

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Carrera de Ingeniería Mecatrónica**



**Diseño de un sistema para la lectura de códigos o caracteres en la parte inferior de latas para un proceso productivo de empresa de bebidas.**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura**

**Jorge Eduardo Mora Herrera**

**Cartago, 25 de noviembre de 2022**

## Creative Commons



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](#).

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 25 de noviembre 2022

*Jorge Mora Herrera*

---

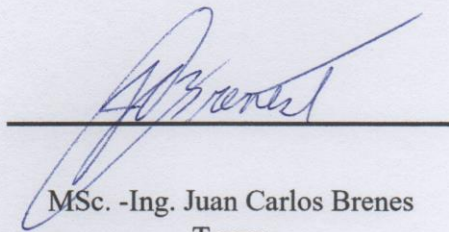
Jorge Eduardo Mora Herrera  
Céd: 115680678

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**PROGRAMA DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA**  
**PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN**  
**ACTA DE APROBACIÓN**

El profesor asesor del presente trabajo final de graduación, indica que el documento presentado por el estudiante cumple con las normas establecidas por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica para ser defendido ante el jurado evaluador, como requisito final para aprobar el curso Proyecto Final de Graduación y optar así por el título de Ingeniero(a) en Mecatrónica, con el grado académico de Licenciatura.

Estudiante: Jorge E. Mora Herrera

Proyecto: Diseño de un sistema para la lectura de códigos o caracteres en la parte inferior de latas para un proceso productivo de empresa de bebidas.



MSc. -Ing. Juan Carlos Brenes  
Torres  
Asesor

Cartago, 25 de noviembre del 2022

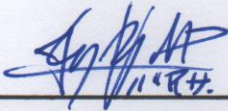
**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**PROGRAMA DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECATRÓNICA**  
**PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN**  
**ACTA DE APROBACIÓN**

Proyecto final de graduación defendido ante el presente jurado evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero(a) en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, según lo establecido por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Estudiante: Jorge E. Mora Herrera

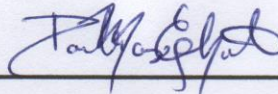
Proyecto: Diseño de un sistema para la lectura de códigos o caracteres en la parte inferior de latas para un proceso productivo de empresa de bebidas.

Miembros del jurado evaluador



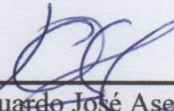
\_\_\_\_\_  
MSc. -Ing. Johanna Vanessa Muñoz Pérez

Jurado



\_\_\_\_\_  
Ing. Paula Elena Monge Chanto

Jurado



\_\_\_\_\_  
Ing. Eduardo José Asenjo Castillo

Jurado

Los miembros de este jurado dan fe de que el presente proyecto final de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por el programa de Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica.

Cartago, 25 de noviembre del 2022

## **Resumen**

El presente documento presenta el proceso de diseño y validación de un sistema de lectura de caracteres o códigos en la parte inferior de latas de refresco para la Cervecería de Costa Rica encargado a la empresa Kopar Latinoamericana. Debido al crecimiento en la producción y la búsqueda de la automatización en los procesos de inspección, se busca la utilización de equipos capaces de seguir el ritmo de producción deseada, así como la inmediata integración con los equipos actuales.

El desarrollo del proyecto se dio en base a la metodología de diseño de ingeniería llamada Diseño y Desarrollo de Productos. Tomando como base las necesidades planteadas por la empresa, se generaron las necesarias especificaciones objetivo y su consecuente desarrollo de conceptos que conllevan a una solución final; tal solución después fue puesta a prueba con el fin de comprobar que esta cumple con los objetivos previamente definidos.

Una vez se siguió el procedimiento descrito por la metodología de diseño escogida se propuso la utilización de un sistema de visión con inteligencia artificial iluminado por medio de un domo, capaz de leer los códigos o caracteres presentes en latas de refresco a altas velocidades con una eficiencia mayor al 90%. Además, se desarrolló una simulación de una Interfaz Humano Máquina capaz de controlar el sistema de visión, mostrar los resultados de las inspecciones realizadas, así como estadísticas de estas. Este sistema, además permite realizar nuevos tipos de inspecciones e integraciones con nuevos sistemas a futuro en caso de que la empresa así lo considere necesario.

**Palabras Clave:** Automatización, Sistema de Visión, Interfaz Humano Máquina.

## **Abstract**

The actual document presents the design and validation process for a character and code reading system at the bottom of canned beverages for Cervecería de Costa Rica entrusted to Kopar Latinoamericana. Due to the increase in production and the search for inspection processes' automation, the use of devices capable of keeping up with the desired production is on demand, such as the immediate integration with current equipment.

This project was developed based on the design methodology called Product Design and Development. Using the requirements given by the company as base, the necessary objective specifications and consequent concept development that led to the final solution were generated. This solution was the tested to verify its compliance with the established objectives.

Once the procedure written about in the methodology was followed, the use of an artificial intelligence powered vision system lighted by a dome was proposed to read codes and characters printed at the bottom of beverage cans traveling at high velocity at an efficiency higher than 90%. A human-machine interface capable of controlling said vision system, displaying inspections results and statistics was also developed. This system allows for the inspection and integration of new systems at a future date if the company so requires.

**Keywords:** Automatization, Vision Systems, Human-Machine Interface.

## **Dedicatoria**

Este trabajo no se lo puedo dedicar a nadie más que a mis padres Alba Herrera y Ramón Mora por haber estado ahí siempre para mí a lo largo de los años y nunca dudar en apoyarme incondicionalmente. Les agradezco por nunca dudar de mí aun cuando yo era el primero en dudar y acompañarme siempre.

## **Agradecimiento**

Le agradezco a mi tutor, el MSc. -Ing Juan Carlos Brenes Torres, por la paciencia y la ayuda que siempre me brindó para el desarrollo de este proyecto. Igualmente agradezco al Ing. Randal Flores Sánchez por ser un gran ejemplo por seguir en Grupo Kopar, por toda la ayuda y consejos brindados y todo el aprendizaje y amistad que me ha brindado.

Por último, pero no menos importante, agradecerles a compañeros de la universidad que me han ayudado más de lo que se imaginan. Tanto académicamente como fuera de las aulas fueron un gran apoyo y motivación para salir adelante en tiempos complicados.

## Lista de Contenidos

1	Introducción .....	1
1.1	Entorno del proyecto .....	1
1.2	Definición del problema.....	1
1.2.1	Generalidades.....	1
1.3	Síntesis del problema .....	2
1.4	Objetivos .....	2
1.4.1	Objetivo general.....	2
1.4.2	Objetivos específicos .....	3
1.5	Estructura del Documento.....	3
2	Marco Teórico.....	5
2.1	Sistemas de Visión Industriales.....	5
2.1.1	Características que describen un sistema de visión .....	6
2.1.2	Dispositivos para adquisición de imágenes .....	7
2.1.3	Sensores de visión.....	7
2.1.4	Cámaras de visión .....	8
2.2	Estándares Industria Bebidas .....	9
2.3	Interfaz Humano-Máquina (HMI).....	10
2.4	Cálculo del tamaño de una muestra.....	11
2.4.1	Cálculo del tamaño de una muestra en base a una población finita.....	11
2.4.2	Cálculo del tamaño de una muestra en base a una población infinita .....	12
3	Metodología .....	13
3.1	Fases de la metodología a utilizar .....	13
3.1.1	Fase 0: Planeación.....	13
3.1.2	Fase 1: Desarrollo del concepto.....	13
3.1.3	Fase 2: Diseño a nivel sistema .....	14
3.1.4	Fase 3: Diseño de detalle .....	15
3.1.5	Fase 4: Pruebas de refinamiento .....	15
3.2	Identificación de Necesidades .....	15
3.2.1	Estado Actual .....	15
3.2.2	Identificación de Necesidades.....	16
3.2.3	Categorización de las necesidades.....	17

3.2.4	Jerarquización de las Necesidades .....	18
3.3	Establecimiento de Especificaciones Objetivo .....	22
3.3.1	Elaboración de una Lista de métricas .....	22
3.3.2	Análisis de la Matriz de Necesidades-Métricas .....	27
3.3.3	Establecimiento de Valores Objetivo Ideales y Marginalmente Aceptables .....	29
3.3.4	Reflexión de los Resultados y el Proceso .....	30
4	Propuesta de solución .....	32
4.1	Generación de Conceptos.....	32
4.1.1	Aclarar el problema.....	32
4.1.2	Búsqueda externa .....	35
4.1.3	Búsqueda interna.....	38
4.1.4	Exploración sistemática .....	39
4.1.5	Reflexión sobre las soluciones y el proceso .....	45
4.2	Filtrado de conceptos .....	46
4.2.1	Manejo de la energía.....	46
4.2.2	Iluminación .....	47
4.2.3	Captura de la imagen .....	53
4.2.4	Montaje del sistema de adquisición .....	55
4.2.5	Protocolo de comunicación.....	56
4.2.6	Módulo de entradas y salidas .....	56
4.2.7	Introducción de información.....	57
4.2.8	Muestra de información .....	58
4.2.9	Procesamiento de imágenes .....	58
4.2.10	Sensor detector de objetos .....	59
4.3	Conceptos ganadores.....	60
5	Planteo de las validaciones .....	62
5.1	Validación de Lectura a alta velocidad .....	62
5.2	Validación del HMI.....	67
6	Análisis de resultados .....	68
6.1	Resultados de las Validaciones.....	68
6.1.1	Lectura a Alta velocidad .....	68
6.1.2	HMI.....	72

6.2	Diagramas de conexiones.....	78
6.2.1	Diagrama de Red.....	78
6.2.2	Diagrama de conexiones.....	78
6.3	Revisión de Necesidades.....	80
6.4	Resultados generales.....	82
7	Análisis económico.....	84
8	Conclusiones y recomendaciones.....	88
8.1	Conclusiones.....	88
8.2	Recomendaciones.....	89
9	Bibliografía.....	90
10	Apéndices.....	96
10.1	Apéndice A: Hojas de Especificaciones de Familias de Cámaras Cognex.....	96
10.2	Apéndice B: Pasos para el entrenamiento de lectura de caracteres por medio de ViDi Read y Aprendizaje Profundo.....	100
10.3	Apéndice C: Informe de entrenamiento de ViDi Read.....	104
10.4	Apéndice D: Programación de robot Epson T3 para la validación de Lectura a alta velocidad.....	118
10.5	Apéndice E: Otras capturas obtenidas en las pruebas de validación.....	119
10.6	Apéndice F: Tabla de especificaciones de VisionView 900.....	122
10.7	Apéndice G: Instructivo corto para la correcta configuración de la simulación de un sistema de lectura en una Tablet.....	123
10.8	Apéndice H: Encuesta de experiencia de Usuario para validación de HMI.....	124
10.9	Apéndice I: Cálculo del peso del sistema.....	126
10.10	Apéndice J: Diagramas de conexión.....	127
10.11	Apéndice K: Plano Eléctrico.....	128

## Lista de Figuras

Figura 2-1. Diagrama de Bloques para un sistema de visión simple. Obtenido de [5].....	5
Figura 2-2: Ejemplos de HMIs. Tomado de [12].....	11
Figura 3-1. Proceso de desarrollo de productos. Obtenido de [30] .....	13
Figura 3-2. Actividades iniciales comprendidas por la Fase 1. Obtenido de [30] .....	14
Figura 3-3: Matriz de Necesidades-Métricas .....	28
Figura 4-1:Diagrama de flujo del problema.....	33
Figura 4-2: Descomposición Funcional del Sistema. Versión caja negra. ....	34
Figura 4-3: Descomposición Funcional del Sistema. Versión completa .....	34
Figura 4-4: Fuentes de alimentación encontradas en búsqueda externa de conceptos. a) Fuente DC industrial de Murr y b) sistema de baterías de litio industriales de Super-B. Obtenida de [31] y [32] respectivamente. ....	36
Figura 4-5: Conceptos de iluminación. a) de fondo, b) de campo oscuro, c) de anillo y d) de domo. Obtenidos de [33].....	36
Figura 4-6: Conceptos de dispositivos de captura de imágenes. a) cámara "tonta" y b) cámara de escaneo lineal. Obtenido de [34] y [35] respectivamente. ....	37
Figura 4-7: Conceptos de montajes de sistemas propios de fabricantes. a) de Basler y b) de Cognex. Obtenido de [36] y [37] respectivamente. ....	37
Figura 4-8: Conceptos de módulos de comunicación. a) módulo de entradas y salidas y b) controlador dedicado de visión. Obtenido de [40] y [41] respectivamente. ....	37
Figura 4-9: Conceptos de mecanismos de introducción y muestra de información. a) Sistemas SCADA y b) servidores remotos, ambos de Advantech. Tomado de [42] y [43] respectivamente.....	38
Figura 4-10: Conceptos de sensores de detección de objetos. a) sensor fotoeléctrico auto reflectivo y b) sensor por fibra óptica, ambos de Sick. Obtenidos de [44] y [45] respectivamente.....	38
Figura 4-11: Árbol de conceptos para el manejo de la energía.....	40
Figura 4-12: Árbol de conceptos para los tipos de iluminación. ....	40
Figura 4-13: Árbol de conceptos para la captura de la imagen.....	41
Figura 4-14: Árbol de conceptos para el montaje del sistema. ....	41

Figura 4-15: Árbol de conceptos para los protocolos de comunicación. ....	42
Figura 4-16: Árbol de conceptos para los módulos de entradas y salidas. ....	42
Figura 4-17: Árbol de conceptos para la introducción de información. ....	43
Figura 4-18: Árbol de conceptos para la muestra de información. ....	43
Figura 4-19: Árbol de conceptos para el procesamiento de imágenes. ....	44
Figura 4-20: Árbol de conceptos para el sensor detector de objetos. ....	44
Figura 4-21: a) Lente y b) cámara utilizada en las pruebas. A) tomado de [47] y b) de [46]. ....	47
Figura 4-22: Software OECS (Opto Engineering Camera Studio) ....	48
Figura 4-23: Filtro polarizador utilizado en las pruebas de iluminación ....	48
Figura 4-24: Luz de spot de Smart Vision Lights. Obtenido de [49]. ....	49
Figura 4-25: Pruebas de iluminación con luz spot. a) Montaje, b) Mejor imagen capturada sin polarizador y c) mejor imagen capturada con polarizador. ....	49
Figura 4-26: Luz de anillo de Opto Engineering. ....	49
Figura 4-27: Pruebas de iluminación con luz anillo. a) Montaje, b) Mejor imagen capturada. ...	50
Figura 4-28: Luz Domo de CCS [51]. ....	50
Figura 4-29: Pruebas de iluminación con luz domo blanca. a) Montaje, b) Mejor imagen capturada. ....	51
Figura 4-30: Pruebas de iluminación con luz domo azul. a) Montaje, b) Mejor imagen capturada. ....	51
Figura 4-31: Pruebas de iluminación con luz domo roja. a) Montaje, b) Mejor imagen capturada. ....	52
Figura 4-32: Pruebas de iluminación con luz domo verde. a) Montaje, b) Mejor imagen capturada. ....	52
Figura 5-1: Línea de producción en referencia a la que está presente en Cervecería de Costa Rica. Obtenida de [58]. ....	63
Figura 5-2: Simulación de condiciones en línea de producción para validación de lectura de alta velocidad. ....	63
Figura 5-3: Sujeción de lata de cerveza vacía por medio de gripper y uñas presentes en el laboratorio de Kopar. ....	64
Figura 5-4: Método de sujeción y colocación de la cámara, el domo y el sensor fotoeléctrico auto reflectivo. ....	64

Figura 5-5: VisionView 900. Tomado de [62].....	67
Figura 6-1: Resultados de prueba de validación inicial.....	68
Figura 6- 2: Segunda versión de la programación de la prueba de concepto. ....	69
Figura 6-3: Acercamiento a segmento de la programación de la cámara ISD902M para la prueba de concepto. ....	69
Figura 6-4: Capturas del video de validación de eficiencia de la lectura a alta velocidad. ....	70
Figura 6- 5: Capturas del video de validación de eficiencia de la lectura a alta velocidad con cambio del texto a comparar. ....	71
Figura 6-6: Diseño de Interfaz Humano Máquina propuesto para la solución final.....	72
Figura 6-7: Resultados de la primera pregunta para el encuestado. ....	75
Figura 6-8: Resultados de la segunda pregunta para el encuestado.....	75
Figura 6-9: Resultados de la tercera pregunta para el encuestado. ....	75
Figura 6-10: Resultados de la cuarta pregunta para el encuestado. ....	76
Figura 6-11: Resultados de la primera pregunta para el encuestador. ....	76
Figura 6-12: Resultados de la segunda pregunta para el encuestador. ....	77
Figura 6-13: Diagrama de Red del Sistema. ....	78
Figura 6- 14: Diagrama de Conexiones del Sistema.....	79
Figura B-1: Paso 1 para el entrenamiento de lectura de caracteres por medio de ViDi Read y Aprendizaje Profundo.....	100
Figura B-2: Paso 2 para el entrenamiento de lectura de caracteres por medio de ViDi Read y Aprendizaje Profundo. ....	101
Figura B-3: Paso 3 para el entrenamiento de lectura de caracteres por medio de ViDi Read y Aprendizaje Profundo. ....	101
Figura B-4: Paso 4 para el entrenamiento de lectura de caracteres por medio de ViDi Read y Aprendizaje Profundo. ....	101
Figura B-5: Paso 5 para el entrenamiento de lectura de caracteres por medio de ViDi Read y Aprendizaje Profundo. ....	102
Figura B-6: Paso 6 para el entrenamiento de lectura de caracteres por medio de ViDi Read y Aprendizaje Profundo. ....	102
Figura B-7: Paso 7 para el entrenamiento de lectura de caracteres por medio de ViDi Read y Aprendizaje Profundo. ....	103

Figura B-8: Paso 8 para el entrenamiento de lectura de caracteres por medio de ViDi Read y Aprendizaje Profundo. ....	103
Figura C-1:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 1.....	104
Figura C-2:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 2.....	105
Figura C-3:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 3.....	106
Figura C-4:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 4.....	107
Figura C-5:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 5.....	108
Figura C-6:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 6.....	109
Figura C-7:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 7.....	110
Figura C-8:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 8.....	111
Figura C-9:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 9.....	112
Figura C-10:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 10.....	113
Figura C-11:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 11.....	114
Figura C-12:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 12.....	115
Figura C-13:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 13.....	116
Figura C-14:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 14.....	117
Figura D- 1: Programación de robot Epson T3 para la validación de Lectura a alta velocidad..	118
Figura E-1:Toma adicional de validación de velocidad de captura 1.....	119
Figura E-2:Toma adicional de validación de velocidad de captura 2. ....	119
Figura E-3:Toma adicional de validación de velocidad de captura 3. ....	119
Figura E-4:Toma adicional de validación de velocidad de captura 4. ....	120
Figura E-5:Toma adicional de validación de velocidad de captura 5. ....	120
Figura E-6:Toma adicional de validación de velocidad de captura 6. ....	120
Figura E-7:Toma adicional de validación de velocidad de captura 7. ....	121
Figura E-8:Toma adicional de validación de velocidad de captura 8. ....	121
Figura E-9:Toma adicional de validación de velocidad de captura 9. ....	121
Figura E- 10:Toma adicional de validación de velocidad de captura 10. ....	122
Figura H-1: Encuesta de Experiencia de Usuario para validación de HMI. Segmento del encuestado. Parte 1.....	124
Figura H-2: Encuesta de Experiencia de Usuario para validación de HMI. Segmento del encuestado. Parte 2.....	125

Figura H-3: Encuesta de Experiencia de Usuario para validación de HMI. Segmento del encuestador. ....	125
Figura J- 1: Diagrama de conexiones del cable de entradas y salidas de la ISD902M.....	127
Figura J- 2: Diagrama de conexiones del sensor SOOE-DS-R-PNLK-T. ....	127
Figura K-1: Diagrama Eléctrico del Sistema.....	128

