

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



**DISEÑO DE UN SISTEMA INTEGRADO PARA EL CONTROL DE  
CALIDAD DE PRENDAS DE VESTIR**

**1MTR01 Trabajo de Fin de Carrera 1**

**AUTOR:**

Alibert Luna Palomino

**ASESOR:**

José Mauricio Díaz Jurado

Lima, 2 de abril de 2024

# Índice general

<b>Capítulo 1: Introducción</b>	<b>4</b>
1.1 Problemática . . . . .	4
1.2 Propuesta de Solución . . . . .	7
1.3 Objetivos . . . . .	7
1.3.1 Objetivo General . . . . .	7
1.3.2 Objetivos Específicos . . . . .	7
1.4 Metodología . . . . .	8
1.5 Alcance de la Investigación . . . . .	8
<b>Capítulo 2: Estado del Arte</b>	<b>10</b>
2.0.1 Investigaciones Académicas . . . . .	10
2.0.2 Productos Comerciales . . . . .	12
2.0.3 Patentes . . . . .	15
<b>Capítulo 3: Diseño Conceptual</b>	<b>20</b>
3.1 Lista de exigencias . . . . .	20
3.2 Estructura de funciones . . . . .	23
3.2.1 Black Box . . . . .	23
3.2.2 Funciones Parciales . . . . .	24
3.3 Matriz morfológica . . . . .	28
3.3.1 Dominio de Interfaz . . . . .	29
3.3.2 Dominio Mecánico . . . . .	30
3.3.3 Dominio Informático . . . . .	30
3.3.4 Dominio de Control . . . . .	31
3.3.5 Dominio Eléctrico/Electrónico . . . . .	32
3.3.6 Dominio de Sensores . . . . .	33
3.4 Conceptos de solución . . . . .	34
3.4.1 Concepto de solución 1 . . . . .	34
3.4.2 Concepto de solución 2 . . . . .	35
3.4.3 Concepto de solución 3 . . . . .	36
3.5 Análisis técnico-económica . . . . .	37
<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>40</b>

# Índice de figuras

1.1 Exportaciones peruanas de textiles: aumento en FOB y unidades, 2021 vs 2022 . . . . .	4
1.2 Inspección manual de prendas de vestir. . . . .	5
2.1 Sistema de visión artificial con fondo dinámico. . . . .	10
2.2 Defecto ignorado por YOLOv5m6, detectado tras la ampliación de datos. . . . .	11
2.3 Diseño de un dispositivo para medición automática de tallas de prendas mediante reconocimiento de imágenes . . . . .	12
2.4 Detector de Agujas Portátil ON-30 de Oshima. . . . .	13
2.5 Detectores de Agujas para Cinta Transportadora Digital ON-688CD6S/688CDD6S. . . . .	14
2.6 Máquina de chequeo de medidas conducido por IA. . . . .	15
2.7 Patente con captura de detalles en 3D. . . . .	16
2.8 Sistema de captura y digitalización. . . . .	17
2.9 Digitalización de la prenda. . . . .	17
2.10 Sistema de control de calidad con un mecanismo para insuflar gas. . . . .	18
2.11 Detector inteligente de agujas. . . . .	19
3.1 Black Box. . . . .	24
3.2 Estructura de funciones del sistema. . . . .	25
3.3 Estructura de funciones del dominio mecánico. . . . .	26
3.4 Estructura de funciones del dominio informático. . . . .	26
3.5 Estructura de funciones del dominio de control. . . . .	26
3.6 Estructura de funciones del dominio eléctrico/electrónico. . . . .	27
3.7 Estructura de funciones del dominio de sensores. . . . .	27
3.8 Estructura de funciones del dominio de interfaz. . . . .	28
3.9 Concepto solución 1. . . . .	35
3.10 Concepto solución 2. . . . .	36
3.11 Concepto solución 3. . . . .	37
3.12 Gráfica de comparación técnico-económica de los conceptos de solución. . . . .	39

# Índice de tablas

1.1	Factores que afectan la eficiencia de la inspección visual. . . . .	6
1.2	Inspección visual versus inspección automatizada. . . . .	6
2.1	Especificaciones del Modelo ON-30. . . . .	13
2.2	Especificaciones de los modelos ON-688CD6S/688CDD6S. . . . .	14
2.3	Características cuantitativas del sistema de inspección de prendas con IA. . . . .	15
3.1	Lista de Requerimientos. . . . .	20
3.2	Leyenda de colores para los conceptos de solución en las matriz morfológica. . . . .	28
3.3	Matriz morfológica del dominio de interfaz. . . . .	29
3.4	Matriz morfológica del dominio mecánico. . . . .	30
3.5	Matriz morfológica del dominio informático. . . . .	31
3.6	Matriz morfológica del dominio de control. . . . .	32
3.7	Matriz morfológica del dominio eléctrico/electrónico. . . . .	32
3.8	Matriz morfológica del dominio de sensores. . . . .	33
3.9	Evaluación técnica de los conceptos de solución. . . . .	38
3.10	Evaluación económica de los conceptos de solución. . . . .	38

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Problemática

El presente proyecto aborda su problemática central a través de tres enfoques interrelacionados: primero, se destaca la importancia del control de calidad dentro de la industria de la moda; en segundo lugar, se identifican las ineficiencias inherentes al control de calidad tradicional; y finalmente, se subraya la creciente necesidad de automatización en el proceso de control de calidad.

#### Importancia del Control de Calidad en la Industria Textil

Entre enero y mayo de 2022, las exportaciones de camisas, pantalones y camisetas en Perú experimentaron incrementos notables, con crecimientos del 57 %, 49 % y 31 % en valor, respectivamente. Hasta mayo de 2022, las exportaciones de confecciones alcanzaron los 759 millones de dólares americanos, marcando un aumento del 36 % en comparación con el año anterior [5]. Estas estadísticas demuestran un crecimiento significativo en la exportación de prendas de vestir peruanas, por lo cual, es importante mantener altos estándares de calidad para satisfacer las expectativas de los mercados internacionales.



PRODUCTOS	2021		2022	
	FOB	UNIDADES	FOB	UNIDADES
CAMISAS	\$ 80.876.981	7.979.137	\$ 127.176.515	11.499.924
PANTALONES	\$ 18.660.659	2.158.706	\$ 27.805.270	2.773.251
TSHIRT	\$ 167.262.194	28.125.756	\$ 219.847.983	35.218.950

Fuente: SUNAT

Elaboración: IDEXCAM

Figura 1.1: Exportaciones peruanas de textiles: aumento en FOB y unidades, 2021 vs 2022. Fuente [5].

El control de calidad en la industria textil es esencial para asegurar que las prendas no solo cumplan

con los estándares de calidad establecidos, sino también que ofrezcan seguridad y durabilidad. Este proceso minucioso abarca diversas etapas, incluyendo la inspección de tejidos, la graduación de patrones, el corte, la costura, el acabado y finalmente, el empaquetado. Todo ello con el objetivo de garantizar que el producto final cumpla con las expectativas de los clientes. Entre los defectos más comunes que se identifican durante estas etapas se encuentran las variaciones de color, manchas, agujeros, puntadas rotas, costuras desalineadas, hilos sueltos, así como medidas incorrectas y tallas inconsistentes, tanto en los tejidos como en la construcción de las prendas [18].

## **Ineficiencias en el Control de Calidad Tradicional**

El enfoque tradicional de control de calidad, que se centra principalmente en inspecciones al final del proceso y en la implementación de correcciones a posterior, resulta en elevados costos debido a desechos y reparaciones. Este enfoque repercutе negativamente en la competitividad y sostenibilidad de las empresas. Un estudio realizado por [4] sobre la gestión de calidad en micro y pequeñas empresas (Mypes) del sector textil en Perú, destaca las graves consecuencias económicas y ambientales que surgen de una gestión de calidad ineficaz. Desde el punto de vista económico, los residuos y desperdicios producidos por procesos inefficientes constituyen un gasto promedio del 7.4 % en relación con el costo total de producción, lo cual impacta directamente en la competitividad y la rentabilidad de las empresas.

El control de calidad manual, como se observa en la Figura 1.2, es ampliamente utilizada en procesos de producción debido a su relativa facilidad y la no necesidad de equipos técnicos especializados. Sin embargo, enfrenta desafíos significativos debido a factores humanos como los que se detallan en la Tabla 1.1. Dichos factores inciden directamente en la efectividad del control de calidad manual, elevando potencialmente la incidencia de errores en la evaluación de la calidad. Investigaciones referenciadas en el estudio de [7] revelan que, en tareas de inspección simples, la tasa de error puede fluctuar entre un 3 % y un 30 %, dependiendo de la índole de la tarea y las condiciones en que se efectúa la inspección.



Figura 1.2: Inspección manual de prendas de vestir. Fuente: [12].

Tabla 1.1: Factores que afectan la eficiencia de la inspección visual. Fuente: [7].

Factors	Examples
Technical	Type of defects; Defect visibility; Quality level; Standards (tests); Control automation; Other
Psychophysical	Age; Sex; Observation skills; Experience; Temperament; Creativity; Other
Organizational	Training; Scope of decision making; Feedback; Precise instructions; Other
Workplace environment	Light; Noise; Temperature; Work time; Workstation organization; Other
Social	Team communication; Pressure; Isolation; Other

## Necesidad de Mejora y Automatización

La integración de la Inteligencia Artificial (IA) en el control de calidad de la industria textil y de la moda ha introducido métodos avanzados para la inspección de calidad, desde la producción hasta la revisión final de las prendas. Esta innovación mejora significativamente la eficiencia y precisión, minimizando los errores humanos y los costos de producción, mientras asegura la adherencia a estándares de calidad elevados [19]. La Tabla 1.2 resume la comparación entre inspección visual humana y la inspección automatizada. Estas limitaciones subrayan la necesidad de un proceso de inspección más automatizado y preciso para reducir errores y mejorar la eficiencia [6].

Tabla 1.2: Inspección visual versus inspección automatizada [6].

Inspection Type	Visual	Automated
Fabric Types	100 %	70 %
Defect Detection Rate	70 %	80 %+
Reproducibility	50 %	90 %+
Objective Defect Judgment	50 %	100 %
Statistics Ability	0 %	95 %+
Inspection Speed	30 m/min	120 m/min
Response Type	50 %	80 %
Information Content	50 %	90 %+
Information Exchange	20 %	90 %+

La automatización en la detección de defectos mediante visión artificial es crucial en manufactura, mejorando la consistencia y reduciendo errores humanos. La inspección óptica automatizada, impulsada por aprendizaje profundo y machine learning, supera los métodos manuales, ofreciendo eficiencia y precisión. Esto facilita la identificación rápida y confiable de defectos, elevando la calidad del producto y disminuyendo costos y tiempos de producción. La utilización de redes neuronales convolucionales

para la extracción de características mejora la adaptabilidad y eficiencia de la inspección, siendo clave para el avance en manufactura. [15].

## **1.2. Propuesta de Solución**

### **1.3. Objetivos**

El proyecto presenta un objetivo general del cual surgen 10 objetivos específicos para lograr el cumplimiento del objetivo general.

#### **1.3.1. Objetivo General**

Desarrollar un sistema integrado para el control de calidad de prendas de vestir, que combine tecnologías de visión artificial y detección de metales para inspeccionar cada prenda de manera individual, asegurando su conformidad con los estándares de calidad establecidos en la ficha técnica de la prenda, tales como la ausencia de defectos visibles, la precisión en las medidas de talla y la detección de elementos metálicos extraños.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

1. Realizar una revisión bibliográfica (estado del arte) que permita definir los requerimientos del diseño del sistema y todo lo concerniente al diseño conceptual.
2. Definir las exigencias específicas que debe cumplir el sistema para lograr el objetivo principal.
3. Seguir la metodología de diseño basada en la norma VDI 2206 para el diseño mecatrónico completo del sistema.
4. Diseñar un subsistema mecánico que permita transportar las prendas de vestir a través de los distintos módulos del sistema.
5. Diseñar un subsistema de inspección por visión artificial para el control de defectos en prendas de vestir.
6. Diseñar un subsistema de inspección por procesamiento de imágenes para realizar la medición de la talla de las prendas y realizar la verificación según la ficha técnica de la prenda.
7. Diseñar un subsistema de detección de metales que examine cada prenda para identificar y alertar sobre la presencia de agujas, alfileres o cualquier otro elemento metálico extraño, garantizando así la seguridad del producto final.
8. Desarrollar una interfaz intuitiva para mostrar resultados de detección de calidad de prendas, incluyendo visualización de defectos, mediciones de tallas e identificación de metales
9. Seleccionar el concepto de solución óptimo basados en los criterios técnicos y económicos, según la norma VDI 2225.
10. Estimar un costo de fabricación de un prototipo a partir de los componentes seleccionados.

