

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PONTIFICIA**  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
**DEL PERÚ**

**SISTEMA MECATRÓNICO DE MANIPULACIÓN Y SELECCIÓN DE  
HUEVOS POR PESO Y AUSENCIA DE GRIETAS EN CÁSCARA  
PARA UNA PLANTA DE INCUBACIÓN**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Mecatrónico**, que presenta el bachiller:

**Santiago Isaac Villafuerte Ledesma**

**ASESOR: Ing. Fred Solio Achic Alarcón**

Lima, octubre del 2019

## RESUMEN

Esta tesis presenta una propuesta para el desarrollo de un prototipo capaz de manipular y seleccionar huevos para incubar por su peso y ausencia de grietas en cáscara. Asimismo, el prototipo necesita de la supervisión de un usuario con la finalidad que interactúe con la máquina y coloque la bandeja de huevos a ser evaluada. El diseño de este sistema mecatrónico es requerido por las plantas de incubación, las cuales necesitan asegurar una incubación exitosa a partir de una correcta selección de huevos. En este documento, se detalla el problema existente en la manipulación y selección de huevos que entran a las plantas de incubación y el inconveniente al realizar este proceso de forma manual y repetitiva. Además, se analizan los principales mecanismos existentes en la manipulación y pesado de huevos, así como los criterios a cumplir en cuanto a higiene y seguridad en la manipulación de huevos [13]. Igualmente, se realiza un comparativo entre las investigaciones recopiladas respecto a detección de grietas en cáscaras de huevos.

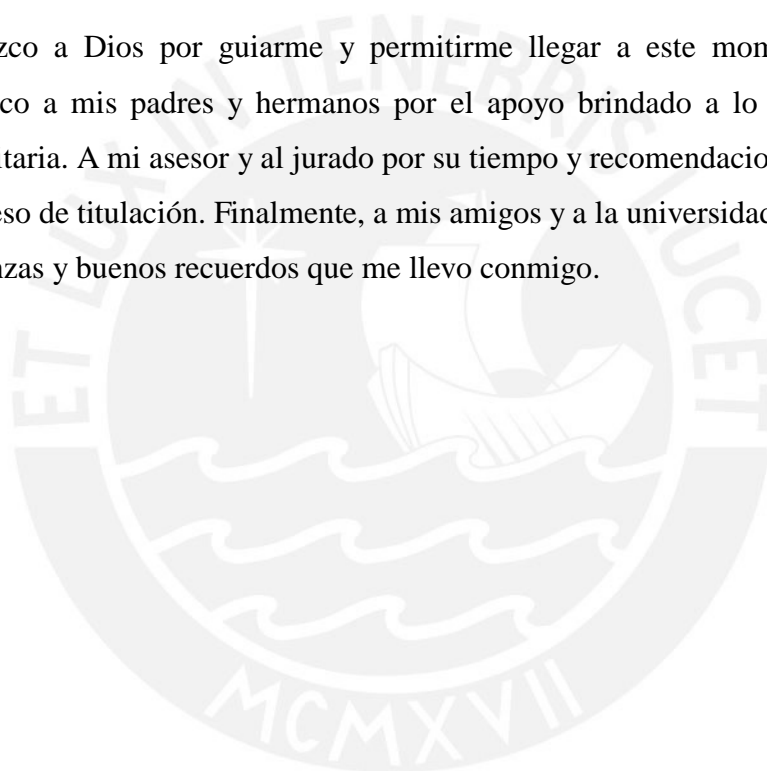
Para el diseño del sistema mecatrónico, se han tenido en cuenta las medidas de los equipos existentes en el mercado que seleccionan huevos para el consumo humano de acuerdo a su peso [12]; así como el empleo de materiales no contaminantes en los mecanismos que se encuentran en contacto con los huevos. Además, se consideró un sistema modular para el diseño dividiendo el sistema en 3 sub-sistemas: manipulador de huevos, pesaje e identificador de grietas.

En primer lugar, el sub-sistema manipulador de huevos es neumático y utilizando ventosas y la generación de vacío garantiza la limpieza en la operación. En segundo lugar, el sub-sistema de pesaje emplea una base de material no contaminante y sensores de fuerza para obtener el peso de cada huevo. Finalmente, la identificación de grietas se realiza con procesamiento de imágenes y un mecanismo que permite la captura de imágenes alrededor de toda la cáscara de cada huevo a analizar.

Este trabajo detalla la estructuración e integración de los sub-sistemas involucrados entre sus partes mecánica, electrónica y control; además, como se llevó a cabo la selección de los componentes empleados. Todos necesarios para lograr el diseño de un sistema mecatrónico que tenga un tiempo de selección de menos de 2 minutos por bandeja (60 huevos) y alivie el ritmo de trabajo de las personas dedicadas a inspeccionar los huevos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por guiarme y permitirme llegar a este momento. Asimismo, agradezco a mis padres y hermanos por el apoyo brindado a lo largo de mi vida universitaria. A mi asesor y al jurado por su tiempo y recomendaciones dadas en todo el proceso de titulación. Finalmente, a mis amigos y a la universidad por los consejos, enseñanzas y buenos recuerdos que me llevo conmigo.







**TEMA DE TESIS PARA OPTAR  
EL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

Título : Sistema mecatrónico de manipulación y selección de huevos por peso y ausencia de grietas en cáscara para una planta de incubación  
Asesor : Fred Solio Achic Alarcón  
Alumno : Santiago Isaac Villafuerte Ledesma  
Código : 20101673  
Tema N° : # 164  
Fecha : 30/06/2016



**Descripción y Objetivos**

El sistema mecatrónico tiene entre sus funciones sujetar y trasladar de manera segura huevos, que serán seleccionados para determinar si cuentan con las condiciones físicas necesarios para culminar con éxito el proceso de incubación. El sistema tiene como entrada una bandeja de 60 huevos y como salidas 2 bandejas. La primera, otra bandeja con los huevos que han alcanzado cumplir con los criterios de peso y ausencia de grietas; y la segunda, un deposito con los huevos rechazados.

El control de calidad para huevos aptos incubables involucra forma, peso, suciedad, grietas, presencia de sangre, entre otros. El presente trabajo se centra en definir un diseño que sea capaz de manipular huevos y seleccionar los que cumplen con 2 criterios: peso y ausencia de grieta. Además, mediante el uso de este sistema mecatrónico, se podría eliminar la inspección manual de huevos, la cual es una tarea repetitiva y que consume mucho tiempo.

*Cecilia P. Madrid R.*



*B*

*Fred Achic Alarcón*



# ÍNDICE DE CONTENIDO

Pág.

RESUMEN

AGRADECIMIENTOS

APROBACIÓN DE TEMARIO DE TESIS ..... i

ÍNDICE DE TABLAS ..... v

ÍNDICE DE FIGURAS ..... vii

LISTA DE SÍMBOLOS ..... xii

INTRODUCCIÓN ..... 1

I. ANTECEDENTES ..... 2

1.1 Presentación de la problemática..... 2

1.2 Estado de la tecnología ..... 4

1.2.1 Huevo fértil: manejo en la planta de reproducción..... 4

1.2.2 Bandeja de incubación compacta..... 5

1.2.3 Mecanismos de manipulación y selección de huevos..... 6

1.2.4 Cámaras e iluminaciones empleadas para identificar los criterios ..... 10

1.3 Propuesta del sistema mecatrónico ..... 11

1.3.1 Objetivos generales ..... 11

1.3.2 Objetivos específicos ..... 11

1.3.3 Limitaciones del trabajo ..... 11

II. DISEÑO CONCEPTUAL ..... 12

2.1 Requerimientos del sistema ..... 12

2.1.1 Requerimientos mecánicos ..... 13

2.1.2 Requerimientos electrónicos ..... 13

2.1.3 Requerimientos de control ..... 14

2.2 Estructura de funciones del sistema ..... 14

2.3 Diagrama de funciones del sistema..... 16

2.4 Conceptos de solución ..... 18

2.4.1 Concepto de solución 1 ..... 19

2.4.2 Concepto de solución 2 ..... 20

2.4.3 Concepto de solución 3 ..... 20

2.5 Concepto de solución óptimo del sistema mecatrónico..... 22

III.	DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO.....	30
3.1	Selección de sensores y actuadores.....	36
3.1.1	Motor a pasos.....	36
3.1.2	Actuador lineal.....	39
3.1.3	Bomba de vacío.....	40
3.1.4	Electroválvula .....	43
3.1.5	Sensor de proximidad .....	44
3.1.6	Sensor de fuerza.....	45
3.1.7	Sensor de presión .....	45
3.1.8	Sensor de fin de carrera.....	46
3.1.9	Iluminación .....	47
3.1.10	Cámara Digital.....	48
3.2	Planos del sistema mecatrónico .....	48
3.2.1	Plano neumático.....	48
3.2.2	Planos de ensamble mecánico.....	50
3.3	Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema.....	59
3.3.1	Controlador del sistema .....	59
3.3.2	Módulos de entrada y salida de señales .....	61
3.3.3	Regulador de voltaje 220V AC a 24V DC.....	66
3.3.4	Regulador de voltaje 24V DC a 12V DC.....	68
3.3.5	Regulador de voltaje 12V DC a 5V DC.....	68
3.3.6	Amplificador de señal del sensor de fuerza .....	68
3.3.7	Circuito de control del actuador lineal motor DC.....	69
3.3.8	Circuito de control de los motores a pasos .....	70
3.4	Diagramas de flujo del programa de control.....	71
3.4.1	Diagrama de flujo del programa principal .....	71
3.4.2	Diagrama de flujo de verificar condiciones.....	72
3.4.3	Diagrama de flujo de sujetar huevos de la bandeja de entrada .....	74
3.4.4	Diagrama de flujo de pesar huevos .....	74
3.4.5	Diagrama de flujo de identificar grietas.....	75
3.4.6	Diagrama de flujo de voltear huevos .....	76
3.4.7	Diagrama de flujo de depositar huevos rechazados.....	77
3.4.8	Diagrama de flujo de depositar huevos aptos .....	78
3.4.9	Diagrama de flujo de sujetar huevos.....	78
3.5	Metodología para identificar grietas en un huevo.....	79
IV.	PRESUPUESTO .....	82

CONCLUSIONES .....	85
BIBLIOGRAFIA.....	86

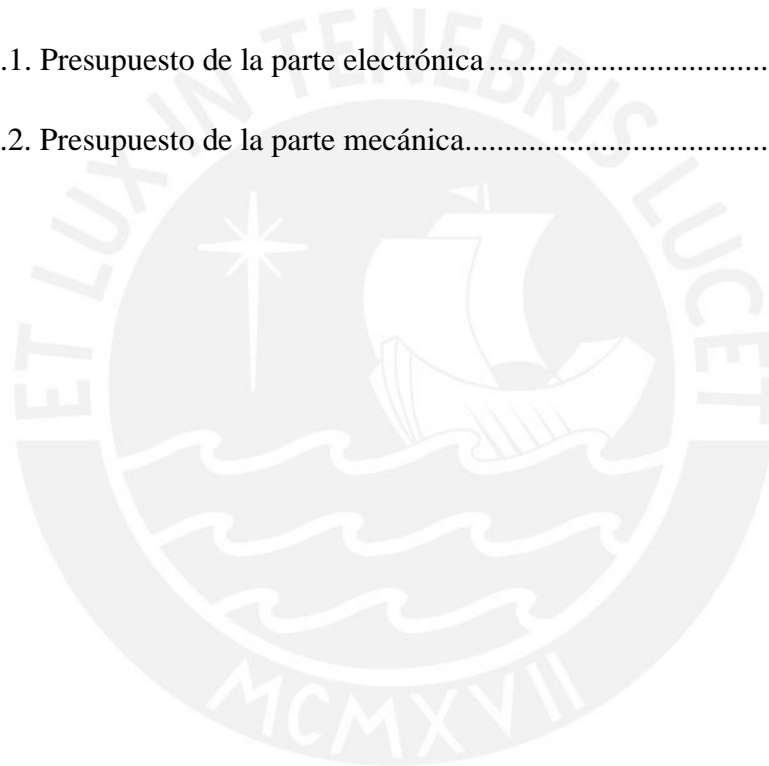




## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.2.4-1: Cuadro comparativo de 3 publicaciones en detección de defectos en cáscara.....	10
Tabla 2.4-1: Criterios técnicos y económicos de los conceptos de solución .....	21
Tabla 3-1: Actuadores y descripción de su función .....	32
Tabla 3-2: Paso a paso del sistema mecatrónico .....	33
Tabla 3.1.1-1: Husillo de bolas laminado BTK .....	37
Tabla 3.1.1-2. Características del motor paso a paso NEMA 17 .....	38
Tabla 3.1.2-1. Características de los actuadores lineales MMAC224 y MMAC324.	40
Tabla 3.1.3-1. Características de la bomba de vacío EVE-TR-M 2.3 DC 24 .....	42
Tabla 3.1.4-1. Datos técnicos electroválvula EMV .....	43
Tabla 3.1.4-2. Tensión de servicio electroválvula EMV .....	43
Tabla 3.1.4-3. Características de la electroválvula EMV 2 24V-DC 3/2 NC .....	44
Tabla 3.1.5-1. Características del sensor de proximidad E2B-M30KS15-WP-C1 ....	44
Tabla 3.1.6-1. Características del sensor de fuerza FSG005WNPB .....	45
Tabla 3.1.7-1. Características del sensor de presión SSCSNBN060MDAC5 .....	46
Tabla 3.1.9-1. Características de la placa de luces de 24 LEDs.....	47
Tabla 3.1.10-1. Características la cámara digital Sony DXC-950P, 3 CCD.....	48
Tabla 3.2.1. Elementos del sistema de vacío .....	49
Tabla 3.3.1-1. Señales de entrada y salida que requiere el controlador del sistema ..	59
Tabla 3.3.1-2. Características del PCDuino3 .....	60
Tabla 3.3.1-3. Características del CPU 1511T-1 PN .....	61

Tabla 3.3.2-1. Características del Módulo DI 16x24VDC / DO 16x24VDC .....	62
Tabla 3.3.2-2. Características del Módulo de 8 entradas analógicas .....	63
Tabla 3.3.2-3. Características del Módulo TM Timer PWM.....	64
Tabla 3.3.2-4. Características del Panel básico HMI KP300.....	65
Tabla 3.4.1. Variables del programa principal.....	71
Tabla 3.4.2. Variables locales para el control de verificar condiciones.....	73
Tabla 3.4.9. Variables locales para el control de sujetar huevos .....	79
Tabla 4.1. Presupuesto de la parte electrónica.....	82
Tabla 4.2. Presupuesto de la parte mecánica.....	83



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.2.1-1: Manejo de huevos fértiles en una granja de reproducción .....	4
Figura 1.2.2-1: Bandeja B14297 .....	6
Figura 1.2.2-2: Dimensiones de la bandeja B14297 .....	6
Figura 1.2.3-1: Estructura del manipulador empaquetador de huevos.....	7
Figura 1.2.3-2: Manipulador de huevos Ovotech.....	8
Figura 1.2.3-3: Clasificadora de huevos Yemita.....	9
Figura 1.2.3-4: Clasificadora de huevos AIEN5400 .....	9
Figura 1.2.4-1: Prueba experimental de identificación de grietas en cáscara .....	10
Figura 2.3-1: Diagrama de funciones del sistema.....	17
Figura 2.4-1: Concepto de solución 1 .....	19
Figura 2.4-2: Concepto de solución 2 .....	20
Figura 2.4-3: Concepto de solución 3 .....	21
Figura 2.5-1: Sistema mecatrónico de manipulación y selección de huevos bajo el criterio de peso e identificación de grietas en la cáscara .....	22
Figura 2.5-2: (a) Interfaz de usuario - (b) bandeja de entrada y bandeja para huevos aptos.....	23
Figura 2.5-3: Botón pulsador .....	23
Figura 2.5-4: Mecanismo de sujeción mediante ventosas.....	24
Figura 2.5-5: Mecanismo de manipulación de huevos.....	24
Figura 2.5-6: (a) Mecanismo desplazamiento eje X - (b) Sensor límite de carrera ...	25
Figura 2.5-7: (a) Mecanismo desplazamiento eje Z - (b) Sistema de vacío.....	25
Figura 2.5-8: (a) Área de pesaje - (b) Sensor de fuerza .....	26



Figura 2.5-9: Área de visión.....	26
Figura 2.5-10: Arreglo de cámaras.....	27
Figura 2.5-11: Mecanismo de rodillos .....	27
Figura 2.5-12: Mecanismo de voltear huevos .....	27
Figura 2.5-13: Funcionamiento del mecanismo de voltear huevos.....	28
Figura 2.5-14: Vista superior inclinada del concepto de solución óptimo.....	29
Figura 3-1: Sistema mecatrónico – Posición de Inicio de Coordenadas.....	31
Figura 3-2: Mecanismo de manipulación de huevos.....	31
Figura 3-3: Área de visión y Mecanismo de voltear huevos.....	31
Figura 3-4: Pasos de la función identificar grietas en los huevos .....	34
Figura 3-5: Pasos de la función voltear huevos .....	35
Figura 3-6: Pasos de la función depositar huevos rechazados .....	35
Figura 3-7: Pasos de la función depositar huevos aptos .....	35
Figura 3.1.1-1: Tornillo de transmisión y 2 ejes de apoyo (Eje Y).....	36
Figura 3.1.1-2: Masa del mecanismo manipulador de huevos.....	36
Figura 3.1.1-3: Motor NEMA 17, modelo 42STH38-1684B.....	38
Figura 3.1.2-1: Mecanismo de desplazamiento en el eje Z.....	39
Figura 3.1.2-2: Peso del mecanismo de desplazamiento en el eje Z.....	39
Figura 3.1.2-3: Peso del mecanismo de sujeción .....	40
Figura 3.1.2-4: Actuador Lineal MMAC324 .....	40
Figura 3.1.3-1: Capacidad de aspiración del generador de vacío .....	41
Figura 3.1.3-2: Rendimiento de la bomba de vacío EVE-TR M 2,3 .....	42
Figura 3.1.4-1: Esquema de funcionamiento del EMV 2.....	43

Figura 3.1.5-1: Sensor de proximidad E2B-M30KS15-WP-C1 .....	45
Figura 3.1.6-1: Sensor de fuerza FSG005WNPB .....	45
Figura 3.1.7-1: Sensor de presión diferencial SSCS .....	46
Figura 3.1.8-1: Sensor de fin de carrera.....	46
Figura 3.1.9-1: Iluminación por campo oscuro .....	47
Figura 3.1.9-2: Placa de luces de 24 LEDs .....	47
Figura 3.1.10-1: Cámara digital Sony DFW-VL500 .....	48
Figura 3.2.1: Plano neumático del sistema de vacío .....	49
Figura 3.2.2-1: Estructura de perfiles – Plano PD1.1.2-A3 .....	50
Figura 3.2.2-2: Vista isométrica del plano de ensamble de la estructura.....	51
Figura 3.2.2-3: Mecanismo de rodillos - Plano PE1.2.1-A2.....	52
Figura 3.2.2-4: Base deslizante - Plano PE1.2.1.2-A3.....	52
Figura 3.2.2-5: Arreglo de cámaras - Plano PE1.2.2-A3 .....	53
Figura 3.2.2-6: Plano de ensamble general - Plano PEG-A1 .....	53
Figura 3.2.2-7: Mecanismo de volteo - Plano PE1.2.3-A3 .....	54
Figura 3.2.2-8: Sistema de pesado - Plano PE1.3-A3 .....	54
Figura 3.2.2-9: Sistema Manipulador de huevos - Plano PE1.4-A3 .....	55
Figura 3.2.2-10: Desplazamiento X – Plano PE1.4.1-A2 .....	55
Figura 3.2.2-11: Desplazamiento Y – Plano PE1.4.2-A2 .....	56
Figura 3.2.2-12: Sistema de ventosas - Plano PE1.4.3.2-A2 .....	56
Figura 3.2.2-13: Ensamble de una ventosa - Plano PE1.4.3.2-A2.....	57
Figura 3.2.2-14: Plano de Bandeja de entrada - Plano PD1.1.3-A2.....	57
Figura 3.2.2-15: Vista isométrica del soporte de bandeja de entrada .....	58

Figura 3.2.2-16: Plano de bandeja huevos rechazados - Plano PD1.1.3-A2.....	58
Figura 3.2.2-17: Vista bandeja de huevos rechazados .....	59
Figura 3.3.1-1: PCDuino3 .....	60
Figura 3.3.1-2: CPU 1511T-1 PN SIEMENS .....	61
Figura 3.3.2-1: Módulo DI 16x24VDC / DO 16x24VDC .....	62
Figura 3.3.2-2: Módulo de 8 entradas analógicas 6ES75317KF000AB0 .....	63
Figura 3.3.2-3: Módulo TM Timer 6ES75521AA000AB0 .....	64
Figura 3.3.2-4: Panel básico HMI KP300 .....	64
Figura 3.3.2-5: Plataforma online “TIA Selection Tool cloud” - Configuración .....	65
Figura 3.3.2-6: Plataforma online “TIA Selection Tool cloud” - Corriente .....	66
Figura 3.3.3-1: Fuente de alimentación PM1507 24V/8A .....	66
Figura 3.3.3-2: Interruptor termomagnético 2x15A marca SICA .....	67
Figura 3.3.3-3: Circuito eléctrico de la fuente de alimentación 220VAC a 24VDC .	67
Figura 3.3.4-1: Circuito regulador de voltaje de 24V a 12V DC .....	68
Figura 3.3.5-1: Circuito regulador de voltaje de 12V a 5V .....	68
Figura 3.3.6-1: Circuito amplificador de señal .....	69
Figura 3.3.6-2: Amplificador INA122 .....	69
Figura 3.3.7-1: Circuito de control de un motor DC .....	70
Figura 3.3.8-1: Circuito de control de un motor a paso .....	70
Figura 3.4.1: Diagrama de flujo del programa principal.....	72
Figura 3.4.2: Diagrama de flujo de verificar condiciones.....	73
Figura 3.4.3: Diagrama de flujo de Sujetar huevos de la bandeja de entrada .....	74
Figura 3.4.4: Diagrama de flujo de Pesar huevos .....	75



Figura 3.4.5: Diagrama de flujo de Identificar grietas .....	76
Figura 3.4.6: Diagrama de flujo de Voltear huevos .....	77
Figura 3.4.7: Diagrama de flujo de Depositar huevos rechazados.....	77
Figura 3.4.8: Diagrama de flujo de Depositar huevos aptos .....	78
Figura 3.4.9: Diagrama de flujo de Extender AL1 .....	79
Figura 3.4.10: Diagrama de flujo de Sujetar huevos.....	79
Figura 3.5-1: Gráfico de número de imágenes tomadas por huevo .....	80
Figura 3.5-2: Análisis de índice de color para la detección de grietas.....	80



## LISTA DE SÍMBOLOS

M	: Masa [Kg]
T	: Torque [Ncm]
P	: Potencia [W]
I	: Corriente [A]
V	: Tensión [V]
$\sigma_B$	: Esfuerzo Máximo [MPa]
$\sigma_f$	: Esfuerzo de Fluencia [MPa]
$\sigma_{fpul}$	: Esfuerzo fatiga [MPa]
Vs	: Capacidad de aspiración de una ventosa
DC	: Corriente continua
AC	: Corriente alterna
IEEE	: Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
RGB	: Rojo-Verde-Azul
CCD	: Dispositivo de carga acoplada
FPS	: Fotogramas por segundo
FS	: Factor de seguridad
$\beta_t$ y $\beta_f$	: Concentradores efectivos de tensión
Csf ,Cst	: Coeficientes de superficie
Ct	: Coeficiente de tamaño
Cc	: Coeficiente de confiabilidad
$\beta$	: Ángulo de avance [°]
dP	: Distancia entre el centro del eje y las bolas del husillo [mm]
Ph	: Paso del tornillo [mm]
$\mu$	: Coeficiente de fricción de la de las guías
g	: Gravedad [9,8 m/s <sup>2</sup> ]
$\eta_l$	: Eficiencia de avance del tornillo
JM	: Momento Inercial del Motor [kg.m <sup>2</sup> ]
JW	: Momento Inercial de la Masa a mover [kg.m <sup>2</sup> ]
N	: Velocidad de Rotación [RPM]
$\rho$	: Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, la planta de incubación de la empresa Redondos S.A., recién inaugurada el 2014, realiza la selección de huevos aptos para la incubación de forma manual. Este proceso de inspección y selección se realiza antes que los huevos ingresen a los modernos cuartos de incubación con los que cuenta la planta [36].

Es por esto, que el presente diseño busca reducir la carga de trabajo y fatiga visual de los operarios por la actividad repetitiva al inspeccionar cada uno de los huevos. Igualmente, el sistema mecatrónico ayuda a aumentar la probabilidad de incubación de los huevos al superar con éxitos dos criterios de selección: peso y ausencia de grietas en cáscara.

Un huevo que no cumple con los criterios de selección para ser incubado explotará dentro de la cámara de incubación. Esto genera la contaminación de toda una bandeja de 60 huevos. Estos fallos aumentan el costo de producción de la planta y genera demoras en la línea de producción [1].

El presente trabajo se centra en el diseño de un sistema mecatrónico capaz de manipular huevos de una bandeja de entrada y separar huevos que no son incubables bajo el criterio de su peso o presencia de grietas en la cáscara. Los huevos rechazados son colocados en un depósito y los aptos son colocados en una bandeja de salida.



## CAPÍTULO 1

### ANTECEDENTES

La empresa Redondos S.A., en el año 2014, inaugura la planta de incubación de Supe, en la provincia de Barranca. Esto le permite implementar una nueva estrategia de negocio asegurando la calidad de sus líneas de productos (aves vivas y valor agregado) desde el control de la incubación del huevo [37]. Las instalaciones, con una capacidad de carga de dos millones de huevos semanales, están equipadas con cámaras de incubación climatizadas de última tecnología [36]. No obstante, se requiere una inspección de los huevos antes de ser ingresados a las cámaras y garantizar su incubación exitosa [1].

En el presente capítulo, primero, se plantea la problemática que existe respecto a la selección manual de huevos antes de ingresar a las cámaras de incubación. Segundo, como parte del estado del arte, se presenta una breve descripción sobre el manejo de un huevo fértil en una granja de reproducción, así como, un estudio acerca de las partes que se ven involucradas y a tomar en cuenta en el diseño del sistema. Entre estas están la bandeja de huevos a utilizar, el mecanismo de sujeción y desplazamiento, los criterios de selección de huevos incubables y las técnicas actuales para la identificación de estos criterios de manera autónoma. Finalmente, se plantea la propuesta del sistema mecatrónico, con el fin de delimitar objetivos y alcances del diseño.

#### 1.1 Presentación de la problemática

Los actuales modelos de explotación de reproductoras han eliminado la incubación natural [1]. Desde un punto de vista económico-productivo, una incubación natural no

entrega buenos resultados de manera constante; dado que algunas veces el ave interrumpe su puesta y disminuye con ello el número de huevos puestos por ciclo [1]. Por lo antes mencionado, las empresas recurren a la incubación artificial, así como Redondos S.A. en Perú.

Para obtener el mayor número posible de huevos incubables en un día, no basta con obtener el máximo número de huevos fértiles. Es preciso manipular éstos de forma adecuada para evitar contratiempos al embrión que podrían afectar a su posterior viabilidad. En la práctica, se considera que un cierto porcentaje de los huevos puestos por las reproductoras no son aptos para afrontar con garantías de éxito el período de incubación. Por esta razón, se debe tener en cuenta una serie de aspectos para seleccionar y determinar cuáles, de todos los huevos recolectados, serán los que ingresen a las máquinas incubadoras.

Durante el proceso de selección de los huevos, antes de ser ingresados a la cámara de incubación, se tiene presente la forma, peso, grietas y limpieza del huevo. En el caso de los huevos que son pequeños, el desarrollo embrionario es difícil y los pollos que nacen son más pequeños y débiles de lo deseable. Por otro lado, los huevos excesivamente grandes presentan inconvenientes al necesitar un mayor tiempo de incubación. Por esta razón, no deben incubarse huevos de peso inferior a 52 gramos, ni superior a 69 gramos [1].

Respecto a las fisuras o grietas en la cáscara, estas generan que el huevo no llegue a buen fin y explote durante el proceso. Asimismo, los huevos sucios cuando son lavados, la capa grasa que lo rodea y protege se pierde, y se facilita la entrada al interior de bacterias que lo pueden contaminar, por lo que es preferible desecharlos a este nivel [2].

En las granjas de reproducción, durante el proceso de pre-incubación, se seleccionan los huevos de forma manual. La mejora del proceso de selección podría ayudar a aumentar el índice de incubabilidad, reducir la carga de trabajo y fatiga visual de los operarios por la actividad repetitiva para inspeccionar cada uno de los huevos. Por tales motivos, se propone el diseño de un sistema mecatrónico que permita la manipulación y selección de huevos con la finalidad de determinar los que son aptos para la incubación bajo el criterio del peso y la ausencia de grietas en la cáscara. El sistema tendrá como entrada una bandeja de recolección para incubación de 60 huevos, colocada por el operario en el sistema y como salida los huevos seleccionados para la incubación. Los huevos rechazados serán depositados en una bandeja aparte. Además,

el sistema debe contemplar el diseño de un mecanismo para el manejo seguro de los huevos de reproducción y los sensores necesarios para identificar los huevos que no aptos para la incubación.

