

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**Facultad de Ciencias e Ingeniería**



**PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA SELECCIONADORA DE  
SEMILLAS DE SACHA INCHI PELADAS, POR COLOR CON  
CAPACIDAD DE 200 Kg/h.**

**Estefania Andrea Hermoza Llanos**

**ASESOR: Eliseo Benjamín, Barriga Gamarra.**

**Lima, febrero del 2018**

## RESUMEN

El siguiente trabajo presenta el diseño mecánico, eléctrico y electrónico de una máquina seleccionadora de semillas de Sacha Inchi peladas por color. Estas semillas se presentan en la etapa posterior al descascarado, las cuales están mezcladas entre semillas completamente descascaradas (color almendra) y semillas con cáscara (color marrón oscuro), las cuales deben de regresar al proceso anterior para poder descascararse completamente.

Para alcanzar el objetivo general del trabajo se tuvieron que definir las exigencias específicas que debe cumplir el sistema, realizar un estudio del estado del arte actual que permita reconocer el estado de la tecnología relacionada con el tema de selección de semillas, seguir la metodología del diseño según la norma VDI 2221, calcular los parámetros necesarios para el desarrollo mecánico y electrónico del sistema, diseñar la estructura mecánica, seleccionar todos los componentes electrónicos para un buen reconocimiento del color de la semilla, seleccionar todos los componentes eléctricos y estimar los costos involucrados en el proyecto.

En el diseño se consideraron todos los materiales en contacto con las semillas como no contaminantes, el flujo de salida final es de 200 Kg/h distinguiendo entre semillas café oscuras y color almendra. Para futuras mejoras, la estructura del sistema es apta a modificaciones hacia un sistema de procesamiento de imágenes capaz de controlar la calidad de las semillas a procesar.

El costo, dimensiones y capacidad de procesamiento final del sistema, lo hacen competente frente a las demás opciones existentes actualmente en el mercado, además de aumentar la productividad en el proceso de selección de semillas, ya que se traduce en tiempos más cortos de producción y por ende mayores ganancias comerciales.



*A Dios, por ser mi guía y fortaleza.*

*A mis padres, Fidel y Elizabeth, por enseñarme a ser perseverante y apoyarme incondicionalmente.*

*A mi hermano Diego, por creer en mí completamente y darme la seguridad que necesitaba.*

*A todos mis amigos y profesores, por ayudarme y enseñarme algo nuevo cada día.*

*Gracias a todos.*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los profesores Benjamín Barriga y Willy Carrera por todas las enseñanzas y consejos a lo largo de la realización del presente trabajo, al profesor Kurt Paulsen por orientarme y ayudarme a mejorar mi trabajo a lo largo del curso, al profesor Jorge Rodríguez por apoyarme a lo largo del semestre y a mis amigos Freddy, Fátima y Karina por el apoyo mutuo que nos permitió avanzar progresivamente hasta culminar satisfactoriamente cada uno de nuestros trabajos.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS.....</b>	<b>xi</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Alcance de la tesis .....	3
1.2. Objetivos de la tesis.....	4
1.3. Estado del arte .....	4
1.3.1. Características y frutos del Sacha Inchi .....	5
1.3.2. Referencias comerciales de seleccionadores de granos por color.....	5
1.3.3. Opciones de herramientas para la construcción del sistema .....	8
1.4. Listas de exigencias del sistema .....	10
1.5. Cronograma de trabajo para la elaboración del sistema.....	12
<b>II DISEÑO CONCEPTUAL Y ESTUDIO DEL PROCESO.....</b>	<b>13</b>
2.1. Funciones parciales o proceso técnico: .....	13
2.2. Abstracción o función total del sistema.....	14
2.3. Estructura de funciones por dominio.....	14
2.4. Estructura de funciones .....	15
2.4.1. Dominio mecánico:.....	15
2.4.2. Dominio de identificación de color:.....	15
2.4.3. Dominio electrónico:.....	16
2.5. Matriz morfológica.....	18
2.5.1. Dominio mecánico .....	18
2.5.2. Dominio de identificación de color.....	19
2.5.3. Dominio electrónico.....	20
2.6. Concepto solución óptimo de cada dominio .....	21
2.6.1. Concepto solución dominio mecánico .....	21

2.6.2.	Concepto solución de identificación de color .....	22
2.6.3.	Concepto solución dominio electrónico.....	23
2.7.	Conceptos óptimos integrados.....	24
2.8.	Optimización de conceptos solución integrados .....	25
2.8.1.	Solución 1: .....	25
2.8.2.	Solución 2: .....	26
2.8.3.	Solución 3: .....	27
2.9.	Evaluación de conceptos solución integrados .....	28
<b>III. DISEÑO PRELIMINAR.....</b>		<b>29</b>
3.1.	Cálculos de apoyo.....	29
3.2.	Proyectos preliminares .....	38
3.2.1.	Solución 1.....	38
3.2.2.	Solución 2.....	39
3.2.3.	Solución 3.....	39
3.3.	Evaluación técnico-económico con pesos.....	40
3.4.	Diagrama de evaluación según VDI 2221 .....	42
<b>IV. DESARROLLO DEL SISTEMA MECATRÓNICO.....</b>		<b>43</b>
4.1.	Diseño de elementos mecánicos.....	43
4.1.1.	Tolva .....	43
4.1.2.	Disco giratorio dosificador.....	48
4.1.3.	Dispensador interior de la tolva .....	51
4.1.4.	Torque de movimiento de dispensadores.....	53
4.1.5.	Rodamientos de soporte .....	54
4.1.6.	Árbol de transmisión.....	56
4.1.7.	Mecanismo de rotación intermitente.....	60
4.1.8.	Rampas de dosificación.....	62
4.2.	Diseño de sistema de control.....	65

4.2.1.	Reconocimiento de color.....	65
4.2.2.	Control de recepción y salida de la materia prima.....	68
4.2.3.	Actuador lineal eléctrico .....	69
4.2.4.	Control de actuadores lineales eléctricos .....	71
4.2.5.	Control de servomotores encargados de la selección.....	72
4.2.6.	Unidad central de procesamiento .....	73
4.3.	Diseño de sistema electrónico .....	75
4.3.1.	Adaptadores de alimentación .....	75
4.3.2.	Interruptor de control de potencia .....	76
4.3.3.	Protección contra corriente inversa.....	77
4.3.4.	Sistema de adquisición de datos del sensor de color.....	78
<b>V.</b>	<b>PLANOS.....</b>	<b>79</b>
5.1.	Planos del dominio mecánico.....	79
5.1.1.	Plano de ensamble principal (SI-01-A0).....	79
5.1.2.	Plano de sub-ensamble de dosificación (SI-02-A2).....	80
5.1.1.	Plano de la estructura (SI-03-A1) .....	81
5.1.2.	Plano del dispensador de semillas (SI-04-A3).....	81
5.1.3.	Plano del árbol principal (SI-05-A3).....	81
5.2.	Planos del dominio electrónico y de control (SI-06-A1).....	81
5.2.1.	Arduino uno – Control de los sensores de color .....	81
5.2.2.	Sensores de color.....	82
5.2.3.	Arduino uno – Control de los servomotores .....	82
5.2.4.	Placa PCA9685 Control de los servomotores .....	83
5.2.5.	Servomotores.....	83
5.2.6.	Motores DC.....	84
5.2.7.	Arduino uno – Control de los actuadores lineales .....	84
5.2.8.	Actuadores lineales .....	85

<b>VI ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL SISTEMA .....</b>	<b>86</b>
6.1. Estimación de costos de diseño .....	86
6.2. Estimación de costos del dominio mecánico .....	87
6.3. Estimación de costos del dominio electrónico .....	88
6.4. Estimación de costos eléctricos .....	88
6.1. Estimación de costos totales .....	89
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>90</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>1</b>
Anexo a. Sensores de color	1
Anexo b. Descripciones de las alternativas de los diferentes dominios	3
<b>PLANOS</b>	
Máquina seleccionadora de semillas de Sacha Inchi por color con capacidad de 200 kg/h.....	SI-01-A0
Sub-ensamble dosificación.....	SI-02-A2
Estructura.....	SI-03-A1
Dispensador de semillas.....	SI-04-A3
Árbol principal.....	SI-05-A3
Plano esquemático.....	SI-06-A1

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1 -Lista de exigencias.....	10
Tabla 1.2 -Lista de exigencias.....	11
Tabla 1.3 Cronograma de trabajo.....	12
Tabla 2.1- Matriz morfológica dominio mecánico .....	18
Tabla 2.2- Matriz morfológica de identificación de color .....	19
Tabla 2.3- Matriz morfológica del dominio electrónico .....	20
Tabla 2.4-Evaluación del dominio mecánico.....	21
Tabla 2.5-Evaluación de identificación de color.....	22
Tabla 2.6-Evaluación de identificación de color.....	23
Tabla 2.7-Evaluación de los conceptos solución integrados.....	28
Tabla 3.1 - Datos experimentales del peso de los frutos.....	30
Tabla 3.2-Medidas críticas de las semillas.....	30
Tabla 3.3-Medidas de la semilla con cáscara.....	31
Tabla 3.4- Valor técnico de los conceptos solución.....	40
Tabla 3.5- Valor técnico de los conceptos solución.....	41
Tabla 4.1 – Materiales de aporte para la soldadura de aceros inoxidables .....	47
Tabla 4.2 – Volumen y masa de semillas en el disco dosificador.....	49
Tabla 4.3 – Tiempo de recorrido de la semilla.....	51
Tabla 4.4– Datos de selección de chumacera.....	56
Tabla 4.5– Selección de chumaceras .....	56
Tabla 4.6 – Tiempos y velocidades de recorrido de la semilla .....	64
Tabla 4.7– Tiempos y velocidades de recorrido de la semilla .....	64
Tabla 4.8 – Frecuencias de salida para distintas longitudes de onda.....	66

Tabla 4.9 – Tiempo de respuesta para una muestra de 524nm de longitud de onda..	67
Tabla 4.10 – Sumatoria de corrientes.....	75
Tabla 6.1 – Estimación de costos de diseño.....	86
Tabla 6.2 – Estimación de costos mecánicos.....	87
Tabla 6.3 – Estimación de costos electrónicos.....	88
Tabla 6.4 – Estimación de costos eléctricos.....	88



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1- Etapas de los frutos.....	5
Fig. 1.2- Peladora de Sacha Inchi MADECSA.....	6
Fig. 1.3- Bandeja seleccionadora.....	6
Fig. 1.4- Color Sorter NANTA ACE.....	7
Fig. 1.5- Principio de selección.....	7
Fig. 1.6- -Selector de granos MARK.....	7
Fig. 1.7-Selector de Skittles y M&M.....	8
Fig. 1.8-Mecanismo de distribución.....	8
Fig. 2.1-Caja negra de la "Función principal".....	14
Fig. 2.2-Estructura de funciones por dominio.....	15
Fig. 2.3-Estructura de funciones del sistema.....	17
Fig. 2.4 -Concepto solución dominio.....	21
Fig. 2.5 -Concepto solución identificación de color.....	22
Fig. 2.6 -Concepto solución dominio electrónico.....	23
Fig. 2.7 -Solución integral 1.....	25
Fig. 2.8 -Solución integral 2.....	26
Fig. 2.9 - Solución integral 3.....	27
Fig. 3.1 -Medidas críticas de las semillas.....	30
Fig. 3.2 – Tolva de flujo expandido.....	33
Fig. 3.3 – Diseño de tolva.....	33
Fig. 3.4 – Dispositivos dosificadores.....	34
Fig. 3.5 – Medidas del agujero.....	35
Fig. 3.6– Movimiento del eje de un servomotor según la señal de PWM.....	37

Fig. 3.7-Bosquejo del sistema para dimensionamiento de ancho y alto .....	37
Fig. 3.8 – Proyecto preliminar 1.....	38
Fig. 3.9 – Proyecto preliminar 2.....	39
Fig. 3.10 – Proyecto preliminar 3.....	39
Fig. 3.11 - Diagrama de evaluación según VDI 2221 .....	42
Fig. 4.1 – Esquema de la tolva completa .....	44
Fig. 4.2 – Esquema de distribución de presiones en la tolva .....	45
Fig. 4.3 – Esquema de distribución de fuerzas en la base de la tolva .....	46
Fig. 4.4 – Representación 3D de la tolva diseñada .....	47
Fig. 4.5 – Tubo cuadrado negro galvanizado .....	48
Fig. 4.6 – Estructura final del sistema.....	48
Fig. 4.7 – Esquema de disco dosificador.....	48
Fig. 4.8 – Esquema cinemática de la semilla .....	50
Fig. 4.9 – DCL de la semilla en el disco dosificador .....	50
Fig. 4.10 – Dispensador circular .....	52
Fig. 4.11 – Carcasa del dispensador circular.....	53
Fig. 4.12 – Simulación carga desbalanceada .....	53
Fig. 4.13 – Centro de gravedad de carga desbalanceada.....	54
Fig. 4.14 – Cargas sobre el árbol de transmisión .....	55
Fig. 4.15 – Cargas sobre el árbol de transmisión .....	57
Fig. 4.16 – Diagrama de fuerzas cortantes en el plano x-z .....	57
Fig. 4.17 – Diagrama de momentos flectores en el eje y .....	57
Fig. 4.18 – Diagrama de momentos torsores en el eje x .....	58
Fig. 4.19 – Diagrama de Haigh para el material Ck45.....	59
Fig. 4.20 – Partes del mecanismo de trinquete.....	60
Fig. 4.21– Posiciones del actuador lineal.....	61

Fig. 4.22 – Rodillo de leva NUKRE 35 A .....	62
Fig. 4.23 – Arreglo de tuberías.....	62
Fig. 4.24 – Tiempos y esquema de caída de la semilla .....	63
Fig. 4.25 – DCL de la semilla deslizándose.....	63
Fig. 4.26 – Esquema de funcionamiento del sensor TCS230 .....	65
Fig. 4.27 – Diagrama de flujo de reconocimiento de color.....	66
Fig. 4.28 – Diagrama de flujo de control de recepción y salida de la materia prima.	68
Fig. 4.29 – Sistema de sensado de presencia. ....	69
Fig. 4.30 – Sistema de cableado del actuador lineal .....	70
Fig. 4.31 – Conexiones del actuador lineal .....	70
Fig. 4.32 – Relación Fuerza vs Corriente.....	71
Fig. 4.33 – Conexión de control de actuadores lineales.....	72
Fig. 4.34– Placa PCA9685 .....	73
Fig. 4.35– Conexiones con el servomotor.....	73
Fig. 4.36 – Arduino Uno .....	74
Fig. 4.37 – Fuente ATX .....	76
Fig. 4.38 – Interruptor termo magnético Bticino .....	77
Fig. 4.39 – Conexión del motor DC.....	77
Fig. 4.40 – Selector multiplexor de 16 entradas.....	78
Fig. 4.41 – Conexión serial entre dos arduinos .....	78
Fig. 5.1 – Arduino uno - Control de los sensores de color.....	82
Fig. 5.2 – Conexión de los sensores de color .....	82
Fig. 5.3 – Arduino uno – Control de los servomotores .....	83
Fig. 5.4 – Placa PCA9685 Control de los servomotores.....	83
Fig. 5.5 – Conexión de servomotores.....	84
Fig. 5.6 – Conexión de motores DC.....	84

Fig. 5.7 – Arduino uno – Control de los actuadores lineales .....	85
Fig. 5.8 – Conexión de los actuadores lineales .....	85
Fig. 6.1-Sensor MTHB de BUHLER .....	1
Fig. 6.2-Sensor de color SOEC RT Q50 .....	1
Fig. 6.3-MVS Sensor OPTEX FA.....	1
Fig. 6.4-TCS230.....	2
Fig. 6.5-TCS34725.....	2
Fig. 6.6- Solución 1 Dominio Mecánico.....	3
Fig. 6.7 - Solución 2 Dominio Mecánico.....	3
Fig. 6.8 - Solución 3 Dominio Mecánico.....	3
Fig. 6.9 - Solución 1 Identificación de color.....	4
Fig. 6.10 - Solución 2 Identificación de color.....	4
Fig. 6.11 - Solución 3 Identificación de color.....	4
Fig. 6.12 - Solución 1 Dominio Electrónico .....	5
Fig. 6.13 - Solución 2 Dominio Electrónico .....	5
Fig. 6.14 - Solución 3 Dominio Electrónico .....	5

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $\rho_{semilla}$  = Densidad de los frutos.
- $w_{semillas}$  = Peso de todo el volumen de semillas en la tolva.
- $v_{tolva}$  = Volumen total de la tolva.
- $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$  = Gravedad
- $f_{max}$  = Flecha máxima permitida de deformación de la placa
- $w_{distribuida}$  = Fuerza distribuida en la placa base
- $l_{placa}$  = Longitud máxima de la placa base
- $E_{placa}$  = Módulo de Young de la placa
- $I_{placa}$  = Momento de inercia de la placa
- $h_{placa}$  = Espesor de placa
- $b_{placa}$  = Ancho de placa
- $a_{semilla}$  = Área promedio de una semilla considerada como una elipse
- $a_{disco}$  = Área del disco dosificador
- $semillas_{disco}$  = Cantidad de semillas en un disco
- $\mu_{est}$  = Coeficiente de fricción estática entre la semilla y superficies varias
- $v_{tolva}$  = Volumen de la tolva
- $\alpha$  = Ángulo de salida de la boca de la tolva
- $w_{distribuida}$  = Fuerza distribuida en la base de la tolva
- $f_{max}$  = Flecha máxima permitida en la base de la tolva
- $I_{placa}$  = Inercia de la placa base de la tolva
- $h_{placa}$  = Espesor de la placa
- $R_{exterior}$  = Radio exterior del dosificador interior de la tolva
- $d_{cg}$  = Distancia entre el centro de gravedad y el centro de giro
- $M_{torsor}$  = Momento torsor requerido
- $B$  = Reacción en el apoyo B
- $A$  = Reacción en el apoyo A
- $\sigma_{f medio}$  = Esfuerzo de flexión medio
- $\sigma_{f max}$  = Esfuerzo de flexión máximo
- $\tau_{medio}$  = Esfuerzo de torsión medio

- $\tau_{alt}$  = Esfuerzo de torsión alternante
- $\sigma_{medio\ eq}$  = Esfuerzo equivalente por Tresca
- $cs$  = Coeficiente de superficie
- $ct$  = Factor de tamaño
- $\beta t$  = Factor efectivo de concentración de esfuerzos
- $\phi_{giro}$  = Ángulo de giro necesario en el sistema de trinquete
- $r_{pin}$  = Radio de inicio del pin en el sistema de trinquete
- $d_{lineal}$  = Distancia lineal recorrida en el sistema de trinquete
- $F_{actuador}$  = Fuerza requerida por el actuador lineal
- $a$  = Aceleración de la semilla



## CAPÍTULO 1

### INTRODUCCIÓN

En los últimos años el Perú ha ido explorando todas aquellas especies únicas y valiosas que posee dentro de su biodiversidad nativa; dentro de las cuales se encuentran distintas hortalizas, frutas, verduras y granos.

El Perú ha promovido últimamente el concepto de biocomercio, el cual se define como todas aquellas actividades “de recolección, producción, transformación y comercialización de los bienes y servicios derivados de la biodiversidad nativa bajo los criterios de sostenibilidad ambiental, social y económica” (Vanessa Ingar 2013). Dentro del contexto del biocomercio, el gobierno peruano ha estado desarrollando un proyecto a nivel nacional llamado “Perú Biodiverso”, el cual “busca incrementar el acceso de empresas peruanas de biocomercio a los mercados internacionales y nacionales, la competitividad de las organizaciones de productores y empresas del biocomercio y contar con un marco normativo y legal a nivel nacional promotor del biocomercio” (Ministerio del ambiente 2013).

El Sacha Inchi es una de las especies de mayor preferencia para su promoción y difusión de productos dentro del proyecto “Perú Biodiverso”, esta preferencia se debe al gran auge en el consumo de aceites vegetales a nivel mundial en los últimos años. Los consumidores eligen esta opción por ser más sana, nutritiva y equilibrada a comparación del consumo de aceites de origen animal, la cual se considera dañina en

exceso pues tiende a obstruir las arterias de colesterol y aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares<sup>1</sup>.

El fruto del Sacha Inchi es considerado como la Oleaginosa de mayor contenido de Omega 3, 6 y 9 de origen vegetal en el mundo, con una digestibilidad de hasta 97%, antioxidantes, alfa tocoferol, vitamina A y posee un alto contenido de ácido graso esencial alfa linolénico omega 3, el cual es necesario para el ser humano ya que no lo puede sintetizar a partir de otros alimentos. También cabe mencionar que el total de ácidos grasos saturados asciende solo al 6.5% y ácidos grasos insaturados es de 92.7%, por lo que se le considera como un aceite de alta industrialización<sup>2</sup>.

Actualmente el mercado europeo se localiza como el mercado más interesado en los productos del Sacha Inchi enfocándose en el aceite del mismo, debido a su alto contenido de omega 3, el cual mayormente es extraído del bacalao, pero posee propiedades energéticas y nutritivas inferiores a las del Sacha Inchi, además de ser un animal en peligro de extinción.

Debido al gran auge de la producción de aceite y demás derivados de los frutos de la planta de Sacha Inchi, hoy en día se encuentran plantaciones distribuidas por todo el trópico latinoamericano desde el Sur de México, Indias Occidentales, la Amazonía y el acre en Bolivia; además de distintos distritos del Perú como Madre de Dios, Huánuco, Pasco, San Martín, Ucayali y Loreto<sup>3</sup>.

Actualmente el cultivo y producción de los derivados de esta planta es poco tecnificada y ante la gran demanda de los consumidores, las empresas se han visto obligadas a desarrollar máquinas automatizadas para aumentar la producción comercial.

Esta automatización es sumamente beneficiosa para las empresas, ya que se traduce en tiempos más cortos de producción y por ende mayores ganancias

---

<sup>1</sup> CHIRINOS, Octavio; ADACHI, Leonardo; CALDERÓN, Fernando; DÍAZ, Raúl; LARREA, Luis; MUCHA, Gustavo y ROQUE, Liliana. 2009. *Exportación de aceite de sachá Inchi al mercado de Estados Unidos*. Lima: Universidad ESAN. Consulta: 24 de Marzo del 2016.

<sup>2</sup> INKANAT. 2016. *SACHA INCHI el aceite de los incas*. <http://www.inkanat.com/es/arti.asp?ref=sacha-inchi-aceite>

<sup>3</sup> MINISTERIO DE LA AGRICULTURA. s.f. *CULTIVO DE SACHA INCHI [Boletín técnico]*. Lima. Consulta: 05 de Abril del 2016

comerciales; también este beneficio puede enfocarse en un mayor aprovechamiento del trabajo humano en labores de producción donde se necesite una mayor precisión para obtener un producto de alta calidad.

Dentro de las etapas para la extracción de aceite de Sacha Inchi se encuentran las siguientes: pesado, descascarado, selección de frutos, triturado, tamizado, tratamiento térmico, prensado y filtración.

La presente tesis se enfocará en la etapa de selección de frutos por color, ya que actualmente es un proceso que se realiza de forma manual por operarios de las distintas empresas y es posible realizar una automatización mecatrónica de la misma, para poder derivar dicho producto más rápidamente a los procesos subsiguientes y disminuir tiempos de trabajo generando un mayor valor comercial a todo el proceso.

### **1.1. Alcance de la tesis**

La presente tesis tiene como alcance el diseño de una máquina seleccionadora de frutos de Sacha Inchi por color luego de la etapa de descascarado.

Para comprender mejor el alcance se presentará a continuación una pequeña descripción de las dos fases en las cuales se presenta el fruto del Sacha Inchi luego del proceso de descascarado:

- a) Fruto en forma de cápsula color marrón oscuro con un diámetro de 15 a 20 milímetros, el cual contiene en su interior la fase final en forma de almendra.
- b) Almendra de color crema con un diámetro de 14.8 a 15.2 milímetros, el cual es la última fase del fruto de la planta de *Plukenetia volubilis*, más conocida como inchi, sachá inchi, sachá maní, maní del Inca o maní Jibaro.

El material de entrada para la máquina será dicho frutos en las dos fases mencionadas anteriormente, las cuales estarán mezcladas entre sí. El producto de salida se entiende como dos recipientes separados que contengan los frutos ya separados por color, listos para el procesamiento de las mismas.

Para alcanzar dicho objetivo se ha propuesto un sistema que involucre distintos dominios: mecánico, eléctrico, electrónico y de control. Dicho sistema debe ser completamente autónomo, por lo que la única interacción entre el usuario y el sistema debe ser el proceso de alimentación de materia prima, señales de control y el retirado del producto ya seleccionado.

Al término de la presente tesis se habrán entregado todos los cálculos de diseño, planos mecánicos, electrónicos y materiales a utilizar, así como los diagramas de flujo para el control del sistema.

