

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**DISEÑO DE SISTEMA MECATRÓNICO PARA EL CONTROL
DE CALIDAD DE ENVASES DE EMBUTIDOS UTILIZANDO
VISION POR COMPUTADORA**

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

Ismael Masharo Vargas Quispe

ASESOR: MSc. Francisco Fabián Cuéllar Córdova

Lima, diciembre del 2018



A mi familia.

A mi madre, mi abuela y mis hermanas.

Gracias por todo su apoyo.

RESUMEN

El presente documento propone el diseño de un sistema mecatrónico para el control de calidad de jamonadas al final de su línea de producción aplicando visión por computadora. El sistema diseñado se ubicará al final de la línea de producción de una empresa de embutidos peruana y abarca el ordenamiento de envases, el control de calidad a través de un sistema de visión por computadora y un sistema de clasificación encargado de rechazar los productos etiquetados como defectuosos según el algoritmo de visión.

El ordenamiento de envases permitirá su disposición secuencial a lo largo de una faja transportadora y el giro de estos de manera que sea visible la cara libre de etiquetas. Un servomotor en la entrada separa los grupos de seis envases en dos filas de tres. Topes transversales disponen de los envases reordenándolos uno tras otro. Una cuña permite voltear el producto que es guiado al área de visión por topes longitudinales.

La captura de la imagen ocurre a la llegada del envase al sistema de visión. Un sensor a la entrada activa el disparo de la cámara. Se realiza el preprocesamiento a la imagen y sobre esta se extraen las características de interés como el color, puntos presentes, mordeduras, o productos ausentes.

Finalmente, un sensor de presencia ubicado en la etapa de rechazo envía la señal de control que en base al resultado del algoritmo de visión según la etiqueta que recibe el producto se dispone a retirarlo de la faja en caso sea considerado como defectuoso.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	3
CAPITULO 1: MARCO DE REFERENCIA.....	4
1.1. Marco Tecnológico.....	4
1.1.1. Sistemas de ordenamiento	4
1.1.2. Sistemas de giro.....	7
1.1.3. Cámaras para visión artificial	10
1.1.4. Algoritmo para el control de calidad de alimentos	12
1.2. Marco Teórico	14
1.2.1. Elementos de visión artificial	14
1.2.2. Parámetros fundamentales para un sistema de visión	17
1.3. Marco Metodológico	18
CAPITULO 2: DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO.....	20
2.1. Requerimientos del Sistema	20
2.1.1. Estructura de funciones	22
2.1.2. Matriz morfológica	25
2.1.3. Conceptos solución.....	29
2.1.4. Evaluación técnico-económica	33
2.2. Diseño del Sistema Mecánico	35
2.2.1. Sistema de ordenamiento.....	36
2.2.2. Sistema de visión	41
2.2.3. Sistema de rechazo	42
2.3. Diseño del Sistema Electrónico.....	43
2.3.1. Módulo de sensores	43
2.3.2. Módulo de actuadores.....	44
2.3.3. Diagramas esquemáticos	46
2.4. Diseño del Sistema de Visión.....	48
2.4.1. Cámara.....	48
2.4.2. Lentes	51
2.4.3. Iluminación.....	52
2.5. Diseño del Sistema de Control	54
2.5.1. Ordenamiento	55
2.5.2. Visión	56
2.5.3. Rechazo	58
CAPITULO 3: SIMULACIONES Y RESULTADOS	59
3.1. Prueba de concepto Ordenamiento 3-1.....	59
3.2. Algoritmo de Visión.....	60
CAPITULO 4: PLANOS Y COSTOS	65
4.1. Relación de planos.....	65
4.2. Costos	66
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
5.1. Conclusiones	67
5.2. Recomendaciones.....	68
BIBLIOGRAFÍA.....	69

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Secuencia de ordenamiento C-Trak LTD.....	4
Figura 1.2	Secuencia de ordenamiento de JentonAriana.	4
Figura 1.3	Ordenamiento Bafu.....	5
Figura 1.4	Ordenamiento Feed Packing Line.	5
Figura 1.5	Secuencia de giro Auto Flip Conveyor.	7
Figura 1.6	Secuencia de giro ETI Flipper Conveyor.	7
Figura 1.7	Secuencia de giro Emerald Case Flipper.	8
Figura 1.8	Secuencia de giro Guided Flip.	8
Figura 1.9	Giro por desnivel.	9
Figura 1.10	Sensores CCD y CMOS.	10
Figura 1.11	Tipos de barrido de una cámara.....	11
Figura 1.12	Errores en envases de hot dog.	12
Figura 1.13	Reconocimiento de hamburguesas por centroide.	12
Figura 1.14	Centroide de chirimoya.	13
Figura 1.15	Procesamiento y segmentación de imagen.	13
Figura 1.16	Técnicas de iluminación.	14
Figura 1.17	Efecto de filtros digitales.....	15
Figura 1.18	Características y métricas de un hot dog.	16
Figura 1.19	Reconocimiento de envases.....	16
Figura 1.20	Parámetros fundamentales para un sistema de visión.	18
Figura 1.21	Metodología VDI 2221.....	19
Figura 2.1	Black box del sistema de clasificación de envases.....	22
Figura 2.2	Secuencia de operaciones.	23
Figura 2.3	Estructura de funciones del sistema.....	24
Figura 2.4	Concepto solución 1.	29
Figura 2.5	Concepto solución 2.	31
Figura 2.6	Concepto solución 3.	32
Figura 2.7	Diagrama de evaluación técnico-económico.....	34
Figura 2.8	Sistema integrado por etapas.	35
Figura 2.9	Sistema de ordenamiento 6 a 3 (a). Detalle del tope oscilante (b).	36
Figura 2.10	Secuencia de ordenamiento 6 a 3.	37
Figura 2.11	DCL de un envase de jamonada.	37
Figura 2.12	Ordenamiento de los topes transversales.....	39
Figura 2.13	DCL del tope transversal.	40
Figura 2.14	Elementos de giro y guía de envases.	41
Figura 2.15	Esquema de la estructura de soporte para el sistema de visión.	42
Figura 2.16	Esquema de la disposición del sistema de rechazo.	42
Figura 2.17	Esquema de conexiones de los componentes electrónicos del sistema.	43
Figura 2.18	Esquemático del circuito de potencia.	46
Figura 2.19	Esquemático correspondiente a los sensores de ultrasonido.	47
Figura 2.20	Conexión entre dispositivos.....	47
Figura 2.21	Relación entre el tiempo de exposición y FPS.	50
Figura 2.22	Parámetros del sistema de visión.....	52
Figura 2.23	Diagrama de flujo del sistema mecatrónico.	54
Figura 2.24	Diagrama de flujo del ordenamiento de envases.	55
Figura 2.25	Diagrama de flujo para el procesamiento de la imagen.....	57
Figura 2.26	Diagrama de flujo del rechazo de envases.....	58
Figura 3.1	Tope transversal fabricado por impresión 3D.	59
Figura 3.2	Ordenamiento unitario de los envases.	60

Figura 3.3 Imagen original RGB (izquierda). Imagen segmentada HSV (derecha).	61
Figura 3.4 Imagen erosionada (a). Máscara binaria (b). ROI (c).....	62
Figura 3.5 Defectos de puntos (a) y mordeduras (b).....	62
Figura 3.6 Umbralización (a). Detección de fallas (b).....	63
Figura 3.7 Imagen original (a). Línea detectada (b).	64



INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Características de sistemas de ordenamiento comerciales.....	6
Tabla 1.2	Características de sistemas de giro comerciales.....	9
Tabla 2.1	Matriz morfológica.	25
Tabla 2.2	Evaluación técnica.	33
Tabla 2.3	Evaluación económica.	33
Tabla 2.4	Datos técnicos del sensor de ultrasonido.	44
Tabla 2.5	Datos técnicos del servomotor.	45
Tabla 2.6	Datos de actuadores eléctricos lineales.	46
Tabla 2.7	Características de la cámara.	50
Tabla 2.8	Características de la óptica.	51
Tabla 2.9	Características de la iluminación.	53
Tabla 4.1	Lista de planos del sistema.....	65
Tabla 4.2	Costos del sistema.	66



INTRODUCCIÓN

Desde hace una década la producción de embutidos a nivel nacional ha ido en ascenso, con un incremento del 47% en el periodo comprendido entre los años 2007 y 2016 [1], siendo el hot dog y la jamonada los productos embutidos estrella con un 49% y 21% de participación a finales del 2016 respectivamente. Se evidencia el potencial crecimiento de este sector si se repara además que en cuanto a región somos el país que menos embutidos consume con 2.5 kg per cápita anual [1].

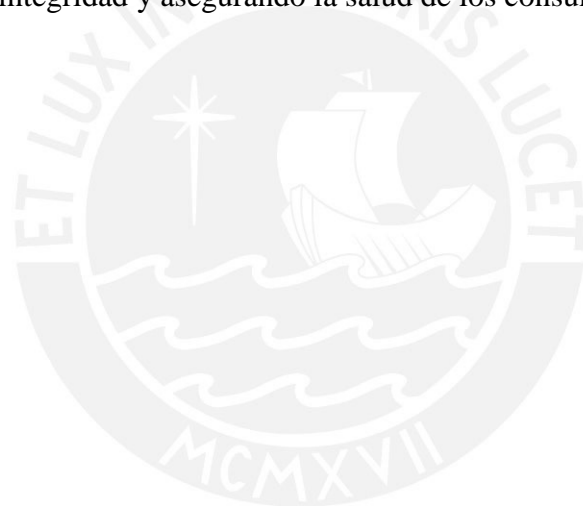
Herramientas tecnológicas para la producción de embutidos han sido adquiridas por empresas del rubro para hacer frente a la creciente demanda. Sin embargo, el final de línea de producción es una etapa que no ha sido integrada eficazmente siendo el problema central el deficiente control de calidad de productos cárnicos. Este hecho se refleja en productos faltantes y sobrantes en envases, o la no conformidad en cuanto a peso.

La explicación a estos errores se atribuye a un deficiente control de calidad que se rige por procedimientos no estandarizados en los que la decisión final para aprobar o rechazar un producto la toma un operario de manera subjetiva. La fatiga física se presenta como agravante en la aprobación de productos defectuosos si se considera además que la velocidad de alimentación de los envases para ser dispuestos en cajas supera la velocidad con la que un operario puede discernir de manera apropiada la conformidad del producto.

Las consecuencias son las pérdidas económicas por alto porcentaje de devolución, paradas de proceso debido a acumulación de productos o reclamos por compensación a causa de trastornos musculoesqueléticos (MSD) [2], así como costos internos y externos como la reinspección del producto, acciones correctivas, actualización de facturaciones, tiempos muertos por operaciones manuales, retiro de productos, gastos de garantías, entre otros [4].

Las tecnologías con las que se cuenta para la inspección al final de la línea de producción van desde verificadores de peso en banda, detectores de metales [5] hasta herramientas más sofisticadas como sistemas de visión [6]. Sin embargo, no contemplan la distribución del producto durante su flujo que a falta de un orden dificulta el proceso de inspección.

A partir de las ideas expuestas la presente tesis tiene por propósito mejorar el proceso de control de calidad de envases de jamonadas al final de la línea de producción a través del desarrollo de un sistema mecatrónico, automatización que permitirá disminuir el porcentaje de devoluciones. El desarrollo de este sistema representa una mejora en la situación actual del sector embutidos al garantizar la calidad del producto verificando su integridad y asegurando la salud de los consumidores.



OBJETIVOS

El objetivo principal del presente estudio diseñar un sistema de mecatrónico para el control de calidad de envases de jamonadas, para el que se presentan los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar un mecanismo de ordenamiento que permita la distribución secuencial de envases y el giro de estos para su inspección en la cara libre de etiquetas.
- Diseñar un sistema de visión que permita identificar productos aprobados y defectuoso.
- Diseñar un sistema de rechazo de envases defectuosos que permita eliminar aquellos que no fueron aprobados en la etapa de inspección.

Estos objetivos están orientados según la disposición del final de la línea de producción de una empresa de embutidos peruana. Una máquina alimentadora entrega los envases cada seis segundos en grupos de seis, tres en paralelo y los otros tres montados encima de los primeros [Figura 1a]; estos se trasladan a lo largo de una faja transportadora hasta llegar al operario que se encarga de realizar la inspección visual.

Para automatizar el control de calidad se propone reagrupar los empaques de manera secuencial [Figura 1b] y debido a que salen mostrando la cara superior en la que se encuentra la etiqueta se propone voltearlos para proceder con la etapa de visión por computadora [Figura 1c].

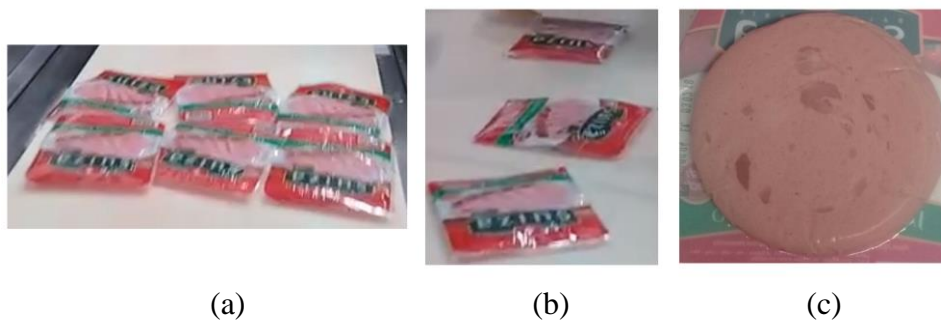


Figura 1 Configuración de envases.
Salida de 6 envases (a). Ordenamiento uno a uno (b). Envase cara frontal y trasera (c).

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 1: MARCO DE REFERENCIA

1.1. Marco Tecnológico

1.1.1. Sistemas de ordenamiento

El sistema Converge desarrollado por C-Track LTD [7] cuenta con actuadores neumáticos los cuales detienen los paquetes que vienen de la misma línea y los libera en secuencia. Un tope posicionado en medio de la faja los ordena en línea uno detrás de otro.

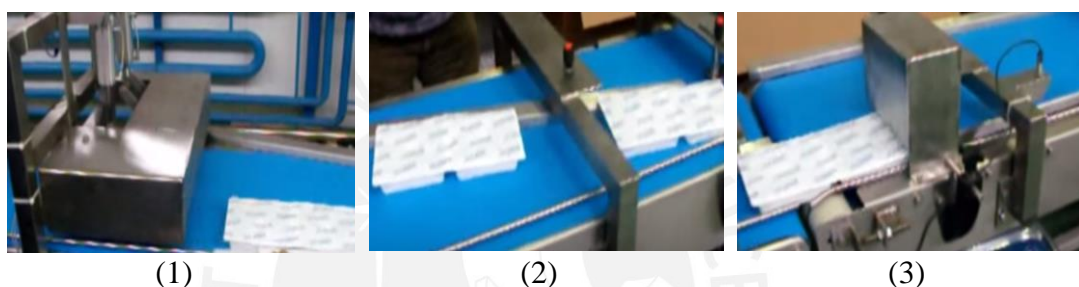


Figura 1.1 Secuencia de ordenamiento C-Trak LTD.
Liberación de empaques (1). Choque con el tope transversal (2). Orden en secuencia (3).
Fuente: C-Track LTD [7]

A diferencia del Converge, el JAR-CO570 [8] alimenta paquetes en fajas paralelas. Se activan secuencialmente cada una de ellas para concurrir en una sola faja pasando primero por topes en V que los posicionan en secuencia.



Figura 1.2 Secuencia de ordenamiento de JentonAriana.
Activación de fajas individuales (1). Pase por topes en V y salida en línea (2).
Fuente: JentonAriana [8]

La empresa Bafu [9] cuenta con un sistema en el que los empaques individuales son transportados sin algún orden en particular a lo largo de una faja en la que se posicionan topes transversales. Los envases chocan con los topes, que poseen un sistema de fajas incorporados para favorecer el flujo unidireccional del producto.



Figura 1.3 Ordenamiento Bafu.
 Productos sin orden tocan los topes transversales (1). Salida uno tras otro (2).
Fuente: Bafu [9]

El diseño propuesto por Kendy Automation [10] difiere en el de los anteriores en cuanto al principio de funcionamiento ya que en este caso se basa en centrifugación. Los productos caen en un depósito giratorio y por medio de fuerzas centrífugas son posicionados en la periferia. En esta zona un orificio permite el paso unitario de los productos.

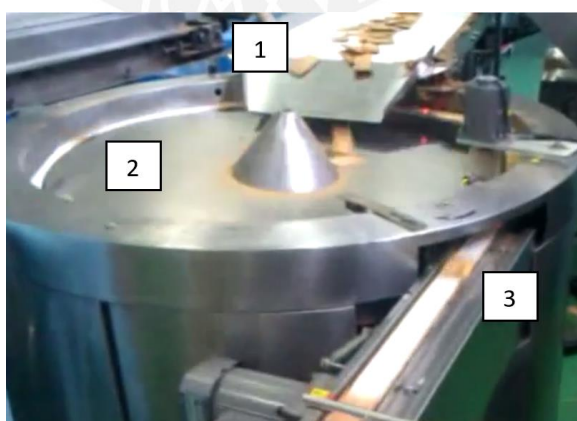






Figura 1.4 Ordenamiento Feed Packing Line.
 Caída de productos al recipiente giratorio (1). Giro de la máquina (2). Salida en línea (3).
Fuente: Kendy Automation [10]

La Tabla 1.1 compara características técnicas de los productos mencionados. El sistema de topes es una solución en común de la mayoría de las propuestas. Bafu presenta una solución eficiente para el flujo de productos desordenados, sin embargo, el sistema a solucionar entrega productos con un orden inicial por lo que podría aprovecharse la propuesta de C-Track o JentonAriana. De estas, la primera se presenta como solución eficiente ya que no requiere de fajas para la alimentación independiente de productos.

En cuanto a patentes los sistemas elaborados se basan en el ordenamiento de empaques análogo al principio utilizado por JentonArena, considerando dos fajas una alimentadora y el traslado de los empaques ordenados en otra [11] [12]. Las variables de interés son la velocidad, de la faja y de ordenamiento, así como el espaciado entre productos.

Tabla 1.1 Características de sistemas de ordenamiento comerciales.

Fuente: [7], [8], [9], [10]

Equipo	Converge	JAR CO-570	Packing line	FWC350
Fabricante	C-Trak LTD	JentonAriana	Kendy Automation	Bafu
Actuador	Neumático	Eléctrico	Eléctrico	Eléctrico
Diseño				
Dimensión (l x a x al)	90x60x100 cm	146x81x85 cm	230x140xajustable	610x95x150 cm
Peso	No especifica	No especifica	275-300 kg	1000 kg
Consumo	No especifica	No especifica	2kW	4.3 kW

1.1.2. Sistemas de giro

El sistema Auto Flip Conveyor [13] está diseñado de manera análoga a un molino en el que el mecanismo de giro está regido por actuadores eléctricos. Unas ranuras capturan los envases provenientes de una faja transportadora. El molino gira y con él los productos, que continúan luego su recorrido.

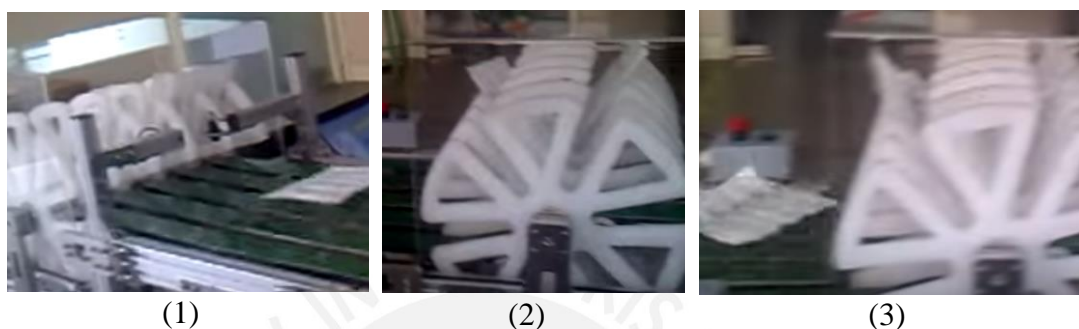


Figura 1.5 Secuencia de giro Auto Flip Conveyor.

Avance a lo largo de la faja transportadora (1). Captura de los empaques en el molino (2). Giro del producto (3). **Fuente:** Adept Engineers [13]

La empresa ETI [14] propone un sistema de giro basado en el transporte del producto a gran velocidad el cual impacta sobre una superficie inclinada cuya forma propicia el giro del producto.

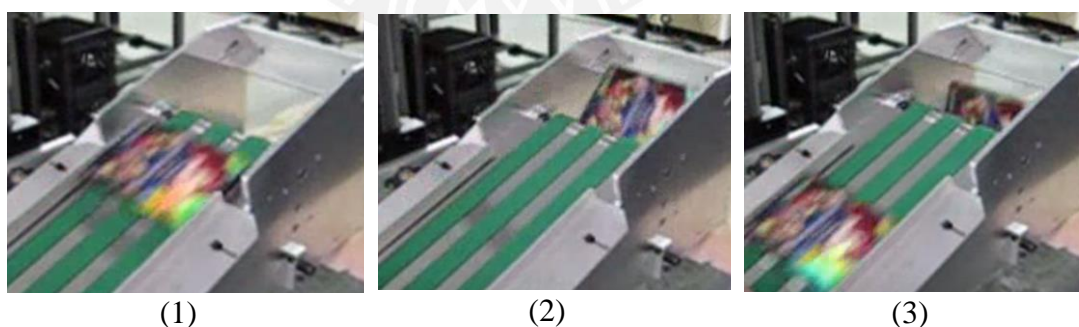


Figura 1.6 Secuencia de giro ETI Flipper Conveyor.

Producto a velocidad (1). Impacto sobre una superficie (2). Caída sobre superficie inclinada (3). **Fuente:** ETI [14]

El mecanismo elaborado por Emerald Automation [15] se encarga de girar cajas mediante barras rotativas. Una vez que se recibe la caja se mantiene fija mediante un tope, se gira la base que la sostiene cayendo en la base opuesta.