## 1.2 Estado de la tecnología

### 1.2.1 Huevo fértil: manejo en la planta de reproducción

El objetivo de toda planta de reproducción es obtener el mayor número de huevos fértiles y manejarlos de forma adecuada para no poner en riesgo su incubabilidad. El recojo y selección de los huevos se realiza (sobre todo, en verano) de manera manual y basada en la experiencia y criterio de los trabajadores en la actualidad.

En la Figura 1.2.1-1, se puede observar el manejo que se tiene en una granja para llegar a obtener los huevos que son aptos para ser enviados a una planta de incubación [1]. Siempre cumpliendo los requisitos mínimos de acuerdo al Reglamento (CE) N° 1234/2007 del Consejo de la Unión Europea [2].

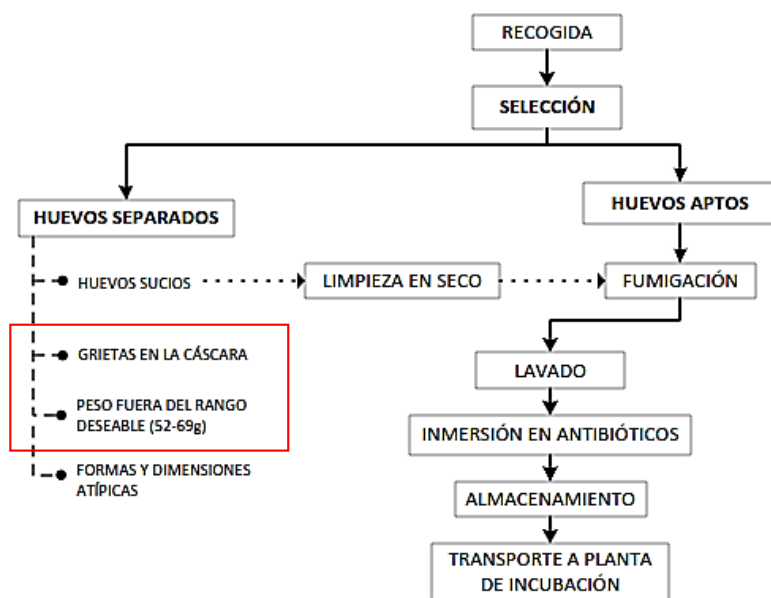


Figura 1.2.1-1: Manejo de huevos fértiles en una granja de reproducción

Fuente: Elaboración propia

La **recogida** es la acción de recolectar los huevos fértiles del día y se puede realizar en bandejas estándar para incubación de 60 huevos. Después, se realiza la selección para separar los huevos aptos para la incubación de los huevos que presentan suciedades, grietas, peso fuera de lo óptimo y forma atípica.

Dependiendo del grado de suciedad, se podría recuperar un huevo sucio realizando una limpieza.

El tratamiento de un huevo algo sucio, aclarando que los muy sucios deben desecharse, puede **limpiar en seco**. Este método elimina la suciedad, pero con el inconveniente de dañar la cutícula exterior del huevo. Esto expone el interior a una fácil contaminación, produciendo un mayor riesgo de "explosión" durante la incubación y a un descenso en la tasa de eclosión.

Los huevos seleccionados para la incubación deben ser fumigados para reducir el número de bacterias de la cáscara. Ello ayudará a que no contaminen la sala de incubación con gérmenes patógenos potenciales, tales como salmonellas, evitando su penetración en el interior del huevo. Lo adecuado es realizar una primera fumigación en la granja, tan pronto como sea posible después de su puesta, y de nuevo a la llegada a la planta incubadora [1].

Por lo antes mencionado, cabe precisar que el presente trabajo se enfocará en automatizar la selección manual que separa los huevos aptos de los huevos que presentan grietas en la cáscara y peso fuera del rango deseado, respetando los requisitos mínimos impuesto por la unión europea para la manipulación y selección de huevos incubables.

### **1.2.2 Bandeja de incubación compacta**

Las plantas de incubación que reciben huevos desde granjas de cría optan por manejar bandejas de 60 huevos generalmente. Estas bandejas son compactas y ligeras (4 kilos cuando está totalmente cargada), por lo que pueden sujetarse con una sola mano al tiempo que se recogen huevos en la granja. Si se cargan directamente en carros de incubadora, no hay necesidad de una transferencia adicional de huevos en la planta de incubación.

En la bandeja mostrada en la Figura 1.2.2-1, los huevos están dispuestos en una matriz de 10 x 6. La forma de la bandeja garantiza un flujo de aire adecuado alrededor de toda la superficie de la cáscara del huevo en la incubadora [3].



Figura 1.2.2-1: Bandeja B14297

Fuente: PETERSIME INCUBATORS & HATCHERIES [3]

A continuación, se muestra una descripción de la bandeja B14297, que es una bandeja estándar de incubadora compacta para recolección de huevos en granjas de incubación. Estas dimensiones son extraídas del catálogo de la empresa fabricante PETERSIME INCUBATORS & HATCHERIES, ver Anexo A-5.

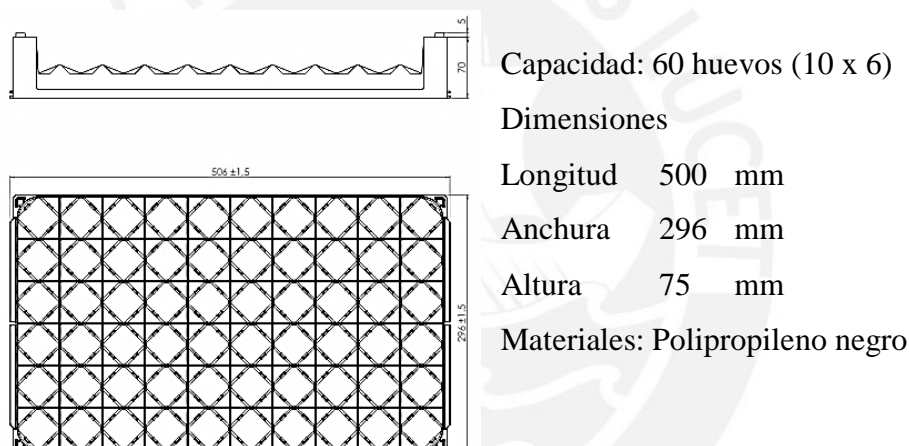


Figura 1.2.2-2: Dimensiones de la bandeja B14297

Fuente: Catálogo de la bandeja B14297. Anexo A-5

### 1.2.3 Mecanismos de manipulación y selección de huevos

En el mercado actual de las plantas de incubación, se cuentan con diseños de mecanismos para la manipulación y selección de huevos por peso. A continuación, se muestran los principales y más conocidos mecanismos ya existentes.

- **Manipulador empaquetador de huevos automático**

La máquina de envasado automático de huevos fue diseñada para la producción automática de huevos existentes en línea. La función de envasado automático del manipulador se lleva a cabo después de las etapas de limpieza, clasificación

y la producción a la línea. Debido al requisito que existe en toda planta de no dañar los huevos durante su manipulación en el proceso de embalaje y el tiempo de trabajo debe ser lo más rápido posible. El tiempo de trabajo de un solo paso del sistema es 10 segundos y una capacidad es de 360 bandejas por hora [4]. El manipulador se muestra en la Figura 1.2.3-1.

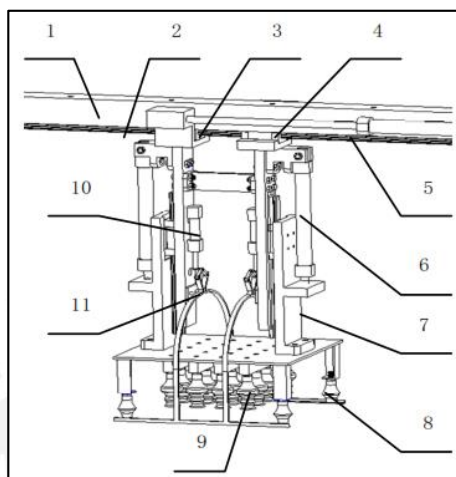


Figura 1.2.3-1: Estructura del manipulador empaquetador de huevos

1 estante - 2 corredera - 3 soporte del brazo superior - 4 manga de la corredera - 5 cilindros horizontales - 6 cilindros verticales - 7 soportes del brazo inferior - 8 Ventosas para bandeja - 9 Ventosas para huevos - 10 cilindro de la garra - 11 garra.

Fuente: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5997579>. [4]

El sistema se compone de un manipulador con una unidad generadora de presión que le permite sujetar los huevos por succión. Esta unidad le da la ventaja al manipulador empaquetador de ser más rápido, fácil mantenimiento, limpio y de bajo costo. La ventosa sujeta el huevo durante el proceso en un movimiento de larga distancia y trabaja sobre una superficie ovalada (huevo), por tales razones la forma de la ventosa es un tubo largo corrugado. Además, el sistema cuenta con una única válvula reductora de presión está conectando con un número de ventosas en forma de una matriz [5].

- **Manipulador de huevos Ovotech**

El manipulador de huevos Ovotech se emplea para transferir 30 huevos de una bandeja de huevos a otra. El operador coloca las ventosas directamente en la parte superior de los huevos y activa la bomba de vacío para sujetar los huevos [6].

Las dimensiones del manipulador son  $331 \times 476 \times 220$  mm y un peso aproximado del levantador 1,4 Kg y 23Kg la bomba. Además, la máquina funciona con una bomba de 1,1 kW, 220V. Todas las piezas de la máquina en contacto con los huevos están hechas de acero inoxidable EN 1.4301 (AISI 304), aluminio 6061 y 100% de silicona [6].



Figura 1.2.3-2: Manipulador de huevos Ovotech

Fuente: <http://www.egg-breakers.com/en/machines/others/egg-lifter-vel-30> [6]

- **Clasificadora de huevos Yemita**

La Clasificadora de Huevos Yemita comenzó a fabricarse en Córdoba a mediados del 1992 y después de haber pasado por varios prototipos se llega a la fabricación de lo que hasta el día de hoy es una de las máquinas clasificadora de huevos con mayor aceptación entre los medianos productores. Esta máquina clasificadora de huevos es de tipo rotativa que realiza una selección de huevos por peso con parámetros de clasificación regulables [12].

Las dimensiones de la clasificadora de huevos, son de 1.40 metros de diámetro y 0.80 metros de alto y un peso aproximado de 30 Kilogramos. Además, la máquina funciona con un motor eléctrico de 220W, 1500 RPM y 1,5 Hp de potencia. Los materiales usados para la fabricación de la clasificadora son: aluminio, hierro, plástico inyectado y fibra de vidrio [12].

La clasificadora tiene una capacidad de selección de 3600 a 4200 huevos por hora, manteniendo las cucharas que sostienen los huevos llenas todo el tiempo y el plato donde se depositan los huevos siempre disponibles [12].



Figura 1.2.3-3: Clasificadora de huevos Yemita

Fuente: <http://www.clasificadoradehuevos.com/> [12]

- **Clasificadora de huevos AIEN5400**

La máquina de clasificación de huevos se utiliza para clasificar los huevos en diferentes grados por peso. Los principales componentes incluyen correas transportadoras de huevos, ranuras de huevos, niveladoras de huevos y suelo filtrado. Esta máquina clasificadora de huevos es adecuada para varios tipos de Huevos como huevos de gallina, huevos de pato, huevos de ganso o cualquier otro tipo de huevos. Es muy apropiado para fábrica de elaboración de huevos, huevos de aves de corral o huevos en el mercado agrícola productora [38].

Las dimensiones de la clasificadora de huevos son  $1750 \times 1650 \times 1100$  mm y un peso aproximado de 280 kilogramos. Además, la máquina funciona con un motor eléctrico de 200W, 220 voltios y 1,5 Hp de potencia. La capacidad del pesaje de huevos es 5400 huevos por hora [38].



Figura 1.2.3-4: Clasificadora de huevos AIEN5400

Fuente: [https://es.made-in-china.com/co\\_aienmetal/](https://es.made-in-china.com/co_aienmetal/) [38]



### 1.2.4 Cámaras e iluminaciones empleadas para identificar los criterios

Se necesita una cámara digital para la adquisición de imágenes de cada huevo, las cuales se podrían procesar para identificar la forma, fracturas o suciedad presentes. En la Tabla 1.2.4-1, se tiene un cuadro comparativo de 3 publicaciones acerca de la detección de defectos en huevos.

Tabla 1.2.4-1: Cuadro comparativo de 3 publicaciones en detección de defectos en cáscara

Fuente: Elaboración propia basada en [8], [9] y [10]

Publicación	1	2	3
<b>Tema</b>	Análisis del índice de color para la detección automática de los defectos de la cáscara de huevo [8].	Detección de la suciedad de los huevos marrones por medio del color de Visión por Computador [9].	Detección externa e interna de huevo utilizando visión artificial [10].
<b>Cámara Digital</b>	Sony DXC-950P, 3 CCD por pixel (RGB / Color), 752x582 píxeles y la velocidad de 50 fps.	Sony DFW-VL500, 640x480 píxeles y la velocidad de 50 fps.	Cámara NIKON de alta resoluciones 12MP.
<b>Iluminación</b>	La luz halógena de tungsteno con bombillas apuntando hacia el techo para proporcionar una luz difusa homogénea.	Philips Master TL5 HE Super 80 14W/865 Philips apuntando a paredes reflectantes blancas.	Lámpara halógena de 500 W en la parte superior e ilumina por un orificio de 5mm.
<b>Tasa de Éxito</b>	Suciedad y grietas entre el 82 y 92 %	Suciedad y grietas entre el 78 y 85 %	grietas 75%, sangre 78%

En la Tabla 1.2.4-1, se observa que la publicación número uno tiene la mayor tasa de éxito en la identificación de grietas y suciedad. Esta investigación emplea una cámara digital Sony colocada sobre un huevo. El huevo gira gracias a unos rodillos para poder adquirir 8 imágenes en los 360°; luego, son analizadas con la finalidad de identificar grietas [8].

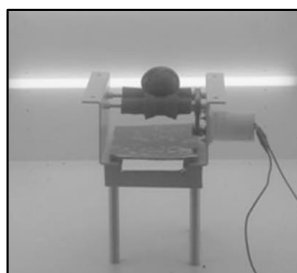


Figura 1.2.4-1: Prueba experimental de identificación de grietas en cáscara

Fuente: Análisis del índice de color para la detección de defectos en cáscara [8]

## **1.3 Propuesta del sistema mecatrónico**

### **1.3.1 Objetivo general**

El objetivo general de la presente tesis es diseñar un sistema mecatrónico capaz de seleccionar huevos por su peso y ausencia de grietas en la cáscara. Esto mediante el uso de sensores y procesamiento de imágenes para automatizar el proceso de inspección realizado de manera manual.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Los objetivos específicos se detallan a continuación:

- Establecer condiciones de operación del sistema mecatrónico en un ambiente como lo es una planta de incubación.
- Analizar las necesidades mecánicas y electrónicas del sistema mecatrónico para sujetar de manera segura los huevos a ser inspeccionados.
- Analizar, seleccionar, diseñar y calcular los mecanismos que garantice el desplazamiento de los huevos en el sistema mecatrónico.
- Analizar, seleccionar, diseñar y calcular los posibles mecanismos a utilizarse en el sistema de pesaje e identificación de grietas de los huevos.

### **1.3.3 Limitaciones del trabajo**

El presente trabajo se limitará a identificar 2 criterios de selección que es el peso y la ausencia de fisuras en los huevos. Asimismo, no se incluirá el código de control del sistema, tan solo se presentará el algoritmo de control por medio de diagramas de flujo.

## CAPÍTULO 2

### DISEÑO CONCEPTUAL

El presente capítulo busca determinar el concepto de solución óptimo para resolver la problemática y lograr los objetivos planteados en el capítulo 1. Para lo cual se sigue los siguientes pasos: primero, se plantea los requerimiento mecánicos, electrónicos y de control que debe cumplir el diseño mecatrónico; segundo, se realiza la estructura de funciones describiendo paso a paso las acciones a realizar por el sistema; tercero, se plantea un diagrama de funciones donde se puede apreciar la interacción que tendrá la parte mecánica, electrónica y control del diseño mecatrónico; y por último, se propone 3 conceptos de solución de los cuales se obtendrá la solución óptima.

#### 2.1 Requerimientos del sistema

Antes de mencionar los requerimientos del sistema, primero es necesario identificar los sub-procesos secuenciales necesarios:

- Identificar el ingreso de la bandeja de huevos al sistema (60 huevos/bandeja).
- Sujetar y desplazar los huevos por el sistema.
- Identificar los criterios de selección en el huevo (peso y ausencia de grietas).
- Depositar los huevos, que cumplen con los dos criterios, en la bandeja de salida y los rechazados en otra.

El sistema mecatrónico debe ser capaz de ejecutar y monitorear los sub-procesos mencionados de forma efectiva en un ambiente que se encuentra a una temperatura de 19-20°C y una humedad relativa de 65-70% (sala de embandejado) [11]. Asimismo,

la máquina se diseñará mediante mecanismos, circuitos de control, sensores y actuadores que cumplan los requerimientos que se mencionarán a continuación.

### **2.1.1 Requerimientos mecánicos**

- Se requiere un modelo compacto que debe tener como dimensiones máximas: 1.5 x 1.5 x 1.0 m. que es el tamaño promedio de una clasificadora de huevos de una planta productora de huevos para el consumo humano en el mercado [12].
- El diseño debe tener la capacidad de seleccionar huevos para incubación de una bandeja de 60 huevos en menos de 3 minutos que es lo que toma manualmente [11].
- El sistema debe tener una bandeja plana simple para almacenar los huevos rechazados y una bandeja para huevos para los aptos.
- El sistema debe contar con un manipulador que realice la función de sujetar los huevos durante todo el proceso de selección.
- El mecanismo que sujeta el huevo debe de garantizar la integridad física del huevo al ser manipulado.
- Los mecanismos en contacto con los huevos deben ser de acero inoxidable para no contaminarlos.
- Cumplir con las medidas de higiene y seguridad sanitaria para huevos destinados a la incubación establecidas por MERCOSUR Resolución N° 10/96 [13].
- Cumplir con los requisitos mínimos que deben cumplir los huevos para incubar de acuerdo al Reglamento (CE) N° 1234/2007 del Consejo de la Unión Europea [2].
- El sistema debe ser de fácil mantenimiento con el uso diario, por lo cual es necesario pocas piezas.
- Las partes que manipule el usuario requieren ser diseñado ergonómicamente pensando en el operador.

### **2.1.2 Requerimientos electrónicos**

- La fuente de corriente debe de ser acorde con la corriente eléctrica en Perú, es decir, 220 VAC y 60 Hz.

- El equipo debe poseer controladores que permita la programación, control y recepción de datos para su funcionamiento.
- Debe contar con las cámaras e iluminación pertinente para llevar a cabo las capturas de las imágenes que se utilizaran para determinar los huevos seleccionados.
- Capacidad de memoria suficiente para almacenar las imágenes y procesarlas para identificar las grietas.
- Sensores de posición en el mecanismo de manipulación de huevos.
- Sensores de peso para verificar los huevos se encuentran en el rango admisible para la incubación entre 52 y 69 gramos [1].
- El sistema debe tener todos los circuitos totalmente aislado de los huevos a manipular.
- El sistema debe tener un botón de inicio y uno de parada de emergencia.
- El sistema debe contar con una interfaz amigable para el usuario.

### **2.1.2 Requerimientos de control**

- El sistema debe tener un funcionamiento autónomo, después de haber ingresado la bandeja con los huevos que se desean seleccionar.
- El sistema debe tener un controlador capaz de enviar señales de control a todos los actuadores y de procesar las señales digitales y analógicas que recibe de los sensores, y las imágenes que recibe de las cámaras digitales.
- Se requiere controlar la fuerza de sujeción del mecanismo que manipulará los huevos.
- El sistema debe tener la capacidad de accionar actuadores para controlar el desplazamiento de los huevos a través del sistema.

## **2.2 Estructura de funciones del sistema**

Para la elaboración de un óptimo concepto solución y elaboración del diagrama de funciones, es necesario detallar el proceso paso a paso, del sistema mecatrónico, en una serie de operaciones descritas a continuación:

### **I. Preparación:**

- a. Ensamblar el sistema con todas las piezas necesarias para llevar a cabo la selección de huevos.
- b. Verificar el suministro eléctrico.

- c. Colocar la bandeja de huevos a seleccionar en la posición correcta en el sistema.
- d. Colocar la bandeja donde se separarán los huevos aptos para incubar.
- e. Colocar la bandeja para los huevos rechazados
- f. Encender el sistema presionando el botón de energizar.

## II. Ejecución:

- a. Identificar la presencia de la bandeja de huevos a seleccionar.
- b. Mover el manipulador a la posición de inicio.
- c. Sujetar los huevos a seleccionar.
- d. Mover los huevos para ser pesados.
- e. Verificar si los huevos se encuentran en el rango de peso para ser incubados.
- f. Mover los huevos frente a la cámara digital para su análisis.
- g. Reconocer si el huevo cumple con los criterios de selección en cuanto a grietas.
- h. Descartar los huevos que presentan defectos en la cáscara y que no cumplen con el peso.
- i. Mover los huevos que pasaron los criterios de selección hacia la bandeja de salida.
- j. Depositar los huevos seleccionados en la bandeja de salida.
- k. Repetir la ejecución desde el punto (b) hasta culminar con la selección de todos los huevos de la bandeja ingresada.

## III. Control:

- a. Encender el sistema y verificar la presencia de la bandeja de huevos a seleccionar.
- b. Controlar la posición del mecanismo de manipulación en el sistema.
- c. Controlar la velocidad de desplazamiento del mecanismo de manipulación.
- d. Controlar la sujeción que ejerce el mecanismo de manipulación en los huevos.

## IV. Fase final:

- a. Esperar a que el sistema coloque al manipulador en posición inicial.
- b. Apagar
- c. Retirar la bandeja con los huevos aptos y el recipiente con los huevos rechazados.
- d. Dar mantenimiento al sistema

### 2.3 Diagrama de funciones del sistema

En la Figura 2.3-1, se muestra el diagrama de funciones del sistema mecatrónico, el cual está dividido en 6 áreas: interfaz de usuario, sensores, actuadores, procesamiento, fuente de energía y mecánica. A continuación, se detallan cada área:

1. Interfaz de usuario: Se puede apreciar que el sistema tiene como entradas un interruptor de encendido y apagado; botón de inicio e interruptor de parada. Por otro lado, se tiene como salidas una pantalla donde debe mostrar el número de huevos que han pasado la selección con éxito y el número de huevo que han sido rechazados.
2. Sensores: Se tiene los dispositivos electrónicos capaces de sensar proximidad, vacío, peso y capturar imágenes. Esto con la finalidad de realizar un control cada uno de los sub-procesos que se aprecian en el área mecánica.
3. Procesamiento: Se plantea dos controles a grandes rasgos que requiere el sistema.
  - Control del sistema de visión: se encarga de capturar las imágenes, procesarlas e identificar si existen grietas en la cáscara de los huevos. Con esta información, se comunica con el control del sistema mecatrónico principal de selección para que tome acciones sobre los huevos inspeccionados.
  - Control del sistema mecatrónico principal de selección: se encarga de controlar el mecanismo de desplazamiento, sujetar los huevos, pesarlos y depositarlos en las bandejas de salidas. Todo esto gracias a la información obtenida por parte de los sensores de proximidad, vacío y fuerza (peso). Además, este control se comunica con el control del sistema de visión para tomar acciones dependiendo de los resultados obtenidos por parte del sistema de visión.
4. Fuente de energía: El sistema se alimenta de corriente eléctrica monofásica (220 VAC y 60 Hz). Además, tiene un regulador de alimentación para energizar a todo el sistema.
5. Actuadores: Son los encargados de accionar cada sub-sistema que se observan en el en el área mecánica, ver Figura 2.3-1. A continuación, se describe los sub-sistemas mecánicos que debe presentar el diseño mecatrónico y por los cuales deben de pasar los huevos de manera secuencial.

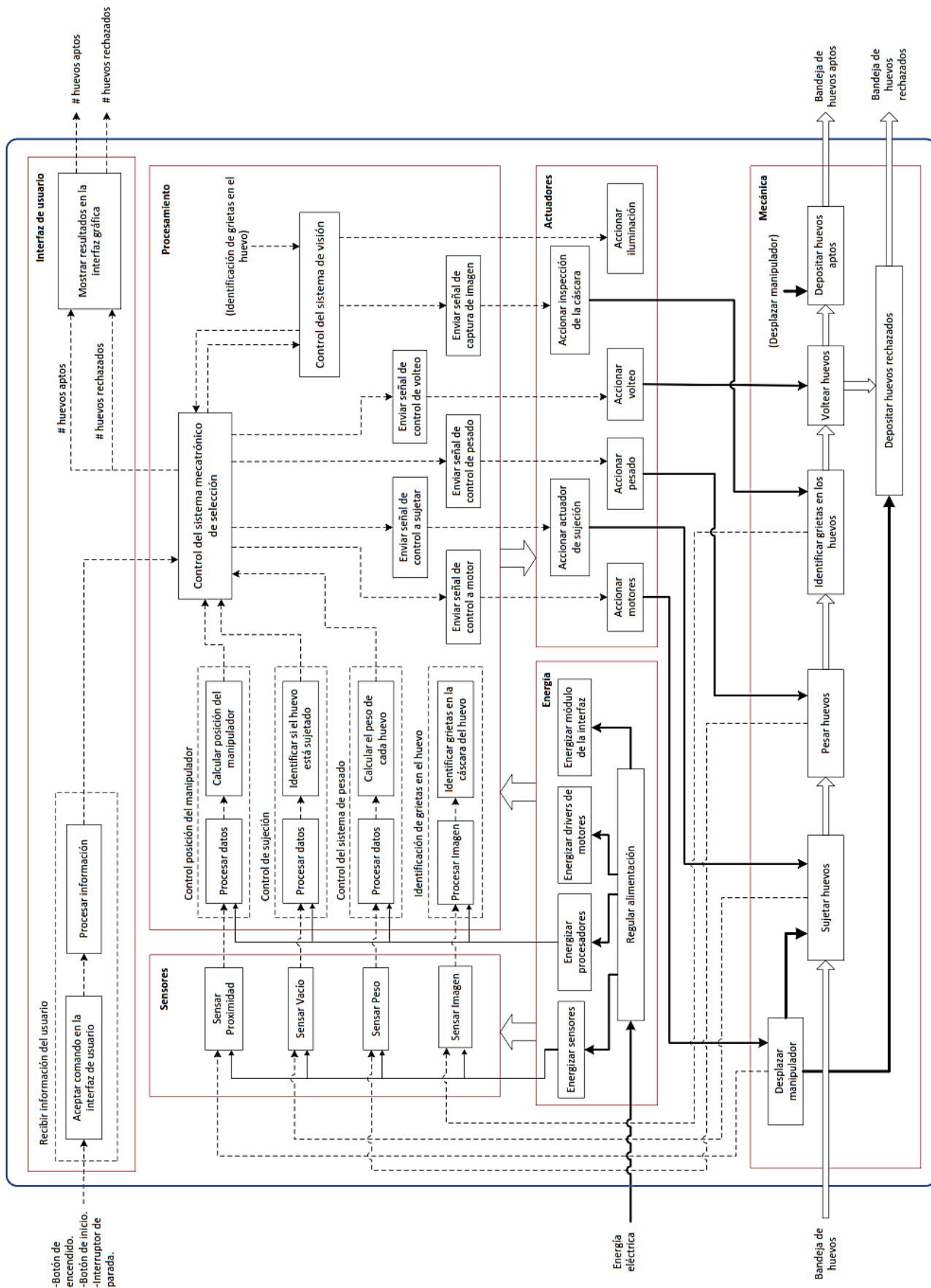


Figura 2.3-1: Diagrama de funciones del sistema

Fuente: Elaboración propia



- Sujetar huevos: Se tiene como entrada una bandeja de huevos de 6x10, de donde se sujetará 6 huevos en cada ciclo de trabajo, completando de inspeccionar todos los huevos en 10 ciclos.
- Desplazar huevos: Se encarga de mover los huevos sujetos desde la bandeja de entrada hacia cada uno de los sub-sistemas mecánicos (Pesado, identificación de grietas y depósitos de salida)
- Pesar huevos: Se encarga del pesaje de los huevos, con la finalidad de identificar cuáles de estos están dentro del rango de huevos incubables (entre 52 y 69 gramos) [1]. Los huevos que se encuentran fuera de este rango deben ser rechazados.
- Identificar grietas: Este es el sub-sistema que se encuentra bajo el control del sistema de visión descrito, anteriormente, en el área de procesamiento. Tiene la función de posicionar el huevo y la cámara digital para llevar a cabo la identificación de grietas, mediante el procesamiento de imágenes.
- Voltear huevos: Cabe la posibilidad que los huevos que salen del sub-sistema de identificar grietas estén en posición horizontal. Esto dependiendo del mecanismo de identificación de grietas que se emplee.  
Debido a que los huevos se deben colocar en la bandeja de salida en posición vertical, este mecanismo se encarga de pasar los huevos de posición horizontal a vertical.
- Depositar huevos aptos y rechazados: Los huevos que no pasan los criterios de selección son depositados en una bandeja de salida para huevos rechazados; y los huevos que no presentan grietas y se encuentran dentro del rango de peso, en una bandeja de salida para incubación.

