

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

Escuela de Posgrado



DISEÑO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA LA SELECCIÓN DE ARÁNDANOS

Tesis para optar al grado de Magíster en Ingeniería Mecatrónica.

Presentado por:

CARLOS ALBERTO RUDAS RAMÍREZ

Diciembre 2015

Lima - Perú



© 2015, Carlos Alberto Rudas Ramírez

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 sector agrícola en el Perú está creciendo de manera constante en el especial la producción de arándanos pero hay una demanda peruana insatisfecha en las maquinarias necesarias para la automatización de los procesos, el Perú acostumbrado a la compra de maquinarias necesita de una tecnología propia y más económica siendo esto una prioridad en el sector.

La presente tesis es un aporte para el desarrollo de tecnología propia en la cual se diseñó un sistema Mecatrónico que selecciona arándanos en función de su forma color y tamaño mediante sistemas mecánico-eléctrico y de procesamiento de imágenes que influyen directamente en la adecuada selección de arándanos de forma unitaria además de ello también se tuvo en consideración la velocidad de procesamiento, la dosificación adecuada por tamaños y la conservación de la textura del arándano, el diseño se desarrolló usando la metodología basada en la VDI 2221 el cual es un método morfológico generalizado para el diseño de sistema mecánicos y mecatrónicos.

Finalmente en la elaboración de detalles se desarrolla a partir de proyecto definitivo obtenido desde la metodología VDI 2221, obteniendo la documentación necesaria del diseño para la fabricación y selección de cada una de las piezas, finalmente en el análisis de costos se determinó el valor de la construcción del sistema Mecatrónico obteniendo un valor de 10574 dólares americanos el cual se vuelve económicamente atractivo para los agroexportadores nacionales.



Dedicado a mis padres por su apoyo incondicional gracias por su paciencia y comprensión durante el tiempo que duró la maestría.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, por su paciencia, comprensión y apoyo incondicional.

Al Ing. Benjamín Barriga por sus consejos y asesoría, por la dedicación de su tiempo.

A los profesores de la especialidad de Ingeniería Mecánica de la PUCP, por algunas recomendaciones dadas.



ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	x
INTRODUCCIÓN	1
I. ESTADO DEL ARTE.....	3
1.1 Estado del arte del producto.....	3
1.1.1 Indicadores de calidad de los arándanos.....	6
1.2 Estado del arte de la tecnología	8
1.3 Estado del arte de la técnica.....	10
II. DISEÑO CONCEPTUAL	12
2.1 Lista de Exigencias	13
2.2 Determinación de la estructuras de funciones	15
2.2.1 Estructuras de funciones mecánica.....	16
2.2.2 Estructuras de funciones electrónica.....	18
2.2.3 Estructuras de funciones sistema de visión.....	19
2.3 Conceptos de solución	20
2.3.1 Matriz Morfológica.....	20
2.3.2 Disposición Básica.....	22
2.4 Determinación de la solución óptima	25
2.4.1 Evaluación del conceptos de solución	25
2.4.2 Concepto de solución Óptimo.....	27
2.5 Elaboración del proyecto	29
2.5.1 Proyectos preliminares.....	29
2.5.2 Evaluación del proyecto preliminar	28
2.5.3 Determinación del proyecto preliminar	3

III.	CALCULO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES	37
3.1	Distribución de etapas del diseño para el cálculo	37
3.2	Elaboración de cálculos preliminares	38
3.3	Cálculos diseño por etapas	38
3.3.1	Cálculo de la etapa de alimentación.....	38
3.3.2	Cálculo de la etapa de transporte	41
3.3.3	Cálculo de la etapa de dosificación	47
3.3.4	Cálculo de la etapa de selección	51
3.3.5	Cálculo de la etapa de recojo	56
3.4	Cálculo Estructural.....	57
3.5	Selección de Sensores	59
3.6	Especificaciones para el procesamiento de imágenes.....	60
3.7	Diseño General de un Sistema	62
IV.	ANÁLISIS DE COSTOS Y PLANOS	63
4.1	Tabla de Costos.....	63
4.2	Diseño General de un Sistema	65
4.3	Cotizaciones de Máquinas semejantes.....	65
	CONCLUSIONES	67
	BIBLIOGRAFIA	68
	A N E X O S	71
	Anexo 1: Tabla de cálculo geométrico de tolva de alimentación.....	
	Anexo 2: Ficha de datos de la faja transportadora.	
	Anexo 3: F.S. recomendados para construcción de maquinaria.....	
	Anexo 4: Características de los mototambores INTERROLL	
	Anexo 5: Características de DRUM MOTOR 113i INTERROLL.....	
	Anexo 5.1: Descripción de DRUM MOTOR 113i.....	
	Anexo 6: Propiedades mecánicas del acero inoxidable.....	
	Anexo 7: Factores de carga según ASME.....	
	Anexo 8: Longitud del cilindro 113i	
	Anexo 9 : Características mecánicas del DRUMMOTOR 138i.....	
	Anexo 10: Características del Poliuretano	
	Anexo 11: Datos mecánicos del mototambor.....	
	Anexo 12: Fuerza de estiramiento de la faja	
	Anexo 13: Longitud del cilindro Interroll	
	Anexo 14: Máquinas cotizadas.....	
	Anexo 15: Características de la faja circular.....	

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1: Reporte de exportaciones Arándanos.....	8
Tabla 2.1: Lista de Exigencias del diseño.....	8
Tabla 2.2: Evaluación de los conceptos de solución.....	26
Tabla 2.3: Evaluación técnica de proyectos preliminares.....	33
Tabla 2.4: Evaluación económica de proyectos preliminares.....	34
Tabla 2.5: Valores x_i , y_i	34
Tabla 3.1: Potencia, Velocidad y Fuerza de Tracción en la banda.....	48
Tabla 3.2: Tabla de DRUMMOTOR seleccionado.....	49
Tabla 3.3: Sensores en el diseño del Sistema Mecatrónico.....	59
Tabla 3.3: Tiempos de Obturación.....	61
Tabla 4.1: Cuadro de costos de la Maquina.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1: Arándano <i>Vaccinium Corymbosum</i>	03
Figura 1.2: Mapa de Producción de Arándanos	05
Figura 1.3: Cuadro de exportación de Arándanos.....	05
Figura 1.4: Niveles de deshidratación.....	07
Figura 1.5: Falta de cera (textura) del Arándano	08
Figura 1.6: Sistema Mecatrónico Multiselección	09
Figura 1.7: Sistema Mecatrónico de selección dosificada	09
Figura 1.8: Método del árbol.....	10
Figura 2.1: Proceso Generalizado de Desarrollo y Diseño VDI 2221	13
Figura 2.2: Representación de la maquina como caja negra.....	15
Figura 2.3: Estructura de función Global.....	16
Figura 2.4: Estructura de Funciones Mecánica	17
Figura 2.5: Estructura de Funciones Electrónica	18
Figura 2.6: Estructura de Funciones Sistema de Visión	19
Figura 2.7: Matriz Morfológica	21
Figura 2.8: Concepto de solución 1	22
Figura 2.9: Concepto de solución 2	23
Figura 2.10: Concepto de solución 3	24
Figura 2.11: Concepto de solución 4	25
Figura 2.12: Concepto de solución Óptimo	27

Figura 2.13: Textura y distribución de arándanos en la faja inclinada	28
Figura 2.14: Detalle de la faja circular	28
Figura 2.15: Detalle de las fajas de posicionamiento	28
Figura 2.16: Proyecto Preliminar 1	30
Figura 2.17: Proyecto Preliminar 2	31
Figura 2.18: Proyecto Preliminar 3	32
Figura 2.19: Grafica de evaluación según VDI 2225	35
Figura 2.20: Vista superior del proyecto preliminar óptimo	36
Figura 2.21: Vista frontal del Proyecto Preliminar Óptimo	36
Figura 3.1: Diagrama de etapas de cálculo	38
Figura 3.2: Esquema de diseño de tolva	39
Figura 3.3: Esquema de velocidades	40
Figura 3.4: Elementos de la etapa de transporte	41
Figura 3.5: Detalle de estampado de la faja	42
Figura 3.6: Detalle lateral de la faja inclinada	42
Figura 3.7: Diagrama de cuerpo libre de la faja	43
Figura 3.8: Mototambor DRUMM MOTOR	46
Figura 3.9: Mototambor DRUMM MOTOR - detalle interno	46
Figura 3.10: Esquema General de la etapa de Dosificación	47
Figura 3.11: Esquema de fuerzas en el eje motriz	48
Figura 3.12: Ubicación del número de rieles.	49
Figura 3.13: Esquema de separación entre fajas del eje motriz	50
Figura 3.14: Esquema de separación entre fajas del eje conducido	50

Figura 3.15: Esquema del sistema transportador del clasificador.....	51
Figura 3.16: Sistema de Clasificación con actuador LEDEX	53
Figura 3.17:Esquema del sistema de Clasificación.....	54
Figura 3.18: Esquema del sistema de Visión artificial.....	55
Figura 3.19: Ubicación de Cajones de recojo	56
Figura 3.20:Distribución de cajones de recojo.....	56
Figura 3.21:Isométrico de estructura principal	57
Figura 3.22: Distribución de cargas y momentos torsores.....	57
Figura 3.23:Diagrama de desplazamientos en la estructura.....	58
Figura 3.24: Procesamiento de Imágenes en la selección de Arándanos.....	60
Figura 3.25: Vista General del Sistema Mecatrónico	62

LISTA DE SÍMBOLOS Y UNIDADES

Símbolo	Descripción	Unidades
n	Número de líneas de proceso	
m	Masa del arándano	[g]
N	Numero de arándanos a procesar por unidad de tiempo	[1/s]
t	Tiempo	[s]
T_t	Tiempo total del proceso de selección	[s]
v	Velocidad	[m/s]
e	Coefficiente de restitución aproximado	
S_x	Alcance horizontal	[mm]
H	Altura de caída del arándano	[mm]
β	Angulo de caída en la tolva	[°]
A	Apertura transversal del chute	[m]
g	Aceleración de gravedad	[m/s ²]
L	Distancia entre ejes de faja transportadora	[m]
C	Ancho de faja transportadora	[mm]
ϕ_m	Diámetro de eje motriz	[mm]
ϕ_{pm}	Diámetro de polea motriz	[mm]
ϕ_m	Diámetro de eje conducido	[mm]
ϕ_{pm}	Diámetro de polea conducida	[mm]
S_{sd}	Esfuerzo permisible al corte	[N/mm ²]
M_f	Momento flector	[N-m]
M_t	Momento torsor	[N-m]
A_c	Área de la faja lado superior	[mm ²]
N_a	Numero de arándanos en la faja trasportadora	
W_a	Peso de arándanos en faja trasportadora	[g]
W_c	Peso de faja transportadora	[kg]
μ_c	Masa por unidad de área de la faja	[kg/m]

INTRODUCCIÓN

El Perú ha crecido de manera importante en sus exportaciones y un gran componente de estas se debe a los productos no tradicionales como los arándanos, la demanda de dicho fruto es creciente y que aún no está satisfecha siendo muy apreciada y consumida tradicionalmente por los países del hemisferio norte, principalmente EE.UU, Canadá, en algunos países europeos, tales como los Países bajos, Francia, Italia, Inglaterra y Holanda¹. En la actualidad en el Perú para cubrir dicha demanda se debe poner énfasis en el cultivo y la selección del arándano para exportación.

La selección de arándanos en el Perú se realiza de manera manual siguiendo los mismos lineamientos (selección por forma, color y tamaño), dicha manera es un factor limitante respecto a la calidad y capacidad de producción además de posibles errores en la selección debido a la fatiga que llegan a tener los trabajadores.

Por lo mencionado anteriormente es necesario realizar una selección de arándanos de forma automatizada para elevar la producción a nivel de la región ya que la demanda de producción actual del arándano fresco es alrededor de 3400T/año² siendo esto una meta por cumplir.

Todo ello plantea un objetivo general el cual es de Diseñar un sistema Mecatrónico para seleccionar arándanos en función de su color, forma, tamaño y textura con una capacidad de 100 kg/h, dicha exigencia de capacidad fue propuesta por Sierra Exportadora como modelo base, para lograr dicho objetivo se tiene que diseñar un sistema de alimentación, transporte, dosificación, conservando la textura del arándano además de seleccionar el tipo de actuador adecuado para cumplir dicho proceso de selección.

Existen diferentes metodologías para el diseño de sistemas mecatrónicos entre los que podemos mencionar: Método de la matriz de descubrimiento, método morfológico, método del árbol, Brainstorming, TRIZ, Lista de atributos, etc. La metodología que se aplicara es el método morfológico basada en la norma VDI 2221, siendo esta última la que mejor se adapta por basarse en el hecho de que un problema de diseño se resuelve mejor si se descompone en subsistemas más simples.

El diseño está limitado por la velocidad del procesamiento de imágenes y la velocidad de transporte del arándano, ambos deben trabajar de manera sincronizada y exacta. La textura suave y delicada del arándano es también un factor limitante en el diseño, por ello se dará énfasis en el desarrollo de un mecanismo que conserve la textura.

Finalmente el tipo de actuador debe tener la capacidad de empujar el arándano sin dañar el mismo, además debe tener la frecuencia de accionamiento necesaria para procesar los 100 kg/h para lo cual se diseña el sistema mecatrónico.



¹ Sierra Exportadora, "ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCION Y COMERCIALIZACION DE ARÁNDANOS EN CONDICIONES DE VALLES ANDINOS"

² Consorcio para la actividad agroexportadora, boletín 46, "FRIO AEREO" Marzo 2015. Disponible: www.frioaereo.com.pe/boletin/Boletin_FA_Mar2015.pdf

CAPÍTULO 1

ESTADO DEL ARTE

En el presente capítulo se expone una breve descripción del producto (arándano), la tecnológica de los equipos que realizan la misma función y la técnica que se desarrolla en el proceso de selección.

1.1. Estado del arte del producto

El arándano, es frutal arbustivo de tamaño pequeño, perteneciente al género *Vaccinium*, familia Ericaceae, que se desarrolla naturalmente en Norteamérica (Muñoz, 1988; Hancock y Draper, 1989)1.

Existen 3 especies que tienen importancia económica:

- *Vaccinium angustifolium* Alton (arándano bajo o "lowbush ")
- *Vaccinium ashei* Reade (arándano ojo de conejo o "rabbiteye")
- *Vaccinium corymbosum* L. (arándano alto o "highbush")



Fig. 1.1 Arándano *Vaccinium Corymbosum*

El arándano alto es un arbusto perenne, longevo, de hoja caduca con madera leñosa que alcanza una altura de 3 a 5 m en estado adulto, y sus tallos pueden tener una actividad productiva de 4 a 5 años (Lobos,1988; Muñoz, 1988; Eck, 1989). Las hojas son alternas, cortamente pediceladas de borde entero o serrado. Sus flores se presentan en racimos o terminales de color blanco que aparecen en forma basipetala en las ramas de año anterior. El arándano se considera dentro del grupo de berries. Los berries son frutos de sabores acidulados caracterizados por su breve tiempo de conservación una vez cosechados. A este subgrupo pertenecen la frutilla (strawberry), la frambuesa (raspberry), los arándanos (blueberry), la grosella (boisonberry) y la mora o zarzamora (blackberry).

Es por ello que el arándano se considera una baya o “Berry”, siendo un fruto carnoso simple, cuya pared del ovario madura en un pericarpio comestible. La baya del arándano es casi esférica, que dependiendo de la especie y cultivar puede variar entre 0,7-1,8 cm de diámetro, un peso promedio de 1.9 gr por baya [1] su color puede estar entre un color azul metálico claro a bien oscuro. La piel del fruto del blueberry es tersa y su pulpa es jugosa y aromática de sabor agridulce.

La variedad específica producida en el hemisferio sur (Argentina, Chile y Perú) es el arándano alto, Northern Highbush Blueberry, que presenta buena calidad de fruta, de maduración temprana y un bajo requerimiento de frío (temperatura de 6°C) [2].

El Perú tiene actualmente unas 2,250 hectáreas de arándanos desde que empezó con este cultivo en el año 2008. Dos años atrás su crecimiento era de 20% anual en áreas, impulsado por la expansión de las empresas más grandes. Actualmente el crecimiento por año es de 10% a 15%. Hemos pasado en cuatro años de 400 a 2,250 hectáreas.

No obstante, las grandes empresas siguen anunciando nuevos y grandes emprendimientos principalmente en el norte del país, informó William Daga Avalos, Jefe del Programa Perú Berries de Sierra Exportadora, organismo que ha venido impulsando el cultivo de este frutal. Los pequeños productores también están aumentando y aportando con más hectáreas de arándanos aunque el principal impedimento que tienen para seguir expandiéndose es la escasez de financiamiento.

La inversión es alta y la rentabilidad también. El Perú tiene excelentes condiciones agroclimáticas para este cultivo del arándano.

El Perú tiene condiciones para seguir creciendo teniendo en el 2015 como principales regiones de Producción a las regiones de La Libertad, Lambayeque, Ancash, Lima, Ica, Arequipa, Cajamarca, Junín y Cusco como se muestra en la Fig. 1.2, además de ello el Perú exportó Arándanos en el primer semestre del 2015 alcanzando los U\$ 8.1 millones a un precio de U\$ 7.58 kilo promedio USA es el principal destino con U\$ 4.7 millones (58%) le sigue Holanda con U\$ 1.7 millones (21%) ver Fig.1.3.



Fig. 1.2 Mapa de Producción de Arándanos en el Perú

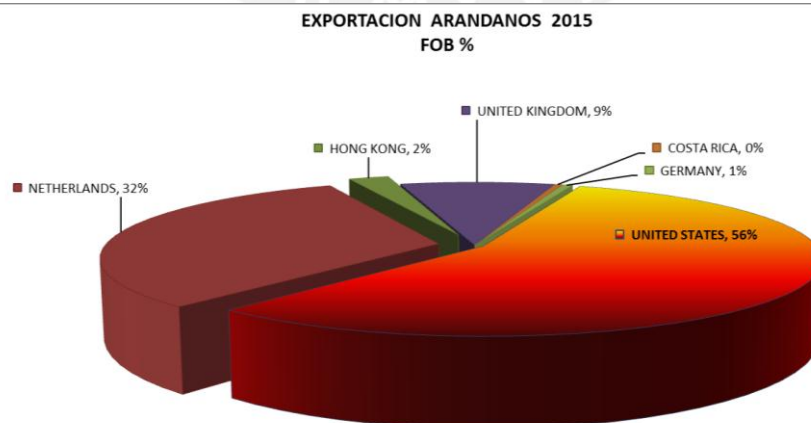


Fig. 1.3 Cuadro de Exportación de Arándanos

Reporte de Exportaciones por Subpartida Nacional

Subpartida Nacional: 0810.40.00.00 ARANDANOS O MURTONES Y DEMAS FRUT. DE GENERO VACCINIUM (FUENTE: SUNAT)

años	Valor FOB(dólares)	Peso Neto (Kilos)	Peso Bruto(Kilos)
2010	32,416.23	6,359.30	7,522.19
2011	84,474.10	6,722.17	8,652.01
2012	465,204.34	47,916.25	61,028.72
2013	17,386,084.04	1,513,091.17	1,885,123.01
2014	30,230,090.16	2,902,123.83	3,725,745.57
2015	46,032,553.42	4,987,534.56	6,359,317.77

Tabla 1.1 Reporte de exportaciones de arándanos

1.1.1 Indicadores de Calidad de Arándanos

Los indicadores de Calidad para la exportación de Arándanos se clasifican en defectos mayores y defectos menores entre los que podemos mencionar:

Defectos Mayores

1. *Tierra y otros agentes extraños similares*: Presencia notoria de tierra u otro agente en fruta, potes y/o embalajes que afecte la apariencia del producto.

2. *Indicios de Pudrición-hongos (Piel suelta)*: Se refiere a la presencia de hongos o tejido descompuesto en la fruta, causada por microorganismos fitopatógenos y/o saprófitos.

3. *Heridas abiertas y partidura*

Daño severo en el fruto, de aspecto húmedo, causado por agentes externos o por manipulación que deja la pulpa de la fruta expuesta a la acción del medio ambiente y hongos. Se consideran *los daños de insectos* y *los frutos reventados*, Mientras que la partidura Es un corte o línea visible no cicatrizada de la epidermis del fruto.

4. *Fruta Deshidratada*: Se refiere a la pérdida significativa de volumen en la fruta por pérdida de agua. Se manifiesta además, por la presencia de arrugas en la epidermis. Se considera daño desde el nivel 2 de deshidratación.



Fig. 1.4 Niveles de Deshidratación

5. *Pedicelo Desgarrado*: Frutos con desprendimiento de la epidermis y de aspecto húmedo en la base del pedicelo.

6. *Exudación de Jugo*: Se refiere a la presencia de jugo exudado en la zona de pedicelar o en el fondo del pote/clamshell.

7. *Fruta blanda*: Corresponde a fruta sensible, de consistencia elástica, de baja resistencia a presión leve.

8. *Machucón*: Depresión del fruto, provocado generalmente por golpes o presión y que al partir la baya presenta signos de oxidación en la pulpa.

9. *Fruta inmadura verde*: Corresponde a frutos que tengan más del 10% de su superficie de color verde.

Defectos Menores

1. *Fruta Inmadura Roja*: Corresponde a todo fruto que tenga más de un 20% de su superficie roja rojizo.

2. *Bajo Calibre*: Corresponde al fruto cuyo diámetro ecuatorial es inferior a 10 mm.

3. *Falta de Cera/Bloom*: Se produce cuando los frutos presentan menos de un tercio del cubrimiento natural de cera o bloom (pruina) (Ver Figura 1.5)

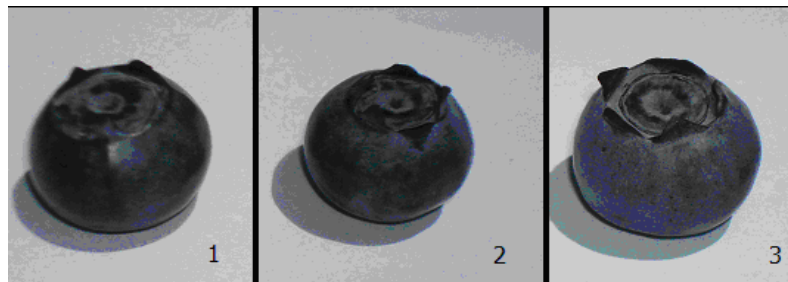


Fig. 1.5 Falta de cera (textura)

4. *Frutos con pedicelo*: Corresponde a la presencia de la estructura vegetal que une la fruta y la ramilla.

5. *Russet y cicatrices*: Lesión superficial causada por rozamiento del fruto contra estructuras de la planta, daño por insectos, mecánico o heladas. Se consideran aquellos daños iguales o mayores a 1 mm.