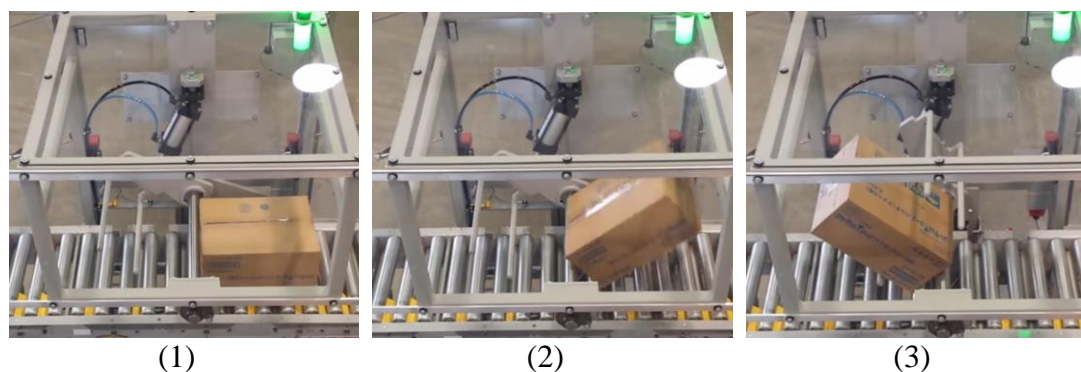


Figura 1.7 Secuencia de giro Emerald Case Flipper. Caja posicionada sobre barras paralelas (1). Elevación el producto (2). Giro del producto (3). **Fuente:** Emerald [15]

Shuttleworth propone el sistema Guided Flip [16] que utiliza dos guías para ocasionar el giro. La primera es propia de la faja transportadora mientras que la segunda son rodillos elevados sobre la faja que logran inclinar el producto. Un tope transversal propicia el giro final.

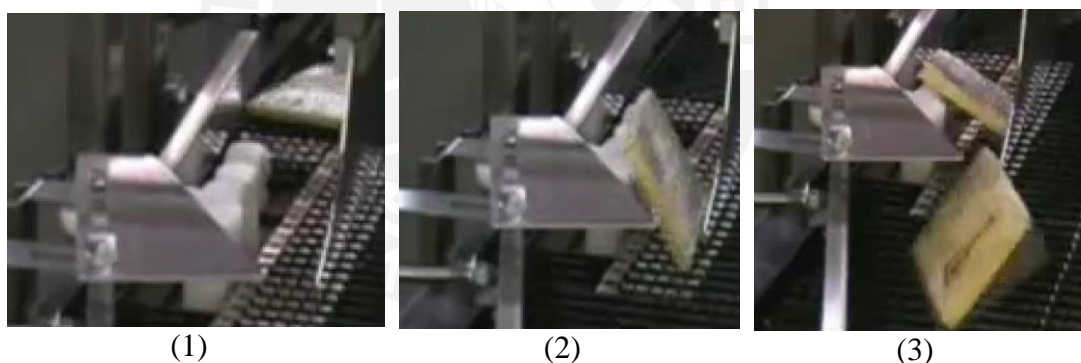

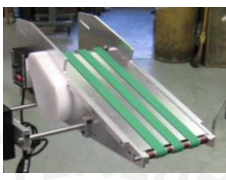
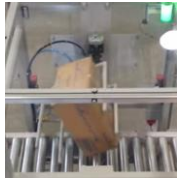



Figura 1.8 Secuencia de giro Guided Flip. Transporte por faja (1). Elevación por rodillos (2). Choque con superficie transversal (3). **Fuente:** Shuttleworth [16]

La Tabla 1.2 compara las características técnicas de los productos de giro mencionados. Analizando las propuestas el sistema de ETI presenta un inconveniente al basarse en el impacto del producto que podría dañar su integridad. Las propuestas de giro de Adept y Emerald son convenientes para su integración en el sistema de faja transportadora, así como el sistema de Shuttleworth, el cual propone el giro y transporte independiente de productos con dimensiones semejantes a los del presente estudio.

Tabla 1.2 Características de sistemas de giro comerciales.

Fuente: [13], [14] [15], [16]

Equipo	Auto flip conveyor	Flipper Conveyor	Case Flipper	Guided flip conveyor
Fabricante	Adept	ETI	Emerald	Shuttleworth
Actuadores	Eléctricos	Eléctricos	Eléctricos	Eléctricos
Giro	Tipo molino	Impacto	Tipo molino	Doble faja
Transporte y giro	Integrados	Independiente	Integrados	Independiente
Controlador	No especifica	No especifica	Allan Bradley	No especifica
Diseño				
Velocidad	30 flips/min	150 flips/min	10 flips/min	De la faja
Dimensión	30Rx40 cm	60x25x30 cm	175x99x167 cm	No especifica

Las patentes [17] sugieren sistemas en los que el giro lo produce un desnivel en la superficie de transporte [Figura 1.9]. Analizando estos sistemas se observa que los mecanismos de movimiento paralelo sobrecargan el diseño, sin embargo, el giro por desnivel es análogo al de giro por topes en los sistemas comerciales.

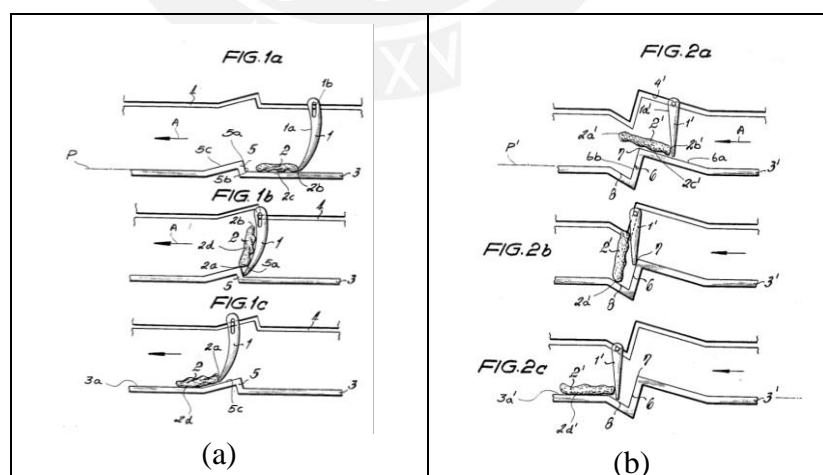


Figura 1.9 Giro por desnivel.
Fuente: Meat-turning device [17]

1.1.3. Cámaras para visión artificial

Las cámaras para visión artificial cuentan con mejores características que las cámaras convencionales como una mayor velocidad de cuadro - fotogramas - por segundo (FPS) para capturar las imágenes de objetos en movimiento [18].

Son dos los tipos de sensores utilizados actualmente para la adquisición de imágenes. Los **sensores CCD** (Charge Coupled Device) destacan por su alta calidad de imagen, poseen salidas analógicas por lo que necesitan de un módulo de digitalización (Frame Grabber). Los **sensores CMOS** por otra parte poseen salidas digitales, alta velocidad de transmisión de datos, menor consumo eléctrico y menor precio. En la Figura 1.10 se muestra el tipo de salida de cada sensor.

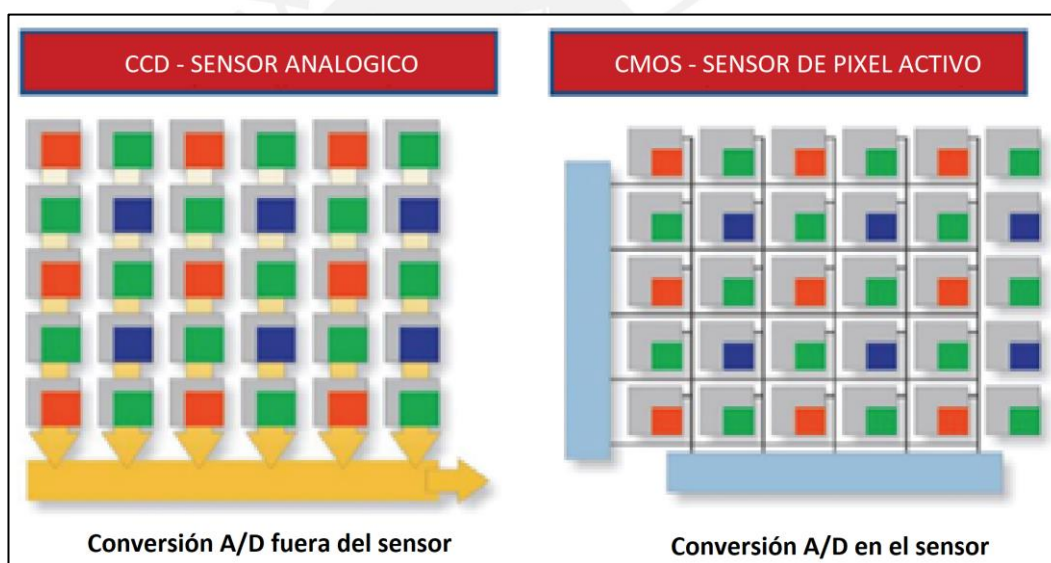


Figura 1.10 Sensores CCD y CMOS.
Fuente: Infaimon [18]

En cuanto a la disposición física del sensor se tienen las **cámaras matriciales** en las que el sensor de la cámara está formado por una matriz de píxeles, y las **cámaras lineales** que construyen la imagen por un proceso de barrido línea por línea para luego integrar la imagen completa ofreciendo una mayor resolución. Estas son empleadas para la inspección de elementos extensos cuyas dimensiones exceden las que puede contener el cuadro de una imagen como ocurre en la producción de telas o vidrios.

El principio para la adquisición puede ser por medio de **barrido entrelazado** o por **barrido progresivo**. El primero se basa en la adquisición por un barrido primario a lo largo las filas impares de los píxeles de una imagen y el posterior barrido secundario por las filas pares. El resultado en una imagen en movimiento es el de un efecto de arrastre. El escaneo progresivo explora de manera secuencial los píxeles de la imagen lo que permite la captura de objetos en movimiento a una mayor resolución [Figura 1.11].



Figura 1.11 Tipos de barrido de una cámara.
Barrido entrelazado (izquierda). Barrido progresivo (derecha). **Fuente:** Infaimon [18]

Los **protocolos de comunicación** para cámaras analógicas suelen emplear tecnologías de cable coaxial o de fibra óptica. En cuanto a las cámaras digitales se cuenta con una variedad de protocolos como CameraLink, Gigabit, Ethernet, FireWire (IEEE 1394) y USB.

De las características mencionadas, las que debe cumplir la cámara a utilizar para la problemática a resolver deben ser el empleo de sensores CMOS ya que presenta mayores ventajas frente a la tecnología CCD. Las cámaras matriciales cumplen eficientemente la función de inspección debido a que los envases presentan dimensiones que pueden ser contenidas en el cuadro de la cámara. En cuanto al tipo de barrido se prefiere uno progresivo pues permite evitar el efecto de desenfoque por movimiento. El protocolo de comunicación USB es ampliamente usado por su alta velocidad de transmisión de datos y porque la mayoría de las computadoras cuenta con puertos de este tipo.

1.1.4. Algoritmo para el control de calidad de alimentos

El modelo propuesto por S. Chen [19] para el reconocimiento de hot dogs toma en consideración el diámetro, longitud, curvatura o burbujas de aire en el envase plástico. Una de las técnicas que utiliza es el método de bound boxing en el que se encierra el producto en un área mínima de manera que si se supera dicha área se pueden reconocer errores como curvatura del producto o aire en el envase.

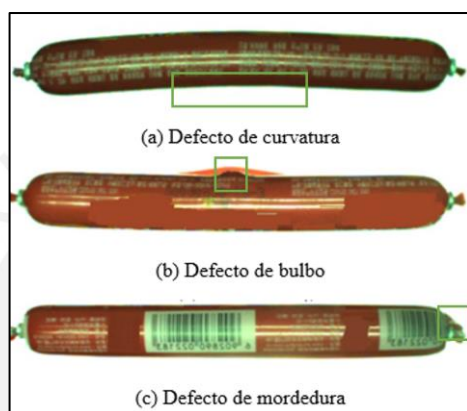


Figura 1.12 Errores en envases de hot dog.
Fuente: S. Chen [19]

Otros modelos asociados a la inspección visual de productos cárnicos es el desarrollado por B. Muhammedali que utilizan una forma modificada del algoritmo de Hough para el reconocimiento de hamburguesas [20]. Emplea métodos como la detección de bordes y detección de centroides para el reconocimiento del producto con forma circular.

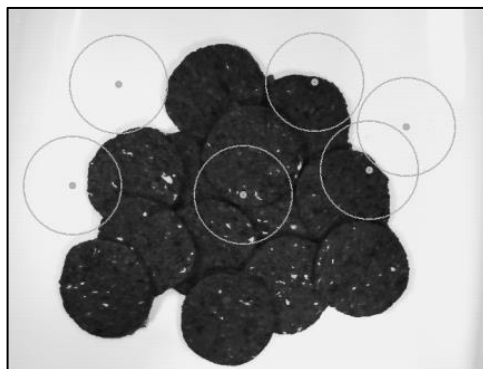


Figura 1.13 Reconocimiento de hamburguesas por centroide.
Fuente: B. Muhammedali [20]

Valdivia [21] desarrolla un sistema de visión para clasificar chirimoyas las cuales son transportadas a lo largo de una faja en movimiento. El método empleado se basa en las medidas del fruto. Utiliza algoritmos de procesamiento como ajuste de contraste y cierre, apertura y código de cadena para la segmentación (aislar objetos de una imagen). Para la programación e implementación del código emplea el lenguaje de alto nivel Python y la librería OpenCV.

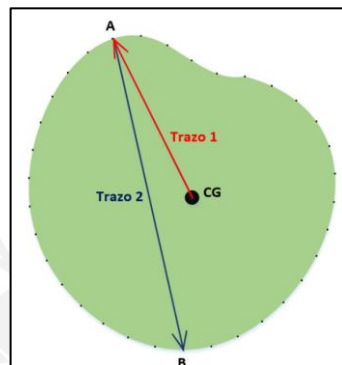


Figura 1.14 Centroide de chirimoya.

Fuente: Valdivia [21]

Un estudio sobre el control de pesos y tamaño de racimos de uva es realizado por Basilio [22]. Se utiliza una cámara monocromática debido a que no se realiza el estudio de calidad del fruto a nivel de color. Para el reconocimiento del peso y tamaño propone una solución basada en redes neuronales de manera que se pueda entrenar a la red para que realice la toma de decisiones a partir de la base de datos generada con los productos aprobados y defectuosos. El sistema está pensado para la adquisición de imágenes a partir del fruto en movimiento a lo largo de un sistema de faja transportadora.

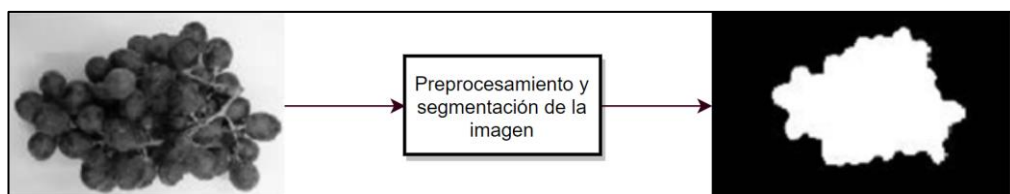


Figura 1.15 Procesamiento y segmentación de imagen.

Fuente: Basilio [22]

1.2. Marco Teórico

La visión artificial tiene como objetivo la deducción de propiedades de objetos o del entorno a partir de imágenes bidimensionales. Esta disciplina busca emular la visión humana para producir un efecto análogo en los computadores.

1.2.1. Elementos de visión artificial

Adquisición

Una computadora será capaz de reproducir este comportamiento a partir de una serie de etapas que inician con la **adquisición de la imagen** a partir de una o varias cámaras y un sistema de iluminación. Las **cámaras** cuentan con una serie de características como los FPS, tipo de barrido (entrelazado, progresivo), el tipo de sensor (CCD, CMOS) y su disposición física (matricial, lineal), y el protocolo de comunicación. El **sistema de iluminación** puede provenir de luz natural o artificial. Las **técnicas de iluminación** empleadas son iluminación de tipo frontal, por retroiluminación en la que la luz incide por debajo del objeto apuntando a la cámara, iluminación difusa tipo domo o coaxial para superficies muy brillantes, iluminación direccional para resaltar contrastes y detalles topográficos [23]. La disposición de luces para estas técnicas se detalla en la Figura 1.16.

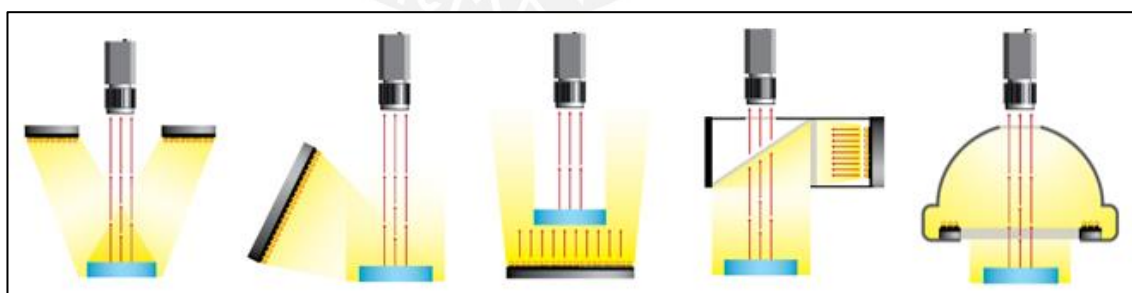


Figura 1.16 Técnicas de iluminación.

De izquierda a derecha: Iluminación frontal, lateral, por retroiluminación, difusa coaxial, difusa tipo domo. **Fuente:** Infaimon [18]

Preprocesamiento

Tiene como objetivo “limpiar” la imagen que presenta ruido por efectos inherentes al tipo de comunicación empleado, distorsión o desenfoque por el tipo de cámara o ausencia de un buen contraste entre el fondo y el objeto de estudio a causa de un

deficiente sistema de iluminación. Las técnicas empleadas para la limpieza de la imagen incluyen el uso de filtros digitales [24] que pueden ser pasabajos lineales (filtro promedio, filtro gaussiano) o no lineales (filtro mediano) para la eliminación del ruido y suavizado de la imagen, filtros pasa altos para el resalte de bordes (filtro laplaciano, sobel, prewit). En la Figura 1.17 se detallan los efectos del filtrado sobre una imagen.

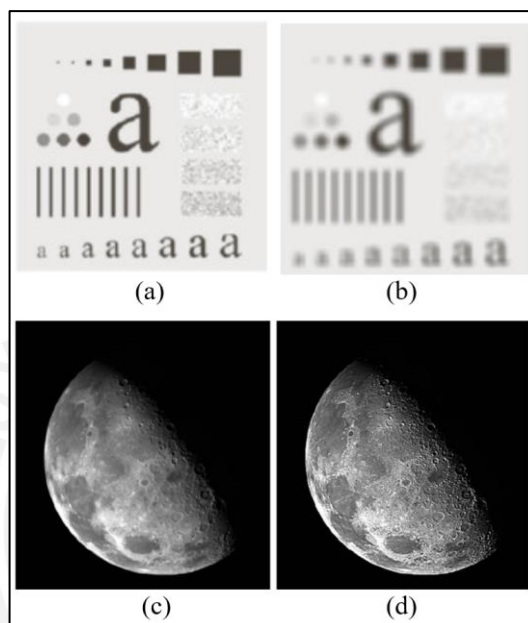


Figura 1.17 Efecto de filtros digitales.

Imágenes originales (a), (c). Suavizado con filtro pasabajo promedio (b). Realce de bordes con filtro pasaalto laplaciano (d). **Fuente:** Gonzalez [24]

Segmentación

El objetivo es etiquetar los objetos contenidos en la imagen distinguiéndolos de manera que los píxeles de un mismo elemento sean etiquetados con un código que represente al objeto de la imagen. Los algoritmos de segmentación se basan en discontinuidades del nivel de gris en el que cambios grandes en las intensidades de píxeles adyacentes representan un cambio de elemento, o la similitud de los niveles de gris que agrupa píxeles de intensidades similares de manera local [24].

Extracción de características

Una vez segmentada la imagen es necesario extraer datos que el computador pueda reconocer para la toma de decisiones a partir de la distinción de los elementos. Algunas

de estas características son la forma, el tamaño, bordes, textura, color. Esta etapa se puede ejemplificar con el trabajo realizado por S. Chen [19] que proponen la extracción de características como diámetro (D), la desviación ($d_{i,j}^k$) entre el contorno y el rectángulo mínimo que encierra el hot dog, o las regiones R_x de un hot dog.

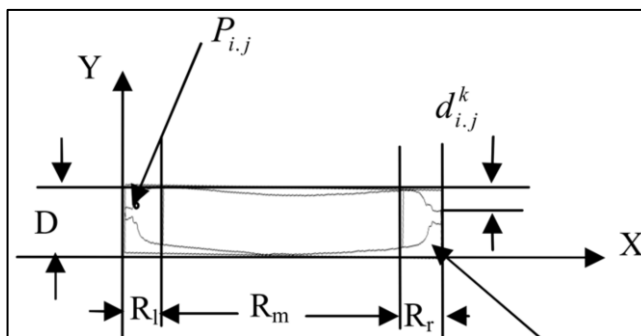


Figura 1.18 Características y métricas de un hot dog.

Fuente: S. Chen [19]

Reconocimiento e interpretación

Esta etapa tiene por fin la determinación de cuán semejante son las características de un objeto comparado con un modelo patrón. En el caso del control de calidad será por ejemplo el reconocimiento de productos aprobados o defectuosos según un modelo de productos aprobados y el posterior envío de órdenes para la activación de actuadores que permitan orientar al producto hacia la zona de descarte o aprobación.

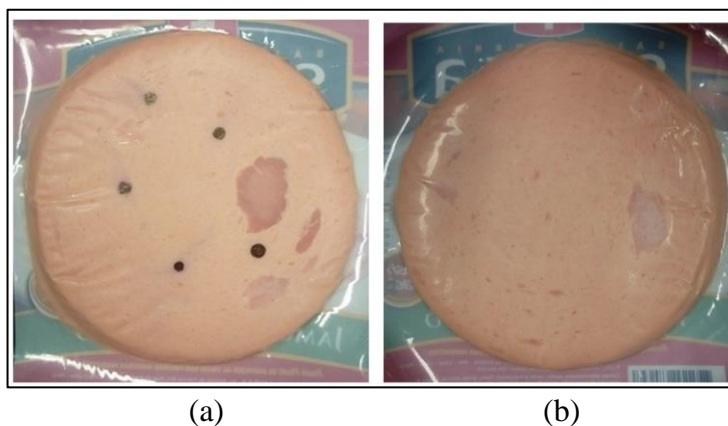


Figura 1.19 Reconocimiento de envases.
Envase defectuoso (a). Envase aprobado (b).

