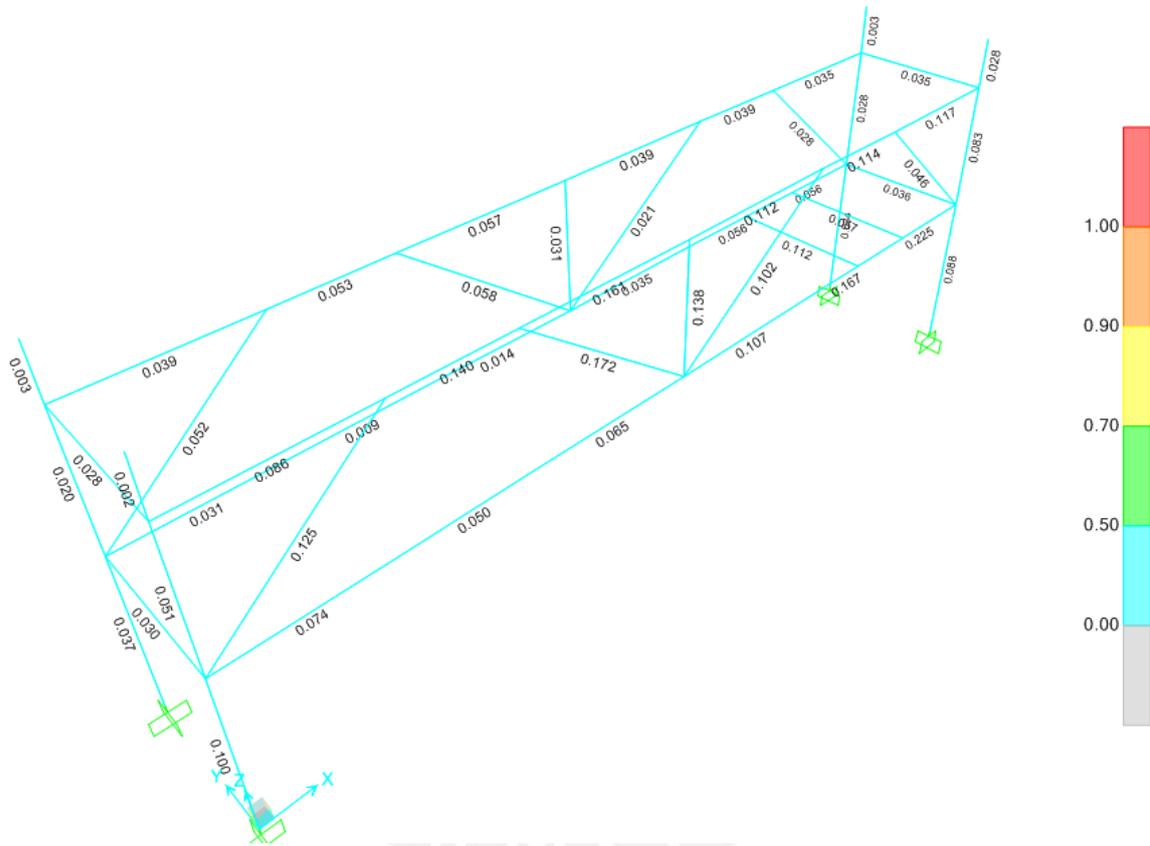


Figura 3. 24.- Verificación de las Estructura en SAP2000.

Tabla 3. 18.- Leyenda de la Verificación de la Estructura por SAP2000.

Indicador Numérico*	Leyenda de Colores		
1 a +	Rojo	Carga Excesiva	Falla
0.9 a 1	Anaranjado	Carga Alta	No Falla
0.7 a 0.9	Amarillo	Carga Moderada	
0.5 a 0.7	Turqueza	Carga Leve	
0 a 0.5	Plomo	Sin carga	

\*1 representa que el elemento ha llegado el esfuerzo límite de resistencia del material.

El factor de seguridad de la estructura se obtiene entonces al extraer el mayor indicador numérico encontrado en la estructura y compararla con el valor 1. El factor de seguridad se muestra en la Tabla 3.19.

**Tabla 3. 19.- Factor de Seguridad de la Estructura.**

Descripción	Valor
Valor Máximo en la Estructura	0.225
Valor Crítico de Resistencia	1
Factor de Seguridad	4.44

### 3.5. Diseño del Sistema Eléctrico

En esta sección se realizan los cálculos eléctricos respectivos para dimensionar los conductores del motor, se seleccionan los componentes de protección y mando de los dispositivos eléctricos y se muestran los diagramas de fuerza respectivos. Además, se incluye el diagrama de mando del motor con la finalidad de poder incorporarse en la lógica de control. Cabe mencionar que el desarrollo de la lógica de control no se encuentra dentro de los objetivos del presente trabajo.

La metodología de cálculo empieza por definir las conexiones necesarias de los dispositivos elegidos anteriormente, así como el diagrama de mando del motor. Luego se extraen los valores de corriente de los dispositivos elegidos para poder realizar la selección de los dispositivos de protección y el dimensionamiento de los conductores.

La automatización del proceso se realiza con un Programador Lógico Programable "PLC" Siemens S7 1212C según se especifica en el trabajo de tesis "Estudio de un sistema para el control de tamaño y peso de uva de mesa" por el Ing. André Basilio Vela, por tanto las conexiones eléctricas del sistema consideran su uso. Entonces la designación completa de los dispositivos de actuación, mando, señalización y protección se muestra en la Tabla 3.20; el diagrama de fuerza y mando del motor se muestran en la Figura 3.25 y Figura 3.26 respectivamente y el diagrama eléctrico del PLC y la fuente de alimentación se muestra en la Figura 3.27.

**Tabla 3. 20.- Designación de Dispositivos de Actuación, Mando, Señalización y Protección.**

N°	Lista de Dispositivos de	Cantidad	Designación
1	Motor Eléctrico	1	M1
2	Electroválvulas	2	Y1, Y2
3	Sensor de Proximidad	1	T1
4	Conmutador	1	S1
5	Pulsador de Marcha	1	E1
6	Pulsador de Parada	1	P1
7	Luz LED de color	3	L1, L2, L3
8	Luz Blanca de la Zona de Visión	1	L4
9	Contactores para el Motor M1	6	KM1, KM2, KM3, KM4, KM5, KM6
10	Contactos Auxiliares para Y1, Y2 y L4	3	KM7, KM8, KM9
11	Fuente de Alimentación	1	FA1
12	Interruptor Magnetotérmico del Motor	1	F1
13	Interruptor de Sobrecarga Térmica a 440 VAC	1	F2
14	Interruptor de Sobrecarga Térmica a 220 VAC	1	F3
15	Interruptor Magnetotérmico del PLC	1	F4
16	Interruptor Magnetotérmico de la Fuente de Alimentación	1	F5