## **1.4. Metodología**

Para el desarrollo del presente trabajo se emplearan adaptaciones de las metodologías diseñadas por la VDI (Asociación Alemana de Ingenieros). Entre ellas, se utilizar una adaptación de la metodología VDI 2206 [2] y de la metodología VDI 2221 [1] para el diseño conceptual, el cual consistirá en las siguientes etapas: Elaboración de lista de requerimientos, Elaboración de un diagrama de funciones y Elaboración de una matriz morfológica (con 3 soluciones). Posteriormente se seguirá una adaptación de la metodología VDI 2225 [21] para realizar un análisis técnico y económica de las soluciones.

De ese modo, los Capítulos 1 y 2 se enfocaran en a comprender la problemática de la investigación. El Capítulo 1 aborda una investigación preliminar para contextualizar el problema, identificar los enfoques de la problemática y definir el alcance de la solución. El Capítulo 2, por su parte, examina el estado actual de la tecnología para establecer un marco de referencia que permita evaluar la viabilidad del proyecto, con el fin de determinar parámetros y características relevantes para el sistema de control de calidad en prendas de vestir.

En el Capítulo 3, se desarrollan los procesos de la metodología correspondientes para diseñar la estructura de funciones y el concepto de solución. Utilizando la lista de requerimientos, se abstrae el problema para obtener una comprensión amplia de las funciones necesarias, lo que guía el diseño mecánico y eléctrico inicial y ayuda a determinar los sensores, actuadores y fuentes de energía necesarios. A partir de esta estructura, se crea una matriz morfológica que facilita la combinación de distintas alternativas de solución, culminando en la definición precisa de los objetivos de diseño e implementación. Además, se realizará una ponderación de los conceptos de solución a través de un análisis técnico-económico con el objetivo de obtener un concepto de solución óptimo.

Por último, en los capítulos subsecuentes se realizaran los siguientes partes del trabajo:

- Realización de cálculos mecánicos, electrónicos y de control necesarios para determinar las características de la máquina.
- Se va a seleccionar (o diseñar) un modelo de inteligencia artificial para realizar la labor de la visión artificial del sistema, además, se va a buscar, o en su defecto, se va a crear un dataset para entrenar un modelo de inteligencia artificial.
- Verificación de las partes mecánicas por medio de software de elementos finitos.
- Elaboración de planos y estimación de costos de fabricación.

## **1.5. Alcance de la Investigación**

Este trabajo se centra en el diseño de un sistema mediante el dimensionamiento detallado de cada uno de sus componentes, con el objetivo de que opere de forma completamente autónoma. Esto significa que la única interacción humana necesaria será la inserción de la prenda a verificar, el ingreso de señales de control y posteriormente, la retirada de la prenda ya evaluada. Es importante destacar que los requisitos definidos para este proyecto, desarrollados a lo largo de la investigación, están orientados a un entorno no industrial. Además, se señala que el prototipo busca alcanzar un Nivel 4 de Madurez Tecnológica

(TRL4), mediante simulaciones que se llevarán a cabo tanto en software como a través de un Producto Mínimo Viable (MVP) en un entorno de laboratorio controlado.

Para concluir, esta tesis presentará todos los cálculos de diseño necesarios, así como los planos mecánicos y electrónicos, los materiales escogidos para el proyecto, y los diagramas de flujo que explican la operación y control del sistema.

# Capítulo 2

## Estado del Arte

En este capítulo se presenta una revisión de trabajos de investigación, sistemas comerciales y patentes relacionados al control de calidad automático de prendas de vestir. Asimismo, se presentan las tecnologías involucradas a la detección de defectos mediante visión artificial, detección de metales, y luz UV para detectar manchas de grasa en las prendas de vestir.

### 2.0.1. Investigaciones Académicas

#### **System of error detection in the manufacture of garments using artificial vision**

El sistema desarrollado la investigación [11] consiste en un sistema de visión artificial implementado para detectar errores en la etapa de corte durante el proceso de fabricación de prendas en la industria textil. Utiliza un sistema embebido Raspberry Pi 3, equipado con el sistema operativo basado en Linux Raspbian y el compilador OpenCV para el desarrollo de códigos de visión por computadora. Este sistema, que se muestra en 2.1, logra segmentar perfectamente las prendas independientemente del color que se les haya dado en procesos anteriores, gracias a la implementación de un fondo dinámico opaco compuesto por LEDs RGB que cambian de color dependiendo del contraste con la prenda.

El algoritmo principal del sistema inicia con la captura de la imagen de la prenda, seguido por el promedio de cada canal de la imagen completa (rojo, verde y azul). Luego, se cambia el color del fondo basándose en el color que menos presencia tenga en la imagen, utilizando combinaciones de colores primarios en los LEDs RGB para minimizar el consumo de corriente. Finalmente, se captura una nueva imagen con el fondo bien contrastado con la prenda para verificar el contraste correcto.

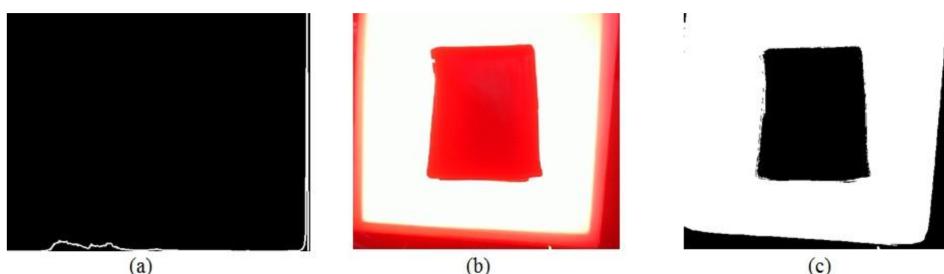


Figura 2.1: Sistema de visión artificial con fondo dinámico [11].

## Using object detection technology to identify defects in clothing for blind people

En la investigación [14] se muestra como la tecnología de detección de objetos, específicamente la arquitectura You Only Look Once (YOLO), ha sido aplicada de manera innovadora para ayudar a las personas ciegas a identificar defectos, como manchas o agujeros, en su ropa. Este enfoque utiliza un sistema de detección de defectos basado en el aprendizaje profundo para categorizar y detectar estas imperfecciones en prendas de vestir, lo que representa un paso importante hacia la mejora de la autonomía y la confianza de las personas ciegas en la selección de su vestimenta. El sistema propuesto en este estudio se basa en la recolección de un conjunto de datos específico de ropa con defectos, el cual es utilizado para entrenar y evaluar el sistema. La metodología empleada para optimizar el sistema de detección de defectos incluye aumentar el conjunto de datos con nuevos defectos, condiciones de iluminación y fondos, introducir la ampliación de datos y la clasificación de defectos, demostrando ser eficaz y adecuado para diferentes condiciones de detección de defectos desafiantes.

El trabajo futuro en este campo se centra en la creación de una aplicación móvil y un sistema mecatrónico, como un armario automático, que incorpore los algoritmos y metodologías desarrolladas. Esto no solo pone de manifiesto la utilidad práctica de la tecnología de detección de objetos para la comunidad ciega, sino que también abre la puerta a aplicaciones automáticas que pueden facilitar aún más la gestión del vestuario por parte de las personas con discapacidad visual, proporcionando una herramienta de apoyo esencial para su independencia y confianza en la vida cotidiana. Este enfoque innovador destaca el potencial de las tecnologías de visión por computadora en la asistencia y mejora de la calidad de vida de las personas con discapacidades visuales.

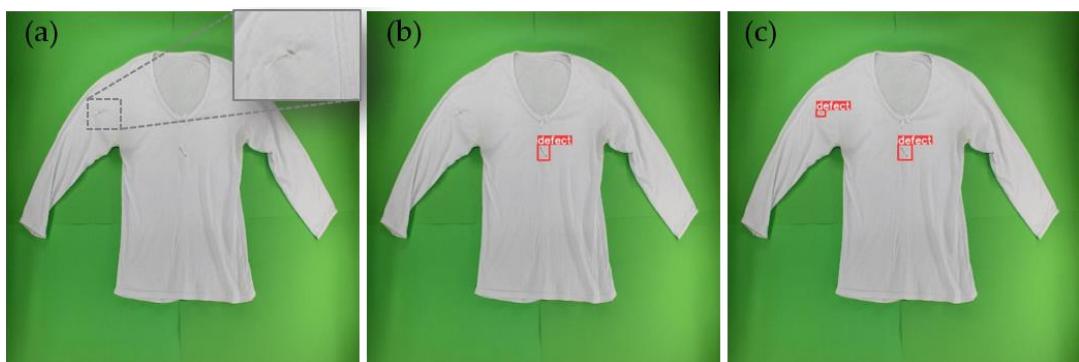


Figura 2.2: Defecto ignorado por YOLOv5m6, detectado tras la ampliación de datos desarrollada por [14]: (a) imagen original, (b) imagen predicha por el modelo YOLOv5m6 sin ampliación, y (c) imagen predicha por el modelo YOLOv5m6 con ampliación.

## Automatic Measurement of Garment Sizes Using Image Recognition

El documento presenta una innovadora metodología para medir automáticamente las tallas de prendas de vestir utilizando tecnología de reconocimiento de imágenes mediante el dispositivo que se muestra en la Figura 2.3. Al enfrentar el problema de altas tasas de devolución en la moda en línea, debido a las inconsistencias en las tallas entre diferentes marcas y fabricantes, este estudio propone una solución tecnológica que combina el diseño de un conjunto de equipos especializados para capturar imágenes de

prendas extendidas y un enfoque de medición automática basado en plantillas de prendas. Estas plantillas permiten identificar el tipo de prenda y puntos de características clave para calcular sus tallas. Este método ofrece una herramienta útil y eficiente para la medición de prendas, mostrando resultados precisos que satisfacen los requisitos de la industria del vestido, y tiene el potencial de mejorar significativamente la experiencia de compra en línea al reducir la tasa de devoluciones gracias a una estandarización en la medición de tallas [8].

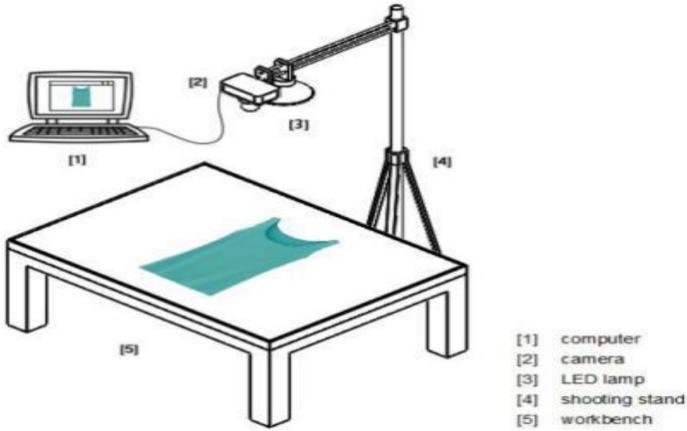


Figura 2.3: Diseño de un dispositivo para medición automática de tallas de prendas mediante reconocimiento de imágenes [8].