1.2.2. Parámetros fundamentales para un sistema de visión

Campo de Visión – Field of View (FOV)

Es el área total que la cámara capturará de la escena real. Los elementos físicos de un sistema de visión deben permitir la adquisición de una imagen de calidad capaz de ser procesada a un bajo costo computacional, es decir, que el tiempo de procesamiento sea el menor posible. Por esta razón, el objeto de interés debe abarcar el mayor porcentaje del campo de visión.

Distancia de trabajo – Working Distance (WD)

Distancia entre los lentes de la cámara y el objeto a capturar. Parámetro que depende de las características físicas del espacio de trabajo. Se trata de un requerimiento mecánico que considera el espacio para la disposición intermedia del sistema de iluminación y otros elementos propios de la aplicación.

Tamaño del sensor de la cámara

Dimensión horizontal del sensor en milímetros. Se toman como referencia la dimensión de un pixel individual expresado en mm/pixel y la resolución de la cámara. Una mayor resolución permite mapear elementos más pequeños del objeto real a una imagen digital. Asimismo, un sensor con pixeles de mayor dimensión capta mayor intensidad de luz.

Profundidad de campo – Depth of Field (DOF)

Se refiere a la profundidad máxima del objeto que puede mantenerse completamente enfocado. Es un parámetro que depende de los lentes utilizados y el espesor del objeto a capturar.

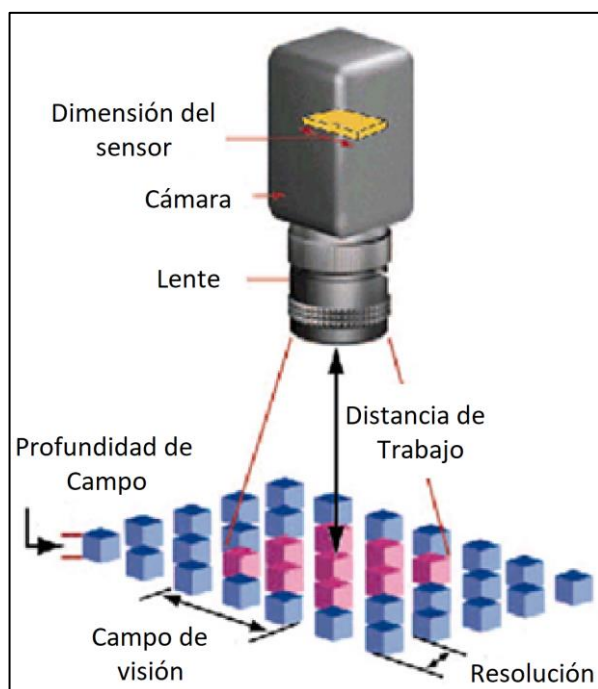


Figura 1.20 Parámetros fundamentales para un sistema de visión.

Fuente: aia Vision Online.

1.3. Marco Metodológico

La metodología de diseño utilizada para el desarrollo del sistema mecatrónico será la metodología alemana VDI 2221 denominada “Enfoque sistemático para el diseño de sistemas técnicos y productos” [27]. Esta metodología tiene por fin optimizar el proceso de diseño del producto. Su estructura consta de siete puntos [Figura. 1.21]. El primero de ellos se basa en la definición de las especificaciones, es decir, se debe definir y tener clara la tarea por realizar. El paso siguiente es el desarrollo de una estructura de funciones que permita especificar los bloques funcionales básicos que en conjunto hacen la solución. Se utilizan herramientas como matrices morfológicas para la búsqueda de principios solución y sus combinaciones para luego realizar conceptos de solución a partir de bosquejos de disposiciones físicas de los bloques funcionales. La elección del concepto óptimo se da a partir de un análisis técnico-económico. Con la lista de funciones definidas se procede a agruparlas en módulos o dominios como pueden ser el mecánico, electrónico, de control, visión, etc. De estos dominios se eligen aquellos más relevantes para la tarea a realizar y se desarrolla el diseño preliminar por módulos. El diseño final se basa en las consideraciones encontradas durante el diseño preliminar para terminar con la documentación final.

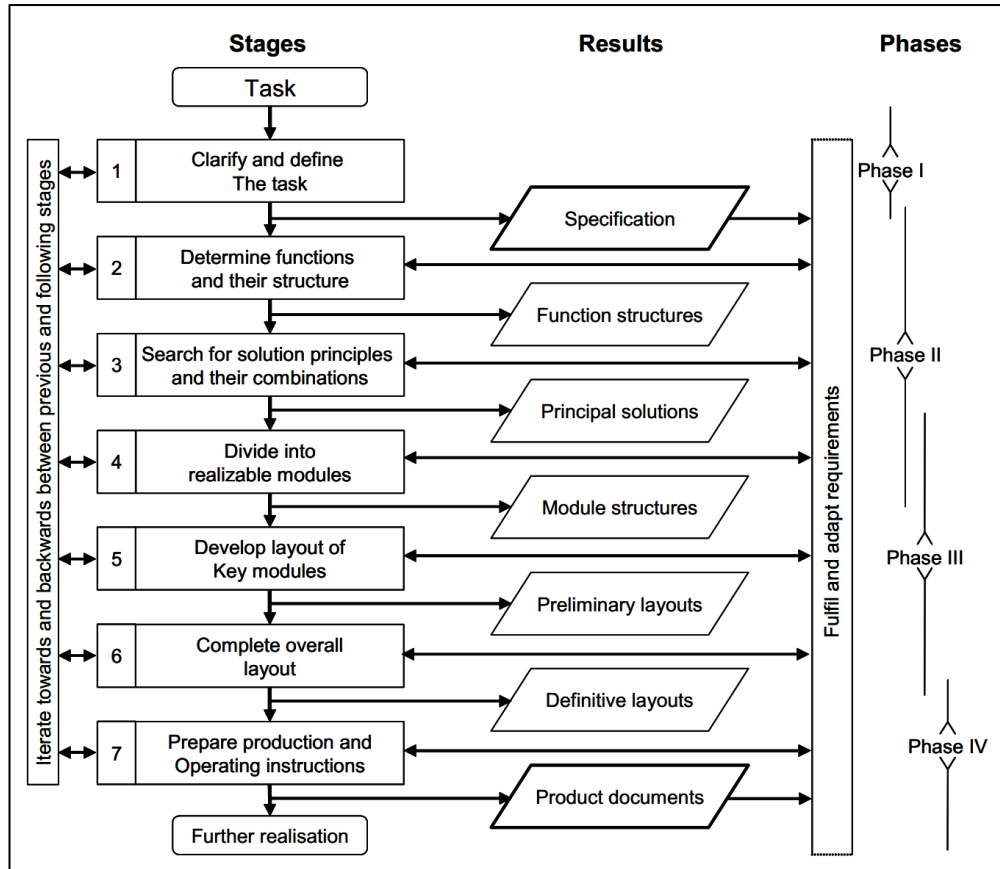


Figura 1.21 Metodología VDI 2221.
Fuente: The development of the guideline VDI 2221 [27]

CAPITULO 2: DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO

2.1. Requerimientos del Sistema

El sistema mecatrónico tiene como función principal realizar el control de calidad de envases de jamonadas para el que se presentan los siguientes requerimientos por dominio:

Requerimientos Mecánicos:

- Integración de la solución a una faja transportadora ya instalada de 1190x45cm.
- Los materiales en contacto con la faja serán de acero inoxidable AISI 316.
- Sistema de visión aislado del entorno.
- Dimensiones máximas: sistema de ordenamiento y giro de 100x60x20 cm, sistema de visión de 30x55x40 cm, sistema de rechazo de 20x55x95 cm.
- El sistema de rechazo por sus dimensiones se ubica fuera de la faja.

Requerimientos Electrónicos:

- Los subsistemas serán alimentados con 220VAC/60Hz.
- La detección de envases se realizará con sensores de ultrasonido.
- La cámara se comunicará con la computadora vía USB 3.0.
- No se contemplan tecnologías inalámbricas.
- Los actuadores serán de tipo industrial.

Requerimientos de Control:

- Se usará un controlador tipo PLC para el control de los sensores y actuadores.
- Las comunicaciones serán por medio de interfaz serial RS 485.
- La velocidad de la faja se mantiene constante a 25 cm/s y determina la velocidad de ordenamiento, clasificación y rechazo del producto.
- Señales de alerta y parada.
- Verificar la operatividad de la cámara.

Requerimientos de Visión:

El diseño de este sistema se realiza en base a los pasos propuestos por Homberg [28] los cuales buscan establecer de manera explícita cada uno de los requerimientos en los que trabajará el sistema de visión los cuales se detallan a continuación:

- **Tarea:** Inspección de calidad de envases de jamonadas. Las características por revisar son dimensiones, color, presencia de elementos.
- **Partes:** Envases individuales cuyas dimensiones son de 16 cm largo por 12 cm ancho. Forma circular de las jamonadas. No se aceptan elementos deformes.
- **Características:** Dimensiones, productos faltantes, manchas o mordeduras presentes.
- **Tolerancias:** Variación de ± 1 cm en las dimensiones.
- **Presentación de los elementos:** Movimiento continuo a lo largo de la faja. Un solo elemento por inspeccionar a la vez. No hay overlapping (superposición de los elementos).
- **Performance:** Ciclo de inspección cada segundo. El máximo tiempo de procesamiento es de 0.5 segundos. El sensor a la entrada del sistema de visión envía la señal de captura de la imagen.
- **Interfaces:** Serial, digital I/O para la señal de control a ser utilizada por el PLC para la disposición del actuador de rechazo. Protocolo USB 3.0 para la comunicación entre la cámara y la computadora.
- **Espacio de instalación:** Posibilidad de alinear la iluminación y la cámara.
- **Ambiente:** Se requiere un sistema de iluminación para la inspección, la presencia de polvo está controlada al ser una planta que procesa alimentos, la temperatura de la faja es de 5 grados, se plantea la protección del sistema frente a la presencia de operarios y a estos contra el sistema de luces, se cuenta con tomas de 220 V.

2.1.1. Estructura de funciones

Las funciones que debe realizar el sistema mecatrónico pueden representarse como una caja negra, abstracción que permite aislar las entradas, salidas y el proceso que se desea realizar.

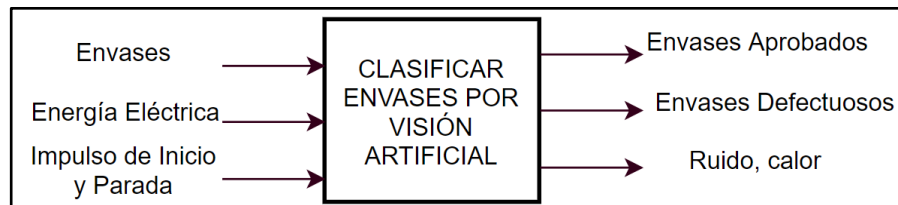


Figura 2.1 Black box del sistema de clasificación de envases.

Fuente: Elaboración propia.

La materia prima de entrada son los envases de jamonadas que mediante mecanismos serán ordenados y girados de manera que lleguen al sistema de visión dispuesto uno tras otro con una separación de 30 cm entre envases moviéndose a la velocidad de 25 cm/s propia de la faja. Se tomará en consideración estos parámetros para el diseño del sistema de visión. Las funciones por realizar son:

Ordenamiento del producto:

- Ordenamiento de 6 a 3.
- Ordenamiento de 6 a 1.
- Giro de los envases.

Clasificación mediante visión artificial:

- Asegurar flujo individual de envases a través del sistema de visión.
- Captura de imágenes de envases en el área de visión.
- Verificar tamaño, presencia de manchas, ausencia de elementos.
- Clasificar los envases como aprobados o rechazados.

Control:

- Control de actuadores de ordenamiento y rechazo.
- Control de la captura de imagen (sensor envía la señal de disparo).
- Control de la velocidad de la faja transportadora.

Organizando en secuencia las tareas a realizar se tiene el siguiente gráfico:

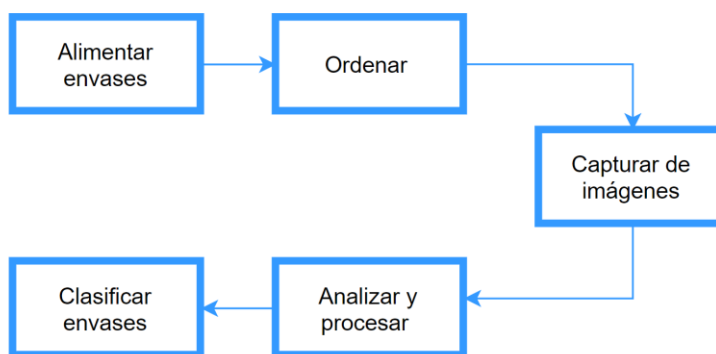


Figura 2.2 Secuencia de operaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Analizando las funciones de acuerdo con los dominios a los que pertenecen se presenta la estructura de funciones del sistema en la Figura 2.3.

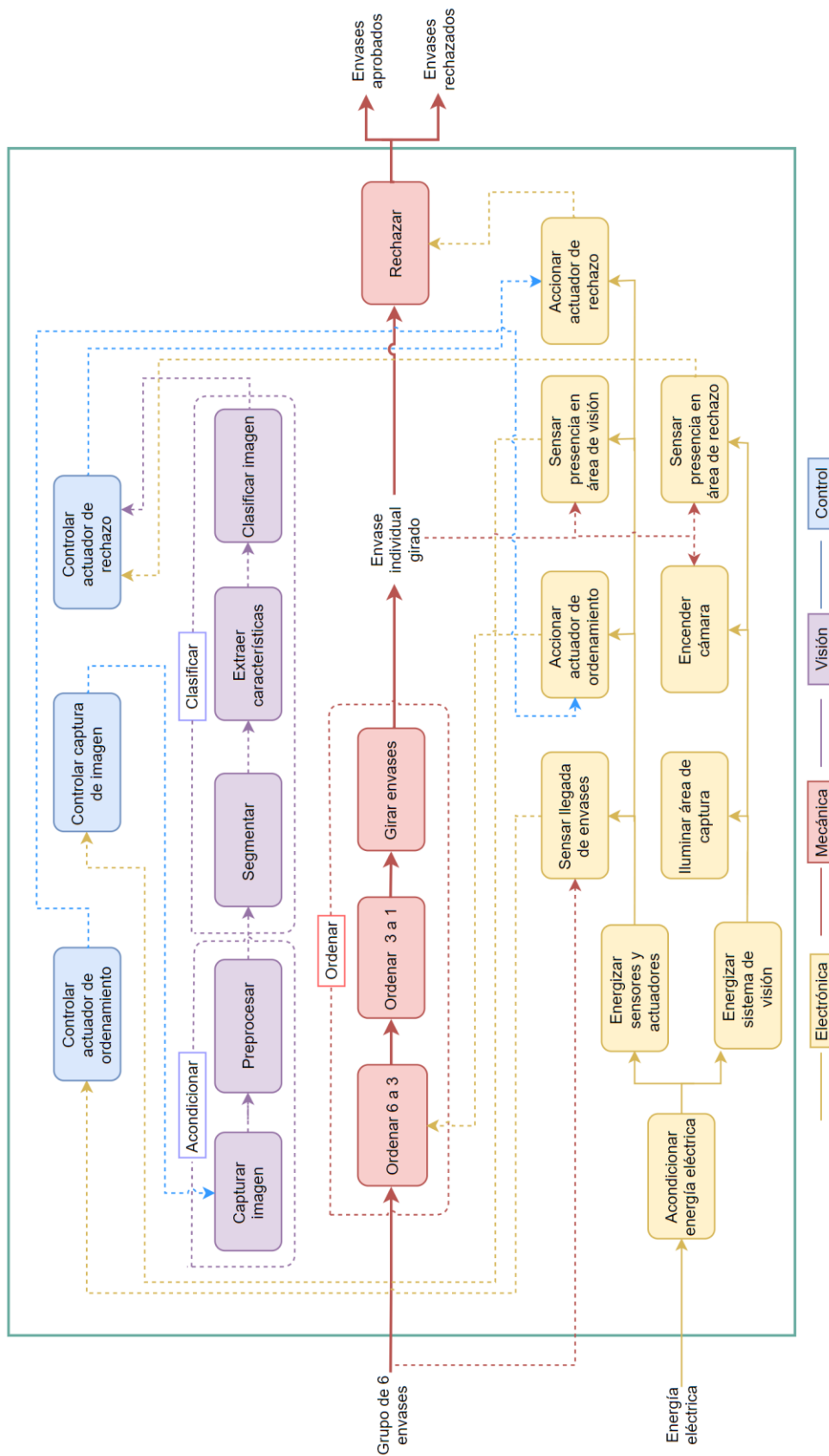








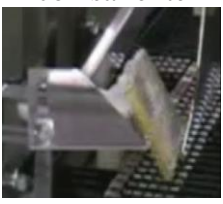
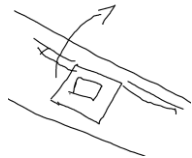
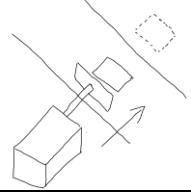







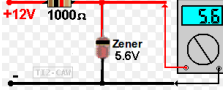









Figura 2.3 Estructura de funciones del sistema.
Fuente: Elaboración propia.






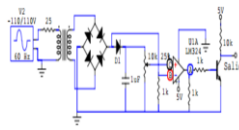





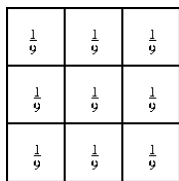
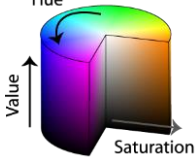
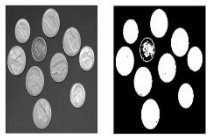
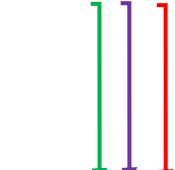

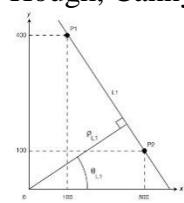
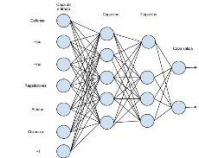

2.1.2. Matriz morfológica







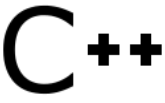
Se emplea la matriz morfológica de Zwicky la cual permite dividir una función general en funciones elementales y mostrar las soluciones en forma estructurada. Se pueden obtener muchas soluciones para un mismo problema, sin embargo, a partir de un análisis técnico económico se puede encontrar la solución óptima. Se presenta a continuación la matriz morfológica integrada.

Tabla 2.1 Matriz morfológica.
Fuente: Elaboración propia.

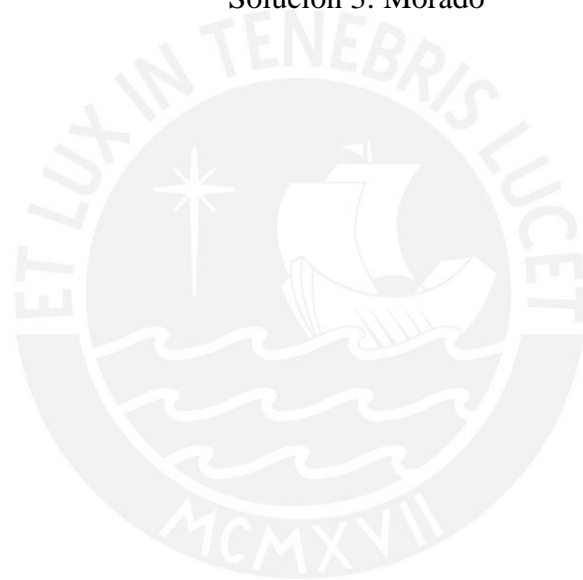
Dominio Mecánico				
Funciones	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	Concepto 4
Ordenar 6 a 3	Platos secuenciales 	Superficie oscilante 	Máquina centrífuga 	
Ordenar 3 a 1	Tope transversal giratorio 	Tope en V 	Platos secuenciales 	Tope trasversal estático 
Girar	Molino giratorio 	Tope estático con saliente 		
Rechazar	Plato giratorio 	Efecto de arrastre 		

Dominio Electrónico				
Funciones	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	Concepto 4
Energizar	<p>Grupo electrógeno</p> 	<p>Toma eléctrica</p> 		
Acondicionar Energía	<p>Puente de diodos</p> 	<p>Regulador lineal</p> 	<p>Fuente conmutada</p> 	<p>Regulador con diodo Zener</p> 
Sensor de envases	<p>Sensor LDR</p> 	<p>Sensor de presencia con PIR</p> 	<p>Sensor ultrasonido</p> 	
Accionar actuator de ordenamiento	<p>Motor - Servo</p> 	<p>Motor DC</p> 		
Accionar actuator de rechazo	<p>Cilindro neumático</p> 	<p>Cilindro eléctrico</p> 		
Iluminar	<p>LED</p> 	<p>Fluorescente</p> 		

Dominio de Control				
Funciones	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	Concepto 4
Controlar actuadores	Placa de desarrollo 	uC 	PLC 	PCB 
Controlar faja	Variador de velocidad 	Diseño de circuito 		
Interfaz controlador de actuadores	HMI 	PC 		
Dominio de Visión				
Funciones	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3	Concepto 4
Capturar imagen	Cámaras Raspberry 	Cámaras industriales 	Webcam 	
Pre procesar y segmentar	Filtros 	Espacio de colores 	Umbralización 	Combinación de técnicas 
Extraer características	Geométricas - Area - Centroide - Longitud -Etc,	Color - Intensidad - Discontinuidad - Similitud -Etc,		Combinación de técnicas 
Clasificar imagen	Hough, Canny 	Redes neuronales 	Blob detection 	

Hardware	Raspberry PI 	BeagleBone 	PC - Linux 	
Software (.exe)	Matlab 	Python 	Labview 	C++ 

Solución 1: Rojo
 Solución 2: Verde
 Solución 3: Morado



2.1.3. Conceptos solución

Concepto solución 1

El concepto de solución 1 [Figura 2.4] inicia con la alimentación de envases. Un sensor de presencia detecta la llegada para activar el actuador de entrada. Los envases no caen directamente a la faja transportadora, sino que caen a un conjunto de platillos que activados por un motor DC producen el giro secuencial de los productos y a la vez los separan. Atraviesan unos topes en V que permiten distribuirlos uno tras otro para atravesar el área de visión la cual está compuesta por una cámara embebida tipo raspberry, luces LED, y un sensor de presencia que detecta los envases y envía la señal de control para la captura de imágenes. Se encuentra cubierto por una carcasa para aislar la iluminación. A la salida se tiene un sensor de presencia que activa la señal de control junto con la respuesta del sistema de visión para aceptar o rechazar el envase activando en este último caso un pistón neumático que arrastra el envase hasta el área de productos defectuosos.