## Lista de Tablas

Tabla 2-1: Grado de protección contra polvo. Tomado de [11].	9
Tabla 2-2: Grado de protección contra agua. Tomado de [11].	9
Tabla 2-3: Valores de Z de acuerdo con valores comunes de confianza según [21]	11
Tabla 3-1: Necesidades y su respectivo nivel de importancia	20
Tabla 3-2: Lista de Métricas para cada necesidad propuesta por el cliente.	22
Tabla 3-3: Especificaciones Objetivo. Valores marginales e Ideales para cada métrica definida.	29
Tabla 4-1: Matriz de Selección de conceptos del subsistema Manejo de la Energía.	46
Tabla 4- 2: Matriz de Selección de conceptos del subsistema Iluminación.	53
Tabla 4-3: Matriz de Selección de conceptos del subsistema Captura de Imagen.	55
Tabla 4-4: Matriz de Selección de conceptos del subsistema Montaje del sistema.	56
Tabla 4-5: Matriz de Selección de conceptos del subsistema de Protocolo de Comunicación.	56
Tabla 4-6: Matriz de Selección de conceptos del subsistema Modulo de entradas y salidas.	57
Tabla 4-7: Matriz de Selección de conceptos del subsistema Introducción de Información.	58
Tabla 4-8: Matriz de Selección de conceptos del subsistema Muestra de Información.	58
Tabla 4-9: Matriz de Selección de conceptos del subsistema procesamiento de Imágenes	59
Tabla 4-10: Matriz de Selección de conceptos del subsistema sensor detector de objetos.	60
Tabla 4-11: Resumen de los conceptos ganadores.	60
Tabla 4-12: Resumen de los conceptos ganadores versión actualizada.	61
Tabla 6- 1: Código de colores de cables utilizados. Cámara a la izquierda y sensor a la derecha.	79
Tabla 6-2: Necesidades, su cumplimiento y donde se demuestra este cumplimiento.	80
Tabla 7-1: Costo de equipo de la solución propuesta.	84
Tabla 7- 2: Gastos de inversión administrativa del proyecto.	85
Tabla 7- 3: Inversión total en el desarrollo del sistema.	85
Tabla 7- 4: Tabla resumen de indicadores de factibilidad de inversión.	87
Tabla A-1: Especificaciones de Sistemas de visión de la familia ISD900.Tomado de [52].	96
Tabla A-2: Especificaciones de Sistemas de visión de la familia IS7000.Tomado de [53]	97
Tabla A-3: Especificaciones de Sistemas de visión de la familia IS8000.Tomado de [54]	98
Tabla A- 4: Especificaciones de Sistemas de visión de cámaras “tontas”. Tomado de [55]	99

Tabla A- 5: Especificaciones de Sistemas de visión de cámaras de Escaneo Lineal. Tomado de [55].....	99
Tabla F-1: Especificaciones de VisionView 900. Aclaración: Aunque la tabla dice VisionView700, esta es la tabla que se encuentra en el manual al que lleva en [61]. Tomado de [61].....	122
Tabla I- 1: Cálculo del peso del sistema.....	126

## Lista de Abreviaciones

IEC.....	International Electrotechnical Commission
IP.....	Ingress Protection
HMI.....	Human-Machine Interface
DC.....	Direct Current
PLC.....	Programmable Logic Controller
I/O .....	Entradas y Salidas Digitales
SCADA.....	Supervisión, Control y Adquisición de Datos
FOV.....	Field Of View
OECS.....	Opto Engineering Camera Studio
RGB.....	Red-Green-Blue
FPS.....	Frames per Second
GND.....	Ground
TIR.....	Tasa Interna de Retorno
VAN.....	Valor actualizado Neto

# **1 Introducción**

## **1.1 Entorno del proyecto**

El proyecto será realizado en las instalaciones de Kopar Latinoamericana, ubicados en calle Potrerillos en San Rafael de Alajuela. Grupo Kopar es una empresa proveedora de soluciones de automatización industrial y optimización de maquinaria con marcas líderes a nivel global [1] cuya casa madre se encuentra en México y posee varias sedes a nivel de Latinoamérica y EEUU.

Fue fundado en 1983 en Monterrey, México y es una de las primeras sedes internacionales, abierta en el año 2000, dando cobertura a gran parte de América Latina. Más específicamente el proyecto se llevará a cabo en el laboratorio de desarrollo de aplicaciones ubicado en la sede de Kopar de Costa Rica.

Dentro de los sistemas automatización industrial ofrecidos por la empresa se encuentran sistemas de robótica y visión industriales, sistemas de control, neumática, sensores, industria 4.0; y además sirve de sede para la impartición de diversos cursos de parte de sus marcas principales.

## **1.2 Definición del problema**

### **1.2.1 Generalidades**

Una empresa con altos volúmenes de producción como lo es la Cervecería de Costa Rica siempre debe buscar la manera de mejorar sus líneas de producción y alcanzar una mejor eficiencia en el proceso. Con este fin, la empresa se puso en contacto con Kopar, dado su diverso inventario de sistemas de visión, así como otros dispositivos de automatización industrial líderes en el mercado.

La empresa desea leer un código que se encuentra impreso en la parte inferior de latas de aluminio, las cuales por lo general contienen diversos tipos de bebidas. Una vez se haya realizado la lectura de este código o caracteres se realizaría una verificación en la que se confirmaría que el producto es el correspondiente a esa línea de producción y en caso de no serlo, se enviaría una señal al sistema de control encargado del descarte indicando que no se encuentran en la línea de producción adecuada.

La complejidad de este objetivo que se busca recae en la alta velocidad a la que se desplazarían las latas en su sistema transportador, así como la concavidad de la superficie donde se desea leer el código. A esto se le debe sumar el hecho que una lata de aluminio posee una superficie reflectiva, por lo que se debe buscar la iluminación adecuada que funcione con todo o la gran mayoría del inventario presente en la empresa, así como adiciones futuras.

Se debe considerar que este sistema de visión a diseñar se debe instalar en los sistemas de transporte de las latas ya presentes en las plantas de producción, que se debe comunicar con los mismos y que todo equipo que se instale debe cumplir con la normativa requerida para trabajar en una planta de producción de alimentos.

### **1.3 Síntesis del problema**

Se requiere leer un código o serie de caracteres impresos en la superficie inferior de latas de refrescos que se mueven a altas velocidades y sobre superficies adversas para la lectura de estos códigos.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar un sistema de lectura que permita la correcta clasificación de latas de refrescos en una línea de producción mediante la lectura del código o caracteres impresos en su cara inferior.

## **1.4.2 Objetivos específicos**

- 1.4.2.1** Evaluar la planta de producción de la empresa y los procedimientos de control que se utilizan actualmente para la identificación de productos en líneas de producción equivocadas.
- 1.4.2.2** Diseñar un sistema de lectura industrial, que garantice la adecuada lectura de códigos o caracteres en productos fuera de la línea de producción correspondiente.
- 1.4.2.3** Integrar el sistema de lectura de códigos o caracteres con la monitorización de señales y comunicación con el sistema de control de la maquinaria existente.
- 1.4.2.4** Diseñar una interfaz humano-máquina donde sea posible la puesta en marcha y la monitorización de los resultados de las inspecciones realizadas.

## **1.5 Estructura del Documento**

El documento se estructura en diferentes capítulos, estos consisten en:

Primeramente, en el capítulo 1 se contextualiza el proyecto, el surgimiento de la necesidad expresada por la empresa, el análisis de la importancia de la solución de esta.

Seguidamente, en el capítulo 2 se desarrolla la debida recopilación de antecedentes, investigaciones previas y conceptos teóricos con el fin de comprender de una mejor manera la necesidad a solucionar, así como convertirse en importantes bases para la solución del presente proyecto.

A continuación, en el capítulo 3 se especifica la metodología de diseño de ingeniería que se va a implementar con el fin de generar diversas soluciones al problema planteado y por medio de esta metodología escoger la solución más adecuada.

Asimismo, en el capítulo 4 se proponen distintas soluciones a partir de la metodología de diseño de ingeniería. Se realiza un análisis donde tras considerar a todos los candidatos a solución, se cuantifica y se selecciona una propuesta ganadora que se considera la de mayor potencial de satisfacer las necesidades dadas por el cliente final.

En el capítulo 5 se plantean las pruebas de validación por desarrollar. Se da el contexto para estas, así como la explicación de los equipos y el procedimiento a seguir para realizar estas validaciones.

De forma adicional, en el capítulo 6 se analizan distintos resultados obtenidos en distintas pruebas de validación con el fin de validar la idoneidad del concepto ganador seleccionado. Asimismo, se realiza un análisis del proceso en general en conjunto con una revisión de necesidades.

En el capítulo 7 se realiza un análisis económico con el fin de validar la viabilidad del proyecto realizado. Se analizan los costos de este, así como los potenciales retornos de inversión que se van a tener a largo plazo.

Una vez realizadas las pruebas de validación, en el capítulo 8 se presentan conclusiones y recomendaciones basadas en los resultados y observaciones recopiladas a lo largo de las mismas.

Finalmente, en el capítulo 9 se presenta diverso material complementario en relación con el proyecto. Material que busca apoyar los análisis realizados a lo largo del desarrollo del proyecto.

## 2 Marco Teórico

### 2.1 Sistemas de Visión Industriales

La introducción de la automatización industrial ha llegado a revolucionar de sobremanera la industria de la manufactura. Gran cantidad y variedad de procesos de manufactura se pueden descomponer en pasos pequeños y repetitivos [5], los cuales inicialmente fueron realizados por operarios entrenados para ello, pero eventualmente fueron automatizados para ser realizados por maquinaria y equipos industriales.

El aumento en la eficiencia de la maquinaria utilizada, así como el consecuente aumento en la producción trae consigo la necesidad del desarrollo de sistemas de inspección y control de calidad que también sean automatizados y no dependan directamente de la participación del ser humano. Esto trajo consigo el desarrollo de sistemas de visión automáticos basados en sensores de visión y cámaras digitales y su respectivo sistema de procesamiento de imágenes que llegó a permitir que las inspecciones necesarias fueran también automatizadas e integradas a la línea de producción industrial.

La Figura 2-1 muestra un diagrama de bloques simple que muestra los sistemas y subsistemas que componen el proceso general de una inspección general por medio de sistemas de visión industriales.

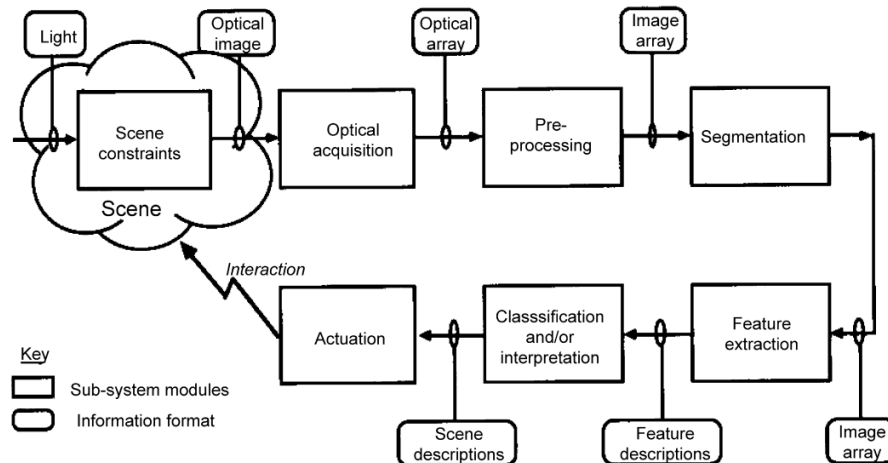


Figura 2-1. Diagrama de Bloques para un sistema de visión simple. Obtenido de [5]

Según el diagrama de bloques presente en la Figura 2-1, se listan los siguientes pasos en una inspección por sistema de visión industrial:

- Se tiene una escena que debe estar adecuadamente iluminada y enfocada.
- Se debe tener un sensor o mecanismo que garantice repetibilidad en la captura de las imágenes a inspeccionar.
- La imagen es procesada por medio de una computadora ya sea embebida o externa, según sea necesario.
- Por medio de software especializado en el análisis de imágenes, se extrae la información deseada. Ya sean mediciones, pruebas de presencia/ausencia, entre otro tipo de inspecciones.
- Se da la clasificación o interpretación de las inspecciones realizadas en el paso anterior y se toman decisiones por medio de computadores embebidos o externos; así como la posible interfaz por medio de sistemas de lógica programable PLC o similares.
- Se da la consecuencia de la inspección realizada. Ya sea la activación de actuadores por medio del previamente mencionado PLC o algún otro tipo de sistema capaz de tal tarea.

### **2.1.1 Características que describen un sistema de visión**

Con el fin de lograr la adecuada adquisición de imágenes es necesaria la apropiada configuración de una serie de parámetros en el sistema de adquisición de imágenes.

#### **2.1.1.1 Enfoque**

Según [6] se trata de la definición de la imagen y aquellos objetos a una distancia determinada de la cámara de visión. Este se varía al cambiar la distancia entre el plano que forma la imagen y el lente de la cámara.

#### **2.1.1.2 Profundidad de campo**

Es una función de la distancia focal y el diámetro de la apertura del lente. Es una medida de la variación permisible de distancia de enfoque en la escena a capturar [7].

### **2.1.1.3 Exposición**

Es la cantidad del tiempo que el sensor óptico se mantiene abierto y expuesto a la imagen a capturar [8]. Mientras más tiempo el sensor se mantenga abierto, más luz entra y afecta al sensor.

### **2.1.1.4 Distancia de Trabajo**

Es la distancia que hay de desde el objeto a capturar y la distancia focal de la lente en la cámara [7].

### **2.1.1.5 Distancia Focal**

Distancia entre el eje axial del lente y un punto sobre el eje óptico de la intersección de rayos de luz paralelos incidiendo de forma perpendicular al eje axial [7]. Es directamente proporcional a la distancia de trabajo [8].

### **2.1.1.6 Apertura del Lente**

Al tener una mayor apertura del lente, se presenta una mayor entrada de luz hacia el sensor. Mientras mayor sea la apertura del lente, menor es la profundidad de campo [8].

## **2.1.2 Dispositivos para adquisición de imágenes**

Los sistemas de visión dependen de la adecuada captura de imágenes para su posterior examinación. Para ello es necesario la utilización de un dispositivo encargado de la captura de dichas imágenes, estos dispositivos se dividen en las categorías a analizar a continuación.

Existe la diferencia simple entre un sensor y una cámara de visión. Según [9] un sensor de visión se encarga de tareas simples como contestar preguntas de sí o no en una línea de producción, mientras que un sistema de visión se encarga de tareas complejas como guiar a un brazo robótico en la soldadura de partes en una fábrica automatizada.

## **2.1.3 Sensores de visión**

Los procesos automatizados de inspección no tienen que ser labores extremadamente complejas, puede tratarse de simples tareas que se resuelven con el análisis de poca información que puede ser captada por un simple sensor de visión [9]. Dentro de las tareas de inspección que se pueden realizar por medio de sensores de visión se encuentran las siguientes:

- **Presencia/ausencia:** El sensor busca identificar si el conjunto de píxeles deseados se encuentra dentro de su campo de visión, para así dar su aprobación en la inspección realizada.
- **Defectos simples:** Los sensores de visión pueden ser entrenados para identificar como se ve una pieza correcta, por lo que una pieza que presente defectos puede ser rechazada adecuadamente por el sensor de visión.
- **Reconocimiento de caracteres ópticos:** El sensor de visión es capaz de decir si la pieza a inspeccionar posee o no los caracteres deseados con el fin de pasar o rechazar dicha pieza.

#### **2.1.4 Cámaras de visión**

Las cámaras de visión son capaces de utilizar múltiples sensores para realizar las mismas labores simples que pueden realizar los sensores de visión, entre otras nuevas y más complicadas, gracias a su mayor capacidad de procesamiento ya sea embebido o externo, así como la mayor resolución que pueden llegar a poseer [9]. Dentro de estas labores se encuentran las siguientes:

- **Guía o alineamiento:** Los sistemas de visión son capaces de dar el visto bueno en el alineamiento de partes a colocar o ensamblar en una línea de producción.
- **Lectura de códigos:** Es posible que los sistemas de visión lean códigos de una o dos dimensiones impresos en cajas u otro tipo de dispositivos a analizar.
- **Medición:** Sistemas de visión adecuadamente calibrados son capaces de realizar mediciones en partes a analizar en una línea de producción.
- **Localización en 3 dimensiones:** Por medio de sistemas de visión es posible servir de guía para el posicionamiento de movimiento de robots u otro tipo de mecanismo en 2 o 3 dimensiones en caso de que se trabaje con más de una cámara.

## 2.2 Estándares Industria Bebidas

Todo equipo electrónico que trabaje en fábricas o industrias donde se esté en contacto con comida o bebida debe estar diseñado para ello o sufrirá las consecuencias de estar expuesto a esos ambientes [10]. Para lograr que el equipo utilizado logre sobrevivir en estos ambientes, las industrias pueden fabricar encierros para proteger el equipo, o comprar equipo certificado para soportar condiciones como polvo, partículas de comida, salpicaduras de agua, chorros de agua y todo tipo de desinfectantes [10].

En la búsqueda de que los equipos logren un estándar para trabajar en estas condiciones, la IEC ha desarrollado una métrica para ayudar a clasificar y determinar qué tan bien un encierro logra proteger la electrónica que intenta proteger [10].

Estos estándares buscan asignar un nivel de protección basado en la asignación de dos números que dan una escala de protección contra polvo y contra agua respectivamente. Esta escala va de IP00 hasta IP69K. Para la industria de comidas y bebidas, se recomienda un nivel de protección de al menos IP65 [10].

Tabla 2-1: Grado de protección contra polvo. Tomado de [11].

PRIMER DÍGITO IP[X][ ]	
NIVEL	DESCRIPCIÓN
0	Sin protección.
1	Protegido contra la entrada de elementos sólidos de hasta 50 mm.
2	Protegido contra la entrada de elementos sólidos de hasta 12,5 mm.
3	Protegido contra la entrada de elementos sólidos de hasta 2,5 mm.
4	Protegido contra la entrada de elementos sólidos de hasta 1 mm.
5	Protegido contra la entrada de polvo (la cantidad que entra e interfiere con el funcionamiento del dispositivo).
6	Totalmente protegido contra la entrada de polvo.

Tabla 2-2: Grado de protección contra agua. Tomado de [11].

SEGUNDO DÍGITO IP[ ][X]	
NIVEL	DESCRIPCIÓN
0	Sin protección.
1	No debe entrar el agua cuando se la deja caer desde 200 mm. de altura respecto del equipo, durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm <sup>3</sup> por minuto).
2	No debe entrar el agua cuando se la deja caer durante 10 minutos (a razón de 3-5 mm <sup>3</sup> . por minuto).
3	No debe entrar el agua nebulizada en un ángulo de hasta 60° a derecha e izquierda de la vertical a un promedio de 11 litros por minuto y a una presión de 800-100kN/m <sup>2</sup> durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
4	No debe entrar el agua arrojada desde cualquier ángulo a un promedio de 10 litros por minuto, y a una presión de 800-100kN/m <sup>2</sup> durante un tiempo que no sea menor a 5 minutos.
5	No debe entrar el agua arrojada a chorro (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 6,3 mm de diámetro, a un promedio de 12,5 litros por minuto y a una presión de 30kN/m <sup>2</sup> durante un tiempo que no sea menor a 3 minutos y a una distancia que no sea menor de 3 metros.
6	No debe entrar el agua arrojada a chorros (desde cualquier ángulo) por medio de una boquilla de 12,5 mm de diámetro, a un promedio de 100 litros por minuto y a una presión 100kN/m <sup>2</sup> durante un tiempo que no sea menor a 3 minutos y a una distancia que no sea menor de 3 metros.
7	El equipo debe soportar sin filtración alguna la inmersión completa en el agua a 1 metro, durante 30 minutos. En otras palabras, no debe entrar agua.
8	El equipo debe soportar sin filtración alguna la inmersión completa al agua, y continua a la profundidad, durante el tiempo que especifique el fabricante del producto con el acuerdo del cliente, pero siempre que resulten condiciones más severas que las especificadas para el valor 7. En resumen, no debe entrar agua.