## **1.2. Objetivos de la tesis**

El objetivo principal de la presente tesis consiste en el diseño de un sistema seleccionador de frutos de Sacha Inchi pelados por color en sus fases de semilla marrón oscura y almendra. A continuación, se presentan los objetivos específicos que permitirán alcanzar el objetivo principal del presente trabajo:

- Definir las exigencias específicas que debe cumplir el sistema para lograr el objetivo principal.
- Realizar un estudio del estado del arte actual que permita reconocer el estado de la tecnología relacionada con el tema de selección de semillas de Sacha Inchi.
- Seguir la metodología del diseño según la norma VDI 2221.
- Calcular los parámetros necesarios para el desarrollo mecánico y electrónico del sistema.
- Diseñar la estructura mecánica según los requerimientos antes mencionados.
- Seleccionar todos los componentes electrónicos para un buen reconocimiento del color de la semilla a analizar y el accionamiento del sistema de selección, además de todos los componentes eléctricos para la alimentación del sistema.
- Estimar los costos involucrados en el proyecto.

## **1.3. Estado del arte**

Gracias a la gran importancia comercial que están adquiriendo últimamente los derivados de los frutos del Sacha Inchi, se han ido desarrollando máquinas automáticas para reducir tiempos de producción en las empresas productoras.

Para abarcar un escenario completo de la situación actual, en primer lugar, se presentarán las distintas etapas de los frutos de Sacha Inchi y sus características; en segundo lugar, se hará un estudio de la tecnología de diferentes modelos de sistemas con la misma función de seleccionador de granos por color en el mercado actual; y en último lugar, se describirá una gama de posibilidades según los dominios mecánicos, electrónicos, control y software con la finalidad de concretar el diseño.

### 1.3.1. Características y frutos del Sacha Inchi

La planta del Sacha Inchi tiene como nombre científico *Plukenetia volubilis* Linneo y se le conoce también como Inca Peanut, Sacha Inchic, maní del monte, Sacha Yachi o maní del inca.

Se puede cultivar desde los 100 m.s.n.m. en la Selva Baja, hasta los 1500 m.s.n.m. en la Selva Alta; también requiere de abundante agua, luz y un terreno de buen drenaje. La producción de Sacha Inchi es preferente entre los meses de marzo a septiembre si se considera un terreno en territorio peruano.

A continuación se muestra un diagrama acerca de las etapas de los frutos provenientes de la planta de Sacha Inchi:



Fig. 1.1- Etapas de los frutos.  
Fuente: Elaboración propia. Marzo 2016

### 1.3.2. Referencias comerciales de seleccionadores de granos por color

Actualmente existen máquinas que facilitan las etapas del procesamiento del Sacha Inchi, en cuanto a la etapa de selección de frutos se encuentran los siguientes sistemas:

#### 1.3.2.1. Peladora de Sacha Inchi MADECSA:

Posee un dimensionamiento de aproximadamente 1.6m de altura y 1m de ancho. La recepción de la materia prima es a través de un recipiente cónico; luego, pasa por un mecanismo rotatorio, el cual evita el atascamiento de los frutos; a continuación, atraviesa todo el proceso de descascarado; y por último, se encuentra la etapa de énfasis y por la cual se considera una referencia: la selección de frutos a través de unas rejillas especialmente diseñadas, considerando las medidas estándar de los frutos: Semilla oscura

y almendra (Ilustración 3). Gracias a estas rejillas se seleccionan los frutos a través de dos bandejas y su salida es de manera individual<sup>4</sup>.



Fig. 1.2- Peladora de Sacha Inchi MADECSA  
Fuente: MADECSA PERU. Marzo 2016



Fig. 1.3- Bandeja seleccionadora  
Fuente: MADECSA PERU. Marzo 2016

### 1.3.2.2. Color Sorter DAEWON GSI

El principio de selección comienza con un mecanismo vibratorio, el cual agrupa y ordena la materia prima para luego ser transportada a través de una bandeja, la cual permitirá el paso de las semillas a través de una cámara que enviará la información respectiva y será procesada para decidir si la semilla o fruto está en las condiciones deseadas o no. La materia prima rechazada será expulsada a otro recipiente a través de un eyector (Ilustración 5).

Su capacidad de procesamiento va desde 1 ton/h hasta 18 ton/h y puede procesar granos de habas, maíz, frejoles, semillas de calabaza, semillas de girasol, café, semillas de sésamo, plástico, avellanas, ajos, lentejas, sal y Sacha Inchi<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> MADECSA PERU. 2012. *DESCAPSULADORA DE SACHA INCHI – MADECSA*. Consulta: 01 de Abril del 2016. [https://www.youtube.com/watch?v=I\\_FNs1BOpsI](https://www.youtube.com/watch?v=I_FNs1BOpsI).

<sup>5</sup> DAEWON GSI.s/f *COLOR SORTER 1B FULL COLOR*. Consulta: 01 de Abril del 2016. <http://www.daewon.com/english/html/sub3-7.html>



Fig. 1.4- Color Sorter NANTA ACE  
Fuente: DAEWON GSI. Marzo 2016



Fig. 1.5- Principio de selección  
Fuente: DAEWON GSI. Marzo 2016

### 1.3.2.3. Mark Color Sorter

Mark es una empresa dedicada a la manufactura y exportación de máquinas seleccionadoras y procesadoras de comida.

Dentro del ámbito de las seleccionadoras de granos por color se encuentran diversos modelos diferenciándose en cuanto a capacidad de procesamiento y potencia. Al igual que la empresa DAEWON GSI, utiliza un mecanismo vibratorio, una bandeja con aproximadamente 28 canales de 6mm cada uno, cámaras CCD y un sistema de expulsión<sup>6</sup>.



Fig. 1.6- Selector de granos MARK  
Fuente: Mark Color Sorter. Marzo 2016

### 1.3.2.4. Seleccionador de Skittles y M&M

Este sistema selecciona de manera efectiva los diferentes colores de Skittles y M&M, consiste en un simple embudo para la recepción de la materia prima, luego se encuentra un mecanismo giratorio de distribución que permite analizar uno a uno cada caramelo (Fig 1.8), luego del análisis

<sup>6</sup> Mark COLOR SORTER. s/f. *Mark Color Sorter*. Consulta: 02 de Abril del 2016. <http://www.sortermachine.com/mark-color-sorter-2361505.html>

pasa por una rampa dirigida al recipiente que corresponde a su color. Esta selección de recipiente se logra mediante un servomotor<sup>7</sup>.

En cuanto al procesamiento se utiliza un Arduino Uno y un sensor de color ADJD-S311, el costo total del proyecto es de 127.04 USD.



Fig. 1.7-Selector de Skittles y M&M  
Fuente: IVC Wiki. Marzo 2016



Fig. 1.8-Mecanismo de distribución  
Fuente: IVC Wiki. Marzo 2016

### 1.3.3. Opciones de herramientas para la construcción del sistema

En cuanto a las herramientas a utilizar para la construcción del sistema se encuentran las siguientes:

1.3.3.1. Materiales estructurales: Se utilizarán para la fabricación de la estructura, la cual se considera como el esqueleto del sistema, además de proteger los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos del mismo.

- Acero estructural:
  - Empresa Bohler Perú.
  - Aceros Arequipa
- Aluminio:
  - Empresa Alumin Perú.
  - Aluminios Bélgica

1.3.3.2. Motores: Delcrosa Perú.

1.3.3.3. Rodamientos: Rodamientos SKF.

1.3.3.4. Sensores de color: Actualmente existen diversos métodos para captar el color de los objetos a través de sensores ópticos, a

<sup>7</sup> IVC 2016. *Skittles M&M's Sorting Machine*. Consulta: 02 de Abril del 2016. [http://beta.ivc.no/wiki/index.php?title=Skittles\\_M%26M%27s\\_Sorting\\_Machine&action=info](http://beta.ivc.no/wiki/index.php?title=Skittles_M%26M%27s_Sorting_Machine&action=info)

continuación, se nombran algunos de ellos, los cuales están detallados más a fondo en el Anexo a-Sensores de color:

- Sensor de color Online para medición de granos MYHB
- Sensores opto electrónicos FESTO
- MVS Sensor OPTEX FA
- Colorímetro con TCS230
- Adafruit TCS34725



#### 1.4. Listas de exigencias del sistema

A continuación se presenta una tabla de requerimientos que debe cumplir el sistema, divididos en diferentes ámbitos tales como función principal, geometría, cinemática, fuerzas, energía, materia prima, señales, electrónica, seguridad, ergonomía, fabricación, transporte, mantenimiento, uso, materiales, costos y plazos.

Tabla 1.1 -Lista de exigencias  
Fuente: Elaboración propia. Abril 2016

LISTA DE EXIGENCIAS			Pág. 1 de 2
			Revisión 3
PROYECTO:		Máquina automática seleccionadora de semillas de Sacha Inchi por color.	Fecha: 08/04/2016
CLIENTE:		PUCP-Facultad de Ingeniería Mecatrónica	Revisado: BB
Fecha (cambios)	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
05/04/2016	E	<b>Función principal:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Separación de frutos de la planta de Sacha Inchi de sus dos últimas etapas; es decir, separará las semillas marrón oscura oscuras de las semillas almendra.</li> <li>Flujo de salida del producto será de 200 kg/h.</li> </ul>	Estefanía Hermoza
19/03/2016	E	<b>Geometría:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>El sistema no debe sobrepasar un espacio volumétrico de 1650×1500×1900 mm para ser competitivos en el mercado actual.</li> </ul>	Estefanía Hermoza
30/03/2016	E	<b>Cinemática:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>El flujo de salida del producto ya seleccionado será de mínimo 200 kg/h</li> </ul>	Estefanía Hermoza
19/03/2016	D	<b>Fuerzas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Su peso total no debe sobrepasar de 500 kg, sin contar la carga de la materia prima.</li> </ul>	Estefanía Hermoza
05/04/2016	E	<b>Energía:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>La fuente de corriente debe de ser acorde con la corriente eléctrica en Perú, es decir, 220 v y 60 Hz.</li> </ul>	Estefanía Hermoza
19/03/2016	E	<b>Materia prima:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>La materia prima utilizada serán únicamente los frutos de la planta de Sacha Inchi en sus dos últimas etapas: Cápsula color marrón oscuro y almendra color crema.</li> </ul>	Estefanía Hermoza
05/04/2016	E	<b>Señales (Información) :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se le brindarán al sistema señales que indiquen el inicio, falta de material o parada de emergencia.</li> <li>Se indicará con una alerta cuando los recipientes de frutos seleccionados se encuentre lleno.</li> </ul>	Estefanía Hermoza

Tabla 1.2 -Lista de exigencias  
Fuente: Elaboración propia. Abril 2016

<b>LISTA DE EXIGENCIAS</b>			Pág. 2 de 2
			Revisión 3
<b>PROYECTO:</b>		Máquina automática seleccionadora de semillas de Sacha Inchi por color.	Fecha: 08/04/2016
<b>CLIENTE:</b>		PUCP-Facultad de Ingeniería Mecatrónica	Elaborado: 18/03/2016
Fecha (cambios)	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
05/04/2016	D	Señales (Información) : <ul style="list-style-type: none"> <li>Habrará una parada de trabajo cuando el recipiente de alimentación sobrepase el volumen máximo o cuando no se sensen más frutos en la línea de trabajo.</li> </ul>	Estefania Hermoza
05/04/2016	E	Electrónica : <ul style="list-style-type: none"> <li>El sistema debe poseer un sistema que permita la programación, control y recepción de datos que permita su funcionamiento.</li> <li>El sistema debe poseer un sistema de reconocimiento de color para seleccionar los frutos de manera adecuada.</li> </ul>	Estefania Hermoza
25/03/2016	E	Seguridad : <ul style="list-style-type: none"> <li>El sistema se diseñará tomando en cuenta las condiciones de política nacional de seguridad y salud en el trabajo (LEY N° 29783)</li> </ul>	Estefania Hermoza
19/03/2016	E	Ergonomía : <ul style="list-style-type: none"> <li>La altura del recipiente de suministro de materia prima estará al alcance del operario.</li> <li>La altura de los dispositivos de control del sistema (botones, interruptores, etc) estarán al alcance del operario.</li> </ul>	Estefania Hermoza
28/03/2016	E	Fabricación : <ul style="list-style-type: none"> <li>El sistema será fabricado en talleres locales y se utilizarán materiales de fácil adquisición.</li> </ul>	Estefania Hermoza
19/03/2016	D	Transporte: <ul style="list-style-type: none"> <li>El sistema tendrá forma modular para su fácil traslado.</li> </ul>	Estefania Hermoza
05/04/2016	E	Mantenimiento: <ul style="list-style-type: none"> <li>Fácil acceso a las piezas que requieren lubricación constante.</li> <li>Fácil sustitución de las piezas de mayor desgaste.</li> </ul>	Estefania Hermoza
05/04/2016	E	Uso: <ul style="list-style-type: none"> <li>El sistema trabajará en un ambiente de taller de producción.</li> </ul>	Estefania Hermoza
05/04/2016	E	Materiales: <ul style="list-style-type: none"> <li>Todos los materiales del sistema que se encuentren en contacto con los frutos de Sacha Inchi deben ser no contaminantes</li> </ul>	Estefania Hermoza
05/04/2016	E	Costos: <ul style="list-style-type: none"> <li>Se tiene un costo de diseño de S/.2050, considerando como costo de diseño 10 Soles/Hora.</li> </ul>	Estefania Hermoza
30/03/2016	E	Plazos: <ul style="list-style-type: none"> <li>Se debe entregar el diseño final del proyecto el 10 de junio del 2016.</li> </ul>	Estefania Hermoza

### 1.5. Cronograma de trabajo para la elaboración del sistema

Tabla 1.3 Cronograma de trabajo  
Fuente: Elaboración propia. Abril 2016

Actividades	Duración (horas)	Semanas																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>Comprensión de la solicitud</b>																			
Documentar los alcances y solicitudes del proyecto	1																		
Elaborar plan de trabajo	2																		
Elaborar lista de exigencias	2																		
Estado de la tecnología	4																		
<b>Entrega de informe: problemática, estado de la tecnología y lista de requerimientos</b>																			
<b>Concepto solución</b>																			
Estructura de funciones de cada dominio	4																		
Matriz morfológica	4																		
Conceptos solución	10																		
Concepto solución óptimo de cada dominio	6																		
Conceptos solución óptimos integrados	10																		
Evaluación y bosquejo de los conceptos solución integrados	5																		
<b>Entrega de informe: Estructura de funciones, matriz morfológica, conceptos solución, evaluación de soluciones y concepto óptimo.</b>																			
<b>Elaboración del proyecto preliminar</b>																			
Elaborar cálculos preliminares de acuerdo al requerimiento	15																		
Seleccionar materiales de estructura y dimensionar	10																		
Seleccionar elementos mecánicos	10																		
Seleccionar sensores, actuadores y dispositivos de control	4																		
Seleccionar elementos de potencia	6																		
Organizar y elaborar sistema de control	4																		
<b>Entrega de informe: Índice final, diagrama de bloques del sistema, planos previos y flujoograma del sistema y descripción de sensores y actuadores.</b>																			
<b>Elaboración de proyecto definitivo</b>																			
Realizar cálculos definitivos	20																		
Elegir materiales definitivos	8																		
Elegir elementos mecánicos definitivos	12																		
Elegir sensores, actuadores y dispositivos de control definitivos	4																		
Elegir elementos de potencia definitivos	6																		
Determinar costos componentes, materiales y fabricación finales	5																		
Elaborar planos mecánicos - ensamble	20																		
Elaborar planos mecánicos - despiece	20																		
Elaborar planos eléctricos	7																		
Elaborar planos electrónicos	6																		
<b>Redacción del documento</b>																			
<b>Entrega de informe final</b>																			
<b>Presentación ante el jurado</b>																			
Total de horas	205																		

## CAPÍTULO 2

### DISEÑO CONCEPTUAL Y ESTUDIO DEL PROCESO

Para poder realizar un buen estudio del proceso es necesario conceptualizar el problema de selección de frutos pelados de Sacha Inchi como una serie de procesos secuenciales, los cuales podrán ser resueltos con distintos procedimientos.

#### 2.1. Funciones parciales o proceso técnico:

##### A. Preparación

- A.1. Verter las semillas peladas en algún recipiente que permita canalizarlas.
- A.2. Asegurarse que están repartidas equitativamente en el recipiente.
- A.3. Asegurarse que no se rebase de la cantidad máxima permitida

##### B. Ejecución

- B.1. Distribuir las semillas en orden para permitir su selección una por una.
- B.2. Seleccionar una por una las semillas de tal manera que permita el análisis y traslado de la semilla anterior.
- B.3. Trasladar la semilla a una zona de identificación.

B.4. Mantener en posición adecuada a la semilla para ser analizada, por un tiempo determinado, según el tiempo de procesamiento del sensor de color.

B.5. Analizar la semilla a través de un sensor de color.

B.6. Trasladar la semilla analizada a la zona de selección.

B.7. Dependiendo del procesamiento hecho anteriormente, controlar el mecanismo de selección de frutos por color.

B.8. Trasladar el fruto a su centro de acopio final respectivo.

### C. Fase final

C.1. Controlar la buena recepción de los frutos seleccionados.

C.2. Controlar la cantidad contenida en cada recipiente.

C.3. Reiniciar la secuencia.

## 2.2. Abstracción o función total del sistema

A continuación, se presentará un esquema de "Función Total" del sistema seleccionador de semillas peladas de Sacha Inchi, el cual representa el proceso de abstracción para abarcar la mayor cantidad de soluciones posibles (Caja negra):

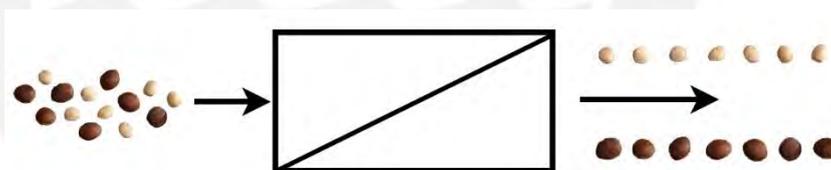


Fig. 2.1-Caja negra de la "Función principal"  
Fuente: Elaboración propia. Abril 2016

## 2.3. Estructura de funciones por dominio

A continuación, se desglosará esta función total según los dominios que posee el proyecto, considerándolos como cajas negras de las cuales se conoce únicamente sus salidas y entradas:

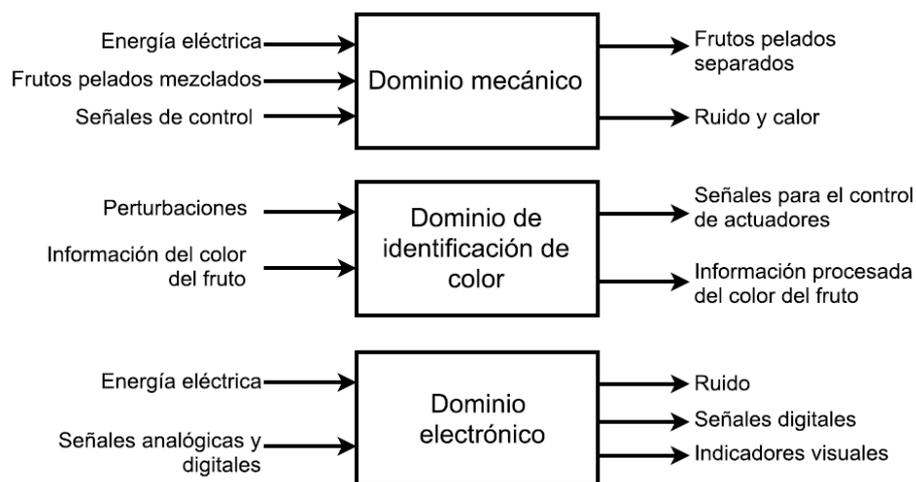


Fig. 2.2-Estructura de funciones por dominio  
Fuente: Elaboración propia. Abril 2016

## 2.4. Estructura de funciones

Una vez reconocidos los distintos dominios del sistema se procederá a realizar la estructura de funciones detallada de cada una:

### 2.4.1. Dominio mecánico:

Se encargará de *almacenar* el material, lo cual consiste en recibir la materia prima y canalizarlo; luego se procederá a *dosificar* los frutos, es decir, separarlos entre sí, para luego *trasladarlos y posicionarlos* de manera que la identificación de color sea correcta; en un siguiente paso se *seleccionarán* los frutos con ayuda de la información proveniente del dominio de identificación de color y por último se *almacenarán* en distintos recipientes para finalmente obtener los frutos separados por color.

### 2.4.2. Dominio de identificación de color:

Este dominio se encargará exclusivamente del procesamiento de la información del color de cada fruto analizado; su ciclo comenzará al *detectar* la presencia del fruto en la posición adecuada para su sensado, luego se procederá a *registrar* una cierta cantidad de muestras para *procesar* dicha información y finalmente *amplificar* dicha información para el control de los actuadores encargados de la selección y *enviar* la información pertinente.

### 2.4.3. Dominio electrónico:

Será el encargado de tres ciclos del sistema, el primero, consiste en el *sensado* de la capacidad máxima en el recipiente de recepción de la materia prima, para luego *amplificar* dichas señales y finalmente *mostrar* los estados del sistema al usuario; el segundo, es el encargado de proporcionar la *alimentación* al sistema ;y el tercero, involucra el *control del estado* del sistema, a través de las señales de funcionamiento proporcionadas por el usuario, tales como: encendido, apagado o parada de emergencia.



A continuación, se muestra la estructura de funciones desarrollado anteriormente:

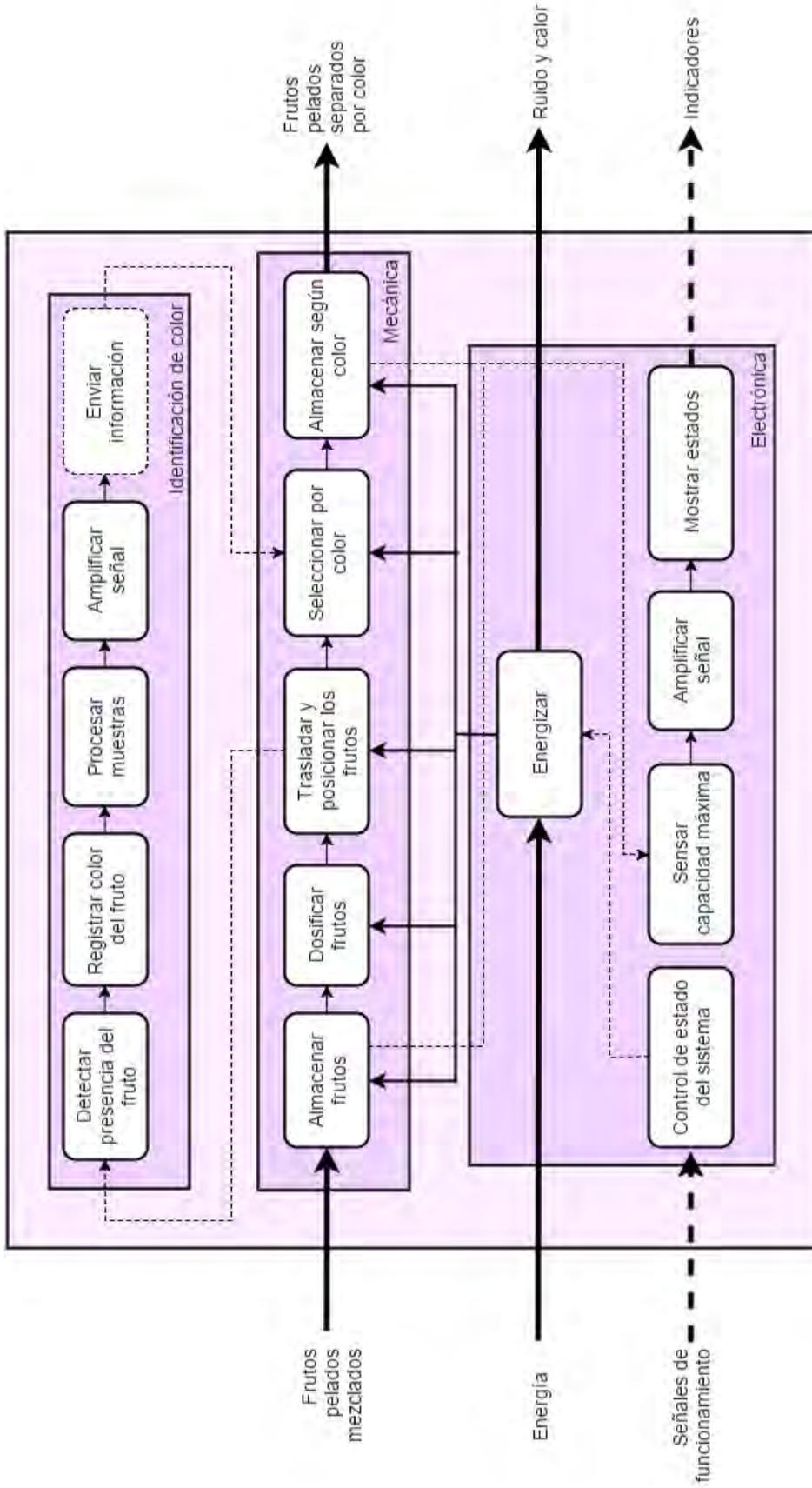


Fig. 2.3-Estructura de funciones del sistema  
Fuente: Elaboración propia. Abril 2016

## 2.5. Matriz morfológica

A continuación, se presentan las diferentes matrices morfológicas para cada dominio previamente descrito, esta metodología ayudó a visualizar las diferentes opciones y escoger una solución idónea para los requerimientos.