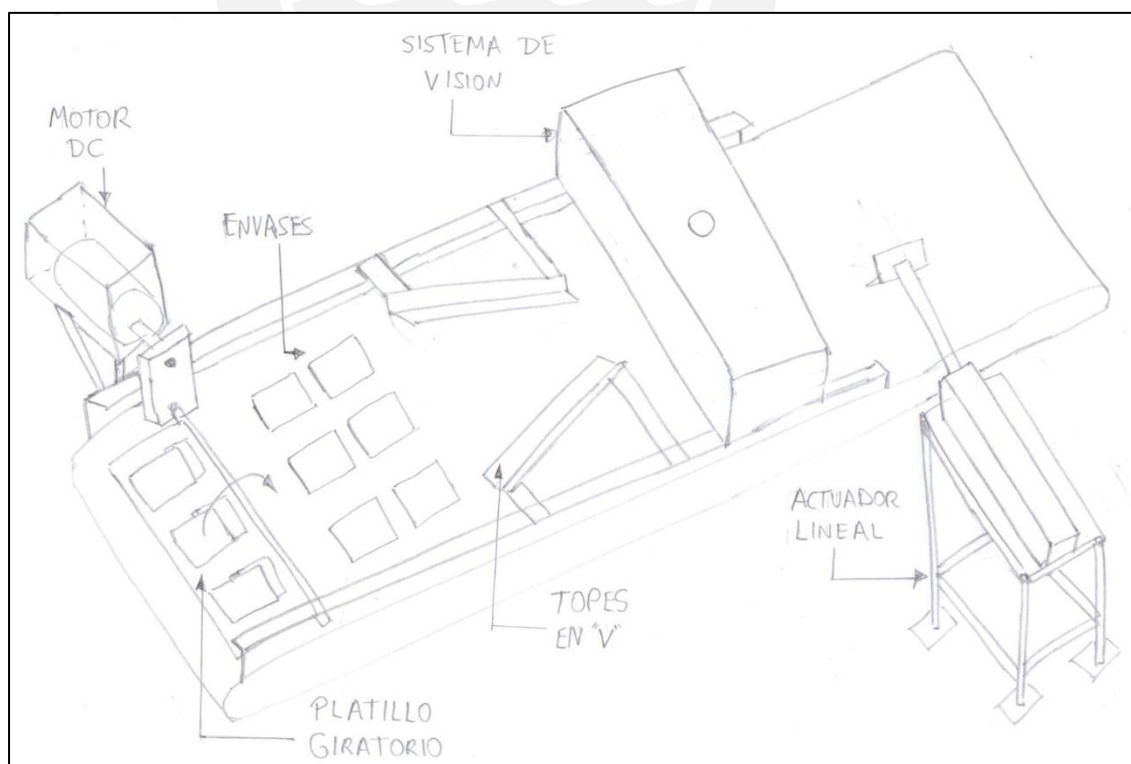


Figura 2.4 Concepto solución 1.
Fuente: Elaboración propia.

Concepto solución 2

El proceso inicia de la misma manera, con un sensor de presencia tipo ultrasonido. Sin embargo, se tiene un mecanismo rotatorio que por centrifugación arroja hacia la periferia los envases para ser liberarlos por una ranura. Se consigue su traslado secuencial para pasar por otro sistema rotatorio que aloja en sus ranuras a los envases para girarlos y mostrar la superficie libre de etiquetas. Ambos sistemas están accionados por motores DC. Se ingresa al sistema de visión compuesto por luces fluorescentes que anulan el efecto del reflejo sobre superficies como la de los envases plásticos, una cámara web para la adquisición de imágenes en movimiento y un sensor LDR para activar la captura. El rechazo de los envases defectuosos se realiza por medio de un platillo giratorio que recibe el producto posicionándose al ras de la faja y si es que se trata de un envase defectuoso gira para arrojarlo a la zona de desecho. De la misma manera, el tablero de control se encuentra posicionado por debajo del sistema de transporte. La Figura 2.5 detalla el concepto de solución.

Concepto solución 3

La solución 3 inicia con la detección de presencia de envases a la entrada empleando un sensor ultrasónico [Figura 2.6]. Los envases llegan a la faja superpuestos y gracias a una superficie oscilante se logra separar a los productos de 6 a 3. La superficie captura los envases superiores, se detiene en esa posición para lograr la separación necesaria en la llegada al sistema de control. Se atraviesan una serie de topes en V que permiten tanto el ordenamiento secuencia como el giro del producto debido a la rugosidad de la faja y el empleo de topes de acero inoxidable. Se atraviesa el área de visión que cuenta con luces fluorescentes (disminuyen el reflejo), cámaras CMOS (rápida transmisión de información, poco consumo eléctrico), y un sensor de presencia tipo ultrasonido para activar la captura de imágenes. A la salida se cuenta con otro sensor para la activación del actuador de rechazo de envase el cual es un pistón eléctrico con un elemento en el extremo que permite sujetar al envase para su desecho.

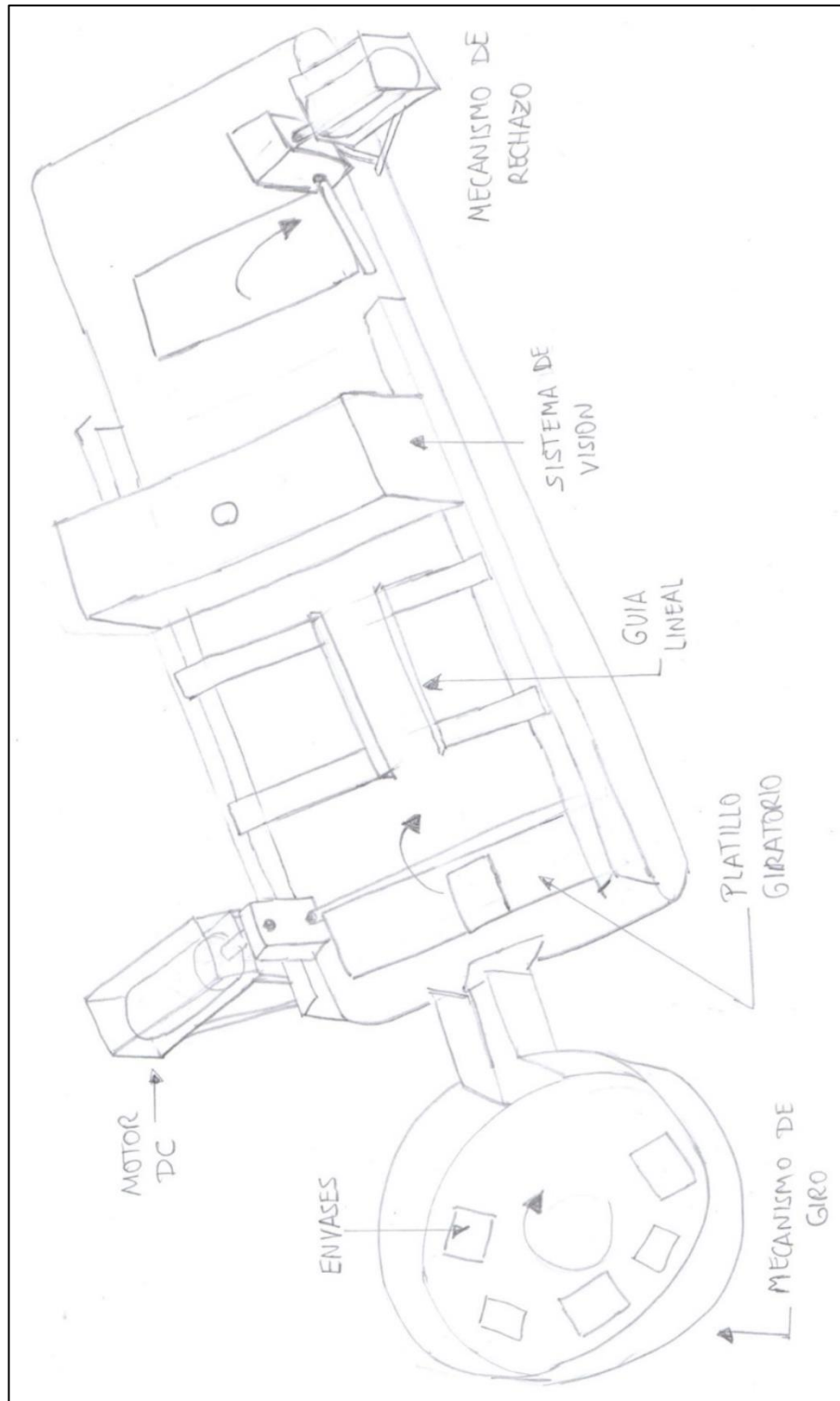


Figura 2.5 Concepto solución 2.
Fuente: Elaboración propia.

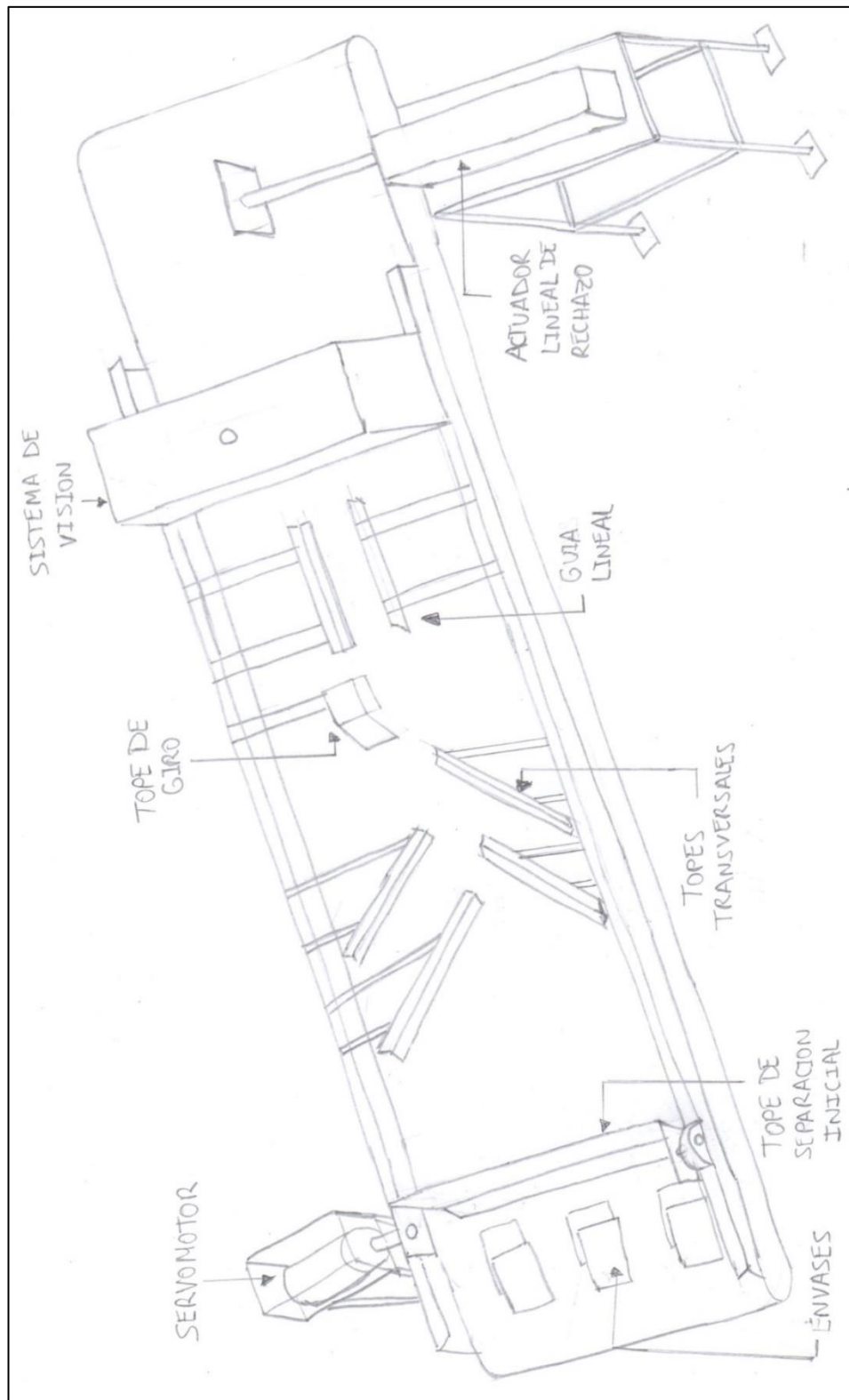


Figura 2.6 Concepto solución 3.
Fuente: Elaboración propia.

2.1.4. Evaluación técnico-económica

La norma VDI 2221 propone un análisis de este tipo en el que se comparan aspectos técnicos y económicos. En las siguientes tablas se detallan las características en base a las cuales se obtiene la solución óptima.

Tabla 2.2 Evaluación técnica.

Fuente: Elaboración propia.

Diseño Mecatrónico - Evaluación de Proyectos												
Valor Técnico												
Proyecto: Sistema Mecatrónico para la Inspección de Envases de Embutidos Utilizando Visión por Computadora												
p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2221)												
0= No satisface, 1= Aceptable a las justas, 2= Suficiente, 3= Bien, 4= Muy bien(ideal)												
g: peso ponderado, función de los criterios de evaluación (1:4)												
Criterios de evaluación para diseños en fase de concepto o proyectos												
Variante de concepto/Proyecto			Solución 1 (S1)			Solución 2 (S2)			Solución 3 (S3)		Solución Ideal	
Nro.	Criterios de Evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp		
1	Cumplimiento de la función	4	3	12	3	12	3	12	4	16		
2	Menor espacio	3	2	6	3	9	2	6	4	12		
3	Velocidad del proceso	2	2	4	4	8	3	6	4	8		
4	Rigidez de la estructura	3	2	6	3	9	3	9	4	12		
5	Complejidad de operación	2	3	6	3	6	2	4	4	8		
6	Seguridad de operación	3	3	9	2	6	2	6	4	12		
7	Fácil fabricación	2	1	2	2	4	2	4	4	8		
8	Calidad del producto final	4	2	8	3	12	3	12	4	16		
	Suma de puntaje ($\sum p$ y $\sum gp$)	23	18	53	23	66	20	59	32	92		
	\bar{x}_i		0.75	0.77	0.72	0.72	0.83	0.86	1	1		

Tabla 2.3 Evaluación económica.

Fuente: Elaboración propia.

Diseño Mecatrónico - Evaluación de Proyectos												
Valor Económico												
Proyecto: Sistema Mecatrónico para la Inspección de Envases de Embutidos Utilizando Visión por Computadora												
p: puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2221)												
0= No satisface, 1= Aceptable a las justas, 2= Suficiente, 3= Bien, 4= Muy bien(ideal)												
g: peso ponderado, función de los criterios de evaluación (1:4)												
Criterios de evaluación para diseños en fase de concepto o proyectos												
Variante de concepto/Proyecto			Solución 1 (S1)			Solución 2 (S2)			Solución 3 (S3)		Solución Ideal	
Nro.	Criterios de Evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp		
1	Costo de la tecnología	3	1	3	2	6	2	6	4	12		
2	Número de piezas	3	2	6	2	6	3	9	4	12		
3	Fácil adquisición	2	2	4	2	4	2	4	4	8		
4	Simplicidad del diseño	3	3	9	3	9	2	6	4	12		
5	Facilidad de manufactura	2	2	4	3	6	3	6	4	8		
6	Costo fabricación	2	2	4	2	4	2	4	4	8		
7	Fácil obtención de repuestos	3	2	6	3	9	2	6	4	12		
8	Fácil mantenimiento	3	3	9	2	6	2	6	4	12		
	Suma de puntaje ($\sum p$ y $\sum gp$)	21	17	45	19	50	18	47	32	84		
	\bar{y}_i		0.71	0.71	0.79	0.79	0.75	0.75	1	1		

A partir de los valores obtenidos para cada solución se elabora el diagrama de evaluación técnico-económico [Figura 2.7]. En este, la solución óptima será aquella que se ubique más cerca de la esquina superior derecha. De esta forma, se concluye que la solución óptima es la número 3.

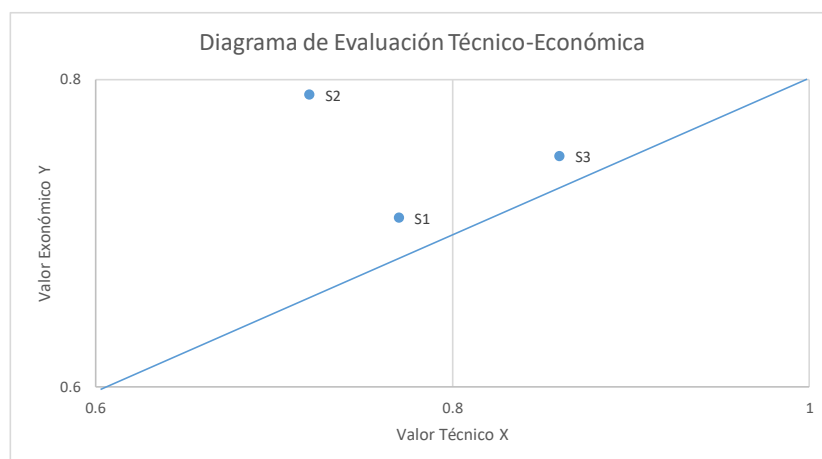


Figura 2.7 Diagrama de evaluación técnico-económico.

Fuente: Elaboración propia.

Esta opción se caracteriza por un menor consumo eléctrico: el giro y ordenamiento 3 a 1 se realizan mediante topes mecánicos, la cámara CMOS consume menos energía a comparación de las basadas en sensores CCD. El actuador lineal asegura la velocidad necesaria para la separación de los productos defectuosos. Con esta elección se procederá con el diseño mecatrónico del sistema.

2.2. Diseño del Sistema Mecánico

La Figura 2.8 muestra el sistema integrado. Los envases son entregados en grupos de 6 en dos filas superpuestas mostrando la etiqueta en la cara superior. En la etapa 1 se ubica el actuador que permite separar el grupo de 6 envases en dos filas de 3 a una distancia de 0.75 metros entre filas. En la etapa 2 una serie de topes transversales los posicionan unos detrás de otros. Una cuña estática en la etapa 3 permite el giro y su disposición dentro de un canal de topes paralelos que guían los envases al centro de la faja. El sistema de visión en la etapa 4 se encuentra aislado por una carcasa que lo recubre y protege de la iluminación externa. Los envases defectuosos son separados por un actuador eléctrico lineal en la etapa 5 que junto con un sensor de presencia y la respuesta del sistema de visión detectan la llegada de envases defectuosos.

La integración de los elementos sobre el sistema de faja transportadora se realiza por medio de soldadura sobre el borde de la faja, de esta manera se garantiza su acople y el flujo correcto de los productos. En el caso del actuador eléctrico, la sujeción se realiza entre la base de la estructura que lo soporta y el suelo.

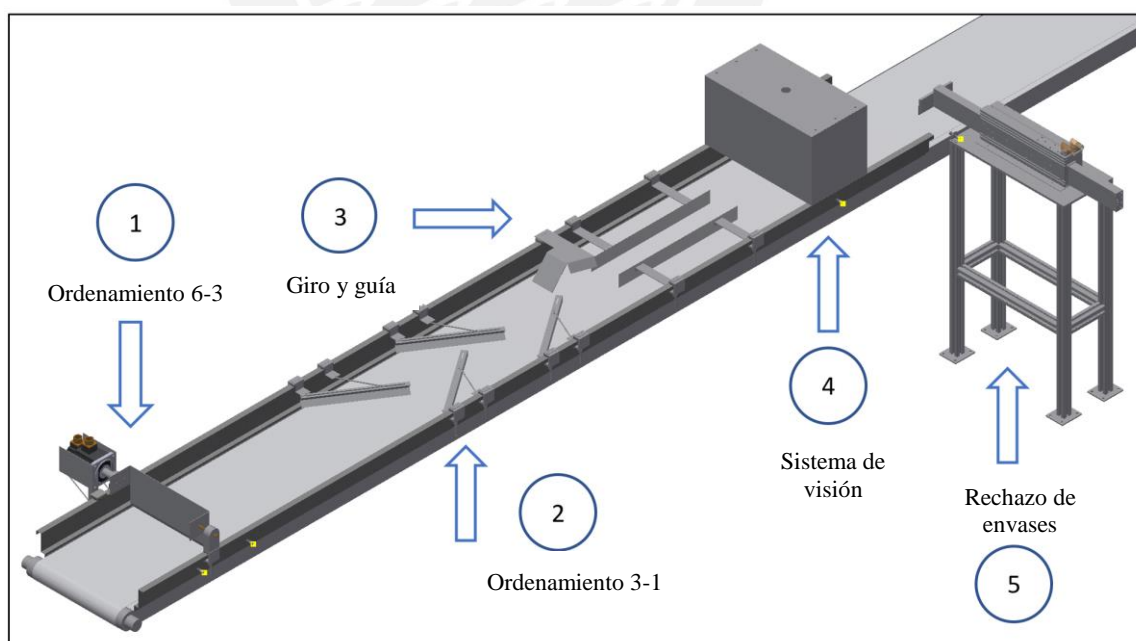


Figura 2.8 Sistema integrado por etapas.
Fuente: Elaboración propia.

2.2.1. Sistema de ordenamiento

Ordenamiento 6-3

Se utiliza un actuador eléctrico para la separación de los envases superpuestos a la entrada del sistema el cual se ubica en voladizo [Figura 2.9]. Se elige un servomotor debido a que se necesita controlar con buena precisión el giro de un tope oscilante en un rango de ángulos limitado entre 10° y 30° que separara las dos filas de envases, requerimiento asociado a la velocidad de la faja.