En las Tabla 2-1 y Tabla 2-2 se muestran los grados de protección contra polvo y contra agua respectivamente definidos por la IEC [10].

### 2.3 Interfaz Humano-Máquina (HMI)

Una interfaz Humano Máquina es un dispositivo que logra conectar una persona con una máquina, un sistema o un dispositivo [12]. Aunque el término es aplicable a todo tipo de contextos, suele ser más usado comúnmente en el contexto industrial y de automatización [12]. Dentro de las aplicaciones más comunes de HMIs se encuentran:

- Mostrar información.
- Rastreo de tiempos de producción y otras estadísticas.
- Monitorear entradas y salidas de máquinas o dispositivos.

Los HMIs son utilizados por distintas organizaciones principalmente industriales con el fin de interactuar con máquinas y dispositivos, optimizando así sus procesos.

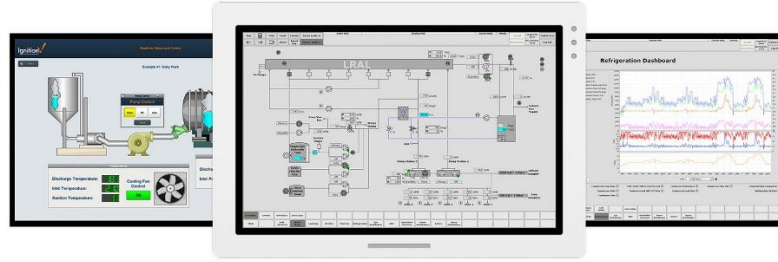


Figura 2-2: Ejemplos de HMIs. Tomado de [12].

## 2.4 Cálculo del tamaño de una muestra

Según [20], dada la poca practicidad en la realización de mediciones o pruebas a cada individuo en una población, es posible realizar el cálculo de una muestra lo suficientemente significativa que logre representar adecuadamente a la población general al menos estadísticamente. Y ya que [20] considera que una población es la totalidad de observaciones que interesan, ya sea finita o infinita, se puede realizar el cálculo de una muestra representativa tanto para poblaciones finitas como infinitas.

### 2.4.1 Cálculo del tamaño de una muestra en base a una población finita

El autor de [21] define la ecuación siguiente para el cálculo de una población finita:

$$n = \frac{Z^2 NPQ}{(N-1)E^2 + Z^2 PQ} \quad (2.1)$$

En la Ecuación (2.1), se tiene que Z es llamado el nivel de confianza y es despejado a partir de tablas encontradas en [21]; su valor es dado por el investigador. Tomando como referencia algunos de los valores de confianza que el autor de [21] menciona como más comunes, se construye la Tabla 1 con los correspondientes valores de Z.

Tabla 2-3: Valores de Z de acuerdo con valores comunes de confianza según [21]

Nivel de confianza	80	90	95
Valor de Z	1.28	1.65	1.96

Continuando con los elementos de la Ecuación 1, N es el tamaño de la población general de la cual se tomará la muestra. P es la proporción de individuos con la característica que se busca y Q es la proporción de individuos sin la característica a buscar;

no se suele conocer esta proporción por lo que se suele usar un 50%-50% [21]. Finalmente, el valor de E es el porcentaje de error permitido en la muestra; se suelen usar valores no mayores a 15% [21].

#### **2.4.2 Cálculo del tamaño de una muestra en base a una población infinita**

El autor de [21] define la ecuación siguiente para el cálculo de una población infinita:

$$n = \frac{Z^2 PQ}{E^2} \quad (2.2)$$

En la Ecuación (2.2) se tienen los mismos parámetros ya explicados en la subsección anterior.

### 3 Metodología

El presente capítulo aborda la metodología a utilizar en el desarrollo del proyecto. La misma es la metodología de diseño y desarrollo de productos desarrollada por Karl Ulrich y Steven Eppinger en su libro Diseño y Desarrollo de Productos [30]. Los autores plantean que su metodología se debe componer de 6 fases, las cuales se pueden observar en la Figura 3-1.

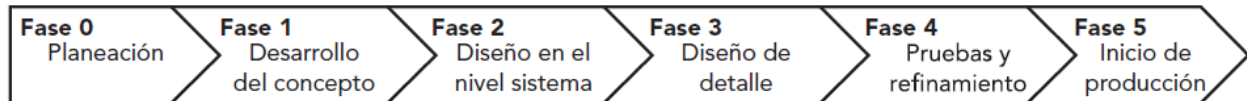


Figura 3-1. Proceso de desarrollo de productos. Obtenido de [30]

Cada una de las fases descritas en el diagrama anterior presentan una serie de pasos a seguir para desarrollar adecuadamente la metodología de diseño y desarrollo de productos. Para el propósito de este proyecto no se incluye la Fase 5: Inicio de Producción debido a limitaciones externas de tiempo.

#### 3.1 Fases de la metodología a utilizar

##### 3.1.1 Fase 0: Planeación

Es la fase previa a la aprobación del proyecto y donde se da el nacimiento de este [30]. Contextualizando en referencia al proyecto de graduación, se puede considerar como el problema a resolver. Esta fase incluye la definición de objetivos, metas y limitaciones del proyecto a desarrollar [30].

##### 3.1.2 Fase 1: Desarrollo del concepto

Incluye la identificación de necesidades, establecimiento de especificaciones, generación de conceptos, la selección de un concepto ganador, pruebas sobre el mismo, establecimiento de especificaciones finales y un plan de desarrollo del proyecto, así como se observa en la Figura 3-2.

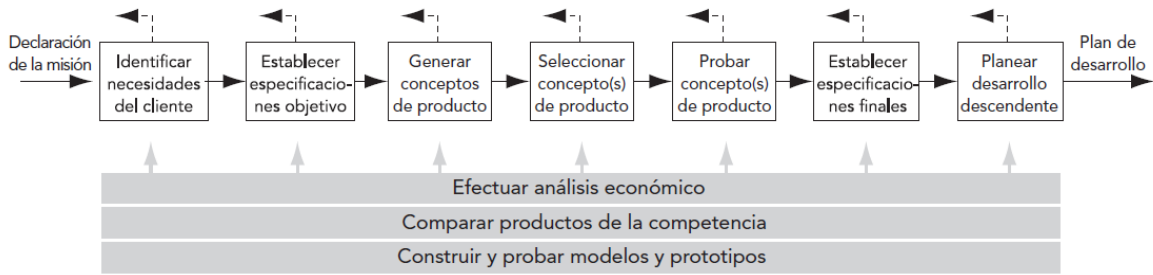


Figura 3-2. Actividades iniciales comprendidas por la Fase 1. Obtenido de [30]

Una vez obtenida una lista descriptiva de las necesidades de parte del cliente final, es posible identificar aspectos que toman importancia para la solución del problema a resolver.

Tras definir las necesidades se pueden establecer las especificaciones, las cuales delimitan y expresan las necesidades dadas por el cliente de una manera más técnica y cuantitativa [30].

A continuación, para esta fase se deben definir conceptos donde lo que se busca es explorar la mayor cantidad de soluciones posibles para el problema a solucionar. Seguidamente se buscará descartar las opciones menos viables por medio de criterios como las necesidades previamente definidas, así como otras pruebas realizadas. Una vez se ha seleccionado un concepto ganador, se debe poner a prueba con el fin de que el mismo logre cumplir con las especificaciones inicialmente definidas.

Finalmente, se establecen las especificaciones finales y se definen limitaciones identificadas durante las pruebas realizadas.

### 3.1.3 Fase 2: Diseño a nivel sistema

Durante esta fase se debe descomponer el producto a nivel de subsistemas y componentes. Se desarrolla un esquema de ensamble final para el sistema, donde se da una especificación final y funcional de cada subsistema del producto [30].

### **3.1.4 Fase 3: Diseño de detalle**

En esta fase se busca el desarrollo de la elección de equipos, la lógica de programación, el diseño de la interfaz y su conexión con el controlador. En esta etapa también se deben presentar los planos mecánicos y eléctricos de la solución planteada.

### **3.1.5 Fase 4: Pruebas de refinamiento**

Como su nombre lo sugiere, se buscan realizar pruebas con el fin de determinar el cumplimiento de las necesidades por parte de la solución final [30]. En esta fase se llevan a cabo simulaciones y pruebas de concepto necesarias.

## **3.2 Identificación de Necesidades**

### **3.2.1 Estado Actual**

Tras la reunión que se tuvo con el ingeniero a cargo de ese segmento de la planta se lograron observar ciertos aspectos como la baja iluminación en la zona donde se piensa instalar el sistema de lectura de códigos o caracteres.

Se espera poder instalar el nuevo equipo en las instalaciones ya presentes, así como que el mismo no tenga problemas de comunicación con los equipos ya existentes. El sistema de lectura será instalado justo después del sistema de impresión en las latas, por lo que se tienen al alcance conexiones de alimentación a 24V DC, puertos de red en un switch ethernet que se comunica directamente al PLC a cargo de todo el sistema.

Actualmente sólo se cuenta con un operario encargado de observar si se mezclan latas de otro tipo en la línea de producción, el cual pulsa un botón que activa un sistema de rechazo de latas. Este sistema saca las siguientes latas que pasen por la línea de producción hacia un contenedor de rechazo. El problema recae en que, por el tiempo de reacción del operario tanto en la activación como desactivación del mecanismo de rechazo, no sólo se rechaza la lata deseada, sino que son al menos 10 latas las que terminan rechazadas debido a la velocidad a la que se mueve la línea de producción. Se espera que por medio del sistema de inspección a instalar sea posible sincronizarlo de forma adecuada con el fin de reducir al mínimo el número de latas rechazadas por cada ocasión que sea necesario.

Ya que el equipo será instalado justo después del equipo que crea la impresión en las latas, la orientación de la impresión siempre será la misma. No se presentan sensores para la detección del paso de las latas, por lo que eso también queda dentro de la solución al problema y también deben trabajar a 24V DC. Este sistema de impresión se encuentra instalado sobre perfiles extrusionados de aluminio, por lo que el montaje del sistema de visión se puede adaptar de igual forma.

### **3.2.2 Identificación de Necesidades**

Primer paso de la fase 1 previamente definida. Se busca asegurar que el enfoque que se le va a dar a la solución sea el correcto. Es con este fin que se realiza una entrevista con el ingeniero a cargo y se definen las siguientes necesidades:

1. Sistema capaz de inspeccionar 400 latas por minuto, 500 sería deseable.
2. El sistema debe ser capaz de comunicarse con el PLC para activar el mecanismo de rechazo de latas.
3. El sistema debe ser capaz de verificar que la lata tiene impresa la información requerida tras ser introducida al sistema por el operario.
4. El sistema debe tener algún tipo de interfaz con el usuario para el cambio de información a verificar.
5. El sistema debe tener algún tipo de pantalla donde se muestren estadísticas e información que debe ser observada por el operario.
6. El sistema debe ser capaz de leer distintos colores de tinta de impresión.
7. El sistema debe ser capaz de leer en distintas tonalidades de materiales de lata.
8. El sistema debe estar a un mínimo de 1cm de distancia de la línea de producción.
9. El sistema debe ser al menos IP65 para industria alimentaria.
10. El sistema debe alimentarse a 24V DC.
11. El sistema debe trabajar con protocolos de comunicación industriales como Ethernet IP, Modbus o entradas y salidas digitales.

12. El sistema completo debe pesar menos de 5kg.
13. El sistema debe ser capaz de leer distintos tamaños de letra.
14. El sistema debe funcionar con distintos tamaños de lata.
15. El sistema debe poder ser instalado sobre perfiles de aluminio estándar.
16. El sistema debe poder bloquearse con contraseña con el fin de evitar cambios en configuraciones por personal no autorizado.
17. El sistema debe tener una eficiencia mayor al 90% en las lecturas realizadas.
18. El sistema completo no debe superar un presupuesto de \$50.000.

### **3.2.3 Categorización de las necesidades.**

De acuerdo con [30], una vez identificadas las necesidades, las mismas se deben organizar en distintos subgrupos que compartan características en común. Esto con el fin de identificar necesidades redundantes que puedan eliminarse o agruparse con otras muy similares, así como etiquetar las mismas.

Tras analizar las necesidades previamente estipuladas, se llegan a las siguientes cuatro categorías:

- El sistema realiza las inspecciones adecuadas bajo las condiciones y especificaciones estipuladas por el cliente.
  - Sistema capaz de inspeccionar 400 latas por minuto, 500 sería deseable.
  - El sistema debe ser capaz de verificar que la lata tiene impresa la información requerida tras ser introducida al sistema por el operario.
  - El sistema debe ser capaz de leer distintos colores de tinta de impresión.
  - El sistema debe ser capaz de leer en distintas tonalidades de materiales de lata.
  - El sistema debe ser capaz de leer distintos tamaños de letra.
  - El sistema debe funcionar con distintos tamaños de lata.
  - El sistema debe tener una eficiencia mayor al 90% en las lecturas realizadas.

- El sistema es capaz de adecuarse a los equipos existentes.
  - El sistema debe ser capaz de comunicarse con el PLC para activar el mecanismo de rechazo de latas.
  - El sistema debe alimentarse a 24V DC.
  - El sistema debe trabajar con protocolos de comunicación industriales como Ethernet IP, Modbus o entradas y salidas digitales.
  - El sistema debe poder ser instalado sobre perfiles de aluminio estándar.
  
- El sistema posee una interfaz de usuario apropiada.
  - El sistema debe tener algún tipo de interfaz con el usuario para el cambio de información a verificar.
  - El sistema debe tener algún tipo de pantalla donde se muestren estadísticas e información que debe ser observada por el operario.
  - El sistema debe poder bloquearse con contraseña con el fin de evitar cambios en configuraciones por personal no autorizado.
  
- El sistema cumple con las especificaciones físicas, de montaje y de costo estipuladas por el cliente.
  - El sistema debe estar a un mínimo de 10cm de distancia de la línea de producción.
  - El sistema debe ser al menos IP65 para industria alimentaria.
  - El sistema completo debe pesar menos de 5kg.
  - El sistema completo no debe superar un presupuesto de \$50.000.

#### **3.2.4 Jerarquización de las Necesidades**

Continuando con el procedimiento definido por el autor en [30] se debe realizar una jerarquización de las necesidades. Esto debe realizarse con el fin de que el cliente mismo les otorgue un nivel de importancia a cada una y así saber a cuáles de las necesidades se les debe prestar más atención como diseñadores de la solución final.

Es por esto por lo que una vez que se hayan definido las necesidades a partir de la reunión con el cliente, se planteara otra reunión en la que se busque que el cliente sea quien les dé la importancia a las necesidades recopiladas.

Para la jerarquización de necesidades el autor [30] propone la siguiente escala de importancia:

1. La función es indeseable. No consideraría un producto con esta función.
2. La función no es importante, pero no me importaría tenerla.
3. Sería bueno tener esa función, pero no es necesaria.
4. La función es altamente deseable, pero consideraría un producto sin ella.
5. La función es de importancia crítica. No consideraría un producto sin esta función.

A continuación, se muestra la lista de necesidades, categorizada y con su nivel de importancia según el cliente.

- El sistema realiza las inspecciones adecuadas bajo las condiciones y especificaciones estipuladas por el cliente.
  - Sistema capaz de inspeccionar 400 latas por minuto, 500 sería deseable. **(5)**
  - El sistema debe ser capaz de verificar que la lata tiene impresa la información requerida tras ser introducida al sistema por el operario. **(5)**
  - El sistema debe ser capaz de leer distintos colores de tinta de impresión. **(3)**
  - El sistema debe ser capaz de leer en distintas tonalidades de materiales de lata. **(3)**
  - El sistema debe ser capaz de leer distintos tamaños de letra. **(4)**
  - El sistema debe funcionar con distintos tamaños de lata. **(3)**
  - El sistema debe tener una eficiencia mayor al 90% en las lecturas realizadas. **(5)**
- El sistema es capaz de adecuarse a los equipos existentes.
  - El sistema debe ser capaz de comunicarse con el PLC para activar el mecanismo de rechazo de latas. **(3)**
  - El sistema debe alimentarse a 24V DC. **(3)**
  - El sistema debe trabajar con protocolos de comunicación industriales como Ethernet IP, Modbus o entradas y salidas digitales. **(3)**
  - El sistema debe poder ser instalado sobre perfiles de aluminio estándar. **(3)**

- El sistema posee una interfaz de usuario apropiada.
  - El sistema debe tener algún tipo de interfaz con el usuario para el cambio de información a verificar. **(4)**
  - El sistema debe tener algún tipo de pantalla donde se muestren estadísticas e información que debe ser observada por el operario. **(4)**
  - El sistema debe poder bloquearse con contraseña con el fin de evitar cambios en configuraciones por personal no autorizado. **(3)**
  
- El sistema cumple con las especificaciones físicas, de montaje y de costo estipuladas por el cliente.
  - El sistema debe estar a un mínimo de 10cm de distancia de la línea de producción. **(4)**
  - El sistema debe ser al menos IP65 para industria alimentaria. **(5)**
  - El sistema completo debe pesar menos de 5kg. **(3)**
  - El sistema completo no debe superar un presupuesto de \$50.000. **(3)**

Con el fin de tener una mejor visualización de las necesidades jerarquizadas, estas serán mostradas en la Tabla 3-1 a continuación:

Tabla 3-1: Necesidades y su respectivo nivel de importancia

No.	Necesidad	Importancia
1	Sistema capaz de inspeccionar 400 latas por minuto, 500 sería deseable.	5
2	El sistema debe ser capaz de comunicarse con el PLC para activar el mecanismo de rechazo de latas.	3
3	El sistema debe ser capaz de verificar que la lata tiene impresa la información requerida tras ser introducida al sistema por el operario.	5
4	El sistema debe tener algún tipo de interfaz con el usuario para el cambio de información a verificar.	4

<b>5</b>	El sistema debe tener algún tipo de pantalla donde se muestren estadísticas e información que debe ser observada por el operario.	4
<b>6</b>	El sistema debe ser capaz de leer distintos colores de tinta de impresión.	3
<b>7</b>	El sistema debe ser capaz de leer en distintas tonalidades de materiales de lata.	3
<b>8</b>	El sistema debe estar a un mínimo de 1cm de distancia de la línea de producción.	1
<b>9</b>	El sistema debe ser al menos IP65 para industria alimentaria.	5
<b>10</b>	El sistema debe alimentarse a 24V DC.	3
<b>11</b>	El sistema debe trabajar con protocolos de comunicación industriales como Ethernet IP, Modbus o entradas y salidas digitales.	3
<b>12</b>	El sistema completo debe pesar menos de 5kg.	3
<b>13</b>	El sistema debe ser capaz de leer distintos tamaños de letra.	4
<b>14</b>	El sistema debe funcionar con distintos tamaños de lata.	3
<b>15</b>	El sistema debe poder ser instalado sobre perfiles de aluminio estándar.	3
<b>16</b>	El sistema debe poder bloquearse con contraseña con el fin de evitar cambios en configuraciones por personal no autorizado.	3
<b>17</b>	El sistema debe tener una eficiencia mayor al 90% en las lecturas realizadas.	5
<b>18</b>	El sistema completo no debe superar un presupuesto de \$50.000.	3

### 3.3 Establecimiento de Especificaciones Objetivo

De acuerdo con [30], las especificaciones objetivo deben ser establecidas tras haber identificado las necesidades del cliente, pero antes de la generación de conceptos. Esto con el fin de no diseñar soluciones que sobrepasen los deseos del cliente de manera innecesaria; o en su defecto, que no lleguen a satisfacerlas en lo absoluto.