## 2.0.2. Productos Comerciales

### Handheld Needle Detector ON-30

En el contexto de la detección de metales en la industria textil, el Detector de Agujas Portátil ON-30 de Oshima, que se muestra en la Figura 2.4 se presenta como una herramienta eficaz. Este dispositivo, alimentado por baterías AA y basado en inducción magnética, se destaca por su capacidad para identificar con precisión objetos metálicos pequeños. Su diseño compacto y la implementación de alarmas visuales y sonoras facilitan su uso en diversas situaciones, ofreciendo una solución práctica para garantizar la seguridad en los procesos de producción textil [16]. Las características de este producto se observan en el Cuadro 2.1.



Figura 2.4: Detector de Agujas Portátil ON-30 de Oshima.

Tabla 2.1: Especificaciones del Modelo ON-30.

Característica	Especificación
Modelo	ON-30
Fuente de Alimentación	Batería 6F22-9V, corriente de reposo del LED <5mA. Alarma de sonido y luz. Corriente dinámica <30mA, corriente dinámica de la alarma de vibración <60mA, ahorro de energía.
Sensibilidad	La inspección cercana puede detectar una bola de hierro de 0.5 mm, una bola de hierro de 1.2 mm de diámetro hasta una altura de 10 mm. La máxima sensibilidad puede detectar una bola de hierro de 0.8 mm de diámetro, un pasador de ruptura de 0.7 x 20 de diámetro hasta una altura de 50 mm.
Método de Detección	Inducción magnética
Espacio de Detección (mm)	70x55
Alarma	Zumbador, lámpara
Dimensiones LxAxA (mm)	195x58x50
Volumen del Empaque LxAxA (mm)	250x100x55
Peso Neto/Peso Bruto (kg)	0.212/0.35

#### Digital Conveyor Needle Detectors ON-688CD6S/688CDD6S

Los detectores de agujas para cinta transportadora ON-688CD6S/688CDD6S de OSHIMA incorporan sensores de 10 puntos para una mayor sensibilidad y confiabilidad, con ajuste de sensibilidad en tres niveles para diferentes necesidades de detección. Su interfaz de pantalla táctil facilita su uso, y la máquina es capaz de conectarse a datos, contabilizar productos, y calibrarse automáticamente cada dos horas [17]. Las especificaciones de estos modelos se muestran en la Tabla 2.2.



Figura 2.5: Detectores de Agujas para Cinta Transportadora Digital ON-688CD6S/688CDD6S.

Tabla 2.2: Especificaciones de los modelos ON-688CD6S/688CDD6S.

Característica	Especificaciones	
	ON-688CD6S	ON-688CDD6S
Detecting tower	Single tower	Double tower
Detective height (mm)	100	100
Detective width (mm)	600	600
Effective detecting Height (mm)	90	90
Power supply	1P AC220V 50/60Hz	1P AC220V 50/60Hz
Rate (kW)	0.2	0.2
Detective capability of iron ball (mm)	Fe 0.8/1.0/1.2	Fe 0.8/1.0/1.2
Sensitivity adjustment	Level adjustment	Level adjustment
Conveyor speed (m/min)	32	32
Detection method	Magnet	Magnet
Alarm	Automatic buzzer and alarm indicator light, the conveyor re-winding function	Automatic buzzer and alarm indicator light, the conveyor re-winding function
Dimensions LxWxH (mm)	1720X1100X920	1820X1180X1100
Packaging volume LxWxH (mm)	2160X1060X920	2330X1130X1100
N.W/G.W (kg)	280/380	420/570

### AI-Driven Measurement Checking Machine

Este desarrollo tecnológico, el cual se muestra en la Figura 2.6 de la empresa Dongguan Yunji Zhihui Technology facilita la automatización de procesos previamente manuales, por lo que augura reducciones significativas en los costos laborales y mejoras en el control de calidad [13]. Las especificaciones de este

sistema se muestran en la Tabla 2.3.

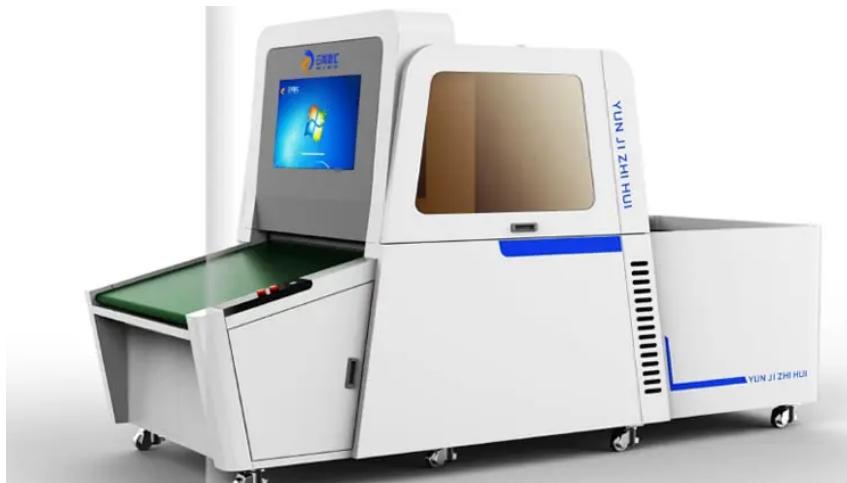


Figura 2.6: Máquina de chequeo de medidas conducido por IA. Fuente: [13].

Tabla 2.3: Características cuantitativas del sistema de inspección de prendas con IA. Fuente: Elaboración propia.

Característica	Valor
Dimensiones medidas por prenda	15 dimensiones
Tiempo por artículo	Máximo 6 segundos
Capacidad de procesamiento	4800 camisetas en 480 minutos
Precisión de medición	Error dentro de $\pm 1$ mm
Exactitud de detección	Hasta el 99.5 %
Adaptabilidad	Ajuste según color y tela de las prendas

### 2.0.3. Patentes

#### US20200178632A1

La invención [3] describe un aparato, método y sistema de control automatizado para mejorar la inspección, medición y fabricación de prendas de vestir como se observa en la Figura 2.7. Este sistema captura una imagen de la prenda la convierte en una representación digital que puede enviarse y almacenarse en una base de datos. Esta información digital se utiliza para recrear prendas ideales con medidas y patrones reproducibles. Además, el sistema permite comparaciones con imágenes ideales existentes y/o con la propia prenda para determinar si posee las dimensiones, formas, colores, texturas y tejidos correctos.

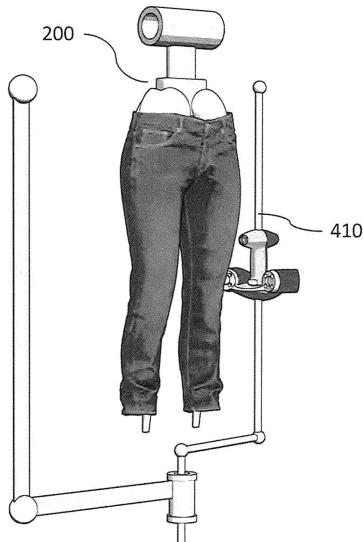


Figura 2.7: Patente con captura de detalles en 3D.

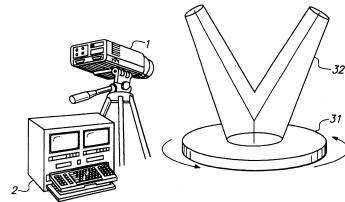
#### US5530652A

La invención [9] detalla un sistema que incluye técnicas de escaneo 3D (ópticas o electroópticas) para adquirir datos de escaneo dimensionales. Estos datos se procesan para la extracción de medidas y retroalimentación. La organización de los datos permite su almacenamiento y recuperación, finalizando con el control de medidas de las prendas, la fabricación y la categorización basada en la retroalimentación.

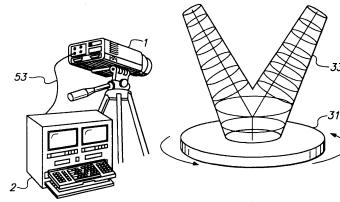
Este sistema se destaca por su capacidad para automatizar el control y la inspección de la calidad de las prendas producidas, minimizando la necesidad de contacto humano directo con los objetos, lo que facilita un análisis dimensional preciso y automatizado. La tecnología descrita en esta patente tiene potencial para revolucionar la forma en que se miden, inspeccionan y fabrican las prendas de vestir, asegurando consistencia y calidad en la producción de vestimenta.

La patente US5530652 describe un sistema automático de inspección y medición de prendas que puede crear representaciones electrónicas bidimensionales o tridimensionales de un objeto. Estas representaciones pueden ser combinadas con otras para crear una base de datos de medidas de donde se pueden generar patrones estándar para su uso en la fabricación de prendas. Además, la representación electrónica puede utilizarse para comparar el objeto fabricado con una representación ideal, determinando si las medidas del objeto se encuentran dentro de una tolerancia predeterminada respecto a la representación ideal. Se emplea un sistema de visión por máquina para capturar una imagen del objeto y convertirla en una representación digital, que luego puede agregarse a una base de datos para compilar un patrón ideal o compararse con una imagen ideal existente para verificar si el objeto tiene el tamaño correcto.

La patente aborda el desarrollo de un método y un sistema para la inspección y medición automática de prendas, con el objetivo de asegurar que las dimensiones de las prendas fabricadas se ajusten a los estándares ideales y tolerancias predefinidas. Esto facilita la creación de bases de datos de medidas que pueden utilizarse para mejorar la fabricación de prendas, asegurando una mayor precisión y consistencia en el tamaño y la calidad de las prendas producidas.

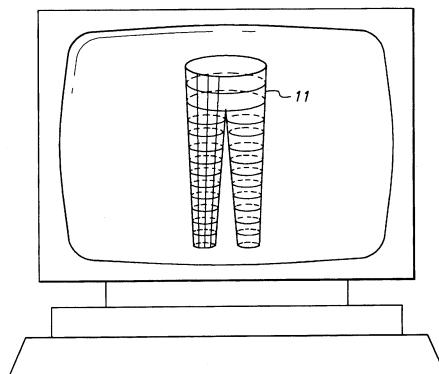


*FIG. 4*



*FIG. 5*

Figura 2.8: Sistema de captura y digitalización. Fuente [9].



*FIG. 2*

Figura 2.9: Digitalización de la prenda. Fuente [9].

## EP4095520A1

La patente [20] describe un sistema para el control de calidad de prendas de vestir, diseñado para identificar de manera automática y objetiva defectos tanto visibles como invisibles en la estructura interna de las prendas. Este sistema, como se observa en la Figura 2.10 se compone de dos elementos principales: un mecanismo para insuflar un gas de control a una temperatura al menos 20°C superior a la temperatura ambiente en la prenda, y un medio de captura de imágenes para detectar ubicaciones defectuosas en dicha prenda. El gas de control calentado, como aire caliente o vapor, permite detectar defectos gracias a la diferencia de temperatura que se genera en las zonas dañadas o perforadas, sin causar daño adicional a la prenda durante la inspección.

El sistema también puede incluir cámaras térmicas o de luz visible, medios para visualizar el vapor que pasa a través de la prenda y software para generar una imagen 3D de la prenda que facilita la identificación y localización precisa de los defectos. Este enfoque permite un alto grado de automatización

y precisión en la detección de defectos, ofreciendo la posibilidad de determinar la naturaleza y severidad de los defectos detectados para posibles reparaciones. Además, el sistema puede ser utilizado para controlar la calidad de prendas de vestir técnicas o de alto rendimiento, asegurando que cumplan con los estándares de calidad requeridos a lo largo de su ciclo de vida, incluso después de múltiples usos y lavados.