1.2. Estado del arte de la tecnología

Existen diversidad de equipos que seleccionan arándanos que tienen diversas condiciones y especificaciones de funcionamiento, pero podemos destacar 2 grupos para clasificar los Sistemas Mecatrónicos, los Sistemas que seleccionan arándanos en grupo y los que realizan la selección de forma unitaria (de unida en unidad)

- Selección por grupo:

Es un método que se usa para seleccionar arándanos a gran escala arriba de 1 T/h, es un método que requiere alta tecnología en el procesamiento de imágenes y control del proceso por ello suelen tener un costo elevado, dentro de este grupo tenemos las máquinas de multiselección TOMRA, WECO entre otros.



Fig. 1.6 Sistema Mecatrónico Multiselección

Selección por línea:

Es un método en el cual primero se preselecciona y dosifica en función del tamaño, luego se selecciona de forma unitaria por línea de trabajo mediante el procesamiento de imágenes, este tipo de máquinas se requiere para trabajar a menor escala por debajo de las 1T/h, dentro de este grupo destaca las máquinas CNTAIZI, UNITEC entre otros.



Fig. 1.7 Sistema Mecatrónico de selección dosificada

1.3. Estado del arte de la técnica

El estado de arte de la técnica desarrollamos es la metodología a usar en el proceso de diseño Mecatrónico, como se mencionó en la parte introductoria existen diferentes tipos de metodologías entre las cuales destacan el Método de matriz de descubrimiento, método del árbol, Brainstorming, método TRIZ, y Método Morfológico.

- Método Matriz descubrimiento:

En su metodología, se genera primero una lista de atributos, procediéndose posteriormente a efectuar una combinación de dichos atributos en un orden de dos a dos generándose así una matriz bidimensional que facilita la visualización de las combinaciones posibles de todos los aspectos indicados. En ocasión de buscar un nuevo producto, este método resulta ser muy efectivo [3].

- Método del árbol

La técnica deriva del árbol de decisión como instrumento para poder modelar el proceso de creatividad. El proceso se suele dividir en varias etapas en las cuales se forman la estructura arborescente [4].

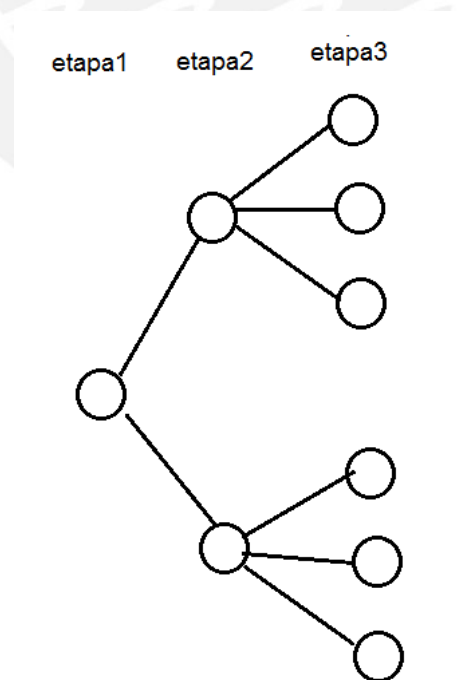


Fig. 1.8 Método del árbol

- Brainstorming

También conocida como tormenta de ideas, consiste en la generación de ideas por reflexión en un grupo mediante la supresión de toda crítica, además de ello debe existir un líder que debe preparar y conducir la reunión y un secretario para la toma de notas.

- Método TRIZ

La metodología TRIZ pretende haber encontrado puntos de vista únicos entre la ciencia y la tecnología, además de haber establecido una metodología para la resolución de problemas tecnológicos.

- Método Morfológico

Esta metodología es una extensión de varios conjuntos, su base se encuentra en el hecho de que un problema de diseño se resuelve mejor si se descompone en subsistemas [4] más sencillos de idear.

En el Diseño Mecatrónico de la presente tesis se realiza con “El método morfológico generalizado de procedimiento de diseño”, se describe un estado actual de la tecnología, inicialmente se desarrolla una lista de exigencias que plantea los objetivos para el diseño, luego por medio de una abstracción se consigue realizar la estructura de funciones donde se exploraran todas las funciones que el sistema Mecatrónico debe de cumplir para llevar a cabo su función principal, para encontrar las posibles soluciones se presenta la “Matriz morfológica”, se evalúa las combinaciones técnica y económica obteniendo un proyecto definitivo.

CAPÍTULO 2

DISEÑO CONCEPTUAL

En el presente capítulo se expone las consideraciones que se han tomado en cuenta para el diseño y la fabricación del equipo, así como una descripción detallada de sus características y funciones. Se ha creído conveniente hacer esta presentación en base al Método Morfológico basada en la norma VDI 2221. Su base se encuentra en el hecho de que un problema de diseño de un producto (en este caso sistema Mecatrónico) se resuelve mejor si se descompone en subsistemas, llegando así a las soluciones óptimas, la calidad del resultado del diseño es la consecuencia en todo caso de la experiencia y el conocimiento que posee el diseñador con su actividad.

En general todos los métodos para el diseño incluyen cuatro partes básicas, encontrasen agrupadas o disgregadas según diferentes criterios [5]. Estas actividades básicas del diseñador son las siguientes:

- Comprensión de la solicitud
- Concepción de solución
- Elaboración de Proyecto
- Elaboración de detalles

Cualquiera sea el método que se elabore para diseñar, se verán estas fases de alguna manera, en este trabajo se enfocara en el proceso generalizado de desarrollo y diseño según la norma VDI 2221 como se muestra en el siguiente esquema (Fig.2.1):

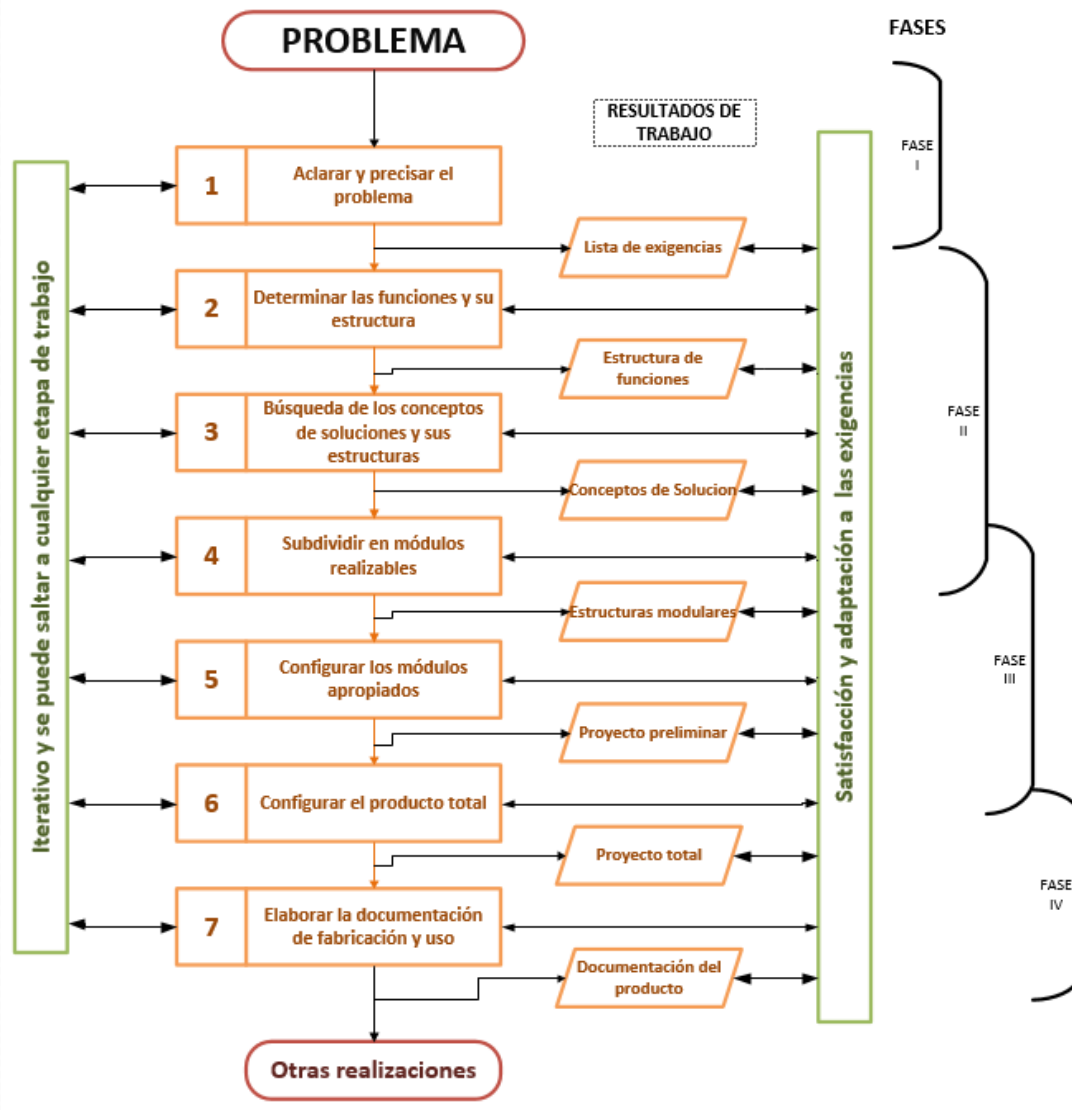


Fig. 2.1 Proceso Generalizado de Desarrollo y Diseño VDI 2221

Teniendo en claro la problemática planteada en la introducción procedemos con la lista de exigencias y las demás fases del capítulo.

2.1 Lista de Exigencias

Por lo general como datos de inicio para el Diseño Mecatrónico se recibe una descripción de una situación problemática o una serie de exigencias en dichos casos se tienen que cuantificar y clasificar de manera adecuada para lo cual se realizara en una tabla una lista de exigencias como se muestra a continuación.

Tabla 2.1 Lista de exigencias del diseño

LISTA DE EXIGENCIAS	
PROYECTO	DISEÑO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA LA SELECCIÓN DE ARÁNDANOS
Deseo o Exigencia	DESCRIPCIÓN:
Exigencia	<p>FUNCIÓN PRINCIPAL: Seleccionar arándanos en función de la forma, color y tamaño conservando la textura del arándano con una capacidad de 100 kg/h exigidos por Sierra Exportadora en una reunión dada.</p>
Exigencia	<p>MATERIAL: Arándanos: Vaccinium corymbosum L.(arándano alto o " highbush") Cuyas características físicas son: -Arándano de 7-18 mm -Color azul metálico -Peso promedio de 1.9 gr c/u</p>
Exigencia	<p>CINEMÁTICA: El movimiento de los arándanos a través de la maquina seleccionadora sucederá de tal manera que no cause daños en la textura, para ello usaremos movimientos que no superen la velocidad de 1m/s durante el transporte.</p>
Exigencia	<p>GEOMETRÍA: Conexiones simples, ensambles de piezas estándares fáciles de hallar en el mercado. El dimensionado del equipo debe tener una altura no mayor a 1.5x4x3m en sus dimensiones máximas.</p>
Exigencia	<p>FUERZA: Los movimientos traen con ello una análisis dinámico por ello a través de la línea se realizará un diagrama de cuerpo libre del arándano durante los traslapes de etapas, esto ayudara en una mayor comprensión de las fuerzas que actúan sobre el arándano y evitar que se dañe la forma y textura.</p>
Exigencia	<p>ERGONOMÍA: EL plano de trabajo debe cumplir con la normas establecidas en el reglamento de la RM375 además de ello el manejo de la maquina debe ser amigable y sencillo.</p>
Exigencia	<p>SEGURIDAD: El diseño no pondrá en peligro al usuario bajo ninguna circunstancia, esto se entiende tanto en relación a la integridad física como emocional. El sonido de las maquinas no puede exceder los estándares permisibles en la NTP. En cuanto al medio ambiente esta máquina será amistosa sin ningún tipo de emisión de contaminantes.</p>
Exigencia	<p>SALUBRIDAD: Las características escépticas de los materiales deben estar acorde con la normativa nacional del DIGESA y a nivel mundial bajo el Codex Alimentarius de la FAO, además la OIT brinda algunas pautas sobre el cuidado en la fabricación</p>

2.2 Determinación de la Estructura de funciones

La función total del seleccionador de arándanos puede representarse en forma de una caja negra, donde se tienen en cuenta magnitudes de entrada y salida, considerando como datos de entrada la lista de exigencias del sistema técnico.

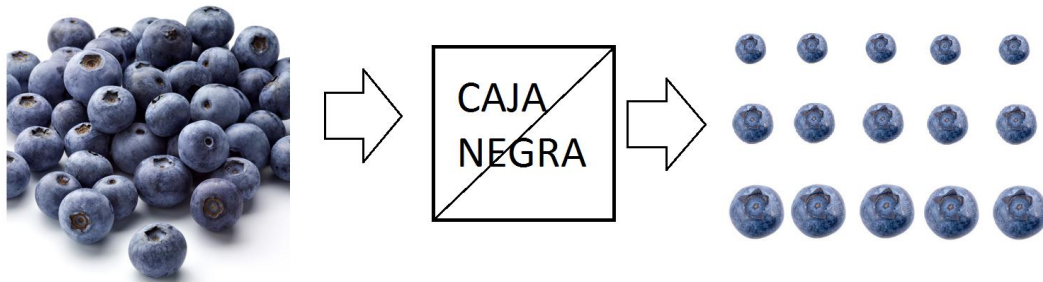


Fig. 2.2 Representación de la maquina como caja negra

Teniendo en cuenta la consideración anterior se desarrolla una estructura de funciones global y estructuras de funciones parciales (Mecánica, Electrónica, Procesamiento de imágenes) que describirán a detalle los principios tecnológicos en el cual se basara nuestra transformación.

Uno de los factores más importantes a considerar dentro de los principios tecnológicos es la capacidad humana por ello debemos distinguir los procesos básicos de la maquina seleccionadora de arándanos:

- Procesos Manuales:
 - ✓ Ingreso de arándanos
 - ✓ Recojo del depósito de arándanos defectuosos
 - ✓ Recojo del depósito de arándanos óptimos

- Procesos Mecánicos
 - ✓ Transporte de arándanos.
 - ✓ Dosificar arándanos.
 - ✓ Clasificar arándanos mediante el procesamiento digital de imágenes y la electrónica de la ejecución.
 - ✓ Recolectar o expulsar arándanos.

- Procesos Automáticos
 - ✓ Control de velocidades de los motores.
 - ✓ Toma de decisión al recolectar o expulsar los arándanos.

Con todo lo descrito con anterioridad ya podemos realizar nuestra estructura de funciones global en ello tomaremos en cuenta los aspectos electromecánicos y mecánicos de la máquina.

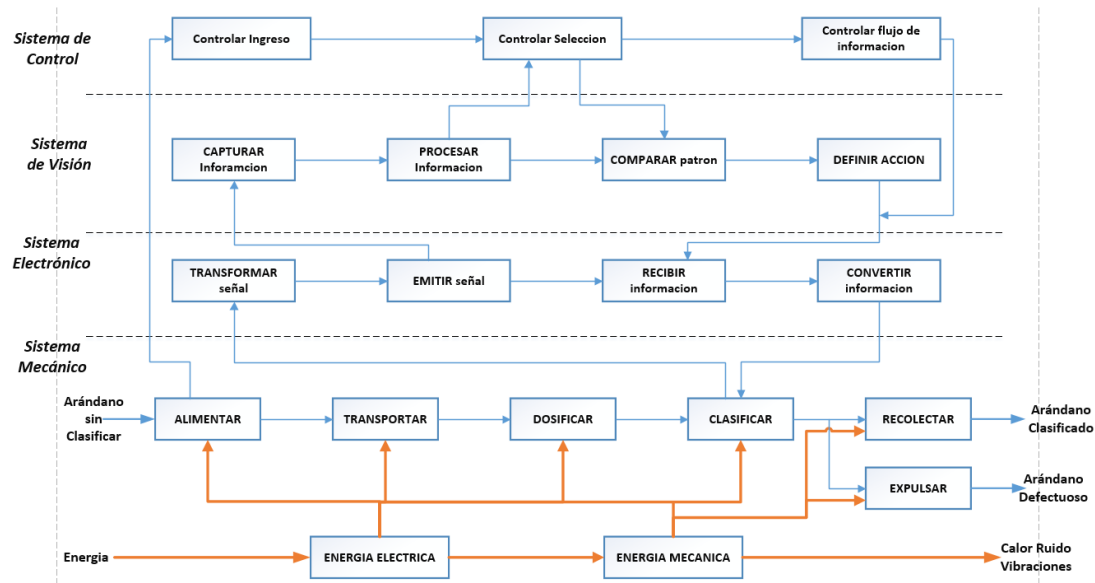


Fig. 2.3 Estructura de funciones global

2.2.1 Estructura de funciones Mecánica

Para la elaboración de estructura de funciones mecánica se debe tener en cuenta el proceso técnico fijando una estructura general basándose en una secuencia de operaciones del proceso.

Secuencia de Operaciones:

- 1) PREPARACIÓN
 - a) Colocar los arándanos en la tolva de alimentación.
 - b) Transportar los arándanos para la limpieza
 - c) Dosificar arándanos de forma alineada
 - d) Distribuir los arándanos

2) EJECUCIÓN

- a) Los arándanos distribuidos se ordenaran uno a uno.
- b) Recibir señal del actuador
- c) Seleccionar los arándanos con el actuador

3) CONTRÓL

- a) Verificar que el arándano se encuentre alineado
- b) Encender la máquina secuencialmente
- c) Controlar la velocidad de transporte y dosificación
- d) Controlar el actuador
- e) Controlar la velocidad del procesador

4) FASE FINAL

- a) Recolectar arándanos por tamaño y especificaciones requeridas
- b) Rechazar arándanos dañados.

En la elaboración de los conceptos de solución de la maquina seleccionadora de arándanos se tomó en cuenta la lista de exigencias y la estructura de funciones realizada con anterioridad, ambas partes brindan alternativas de solución que se plasman en una matriz morfológica que se mostrara más adelante.

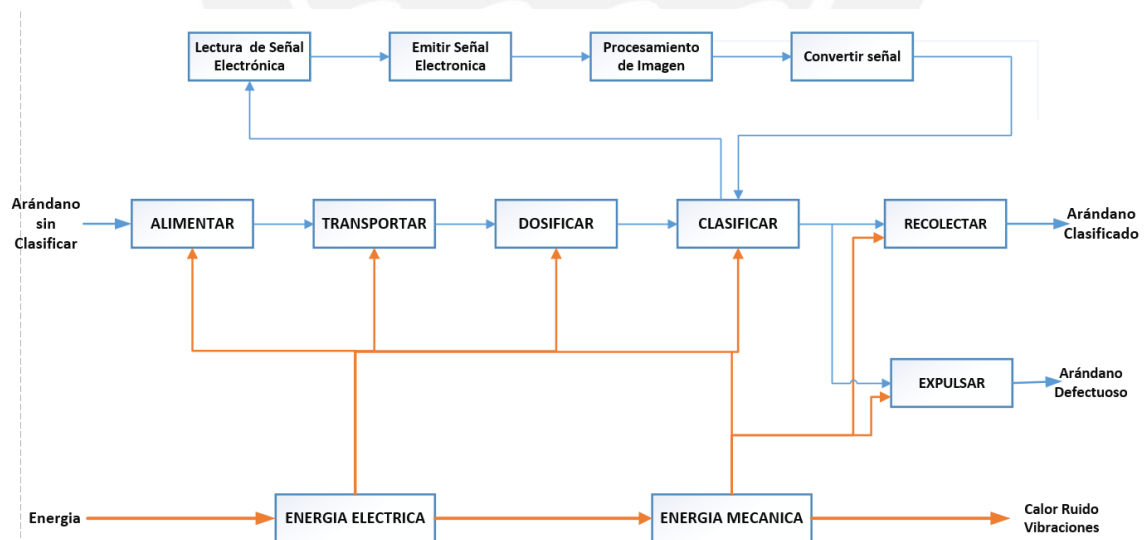


Fig. 2.4 Estructura de Funciones Mecánica

2.2.2 Estructura de funciones Electrónica

Analizando en detalle se establece el proceso técnico con las principales fases:

PREPARACIÓN

- a) Hacer pruebas previas al sistema electrónico.
- b) Programar la tarjeta electrónica
- c) Transformar señal bajo códigos 1/0

1) EJECUCIÓN

- a) Emitir señal al sistema de procesamiento de imágenes
- b) Adquirir señal de velocidad del transporte de los arándanos

2) CONTROL

- a) Verificar información recibida
- b) Controlar la velocidad de transporte
- c) Controlar la velocidad del procesador
- d) Controlar los accionamientos secundarios y sensores

3) FASE FINAL

- a) Convertir señal de códigos a impulsos electrónicos
- b) Enviar señal hacia el tablero de mando del operador.