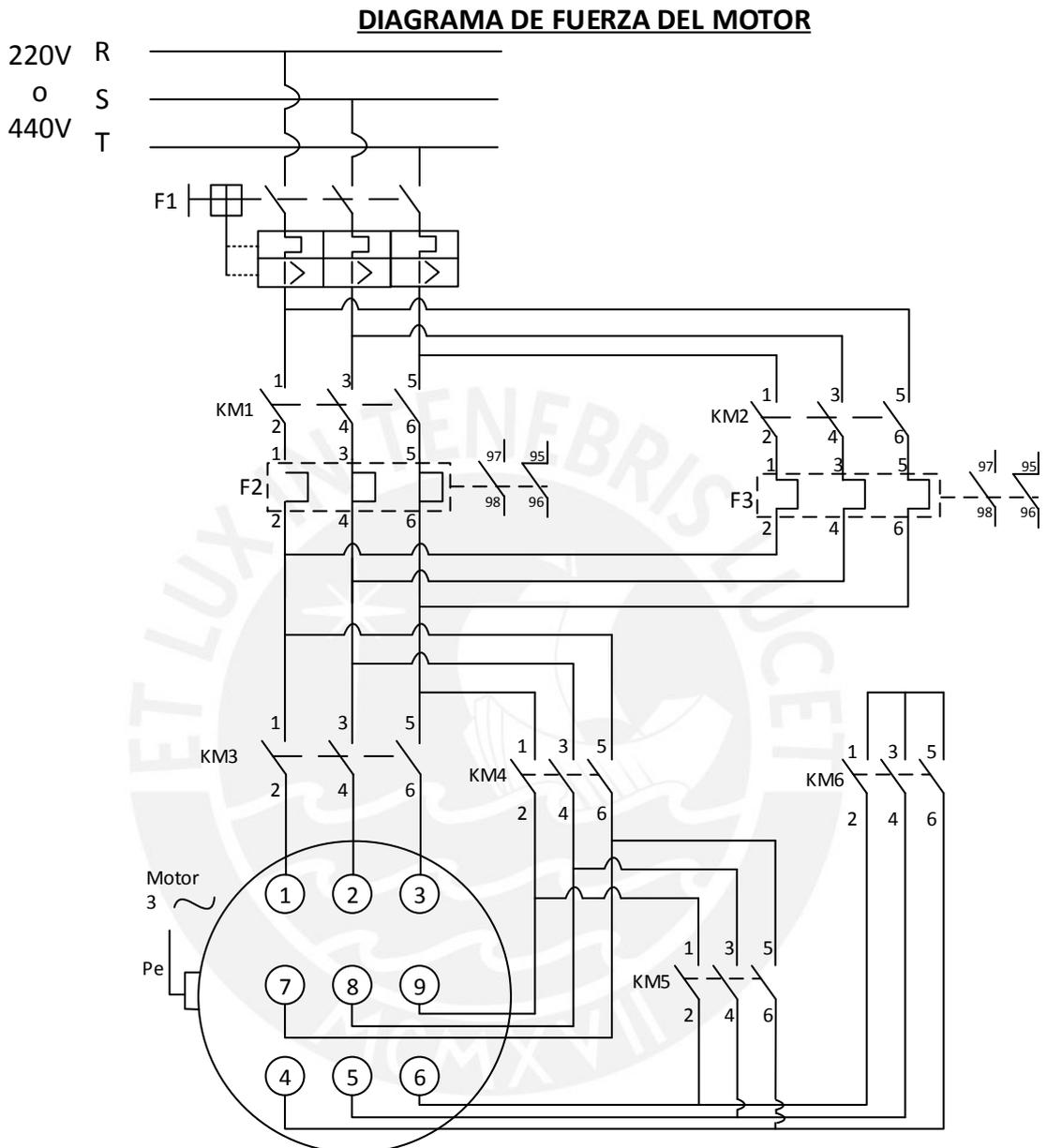
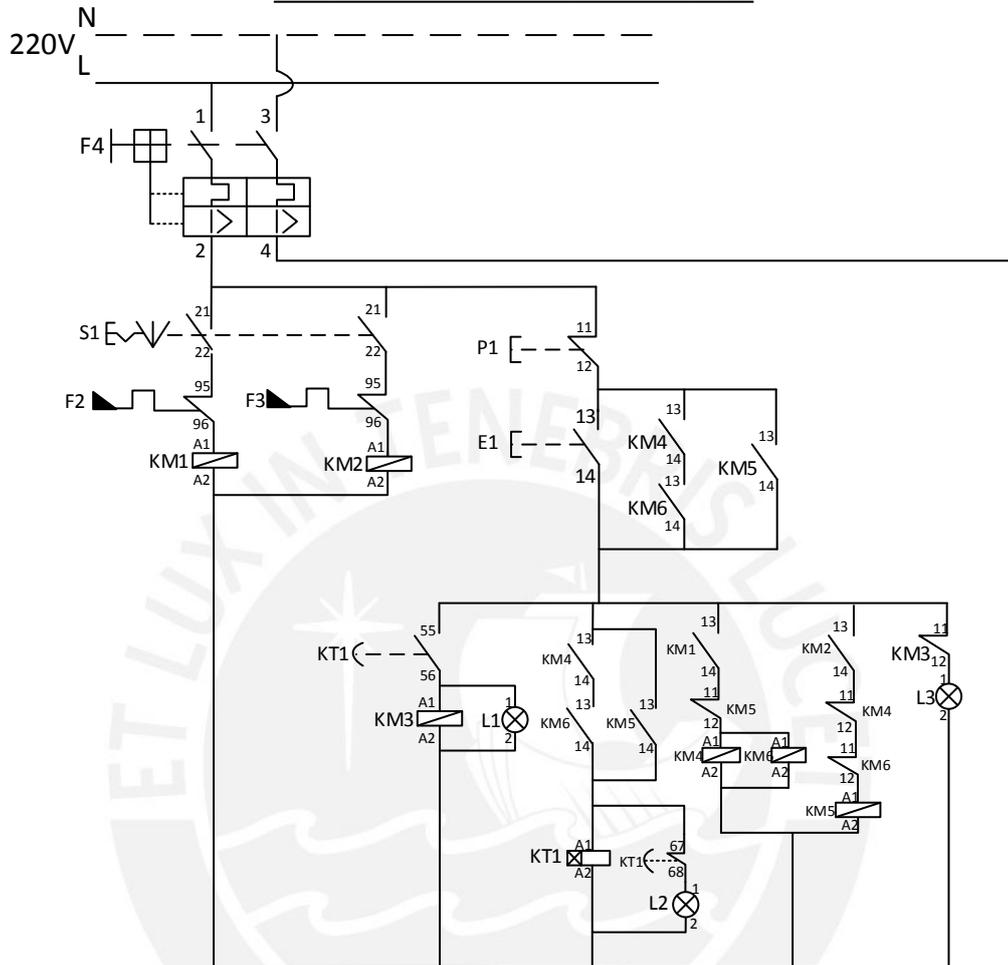