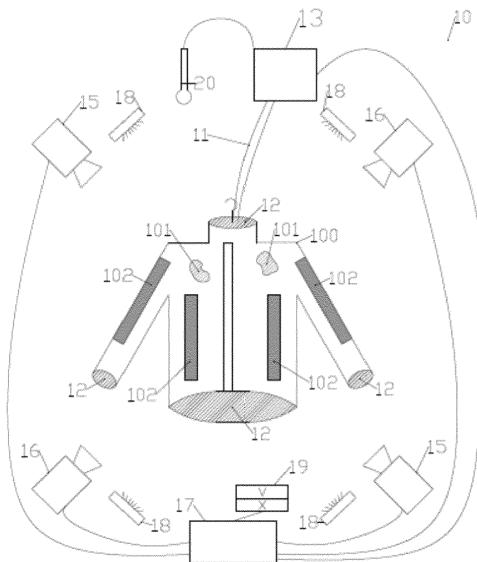


Figura 2.10: Sistema de control de calidad con un mecanismo para insuflar gas.

#### CN218147467U

La patente [10] describe una máquina inteligente de detección de agujas, destinada a abordar problemas específicos en el ámbito de las máquinas de detección de agujas utilizadas para inspeccionar prendas de vestir y otros textiles en busca de partículas metálicas, como agujas rotas. El problema principal que se busca resolver es la limitación en la capacidad de procesamiento de las prendas por las máquinas de detección existentes, que puede llevar a atascos y reducir la eficiencia del proceso de inspección.

La invención se centra en un diseño de máquina de detección de agujas que incluye un escáner montado en la parte superior de un contenedor de la máquina, con mecanismos de ajuste y soporte que permiten desmontar y ajustar el escáner de manera rápida y conveniente. Este diseño permite ajustar el soporte del escáner para manejar diferentes volúmenes de prendas, facilitando la detección de agujas en prendas con variadas capacidades de procesamiento. Los elementos clave del diseño incluyen columnas y placas de soporte ajustables, resortes de soporte, y mecanismos de ajuste de altura que permiten una adaptación flexible a diferentes tamaños y cantidades de prendas.

El diseño inteligente de la máquina de detección de agujas propuesta por esta patente promete mejorar significativamente la eficiencia y flexibilidad de los procesos de inspección de metales en textiles, reduciendo el riesgo de atascos y permitiendo un ajuste rápido y fácil a diferentes necesidades de procesamiento.

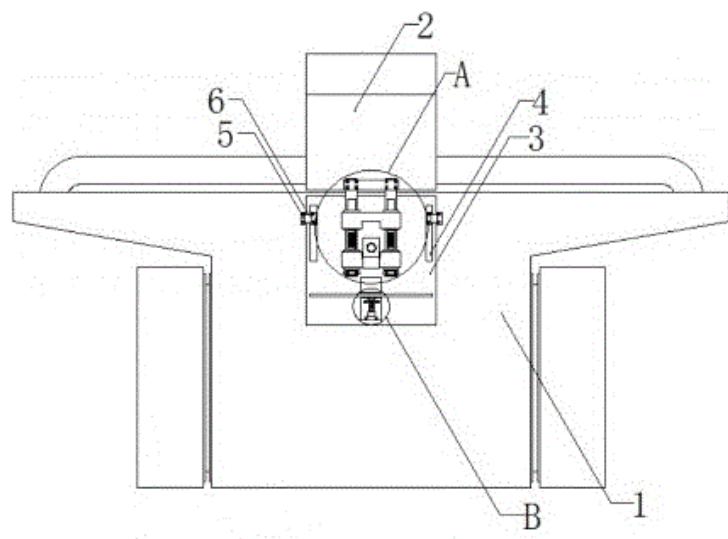


Figura 2.11: Detector inteligente de agujas. Fuente [10].

# Capítulo 3

## Diseño Conceptual

En este capítulo se presentan alternativas de conceptos solución, los cuales son propuestos en función de la lista de requerimientos, el diagrama de funciones y la matriz morfológica. Luego, los diseños de concepto solución son calificados por una evaluación técnica-económica; con lo cual se obtiene el concepto de solución óptimo.

### 3.1. Lista de exigencias

Sobre la base de los parámetros necesarios del sistema, los cuales fueron identificados en el Estado del Arte visto en el Capítulo 2, se elaboró la lista de exigencias mostrada en la Tabla 3.1. Esta resume los requerimientos básicos para el diseño del sistema propuesto.

Tabla 3.1: Lista de Requerimientos. Fuente: Elaboración propia.

LISTA DE EXIGENCIAS			
PROYECTO	DISEÑO DE UN SISTEMA PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE PRENDAS DE VESTIR UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL		Fecha: 06/03/24
CLIENTE	Pontificia Universidad Católica del Perú		Elaborado por: A. Luna
FUNCIÓN PRINCIPAL	Detectar y controlar la calidad de prendas de vestir, identificando tanto los defectos visuales como los relacionados con las medidas.		
FUNCIONES			
6/03/2024	E	La prenda ingresará de manera estirada y sin arrugas.	A. Luna
6/03/2024	E	Se debe detectar las manchas, hilos salidos y agujeros presentes en las prendas.	A. Luna
6/03/2024	E	Se debe detectar metales presentes que se hayan dejado en las prendas como agujas o alfileres.	A. Luna

Tabla 3.1: Lista de Requerimientos (Continuación).

<b>Fecha</b>	<b>Deseo o Exigencia</b>	<b>Descripción</b>	<b>Responsable</b>
<b>OPERACIÓN</b>			
6/03/2024	D	El prototipo deberá poder controlar la calidad de como mínimo 30 prendas/hora.	A. Luna
<b>ALIMENTACIÓN</b>			
6/03/2024	E	Eléctrica, 220V (Monofásica).	A. Luna
<b>SOFTWARE</b>			
6/03/2024	D	Se debe emplear un software, algoritmo o modelo de código abierto para la implementación de la funcionalidad de la visión por computadora.	A. Luna
6/03/2024	E	El prototipo debe disponer de una GUI para la interacción con los operarios del sistema.	A. Luna
<b>SEÑALES</b>			
6/03/2024	E	Entrada: Encendido, apagado, inicio de proceso, fin de proceso. Salida: Luz piloto de alimentación, encendido y funcionamiento.	A. Luna
<b>INTERFAZ</b>			
6/03/2024	E	Tablero de control con: - Llave de encendido general - Pulsador de inicio y parada de proceso - Parada de emergencia manual - Indicadores luminosos de alimentación,funcionamiento encendido	A. Luna
<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN</b>			
6/03/2024	E	Ambiente de trabajo con humedad relativa máxima de 85 %, a 100 msmn (condiciones de la costa peruana, en un laboratorio de pruebas).	A. Luna
6/03/2024	D	Ambiente de trabajo industrial, con máquinas contiguas trabajando en paralelo.	A. Luna
<b>CONTROL</b>			
6/03/2024	E	Alimentación de ropa manual hecha por un operario.	A. Luna
6/03/2024	E	Detección de defectos automática.	A. Luna

Tabla 3.1: Lista de Requerimientos (Continuación).

<b>Fecha</b>	<b>Deseo o Exigencia</b>	<b>Descripción</b>	<b>Responsable</b>
6/03/2024	E	Detección de medidas automática.	A. Luna
6/03/2024	D	Regulación de velocidad de procesamiento de prendas.	A. Luna
6/03/2024	E	Sensores grado mínimo IP 63 (resistencia al polvo y humedad condensada).	A. Luna
6/03/2024	E	Parada de emergencia automática en caso de atasco o sobrecarga.	A. Luna
<b>SEGURIDAD</b>			
6/03/2024	E	El tablero de control debe contar con protección contra polvo y líquido grado IP64.	A. Luna
<b>CONTROL DE CALIDAD</b>			
6/03/2024	E	La detección de defectos debe tener una efectividad del 90 %.	A. Luna
6/03/2024	E	La detección de las medidas de la prenda debe tener una precisión del 90 %.	A. Luna
<b>MONTAJE</b>			
6/03/2024	D	El sistema presenta la posibilidad de acoplar varias líneas en paralelo para incrementar la productividad.	A. Luna
<b>MATERIAL</b>			
6/03/2024	E	Materiales que eviten la acumulación de manchas y polvo.	A. Luna
<b>FABRICACIÓN</b>			
6/03/2024	E	El diseño debe contar con componentes estandarizados que estén disponibles en el mercado local.	A. Luna
6/03/2024	D	Los elementos diseñados deben evitar el mantenimiento complejo.	A. Luna
<b>MANTENIMIENTO</b>			
6/03/2024	E	Los elementos motrices serán accesibles y las superficies fáciles de limpiar. Los componentes electrónicos no deben estar expuestos al polvo.	A. Luna
<b>DIMENSIONES</b>			
6/03/2024	E	El prototipo no deberá ocupar un volumen mayor a 3m x 3m x 3m para poder ser construido en un laboratorio.	A. Luna

Tabla 3.1: Lista de Requerimientos (Continuación).

<b>Fecha</b>	<b>Deseo o Exigencia</b>	<b>Descripción</b>	<b>Responsable</b>
6/03/2024	E	El prototipo no deberá pesar más de 30kg para poder ser movilizado por una persona.	A. Luna
<b>COSTO</b>			
6/03/2024	D	Fabricación: 30000 soles (A nivel de prototipo).	A. Luna

## 3.2. Estructura de funciones

La estructura de funciones se utiliza para describir el seguimiento de las señales de entrada y salida dentro del sistema, detallando así la interacción entre las funciones internas de cada dominio. En la subsección 3.2.1, se introducirá el *Black Box*, en el cual se expondrán todas las entradas y salidas pertinentes al sistema. Por otro lado, en la subsección 3.2.2, se elaborará sobre todas las funciones correspondientes a los subsistemas que integran el sistema en su totalidad, así como las conexiones existentes entre cada una de estas funciones.

### 3.2.1. Black Box

El diseño de caja negra que se presenta en la Figura 3.1 se detallan las entradas y salidas del sistema. La entrada principal del sistema es una prenda de vestir. Para funcionar, este sistema se alimenta de energía a través de una fuente eléctrica estándar de 220VAC monofásica, proporcionando así electricidad a los dominios de transporte, electrónico y de software involucrados. El sistema también está equipado con señales de entrada para su control, incluyendo comandos de inicio, detención y parada de emergencia, tanto en formatos físicos como virtuales. Debido a la ineficiencia de los componentes mecánicos y electrónicos se muestra como salida la energía residual en forma de calor.

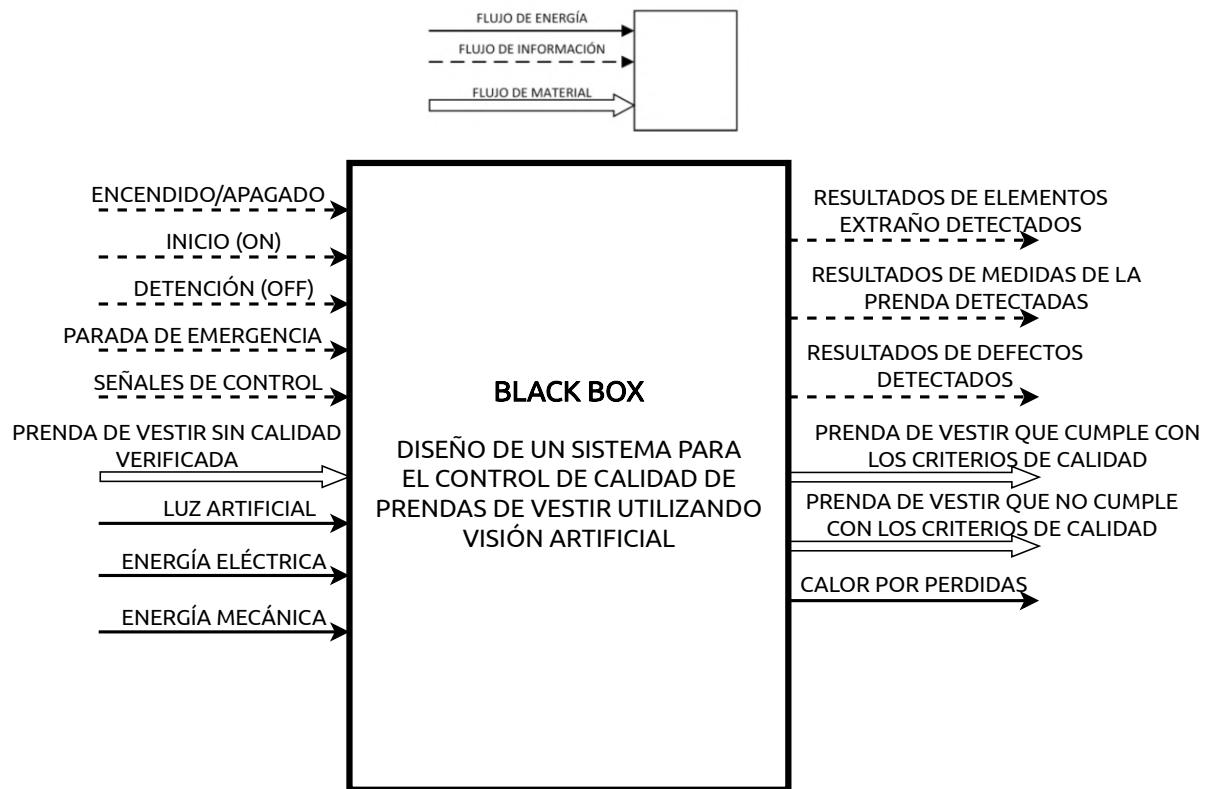


Figura 3.1: Black Box. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2. Funciones Parciales