Con el fin del adecuado establecimiento de las especificaciones objetivo, el autor de [30] propone seguir los pasos a desarrollar en los siguientes segmentos.

#### 3.3.1 Elaboración de una Lista de métricas

Las métricas por definir deben reflejar de la forma más directa posible el grado de satisfacción de las necesidades del cliente [30]. Las métricas pueden interpretarse como una traducción de las necesidades de forma medible y cuantificable [30].

Tomando como referencia la Tabla 3-1 se generó la Tabla 3-2 donde se relacionan necesidades con métricas. Una vez definida esta relación, se dará una breve explicación de cada una de las métricas definidas.

Tabla 3-2: Lista de Métricas para cada necesidad propuesta por el cliente.

No. métrica	No. Necesidad	Métrica	Import.	Unidad
1	1	Grado de capacidad de inspección de 400 a 500 latas por minuto.	5	Lista
2	2	Capacidad de comunicación con el PLC para la activación del mecanismo de rechazo de latas.	3	Binario
3	3	Grado de complejidad de la verificación que el equipo es capaz de realizar.	5	Lista
4	4, 5	Grado de presencia de interfaz de usuario y sus funciones	4	Lista
5	6	Grado de capacidad del sistema para leer distintos colores de tinta de impresión.	3	Lista

6	7	Grado de capacidad del sistema para leer en distintas tonalidades de materiales de lata.	3	Lista
7	8	Distancia de montaje respecto a línea de producción	1	cm
8	9	Grado de protección IP.	5	IP
9	10	Capacidad del sistema de alimentarse a 24V DC.	3	Lista
10	11	Grado de capacidad del sistema para trabajar con protocolos de comunicación industriales como Ethernet IP, Modbus o entradas y salidas digitales.	3	Lista
11	12	Peso del sistema	3	kg
12	13	Grado de capacidad del sistema para leer distintos tamaños de letra.	4	Lista
13	14	Grado de capacidad del sistema para funcionar con distintos tamaños de lata.	3	Lista
14	15	Grado de capacidad del sistema para ser instalado sobre perfiles de aluminio	3	Lista
15	16	Grado de bloqueo del sistema con contraseña	3	Lista
16	17	Eficiencia del sistema	5	%
17	18	Presupuesto del sistema	3	USD

La métrica 1 corresponde a la necesidad 1, al grado de la capacidad de inspección del sistema a diseñar. La lista de valores posibles viene dada a continuación:

- **Grado 1:** La capacidad de inspección del sistema es de justo 400 latas/minuto.
- **Grado 2:** La capacidad de inspección del sistema es de entre 400 y 500 latas/minuto.
- **Grado 3:** La capacidad de inspección del sistema es de más de 500 latas/minuto.

En la métrica 2 se analiza la necesidad 2, si el sistema es capaz o no de comunicarse con el PLC para activar el sistema de rechazo de latas. Es una métrica binaria ya que el sistema tiene o no la capacidad de hacerlo.

La métrica 3 busca dar niveles a la complejidad de las inspecciones a realizar, dados por la necesidad 3. La lista de valores posibles viene dada a continuación:

- **Grado 1:** El sistema es capaz de inspeccionar sólo una pequeña parte de la información introducida por el operario.
- **Grado 2:** El sistema es capaz de inspeccionar la gran mayoría de la información introducida por el operario, pero no toda.
- **Grado 3:** El sistema es capaz de inspeccionar toda la información introducida por el operario.

La métrica 4 relaciona las necesidades 4 y 5 al definir niveles de la presencia de una interfaz de usuario y las funciones que puede realizar. La lista de valores posibles viene dada a continuación:

- **Grado 1:** El sistema no posee ningún sistema de interfaz con el usuario.
- **Grado 2:** El sistema posee un sistema de interfaz con el usuario, pero sólo es capaz de cumplir con una de las necesidades, ya sea la 4 o la 5.
- **Grado 3:** El sistema posee un sistema de interfaz con el usuario capaz de cumplir con las necesidades 4 y 5.

La métrica 5 da niveles de cumplimiento de la métrica 6, donde se busca la capacidad de leer distintos colores de tinta en la impresión sobre las latas. La lista de valores posibles viene dada a continuación:

- **Grado 1:** El sistema no es capaz de leer ningún color de tinta impreso en las latas.
- **Grado 2:** El sistema sólo es capaz de leer un solo color de tinta impreso en las latas.
- **Grado 3:** El sistema es capaz de leer una cantidad limitada de colores de tinta impreso en las latas.
- **Grado 4:** El sistema es capaz de leer cualquier color de tinta impreso en las latas.

La métrica 6 busca definir grados de cumplimiento de la necesidad 7, la capacidad de lectura del sistema en distintas tonalidades de las latas. La lista de valores posibles viene dada a continuación:

- **Grado 1:** El sistema no es capaz de leer en ninguna tonalidad de lata.
- **Grado 2:** El sistema sólo es capaz de leer en una tonalidad de lata.
- **Grado 3:** El sistema es capaz de leer una cantidad limitada de tonalidades de latas.

- **Grado 4:** El sistema es capaz de leer en cualquier tonalidad de lata.

La métrica 7 define la distancia a la que el sistema va a ir instalado respecto a la línea de producción. Esta distancia va dada en centímetros y la única limitación dada por el cliente fue de un mínimo de 1cm.

La métrica 8 viene a definir la necesidad 9, donde el cliente estipula que el sistema debe tener al menos un grado de protección IP65 o mayor. Esto debido al uso del sistema en un ambiente en contacto con bebidas.

La métrica 9 tiene el objetivo de dictar la capacidad del sistema para alimentarse a un sistema de 24V DC. La lista de valores posibles viene dada a continuación:

- **Grado 1:** El sistema no es capaz de alimentarse de un sistema de 24V DC.
- **Grado 2:** El sistema es capaz de alimentarse de un sistema de 24v DC por medio de un adaptador.
- **Grado 3:** El sistema es capaz de alimentarse de un sistema de 24v DC directamente.

La métrica 10 define la capacidad del sistema para comunicarse por medio de ciertos protocolos, a como lo define la necesidad 11. La lista de valores posibles viene dada a continuación:

- **Grado 1:** El sistema no es capaz de comunicarse por medio de ninguno de los protocolos mencionados.
- **Grado 2:** El sistema es capaz de comunicarse por medio de solo uno de los protocolos mencionados.
- **Grado 3:** El sistema es capaz de comunicarse por medio de varios de los protocolos mencionados, pero no todos.
- **Grado 4:** El sistema es capaz de comunicarse por medio de todos los protocolos mencionados.

La métrica 11 viene a darle un valor máximo al peso del sistema, definido por la necesidad 12. Según el cliente se desea que el equipo no supere los 5kg, pero el grado de importancia de la necesidad 12 no es tan alto por lo que puede ser mayor.

La métrica 12, basada en la necesidad 13 busca dar niveles a la capacidad del sistema para leer distintos tamaños de letra. La lista de valores posibles viene dada a continuación:

- **Grado 1:** El sistema no es capaz de leer ningún tamaño de letra.
- **Grado 2:** El sistema sólo es capaz de leer un tamaño de letra.
- **Grado 3:** El sistema es capaz de leer una limitada cantidad de tamaños de letra.
- **Grado 4:** El sistema es capaz de leer cualquier tamaño de letra.

La métrica 13 busca darle niveles de cumplimiento a la capacidad del sistema de trabajar con distintos tamaños de lata, a como lo define la necesidad 14. La lista de valores posibles viene dada a continuación:

- **Grado 1:** El sistema no es capaz de trabajar con ningún tamaño de lata.
- **Grado 2:** El sistema sólo es capaz de trabajar con un tamaño de lata.
- **Grado 3:** El sistema es capaz de trabajar con una limitada cantidad de tamaños de lata.
- **Grado 4:** El sistema es capaz de trabajar con cualquier tamaño de lata.

La métrica 14, basada en la necesidad 15 viene a definir la capacidad del sistema para ser instalado sobre perfiles de aluminio estándar. La lista de valores posibles viene dada a continuación:

- **Grado 1:** El sistema no es capaz de ser instalado sobre perfiles de aluminio estándar.
- **Grado 2:** El sistema es capaz de ser instalado sobre perfiles de aluminio estándar utilizando adaptadores fabricados por el cliente.
- **Grado 3:** El sistema es capaz de ser instalado sobre perfiles de aluminio estándar utilizando adaptadores que se pueden adquirir con el fabricante.
- **Grado 4:** El sistema es capaz de ser instalado sobre perfiles de aluminio estándar sin necesidad de adaptadores.

La métrica 15 define el grado de bloqueo del sistema por medio de contraseña, a como lo define la necesidad 16. La lista de valores posibles viene dada a continuación:

- **Grado 1:** El sistema no es capaz de ser bloqueado por medio de contraseñas.
- **Grado 2:** El sistema es capaz de ser bloqueado por medio de contraseñas, pero sólo el acceso inicial al sistema.
- **Grado 3:** El sistema es capaz de ser bloqueado por medio de contraseñas distintas tanto para iniciar el sistema como para realizar cambios de configuraciones en el mismo.

La métrica 16 basada en la necesidad 17 viene a darle un valor a la eficiencia del sistema. Este valor es dado por un porcentaje de lecturas correctas en base con el total de las muestras examinadas y el cliente mencionó que se busca una eficiencia de al menos 90% idealmente.

La métrica 17 busca definir un valor en el presupuesto que posee el cliente para el desarrollo del sistema, a como es definido en la necesidad 18. Este presupuesto viene dado en dólares y se definió un presupuesto de USD \$50.000, sin embargo, el mismo es flexible.

### **3.3.2 Análisis de la Matriz de Necesidades-Métricas**

A continuación, se genera una matriz donde se relaciona las Necesidades con sus Métricas correspondientes. Las X en la intersección entre las filas de necesidades y columnas de métricas quieren decir que hay relación entre ellas. Pueden darse casos donde una métrica corresponde a varias necesidades, mientras que hay otros donde cada una se relaciona solo a una necesidad. La Figura 3-3 muestra la matriz de necesidades-métricas adecuadamente desarrollada.

No.	Necesidades	Métricas																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
		Grado de capacidad de inspección de 400 a 500 latas por minuto.		Capacidad de comunicación con el PLC para la activación del mecanismo de rechazo de latas.	Grado de complejidad de la verificación que el equipo es capaz de realizar.	Grado de presencia de interfaz de usuario y sus funciones	Grado de capacidad del sistema para leer distintos colores de tinta de impresión.	Grado de capacidad del sistema para leer en distintas tonalidades de materiales de lata.	Distancia de montaje respecto a línea de producción	Grado de protección IP.	Capacidad del sistema de alimentarse a 24V DC.	Grado de capacidad del sistema para trabajar con protocolos de comunicación industriales como Ethernet IP, Modbus o entradas y salidas digitales.	Peso del sistema	Grado de capacidad del sistema para leer distintos tamaños de letra.	Grado de capacidad del sistema para funcionar con distintos tamaños de lata.	Grado de capacidad del sistema para ser instalado sobre perfiles de aluminio	Grado de bloqueo del sistema con contraseña	Eficiencia del sistema	Presupuesto del sistema
1	Sistema capaz de inspeccionar 400 latas por minuto, 500 sería deseable.	X																	
2	El sistema debe ser capaz de comunicarse con el PLC para activar el mecanismo de rechazo de latas.		X																
3	El sistema debe ser capaz de verificar que la lata tiene impresa la información requerida tras ser introducida al sistema por el operario.			X															
4	El sistema debe tener algún tipo de interfaz con el usuario para el cambio de información a verificar.				X														
5	El sistema debe tener algún tipo de pantalla donde se muestren estadísticas e información que debe ser observada por el operario.				X														
6	El sistema debe ser capaz de leer distintos colores de tinta de impresión.					X													
7	El sistema debe ser capaz de leer en distintas tonalidades de materiales de lata.						X												
8	El sistema debe estar a un mínimo de 10cm de distancia de la línea de producción.							X											
9	El sistema debe ser al menos IP65 para industria alimentaria.								X										
10	El sistema debe alimentarse a 24V DC.									X									
11	El sistema debe trabajar con protocolos de comunicación industriales como Ethernet IP, Modbus o entradas y salidas digitales.										X								
12	El sistema completo debe pesar menos de 5kg.											X							
13	El sistema debe ser capaz de leer distintos tamaños de letra.												X						
14	El sistema debe funcionar con distintos tamaños de lata.													X					
15	El sistema debe poder ser instalado sobre perfiles de aluminio estándar.														X				
16	El sistema debe poder bloquearse con contraseña con el fin de evitar cambios en configuraciones por personal no autorizado.																X		
17	El sistema debe tener una eficiencia mayor al 90% en las lecturas realizadas.																	X	
18	El sistema completo no debe superar un presupuesto de \$50,000.																		X

Figura 3-3: Matriz de Necesidades-Métricas

### 3.3.3 Establecimiento de Valores Objetivo Ideales y Marginalmente Aceptables

De acuerdo con el autor de [30], en este paso se debe sintetizar la información disponible con el fin de establecer valores objetivo para cada métrica. Deben definirse al menos dos valores objetivo por cada métrica a evaluar: un valor ideal y un valor marginalmente aceptable. El valor ideal, a como su nombre lo indica, es el mejor valor que se puede obtener bajo condiciones ideales y al que se debe aspirar; mientras que el valor marginalmente aceptable es el valor más extremo bajo el cual el sistema sigue siendo viable. Estos valores objetivo pueden expresarse de las siguientes cinco formas [30]:

- Al menos X
- Máximo X
- Entre X y Y
- Exactamente X
- Un conjunto de valores discretos

En la Tabla 3-3 es posible observar los valores marginales y discretos correspondientes a cada una de las métricas definidas. Estos valores fueron obtenidos de las entrevistas con el cliente, por lo que fue el mismo quien estableció los valores que representarían un ideal del producto final, así como las condiciones mínimas para que el sistema pueda considerarse aceptable para el desarrollo de la función deseada.

Tabla 3-3: Especificaciones Objetivo. Valores marginales e Ideales para cada métrica definida.

No. métrica	No. Necesidad	Métrica	Imp.	Unidad	Valor Marginal	Valor Ideal
1	1	Grado de capacidad de inspección de 400 a 500 latas por minuto.	5	Lista	Grado 1	Grado 3
2	2	Capacidad de comunicación con el PLC para la activación del mecanismo de rechazo de latas.	3	Binario	Sí	Sí
3	3	Grado de complejidad de la verificación que el equipo es capaz de realizar.	5	Lista	Grado 2	Grado 3
4	4, 5	Grado de presencia de interfaz de usuario y sus funciones.	4	Lista	Grado 2	Grado 3
5	6	Grado de capacidad del sistema para leer distintos colores de tinta de impresión.	3	Lista	Grado 2	Grado 4

6	7	Grado de capacidad del sistema para leer en distintas tonalidades de materiales de lata.	3	Lista	Grado 2	Grado 4
7	8	Distancia de montaje respecto a línea de producción.	1	cm	Exactamente 1cm	>1cm
8	9	Grado de protección IP.	5	IP	IP65	>IP65
9	10	Capacidad del sistema de alimentarse a 24V DC.	3	Lista	Grado 2	Grado 3
10	11	Grado de capacidad del sistema para trabajar con protocolos de comunicación industriales como Ethernet IP, Modbus o entradas y salidas digitales.	3	Lista	Grado 2	Grado 4
11	12	Peso del sistema.	3	kg	Exactamente 5kg	<5kg
12	13	Grado de capacidad del sistema para leer distintos tamaños de letra.	4	Lista	Grado 2	Grado 4
13	14	Grado de capacidad del sistema para funcionar con distintos tamaños de lata.	3	Lista	Grado 2	Grado 4
14	15	Grado de capacidad del sistema para ser instalado sobre perfiles de aluminio.	3	Lista	Grado 2	Grado 4
15	16	Grado de bloqueo del sistema con contraseña.	3	Lista	Grado 3	Grado 3
16	17	Eficiencia del sistema.	5	%	Exactamente 90%	>90%
17	18	Presupuesto del sistema.	3	USD	Exactamente \$50.000	<\$50.000

### 3.3.4 Reflexión de los Resultados y el Proceso

El autor [30] valora apropiado la realización de una reflexión tras una etapa tan importante y con tanto peso en el diseño final como lo es la de definición de valores objetivo. Esto con el fin de asegurarse que el producto final será coherente con los requerimientos del cliente y que el mismo será capaz de cumplirlos a cabalidad sin ningún problema.

En las entrevistas realizadas con el ingeniero encargado del proyecto se pudo observar que el mismo se mostraba seguro con las respuestas dadas, por lo que se considera que sus respuestas fueron apropiadas y conformes con su posición.

De igual manera, se considera que las métricas y valores objetivo que se definieron con ayuda del ingeniero son realistas y conformes con los estándares de sistemas similares presentes en la industria; además de que ayudarán a satisfacer adecuadamente las necesidades inicialmente planteadas.

## **4 Propuesta de solución**

### **4.1 Generación de Conceptos**

Según [30] un concepto de un producto se considera como una descripción aproximada de la tecnología, sus principios de trabajo y la forma del producto. Un concepto busca describir de forma concisa el acercamiento que la solución va a tomar con el fin de satisfacer las necesidades del cliente.

Es por ello por lo que esta etapa debe considerarse de suma importancia, ya que es en este punto donde finalmente se comienzan a analizar distintas soluciones para satisfacer cada una de las necesidades planteadas, siempre con las limitaciones planteadas por las especificaciones previamente definidas. Mientras mayor cantidad y variedad de ideas se consideren de forma inicial, es más probable que se considere la solución ideal.

El autor establece un procedimiento de cinco pasos para la generación de conceptos, los cuales serán desarrollados a continuación.

#### **4.1.1 Aclarar el problema**

Este primer paso consiste en el desarrollo de un entendimiento general y comprensivo del problema a solucionar [30]. Para ello, se considera necesario la descomposición del problema en subproblemas por medio del método de caja negra.

Como se ha mencionado previamente, el problema que se busca solucionar es la adecuada lectura de códigos o caracteres impresos en la parte inferior de latas de refresco que se mueven a alta velocidad en una línea de producción de una empresa de refrescos; y que, tras la lectura de estos códigos o caracteres, se realice la correcta clasificación de estas latas.

El problema por resolver presenta varios retos para su adecuada solución. El primero de ellos se puede considerar que el sistema debe ser capaz de leer y procesar las imágenes capturadas a muy alta velocidad. Tomando como referencia la especificación 1 (el sistema debe inspeccionar 400 latas por minuto, 500 sería lo deseable), se tiene que el sistema tiene entre 120ms y 150ms por lata para realizar la lectura, procesar la información obtenida de la lectura y comunicar al PLC el rechazo de una lata en caso de que la misma se encuentre

en una línea de producción incorrecta o la información que tiene impresa no coincida con la información que se busca verificar.

El segundo reto, que está directamente relacionado con el primero, viene dado por encontrar un sistema de iluminación que permita que la imagen capturada sea la óptima. Esto presenta un reto debido a la reflectividad del aluminio, material del que está hecho las latas, así como la concavidad de la superficie inferior de estas. Este sistema de iluminación debe garantizar que no se produzcan brillos que afecten o confundan la lectura, así como proveer la iluminación adecuada para que el código o caracteres se aprecie de la mejor manera posible.

Cabe la aclaración que el código que se busca leer es del formato alfanumérico, es decir, siempre se trata de una secuencia de letras y números. Inicialmente se consideró la posibilidad de la lectura de otros códigos en una o dos dimensiones, pero la misma fue descartada por el personal de la empresa cliente.