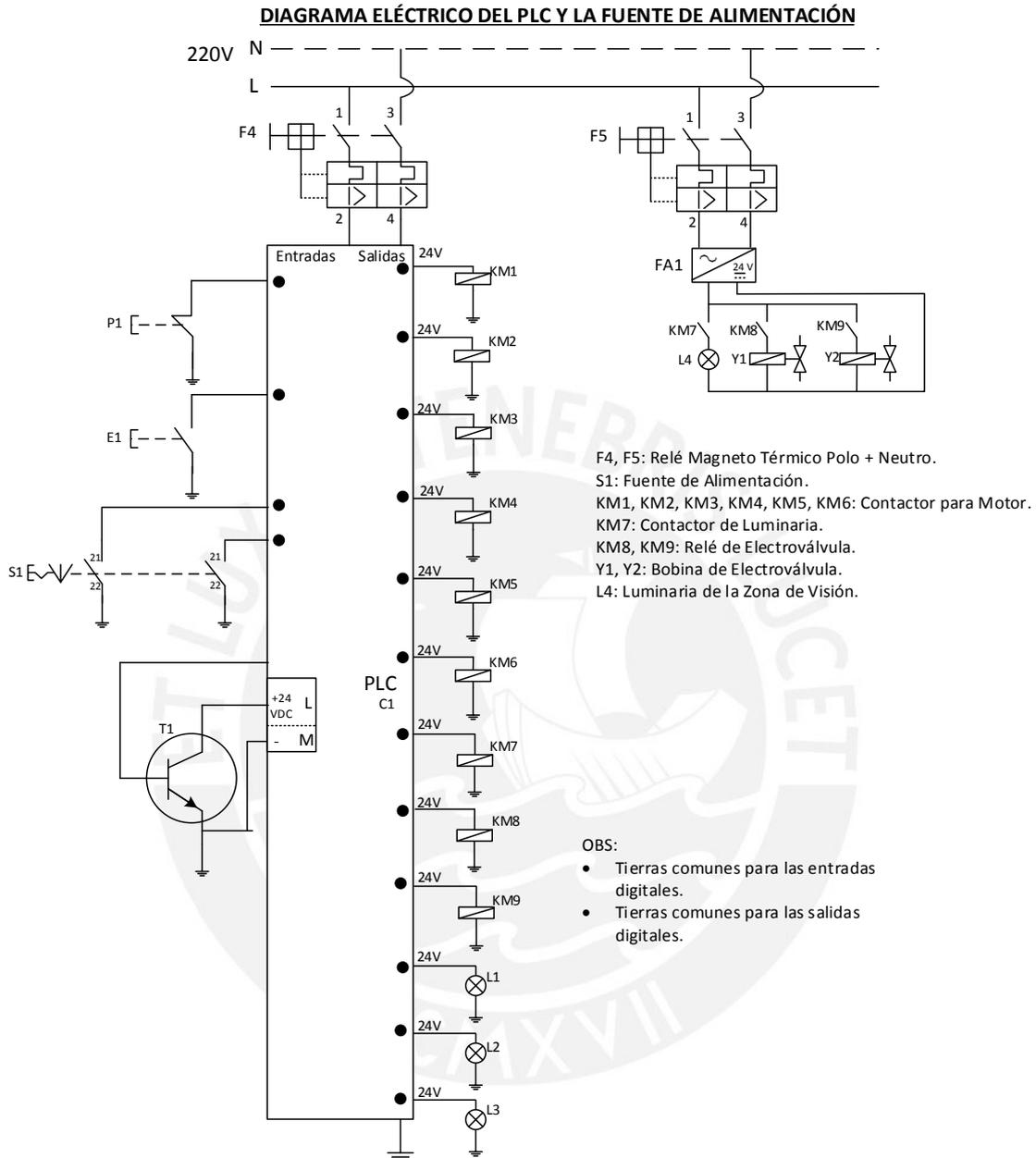
Figura 3. 25.- Diagrama de Fuerza del Motor.

**DIAGRAMA DE MANDO DEL MOTOR**



- F1: Relé Magneto Térmico Tripolar.
- F2, F3: Relé Térmico.
- F4: Relé Magneto Térmico Polo + Neutro.
- P1, E1: Pulsador de Parada y Marcha respectivamente.
- KM1, KM2, KM3, KM4, KM5, KM6: Contactor Físico.
- KT1: Temporizador a la Conexión.
- L1, L2, L3: Lámparas Verde, Amarillo y Roja respectivamente.

**Figura 3. 26.- Diagrama de Mando del Motor.**



**Figura 3. 27.- Diagrama Eléctrico del PLC y la Fuente de Alimentación.**

A continuación se muestran los consumos de corrientes de los elementos de mando y señalización que se encuentran conectados al PLC en la Tabla 3.21. Los consumos por parte de las entradas digitales se obtienen del manual del PLC, el consumo por la energización del sensor ultrasónico es estimado y los consumos de las salidas digitales también son aproximados y corresponden a la señal de accionamiento en los contactores y al prendido de las luces LED de color. Los consumos de corriente total del

PLC y los dispositivos de actuación, en donde la suma de estos conforma el total del sistema eléctrico, se muestra en la Tabla 3.22.

**Tabla 3. 21.- Consumos de Corrientes de los Elementos de Mando y Señalización conectados al PLC.**

Consumo en el CPU del PLC y Dispositivos Conectados				
Dispositivo	Destino y/o Uso	Designación	Unidades	Valor
CPU del PLC <sup>1</sup>	Controlar el Proceso	C1	[mA]	120
Contactores	Motor M1	KM1	[mA]	5
		KM2	[mA]	5
		KM3	[mA]	5
		KM4	[mA]	5
		KM5	[mA]	5
		KM6	[mA]	5
Contactos Auxiliares	Electroválvula Y1	KM7	[mA]	3
	Electroválvula Y2	KM8	[mA]	3
	Luz Blanca de la zona de visión L4	KM9	[mA]	3
Sensor de Proximidad <sup>2</sup>	Detectar uvas de mesa en la zona de Secado	T1	[mA]	100
Pulsadores	Marcha de la Máquina	E1	[mA]	4
	Parada de la Máquina	P1	[mA]	4
Conmutador	Seleccionar Voltaje de Motor	S1	[mA]	4
Luz LED de color	Iluminar Verde	L1	[mA]	18
	Iluminar Amarillo	L2	[mA]	18
	Iluminar Rojo	L3	[mA]	18
<b>Corriente de alimentación máxima a 220 VAC</b>		<b>I<sub>PLC</sub></b>	<b>[mA]</b>	<b>325</b>

<sup>1</sup>Valor a máxima carga.

<sup>2</sup>Valor aproximado.

**Tabla 3. 22.- Consumos de Corriente Total del PLC y los Dispositivos de Actuación.**

Consumo de Dispositivos Eléctricos de la Máquina				
Aplicación	Descripción	Variable	Unidades	Valor
PLC	Corriente de alimentación a 220 VAC	I <sub>PLC</sub>	[mA]	325
Electroválvulas	Corriente máxima en Secado Superficial	I <sub>SS</sub>	[A]	0.1875
	Corriente máxima en zona de Separación de Racimos	I <sub>SR</sub>	[A]	0.1875
Motor Eléctrico	Corriente de Arranque a 440 V	I <sub>am440</sub>	[A]	5.24
	Corriente Nominal a 440V	I <sub>nm440</sub>	[A]	0.7
	Corriente de Arranque a 220 V	I <sub>am220</sub>	[A]	10.48
	Corriente Nominal a 220V	I <sub>nm220</sub>	[A]	1
Luz Blanca de la zona de visión	Corriente Nominal	I <sub>jl</sub>	[A]	1.2

### 3.5.1. Selección de Dispositivos Eléctricos

A continuación se seleccionaran todos los dispositivos involucrados en el sistema eléctrico. Las hojas técnicas de estos se pueden encontrar en el Anexo 12.

#### i. Fuente de Alimentación

La fuente de alimentación permite la alimentación de las electroválvulas “Y1”, “Y2” y la luminaria blanca de la zona de visión “L4”. Estas se alimentan a 220 V monofásico y entregan 24 VDC, además se encuentran separadas de las conexiones al PLC con la finalidad de separar el circuito de potencia con las de control y así evitar sobrecargas en el PLC debido a posibles sobrecorrientes.