Aquellos procesos que interactúan directamente con el material a ser analizado conforman las funciones básicas del sistema. Estas funciones se muestran en la Figura 3.2.2. Primero, prendas de vestir sin clasificar son ingresadas por un operario para iniciar el proceso de detección de defectos. Se debe contar además con algún método que maximice la superficie de la prenda que pueda ser visible para la cámara, con el fin de incrementar la efectividad del proceso de detección y clasificación según los criterios de selección. Luego esta prenda es analizada mediante módulos especializados en la detección de defectos visuales y otro módulo encargado de identificar la presencia de elementos metálicos extraños. Como resultado de este proceso, se producirá una imagen que resalta los defectos detectados en la prenda donde se señala la existencia o no de elementos metálicos ajenos. Finalmente, las prendas ya verificadas serán transportadas a la disposición final adecuada.

#### Dominio Mecánico

El dominio mecánico abarca todas las operaciones físicas y movimientos asociados con el manejo de prendas de vestir, como se muestra en la Figura 3.3. Incluye la recepción de las prendas, su transporte a través de diferentes estaciones de procesamiento como módulos de visión artificial y detección de metales. Este dominio garantiza que las prendas se muevan eficientemente de una etapa a otra, facilitando su análisis y clasificación según cumplan o no con los criterios de calidad establecidos.

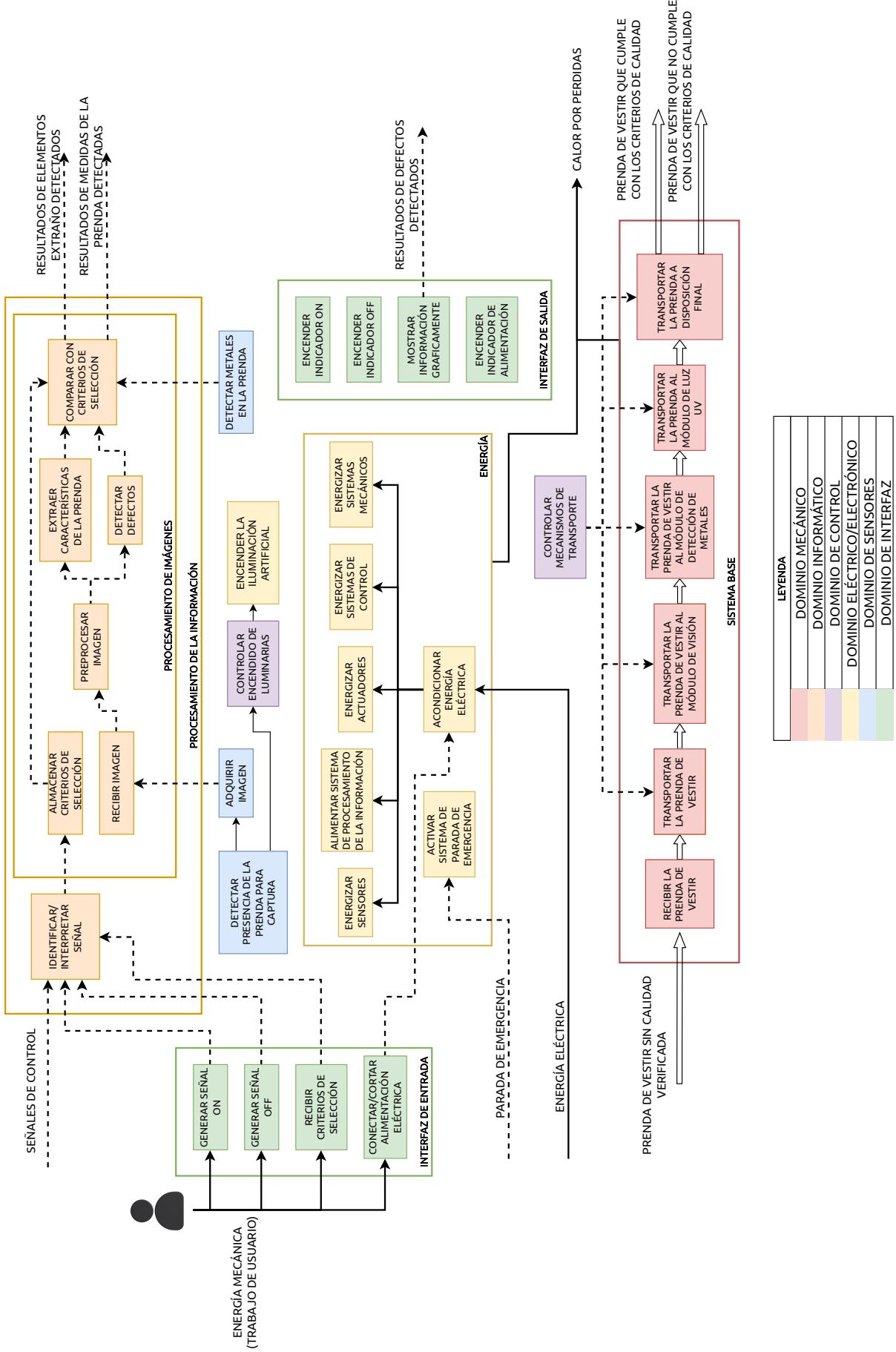


Figura 3.2: Estructura de funciones del sistema. Fuente: Elaboración propia.

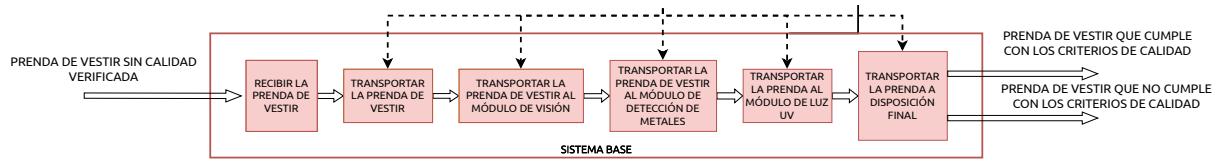


Figura 3.3: Estructura de funciones del dominio mecánico. Fuente: Elaboración propia.

## Dominio Informático

El dominio informático se centra en el procesamiento de la información obtenida de las prendas, como se muestra en la Figura 3.4. Este dominio comprende la adquisición y preprocesamiento de imágenes de las prendas, extracción de características relevantes, detección de defectos, y comparación de estos datos con criterios de selección predefinidos para determinar la calidad de las prendas. Este dominio es crucial para interpretar los datos capturados y tomar decisiones basadas en la información procesada.

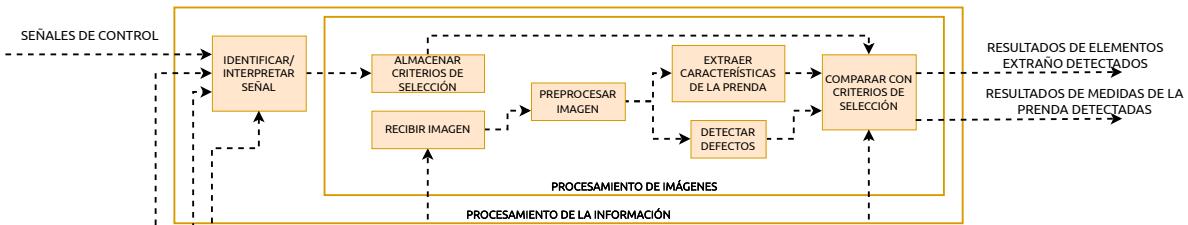


Figura 3.4: Estructura de funciones del dominio informático. Fuente: Elaboración propia.

## Dominio de Control

El dominio de control, mostrado en la Figura 3.5, incluye la lógica de control y los mecanismos de decisión que guían las operaciones del sistema. Esto implica generar señales de encendido/apagado basadas en la información procesada, manejar interfaces de entrada/salida, y activar mecanismos de parada de emergencia. Este dominio es esencial para coordinar las actividades de los otros dominios y asegurar que el sistema responda adecuadamente a las condiciones de operación y a los requisitos de procesamiento.

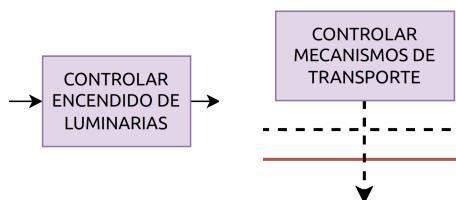


Figura 3.5: Estructura de funciones del dominio de control. Fuente: Elaboración propia.

## Dominio Eléctrico/Electrónico

Este dominio se ocupa de la alimentación y control eléctrico de todos los componentes del sistema, tal y como se muestra en la Figura 3.6. Desde energizar los sensores hasta alimentar los sistemas de procesamiento de información, actuadores, y sistemas de control, este dominio asegura que todos los elementos electrónicos del sistema reciban la energía necesaria para su funcionamiento. Además, gestiona la iluminación necesaria para la adquisición de imágenes y la señalización a través de indicadores ON/OFF.

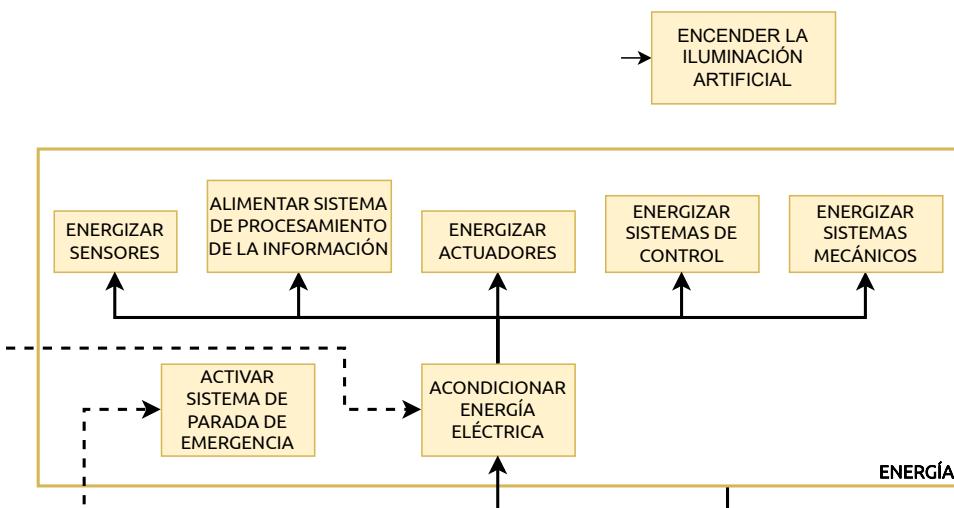


Figura 3.6: Estructura de funciones del dominio eléctrico/electrónico. Fuente: Elaboración propia.