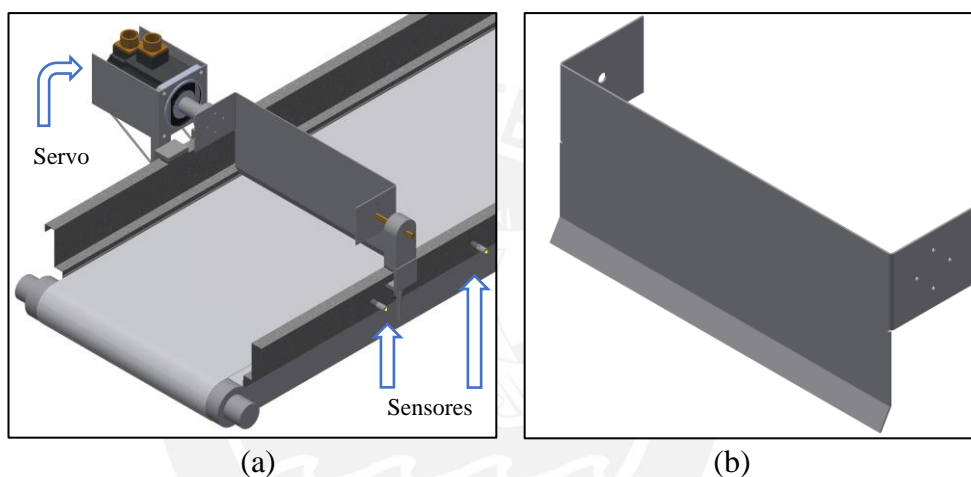


Figura 2.9 Sistema de ordenamiento 6 a 3 (a). Detalle del tope oscilante (b).
Fuente: Elaboración propia.

La secuencia de separación se aprecia en la Figura 2.10. El grupo de envases superpuestos en dos filas llega cada 6 segundos (a). Un sensor de presencia ultrasónico genera la señal de entrada que será procesada por el controlador para accionar al servomotor, el cual ubica el tope a un ángulo de 25 grados con respecto a la vertical para detener el paso de los envases superiores (b). Una vez que los envases inferiores pasan se posiciona el servomotor a un ángulo de 15 grados para generar un retraso de 750 mm (c), luego del cual se libera la segunda fila (d). El paso de ambos grupos se verifica con el procesamiento de la señal de entrada generada por un segundo sensor ubicado después del servomotor. En caso no se detecte el paso de los grupos de envases se detiene el proceso.

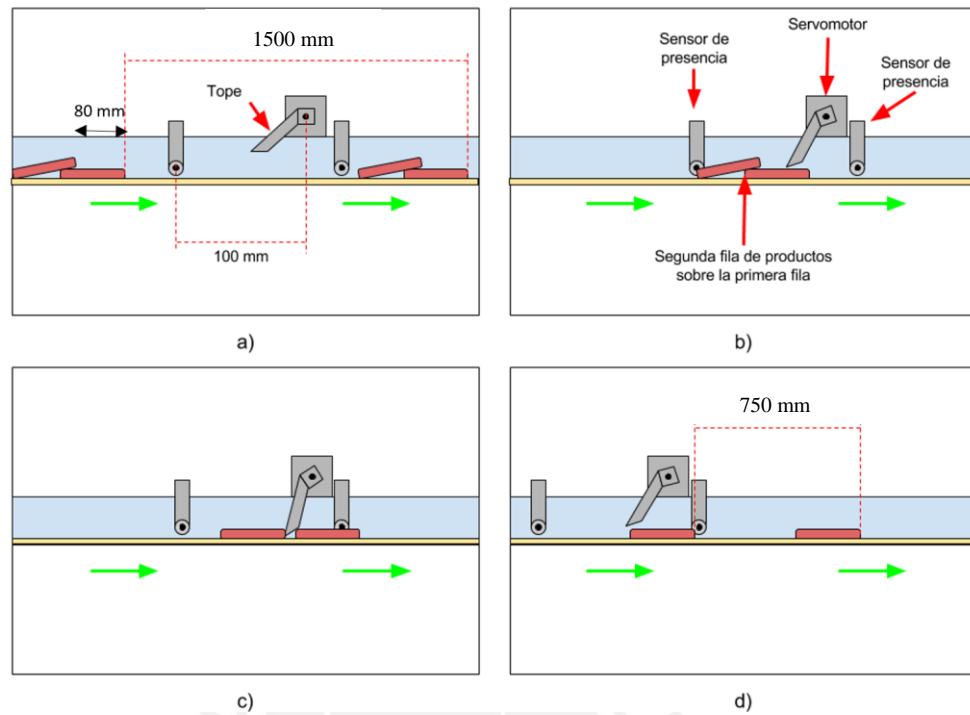


Figura 2.10 Secuencia de ordenamiento 6 a 3.
Fuente: Proyecto Laive.

La estructura de apoyo del motor es un perfil en chapa de acero inoxidable el cual presenta propiedades mecánicas apropiadas para emplearlo como elemento de soporte. Para el material del tope oscilante se usa un acero austenítico AISI 316. La elección de este acero se realiza teniendo en consideración que se manipulan productos alimenticios. La Figura 2.11 muestra el DCL de un envase de jamonada y el tope a 15 grados, posición en la que genera mayor torque debido a que el coeficiente de rozamiento faja-envase es mayor al de envase-envase. En base a estos DCLs se realizan los cálculos necesarios.

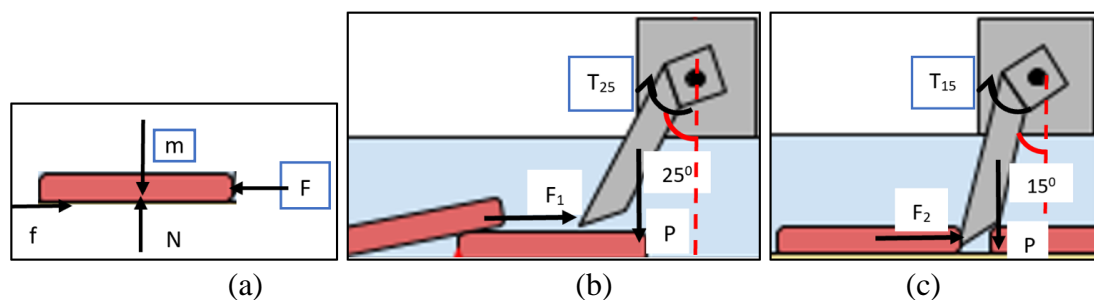


Figura 2.11 DCL de un envase de jamonada (a). DCL tope ubicado a 25 grados (b). DCL tope ubicado a 15 grados (c). Fuente: Elaboración propia.

- Fuerza para separar los envases superiores (25^0):

$$F_1 = 3 * u_{ee} * m * g ,$$

$$F_1 = 3.38 N .$$

Donde:

- m : Masa de un envase (230 g)
- u_{ee} : Coeficiente de rozamiento envase/envase (0.5)

- Fuerza para retrasar 3 envases (15^0):

$$F_2 = 3 * u_{ef} * m * g ,$$

$$F_2 = 6.75 N .$$

Donde:

- u_{ef} : Coeficiente de rozamiento envase/faja (1)

- Torque a 25 grados:

Sumatoria de momentos:

$$\sum M_O = 0: \quad T_{25} = F_1 * l * \text{Cos}(25^0) + P * \frac{l}{2} * \text{Sen}(25^0) ,$$

$$T_{25} = 1.11 Nm .$$

Donde:

- l : Longitud del tope (14.5 cm).
- P : Peso del tope 1 (21.88 N)

- Torque a 15 grados:

Sumatoria de momentos:

$$\sum M_O = 0: \quad T_{15} = F_2 * l * \text{Cos}(15^0) + P * \frac{l}{2} * \text{Sen}(15^0) ,$$

$$T_{15} = 1.3 Nm .$$

Luego, del análisis realizado se concluye que el torque máximo se produce con el tope a 15 grados, es decir, al producir el retraso de los envases de la fila superior, y el valor es de **T = 1.3 Nm**.

- Velocidad del servomotor:

Se calcula la velocidad mínima del servomotor en base a la velocidad de la faja, es decir, si el servo pasa de 15° a 25° en 0.01 segundos el desplazamiento de la faja en este tiempo habrá sido de 2.5 mm.

Si se considera este desplazamiento dentro de las tolerancias de diseño la velocidad del servomotor será:

$$w = 1000^{\circ}/s = 17.5 \text{ rad/s} ,$$

$$w = 166.7 \text{ RPM} .$$

- Potencia de accionamiento servo:

$$P = T * w ,$$

$$P = 23.73 \text{ W} .$$

Ordenamiento 3-1

Se plantea una solución análoga a la presentada por Bafu [9], la cual realiza el ordenamiento usando topes transversales que en este caso serán estáticos. Estos canales son manufacturados por trabajo en chapa de acero AISIS 316 con un perfil que permite elevar el envase.

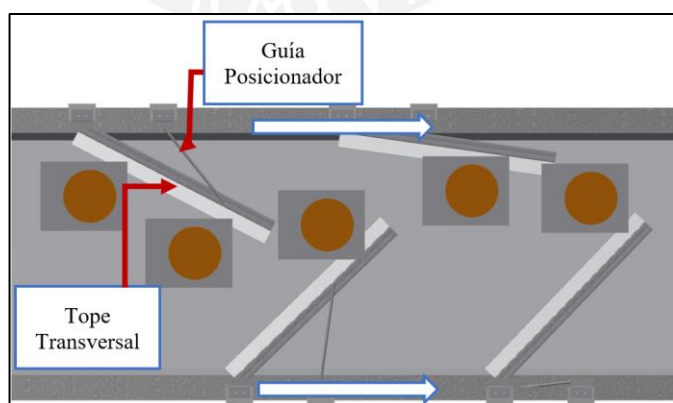


Figura 2.12 Ordenamiento de los topes transversales.

Fuente: Elaboración propia.

Se calculan las fuerzas que soportan los brazos bajo la carga de los envases. La Figura 2.13 muestra el DCL de tope transversal.

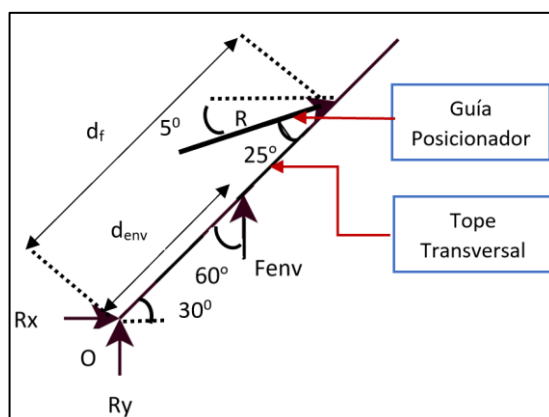


Figura 2.13 DCL del tope transversal.

Fuente: Elaboración propia.

- Sumatoria de momentos:

$$\sum M_O = 0: \quad F_{env} * d_{env} * \text{Sen}(60^\circ) = R * d_F * \text{Sen}(25^\circ),$$

$$\sum F_x = 0: \quad R_x = -R * \text{Cos}(5^\circ),$$

$$\sum F_y = 0: \quad R_y = -R * \text{Sen}(5^\circ) - F_{env}.$$

Donde:

- d_{env} : Distancia eje O - envase (20 cm)
- F_{env} : Fuerza ejercida por los envases (6.75 N)
- d_F : Distancia eje O - brazo guía (27.5 cm)
- R : Fuerza ejercida por brazo guía posicionador

Luego:

$$R = 10.10 \text{ N}, \quad R_x = -10.06 \text{ N}, \quad R_y = -7.60 \text{ N}.$$

- Cálculo de esfuerzos:

$$\sigma_{tope} = \frac{F_{tope}}{A_{tope}} \quad \sigma_{pos} = \frac{F_{pos}}{A_{pos}}$$

Donde:

- A_{tope} : Área tope transversal (40 mm²).
- A_{pos} : Área guía posicionador (5 mm²).
- F_{tope} : Tensión normal a la barra tope transversal

$$F_{tope} = R_x * \text{Cos}(30^\circ) + R_y * \text{Cos}(60^\circ) = 12.6 \text{ N}$$

- F_{pos} : Tensión normal a la barra posicionador (10.10 N)

Luego:

$$\sigma_{tope} = 0.315 \text{ MPa} ,$$

$$\sigma_{pos} = 2 \text{ MPa} .$$

El esfuerzo de fluencia del acero es de 200 MPa por lo que las cargas soportadas por las barras resistirán la carga ejercida por los envases.

Giro y guía

Una cuña estática propicia el giro de los envases por su geometría y por la velocidad a la que se mueven los envases en la faja, siendo restringidos a pasar por el centro de la faja utilizando guías estáticas paralelas que aseguran la disposición apropiada para la inspección en el sistema de visión. El material de los canales es de acero inoxidable austenítico AISI 316.

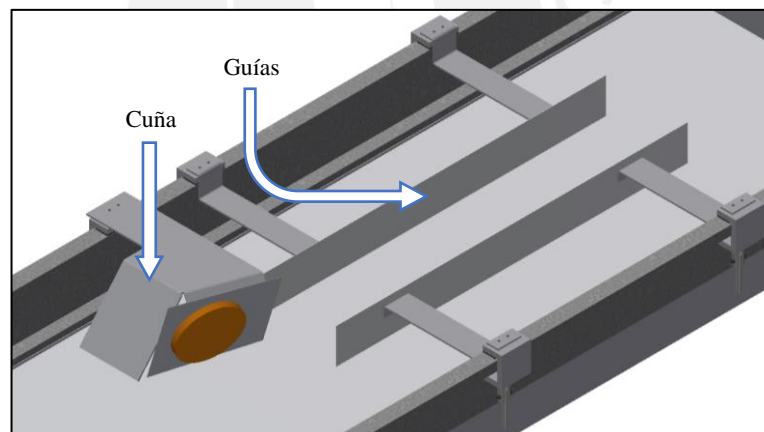


Figura 2.14 Elementos de giro y guía de envases.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.2. Sistema de visión

El sistema de visión consta de las luces y la cámara ubicadas dentro de un recubrimiento de acero inoxidable para asegurar que la iluminación del entorno no interfiera con la toma de imágenes. La distancia de la cámara a los envases es de 500 mm. El recubrimiento se realizará por soldadura TIG con calidad sanitaria de planchas de acero inoxidable. En la parte superior se cuenta con una ranura para el posicionamiento de la cámara.

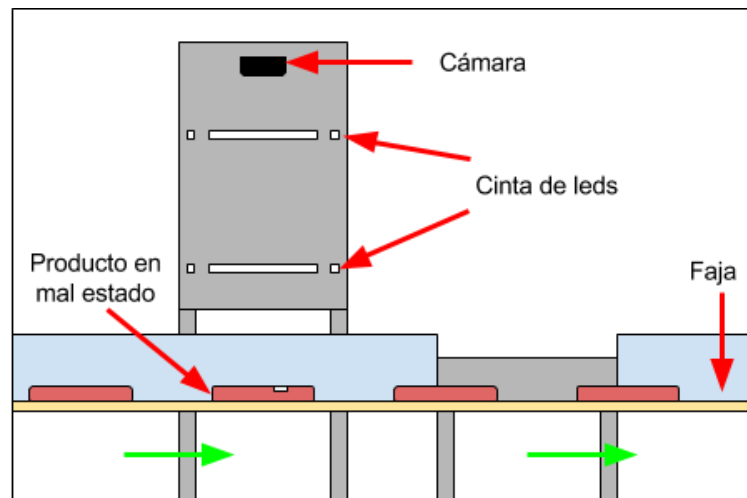


Figura 2.15 Esquema de la estructura de soporte para el sistema de visión.

Fuente: Proyecto Laive.

2.2.3. Sistema de rechazo

Un actuador lineal eléctrico se encarga de disponer los envases no aprobados fuera de la faja hacia un contenedor [Figura 2.16]. La estructura de apoyo del actuador lineal es un perfil Rexroth de aluminio extruido. El actuador cuenta con una plancha de acero inoxidable como efector final, elemento que entrará en contacto con los envases para su rechazo. En la estructura de soporte se posiciona un sensor de presencia ultrasónico el cual junto con la señal del sistema de visión activará la señal de control para accionar el actuador lineal en el momento en el que se detecte la llegada del envase defectuoso.

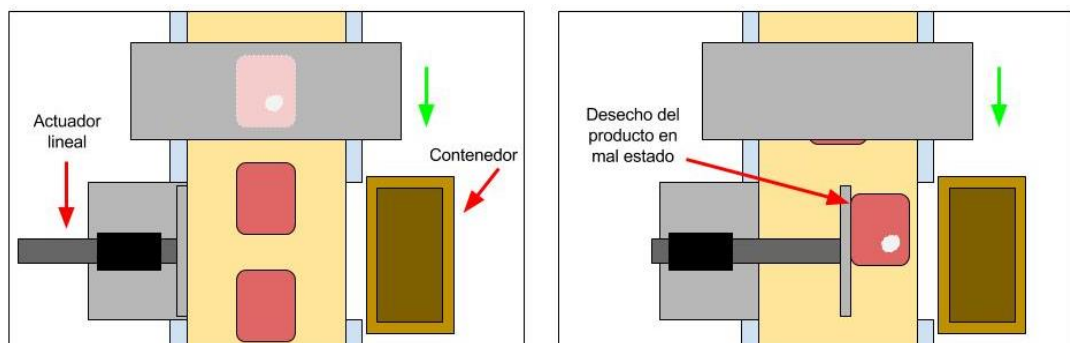


Figura 2.16 Esquema de la disposición del sistema de rechazo.

Fuente: Proyecto Laive.

2.3. Diseño del Sistema Electrónico

El esquema de conexiones del sistema electrónico cuenta con módulos de sensores, actuadores, visión e iluminación como se muestra en la Figura 2.17. Un CPU se encarga del procesamiento de las imágenes mientras que un PLC recibe y procesa las señales de los sensores y envía las señales de salida para mover los actuadores.

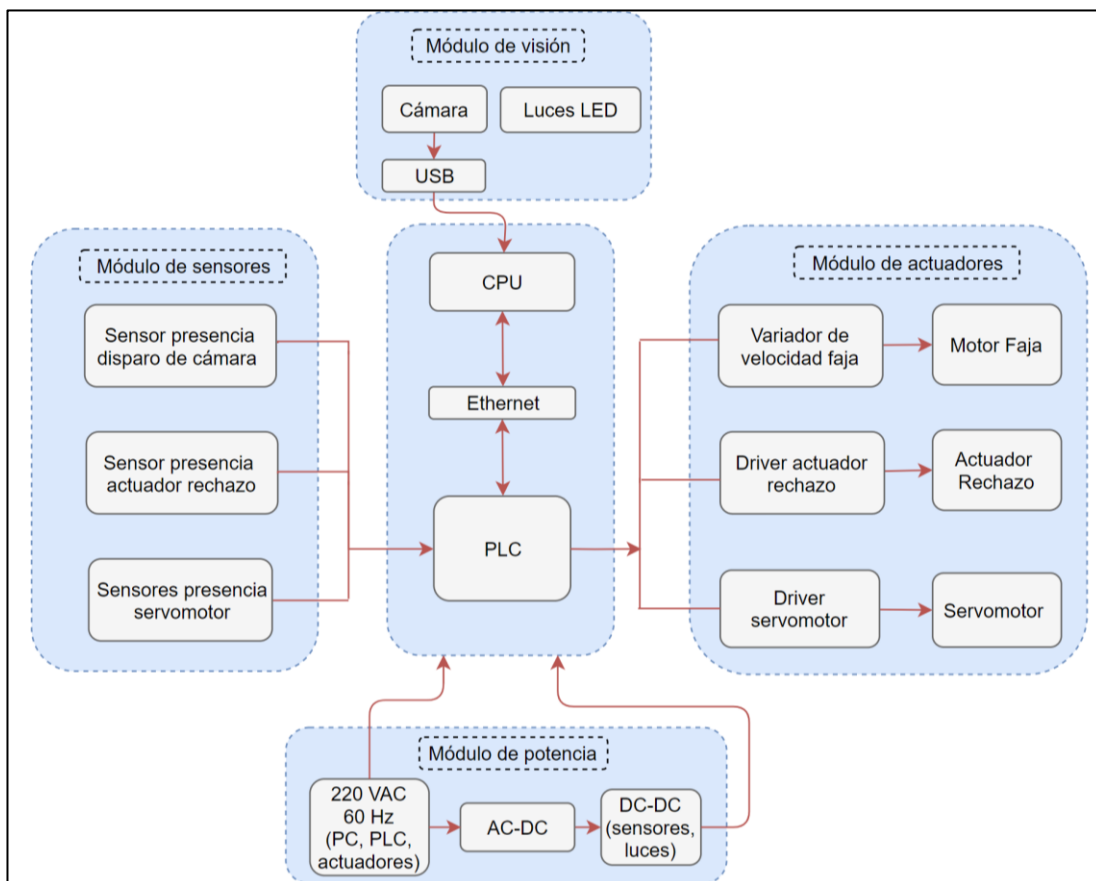


Figura 2.17 Esquema de conexiones de los componentes electrónicos del sistema.




Fuente: Elaboración propia.

2.3.1. Módulo de sensores

Detectan la llegada del grupo de envases en las diferentes etapas del proceso. Son 4 los sensores a utilizar. Dos se ubican en la entrada, antes y después del servomotor, que generan las señales de entrada para el control del servo. Uno en el sistema de visión como entrada para el control del disparo. El último ubicado en el área de rechazo. El rango de detección de los sensores se elige en función de las dimensiones de la faja cuyo ancho es de 450 mm. En la Tabla 2.4 se comparan algunos sensores de presencia

usados en procesos industriales de los cuales se selecciona el sensor de ultrasonido Allen Bradley modelo **873M-D18RAV800-D4** por cumplir con los requerimientos suficientes para la aplicación.

Tabla 2.4 Datos técnicos del sensor de ultrasonido.
Fuente: Elaboración propia.

Modelo de Sensor	Ultrasonido (873M-D18RAV800-D4)	UM 18-1	BUS M18M1- XA-07
Voltaje de salida (dc)	0-10	0-10	10-30
Rango sensado (mm)	50 - 800	30-350	65-600
Salida (mA)	20	20	40
Respuesta (ms)	100	32	-
IP	67	67	67
Dimensión (mm)	18*18*40	-	18*18*52
Diseño			

2.3.2. Módulo de actuadores

Servomotor de inicio

Se verifican los requerimientos durante el impacto entre el tope inicial y los envases.

- Torque de impacto:

Se realiza un análisis de conservación de la cantidad de movimiento en la dirección de la faja.

$$\sum \Delta p = 0: \Delta p = (3m) * v = F_i * \Delta t$$

Donde:

- m : Masa de un envase de embutidos (0.23 kg)
- v : Velocidad de la faja (0.25 m/s)
- F_i : Fuerza sobre 3 envases en el impacto

Considerando un Δt de 0.01 segundos se tiene una fuerza de 17.25 N. y siendo el ángulo inicial 25° grados se tiene:

Sumatoria de momentos:

$$\sum M_o = 0: \quad T_i = F_i * l * \text{Cos}(25^{\circ}) + P * \frac{l}{2} * \text{Sen}(25^{\circ}),$$

$$T_i = 1.52 \text{ Nm} .$$

Donde:




- l : Longitud del tope (14.5 cm).
- P : Peso del tope 1 (21.88 N)

Luego, se ejerce un torque instantáneo de **1.52 Nm** en el eje del servo.