#### **2.4 Conceptos de solución**

Los conceptos de solución que se presentarán a continuación, han sido obtenidos de la matriz morfológica del dominio mecánico, electrónico y control (ver Anexo A-6). Asimismo, las matrices morfológicas han sido elaboradas en base al diagrama de funciones de la Figura 2.3-1.

### 2.4.1 Concepto de solución 1

En la Figura 2.4-1, se muestra el concepto de solución 1. El mecanismo de sujeción consta de un arreglo de 6 ventosas ensambladas a un mecanismo de desplazamiento que presenta 2 grados de libertad (horizontal y vertical). Este movimiento le permite sujetar los huevos de la bandeja de entrada y descender a través de sus diferentes niveles: sistema de visión, bandeja de huevos rechazados, bandeja de huevos aptos.

El sistema de visión está formado por un par de ejes con rodillos conectados a un motor DC que permite hacer girar los huevos colocados en ellos, de esta manera, la cámara que se encuentra posicionada por encima de ellos, realizará la captura de imágenes de los diferentes lados de la cáscara. Además, este sistema cuenta con sensores de fuerza colocados debajo de los rodillos, los cuales en cierto momento serán elevados para realizar el pesaje de cada huevo.

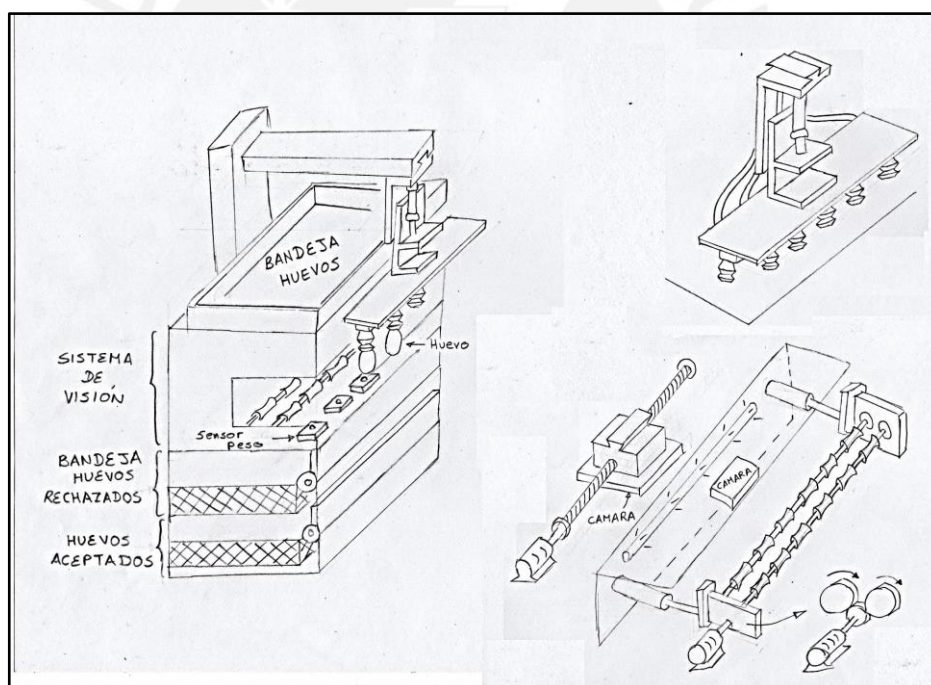


Figura 2.4-1: Concepto de solución 1

Fuente: Elaboración propia

El sistema de visión puede salir de su cavidad y posicionarse por debajo de las ventosas, mediante 2 actuadores lineales. Esto les permite a las ventosas, depositar y sacar los huevos de los rodillos. Finalmente, dependiendo de los resultados obtenidos por parte del sistema de visión, el manipulador con el sistema de ventosas descenderá y depositará los huevos en la bandeja de huevos rechazados o en la bandeja de huevos aceptados.

### 2.4.2 Concepto de solución 2

En la Figura 2.4-2, se muestra el concepto de solución 2. El mecanismo de sujeción consta de 6 ventosas independientes (las 3 ventosas de la Figura 2.4-2 son representativas) ensambladas a un riel que tiene la capacidad de subir y bajar con actuadores lineales, esto le permite tener 2 grados de libertad (horizontal y vertical) al concepto. Con los huevos ya sujetos, se les hace pasar delante de una cámara, la cual realiza la captura de fotos; así mismo las ventosas deben girar sobre su eje para permitir la inspección total de la superficie de la cáscara.

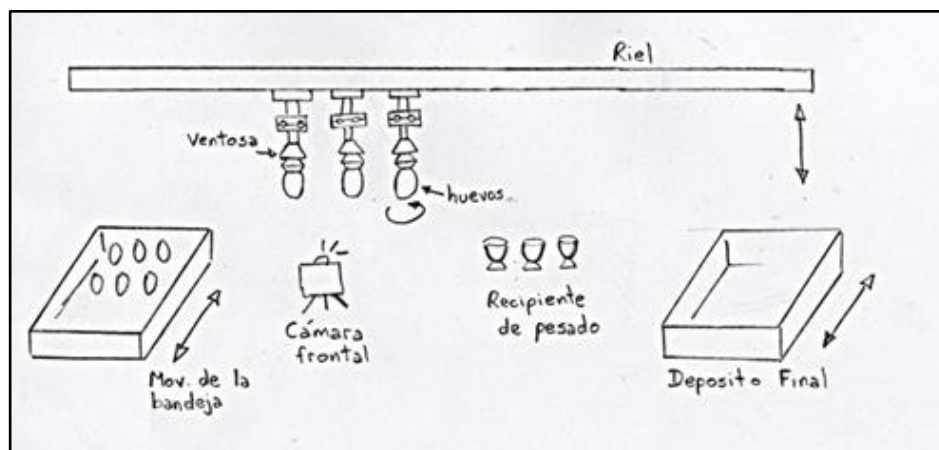


Figura 2.4-2: Concepto de solución 2

Fuente: Elaboración propia

Después de pasar por delante de la cámara, las ventosas se posicionan encima de los recipientes de pesado, en los cuales serán depositados los huevos. Luego de ser pesados, los huevos que presentan grietas o que no cumplen con el peso necesario para ser incubados son dejados en el depósito final; los que cumplen con los criterios de selección son regresados a la bandeja de entrada.

### 2.4.3 Concepto de solución 3

En la Figura 2.4-3, se muestra el concepto de solución 3. El mecanismo de sujeción es el mismo que fue descrito en el concepto de solución 1; no obstante, ahora, el mecanismo de desplazamiento que se encarga de mover los huevos es una faja transportadora con rodillos integrados.

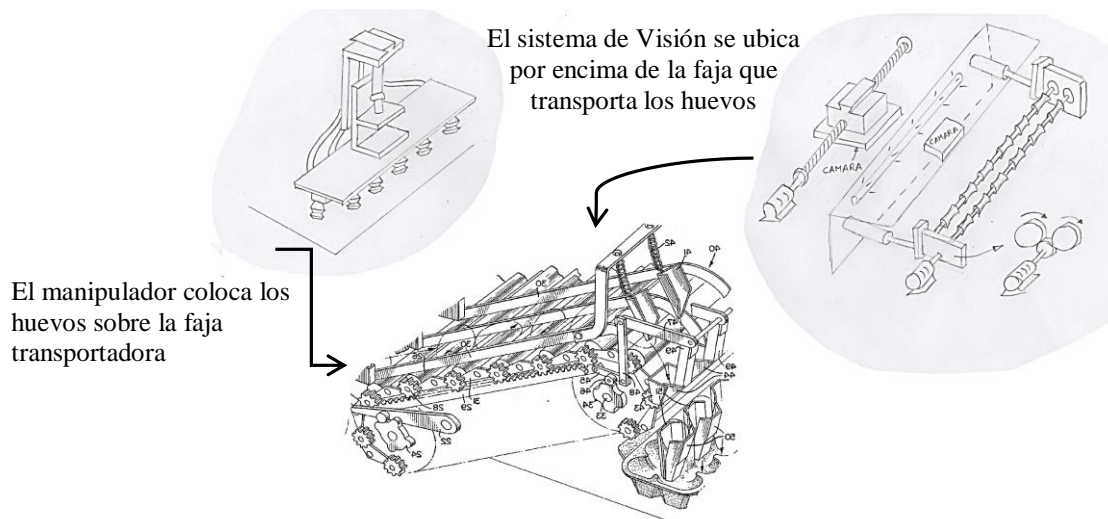


Figura 2.4-3: Concepto de solución 3

Fuente: Elaboración propia – Faja transportadora [10]

Los rodillos presentes en la faja transportadora permiten que los huevos giren y se desplacen al mismo tiempo. Asimismo, una cámara es colocada encima de la faja con el objetivo de inspeccionar la superficie de la cáscara, mientras van girando en la faja transportadora. Luego, son sacados de la faja por las ventosas y colocados en unos depósitos para ser pesados y finalmente ser llevados a las bandejas de salida de huevos seleccionados o rechazados, dependiendo de los criterios de selección analizados.

Dado que tenemos 3 conceptos de solución, se realiza una evaluación de estos mediante criterios técnicos y económicos, ver Tabla 2.4-1, con la finalidad de determinar cuál de estos 3 se tomará como base para dimensionar y definir el concepto de solución óptimo.

Tabla 2.4-1: Criterios técnicos y económicos de los conceptos de solución

Fuente: Elaboración propia

No.	Criterios Técnicos y Económicos	Soluciones			
		1	2	3	IDEAL
1	Función	3	2	2	4
2	Rapidez	3	2	3	4
3	Facilidad de manejo	3	2	2	4
4	Calidad de Trabajo	2	2	3	4
5	Buen uso de fuerza o energía	3	1	3	4
6	Lista de exigencias (grado de cumplimiento)	3	2	2	4
7	Facilidad de montaje	2	2	2	4
8	Productividad	2	1	3	4
9	Costo de la tecnología	3	3	1	4
10	Costo de operaciones	3	2	1	4
	<b>Suma Total</b>	27	19	22	40

Legenda: 0 - No satisface, 1 - Aceptable a las justas, 2 – Suficiente, 3 – Bien, 4 - -Muy bien

En la Tabla 2.4-1, se observa que la solución 1 presenta mayor facilidad de manejo y cumple con la lista de exigencias. La solución 2 es deficiente en la productividad, debido a que no cuenta con un arreglo de ventosas para manipular varios huevos a la vez. Además, necesita un motor por cada ventosa para hacer girar los huevos sobre su eje. La solución 3 al ser la más compleja por necesitar una faja transportadora, el costo de la tecnología y operaciones es mayor; por ende, su grado de calificación en estos puntos es bajo. Finalmente, se toma como referencia la solución 1 (sujeta a modificaciones por cuestiones de cálculos realizados posteriormente) para definir el concepto de solución óptimo del sistema mecatrónico que se describe en la sección 2.5 que viene a continuación.

## 2.5 Concepto de solución óptimo del sistema mecatrónico

En la Figura 2.5-1, se aprecia una vista isométrica del sistema de manipulación y selección de huevos. El sistema cuenta con una interfaz de usuario, los alojamientos para las bandejas de entrada y salida, un mecanismo de sujeción de huevos, un mecanismo de desplazamiento, un área de pesaje y el área de visión (mecanismo para identificar grietas).

Además, cuenta con dos niveles; en el nivel superior, se encuentran todos los mecanismos antes mencionados; y en el nivel inferior está la parte del cableado electrónico, la bomba de vacío del sistema y una bandeja o depósito para los huevos desechados.

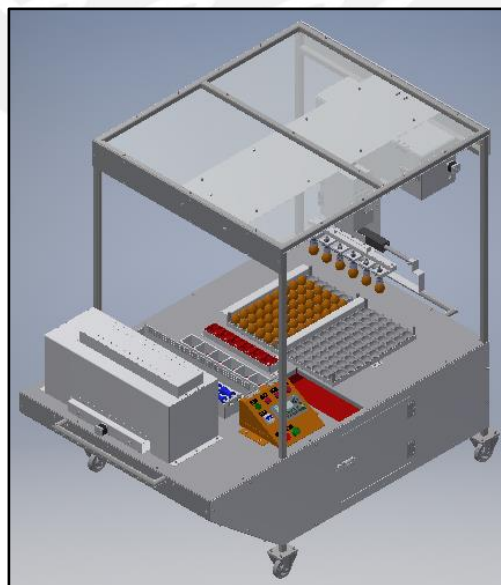


Figura 2.5-1: Sistema mecatrónico de manipulación y selección de huevos bajo el criterio de peso e identificación de grietas en la cáscara

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo definido en el diagrama de funciones, ver Figura 2.3-1, el sistema cuenta con las siguientes entradas y salidas:

- Entradas: Botón de encendido, botón de parada de emergencia, botón de inicio y botón de pausa, interruptor general (termomagnético) y una bandeja de huevos de 6 x 10.
- Salidas: 4 leds indicadores (sistema energizado, fallo de corriente, falta bandeja, fallo de presión), una pantalla en la cual se muestra la cantidad de huevos que lograron cumplir con los criterios de selección y la cantidad de huevos rechazados; una bandeja de huevos vacía de 6 x 10 para depositar los huevos seleccionados y una bandeja plana para los huevos rechazados



Figura 2.5-2: (a) Interfaz de usuario – (b) bandeja de entrada y bandeja para huevos aptos

Fuente: Elaboración propia

Estas entradas y salidas se pueden apreciar en la Figura 2.5-2. En el lado izquierdo, se muestra la interfaz de usuario; y en el lado derecho, la bandeja de entrada con los huevos y la bandeja de salida para los huevos aptos. No obstante, no se visualiza la bandeja de los huevos rechazados, la cual se encuentra en el nivel inferior del sistema, por debajo de la bandeja de salida para huevos aptos.

Por otro lado, en el lugar donde están alojadas las bandejas de la Figura 2.5-3, cuenta con un pulsador que se encarga de informar al controlador la presencia o ausencia de las bandejas en el sistema. Este no puede iniciar su trabajo, si no detecta el ingreso o colocación de la bandeja de huevos a seleccionar.

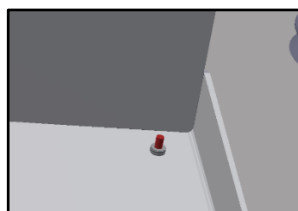


Figura 2.5-3: Botón pulsador

Fuente: Elaboración propia



Si tenemos la bandeja de huevos colocada y se da la orden de inicio, el mecanismo de sujeción, mediante ventosas, coge los 6 huevos de la primera fila de la bandeja para ser llevados al área de pesaje, ver Figura 2.5-4. Este mecanismo es accionado por generación de vacío; además, cuenta con un sensor de proximidad en un extremo para identificar a que altura, respecto a la bandeja de entrada, debe detenerse para accionar la generación de vacío y sujetar los 6 huevos.

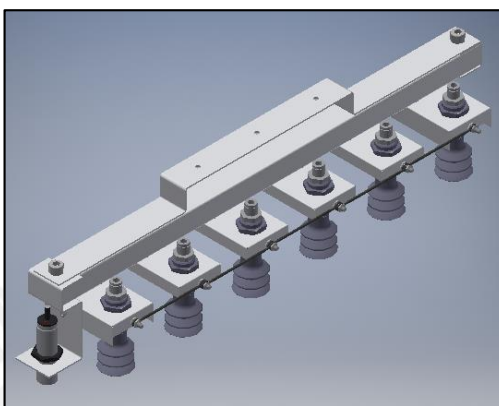


Figura 2.5-4: Mecanismo de sujeción mediante ventosas

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, el mecanismo de desplazamiento, que se mueve en los 3 ejes (X, Y, Z), se encarga de mover los huevos sujetos al área de pesaje. En la Figura 2.5-5, se muestra el mecanismo de manipulación de huevos, el cual es el ensamble de los mecanismos de sujeción y desplazamiento.

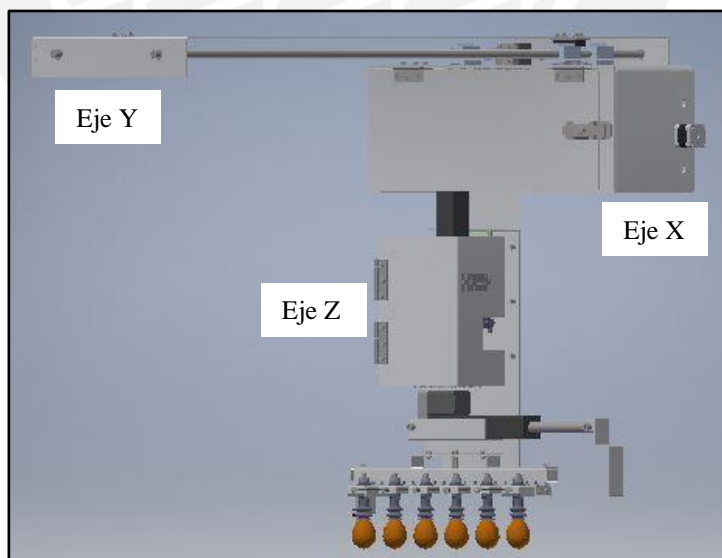


Figura 2.5-5: Mecanismo de manipulación de huevos

Fuente: Elaboración propia

La transmisión de movimiento en el eje X e Y es mediante tornillos sin fin que son accionados por motores a pasos. Cada eje cuenta con un sensor límite de carrera, ver

Figura 2.5-6 (b), que permite tener un punto de referencia para desplazarse en los ejes cartesianos. A partir del lugar donde se ubique el sensor y el paso del tornillo sin fin, se puede determinar y controlar el desplazamiento en los ejes cartesianos.

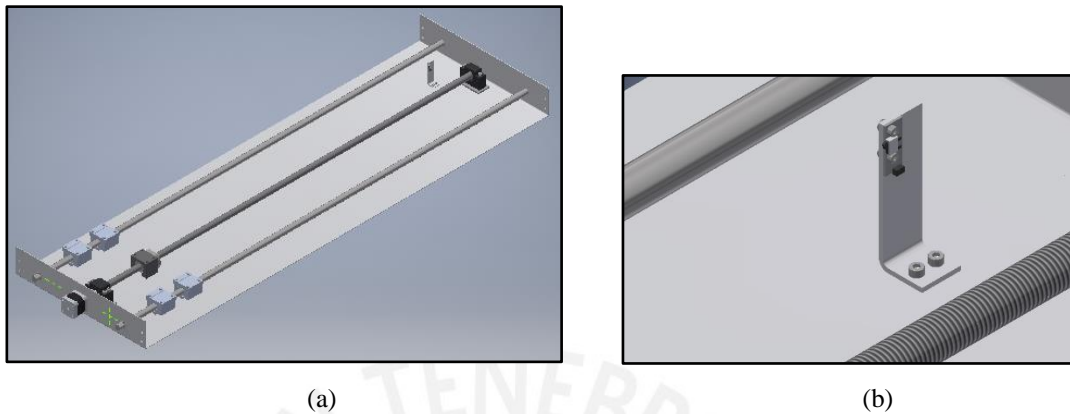


Figura 2.5-6: (a) Mecanismo de desplazamiento eje X – (b) Sensor límite de carrera

Fuente: Elaboración propia

El movimiento en el eje Z es mediante un actuador lineal que tiene la finalidad de permitir el descenso de las ventosas para sujetar o soltar los huevos, ver Figura 2.5-7 (a). Asimismo, se aprecia un actuador lineal adicional, colocado de manera horizontal. Si se observa la Figura 2.5-5, se ve que este actuador está conectado a las ventosas. Esto es debido a que las ventosas, antes de llegar al área de visión, necesitan separarse porque la distancia entre huevo y huevo en una bandeja es diferente a la distancia que se necesita para inspeccionar cada huevo por separado. El actuador lineal colocado de manera horizontal es para variar esta distancia, haciendo que las ventosas se separen y, por ende, los huevos.

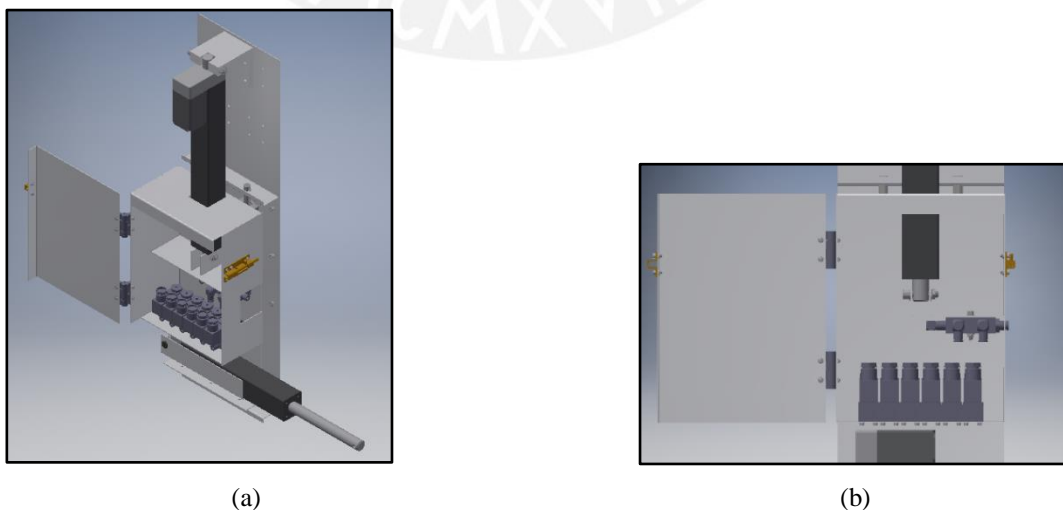


Figura 2.5-7: (a) Mecanismo de desplazamiento eje Z – (b) Sistema de vacío

Fuente: Elaboración propia



Por otra parte, el sistema de vacío, que está compuesto por el divisor de vacío y las electroválvulas que controlan el cierre o apertura de cada ventosa, se muestran en la Figura 2.5-7 (b). Además, el sistema cuenta con un sensor de presión para identificar en que momento las ventosas ya lograron sujetar los 6 huevos. Este sensor se encuentra a la salida de la unidad de mantenimiento del sistema de vacío y antes del divisor de vacío, por lo cual, se ubica en el nivel inferior de sistema.

En la Figura 2.5-8, se aprecia el área de pesaje del sistema donde los huevos son colocados para que los sensores, ubicados en la parte inferior, determinen cuál es el peso de cada uno.

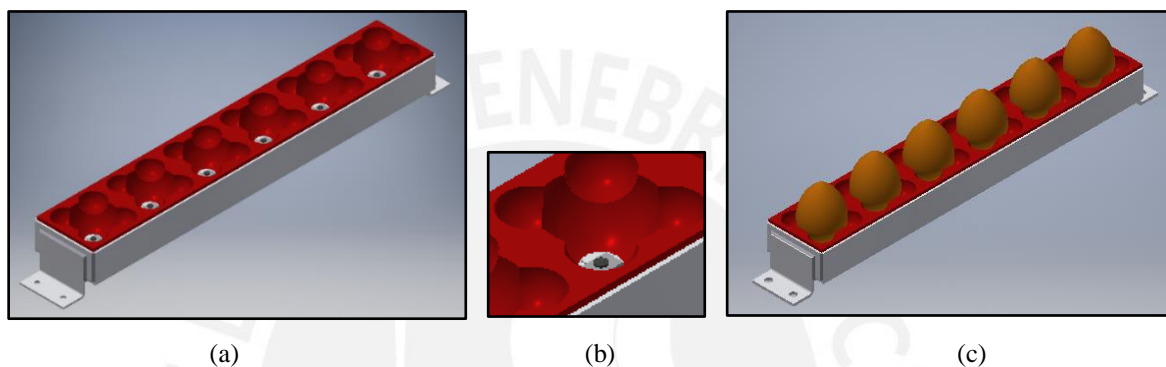


Figura 2.5-8: (a) Área de pesaje – (b) Sensor de fuerza – (c) Huevos apoyados en el sensor

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la identificación de grietas en la cáscara de huevo, el sistema de visión está constituido por 3 partes: mecanismo de rodillos, arreglo de cámaras, mecanismo para voltear huevos. El mecanismo de rodillos posiciona los huevos en dirección horizontal, mientras que los hacen girar para que cada una de las cámaras digitales realice una adquisición de imágenes de toda la superficie de la cáscara, ver Figura 2.5-9. El arreglo de cámaras se encuentra ubicada encima del mecanismo de rodillos.

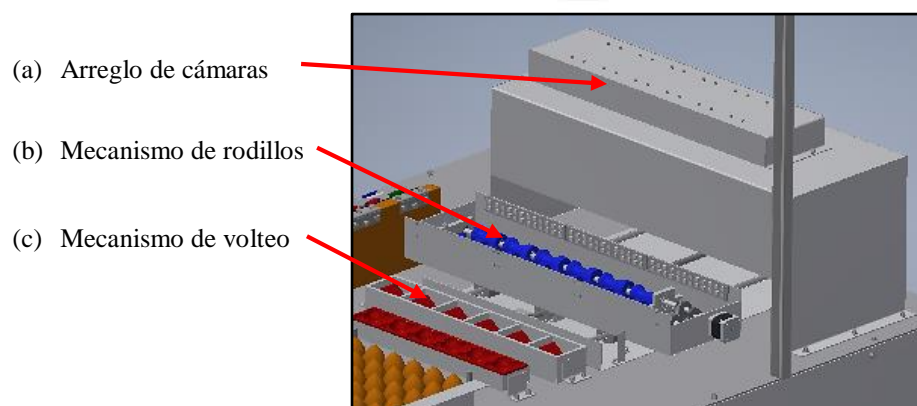


Figura 2.5-9: Área de visión – (a) Arreglo de cámaras; (b) mecanismo de rodillos; (c) mecanismo de volteo

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, los rodillos cuentan con una iluminación por campo oscuro (*darkfield*), es decir iluminación led a los costados. Además, el arreglo de 6 cámaras que se ubican en la parte superior del área de visión se puede apreciar con mayor claridad en la Figura 2.5-10.

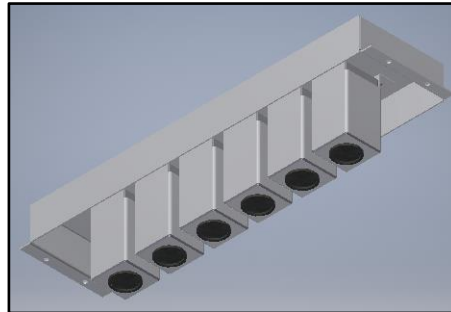


Figura 2.5-10: Arreglo de cámaras

Fuente: Elaboración propia

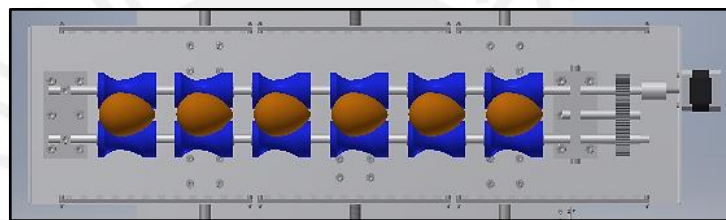


Figura 2.5-11: Mecanismo de rodillos

Fuente: Elaboración propia

Después de haber realizado la adquisición de imágenes, el mecanismo de voltear huevos, Figura 2.5-12, se emplea para colocar los huevos en posición vertical. Este mecanismo es utilizado dado que los huevos extraídos de los rodillos por las ventosas salen en posición horizontal y los huevos en la bandeja de salida deben ser colocados en posición vertical.

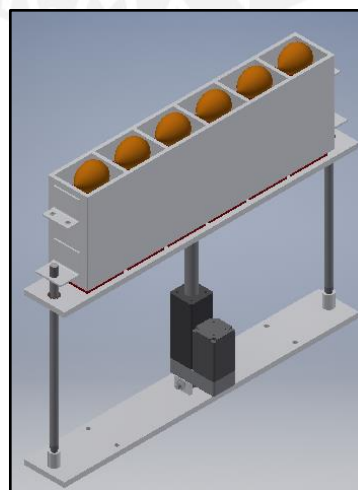


Figura 2.5-12: Mecanismo de voltear huevos

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2.5-13, se muestra el funcionamiento del mecanismo de voltear huevos. Primero, (a) los huevos son ingresados por las ventosas en posición horizontal. Segundo, (b) el huevo se inclina ligeramente, debido a la forma de la cavidad del mecanismo (color rojo). Tercero, (c) el actuador se contrae con la finalidad que el huevo se incline y posicione cada vez más en posición vertical. Finalmente, (d) el actuador se extiende y el huevo se encuentra en posición vertical. Los huevos esperan en esta posición a ser sujetados por las ventosas del mecanismo de sujeción y llevados a la bandeja de salida.