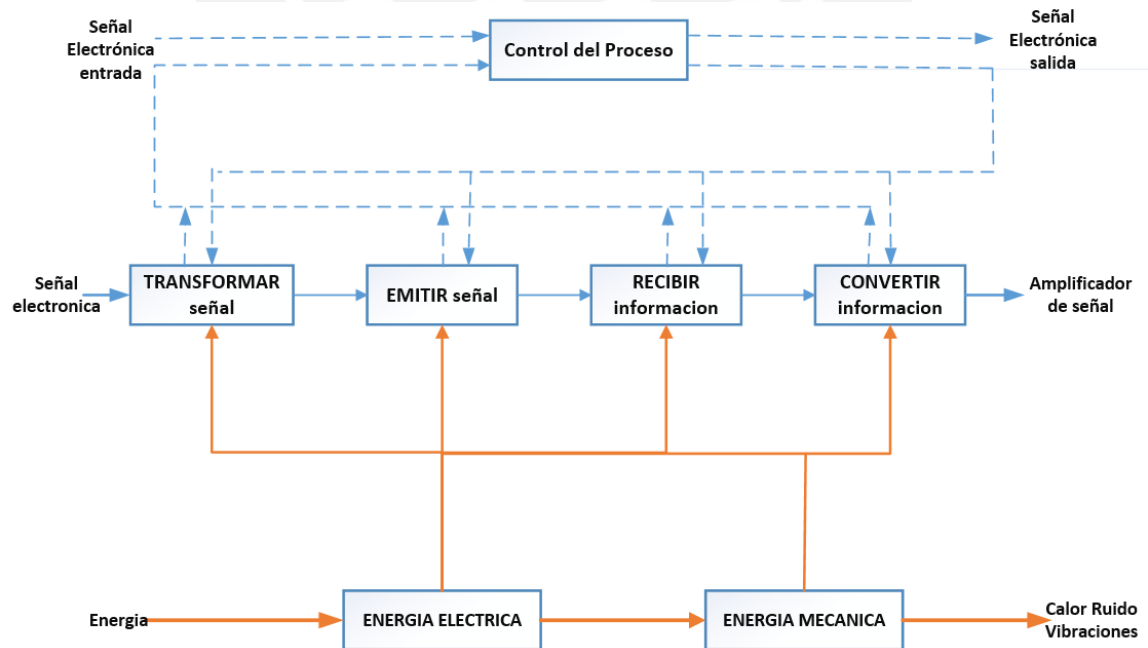


Fig. 2.5 Estructura de Funciones Electrónica

2.2.3 Estructura de funciones Sistema de Visión

Analizando en detalle se establece el proceso técnico con las principales fases:

- 1) PREPARACIÓN
 - a) Hacer pruebas previas al sistema de visión.
 - b) Recibir señal para ejecutar la captura
 - c) Capturar imagen
- 2) EJECUCIÓN
 - a) Segmentar imagen para el procesamiento
 - b) Clasificar información
 - c) Comparación de imagen con un patrón establecido
- 3) CONTROL
 - a) Verificar información recibida
 - b) Realizar una toma de decisiones
 - c) Enviar información a la lógica de control
- 4) FASE FINAL
 - a) Elegir una solución para la acción a realizar
 - b) Enviar señal a la tarjeta electrónica bajo códigos 1/0

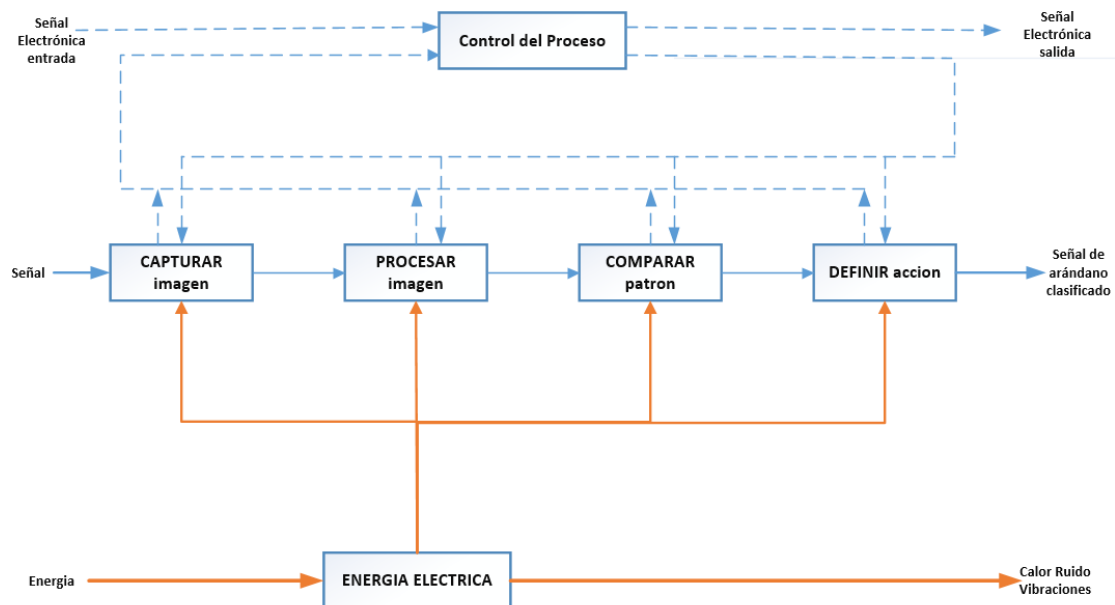


Fig. 2.6 Estructura de Funciones Sistema de Visión

2.3 Conceptos de solución

Para la búsqueda de conceptos de solución hay muchos caminos, unos tradicionales, otros intuitivos y los discursivos. Lo que aquí se presenta es una de las formas discursivas para llegar a las soluciones con la ayuda de un esquema ordenado mediante la matriz morfológica. De esta forma se pretende construir un sistema de soluciones completo para el Sistema Mecatrónico planteado.


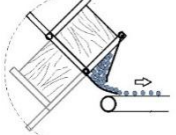
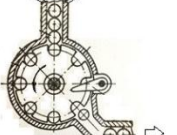
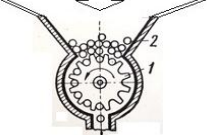
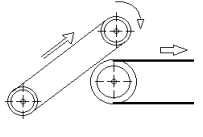
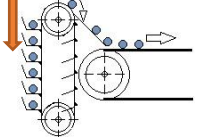
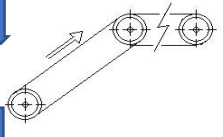
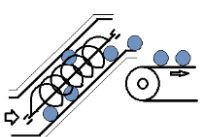
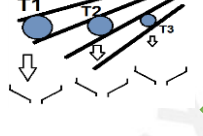
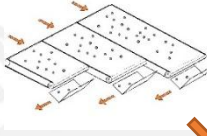
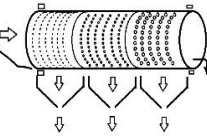
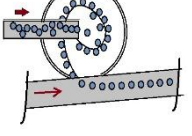
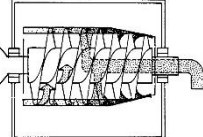
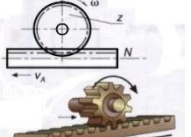
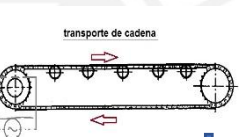
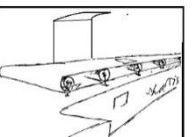




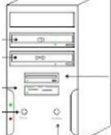



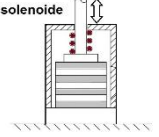
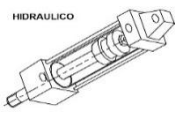
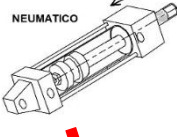
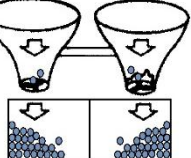
Por lo general se puede subdividir una función total en funciones parciales. A menudo se puede hacer de estas funciones parciales nuevas funciones totales secundarias y nuevamente dividir las en funciones parciales, con todo ello se puede construir la matriz morfológica. Para el diseño Mecatrónico de selección de arándanos se subdividido en 8 funciones parciales

- | | |
|--------------------|---|
| 1) ALIMENTAR | : Distribuir de manera continua los arándanos |
| 2) TRANSPORTAR | : Fase previa a la dosificar por tamaños |
| 3) DOSIFICAR | : Distribuir de manera constante por tamaños |
| 4) POSICIONAR | : Alinear los arándanos para la captura de imagen |
| 5) CAPTURAR IMAGEN | : Toma de imagen adecuada para procesarla |
| 6) PROCESAR IMAGEN | : Comparar con imagen patrón y tomar decisión. |
| 7) CLASIFICAR | : Ejecución de la decisión tomada para clasificar |
| 8) RECOLECTAR | : Recojo de arándanos en buen estado |




2.3.1 Matriz Morfológica

La elaboración de la matriz es sencilla, en la primera columna se escriben las funciones parciales y para cada función parcial en su respectiva fila, los portadores de función son los principios que realizan los efectos deseados. Los portadores de una función son las alternativas de solución que satisfacen dicha función. La búsqueda de portadores (principios de solución) debe tener metas concretas. En los portadores de la funciones se puede determinar el conocimiento que tiene el que elabora y el estado de la tecnología.

Fig. 2.7 Matriz Morfológica

		MATRIZ MORFOLÓGICA DEL DISEÑO MECATRÓNICO PARA LA SELECCIÓN DE ARANDANOS			
		ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
1	ALIMENTAR				
2	TRANSPORTAR				
3	DOSIFICAR				
4	POSICIONAR				
5	CAPTURA IMAGEN	 CAMARA SEMI-INDUSTRIAL		 CAMARA INDUSTRIAL	 ARA WEB CAM
6	PROCESAR IMAGEN	 CPU	 MICROCONTROLADOR	 DSP	 BEAGLEBONE BLACK
7	CLASIFICAR	 solenoides	 HIDRAULICO	 NEUMATICO	
8	RECOLECTAR				

Leyenda de soluciones

-  S1: Solución 1
-  S2: Solución 2
-  S3: Solución 3
-  S4: Solución 4

2.3.2 Disposición básica

Se presentará a manera de esquemas la solución cualitativa obtenida de la matriz morfológica para cada uno de las cuatro soluciones obtenidas. Estas soluciones son un primer acercamiento para obtener finalmente la solución óptima.

- Solución 1:

El arándano pasa inicialmente a través de un tolva el cual distribuye la carga hacia una faja transportadora inclinada para luego ser insertadas en un transportador en forma de rieles que hacen una dosificación por tamaños los cuales a su vez entran al proceso de selección de arándanos en buen estado mediante el procesamiento de imágenes y un actuador tipo solenoide (Ver figura 2.8).

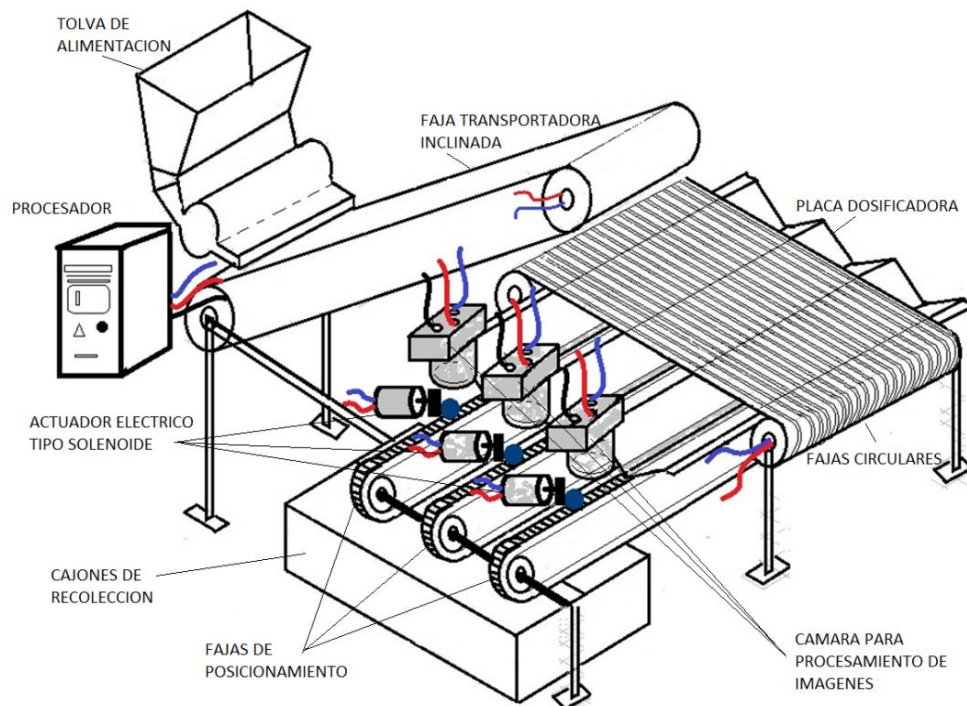


Fig. 2.8 Concepto de solución 1

- Solución 2:

El arándano es distribuido mediante un alimentador convencional hacia un elevador de cangilones, luego se desliza hacia un dosificador individual donde ocurrirá la selección del arándano en buen estado mediante el procesamiento de imágenes y un actuador eléctrico lineal (Ver figura 2.9).

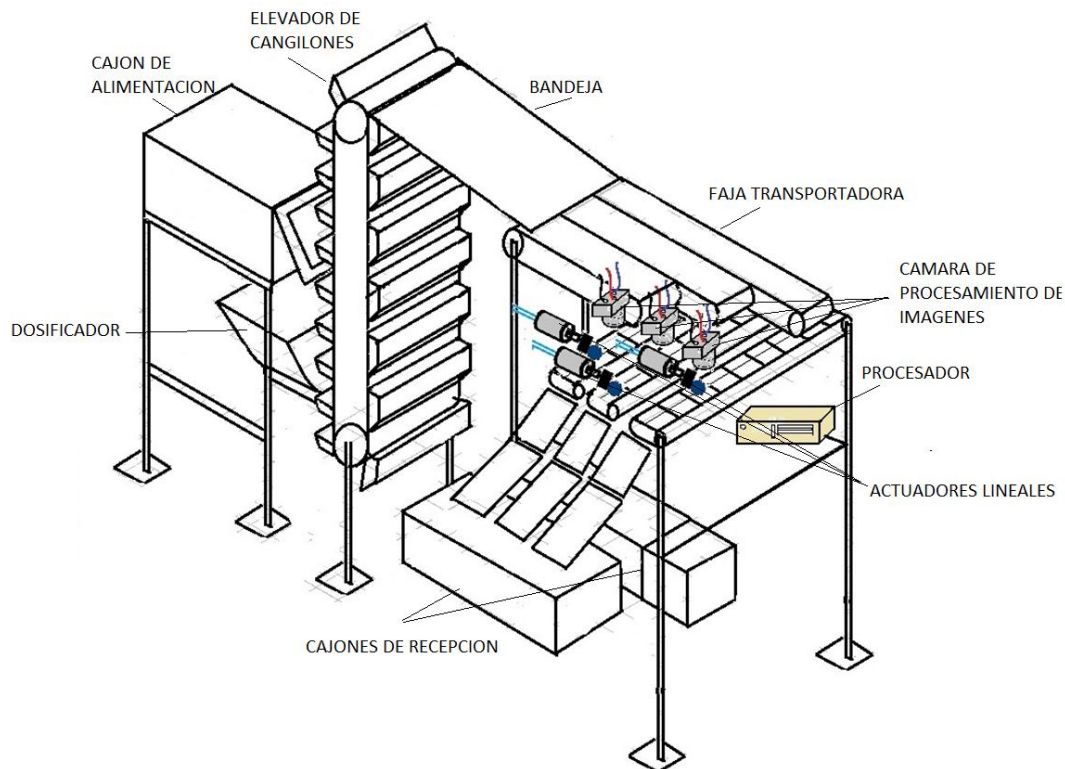


Fig. 2.9 Concepto de solución 2

- Solución 3:

El arándano es distribuido inicialmente en un tolva dosificador para luego ser transportado mediante fajas planas y elevadoras, luego de ello se inserta en un ciclón clasificador de tamaños para luego de ello seleccionar el arándano en buen estado mediante el procesamiento de imágenes y un actuador neumático de baja presión dentro de los rieles transportadores (Ver figura 2.10)

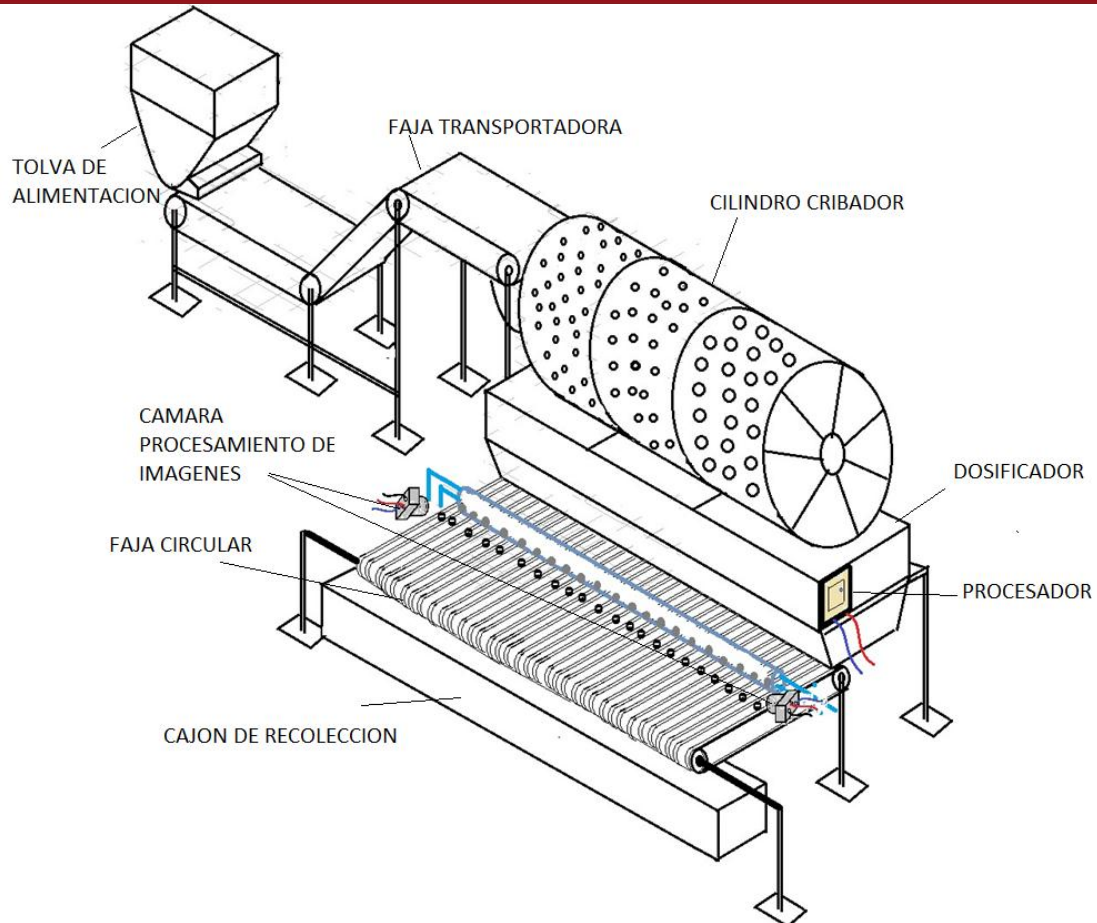


Fig. 2.10 Concepto de solución 3

- Solución 4:

El arándano es introducido mediante un tolva boca doble hacia los elevadores tipo tornillo sin fin, luego mediante una bandeja es llevada hacia un clasificador circular y luego de ello se envía a una última faja en la cual se hace la selección del arando en buen estado mediante el procesamiento de imágenes y un actuador neumático de baja presión dentro de la faja transportadora unitaria. (Ver figura 2.11)

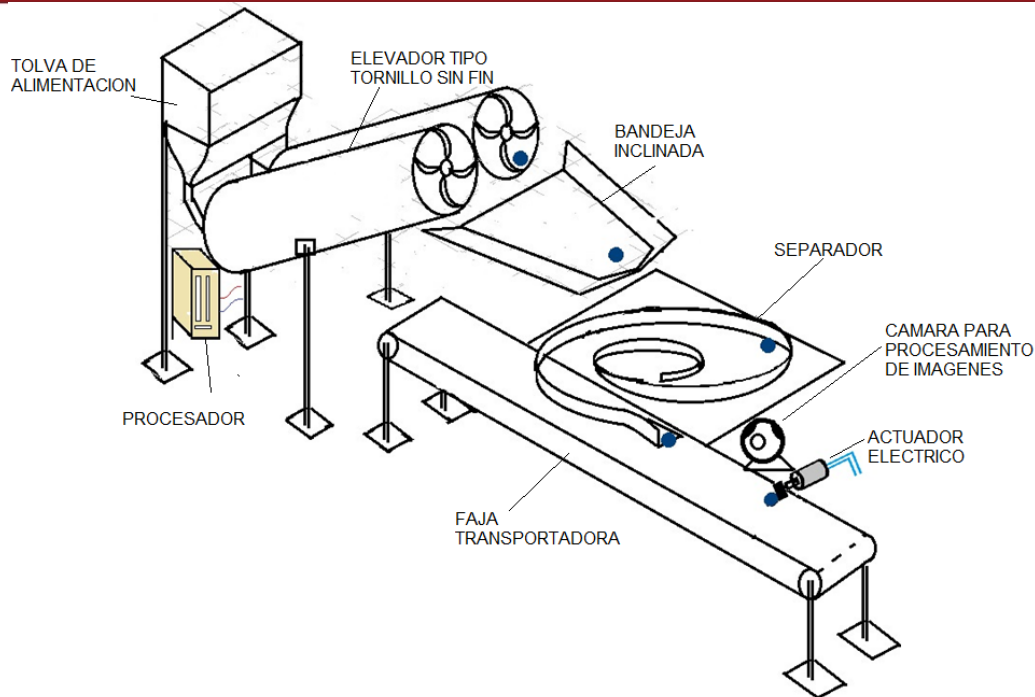


Fig. 2.11 Concepto de solución 4

2.4 Determinación de la solución óptima

La etapa final de la elaboración del concepto de solución requiere de una evaluación así como de una mejora en los puntos débiles además de una verificación. Las alternativas de concepto de solución se deben evaluar considerando que todavía es una concretización débil. La evaluación total es difícil ya que no necesariamente se puede satisfacer toda la lista de exigencias por ello se usan dos criterios para la evaluación, un criterio técnico, un criterio económico y la interacción de ambos dentro del diseño.

2.4.1 Evaluación del concepto de solución

Esta evaluación se desarrolla en una tabla de criterios técnicos y económicos dando una puntuación respectiva y comparando con la solución ideal (Ver tabla 2.2)

Tabla 2.2 Evaluación de los conceptos de solución

EVALUACION DEL CONCEPTO DE SOLUCION						
N#	CRITERIOS TECNICOS Y ECONOMICOS	SOLUCION				SOLUCION IDEAL
		1	2	3	4	
1	Buen uso de energía	3	3	2	3	4
2	Seguridad	3	2	3	3	4
3	Rapidez	2	2	2	2	4
4	Estabilidad y Rigidez	3	2	2	2	4
5	Manipulación	3	3	2	3	4
6	Confiabilidad	3	3	2	3	4
7	Facilidad de manejo	3	3	2	3	4
8	Transportabilidad	2	3	2	3	4
9	Calidad de trabajo	3	3	2	3	4
10	Menor complejidad	2	3	2	2	4
11	Cumplimiento de lista de exigencias	3	3	2	2	4
12	Posibilidades de automatización	3	3	2	2	4
13	Grado de polución al ambiente	3	2	3	3	4
14	Número de piezas	3	3	2	2	4
15	Fácil adquisición de los materiales de fabricación	2	3	3	3	4
16	Productividad	3	2	2	2	4
17	Pocos desperdicios	3	3	3	3	4
18	Número de operarios	3	3	1	3	4
19	Costo de Tecnología	3	2	2	3	4
20	Facilidad de montaje	3	3	3	3	4
21	Fácil Mantenimiento	2	2	2	2	4
22	Costos de Operación	3	2	2	2	4
		61	58	48	57	88

Criterios de Evaluación:

0= No satisface

1= Mínimo Aceptable

2= Suficiente

3= Muy Bien

4= Ideal

2.4.2 Concepto de solución óptimo

Luego de realizar la evaluación técnica y económica de los 4 conceptos de solución, resultó como concepto óptimo el número “1”, el cual describe el siguiente proceso:

El arándano pasa inicialmente a través de un tolva el cual distribuye la carga hacia una faja transportadora inclinada para luego ser insertadas en un transportador en forma de rieles de fajas circulares que hacen una dosificación por tamaños mediante una placa dosificadora, los cuales a su vez entran al proceso de selección mediante unas fajas de posicionamiento, en dicha faja con ayuda del procesamiento de imágenes (con la cámara semi-industrial) se realiza captura de imagen para luego enviar una señal hacia el procesador dicha información procesada reenvía una señal de impulso al actuador tipo solenoide el cual realiza la selección del arándano en buen estado para finalizar en la zona de recolección.