En base a los cálculos de impacto y de operación normal hallados previamente se procede a la selección del servomotor. La Tabla 2.5 compara tres modelos de servomotores industriales. Se eligió un servomotor Allen Bradley debido a que presenta las características apropiadas para la tarea a realizar.

Tabla 2.5 Datos técnicos del servomotor.

Fuente: Elaboración propia.




Modelo del servo	TLY- A2530P	Unimotor HD	BCR3 0250
Velocidad (rpm)	5000	6000	3000
Torque (Nm)	2.6	2.7	2.5
Torque pico Nm	3.05	-	-
Corriente (A)	5.2	-	-
Voltaje (V)	230	200	230
Potencia (kW)	0.69	-	-
Peso (kg)	2.2	-	-
Precio (\$)	950	-	-
Diseño			

Actuador de rechazo

La carrera mínima del actuador será de 300 mm según el recorrido de los envases por el centro de la faja. La velocidad mínima se calcula en base a la velocidad de la faja y será de 600 mm/s. La fuerza calculada para desplazar un envase es de 2.25 N. En base a estos parámetros se elige el actuador lineal eléctrico MPARA1400EV2A de la marza Allen Bradley.

Tabla 2.6 Datos de actuadores eléctricos lineales.

Fuente: Elaboración propia.

Modelo de Actuador	MPARA1400E V2A	Prop RCP4-RA6C	Actuadores WhisperTrak
Voltaje (VDC)	180 - 230 VAC	24	24
Carga (N)	280	56	2000
Carrera (mm)	400	415	400
Velocidad (mm/s)	500	800	30
IP	65	65	65
Diseño			

2.3.3. Diagramas esquemáticos

El circuito de potencia se encarga de convertir los 220 VAC de la red a la alimentación de 12, 10 y 5V requeridas en el sistema. Se elige un convertidor 220AC/12DC modelo S-20-12. La salida de 12V se conecta a un regulador lineal LM7805.

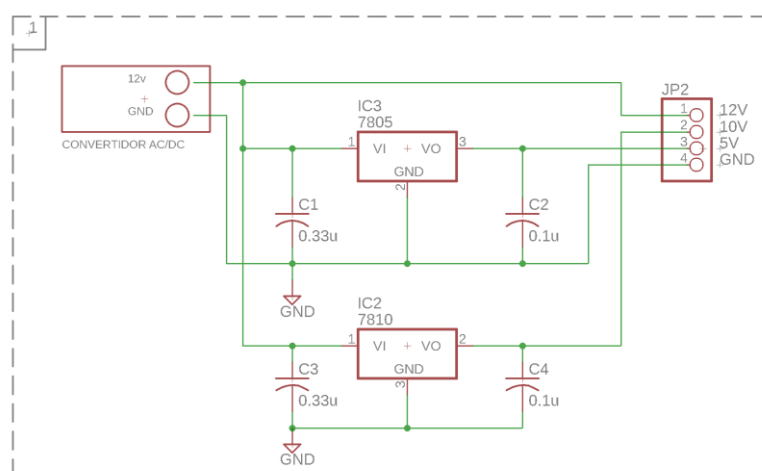


Figura 2.18 Esquemático del circuito de potencia.

Fuente: Elaboración propia.

Las luces led se conectan a la salida de 12V, mientras que los sensores utilizan la alimentación de 10V. La Figura 2.19 muestra la conexión esquemática de los sensores.

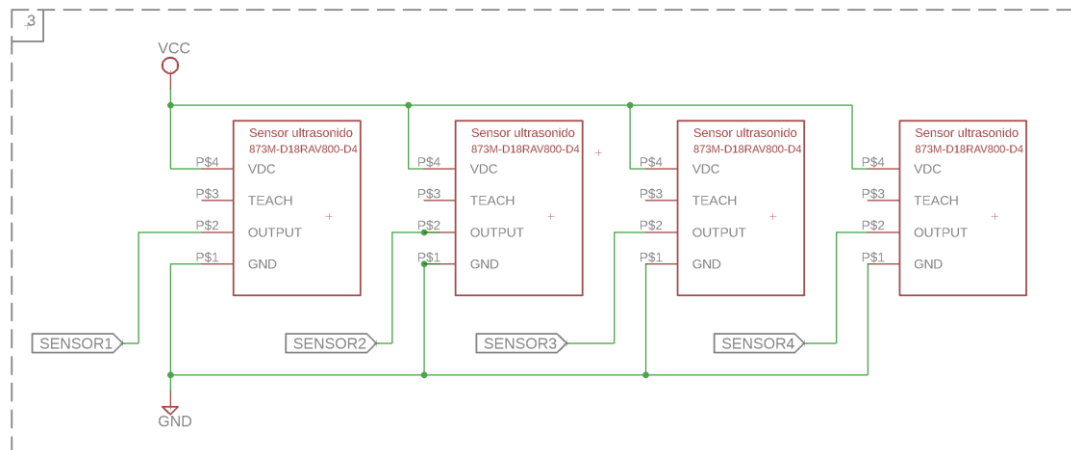


Figura 2.19 Esquemático correspondiente a los sensores de ultrasonido.

Fuente: Elaboración propia.

Los actuadores van conectados al PLC Allen Bradley Compact Logix 5370 L1. Los drivers elegidos son de la misma marca modelo Kinetix 3. Los sensores de ultrasonidos detallados son conectados a las entradas del PLC. La Figura 2.20 muestra un diagrama de la conexión entre drivers, actuadores, PLC y PC.

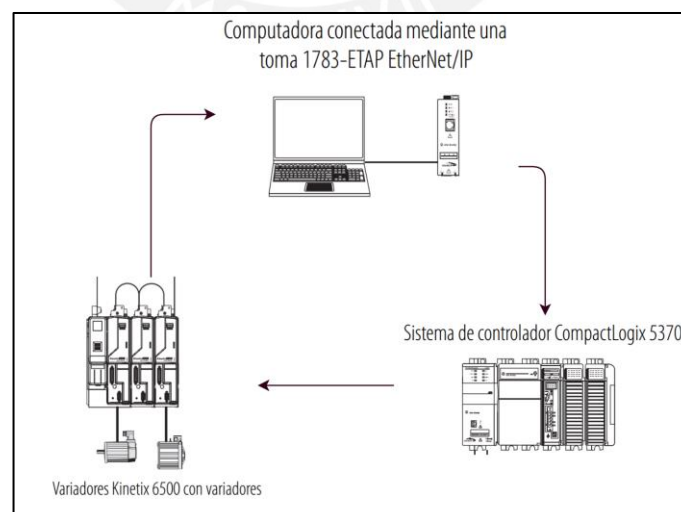


Figura 2.20 Conexión entre dispositivos.

Fuente: Allen Bradley

2.4. Diseño del Sistema de Visión

El sistema de visión requiere una cámara e iluminación que permitan la toma de imágenes de manera que se obtengan las características de interés (dimensiones, color, número de elementos, manchas).

2.4.1. Cámara

Debido a que los elementos a inspeccionar son discretos (envases individuales) y que la dimensión es tal que su imagen puede ser almacenada en un solo cuadro (Frame) se empleará una cámara matricial. Los parámetros para la selección son los siguientes:

- Campo de visión (FOV):

El área que será adquirida por la cámara depende de las dimensiones del producto como de los márgenes entre este y el fondo.

$$FOV = d_o + t_{mx} + m_c .$$

Donde:

- d_o : Dimensión del objeto (envases de 12x16 cm)
- t_{mx} : Traslación y orientación máxima (± 1 cm)
- m_c : Márgenes del cuadro (± 1 cm)

Luego:

$$FOV = 180 \times 140 \text{ mm} .$$

- Resolución (R_c):

Si el contraste de los defectos es bajo, el software puede no ser capaz de detectarlos. Según el algoritmo de reconocimiento de regiones se recomiendan 3 píxeles para mapear el defecto más pequeño [28].

$$R_c = \frac{FOV}{R_s} .$$

Donde:

- d : Dimensión del defecto más pequeño (1mm)
- px : Píxeles para representar el defecto más pequeño (3)
- R_s : Resolución espacial ($\frac{d}{px}$)

Luego:

$$R_c = 540 \times 420 \text{ pixeles.}$$

- Tiempo de exposición (t_e):

Es el tiempo que se permite pasar luz al sensor cuando se captura una imagen. A menor tiempo de exposición más definidos son los objetos de una imagen en movimiento.

$$t_e = \frac{R_s}{v_f}.$$

Donde:

- R_s : Resolución de la cámara ($\frac{1}{3}$ mm/píxel)
- v_f : Velocidad de la faja (250 mm/s)

Luego:

$$t_e = 1.3 \text{ ms} = \frac{1}{750}.$$

- Cuadros por segundos (FPS):

Acorde con los sistemas de inspección de calidad [18] se elige un FPS mayor 60. La relación entre el tiempo de exposición y los FPS de la cámara se ejemplifican en la Figura 2.21. Para un FPS de 30 se muestran dos tiempos de exposición. Para el de 1/60 la luz ingresa solo la mitad del tiempo de captura de un cuadro mientras que para el de 1/30 la luz ingresa en toda la captura.

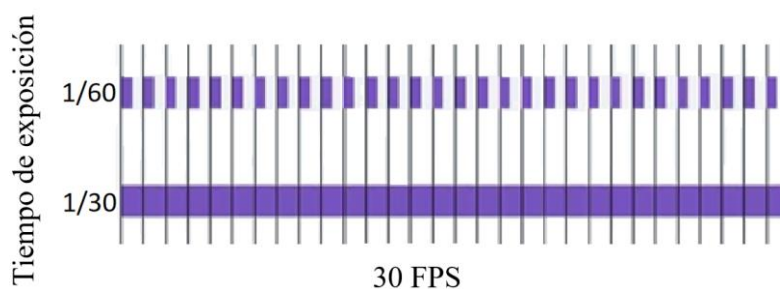


Figura 2.21 Relación entre el tiempo de exposición y FPS.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con estas características se concluye que una cámara VGA o de mayor resolución cumple con los requerimientos. Asimismo, se elige USB 3.0 como interfaz de comunicación debido a que permite una veloz velocidad transmisión de datos. La cámara seleccionada es de la marca The Imaging Source modelo DFK 22BUC03.

Tabla 2.7 Características de la cámara.
Fuente: Elaboración propia.

Cámara	DFK 22BUC03	acA640-120uc	Blackfly S
Tipo de sensor	CMOS color	CCD	CMOS color
Barrido	Matricial	-	Matricial
Escaneo	Progresivo	-	Progresivo
Resolución	0.4 Mpx	VGA	1.3 Mpx
FPS	76	120	170
Formato sensor	1/2.5 "	1/4"	1/2"
Potencia	1.3 W – 2 W	2.4 W	1.3 W – 2 W
Comunicación	USB 3.0	USB 3.0	USB 3.0
Montaje	C-CS	C-mount	C-mount
Dimensión (mm)	36x36x25	29x29x29	29x29x29
Precio (\$)	300	-	395
Diseño			

2.4.2. Lentes

La selección de los lentes depende de las características de la cámara, así como de su disposición con respecto al objeto a analizar. La relación de estas variables está dada por la distancia focal, parámetro que define la selección del lente según:

- Distancia focal (f):

$$f = \frac{h * WD}{FOV_{horiz}}$$

Donde:

- h : Dimensión horizontal del sensor de la cámara (4.5 mm)
- WD : Distancia de trabajo (500 mm)
- FOV_{horiz} : Campo de visión horizontal (180 mm).


Luego:

$$f = 12.5 \text{ mm} .$$

Los lentes seleccionados deberán tener un diámetro mayor o igual al diámetro del sensor de la cámara ya que de otra forma la imagen perdería calidad [28]. Con estas consideraciones se seleccionan lentes Basler C23-1216-2M F1.6 f12mm de distancia focal fija. Los datos del lente se detallan en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Características de la óptica.

Fuente: Elaboración propia.

Lente	Basler Lens
Distancia focal	12 mm
Apertura	Manual
Montaje	C-mount
Iris	F1.6-F16
Diámetro	1/2.5"
Distancia mínima	100 mm
Diseño	

Recalculando la distancia de trabajo con la cámara y lentes usados se tiene una distancia de trabajo de 480 mm. La Figura 2.22 muestra las dimensiones del sistema de visión.

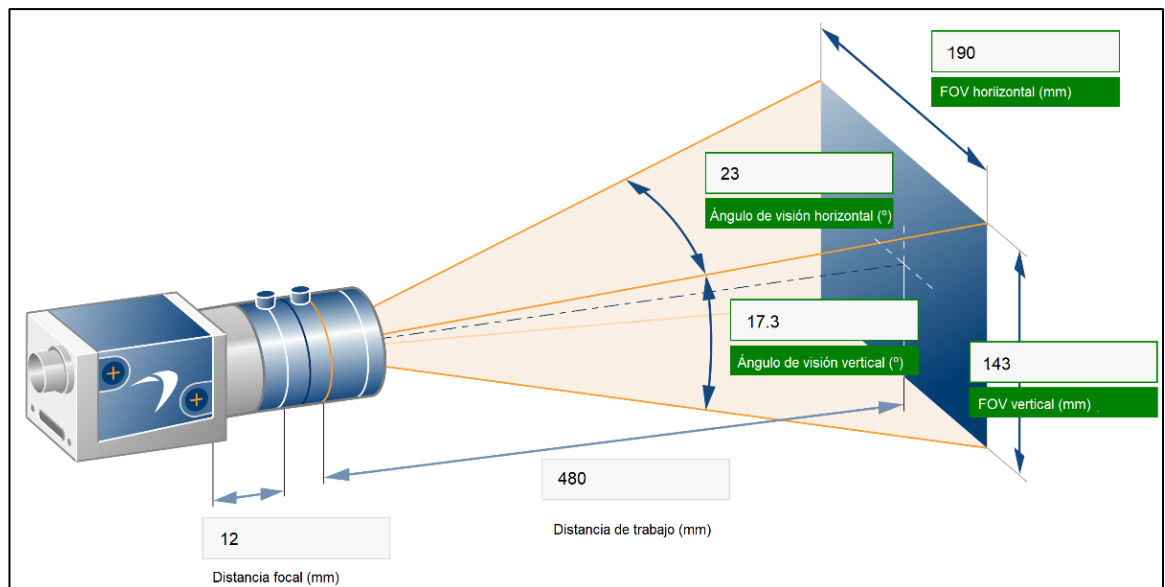


Figura 2.22 Parámetros del sistema de visión.

Fuente: Basler Lens.

2.4.3. Iluminación

Los requerimientos del sistema de iluminación están sujetos a las características de la aplicación como son la velocidad de captura, el área a iluminar, el fondo, la reflectividad del objeto, así como su geometría, entre otros. Luego, se consideran lo siguiente:

- Fuente de Luz:

Se empleará luces LED alimentadas con voltaje continuo ya que proporcionan la misma intensidad luminosa en todo instante de tiempo.

- Tipo de Luz:

Se seleccionan luces blancas ya que producen un nivel de grises homogéneo - a diferencia de luz azul o roja que oscurecen o aclaran el objeto respectivamente - y no interfiere con el fondo blanco de la faja transportadora.

- Tipo de iluminación:

Al ser una superficie de plástico se elige iluminación difusa tipo domo recomendada para objetos reflectantes [29].

- Intensidad luminosa:

De 1000 lm como mínimo según recomienda el Technische Regeln für Arbeitsstätten [30], regla técnica alemana para lugares de trabajo.

Tabla 2.9 Características de la iluminación.

Fuente: Elaboración propia.

Luces	LED
Intensidad	220 lm/m
Color	Blanco frío
IP	65
Voltaje	12 V
Corriente	1.3 A
Consumo	4.8 W/metro
Mantenimiento	No requiere
Longitud	5 m
Diseño	

2.5. Diseño del Sistema de Control

El sistema se divide en el ordenamiento de envases, procesamiento de la imagen de los productos unitarios y la clasificación final. La Figura 2.23 muestra el diagrama de flujo general del sistema mecatrónico. El control en la etapa de ordenamiento está referido al servomotor de entrada y su posicionamiento angular. Posteriormente, el control de calidad contempla tanto la adquisición de la imagen como el algoritmo de visión aplicado sobre esta. Finalmente, la clasificación final la realiza el actuador lineal en base a los resultados del algoritmo de visión y las señales de los sensores de presencia.

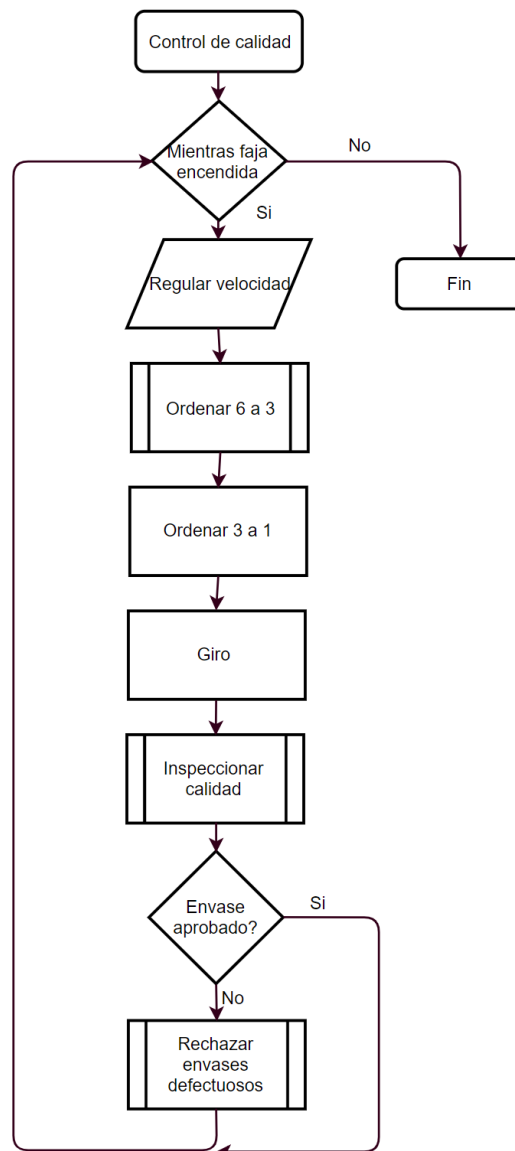


Figura 2.23 Diagrama de flujo del sistema mecatrónico.
Fuente: Elaboración propia.

2.5.1. Ordenamiento

Los envases llegan inicialmente en grupos de seis y son separados en dos filas de tres con ayuda de un servomotor. La lógica de control para este actuador se detalla en la Figura 2.24. La lectura del sensor de presencia a la entrada (sensor 1) es procesada para generar la señal de control para mover el servo a una serie de ángulos para separar los grupos secuencialmente. El flujo de productos es verificado con un sensor ubicado posterior al servomotor (sensor 2). Si se deja de detectar envases se envía una señal de alerta para detener el proceso.

La separación de los grupos de tres en envases individuales ocurre por medio de los topes estáticos instalados entre el servomotor y el sistema de visión y son íntegramente mecánicos.

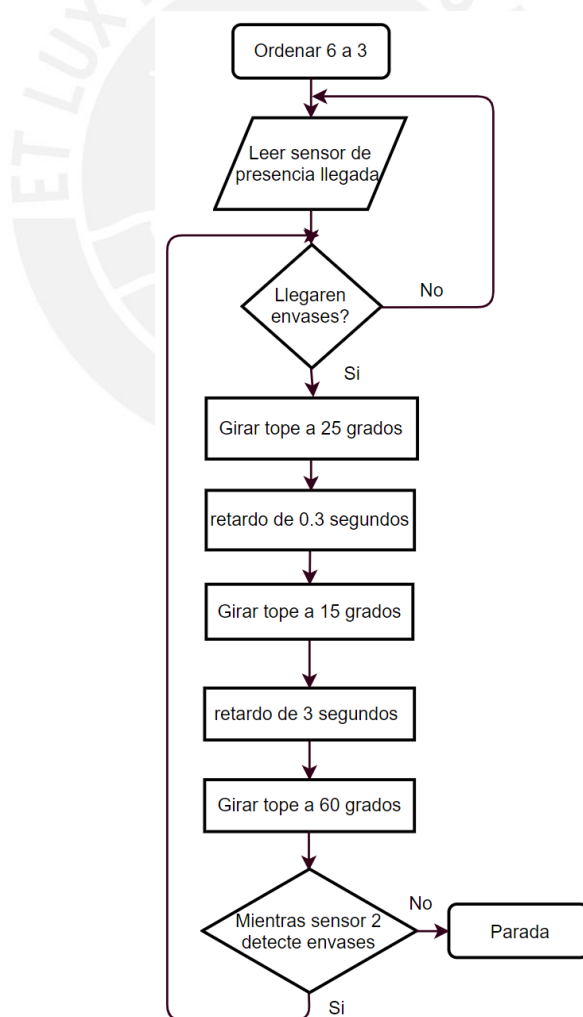


Figura 2.24 Diagrama de flujo del ordenamiento de envases.
Fuente: Elaboración propia.

2.5.2. Visión

El sistema de visión se encarga de esta etapa y toma como entrada el producto previamente ordenado. Los elementos de este sistema permiten obtener una imagen de calidad que facilite el procesamiento de la imagen. Se analiza por ello su adquisición como el posterior algoritmo de visión aplicado sobre esta.

Adquisición

El sensor de presencia ubicado debajo de la cámara envía la señal de disparo (trigger) para tomar la imagen cuando el envase llegue al FOV. Con la imagen tomada se inicia el procesamiento de la imagen. Si se detecta el envase como defectuosos se almacena la información y se envía la señal para activar el actuador de rechazo.

Algoritmo de Visión

La imagen capturada se encuentra en el espacio de colores RGB. Para segmentar la jamonada se realiza una transformación de colores al espacio HSV el cual es más robusto frente a variaciones de luz y facilita la umbralización en base al parámetro H (Hue) que representa el color.

Para disminuir el costo computacional se convierte la imagen a escala de grises y se realizan operaciones morfológicas de erosión y dilatación para separar los remanentes del fondo en la imagen capturada. Se procede con una segunda segmentación en base a los contornos de la imagen para quedarse con el máximo que representa a la jamonada.

Con la región de interés hallada se umbralizan puntos negros en base a la intensidad y al área de estos. Además, los defectos de mordeduras se analizan en base al algoritmo de Hough. Para ello es necesario obtener primero una imagen binaria y se utiliza para ello el algoritmo de Canny.