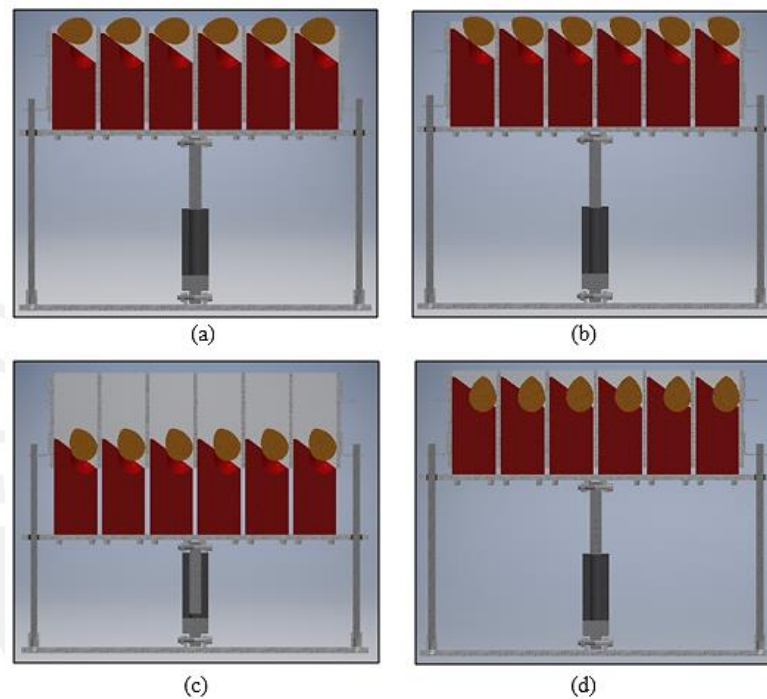


Figura 2.5-13: Funcionamiento del mecanismo de voltear huevos

Fuente: Elaboración propia

La integración y ubicación de cada uno de los mecanismos y áreas de trabajo, mencionados anteriormente, se pueden apreciar en la Figura 2.5-14.

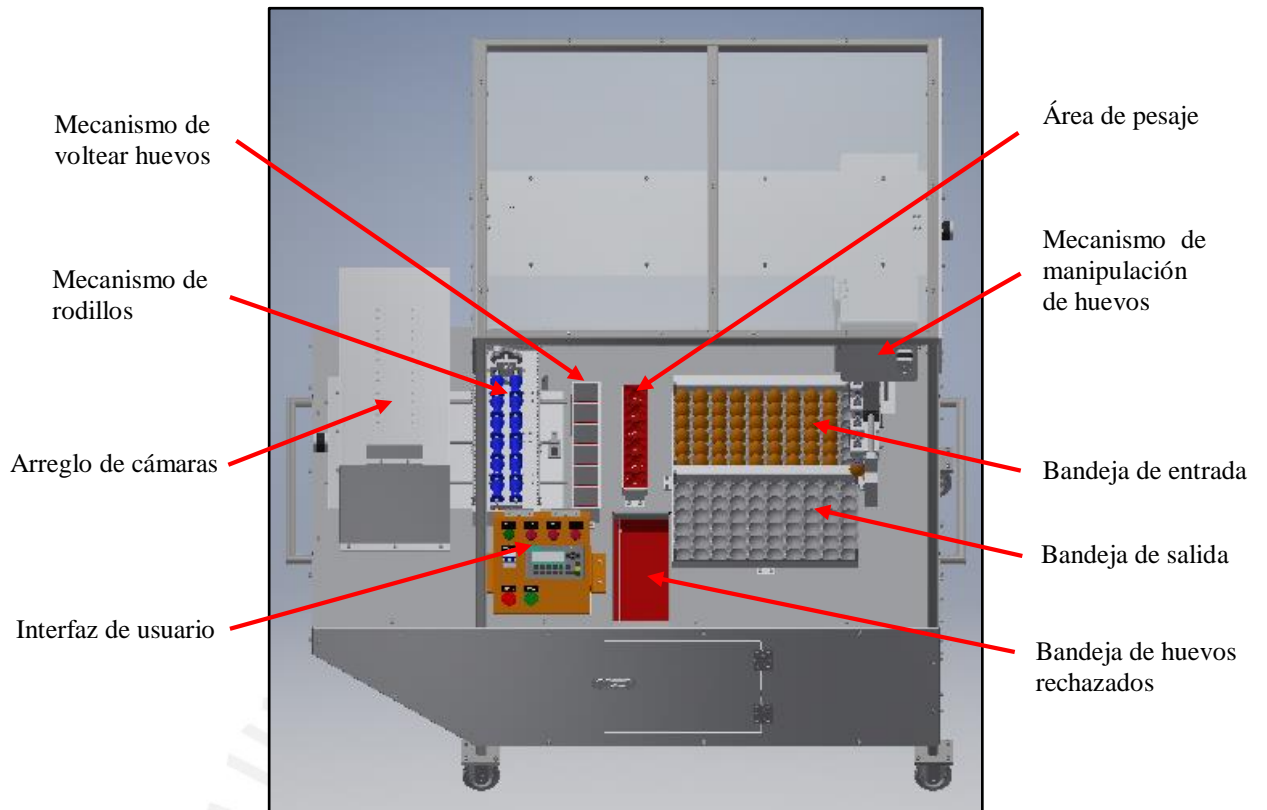


Figura 2.5-14: Vista superior inclinada del concepto de solución óptimo

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO

El presente capítulo tiene como objetivo definir de manera concreta la parte mecánica, electrónica y control del diseño conceptual al cual se llegó en el capítulo anterior. Para lo cual se realiza la selección de sensores y actuadores, se presentará los planos del sistema, diagramas esquemáticos de los circuitos y los diagramas de flujo del programa de control.

El sistema mecatrónico propuesto es muestra en la Figura 3-1 y consiste en una máquina que pesa 180kg. tomando en cuenta los materiales empleados en el diseño. La estructura es de material ASTM 36, mientras que las piezas de los mecanismos que están en contacto con los huevos son de Acero inoxidable AISI 304 y Aluminio 6061. Los materiales han sido seleccionados en base a la información de los mecanismos de manipulación y selección investigados en el Capítulo 1 (Estado de la tecnología). Además, las estructuras han sido sometido a un análisis de esfuerzos en el Anexo A-15. Asimismo, el detalle de los materiales de cada mecanismo se encuentra en los planos mecánicos que se adjuntan en el Anexo A-22.

Con respecto a la productividad, el prototipo empleará un tiempo de 4,5 minutos por bandeja inspeccionada. Esto de acuerdo a los cálculos realizados en el Anexo A-16. Es decir, inspeccionará 107 bandejas (6420 huevos) en 8 horas de trabajo.

En cuanto a la operación, este prototipo será monitoreado por un operario encargado de colocar la bandeja de entrada con los huevos, la bandeja de salida, y pulsar inicio en la interfaz de usuario. Además, la interfaz que se utilizará es un panel básico HMI (Human Machine Interface) para visualizar los resultados y estado de la operación del sistema. Asimismo, el controlador del sistema mecatrónico será un controlador lógico

programable con sus respectivos módulos de expansión de entradas y salidas. Esto debido al entorno industrial al cual va enfocado el diseño.

Por otro lado, en la Figura 3-2 y Figura 3-3, se identifican los actuadores presentes en el diseño mecatrónico.

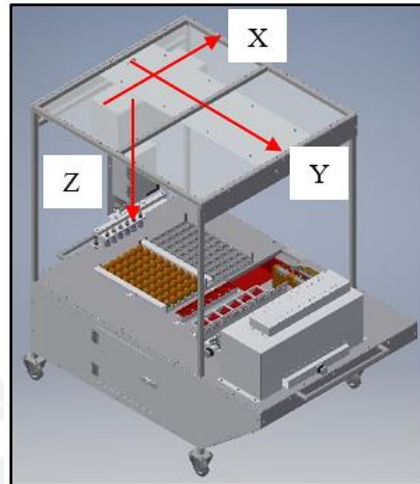


Figura 3-1: Sistema mecatrónico – Posición de Inicio de Coordenadas

Fuente: Elaboración propia

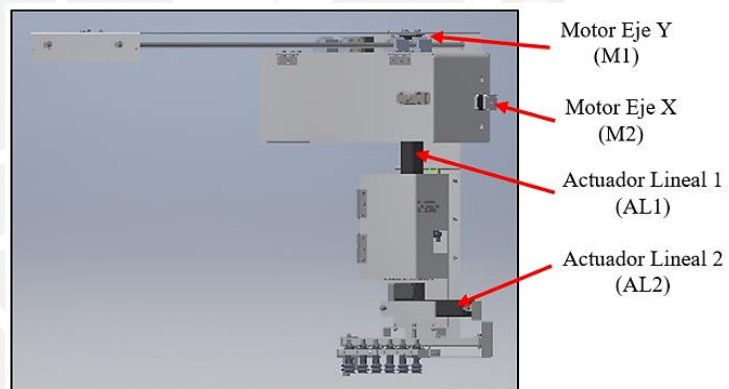


Figura 3-2: Mecanismo de manipulación de huevos

Fuente: Elaboración propia

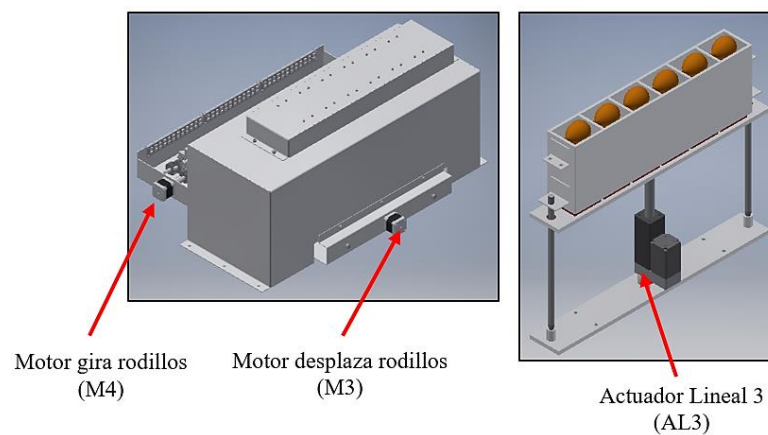


Figura 3-3: Área de visión y Mecanismo de voltear huevos

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3-1, se describe la función de los actuadores señalados en las Figuras 3-2 y 3-3. Asimismo, se asignan variables para emplearlas en la descripción del funcionamiento del sistema mecatrónico. Además, estas variables también serán utilizadas en los diagramas de flujo, en el punto 3.4 del presente capítulo.

Tabla 3-1: Actuadores y descripción de su función

Fuente: Elaboración propia

<b>Actuador</b>	<b>Variable</b>	<b>Descripción de función</b>
Actuador lineal 1	AL1	Permite el movimiento de subir y bajar el manipulador en el eje Z.
Actuador lineal 2	AL2	Permite separar o juntar los huevos al ser sujetados por las ventosas.
Actuador lineal 3	AL3	Permite cambiar de orientación los huevos de posición horizontal a vertical.
Motor eje Y	M1	Motor a pasos que gira el tornillo de transmisión y desplaza el mecanismo manipulador en el eje Y.
Motor eje X	M2	Motor a pasos que gira el tornillo de transmisión y desplaza el mecanismo manipulador en el eje X.
Motor desplaza rodillos	M3	Desplaza el mecanismo de rodillos y lo posiciona debajo de las cámaras.
Motor gira rodillos	M4	Gira los rodillos con la finalidad de girar los huevos y capturar imágenes.
Bomba de vacío	BV	Bomba que genera el vacío para sujetar los huevos.
Electroválvulas	EV	Permite controlar el paso de la generación de vacío en cada ventosa. Se tiene 6 electroválvulas.

Respecto al funcionamiento del sistema mecatrónico, este debe iniciar en una posición inicial de operación, ver Figura 3-1. Además, este punto se toma como origen para el eje de coordenadas X, Y, Z del mecanismo manipulador de huevos, ver Figura 3-2.

Basado en el origen de coordenadas y la distribución física de los mecanismos en el diseño, se determina el desplazamiento que debe realizar el manipulador de huevos.

A continuación, en la Tabla 3-2, se describe el paso a paso que ejecuta cada actuador en cada función del sistema mecatrónico. Esto con la finalidad que la primera fila de 6 huevos de la bandeja de entrada sea evaluada por el sistema mecatrónico. Asimismo, las demás filas de huevos deberán seguir la misma secuencia hasta completar la inspección de toda la bandeja de entrada.

Tabla 3-2: Paso a paso del sistema mecatrónico

Fuente: Elaboración propia

FUNCIÓN	PASO A PASO
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. BV se activa.</li> <li>2. Manipulador en la posición de inicio de coordenadas.</li> </ol>
Sujetar huevos de la bandeja entrada	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. AL1 se extiende en el eje Z 120mm.</li> <li>4. EV se activa y sujeta huevos.</li> <li>5. AL1 se contrae totalmente.</li> </ol>
Pesar huevos	<ol style="list-style-type: none"> <li>6. M1 avanza en el eje Y 830mm hasta el área de pesaje.</li> <li>7. AL1 se extiende en el eje Z 120mm.</li> <li>8. EV se desactiva y suelta huevos.</li> <li>9. Los huevos son pesados por los sensores de fuerza.</li> <li>10. EV se activa y sujeta huevos.</li> <li>11. AL1 se contrae totalmente.</li> </ol>
Identificar grietas en los huevos	<ol style="list-style-type: none"> <li>12. M1 avanza en el eje Y 320mm más, hasta el sistema de visión.</li> <li>13. AL2 se extiende totalmente para separarlos huevos.</li> <li>14. AL1 se extiende en el eje Z 50mm.</li> <li>15. EV se desactiva y suelta huevos.</li> <li>16. M4 se activa y hace girar los rodillos.</li> <li>17. M3 coloca los rodillos por debajo de las cámaras.</li> <li>18. Las cámaras capturan las imágenes de las cáscaras.</li> <li>19. M3 coloca los rodillos por debajo de las ventosas.</li> <li>20. M4 se desactiva</li> <li>21. EV se activa y sujeta huevos.</li> <li>22. AL1 se contrae totalmente.</li> </ol>
Voltrear huevos	<ol style="list-style-type: none"> <li>23. M1 retrocede en el eje Y 200mm, hasta el mecanismo de volteo.</li> <li>24. AL1 se extiende en el eje Z 120mm.</li> <li>25. EV se desactiva y suelta huevos.</li> <li>26. AL3 se contrae totalmente.</li> <li>27. AL3 se extiende totalmente.</li> <li>28. EV se activa y sujeta huevos.</li> <li>29. AL1 se contrae totalmente.</li> </ol>
Depositar huevos rechazados	<ol style="list-style-type: none"> <li>30. M1 retrocede en el eje Y 120mm</li> <li>31. M2 avanza en el eje X 500mm, hasta la bandeja de huevos rechazados.</li> <li>32. AL2 se contrae totalmente.</li> </ol>



	<p>33. AL1 se extiende en el eje Z 200mm.</p> <p>34. EV suelta solo los huevos rechazados.</p> <p>35. AL1 se contrae totalmente.</p>
<p>Depositar huevos aptos</p>	<p>36. M1 retrocede en el eje Y 830mm</p> <p>37. M2 retrocede en el eje X 135mm.</p> <p>38. AL1 se extiende en el eje Z 120mm.</p> <p>39. EV se desactiva y suelta los huevos.</p> <p>40. AL1 se contrae totalmente.</p>

Después del paso 40 de la Tabla 3-2, el manipulador de huevos debe regresar a la posición inicial de partida y continuar con la siguiente fila de huevos. Estos pasos se deben repetir 9 veces más para completar el análisis de las 10 filas que hay en la bandeja de entrada de 60 huevos. Por otro lado, en el anexo A-16, se elaboró un diagrama espacio-fase de los pasos que deben seguir los actuadores del sistema mecatrónico. Los mismos pasos que ya fueron detallados en la Tabla3-2.

En la Figura 3-4, se muestra los pasos más relevantes de la función identificar grietas descritos en la Tabla 3-2.

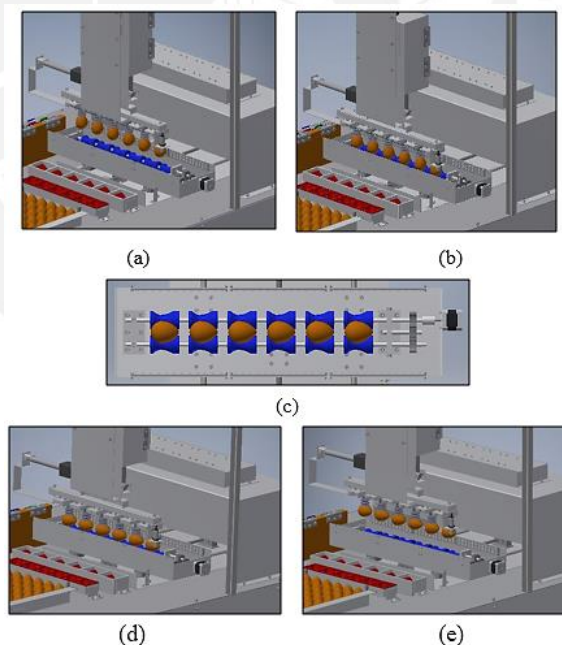


Figura 3-4: Pasos de la función identificar grietas en los huevos  
(a) Paso 13 – (b) Paso 14 – (c) Paso 15, 16 – (d) Paso 21 – (e) Paso 22

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3-5, se muestra los pasos de la función voltear huevos descritos en la Tabla 3-2.

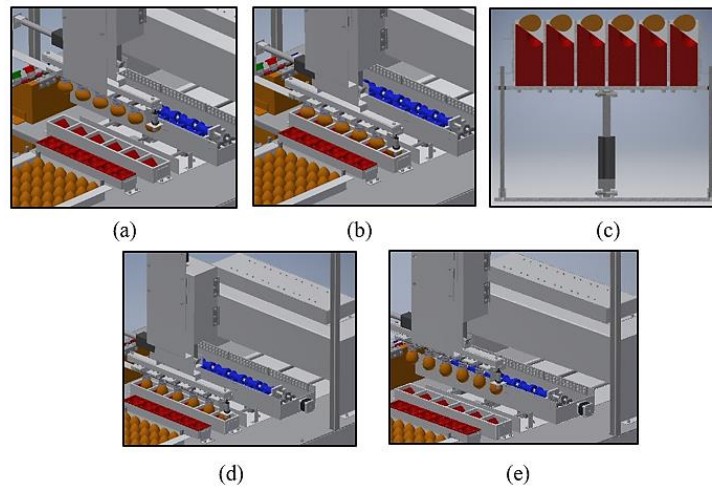


Figura 3-5: Pasos de la función voltear huevos

(a) Paso 23 – (b) Paso 24, 25 – (c) Paso 26, 27 – (d) Paso 28 – (e) Paso 29

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3-6, se muestra los pasos de la función depositar huevos rechazados descritos en la Tabla 3-2.

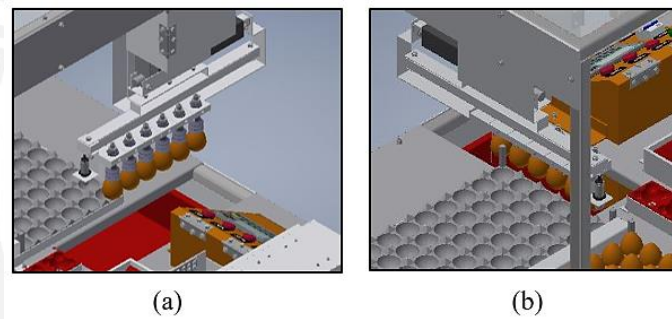


Figura 3-6: Pasos de la función depositar huevos rechazados

(a) Paso 32 – (b) Paso 33

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3-7, se muestra los pasos de la función depositar huevos aptos descritos en la Tabla 3-2.

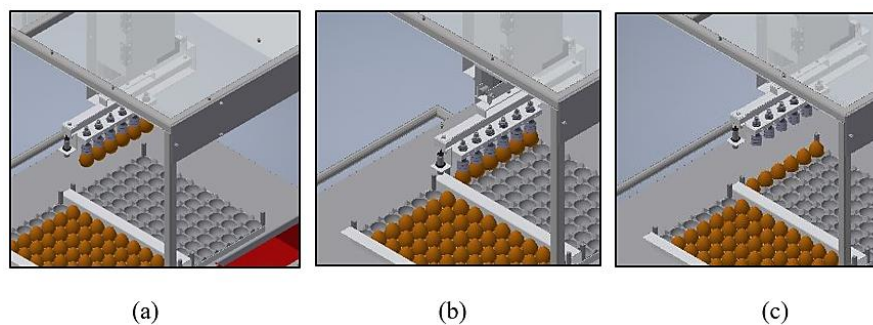


Figura 3-7: Pasos de la función depositar huevos aptos

(a) Paso 36, 37 – (b) Paso 38, 39 – (c) Paso 40

Fuente: Elaboración propia

Todo el sistema es alimentado por 220 voltios a 60Hz. Además, la alimentación pasará por un interruptor termomagnético por seguridad. Luego, los 220 voltios en alterna pasarán por un módulo regulador de voltaje principal para obtener una salida de 24 voltios. Asimismo, el sistema cuenta con tarjetas reguladoras de voltaje con salida de 12 y 5 voltios para alimentar sensores y actuadores.

En el punto 3.3, se describe a detalle los circuitos electrónicos del sistema. Además, se tiene un plano electrónico del sistema mecatrónico en el Anexo A-26.

### 3.1 Selección de sensores y actuadores

#### 3.1.1 Motor a pasos

Para realizar la selección del motor a pasos se determinó el torque y velocidad admisible para desplazar el mecanismo de sujeción en el eje Y, que es el que soporta todo el peso del mecanismo de manipulación.

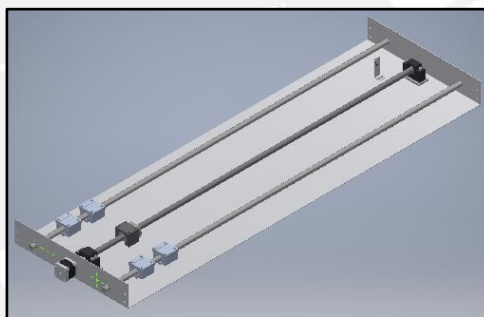


Figura 3.1.1-1: Tornillo de transmisión y 2 ejes de apoyo (Eje Y)

Fuente: Elaboración propia

- **DIÁMETRO DEL TORNILLO DE TRANSMISIÓN:**

Primero, se calculó el diámetro del tornillo de transmisión que permite el desplazamiento en el eje Y, ver Anexo A-3. Este cálculo se realizó considerando que el tornillo de transmisión y los 2 ejes de apoyo soportarán en total una masa de 15 kg. del mecanismo manipulador de huevos.

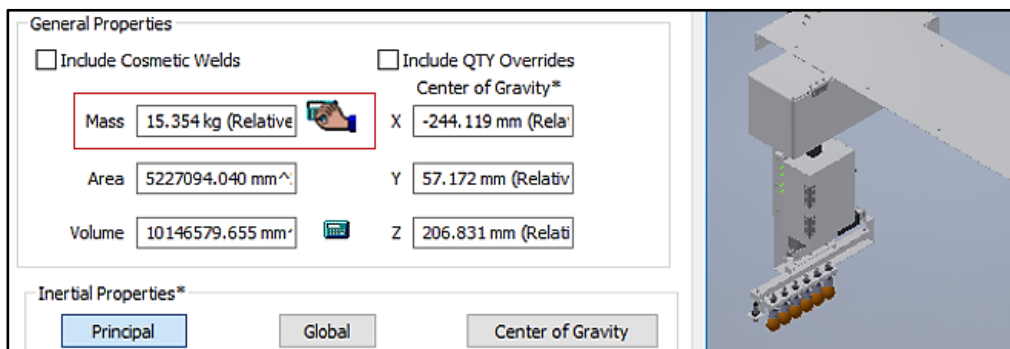


Figura 3.1.1-2: Masa del mecanismo manipulador de huevos

Fuente: Elaboración propia

En los cálculos se utilizó como guía el libro de resistencia de materiales 2 [14]. Se determinó el diámetro del eje basado en un cálculo de falla por fatiga y con un factor de seguridad 3. Además, se consideró los concentradores de tensiones y coeficientes de tamaño y superficie, ver Anexo A-3.

Se llegó a la conclusión que se necesita un diámetro mayor a 14,9 mm para que no falle el árbol. Sin embargo, de acuerdo al catálogo de husillos del Anexo A-22, se tiene el eje de transmisión de 16mm de diámetro con diversas longitudes roscadas (500, 1000, 1500 mm) de la marca THK. Finalmente, se selecciona el modelo **BTK 1605V-2,6** de acuerdo a la Tabla 3.1.1-1. Asimismo, la longitud a emplear en el eje Y es de 1000 milímetros, basado en el dimensionamiento que tiene el diseño realizado.

Tabla 3.1.1-1: Husillo de bolas laminado BTK

Fuente: Anexo A-22

Descripción del modelo	Diámetro exterior del eje del husillo d	Paso Ph	Diámetro de bola centro a centro dp	Diámetro menor de rosca dc	Cantidad de circuitos cargados Hileras X vueltas	Capacidad de carga básica		Rigidez K N/μm				
						Ca kN	C <sub>0a</sub> kN		Diámetro exterior D	Diámetro de la brida D <sub>i</sub>	Longitud total L <sub>i</sub>	H
BTK 1006V-2,6	10	6	10,5	7,8	1×2,65	2,8	4,9	88	26	42	36	8
BTK 1208V-2,6	12	8	12,65	9,7	1×2,65	3,8	6,8	108	29	45	44	8
BTK 1404V-3,6	14	4	14,4	11,5	1×3,65	5,5	11,5	150	31	50	40	10
BTK 1405V-2,6	14	5	14,5	11,2	1×2,65	5	11,4	116	32	50	40	10
<b>BTK 1605V-2,6</b>	<b>16</b>	<b>5</b>	<b>16,75</b>	<b>13,5</b>	<b>1×2,65</b>	<b>5,4</b>	<b>13,3</b>	<b>130</b>	<b>34</b>	<b>54</b>	<b>40</b>	<b>10</b>
BTK 1808V-3,6	18	8	19,3	14,4	1×3,65	13,1	31	210	50	80	61	12

- **TORQUE Y VELOCIDAD ADMISIBLE:**

Se utilizó como guía de cálculo el “Catálogo de husillo de bolas de la marca THK” (Anexo A-22) y los valores del fabricante del husillo de bolas BTK 1605V seleccionado.

En los cálculos del Anexo A-3, se considera la masa total del sistema de 15Kg. y el factor de seguridad 3. Con esto, el torque necesario para el arranque del husillo de bolas hallado es de **78 N.mm (0,79 Kg.cm)** según fórmula de fabricante.

Por otro lado, el husillo de bolas puede resonar y eventualmente quedar obsoleto debido a la frecuencia natural del eje. Esto cuando sobrepasa la velocidad admisible del husillo. Por lo tanto, se debe elegir un modelo para que se utilice por debajo del punto de resonancia (velocidad admisible).

La velocidad de rotación admisible que se obtiene a partir de la ecuación del fabricante es de **2364 RPM** (Anexo A-3). Es decir, el husillo o tornillo de transmisión no debe de girar a una velocidad mayor a la hallada.

Evaluando los resultados obtenidos anteriormente, el torque de arranque necesario es de 78 N.mm (0,79 Kg.cm). Asimismo, la velocidad admisible máxima a la que puede girar el tornillo es de 2364 RPM. Es decir, se requiere un motor con un torque mayor a 0,79 Kg.cm y una velocidad mayor a 2000 RPM pero que no sobrepase los 2364 RPM.

- **SELECCIÓN DEL MOTOR:**

Se seleccionará el motor que cumpla con el torque y velocidad hallada en el caso más crítico presente en el sistema, con la finalidad de ser utilizado en los mecanismos que empleen un tornillo de transmisión.

El diseño empleará 4 motores paso a paso NEMA 17 modelo 42STH38-1684B para el mecanismo de desplazamiento en el eje X, el eje Y, el motor que gira rodillos y el motor que desplaza rodillos. Estos motores y su finalidad están descritos en la Tabla 3-1. Además, las especificaciones técnicas del motor se pueden observar en la Tabla 3.1.1-2.