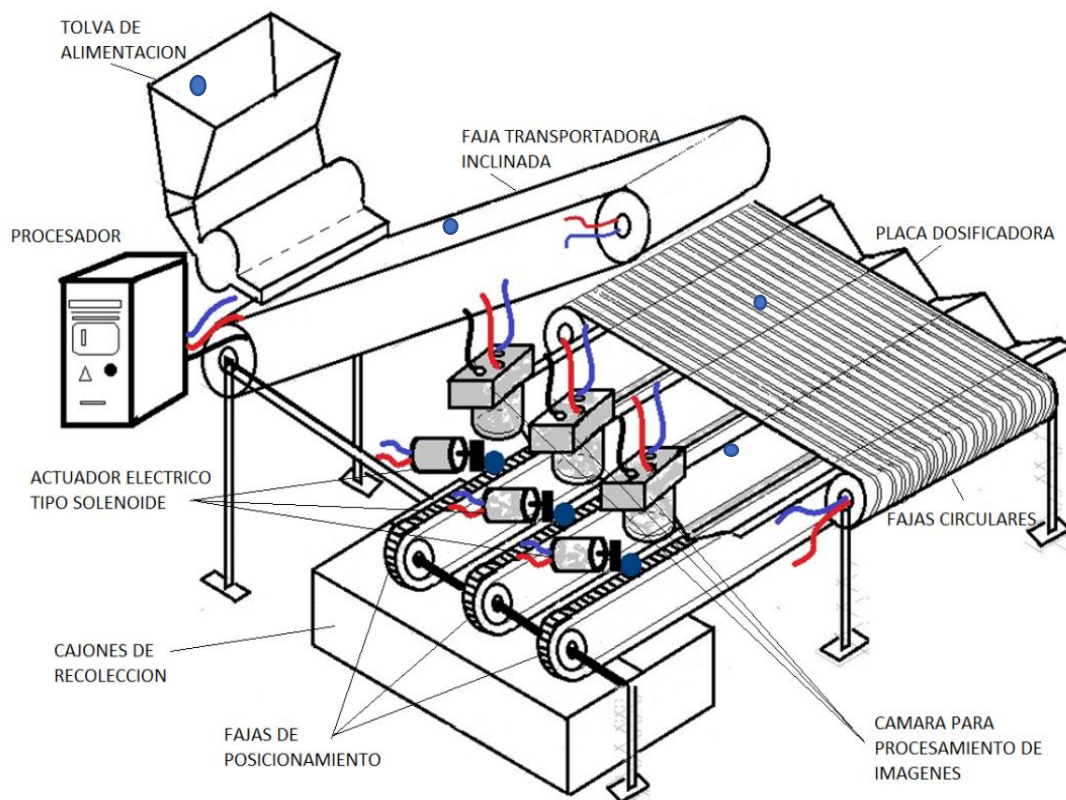


Fig. 2.12 Concepto de solución Óptimo

- Detalles característicos del concepto de solución óptimo:

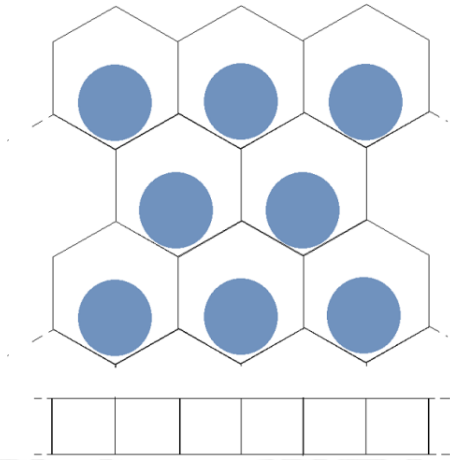


Fig.2.13 Textura y distribución de arándanos en la faja inclinada

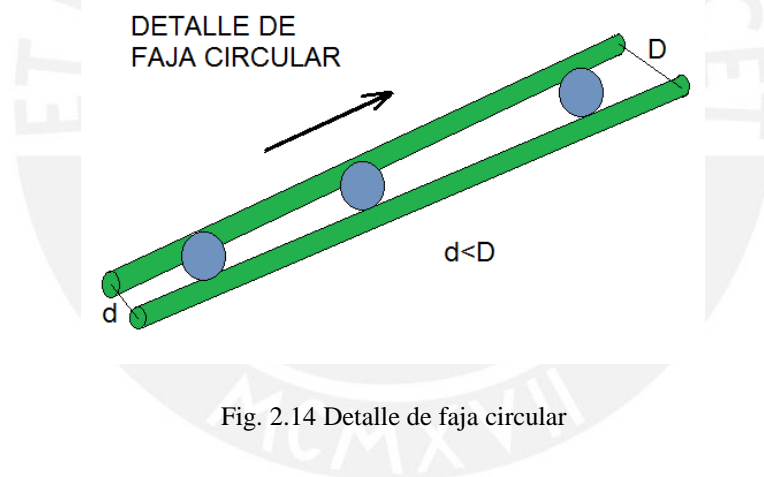


Fig. 2.14 Detalle de faja circular

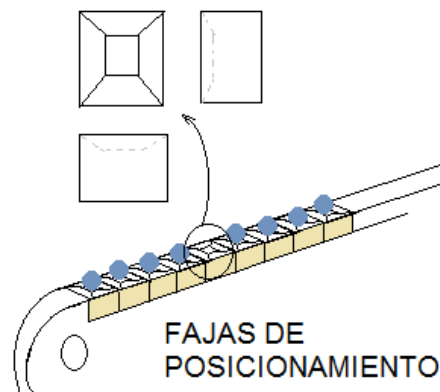


Fig. 2.15 Detalle de las fajas de posicionamiento

2.5 Elaboración del proyecto

En esta fase del diseño tiene como finalidad desarrollar un proyecto definitivo a partir de la estructura de construcción óptima determinada en la fase anterior.

Esta fase tiene dos etapas:

Proyecto preliminar

Proyecto definitivo

Para realizar adecuadamente esta labor se debe seguir estas reglas básicas de claridad, simpleza y seguridad.

2.5.1 Proyecto Preliminar

Para el proyecto preliminar estamos considerando la lista de exigencias del proyecto, la estructura de funciones y el bosquejo del concepto de solución óptimo, con todo lo anterior se logra elaborar una descripción aproximada de la construcción del sistema técnico que se plasma en el proyectos preliminares. Dichos proyecto preliminares son evaluados técnicamente y económicamente, luego de la evaluación se obtiene un proyecto preliminar óptimo con el cual se deben lograr todos los datos necesarios para fabricar o adquirir los elementos que lo constituyen.

Los proyectos preliminares tienen en consideración unas etapas comunes en el diseño que se detallan a continuación:

1. Los arándanos son introducidos mediante una tolva cerrado o abierto hacia la línea de selección.
2. Los arándanos son transportados mediante una faja inclinada hacia la línea de dosificación.
3. Luego de entrar a la línea de dosificación mediante los rieles con abertura proporcional es transportado a la línea de desplazamiento unitario.
4. En la línea de desplazamiento unitario se realiza la selección del arándano mediante el procesamiento de imágenes de una cámara y un actuador que realiza la función específica.
5. Cada arándano es enviado a la zona de expulsión o recolección según sea el caso de arándano en buen o mal estado.

A continuación se detalla cada proyecto preliminar con su respectiva representación icónica a detalle y medidas principales.

PROYECTO PRELIMINAR 1 (máquina de 2.9m x 1.8m x 1.2m)

- Alimentación: Se realiza con una tolva cerrada.
- Transporte: Se realiza mediante una faja inclinada usando mototambores.
- Dosificación: Se realiza mediante rieles usando mototambores.
- Clasificación: Línea unitaria con cámara y actuador.
- Expulsión/Recolección: recipientes cuadrangulares considerando aspectos ergonómicos.

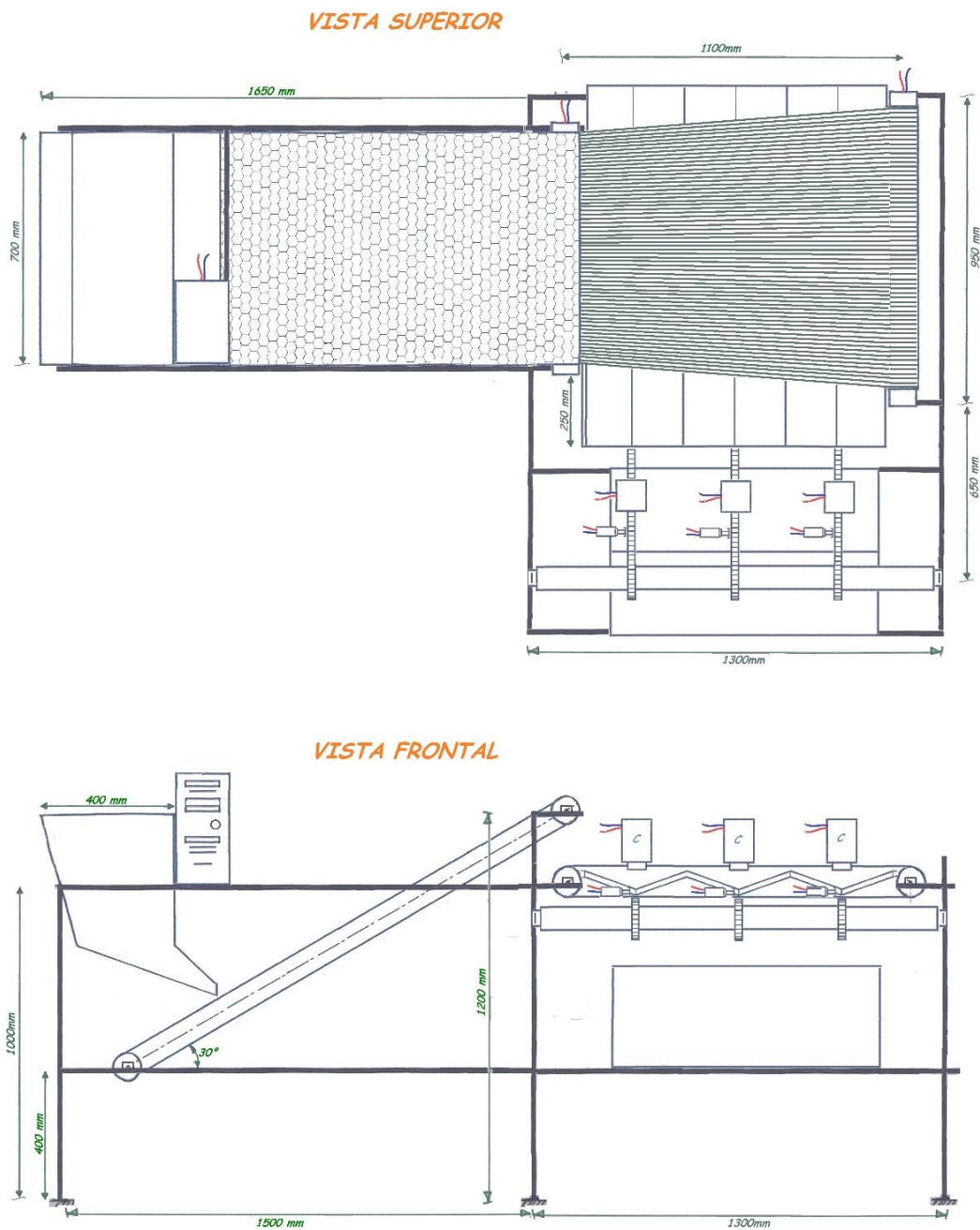


Fig. 2.16 Proyecto Preliminar 1

PROYECTO PRELIMINAR 2 (máquina de 2.8m x 1.8m x 1.2m)

- Alimentación: Se realiza con una tolva abierta.
- Transporte: Se realiza mediante una faja inclinada usando motoredutores.
- Dosificación: Se realiza mediante rieles usando motoredutores.
- Clasificación: Línea unitaria con cámara y actuador.
- Expulsión/Recolección: recipientes cónicos.

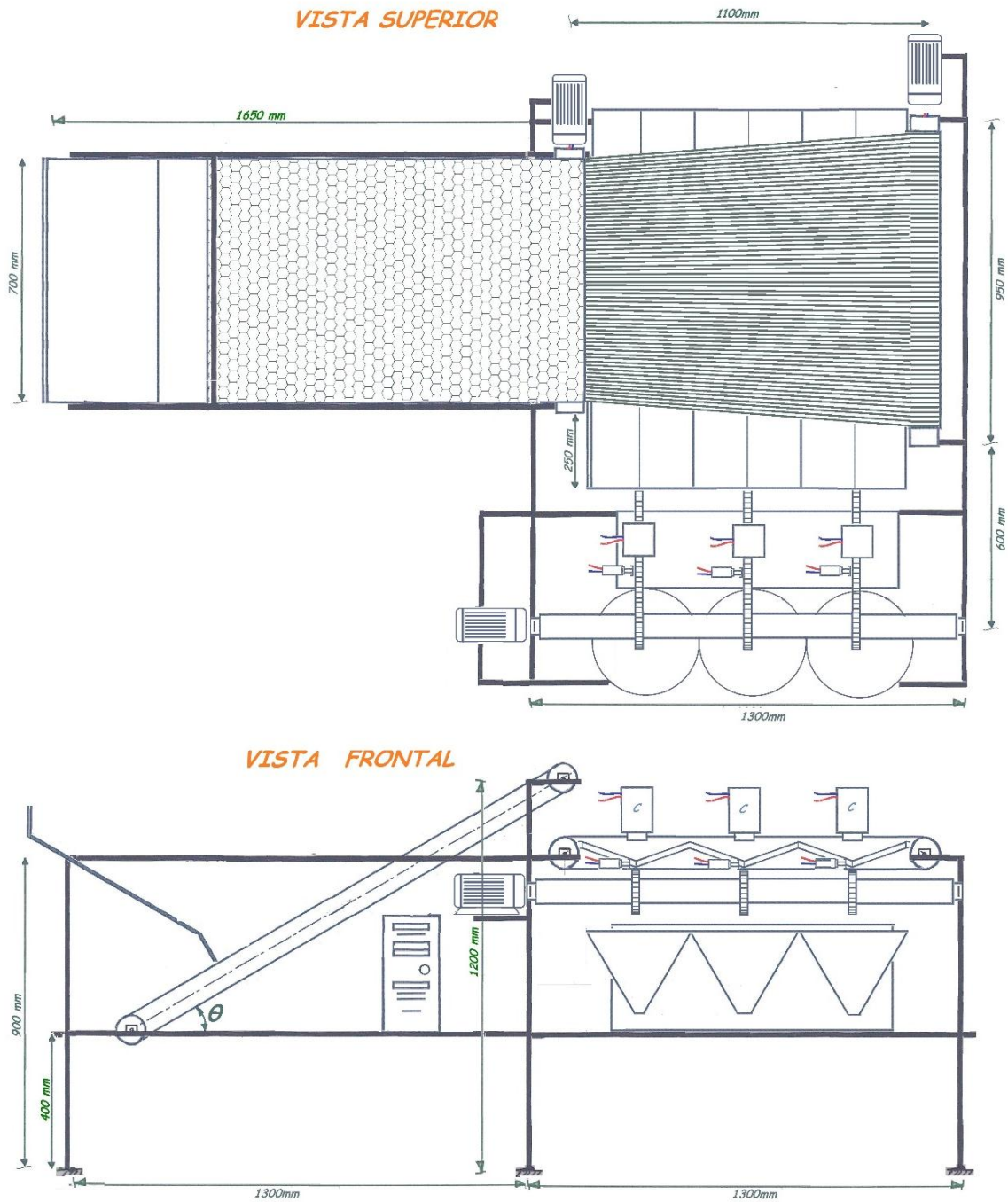


Fig. 2.17 Proyecto Preliminar 2

PROYECTO PRELIMINAR 3 (máquina de 2.7m x 1.7m x 1.2m)

- Alimentación: Se realiza con una tolva cerrada.
- Transporte: Se realiza mediante una faja inclinada usando motoreductores.
- Dosificación: Se realiza mediante rieles usando motoreductores.
- Clasificación: Línea unitaria con cámara y actuador.
- Expulsión/Recolección: recipientes semicirculares considerando aspectos ergonómicos.

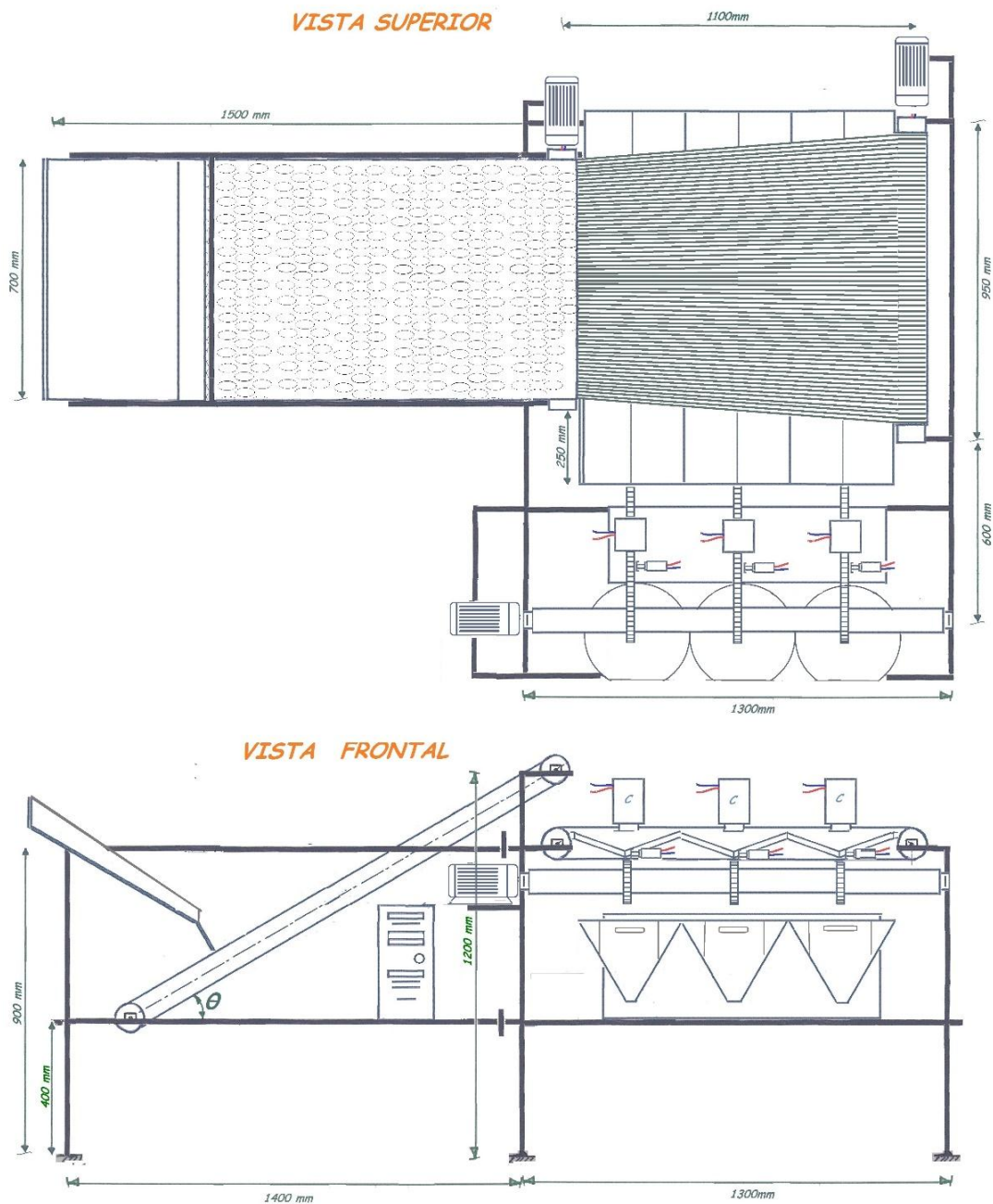


Fig. 2.18 Proyecto Preliminar 3

2.5.2 Evaluación del proyecto Preliminar Óptimo

Se presenta la evaluación de proyectos preliminares en dos tablas, tabla 11 y tabla 12, una evaluando únicamente la parte técnica y la otra la parte económica. Se tienen las siguientes consideraciones:

p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225)

0= No satisface, 1= Casi aceptable, 2= Suficiente, 3= Bien, 4= Muy bien (ideal)

g: el peso ponderado está en función de los criterios de evaluación (1 al 9)

$$\text{Dónde: } x_i = \frac{g_1p_1 + g_2p_2 + \dots + g_np_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n)p_{max}} \leq 1 \quad \& \quad y_i = \frac{g_1p_1 + g_2p_2 + \dots + g_np_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n)p_{max}} \leq 1$$

Se hace el diagrama de evaluación de proyectos preliminares según VDI 2225, figura 17, en el cual se da a conocer la alternativa que tenga el mejor valor técnico o económico y el mayor balance técnico-económico.

La alternativa que se acerca más al valor ideal y que está más cercana la línea diagonal es el proyecto 1.

Tabla 2.3 Evaluación técnica de proyectos preliminares

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN DE PROYECTOS											PUCP							
Valor Técnico (xi)																		
Proyecto: DISEÑO MECATRÓNICO DE LA SELECCIÓN DE ARÁNDANOS																		
Evaluación de diseño en la fase de proyecto preliminar.																		
Variantes de Proyectos			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución Ideal									
N#	Criterios de Evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp								
1	Función	8	3	24	3	24	3	24	4	32								
2	Forma	6	3	18	2	12	2	12	4	24								
3	Diseño	7	3	21	2	14	1	7	4	28								
4	Seguridad	4	3	12	2	8	2	8	4	16								
5	Ergonomía	4	3	12	2	8	3	12	4	16								
6	Fabricación	4	3	12	2	8	3	12	4	16								
7	Montaje	3	2	6	2	6	2	6	4	12								
8	Transporte	4	2	8	1	4	2	8	4	16								
9	Uso	4	2	8	2	8	2	8	4	16								
10	Mantenimiento	5	3	15	3	15	3	15	4	20								
Puntaje Máximo				27		136		21		107		23		112		40		196
Valor técnico						0.69				0.55				0.57				1
Orden						1				2				3				

Tabla 2.4 Evaluación económica de proyectos preliminares

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN DE PROYECTOS										PUCP		
Valor Económico (y_i)												
Proyecto: DISEÑO MECATRÓNICO DE LA SELECCIÓN DE ARÁNDANOS												
Evaluación de diseño en la fase de proyecto preliminar.												
Variantes de Proyectos				Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución Ideal	
N#	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp		
1	Función	8	3	24	3	24	2	16	4	32		
2	Forma	6	3	18	3	18	3	18	4	24		
3	Diseño	7	3	21	2	14	2	14	4	28		
4	Seguridad	4	3	12	3	12	3	12	4	16		
5	Ergonomía	4	3	12	3	12	3	12	4	16		
6	Fabricación	4	3	12	2	8	2	8	4	16		
7	Montaje	3	2	6	2	6	2	6	4	12		
8	Transporte	4	2	8	2	8	2	8	4	16		
9	Uso	4	3	12	2	8	2	8	4	16		
10	Mantenimiento	5	3	15	3	15	2	10	4	20		
Puntaje Máximo				28	140	25	125	23	112	40	196	
Valor técnico					0.71		0.64		0.57		1	
Orden					1		3		2			

La calificación de las alternativas da un valor adecuado para una solución, se construyen las gráficas donde se representan los valores relativos de evaluación técnica y evaluación económica teniendo en cuenta solo las alternativas que alcancen valores mayores a 0.6 teniendo en cuenta el valor ideal de 1.