La Figura 2.25 muestra el diagrama de flujo del sistema de visión el cual da como resultado una lista de características de la imagen.

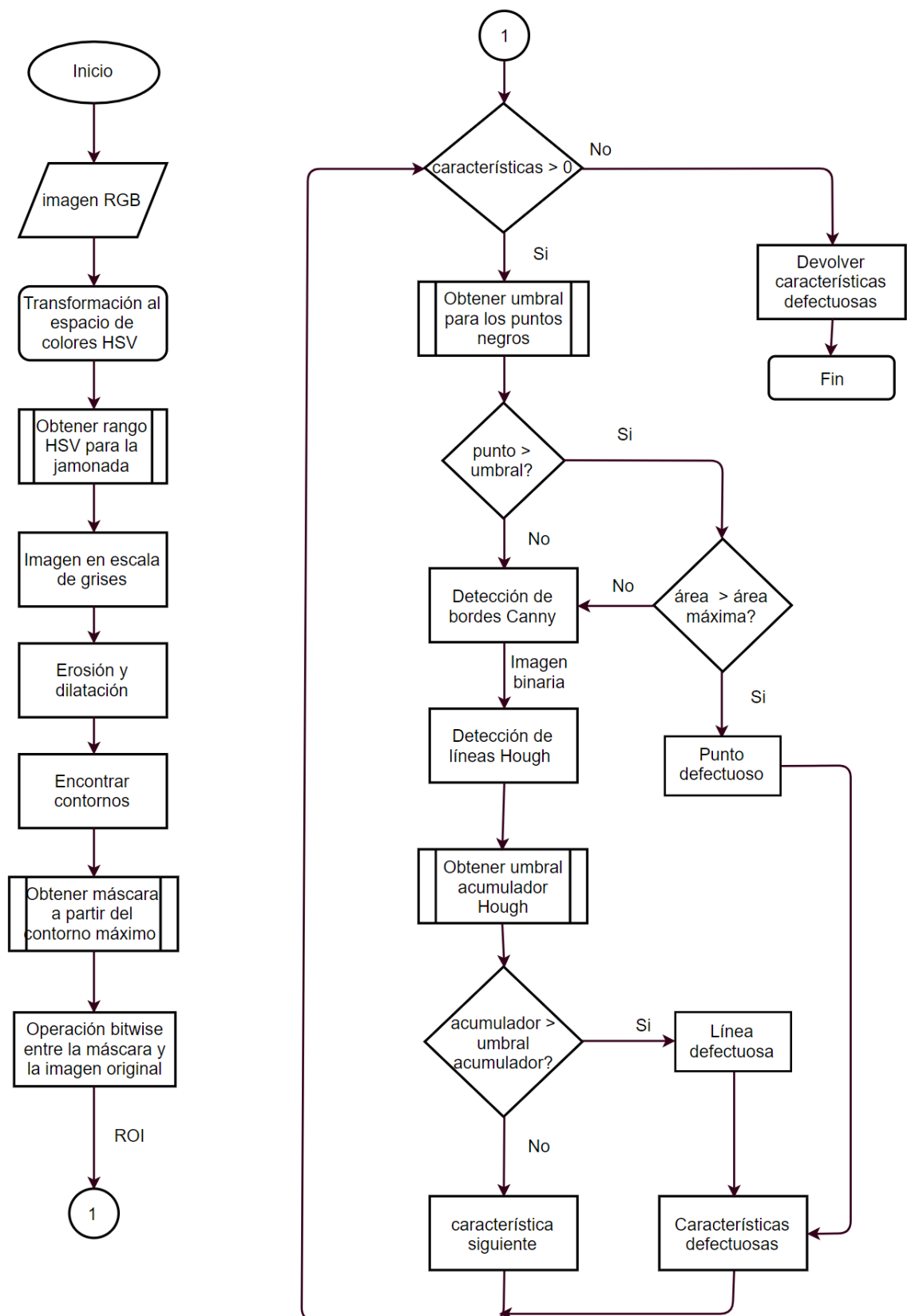


Figura 2.25 Diagrama de flujo para el procesamiento de la imagen.

Fuente: Elaboración propia.

2.5.3. Rechazo

El actuador de rechazo se activa según la respuesta del sistema de visión y un sensor de presencia ubicado en el área de rechazo. La señal con prioridad es la de control de calidad ya que el sensor de presencia puede detectar envases pero si no se recibe la señal de rechazo el actuador no debe activarse. Se presenta un retardo en la activación del actuador debido a la distancia que debe recorrer el envase hasta llegar al eje de acción del actuador. Los productos aprobados continúan su recorrido en la faja para su posterior embalaje en cajas.

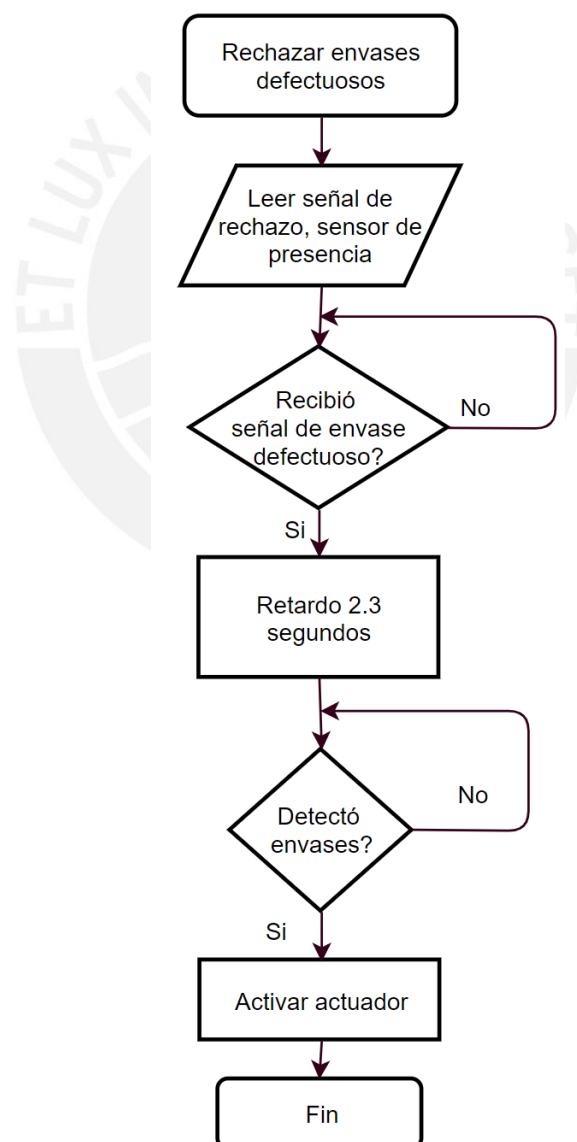


Figura 2.26 Diagrama de flujo del rechazo de envases.
Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO 3: SIMULACIONES Y RESULTADOS

El análisis de la solución planteada se realizó llevando a cabo una prueba de concepto mecánica sobre la etapa de ordenamiento 3-1 de los envases, tomándose como base los diseños mecánicos de los topes los cuales fueron fabricados por impresión 3D. Por otra parte, las pruebas y simulaciones del algoritmo de visión se llevaron a cabo sobre muestras de imágenes de productos aprobados y rechazados.

3.1. Prueba de concepto Ordenamiento 3-1

Los topes transversales de prueba fueron fabricados por impresión 3D utilizando PLA como material base. Se imprimieron dos pares los cuales fueron probados sobre la faja transportadora [Figura 3.1]. Debido a las características propias de la impresión 3D se aumentó el espesor del elemento a 3 mm y se dividió en dos partes de 200 mm de largo cada una, las cuales fueron luego unidas con remaches.



Figura 3.1 Tope transversal fabricado por impresión 3D.
Fuente: Elaboración propia

Las pruebas se realizaron con grupos de tres envases. La Figura 3.2 muestra el proceso de ordenamiento. Se sujeta manualmente el tope a un ángulo aproximado de 30° con respecto a la dirección de la faja. Los envases entran en contacto con el tope y son dispuestos secuencialmente. La orientación de los envases a la salida no es del todo paralela por lo que se plantean cuatro topes transversales y topes longitudinales que aseguren la orientación del producto.



Figura 3.2 Ordenamiento unitario de los envases.

Fuente: Elaboración propia

3.2. Algoritmo de Visión

El algoritmo de visión planteado contempla las características propias del embutido – color, dimensiones, fondo, entre otros – en base a los que se realiza la secuencia del procesamiento de la imagen.

Preprocesamiento y segmentación

Las jamonadas se encuentran contenidas dentro de un envoltorio etiquetado con la marca del producto el cual viene a formar parte del fondo de la imagen. Este fondo no es útil para el procesamiento [Figura 3.3 a].

Para eliminar el fondo propio del envase se aplica una transformación entre espacios de colores. La imagen capturada por la cámara se encuentra en el espacio RGB. Debido a que el fondo no es uniforme se realiza la transformación al espacio de colores HSV (Hue – Saturation – Value) el cual facilita la segmentación de la imagen. El rango de valores sobre los que se encuentra la jamonada son:

$$hsv_{rango} = \left\{ \begin{array}{l} inferior = [4 \quad 35 \quad 51] \\ superior = [49 \quad 210 \quad 252] \end{array} \right\}.$$

A partir de este rango se crea una máscara de la jamonada aplicando:

$$m_{enRango} = \left\{ \begin{array}{ll} \text{valor del pixel,} & \text{pixel en } hsv_{rango} \\ 0, & \text{pixel fuera de } hsv_{rango} \end{array} \right\}.$$

Esta primera segmentación permite obtener el objeto de interés, sin embargo, hay zonas del fondo que se preservan [Figura 3.3 b].

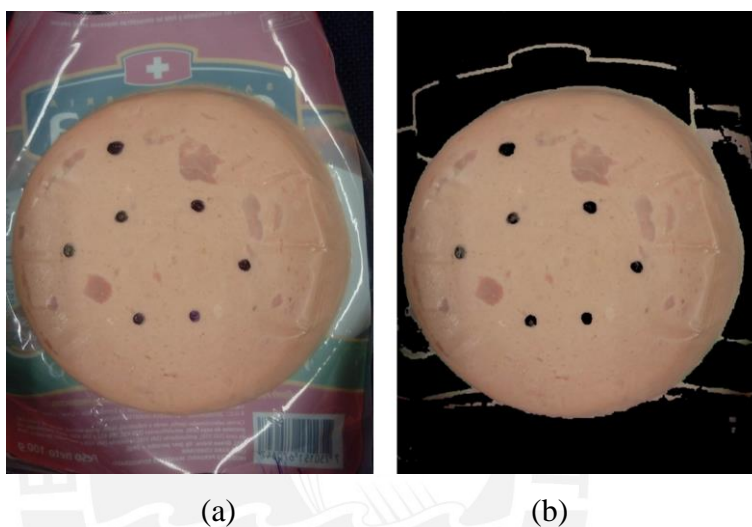


Figura 3.3 Imagen original RGB (izquierda). Imagen segmentada HSV (derecha).
Fuente: Elaboración propia

Para ahorrar consumo computacional se procede a realizar una conversión a escala de grises. Por otra parte, se utiliza un filtro promedio con un kernel de 15x15 para eliminar las conexiones límites entre lo que queda del fondo en la máscara y la imagen. Este proceso se realiza aplicando una erosión, operación morfológica entre la máscara y el kernel, cuyo resultado se muestra en la Figura 3.4 a.

$$erosion = m_{enRango} \ominus kernel.$$

Los objetos encerrados en rojo son preservados luego de la erosión. Para obtener la región de interés (ROI) se realiza la búsqueda de contornos. De estos, se elige el mayor a partir del cual se obtiene una máscara binaria [Figura 3.4 b]. Por último, se realiza una operación bit a bit (bitwise) entre la máscara binaria y la imagen original en escala

de grises obteniéndose la región de interés (ROI) con un fondo que no interfiere con el procesamiento de la imagen [Figura 3.4 c].

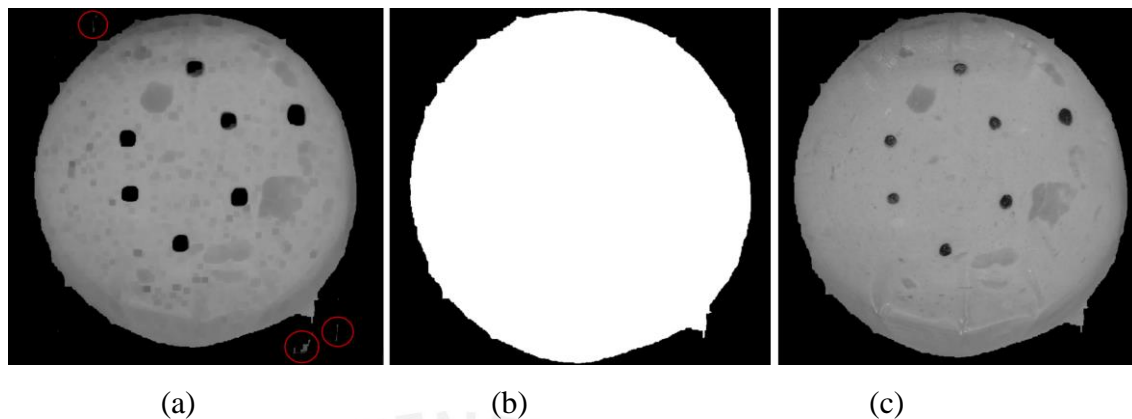


Figura 3.4 Imagen erosionada (a). Máscara binaria (b). ROI (c).

Fuente: Elaboración propia

Procesamiento y extracción de características

Los principales defectos presentes en los paquetes de jamonadas corresponden a defectos de puntos negros y de líneas y mordedura los cuales se muestran en la Figura 3.5. En el caso de los primeros se simula el error colocando manchas negras sobre el producto. Se cuenta con muestras reales de defectos de líneas y mordedura.

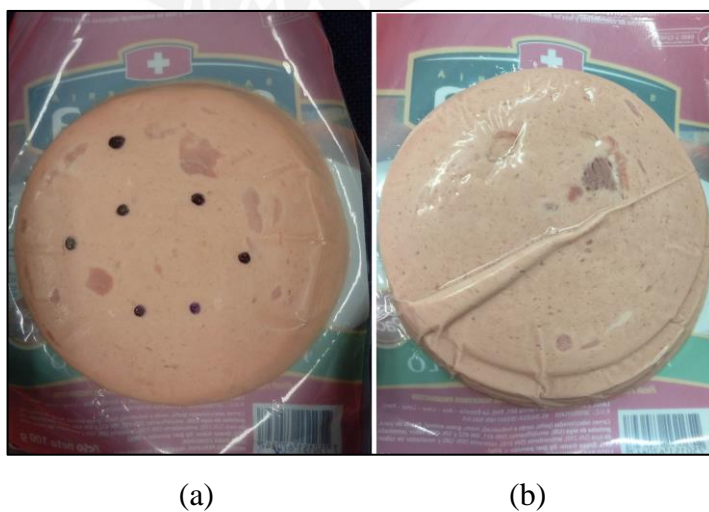


Figura 3.5 Defectos de puntos (a) y mordeduras (b).

Fuente: Elaboración propia.

Para detectar los puntos negros como fallas, se aplica un umbral sobre el ROI. El valor hallado para este umbral es de 80. Las zonas que superen este valor son las candidatas para falla. El máximo tamaño permitido de un punto en la jamonada es de 1 mm de diámetro. Esta área se mapea a escala de píxeles y se aplica como un filtro de área. El rango de áreas sobre el cual caen los puntos es de [10, 80] píxeles. Las condiciones anteriores pueden resumirse según:

$$t_{umbral} = 80 ,$$

$$a_{min} = 10 \text{ px} ,$$

$$a_{max} = 80 \text{ px} ,$$

$$\begin{array}{l} a_{min} < a_{contorno} < a_{max} \\ \wedge \\ t_{umbral} < t_{contorno} \end{array} = \left\{ \begin{array}{ll} \text{verdadero,} & \text{producto defectuoso} \\ \text{falso,} & \text{producto aprobado} \end{array} \right\} .$$

El resultado es una detección de los puntos defectuosos [Figura 3.6].

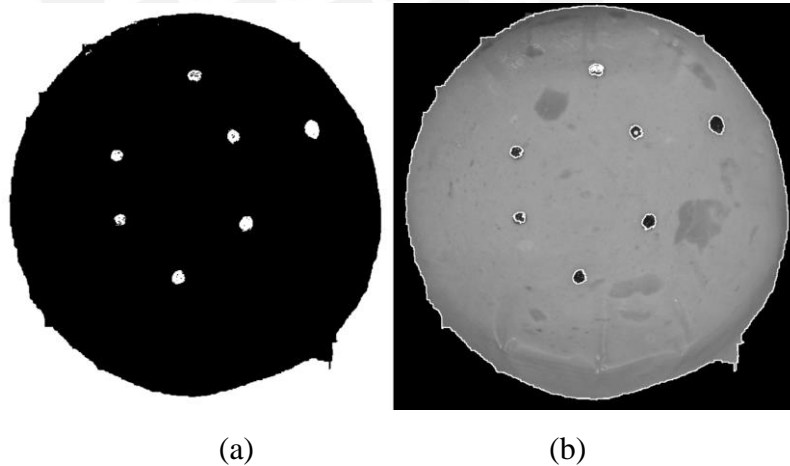


Figura 3.6 Umbralización (a). Detección de fallas (b).
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las rayas y defectos de mordedura se emplea la transformada de Hough, la cual permite extraer características a partir de una imagen binaria. La detección de bordes por medio del algoritmo de Canny sirve como entrada para Hough ya que permite la obtención de una imagen binaria con los bordes de la imagen a partir del

algoritmo Non-Maxima Supresion. Este se basa en la obtención de la línea que representa los bordes de la imagen eliminando los pixeles que no perteneces a las líneas importantes de la imagen, es decir, los pixeles “no máximos”. Los umbrales de Canny mínimo y máximo hallados respectivamente son de [60, 200].

La transformada de Hough utiliza la imagen de Canny para extraer características de la imagen. Los candidatos a objetos se obtienen como máximos locales en un espacio llamado acumulador. Estos funcionan como umbrales. En el caso de la Figura 3.7 se observa una secuencia de pixeles que forman líneas. El valor umbral del acumulador hallado es de 180 con el que se detectará líneas consideradas como defectos.

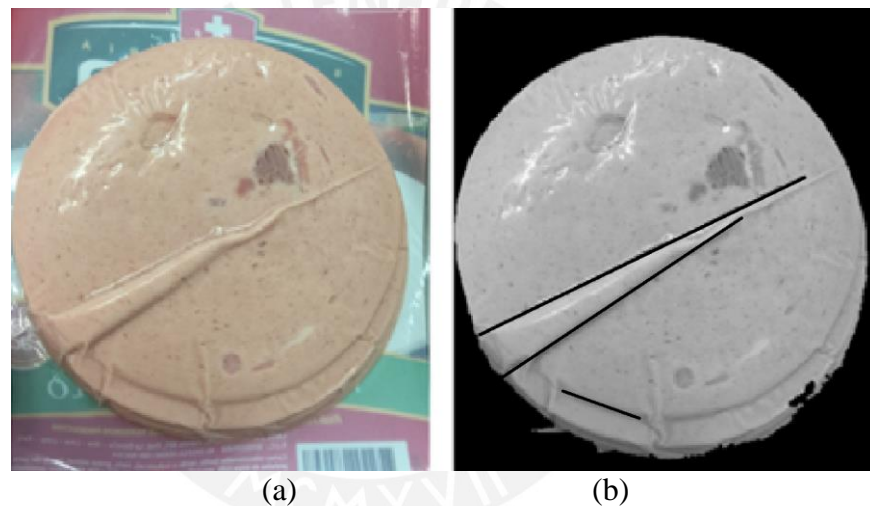


Figura 3.7 Imagen original (a). Línea detectada (b).
Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO 4: PLANOS Y COSTOS

En el presente capítulo se expone la lista de planos de ensamble y despiece de los elementos a fabricar [Tabla 4.1], así como el presupuesto de estos [Tabla 4.2].

4.1. Relación de planos

El sistema de rechazo está compuesto por el actuador lineal y su estructura de soporte, la cual utiliza perfiles RexRoth de aluminio extruido. El actuador lineal cuenta con un efector final rectangular para la disposición de los envases rechazados fuera de la faja.

Los topes de ordenamiento son de 1 mm de espesor y están fabricados con acero inoxidable trabajado en chapa para darles un perfil que permita guiar a los envases. Estos elementos se acoplan a la faja transportadora por medio de soldadura.

La estructura de la cámara está compuesta por láminas de acero inoxidable AISI 316 soldadas en sus extremos. Un recubrimiento superior asegura el aislamiento de luz y cuenta además con un agujero para la disposición de la cámara.

El servomotor es soportado por una estructura en chapa la cual es soldada a la faja. Este se encarga de soportar en su eje al tope oscilante de separación de envases inicial.

Tabla 4.1 Lista de planos del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Número	Descripción	Tamaño
1	Sistema de Rechazo	A0
2	Chapa Soporte Servo	A3
3	Ensamble Tope Transversal	A3
4	Unión Tope Transversal	A4
5	Tope Transversal	A4
6	Estructura Cámara	A3
7	Estructura Soporte Servo	A3
8	Unión Tope Longitudinal	A3
9	Unión Tope Giro	A3
10	Sistema Integrado	A0

4.2. Costos

Los costos de los componentes del sistema se detallan en la Tabla 4.2. Para la elaboración de estos se consultó el precio de materiales como el acero inoxidable, el proceso de manufactura para el ensamble de componentes, así como el precio de los sensores y actuadores a utilizar en cada una de las etapas del sistema.