Tabla 3.1.1-2. Características del motor paso a paso NEMA 17

Fuente: <http://www.robot-italy.com/> [18]

Voltaje recomendado	12 V DC
Corriente nominal	1,7 A
Torque nominal	3,3 Kg.cm
Velocidad máxima	2130 RPM
Ángulo de paso	1,8°



Figura 3.1.1-3. Motor NEMA 17, modelo 42STH38-1684B

Fuente: <http://www.robot-italy.com/> [18]

### 3.1.2 Actuador Lineal

El sistema mecatrónico diseñado cuenta con 2 actuadores lineales: uno para el desplazamiento en el eje Z y el otro para separar o juntar las ventosas con los huevos, ver Figura 3.1.2-1

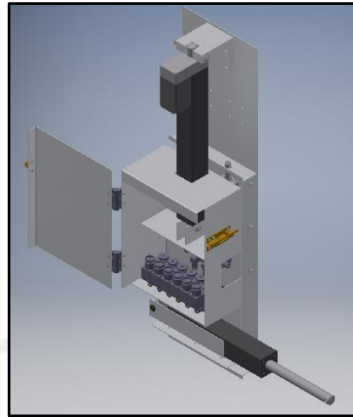


Figura 3.1.2-1. Mecanismo de desplazamiento en el eje Z

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.1.2-2, se tiene que el actuador del eje Z debe de levantar una masa de 4,4 Kg. (44 N). Asimismo, por motivos de dimensionamiento del sistema, donde los huevos rechazados deben ser depositados en una bandeja que se encuentra a 300 mm por debajo del manipulador, se requiere que los huevos deban desplazarse 300 mm en este eje. Por las razones antes mencionadas, se selecciona el actuador lineal **MMAC324** con una carga máxima de trabajo de 1000N y una carrera de 300mm.

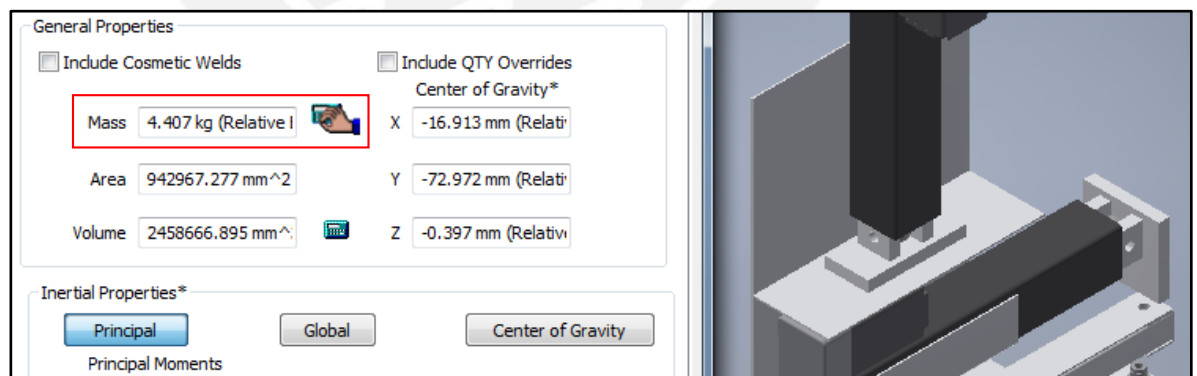


Figura 3.1.2-2. Peso del mecanismo de desplazamiento en el eje Z

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, en la Figura 3.1.2-3, se tiene que el actuador que separa las ventosas de 0 a 150 mm., con la finalidad de depositar los huevos en el mecanismo de rodillos. Además, este debe de levantar una masa de 1,133 Kg. (11,3 N).



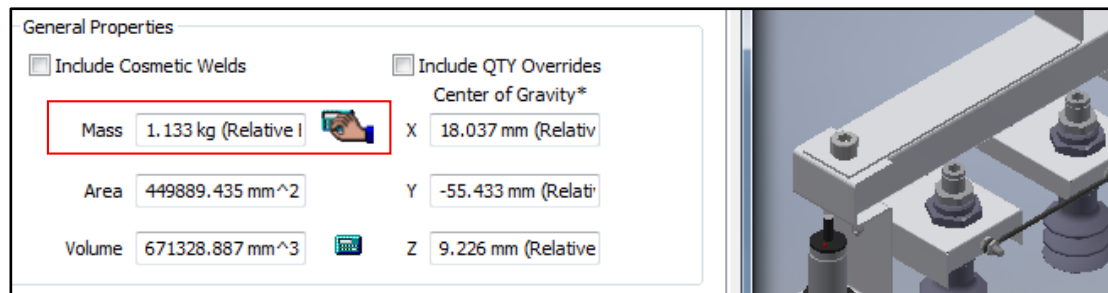


Figura 3.1.2-3. Peso del mecanismo de sujeción

Fuente: Elaboración propia

Para este caso, se selecciona el actuador lineal **MMAC224** con una carga máxima de trabajo de 1000N y una carrera de 200mm.

En la Tabla 3.1.2-1, se muestra las características de los actuadores lineales seleccionados MMAC224 y MMAC324.

Tabla 3.1.2-1. Características de los actuadores lineales MMAC224 y MMAC324

Fuente: <http://www.electronicaembajadores.com/Productos/> [19]

	MMAC224	MMAC324
Voltaje recomendado	24 V DC	24 V DC
Corriente	2 Amperios	2 Amperios
Carrera	200 mm	300 mm
Carga máxima	1000 N	1000 N
Velocidad máxima	20 mm/s	20mm/s
Rango de Temperatura	-25° a 60° C	-25° a 60° C



Figura 3.1.2-4. Actuador Lineal MMAC324

Fuente: <http://www.electronicaembajadores.com/Productos/> [19]

### 3.1.3 Bomba de vacío

La selección de la bomba de vacío se realizará empleando la guía de cálculo del catálogo “Componentes de vacío de Schmalz” [20].

Las dimensiones y peso de los huevos aptos para incubación fueron verificados en el Anexo A-1. Asimismo, se considerará para los cálculos neumáticos el peso

de un huevo de 70 gramos. Además, la presión que se requiere para sujetar un huevo por una ventosa es de  $-0,8\text{KPa}$  [4].

Con estos datos de partida, en el Anexo A-2, se dimensionó y seleccionó las partes del sistema de vacío (ventosas, racores, electroválvulas, etc.). Además, se determinó que el diámetro que necesita tener la ventosa es  $32,04\text{ mm}$ . Este valor es coherente, dado que es menor a al rango ( $40,04 \sim 48,4$ ) mm que es el eje corto de un huevo, ver Anexo A-1.

Con el diámetro se calcula la capacidad de aspiración de una ventosa para escoger el modelo del generador de vacío, en este caso una bomba de vacío.

- Capacidad de aspiración ( $V_s$ ) para la evacuación de una ventosa:

#### Capacidad de aspiración del generador de vacío

La capacidad de aspiración de la que debe disponer un generador de vacío para evacuar la ventosa resulta del diámetro de la ventosa. La capacidad de aspiración correspondiente la encontrará en la tabla de "Datos técnicos" de cada generador de vacío. Basándonos en nuestros valores empíricos y de medición a la hora de dimensionar sistemas, recomendamos elegir a partir de la siguiente tabla:

Capacidad de aspiración para la evacuación de una ventosa		
Ø de la ventosa	Capacidad de aspiración $V_s$	
hasta 60 mm	0,5 m <sup>3</sup> /h	8,3 l/min
hasta 120 mm	1,0 m <sup>3</sup> /h	16,6 l/min
hasta 215 mm	2,0 m <sup>3</sup> /h	33,3 l/min
hasta 450 mm	4,0 m <sup>3</sup> /h	66,6 l/min

Figura 3.1.3-1. Capacidad de aspiración del generador de vacío

Fuente: Catálogo de componentes de vacío de Schmalz. Pág. 53. [20]

Se tiene un diámetro de ventosa de  $32\text{ mm}$ , entonces la capacidad de aspiración necesaria es  $V_s = 0,5\text{ m}^3/\text{h} = 8,3\text{ l/min.}$ , de acuerdo a la Figura 3.1.3-1.

- Cálculo de capacidad de aspiración  $V$  [ $\text{m}^3/\text{h}$ ,  $\text{l/min}$ ] de la que debe disponer la bomba de vacío:

$$V = n * V_s$$

Donde:

$V$  = Capacidad de aspiración de la bomba de vacío.

$n$  = Número de ventosas

$V_s$  = Capacidad de aspiración de una ventosa

$$V = 6 * 0,5 = 3,0\text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = 6 * 8,3 = 49,8\text{ LPM}$$

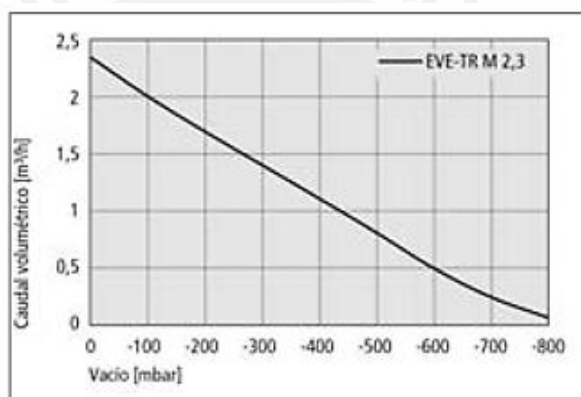


Según los cálculos, se requiere una capacidad de aspiración de  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ ; sin embargo, esta capacidad es para ventosas de hasta 60 mm de diámetro y nuestra ventosa es la mitad de este valor. Por esta razón, una bomba de vacío entre 2 y  $3 \text{ m}^3/\text{h}$  sería adecuada.

En el catálogo [20], se selecciona la bomba de vacío **EVE-TR-M 2.3 DC 24** con una capacidad de aspiración de  $2.3 \text{ m}^3/\text{h}$  y una generación de vacío de -780 mbar, suficiente para las 6 ventosas.

$$\text{Vacío necesario} = -0.8 \text{ KPa} = -80 \text{ mbar} [5]$$

En la Figura 3.1.3-2, se muestra la curva de rendimiento de la bomba seleccionada. Aproximadamente, para una generación de vacío de -80mbar, se tiene un caudal volumétrico de  $2,2 \text{ m}^3/\text{h}$ . Con esto se puede concluir que la bomba **EVE-TR-M 2.3 DC 24** es apta para esta aplicación.



Cap. de aspiración para distintos grados de evacuación

Figura 3.1.3-2. Rendimiento de la bomba de vacío EVE-TR M 2,3

Fuente: Catálogo de componentes de vacío de Schmalz. Pág. 483 [20]

En la Tabla 3.1.3-1, se muestra la característica de la bomba de vacío seleccionada.

Tabla 3.1.3-1. Características de la bomba de vacío EVE-TR-M 2.3 DC 24

Fuente: Catálogo de componentes de vacío de Schmalz. Pág. 482 [20]

Voltaje de Alimentación	24 V DC
Corriente nominal	1,65 A
Capacidad de aspiración	$2,3 \text{ m}^3/\text{h}$
Vacío máximo	-780mbar
Peso	1,3Kg

### 3.1.4 Electroválvula

Se requiere tener un control de apertura y cierre sobre cada ventosa, por esta razón se tendrá 1 electroválvula para cada ventosa. Basados en los cálculos anteriores, la capacidad de aspiración para una ventosa menor de 60 mm de diámetro es de 0.5 m<sup>3</sup>/h. En la Tabla 3.1.4-1, se selecciona el modelo **EMV 2** con un flujo nominal de 1 m<sup>3</sup>/h y un modo de funcionamiento permitirá energizar a la electroválvula, únicamente, cuando se quiera sujetar un huevo.

Tabla 3.1.4-1. Datos técnicos electroválvulas EMV

Fuente: Catálogo de componentes de vacío de Schmalz. Pág. 523 [20]

Datos técnicos Electroválvulas EMV							
Modelo	Diámetro nominal [mm]	Modo de funcionamiento	Flujo nominal [m <sup>3</sup> /h]	Flujo nominal [l/min]	Consumo de potencia DC [W]	Tiempo cierre [ms]	Peso [kg]
EMV 2	2	Cerrada sin corriente	1	17	2,5	10	0,150
EMV 3	3	Cerrada sin corriente	2	33	5,0	20	0,200
EMV 5	5	Abierta sin corriente	4	67	15,0	20	0,518
EMV 10	10	Abierta sin corriente	20	333	32,0	25	2,510
EMV 15	15	Abierta sin corriente	34	567	38,4	80	4,665
EMV 20	20	Abierta sin corriente	53	883	40,8	100	6,375
EMV 25	25	Abierta sin corriente	88	1467	63,8	135	9,600

En la Figura 3.1.4-1, el esquema de funcionamiento muestra (1) generador de vacío, (2) ventosa, (3) ventilación.

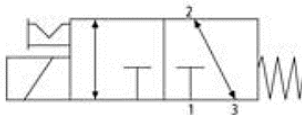


Figura 3.1.4-1. Esquema de funcionamiento del EMV 2

Fuente: Catálogo de componentes de vacío de Schmalz. Pág. 525 [20]

En la Tabla 3.1.4-2, se selecciona la tensión de servicio de la electroválvula (24V-DC).

Tabla 3.1.4-2. Tensión de servicio electroválvulas EMV

Fuente: Catálogo de componentes de vacío de Schmalz. Pág. 523 [20]

Modelo	Tensión de servicio	
	230V-AC	24V-DC
EMV 2	-	10.05.01.00290
EMV 3	10.05.01.00067	10.05.01.00066
EMV 5	10.05.01.00069	10.05.01.00068
EMV 10	10.05.01.00071	10.05.01.00070
EMV 15	10.05.01.00073	10.05.01.00072
EMV 20	10.05.01.00075	10.05.01.00074
EMV 25	10.05.01.00077	10.05.01.00076

Por razones de mantener una fuente de voltaje de corriente continua en los actuadores, se seleccionará la electroválvula **EMV 2 24V-DC 3/2 NC**. Esta electroválvula tiene 2 conexiones hembra para el generador de vacío y la ventosa

de 1/8". En la Tabla 3.1.4-3, se realiza un resumen de las características de la electroválvula seleccionada.

Tabla 3.1.4-3. Características de la electroválvula EMV 2 24V-DC 3/2 NC

Fuente: Catálogo de componentes de vacío de Schmalz. Pág. 523 [20]

Tensión de servicio	24 V DC
Consumo de potencia	2,5 W
Flujo nominal	10 ms
Tiempo de cierre	1 m <sup>3</sup> /h
Peso	0,150 Kg

### 3.1.5 Sensor de Proximidad

Se requiere detectar la presencia o proximidad de la bandeja de huevos para lograr colocar las ventosas por encima de estos. Es decir, se requiere el sensor para evitar colisiones.

Se empleará el soporte de bandeja de entrada para detectar su presencia y detener el sistema de manipulador de huevos en el eje Z. Por lo antes mencionado, se tiene 2 tipos de sensores de presencia: capacitivo e inductivo. El capacitivo permite detectar la proximidad de objetos de diferentes materiales y los inductivos se encuentran limitados a detectar solo objetos metálicos.

Dado que se tendrá una superficie de plancha de acero que servirá de referencia para el sensor, se selecciona el sensor inductivo E2B-M30KS15-WP-C1. A continuación, en la Tabla 3.1.5-1, se muestra las características del sensor.

Tabla 3.1.5-1. Características del sensor de proximidad E2B-M30KS15-WP-C1

Fuente: Catálogo "Cylindrical Proximity Sensor E2B". Anexo A-8

Distancia de sensado	15mm ( $\pm 10\%$ )
Objeto estándar sensado	45x45x1 mm
Voltaje de alimentación	10 a 30 V DC
Corriente consumida máxima	200 mA.
Tipo de salida	Colector abierto NPN (on/off)



Figura 3.1.5-1. Sensor de proximidad E2B-M30KS15-WP-C1

Fuente: Catálogo “Cylindrical Proximity Sensor E2B”. Anexo A-8

### 3.1.6 Sensor de Fuerza

El sensor se encarga de pesar los huevos y detectar cuales se encuentran fuera del rango admisible para considerar un huevo apto para la incubación. Dado que se necesita pesar valores que son menores a los 100g, se selecciona el sensor resistivo FSG005WNPB que tiene una resolución de trabajo de 1 gramo. A continuación, en la Tabla 3.1.6-1, se muestra las características del sensor.

Tabla 3.1.6-1. Características del sensor de fuerza FSG005WNPB

Fuente: Hoja técnica del sensor de fuerza FSG. Anexo A-9

Rango de Trabajo	0 a 5N (0 a 500 gramos)
Resolución de Trabajo	1 gramo.
Voltaje de alimentación	12 V DC
Error de trabajo (25 a 50°C)	Más menos 0,5 mV
Sensibilidad	7,2 mV/V/N (0,86 mV/gramo)
Voltaje de salida sin carga (0 N)	+30mV
Tipo de salida voltaje diferencial	+30mV a +460mV



Figura 3.1.6-1. Sensor de fuerza FSG005WNPB

Fuente: Hoja técnica del sensor de fuerza FSG. Anexo A-9

### 3.1.7 Sensor de Presión

En la selección de la bomba de vacío, se determinó que la presión necesaria que se debe mantener para sujetar los 6 huevos es -1,8 KPa. Esto se logra con un regulador de presión; sin embargo, es necesario que el control del sistema sepa en qué momento las ventosas ya han logrado sujetar los 6 huevos. Se selecciona

un sensor del tipo presión diferencial, dado que se necesita sensor presiones muy pequeñas. En la Tabla 3.1.7-1, se muestra las características del sensor de presión SSCSNBN060MDAC5.

Tabla 3.1.7-1. Características del sensor de presión SSCSNBN060MDAC5

Fuente: <http://www.digikey.com/product-detail/es>. Anexo A-10

Presión de Operación	$\pm 6\text{KPa}$
Voltaje de alimentación	(4,75 ~ 5,25) V DC
Tipo de salida	Analógica
Precisión	$\pm 0,25\%$
Salida Analógica	(0,25 ~ 4,25) V DC



Figura 3.1.7-1. Sensor de presión diferencial SSCS

Fuente: <http://www.digikey.com/product-detail/es>. Anexo A-10

### 3.1.8 Sensor de fin de carrera

Se ha calculado los tornillos de transmisión y velocidad de giro para cumplir los requerimientos en cuanto a desplazamiento hacia una determinada posición se refiere. Sin embargo, es necesaria una calibración para conservar esta precisión y también una referencia externa para realizar esta misma.



Figura 3.1.8-1. Sensor de fin de carrera (*Limit switch*)

Fuente: Hoja técnica del sensor de fin de carrera. Anexo A-11

Se considera que es necesario un sensor de fin de carrera mecánico para el desplazamiento en X, Y del manipulador de huevos. Se puede apreciar en la Figura. 3.1.8-1 un sensor de fin de carrera, este se puede conseguir en el mercado local, ver Anexo A-11. El sensor entrega una señal en alta (5V DC) en estado normal y una señal en baja (0V DC) si es activado su final de carrera.

### 3.1.9 Iluminación

El método a emplear que forma parte del diseño mecatrónico es la iluminación por campo oscuro. En este método, la luz es emitida sobre el objeto de manera lateral con un ángulo pequeño respecto a la superficie donde descansa. Este método logra realzar el contraste de los detalles de superficies, bordes y contornos del objeto a analizar. Debido a esto, es el adecuado para facilitar la detección de bordes en el área de interés (cáscara de huevo) que es signo de presencia de grietas.

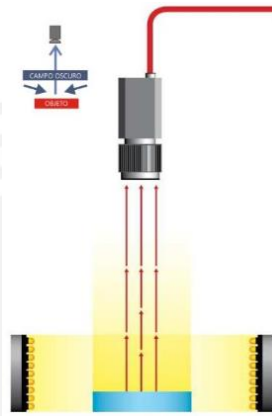


Figura 3.1.9-1. Iluminación por campo oscuro

Se selecciona 4 placas de luces para lograr iluminar los 6 huevos colocados en el mecanismo de rodillos. Las características de estas placas de luces se muestran en la Tabla 3.1.9-1.

Tabla 3.1.9-1. Características de la placa de luces de 24 LEDs

Fuente: <http://www.ebay.com/itm/DC-12V-24-LED-1-6W> [21]

Número de LEDs	24
Color de luz	Blanca
Potencia	1,6 W
Voltaje	12 V



Figura 3.1.9-2. Placa de luces de 24 LEDs

Fuente: <http://www.ebay.com/itm/DC-12V-24-LED-1-6W> [21]

### 3.1.10 Cámara Digital

Se emplea para la adquisición de imágenes necesarias de cada huevo, las cuales serán procesadas con la finalidad de identificar las grietas presentes en la cáscara de los huevos. Basado en la comparación realizada en el estado del arte, ver Tabla 1.2.5-1 Cuadro comparativo de 3 publicaciones, se selecciona la cámara, que presenta mayor tasa de éxito en el reconocimiento de grietas, Sony DXC-950P, 3 CCD. A continuación, se indican las principales características de la cámara digital, ver Tabla 3.1.10-1.

Tabla 3.1.10-1. Características la cámara digital Sony DXC-950P, 3 CCD

Fuente: Catálogo SONY cámara digital modelo DXC-950P [22]

Formato de conexión	IEEE 1394
Formato de resolución	RGB (752x582)
Cuadros por segundo	50 fps
Voltaje de alimentación	(8 ~ 30) VDC
Potencia	4 W
Peso	335 g.



Figura 3.1.10-1. Cámara digital Sony DFW-VL500

Fuente: Catálogo SONY cámara digital Sony DXC-950P, 3 CCD

## 3.2 Planos del sistema mecatrónico

A continuación, se realizará una descripción de los planos neumáticos y mecánicos que se han diseñado.

### 3.2.1 Plano neumático

En la Figura 3.2.1, se aprecia el plano neumático del sistema de vacío. En este plano, las 6 ventosas están conectadas a una electroválvula cada una. Estas electroválvulas le permiten al sistema mecatrónico tener control sobre cada ventosa de manera independiente. Además, se ha colocado un sensor de presión en cada ventosa. Con esto el controlador sabrá en que momento las ventosas han alcanzado la presión necesaria para sujetar un huevo.

Por otro lado, la generación de vacío en las ventosas trabaja conforme al principio Venturi. El aire comprimido fluye desde la conexión de presión de la bomba, pasando por las electroválvulas que deben ser energizadas, y finalizando en las ventosas. Estas cuentan con una reducción de sección, ver 1.0 del plano. Mediante la reducción de la sección en la tobera Venturi aumenta la velocidad de circulación del aire. Tras la salida por la tobera Venturi, el aire se expande y fluye hasta su salida al exterior. Ello produce un vacío y que el aire sea aspirado en la conexión con la ventosa.

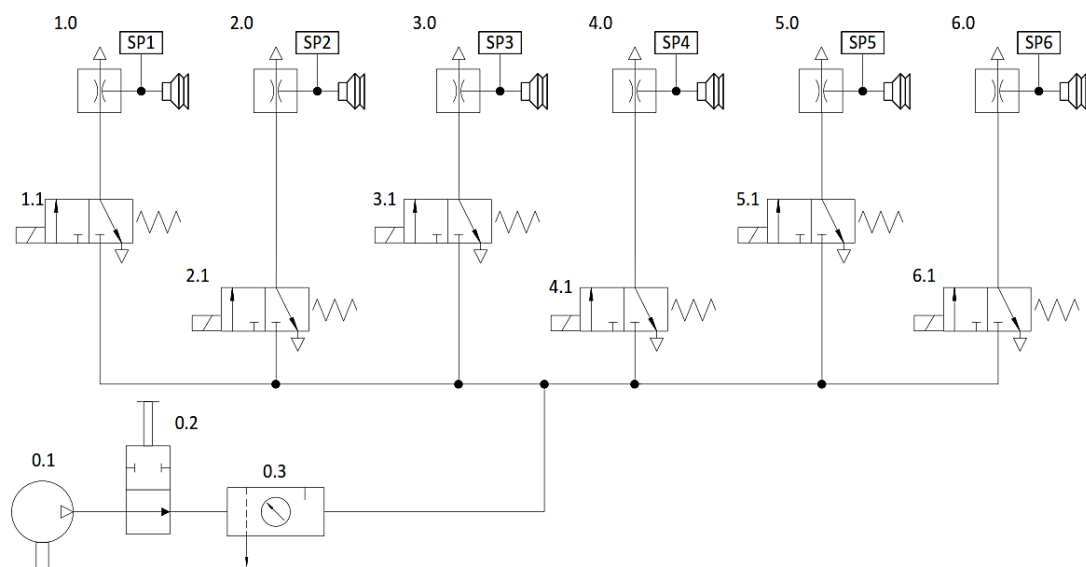


Figura 3.2.1. Plano neumático del sistema de vacío

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, el diseño cuenta con una válvula de cierre manual (0.2). Con la cual, en caso de emergencia, el operario pueda desconectar la bomba de vacío. En la Tabla 3.2.1, se detallan las partes del sistema neumático y se mencionan los nombres de los modelos seleccionados, los cuales han sido tomados del manual de Schmalz [20].

Tabla 3.2.1. Elementos del sistema de vacío

Fuente: Elaboración propia

SP1-SP2-SP3-SP4-SP5-SP6	SENSOR DE PRESIÓN	SSCSNBN060
1.0 - 2.0 - 3.0 - 4.0 - 5.0 - 6.0	VENTOSA	FSG 32 G¼ - AG SI55
1.1 - 2.1 - 3.1 - 4.1 - 5.1 - 6.1	ELECTROVÁLVULA	EMV 2 24V-DC 3/2 NC
0.3	UNIDAD DE MANTENIMIENTO	VFI 6/4 50
0.2	VÁLVULA DE CIERRE MANUAL	KVZ 8 3/2
0.1	BOMBA DE VACÍO	EVE-TR-M 2.3 DC 24
<b>ENUMERACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>OBSERVACIONES</b>



### 3.2.2 Planos de ensamble mecánico

En la elaboración de planos mecánicos, el ensamble general del sistema mecatrónico se dividió en 5 grandes partes: estructura total, sistema de visión, sistema de pesado, manipulador y despiece del soporte de bandejas de entrada y salida. Asimismo, en el Anexo A-26, se tiene los planos de ensamble y de despiece de todo el sistema mecatrónico.

#### Estructura total

En la Figura 3.2.2.1, se tiene el plano de ensamble de los perfiles empleados para el diseño del sistema mecatrónico. Se emplea perfiles cuadrados 30mm x 30mm x 2 mm, material ASTM 36. Este perfil ha sido seleccionado, debido a que ha sido sometido a un análisis de esfuerzos. Este análisis se encuentra en el Anexo A-15.

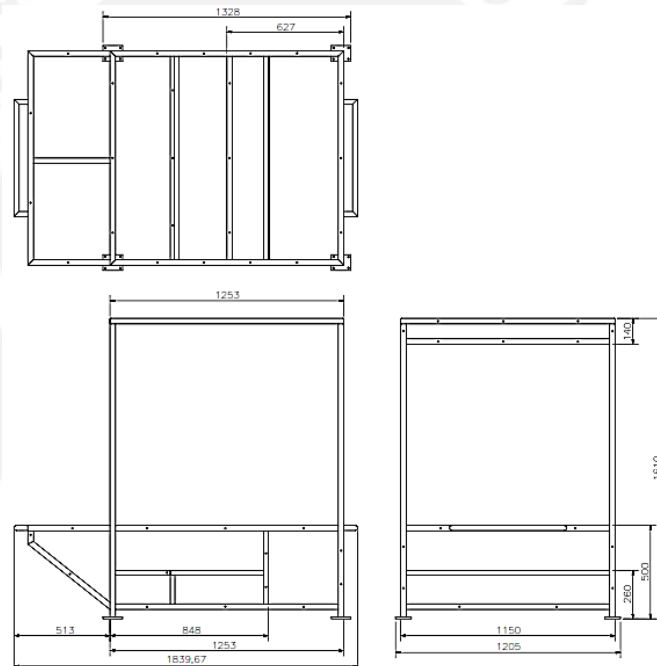


Figura 3.2.2-1 Estructura de perfiles – Plano PD1.1.2-A3

Fuente: Elaboración propia

Esta estructura servirá de apoyo para colocar los sistemas o mecanismos modulares diseñados hasta ahora: el sistema de pesado, el sistema de visión y el manipulador de huevos. Para formar las superficies de apoyo, se colocan planchas de aluminio 6061 atornilladas a los perfiles.

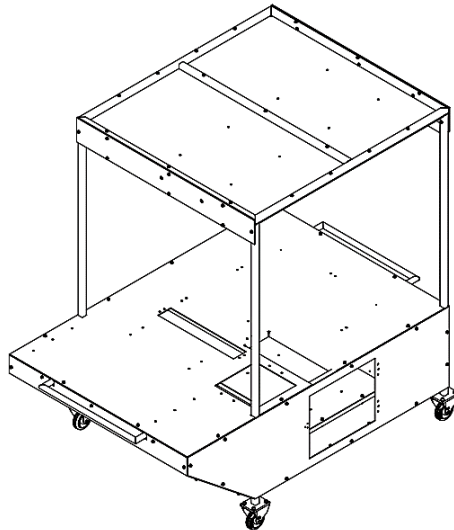


Figura 3.2.2-2 Vista isométrica del plano de ensamble de la estructura

Fuente: Elaboración propia

El resultado de unir las planchas mencionadas anteriormente, se puede observar en la Figura 3.2.2-2. Se forman 2 niveles, en el nivel superior se colocará el sistema de visión, el pesado, la interfaz para el usuario y las bandejas de entrada y huevos seleccionados aptos. En el nivel inferior, se colocará la bandeja de huevos rechazados y la bomba de vacío; así como la gran parte de la circuitería del sistema, aislando el cableado del nivel superior.