También se deben preferir las alternativas que se encuentren más cerca de la línea diagonal, ya que ello representa que cuenta con mejor balance técnico-económico.

Para la construcción de la gráfica se ordena los valores de las tablas anteriores de la siguiente manera:

Tabla 2.5 valores x_i , y_i

	S1	S2	S3
X_i	0.69	0.55	0.57
Y_i	0.71	0.64	0.57

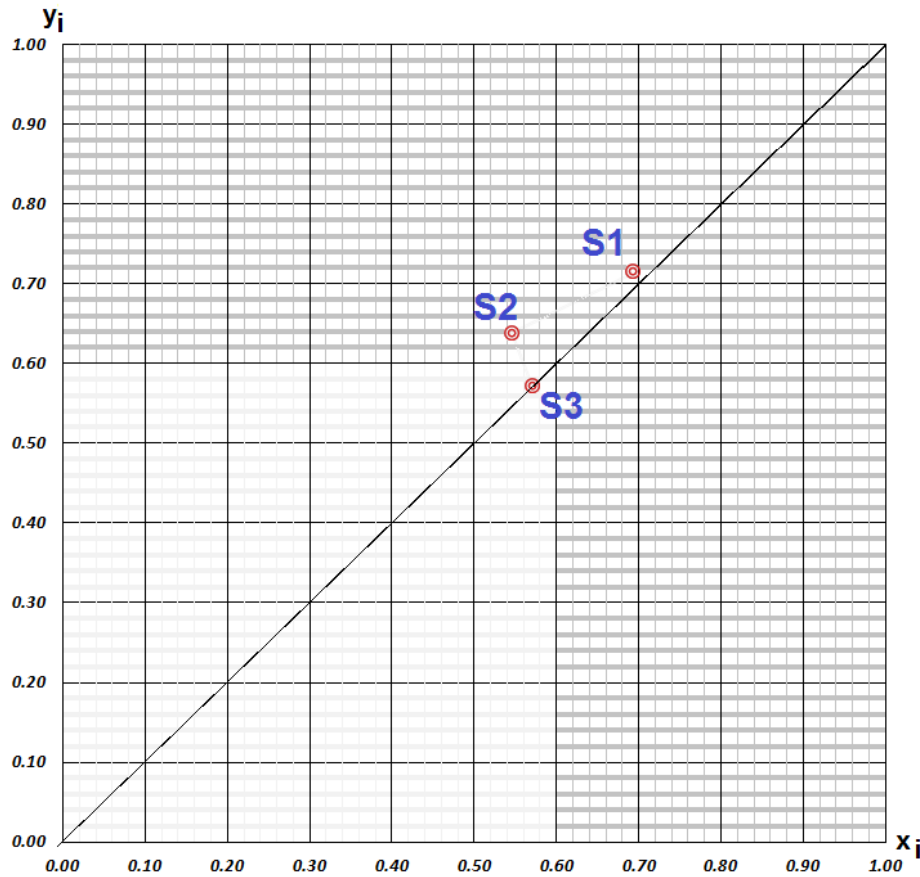


Fig. 2.19 Gráfica de evaluación según VDI 2225

2.5.2 Determinación del proyecto preliminar

Se concluye finalmente que el proyecto preliminar óptimo es la opción 1 bajo las siguientes características:

- Alimentación: Se realiza con una tolva cerrada.
- Transporte: Se realiza mediante una faja inclinada usando mototambores.
- Dosificación: Se realiza mediante rieles usando mototambores.
- Captura y Procesamiento de imágenes: Se realiza con una cámara semi-industrial y un CPU que funciona de forma independiente.
- Clasificación: Se realiza por línea con un actuador tipo solenoide.
- Expulsión/Recolección: recipientes cuadrangulares considerando aspectos ergonómicos.

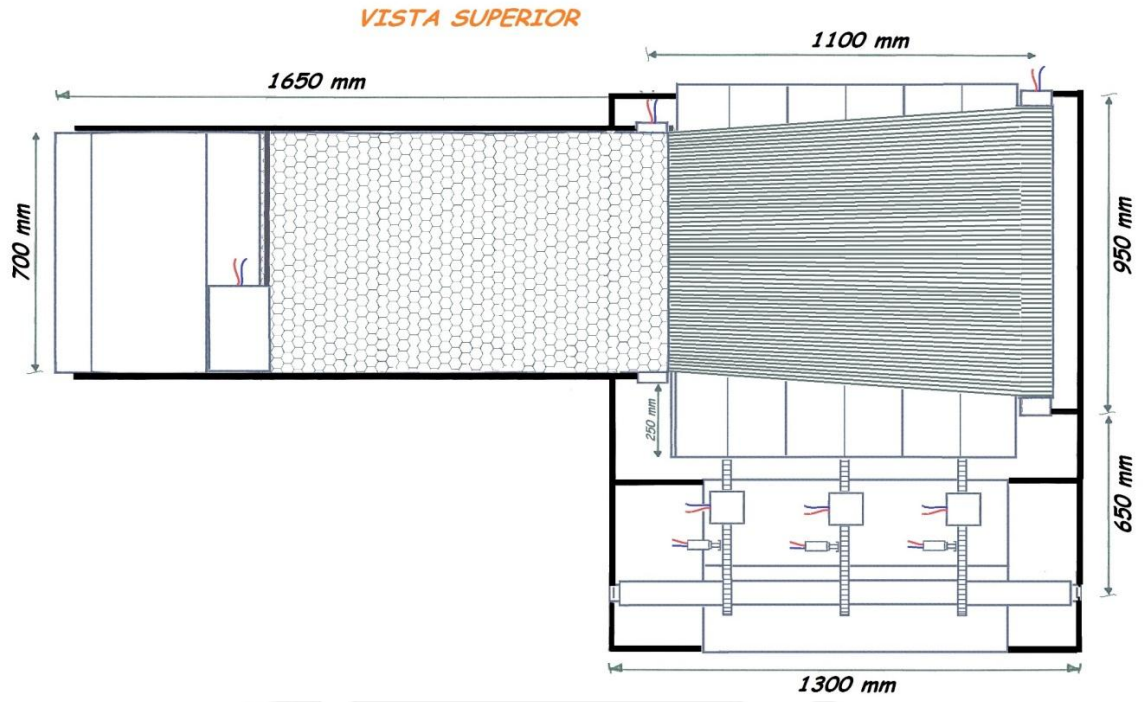


Fig. 2.20 Vista superior del Proyecto Preliminar Óptimo

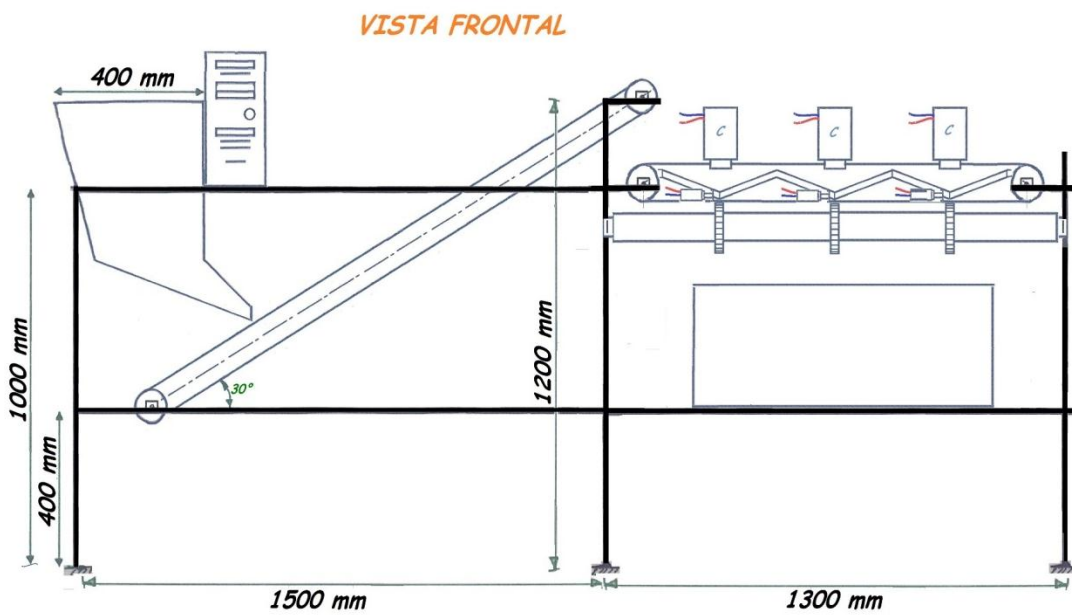


Fig. 2.21 Vista frontal del Proyecto Preliminar Óptimo

CAPÍTULO III

CÁLCULO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

En el capítulo anterior se elaboró el concepto de solución óptima que será la base de diseño para cumplir con las funciones principales y parciales dadas en el concepto de solución. En el presente capítulo se tomarán como base la solución óptima para desarrollar los cálculos respectivos haciendo una adecuada selección de materiales y componentes.

3.1 Distribución de etapas del diseño para el cálculo

El proceso de diseño y cálculo es una etapa importante por ello se describe las siguientes funciones: Alimentar, Transportar, Dosificar, Posicionar, Procesamiento de imágenes, Clasificar y recolectar. Para el cálculo se ordena las funciones en etapas ya que ello facilita la distribución del cálculo y establece un orden en el desarrollo del mismo evitando hacer cálculos redundantes y/o no coherentes que pueden llevar a un mal análisis..

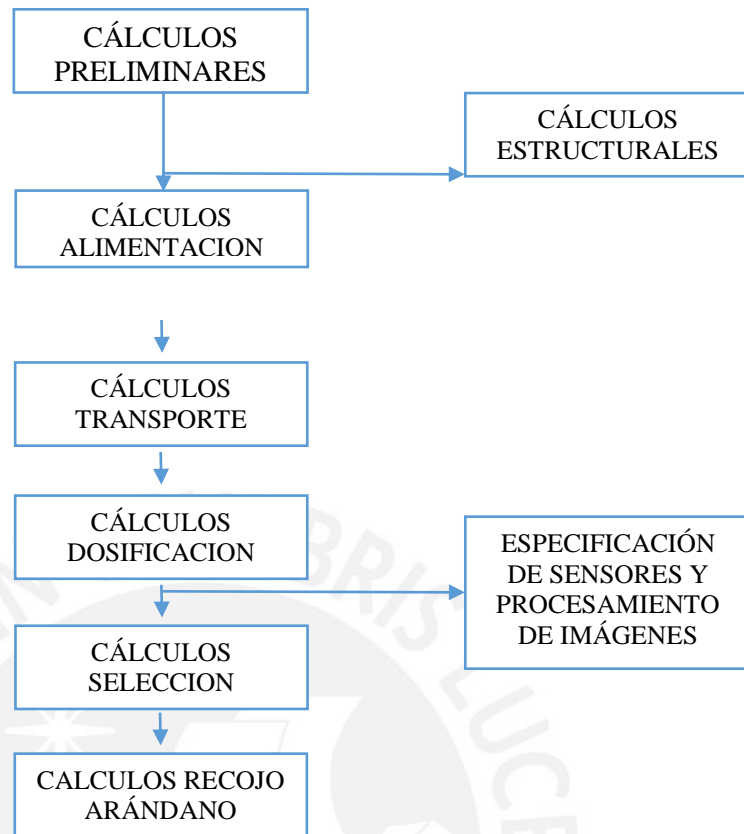


Fig. 3.1 Diagrama de Etapas del cálculo

3.2 Elaboración de cálculos preliminares

Los arándanos son un fruto pequeño (1.9 gr de peso) de gran demanda en el mercado agrícola por sus diversa propiedades benéficas, la presente tesis parte desde una necesidad de procesamiento de 100 kg/h, haciendo la división entre capacidad y peso del fruto y transformar unidades podemos concluir que debemos procesar en promedio 15 arándanos por segundo.

3.3 Cálculos diseño por etapas

3.3.1 Cálculo de la Etapa de Alimentación

El cálculo en esta etapa usaremos la figura 3.2 que esquematiza las variables a hallar entre las que destacan en la tolva de alimentación en la cual se hace un modelamiento para un arándano bajo condiciones cinemáticas.

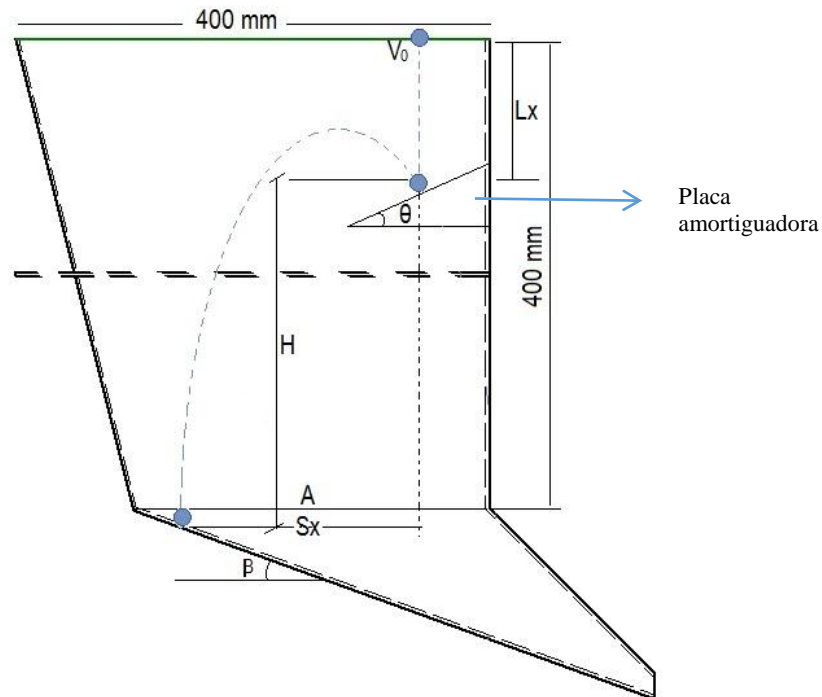


Fig. 3.2 Esquema de diseño de la tolva

Dónde:

V_0 : Velocidad inicial del arándano en el modelo [m/s]

θ : Angulo de tope para evitar atoro

g : Aceleración de gravedad [m/s²]

L_x : Altura del tope para evitar atoro [mm]

β : Angulo de caída en la tolva

A : Ancho de la boca inferior de la tolva [mm]

S_x : Alcance máximo del arándano en la tolva [mm]

Las condiciones cinemáticas en el sistema se dan antes que el arándano impacte y después que el arándano impacta sobre la placa amortiguadora todo ello se representa mediante las siguientes ecuaciones:

$$V_f = \sqrt{V_0^2 + 2gL_x} \quad (3.1)$$

$$t_2 = \frac{S_x}{V_x} \quad (3.2)$$

Donde t_2 es el tiempo que demora desde que impacta en la placa amortiguadora hasta que cae en la siguiente etapa, según la figura 3.3 $V_x = V_f \text{sen}\theta$ dicha información se reemplaza en la ecuación [3.2].

Para el análisis cinemático se busca hallar $H_{(S_x, L_x)}$ que es una función dependiente de L_x y S_x , los cuales podemos hallarlo previamente mediante las ecuaciones [3.1] y [3.2], según la figura 3.3 la velocidad inicial vertical después del impacto del arándano es igual a $V_f \text{cos}\theta$, dicha velocidad se reemplaza en la ecuación [3.3]

$$H = V_o t_2 + \frac{1}{2} g t_2^2 \quad (3.3)$$

En esta parte se considera un impacto totalmente elástico, es una consideración ya que ese sería nuestro caso de análisis más crítico, si reemplazamos la ecuación [3.1] y [3.2] en la ecuación [3.3] podemos obtener la siguiente expresión:

$$H = \frac{S_x}{\tan \theta} + \frac{1}{2} g \left(\frac{S_x}{\sqrt{V_o^2 + 2g L_x \text{sen}\theta}} \right)^2 \quad (3.4)$$

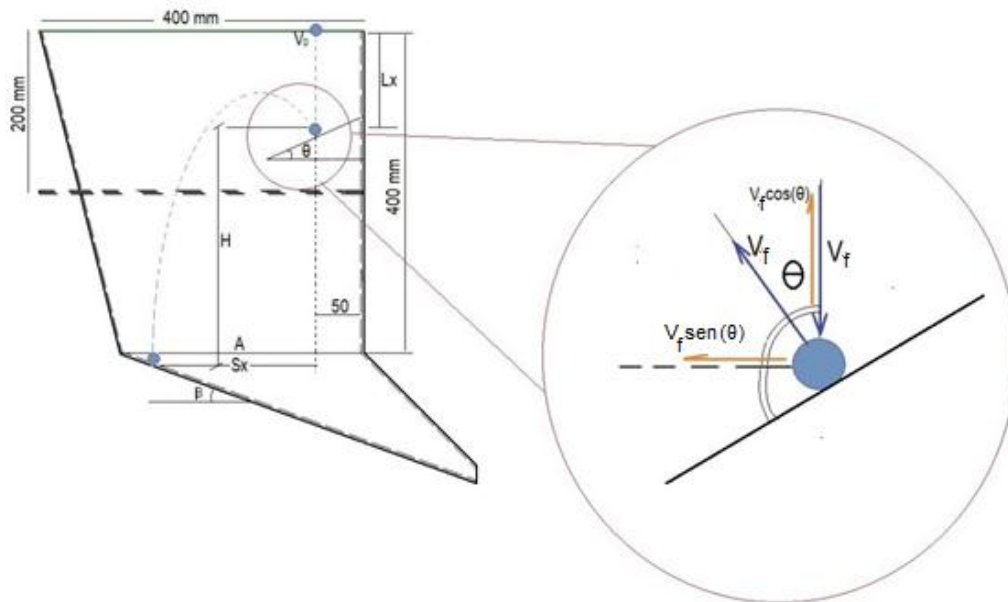


Fig. 3.3 Esquema de velocidades

Además A, H, Lx y Sx tienen limitaciones geométricas en el diseño

$$50 + S_x < A < 400 \text{ mm}$$

$$400 - L_x < H < 400 \text{ mm}$$

$$0 < S_x < 350 \text{ mm}$$

$$0 < L_x < 200 \text{ mm}$$

El cálculo del β se usa la siguiente formula:

$$\beta = \tan^{-1} \left[\frac{A - (S_x + 50)}{H - (400 - L_x)} \right] \quad \dots(3.5)$$

La solución del diseño se adjunta el anexo 1 obteniéndose los siguientes valores que optimizan el valor de A, L_x , β

$$A=250 \text{ mm}$$

$$L_x=125 \text{ mm}$$

$$\beta=23^\circ$$

3.3.2 Cálculo en la Etapa de Transporte

En esta etapa se realizara la selección de la faja transportadora, el cálculo y selección del eje motriz y el eje conducido teniendo en cuenta la lista de exigencias además de cumplir con las condiciones del proyecto preliminar.

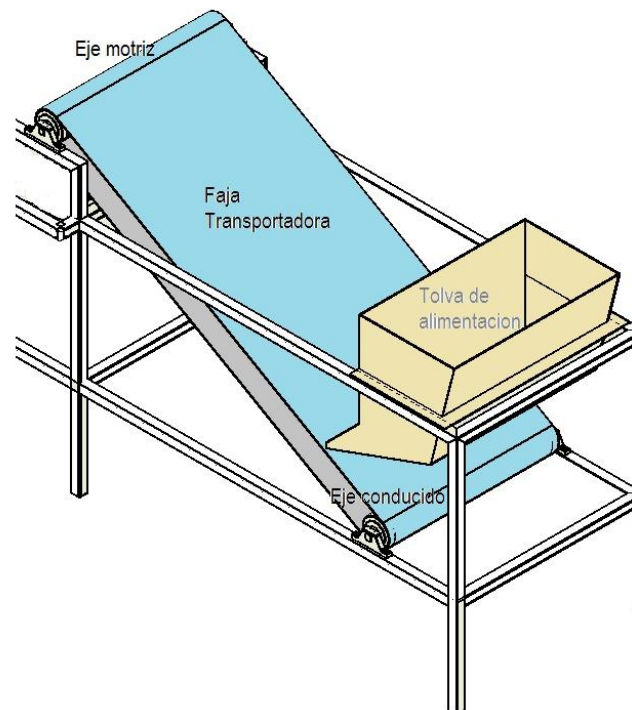


Fig. 3.4 Elementos de la etapa de transporte

- Selección de la faja transportadora

La faja transportadora cumple la función de transportar los arándanos, dicha faja está en contacto permanente con el arándano y ello hace que la función de transportar cumpla con las especificaciones de salubridad, esto quiere decir que tiene que ser de un material elástico dentro del grupo agroindustrial.

En este caso se selecciona la faja HABASIT NAB-10EEWV11 (Ver Anexo 2) que cumple con los requisitos para procesamiento de frutas.

El lado de la faja que hace contacto con el arándano debe tener un estampado de hexágonos distribuidos uniformemente donde se puedan posicionar los arándanos en forma de copa cuyas medidas la detallaremos en el siguiente diagrama:

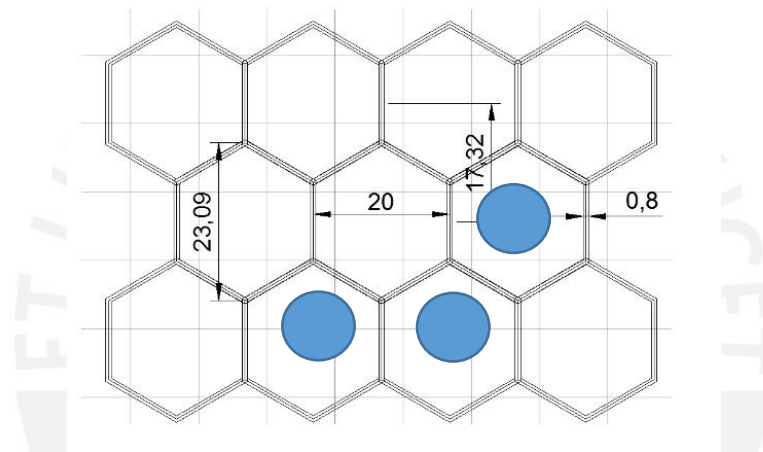


Fig. 3.5 Detalle de estampado de faja

Debemos tener en consideración que el ángulo de inclinación de la faja es 30° por lo tanto la altura h del estampado debe ser mayor al radio del arándano y por encima del centro de gravedad del arándano.