### 2.5.1. Dominio mecánico

Tabla 2.1- Matriz morfológica dominio mecánico  
Fuente: Elaboración propia. Abril 2016

Funciones parciales	Portadores de funciones			
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
1. Almacenar frutos	Tolva 	Tolva con canales 	Manual 	
2. Dosificar frutos	Escobilla y faja con agujeros 	Disco giratorio con abertura 	Disco giratorio con agujeros 	Gravedad 
3. Trasladar y posicionar los frutos	Faja 	Rampa 	Gravedad 	Mesa vibratoria 
4. Seleccionar por color	Mecanismo trampa con motor. 	Expulsor aire comprimido 	Solenoid 	
5. Almacenar según color	Cajas extraíbles 			

Las descripciones de las alternativas resultantes de la matriz morfológica anterior se encuentran en el Anexo b.1.

## 2.5.2. Dominio de identificación de color

Tabla 2.2- Matriz morfológica de identificación de color

Fuente: Elaboración propia. Abril 2016

Funciones parciales	Portadores de funciones			
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
1. Detectar presencia del fruto	Emisor – Receptor IF 	Sensor de barrera 	Sensor de movimiento 	
2. Registrar color del fruto	Sensor óptico CNY70 	Sensor de color RGB TCS3200 	MVS Sensor 	Sensor de color RGB TCS34725 
3. Procesar muestras	Diseño de Microcontrolador 	Plataforma electrónica pre-diseñada 	PLC 	
4. Amplificar la señal	Mosfet de potencia 	Relé de potencia 	Optoacoplador con TRIAC 	

Las descripciones de las alternativas resultantes de la matriz morfológica anterior se encuentran en el Anexo b.2

### 2.5.3. Dominio electrónico

Tabla 2.3- Matriz morfológica del dominio electrónico  
Fuente: Elaboración propia. Abril 2016

Funciones parciales	Portadores de funciones		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1. Control de estado del sistema	Control inalámbrico 	Caja botoneras 	Pantalla HMI 
2. Sensar capacidad máxima	Emisor – Receptor IF 	Sensor de barrera 	Sensor de movimiento 
3. Mostrar estados	Indicador LED 	Indicador Sonido 	Pantalla 

Las descripciones de las alternativas resultantes de la matriz morfológica anterior se encuentran en el Anexo b.3

## 2.6. Concepto solución óptimo de cada dominio

### 2.6.1. Concepto solución dominio mecánico

Tabla 2.4-Evaluación del dominio mecánico  
Fuente: Norma VDI 2221. Abril 2016

No	Criterios técnicos y económicos	Soluciones			
		1 <span style="color: blue;">■</span>	2 <span style="color: green;">■</span>	3 <span style="color: red;">■</span>	Ideal
1	Función	2	2	3	4
2	Rapidez	2	1	3	4
3	Facilidad de manejo	3	2	2	4
4	Calidad de Trabajo	1	3	2	4
5	Buen uso de fuerza o energía	2	1	2	4
6	Lista de exigencias (grado de cumplimiento incluyendo deseos)	2	2	2	4
7	Facilidad de montaje	1	1	1	4
8	Productividad	2	1	2	4
9	Costo de la tecnología	1	1	2	4
10	Costo de operaciones	2	2	3	4
<b>Suma total</b>		<b>18</b>	<b>16</b>	<b>22</b>	<b>40</b>

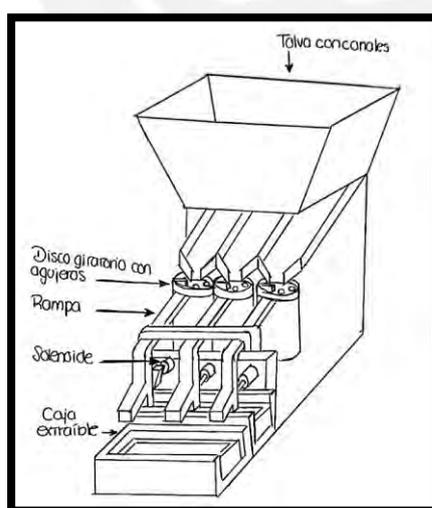


Fig. 2.4 -Concepto solución dominio mecánico  
Fuente: Elaboración propia. Abril 2016

**Solución 3:** Se ingresarán las semillas con una tolva de múltiples canales de salida para conseguir una mejor distribución, luego pasará al mecanismo de dosificación a través de un disco giratorio con agujeros y una paleta de ayuda, dicho mecanismo ayuda a la separación de los frutos sin dañarlos, seguidamente, los frutos pasarán por unas rampas no contaminantes donde se identificará su color y por último, un solenoide será el actuador encargado de separarlas por color en su recipiente correspondiente.

## 2.6.2. Concepto solución de identificación de color

Tabla 2.5-Evaluación de identificación de color

Fuente: Norma VDI 2221. Abril 2016

No	Criterios técnicos y económicos	Soluciones			
		1 	2 	3 	Ideal
1	Función	2	2	3	4
2	Rapidez	2	1	3	4
3	Facilidad de manejo	3	2	1	4
4	Calidad de Trabajo	2	1	3	4
5	Buen uso de fuerza o energía	3	2	1	4
6	Lista de exigencias (grado de cumplimiento incluyendo deseos)	2	2	2	4
7	Facilidad de montaje	3	3	1	4
8	Productividad	2	2	2	4
9	Costo de la tecnología	3	3	0	4
10	Costo de operaciones	3	2	0	4
<b>Suma total</b>		<b>25</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>40</b>

**Solución 1:** Se detectará la presencia de un fruto a través de un sensor de presencia con infrarrojo, ya que es un sensor económico y altamente funcional, para luego identificar su color con un sensor de color RGB TCS3200, dicha data será procesada con una plataforma electrónica pre-diseñada y la información de salida será amplificada hacia la carga de interés a través de un optocoplador en conjunto con un TRIAC, ya que puede utilizarse con cargas alternas a altas frecuencias o continuas de hasta 50V-600V con 10A de corriente.

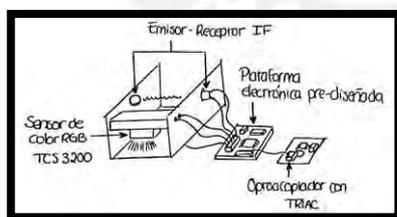


Fig. 2.5 -Concepto solución identificación de color

Fuente: Elaboración propia. Abril 2016

### 2.6.3. Concepto solución dominio electrónico

Tabla 2.6-Evaluación de identificación de color

Fuente: Norma VDI 2221. Abril 2016

No	Criterios técnicos y económicos	Soluciones			
		1 	2 	3 	Ideal
1	Función	3	2	3	4
2	Rapidez	2	2	2	4
3	Facilidad de manejo	3	2	1	4
4	Calidad de Trabajo	2	2	3	4
5	Buen uso de fuerza o energía	3	3	2	4
6	Lista de exigencias (grado de cumplimiento incluyendo deseos)	2	2	3	4
7	Facilidad de montaje	3	3	2	4
8	Productividad	2	2	3	4
9	Costo de la tecnología	3	2	1	4
10	Costo de operaciones	3	3	1	4
<b>Suma total</b>		<b>26</b>	<b>23</b>	<b>21</b>	<b>40</b>

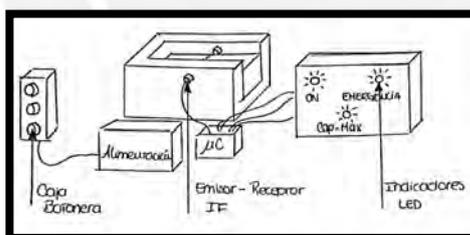


Fig. 2.6 -Concepto solución dominio electrónico

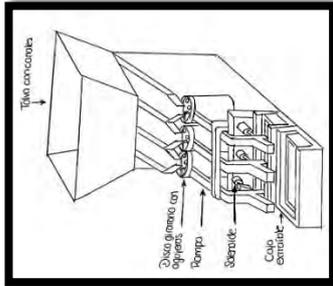
Fuente: Elaboración propia. Abril 2016

**Solución 1:** En primer lugar, se controlará el estado del sistema a través de una caja botonera, la cual será manejada por el usuario; y en segundo lugar, se utilizarán sensores de presencia infrarrojos para monitorear que no se sobrepase de la capacidad máxima en los recipientes de salida ni en el recipiente de entrada, además se utilizarán indicadores LED para señalar cualquier alarma.

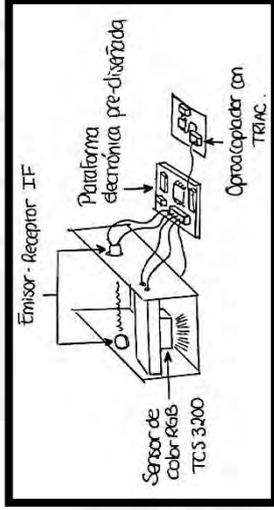
### 2.7. Conceptos óptimos integrados

A continuación, se presenta un resumen de las soluciones por dominio y la combinación de las soluciones óptimas:

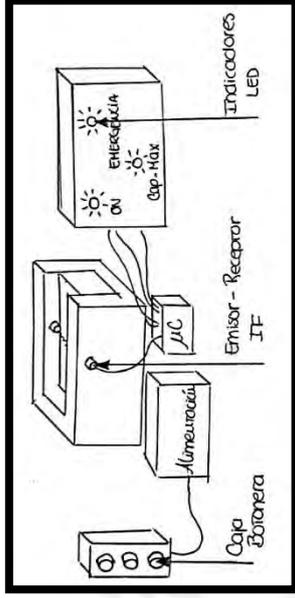
- Dominio mecánico
- Dominio Identificación de color
- Dominio electrónico



**Solución 3**



**Solución 1**



**Solución 1**

Se observan las siguientes características de las soluciones óptimas por cada dominio:

- Dominio mecánico:
  - o Almacenar frutos: Tolva con canales
  - o Dosificar frutos: Disco giratorio con agujeros
  - o Trasladar y posicionar los frutos: Rampa
  - o Seleccionar por color: Solenoide
  - o Almacenar según color: Caja extraíble
- Dominio de identificación de color:
  - o Detectar presencia del fruto: Emisor-Receptor IF
  - o Registrar color del fruto: Sensor RGB TCS3200
  - o Procesar muestras: Plataforma electrónica pre-diseñada
  - o Amplificar la señal: Optoacoplador con TRIAC
- Dominio electrónico:
  - o Control de estado del sistema: Caja Botonera
  - o Sensor capacidad máxima: Emisor-Receptor IF
  - o Mostrar estados: Indicadores LED

## 2.8. Optimización de conceptos solución integrados

### 2.8.1. Solución 1:

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dominio mecánico:           <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Almacenar frutos: Tolva con canales</li> <li>○ Dosificar frutos: Disco giratorio con agujeros</li> <li>○ Trasladar y posicionar los frutos: Rampa</li> <li>○ Seleccionar por color: Solenoide</li> <li>○ Almacenar según color: Caja extraíble</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dominio de identificación de color:           <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Detectar presencia del fruto: Emisor-Receptor IF</li> <li>○ Registrar color del fruto: Sensor RGB TCS3200</li> <li>○ Procesar muestras: Plataforma electrónica pre-diseñada</li> <li>○ Amplificar la señal: Optoacoplador con TRIAC</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dominio electrónico:           <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Control de estado del sistema: Caja Botonera</li> <li>○ Sensar capacidad máxima: Emisor-Receptor IF</li> <li>○ Mostrar estados: Indicadores LED e indicadores auditivos</li> </ul> </li> </ul> |
|---|--|---|

La primera solución cuenta con una optimización en cuanto a los indicadores de estado, a los cuales se les agregan unos indicadores auditivos para obtener un mayor interés por parte del usuario en caso de alguna emergencia.

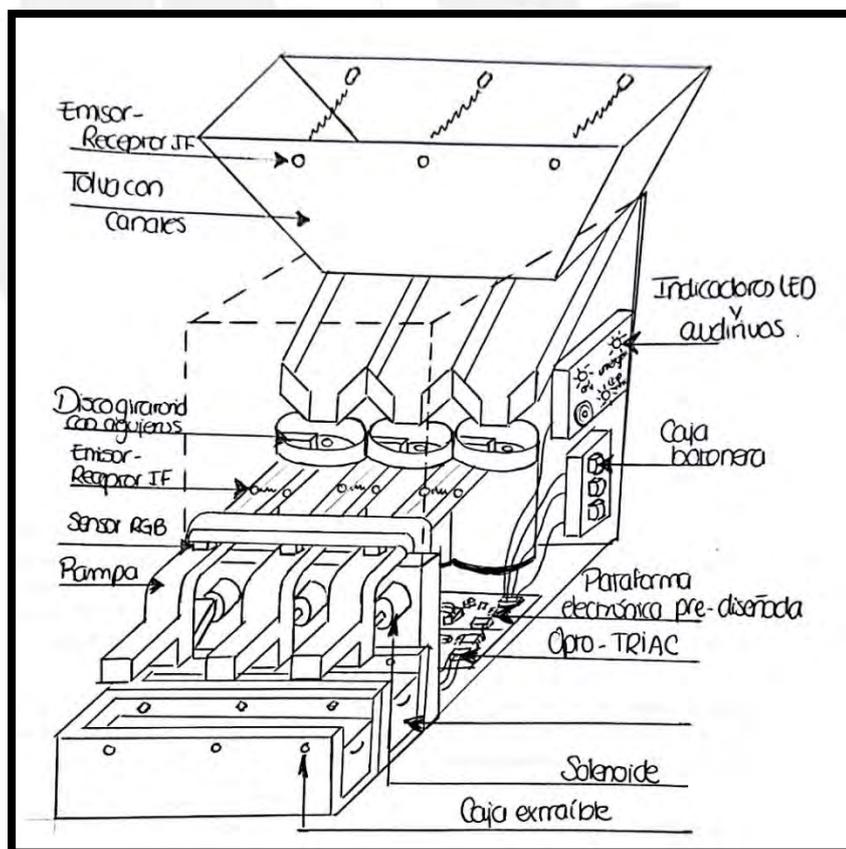


Fig. 2.7 -Solución integral 1  
Fuente: Elaboración propia. Abril 2016

### 2.8.2. Solución 2:

- |   |    |  |   |
|---|----|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dominio mecánico:           <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Almacenar frutos: Tolva con canales</li> <li>○ Dosificar frutos: Disco giratorio con abertura</li> <li>○ Trasladar y posicionar los frutos: Rampa</li> <li>○ Seleccionar por color: Mecanismo trampa con motor.</li> <li>○ Almacenar según color: Caja extraíble</li> </ul> </li> </ul> | de | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dominio de identificación de color:           <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Detectar presencia del fruto: Emisor-Receptor IF</li> <li>○ Registrar color del fruto: Sensor óptico CNY70</li> <li>○ Procesar muestras: Plataforma electrónica pre-diseñada</li> <li>○ Amplificar la señal: Mosfet</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dominio electrónico:           <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Control de estado del sistema: Caja Botonera</li> <li>○ Sensar capacidad máxima: Emisor-Receptor IF</li> <li>○ Mostrar estados: Indicadores LED e indicadores auditivos</li> </ul> </li> </ul> |
|---|----|--|---|

La segunda solución posee una optimización en cuanto a la dosificación de frutos, donde se cambia por un disco giratorio con abertura para obtener un ambiente más propicio para la identificación de color; también se cambió la selección de frutos por color a través de un mecanismo trampa; el registro del color del fruto con un sensor óptico CNY70; la parte de amplificación de la señal de salida, a través de un Mosfet de potencia; y la adición de indicadores auditivos.

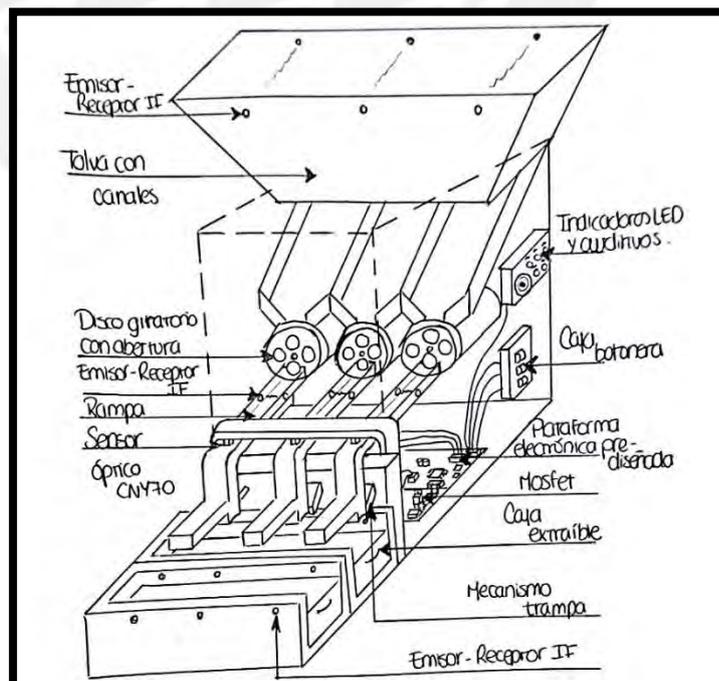


Fig. 2.8 -Solución integral 2  
Fuente: Elaboración propia. Abril 2016

### 2.8.3. Solución 3:

- Dominio mecánico:
  - Almacenar frutos: Tolva con canales
  - Dosificar frutos: Disco giratorio con agujeros
  - Trasladar y posicionar los frutos: Faja
  - Seleccionar por color: Mecanismo trampa
  - Almacenar según color: Caja extraíble
- Dominio de identificación de color:
  - Detectar presencia del fruto: Emisor-Receptor IF
  - Registrar color del fruto: Sensor RGB TCS3200
  - Procesar muestras: Diseño de microcontrolador
  - Amplificar la señal: Optoacoplador con TRIAC
- Dominio electrónico:
  - Control de estado del sistema: Caja Botonera
  - Sensar capacidad máxima: Emisor-Receptor IF
  - Mostrar estados: Indicadores LED e indicadores auditivos

La tercera solución posee una optimización en cuanto al traslado y posicionado de los frutos a través de una faja; en cuanto a la selección por color, a través de un mecanismo trampa; el procesamiento de muestras se realizará con el diseño de una tarjeta electrónica, la cual debe contener un microcontrolador y todos los componentes necesarios para la detección del color y la salida de la información pertinente; y la adición de indicadores auditivos.

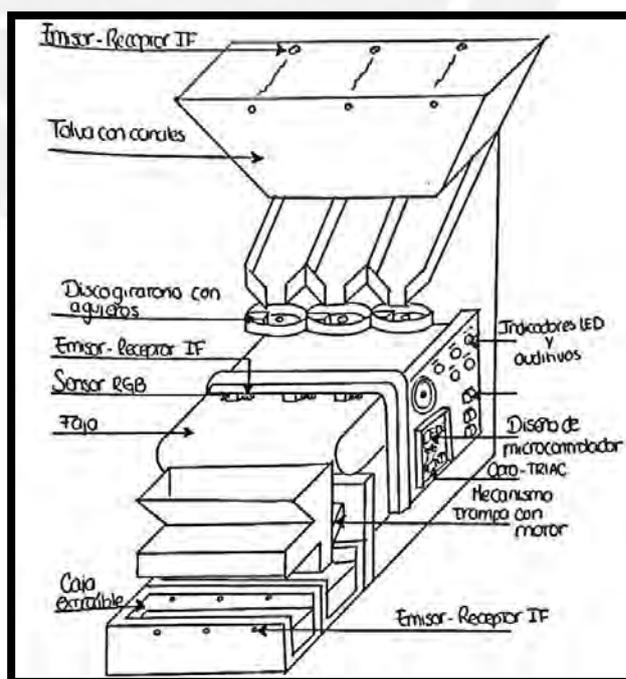


Fig. 2.9 - Solución integral 3  
Fuente: Elaboración propia. Abril 2016

## 2.9. Evaluación de conceptos solución integrados

A continuación, se evaluarán cada uno de los conceptos soluciones integrados y sus respectivas optimizaciones:

Tabla 2.7-Evaluación de los conceptos solución integrados  
Fuente: Norma VDI 2221. Abril 2016

No	Criterios técnicos y económicos	Soluciones			
		1	2	3	Ideal
1	Función	3	2	3	4
2	Rapidez	2	1	1	4
3	Facilidad de manejo	2	2	2	4
4	Calidad de Trabajo	3	1	1	4
5	Buen uso de fuerza o energía	3	3	2	4
6	Lista de exigencias (grado de cumplimiento incluyendo deseos)	2	2	3	4
7	Facilidad de montaje	2	3	2	4
8	Productividad	3	2	3	4
9	Costo de la tecnología	3	3	1	4
10	Higiene	3	3	2	4
	<b>Suma total</b>	<b>26</b>	<b>22</b>	<b>20</b>	<b>40</b>

De acuerdo con los criterios y evaluaciones anteriores se concluye que el planteamiento del concepto **solución 1** es el más adecuado para considerar como base de los proyectos preliminares.

## CAPÍTULO 3

### 3. III. DISEÑO PRELIMINAR

En el presente capítulo se evalúan los diseños conceptuales anteriormente presentados, con ayuda de algunos cálculos previos y evaluaciones según la norma VDI 2221.

#### 3.1. Cálculos de apoyo

Para la determinación de un proyecto definitivo se tendrán que realizar ciertos cálculos previos, los cuales permitan una evaluación cuantitativa con respecto a las distintas propuestas de proyectos preliminares, los cuales estarán basados en la elección del concepto solución integrado mostrado en la Fig. 2.7.

- Peso y dimensionamiento de los frutos

En primer lugar, se debe evaluar el peso y dimensionamiento promedio de los frutos a trabajar; esto se logró a través de un trabajo de medición realizado anteriormente<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> GUEVARA, Arnold y PAREDES, José. 2013. *Diseño de una descascaradora de Sacha Inchi*. Lima: PUCP

con ayuda de una balanza electrónica, en el cual se obtuvieron las siguientes mediciones:

Tabla 3.1 - Datos experimentales del peso de los frutos  
Fuente: Diseño de una descascaradora de Sacha Inchi. Abril 2016

Muestra	Masa (g)	
	Semilla Marrón oscura	Almendra
1	1.26260	0.822
2	1.30640	0.8351
3	1.45530	0.935
4	1.38290	0.8866
5	1.21930	0.791
6	1.42130	0.8742
7	1.28280	0.7933
8	1.45560	0.9163
9	0.97000	0.6343
10	0.84090	0.5602
11	1.54810	1.0488
12	1.48430	0.965
13	1.34370	0.8708
14	1.23980	0.8281
15	1.16860	0.775
16	1.24980	0.7872
17	1.35340	0.8972
18	1.24090	0.8274
19	1.13110	0.7457
20	0.84740	0.4819
<b>Promedio</b>	<b>1.26021</b>	<b>0.81376</b>
<b>Mediana</b>	<b>1.27270</b>	<b>0.82775</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>0.19557</b>	<b>0.13334</b>

Para las siguientes mediciones es importante considerar los siguientes esquemas para entender el recuadro a continuación:

Fig. 3.1 -Medidas críticas de las semillas  
Fuente: Diseño de una descascaradora de Sacha Inchi. Abril 2016

### Semilla marrón oscura

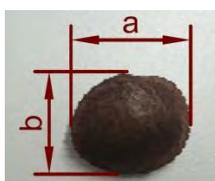


Tabla 3.2-Medidas de la semilla con cáscara  
Fuente: Diseño de una descascaradora de Sacha Inchi. Abril 2016

Muestra (entre semillas marrón oscura y almendra)	a(mm)	b(mm)	c(mm)
1	24.15	20.3	9
2	19.2	15.65	6.65
3	22.95	19.8	9.1
4	20.65	17.15	7.85
5	19.55	16.7	8.45
6	22.15	18.25	7
7	24.15	20.35	9
8	20.2	17.15	8.6
9	21.45	19.3	8.25
10	22.95	19.8	9.1
11	18.25	16.8	8.65
12	19.8	16.45	8.5
13	18.8	16.9	8,8
14	23.25	20.2	8.65
15	23.1	20.1	8
16	21.6	18	8.55
17	21.9	17.45	8.6
18	21.4	18.4	8.1
19	20.5	17.9	9.8
20	21.4	16.45	7.95
21	21.4	19.25	9.35
22	18.2	15.6	8.95
23	22.35	19.15	8.25
24	21.35	17.3	9.65
25	21.5	18.65	8,8
26	21.6	18.05	8.45
27	21.95	18.2	9
28	19.8	17.8	8.4
29	19.7	16.45	8.1
30	23.8	19.65	7.95
<b>Promedio</b>	<b>21.30</b>	<b>18.11</b>	<b>8.50</b>
<b>Mediana</b>	<b>21.43</b>	<b>18.03</b>	<b>8.53</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>1.66</b>	<b>1.43</b>	<b>2.26</b>

o Flujo de producción según el tipo de semilla

- Semilla marrón oscura

$$200 \frac{kg}{h} * 1000 \frac{g}{kg} * \frac{1}{1.26} \frac{semilla}{g} * \frac{1}{3600} \frac{h}{s} = 44.092 \frac{semillas}{s} \approx 45 \frac{semillas}{s} \quad (3.1)$$

- Semilla almendra

$$200 \frac{kg}{h} * 1000 \frac{g}{kg} * \frac{1}{0.81} \frac{semilla}{g} * \frac{1}{3600} \frac{h}{s} = 68.587 \frac{semillas}{s} \approx 69 \frac{semillas}{s} \quad (3.2)$$

Suponiendo un caso crítico, donde exista un 70% de semillas almendra y, por ende, 30% de semillas marrón oscura en un lote de producción el peso promedio de las semillas sería el siguiente:

- Lote de semillas mixtas:

$$1.26 \frac{g}{\text{café}} * 0.3 + 0.81 \frac{g}{\text{almendra}} * 0.7 = 0.945 \frac{g}{\text{semilla general}} \quad (3.3)$$

Reemplazando en la expresión de conversión de flujo:

$$200 \frac{kg}{h} * 1000 \frac{g}{kg} * \frac{1}{0.945} \frac{\text{semilla}}{g} * \frac{1}{3600} \frac{h}{s} = 58.789 \frac{\text{semillas}}{s} \approx 59 \frac{\text{semillas}}{s} \quad (3.4)$$

- Capacidad de la tolva

Actualmente las empresas comercializan sacos de semillas de Sacha Inchi<sup>9</sup> desde 4 kg a 50 kg, por lo que se considera el caso crítico para la capacidad de la tolva; es decir, 50 kg de capacidad.