### **Sistema de visión**

Este sistema es, en otras palabras, el conjunto de mecanismos diseñados para la identificación de grietas por medio de la captura de imágenes. A continuación, se muestra los planos de ensamble del mecanismo de rodillos en la Figura 3.2.2-3; y el arreglo de cámaras en la Figura 3.2.2-5. Los rodillos son accionados por un motor que transmite movimiento a dos engranajes de igual número de dientes, y con ayuda de un engranaje intermedio, hace girar los 2 rodillos de manera sincronizadas y en el mismo sentido. Esto es con el objetivo de hacer rotar los huevos, mientras las cámaras capturan imágenes sobre toda la superficie de las cáscaras en busca de grietas.

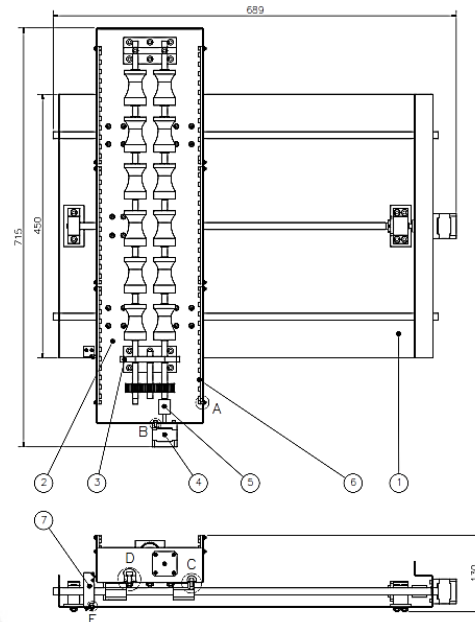


Figura 3.2.2-3 Mecanismo de rodillos - Plano PE1.2.1-A2

Fuente: Elaboración propia

Un sub ensamble del mecanismo de rodillos es la base deslizante, ver Figura 3.2.2-4. Esta base permitirá desplazar y posicionar los huevos por debajo del arreglo de cámaras. Asimismo, el ítem 5 de la base deslizante es un husillo de bolas BTK 1605V de 500 milímetros de longitud roscada.

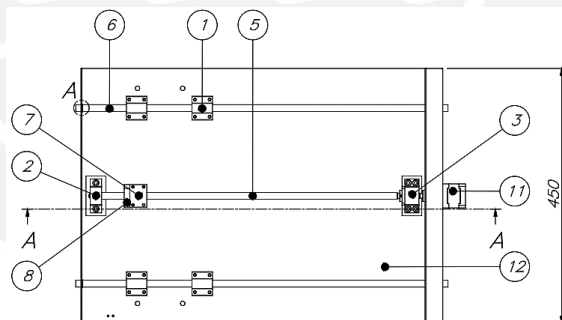


Figura 3.2.2-4 Base deslizante - Plano PE1.2.1.2-A3

Fuente: Elaboración propia

El arreglo de cámaras se puede apreciar en la Figura 3.2.2-5. Esta parte del sistema está ubicado sobre el mecanismo de rodillos. Las cámaras se encargarán de capturar las imágenes de las cáscaras de cada uno de los huevos que girarán en los rodillos.

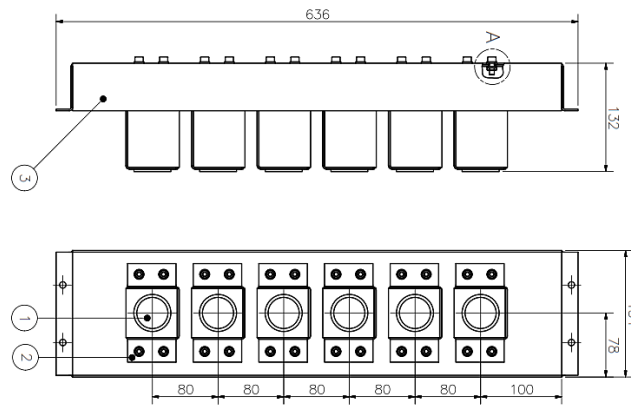


Figura 3.2.2-5. Arreglo de cámaras - Plano PE1.2.2-A3

Fuente: Elaboración propia

Dado que los huevos al ser retirados del mecanismo de rodillos salen en posición horizontal, se emplea el mecanismo de volteo para poder colocarlos en posición vertical y que puedan ser colocados en la bandeja de salida. En la Figura 3.2.2-6 se muestra la sección B-B del plano de ensamble general en donde se puede observar el actuador de volteo (ítem 11) y el mecanismo de volteo (ítem 8).

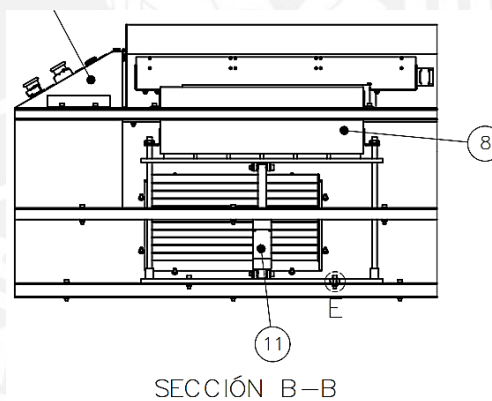


Figura 3.2.2-6. Plano de ensamble general - Plano PEG-A1

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.2.2-7, se tiene el plano de ensamble del ítem 11 señalado en la Figura 3.2.2-6. El mecanismo de volteo consta de un actuador lineal que baja y sube para permitir que los huevos se puedan orientar en posición vertical.

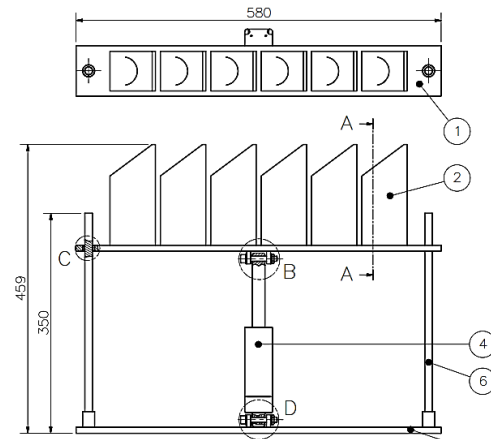


Figura 3.2.2-7. Mecanismo de volteo - Plano PE1.2.3-A3

Fuente: Elaboración propia

### Sistema de pesado

En la Figura 3.2.2-8, se muestra el plano de ensamble del sistema de pesado PE1.3-A3. En este plano se observa que los sensores de fuerza se encuentran alojados en la parte inferior del ensamble (posición 2 en la Figura 3.2.2-8).

El ensamble consta de una bandeja para incubación de 6x1, la cual existe en el mercado, y el diseño de una base para la colocación de los sensores. Asimismo, se propone una base fabricada de plancha de Aluminio 6061 de 3mm de espesor, soldada a 2 apoyos laterales de aluminio.

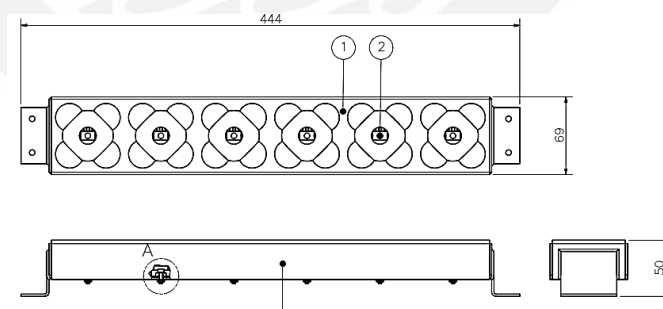


Figura 3.2.2-8. Sistema de pesado - Plano PE1.3-A3

Fuente: Elaboración propia

### Mecanismo de manipulación

En la Figura 3.2.2-9, se muestra el mecanismo manipulador de huevos. Este es la suma de los mecanismos de desplazamiento en los ejes X, Y, Z y el mecanismo de sujeción de las ventosas.

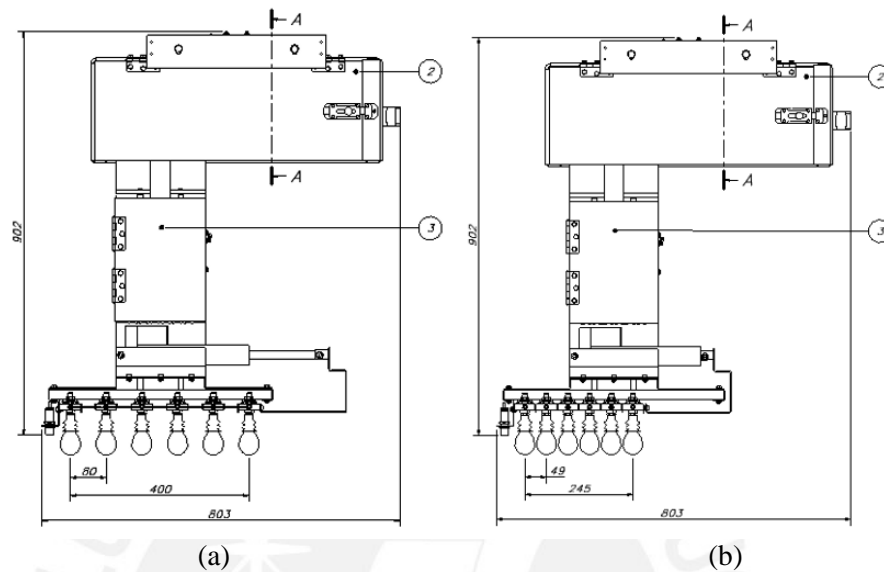


Figura 3.2.2-9. Sistema Manipulador de huevos - Plano PE1.4-A3

(a) Huevos separados - (b) Huevos juntos

Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó anteriormente, un sub ensamble del sistema manipulador de huevos es el mecanismo de desplazamiento en el eje X. En la Figura 3.2.2-10, se muestra parte del plano de sub ensamble. Asimismo, el ítem 7 señalado en este plano es un husillo de bolas BTK 1605V de 500 milímetros de longitud roscada. Este husillo permitirá el desplazamiento en el eje X, dado que está acoplado al motor NEMA17 (ítem 1).

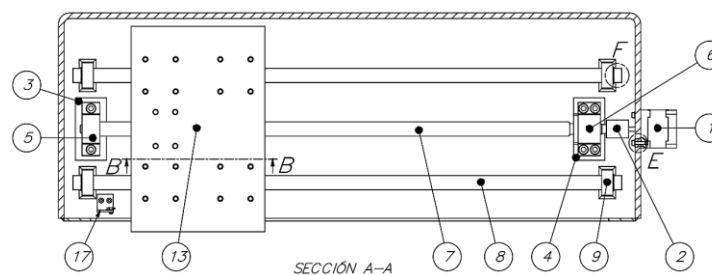


Figura 3.2.2-10. Desplazamiento X – Plano PE1.4.1-A2

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, el sub ensamble del desplazamiento en el eje Y contará también con un husillo de bolas BTK 1605V. No obstante, este husillo será de 1000 milímetros de longitud roscada. Debido a que es la distancia que requiere recorrer en el diseño mecatrónico diseñado. En la Figura 3.2.2-11, el ítem 4 señala la ubicación del husillo en el plano de sub ensamble.

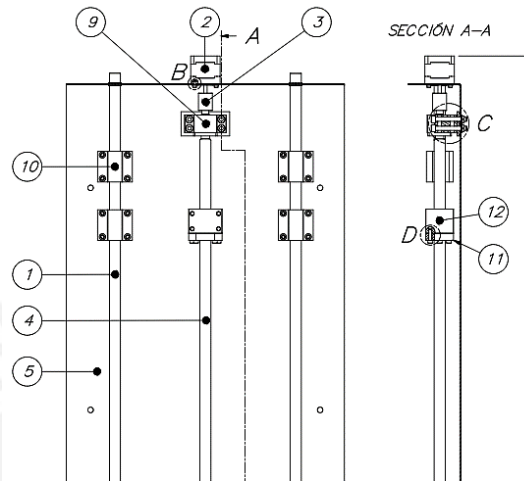


Figura 3.2.2-11. Desplazamiento Y – Plano PE1.4.2-A2

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el sub ensamble de sujeción por ventosas cuenta con ruedas de nylon que deslizan sobre un riel para separar y juntar las ventosas. Este riel es el ítem 1 señalado en la Figura 3.2.2-12. Asimismo, se puede apreciar el cambio de separación entre los huecos sujetos por las ventosas en la Figura 3.2.2-9. Este cambio es debido a la extensión o contracción del actuador lineal ubicado horizontalmente en el ensamble.

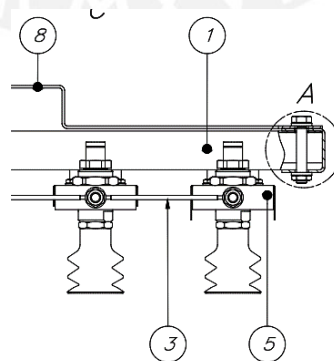


Figura 3.2.2-12. Sistema de ventosas - Plano PE1.4.3.2-A2

Fuente: Elaboración propia

Además, en la Figura 3.2.2-13, se muestra el ensamble de las ruedas de nylon en el ítem 14. Asimismo, se emplean cables de nylon trenzado para

fijar la separación entre las ventosas. Esto se encuentra señalado en el ítem 3 de la Figura 3.2.2-12.

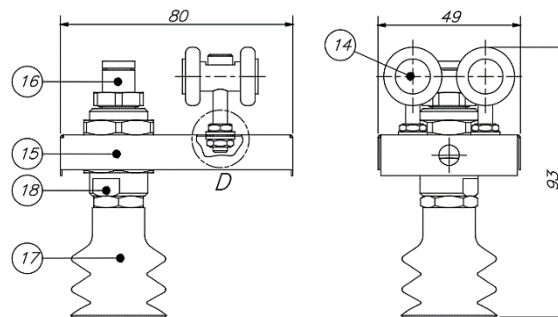


Figura 3.2.2-13. Ensamble de una ventosa - Plano PE1.4.3.2-A2

Fuente: Elaboración propia

### Bandeja de entrada y salida

En la Figura 3.2.2-14, se muestra el despiece de un soporte para dos bandejas: una para la bandeja con huevos y, la segunda, una bandeja vacía donde se colocarán los huevos que han pasado con éxito los criterios de selección.

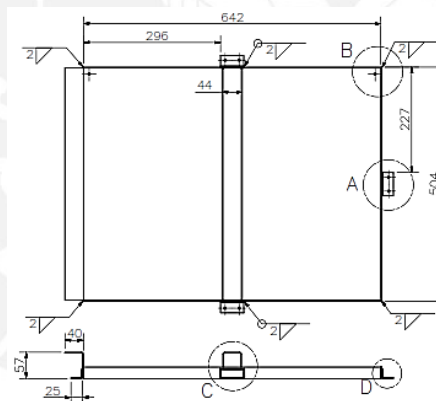


Figura 3.2.2-14. Plano de Bandeja de entrada – Plano PD1.1.3-A2

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se tomó en consideración en el diseño, la ficha técnica del sensor de proximidad, donde detalla que requiere una superficie de metal de 30mm, como mínimo, para el buen funcionamiento del mismo (Anexo A-8). Por esta razón, se colocó una plancha de aluminio de 44mm de ancho entre los dos ambientes para las bandejas y una plancha de 40mm en el extremo izquierdo. Todo esto, con la finalidad de permitir un correcto funcionamiento del sensor de proximidad en el momento de acercarse a



recoger o dejar huevos en la bandeja. En la Figura 3.2.2-15, se muestra la vista isométrica del soporte de acero inoxidable AISI 304 diseñado para las bandejas.

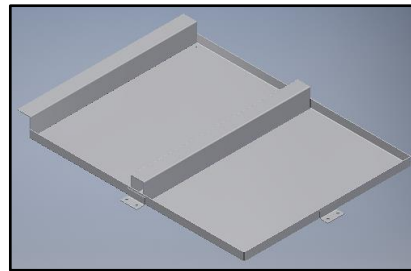


Figura 3.2.2-15. Vista isométrica del soporte de bandeja de entrada

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, los huevos rechazados son colocados en una bandeja. Esta bandeja es colocada en posición inclinada para que los huevos se vayan apilando a un costado de la bandeja. Por ello, se diseñó el soporte de bandeja con  $5^\circ$  de inclinación como se muestra en los planos de la Figura 3.2.2-16.

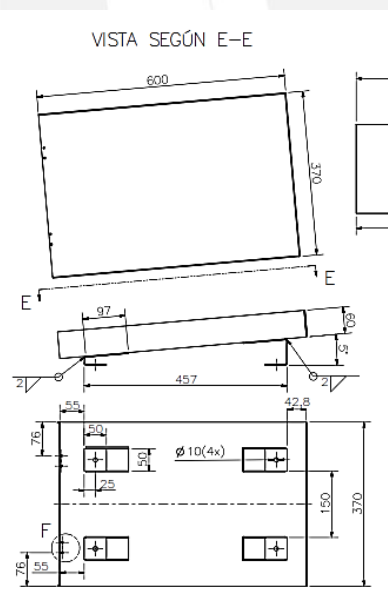


Figura 3.2.2-16. Plano de bandeja huevos rechazados – Plano PD1.1.3-A2

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 3.2.2-17, se puede observar una vista del soporte inclinado de la bandeja de huevos rechazados.

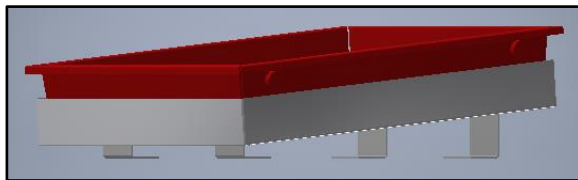


Figura 3.2.2-17. Vista bandeja de huevos rechazados

Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Diagramas esquemáticos de los circuitos del sistema

El sistema mecatrónico diseñado cuenta con un plano electrónico general en el Anexo A-26. Asimismo, en este punto se explicará esquemáticos que forman parte del plano electrónico general. No obstante, antes de presentar los diagramas de cada circuito, es necesario definir el controlador que se encargará del procesamiento de información y el responsable de administrar los diferentes mecanismos presentes en el diseño mecatrónico

#### 3.3.1 Controlador del sistema

Ya habiendo seleccionado los sensores y actuadores del sistema mecatrónico, ahora se seleccionará el controlador. Para la selección se toma en cuenta los siguientes requerimientos de señales de entradas y salidas, ver Tabla 3.3.1-1.

Tabla 3.3.1-1. Señales de entrada y salida que requiere el controlador del sistema

Fuente: Elaboración propia

SEÑALES DE ENTRADAS	DI/AI	SEÑALES DE SALIDAS	DO/AO
2 pulsadores detector de bandejas	2DI	3 led indicadores de estado	3 DO
1 sensor inductivo	1 DI	1 Bomba de vacío	1 DO
4 sensor límite de carreta	4 DI	6 electroválvulas	6 DO
6 sensores de Fuerza	6 AI	4 Motor a pasos (8 PWM)	8 PWM
6 sensor de presión	6 AI	3 Actuadores lineales motor DC	6 PWM
Cámara Digital Sony DFW-VL500 con conector IEEE 1394 que se convierte en puerto USB.	Puerto USB	Pantalla para visualización de resultados	

Además de estos puntos mencionados en la Tabla 3.3.1-1, también son necesario los pines de alimentación del controlador y sus conexiones a tierra. Por lo tanto,

de acuerdo a las entradas y salidas señaladas, se tiene un total de 7DI (entradas digitales), 12AI (entradas analógicas), 10DO (salidas digitales) y 16PWM para el cambio de giro y control de velocidades.

En primer lugar, el sistema de visión requiere un microcontrolador que sea capaz de realizar el procesamiento de imágenes de los huevos con la cámara. En la Tabla 1.2.5-1 del estado del arte, se tiene un cuadro comparativo de 3 publicaciones acerca de la detección de defectos en huevos. La publicación con más tasa de acierto (Análisis del índice de color para la detección automática de los defectos de la cáscara de huevo [8]) y tomada de referencia para la selección de la cámara, emplea un PCDuino3 para el procesamiento de las imágenes. Esta tarjeta está basada en un ARM Cortex A7 Dual Core y un Mali 400 dual Core como GPU, el cual puede soportar sistemas operativos como Ubuntu 12.04 y decodificar video a 30 fps, ver Figura 3.3.1-1.

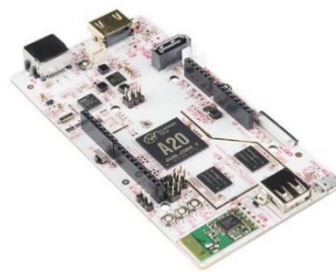


Figura 3.3.1-1. PCDuino3

Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/12856> [23]

Tabla 3.3.1-2. Características del PCDuino3

Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/12856> [23]

Voltaje	5 VDC o 24VDC
Corriente	2 A
Pines del Arduino	14 GPIO , 4 PWM , 6 ADC , 1 UART , 1 SPI, 1 I2C

En segundo lugar, dado que el lugar de trabajo donde se va a emplear el diseño mecatrónico es industrial, entonces se requiere un controlador principal del tipo industrial con la capacidad de poder administrar las señales de entradas y salidas mencionadas en la Tabla 3.3.1-1 y comunicarse con el PCDuino3 para el procesamiento de imágenes. Por todo lo antes mencionado, en el campo del

control industrial se tienen los PLCs (controlador lógico programable) de la marca SIEMENS. De acuerdo al manual del producto del fabricante, Anexo A-15, los módulos tecnológicos de la serie S7-1500 realizan funciones de generación de impulsos PWM para el control de velocidad de motores. Se selecciona el CPU 1511T-1 PN por contar con este tipo de salidas de señal. A continuación, se muestra las características en la Tabla 3.3.1-3.



Figura 3.3.1-2. CPU 1511T-1 PN SIEMENS

Fuente: <https://www.plc-city.com/shop/es/siemens-simatic-s7-1500> [29]

Tabla 3.3.1-3. Características del CPU 1511T-1 PN

Fuente: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/us/Catalog/Product/> [35]

N° serie del fabricante	6ES75111TK010AB0
Voltaje de alimentación	24 VDC
Dimensiones W x L x H (in)	5,94 x 6,06 x 1,81
Memoria de trabajo / datos	225 KB por programa / 1 MB para datos
Interface para HMI	PROFINET
Módulos de expansión máx.	30

### 3.3.2 Módulos de entrada y salida de señales

El controlador seleccionado CPU 1511T-1 PN necesita módulos de expansión digitales y analógicos compatibles con el controlador para manejar el número de señales de entradas y salidas descritas en la Tabla 3.3.1-1.

En primer lugar, para las entradas y salidas digitales del sistema mecatrónico, se seleccionará el módulo SIMATIC 6ES75231BL000AA0 con la capacidad de manejar 16 entradas y 16 salidas digitales de 24V, ver Figura 3.3.2-1.



Figura 3.3.2-1. Módulo DI 16x24VDC / DO 16x24VDC

Fuente: Hoja técnica del Módulo DI 16x24VDC / DO 16x24VDC. Anexo A-18

A continuación, se indican las principales características del módulo de entradas y salidas digitales seleccionado, ver Tabla 3.3.2-1.

Tabla 3.3.2-1. Características del Módulo DI 16x24VDC / DO 16x24VDC

Fuente: Hoja técnica del Módulo DI 16x24VDC / DO 16x24VDC. Anexo A-18

N° serie del fabricante	6ES75231BL000AA0
Voltaje de alimentación	24 VDC
Número de entradas digitales	16
Voltaje / Corriente por entrada	24 VDC / 2.7 mA
Número de salidas digitales	16
Voltaje / Corriente por salidas	24 VDC / 0.5 A
Dimensiones Ancho x Alto x Profundidad	25 x 147 x 129 mm

En segundo lugar, para las 12 entradas analógicas que requiere el sistema mecatrónico, se seleccionará el módulo de expansión 6ES75317KF000AB0 de la marca SIEMENS, ver Figura 3.3.2-2. Asimismo, se empleará dos módulos de este tipo, dado que cada uno puede manejar 8 entradas analógicas.



Figura 3.3.2-2. Módulo de 8 entradas analógicas 6ES75317KF000AB0

Fuente: Hoja técnica del Módulo de 8 entradas analógicas. Anexo A-19

A continuación, se indican las principales características del módulo de 8 canales analógicos seleccionado, ver Tabla 3.3.2-2.

Tabla 3.3.2-2. Características del Módulo de 8 entradas analógicas

Fuente: Hoja técnica del Módulo de 8 entradas analógicas. Anexo A-19

N° serie del fabricante	6ES75317KF000AB0
Voltaje de alimentación	24 VDC
Número de entradas analógicas	8
Corriente máxima de entrada	40 mA
Rango de entrada	1V a 5V / -1V a 1V / -10V a +10V -2,5V a +2,5V / -25mV a +25 mV -250mV a +250mV / -5V a +5V -20mA a +20mA / 0 a +20mA
Dimensiones Ancho x Alto x Profundidad	35 x 147 x 129 mm

En tercer lugar, se requiere 14 PWM para el control de velocidad de los motores y actuadores del sistema mecatrónico, de acuerdo a la Tabla 3.3.1-1. Por tal motivo, se seleccionará el módulo TM Timer 6ES75521AA000AB0 de la marca SIEMENS con la capacidad de 16 salidas PWM, ver Figura 3.3.2-3.



Figura 3.3.2-3. Módulo TM Timer 6ES75521AA000AB0

Fuente: Hoja técnica del Módulo TM Timer PWM. Anexo A-20

A continuación, se mencionan las principales características del módulo TM Timer PWM de la marca SIEMENS, ver Tabla 3.3.2-3.

Tabla 3.3.2-3. Características del Módulo TM Timer PWM

Fuente: Hoja técnica del Módulo TM Timer PWM. Anexo A-20

N° serie del fabricante	6ES75521AA000AB0
Voltaje de alimentación	24 VDC
Número de salidas PWM	16
Corriente máxima de salida	40 mA
Dimensiones Ancho x Alto x Profundidad	35 x 147 x 129 mm

En cuarto lugar, se requiere visualizar los resultados y estado de la operación del sistema mecatrónico. Por lo tanto, se selecciona la interfaz de usuario de control y monitoreo de primera generación, el Panel Básico HMI KP300, ver Figura 3.3.2-4.

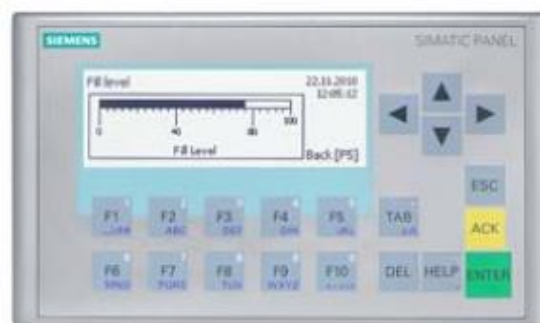


Figura 3.3.2-4. Panel básico HMI KP300

Fuente: Hoja técnica del Panel básico HMI KP300. Anexo A-21

A continuación, se mencionan las principales características del Panel HMI KP300 de la marca SIEMENS, ver Tabla 3.3.2-4.

Tabla 3.3.2-4. Características del Panel básico HMI KP300  
Fuente: Hoja técnica del Panel básico HMI KP300. Anexo A-21

N° serie del fabricante	6AV66470AH113AX0
Voltaje / Corriente de alimentación	24 VDC / 0.1 A
Diagonal de pantalla	3,6 pulgadas
Número de colores	4 colores (blanco, rojo, verde, amarillo)
Dimensiones Ancho x Alto x Profundidad	165 x 97 x 30 mm
Botones configurables en el panel	F1 al F10
Comunicación	PROFINET

Finalmente, se emplea el “TIA Selection Tool cloud” que es el asistente online para seleccionar dispositivos, módulos de configuración y accesorios de la marca SIEMENS, ver Figura 3.3.2-5. Asimismo, se ingresa a la plataforma los módulos seleccionados y obtenemos los siguientes resultados respecto al consumo de energía del sistema mecatrónico, ver Figura 3.3.2-6.