## Dominio de Sensores

Este dominio comprende la detección y recopilación de datos a través de sensores diseñados para identificar características específicas de las prendas. Esto se muestra en la Figura 3.7. Se identifica la presencia de metales o la preparación para la captura de imágenes. La información recogida por los sensores es vital para el adecuado funcionamiento del sistema, ya que permite adaptar las operaciones a las condiciones actuales y a las necesidades específicas de procesamiento de las prendas.

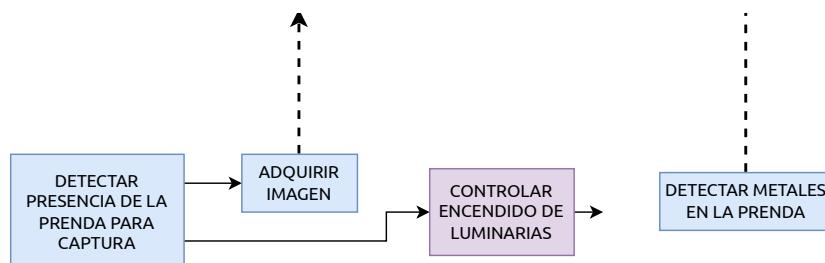


Figura 3.7: Estructura de funciones del dominio de sensores. Fuente: Elaboración propia.

## Dominio de Interfaz

El dominio de interfaz esta dedicada en interactuar con los usuarios finales del sistema. Como se muestra en la Figura 3.8, a través del empleo de la energía mecánica del operario del sistema para generar las señales de control, lo cual incluye la señal de encendido, apagado o de parada de emergencia. Por otro lado, La información de los resultados de todos los procesos realizados por el sistema se mostraran mediante una interfaz que las muestre de manera ordenada y concisa.

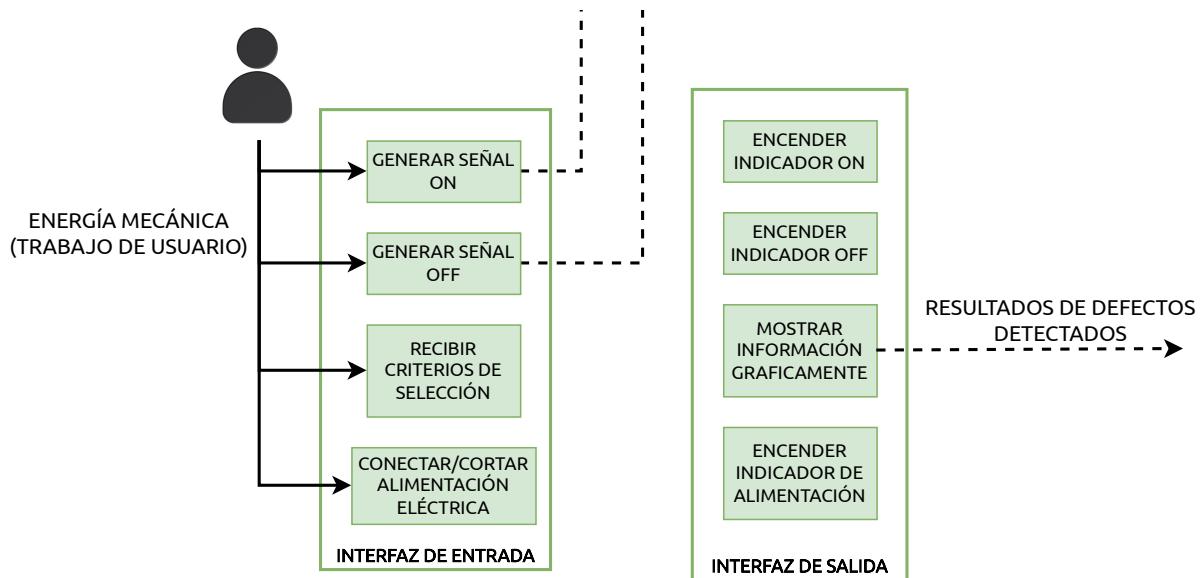


Figura 3.8: Estructura de funciones del dominio de interfaz. Fuente: Elaboración propia.

### 3.3. Matriz morfológica

A continuación, se presentan las diferentes matrices morfológicas para cada dominio previamente descrito, esta metodología ayudó a visualizar las diferentes opciones y escoger una solución idónea para los requerimientos. En las Tablas 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8 se observan las matrices morfológicas del dominio de interfaz, dominio mecánico, dominio informático, dominio de control, dominio eléctrico/electrónico y dominio de sensores respectivamente. Las cuatro alternativas de solución se clasificarán siguiendo la leyenda de colores mostrada en la Tabla 3.2. Estos soluciones se generan al colocar un ♦ con el color correspondiente al concepto de solución para cada función parcial de las matrices morfológicas.

Tabla 3.2: Leyenda de colores para los conceptos de solución en las matriz morfológica. Fuente: Elaboración propia.

Soluciones	Tipo de Solución	Color
Solución 1	Accesible	Rojo
Solución 2	Robusta	Azul
Solución 3	Precisa	Verde

### 3.3.1. Dominio de Interfaz

Tabla 3.3: Matriz morfológica del dominio de interfaz.

FUNCIONES PARCIALES	DOMINIO INTERFAZ		
	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
GENERAR SEÑAL ON Y GENERAR SEÑAL OFF			
	Caja con pulsador Start-Stop. ♦	Botones ON/OFF en GUI. ♦	Interruptor tipo perilla. ♦
ENCENDER INDICADOR ON Y ENCENDER INDICADOR OFF			
	Pilotos led. ♦	Pantalla LCD. ♦	GUI. ♦
RECIBIR CRITERIOS DE SELECCIÓN			
	HMI Indsutrial. ♦	Pantalla LCD con perilla de control ♦	GUI. ♦
CONECTAR Y CORTAR ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA			
	Diferencial con Termo-magnético. ♦	Comutador Industrial. ♦	Cable, enchufe e interruptor. ♦
MOSTRAR INFORMACIÓN GRAFICAMENTE			

Tabla 3.3: Matriz morfológica del dominio de interfaz (Continuación).

FUNCIONES PARCIALES	DOMINIO INTERFAZ		
	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
	HMI Indsutrial. ♦	GUI. ♦♦	

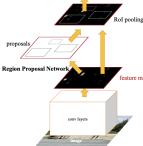
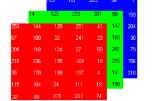
### 3.3.2. Dominio Mecánico

Tabla 3.4: Matriz morfológica del dominio mecánico.

FUNCIONES PARCIALES	DOMINIO MECÁNICO		
	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
TRANSPORTE MECÁNICO DE LAS PRENDAS DE VESTIR			
	Faja transportadora plana.	Faja transportadora inclinada.	Transportador automático de ropa.
GENERAR EL MOVIMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE			
	Motor a pasos. ♦	Motor síncrono. ♦	Motor de inducción. ♦

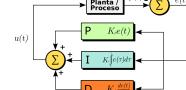
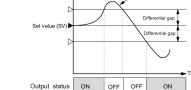
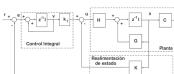
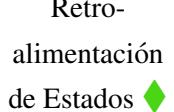
### 3.3.3. Dominio Informático

Tabla 3.5: Matriz morfológica del dominio informático.

FUNCIONES PARCIALES	DOMINIO INFORMÁTICO		
	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
IDENTIFICAR E INTERPRETAR LAS SEÑALES			
	Computadora Industrial. ♦	Single Board Computer (SBC). ♢	Micro-controlador. ♦
ALMACENAR CRITERIOS DE SELECCIÓN			
	Memoria SD. ♦	Memoria Externa. ♢	Memoria Interna. ♦
PROCESAMIENTO DE IMÁGENES			
	OpenCV (Python) ♢	MATLAB ♦	Programación Nativa. ♦
DETECTAR DEFECTOS			
	YOLOv8. ♢	Fast R-CNN. ♦	Análisis Clásico. ♦

### 3.3.4. Dominio de Control

Tabla 3.6: Matriz morfológica del dominio de control.

FUNCIONES PARCIALES	DOMINIO DE CONTROL		
	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
CONTROLAR TRANSPORTES Y LUMINARIA			
	Micro-controlador 	Single Board Computer (SBC). 	PLC. 
ALGORITMO DE CONTROL	  	 	

### 3.3.5. Dominio Eléctrico/Electrónico

Tabla 3.7: Matriz morfológica del dominio eléctrico/electrónico.

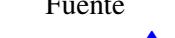
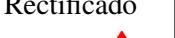
FUNCIONES PARCIALES	DOMINIO ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO		
	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
ACONDICIONAR ENERGÍA ELÉCTRICA			
	Fuente Switching. 	Rectificado AC/DC. 	Adaptador AC a DC. 
ACTIVAR SISTEMA DE PARADA DE EMERGENCIA			

Tabla 3.7: Matriz morfológica del dominio eléctrico/electrónico  
(Continuación).

FUNCIONES PARCIALES	DOMINIO ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO		
	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
	Boton de parada de emergencia. ◆◆◆		
ENERGIZAR SIST. DE CONTROL, SENSORES Y ACTUADORES			
	Cables con los terminales crimpados. ◆◆	Cables de motor. ◆	
ALIMENTAR SISTEMA DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN			
	Cable USB Tipo A a microUSB. ◆◆	Cable USB Tipo A a Tipo B. ◆	

### 3.3.6. Dominio de Sensores

Tabla 3.8: Matriz morfológica del dominio de sensores.

FUNCIONES PARCIALES	DOMINIO DE SENsoRES		
	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
ADQUIRIR IMAGEN			
	Cámara USB. ◆	Cámara Industrial. ◆	Cámara Web. ◆

Tabla 3.8: Matriz morfológica del dominio de sensores. (Continuación).

FUNCIONES PARCIALES	DOMINIO DE SENsoRES		
	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2	OPCIÓN 3
DETECTAR METALES EN PRENDAS			
	Detector de Agujas.  	Detector de Metales. 	
DETECTAR PRESENCIA DE LA PREnda PARA CAPTURA			
	Sensor Capacitivo. 	Sensor Fotoeléctrico. 	Sensor Ultrasonido. 

## 3.4. Conceptos de solución

Siguiendo la adaptación de la metodología VDI 2206 [2], los conceptos de solución se derivan a partir de las combinaciones de las alternativas propuestas en las matrices morfológicas. Estas soluciones serán objeto de una posterior evaluación con el fin de determinar la solución más óptima para la ejecución del proyecto.

### 3.4.1. Concepto de solución 1

En el concepto de solución 1, el cual se muestra en la Figura 3.9, se utiliza como sistema de transporte una faja plana, la cual es impulsada por un motor síncrono. Para la unidad de procesamiento, se utiliza un microcontrolador que, a su vez, contiene el sistema de control de todo el sistema. El botón de parada de emergencia, así como el indicador LCD de estado del sistema y la GUI para interactuar con el sistema, se encuentran en un gabinete al costado de la faja transportadora. En la parte inferior de este gabinete, se encuentra el subsistema de acondicionamiento de energía y el cable con switch para hacer la conexión a la toma de corriente. El funcionamiento es que la prenda ingresa al módulo de detección de imágenes mediante el movimiento de la faja; en este módulo, hay una fuente de luz artificial tanto en la parte superior como en la parte inferior del módulo. Posteriormente, la prenda ingresa a un módulo de detección de metales en el que se verifica la presencia de elementos metálicos extraños a la

prenda. Una vez finalizada el control de calidad. Mediante la GUI se muestra los resultados de todas las verificaciones.