El criterio de selección empieza por obtener la suma de las corrientes nominales de los dispositivos que la fuente alimenta para poder después seleccionar con un 120% a 130% de la corriente total obtenida. Esto se realiza con la finalidad de que la fuente no se encuentre trabajando en toda su capacidad, permitiendo así a la fuente entregar una potencia o corriente estable y evitar sobrecalentamientos

Entonces la corriente nominal para la fuente, que es la suma de las corrientes de las electroválvulas y la luminaria blanca, es 1.6 [A] y adicionando un 30% se obtiene 2 [A], el cual será la corriente referencial para la selección. En la Tabla 3.23 se muestra las características de la fuente elegida de la marca Schneider Electric, quien posee presencia en el mercado peruano.

Tabla 3. 23.- Fuente de Alimentación del Sistema Eléctrico.

Dispositivo	Descripción	Marca	Modelo	Código de Producto	Voltaje de Salida [V DC]	Potencia Nominal [W]	Corriente Nominal [A]
Fuente de Alimentación S1	Rectificado y Filtrado. Monofásico 220V o 440V.	Schneider	Phaseo Rectified	ABL8FEQ24020	24	48	2

#### ii. Elementos de Protección

Se procede a seleccionar los dispositivos o interruptores que protegerán al circuito eléctrico a sobrecargas de corriente y de calor.

Existen diversos criterios de selección para estos dispositivos, como por ejemplo: aplicación, fuente de energía, potencia, corriente nominal del circuito, etc. En caso de protecciones por sobrecorriente o cortocircuito los interruptores deben elegirse en primer lugar según el equipo a proteger, esto es debido a que las curvas de tiempo vs corriente son diferentes para cada aplicación como por ejemplo: motor y circuitos de mando.

Entonces se realiza la selección de los interruptores de la empresa alemana Schneider Electric en la Tabla 3.24.

**Tabla 3. 24.- Interruptores de Protección del Sistema Eléctrico.**

Interruptor	Destino	Marca	Modelo	Código de Producto	Condiciones de Voltaje [V AC]	Corriente Nominal "In" [A]	Corriente de Corte [A]
Magnetotérmico F1	Motor M1	Schneider	Acti 9 iC60L	A9F90372	220 440	1.6	12.In
Sobrecarga Térmica F3 <sup>1</sup>	Motor M1	Schneider	Tesys LR2 K	LR2K0307	220V	1.2...1.8	-
Sobrecarga Térmica F2 <sup>1</sup>	Motor M1	Schneider	Tesys LR2 K	LR2K0305	440	0.54...0.8	-
Magnetotérmico F4 <sup>2</sup>	PLC C1	Schneider	Acti 9 IC60n	A9F74602	220	2	8.In
Magnetotérmico F5	Fuente de Alimentación FA	Schneider	Acti 9 IC60n	A9F74602	220	2	8.In

<sup>1</sup>Debido a su diseño bimetálico, permiten picos altos de corriente, ejemplo: arranque.

<sup>2</sup>Debido a la posibilidad a futuro de poder incorporar y/o conectar mayores elementos al PLC la corriente nominal considerada es menor a 3 [A], el cual es el valor de corte del fusible interno del PLC.

### iii. Elementos de Mando y Señalización

Los elementos de mando a seleccionar son los contactores, pulsadores, el conmutador manual y el sensor de proximidad. Los contactores son energizados principalmente por un circuito de control que se encuentra conectado a una bobina la cual realiza el cierre de un circuito de potencia. Por tanto, su selección se basa en los valores mínimo y máximos de corrientes y voltajes del circuito de control y de potencia. Teniendo en cuenta que el PLC a usar puede entregar en sus salidas digitales entre 0 [A] y 2 [A] a 24 VDC y los consumos de corriente especificados anteriormente en la Tabla 3.22 se seleccionan los contactores de la marca Schenider Electric. Estos se muestran en la Tabla 3.25.

**Tabla 3. 25.- Contactores del Sistema Eléctrico.**

Contactores	Destino	Marca	Modelo	Código de Producto	Voltaje de Control [V DC]	Condiciones Máxima de Carga [kW]	Corriente Nominal [A]
KM1, KM2, KM3, KM4, KM5 y KM6	Motor M1	Schneider	Tesys K LP1K	LP1K0610BD3	24	1.5 a 220V AC 3 a 440 V AC	6 a 440V
KM7, KM8, KM9	Electroválvulas Y1, Y2 Luminaria Blanca L4	Schneider	Tesys d	LA1DZ31	24	0.12 a 24 V DC	*

Los pulsadores y el conmutador son simples dispositivos de entrada que permiten el paso de corriente en un circuito determinado. Su selección ya no depende de la corriente y voltaje, ya que estos trabajan como entradas digitales en el PLC especificado hasta en 30 V DC, sino por las características físicas específicas como por ejemplo: tipo de contacto, tamaño, color, posible iluminación, etc. Por tanto, se muestran en la Tabla 3.26 los elementos seleccionados de la marca Schenider Electric.

**Tabla 3. 26.- Pulsadores y Contactor del Sistema Eléctrico.**

Dispositivo	Descripción	Marca	Modelo	Código de Producto
Pulsador de Marcha E1	Color verde Contacto NA* φ22 mm	Schneider	Harmony XB4	XB4BA31
Pulsador de Parada P1	Color rojo Contacto NA* φ22 mm	Schneider	Harmony XB4	XB4BA42
Conmutador S1	3 Posiciones a 45° 2 Contactos NA* φ22 mm	Schneider	Harmony XB4	XB4BJ33

\*NA: Normalmente Abierto

Luego se seleccionan las luminarias L1, L2 y L3 que sirven de señalización hacia el operador de la máquina. La luminaria blanca de la zona de visión “L4” tiene como función alumbrar la zona en donde se realiza la adquisición de imágenes en la zona de visión y es seleccionada en el trabajo de tesis especificado en el 3er párrafo de subcapítulo 3.5. Diseño del Sistema eléctrico. Las luminarias de señalización se seleccionan por el tipo y valor de alimentación eléctrica a trabajar, así como características físicas específicas como las mencionadas en el párrafo anterior. Entonces, teniendo en cuenta que estas luminarias van conectadas al PLC se muestra su selección en la Tabla 3.27.

Tabla 3. 27.- Luminarias de Señalización del Sistema Eléctrico.

Luminaria	Descripción	Marca	Modelo	Código de Producto	Voltaje de trabajo [V DC]	Corriente Consumida [mA]
Luz Verde L1	Tipo LED $\phi 22$ mm	Schneider	Harmony XB4	XB4BVB3	24	18
Luz Amarilla L2	Tipo LED $\phi 22$ mm	Schneider	Harmony XB4	XB4BVB4	24	18
Luz Roja L3	Tipo LED $\phi 22$ mm	Schneider	Harmony XB4	XB4BVB5	24	18

La selección del sensor de proximidad depende principalmente de la distancia a sensar, material del objeto y condiciones ambientales. Además, Los tipos de sensores se pueden agrupar por su principio de funcionamiento: capacitivos, inductivos, fotoeléctricos, ultrasónico y magnético. Los sensores capacitivos e inductivos se caracterizan por tener distancias de sensado menor a 50 [mm]. Los sensores magnéticos se usan por lo general para materiales metálicos. Los sensores fotoeléctricos se utilizan para una captación de precisión alta. Los sensores ultrasónicos tienen como distancia de sensado hasta 8 [m], trabajan solamente en el aire y pueden detectar objetos con diferentes formas, superficies y de diferentes materiales.