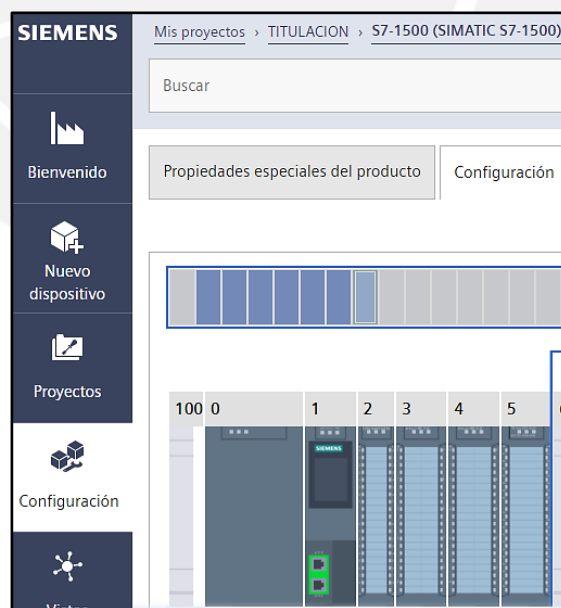


Figura 3.3.2-5. Plataforma online “TIA Selection Tool cloud” - Configuración

Fuente: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Products/10315610?tree=CatalogTree>



Propiedades especiales del producto		Configuración	Accesorios	Límites	Lista de slots	Software de ingeniería	1 Aviso
Todas las propiedades		Dimensiones	Comunicación	Intensidad		i	
▶ Segmentos de potencia [W]							
Segmento de potencia	Potencia [W]	Potencia máx. del segmento de potencia [W]					
1	3,8	10					
▶ Consumo 24 V DC							
Nombre	Consumo [A] valor nominal	Consumo de corriente [A] valor pico			Corriente de carga de los actuadores [A]		
Total [A]	0,7	2,48			4		

Figura 3.3.2-6. Plataforma online “TIA Selection Tool cloud” - Corriente

Fuente: [https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/](https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Products/10315610?tree=CatalogTree)

[Catalog/Products/10315610?tree=CatalogTree](https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Products/10315610?tree=CatalogTree)

El consumo de corriente y potencia que se muestra en la Figura 3.3.2-6, no incluyen los sensores y actuadores que se han seleccionado; por lo cual se requiere realizar un cálculo de consumo de energía para seleccionar la fuente de alimentación del sistema (Anexo A-12).

### 3.3.3 Regulador de voltaje 220V AC a 24V DC

En el Anexo A-12, se realizó el cálculo la máxima demanda de corriente del sistema y se seleccionó el convertidor AC-DC modelo SIMATIC PM1507 24V/8A, dado que se necesita transformar de 220AC a 24V. Asimismo, este modelo es compatible con el modelo de PLC seleccionado, soporta una máxima demanda de corriente de 8 A y una potencia de 190W, ver hoja técnica Anexo A-13. En la Figura 3.3.3-1, se muestra el convertidor AC-DC.



Figura 3.3.3-1. Fuente de alimentación PM1507 24V/8A

Fuente: Hoja técnica de Alimentación S7-1500 PM1507. Anexo A-13

De acuerdo el circuito eléctrico de la Figura 3.3.3-3, el sistema mecatrónico estará alimentado por 220V AC, el cuál pasará por un ITM (interruptor termo magnético general), seguidamente hay un botón de parada de emergencia y un botón de inicio para dar pase al regulador de voltaje 220VAC a 24VDC, modelo SIMATIC PM1507. Al tener un voltaje de 24 voltios en el sistema se enciende el led de “sistema energizado” en el tablero del interfaz de usuario.



Figura 3.3.3-2. Interruptor termomagnético 2x15A marca SICA

Fuente: <http://sicaelec.com/catalogo/producto/189-1268-sicalimit-15a>. [27]

El interruptor termomagnético a emplear es un SICALimit de 15 Amperios que es el interruptor de menor amperaje encontrado en el mercado y de suficiente capacidad dado a que es mayor a 8 Amperios, que es el amperaje del convertidor AC-DC.

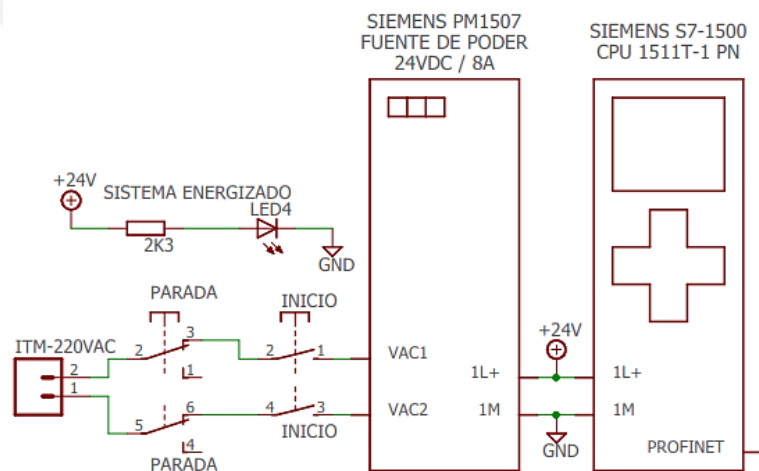


Figura 3.3.3-3. Circuito eléctrico de la fuente de alimentación 220VAC a 24VDC

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.4 Regulador de voltaje de 24V DC a 12V DC

Los motores de paso del sistema mecatrónico diseñado requieren una fuente de alimentación de 12V DC. Por tal motivo, la Figura 3.3.4-1, muestra un circuito regulador de voltaje que permitirá pasar de 24 a 12 voltios. Este consiste en un arreglo de condensadores, el circuito integrado LM7812 y un led que indica que se tiene 12 voltios a la salida.

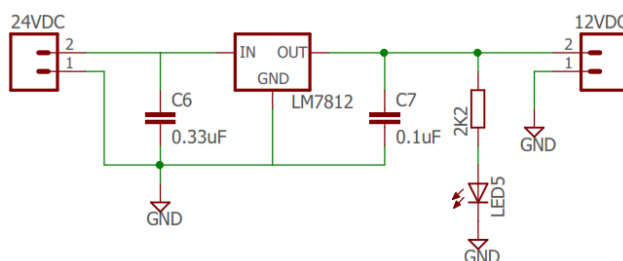


Figura 3.3.4-1. Circuito regulador de voltaje de 24V a 12V DC

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.5 Regulador de voltaje de 12V DC a 5V DC

El sensor de presión requiere un voltaje de alimentación de 5 voltios. En la Figura 3.3.5-1., se presenta un circuito regulador de voltaje de 12 a 5 voltios. Este consiste en un arreglo de condensadores junto con el circuito integrado LM7805.

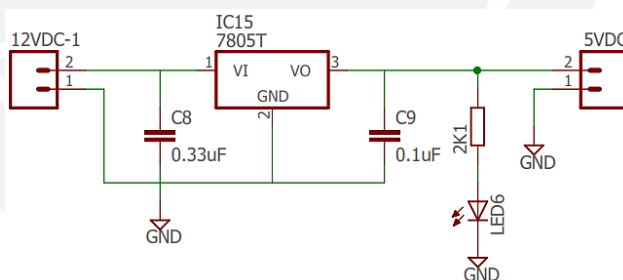


Figura 3.3.5-1. Circuito regulador de voltaje de 12V a 5V DC

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.6 Amplificador de señal del sensor de fuerza

El sensor de fuerza FSG15N1A cambia su cantidad de resistencia en proporción a la fuerza aplicada. Este cambio en la resistencia del circuito se traduce en un nivel de salida de diferencial de voltaje en mili voltios (mV). La señal proporcionada por el sensor de fuerza es amplificada por el circuito integrado INA122. En la Figura 3.3.6-1, muestra cómo están conectados.

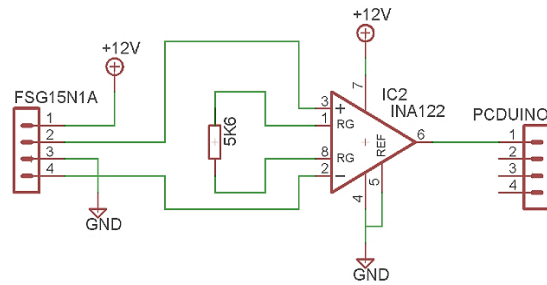


Figura 3.3.6-1. Circuito amplificador de señal

Fuente: Elaboración propia

La Figura 3.3.6-2, muestra el amplificador INA122 de 8 pines. Su diseño proporciona un excelente rendimiento con muy baja corriente de reposo, y es ideal para un sistema de adquisición de datos que requieran una ganancia en una medición diferencial de voltajes.

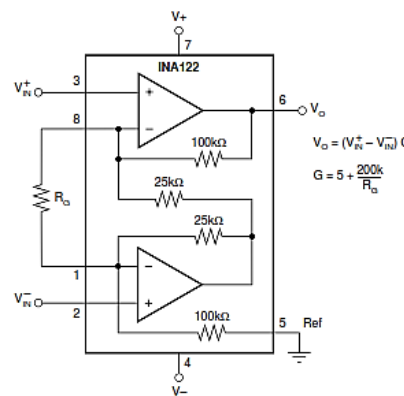


Figura 3.3.6-2. Amplificador INA122

Fuente: Hoja de datos del circuito integrado INA122 [25]

### 3.3.7 Circuito de control del actuador lineal motor DC

En la Figura 3.3.7-1, se muestra el circuito de control del motor DC para actuadores lineales basado en el circuito integrado L298. Este circuito es alimentado por 5V (voltaje del integrado) y 24V (voltaje del motor). Con este circuito se controla la velocidad de giro del motor de cada actuador lineal seleccionado, por consiguiente, la velocidad de avance. Asimismo, el amperaje de salida para el motor DC es de 2 amperios, ver Anexo A-23.

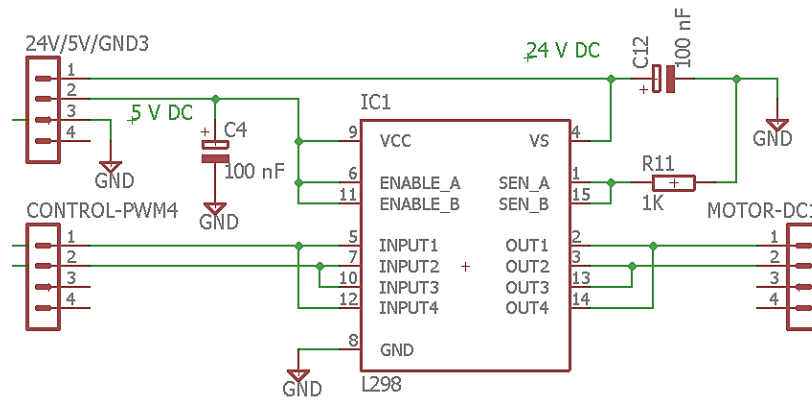


Figura 3.3.7-1. Circuito de control de actuador con motor DC

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.8 Circuito de control de los motores a pasos

Seleccionó el motor a paso NEMA 17 para los tornillos de transmisión presentes en el sistema mecatrónico. Debido a esto, se muestra el esquemático del circuito de control basado en el integrado L298N. La ventaja que nos ofrece este circuito es controlar el motor stepper con 2 señales de control TTL; tener una corriente de salida de 2A y una tensión de los motores que pueden llegar hasta 30V (12V en el caso del diseño mecatrónico).

En la Figura 3.3.8-1, las entradas de control son INPUTS-1 y 2, además, se requiere 2 fuentes de alimentación: X1 de 12V DC y X2 de 5V DC. Por otro lado, el sistema cuenta con 4 motores a pasos Nema 17, por ello se requiere 4 drivers con el esquemático mostrado.

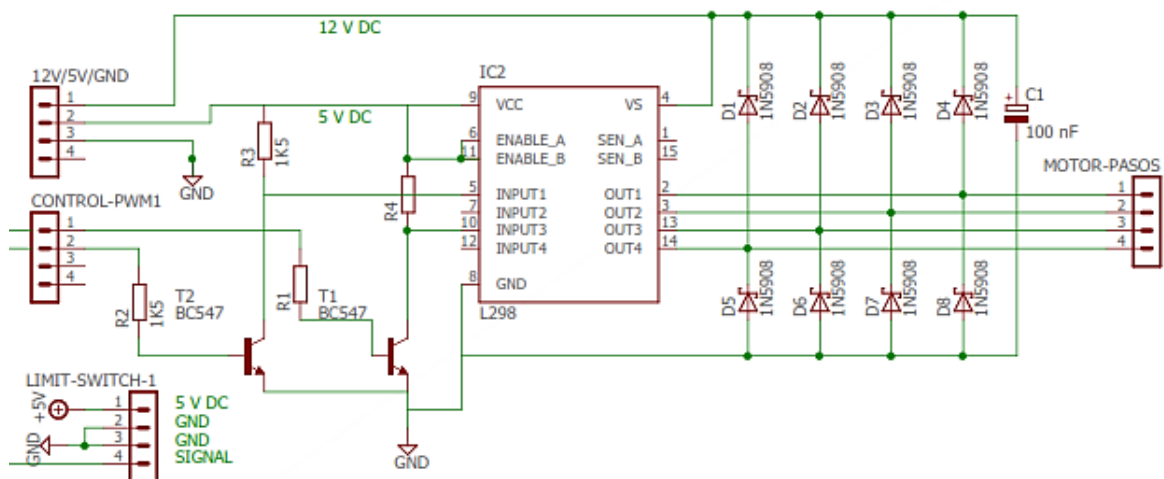


Figura 3.3.8-1. Circuito de control de un motor a pasos

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Diagramas de flujo del programa de control

Los diagramas de flujos que se muestran a continuación, emplean las variables de la Tabla 3-1 presentada al inicio del capítulo. Asimismo, la secuencia de funcionamiento descrita en la Tabla 3-2 tiene concordancia con el diagrama de flujo del programa principal presentado a continuación.

#### 3.4.1 Diagrama de flujo del programa principal

En la Figura 3.4.1, se muestra el diagrama de flujo principal del sistema mecatrónico. El programa de control verificará si el usuario ha solicitado el inicio del sistema a través del comando de inicio; de ser afirmativo, se procederá a establecer en cero los valores de memoria correspondientes al contador de filas (Fila) y la posición de inicio del eje Y (P0). Luego, el controlador procederá a verificar las condiciones iniciales del sistema, con la finalidad de posicionar el mecanismo de manipulador de huevos en el origen de coordenadas.

A continuación, se ejecutará de manera consecutiva las funciones de sujetar huevos de la bandeja de entrada, pesar huevos, identificar grietas, voltear huevos, depositar huevos rechazados y depositar huevos aptos. Todas estas funciones se realizarán hasta que el contador Filas sea igual a 10; dado que es el número de filas que tiene una bandeja de huevos. Asimismo, la variable "P0" cambiará la posición del manipulador en el eje Y (de 50 en 50 mm) para que pase de una fila a otra. El valor de 50mm se obtiene de las dimensiones de una bandeja comercial de entrada.

Finalizado el análisis de la bandeja de huevos de entrada, se mostrará en la interfaz de usuario el número de huevos aptos y rechazados. Seguidamente, se pregunta al usuario si ingresará una nueva bandeja de huevos para ser analizada. De ser afirmativo, se procederá a reiniciar el programa desde la asignación de cero a las variables Fila y P0.

Tabla 3.4.1. Variables del programa principal

Tipo de comando	Variable	Contenido
Inicialización	Iniciar	1=Inicio del sistema.
Número de filas de la bandeja de huevos	Fila	i = 10; se acabó de analizar las 10 filas de la bandeja.
Posición en el eje Y para pasar de fila en fila	P0	P0 toma el valor de 50mm debido a que es la separación entre fila y fila.

Nueva bandeja de huevos a analizar	Nbandeja	1=el usuario ingresó una nueva bandeja para analizar.
------------------------------------	----------	---

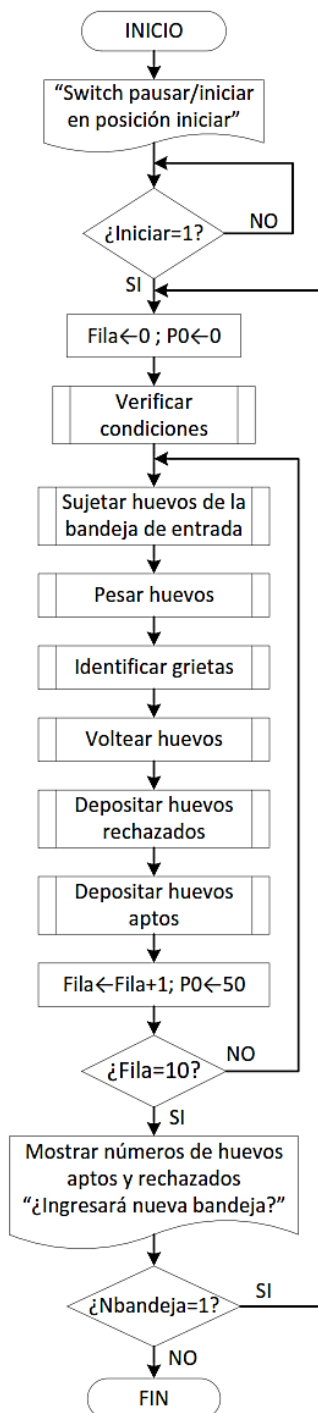


Figura 3.4.1. Diagrama de flujo del programa principal

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2 Diagrama de flujo de verificar condiciones

Este procedimiento tiene como finalidad posicionar el mecanismo manipulador de huevos en el origen de coordenadas. A partir de esta premisa, se contraerá totalmente los actuadores hasta que los sensores finales de carrera en X, Y, Z se

activen. Posteriormente, se solicitará ingresar las bandejas de entrada y salida de huevos. En caso los sensores (SBandEnt y SBandSal) no detecten la presencia de las bandejas, se encenderá un led de color rojo “Falta bandeja” en la interfaz de usuario. Finalmente, se activará la bomba de vacío para alimentar el sistema neumático de las ventosas.

Tabla 3.4.2. Variables locales para el control de verificar condiciones

Variable	Contenido
SFCY	1 = Sensor Final de Carrera en el eje Y activado
SFCX	1 = Sensor Final de Carrera en el eje X activado
SFCZ	1 = Sensor Final de Carrera en el eje Z activado
SBandEnt	1 = Sensor Pulsador detecta bandeja de entrada
SBandSal	1 = Sensor Pulsador detecta bandeja de salida

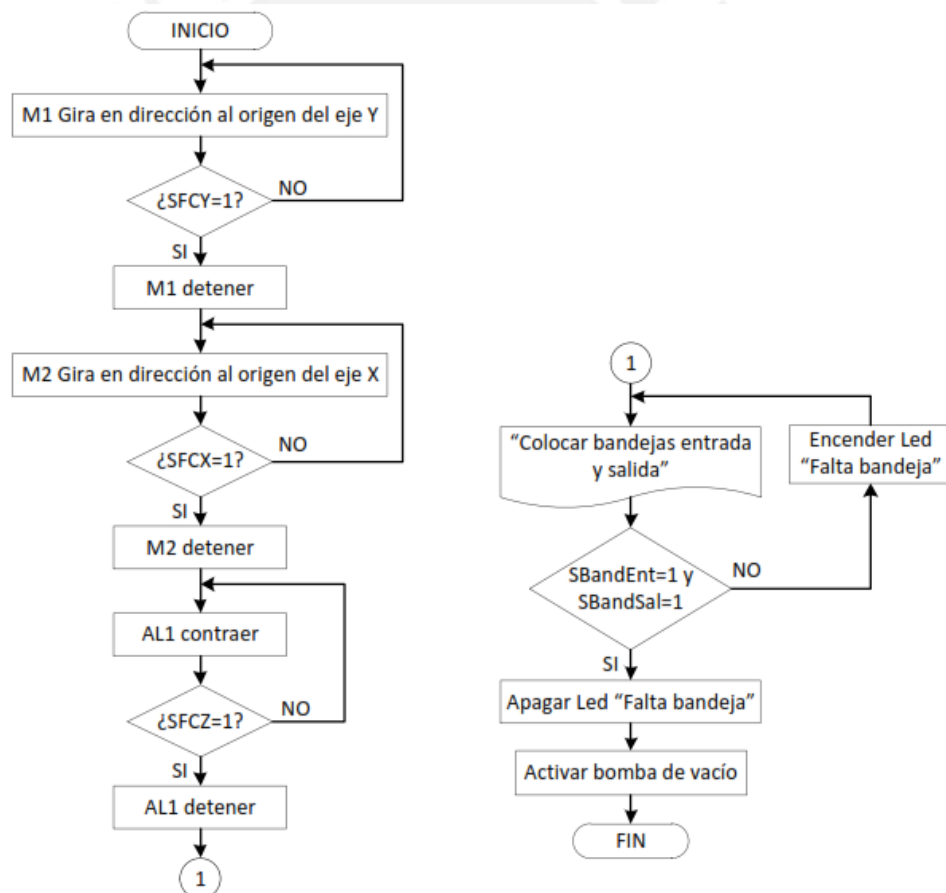


Figura 3.4.2. Diagrama de flujo de verificar condiciones

Fuente: Elaboración propia



### 3.4.3 Diagrama de flujo de Sujetar huevos de la bandeja de entrada

Inicialmente, el mecanismo de manipulador de huevos se desplazará en el eje Y una distancia  $P_0$ . Esto permitirá posicionar el manipulador sobre la fila de la bandeja de huevos que va a analizar. Luego, el actuador AL1 se extenderá en el eje Z 120mm. Después, se ejecutará el procedimiento de sujetar huevos con las ventosas. Finalmente, AL1 se contraerá totalmente con los huevos sujetados por las ventosas.

Por otro lado, la variable  $P_0$  tomará el valor de 50 después de realizar el análisis de la primera fila de huevos, esto de acuerdo al programa principal de la Figura 3.4.1. Basado en lo mencionado, el procedimiento de sujetar huevos de la bandeja de entrada avanzará en el eje Y una distancia de 50mm cada vez que se termine de analizar una fila en el programa principal. Esto permitirá pasar de fila en fila al mecanismo manipulador de huevos en el eje Y.

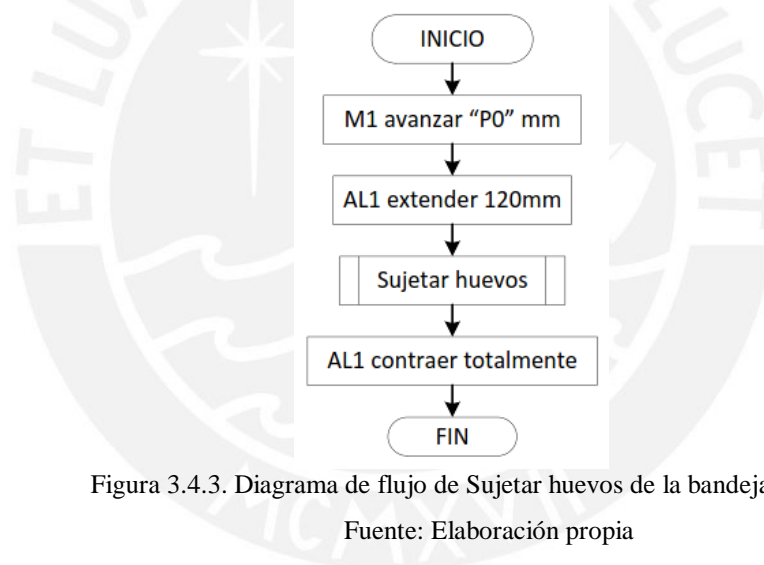


Figura 3.4.3. Diagrama de flujo de Sujetar huevos de la bandeja de entrada

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.4 Diagrama de flujo de Pesar huevos

El mecanismo de manipulador de huevos iniciará avanzando en el eje Y una distancia de  $(830 - \text{Fila} * P_0)$ . Esto permite posicionar el manipulador sobre el área de pesaje que se ubica a 830mm del origen de coordenadas, de acuerdo a la distribución física del sistema diseñado. Dado que el manipulador avanzará una distancia " $P_0$ " cada vez que se analiza una "Fila" de huevos, esto nos da como resultado que la distancia para al alcanzar el área de pesaje es  $(830 - \text{Fila} * P_0)$ . Luego, el actuador AL1 se extenderá en el eje Z 120mm. Después, se desactivará las electroválvulas que controlan la apertura de las ventosas. Es decir, todos los huevos serán soltados sobre los sensores de pesaje. Finalizado el pesaje de

huevos, se sujetará todos los huevos nuevamente. Finalmente, AL1 se contraerá totalmente con los huevos sujetos por las ventosas.

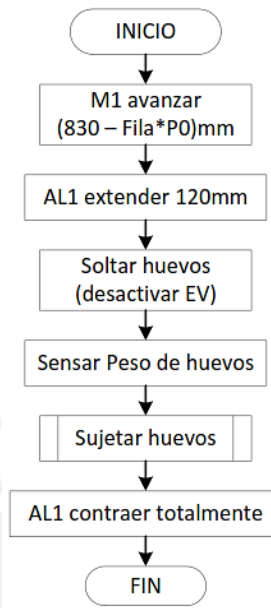


Figura 3.4.4. Diagrama de flujo de Pesar huevos

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.5 Diagrama de flujo de Identificar grietas

Inicialmente, el mecanismo de manipulador de huevos se desplazará en el eje Y una distancia de 320mm. Esto permitirá posicionar el manipulador sobre el mecanismo de rodillos. Luego, el actuador AL2 se extenderá totalmente para distanciar los huevos entre ellos. Además, el actuador AL1 se extenderá en el eje Z 120mm y se desactivará las electroválvulas para soltar todos los huevos sobre los rodillos. Seguidamente, el motor M4 girará los rodillos y el motor M3 posicionará el mecanismo de rodillos por debajo del arreglo de cámaras. Asimismo, se capturará imágenes de la cáscara de huevos con el arreglo de cámaras. Finalizado la captura de imágenes, M3 se extenderá para volver a colocar el mecanismo de rodillos debajo de las ventosas. El motor M4 se detendrá y los rodillos dejarán de girar. Finalmente, las ventosas sujetarán los huevos que se encuentran en posición horizontal y el actuador AL1 se contraerá totalmente en el eje Z.

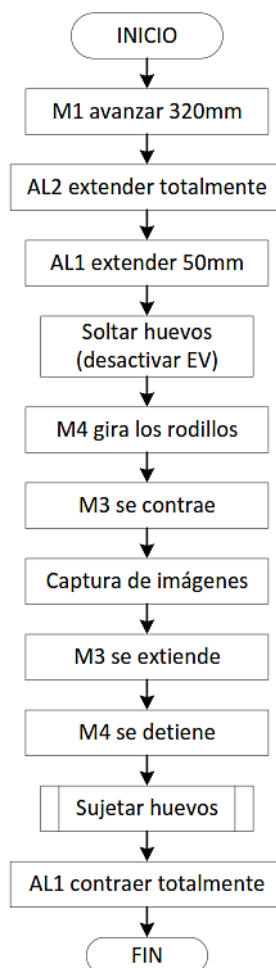


Figura 3.4.5. Diagrama de flujo de Identificar grietas

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.6 Diagrama de flujo de Voltear huevos

Inicialmente, el mecanismo de manipulador de huevos se desplazará en el eje Y una distancia 200mm hacia atrás. Esto permitirá posicionar el manipulador sobre el mecanismo de voltear huevos. Luego, el actuador AL1 se extenderá en el eje Z 120mm y se soltarán los huevos desactivando las electroválvulas. A continuación, el actuador AL3 se contraerá y extenderá totalmente. Con esto, el huevo pasará de posición horizontal a posición vertical. Después, se ejecutará el procedimiento de sujetar huevos con las ventosas. Finalmente, AL1 se contraerá totalmente con los huevos sujetos por las ventosas.

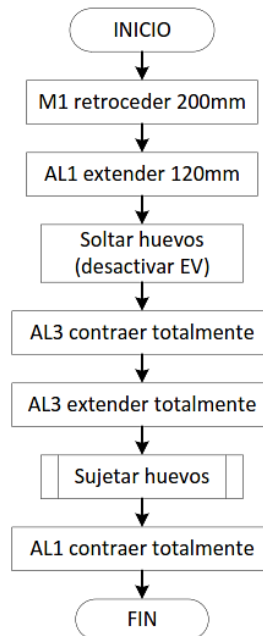


Figura 3.4.6. Diagrama de flujo de Voltar huevos

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.7 Diagrama de flujo de Depositar huevos rechazados

Inicialmente, el mecanismo de manipulador de huevos se desplazará en el eje Y una distancia 120mm hacia atrás y en el eje X avanzará 500mm. Esto permitirá posicionar el manipulador sobre la bandeja de huevos rechazados. Además, el actuador AL2 se contraerá totalmente para juntar todos los huevos. Luego, el actuador AL1 se extenderá en el eje Z 200mm y se soltarán los huevos rechazados desactivando las electroválvulas. Finalmente, AL1 se contraerá totalmente con los huevos aptos sujetos por las ventosas.