Según las muestras obtenidas:

$$\text{volumen} = 21.3 \text{ mm} * 18.11 \text{ mm} * 8.5 \text{ mm} = \frac{3.279 \times 10^3 \text{ mm}^3}{1 \text{ semilla}} \quad (3.5)$$

Se utiliza la expresión anterior para obtener el volumen aproximado de un saco de 50 kg de semillas:

$$50 \text{ kg} * 1000 \frac{g}{kg} * \frac{1}{0.975} \frac{\text{semilla}}{g} * \frac{3.279 \times 10^3 \text{ mm}^3}{1 \text{ semilla}} = 0.17 \text{ m}^3 \quad (3.6)$$

En primer lugar, se debe garantizar un flujo expandido<sup>10</sup>, el cual garantiza una descarga más uniforme que la que se obtiene con un flujo de embudo, en donde todas las partículas están en movimiento. Este flujo se obtiene cuando se agrega “un cono de descarga del tipo flujo total se ubica debajo de una sección de tolva del tipo de flujo de embudo” (PDVSA 1997:7), tal como se muestra en la siguiente figura:

<sup>9</sup> VALENZUELA, Carlos. 2013. Comentario del 18 de noviembre a “SACHA INCHI SEMILLA TOSTADA Y CON CASCARA OFERTA S/ 8.00 KILO”. *AgroForum.pe*. Consulta: 27 de abril del 2016. <http://www.agroforum.pe/productos-agropecuarios/sacha-inchi-semilla-tostada-y-cascara-oferta-s-8-00-kilo-8966/>.

<sup>10</sup> PDVSA (Petróleos de Venezuela S.A.). 1997. *Almacenamiento en Silos y Tolvas*. Caracas.

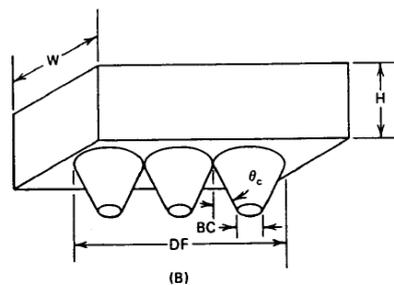


Fig. 3.2 – Tolva de flujo expandido

Fuente: Jenike, A.W. “Storage and Flow of Solids”. Abril 2016

Para evitar la formación de arcos y puentes en la descarga hay que asegurar un tamaño de boca de salida de “al menos cinco a seis veces mayor que la partícula más grande, si se usa una boca de descarga circular, o tres a cuatro veces mayor si la salida es rectangular” (PDVSA 1997:7).

A continuación, los cálculos para el dimensionamiento de la boca de salida:

- Boca de descarga circular

$$\text{Salida circular} = 6 * 24.15 \text{ mm} = 144.9 \text{ mm} \approx \mathbf{145 \text{ mm}} \quad (3.7)$$

- Boca de descarga rectangular

$$\text{Salida rectangular} = 4 * 24.15 \text{ mm} = 96.6 \text{ mm} \approx \mathbf{97 \text{ mm}} \quad (3.8)$$

Gracias a los cálculos anteriores se puede considerar el diseño de una tolva con las siguientes medidas:

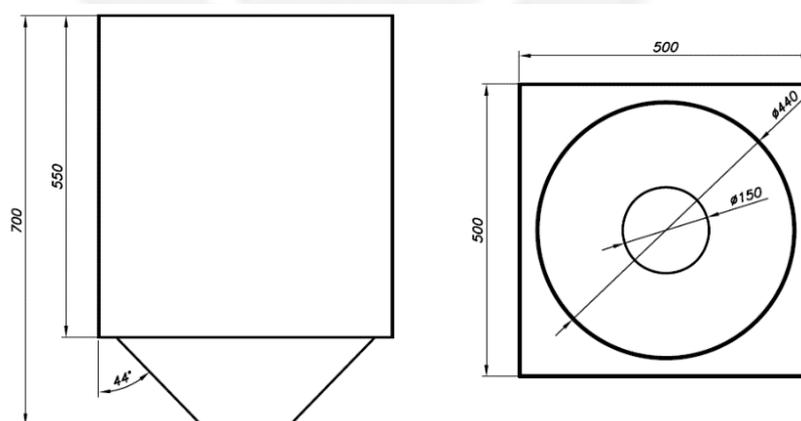


Fig. 3.3 – Diseño de tolva

Fuente: Elaboración propia. Abril 2016

Para el cálculo del diseño de la tova anterior se consideraron las siguientes recomendaciones<sup>11</sup>:

- Boca de descarga circular calculada en la expresión (3.7).
- Altura de la boca de descarga circular de 150 mm de manera que el ángulo formado entre la pared y la vertical sea más de 30°.
- Según el volumen contenido en un saco de 50 kg calculado en la expresión (3.6), se asumió un área transversal cuadrada de 500 mm<sup>2</sup> y una altura de 550 mm para obtener un volumen total de 0.18 m<sup>3</sup>.

Cabe mencionar que los conductos se fabricarán mediante chapa metálica de 1 a 2 mm de espesor y se realizarán las uniones mediante soldadura por puntos. El material debe ser tal que no contamine la materia prima, es decir se deben utilizar aceros inoxidables.

A su vez, se pueden agregar dispositivos dosificadores a la salida de la tolva para obtener un flujo proporcionado en el tiempo:

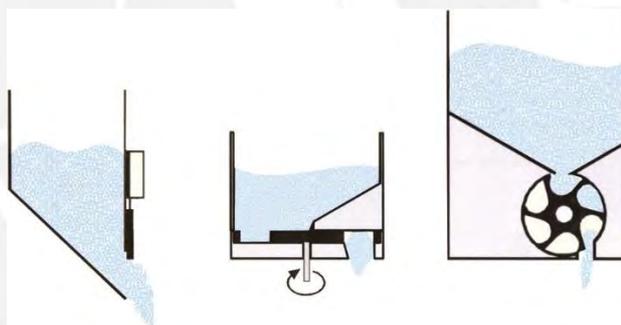


Fig. 3.4 – Dispositivos dosificadores  
Fuente: Tecnología del plástico. Abril 2016

- Dimensionamiento de los agujeros para dosificación de las semillas:

Para este cálculo son necesarias las muestras de medidas de la semilla marrón oscura, ya que son las de mayor tamaño y, por ende, al calcular un agujero que cumpla con sus dimensiones, también cumplirá con las dimensiones de la semilla almendra.

De acuerdo con la *Tabla 3.2*, las máximas medidas en un muestreo de 30 semillas son de:

<sup>11</sup> PDVSA (Petróleos de Venezuela S.A.). 1997. *Almacenamiento en Silos y Tolvas*. Caracas.

- Ancho: 24.15 mm
- Largo: 20.35 mm
- Alto: 9.8 mm

Por lo que el agujero debe poseer las siguientes medidas para garantizar el posicionamiento correcto de las semillas:

- Diámetro: 26 mm
- Profundidad: 15 mm

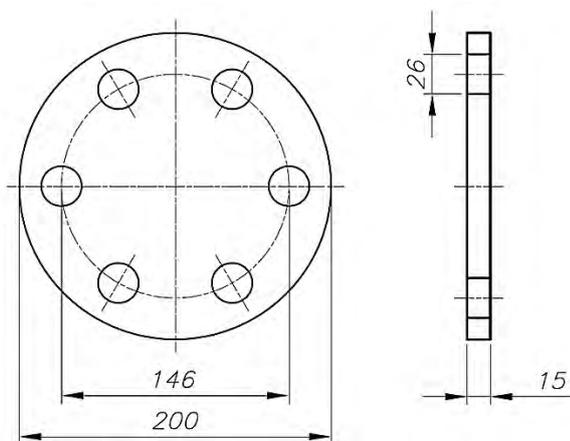


Fig. 3.5 – Medidas del agujero  
Fuente: Elaboración propia. Abril 2016

Para el diseño del disco se consideraron las siguientes premisas:

- El diámetro del disco debe ser mayor a la boca de la salida de la tolva; es decir:

$$\text{Diámetro del disco} > 150 \text{ mm}$$

- El espacio entre el agujero y el extremo del disco debe ser menor a la medida mínima de las semillas para que no exista atascamiento; es decir:

$$\text{Espacio entre agujero y extremo} < 15.6 \text{ mm}$$

- Velocidad y líneas de dosificación

Según el cálculo realizado en la expresión (3.4) se debe obtener un flujo de:

$$59 \frac{\text{semillas}}{\text{s}}$$

Lo que equivale a identificar el color de 59 semillas por segundo, si se considera una línea por semilla haría el sistema sumamente largo, debido a que depende del tamaño del disco dosificador.

Se asume un tiempo máximo de procesamiento de 0.25 s por semilla:

$$59 \frac{\text{semilla}}{\text{s}} * 0.25 \frac{\text{s}}{\text{semilla}} = 14.75 \text{ líneas} \approx \mathbf{15 \text{ líneas}} \quad (3.9)$$

Por lo tanto, la velocidad angular mínima del motor depende de los agujeros de salida del disco de dosificación:

- Una sola salida por disco:

$$\frac{1 \text{ rev}}{0.25 \text{ s}} * 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} = \mathbf{240 \text{ rpm}} \quad (3.10)$$

- Dos salidas por disco:

$$\frac{0.5 \text{ rev}}{0.25 \text{ s}} * 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} = \mathbf{120 \text{ rpm}} \quad (3.11)$$

- Coeficiente de fricción estática

El cálculo de esta constante es de suma importancia, ya que determina el ángulo de inclinación adecuado de las rampas para un buen deslizamiento de la semilla, esto se logró a través de un trabajo de medición realizado anteriormente<sup>12</sup> con distintos materiales:

- |                            |                     |                     |
|----------------------------|---------------------|---------------------|
| • Acero inoxidable:        | $\mu_{est} = 0.404$ | $\alpha = 22^\circ$ |
| • PMMA (Sorbetes):         | $\mu_{est} = 0.7$   | $\alpha = 35^\circ$ |
| • LDPE (Botella de suero): | $\mu_{est} = 0.7$   | $\alpha = 35^\circ$ |

Por lo que la rampa a utilizar deberá tener un ángulo de inclinación de más de  $22^\circ$ .

- Servomotores

Debido al requerimiento de un tiempo rápido de respuesta que debe poseer el sistema de seleccionamiento, se consideraron los mecanismos compuestos por servomotores, ya que el tiempo de cambio de giro de  $0^\circ$  a  $60^\circ$  ronda desde 0,09s a 0,2s.

Los servomotores son controlados por señales PWM, la cual define el ángulo de salida del eje. Mientras la señal controlada permanezca constante, el ángulo de giro no variará y permanecerá en dicha posición siempre y cuando ninguna fuerza externa supere el torque máximo que brinda el servomotor.

En cuanto a la señal de control normalmente posee un período de 20ms, donde únicamente variará el ancho de pulso de la señal positiva para controlar el posicionamiento del eje del servomotor, tal como se muestra en la siguiente figura:

<sup>12</sup> GUEVARA, Arnold y PAREDES, José. 2013. *Diseño de una descascaradora de Sacha Inchi*. Lima: PUCP

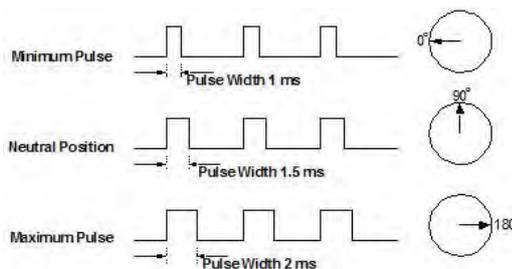


Fig. 3.6– Movimiento del eje de un servomotor según la señal de PWM  
Fuente: SERVO CITY

- Cálculo aproximado de la dimensión total del sistema
  - Largo: El largo depende del número de discos dosificadores y a su vez del número de tolvas a utilizar, para disminuir el espacio se utilizó una tolva con salidas múltiples, en vez de utilizar tolvas por separado. Según los cálculos anteriores:
    - Una sola salida por disco:
 
$$15 \text{ líneas} * 1 \frac{\text{disco}}{\text{línea}} * \frac{200 \text{ mm}}{1 \text{ disco}} = 3000 \text{ mm} \quad (3.12)$$
    - Dos salidas por disco:
 
$$15 \text{ líneas} * \frac{1 \text{ disco}}{2 \text{ líneas}} * \frac{200 \text{ mm}}{1 \text{ disco}} = 1500 \text{ mm} \quad (3.13)$$
    - Con tolvas individuales y dos salidas por disco:
 
$$15 \text{ líneas} * \frac{1 \text{ disco}}{2 \text{ líneas}} * \frac{500 \text{ mm (tolva)}}{1 \text{ disco}} = 3750 \text{ mm} \quad (3.14)$$
  - Ancho y alto: Dependerá de las dimensiones de la tolva, el ángulo de la rampa y el largo de la trayectoria final. A continuación, se presenta un esquema:

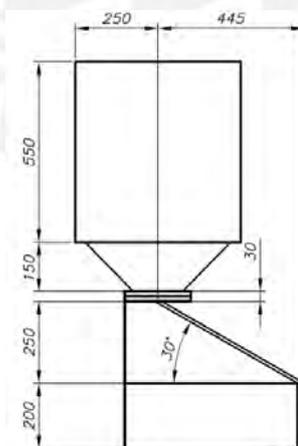


Fig. 3.7-Bosquejo del sistema para dimensionamiento de ancho y alto  
Fuente: Elaboración propia. Abril 2016

En el bosquejo anterior se muestran las siguientes características:

- Ancho de tolva: 500 mm
- Longitud horizontal de rampa: 445 mm

- Altura total de tolva: 700 mm
- Altura mecanismo de discos: 30 mm
- Longitud vertical de rampa: 250 mm
- Altura de caída de semilla: 200 mm

Por lo tanto:

***Altura total = 1180 mm***

***Ancho total = 695 mm***

### 3.2. Proyectos preliminares

Se debe tener en cuenta que las siguientes soluciones están basadas en la selección de componentes de la evaluación del concepto solución óptima integrada, por lo que se mencionarán únicamente las principales modificaciones de los proyectos preliminares propuestos:

#### 3.2.1. Solución 1

- Tolvas individuales y sin dispensador
- Por cada disco dispensador existirán 2 líneas de alimentación
- Solenoide con salida de plano vertical

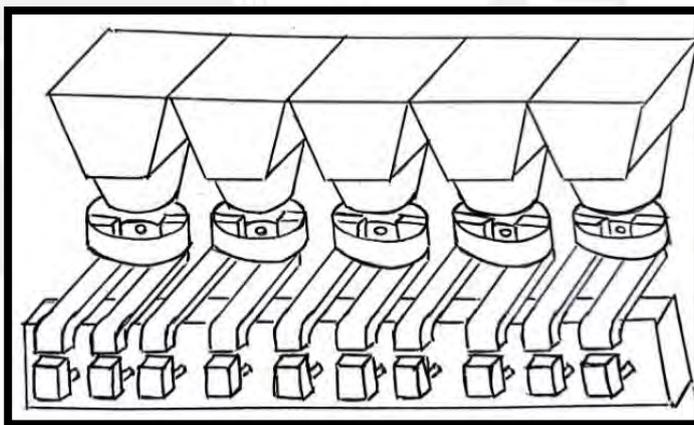


Fig. 3.8 – Proyecto preliminar 1  
Fuente: Elaboración propia. Mayo 2016

### 3.2.2. Solución 2

- Tolva con salida múltiple y sin dispensador
- Por cada disco dispensador existirá 1 línea de alimentación
- Solenoide con salida de plano inclinado

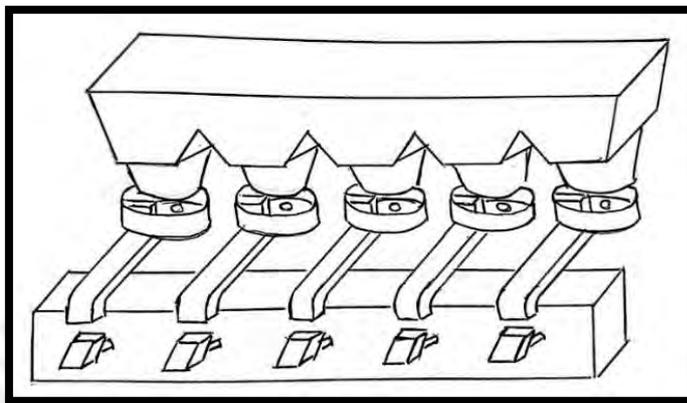


Fig. 3.9 – Proyecto preliminar 2  
Fuente: Elaboración propia. Mayo 2016

### 3.2.3. Solución 3

- Tolva con salida múltiple y con dispensador
- Por cada disco dispensador existirán 2 líneas de alimentación
- Solenoide con salida de plano inclinado

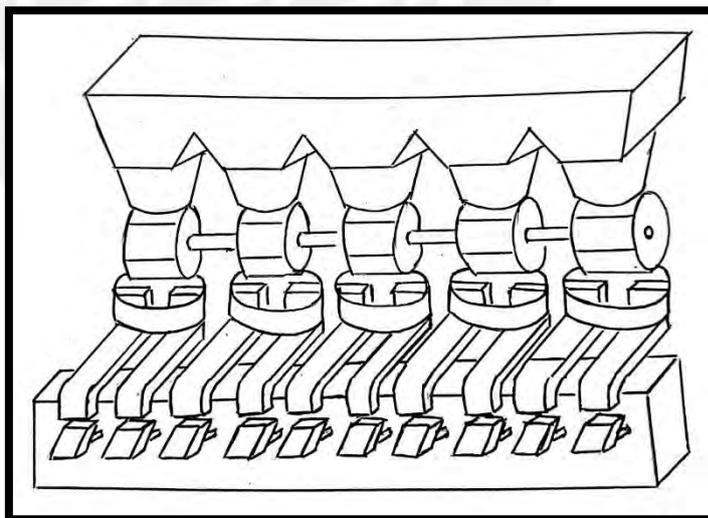


Fig. 3.10 – Proyecto preliminar 3  
Fuente: Elaboración propia. Mayo 2016

### 3.3. Evaluación técnico-económico con pesos

Siguiendo la metodología establecida para el diseño, se procederá a hacer un análisis técnico-económico de cada una de las propuestas presentadas anteriormente, para así determinar la más apropiada para la aplicación. Para esto se muestran las siguientes tablas que corresponden a las evaluaciones técnica y económica respectivamente.

Tabla 3.3- Valor técnico de los conceptos solución  
Fuente: Norma VDI 2221

DISEÑO MECATRÓNICO – EVALUACIÓN DE PROYECTOS		Área de Diseño											
Valor Técnico (X <sub>i</sub> )		Solución 1 S1			Solución 2 S2			Solución 3 S3			Solución 4 S4		
Nro.	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	
1	Función	3	2	6	2	6	3	9	3	9	4	12	
2	Rapidez	3	3	9	1	3	3	9	3	9	4	12	
3	Seguridad	3	1	3	2	6	2	6	2	6	4	12	
4	Electrónica	2	2	4	3	6	3	6	3	6	4	8	
5	Control de calidad	2	1	2	3	6	3	6	3	6	4	8	
6	Lista de exigencias (grado de cumplimiento incluyendo deseos)	3	2	6	2	6	2	6	2	6	4	12	
7	Higiene	4	3	12	3	12	3	12	3	12	4	16	
8	Tamaño	2	0	0	1	2	2	4	2	4	4	8	
Puntaje máximo $\sum p \text{ ó } \sum gp$		22	14	42	17	47	21	58	32	88			
Valor técnico $X_i$		0.48			0.53			0.66			1.00		
Orden		3			2			1					

Tabla 3.4- Valor técnico de los conceptos solución  
Fuente: Norma VDI 2221

DISEÑO MECATRÓNICO – EVALUACIÓN DE PROYECTOS		Área de Diseño											
Valor Económico (Y <sub>i</sub> )		Solución 1			Solución 2			Solución 3			Solución ideal		
Variantes de Concepto / Proyectos		S1			S2			S3			S4		
Nro.	Criterios de evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	
1	Facilidad de montaje	2	2	4	1	2	3	6	4	8	4	8	
2	Productividad	3	3	9	2	6	3	9	4	12	4	12	
3	Bajos desperdicios	2	1	2	2	4	2	4	4	8	4	8	
4	Costo de la tecnología	4	2	8	0	0	2	8	4	16	4	16	
5	Costo de operaciones	4	2	8	1	4	3	12	4	16	4	16	
Puntaje máximo $\sum p$ ó $\sum gp$		15	10	31	6	16	13	39	20	60	20	60	
Valor técnico Y <sub>i</sub>		0.52			0.27			0.65			1.00		
Orden		2			3			1			1		

### 3.4. Diagrama de evaluación según VDI 2221

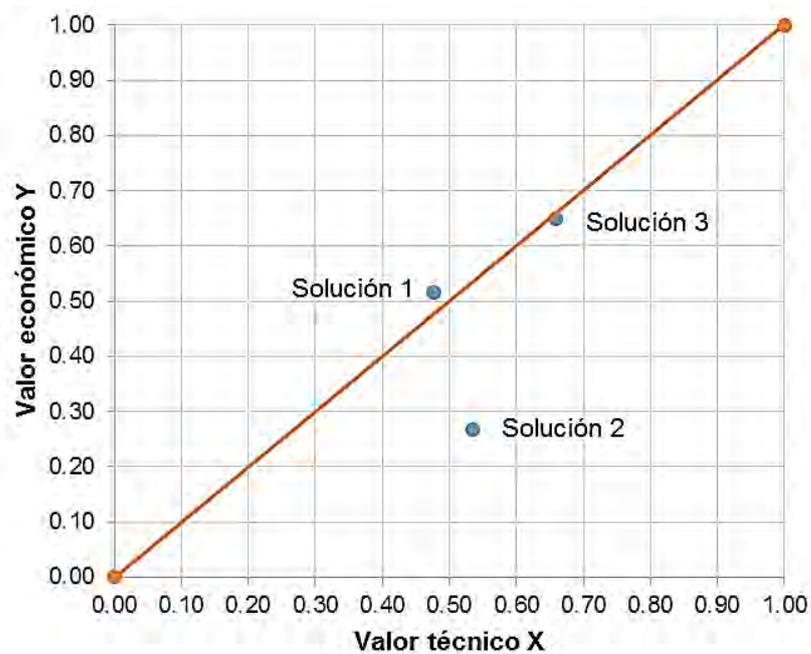


Fig. 3.11 - Diagrama de evaluación según VDI 2221  
Fuente: Norma VDI 2221

Como se aprecia en la Fig. 3.11, la solución que obtuvo mayor puntuación es aquella cuyas características técnicas y económicas son las más apropiadas para la aplicación, la cual en este caso es la solución 3.