Por tanto, debido a que el objeto a detectar es un producto orgánico y la distancia de sensado promedio es 300 [mm], la opción que más se adecua a la aplicación son los sensores ultrasónicos debido a su rango de medición y su bajo costo. La última consideración en elegir es el tipo de salida discreta, es decir PNP o NPN<sup>22</sup> y tienen conexiones diferentes al PLC. Dentro de las especificaciones del PLC menciona que permite la conexión para ambos tipos de sensor ultrasónico. Se elige el sensor NPN debido a que su conmutación es ligeramente más rápida y tiene menor inmunidad al ruido. Entonces se muestran en la Tabla 3.28 el sensor ultrasónico seleccionado de la marca Schneider Electric.

---

<sup>22</sup> Tipo de transistores de unión bipolar.

Tabla 3. 28.- Sensor de Proximidad de la Zona de Secado.

Dispositivo	Descripción	Marca	Modelo	Código de Producto	Voltaje de Alimentación [V DC]	Distancia de Sensado Nominal [mm]	Corriente Nominal [mA]
Sensor de Proximidad	Ultrasónico de tipo difuso. Salida discreta tipo PNP.	Schneider	OsiSense XX	XX7V1A1NAM12	24	500	40

### 3.5.2. Dimensionamiento de los Conductores

En esta sección se realiza el dimensionamiento que permiten las conexiones físicas desde las líneas de alimentación hacia el motor, el PLC y la fuente de alimentación. El criterio de cálculo se basa según el “Código Nacional de Electricidad, Utilización 2006”, el cual se encuentra en concordancia con los métodos especificados en la norma IEC 60364-5-52 “Instalaciones eléctricas en edificios” Parte 5-52 “Selección y utilización de material eléctrico – canalizaciones”.

#### i. Capacidad de Corriente

El cálculo empieza por definir las condiciones iniciales del medio en donde será expuesto el cable conductor y su flexibilidad, los criterios mencionados son los siguientes:

- Número de Fases
- Temperatura Ambiente
- Ambiente Húmedo
- Tipo de Canalización
- Flexibilidad del Cable

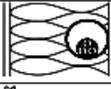
El método manifiesta que, en primer lugar la corriente de diseño del alimentador deber ser 25% mayor que la corriente nominal y en segundo lugar que la corriente que puede conducir un conductor está definida por el método de instalación del mismo. Además,

considera factores de corrección por temperatura, agrupaciones de cables y 4 tipos de aislamiento: PVC, XLPE y Mineral con o sin cubierta.

Se procede a definir el tipo de instalación referencial según el Anexo de Tablas del “CNE Utilización”. Los aislamientos considerados de los conductores de alimentación de la máquina son de PVC y se encontraran dentro de tubos flexibles huecos de PVC empotrados a la estructura metálica de la máquina. La elección de este material es su bajo costo, amplia disponibilidad y amplio uso en aplicaciones similares. La configuración mencionada anteriormente no se encuentra definida dentro de los métodos referenciales de instalación, como se puede apreciar en la Tabla 3.29, sin embargo si muestra la equivalencia de la configuración a usar el cual es cable multipolar al aire libre “E” (Tabla 3.30).

**Tabla 3. 29.- Tabla de Instalaciones Eléctricas Referenciales del CNE.**

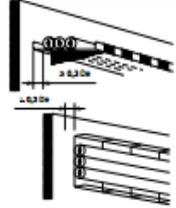
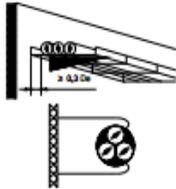
**Métodos de instalación referenciales**  
(NTP 370.301 - IEC 60364-5-523)

Método referencial de instalación		Tabla y columna						Factor de temperatura ambiente	Factor de reducción por agrupamiento
		Capacidades de corriente nominal para circuitos simples				Factor de temperatura ambiente	Factor de reducción por agrupamiento		
		Aislamiento PVC		Aislamiento XLPE / EPR					
		Número de conductores		Número de conductores					
1	2	2	3	2	3	7	8		
	Conductores aislados dentro de un tubo empotrado en una pared	A1	Tabla 2 Col. 2	Tabla 2 Col. 3	Tabla 2 Col. 14	Tabla 2 Col. 15	Tabla 5A	Tabla 5C	
	Cable multipolar en un tubo empotrado dentro de una pared	A2	Tabla 2 Col. 4	Tabla 2 Col. 5	Tabla 2 Col. 16	Tabla 2 Col. 17	Tabla 5A	Tabla 5C	
	Conductores aislados dentro de un tubo sobre una pared de madera	B1	Tabla 2 Col. 6	Tabla 2 Col. 7	Tabla 2 Col. 18	Tabla 2 Col. 19	Tabla 5A	Tabla 5C	
	Cable multipolar dentro de un tubo sobre una pared de madera	B2	Tabla 2 Col. 8	Tabla 2 Col. 9	Tabla 2 Col. 20	Tabla 2 Col. 21	Tabla 5A	Tabla 5C	
	Cable unipolar o multipolar sobre una pared de madera	C	Tabla 2 Col. 10	Tabla 2 Col. 11	Tabla 2 Col. 22	Tabla 2 Col. 23	Tabla 5A	Tabla 5C	
	Cable multipolar en ductos enterrados	D	Tabla 2 Col. 12	Tabla 2 Col. 13	Tabla 2 Col. 24	Tabla 2 Col. 25	Tabla 5A	Tabla 5D	
	Cable multipolar al aire libre	E	Cobre Tabla 1		Cobre Tabla 1		Tabla 5A	Tabla 5C	

Separación a la pared no menor de 0,3 veces el diámetro del cable

Tabla 3. 30.- Equivalencias de Instalaciones Eléctricas del CNE <sup>23</sup>.

**Instrucciones por métodos de instalación  
para obtener la capacidad de corriente nominal**

Item Nro.	Métodos de instalación	Descripción	Referencia del método de instalación a ser usado para obtener la capacidad de corriente nominal (ver Tabla 3)
1	2	3	4
32		- sobre soportes o sobre una malla de alambre	E o F
33		- espaciado a más de 0,3 veces el diámetro del cable desde la pared	E o F con ítem 4 o 5 de la Tabla 5C o método G <sup>1)</sup>
34		- sobre bandeja de escalera	E o F

El siguiente paso es definir los factores de corrección. Estos son definidos según la temperatura ambiente a la cual operara la máquina y la cantidad de polos del cable conductor. Los valores mencionados se muestran en la Tabla 3.31 para las correcciones por temperatura y en la Tabla 3.32 para las correcciones por agrupación de conductores.

<sup>23</sup> Extracto de la Tabla 4 del CNE Utilización 2006.