Con el fin de entender mejor el proceso a seguir por el sistema, se desarrolló el diagrama de flujo que se puede observar en la Figura 4-1.

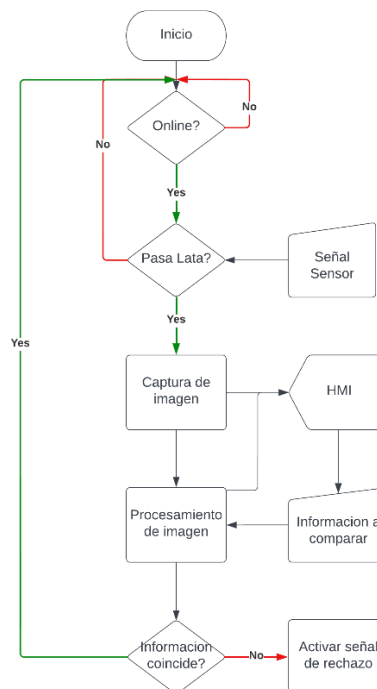


Figura 4-1:Diagrama de flujo del problema.

Una vez se ha aclarado el problema a solucionar se procede a dividir el sistema general en subsistemas donde se facilita la interpretación de la función de cada uno de estos componentes del sistema general. Primeramente, se presenta el sistema como una caja negra con entradas y salidas generales. Esta versión se puede observar en la Figura 4-2 a continuación.

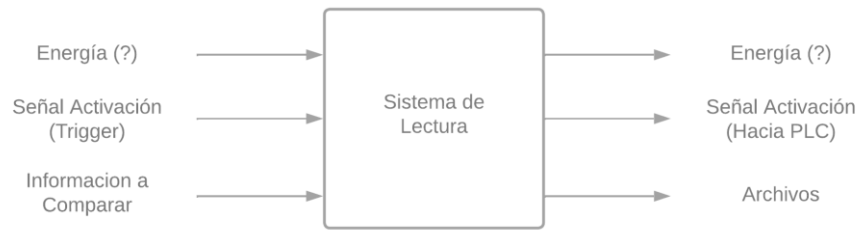


Figura 4-2: Descomposición Funcional del Sistema. Versión caja negra.

Una vez se definieron las entradas y salidas del sistema se procede a dividir las funciones internas del sistema como subsistemas. A su vez a cada subsistema se le pueden asignar factores que los componen. En la Figura 4-3 es posible apreciar la descomposición funcional del sistema completo.

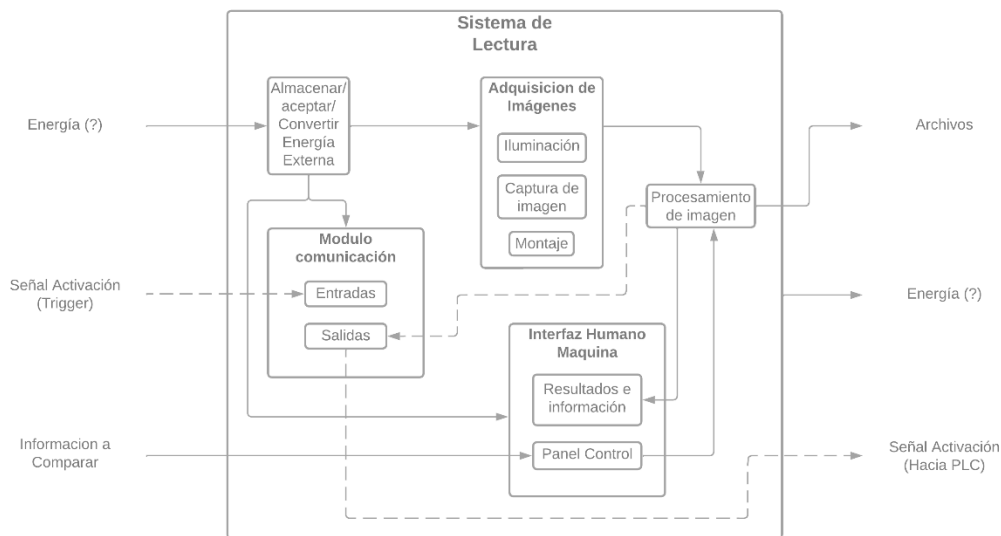


Figura 4-3: Descomposición Funcional del Sistema. Versión completa

A partir de la descomposición funcional del sistema que se puede observar en la Figura 4-3 se pueden enumerar los siguientes subsistemas, que a su vez poseen subsegmentos

dentro de sí mismos, con el fin de identificarlos en secciones futuras. A pesar de ser una entrada al sistema, se agregó un subsistema del sensor que envía la señal de activación debido a que debe ser considerado en el desarrollo de los conceptos.

- Manejo de la energía.
- Adquisición de imágenes.
  - Iluminación
  - Captura de la imagen
  - Montaje del sistema de adquisición
- Módulo de comunicación
  - Protocolo de comunicación
  - Módulo de entradas y salidas
- Interfaz Humano-Máquina
  - Introducción de información
  - Muestra de información
- Procesamiento de imágenes
- Sensor detector de objetos

#### **4.1.2 Búsqueda externa**

La búsqueda externa busca hallar soluciones existentes que solucionen el problema general y los subproblemas identificados durante el desarrollo de la solución [30]. Este paso debe realizarse en paralelo con el paso siguiente de búsqueda interna. Tras una extensiva búsqueda externa, se pueden mencionar los siguientes conceptos:

- Manejo de la energía. Fuentes de alimentación industriales [31], baterías industriales [32].

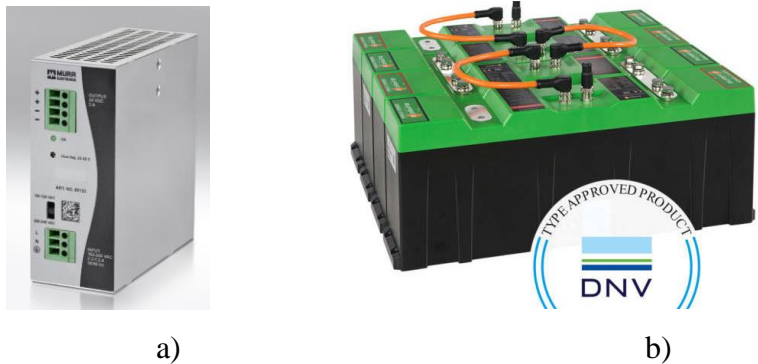


Figura 4-4: Fuentes de alimentación encontradas en búsqueda externa de conceptos.  
 a) Fuente DC industrial de Murr y b) sistema de baterías de litio industriales de Super-B. Obtenida de [31] y [32] respectivamente.

- Adquisición de imágenes.
  - Iluminación. Iluminación de fondo [33], Iluminación de campo oscuro [33], iluminación coaxial [33], iluminación de Anillo [33], iluminación de domo [33].

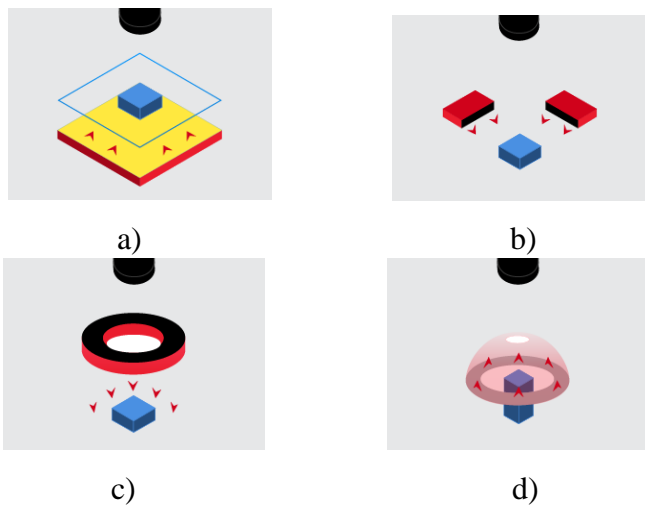


Figura 4-5: Conceptos de iluminación. a) de fondo, b) de campo oscuro, c) de anillo y d) de domo. Obtenidos de [33].

- Captura de la imagen. Cámaras industriales “tontas” [34], cámaras de escaneo lineal [35], cámaras de color o monocromáticas.



Figura 4-6: Conceptos de dispositivos de captura de imágenes. a) cámara "tonta" y b) cámara de escaneo lineal. Obtenido de [34] y [35] respectivamente.

- Montaje del sistema de adquisición. Propios del fabricante de cada cámara.

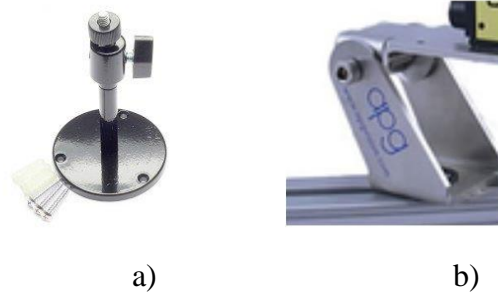


Figura 4-7: Conceptos de montajes de sistemas propios de fabricantes. a) de Basler y b) de Cognex. Obtenido de [36] y [37] respectivamente.

- Módulo de comunicación
  - Protocolo de comunicación. Por medio de comandos nativos [38], comunicación FTP [39].
  - Módulo de entradas y salidas. Tarjeta de I/Os externa [40], controladores de visión dedicados [41].

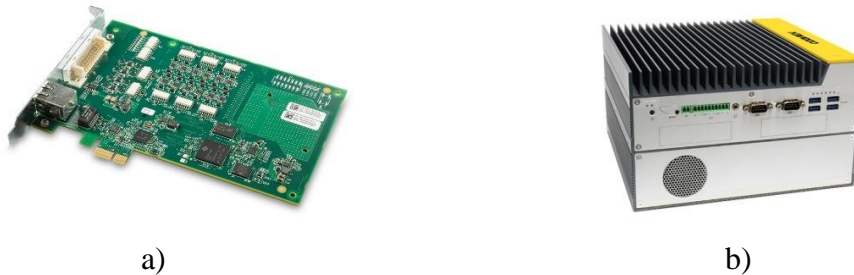


Figura 4-8: Conceptos de módulos de comunicación. a) módulo de entradas y salidas y b) controlador dedicado de visión. Obtenido de [40] y [41] respectivamente.

- Interfaz Humano-Máquina
  - Introducción de información. Sistemas SCADA [42], servidores remotos [43].
  - Muestra de información Sistemas SCADA [42], servidores remotos [43].



a)



b)

Figura 4-9: Conceptos de mecanismos de introducción y muestra de información. a) Sistemas SCADA y b) servidores remotos, ambos de Advantech. Tomado de [42] y [43] respectivamente.

- Procesamiento de imágenes. Procesamiento externo en servidor [43].
- Sensor detector de objetos. Sensores fotoeléctricos auto reflectivos [44] y sensores por fibra óptica [45].



a)



b)

Figura 4-10: Conceptos de sensores de detección de objetos. a) sensor fotoeléctrico auto reflectivo y b) sensor por fibra óptica, ambos de Sick. Obtenidos de [44] y [45] respectivamente.

### 4.1.3 Búsqueda interna

De acuerdo con [30], la búsqueda interna es el uso del conocimiento personal y del equipo para generar conceptos de solución. En términos simples, este paso puede considerarse como una lluvia de ideas. Para el desarrollo de la búsqueda interna se realizó una reunión con miembros de Kopar donde se les puso al tanto del proyecto y se buscó que aportaran todas las ideas que se les viniera a la mente en un minuto en base a cada segmento explorado.

- Manejo de la energía. Energía eléctrica 120V AC, energía solar, energía geotérmica, energía eólica, energía nuclear, energía hidroeléctrica, combustión interna.
- Adquisición de imágenes.

- Iluminación. Lámparas spot, iluminación de túnel, barras de iluminación, luces de colores distintos.
- Captura de la imagen. Sensores de visión, cámaras de visión industriales, lectores láser, cámara de teléfono, cámara profesional, cámara GoPro.
- Montaje del sistema de adquisición. Trípodes, sobre una superficie, en la mano, brazo mecánico, con un robot, soporte fabricado por el cliente.
- Módulo de comunicación.
  - Protocolo de comunicación. Ethernet IP, Modbus, I/O digitales
  - Módulo de entradas y salidas. Digitales, por medio de un PLC.
- Interfaz Humano-Máquina
  - Introducción de información. Pantalla táctil, conexión de teclado externo, comandos voz.
  - Muestra de información. Pantalla táctil, monitor externo, por audio, por códigos de color, generación de documento con datos.
- Procesamiento de imágenes. Embebido, procesamiento externo local.
- Sensor detector de objetos. De haz de luz, capacitivo, inductivo.

#### **4.1.4 Exploración sistemática**

Una vez realizados los pasos anteriores, se debe llegar a este segmento con decenas de conceptos al tener ideas de solución para cada uno de los subproblemas propuestos. Este paso busca encargarse de navegar por todas estas soluciones con el fin de organizar, descartar y sintetizar estos fragmentos de solución que se tienen hasta ahora [30].

##### **4.1.4.1 Árboles de Clasificación de Conceptos.**

Previo a cualquier análisis de los conceptos de solución, se construyen los árboles de clasificación de conceptos. Para esto se utilizan los mismos subsistemas usados en la etapa de búsqueda interna y externa. En esta etapa se realizará un primer filtrado de los conceptos basado en las necesidades definidas previamente, así como por otros criterios explicados en cada subsistema.

- Manejo de la energía.

Se toma como principal limitación la necesidad 10, donde establece que el sistema debe alimentarse a la fuente de alimentación de 24V DC presente en la planta, además de ser el estándar en sistemas industriales. Debido a esto sólo se considerarán las opciones que puedan ser conectadas a una fuente de 24V DC. Los principales conceptos analizados para este subproblema se muestran en la Figura 4-11.

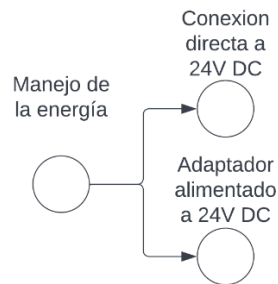


Figura 4-11: Árbol de conceptos para el manejo de la energía.

- Adquisición de imágenes.

- Iluminación

Debido a la naturaleza cóncava de la superficie sobre donde se encuentra la impresión a leer, se descartan las iluminaciones de barra, fondo, coaxial y de campo oscuro. Esto gracias a la experiencia del diseñador y su criterio de experto. Los principales conceptos analizados para este subproblema se muestran en la Figura 4-12.

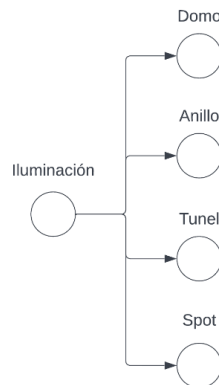


Figura 4-12: Árbol de conceptos para los tipos de iluminación.

- Captura de la imagen

Quedan descartados los sensores de visión debido a su poca capacidad de procesamiento de imágenes, las cámaras de teléfono, profesional y GoPro debido a la falta de protocolos de comunicación industriales y los lectores láser debido a su falta de capacidad de lectura de caracteres alfanuméricos. Los principales conceptos analizados para este subproblema se muestran en la Figura 4-13.

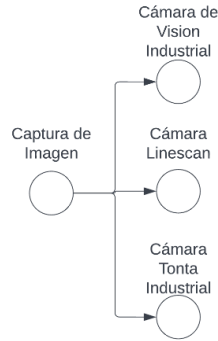


Figura 4-13: Árbol de conceptos para la captura de la imagen.

- Montaje del sistema de adquisición

Tomando como referencia la necesidad 15, donde se establece que el sistema debe poder ser montado sobre perfiles de aluminio estándar, se descartan los conceptos de Trípodes, sobre la superficie, en la mano y con robot. Los principales conceptos analizados para este subproblema se muestran en la Figura 4-14.

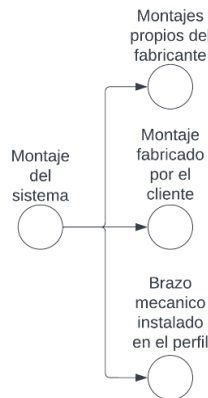


Figura 4-14: Árbol de conceptos para el montaje del sistema.

- Módulo de comunicación
  - Protocolo de comunicación

De las opciones propuestas en la recopilación de conceptos se descarta el de comando nativos debido a que es una comunicación unidireccional del PLC a la cámara y no bidireccional. Los principales conceptos analizados para este subproblema se muestran en la Figura 4-15.

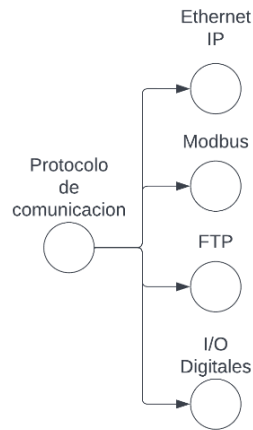


Figura 4-15: Árbol de conceptos para los protocolos de comunicación.

- Módulo de entradas y salidas

Dada la alta velocidad a la que el sistema debe trabajar y responder, se debe descartar la opción de hacerlo por medio del PLC debido a su mayor tiempo de respuesta. Los principales conceptos analizados para este subproblema se muestran en la Figura 4-16.

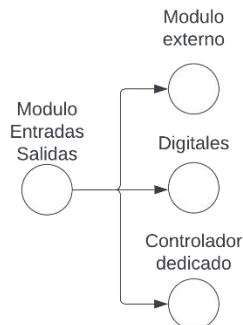


Figura 4-16: Árbol de conceptos para los módulos de entradas y salidas.

- Interfaz Humano-Máquina

- Introducción de información

Debido a que el sistema de introducción de información a comparar debe estar cerca del operario y el equipo, se descartan las opciones remotas como el SCADA o los servidores remotos. También se descartan comandos de voz debido al ambiente industrial donde se piensa instalar el sistema. Los principales conceptos analizados para este subproblema se muestran en la Figura 4-17.

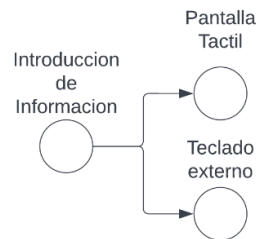


Figura 4-17: Árbol de conceptos para la introducción de información.

- Muestra de información

De forma similar al punto anterior, se descartan las opciones remotas, ya que según la necesidad 5 es necesario que el operario pueda observar la información mostrada cerca del área donde está instalado el sistema. De igual forma se descartan las opciones debido al ambiente industrial y la dificultad para escuchar la información. Se descarta la generación de un documento resumen debido a que se desea observa estadísticas en tiempo real. Los principales conceptos analizados para este subproblema se muestran en la Figura 4-18.

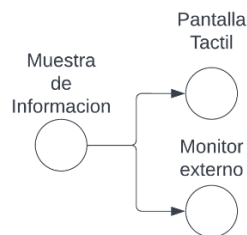


Figura 4-18: Árbol de conceptos para la muestra de información.

- **Procesamiento de imágenes**

Se descarta la opción de procesamiento externo en servidor debido a que este procesamiento toma tiempo en llegar al servidor y volver. Los principales conceptos analizados para este subproblema se muestran en la Figura 4-19.

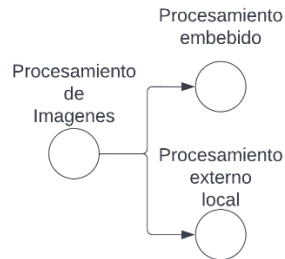


Figura 4-19: Árbol de conceptos para el procesamiento de imágenes.

- **Sensor detector de objetos**

Se descartan los sensores inductivos debido a que el objeto a detectar, en este caso latas, no es ferroso. Los principales conceptos analizados para este subproblema se muestran en la Figura 4-20.