## **CAPÍTULO 4**

### **DESARROLLO DEL SISTEMA MECATRÓNICO**

En el presente capítulo se presentan todos los cálculos necesarios para definir el sistema mecatrónico según los requerimientos, divididos en tres grandes dominios: mecánico, control y electrónico.

#### **4.1. Diseño de elementos mecánicos**

A continuación, se presentarán los cálculos y requerimientos del sistema considerados para el diseño y selección de todos los elementos mecánicos.

##### **4.1.1. Tolva**

El diseño de la tolva de descarga depende de la disposición y cantidad de los discos giratorios de dosificación, los cuales, según la expresión (3.9) que refiere a la cantidad de líneas necesarias, serán 8 discos para satisfacer el requerimiento del flujo de salida.

Para dicha cantidad de discos, se debe de tener la misma cantidad de salidas, es decir, la tolva tiene 8 salidas cónicas y un cuerpo rectangular.

A continuación, se mostrará un esquema de dicha tolva:

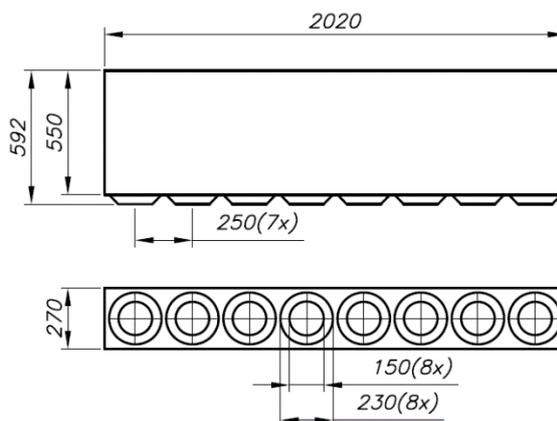


Fig. 4.1 – Esquema de la tolva completa  
Fuente: Elaboración propia

Para el diseño de la tolva completa se consideraron las recomendaciones del manual de almacenamiento en silos y tolvas<sup>13</sup>, al igual que en los cálculos de apoyo para los diseños preliminares. A continuación, se presentarán las características de la tolva con múltiples salidas:

- Boca de descarga circular

$$\text{Diámetro de salida circular (recomendación)} = 6 * 24.15 \text{ mm} = 144.9 \text{ mm} \approx \mathbf{145 \text{ mm}} \quad (4.1)$$

$$\text{Diámetro de salida circular (diseño)} = \mathbf{150 \text{ mm}}$$

- Ángulo de salida

$$\alpha = \text{atan}\left(\frac{40}{42}\right) = 43.6^\circ \approx \mathbf{44^\circ} > \mathbf{30^\circ} \quad (4.2)$$

- Volumen de capacidad

$$\text{volumen} = 2020 \text{ mm} \times 550 \text{ mm} \times 270 \text{ mm} = 0.299 \text{ m}^3 \approx \mathbf{0.3 \text{ m}^3} \quad (4.3)$$

El volumen de capacidad cumple con el requerimiento de ser mayor a  $0.13 \text{ m}^3$ , el cual es el volumen aproximado de un saco de 40 kg de semillas de Sacha Inchi.

- Plancha a utilizar

Para el cálculo de la plancha a utilizar se consideró el acero inoxidable ya que estará en contacto directo con las semillas. Por otro lado, se hizo un estudio aproximado de la distribución de presión al interior para obtener el espesor de plancha requerida, para el análisis se tuvieron las siguientes consideraciones:

<sup>13</sup> PDVSA (Petróleos de Venezuela S.A.). 1997. *Almacenamiento en Silos y Tolvas*. Caracas.

- Se considera el flujo de semillas como un flujo lineal, a pesar que dicho supuesto se considera para fluidos y existe una no-uniformidad de la carga consecuencia de las imperfecciones en las paredes, de la influencia de técnicas de llenado no concéntricas o de agujeros de descarga excéntricos<sup>14</sup>; esto para obtener un cálculo aproximado y robusto ya que al considerar el flujo de semillas como un fluido se está considerando el peor de los casos.
- Se consideraron únicamente los espesores de planchas comerciales.
- Se despreciaron en un primer análisis las salidas múltiples y se consideró la tolva como si fuese un recipiente rectangular, donde la presión distribuida máxima se encuentra al fondo del recipiente.
- Existe una estructura perimetral en los extremos superiores e inferiores de la tolva que se considerarán como empotramientos.
- Las uniones se realizaron mediante soldadura por puntos y en el cálculo de la plancha a utilizar se consideran ideales.

A continuación, se presentarán los cálculos de apoyo para el diseño:

- Distribución de las presiones en la tolva rectangular:  
Tal como se comentó anteriormente, se consideró una distribución de presiones lineal, el cual depende de la densidad de los frutos. A continuación, se presenta un esquema de la distribución de presiones que existirá en la tolva rectangular:

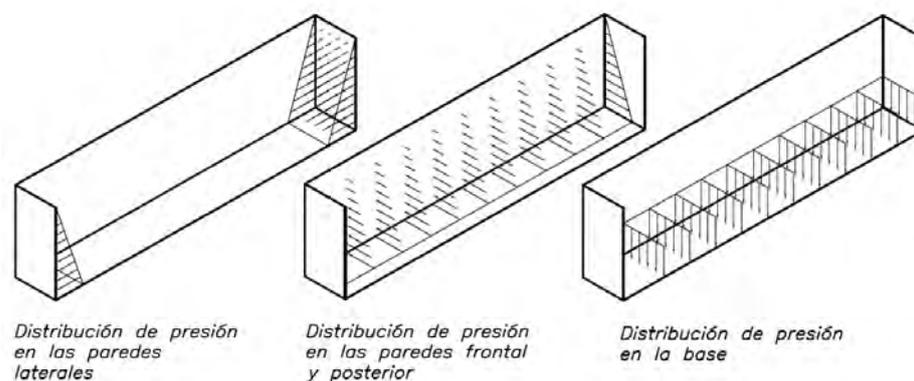


Fig. 4.2 – Esquema de distribución de presiones en la tolva  
Fuente: Elaboración propia

<sup>14</sup> CCARITA, Fredy A. 2011. *Diseño de silo*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de postgrado, Maestría en ingeniería mecánica. Consulta: 04 de Mayo del 2016.

Se puede observar que el caso crítico será la carga distribuida que tendrá que soportar la tolva en su base, por lo que se procede a calcular el peso distribuido en dicha área.

Densidad de la semilla:

$$\rho_{semilla} = 1.26 \frac{g}{semilla} * \frac{1}{3.279 \times 10^3} \frac{semilla}{mm^3} = 384.26 \frac{kg}{m^3} \quad (4.4)$$

Volumen de la tolva:

$$v_{tolva} = 550 \text{ mm} * 2020 \text{ mm} * 270 \text{ mm} = 0.3 \text{ m}^3 \quad (4.5)$$

Peso total en toda la tolva:

$$w_{semillas} = \rho_{semilla} * v_{tolva} = 115.268 \text{ kg} \quad (4.6)$$

Fuerza distribuida en la base:

$$w_{distribuida} = \frac{w_{semillas} * g}{l_{tolva}} = \frac{w_{semillas} * g}{2020 \text{ mm}} = 559.79 \frac{N}{m} \quad (4.7)$$

Para el cálculo de la fuerza distribuida se consideró el mayor largo de la plancha base y se sigue el siguiente modelo:

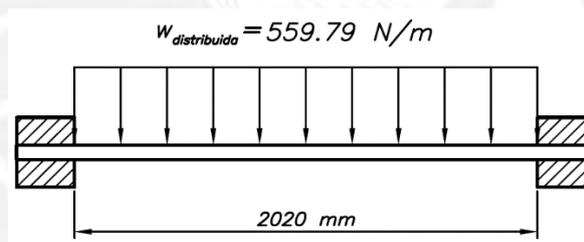


Fig. 4.3 – Esquema de distribución de fuerzas en la base de la tolva  
Fuente: Elaboración propia

Pero, se sabe por tablas<sup>15</sup> que la flecha máxima para el modelo anterior es:

$$f_{max} = \frac{w_{distribuida} * l_{placa}^4}{384 * E_{placa} * I_{placa}} \quad (4.8)$$

Despejando:

$$I_{placa} = \frac{w_{distribuida} * l_{placa}^4}{384 * E_{placa} * f_{max}} \quad (4.9)$$

<sup>15</sup> HIBBELER, Russell C. 2010. *Ingeniería mecánica Estática*. Decimosegunda edición. Estado de México: Pearson Educación.

Se consideran los siguientes datos:

$$\blacksquare l_{placa} = 2020 \text{ mm} \quad \blacksquare E_{placa} = 190 \text{ GPa} \quad \blacksquare f_{max} = 1 \text{ mm}$$

Por lo que:

$$I_{placa} = 1.277 \times 10^5 \text{ mm}^4 \quad (4.10)$$

Además, se sabe que la inercia de la placa es igual a:

$$I_{placa} = \frac{h_{placa} * b_{placa}^3}{12} \quad (4.11)$$

Despejando:

$$h_{placa} = \frac{12 * I_{placa}}{b_{placa}^3} = \mathbf{0.078 \text{ mm}} \quad (4.12)$$

En conclusión, se utilizó un **acero inoxidable AISI 304L**, ya que es un acero que se utiliza en las “industrias alimenticias tales como la cervecera, lechera, azucarera. Fábricas de jabones, ceras y grasas comestibles; utensilios domésticos y de hotelería; cubiertos, industria del cuero como también farmacéutica y de la técnica dental. Para elementos, que exigen una resistencia a temperatura hasta 600°C” (Aceros Bohler Perú). Se seleccionaron planchas de un espesor mayor a 0.078 mm; es decir, una **plancha de 1/32”** de acero inoxidable AISI 304L.

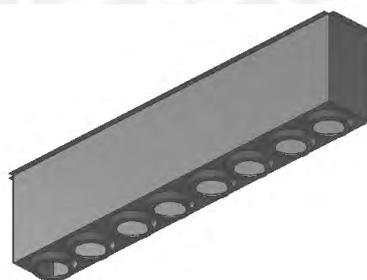


Fig. 4.4 – Representación 3D de la tolva diseñada

Fuente: Elaboración propia

- En cuanto a la soldabilidad del acero seleccionado se tiene la siguiente tabla<sup>16</sup>:

Tabla 4.1 – Materiales de aporte para la soldadura de aceros inoxidables

Fuente: JNAceros

Materiales de aporte para la soldadura de aceros inoxidables			
Acero inoxidable	Electrodo revestido	MIG/MAG/TIG PLASMA	Alambre hueco
AISI 304L	E308	ER308	E308T-X

<sup>16</sup> SIFUENTES, Carla. 2015. *Soldadura de acero inoxidable*. Consulta: 12 de Mayo del 2016. <http://www.jnaceros.com.pe/blog/acero-inoxidable-introduccion/soldadura-acero-inoxidable/>.

La soldadura que se utilizará será por puntos con electrodo revestido E308.

- La estructura estará conformada por perfiles cuadrados de 30 x 30 mm de espesor 2 mm fabricados con acero al carbono laminado en caliente (LAC), utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW)<sup>17</sup>.

Los mismos se obtienen en una presentación de 6 m de largo, con recubrimiento negro galvanizado. Posee las siguientes características mecánicas:

- Resistencia a la tracción mínima: 400 Mpa
- Límite de fluencia mínima: 315 Mpa



Fig. 4.5 – Tubo cuadrado negro galvanizado  
Fuente: Metales Flix

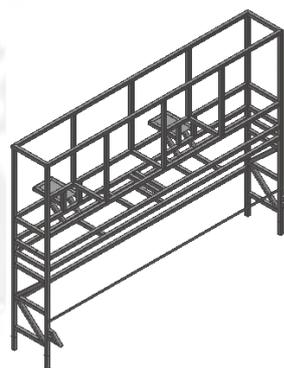


Fig. 4.6 – Estructura final del sistema  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2. Disco giratorio dosificador

En cuanto al diseño del disco dosificador se consideró el modelo expuesto en la Fig. 3.5, el cual se muestra de nuevo a continuación:

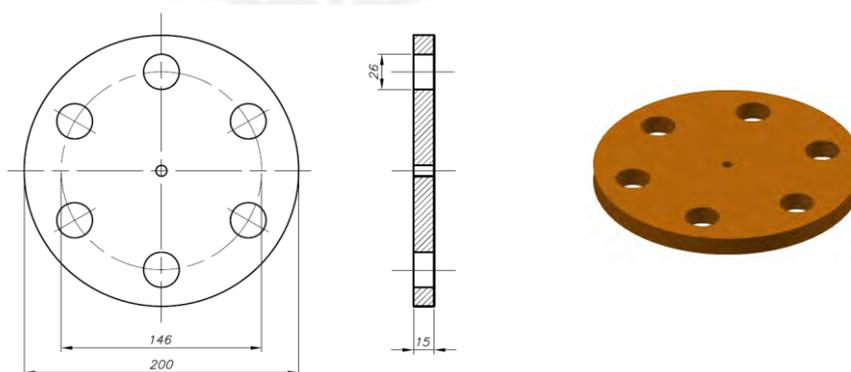


Fig. 4.7 – Esquema de disco dosificador  
Fuente: Elaboración propia

<sup>17</sup> ACEROS AREQUIPA .2016. *Catálogo de productos y servicios*. Consulta: 18 de Mayo del 2016.

Según este modelo y las dimensiones de una semilla promedio, se pudo obtener la cantidad de semillas que caben en dicho disco:

Volumen promedio de una semilla:

$$v_{semilla} = 21.3 \text{ mm} * 18.11 \text{ mm} * 8.5 \text{ mm} = 3.279 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (4.13)$$

Área promedio de una semilla, considerada como una elipse:

$$a_{semilla} = \pi * 22 \text{ mm} * 19 \text{ mm} = 1.313 \times 10^3 \text{ mm}^2 \quad (4.14)$$

Área del disco dosificador:

$$a_{disco} = \pi * (100 \text{ mm})^2 = 3.142 \times 10^4 \text{ mm}^2 \quad (4.15)$$

Cantidad de semillas en un disco:

$$semillas_{disco} = \frac{a_{disco}}{a_{semilla}} = 23.923 \text{ semillas} \approx 24 \text{ semillas} \quad (4.16)$$

Gracias a la cantidad de semillas se puede obtener un aproximado del peso que podría soportar el disco, es importante considerar que existirán 24 semillas si existiese solo un piso de semillas, pueden existir más:

Tabla 4.2 – Volumen y masa de semillas en el disco dosificador.

Fuente: Elaboración propia.

Semillas	Volumen total	Masa
24	$7.869 \times 10^{-5} \text{ m}^3$	30.24 g
48	$1.574 \times 10^{-4} \text{ m}^3$	60.48 g
72	$2.361 \times 10^{-4} \text{ m}^3$	90.72 g

A continuación, se presenta el análisis de la cinemática de la semilla en el disco giratorio dosificador para poder obtener un tiempo estimado en el cálculo del dispensador de la tolva.

Se considera la semilla como una partícula de peso 1.26 g, la cual se mueve sobre un disco apoyado en una paleta giratoria. Se asume un radio inicial de 0.01 m, ya que, si se considera que se encuentra en el centro justo de la circunferencia, no se moverá nunca. Además, no se consideró la fricción en este análisis, ya que no es considerable. Se muestra a continuación un esquema del problema y su DCL:

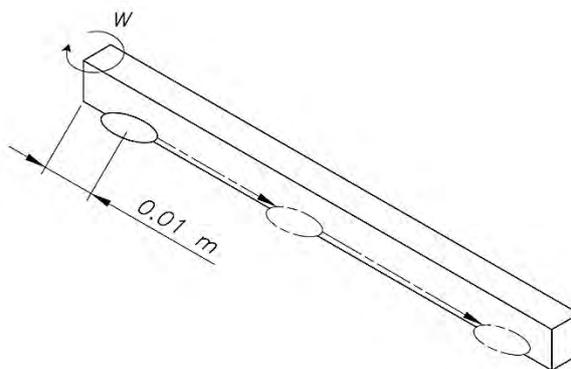


Fig. 4.8 – Esquema cinemática de la semilla  
Fuente: Elaboración propia

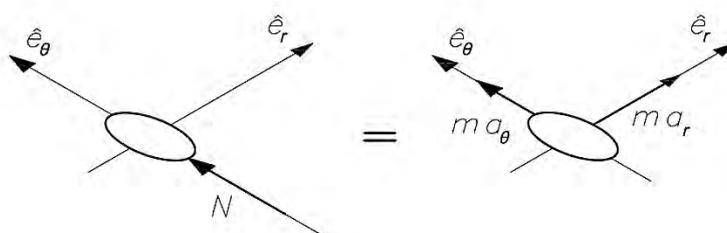


Fig. 4.9 – DCL de la semilla en el disco dosificador  
Fuente: Elaboración propia

Haciendo sumatoria de fuerzas en el eje radial:

$$\sum F_r = m * a_r$$

$$0 = m * (\ddot{r} - r * \dot{\theta}^2)$$

$$\ddot{r} - r * \dot{\theta}^2 = 0 \tag{4.17}$$

Según la ecuación diferencial (4.17) y las condiciones iniciales de un radio inicial de 0.01 m y velocidad radial inicial igual a cero, se obtiene la expresión de posición radial en el tiempo:

$$r(t) = 0.005e^{\omega t} + 0.005e^{-\omega t} \tag{4.18}$$

Gracias a la ecuación anterior se puede calcular el tiempo que demora una semilla para llegar al agujero en el extremo del disco; es decir, el tiempo para que el radio sea de 73 mm:

Tabla 4.3 – Tiempo de recorrido de la semilla  
Fuente: Elaboración propia

Velocidad angular del disco	Cantidad de agujeros	Tiempo
$\pi \text{ rad/s}$	8	0.852 s
$\frac{4\pi}{3} \text{ rad/s}$	6	0.639 s
$2\pi \text{ rad/s}$	4	0.426 s
$4\pi \text{ rad/s}$	2	0.213 s

Gracias a los cálculos anteriores se puede determinar que, para un grupo de **48 semillas** por descarga, **6 agujeros** por disco a una velocidad de **40 RPM** y dos salidas por disco, el tiempo aproximado de una dosificación completa del lote es de **15.35 s**, por lo que se consideró un tiempo de **16 s** entre descargas del dispensador de la tolva. Por lo que el diseño del disco giratorio se consideraron 6 agujeros y su fabricación con acero inoxidable 304L.

#### 4.1.3. Dispensador interior de la tolva

Para el diseño del dispensador interior de la tolva se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- o Volumen que debe poseer cada celda como mínimo es el volumen de las 48 semillas anteriormente definidas:

$$volumen_{48 \text{ semillas}} = 1.574 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

- o Posee un largo mínimo del tamaño del diámetro de la boca de salida de la tolva de alimentación, es decir de 150 mm.
- o Se diseñó una carcasa para evitar la salida no deseada de las semillas.
- o Se consideraron 8 celdas por cada dispensador.
- o Se asume una circunferencia interior de 40 mm de radio.

Gracias a las consideraciones anteriores se procede a hallar el radio de la circunferencia exterior del dispensador circular:

Volumen por celda:

$$volumen_{celda} = 150 * \frac{\pi (R_{exterior}^2 - R_{interior}^2)}{8} = 1.574 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \quad (4.19)$$

Despejando el radio exterior:

$$R_{\text{exterior}} = \sqrt{\frac{\text{volumen}_{\text{celda}} * 8}{150 * \pi} + R_{\text{interior}}^2} = 65.359 \text{ mm} \quad (4.20)$$

Así que se consideró un radio exterior de 70 mm, para lo cual se hace un nuevo cálculo y conocer la cantidad real de semillas contenidas en este diseño:

$$\text{semillas}_{\text{celda}} = 150 * \frac{\pi (R_{\text{exterior}}^2 - R_{\text{interior}}^2)}{8 * v_{\text{semilla}}} = 59.285 \approx 59 \text{ semillas} \quad (4.21)$$

Según las medidas anteriores se tendrá el siguiente diseño del dispensador:

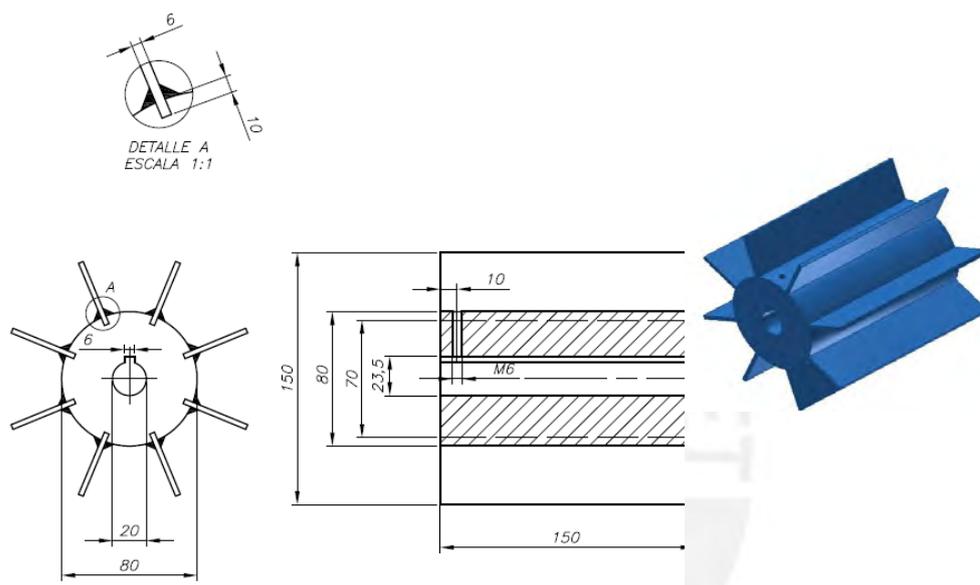


Fig. 4.10 – Dispensador circular  
Fuente: Elaboración propia

En el diseño del dispensador interior se consideraron paletas soldadas de acero inoxidable 304L ya que estarán en contacto con las semillas. A su vez posee un agujero donde está ubicado un prisionero en contacto con la chaveta, dicho prisionero tiene la función de impedir el movimiento axial del dispensador, y así, evitar el rozamiento con las paredes de la carcasa.

En el caso de la carcasa del dosificador, se considera una entrada circular debido a la boca de salida de la tolva y una salida rectangular, tal como se muestra en la siguiente figura:



Fig. 4.11 – Carcasa del dispensador circular  
Fuente: Elaboración propia

Dicha carcasa está dividida en dos partes tal como se muestra en la figura anterior y está realizado en aluminio fundido, ya que es una pieza compleja. Para el diseño completo del sistema se necesitan de 16 piezas, debido a las 8 líneas de producción.

#### 4.1.4. Torque de movimiento de dispensadores

Para el cálculo del torque necesario se utilizó la simulación de los discos dosificadores con carga desbalanceada de semillas:

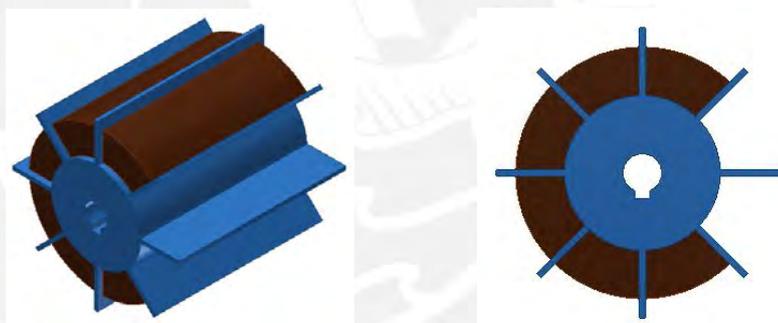


Fig. 4.12 – Simulación carga desbalanceada

Fuente: Elaboración propia

En esta simulación se asume que 6 de las 8 celdas están cargadas con semillas, el sólido marrón posee las siguientes características:

- Densidad: 0.55 g/cm<sup>3</sup>
- Masa por celda: 0.055 kg
- Volumen :1.34 x 10<sup>5</sup> mm<sup>3</sup>

Para 48 semillas se tendrían las siguientes características:

- Densidad: 0.38 g/cm<sup>3</sup>
- Masa por celda: 0.060 kg
- Volumen:1.58 x 10<sup>5</sup> mm<sup>3</sup>

Se consideraron las características de la simulación inferiores a las reales, ya que se está considerando el caso extremo donde las dos celdas inferiores están llenas, lo cual es irreal debido a la gravedad.