Tabla 4.2 Costos del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Etapa	Componentes	Detalle	Cantidad	Precio total (\$/.)
Separación	Sensor presencia	42CF-E1EZB-D4	1	191.03
	Servomotor	TLY-A2530P-BJ62AA	1	3120.12
	Controlador Servo	Kinetix 3 (2071-AP0)	1	1688.04
	Tope	AISI 316	1	123.01
	Acople	AISI 316	1	80.00
	Cojinete	AISI 317	1	29.35
Alineamiento	Tope 1 Izq	AISI 316	1	10.27
	Tope 1 Der	AISI 316	1	10.27
	Tope 2 Izq	AISI 316	1	10.27
	Tope 2 Der	AISI 316	1	10.27
Giro	Tope	AISI 316	4	49.61
	Tope Volteo	AISI 316	1	6.51
Sistema de visión	Sensor presencia	42CF-E1EZB-D4	1	191.03
	Recubrimiento	Plancha AISI 316	1	108.21
	Cámara	DFK 22BUC03	1	1279.80
	Lentes	Basler C23 f12mm	1	324.00
	Luces	Tiras LED	1	30.78
Rechazo	Sensor presencia	42CF-E1EZB-D4	1	191.03
	Actuador lineal	MPARA1400EV2A	1	11793.60
	Efector final	AISI 316	1	1.26
	Base actuador	AISI 316	1	8.06
			Total	19256.53

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El sistema mecatrónico permitirá la mejora del control de calidad de envases de jamonadas a través de la automatización de subprocesos al final de la línea de producción, garantizándose la calidad e integridad del producto.
- El sistema cumple los requerimientos tales como control de calidad, los materiales a utilizar, las dimensiones máximas, la alimentación y el tipo de comunicaciones entre dispositivos.
- Las pruebas de concepto para la separación de envases fueron positivas. La rugosidad de la faja y la disposición de topes permite una correcta disposición de los envases.
- Los elementos en contacto directo con la faja son de acero inoxidable AISI 316, mientras que las estructuras de soporte son de aluminio extruido Rexroth. Esto se toma en consideración debido a que la faja es de acero inoxidable y se busca evitar contaminación cruzada por corrosión entre distintos materiales.
- En relación con el sistema de visión se tiene que:
 - Se emplea iluminación difusa tipo domo que permite adquirir superficies homogéneas reduciendo el reflejo propio de los envases cuando incide luz. Este tipo de iluminación evita el uso de filtros para los lentes de la cámara ya que la luz que incide en el objeto se refleja de manera uniforme.
 - El sistema cámara lentes se posiciona a 480 mm de la faja para asegurar el espacio suficiente para no interrumpir el paso de productos de mayores dimensiones, así como para el arreglo de las luces.
 - Se detectan correctamente los errores de puntos negros y color del producto, así como la presencia de líneas o mordeduras en el mismo.
 - El análisis de los defectos de mordeduras se basa en la detección de líneas con el algoritmo de Hough. Se analizó el algoritmo basado en círculos, sin embargo, se obtienen mejores resultados con el análisis de líneas.

5.2. Recomendaciones

- Considerar el tiempo de cada proceso ya que es uno de los factores determinantes para la precisión del sistema (retardo de los sensores, actuadores, procesamiento de imagen).
- Se debe tomar en cuenta la disposición física de los elementos de visión, teniéndose en cuenta cuales son las variables que uno puede establecer y a cuáles está restringido según los requerimientos.
- El uso de filtros para la cámara se evalúa en base al tipo de luz elegido y el tipo de superficie del producto. Para aplicaciones con iluminación controlada suele no ser necesario el uso de filtros.
- Analizar qué características se quieren obtener y evaluar el espacio de colores (RGB, HSV, HSL) que permita facilitar el preprocesamiento de la imagen.
- Las técnicas de procesamiento de imagen a utilizar deben estar acorde con lo que se quiera analizar; en el caso de imágenes que no varían en posición, ángulo o luminosidad se pueden utilizar técnicas de procesamiento clásicas. Para mayores variaciones en la imagen se puede contemplar técnicas de machine learning como redes neuronales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sociedad Nacional de Industrias (SNI), «Elaboración de embutidos y fiambres», Reporte Sectorial N°3 abril 2017. Consulta: 21 de agosto del 2017. http://www.sni.org.pe/wp-content/uploads/2017/04/Elaboración_de_embutidos_y_fiambres.pdf
- [2] Departamento de Seguros de Texas, «La Ergonomía para la Industria en General». Consulta: 25 de agosto del 2017. www.tdi.texas.gov/pubs/videoresourcessp/spwpgenergo.pdf
- [3] Industria Alimenticia, «El flujo de trabajo del control de calidad de alimentos». Consulta: 24 de agosto del 2017. <http://www.industriaalimenticia.com/articles/84655-el-flujo-de-trabajo-del-control-de-calidad-de-alimentos>
- [4] Manuel García P., Carlos Quispe A., Luis Raez G., «Costo de la Calidad y la Mala Calidad», Consulta: 24 de agosto del 2017. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v05_n1/calidad.htm
- [5] Grupo IPC Identificación Pesaje y Control, «Inspección al final de línea». Consulta: 24 de agosto del 2017. <http://www.ipc.com.mx/inspeccion-verificacion.html>
- [6] Blog de visión artificial, «Reducción de costes y optimización de procesos mediante sistemas de visión artificial». Consulta: 24 de agosto del 2017. <http://www.bcnvision.es/blog-vision-artificial/vision-artificial-industria-alimentaria/>
- [7] C-Track LTD, 2 into 1 Product Converger Conveyor. Consulta: 29 de agosto del 2017. http://www.c-trakconveyors.co.uk/2_into_1_product_convergers.htm
- [8] JentonAriana, Pack Convergents and Seal Testers. Consulta: 29 de agosto del 2017. <http://www.jentonariana.co.uk/convergers.html>
- [9] Bafu, FWC350 Aligner Feeder Flow Pack Machine. Consulta: 29 de agosto del 2017. <http://www.bafupackaging.com/proshow.aspx?id=4>
- [10] Kendy Automation, Feeding and packing line. Consulta: 29 de agosto del 2017. <http://www.kendyautomation.com/html/product-40.html>

- [11] Mario Spatafora, Antonio Gamberini, 29 enero 2002, “Ordering device for arranging products received in a loose state in an orderly succession”. US Patent 6341685. Consulta: 4 de setiembre del 2017.
- [12] A. A. Joseph Fransen, 29 agosto 1996, “Method and device for arranging a stream of products”. US Patent 5547004. Consulta: 4 de setiembre del 2017.
- [13] Adept Engineers, Conveyors. Consulta: 3 de setiembre del 2017.
<http://adeptconveyor.com.au/conveyors/1:40/>
- [14] Equipment Technology Inc. ETI, Conveyors. Consulta: 3 de setiembre del 2017. <http://etiautomation.net/custom-automation-machinery/>
- [15] Emerald Automation, Case Flipper System. Consulta: 3 de setiembre del 2017. <http://www.emeraldautomation.com/specialty-equipment/case-flipper.html>
- [16] Shuttleworth, Guided Flip Conveyor – Note Pads, [videgrabación]. Consulta: 30 de agosto del 2017.
<http://www.shuttleworth.com/videos/guided-flip-conveyor-note-pads/>
- [17] Alfred Lohr, Helmut Hemmann, Karl Tropp, 12 noviembre 1968. “Meat-turning device”. US Patent 3410198. Consulta: 7 de setiembre del 2017.
- [18] Infaimon, Visión Artificial. Consulta: 10 de setiembre del 2017.
<http://blog.infaimon.com/global-check-v2-0-maquina-robotizada-para-verificado-del-100-de-las-piezas-por-vision-artificial-por-vision-artificial/>
- [19] Shuai Chen, Yue Ma, Haibo Shi, “Sausage appearance defect inspection system based on machine vision”. Consulta: 10 de setiembre del 2017.
<http://ieeexplore.ieee.org/document/5498789/authors>
- [20] B. Muhammedali, “Food handling and packaging using computer vision and robot”. Consulta: 10 de setiembre del 2017.
<http://ieeexplore.ieee.org/document/1323981/>
- [21] Valdivia, “Diseño de un Sistema de Visión Artificial para la Clasificación de Chirimoyas basado en medidas”. Consulta: 16 de setiembre del 2017.
- [22] Basilio, “Estudio de un sistema de visión para control de pesos y tamaño de racimos de uva de mesa”. Consulta: 16 de setiembre del 2017.
- [23] D. Martin, “A Practical Guide to Machine Vision Lighting”. Consulta: 19 de setiembre del 2017.

- [24] Gonzalez, Rafael C. & Woods, Richard E. (2006), Digital Image Processing, 3rd Edition, Prentice-Hall Inc. Consulta: 19 de setiembre del 2017.
- [25] YOLO, Real-Time Object Detection, Consulta: 19 de setiembre del 2017.
<https://pjreddie.com/darknet/yolo/>
- [26] Gómez, Hernández, Prieto, “Manipulación de robots con base en posturas labiales”. Consulta: 19 de setiembre del 2017.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532008000100018#fig01
- [27] J. Jänsch and H. Birkhofer, “The development of the guideline VDI 2221”. Consulta: 11 de setiembre del 2017.
- [28] Hornberg Alexander, “Handbook of Machine Vision”. Consulta: 2 de octubre del 2017.
- [29] Vision Doctor, LIGHTING. Consulta: 2 de octubre del 2017.
<http://www.vision-doctor.com/en/>
- [30] BAuA. Beleuchtung asr a3.4. Technical report, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2011. Consulta: 5 de octubre del 2017.
- [31] Basler, Lens Selector. Consulta: 5 de octubre del 2017.
<https://www.baslerweb.com/en/support/tools/lens-selector/#camera-model=m-6992;camera-series=s-198>

ANEXOS

ANEXO 1 CÁLCULOS SERVOMOTOR

ANEXO 2 CÁLCULOS PARA LA SELECCIÓN DE LA CÁMARA

ANEXO 3 ALGORITMO DE VISION

ANEXO 4 HOJAS DE DATOS



ANEXO 1 CÁLCULOS SERVOMOTOR

Cálculo de fuerzas:

- Fuerza para separar los envases superiores (25°):

$$F_1 = 3 * u_{ee} * m * g,$$

$$F_1 = 3.38 N.$$

Donde:

m : Masa de un envase (230 g)

u_{ee} : Coeficiente de rozamiento envase/envase (0.5)

Fuerza para retrasar 3 envases (15°):

$$F_2 = 3 * u_{ef} * m * g,$$

$$F_2 = 6.75 N.$$

Donde:

u_{ef} : Coeficiente de rozamiento envase/faja (1)

Cálculo de torques:

- Torque a 25 grados:

Sumatoria de momentos:

$$\sum M_O = 0: T_{25} = F_1 * l * \cos(25^{\circ}) + \frac{P * l}{2} * \text{Sen}(25^{\circ}),$$

$$T_{25} = 1.11 Nm.$$

Donde:

l : Longitud del tope (14.5 cm).

P : Peso del tope 1 (21.88 N)

- Torque a 15 grados:

Sumatoria de momentos:

$$\sum M_O = 0: T_{15} = F_2 * l * \cos(15^{\circ}) + \frac{P * l}{2} * \text{Sen}(15^{\circ}),$$

$$T_{15} = 1.3 Nm.$$

- Torque de impacto:

Se realiza un análisis de conservación de la cantidad de movimiento en la dirección de la faja.

$$\sum \Delta p = 0: \quad \Delta p = (3m) * v = F_i * \Delta t$$

Donde:

m : Masa de un envase de embutidos (0.23 kg)

v : Velocidad de la faja (0.25 m/s)

F_i : Fuerza sobre 3 envases en el impacto

Considerando un Δt de 0.01 segundos se tiene una fuerza de 17.25 N. y siendo el ángulo inicial 25° grados se tiene la sumatoria de momentos como:

$$\sum M_o = 0: \quad T_i = F_i * l * \cos(25^\circ) + \frac{P * l}{2} * \text{Sen}(25^\circ),$$

$$T_i = 1.52 \text{ Nm}.$$

Donde:

l : Longitud del tope (14.5 cm).

P : Peso del tope 1 (21.88 N)

Luego, del análisis realizado se concluye que el torque máximo se produce durante el impacto, es decir, al producir el retraso de los envases de la fila superior con una magnitud de **1.52 Nm**.

Cálculo de velocidad:

- Velocidad del servomotor:

Se calcula la velocidad mínima del servomotor en base a la velocidad de la faja, es decir, si el servo pasa de 15° a 25° en 0.01 segundos el desplazamiento de la faja habrá sido de 2.5 mm.

$$\omega = 1000^\circ / s = 17.5 \text{ rad/s},$$

$$\omega = 166.7 \text{ RPM}.$$

Calculo de potencia:

- Potencia de operación del servo:

$$P = T * w,$$

$$P = 23.73 \text{ W}.$$



ANEXOS 2 CÁLCULOS PARA LA SELECCIÓN DE LA CÁMARA

Campo de Visión:

$$FOV = d_o + t_{mx} + m_c$$

Donde:

- d_o : Dimensión del objeto (envases de 12x16 cm)
- t_{mx} : Traslación y orientación máxima (± 1 cm)
- m_c : Márgenes del cuadro (± 1 cm)

Luego:

$$FOV = 180 \times 140 \text{ mm}$$

Resolución:

$$R_c = \frac{FOV}{R_s}$$

Donde:

- d : Dimensión del defecto más pequeño (1mm)
- px : Píxeles para representar el defecto más pequeño (3)
- R_s : Resolución espacial ($\frac{d}{px}$)

Luego:

$$R_s = \frac{1}{3} \frac{\text{mm}}{\text{píxeles}}$$

$$R_c = 540 \times 420 \text{ píxeles}$$

Tiempo de exposición:

$$t_e = \frac{R_s}{v_f}$$

Donde:

- R_s : Resolución de la cámara ($\frac{1}{3}$ mm/píxel)
- v_f : Velocidad de la faja (250 mm/s)

Luego:

$$t_e = 1.3 \text{ ms} = 1/750$$

Distancia focal:

$$f = \frac{h * WD}{FOV_{horiz}}$$

Donde:

- h : Dimensión horizontal del sensor de la cámara (4.5 mm)
- WD : Distancia de trabajo (500 mm)
- FOV_{horiz} : Campo de visión horizontal (180 mm).

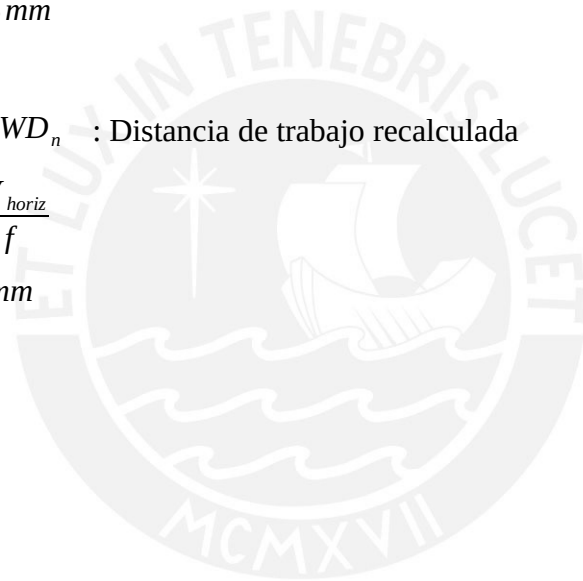
Luego:

$$f = 12.5 \text{ mm}$$

- WD_n : Distancia de trabajo recalculada

$$WD = \frac{FOV_{horiz}}{h * f}$$

$$WD = 480 \text{ mm}$$



ANEXOS 3 ALGORITMO DE VISION

```
def gethsvValues(image):  
    '''  
    OBTIENE LOS VALORES HSV DE UNA IMAGEN EN BASE AL AREA  
    SELECCIONADA  
    '''  
  
    clone = image.copy()  
    cv2.namedWindow("hsv cropping")  
    cv2.setMouseCallback("hsv cropping", click_and_crop)  
    global x_start, y_start, x_end, y_end, cropping, getROI  
    while True:  
  
        i = image.copy()  
  
        if not cropping and not getROI:  
            cv2.imshow("hsv cropping", image)  
  
        elif cropping and not getROI:  
            cv2.rectangle(i, (x_start, y_start), (x_end, y_end),  
(0, 255, 0), 2)  
            cv2.imshow("hsv cropping", i)  
  
        elif not cropping and getROI:  
            cv2.rectangle(image, (x_start, y_start), (x_end, y_end),  
(0, 255, 0), 2)  
            cv2.imshow("hsv cropping", image)  
  
        key = cv2.waitKey(1) & 0xFF  
  
        # si se presiona r se toma otra region  
        if key == ord("r"):  
            image = clone.copy()  
            getROI = False  
  
        # si se presiona c se devuelve el hsv de la region  
        elif key == ord("c"):  
            break  
  
        refPt = [(x_start, y_start), (x_end, y_end)]  
        if len(refPt) == 2:  
            roi = clone[refPt[0][1]:refPt[1][1], refPt[0]  
[0]:refPt[1][0]]  
            hsvRoi = cv2.cvtColor(roi, cv2.COLOR_BGR2HSV)  
  
    cv2.destroyAllWindows()
```

```
return (lower,upper)
```

```
def cannyBartrack(image):  
    '''  
    A PARTIR DE UNA IMAGEN BINARIA MODIFICA LOS PARAMETROS  
    DEL ALGORITMO DE HOUGH CON UNA BARRA DE CONTROL  
    '''  
  
    cv2.namedWindow('canny')  
    cv2.createTrackbar('lower canny', 'canny', 0, 250, nothing)  
    cv2.createTrackbar('upper canny', 'canny', 0, 250, nothing)  
  
    while(1):  
        lc = cv2.getTrackbarPos('lower canny', 'canny')  
        uc = cv2.getTrackbarPos('upper canny', 'canny')  
        edges = cv2.Canny(image,lc,uc)  
        numpy_imagenes = np.hstack((image, edges))  
        cv2.imshow('original y canny', numpy_imagenes)  
  
        k = cv2.waitKey(5) & 0xFF  
        if k == 27: # presionar escape para salir  
            cv2.destroyAllWindows()  
            return edges
```

```
def hasLines(edges, img_original):  
    '''  
    grafica líneas solo si existen  
    '''  
  
    # MODIFICAR PARAMETROS, ultimo parametro es el Threshold  
    lines = cv2.HoughLines(edges, 2, np.pi/180, 180)  
  
    # VISUALIZACION NO AFECTA EL TIEMPO DE PROCESAMIENTO  
    if lines is not None:  
        for r,theta in lines[0]:  
  
            a = np.cos(theta)  
            b = np.sin(theta)  
            x0 = a*r  
            y0 = b*r  
            x1 = int(x0 + 1000*(-b))  
            y1 = int(y0 + 1000*(a))  
            x2 = int(x0 - 1000*(-b))  
            y2 = int(y0 - 1000*(a))  
            cv2.line(img_original, (x1,y1), (x2,y2), (0,0,255), 7)
```

```
if lines is not None:
    return True
else:
    return False
```

```
def hasDots(image, umbral):
    """
    ANALIZA UNA IMAGEN Y DEVUELVE VERDADERO SI
    ES QUE ENCUENTRA UN PUNTO DEFECTUOSO
    """
    # threshold
    th, threshed =
cv2.threshold(image, umbral, 255, cv2.THRESH_BINARY_INV)

    # contornos
    _, cnts, _ = cv2.findContours(threshed, cv2.RETR_LIST,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

    clone = image.copy()
    contour_list = []
    for contour in cnts:
        # aproximar contornos como circunferencias
        approx =
cv2.approxPolyDP(contour, 0.01*cv2.arcLength(contour, True), True)

        area = cv2.contourArea(contour)
        if ((len(approx) > 8) & (area > 30) ):
            contour_list.append(contour)

    # dibujar los contornos en la imagen original
    cv2.drawContours(clone, contour_list, -1, (255,0,0), 2)

    ## filtrar por area
    s1= 10
    s2 = 80
    xcnts = []
    for cnt in cnts:
        if s1< cv2.contourArea(cnt) <s2:
            xcnts.append(cnt)

    print("Numero de puntos: {}".format(len(xcnts)))

    if len(xcnts)> 0:
        return True
    else:
        return False
```

```

def timing_function(some_function):
    """
    DEVUELVE EL TIEMPO QUE TARDA UNA FUNCION EN EJECUTARSE
    """
    def wrapper():
        t1 = time.time()
        some_function()
        t2 = time.time()
        return "DURACION DE LA FUNCION: " + str((t2 - t1)) + "\n"
    return wrapper

```

Programa Principal

```

import cv2
import numpy as np
import argparse

# lectura de la imagen
ap = argparse.ArgumentParser()
ap.add_argument("-i", "--image", required=True, help="Path to the image")
args = vars(ap.parse_args())
image = cv2.imread(args["image"], cv2.IMREAD_COLOR)

# errores considerados
failures = {
    "line": False,
    "dot": False,
}

# copia de la imagen
original = image.copy()

@timing_function
def main():
    """
    PROGRAMA PRINCIPAL. SE UTILIZAN LAS FUNCIONES PREVIAMENTE
    DEFINIDAS PARA HALLAR LOS PARAMETROS DE CADA ALGORITMO.
    UNA VEZ DEFINIDOS SE UTILIZAN DIRECTAMENTE. COMENTARIOS EN
    GRIS
    """

    global original, failures

    # cambio a capa hsv
    hsv = cv2.cvtColor(original, cv2.COLOR_BGR2HSV)

```



```

#-----CALCULO DE LO HSV
OPTIMOS-----
# lower_hsv,upper_hsv = gethsvValues(original_prueba)

# mascara hsv
lower_hsv = [4,35,51]
upper_hsv = [49,210,252]
lower = np.array(lower_hsv)
upper = np.array(upper_hsv)

mask = cv2.inRange(hsv, lower, upper)
res = cv2.bitwise_and(original,original, mask= mask)

# obtener el contorno mas grande que representa la jamonada
gray = cv2.cvtColor(res, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

# kernel puros unos
kernel = np.ones((15,15),np.uint8)

# morfologia con kernel simple
erosion = cv2.erode(gray,kernel,iterations = 1)

im2, contours, hierarchy =
cv2.findContours(erosion,cv2.RETR_LIST,cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
mask = np.zeros(erosion.shape, np.uint8)

largest_areas = sorted(contours, key=cv2.contourArea)
cv2.drawContours(mask, [largest_areas[-1]], 0,
(255,255,255,255), -1)

# obtener el contorno mas grande
x,y,w,h = cv2.boundingRect(largest_areas[-1])
original = original[y-5:y+h+5,x-5:x+w+5]
mask = mask[y-5:y+h+5,x-5:x+w+5]

# ROI sin fondo en escala de grises
original = cv2.cvtColor(original, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
roi_gray = cv2.bitwise_and(original,original,mask = mask)

#-----
UMBRALIZACION-----
umbral = 80

#-----BUSQUEDA DE PUNTOS
-----
failures['dot'] = hasDots(roi_gray, umbral)

#-----
CANNY-----

```

```
#gray = cannyBartrack(roi_gray)
edges = cv2.Canny(roi_gray,60,130)

#-----BUSQUEDA DE LILNEAS
-----
failures['line'] = hasLines(edges, roi_gray)

return failures
```



ANEXOS 4 HOJAS DE DATOS