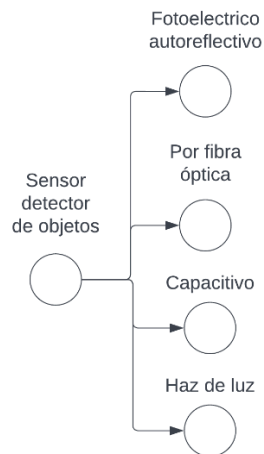


Figura 4-20: Árbol de conceptos para el sensor detector de objetos.

#### **4.1.5 Reflexión sobre las soluciones y el proceso**

En los pasos anteriores se buscó seguir la metodología propuesta por [30] siendo lo más fiel posible. Para ello se analizaron todo tipo de conceptos encontrados, desde los que en su momento se consideraron absurdos o más complicados de lo necesario. Todo este proceso constructivo es necesario para llegar a una solución que no se encuentre sesgada por ningún miembro o concepto favorito.

Para el primer paso se descompuso el sistema en subsistemas lo más completos posibles. Se trató de que cada uno pueda tener soluciones distintas que no comprometan un siguiente subproblema y que se pueda combinar con variadas soluciones.

En el segundo paso de búsqueda externa se analizaron principalmente soluciones existentes en el mercado de manera general y sin buscar marcas en específico aún.

El tercer paso consistió en una lluvia de ideas con compañeros de la empresa donde se consideraron todas las ideas propuestas en un minuto de discusión. Esta etapa puede que haya sido la que presentó conceptos más absurdos, pero es importante considerar todo tipo de soluciones y pensar fuera de lo común para encontrar así la mejor solución posible al problema planteado.

En el cuarto paso se busca realizar una organización y filtración de conceptos en base con diversos criterios. Se realizaron los árboles de clasificación de conceptos mientras que se filtraron los conceptos en base con las necesidades definidas previamente.

## 4.2 Filtrado de conceptos

Una vez se tienen definidos los árboles de conceptos, donde se resumen los mismos de forma gráfica, se debe realizar un filtrado de estos [30]. Previamente se realizó un filtrado basado en las necesidades del problema, pero ahora se realizará un nuevo filtrado en base con la disponibilidad del equipo presente en Kopar. Esto quiere decir principalmente equipo presente en el laboratorio, así como otros equipos distribuidos por la empresa. De esta forma se nos permite escoger el equipo a utilizar en la solución final no sólo por las especificaciones técnicas que se puedan encontrar en un documento, sino también por las pruebas físicas que se pueden realizar.

Se realizará una filtración de cada uno de los subsistemas definidos previamente ya sea por pruebas físicas o por matrices de selección de conceptos. En esta matriz se definen criterios de selección para evaluar así cada concepto con el código + “mejor que”, 0 “igual a” y – “peor que”; donde después se suman estos códigos y se jerarquizan los conceptos.

### 4.2.1 Manejo de la energía.

Para este subproblema se generará una matriz de selección de conceptos para definir un concepto ganador, la cual se puede observar en la Tabla 4-1. En esta selección se utilizaron cinco criterios, los cuales fueron si agregan más peso al sistema (en relación con la necesidad 12), la compatibilidad con el sistema actual, el costo adicional que representaría y la complejidad que añadiría al sistema al agregar otro componente más. Una conexión directa sin adaptadores representa no agregar otro dispositivo que haría el sistema más pesado y complejo, además del costo adicional que representaría.

Tabla 4-1: Matriz de Selección de conceptos del subsistema Manejo de la Energía.

Criterio de selección	Conexión directa a 24V	Adaptador alimentado a 24V
Menor peso al sistema	+	-
Compatibilidad directa con el sistema actual	0	0
Costo adicional	+	-
Complejidad añadida	0	-
Evaluación Neta	2	-3
Prioridad	1	2

## 4.2.2 Iluminación

En el subproblema de la iluminación fue posible realizar pruebas prácticas debido a que se tiene el equipo disponible en el laboratorio. Para ello se colocaron latas de prueba en una posición donde su cara inferior quedara hacia arriba y con un soporte especial se colocaron distintas iluminaciones con el fin de encontrar la que mejor lograra iluminar esta superficie deseada. En las pruebas realizadas se aprecian tanto el montaje como la mejor imagen obtenida por cada elemento de iluminación.

Para estas pruebas se utilizó una cámara “tonta” marca Basler modelo acA1600-60gm [46]. Por medio del criterio de experto se conoce que la mayoría de los lentes comerciales poseen distancias de trabajo de un mínimo de 200mm. Usando la información como el modelo de cámara a utilizar, una distancia de trabajo de 200mm y un FOV de 65x65mm (se está trabajando con latas de 62.5mm de diámetro, se quiere dejar un margen mínimo libre), utilizando el Asesor de Lentes de Cognex [48], se concluye que se necesita utilizar un lente de 16mm. Considerando los lentes disponibles en el laboratorio, se utilizará un lente de 16mm marca Moritex modelo ML-M1616UR [47].



a)



b)

Figura 4-21: a) Lente y b) cámara utilizada en las pruebas. A) tomado de [47] y b) de [46]

Para el control de la cámara y la captura de las imágenes se utilizó el software OECS de OptoEngineering, el cual se puede apreciar una captura de este en la Figura 4-22.

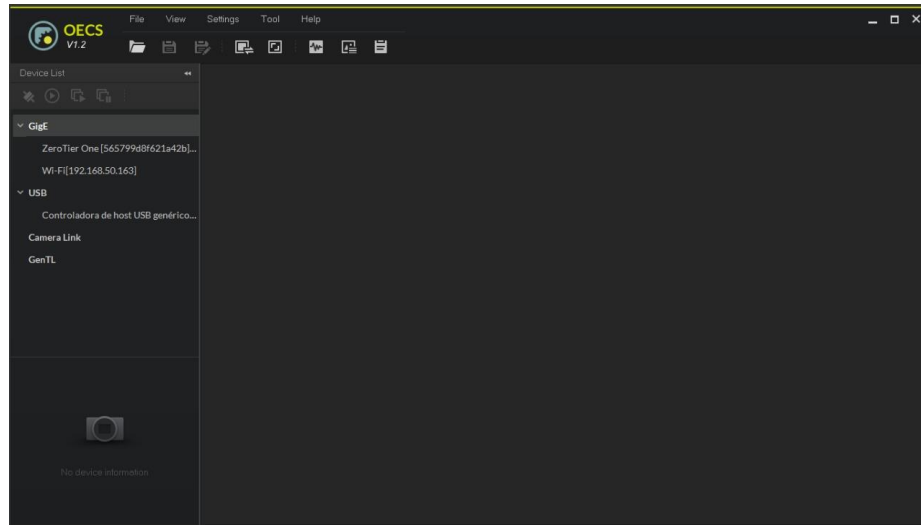


Figura 4-22: Software OECS (Opto Engineering Camera Studio)

Cabe aclarar que para las iluminaciones que llegaron a presentar brillos se utilizó un filtro polarizador con el fin de intentar atenuarlos. En la Figura 4-23 se aprecia el filtro polarizador utilizado en las pruebas de iluminación.



Figura 4-23: Filtro polarizador utilizado en las pruebas de iluminación

Finalmente se aclara que cada uno de los equipos de iluminación serán montados en la posición que se considere ideal por el investigador tras diversas pruebas. Esta posición no va a estar a menos de 1m de distancia de la lata, con el fin de respetar la necesidad 8 (montaje a más de 1cm de la línea de producción). Una vez definido el equipo general a utilizar en las pruebas de iluminación, procedemos a realizar pruebas con cada concepto de iluminación disponible.

#### 4.2.2.1 Iluminación spot

El modelo de luz spot utilizada en esta prueba fue el modelo S75 Brick Light de Smart Vision Lights [49] que se aprecia en la Figura 4-24.



Figura 4-24: Luz de spot de Smart Vision Lights. Obtenido de [49].

En la Figura 4-25 se aprecia el montaje y los resultados de las pruebas de iluminación con el spot [49]. Como se observa en las imágenes, esta iluminación produce brillos, no resalta adecuadamente los caracteres, funciona bien a la distancia de trabajo deseada, tiene facilidad de montaje y no ilumina de uniformemente.



a)

b)

c)

Figura 4-25: Pruebas de iluminación con luz spot. a) Montaje, b) Mejor imagen capturada sin polarizador y c) mejor imagen capturada con polarizador.

#### 4.2.2.2 Iluminación de Anillo

El modelo de anillo utilizado en esta prueba fue el LT3RZF130-60-1-W-24V-M12 de Opto Engineering [50], el cual se aprecia en la Figura 4-26.



Figura 4-26: Luz de anillo de Opto Engineering.

En la Figura 4-27 se aprecia el montaje y los resultados de las pruebas de iluminación con el spot [50]. Al observar las imágenes se puede resaltar que el anillo genera brillos, pero no en la zona de lectura, no logra resaltar adecuadamente los caracteres a leer, tiene facilidad de montaje, y su iluminación es uniforme en la lata.

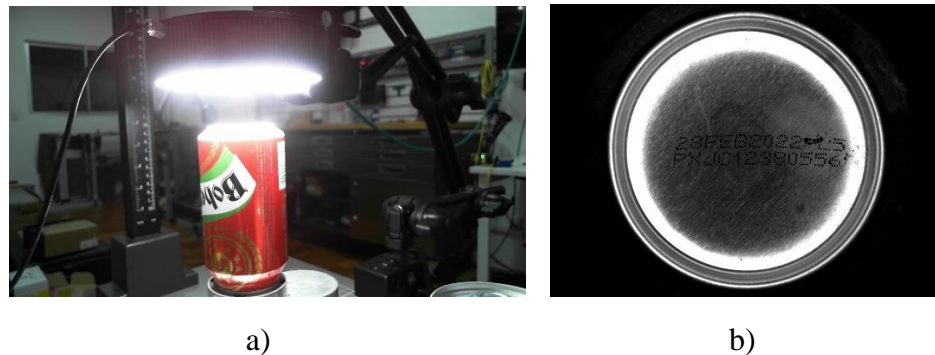


Figura 4-27: Pruebas de iluminación con luz anillo. a) Montaje, b) Mejor imagen capturada.

#### 4.2.2.3 Domo

El modelo de domo utilizado en esta prueba fue el HPD2-150SW de CCS [51]. Este se puede apreciar en la Figura 4-28.



Figura 4-28: Luz Domo de CCS [51].

En la Figura 4-29 se observa el montaje y el resultado de la mejor foto tomada con la iluminación de domo [51]. En la imagen se observa como no se generan brillos, los caracteres a leer se observan claramente, el sistema de domo tiene facilidad de montaje y la iluminación es perfectamente uniforme.

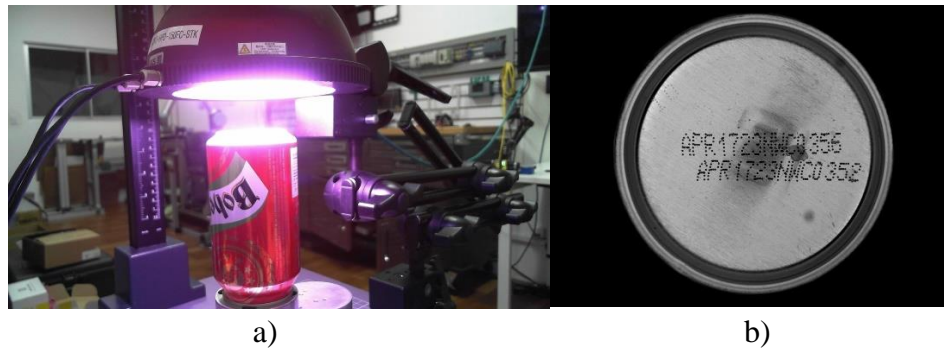


Figura 4-29: Pruebas de iluminación con luz domo blanca. a) Montaje, b) Mejor imagen capturada.

El sistema de iluminación domo presenta una particularidad respecto a los demás sistemas de iluminación probados en este segmento. El domo tiene capacidades de iluminación RGB (de hecho, cabe aclarar que por ello la luz blanca tiene una tonalidad rosada, está mal calibrada pero solo se observa en fotos a color como la Figura 4-29 a)). Debido a esto se realizaron pruebas con las tonalidades principales de luz que posee el domo: Rojo, verde y azul con el fin de analizar si se presentan mejores resultados que los obtenidos con la luz blanca.

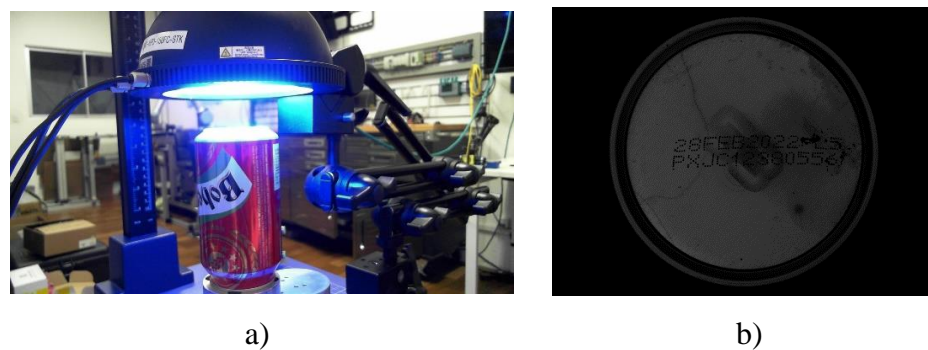


Figura 4-30: Pruebas de iluminación con luz domo azul. a) Montaje, b) Mejor imagen capturada.

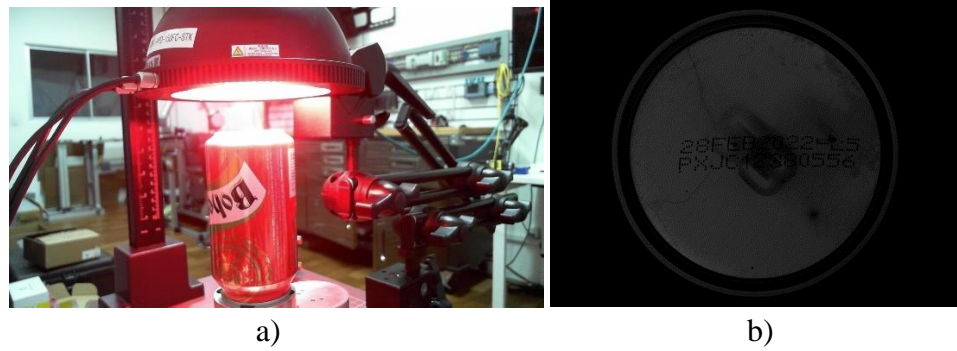


Figura 4-31: Pruebas de iluminación con luz domo roja. a) Montaje, b) Mejor imagen capturada.

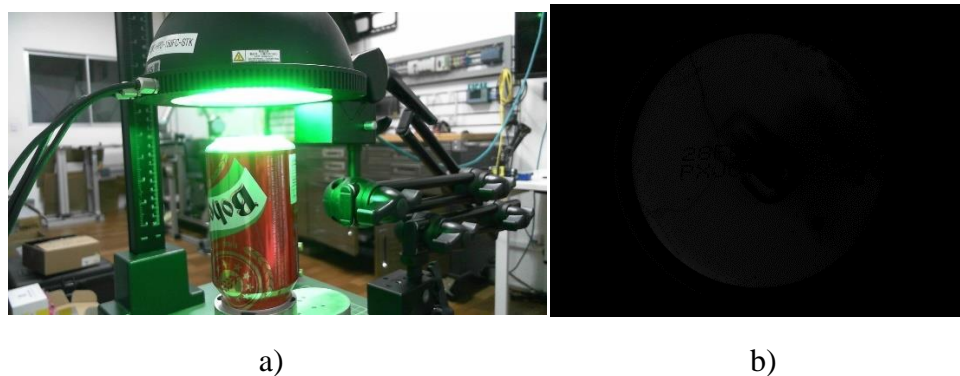


Figura 4-32: Pruebas de iluminación con luz domo verde. a) Montaje, b) Mejor imagen capturada.

Las figuras Figura 4-30, Figura 4-31 y Figura 4-32 muestran el montaje en su foto a) y la mejor imagen capturada en b). La razón del por qué se observan más oscuras con respecto a la imagen con luz blanca es debido a que tanto la apertura del iris del lente, como el tiempo de exposición se mantuvo igual en todas las pruebas. El iris se debe mantener lo más cerrado posible con el fin de tener mayor profundidad de campo [8] y así poder absorber diferencias en la altura de la superficie a leer, ósea en caso de tener latas ligeramente más arriba o abajo de una referencia. Y el tiempo de exposición se debe mantener lo más bajo posible debido a la alta velocidad a la que se mueven las latas a inspeccionar, con el fin de tener imágenes lo más claras posibles [8]. Sería posible mejorar las capturas utilizando luces de otros colores distintos del blanco abriendo más el iris o aumentando el tiempo de exposición, pero se perdería profundidad de campo o nitidez en las imágenes respectivamente. Es por ello

que la luz blanca sigue siendo la más apropiada, ya que permite tener el iris más cerrado y el tiempo de exposición menor, obteniendo una foto clara y nítida.

Tabla 4- 2: Matriz de Selección de conceptos del subsistema Iluminación.

Criterio de selección	Domo	Anillo	Túnel	Spot
No genera brillos	+	-	+	-
Resalta caracteres	+	-	+	0
Distancia de trabajo	+	+	-	+
Montaje	0	0	0	0
Iluminación uniforme	+	+	-	-
<b>Evaluación Neta</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-1</b>
<b>Prioridad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>

### 4.2.3 Captura de la imagen

Para el subproblema de la captura de imagen se realizará el análisis de las hojas de datos de diversos sistemas de visión con el fin de realizar un primer filtrado de modelos adecuados para poder realizar una matriz de selección de conceptos. La primera limitación por implementar es la utilización de cámaras industriales de la marca Cognex debido a que es la marca que distribuye Kopar y es de la marca que se poseen equipos de prueba en el laboratorio. A pesar de esto, Cognex cuenta con diversas familias distintas de sistemas de visión industriales con distintos enfoques y funciones. Se analizarán estas familias de cámara que puedan dar una solución al problema planteado.

Según las hojas de datos recopiladas y presentes en el Apéndice A, tablas del A-1 al A-5, se tomarán los modelos de mayor desempeño de cada familia para analizar el máximo desempeño de cada una de estas. Con el fin de tener un balance entre la resolución de la imagen por obtener y el tiempo de procesamiento de esta, se define una resolución de 2MP como la deseada. En las pruebas de iluminación de la sección 4.2.2.3 se puede observar que la imagen obtenida con una cámara de 2MP es lo suficientemente clara. En caso de no serlo, el presente es un proceso iterativo [30] y esta limitación se corregirá en la iteración siguiente. Es por ello por lo que la cámara de escaneo lineal queda descartada al capturar imágenes a resolución de 4K, lo que haría el análisis de la imagen capturada muy lento para la función deseada.

Otra limitación que se agregará es que solo se trabajará con cámaras monocromáticas. Esto debido a que las cámaras de color disminuyen la velocidad de procesamiento de las imágenes. Dicha disminución en el procesamiento se puede observar en las hojas de datos al observar las tasas de refresco de cámaras del mismo modelo monocromáticas vs a color. De igual forma que la limitación de la resolución, en caso de ser necesario el análisis de color, se verá en la siguiente iteración.

Tras el análisis de las hojas de datos de cada familia de cámara de Cognex que posee capacidades de lectura de caracteres alfanuméricos, se llegaron a cuatro modelos:

- ISD902M de la familia ISD900
- IS7902P de la familia IS7000
- IS8502P de la familia IS8000
- CAM-CIC-2000-60 de la familia de cámaras “tontas”, llamada CAM-CIC a partir de ahora por simplicidad.