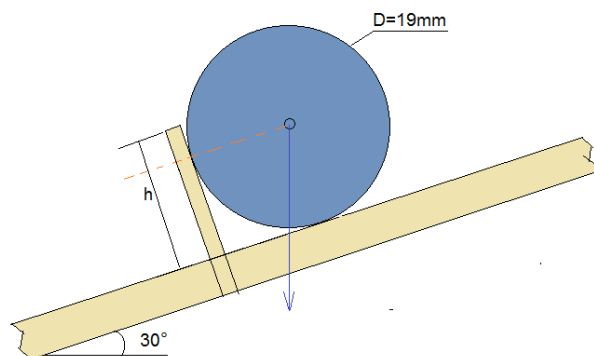


Fig. 3.6 Detalle lateral de la faja inclinada

La Fig. 3.5 es un dato importante ya que con ello se estimará la carga de arándanos en la faja W_a previo cálculo de número total de arándanos N_a .

$$N_a = \left(\frac{C}{20}\right) \left(\frac{L}{17.32}\right) = 2625 \text{ arándanos} \quad (3.6)$$

Mientras que la figura 3.6 podemos notar que $h > D/2$, para que el arándano se mantenga con la posición adecuada tomaremos como medida de $h = 11\text{mm}$. ($D=19\text{mm}$, se asume el arándano de mayor tamaño)

- Cálculo y selección en el eje motriz

Para el cálculo y la selección del eje motriz partiremos de la determinación del cálculo de tensiones T_1 y T_2 en las poleas, con dicho cálculo se seleccionara el tipo de tambor con su respectivo diámetro (ver figura 3.7).

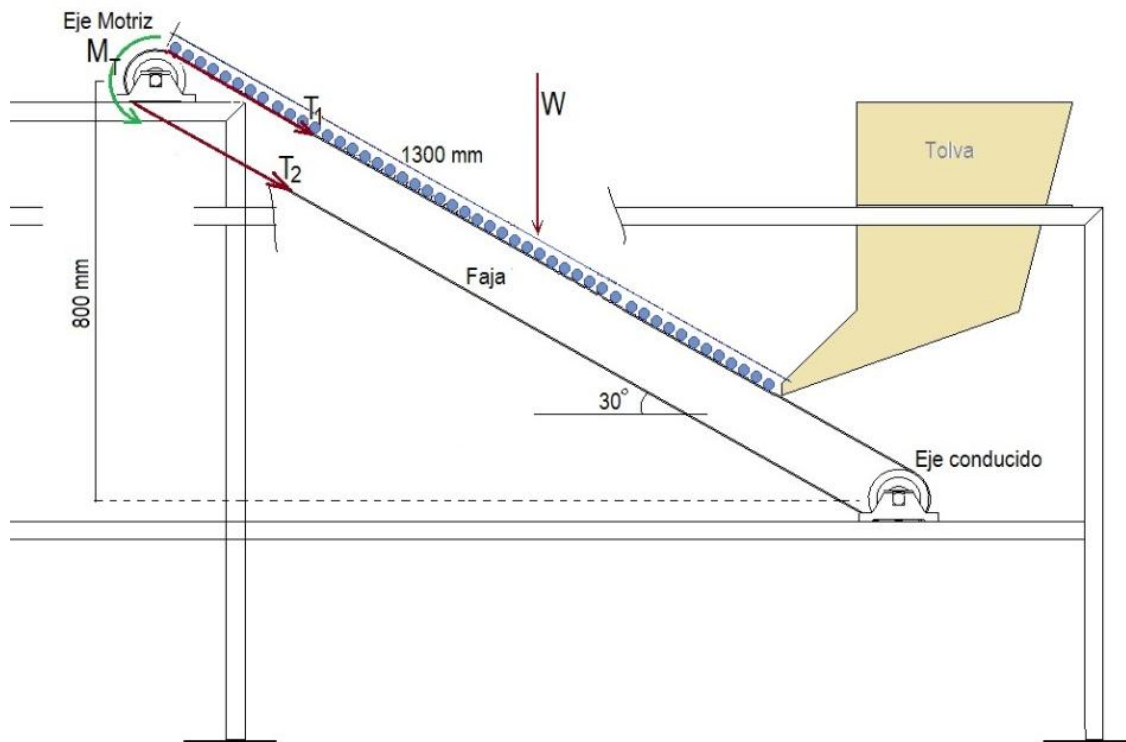


Fig. 3.7 Diagrama de cuerpo libre de la faja

Dónde:

Mt: Momento torsor [N-m]

T_1 : Tensión 1 de faja [N]

T_2 : Tensión 2 de faja [N]

T_i : Tensión de estiramiento de la faja [N]

W: Peso de la faja y arándanos en dicha sección [N]

Consideraciones:

$F.S.=2.0$:Factor de seguridad (ver anexo 3)
$\mu=0.35$:Coeficiente de rozamiento (ver anexo 2)
$\theta=\pi \text{ rad}$:Angulo de contacto de la faja
$L=1.6 \text{ m}$:Distancia entre ejes
$C=0.7 \text{ m}$:Ancho de la faja
$N_a=2625$:Número de arándanos en la faja (ver Ec.5)
$\mu_c=3 \text{ kg/m}^2$:Masa por unidad de área de la faja (Ver anexo 2)
$A_c=1.12 \text{ m}^2$:Área de la faja lado superior ($A_c = C.L$)
$m=1.2 \text{ gr}$:Masa del arándano
$g=9.81 \text{ m/s}^2$:Aceleración de la gravedad
$\Delta x=10 \text{ mm}$:Estiramiento de la faja estimado
$c=19 \text{ N/mm}$: Constante de estiramiento de faja (Ver anexo 2)

➤ Cálculo de tensión en las fajas:

Para el cálculo de tensión de la fajas debemos halla primero la carga neta W , dicho W es la suma del peso total de arándanos que se transporta en ese instante y el peso de la faja, para el peso de la faja se considera el área de la faja A_c y la masa por unidad de área mientras que el peso total de arándanos se calcula mediante el peso del arándano por el número de arándanos N_a todo ello se representa en la ecuación [3.7] obteniéndose como resultado un peso total W de 63.86 N

$$W = \left(\frac{mN_a}{1000} + A_c\mu_c \right) g \quad (3.7)$$

Según la figura 3.7 para poder hallar la T_1 debemos calcular la tensión inicial (tensión de estiramiento T_i) y el peso aplicado sobre dicha inclinación. La tensión inicial se calcula mediante la constante de estiramiento c por el estiramiento de la faja Δx (Ecuación 3.8).

$$T_i = c \Delta x \quad (3.8)$$

$$T_1 = T_i + W \text{sen}(30^\circ) \quad (3.9)$$

Reemplazando los valores de c y Δx en la ecuación 3.8 y luego reemplazando la ecuación 3.8 en la ecuación 3.9 se obtiene $T_1=222 \text{ N}$.

Según la teoría de fajas planas [10] usaremos la ecuación [3.10] obteniendo un valor para $T_2=74\text{N}$

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu\theta} \quad (3.10)$$

➤ Cálculo de Potencia:

Culminado el tema de cálculo y selección de fajas transportadoras considerando temas de salubridad y cargas máximas de tensión procedemos ahora a seleccionar y calcular las poleas de cabeza y de cola además de la potencia necesaria para el motor siendo estos elementos de alto grado de salubridad.

Los mototambores tienen una alta eficiencia además de ello fueron fabricados para el uso en procesamiento de alimentos por su alto grado de higiene y salubridad, la marca que se seleccionó para los requerimientos es la marca INTERROLL [16][17] y el rodillo que se selecciona es el DRUM MOTOR 113i (ver anexo 5).

El cálculo de potencia en esta etapa es sencillo para ello usaremos la ecuación (3.11) del momento torsor, especificaciones del anexo 5 ($\phi_{pm} = 113 \text{ mm}$) y además de la figura 3.7, teniendo como datos las tensiones T_1 y T_2 . Con ello obtenemos $M_t=8400\text{N}$

$$M_t = \frac{(T_1 - T_2)\phi_{pm}}{2} \quad (3.11)$$

La potencia calculada es el reemplazo del valor del M_t por la velocidad angular y el factor de servicio, la velocidad angular se calcula a través de la velocidad de la faja (se escoge 0.34 m/s según anexo 5) obteniendo una $\omega = 6 \text{ rad/s}$ el factor de servicio F.S. a considerar es de 2.0.

$$Pot_a = M_t \omega (FS) \quad (3.12)$$

Reemplazando los valores en la ecuación (3.12) obtenemos una potencia de 101 W dicha potencia cumple con las especificaciones establecidas en el anexo 5.

Una característica de los mototambores DRUMM MOTOR es que tienen al motor y al sistema de transmisión dentro del tambor sin un eje recto y uniforme (ver figura 3.8) razón por la cual no podemos aplicar cálculo de ejes según ASME u otra metodología, solo nos basamos en la selección del mototambor en base a su potencia, diámetro y velocidad de transporte comparando dichos datos con el anexo 5



Fig. 3.8 MOTOTAMBOR DRUM MOTOR

En la parte interna de los mototambores DRUMM MOTOR llevan cables internos de conexión eléctrica y de los sistemas de lubricación, además poseen doble o triple cavidades para los sellos mecánicos esto quiere decir que son totalmente herméticos evitando con ello una fuga de aceite o derrames siendo esto último lo que le hace ideal para el transporte de arándanos por el tema de higiene y salubridad, además estos equipos poseen una vibración baja a velocidades y cargas bajas, son equipos de nueva generación que te ahorran espacio y te dan un aspecto más agradable en el diseño Mecatrónico.

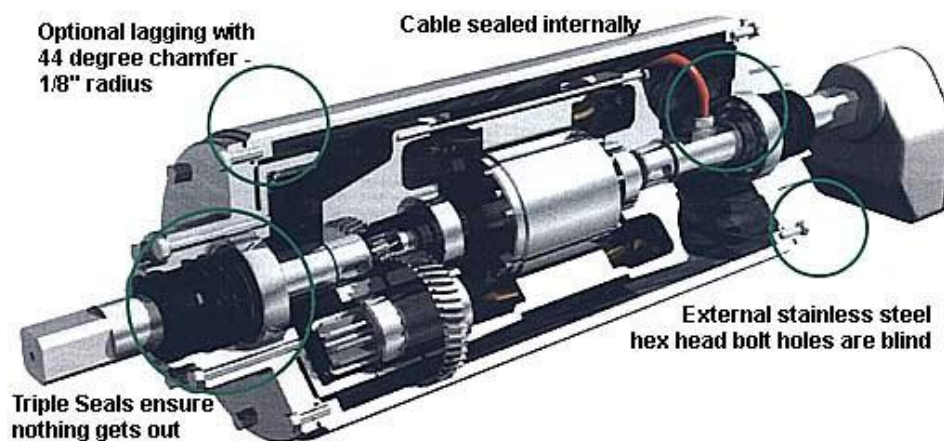


Fig. 3.9 MOTOTAMBOR DRUM MOTOR DETALLE INTERNO

3.3.3 Cálculo de la Etapa de Dosificación

La etapa de dosificación es una etapa importante en ella se hace la distribución por tamaños de cada arándano hacia una bandeja inclinada por ello se usara fajas circulares como se muestra en la Fig. 3.10.

En esta etapa se calculará:

- ✓ Selección del eje motriz y eje conducido
- ✓ Separación unitaria entre fajas en el motriz y el eje conducido
- ✓ Selección de la faja circular
- ✓ Dimensionamiento de la bandeja inclinada

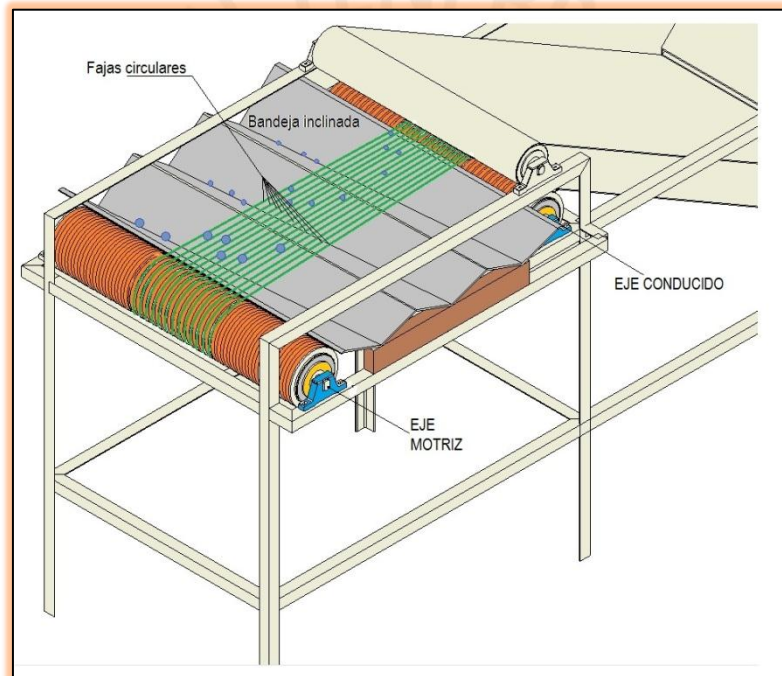


Fig. 3.10 Esquema general de la etapa Dosificación

- ✓ Selección del eje motriz y eje conducido

Selección eje motriz

En el diseño de esta etapa se considera que hay una bandeja inclinada entre el recorrido de la faja circular, razón por la cual escogeremos el DRUM MOTOR 138i y además se debe tener en consideración que la velocidad de la faja transportadora circular es menor en comparación a la faja plana inclinada del proceso anterior, para encontrar el valor adecuado se revisa el anexo 9 y se resume en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Potencia, Velocidades y Fuerza de tracción total (Fn) de la banda

Pot (kW)	v	Fn
0.25	0.13	1747
	0.16	1452
	0.19	1206
	0.22	1084
	0.26	904
	0.33	726
0.37	0.13	2527
	0.16	2175
	0.20	1760
	0.24	1463
	0.28	1216
	0.32	1092
0.55	0.28	1780
	0.33	1532
0.75	0.29	2390
	0.33	2147

Dada esta tabla usaremos las ecuaciones (3.11) y (3.12) para resolver el sistema considerando además un factor de seguridad $FS=2.0$ con una fuerza de tracción total $F_n=T_1+T_2$, como se muestra en la Fig. 3.11.

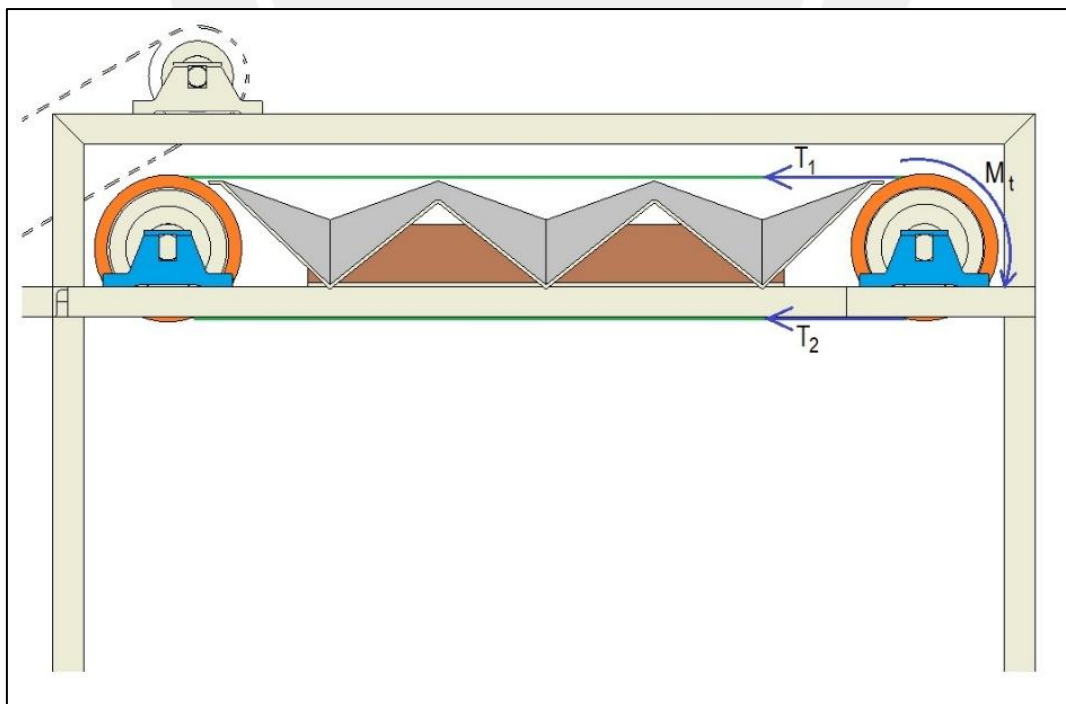


Fig. 3.11 Esquema de fuerzas en el eje motriz

El esquema de la figura 3.11 es el esquema por unidad de faja esto quiere decir que para poder hallar la tensión inicial neta F_I debemos tener el parámetro de numero de fajas n , el cual nos da una aproximación del número de fajas, todo ello se resume en la tabla 3.2, cabe mencionar que el número de fajas es igual al número de rieles en el mototambor del área de dosificación.

$$F_I = nF_i \tag{3.13}$$

*Nota en este caso se considera coeficiente de fricción $u = 0.5$ según anexo 10

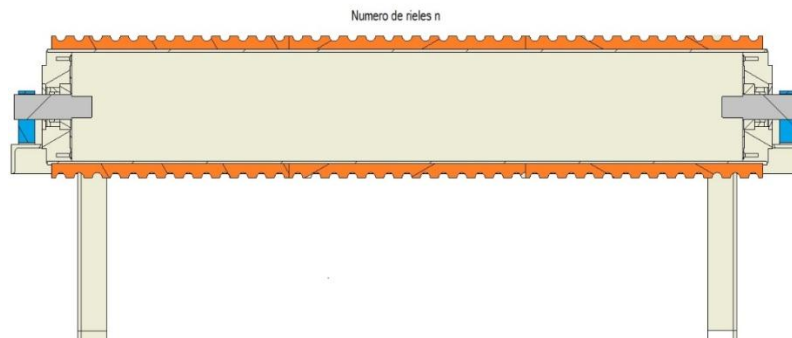


Fig. 3.12 Ubicación del número de rieles

Tabla 3.2 Tablas de DRUM MOTOR seleccionado

Pot kW)	v	F_n	Φ_{pm}	T_2	T_1	Pot_a	F_I	n
0.25	0.13	1747	136	387.1	1359.9	0.25	873.5	62
	0.16	1452	136	321.7	1130.3	0.26	726	52
	0.19	1206	136	267.2	938.8	0.26	603	43
	0.22	1084	136	240.2	843.8	0.27	542	39
	0.26	904	136	200.3	703.7	0.26	452	32
	0.33	726	136	160.8	565.2	0.27	363	26
0.37	0.13	2527	136	559.9	1967.1	0.37	1263.5	90
	0.16	2175	136	481.9	1693.1	0.39	1087.5	78
	0.2	1760	136	389.9	1370.1	0.39	880	63
	0.24	1463	136	324.1	1138.9	0.39	731.5	52
	0.28	1216	136	269.4	946.6	0.38	608	43
	0.32	1092	136	241.9	850.1	0.39	546	39
0.55	0.28	1780	136	394.4	1385.6	0.56	890	64
	0.33	1532	136	339.4	1192.6	0.56	766	55
0.75	0.29	2390	136	529.5	1860.5	0.77	1195	85
	0.33	2147	136	475.7	1671.3	0.79	1073.5	77

Para hallar la longitud del mototambor se procede a analizar los siguientes esquemas de las Fig. 3.15 y 3.16, considerando una faja de poliuretano con diámetro igual a 8 mm podemos seleccionar la faja HABIBLUE 8 FDA procediendo con el análisis se calculan las longitudes de las fajas circulares (Ver ANEXO15)

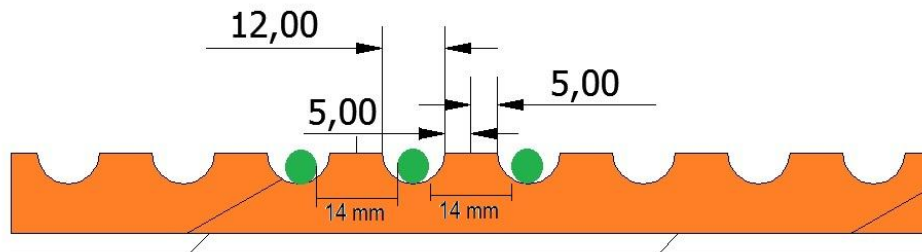


Fig. 3.13 Esquema de separación entre fajas del eje motriz

Forma deductiva:

<i>Para n=1</i>	$L=5 + 12 + 5 = 5.(2.1)+12(1)$	$L=22$
<i>Para n=2</i>	$L=5 + 12 + 5 + 5 + 12 + 5 = 5.(2.2)+12(2)$	$L=44$
<i>Para n=3</i>	$L=5 + 12 + 5 + 5 + 12 + 5 + 5 + 12 + 5 = 5.(2.3)+12(3)$	$L=66$
<i>Para n=n</i>	$L = 5.(2n)+12(n)$	
<i>Para n=39</i>	$L = 5.(2.39)+12(39)$	$L=858$

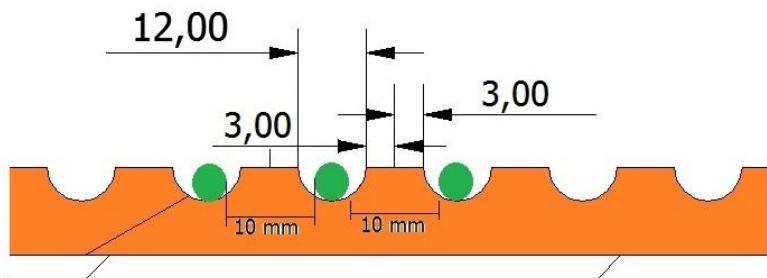


Fig. 3.14 Esquema de separación entre fajas del eje conducido

Forma deductiva:

<i>Para n=1</i>	$L=3 + 12 + 3 = 3.(2.1)+12(1)$	$L=22$
<i>Para n=2</i>	$L=3 + 12 + 3 + 3 + 12 + 3 = 3.(2.2)+12(2)$	$L=44$
<i>Para n=3</i>	$L=3 + 12 + 3 + 3 + 12 + 3 + 3 + 12 + 3 = 3.(2.3)+12(3)$	$L=66$
<i>Para n=n</i>	$L = 3.(2n)+12(n)$	
<i>Para n=39</i>	$L = 3.(2.39)+12(39)$	$L=702$

La separación entre rieles es la dosificación de los arándanos que tiene un rango entre 10-14 mm esto hace que cumpla la lista de exigencias.