El dispensador circular y el eje de transmisión poseen su centro de gravedad en el centro, por lo que el único peso desbalanceado pertenecería a las semillas, tal como se muestra a continuación:

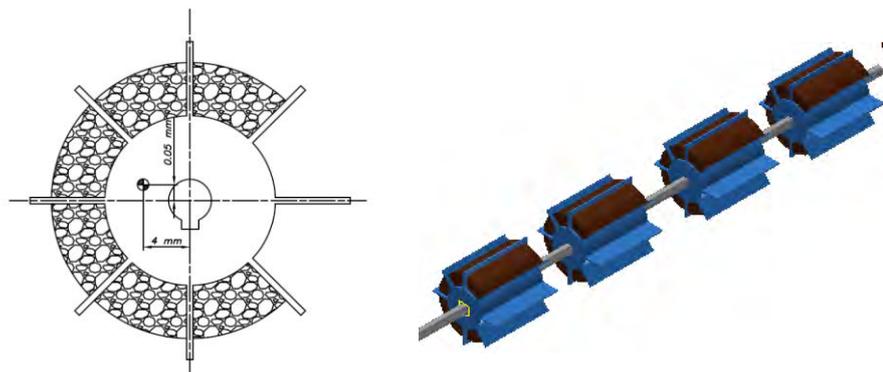


Fig. 4.13 – Centro de gravedad de carga desbalanceada  
Fuente: Elaboración propia

Tal como se muestra en la figura el centro de gravedad del dispensador con una carga desbalanceada se encuentra a 4 mm aproximadamente del centro de rotación, por lo que se podrá calcular un momento torsor necesario para el movimiento de la siguiente manera:

- o Peso por 4 dispensadores con carga desbalanceada más el árbol:

$$w_{sistema} = 13.7 \text{ kg}$$

- o Distancia entre el centro de gravedad y el centro de giro:

$$d_{cg} = 4 \text{ mm}$$

Se calcula el momento torsor para todo el sistema :

$$M_{torsor} = w_{sistema} * d_{cg} * g = 0.54 \text{ N.m} \quad (4.22)$$

#### 4.1.5. Rodamientos de soporte

Para la selección adecuada de los rodamientos de soporte se tomaron en cuenta las cargas transversales, las cuales provienen del peso de los dosificadores circulares con carga desbalanceada, sistema de trinquete y árbol. A continuación, se muestra una figura donde describe las posiciones de las cargas mencionadas anteriormente:

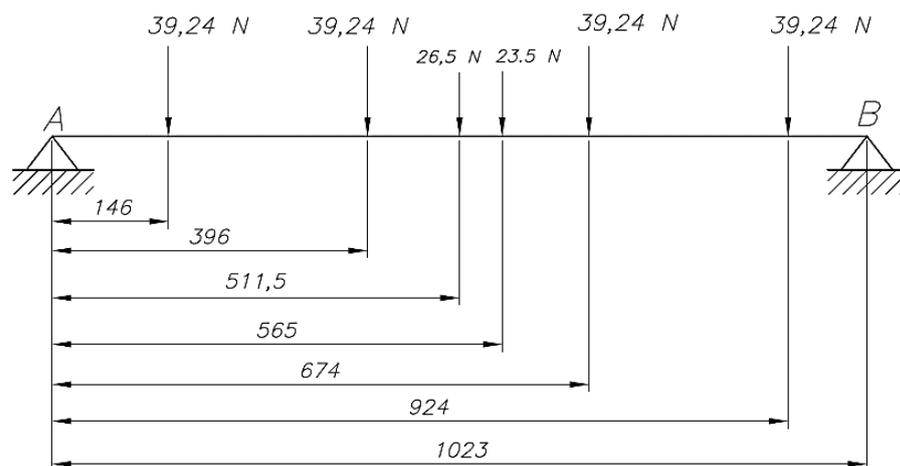


Fig. 4.14 – Cargas sobre el árbol de transmisión  
Fuente: Elaboración propia

Reacciones en los apoyos:

- Sumatoria de momentos en el punto A:

$$\sum M_A = 0$$

$$39,24 * (146 + 396 + 674 + 924) + 26,5 * 511,5 + 23,5 * 565 - B * 1023 = 0$$

Despejando la fuerza B:

$$B = 108,33 \text{ N} \quad (4.23)$$

- Sumatoria de fuerzas en eje x:

$$\sum F_x = 0$$

$$-39,24 - 26,5 - 23,5 + B + A = 0$$

Despejando la fuerza A:

$$A = 98,66 \text{ N} \quad (4.24)$$

Además, se tiene que la velocidad angular es de baja intensidad e intermitente, por lo que, según catálogos de la marca SKF<sup>18</sup>, en estos casos se analizan las fuerzas que causen deformaciones permanentes en los contactos y no por la fatiga del material. A continuación, se presentan los valores requeridos para la selección adecuada de la chumacera necesaria:

<sup>18</sup> SKF Group. 2013. *Y-bearings and Y-bearing units*. Consulta: 01 de Junio del 2016.

Tabla 4.4– Datos de selección de chumacera  
Fuente: Elaboración propia.

Apoyo	Diámetro	Fuerza radial	Carga estática equivalente ( $P_0$ )	Carga estática ( $C_0$ )
A	20 mm	98,66 N	59,2 N	118,4 N
B	20 mm	108,33 N	65 N	130 N

Gracias a los resultados anteriores se concluyó que los modelos **SY 20 TF**, **SYJ 20 TF** y **SY 20 TR** cumplen con los requisitos, por lo que se escogió la chumacera más sencilla de 20 mm de diámetro, el cual es el **SY 20 TF**, tal como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 4.5– Selección de chumaceras  
Fuente: SKF Catálogo.

Dimensions											Basic load ratings		Fatigue load limit $P_u$	Limiting speed with shaft tolerance $h_6$	Designation Bearing unit		
d	A	$A_1$	B	H	$H_1$	$H_2$	J	L	N	$N_1$	G	$s_1$				dynamic C	static $C_0$
mm											kN		kN	r/min	-		
20	32	21	31	65	33,3	14	97	127	20,5	11,5	10	18,3	12,7	6,55	0,28	8 500	<b>SY 20 TF</b>
	34	23	31	65	33,3	14	97	127	20,7	11,5	10	18,3	12,7	6,55	0,28	8 500	SY 20 TF
	32	21	31	65	33,3	14	97	127	20,5	11,5	10	18,3	12,7	6,55	0,28	5 000	SY 20 TR

#### 4.1.6. Árbol de transmisión

Para el cálculo del árbol de transmisión se consideró un material de Ck45, además de las fuerzas de pesos por cada dispensador, el peso del árbol y del mecanismo de rotación intermitente; así como los torques producidos por dichas fuerzas, tal como se muestra en la siguiente figura:

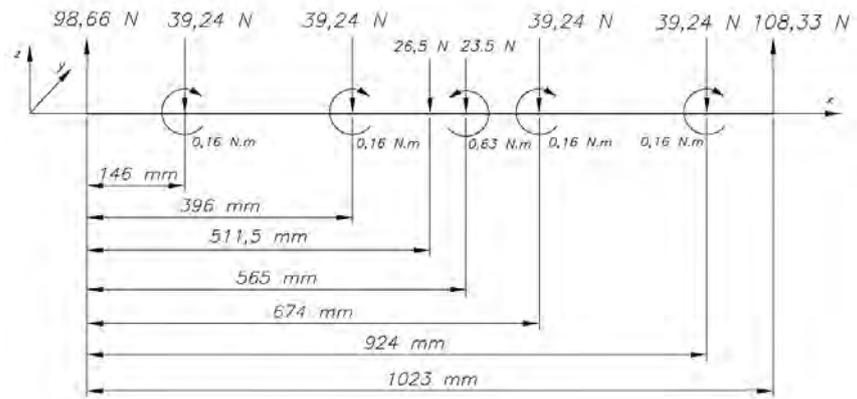


Fig. 4.15 – Cargas sobre el árbol de transmisión

Fuente: Elaboración propia

Con el diagrama de fuerzas y torques anteriores se hallan los diagramas de fuerzas cortantes en el plano x-z, momento flector en el eje y, y momento torsor en el eje x:

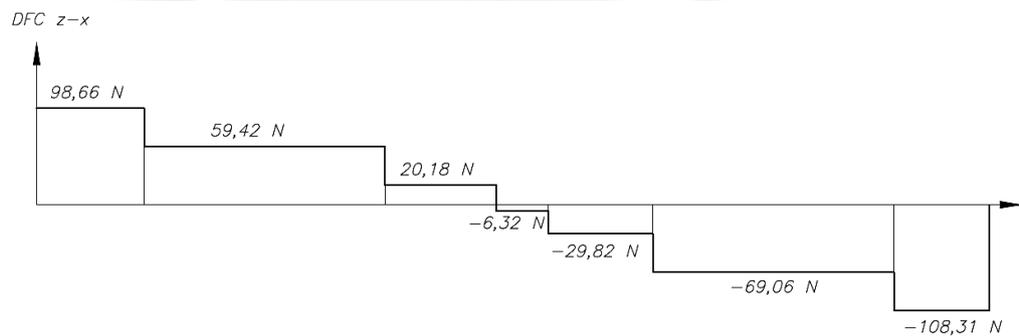


Fig. 4.16 – Diagrama de fuerzas cortantes en el plano x-z

Fuente: Elaboración propia

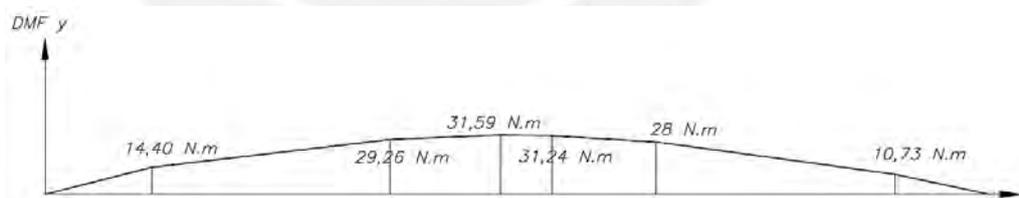


Fig. 4.17 – Diagrama de momentos flectores en el eje y

Fuente: Elaboración propia

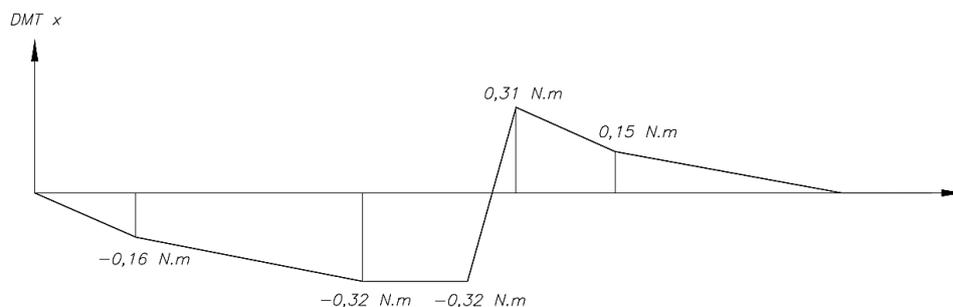


Fig. 4.18 – Diagrama de momentos torsores en el eje x

Fuente: Elaboración propia

Un análisis de los gráficos anteriores refleja que el tercer tramo pertenece a la sección más crítica, ya que es donde existe un mayor momento flector y momento torsor, los cuales se indican a continuación:

- Momento flector: 31,59 N.m.
- Momento torsor: 0.32 N.m.

A continuación, se calculan los esfuerzos correspondientes:

- Esfuerzo de flexión medio:

$$\sigma_{f \text{ medio}} = 0 \quad (4.25)$$

- Esfuerzo de flexión máximo:

$$\sigma_{f \text{ max}} = \frac{32 * M_f}{\pi * d^3} = \frac{321,77}{d^3} \quad (4.26)$$

- Esfuerzo de torsión medio:

$$\tau_{\text{medio}} = \frac{16 * M_t}{\pi * d^3} = \frac{1,63}{d^3} \quad (4.27)$$

- Esfuerzo de torsión alternante:

$$\tau_{\text{alt}} = 0 \quad (4.28)$$

- Esfuerzo equivalente por Tresca:

$$\sigma_{\text{medio eq}} = \sqrt{(\sigma_{f \text{ medio}})^2 + 4(\tau_{\text{medio}})^2} = \frac{3,26}{d^3} \quad (4.29)$$

$$\sigma_{\text{alt eq}} = \sqrt{(\sigma_{f \text{ max}}')^2 + 4(\tau_{\text{alt}}')^2} \quad (4.30)$$

- Se consideraron los siguientes coeficientes:

$$cs = 0,88 \quad ct = 0,75 \quad \beta t = 1,5$$

Reemplazando en la ecuación (4.30):

$$\sigma_{\text{alt eq}} = \sqrt{\left(\frac{1,5}{0,88 * 0,75} * \frac{321,77}{d^3}\right)^2} = \frac{731,295}{d^3} \quad (4.31)$$

Se realiza a continuación la verificación por fatiga gracias al diagrama de Haigh:

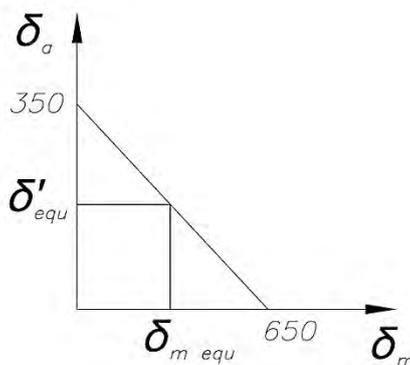


Fig. 4.19 – Diagrama de Haigh para el material Ck45  
Fuente: Elaboración propia

Se realiza la verificación:

$$\sigma_{alt\ eq} \leq 350 \times 10^6 - \frac{350}{650} \sigma_{medio\ eq} \quad (4.32)$$

Reemplazando los valores correspondientes:

$$\frac{731,295}{d^3} \leq 350 \times 10^6 - \frac{350}{650} * \frac{3,26}{d^3} \quad (4.33)$$

$$\mathbf{d \geq 12,79\ mm} \quad (4.34)$$

Se realiza a continuación la verificación por fluencia:

$$\sigma_{s\ eq} = \sqrt{(\sigma_{f\ max})^2 + 4(\tau_{medio})^2} = \sqrt{\left(\frac{321,77}{d^3}\right)^2 + 4\left(\frac{1,63}{d^3}\right)^2} \quad (4.35)$$

$$\sigma_{s\ eq} = \frac{321,79}{d^3} \quad (4.36)$$

Comparando con el esfuerzo de fluencia del material:

$$\sigma_{s\ eq} \leq 390 \times 10^6 \quad (4.37)$$

$$\frac{321,79}{d^3} \leq 390 \times 10^6$$

$$\mathbf{d \geq 9,38\ mm} \quad (4.38)$$

Gracias a los resultados anteriores se consideró un árbol de diámetro **20 mm** y material **Ck45**.

#### 4.1.7. Mecanismo de rotación intermitente

Para el sistema de dosificación se necesita un mecanismo que transmita un movimiento intermitente al árbol del sistema que está conectado a los dosificadores circulares.

El mecanismo escogido fue un sistema de trinquete, en conjunto con un actuador lineal, el cual transmitirá el movimiento a los gatillos en un sentido, mientras que en el sentido contrario los gatillos solo deslizarán sobre el trinquete. El mecanismo mencionado se muestra a continuación:

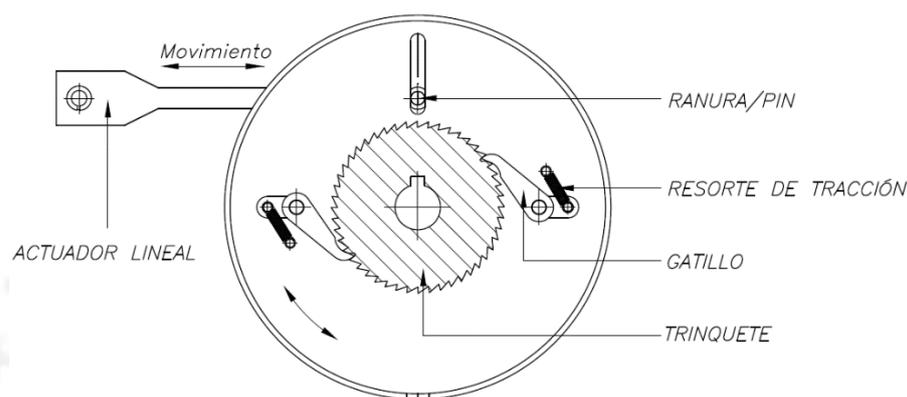


Fig. 4.20 – Partes del mecanismo de trinquete  
Fuente: Elaboración propia

Dicho mecanismo necesita una ranura por donde pueda deslizar el pin conectado con el actuador, ya que el mismo tiene un movimiento lineal, por lo que su posición radial cambiará según la carrera de la biela. El disco con ranura es solidario a los gatillos que transmitirán el movimiento al trinquete en sentido anti horario, mientras que, en sentido horario, los gatillos solo deslizarán sobre los dientes del mismo.

Cabe destacar que el trinquete tiene un número de dientes múltiplo de 8, ya que son las divisiones que posee el dispensador interior de la tolva, el trinquete escogido posee **48 dientes**.

##### o Actuador lineal:

Para el cálculo de la carrera necesaria por parte del actuador lineal se tienen los siguientes datos:

- o Ángulo de giro necesario:

$$\phi_{giro} = \frac{360^\circ}{8} = 45^\circ \quad (4.39)$$

- o Radio de inicio del pin:

$$r_{pin} = 49 \text{ mm} \quad (4.40)$$

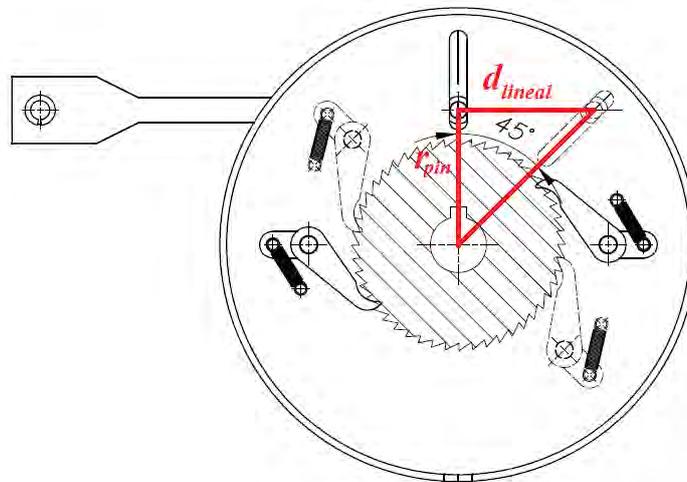


Fig. 4.21– Posiciones del actuador lineal  
Fuente: Elaboración propia

Según los datos anteriores se obtiene que la carrera lineal del actuador debe ser igual a:

$$d_{lineal} = r_{pin} \tan(45^\circ) = 49 \text{ mm} \quad (4.41)$$

Debido a la disposición escogida de los apoyos del árbol, largo y facilidad de montaje, el sistema posee 2 sistemas de transmisión intermitente; es decir, **2 sistemas de mecanismo de trinquete con accionamiento de actuador lineal.**

Dicho actuador, deberá tener una fuerza equivalente al torque necesario para mover todos los dispensadores circulares alojados en el árbol correspondiente; es decir 4 por cada árbol:

$$F_{actuador} = \frac{M_{torsor}}{r_{pin}} = 10.98 \text{ N} \quad (4.42)$$

Con el dato de la fuerza equivalente para mover los dispensadores circulares mostrado anteriormente, se eligió un **rodillo de leva con eje** como transmisor de la fuerza entre la biela y el disco giratorio, debido a que interiormente poseen rodamientos que facilitan el movimiento giratorio.

El rodillo de leva con eje escogido es el **NUKRE 35 A**, el cual posee las siguientes características:

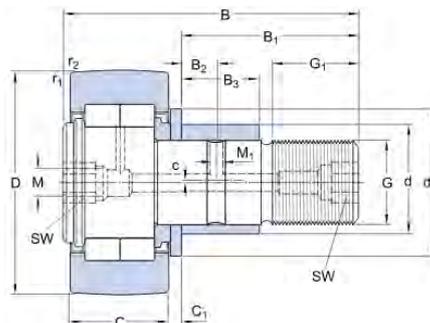


Fig. 4.22 – Rodillo de leva NUKRE 35 A  
Fuente: SKF

- Cargas radiales dinámicas máximas: 8.65 kN
- Cargas radiales estáticas máximas: 12.2 kN

Dichas características se comparan con las de los requerimientos del sistema y se concluye que la selección es correcta.

#### 4.1.8. Rampas de dosificación

En el caso de las rampas de dosificación se utilizarán tubos de pvc de 1 ¼” y 145 PSI, ya que su diámetro interior es de 29.4 mm y cumple con el requisito de ser mayor que el diámetro de salida del disco dosificador. Se eligió dicho material ya que se considera que las semillas tienen una capacidad baja de abrasión.

En cuanto al ángulo de inclinación de los tubos se utilizarán codos de 45°, el cual cumple con el requisito de ser un ángulo mayor a 35° para que la semilla pueda vencer la fuerza de rozamiento estático, según los resultados expuestos anteriormente en los cálculos de apoyo para el diseño preliminar.



Fig. 4.23 – Arreglo de tuberías  
Fuente: Elaboración propia

o Tiempo de caída de la semilla:

El tiempo de caída de la semilla a través del tubo debió ser analizado ya que así se obtendrá un mayor control en el sensado del color de la misma.

Para dicho análisis se consideró la fricción, longitud del tubo y tres momentos claves: el momento del sensado de color ( $t_1$ ), el de selección al finalizar el camino inclinado ( $t_2$ ) y el momento de la salida de las tuberías ( $t_3$ ), tal como se muestra en la siguiente figura:

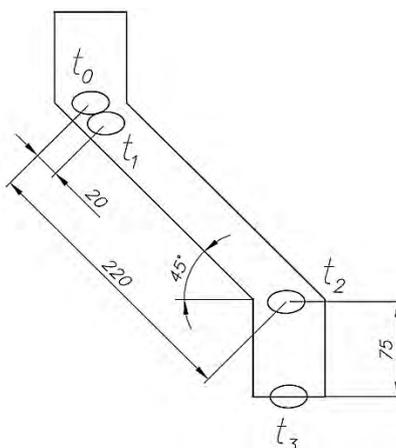


Fig. 4.24 – Tiempos y esquema de caída de la semilla  
Fuente: Elaboración propia

Para obtener los tiempos solicitados se realizó un DCL de la caída de la semilla, tal como se muestra a continuación:

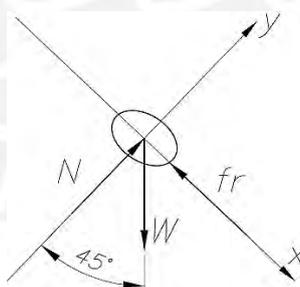


Fig. 4.25 – DCL de la semilla deslizándose  
Fuente: Elaboración propia

Se hace el análisis de fuerzas:

o Sumatoria de fuerzas en el eje y:

$$\sum F_y = 0$$

$$N - w * \cos(45) = 0$$

Donde  $w = 9.27 \times 10^{-3}$ . Despejando la fuerza N:

$$N = 0.007 \text{ N} \quad (4.43)$$

- o Sumatoria de fuerzas en eje x:

$$\sum F_x = m * a$$

$$w * \cos(45) - \mu * N = 0.95 \times 10^{-3} * a$$

Donde  $\mu = 0.7$ . Despejando la aceleración constante:

$$a = 2.08 \text{ m/s}^2 \quad (4.44)$$

Con el dato de la aceleración constante se obtuvieron los siguientes resultados de tiempos y velocidades:

Tabla 4.6 – Tiempos y velocidades de recorrido de la semilla  
Fuente: Elaboración propia

Posición	Tiempo de recorrido	Velocidad
1	0,14 s	0,30 m/s
2	0,5 s	0,96 m/s

Gracias a los datos de la posición 2 se hizo un análisis de caída libre con la velocidad inicial como la componente en el sentido vertical de la velocidad final del punto 2:

Tabla 4.7– Tiempos y velocidades de recorrido de la semilla  
Fuente: Elaboración propia

Posición	Tiempo de recorrido	Velocidad inicial	Velocidad final
3	0,04 s	0,73 m/s	1,09 m/s

## 4.2. Diseño de sistema de control

A continuación, se presentarán los esquemas y componentes correspondientes al sistema de control del sistema, los cuales se dividen en las siguientes partes: reconocimiento de color, control del volumen de recepción de materia prima y producto final, control del actuador lineal y servomotores de selección.

### 4.2.1. Reconocimiento de color

Para el reconocimiento de color de la semilla se utilizará un sensor de color RGB TCS230 el cual se conecta directamente con el microprocesador; posee un error de 0.2%, el cual no afecta a la medición en este caso debido a la diferencia entre colores (almendra y marrón oscuro) y transforma la intensidad de la luz (irradiancia) en una señal cuadrada de frecuencias variables dependiendo de dicha entrada.

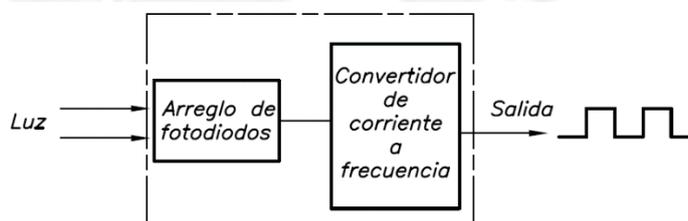


Fig. 4.26 – Esquema de funcionamiento del sensor TCS230  
Fuente: TAOS.