Analizando las especificaciones de cada uno de los modelos mencionados en la lista previa, se compararán basadas en los criterios de selección definidos en la Tabla 4-3. El criterio de la resolución no tiene peso como criterio debido a las limitaciones previamente definidas. En cuanto a la tasa de refresco, la CAM-CIC posee la mayor tasa de refresco, con 60fps contra 55 y 53fps de los demás modelos. Respecto a la compatibilidad directa con el sistema, solo la CAM-CIC requiere de un controlador externo para comunicarse con el sistema. En cuanto al montaje, todas las cámaras poseen sistemas de montaje propios del fabricante. Como penúltimo criterio de selección, la ISD902M arrasa con las demás cámaras al tener casi seis veces la memoria de procesamiento presente en las IS7902M y la 8502P; la CAM-CIC no aplica al depender su velocidad de procesamiento de una unidad externa. El último criterio de selección es la presencia o no de sistemas de Deep Learning o aprendizaje profundo, el cual es un tipo de aprendizaje por medio de inteligencia artificial que busca mejorar el desempeño de las tareas a realizar, característica que sólo la ISD902M posee por sí sola y el CAM-CIC puede tener según el controlador que use.

Tabla 4-3: Matriz de Selección de conceptos del subsistema Captura de Imagen.

Criterio de selección	ISD902M	IS7902P	IS8502P	CAM-CIC-2000-60
Resolución	0	0	0	0
Tasa Refresco	-	-	-	+
Compatibilidad directa con el sistema	+	+	+	-
Montaje	0	0	0	0
Velocidad procesamiento	+	-	-	0*
Deep Learning	+	-	-	1*
Evaluación Neta	2	-2	-2	-1
Prioridad	1	3	3	2

#### 4.2.4 Montaje del sistema de adquisición

Para el subproblema del montaje del sistema de adquisición de imágenes, se realiza un análisis por medio de una matriz de selección de conceptos el cual se puede observar en la Tabla 4-4.

Tomando como referencia la necesidad 15 (donde se busca que el sistema sea instalado en perfiles de aluminio estándar) como única restricción. Se compararán un montaje diseñado y fabricado por el cliente en contra de un montaje brindado por el fabricante de las partes compradas en la Tabla 4-4. Como primer criterio, se tiene que el soporte del fabricante se encuentra desarrollado y perfeccionado, mientras que el cliente tendría que invertir en el desarrollo de uno nuevo. El criterio de estética es relativo, pero el soporte del fabricante ya está hecho y no se puede cambiar su apariencia o que combine con el otro equipo en el sistema, mientras que un montaje diseñado a la medida puede combinar de mejor manera. El criterio de estabilidad se considera que el del fabricante ha sido diseñado y probado para ello, mientras que el del cliente todavía debe ser probado para garantizar su estabilidad. Nuevamente la compatibilidad es subjetiva, debido a que un soporte fabricado a la medida se asegura que será compatible, mientras que el del fabricante puede que haya que adaptarlo de algún modo. El último criterio es la disponibilidad, el del fabricante está fabricado y solo debe ser ordenado para enviarse, mientras que el del cliente necesita tiempo de desarrollo y fabricación.

Tabla 4-4: Matriz de Selección de conceptos del subsistema Montaje del sistema.

Criterio de selección	Fabricante	Cliente
Requiere desarrollo	-	+
Estética	+	-
Estabilidad	+	-
Compatibilidad	+	-
Disponibilidad	-	+
<b>Evaluación Neta</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>
<b>Prioridad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

#### 4.2.5 Protocolo de comunicación

Para el subproblema del protocolo de comunicación, se realiza un análisis por medio de una matriz de selección de conceptos, el cual puede ser apreciado en la Tabla 4-5.

El primer criterio de selección es la compatibilidad del protocolo de comunicación, y tras analizar las hojas de datos de las cámaras mencionadas en puntos anteriores, solo no se observa el FTP en todas como pequeña muestra. En el criterio de la complejidad de operaciones que pueden realizar, el FTP y las digitales son los protocolos más limitados. Todos los módulos son programados por medio de herramientas muy similares al menos en las cámaras Cognex. El protocolo de I/O digitales es el más rápido de los mencionados. El protocolo de I/O digitales no necesita la interpretación de comandos por medio de otro dispositivo para la activación de un actuador o recepción de señales de un sensor.

Tabla 4-5: Matriz de Selección de conceptos del subsistema de Protocolo de Comunicación.

Criterio de selección	Ethernet IP	Modbus	FTP	I/O Digitales
Compatibilidad	+	+	-	+
Complejidad operaciones	+	+	-	-
Facilidad programación	0	0	0	0
Velocidad transmisión	-	-	-	+
Interpretación comandos	-	-	-	+
<b>Evaluación Neta</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>-4</b>	<b>2</b>
<b>Prioridad</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>1</b>

#### 4.2.6 Módulo de entradas y salidas

Para el subproblema del módulo de entradas y salidas, se realiza un análisis por medio de una matriz de selección de conceptos, el cual se aprecia en la Tabla 4-6.

Para este subsistema se tiene como primer criterio de selección el costo adicional, donde si el módulo de entradas y salidas se encuentra embebido, no se debe incurrir en un costo adicional como sí habría que hacerlo con módulos externos o controladores dedicados. De igual forma, los módulos externos o controladores dedicados implican un peso y un espacio adicional, en comparación a módulos embebidos. Se puede considerar que siempre será más rápida la transmisión de información mientras menos dispositivos tenga que pasar para llegar a su destino, por lo que el módulo embebido será el más rápido. Agregar un módulo externo o controlador dedicado agregará más dispositivos al sistema, aumentando su complejidad.

Tabla 4-6: Matriz de Selección de conceptos del subsistema Modulo de entradas y salidas.

Criterio de selección	Digitales embebidas	Modulo externo	Controlador Dedicado
Costo adicional	+	-	-
Espacio	+	-	-
Peso	+	-	-
Velocidad	+	-	-
Complejidad	+	-	-
Evaluación Neta	5	-5	-5
Prioridad	1	2	2

#### 4.2.7 Introducción de información

El subsistema de introducción de información será analizado por medio de una matriz de selección de conceptos que se puede observar en la Tabla 4-7.

Como primer criterio de selección se considera como favorable que la pantalla táctil pueda ser un dispositivo multifuncional. En relación directa al criterio anterior, un teclado implicaría un espacio adicional con otro dispositivo y que requeriría donde colocarlo. En cuanto a la facilidad de uso, se considera más sencillo de utilizar un teclado ordinario a uno táctil. Ambos métodos de introducción de información agregan complejidad similar al sistema en general, criterio relativo.

Tabla 4-7: Matriz de Selección de conceptos del subsistema Introducción de Información.

Criterio de selección	Pantalla táctil	Teclado externo
Dispositivo multifuncional	+	-
Espacio	+	-
Facilidad	-	+
Complejidad	0	0
Evaluación Neta	1	-1
Prioridad	1	2

#### 4.2.8 Muestra de información

El subsistema de muestra de información será analizado por medio de una matriz de selección de conceptos que se puede observar en la Tabla 4-8.

Para el análisis de los criterios de selección, el primer criterio se considera como positivo el hecho de una pantalla táctil ser un dispositivo multifuncional, al igual que en el subproblema anterior. Una pantalla externa implicaría otro dispositivo que colocar que ocuparía más espacio. A su vez, una pantalla externa es más versátil al poder ser colocada en distintos lugares visibles, pero que no tienen que estar al alcance del usuario. Una pantalla adicional significa un dispositivo menos complejo que una pantalla táctil.

Tabla 4-8: Matriz de Selección de conceptos del subsistema Muestra de Información.

Criterio de selección	Pantalla táctil	Pantalla externa
Dispositivo multifuncional	+	-
Espacio	+	-
Versatilidad	-	+
Complejidad	-	+
Evaluación Neta	0	0
Prioridad	1	1

#### 4.2.9 Procesamiento de imágenes

El subproblema del procesamiento de imágenes será abordado por medio de una matriz de selección de conceptos que se puede apreciar en la Tabla 4-9.

Al analizar los criterios de selección de este subproblema se considera que es preferible no requerir un dispositivo adicional, lo que lleva un aumento del espacio y peso que toma el sistema. La inclusión de un sistema de procesamiento externo implica un costo

adicional, en especial considerando el equipo tan complejo y especializado que se requiere. Un sistema con un procesamiento dedicado podrá tener una velocidad de procesamiento mayor a uno embebido.

Tabla 4-9: Matriz de Selección de conceptos del subsistema procesamiento de Imágenes

Criterio de selección	Procesador embebido	Procesamiento externo
Dispositivo adicional	+	-
Espacio	+	-
Costo	+	-
Velocidad procesamiento	-	+
<b>Evaluación Neta</b>	<b>2</b>	<b>-2</b>
<b>Prioridad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

#### 4.2.10 Sensor detector de objetos

El subproblema del sensor detector de objetos será analizado por medio de una matriz de selección de conceptos que se puede observar en la Tabla 4-10.

Para el análisis de los conceptos de sensores detectores de objetos es necesario buscar sensores reales con tal de tener una referencia más concreta. En el caso del sensor Fotoeléctrico auto reflectivo se tiene el modelo en [44], para el sensor por fibra óptica el modelo en [45], para el sensor capacitivo el modelo en [56] y finalmente para el sensor de haz de luz el modelo en [57].

Analizando las hojas de datos encontradas en [44], [45], [56] y [57] se pueden abordar los criterios de selección. El sensor por haz de luz es el único que requiere un dispositivo reflectivo externo para su activación, complicando su funcionamiento. Todos los sensores tienen sus montajes de fábrica que les permite ser instalados con facilidad en cualquier sistema. El sensor de haz de luz es el que tiene un mayor alcance de todos. Todos los sensores se alimentan a 24V. El sensor fotoeléctrico auto reflectivo es el menos pesado de todos.

Tabla 4-10: Matriz de Selección de conceptos del subsistema sensor detector de objetos.

Criterio de selección	Fotoeléctrico auto reflectivo	Fibra óptica	Capacitivo	Haz de luz
Dispositivo receptor	+	+	+	-
Facilidad montaje	0	0	0	0
Alcance	-	-	-	+
Alimentación 24V	0	0	0	0
Peso	+	-	-	-
<b>Evaluación Neta</b>	<b>1</b>	<b>-1</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>
<b>Prioridad</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>

### 4.3 Conceptos ganadores

Tras pasar por el proceso de filtración de conceptos por medio de matrices de selección de conceptos, se generó la Tabla 4-11 donde se recopilan los ganadores de cada matriz de selección de conceptos de acuerdo con su subproblema.

Tabla 4-11: Resumen de los conceptos ganadores.

Subproblema	Concepto (s) Ganador (es)	
<b>Energía</b>	24V DC Directo	
<b>iluminación</b>	Domo	
<b>Captura imagen</b>	ISD902M	
<b>Montaje</b>	Por Fabricante	Por Cliente
<b>Protocolo Comunicación</b>	I/O Digitales	
<b>I/O Digitales</b>	Embebidas	
<b>Introducción de Información</b>	Pantalla Táctil	
<b>Muestra de Información</b>	Pantalla Táctil	Pantalla externa
<b>Procesamiento Imágenes</b>	Procesador Embebido	
<b>Sensor detector Objetos</b>	Fotoeléctrico auto reflectivo	

Al analizar la Tabla 4-11 se puede concluir que, ya que se va a utilizar una pantalla táctil para la introducción de la información, es posible usar la misma para mostrar la información. Dejando descartado el concepto de utilizar una pantalla externa para mostrar la información.

Tabla 4-12: Resumen de los conceptos ganadores versión actualizada.

<b>Subproblema</b>	<b>Concepto (s) Ganador (es)</b>
<b>Energía</b>	24V DC Directo
<b>iluminación</b>	Domo
<b>Captura imagen</b>	ISD902M
<b>Montaje</b>	Por Fabricante
<b>Protocolo Comunicación</b>	I/O Digitales
<b>I/O Digitales</b>	Embebidas
<b>Introducción de Información</b>	Pantalla Táctil
<b>Muestra de Información</b>	Pantalla Táctil
<b>Procesamiento Imágenes</b>	Procesador Embebido
<b>Sensor detector Objetos</b>	Fotoeléctrico auto reflectivo

Observando la Tabla 4-12: Resumen de los conceptos ganadores versión actualizada., y a manera de resumen, se tiene que el sistema a validar consiste en un sistema que todo debe ser alimentado directamente a 24V DC. Este sistema debe ser instalado por el montaje dado por el fabricante donde se tiene una ISD902M, la cual es iluminada por un domo y accionada por un sensor fotoeléctrico auto reflectivo. Esta cámara procesa internamente la imagen adquirida y se comunica por medio de entradas y salidas digitales con el PLC que controla el proceso industrial. La introducción de la información a comparar y el control del sistema de lectura debe hacerse por medio de una pantalla táctil en un HMI industrial donde a su vez se debe mostrar la información deseada.

## **5 Planteo de las validaciones**

También conocidas como pruebas de concepto. Estas llamadas validaciones tienen como objetivo verificar el cumplimiento de las necesidades y especificaciones previamente definidas para el problema por medio de pruebas donde se evalúa el desempeño de un segmento del sistema general. Esto debido a que puede llegar a ser complicado poner a trabajar todo el sistema completo y esperar que funcione sin problemas. De igual forma, esto permite concluir que, aunque todo el sistema completo no funcione como se esperaba, al menos parte de este puede que sí lo haga.

Para validar la propuesta de solución compuesta de los conceptos ganadores de la sección 4.3, se propone realizar dos pruebas de concepto que permitirán conocer extensivamente si las soluciones propuestas son adecuadas.

### **5.1 Validación de Lectura a alta velocidad**

Con el fin de comprobar que el sistema es capaz de realizar la lectura de códigos impresos en la cara inferior de latas de refresco que viajan a alta velocidad para su consecuente clasificación, el cual es el principal problema que el sistema propuesto busca solucionar, se intentó simular las condiciones presentes en la línea de producción real. Según se nos explicó en las conversaciones que se tuvieron con el personal de la Cervecería de Costa Rica, cliente final del sistema, en el segmento de la línea de producción donde se instalaría el sistema de lectura, las latas van colgando en una línea de producción similar a la de la Figura 5-1 y su cara inferior queda completamente expuesta. Esto también se debe al hecho de que el sistema de lectura se quiere instalar justo después del sistema de impresión, razón por la cual la impresión siempre será leída en el mismo ángulo. Como se apreciará más adelante en las pruebas de validación, las mismas se hicieron con las luces apagadas con el fin de simular el ambiente oscuro en el que se encuentra la línea de producción real. En el caso de la señal de activación del sistema de rechazo, se indicará el momento el cual se debe activar la misma por medio de las salidas digitales de la cámara, pero no se muestra la activación de esta más que en el indicador de fallo de la interfaz humano máquina.



Figura 5-1: Línea de producción en referencia a la que está presente en Cervecería de Costa Rica. Obtenida de [58].

A como se aprecia en la Figura 5-2, se utilizó un robot modelo T3 de la marca Epson [60] para simular el avance de la lata en una banda transportadora a alta velocidad.

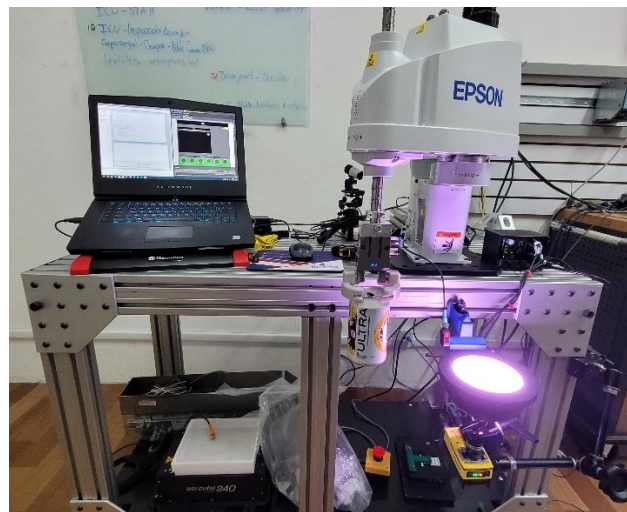


Figura 5-2: Simulación de condiciones en línea de producción para validación de lectura de alta velocidad.

En la Figura 5-3 se aprecia cómo se utilizó un gripper neumático con unas uñas que se tenían en el laboratorio de una prueba anterior con el fin de sostener la lata en el extremo del efector final del robot Epson.

Asimismo, en la Figura 5-4 se observa cómo se instalaron la cámara, el domo y el sensor encargado de detectar el paso de la lata, por medio de brazos de sujeción presentes en el laboratorio. El modelo del sensor que se utilizó, debido a que era el presente en el laboratorio con características similares al concepto ganador fue un Festo SOOE-DS-R-PNLK-T [59], el cual también se observa en la Figura 5-4.



Figura 5-3: Sujeción de lata de cerveza vacía por medio de gripper y uñas presentes en el laboratorio de Kopar.



Figura 5-4: Método de sujeción y colocación de la cámara, el domo y el sensor fotoeléctrico auto reflectivo.

Con el fin de obtener una muestra de prueba estadísticamente representativa, se utiliza la fórmula para el cálculo del tamaño de una muestra en base a una población finita definida en [21] y dada por la ecuación (1).

$$n = \frac{Z^2 NPQ}{(N-1)E^2 + Z^2 PQ} \quad (5.1)$$

En la Ecuación 1, se tiene que Z es llamado el nivel de confianza y sus valores más comunes se muestran en la Tabla 2-3. N es el tamaño de la población general de la cual se tomará la muestra. P es la proporción de individuos con la característica que se busca y Q es la proporción de individuos sin la característica a buscar; no se suele conocer esta proporción por lo que se suele usar un 50%-50% [21]. Finalmente, el valor de E es el porcentaje de error permitido en la muestra; se suelen usar valores no mayores a 15% [21].

Según la necesidad 1, es deseable la lectura de 500 latas por minuto, por lo que esa será la población N que se tomará para calcular la muestra. P y Q son 0.5, E se tomará como un 10%, 0.1. finalmente se tomará un Z de 90% de nivel de confianza, es decir de 1.65. Sustituyendo estos valores en (1) se tiene:

$$n = \frac{(1.65)^2 * 500 * 0.5 * 0.5}{(500-1) * 0.1^2 + 1.65^2 * 0.5 * 0.5} \quad (5.2)$$

$$n = 60$$

Este valor de n fue utilizado en el entrenamiento de la función de lectura por medio de Aprendizaje Profundo. Para el entrenamiento de esta herramienta fue necesario seguir una serie de pasos iterativos. Primeramente, se alimentó la herramienta con fotos de 70 latas diferentes para tener un colchón de error. Dentro de estas 70 latas se utilizaron latas de distintas marcas, tonalidades de superficie, color de letra y volumen (manteniendo la lata siempre a la misma distancia).

Seguidamente se identificaron cada uno de los caracteres que se deseaban leer en la imagen, se definió tanto el área que abarcaba, como la letra que representaban. Esta parte de la identificación no se debe realizar con la totalidad de las muestras, sino un porcentaje representativo, ya que, al entrenar el sistema, el mismo intentará leer las imágenes que no fueron entrenadas en el paso siguiente.

Como se mencionó en el paso anterior, en el siguiente paso, el sistema toma como referencia las imágenes identificadas y cada uno de los caracteres etiquetados y entrena el sistema a partir de estas muestras. A su vez, el sistema intenta leer las demás imágenes que

no fueron identificadas previamente. Para esto, es necesario la utilización de una computadora con alto poder de procesamiento gráfico, o el tiempo de la ejecución del entrenamiento será extenso.

El último paso es la validación de las lecturas realizadas por el sistema por si solo. El sistema intenta identificar caracteres y se deben revisar para confirmar que lo haya hecho correctamente, o corregirlo para que en la nueva iteración el sistema aprenda de su error y evolucione.