Para $L=702$ el peso del DRUM MOTOR es: 14.36 kg (revisar ANEXO14)

3.3.4 Cálculo de la Etapa de Selección

En la etapa de selección usaremos nuevamente un par de mototambores DRUM MOTOR 138i tomando como parámetro de entrada la velocidad de arándanos para la capacidad deseada de 100 kg/h, mostraremos el siguiente esquema para ayudar a nuestro análisis donde especificamos la tensión y el momento torsor en el eje motriz, además se señala que el eje conducido tiene las mismas características de diámetro que el eje motriz.

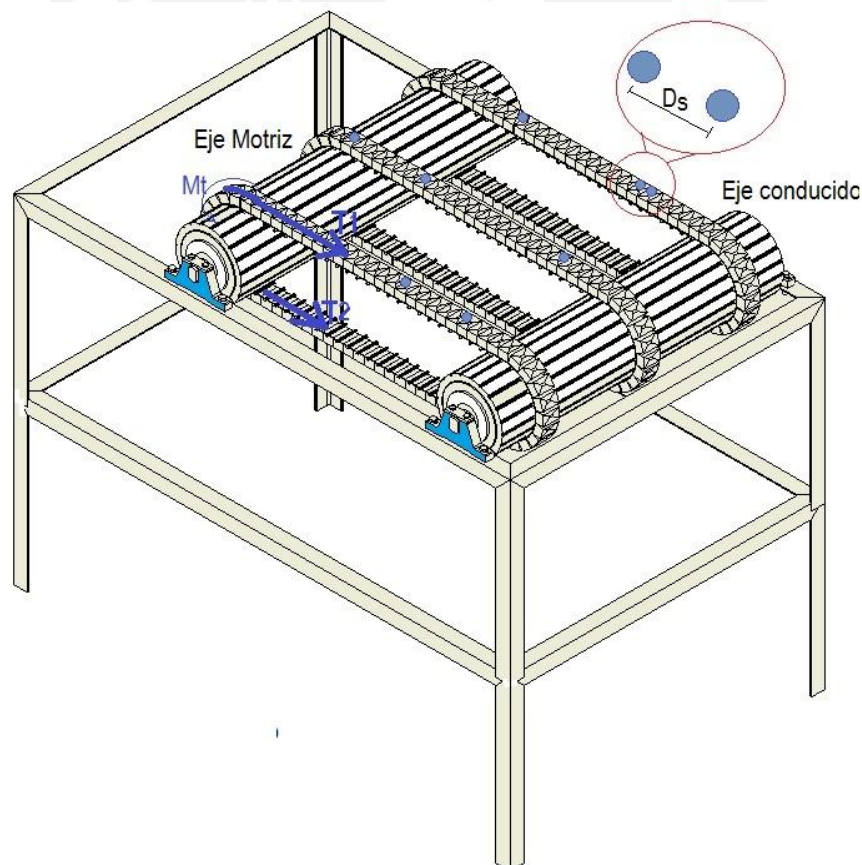


Fig. 3.15 Esquema del sistema transportador del clasificador

En la etapa de selección es la etapa más importante del proceso, en esta etapa debemos tener cuidado con las velocidades de transporte y la velocidad del actuador, en esta etapa se procede a calcular la velocidad de transporte que servirá como parámetro inicial para definir el tipo de actuador y sus características, además con dicha velocidad podemos definir una velocidad de obturación de la cámara de procesamiento de imágenes.

La faja TERMODRIVE 8026 del anexo 12 tiene las características para el proceso deseado, para esta faja la fuerza de estiramiento por unidad de longitud es de 446 kg/m esto equivale a 4.38 N/mm para calcular la fuerza neta asumimos un estiramiento máximo de 40 mm con ello podemos obtener la tensión igual a 175 N esto indica que $T_1+T_2=175N$ la cual juntamos con la ecuación (3.10) y un coeficiente de rozamiento de 0.6 obtenemos $T_2=23N$ y $T_1 =152N$. Como se describe en la sección 3.2, el sistema mecatrónico procesa 15 arándanos/s ($N=15$), en el sistema de dosificación al dividir la capacidad en 3 líneas podemos estimar que cada línea en algún momento procesa a toda capacidad de 15 arándanos/s por lo tanto para poder hallar la velocidad de la faja debemos conocer la distancia entre arándano y arándano en esta etapa (D_s) que para nuestro diseño es 25.7 mm, haciendo el producto de capacidad de procesamiento de línea con D_s se obtiene 0.39 m/s como velocidad de la línea (v_c). Luego reemplazamos estas informaciones en la ecuación (3.14) obteniendo 0.15 k W

$$Pot_c = \frac{(T_1 - T_2)v_cFS}{1000} \quad (3.14)$$

Dónde:

v_c : Velocidad del trasportador

Pot_c : Potencia para seleccionar el DRUM MOTOR adecuado

$F.S.$ Factor de seguridad ($F.S. = 3.0$)

Con ello se selecciona la característica del DRUM MOTOR 138i de 0.18kW a una velocidad de 0.39 m/s

- Selección del tipo de actuador

La selección del actuador es una parte esencial del presente trabajo necesitando un actuador que cumpla con las exigencias del diseño las cuales son: carrera corta (40 mm), ciclos de funcionamiento relativamente altos, ciclos de vida altos, de dimensiones pequeñas, de fuerza en orden de unidades de Newton ya que el arándano pesa alrededor de 1.2 gr todo ello lleva a la consecuencia de seleccionar un actuador solenoide Ledex, de estructura cuadrada (LEDEX FRAME), además debemos considerar un de ciclo de funcionamiento máximo simbolizado con f_k que viene a ser el número de arándanos máximo a procesar por unidad de tiempo de acuerdo a la carrera del pistón

$$f_k = \frac{D_s(N - 1)}{L} \quad (3.15)$$

Obteniéndose $f_k = 4.5 \text{ ciclos/seg}$

Dónde:

L=recorrido de la carrera del pistón (80 mm por diseño)

Este valor de f_k indica cuantas veces el pistón realiza su ciclo por unidad de tiempo, el valor de 6.7 es un valor aceptable ya que los actuadores LEDEX (revisar bibliografía).

Para entender mejor el proceso de selección se muestra la figura 3.16.

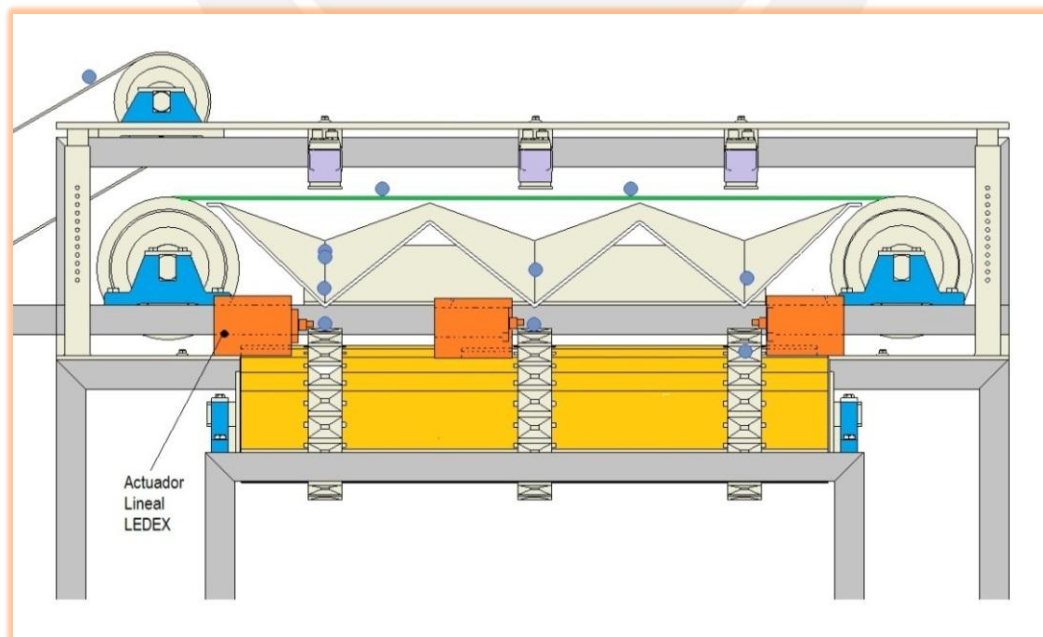


Fig. 3.16 Sistema de clasificación con actuador LEDEX

- Automatismo de la selección de arándanos.

El automatismo que comanda la selección de los arándanos es un sistema electrónico, el cual es necesario programar los algoritmos que comande el funcionamiento de los sensores y actuadores solenoides LEDEX de la máquina. El algoritmo que se debe programar abarca desde la adquisición de las imágenes con la cámara, el procesamiento de imágenes, selección de calibres (patrón de color forma y tamaño) y accionamiento de los actuadores. La programación se puede realizar en cualquiera de los lenguajes C, Assembler o C++, los cuales son compatibles con los procesadores tipo Arduino.

El objetivo principal en el cuál se basa el diseño de la máquina es la selección de arándanos por forma, color y tamaño. En la Figura 3.17 se puede ver el diagrama de flujo a partir del cual se puede tener una base para realizar la programación del algoritmo y la póstuma automatización del Sistema Mecatrónico.

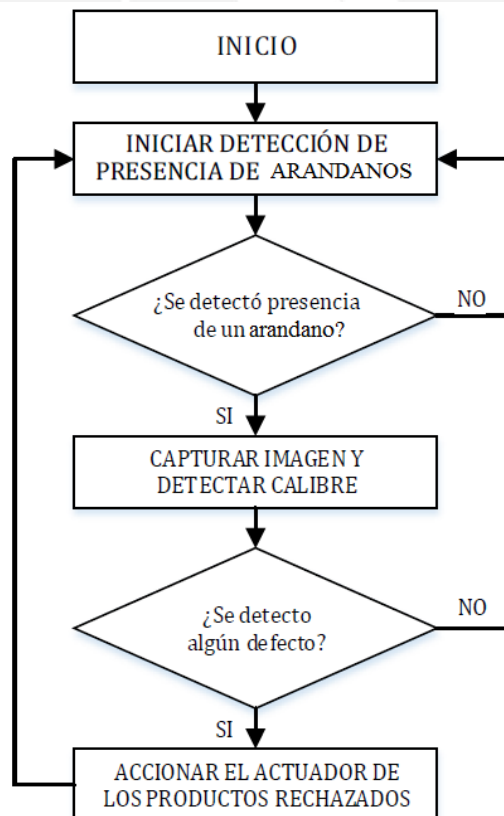


Fig. 3.17 Esquema del sistema de clasificación

Del diagrama de flujo presentado en la Figura 3.17, es importante aclarar que la detección de la presencia de arándanos en la correa transportadora del dosificador de arándanos se realizará mediante sensor inductivo ubicado delante del actuador solenoide LEDEX. Adicionalmente la selección de arándanos se realizará mediante el procesamiento de las imágenes capturadas. Es recomendable utilizar las características morfológicas de las imágenes para detectar los bordes de las imágenes y poder realizar binarización de las mismas. Esto permitirá poder estimar el tamaño de un área en pixeles. Finalmente con el área medida, podremos conocer indirectamente el volumen del arándano aproximando como una baya esférica.

El sistema de procesamiento de imágenes debe tener una adecuada iluminación para la adquisición de la imagen (ver Fig. 3.18). y poder detectar los bordes del arándano, el área oscura de la imagen representa el volumen del arándano.

En la actualidad no existen máquinas de fabricación Nacional que hagan control de calidad del arándano por visión artificial. En ese sentido, el campo de control de calidad por visión artificial es un área de potencial desarrollo para el sector agroindustrial.

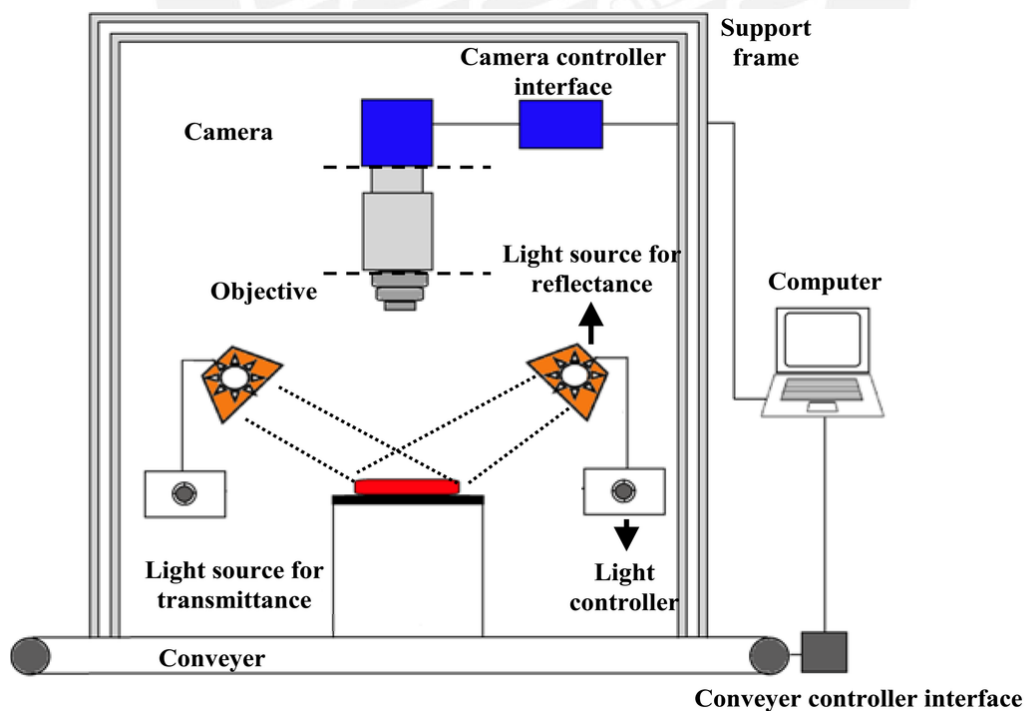


Fig. 3.18 Esquema del sistema de Visión Artificial.

3.3.5 Diseño de la Etapa de Recojo

En la etapa de recojo solo se consideran Tres bandejas Ubicadas en las secciones mostradas en el esquema de posicionamiento manual ya que el arándano es de bajo peso y no casusa problemas de ergonomía en el operador.

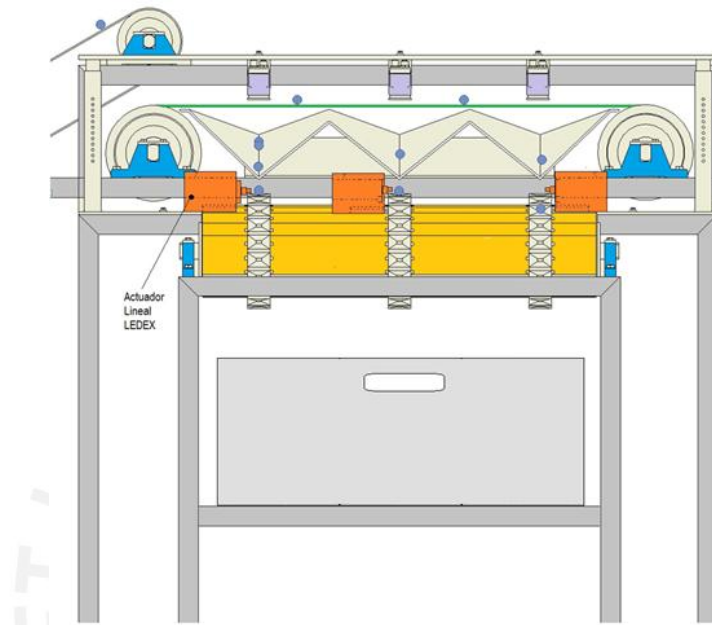


Fig. 3.19 Ubicación de cajones de recojo

El cajón de recojo tiene 2 divisiones, en la parte delantera se recoge los arándanos que cumplen los requisitos de selección y en la parte posterior los arándanos que no cumplen las especificaciones para la selección.

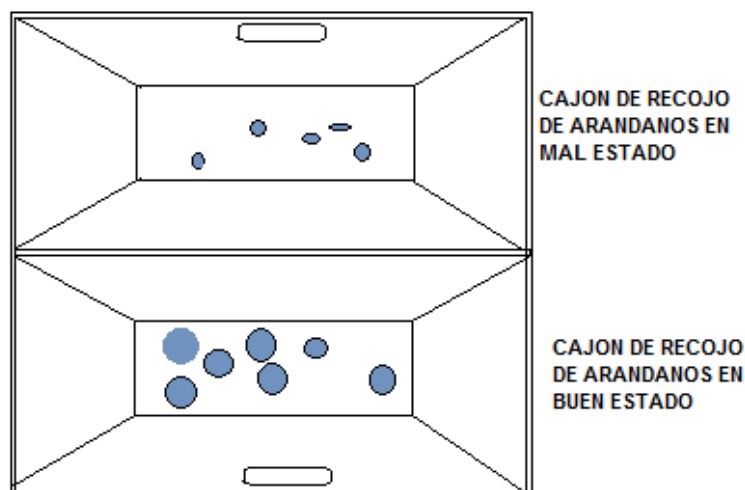


Fig. 3.20 Distribución de Cajones de rocojo de arándanos

3.4 Cálculo Estructural

Para el cálculo estructuras solo se analiza la parte frontal de cada diseño ya que todo el sistema posee cargas simétricas esto se comprueba porque el DRUM MOTOR están soportados simétricamente y los mototambores tienen su sistema de accionamiento y transmisión dentro del tambor, con ello no se generan momentos flectores esto se reduce a un sistema de cargas y con momentos torsores

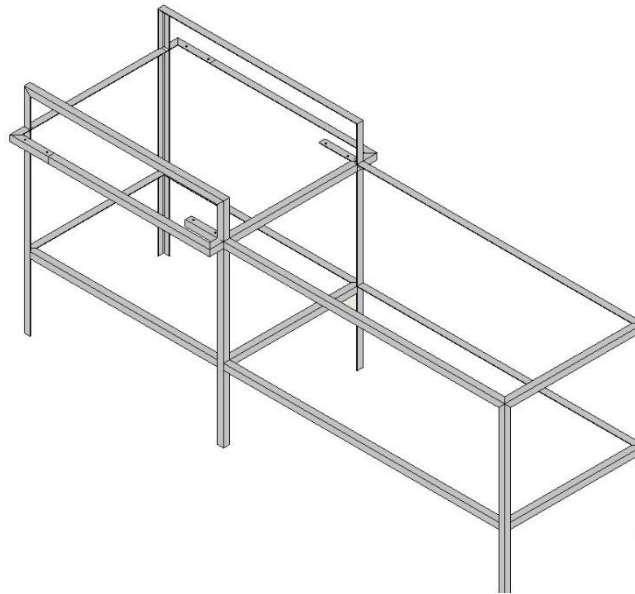


Fig. 3.21 Isométrico de la estructura principal

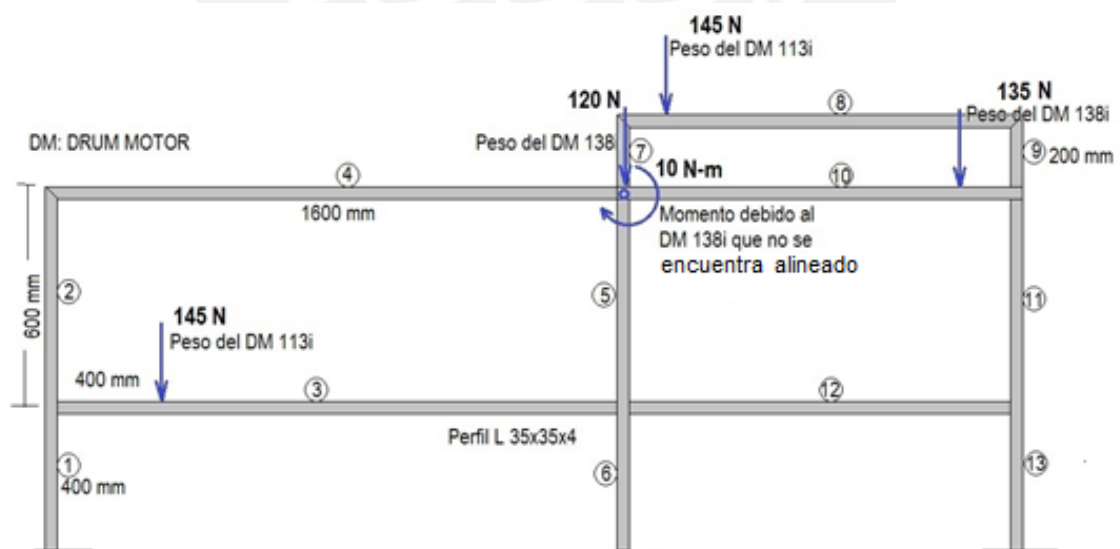


Fig. 3.22 Distribución de cargas y momentos torsores.

✓ Análisis de la estructura 1

Dada las condiciones geométricas de diseño se obtiene que la barra 3 soporta los mayores esfuerzos por lo tanto mayores deformaciones.