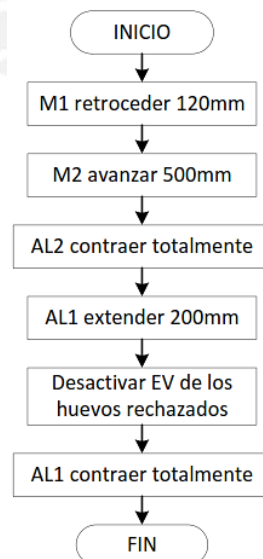


Figura 3.4.7. Diagrama de flujo de Depositar huevos rechazados

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.8 Diagrama de flujo de Depositar huevos aptos

El mecanismo de manipulador de huevos iniciará desplazándose en el eje Y una distancia de  $(830 - \text{Fila} * P0)$  mm hacia atrás y en el eje X 135mm hacia atrás. Esto permitirá posicionar el manipulador sobre la bandeja de salida para huevos aptos. Luego, el actuador AL1 se extenderá en el eje Z 120mm y se soltarán los huevos desactivando las electroválvulas. Finalmente, AL1 y M2 que representan los ejes Z y X se contraerá totalmente. Esto colocará al manipulador sobre la bandeja de entrada nuevamente y listo para continuar con el análisis de la siguiente fila de la bandeja.

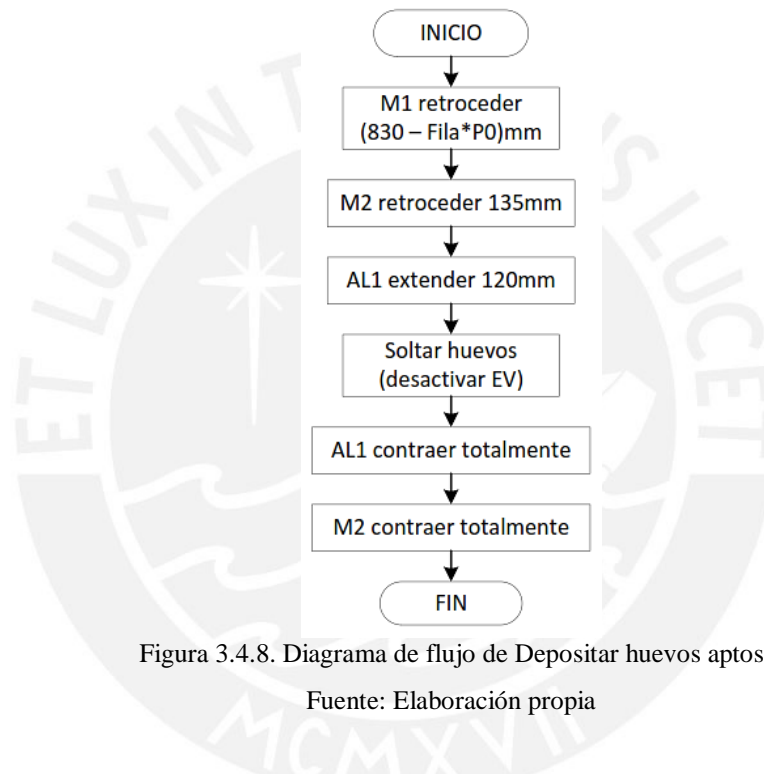


Figura 3.4.8. Diagrama de flujo de Depositar huevos aptos

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.9 Diagrama de flujo de Sujetar huevos

En la Figura 3.4.9, se muestra el diagrama de flujo del procedimiento de sujetar los huevos de cada ventosa. Inicialmente, se activará las 6 electroválvulas que permite el paso de la línea de presión para lograr sujetar los huevos. Segundo, se sensorá la presión para controlar que el vacío generado en cada ventosa alcance los 80mbar. Asimismo, en el diagrama neumático se colocó una unidad de mantenimiento del sistema con una válvula limitadora de presión fijada a 90mbar. Esto para evitar una excesiva presión que rompa los huevos en todo el sistema. Finalmente, terminará el procedimiento al superar la presión de 80mbar para sujetar los huevos.

Tabla 3.4.9. Variables locales para el control de sujetar huevos

Variable	Contenido
n	Número de ventosa n=1,2,3,4,5,6
SP n	Sensor de presión de la ventosa “n”

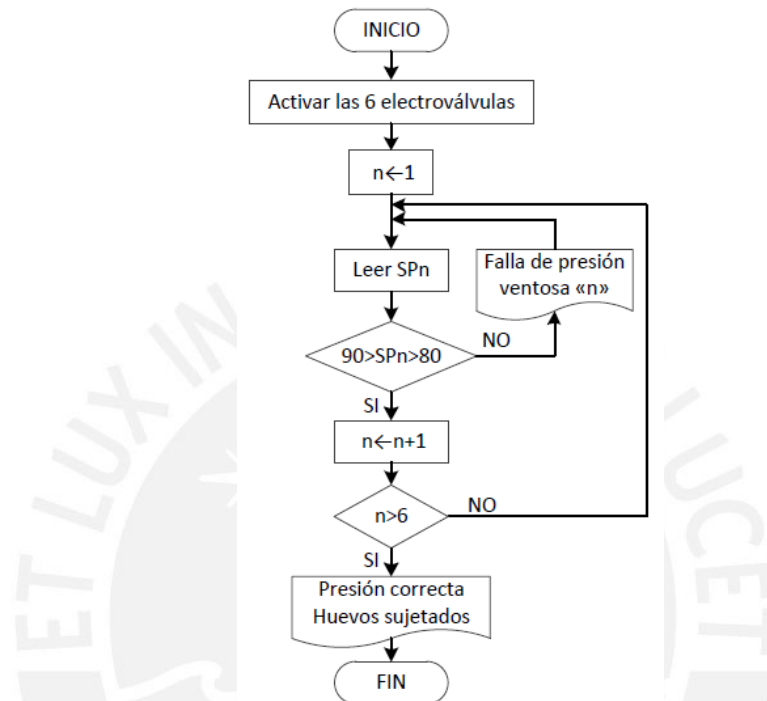


Figura 3.4.9. Diagrama de flujo de Sujetar huevos

Fuente: Elaboración propia

### 3.5 Metodología para identificar grietas en un huevo

En el marco del estado del arte, se realizó el cuadro comparativo de 3 publicaciones que implementaron un sistema de visión por computadora con la finalidad de detectar defectos en la cáscara de un huevo, ver Tabla 1.2.5-1. Basado en la información pertinente [8] y [9], que presente la mayor tasa de éxito; se presenta los siguientes criterios a tomar en cuenta para que, a partir de una imagen en color original adquirida por la cámara, se logre trabajar con una región de interés definida.

- El color imagen se convierte en una imagen de escala de grises seleccionando el plano de saturación. En este plano, una alta discrepancia en valores de gris del huevo y su fondo se logra. La imagen resultante debe mostrar la cáscara del huevo como gris claro, y el fondo como más oscuro gris. Para lograr esto, se requiere tener un fondo azul porque este color no está presente en la cáscara del huevo o de la suciedad. De esta manera, se obtiene una buena discrepancia entre los dos

huevos y el fondo [9]. Por este motivo, se diseñó los rodillos del sistema mecatrónico de color azul.

- Aplicación de un filtro de mediana con el núcleo  $3 \times 3$  para suavizar la imagen.

En la Figura 3.5-1, se tiene el resultado del estudio del grado de éxito para identificar defectos en la cáscara de un huevo [9], respecto al número de imágenes tomadas. Se llega a la conclusión que 15 fotos como mínimo deben ser tomadas de cada huevo mientras gira sobre su eje para completar los  $360^\circ$  de su superficie.

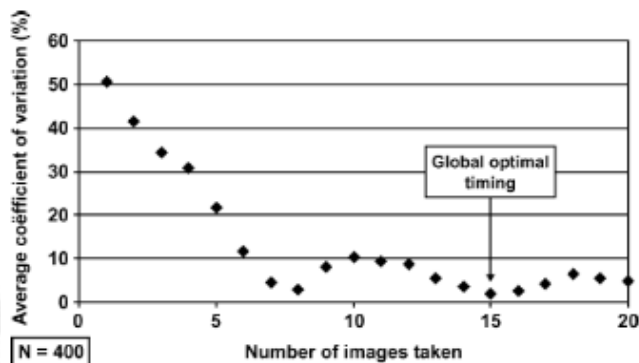


Figura 3.5-1. Gráfico que muestra la variación entre 5 evaluaciones del mismo huevo por el sistema de visión en función del número de imágenes tomado para la evaluación

Fuente: [9]

Con una iluminación directa y la curvatura de la cáscara de huevo genera un artefacto como la luz reflejada dado que la parte superior es más brillante y genera errores en el reconocimiento. Una de las maneras de hacer frente a este problema estructural de la iluminación desigual, trata de un procesamiento basado en valores diferenciales. Ser capaz de adquirir con el ruido de nivel bajo los tres planos de color, procesamiento de imágenes se ha realizado en una imagen de color diferencial normalizado.

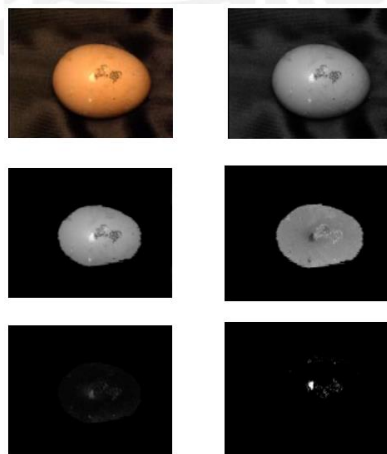


Figura 3.5-2. a) Original Color b) plano de color verde, c) la cáscara de huevo región de interés (ROI) d)  $[(\text{rojo}-\text{azul}) / (R + B)]$  e) Sustracción de la cáscara del huevo significa d) f) la cáscara de huevo imagen binaria

Fuente: Análisis de índice de color para la detección de grietas [8]

En la Figura 3.5-2, varios índices de color han sido probados, donde la selección final es: (Rojo - Azul) Color diferencial de imagen =  $[(R - B) / (R + B)]$

Como la mayoría de los defectos presentes las más altas diferencias de intensidad de color en las longitudes de onda asociadas con los planos rojo y azul, debido a la composición de sus componentes orgánicos. Tener esta imagen que el original de la media global es la cáscara de huevo resta para separar los valores de intensidad del huevo fondo de las de los defectos.

Por último, se selecciona un umbral para obtener una representación binaria de la ROI, para acelerar el proceso de conteo de los píxeles activos restantes, los píxeles blancos, que corresponde a las irregularidades de la cáscara, independientemente de su forma, color o distribución espacial. Esta sería una forma de detectar grietas en la cáscara; además el algoritmo es simple debido a que se requiere que el sistema trabaje en tiempo real y en corto tiempo.

El tiempo de procesamiento en la implementación de esta metodología es de 300ms por huevo y su tasa de éxito está entre 82 y 92% [8]. Es decir, si analizamos 6 huevos, el tiempo de procesamiento es de 1,8 segundos en total.



## CAPÍTULO 4

### PRESUPUESTO

En el presente capítulo se muestra un presupuesto de la parte electrónica y mecánica del diseño mecatrónico propuesto. Además, se considera los elementos del sistema de visión y de control en la parte electrónica; y los motores empleados en la parte mecánica.

#### 4.1 Parte electrónica

En la Tabla 4.1, se muestran los componentes de la parte electrónica que se usarán para el desarrollo de este proyecto. Además, se muestran los costos, cantidad y precio total basado en las cotizaciones del Anexo A-14. En este caso, los componentes de la parte electrónica del proyecto suman un total de 3,935.42 dólares.

Tabla 4.1. Presupuesto de la parte electrónica

CANT.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNTARIO (DÓLARES)	SUBTOTAL
1	Integrado 7805	1.00	1.00
1	Integrado 7812	1.00	1.00
100	Resistencias de 1/2 Watt	0.05	5.00
6	Cámara digital DXC - 950	50.00	300.00
1	PCDuino3	44.95	44.95
6	Electroválvula EMV-2-24V-DC-3/2-NC	173.20	1,039.20
1	Sensor de Proximidad E2B-M30KS15	41.58	41.58
6	Sensor de Fuerza FSG	45.07	270.42
4	Sensor de fin de carrera	1.03	4.12
6	Sensor de presión diferencial SSCS	56.67	340.02

1	Interruptor temo magnético	7.48	7.48
1	Fuente de alimentación PM1507 24V/8A	159.00	159.00
1	Siemens S7-1500, CPU 1511T-1 PN	649.00	649.00
1	Siemens Módulo DI/DO 16X24VDC	379.00	379.00
1	Siemens Módulo analógico 8 AI	566.00	566.00
1	Siemens TM Timer 16 PWM	472.00	472.00
1	Siemens HMI KP300	189.00	189.00
		<b>TOTAL</b>	<b>3,935.42</b>

#### 4.2 Parte mecánica

En la Tabla 4.2, se muestran los componentes de la parte mecánica que se usarán para el desarrollo de este proyecto. Además, se muestran los costos, cantidad y precio total basado en el Anexo A-14. En este caso los componentes de la parte mecánica suman un total de 4,927.83 dólares.

Tabla 4.2. Presupuesto de la parte mecánica

CANT.	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO (DÓLARES)	SUBTOTAL
6	Ventosa FSG-32-SI-55-G1/4-AG - Schmalz	28.89	173.34
6	Racores STV-GE-G1/4-AG-6 - Schmalz	11.55	69.30
6	Atornilladura	10.06	60.36
1	Bomba de Vacío EVE-TR-M-2.3-24V-DC	627.93	627.93
5	Motor NEMA 17 Bipolar	28.81	144.05
1	Actuador Lineal MMAC324	114.00	114.00
2	Actuador Lineal MMAC224	94.28	188.56
1	Husillo de bolas BTK1605V - 1000mm	92.99	92.99
2	Husillo de bolas BTK1605V - 500mm	50.45	100.90
100	Tornillos cabeza allen M6 y M3	0.10	10.00
100	Tuercas M6 Y M3	0.10	10.00
100	Arandelas para tornillos M6 y M3	0.10	10.00
1	Estructura principal	1,510.00	1,510.00
1	Estructura sistema visión	580.00	580.00
1	Estructura sistema pesado	60.00	60.00
1	Estructura sistema manipulador	980.00	980.00
1	Soporte sistema electrónico	196.40	196.40
		<b>TOTAL</b>	<b>4,927.83</b>

En conclusión, entre los componentes de la parte mecánica y electrónica se tiene un costo de 8,863.25 dólares. Asimismo, a este monto se le sumará 4,500.00 dólares que son el costo de ensamble o integración del sistema cotizado. Finalmente, el costo total del sistema mecatrónico es de 13,363.25 dólares.

Los equipos industriales relacionados con la instrumentación o con el control, bien diseñados que se adaptan bien a las condiciones de trabajo, suelen alcanzar el final de su vida útil en torno a los 10 años de servicio [39]. No obstante, la mayor rentabilidad de las máquinas se encuentra en la primera mitad del tiempo de servicio. Dado que en los primeros 5 años las maquinas no se ven afectadas, considerablemente, por gastos de reparación o mantenimientos correctivos [39].

En el Anexo A-24, se realizó un análisis económico respecto a la rentabilidad del diseño comparando los costos de tener un operador vs. el diseño. Para lo cual se empleó el costo total del sistema diseñado, el costo de la mano de obra de un operador y el tiempo de vida útil de un equipo industrial. Asimismo, se tomó 5 años como tiempo de vida útil; dado que la mayor rentabilidad de una máquina se encuentra en este periodo.

En una proyección de 5 años de vida útil de la máquina, el costo de la inspección de una bandeja empleando el diseño (0.34 soles/bandeja) es menor que si un trabajador lo hiciera de manera manual (0.62 soles/bandeja). Además, la máquina inspecciona 11 bandeja más por día que un trabajador. Es decir, el prototipo inspecciona un 11,5% más que un trabajador al día, de acuerdo al análisis realizado en el Anexo A-24.

Asimismo, si se realizara la proyección mayor a los 5 años, el costo por bandeja de 0.34 soles bajaría y el diseño sería aún más rentable. Dado que el tiempo para recuperar el costo de la inversión de la máquina sería mayor y el costo de la máquina por año sería menor. No obstante, en dicha proyección se tendría que considerar los costos de mantenimientos correctivos de la maquina en la segunda mitad de su vida útil.

Por otro lado, si se emplea el sistema mecatrónico diseñado, el trabajador puede manejar varias máquinas al mismo tiempo y una máquina puede trabajar más de 8 horas diarias. En otras palabras, la producción de bandejas inspeccionadas sería mayor a lo largo del tiempo en comparación a realizarlo manualmente.

## CONCLUSIONES

- Se logró diseñar una máquina que a nivel de prototipo resuelve la problemática de seleccionar huevos por su peso y ausencia de grietas en la cáscara. Esto se consiguió con el uso de sensores, actuadores y procesamiento de imágenes para automatizar el proceso de inspección realizado de manera manual en una planta de incubación.
- Se concluye que fue posible diseñar un prototipo orientado a trabajar en el ambiente de una planta de incubación. Debido a que posee controladores industriales que permiten la programación, control y recepción de datos. Asimismo, el prototipo cumple con las medidas de higiene para huevos destinados a la incubación al emplear material como acero inoxidable AISI 304 en contacto con los huevos.
- Fue posible encontrar el principio y los mecanismos para lograr reducir el tiempo de pesaje e identificación de grietas de huevos. Esto se ve reflejado en que el prototipo inspecciona 11 bandejas más por día que un operario. Esta ventaja podría ser mayor en la práctica. Dado que un operario no puede mantener un ritmo constante con una eficiencia del 100% laborando una jornada de 8 horas. Esto provoca que el operario se tome más tiempo en inspeccionar bandejas.
- Asimismo, el empleo del tornillo sin fin resolvió el objetivo de garantizar el desplazamiento de los huevos en el sistema mecatrónico. No obstante, se concluye que la masa que le aporta el tornillo sin fin al diseño es un punto a mejorar. Es posible optar por otros mecanismos de desplazamiento, como lo son las fajas, en busca de disminuir la masa total del prototipo.

## BIBLIOGRAFÍA

### [1] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

2014 “Manejo del huevo fértil antes de la incubación”. Material del curso de producción agrícola de la carrera de Ingeniería Agrónoma. Madrid, España.

[http://ocw.upm.es/produccion-animal/produccion-avicola/contenidos/TEMA\\_7.\\_INCUBACION/7-1-manejo-del-huevo-fertil-antes-de-la-incubacion/view](http://ocw.upm.es/produccion-animal/produccion-avicola/contenidos/TEMA_7._INCUBACION/7-1-manejo-del-huevo-fertil-antes-de-la-incubacion/view)

### [2] CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA

2007 Reglamento (CE) N° 1234/2007. Reglamento que crea una organización común de mercados agrícolas y se establecen disposiciones específicas para determinados productos agrícolas (Reglamento único para las OCM). Consulta: 28 de marzo del 2016.

[http://www.wipo.int/wipolex/es/text.jsp?file\\_id=199616](http://www.wipo.int/wipolex/es/text.jsp?file_id=199616)

### [3] PETERSIME INCUBATORS & HATCHERIES

2012 Bandeja de incubadora compacta para recolección de huevos manual. Madrid. Consulta: 02 de abril de 2016.

<http://www.dev.petersime.com.glue01.priorweb.be/es/noticias-y-eventos/nueva-bandeja-de-incubadora-compacta/>

### [4] JIANG, Hong y ZHANG CONG, Huang Dingshi

2007 “The design and analysis of automatic egg packing manipulator”. Consulta: 28 de marzo de 2016.

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5997579>

### [5] ZHAO YAN-NI

2008 The design of more lips vacuum sucker. Consulta: 28 de marzo de 2016.

### [6] OVO-TECH

S/f Ventosa para la manipulación de huevos. Consulta: 31 de marzo de 2016.

<http://www.egg-breakers.com/en/machines/others/egg-lifter-vel-30>

## [7] COBB-VANTRESS

S/f Guía de manejo de la incubadora Cobb-vantress.  
[http://cobb-vantress.com/languages/guidefiles/e420c01f-a164-4890-9963-60c1e332bf40\\_es.pdf](http://cobb-vantress.com/languages/guidefiles/e420c01f-a164-4890-9963-60c1e332bf40_es.pdf)

## [8] GARCÍA, Maria; RIBERO, Angela y GUINEA, Domingo

S/f “Color index analysis for automatic detection of eggshell defect”.  
Consulta: 28 de marzo de 2016.

## [9] MERTENS, K.; Kamers, B. y BAMELIS, F.

2005 “Dirt detection on brown eggs by means of color computer vision”.  
Consulta: 28 de marzo de 2016.

## [10] ARIVAZHAGAN, S. y NEWLIN, R.

2013 “External and internal defect detection of egg using machine vision”.  
Consulta: 28 de marzo de 2016.

## [11] SECTOR AGROPECUARIO DE ESPAÑA

2012 “Entrevista a JULIEN, Pablo. Supervisor Granja Tres Arroyos”.  
YouTube. Consulta: 30 de marzo de 2016.  
<https://www.youtube.com/watch?v=rRJ8AAPZj0s>

## [12] CLASIFICADORA DE HUEVOS YEMITA

YEMITA: Empresa de fabricación. Consulta: 31 de marzo de 2016.  
<http://www.clasificadoradehuevos.com/>

## [13] MERCOSUR

2007 MERCOSUR/GNC/RES N° 10/96. Normas de higiene y seguridad sanitaria para la habilitación de establecimientos de crianza de aves y plantas de incubación para el intercambio en el MERCOSUR.  
Consulta: 28 de marzo del 2016.  
[http://www.mercosur.int/msweb/Normas/normas\\_web/Resoluciones/ES/Res\\_010\\_096\\_.PDF](http://www.mercosur.int/msweb/Normas/normas_web/Resoluciones/ES/Res_010_096_.PDF)

## [14] RODRIGUEZ, Jorge

2013 Resistencia de Materiales 2. Departamento de ingeniería, sección de Ingeniería Mecánica. Consulta: 25 de mayo del 2016.

## [15] THK

S/f Catálogo de husillo de bolas de la marca THK

## [16] NSK

S/f Catálogo de husillo de bolas de la marca NSK

## [17] ALIEXPRESS

S/f TBI SFU Tornillo de la Bola 1605, SFU1605 tornillo de la Bola de 1200mm  
[http://es.aliexpress.com/store/product/CNC-set-HIWIN-lead-screw-1605-L-450mm-1pcs-SFI-Ball-nut-Accuracy-class-C7-1R25/437307\\_1884118412.html?spm=2114.04010208.3.38.ogZwdP&ws\\_ab\\_test=searchweb201556\\_8,searchweb201602\\_4\\_10017\\_507\\_401,searchweb201603\\_9&btsid=6986027f-c0a1-4c43-a808-769eff36e02c](http://es.aliexpress.com/store/product/CNC-set-HIWIN-lead-screw-1605-L-450mm-1pcs-SFI-Ball-nut-Accuracy-class-C7-1R25/437307_1884118412.html?spm=2114.04010208.3.38.ogZwdP&ws_ab_test=searchweb201556_8,searchweb201602_4_10017_507_401,searchweb201603_9&btsid=6986027f-c0a1-4c43-a808-769eff36e02c)

## [18] ROBOTITALY

S/f Motor Bipolar NEMA 17  
<http://www.robot-italy.com/en/3324-42sth38-nema-17-bipolar-gearless-stepper.html>

## [19] ELECTRÓNICA EMBAJADORES

S/f Actuador lineal MMAC324  
<https://www.electronicaembajadores.com/es/Productos/Detalle/MMA324/motores-servomotores-/actuadores-lineales/actuador-lineal-24v-300mm>

## [20] SCHMALZ

S/f Catálogo de componentes de vacío de la marca SCHMALZ  
<http://es.schmalz.com/>

## [21] EBAY

2016 Panel de 24 luces led. Consulta: 25 de junio del 2016  
[http://www.ebay.com/itm/DC-12V-24-LED-1-6W-Super-Bright-Piranha-LED-Board-Night-LED-Panel-Lights-Lamp/131416628117?\\_trksid=p2047675.c100011.m1850&\\_trkparms=aid%3D222007%26algo%3DSIC.MBE%26ao%3D1%26asc%3D37253%26meid%3D9a192219b59f492baa06b3552a33ec87%26pid%3D100011%26rk%3D2%26rkt%3D6%26sd%3D331175000048](http://www.ebay.com/itm/DC-12V-24-LED-1-6W-Super-Bright-Piranha-LED-Board-Night-LED-Panel-Lights-Lamp/131416628117?_trksid=p2047675.c100011.m1850&_trkparms=aid%3D222007%26algo%3DSIC.MBE%26ao%3D1%26asc%3D37253%26meid%3D9a192219b59f492baa06b3552a33ec87%26pid%3D100011%26rk%3D2%26rkt%3D6%26sd%3D331175000048)

## [22] SONY

2010 Catálogo de cámara digital modelo DXC-950P  
<http://www.sony.es/pro/product/medical-cameras/dxc-950p/features/>

## [23] SPARKFUN

2016 PCDuino3. Consulta: 30 de mayo del 2016  
<https://www.sparkfun.com/products/12856>

## [24] SPARKFUN

2016 Arduino Mega 2560 R3. Consulta 30 de mayo del 2016

<https://www.sparkfun.com/products/11061>

## [25] MICROCHIP

S/f Hoja técnica del circuito integrado INA122

<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Ina122>

## [26] MAESTRO

2016 Interruptor termo magnético SICA 2X15Amperios. Consulta 30 de mayo del 2016

<http://www.maestro.com.pe/productos/electricidad/interruptor-termomagnetico-15-a>

## [27] SICA

2016 Hoja técnica del interruptor termo magnético SICALimit 15A. Consulta 30 de mayo del 2016

<http://sicaelec.com/catalogo/producto/189-1268-sicalimit-15a>

## [28] PLC CITY

2018 6EP1333-4BA00 Siemens PM 1507 24 V/8 A STABILIZED POWER SUPPLY FOR Siemens S7-1500 INPUT: 120/230 V AC OUTPUT: 24 V/8 A DC. Consulta 02 de octubre del 2018

<https://www.plc-city.com/shop/es/siemens-simatic-s7-1500-power-supplies/6ep1333-4ba00.html>

## [29] PLC CITY

2018 6ES7 511-1AK01-0AB0 Siemens S7-1500, CPU 1511-1 PN. Consulta 02 de octubre del 2018

<https://www.plc-city.com/shop/es/siemens-simatic-s7-1500-cpu/6es7511-1ak01-0ab0.html>

## [30] PLC CITY

2018 6ES7 523-1BL00-0AA0 Siemens S7-1500 DIGITAL IN-/OUTPUT MODULE, DI 16X24VDC, DO 16X24VDC. Consulta 02 de octubre del 2018

<https://www.plc-city.com/shop/es/siemens-simatic-s7-1500-digital-modules/6es7523-1bl00-0aa0.html>



## [31] PLC CITY

2018 6ES7 531-7KF00-0AB0 Siemens S7-1500, ANALOG INPUT MODULE AI 8 X U/I/RTD/TC. Consulta 02 de octubre del 2018  
<https://www.plc-city.com/shop/es/siemens-simatic-s7-1500-analog-modules/6es7531-7kf00-0ab0.html>

## [32] PLC CITY

2018 6ES7 552-1AA00-0AB0 Siemens S7-1500, TM TIMER DIDQ 16X24V TIME BASED DIGITAL INPUTS AND OUTPUTS MAX. 8DI, 16DQ MAX. Consulta 02 de Octubre del 2018  
<https://www.plc-city.com/shop/es/siemens-simatic-s7-1500-function-modules/6es7552-1aa00-0ab0.html>

## [33] PLC CITY

2018 6AV6 647-0AH11-3AX0 Siemens HMI KP300 BASIC MONO PN, BASIC PANEL, KEY OPERATION, 3" FSTN LCD DISPLAY. Consulta 02 de octubre del 2018  
<https://www.plc-city.com/shop/es/siemens-simatic-hmi-basic-panels-1st-generation/6av6647-0ah11-3ax0.html>

## [34] SIEMENS

2018 Advanced Controllers S7-1500. Consulta 02 de octubre del 2018  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/us/Catalog/Products/10204208?tree=CatalogTree>

## [35] SIEMENS

2018 SIMATIC S7-1500, CPU 1511T-1 PN. Consulta 02 de octubre del 2018  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/us/Catalog/Product/6ES75111TK010AB0>

## [36] PETERSIME

2016 Planta de incubación REDONDOS S.A. Consulta 05 de abril del 2016  
<https://www.petersime.com/es/casos/redondos-sa-peru-celebra-la-apertura-de-una-nueva-planta-de-incubacion/>

## [37] REDONDOS

2016 Planta de incubación REDONDOS S.A. Consulta 05 de abril del 2016  
<http://www.redondos.com.pe/nosotros/>

[38] HEBEI AIEN METAL PRODUCTS

- 2016 Clasificadora de huevos AIEN5400. Consulta 15 de abril del 2016  
[https://es.made-in-china.com/co\\_aienmetal/product\\_Weight-Grader-Sorting-Egg-Grading-Machine\\_esyroeyru.html](https://es.made-in-china.com/co_aienmetal/product_Weight-Grader-Sorting-Egg-Grading-Machine_esyroeyru.html)

[39] LOGICBUS

- 2019 Vida útil de los equipos industriales dentro de una planta. Consulta 10 de agosto del 2019  
<https://www.logicbus.com.mx/Vida-util-equipos.php>