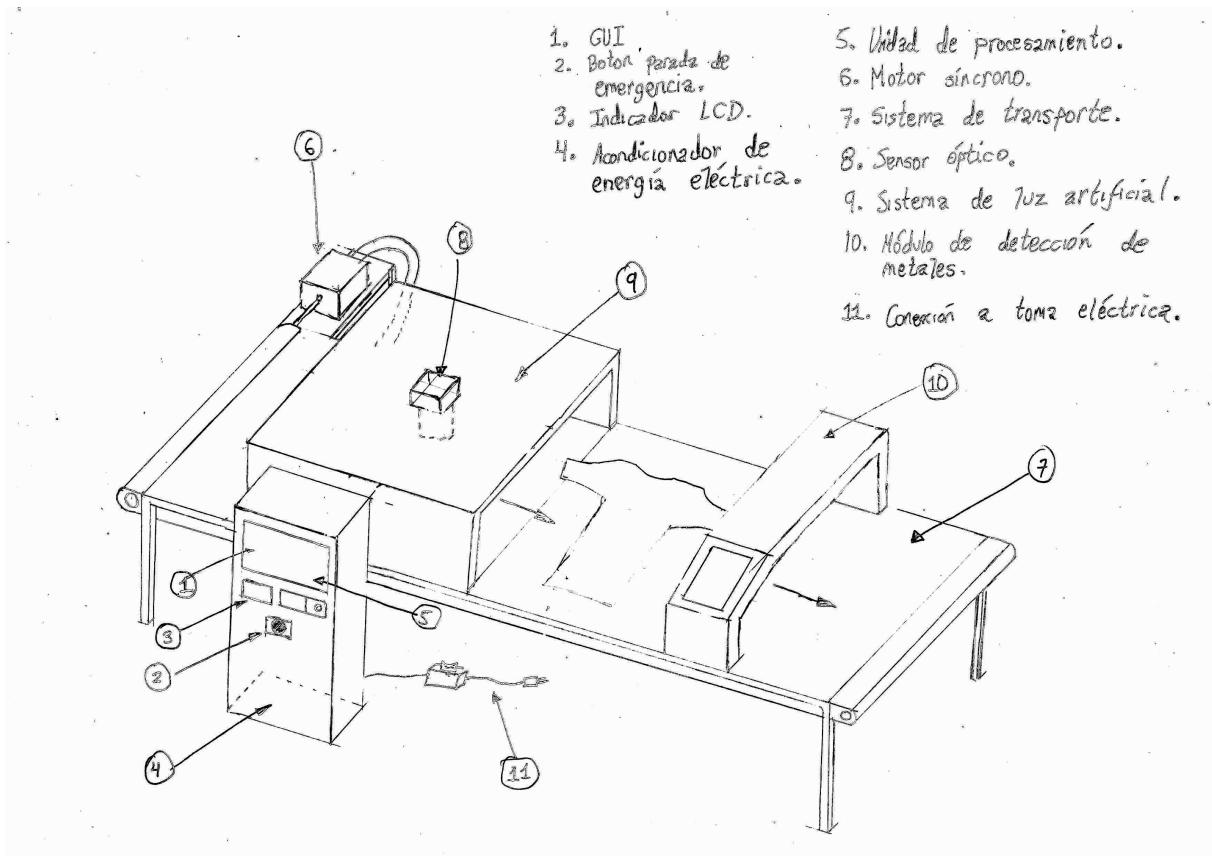


Figura 3.9: Concepto solución 1. Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.2. Concepto de solución 2

En la segunda propuesta de solución, detallada en la Figura 3.10, se presenta un sistema de transporte tipo *cloth conveyor* que utiliza un riel para el traslado de ropa. El movimiento mecánico se efectúa mediante un motor de pasos para asegurar la precisión en la posición de cada prenda. Incorpora un módulo externo con dos paneles que se aproximan a la prenda al detectar su presencia, presionándola para asegurar su alisado. Estos paneles cuentan con fuentes de luz, sensores ópticos y detectores de metales para inspeccionar la prenda por ambos lados. Además, se incluye un gabinete que alberga la unidad de procesamiento, una SBC encargada del procesamiento de imágenes y del control de movimiento, sensores y actuadores de la máquina. En el mismo gabinete, en su parte inferior, se sitúa el subsistema de acondicionamiento de energía, así como los pilotos LED que indican el estado del sistema y botones de encendido, apagado y parada de emergencia.

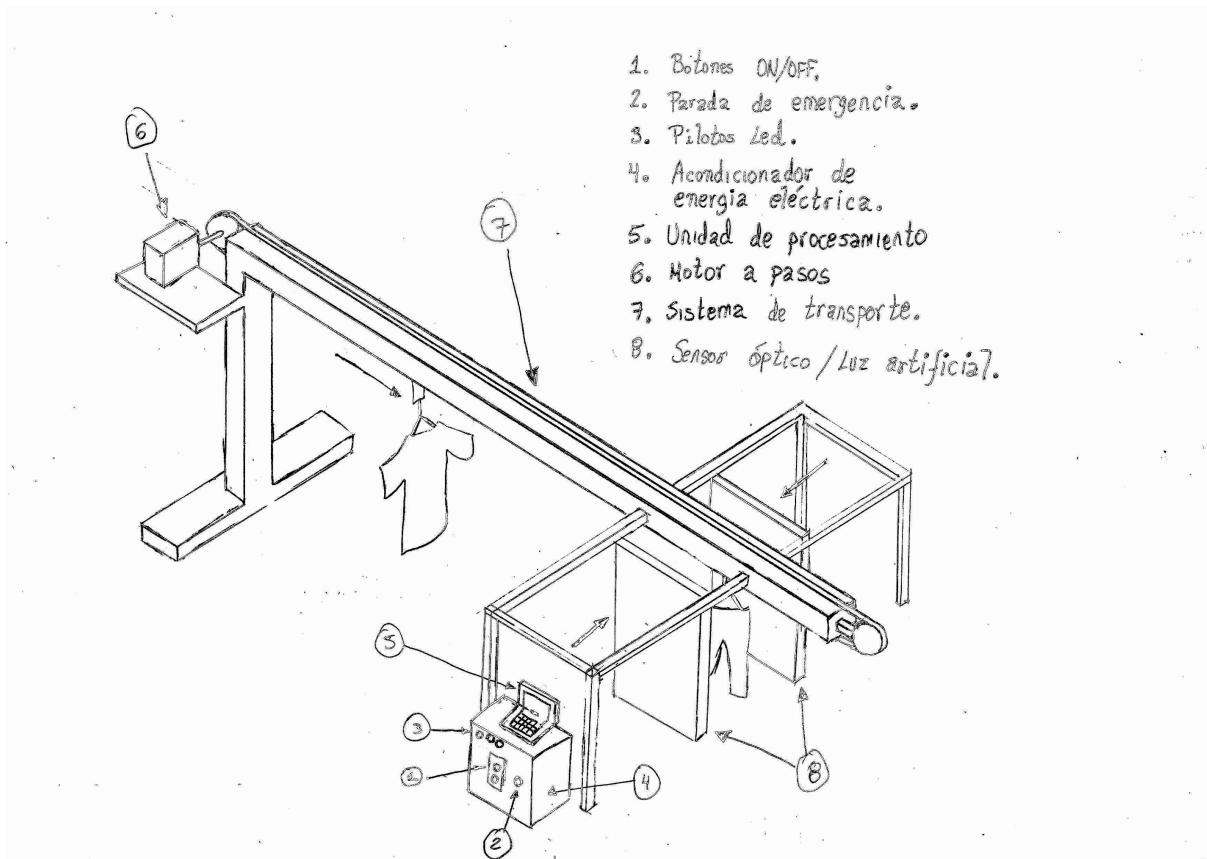


Figura 3.10: Concepto solución 2. Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.3. Concepto de solución 3

La representación del concepto de la solución 3 se muestra en la Figura 3.11. Esta solución consiste en un sistema de fajas transportadoras que incluye una faja inclinada con la función de voltear la prenda. Además, el sistema comprende dos módulos, uno al inicio y otro al final, cada uno equipado con un sensor óptico, un detector de metales y una fuente de luz artificial, permitiendo así la inspección de ambos lados de la prenda. La gestión del sistema se lleva a cabo mediante una unidad de procesamiento ubicada en un gabinete, que alberga un PLC y una interfaz hombre-máquina (HMI). En este mismo gabinete se encuentran pilotos LED que muestran el estado del sistema, un interruptor de tipo perilla para el encendido y apagado, y un botón de parada de emergencia.

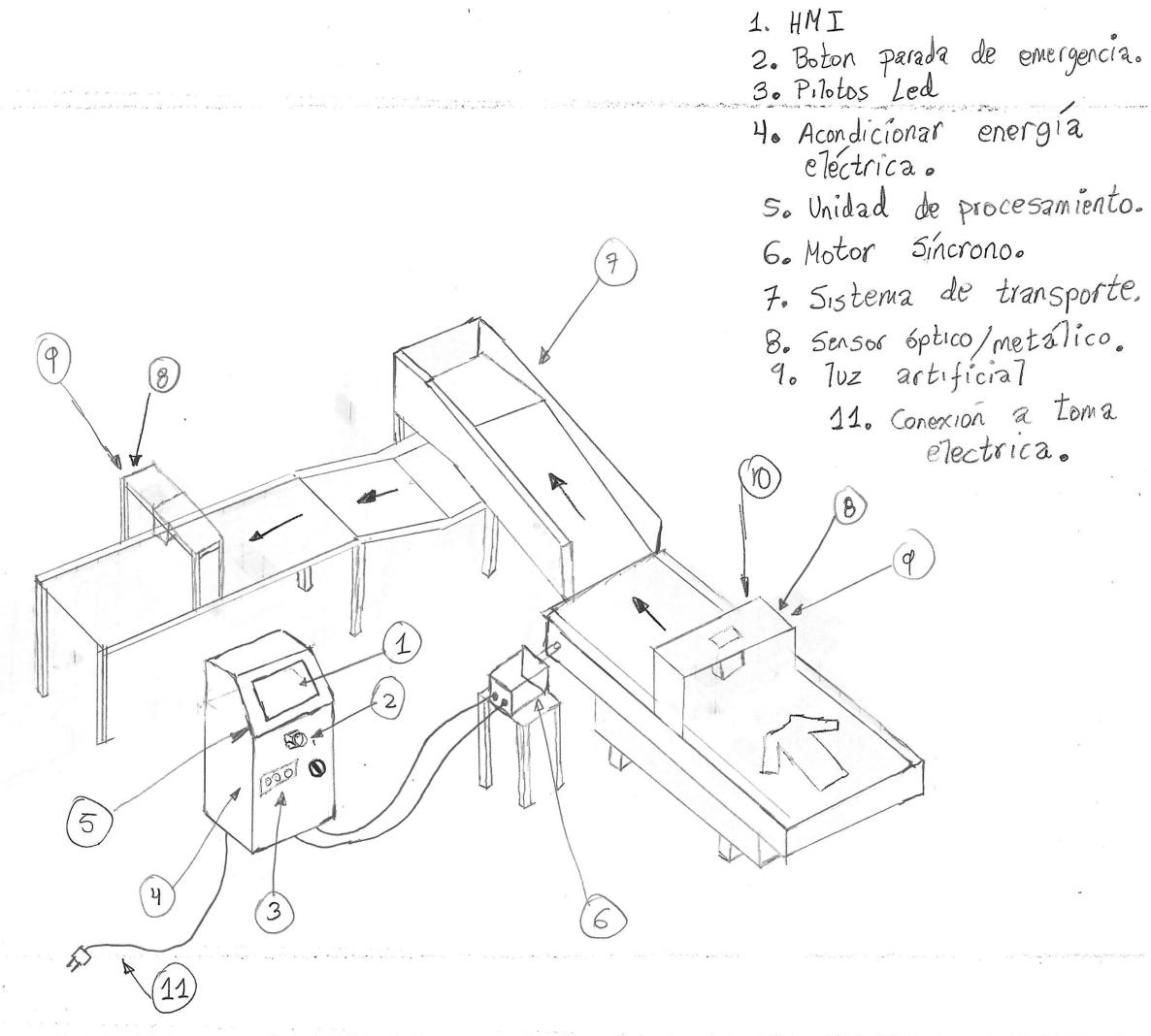


Figura 3.11: Concepto solución 3. Fuente: Elaboración propia.