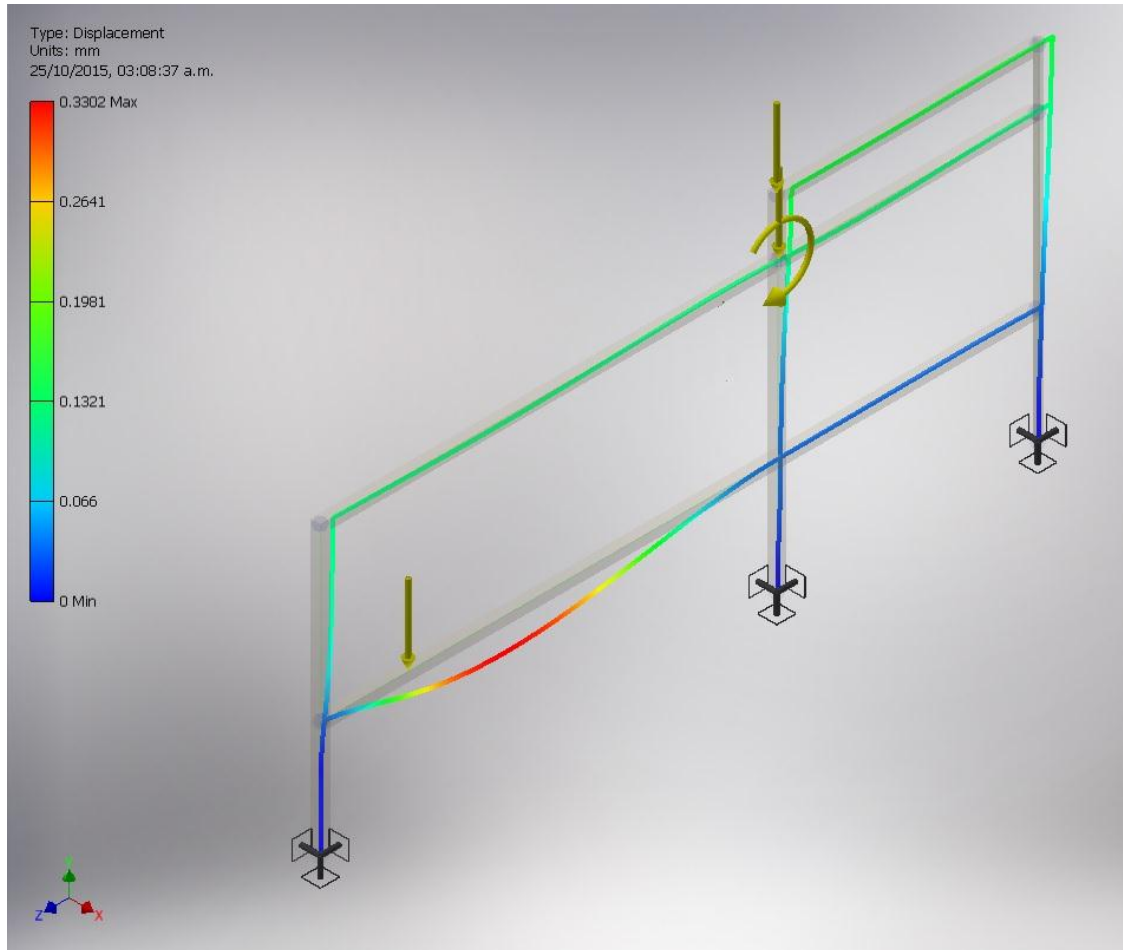


Fig. 3.23 Diagrama de desplazamientos en Invnetor

Cuya deformación máxima es 0.33 mm en la posición de la fuerza de 145 N. En la presente tesis no se realiza el análisis vibracional debido a que una característica de los DRUM MOTOR es su baja vibración para frecuencias por debajo de 70 Hz [18].

3.5 Selección de Sensores

La selección de sensores lo resumimos en la siguiente tabla:

TABLA 3.3 Sensores en el diseño del Sistema Mecatrónico

TIPO DE SENSOR	UBICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Sensor de fin de carrera	Tolva de Alimentación	El sensor de fin de carrera actúa como prevención ante un atoro de la tolva de alimentación, dicho sensor funciona como parámetro de ON/OFF para parar en caso de atoro.
Sensor de rotación	Ubicado en cada mototambor DRUM MOTOR	El sensor de rotación indica si un mototambor está girando esto es relevante ya que con ello prevenimos desfases o acumulaciones en alguna de las etapas.
Sensor de carga	Ubicados en las bandejas de recojo de los arándanos	Los sensores de carga son opcionales y ello solo hace recordar que las bandejas tienen que ser cambiadas para continuar con el proceso.
Sensor Inductivo	Ubicado lateralmente al actuador Solenoide LEDEX.	Los sensores inductivos van a permitir detectar la presencia de los arándanos.

El detalle de los sensores no es objetivo de la presente tesis por ello solo se da recomendaciones para la implementación del Sistema Mecatrónico.

3.6 Especificaciones para el procesamiento de imágenes

En esta etapa se deja a criterio del diseñador del sistema de visión que puede ser motivo de una futura tesis, pero se deja señalado los parámetros necesarios para el diseño del sistema de visión partiendo del siguiente esquema de la Fig. 3.24:

El procesador que analiza este tipo de imágenes tiene que ser una PC y un controlador tipo arduino ya que la velocidad de procesamiento tiene valores altos según la tabla 3.4, dicha PC recibe la señal para el procesamiento de imágenes y las manda hacia los actuadores solenoides LEDEX mediante un controlador Arduino los cuales

realizan la selección del arándano previamente clasificado por tamaño y considerando la señal de presencia que manda el sensor inductivo. La estructura que soporta la cámara tiene una altura regulable, tomando en cuenta diferencia de alturas de 10 mm para cada posicionamiento y una posible carcaza cerrada, asumiendo que la cámara puede tomar n_o fotos para el análisis de un arándano se plantea una fórmula que liga la velocidad de obturación mínima que debe tener una cámara para este diseño Mecatrónico el cual lo planteamos mediante la siguiente formula:

$$v_{o,min} = \frac{1}{Nn_0} \quad (3.15)$$

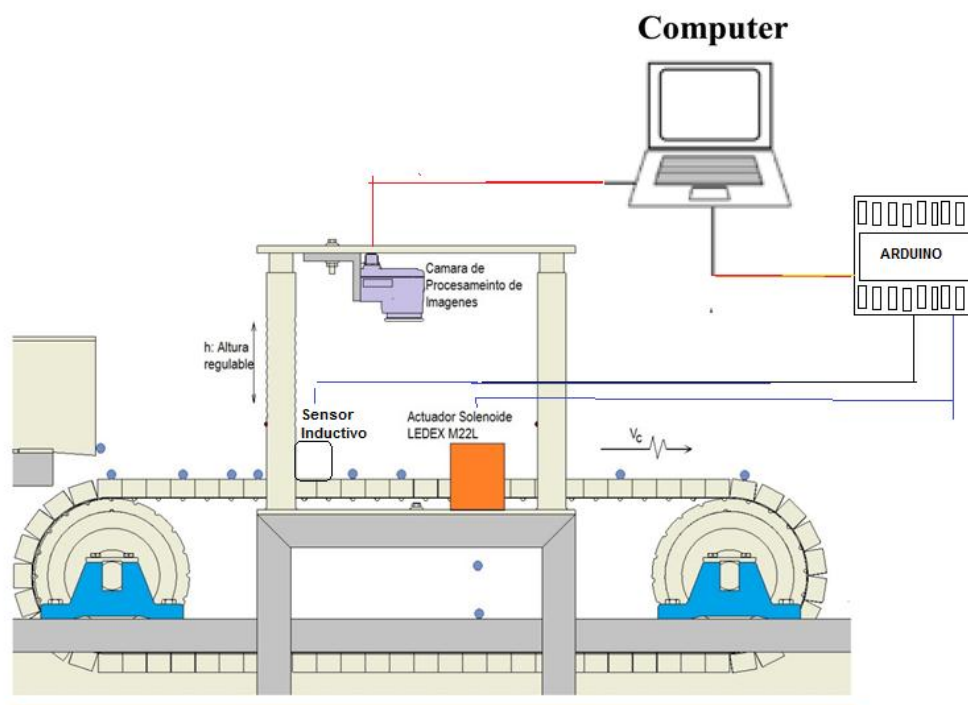


Fig. 3.24 Procesamiento de imágenes en la selección de arándanos

Evaluando valores de $n_0=5$ y con $N=15$ arándanos/s, obtenemos B125 en adelante.

Esto indica una relación entre la capacidad de arándanos a procesar y la velocidad de obturación mínima con la cual se selecciona el tipo de cámara, la cual se podría escoger una POINT GREY ya que se adapta mejor para velocidades de obturación altas.

Tabla 3.4 Tiempos de obturación

Valor	tiempo de equivaloracion del disparador
B	mientras se mantiene pulsado el disparador
30"	30 s
15"	15 s
8"	8 s
4"	4 s
2"	2 s
1"	1 s
2	1/2 s
4	1/4 s
8	1/8 s
15	1/15 s
30	1/30 s
60	1/60 s
125	1/125 s
250	1/250 s
500	1/500 s
1000	1/1000 s
2000	1/2000 s
3000	1/3000 s
4000	1/4000 s

3.7 Diseño general del sistema:

El diseño General del Sistema Mecatrónico para la selección de arándanos se documentó en planos a partir de un Isométrico desarrollado en Autodesk

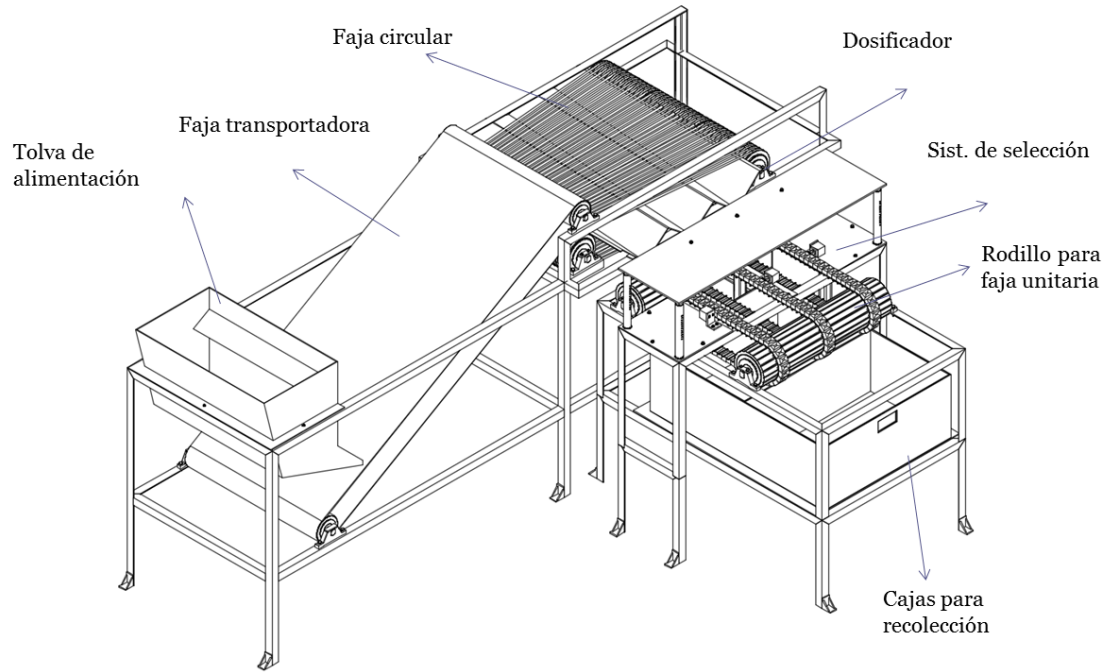


Fig. 3.25 Vista General del sistema Mecatrónico

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE COSTOS Y PLANOS

En este capítulo se hace una estimación del costo de la fabricación de la máquina seleccionadora de arándanos, considerando los acabados finales, costos de maquinado, pintura y algunos procesos que sean necesarios para estimar costos.

4.1 Tabla de costos

Costos promedios de:

- *Mano de obra
- *Materiales y herramientas

Todos los materiales tiene un costo en dólares estimados además se tiene que realizar compras externas de los DRUMMOTOR desde Brasil, las fajas trasportadores se pueden compra en el Perú.

Tabla 4.1 Cuadro de costos de máquina.

Mano de obra				
	CANT	H-H*	Costo Unitario	Sub total
Montajista	2	96	2.2	\$ 422.4
Soldador	1	96	2.5	\$ 240
Ayudante	1	96	1.8	\$ 172.8
Supervisor	1	96	3.0	\$ 288
Jefe Proyecto	1	96	5.0	\$ 480
*H-H: Horas hombre			Total	\$ 1603.2
Materiales y Herramientas				
	CANTIDAD	Costo Unitario	Sub total	
Maquina Soldar	1	400	\$400	
Herramientas en general	1	400	\$400	
Pernería	150	0.4	\$60	
Drum Motor Motriz	3	900	\$2700	
Drum Motor Conducido	3	700	\$2100	
Faja Transportadora	1	100	\$100	
fajas circular poliuretano	39	10	\$390	
Cinta trasportadora	3	40	\$120	
Actuador Solenoide	3	50	\$150	
Acero Inoxidable(L) 35*35*6	30	20	\$600	
Acero Inoxidable para tolva (plancha 1/8")	5	20	\$100	
Poliuretano para rieles circulares	6	60	\$360	
Equipo Procesamiento Imágenes	1	350	\$350	
Cámara para PDI	3	60	\$180	
		Total	\$8010	
Costo 1 total del Sistema Mecatrónico propuesto:		\$9613.2		

Nota: el costo logístico se compensa con un 10% del costo total de la máquina, no se puede determinas con exactitud ya que dependerá de los traslados y la distancia de los elementos a Comprar

PRECIO TOTAL= \$ 10574

4.3 Cotizaciones de máquinas semejantes.

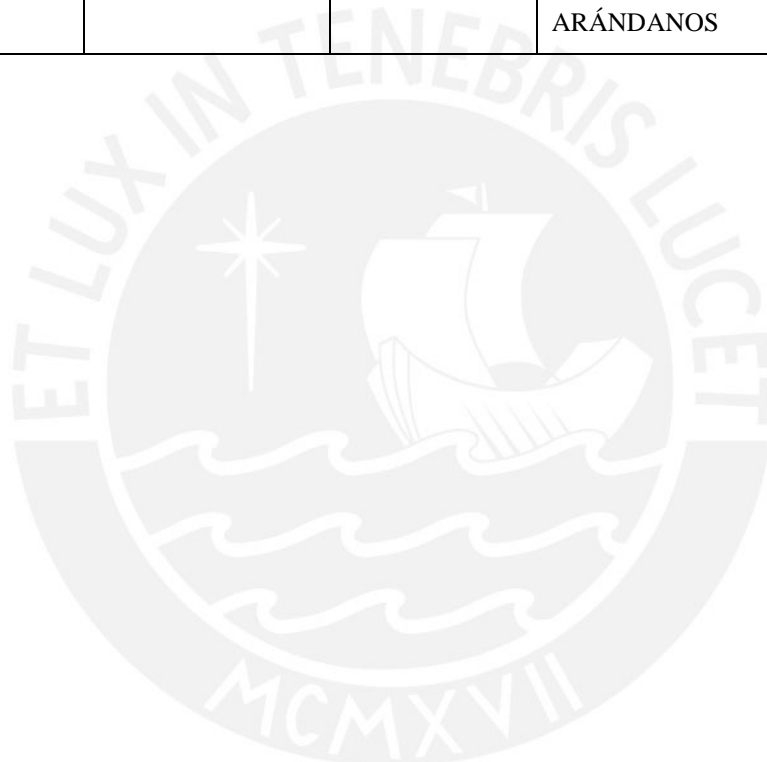
ZHENGZHOU SHULIY MACHINERY CO., LTD.

		
Model	SLB-3A	SLB-3B
Capacity	>500kg/h	300-500kg/h
Power	1.1kw	1.5kw
Voltage	220v/380v, 50hz, 60hz	
Grades	3 levels: ≤10mm(less than 10mm and including 10mm), 10-14mm(diameter from 10-14mm, including 14mm), >14mm(diameter bigger than 14mm)	
Discharge	No conveyer	With conveyer
Size	3260×910×900m	3350*1300*900 (mm)
Weigh	400kg	600kg
FOB price	USD 6670	USD 11500

Como se puede observar de la cotización de Zhengzhou Shuliy Machinery para una maquina bajo las mismas exigencias propone dos costos los cuales son 6670 y 11500, si lo comparamos con los \$ 10574 del diseño mecatrónico propuesto podemos concluir que nuestra máquina es factible construirla debido a que en la cotización no existen costos logísticos los cuales podrían aumentar su valor en un monto considerable. Para ver la información detallada de las máquinas de Zhengzhou Shuliy Machinery ver anexo 14.

4.4 Listado de Planos.

PLANO	TIPO	TAMAÑO	DESCRIPCION
A0-E001	ENSAMBLE	A0	PLANO DE ENSAMBLE DEL SISTEMA MECATRÓNICO
A2-D001	DESPIECE	A2	ESTRUCTURA BASE 1
A2-D002	DESPIECE	A2	ESTRUCTURA BASE 2
A3-D003	DESPIECE	A2	ESTRUCTURA BASE 3
A4-D004	DESPIECE	A2	TOLVA DE ALIMENTACION
A2-D005	DESPIECE	A2	BANDEJA INCLINADA DE CLASIFICACION
A2-D006	DESPIECE	A2	CORREA DOSIFICADORA DE ARÁNDANOS



CONCLUSIONES

- Para el estudio de una máquina seleccionadora de arándanos, el diseño del sistema presenta ventajas respecto al sistema convencional gracias a que presenta un sistema sencillo en la etapa de clasificación por tamaños, dividiendo en líneas paralelas optimizando el recojo para unas futuras etapas pos-proceso de selección.
- El arándano no tiene una geometría compleja pero si presenta inconvenientes para procesar por tener una textura delicada, por lo cual se recomienda preservar la selección del arándano a una temperatura promedio de 7°C con características de higiene muy exigentes, esto es un factor primordial en el diseño, siguiendo este objetivo se selecciona a los mototambores DRUMM MOTOR por presentar poco ruido, evitar contaminantes externos, no presentar sobrecalentamiento y requieren poco mantenimiento.
- Los arándanos son de geometría pequeña por lo tanto se necesita una mayor velocidad de procesamiento para obtener cantidades mesurables de arándanos seleccionados, tomando esta premisa se escoge a los actuadores lineales tipo solenoide que trabajan a velocidades altas, fuerzas en orden de los Newton y tener ciclos de vida arriba de las 500000 ciclos.
- La etapa de selección es la etapa es más importante por ello la integración sistemas eléctricos y electrónicos se realizan con mayor detalle, especificando la velocidad mínima del obturador de una cámara semi-industrial y el actuador solenoide que se adapta a este tipo de procesos.
- El sistema Mecatrónico tiene un costo de 10574 dólares americanos lo cual le hace que el costo de la máquina sea accesible para los agroexportadores nacionales además de ello contribuye a la aplicación de tecnología propia en nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

[1]-[UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO] Conservación de dos variedades de arándano alto en condiciones de frío convencional, Argentina

http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/157/GodoyAgrarias1-04.PDF

[2]-[SIERRA EXPORTADORA], Perú

<http://www.sierraexportadora.gob.pe/berries/factibilidad/arandanos>

[3]-[JL ASESORES]

<http://www.asesores.8k.com/matdesc.htm>

[4]-[ARZOLA, 2011] ARZOLA, N. (2011), Metodología de Diseño para Ingeniería. Colección de guías de clase Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica Universidad Nacional de Colombia, Colombia.

[5]- [BARRIGA, 1985] BARRIGA, B (1985), Métodos de Diseño en Ingeniería Mecánica. Pontificia Universidad Católica del Perú

[6]-[AGUAYO, 2003] AGUAYO, F. y SOLTERO, V. (2003), Metodología del diseño Industrial, Un enfoque desde la Ingeniería concurrente. Editorial Alfaomega, México

[7]- [UNIVERSIDAD DE LIMA] Norma básica de ergonomía y de procedimiento de evaluación de riesgo disergonómico, Perú.

http://www.ulima.edu.pe/sites/default/files/page/file/sst_rm_375-2008-tr_norma_basica_de_ergonomia.pdf

[8]- [FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION] Norma de FAO perteneciente a las Naciones Unidas.

<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1389s/a1389s00.pdf>

- [9]- [THEODORE, 1984] THEODORE, B. y EUGENE, A., Versión Español (1984) Marks Manual del Ingeniero Mecánico 8° edición. Editorial McGraw-Hill, México.
- [10]- [BUDYNAS, 2006] BUDYNAS–NISBETT (2006) Shigley’s Mechanical Engineering Design, Eighth Edition, McGraw–Hill, USA.
- [11]- [ALVA, 2005] ALVA F., V. Español (2005) Diseño de elementos de máquinas I y II - CONCYTEC, Perú.
- [12]- [ANSI/ASME B106.1M- 1985] Norma ASME para el diseño de ejes de transmisión.
- [13]- [GIECK, 2007] GIECK K., GIECK R., (2007) Manual de fórmulas técnicas edición 31, México.
- [14]- [HIBBELER, 2006] HIBBELER R., (2006) Mecánica de materiales sexta edición, México.
- [15]- [MIT Open Course Ware, 2009] MIT, (2009) 2.72 Elements of Mechanical Design
http://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-72-elements-of-mechanical-design-spring-2009/lecture-notes/MIT2_72s09_lec01.pdf
- [16]- [INTERROLL] Fabricante de mototambores para diferentes industrias
<http://www.interroll.com/es/>
- [17]- [INTERROLL, 2011] INTERROLL, (2011) Mototambores, USA.
- [18]- [INTERROLL, 2010] INTERROLL, (2010) User Manual Interroll Drum Motors USA.
- [19]- [PUCP, 2015] PUCP (2015), Texto Dibujo Mecánico I Pontificia Universidad Católica del Perú
- [20]- [OBREGÓN, 2015] OBREGÓN M. (2015), Manual de Autodesk Inventor 2015 Nivel I y II, Universidad Nacional de Ingeniería.

- [21]- [CREUS, 2011] CREUS A., (2011) Instrumentación Industrial Octava edición,, Editorial Alfaomega, México.
- [22]- [NANDI, 2014] NANDI C., TUDU B. AND KOLEY C. (2014), Machine Vision Based Techniques for Automatic Mango Fruit Sorting and Grading Based on Maturity Level and Size
- [McCLURE, 1972] MCCLURE W., PHILLIP R., BOTH OF RALEIGH (1972), Blueberry sorter patent.
- [23]- [GOMIS, 2010] GOMIS O., FLAVIO L., (2010) Design Rules for Actuators in Active Mechanical Systems first edition, Springer, UK
- [24]- [SOLENOID] Are solenoids right for your application
<http://blog.futura.ie/are-solenoids-right-for-your-application>
- [25]- [LEDEX] Catálogo de productos LEDEX
http://www.lempel.hu/wp-content/uploads/2010/02/Ledex_mectric.pdf
- [26]- [JAIME GARCILAZO CORNEJO] Manejo Pre y Postcosecha de los arándanos
<https://www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=17&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjz9ceipqnMAhWIUJAKHV51C9c4ChAWCD0wBg&url=http%3A%2F%2Fs2d280551d41b6de2.jimcontent.com%2Fdownload%2Fversion%2F1435081747%2Fmodule%2F8664857482%2Fname%2FMANEJO%2520PRE%25200Y%2520POSTCOSECHA%2520DE%2520LOS%2520ARANDANOS.doc&usg=AFQjCNE45GfuKPEFndxeRjh14El2W518Ag&sig2=ng1nMtie2w9dEmiglpH6zw&bv m=bv.119745492,d.Y2I>

ANEXOS