Dicho sensor posee las siguientes características<sup>19</sup>:

- Voltaje de entrada: 3V – 5V
- Adecuado rango de detección: 10 mm.
- Comunicación directa con el micro controlador.
- Área de 1.2 x 0.95 pulgadas
- Peso: 4 g

A continuación, se presentará el diagrama de flujo para el sistema de reconocimiento de color:

<sup>19</sup> ECOPECH. 2016. *Modulo Sensor de Color TCS230*. Consulta: 01 de Junio del 2016. <http://www.ecopech.net/modulo-sensor-de-color-tcs230.html>

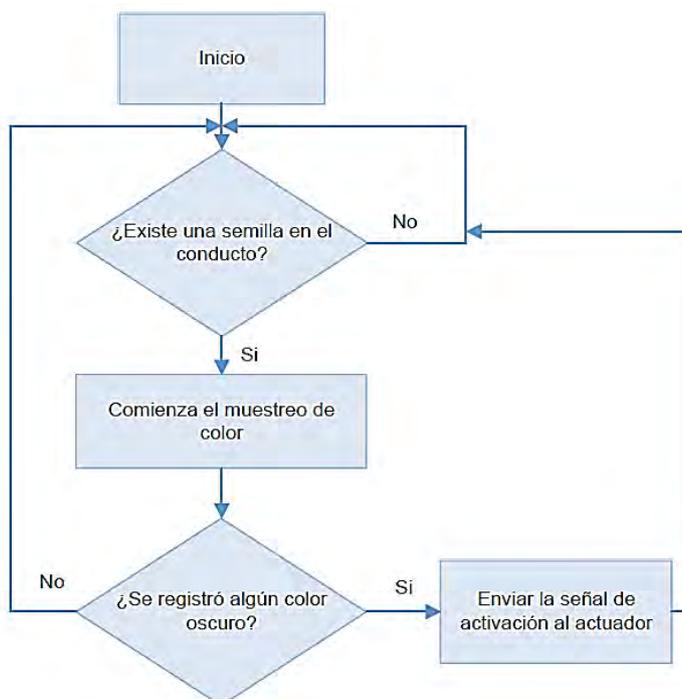


Fig. 4.27 – Diagrama de flujo de reconocimiento de color  
Fuente: Elaboración propia.

Es importante considerar el tiempo de respuesta del sensor ya que se tienen 16 líneas, según el tiempo calculado se determinan la cantidad de unidades de procesamiento necesarias para todo el sistema.

A continuación se ilustra una tabla, la cual posee los datos de las frecuencias máximas y mínimas obtenidas por parte de cada fotodiodo para una muestra de longitud de onda 524 nm; se considerarán las frecuencias mínimas para obtener el tiempo más largo de procesamiento:

Tabla 4.8 – Frecuencias de salida para distintas longitudes de onda  
Fuente: TAOS.

PARAMETER	TEST CONDITIONS	CLEAR PHOTODIODE S2 = H, S3 = L			BLUE PHOTODIODE S2 = L, S3 = H			GREEN PHOTODIODE S2 = H, S3 = H			RED PHOTODIODE S2 = L, S3 = L			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
f <sub>o</sub> Output frequency (Note 9)	E <sub>e</sub> = 47.2 μW/cm <sup>2</sup> , λ <sub>p</sub> = 470 nm	12.5 (4.7)	15.6 (5.85)	18.7 (7)	61%	84%	22%	43%	0%	6%				
	E <sub>e</sub> = 40.4 μW/cm <sup>2</sup> , λ <sub>p</sub> = 524 nm	12.5 (4.7)	15.6 (5.85)	18.7 (7)	8%	28%	57%	80%	9%	27%			kHz	
	E <sub>e</sub> = 34.6 μW/cm <sup>2</sup> , λ <sub>p</sub> = 640 nm	13.1 (4.9)	16.4 (6.15)	19.7 (7.4)	5%	21%	0%	12%	84%	105%				

Gracias a la tabla anterior se obtienen los valores de las frecuencias de salida, cabe destacar que los porcentajes señalados refieren a cierto porcentaje de la frecuencia del fotodiodo blanco. A continuación, se muestran los resultados de dicho análisis:

Tabla 4.9 – Tiempo de respuesta para una muestra de 524nm de longitud de onda  
Fuente: Elaboración propia.

	Fotodiodo blanco	Fotodiodo azul	Fotodiodo verde	Fotodiodo rojo
<b>Frecuencia de salida mínima(kHz)</b>	12,5	1	7,13	1,13
<b>Período (s)</b>	$8 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-3}$	$140,35 \times 10^{-6}$	$888,89 \times 10^{-6}$
<b>Período (<math>\mu</math>s)</b>	80	1000	140,35	888,89
<b>Total(<math>\mu</math>s)</b>	2109,24			

Según el fabricante, a este tiempo de respuesta calculado se le debe agregar 1  $\mu$ s más debido al procesamiento de escalamiento, por lo que se tiene un tiempo de respuesta total de **2111  $\mu$ s** aproximadamente.

También es importante considerar el tiempo en el que la semilla esté frente al sensor, dicho cálculo se muestra en la *Tabla 4.6* – Tiempos y velocidades de recorrido de la semilla en el cálculo de las rampas de dosificación. El tiempo que la semilla permanece dentro de la región de muestreo del sensor es de **0,14 s** lo que equivale a **140000  $\mu$ s**.

Con los tiempos mencionados anteriormente se concluye que se podrán tomar las 16 muestras de color de manera serial, ya que se tienen **140000  $\mu$ s** de tiempo para poder obtener la muestra de las 16 líneas y como cada muestra toma como máximo un tiempo de **2111  $\mu$ s** se podrán tomar aproximadamente **66 muestras** en todo el tiempo en el cual la semilla este frente al sensor.

Finalmente se concluye lo siguiente:

- Tiempo de muestreo por semilla: 2111  $\mu$ s
- Cantidad de semillas a muestrear: 16
- Cantidad de muestras tomadas para cada semilla: 4
- Tiempo total de procesamiento: 135104  $\mu$ s

#### 4.2.2. Control de recepción y salida de la materia prima

El sistema de control también consta del monitoreo constante del volumen de semillas en la recepción y en la salida, es decir, controlar que la cantidad de semillas en la recepción o en la salida no sobrepase el valor máximo de capacidad.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo a utilizar para llevar a cabo dicho control:

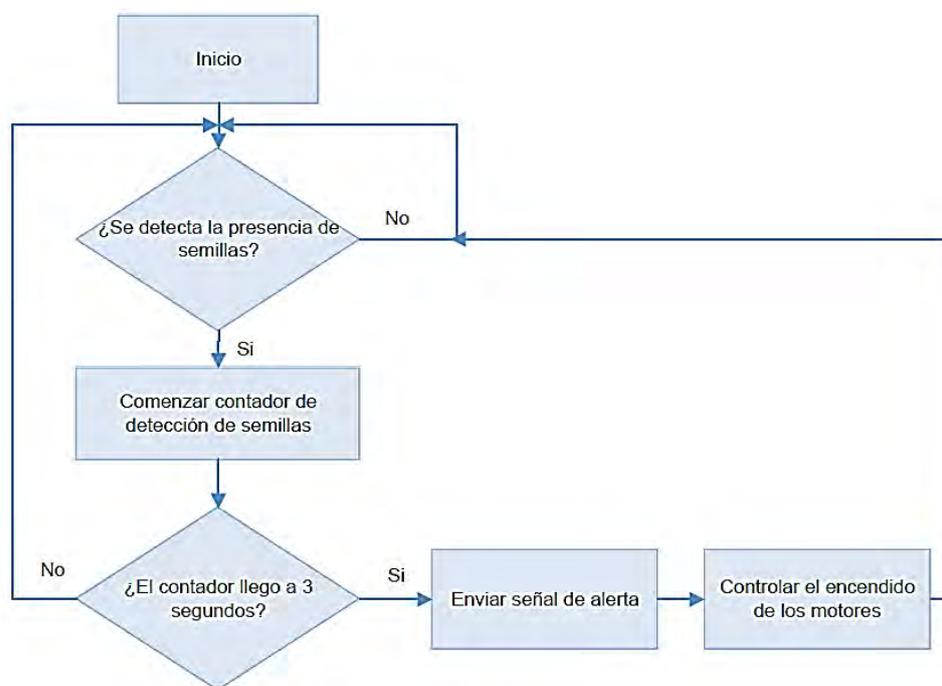


Fig. 4.28 – Diagrama de flujo de control de recepción y salida de la materia prima  
Fuente: Elaboración propia.

Para el sensado de presencia de semillas se utilizarán sensores infrarrojos, los cuales constan de un emisor y un receptor:

- Emisor: Se trata de un diodo emisor de luz infrarroja, el cual emite una radiación electromagnética que entra en el rango infrarrojo invisible para el ojo humano debido a su longitud de onda.
- Receptor: Este dispositivo se trata de un transistor, el cual su base ha sido sustituida por un cristal foto sensible que regula el flujo de corriente

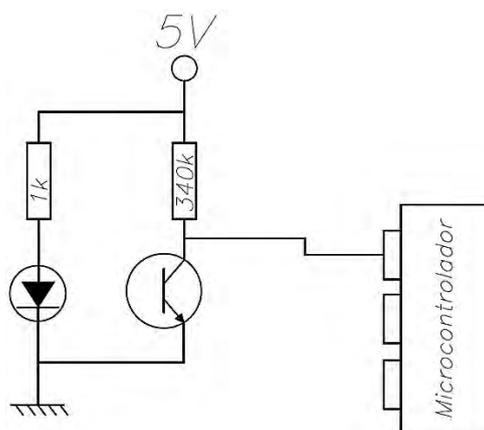


Fig. 4.29 – Sistema de sensado de presencia.  
Fuente: Elaboración propia.

Se contarán con 8 sistemas de sensado de presencia divididos en: 4 para la tolva y 4 para las cajas de recepción del producto final.

#### 4.2.3. Actuador lineal eléctrico

El actuador lineal se encarga de transmitir la potencia necesaria para mover todo el sistema de dosificación de las semillas. Su selección se basó en la fuerza requerida, señales de retroalimentación, relación costo-productividad y carrera de trabajo.

El actuador lineal escogido es el **LINAK ACTUATOR LA 14**, el cual posee las siguientes características:

- Motor magnético permanente de 12 o 24V.
- Fuerza máxima de 750 N.
- Velocidad lineal máxima de 45 mm/s
- Longitud de carrera que va desde 19 a 130 mm.
- Dimensiones compactas de 245 mm máximo
- Protecciones IP: IP66 y IP69K
- Tubo interior de acero inoxidable.

A continuación, se presenta un diagrama de los distintos cables que posee el actuador escogido:

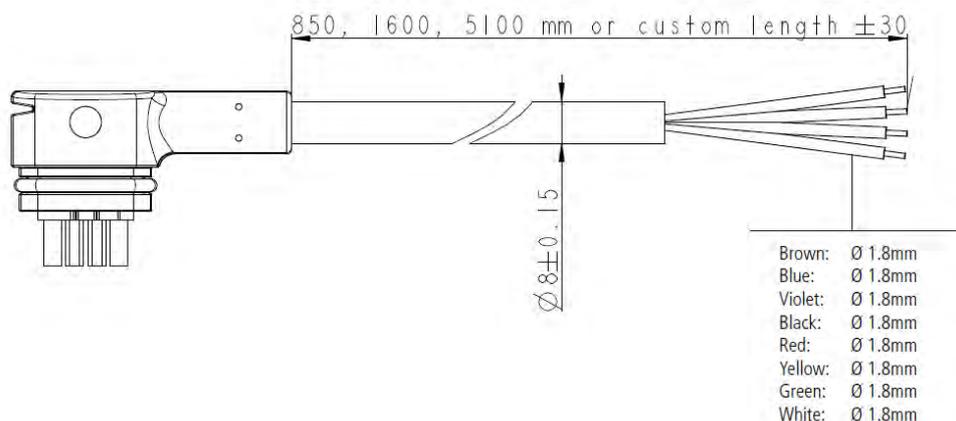


Fig. 4.30 – Sistema de cableado del actuador lineal  
Fuente: LINAK.

Para el control de dicho actuador se escogió un sistema de retroalimentación analógico, el cual posee una señal de salida en forma de corriente, la cual se debe escalar para obtener la posición absoluta del actuador. Se escogió dicha salida, pues la corriente no se ve afectada debido a las cargas magnéticas producidas por los motores alrededor del sistema, es una salida estable y controlable.

Según el fabricante, esta modalidad de señal de retroalimentación posee una tolerancia de  $\pm 0,2$  mA y tiempo de procesamiento de 20 ms, lo cual no es muy relevante ya que los intervalos de dosificación son de aproximadamente 60 s.

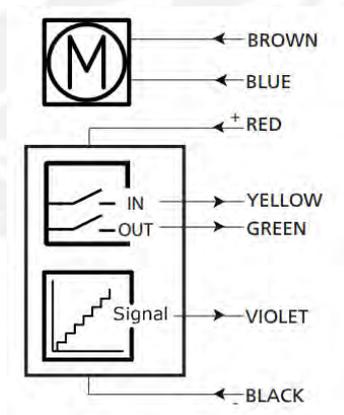


Fig. 4.31 – Conexiones del actuador lineal  
Fuente: LINAK

Las conexiones mostradas en la figura anterior refieren a todos los cables del actuador donde:

- Cable marrón y azul: Son los que controlan el accionamiento del motor según la polaridad que se le proporcione.

- Cable Amarillo: Señal de parada de entrada.
- Cable Verde: Señal de parada de salida.
- Cable Violeta: Señal de retroalimentación que brinda información acerca de la posición absoluta del actuador.
- Cable Negro: Tierra.

A continuación, se presenta el diagrama que relaciona fuerza de salida con el amperaje necesitado, en el sistema de dosificación intermitente se necesitará menos de **100 N**, por lo que la corriente necesitada como máximo será de **0,5 A**.

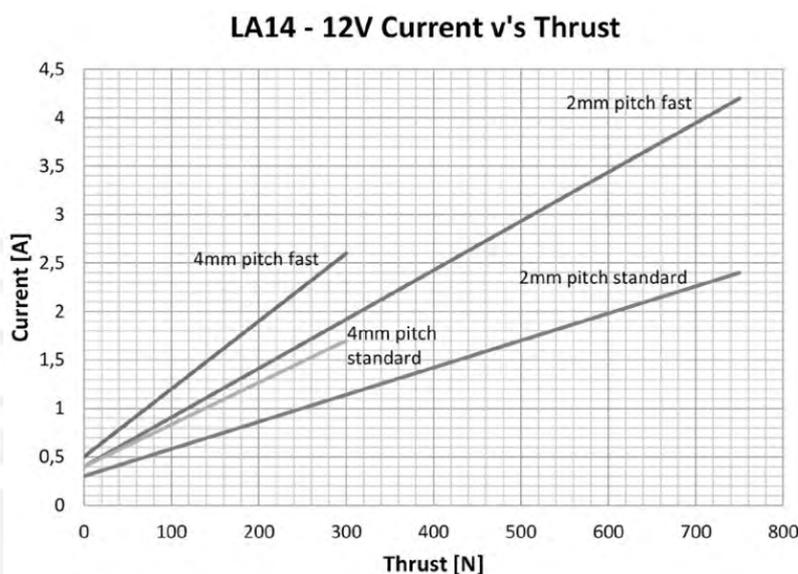


Fig. 4.32 – Relación Fuerza vs Corriente  
Fuente: LINAK.

#### 4.2.4. Control de actuadores lineales eléctricos

Los actuadores lineales presentados anteriormente poseen motores DC interiormente, por lo que el control del desplazamiento requerido se realizará a través de un integrado de puente H, el cual será controlado por el Arduino respectivo según la señal de retroalimentación del cable violeta del actuador lineal.

Debido a que los motores funcionarán con 12V y 0,5A máximo de amperaje, se escogió el integrado **L293D**, el cual es un puente H encapsulado que posee las siguientes características:

- Capacidad de control de corriente de hasta 600 mA.

- Capacidad de control de voltaje entre 4,5V y 36V.
- Permite el control de hasta dos motores, ya que posee dos puentes H.
- Compatibles con lógica TTL.
- Aislamiento entre señal de control y potencia de los motores.

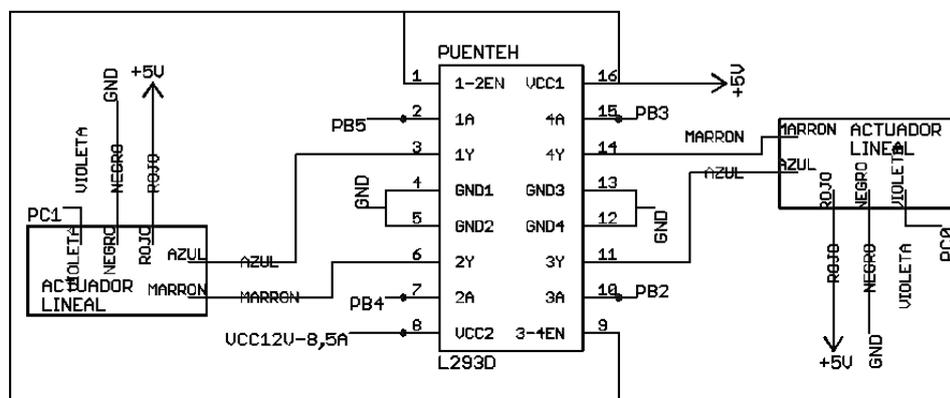


Fig. 4.33 – Conexión de control de actuadores lineales  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.5. Control de servomotores encargados de la selección

Para la selección final de las semillas se cuenta con 16 servomotores ubicados al final del tubo de dosificación, se escogieron servomotores debido a que la carga es ínfima, su velocidad de respuesta es muy buena y por su bajo costo debido al bajo torque necesario.

Los servomotores elegidos son de la marca HITEC y pertenecen a la familia de Micro servos, el modelo es el HS-81 y posee las siguientes características:

- Torque máximo: 42 oz-in.
- Máxima velocidad: 0,09 s/60°
- Voltaje de trabajo: 4,8 – 6 V
- Corriente de trabajo: 280 mA
- Dimensiones: 29,8 x 12 x 29,6 mm
- Peso: 16,6 g

Para su control se utilizará la placa PCA9685 de la empresa Adafruit, la cual es un controlador de 16 canales y 12 bit con salida en forma de señal PWM.



Fig. 4.34– Placa PCA9685

Fuente: Adafruit

Dicha placa tiene un protocolo de comunicación de I2C con el microcontrolador, por lo que su tiempo de respuesta es muy rápida. Además, posee salidas de alimentación del servomotor, por lo que aísla el sistema de control del sistema de potencia requerido por el actuador. A continuación, se muestran las conexiones necesarias para el debido control del mismo.

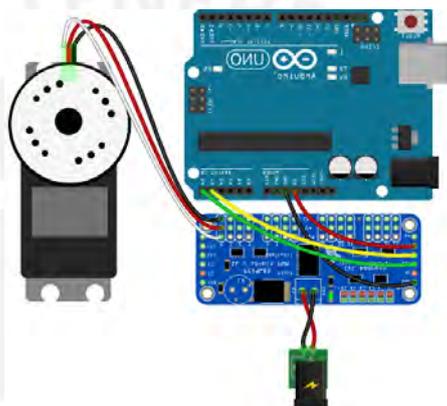


Fig. 4.35– Conexiones con el servomotor

Fuente: Adafruit

#### 4.2.6. Unidad central de procesamiento

El micro controlador a utilizar será una plataforma electrónica pre-diseñada, ya que para el sistema a controlar no es de relevancia el diseñar una placa específica para su uso.

Para todo el sistema serán necesarios 3 plataformas electrónicas pre-diseñadas, las cuales se dividirán en:

- Control de color de la semilla
- Control del accionamiento de los servomotores.
- Control del movimiento de los actuadores lineales eléctricos.

Se utilizarán **Arduino Uno**, ya que posee las salidas y entradas necesarias para toda la circuitería del sistema y trabaja a una frecuencia de **16 Mhz**, la cual es

más que suficiente para muestrear el color de cada semilla, ya que es el proceso que requiere la frecuencia más alta de procesamiento.



Fig. 4.36 – Arduino Uno  
Fuente: Arduino CC.



### 4.3. Diseño de sistema electrónico

A continuación, se definen todos los sistemas de alimentación, protección y conexiones eléctricas que posee el sistema de seleccionamiento de semillas de Sacha Inchi por color:

#### 4.3.1. Adaptadores de alimentación

Para el cálculo de la fuente de alimentación se deben de considerar todos los componentes que trabajarán simultáneamente, por lo que se presenta un cuadro resumen de los mismos:

Tabla 4.10 – Sumatoria de corrientes  
Fuente: Elaboración propia.

Descripción	Cantidad	Corriente c/u	Voltaje de trabajo	Corriente total
Servomotores	16	280 mA	5V	4,48 A
Actuadores lineales	2	0,5 mA	12V	1 A
Motores DC	8	0,27 mA	12V	2,16 A
Arduinos	3	800 mA	12V	2,4 A
Sensores de color*1	16	1,4 mA	5V	22,4 mA
<b>Total de corriente (12V)</b>				<b>5,56 A</b>
<b>Total de corriente (5V)</b>				<b>4,48 A</b>

Nota \*1: La corriente utilizada por los sensores de color no se consideran dentro de la sumatoria del total de corriente necesitada por la fuente de 5 V, ya que se alimentará de las salidas del Arduino.

Debido a estos requerimientos se elige una fuente de alimentación ATX, la cual es una fuente reguladora de corriente alterna de la línea eléctrica comercial a una corriente directa, esta alimentación es utilizada por los componentes electrónicos en las computadoras<sup>20</sup>.

Dicha fuente de alimentación posee múltiples salidas las cuales proporcionan voltajes de 3.3, 5 y 12V. La ventaja de utilizar una sola fuente de alimentación,

<sup>20</sup>INFORMÁTICA MODERNA.2016.La fuente de alimentación ATX. Consulta: 25 de Junio del 2016..[http://www.informaticamoderna.com/Fuente\\_ATX.htm](http://www.informaticamoderna.com/Fuente_ATX.htm)

a parte del espacio, es que se tiene la misma referencia a tierra para que todos los circuitos funcionen correctamente.



Fig. 4.37 – Fuente ATX  
Fuente: PROMETEC.

Las salidas de esta fuente de alimentación básicamente se dividen en 4 tipos de conectores:

- Para unidades de 3.5”
- Para unidades de 5.25”
- Para alimentar la tarjeta principal
- Para alimentar unidades SATA/SATA 2

Las salidas proporcionadas por dicha fuente son suficientes para alimentar todas las conexiones del sistema.

Además, todas las conexiones a tierra se conectarán en conjunto con la estructura metálica del sistema para que el mismo este completamente descargado y evite cualquier tipo de accidentes por corrientes de fuga.

#### 4.3.2. Interruptor de control de potencia

Se seleccionó un interruptor magneto térmico, ya que protegerá el sistema de sobrecargas y cortocircuitos gracias a la interrupción de la circulación de corriente cuando sobrepase ciertos límites.

Para la selección del interruptor se tomaron en cuenta los valores de la “Tabla 4.10 – Sumatoria de corrientes”, por lo que el valor máximo de corriente que puede requerir el sistema es de **10.04 A**, por lo tanto un interruptor magneto térmico que soporte una potencia de **2 x 20A**, el cual tiene una aplicación residencial e industrial, será suficiente.



. Fig. 4.38 – Interrupor termo magnético Bticino  
Fuente: SODIMAC

#### 4.3.3. Protección contra corriente inversa

Para la protección contra la corriente inversa que se produce al momento de la desconexión del motor DC hacia los circuitos adyacentes a dicho motor, se utiliza un diodo rectificador en paralelo al mismo.

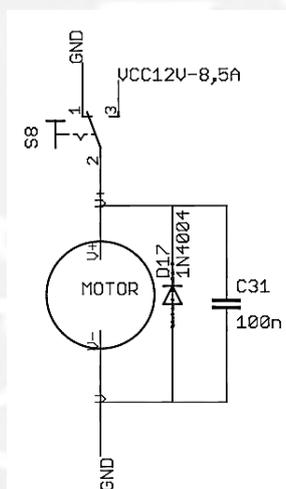


Fig. 4.39 – Conexión del motor DC  
Fuente: Elaboración propia.

En el caso del sistema mostrado anteriormente, se conecta un diodo 1N4004, ya que soporta un voltaje inverso máximo de 400V y hasta 1A de corriente directa.

El requisito de corriente en inversa no es necesario, ya que la corriente pasará a través del motor y no del diodo.

El condensador mostrado en paralelo se conecta para equilibrar los picos de corriente y reducir las interferencias por frecuencias de resonancia que se podrían presentar al momento de la conexión y desconexión del motor.