**Tabla 3. 31.- Factores de Corrección por Temperatura del CNE.**  
(Ver las Reglas 030-004(8) y 070-2212 y Tablas 1, 2, 57 y 58)  
**Factores de corrección para temperatura ambiente distinta de 30 °C para cables al aire y distinta a 20 °C para cables en ductos enterrados**  
Aplicables a las columnas de la 2 a la 16 de las Tablas 1 y 2

Temperatura ambiente [°C]	PVC		XLPE o EPR		MI - Mineral * (al aire)	
	Cables al aire	Cables en ductos enterrados	Cables al aire	Cables en ductos enterrados	Cubierta de PVC o desnudo y expuesto al contacto 70°C	Desnudo no expuesto al contacto 105 °C
10	1,22	1,10	1,15	1,07	1,26	1,14
15	1,17	1,05	1,12	1,04	1,20	1,11
20	1,12	1,00	1,08	1,00	1,14	1,07
25	1,06	0,95	1,04	0,96	1,07	1,04
30	1,00	0,89	1,00	0,93	1,00	1,00
35	0,94	0,84	0,96	0,89	0,93	0,96
40	0,87	0,77	0,91	0,85	0,85	0,92
45	0,79	0,71	0,87	0,80	0,87	0,88
50	0,71	0,63	0,85	0,76	0,67	0,84

**Tabla 3. 32.- Factores de Corrección por Número de Conductores del CNE.**  
**Factores de reducción por grupos de más de un circuito o de más de un cable multipolar**  
A ser usados con las capacidades de corriente nominal de las Tablas 1 y 2

Ítem	Disposición (en cuanto a cables)	Número de circuitos o cables multipolar											A usarse con capacidades de corriente nominal, referencia	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16		20
1	Agrupados en el aire, sobre una superficie empotrados o encerrados	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	4 a 8 Métodos A a F
2	En una capa sobre una pared, piso o bandeja no perforada	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	No más factores de reducción para más de nueve circuitos o cables multipolares			4 a 7 Método C
3	En una capa fijado directamente bajo un techo de madera	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	En una capa sobre una bandeja perforada horizontal o vertical	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				
5	En una capa sobre un soporte de bandeja de escaleras, o listones, etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			8 a 9 Métodos E y F	

Después de tener todos los factores y corrientes nominales se procede con la (Ec. 3.34) a calcular la corriente de diseño y con la (Ec. 3.35) se obtiene la corriente de diseño corregida.

- $I_d = 1.25 \cdot I_{nm}$  ... (3.34)

- $I_{dct} = \frac{I_d}{K_t \cdot K_c}$  ... (3.35)

$I_{nm}$  = Corriente Nominal del equipo a alimentar [A].

$I_d$  = Corriente de Diseño del conductor [A].

$I_{dct}$  = Corriente de Diseño Corregida del conductor [A].

$K_t$  = Factor de corrección por temperatura.

$K_c$  = Factor de corrección por agrupación de conductores.

Se elige entonces desde la Tabla 1 del “CNE Utilización” el conductor que tenga una capacidad de corriente mayor y más cercana a la corriente de diseño corregida “ $I_{dct}$ ” obtenida según la configuración de instalación considerada anteriormente, la agrupación de los conductores y el material de aislamiento del conductor. Lo mencionado se muestra en la Tabla 3.33.

**Tabla 3. 33.- Capacidad de Corriente según Método de Instalación del CNE.**

(Ver Reglas 030-004, 050-104, 070-012, 070-2212, 150-000, 150-742, 220-008 y 220-016, y Tablas 5A, 5C y 19)

**Capacidad de corriente en A de conductores aislados – Al aire libre**

Basada en temperatura ambiente: 30 °C al aire y 20 °C en tierra

Sección nominal del conductor [mm <sup>2</sup> ]	Cables multipolares				Cables unipolares			
	Método de instalación de acuerdo a la NTP 370.301 (IEC 60364-5-523)							
	Dos conductores de carga		Tres conductores de carga		Dos conductores de carga al contacto		Tres conductores de carga en triángulo	
								
Aislamiento	PVC	XLPE o EPR	PVC	XLPE o EPR	PVC	XLPE o EPR	PVC	XLPE o EPR
Temperatura	70 °C	90 °C	70 °C	90 °C	70 °C	90 °C	70 °C	90 °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,5	22	26	18,5	23	-	-	-	-
2,5	30	36	25	32	-	-	-	-
4	40	49	34	42	-	-	-	-
6	51	63	43	54	-	-	-	-
10	70	86	60	75	-	-	-	-
16	94	115	80	100	-	-	-	-

Los resultados obtenidos al dimensionar los conductores para el motor, el PLC y la Fuente de Alimentación se muestran en la Tabla 3.34. Cabe mencionar que la alimentación de las cargas a la salida de la fuente de alimentación es distribuida. Por tanto, el dimensionamiento fue realizado con el criterio de sección constante, es decir se considera que todos los conductores que van a las cargas tienen una misma sección y la corriente nominal al diseñar es la suma de las corrientes nominales de las cargas.

Por último, es posible seleccionar el cable de 1.5 [mm<sup>2</sup>] que posee menor área al elegido, sin embargo buenas prácticas en instalaciones de máquinas eléctricas de automatización recomiendan elegir un conductor con un área no menor a 2.5 [mm<sup>2</sup>].

**Tabla 3. 34.- Cables de Alimentación del Sistema Eléctrico.**

Elemento	Condiciones de Servicio	I <sub>nm</sub> [A]	I <sub>d</sub> [A]	K <sub>c</sub>	K <sub>t</sub> a 15°C	I <sub>dct</sub> [A]	Cable elegido	Capacidad del cable elegido [A]
Motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de fases: Trifásico.</li> <li>Temperatura: 15°C a 30°C.</li> <li>Humedad: Si.</li> <li>Canalización En Tubo.</li> <li>Flexibilidad: Si, STO*.</li> </ul>	1.3 <sup>1</sup>	1.63	1	1.17	2.2	Cables STO 3x2.5mm <sup>2</sup> /AWG14	25
PLC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de fases: Monofásico.</li> <li>Temperatura: 15°C a 30°C.</li> </ul>	0.33 <sup>2</sup>	0.41			0.48	Cables STO 2x2.5mm <sup>2</sup> /AWG14	
Fuente de Alimentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Humedad: Si.</li> <li>Canalización En Tubo.</li> <li>Flexibilidad: Si, STO*.</li> </ul>	1.6 <sup>3</sup>	1.97			2.3	Cables STO 2x2.5mm <sup>2</sup> /AWG14	

\*Service Thermoplastic Oil resistant

<sup>1</sup>Se considera I<sub>nm</sub>=I<sub>nm220</sub>

<sup>2</sup>Se considera I<sub>nm</sub>=I<sub>PLC</sub>

<sup>3</sup>Se considera I<sub>nm</sub>=I<sub>SS1</sub>+I<sub>SS2</sub>+I<sub>II</sub>

## ii. Verificación de caída de tensión admisible

Es importante limitar la caída de tensión en el alimentador de cada carga debido a la longitud de los conductores a usar, especialmente en el caso de cargas sensibles como lámparas o instrumentación. Entonces, las verificaciones se realizarán para el motor “M1”, las electroválvulas “Y1”, “Y2” y la luminaria blanca “L4”. La caída de tensión admisible según el CNE se muestra en la Tabla 3.35.

**Tabla 3.35.- Caídas de Tensión Admisible según el CNE.**

N°	Destino	$\Delta U\%_{adm}$
1	Alimentadores	-4%
2	Circuitos derivados	-2.50%
3	Circuitos de motores	-3%
4	Circuitos de iluminación	-1%

A continuación se calculan las caídas de tensión para líneas trifásicas con la (Ec. 3.36).

$$\bullet \quad \Delta U\%_{3f} = \frac{0.03092 \cdot I_{nm} \cdot L_c \cdot \cos\phi}{A \cdot U} \cdot 100\% \quad \dots(3.36)$$

$\Delta U\%_{3f}$  = Caída de tensión trifásica [%].