### 3.5. Análisis técnico-económica

Siguiendo la metodología VDI 2225 [21], se establecen criterios para evaluar los aspectos técnicos y económicos de las soluciones propuestas. La evaluación técnica y económica se presenta en las Tablas 3.9 y 3.10, respectivamente. Los criterios tienen pesos diferenciados en el cálculo ponderado, reflejando su importancia en el sistema de acuerdo con la siguiente nomenclatura:

- El valor de **g** representa el peso ponderado en función de la importancia del criterio de evaluación.
  - 1 = No importante.
  - 2 = Poco importante.
  - 3 = Importante.
  - 4 = Muy importante.
- El valor de **p** representa un puntaje de 0 a 4 (Escala de valores VDI 2225), siendo:

- 0 = No satisface.
- 1 = Apenas aceptable.
- 2 = Suficiente.
- 3 = Bien.
- 4 = Excelente (Ideal).

Tabla 3.9: Evaluación técnica de los conceptos de solución. Fuente: Elaboración propia.

Evaluación Técnica			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Ideal	
Nro	Criterio	g	p	p x g	p	p x g	p	p x g	p	p x g
1	Tamaño	2	3	6	3	6	2	4	4	8
2	Dificultad de fabricación	2	4	8	3	6	2	4	4	8
3	Calibración	4	1	4	4	16	2	8	4	16
4	Tiempo de procesamiento	4	2	8	4	16	4	16	4	16
5	Interfaz intuitiva	3	3	9	4	12	4	12	4	12
6	Facilidad de manejo	4	3	12	3	12	3	12	4	16
7	Seguridad	4	3	12	3	12	4	16	4	16
8	Facilidad de mantenimiento	2	3	6	2	4	3	6	4	8
9	Durabilidad	2	2	4	2	4	3	6	4	8
Suma			24	69	28	88	27	84	36	108
Promedio			0.667	0.639	0.778	0.815	0.750	0.778	1	1
Orden			3		1		2			

Tabla 3.10: Evaluación económica de los conceptos de solución. Fuente: Elaboración propia.

Evaluación Técnica			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Ideal	
Nro	Criterio	g	p	p x g	p	p x g	p	p x g	p	p x g
1	Número de piezas	2	3	6	3	6	3	6	4	8
2	Costo de componentes	3	3	9	3	9	2	6	4	12
3	Disponibilidad de materiales	4	3	12	2	8	1	4	4	16
4	Costo de Tecnología	4	2	8	3	12	2	8	2	8
5	Costo de Fabricación	4	3	12	4	16	2	8	4	16
6	Costo de Mantenimiento	2	2	4	2	4	2	4	4	8
Suma			16	51	17	55	12	36	22	68
Promedio			0.727	0.750	0.773	0.809	0.545	0.529	1	1
Orden			2		1		3			

Basándonos en los datos de las Tablas 3.9 y 3.10, realizamos un estudio técnico y económico que nos permite identificar la mejor solución. La Figura 3.12 muestra un gráfico comparativo de las tres soluciones sugeridas frente a una línea que simboliza el equilibrio ideal.

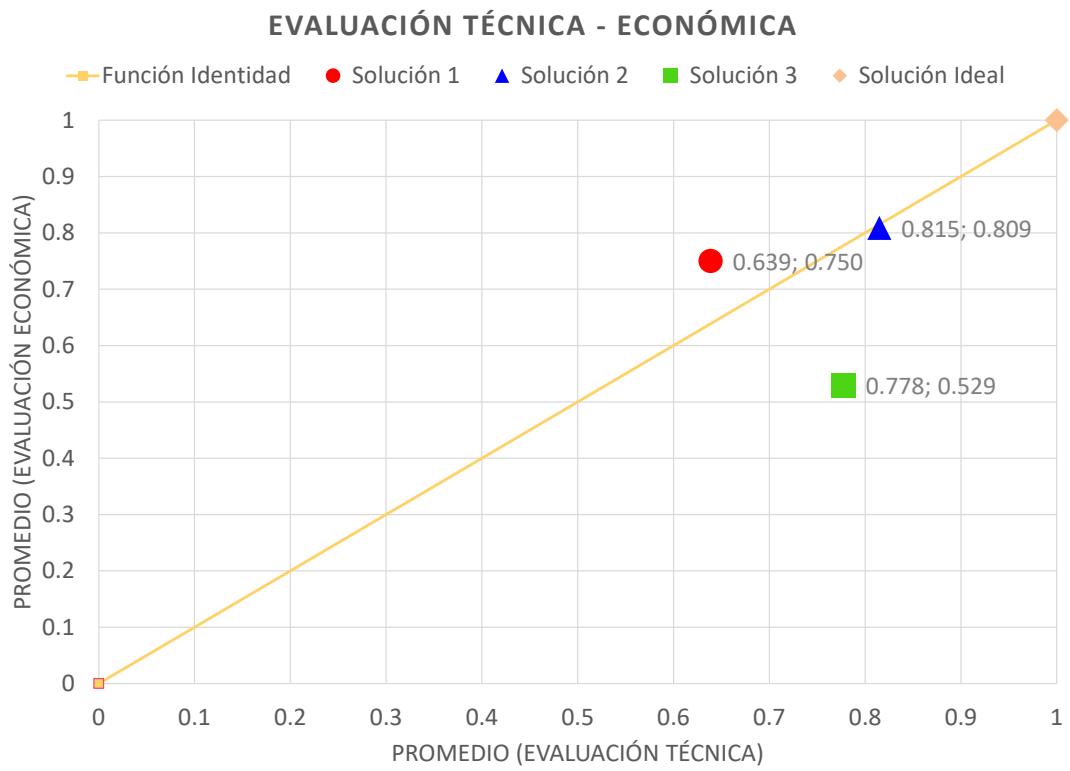


Figura 3.12: Gráfica de comparación técnico-económica de los conceptos de solución. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la solución que esta más cerca de la solución ideal es la **Solución 2**, en comparación con las otras opciones. Esta solución también demuestra un balance adecuado entre los aspectos económicos y técnicos, ya que se encuentra próxima a la línea de equilibrio ideal. Por lo tanto, elegimos esta solución como punto de partida para el diseño ingenieril, el cual será explorado en detalle en los siguientes capítulos.

# **Conclusiones y Recomendaciones**

# Bibliografía

- [1] Entwicklung technischer produkte und systeme - modell der produktentwicklung. Technical Report Blatt 1, VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung, 11 2019. URL <https://www.vdi.de/en/home/vdi-standards/details/vdi-2221-blatt-1-design-of-technical-products-and-systems-model-of-product-design>. Verfügbar in Deutsch und Englisch.
- [2] Entwicklung mechatronischer und cyber-physischer systeme. Technical report, VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, 11 2021. URL <https://www.vdi.de/en/home/vdi-standards/details/vdivde-2206-development-of-mechatronic-and-cyber-physical-systems>. Verfügbar in Deutsch und Englisch.
- [3] Dhruv Agarwal. Automated control and inspection system for manufacture and measurement of apparel, 06 2020. URL <https://patents.google.com/patent/US20200178632A1/en>. Número de Patente: US20200178632A1.
- [4] Elsie Bonilla Pastor. La gestión de la calidad y su relación con los costos de desechos y desperdicios en las mypes de la confección textil. Universidad de Lima, 2015. URL <https://www.ulima.edu.pe>. Recibido: 29 de octubre de 2014 / Aprobado: 1 de julio de 2015.
- [5] Cámara de Comercio de Lima. Comportamiento del sector textil y confecciones en el 2022, 2022. URL <https://lacamara.pe/comportamiento-del-sector-textil-y-confecciones-en-el-2022/>.
- [6] Md. Atiqul Islam, Shamim Akhter, Tammun E. Mursalin, and M. Ashraful Amin. A suitable neural network to detect textile defects. In *Lecture Notes in Computer Science*. Springer, October 2006. doi: 10.1007/11893257\_48. Conference Paper.
- [7] Agnieszka Kujawińska and Katarzyna Vogt. Human factors in visual quality control. *Management and Production Engineering Review*, 6(2):25–31, 2015. doi: 10.1515/mper-2015-0013. URL <https://www.researchgate.net/publication/279248156>.
- [8] Chunxiao Li, Huimin Liu, Ying Xu, Meiling Feng, Yi Xiao, and Dongliang Zhang. Automatic measurement of garment sizes using image recognition. In *Proceedings of the International Conference on Graphics and Signal Processing (ICGSP '17)*, Singapore, Singapore, 2017. ACM. doi: 10.1145/3121360.3121382. ISBN 978-1-4503-5239-0/17/06.
- [9] Gene F. CroyleWei-Chin Lin. Automatic garment inspection and measurement system, 06 1994. URL <https://patents.google.com/patent/US5530652A/en>. Número de Patente: US20200178632A1.

- [10] Xuguang Lin, Sen Lin, and Yusheng Li. Intelligent needle inspection machine, 12 2022. Patent CN218147467U.
- [11] J J Moreno, A Aguila, E Partida, C L Martínez, O Morales, and R Tejeida. System of error detection in the manufacture of garments using artificial vision. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, volume 272, page 012014. IOP Publishing, 2017. doi: 10.1088/1757-899X/272/1/012014.
- [12] QIMA. Procedimientos de inspección de calidad que toda marca de ropa debe conocer, 2024. URL <https://blog.qima.es/inspection/garment-quality-inspection-procedures>.
- [13] RMG Bangladesh. Finally ai in manufacturing: Garment measurement inspection in a flash, January 2021. URL <https://rmgbd.net/2021/01/finally-ai-in-manufacturing-garment-measurement-inspection-in-a-flash/>.
- [14] Daniel Rocha, Filomena Soares, Eva Oliveira, and Vítor Carvalho. Blind people: Clothing category classification and stain detection using transfer learning. *Applied Sciences*, 13(3):1925, February 2023. ISSN 2076-3417. doi: 10.3390/app13031925. URL <http://dx.doi.org/10.3390/app13031925>.
- [15] Jonathan Sanchez-Romero and Joe Llerena-Izquierdo. Revisión de la literatura sobre el uso del aprendizaje profundo enfocado en sistemas de inspección ópticos automatizados para la detección de defectos superficiales en el sector de la manufactura. *Revista InGenio*, 6(2):1–19, July 2023. ISSN 2697-3642. doi: 10.18779/ingenio.v6i2.680. URL <http://dx.doi.org/10.18779/ingenio.v6i2.680>.
- [16] OSHIMA TAIWAN. Efficient handheld metal detection. <https://www.oshima.com.tw/en/product/needle-detection-weighing/handheld-needle-detector-on-30>, . [Accessed 08-03-2024].
- [17] OSHIMA TAIWAN. Why oshima garment needle detector machine is right one for you? <https://www.oshima.com.tw/en/product/needle-detection-weighing/digital-conveyor-needle-detectors-on-688cd6s-688cdd6s>, . [Accessed 08-03-2024].
- [18] Tetra Inspection. Quality control in the clothing industry: A practical guide, 2024. URL <https://tetrainspection.com/quality-control-clothing/>. Accessed: date.
- [19] Textile Learner. Application of ai in quality control in textile and apparel industry, 2023. URL <https://textilelearner.net/application-of-ai-in-quality-control-in-textile-apparel-industry/>. Último acceso el 9 de marzo de 2024.
- [20] Zander MACHARIS Tommy VERMINCK. A system for quality control of a piece of clothing. Patente, Mes de publicación Año de publicación. URL <https://patents.google.com/patent/EP4095520A1/en>. Número de patente: EP4095520A1.
- [21] VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung. Vdi 2225 series - design engineering methodics: Engineering design at optimum cost. Verband Deutscher Ingenieure, Various years. URL <https://www.vdi.de/en/home/vdi-standards>. The series includes multiple parts focusing on simplified

calculation of costs, tables for engineering design at optimum cost, and valuation of costs, available in German.