#### 4.3.4. Sistema de adquisición de datos del sensor de color

Ya que el sistema posee 16 líneas de procesamiento, se utilizaron 16 sensores de color para cada línea. Normalmente cada sensor puede ser conectado a un pin del microprocesador, pero en este caso se analizaron los tiempos para llegar a la conclusión que es posible realizar una medición en serie y aun así no afectar los resultados del sensado.

Al ser una medición en serie se procedió a utilizar un multiplexor analógico controlado por el Arduino, el mismo actúa como conmutador para obtener la información necesaria de la entrada seleccionada por el controlador. En este caso se necesitaron 16 entradas, por lo que se tendrán 4 pines de combinación para seleccionar la entrada requerida siguiendo la siguiente tabla de verdad:

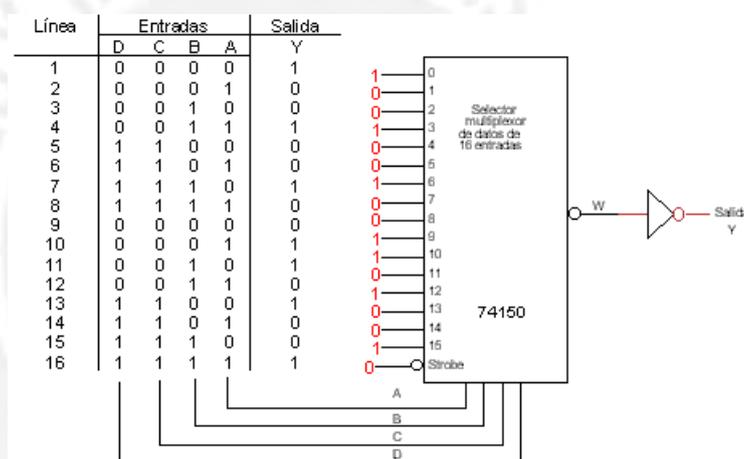


Fig. 4.40 – Selector multiplexor de 16 entradas  
Fuente: LADELEC.

A su vez dichos datos serán transferidos vía comunicación serial entre el Arduino encargado de la recolección y procesamiento de datos de color y el Arduino encargado del control de los servomotores.

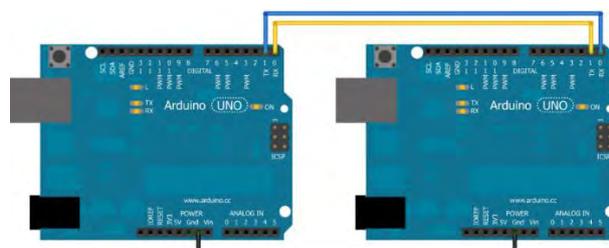


Fig. 4.41 – Conexión serial entre dos arduinos  
Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO 5

### PLANOS

El presente capítulo describe los planos que representan todo el sistema, dichos planos se dividen en dos grandes dominios: mecánico y electrónico unido con la parte de control.

#### 5.1. Planos del dominio mecánico.

El plano de ensamble del dominio mecánico explica el funcionamiento y orden, según la lista de materiales, para armar todo el sistema.

##### 5.1.1. Plano de ensamble principal (SI-01-A0)

El plano de ensamble principal (Máquina seleccionadora de semillas de Sacha Inchi por color con capacidad de 200 kg/h) posee todas las vistas necesarias para comprender el funcionamiento del sistema, detalles aumentados para distinguir las piezas que contiene cada mecanismo, detalles para observar cómo se producen las uniones entre piezas, una vista isométrica y una lista de materiales.

- Sección B-B: Proporciona una vista dónde se puede seguir el recorrido que tendrá la semilla una vez se deposite en la tolva de recepción. El recorrido será el siguiente: en primer lugar las semillas entrarán a las distintas celdas

de los dispensadores interiores, los cuales tendrán un movimiento intermitente gracias al mecanismo de trinquete; en segundo lugar, las semillas caerán dentro del recipiente circular donde se encuentran los discos dosificadores encargados de separar las semillas una por una; en tercer lugar, por acción de la gravedad resbalarán por el tubo de pvc, dentro del cual se encuentra el sensor de color RGB encargado de procesar el color de la semilla estudiada; y por último, se encuentra un servo motor en la tramo final del camino del tubo de PVC, para actuar como seleccionador de las semillas: en caso sea marrón oscura, el servomotor cambiará su ángulo de trabajo a  $60^\circ$ , mientras que si la semilla es color almendra, seguirá su camino y se depositará en la división correspondiente en la caja de recepción.

- Sección C-C: Ilustra el mecanismo de trinquete utilizado, gracias a un detalle ampliado del mismo (detalle Z).
- Sección A-A: Ayuda a distinguir los apoyos del árbol de transmisión (detalle T), así como los mecanismos de transmisión de potencia entre el árbol y los dispensadores. En el caso del detalle M, perteneciente a dicha sección, ilustra la transmisión y ensamble del mecanismo giratorio encargado de separar las semillas una por una, en dicho detalle se pueden distinguir bocinas, acoples, prisioneros e incluso la unión atornillada de las bridas de los tubos PVC. El último detalle, que define algún tipo de mecanismo, proveniente de dicha sección es el detalle Y, el cual complementa a la sección C-C y su detalle Z para definir completamente el sistema de trinquete.
- Uniones entre piezas: Todos los demás detalles definen las uniones atornilladas entre las piezas.

#### 5.1.2. Plano de sub-ensamble de dosificación (SI-02-A2)

Ilustra con mayor detalle el ensamble de cada uno de los paquetes de mecanismos de dosificación mostrados en el plano de ensamble general.

### **5.1.1. Plano de la estructura (SI-03-A1)**

Se aprecian los distintos perfiles que conforman la estructura base del sistema, así como el tipo de unión que habrá entre ellos para mantener estable toda la estructura.

### **5.1.2. Plano del dispensador de semillas (SI-04-A3)**

Se pueden apreciar las medidas que debe poseer el dispensador interior encargado de la dosificación intermitente de las semillas, uniones soldadas y un agujero que contendrá el prisionero encargado de evitar el movimiento axial del dispensador.

### **5.1.3. Plano del árbol principal (SI-05-A3)**

Ubica todos los canales chaveteros que debe poseer el árbol, así como las ranuras para los anillos de retención y cambios de sección.

## **5.2. Planos del dominio electrónico y de control (SI-06-A1)**

Para la parte electrónica y de control se realizó un plano esquemático, el cual muestra todas las conexiones necesarias para que el sistema funcione. A continuación, se describirán todas las partes que conforman el plano.

### **5.2.1. Arduino uno – Control de los sensores de color**

Los sensores de color estarán conectados a la placa Arduino mostrada a continuación, dicha placa será la encargada de procesar los datos recibidos por cada uno de los 16 sensores de color y mandará dichos datos a través de una comunicación serial hacia el Arduino encargado del control de los servomotores.

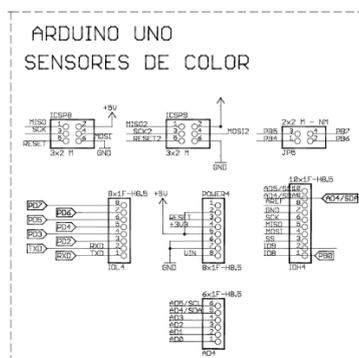


Fig. 5.1 – Arduino uno - Control de los sensores de color  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.2. Sensores de color

Los 16 sensores de color estarán conectados a un multiplexor, el cual estará encargado de transmitir únicamente el valor correspondiente a la combinación de señales de entradas A,B,C y D, las cuales serán controladas por el Arduino descrito anteriormente. Los sensores de color son alimentados por la placa Arduino que los controla.

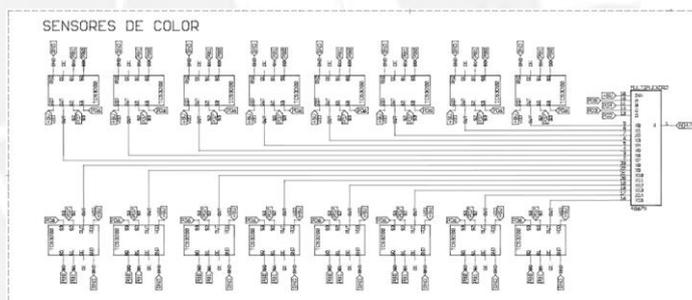


Fig. 5.2 – Conexión de los sensores de color  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.3. Arduino uno – Control de los servomotores

Para el control de los servomotores se utilizará una placa Arduino, la cual estará encargada de recibir la información de forma serial, por parte de la placa Arduino encargada del procesamiento de la información de los sensores de color y enviar la información de control de los servomotores, con un protocolo de comunicación I2C a la placa respectiva.



Fig. 5.3 – Arduino uno – Control de los servomotores  
Fuente: Elaboración propia.

#### 5.2.4. Placa PCA9685 Control de los servomotores

La placa de Arduino mostrada anteriormente se comunicará con una placa PCA9685 reguladora de señales PWM, la cual será la encargada de controlar el giro de cada servomotor. El mismo posee 16 salidas, las cuales alcanzan para controlar todo el sistema.

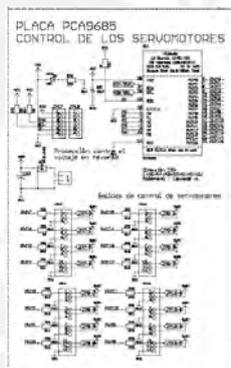


Fig. 5.4 – Placa PCA9685 Control de los servomotores  
Fuente: Elaboración propia.

#### 5.2.5. Servomotores

Se muestra la conexión de los 16 servomotores que trabajarán en el sistema, los cuales poseen 3 entradas proporcionadas por la placa PCA9685 mostrada anteriormente.

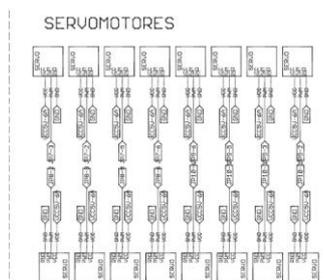


Fig. 5.5 – Conexión de servomotores  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.6. Motores DC

Se muestra la conexión de los 8 motores DC, los cuales serán controlados por switches manipulados por el usuario. Cada uno posee un sistema de protección.

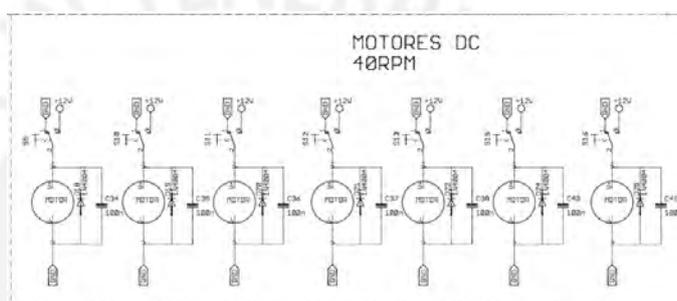


Fig. 5.6 – Conexión de motores DC  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.7. Arduino uno – Control de los actuadores lineales

Debido a que los actuadores lineales trabajarán intermitentemente, se utilizó un Arduino Uno para controlar de manera eficiente sus carreras lineales, ya que deben ser precisas. Dicho control se realizará mediante un puente H y la señal de retroalimentación brindada por el actuador lineal acerca de su posición absoluta.

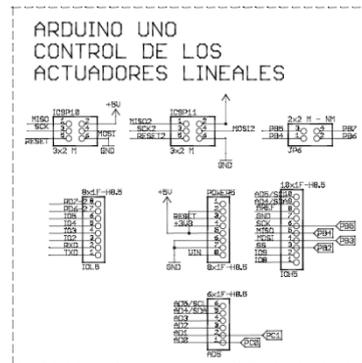


Fig. 5.7 – Arduino uno – Control de los actuadores lineales

Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.8. Actuadores lineales

Tal como se mencionó anteriormente, los actuadores lineales serán controlados a través de un puente H y mandarían una señal de retroalimentación al Arduino.

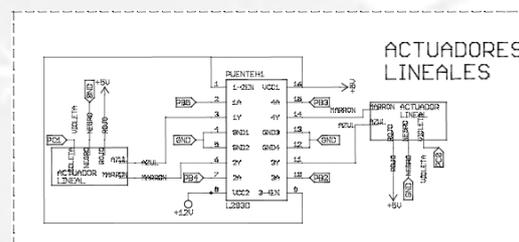


Fig. 5.8 – Conexión de los actuadores lineales

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO 6

### ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL SISTEMA

En el presente capítulo se describen todos los costos del sistema, divididos en parte mecánica, electrónica, eléctrica y diseño.

#### 6.1. Estimación de costos de diseño

Para estimar el costo total del diseño del sistema se consideraron 205 horas de trabajo a 10 soles por hora. Dichas horas se muestran en detalle en la Tabla 1.3 Cronograma de trabajo que refiere al cronograma de trabajo.

Tabla 6.1 – Estimación de costos de diseño  
Fuente: Elaboración propia.

<b>Dominio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (S/.)</b>	<b>Precio total (S/.)</b>
<b>Diseño</b>	Diseño del sistema	205	10	2050

## 6.2. Estimación de costos del dominio mecánico

A continuación, se presenta un cuadro donde se resumen los costos de todos los componentes de la parte mecánica. Para el caso de la tolva y estructura, la soldadura ya se encuentra considerada dentro del precio sugerido y en el eje se considera la materia prima y el mecanizado.

Tabla 6.2 – Estimación de costos mecánicos  
Fuente: Elaboración propia.

<b>Dominio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (S/.)</b>	<b>Precio total (S/.)</b>
<b>Mecánica</b>	Tolva	1	3000	3000
	Estructura	1	800	800
	Chumacera	4	120	480
	Eje	2	400	800
	Carcasa dispensador	16	100	1600
	Dispensador	8	200	1600
	Plancha	3	40	120
	Tapa del dosificador	8	60	480
	Carcasa del dosificador	8	250	2000
	Disco dosificador	8	100	800
	Tubo de PVC	64	5	320
	Rueda	16	15	240
	Tornillos, arandelas y tuercas	180	3	540

### 6.3. Estimación de costos del dominio electrónico

Dentro de las consideraciones de los componentes electrónicos se generalizaron los componentes extras tales como resistencias, capacitores e inductancias en un solo ítem.

Tabla 6.3 – Estimación de costos electrónicos  
Fuente: Elaboración propia.

<b>Dominio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (S/.)</b>	<b>Precio total (S/.)</b>
<b>Electrónica</b>	Servomotor	16	44	704
	Sensor de Color RGB	16	25	400
	Placa PCA9685	1	10	10
	Multiplexor	1	10	10
	Arduino Uno	3	45	135
	Actuadores lineales	2	150	300
	Puente H	1	7	7
	Dispositivos electrónicos varios (Resistencias, condensadores)	50	1	50

### 6.4. Estimación de costos eléctricos

Los componentes eléctricos se consideraron los motores DC, los cuales solo tendrán un control de encendido y apagado; la fuente de alimentación y los switches de potencia.

Tabla 6.4 – Estimación de costos eléctricos  
Fuente: Elaboración propia.

<b>Dominio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (S/.)</b>	<b>Precio total (S/.)</b>
<b>Eléctrica</b>	Motor DC	8	28	224
	Fuente de alimentación	1	70	70
	Switches de potencia	2	10	20

### 6.1. Estimación de costos totales

El costo total del sistema es de S/. 16760, lo cual lo hace una máquina considerablemente competitiva respecto a los sistemas de selección de color que existen actualmente en el mercado, a continuación, se muestra el detalle por cada dominio:

<b>Dominio</b>	<b>Costo total (S/.)</b>
Diseño	2050
Mecánico	12780
Electrónico	1616
Eléctrico	314
<b>TOTAL</b>	<b>16760</b>



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Todos los materiales en contacto con las semillas a procesar fueron considerados como no-contaminantes para evitar poner en peligro la salud de las personas que consuman dicho producto.
- El diseño del sistema permite un flujo de salida de semillas seleccionadas por color de 200 Kg/h, lo cual optimiza considerablemente el proceso de seleccionamiento por color realizado anteriormente por operarios.
- Todo el sistema posee un peso final de 254 kg sin contar el peso de la materia prima, el cual podrá ser de máximo 81 kg, por lo que se tendrá un peso máximo 335 kg incluyendo el producto a procesar.
- Las cajas de recepción poseen una capacidad de 8 kg por cada compartimiento, por lo que se tendrán 16 kg por caja y 64 kg de capacidad total entre las cuatro cajas de recepción. Por lo que se recomienda suministrar el sistema con una cantidad menor a la de 64 kg, lo cual se apoya con el hecho de que los sacos comerciales de semillas de Sacha Inchi poseen un peso de 50 kg.
- El sistema fue diseñado para discernir entre semillas color café oscura y semillas color almendra, pero para próximas mejoras la estructura es apta para acoplarla a un sistema de procesamiento de imágenes que controle la calidad de las semillas, bastaría con cambiar los sensores de color por cámaras que capturen muestras constantes de las semillas a procesar y reconfigurar la programación del sistema de selección (servomotores).
- El costo total del diseño, fabricación y componentes del sistema es de 16760 soles. Dentro del cual, posee un costo de parte electrónica de 1616 soles, el cual es relativamente bajo a comparación de los sistemas de reconocimiento de color que utilizan diversas empresas.
- Debido a la capacidad de procesamiento requerida, se utilizaron sensores y actuadores de rápido tiempo de respuesta, ya que de esta manera se pudo reducir el tamaño del sistema y hacerlo competente contra los demás modelos existentes del mercado actual.

## BIBLIOGRAFÍA

- TODD, Joshua  
2015 *Implementing an Automated Sorting System*. Tesis de automatización de ingeniería mecánica. Lappeenranta: Saimaa University of Applied Sciences, Mechanical Engineering and Production Technology. Consulta: 04 de Abril de 2016.
- MEBATSION, PALIWAL y JAYAS.  
2012 *Automatic classification of non-touching cereal grains in digital images using limited morphological and color features*. Canadá: University of Manitoba, Department of Biosystems Engineering. Consulta: 31 de Marzo del 2016.
- PROM AMAZONÍA  
s/f *Tecnología de extracción de aceite de Sacha Inchi*. Consulta: 25 de Marzo del 2016. <http://www.iiap.org.pe/promamazonia/SBiocomercio/Upload/Lineas/Documentos/541.pdf>
- CHIRINOS, Octavio; ADACHI, Leonardo; CALDERÓN, Fernando; DÍAZ, Raúl; LARREA, Luis; MUCHA, Gustavo y ROQUE, Liliana.  
2009 *Exportación de aceite de sacha Inchi al mercado de Estados Unidos*. Lima: Universidad ESAN. Consulta: 24 de Marzo del 2016.
- MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR Y TURISMO  
2009 *Manual de producción de sacha Inchi para el biocomercio y la agroforestería sostenible*. Lima. Consulta: 26 de Marzo del 2016.
- MARK COLOR SORTER  
s/f *Add Values to your product with MARK COLOR SORTER*. Nueva Delhi. Consulta: 05 de Abril del 2016.
- MINISTERIO DE LA AGRICULTURA  
s/f *CULTIVO DE SACHA INCHI [Boletín técnico]*. Lima. Consulta: 05 de Abril del 2016
- BARRIGA, Benjamín  
2013 *Métodos de diseño en ingeniería mecánica*. Lima: PUCP.
- KASSAKIAN, John G.; SCHLECHT, Martin F. y VERGHESE, George C.  
1991 *Principles of Power Electronics*. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- GUEVARA, Arnold y PAREDES, José.  
2013 *Diseño de una descascaradora de Sacha Inchi*. Lima: PUCP.

- VALENZUELA, Carlos  
2013 Comentario del 18 de noviembre a "SACHA INCHI SEMILLA TOSTADA Y CON CASCARA OFERTA S/ 8.00 KILO". *AgroForum.pe*. Consulta: 27 de abril del 2016  
<http://www.agroforum.pe/productos-agropecuarios/sacha-inchi-semilla-tostada-y-cascara-oferta-s-8-00-kilo-8966/>.
- PDVSA (Petróleos de Venezuela S.A.)  
1997 *Almacenamiento en Silos y Tolvas*. Caracas.
- CCARITA, Fredy A.  
2011 *Diseño de silo*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de postgrado, Maestría en ingeniería mecánica. Consulta: 04 de Mayo del 2016.
- HIBBELER, Russell C.  
2010 *Ingeniería mecánica Estática*. Decimosegunda edición. Estado de México: Pearson Educación.
- SIFUENTES, Carla  
2015 *Soldadura de acero inoxidable*. Consulta: 12 de Mayo del 2016. <http://www.jnaceros.com.pe/blog/acero-inoxidable-introduccion/soldadura-acero-inoxidable/>
- ECOPECH  
2016 *Modulo Sensor de Color TCS230*. Consulta: 01 de Junio del 2016. <http://www.ecopech.net/modulo-sensor-de-color-tcs-230.html>
- SKF Group  
2013 *Y-bearings and Y-bearing units*. Consulta: 01 de Junio del 2016.
- BELIÁEV, V.N., I.S. BOGATIREV, A.V. BULANZHÉ, P.V. VIBORNOV, V.L. GADOLIN, N.A. GOVMAN, N.A. DROZDOV, L.I. ZAITEV, V.N. IVANOV, B.I. KOROVIN, V.I. LUKIN, I.S. MORIN, I.A. OGRINCHUK, N.V. PÁLOCHKINA, D.G. POLIAKOV, D.P. PARGUIN, A.G. RASPOPOV y S.A. SHUVALOV  
1981 *Atlas de elementos de máquinas y mecanismos*. Tercera edición. Barcelona: Ediciones CEAC.
- HILTI  
S/F *Sistemas de anclaje*. Consulta: 13 de Junio del 2016.
- LINAK  
S/F *Actuator LA14*. Consulta: 01 de Junio del 2016.
- ACEROS AREQUIPA  
2016 *Catálogo de productos y servicios*. Consulta: 18 de Mayo del 2016.

- INKANAT  
2016  
*SACHA INCHI el aceite de los incas.*  
<http://www.inkanat.com/es/arti.asp?ref=sacha-inchi-aceite>
- MADECSA PERU  
2012  
*DESCAPSULADORA DE SACHA INCHI – MADECSA.*  
Consulta: 01 de Abril del 2016.  
[https://www.youtube.com/watch?v=I\\_FNs1BOpsI](https://www.youtube.com/watch?v=I_FNs1BOpsI)
- DAEWON GSI  
s/f  
*COLOR SORTER IB FULL COLOR.* Consulta: 01 de Abril del 2016.  
<http://www.daewon.com/english/html/sub3-7.html>
- mark COLOR SORTER  
s/f  
*Mark Color Sorter.* Consulta: 02 de Abril del 2016.  
<http://www.sortermachine.com/mark-color-sorter-2361505.html>
- IVC  
2016  
*Skittles M&M's Sorting Machine.* Consulta: 02 de Abril del 2016.  
[http://beta.ivic.no/wiki/index.php?title=Skittles\\_M%26M%27s\\_Sorting\\_Mahine&action=info](http://beta.ivic.no/wiki/index.php?title=Skittles_M%26M%27s_Sorting_Mahine&action=info)
- BUHLER  
2016  
*Medición online de color y motas MYHB.* Consulta: 05 de Abril del 2016.  
<http://www.buhlergroup.com/europe/es/productos/medicion-online-decolor-y-motas-myhb.htm#.V2sIQfnhDIU>
- FESTO  
s/f  
*Detector de color SOEC-RT-Q50.* Consulta: 06 de Abril del 2016.  
[https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/12168/PSI\\_316\\_5\\_es.pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/12168/PSI_316_5_es.pdf)
- OPTEX FA  
2008  
*Multi camera Vision Sensor MVS Series.* Consulta: 06 de Abril del 2016.  
<http://www.optex-fa.pe/pdf/MVSbrochureJan08V.pdf>
- TAOS  
2003  
*TCS230 PROGRAMMABLE COLOR LIGHT-TO-FREQUENCY CONVERTER.* Consulta: 20 de Abril del 2016.  
[http://www.pobot.org/IMG/pdf/tcs230\\_datasheet.pdf](http://www.pobot.org/IMG/pdf/tcs230_datasheet.pdf)
- TAOS  
2012  
*TCS3472 COLOR LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER.* Consulta: 20 de Abril del 2016.  
<https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/TCS34725.pdf>

SERVOCITY  
2015

*How do servos work?*. Consulta: 15 de Mayo del 2016.  
[https://www.servocity.com/html/how\\_do\\_servos\\_work\\_.html](https://www.servocity.com/html/how_do_servos_work_.html#.V2toNvnhD)  
#.V2toNvnhD

INFORMÁTICA MODERNA  
2016

*La fuente de alimentación ATX*. Consulta: 25 de Junio del  
2016. [http://www.informaticamoderna.com/Fuente\\_ATX.htm](http://www.informaticamoderna.com/Fuente_ATX.htm)