$\cos\phi$  = Factor de potencia.

$U$  = Tensión de alimentación [V].

$L_c$  = Distancia del tablero al punto de alimentación [m].

$A$  = Área del conductor [ $mm^2$ ].

De manera similar para líneas trifásicas, el cálculo de caída de tensión para líneas de corriente continua se realiza con la (Ec. 3.37).

$$\bullet \quad \Delta U\%_{dc} = \frac{0.0357 \cdot I_{nm} \cdot L_c}{A \cdot U} \cdot 100\% \quad \dots(3.37)$$

$\Delta U\%_{dc}$  = Caída de tensión en corriente continua [%].

Entonces aplicando la comparación de la (Ec. 3.38) se verifica el cumplimiento de la caída de tensión con los valores de la Tabla 3.32.

- $\Delta U\%_{3f}, \Delta U\%_{dc} \leq \Delta U\%_{ad}$  ... (3.38)

$\Delta U\%_{ad}$  = Caída de tensión admisible en el circuito [%].

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.36.

**Tabla 3. 36.- Caída de Tensión de los Elementos del Sistema Eléctrico.**

Elemento		Longitud Lc [m]	Inm [A]	A [mm <sup>2</sup> ]	U [V]	cosφ	ΔU%	ΔU% <sub>adm</sub>	ΔU% ≤ ΔU% <sub>adm</sub>
Motor		1.50	1.3	2.5	220	0.6	0.007%	3.0%	SI
Fuente de Alimentación	Electroválvula Y1	2.55	1.6	2.5	24.0	1.0	0.2%	1.0%	SI
	Electroválvula Y4	2.4							
	Luminaria Blanca L4	2.1							

## CAPÍTULO 4

### PLANOS Y COSTOS DEL PROYECTO

En el presente capítulo se muestran todos los costos involucrados relacionados a la parte mecánica y eléctrica (materiales, mano de obra, costos indirectos) con el fin de obtener un monto aproximado del costo para la obtención del producto final. Además se muestra la lista de planos de ensamble y despiece.

#### 4.1. Análisis de Costos

Se procede a mostrar los costos de adquisición de materiales, fabricación y montaje de la máquina en base a las cotizaciones del mercado local. Se consideran también los costos de diseño en base a las horas hombre utilizadas para ello.

##### 4.1.1. Costos de Fabricación y Ensamble

A continuación se muestran los costos para la fabricación y ensamble de la máquina sin incluir los elementos electrónicos tales como: sensores, controladores y softwares en la Tabla 4.1. Cabe resaltar que este costo es referencial y puede variar según la empresa en donde se realiza la cotización.

**Tabla 4. 1.- Costos de Fabricación y Ensamble.**

Item	Descripción	Empresa	Costos*
1	<b>Adquisición de perfiles, planchas y tuberías metálicas en acero estructural ASTM A36</b> -Tubo cuadrado 40x40x4 : L=4500 [mm] -Hierro Angular en L 20x20x3 : L=5700 [mm] -Hierro Angular en L 25x25x4 : L=8564 [mm] -Planchas LAC: esp=2, 3, 4, 5, 6 y 8 [mm] -Tubo LAC: DN65 sch 120, DN50 sch 80	Varios	S/. 4,160.00
2	<b>Fabricación de estructura metálica a todo costo según planos.</b> Soldadura TIG. Acabado Pulido	JJ DCFI S.A.	S/. 4,800.00
3	<b>Adquisición de ejes de acero AISI 1045-H</b> -Rodillos: $\phi=20$ [mm], L=700 [mm] -Ejes: $\phi=32$ [mm], L=1035 [mm]	Aceros Arequipa	S/. 960.00
4	<b>Fabricación de ejes y rodillos de la máquina a todo costo según planos.</b>	FARESA	S/. 640.00
5	<b>Adquisición de Componentes de Potencia</b> -Motor Eléctrico BALDOR -Reductor de ejes colineales DODGE -Poleas Acanaladas en V DODGE -Chumaceras y Rodamientos DODGE -Faja de Transmisión DODGE	BC BEARING	S/. 3,900.00
6	<b>Adquisición de Componentes Neumáticos</b> -Válvulas electroneumáticas NC 3/2 y 2/2 FESTO -Válvula de estrangulamiento y antirretorno -Cilindro redondo Neumático de simple efecto ESNU-FESTO -Boquillas de Aire FESTO -Unidades de Mantenimiento FR y FLR FESTO -Conexiones, tuberías	FESTO	S/. 9,600.00
7	<b>Faja transportadora de PVC L=4400 [mm] HABASIT</b>	Inversiones Tecno Comercial S.A.	S/. 640.00
8	<b>Fabricación y Montaje de Tablero de Mando IP 56</b> (Arranque de motor hasta 1 HP y transformador-rectificador 220VAC/24VDC) Incluye: Sensor de Proximidad, Guardamotor, llave termomagnética, transformador, tablero con botonera y montaje en rieles DIN.	Eléctrica JB S.A.C.	S/. 1,620.00
9	<b>Accesorios para Montaje</b> -Pernos, tuercas, arandelas, pines, anillos elásticos, soportes, entre otros.	IMDICO	S/. 480.00
10	<b>Ensamble de la máquina a todo costo.</b>	JJ DCFI S.A.	S/. 800.00
		<b>Costo Total</b>	<b>S/. 27,600.00</b>

\*Costos incluyen IGV.

#### 4.1.2. Costos del diseño Mecánico-Eléctrico

Las actividades de diseño mecánico-eléctrico consistieron básicamente en la investigación acerca de las tecnologías de máquinas seleccionadoras de frutas, análisis de soluciones, análisis dimensional y ergonómico, cálculos de resistencia, selección de

componentes mecánicos y eléctricos, realización de planos de fabricación y ensamble. Se muestra en la Tabla 4.2 las horas trabajadas así como el costo total de diseño.

**Tabla 4. 2.- Lista y Costos de Elementos Estándar.**

Trabajo	Soles / Hora*	HH Utilizadas	Costo en Soles
Diseño	S/. 45	370	S/. 16,650
		<b>Costo Total</b>	<b>S/.16,650</b>

\*Incluye IGV.

#### 4.1.3. Costo Total del diseño Mecánico-Eléctrico

El costo total se obtiene de la suma de los costos de diseño mecánico-eléctrico, fabricación, ensamble y un 10% adicional de estos para solucionar imprevistos que se puedan presentar. Lo mencionado se muestra en la Tabla 4.3.

**Tabla 4. 3.- Resumen de Costos.**

Descripción	Costo en Soles
Trabajos de Diseño	S/. 16,650.00
Fabricación y Ensamble	S/. 27,600.00
Suma	<b>S/. 44,250.00</b>
10% Adicional por Imprevistos	S/. 4,425.00
<b>Costo Total</b>	<b>S/. 48,675.00</b>

#### 4.2. Lista de Planos

Se presentan en la Tabla 4.4 Y Tabla 4.5 la lista de los planos necesarios para el ensamble y la fabricación de la máquina. En el Anexo 13 se muestra el plano de ensamble y los planos de despiece del diseño mecánico-eléctrico. Cabe resaltar que en los planos no se considera los componentes de la zona de Visión.

**Tabla 4. 4.- Lista de Planos de Ensamble.**

N°	Código del Plano de Ensamble	Título del Ensamble
1	ENS - A0 - 01-1	ENSAMBLE GENERAL
2	ENS - A1 - 01-2	SECCIONES DEL ENSAMBLE GENERAL

**Tabla 4. 5.- Lista de Planos de Despiece.**

N°	Código del Plano de Despiece	Título del Plano de Despiece
1	DESP - A2 - 01	Estructura Principal
2	DESP - A1 – 01.1	Base de la Estructura
3	DESP - A3 – 01.2	Placa Frontal
4	DESP - A3 – 01.3	Placa Posterior
5	DESP - A3 – 01.4	Apoyo del Tablero
6	DESP - A3 – 01.5	Soporte de Boquillas
7	DESP - A3 – 01.6	Apoyo del Sensor Ultrasónico
8	DESP - A3 – 01.7	Apoyo del Eje del Rodillo
9	DESP - A3 - 02	Tambor Motriz
10	DESP - A3 - 03	Tambor Secundario
11	DESP - A3 - 04	Eje de Rodillos
12	DESP - A3 - 05	Rodillo
13	DESP - A3 - 06	Tapa de Rodillo Lado Libre
14	DESP - A3 - 07	Tapa de Rodillo Lado Fijo
15	DESP - A3 - 08	Soporte del Caballete del Pistón
16	DESP - A3 - 09	Trampa de Uvas
17	DESP - A3 - 10	Placa Base del Reductor
18	DESP - A3 - 11	Posicionador de Boquillas

## CONCLUSIONES

El presente trabajo fue incentivado por una necesidad de automatización de procesos agrícolas con una proyección de crecimiento en los próximos 5 años respecto a la exportación hacia mercados internacionales de consumo mayor, con la finalidad de aumentar la calidad del producto y capacidades de la máquina específicamente en el proceso de selección de uvas de mesa.

1. Se ha cumplido con el objetivo principal de este proyecto de tesis, el cual es el diseño mecánico-eléctrico de una máquina mecatrónica que automatiza el proceso de selección de uvas de mesa Red Globe con una capacidad de 200 [kg/hr] cumpliendo la Norma Técnica Peruana NTP 011.012-2005.
2. Se obtuvo el proyecto óptimo siguiendo la metodología de diseño VDI 2221. Se partió de la matriz de requerimientos, luego se definió las funciones de la máquina en el dominio mecánico, se elaboró conceptos y proyectos solución que fueron evaluados técnica y económicamente para obtener la mejor solución.
3. Se eligió materiales sanitarios en los componentes mecánicos que se encuentran en contacto con las uvas de mesa.
4. El aire comprimido utilizado para remover las gotas superficiales de agua en las uvas de mesa cumplen la norma ISO 8573-1 1.4.1 y no son perjudiciales al contacto con la uva de mesa.
5. La velocidad lineal de la faja transportadora es 25 [mm/s], la cual permite al sistema de visión y control tener un tiempo máximo de procesamiento desde la adquisición de imágenes hasta la actuación del pistón neumático de 10 [s].
6. Los esfuerzos en el eje motriz de la máquina durante su funcionamiento resultan bajas en comparación a las capacidades de resistencia, esto es debido a que las uvas de mesa tienen un bajo peso y la potencia utilizada es baja en comparación a aplicaciones de selección de productos agrícolas.

7. Se obtuvo un factor de seguridad de 4.4 en el cálculo de resistencia de la estructura de la máquina.
8. Se ha considerado dispositivos de protección tales como interruptores electromagnéticos y térmicos en los circuitos del sistema eléctrico y una guarda como protección mecánica al sistema de transmisión por cadenas.
9. El costo total estimado correspondiente al diseño mecánico-eléctrico, fabricación, ensamble e imprevistos, sin incluir la adquisición de los equipos del sistema de visión, es S/48,675.00 incluido IGV.



## OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

El diseño tuvo como premisa ser un prototipo con el fin de poder ser fabricado en un trabajo futuro para evaluar su eficiencia y eficacia real y aumentar la capacidad de producción de la máquina.

Los racimos de uvas de mesa son considerados susceptibles a desprendimiento y daño superficial de bayas. Por lo tanto, se consideró para el trabajo de tesis que las zonas de carga y descarga de los racimos serán realizados de forma manual en los lados laterales de la máquina.

El transporte de la máquina es facilitada debido a lo siguiente: la longitud de la estructura es de 2.5 [m], el peso de los componentes que la conforman es bajo y suman aproximadamente 200 [kg], y el nivel de estabilidad permite a la máquina que sus apoyos tengan contacto con el piso sin necesidad de elementos de fijación.

Se realizaron pruebas experimentales sencillas para determinar el coeficiente de fricción de la uva, el ángulo de apertura de la trampa y presión admisible de soplado en la zona de secado superficial.

Considerando el diseño de la presente tesis, es posible utilizar otros tipos de uvas u otros productos agrícolas de similar tamaño y peso para la selección, ya que el diseño del prototipo permite rechazar el producto sólo por la acción de deslizamiento con la trampa. Sin embargo, sólo se realizó pruebas con racimos de uvas de mesa. Considerando la parte de control y visión por computadora, sería necesario realizar modificaciones al algoritmo para la correcta selección de productos que no corresponden a uvas de mesa Red Globe.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] MODERN FARMER MEDIA. How a Robot Can Sort 2 Tons of Grapes in 12 Minutes [en línea]. [Fecha de consulta: 21 de Setiembre 2014]. Disponible en: <http://modernfarmer.com/2014/01/robot-can-find-2-tons-perfect-grapes-12-minutes/>
- [2] DIARIO GESTIÓN. Exportación de uvas llegaría a record de US\$600 millones en próxima campaña [en línea]. [Fecha de consulta: 25 de Setiembre 2014]. Disponible en: <http://gestion.pe/economia/exportacion-uvas-llegaria-record-us-600-millones-proxima-campana-2106109>
- [3] FRESH PLAZA. Se espera que la producción de uva de mesa de Perú aumente un 15,8% en 2015 [en línea]. [Fecha de consulta: 15 de octubre 2014]. Disponible en: <http://www.freshplaza.es/article/85715/Se-espera-que-la-produccion-de-uva-de-mesa-de-Peru-aumente-un-15,8-procent-en-2015>
- [4] VDI 2221 08/1987. Systematic approach to the development and design of technical systems and products. Alemania: VDI STANDARDS, 1987. 32p.
- [5] NTP 011.12.2005. UVAS DE MESA. Requisitos. Perú: NORMA TÉCNICA PERUANA, 2005. 18p.
- [6]. Asociación Macroregional de Productores para la Exportación: Perfil de producto Uva, 2008
- [7] Dirección General de Competitividad Agraria: Características Generales y Económicas de la Uva en el Perú
- [8] guía "Recomendaciones para la construcción/cálculos. Siegling Transilon - Forbo Movement Systems,
- [9] Cálculo de la banda transportadora. Siegling Transilon - Forbo Movement Systems,
- [10] Solé, A.C. (2010). *Neumática e Hidráulica*. Barcelona, España: Marcombo Ediciones Técnicas.