Una vez corregidas las lecturas erróneas y verificadas las correctas, se le indica al sistema que escoja nuevas imágenes para entrenarse y que realice una nueva lectura de las imágenes que quedan. Esto se realiza iterativamente hasta obtener los porcentajes de lecturas correctas deseadas. A su vez, el programa nos indica estadísticas de porcentajes de lecturas por cada carácter entrenado y leído.

Tras terminar el entrenamiento de las 70 fotos y estar satisfecho con los resultados obtenidos, se generó un informe con la información del entrenamiento realizado (Este se encuentra en el Apéndice C).

Una vez explicada la configuración de los equipos para la prueba, se procede a explicar la prueba a realizar. La prueba consiste en hacer que el robot pase la lata por sobre la posición donde se encuentra la cámara, así a como pasaría la lata sobre la línea de producción, con el fin de validar que el sistema es capaz de capturar la imagen adecuadamente, y verificar el contenido de esta. En el Apéndice D se encuentra la programación del robot Epson T3 [60] para la realización de esta validación. Cabe aclarar que se hizo avanzar al robot a 600mm/s. Esto ya que, al tener que inspeccionar 500 latas en un minuto, nos deja con 120ms por lata, mientras que cada lata debe recorrer su diámetro en este tiempo, con un diámetro de 62.5mm. Esto quiere decir que la banda que lleva las latas va a cerca de 521mm/s, pero se configura a 600mm/s para exigir un poco más al sistema y tener un margen de error.

## 5.2 Validación del HMI.

Esta prueba de validación fue realizada con el fin de comprobar la capacidad del sistema para mostrar e introducir datos por medio de una pantalla táctil industrial.

Para la escogencia del equipo a utilizar, este debe respetar las necesidades 4 (capaz de cambiar información a verificar), 5 (mostrar estadísticas), 9 (al menos IP65), 10 (alimentado a 24V), aportar al 12 (menos de 5kg), 15 (poder ser instalado en perfiles de aluminio estándar) y 16 (capaz de bloqueo por contraseña) y aportar al 18 (presupuesto de \$50.000).

Al buscar un dispositivo que cumpla o aporte adecuadamente a las necesidades que lo limitan mencionadas en el párrafo anterior, se encontró el VisionView 900 de Cognex [62], distribuido por Kopar, el cual se puede observar en la Figura 5-5. Este es un HMI industrial con una pantalla táctil de 9 pulgadas que tiene una perfecta integración con los equipos de visión de Cognex como el ID902M [52] a utilizar como cámara del sistema.



Figura 5-5: VisionView 900. Tomado de [62]

Para su conexión con la cámara solo es necesario conectar el VisionView a la misma subred en la que se encuentra el sistema de visión y se podrá configurar la conexión con la cámara. Esto debido a que este HMI funciona como un servidor web, el cual accede por medio de la IP de la cámara. Es IP65, se alimenta a 24V DC, es liviano pesando sólo 860g y posee bloqueo por contraseña tanto para sus ajustes. Estas características se obtuvieron de la Tabla F-1 del Apéndice F.



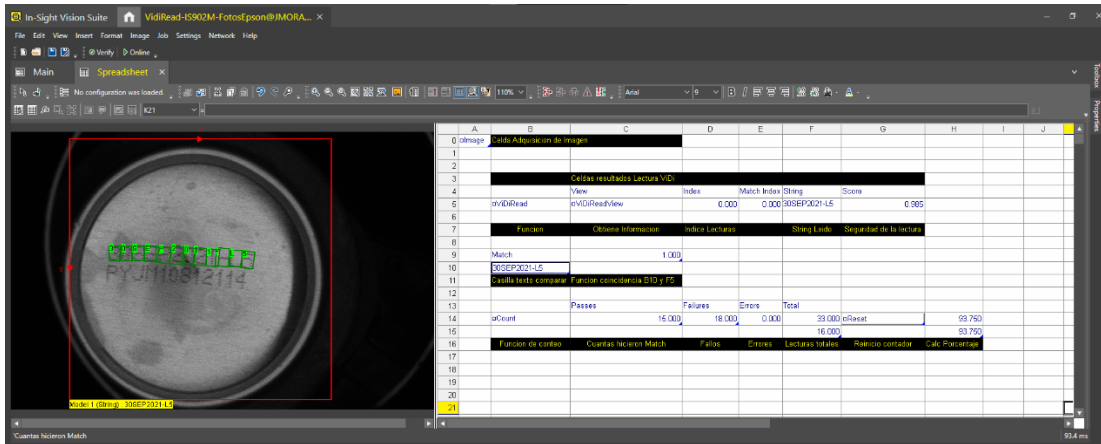


Figura 6- 2: Segunda versión de la programación de la prueba de concepto.

En la Figura 6-3 es más fácil observar las casillas con la programación de las funciones en el software de Insight Vision Suite [61]. Para programar con este software solo es necesario conectarse a la misma subred donde se conecta la cámara y acceder al software. Es posible apreciar la secuencia a seguir del programa, donde primeramente en la casilla A0 se adquiere la imagen, en B5 y sus consecuentes celdas se programa la función de lectura por medio de Aprendizaje Profundo y su resultado en la casilla F5. Después se aprecian casillas donde se realiza cierta lógica comparativa C9, y el texto a comparar con la lectura en B10. La función Count en B14 se encarga de llevar la estadística de lecturas correctas, incorrectas y errores. Las casillas restantes calculan el porcentaje de lectura correcto en H15.



Figura 6-3: Acercamiento a segmento de la programación de la cámara ISD902M para la prueba de concepto.

Ya que previamente se definió que una muestra de 60 es estadísticamente significativa para una población de 500, que son las latas para examinar en un minuto, se repitió esta medición 60 veces seguidas con el objetivo de definir la eficiencia de las mediciones tomadas en el laboratorio. Con esta prueba se tomó un video y en la Figura 6-4 se muestran capturas en ciertos momentos de la prueba. En estas capturas se puede apreciar que, en condiciones de laboratorio, el sistema tiene una eficiencia en las lecturas del 100% ya que la lata que se examinó tenía el mismo texto que el introducido para comparar.

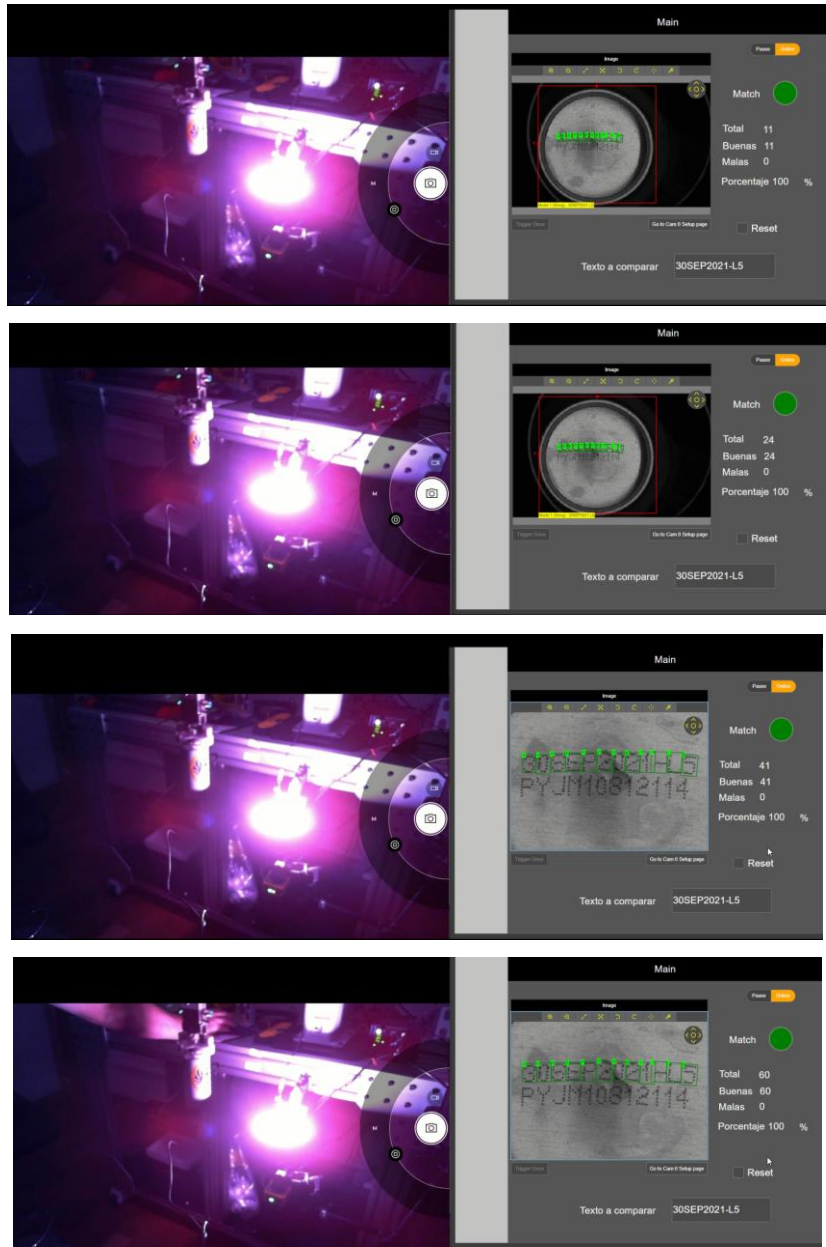


Figura 6-4: Capturas del video de validación de eficiencia de la lectura a alta velocidad.

Con el fin de no sólo validar lecturas correctas, sino también lecturas incorrectas también se realizó otra prueba donde se cambiaba el texto a comparar a lo largo de la validación. En la Figura 6- 5 se pueden apreciar capturas del video de esta prueba. Se observa como en dos de las 4 capturas la lectura es correcta, pero no coincide con el texto que se encuentra en el espacio de “Texto a comparar”, por lo que no se enciende la luz roja del fallo en la verificación y se enviaría una señal de rechazo al sistema encargado.

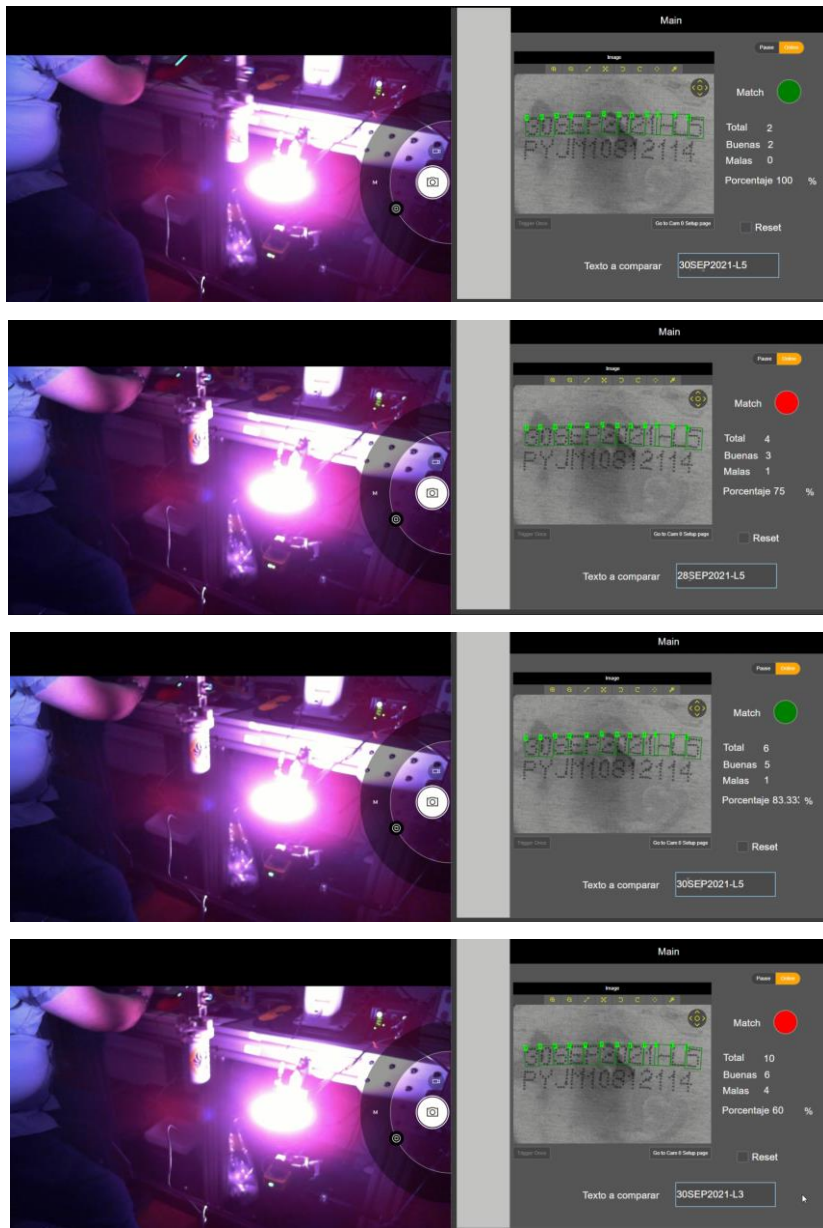


Figura 6- 5: Capturas del video de validación de eficiencia de la lectura a alta velocidad con cambio del texto a comparar.

A manera de resumen, con estas dos pruebas de validación ha sido posible confirmar que el sistema es capaz de inspeccionar 500 latas en un minuto, cumpliendo con la necesidad 1. También se probó, con dos pruebas distintas; una donde todas las lecturas debían ser correctas, y otra donde se podían presentar ambos resultados, que el sistema tiene una eficiencia del 100% en sus lecturas en el laboratorio, cumpliendo la necesidad 17.

### 6.1.2 HMI

Pasando a la interfaz HMI diseñada, la misma se realizó por medio de las herramientas presentes para ello en el software Insight Vision Suite [61]. Para ello es necesario realizar un enlace entre las casillas a leer y controlar presentes en la hoja de cálculo donde se programan las funciones de la cámara. En la Figura 6-3 se puede observar como las casillas A0, C9, B10, C14, D14, F15, G14 y H15 poseen un pequeño triángulo de color azul en la esquina inferior derecha; esto se da ya que las mismas se configuraron para publicar su información en el HMI. Sólo la información que se publica de esta forma puede ser accedida para su uso en la interfaz.

Aunque ya pudo ser observado previamente en la Figura 6-4, en la Figura 6-6 se puede observar el diseño realizado para la Interfaz Humano Máquina del sistema. La misma es una interfaz creada con la herramienta de diseño de HMI del software Insight Vision Suite [61], con el fin de cumplir con los requisitos del sistema previamente definidos.

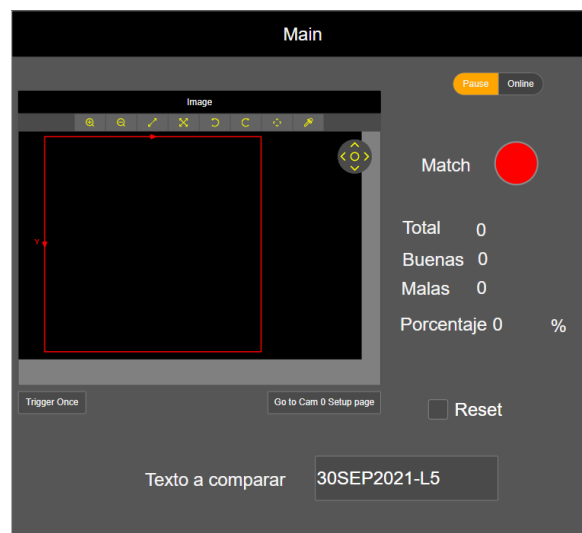


Figura 6-6: Diseño de Interfaz Humano Máquina propuesto para la solución final.

La interfaz cuenta con un botón de dos estados en la esquina superior derecha, donde se puede poner y sacar al sistema de línea. Siempre por el lado derecho, de arriba hacia abajo se observa una luz que en este caso está de color roja, donde se indica si la lectura coincide o no con el texto a comparar; en la Figura 6-4 se puede apreciar cuando la luz se pone verde al coincidir la lectura con el texto. Seguidamente se observan las estadísticas acerca de las lecturas, se muestra el total de lecturas realizadas, el número de lecturas buenas y malas y el porcentaje de lecturas buenas realizadas. Después se observa el botón de reinicio del contador. Al lado izquierdo se observa un recuadro en el que se debe observar la imagen capturada y las gráficas generadas por la herramienta de lectura correspondientes. Debajo de este recuadro se encuentra un botón de trigger manual (el cual solo funciona al tener el sistema fuera de línea) al lado izquierdo y otro al lado derecho donde se accede a la configuración de la cámara (que sólo funciona fuera de línea y está protegido por contraseña). En la parte inferior se encuentra la casilla donde el operario debe introducir el código a comparar.

A pesar de que el VisionView 900 fue escogido como la solución ideal de acuerdo con sus características técnicas y funcionalidad correspondiente a los conceptos generados, no se contaba con uno en el laboratorio a la hora de realizar las validaciones. Sin embargo, al comunicarse por medio de ethernet estando en la misma subred, la cámara permite acceder a la interfaz diseñada de HMI por medio de servidor web en dispositivos como computadoras o similares. Es por ello por lo que se pensó realizar esta validación por medio de una computadora, pero la interacción con la interfaz gráfica tendría que haber sido por medio de un mouse. Evitando esto, y buscando que la experiencia fuera lo más similar a la que un operario experimentaría, se consiguió una Tablet con el fin de al menos tener la interacción por medio de una pantalla táctil.

Es conocido que la validación debería realizarse con el equipo de solución propuesto, pero el equipo presente en el laboratorio no lo permitió y se buscó la solución más cercana que se tenía al alcance de las capacidades actuales.

La prueba que se muestra en la Figura 6- 5, donde se cambia la información a comparar también permite la validación de esa funcionalidad de la interfaz. Se muestra cómo, al cambiar el texto a comparar, el sistema realiza una lectura y en caso de no coincidir, activa

la señal de fallo que enviaría la señal al sistema de rechazo. Esto demuestra que el sistema es capaz de tomar el texto introducido en esta casilla y compararlo satisfactoriamente con el leído por las herramientas de procesamiento de la cámara. En esta prueba el cambio de información a comparar se realizó por medio de la computadora y no la interfaz humano máquina debido que al momento de esta validación aún no se contaba con la Tablet antes mencionada.

De igual forma, la prueba mostrada en la Figura 6-4 permite demostrar que la interfaz muestra adecuadamente la información necesaria. En el video de donde se tomaron las capturas se aprecia como la información se actualiza de forma automática al realizar una nueva medición.

Finalmente se realizó una encuesta (disponible en el Apéndice H) donde se les solicitó a personas con diversos niveles de conocimiento técnico que calificaran su experiencia al seguir un pequeño instructivo (disponible en el Apéndice G) e intentar simular la configuración del sistema por medio de la interfaz humano máquina diseñada.

La encuesta consta de dos secciones. Una es para que los participantes que leyeron las instrucciones en el corto manual y las siguieron, den su retroalimentación por medio de cuatro preguntas sencillas. La segunda parte es para que el investigador conteste si el participante logró configurar adecuadamente el sistema y dejar algún comentario adicional.

Para esta validación se tomó en cuenta la participación de compañeros de trabajo de la empresa Kopar, así como un par de clientes que visitaron, se les tiene la confianza y se les pidió participar en la encuesta. Cabe destacar que, a como se refleja en la Figura 6-7, se tomó en cuenta a personas con todo tipo de nivel técnico. La mayoría, al trabajar en la industria tienen al menos alguna experiencia, pero al menos dos de los participantes no contaban con ningún conocimiento técnico de sistemas de automatización ni están familiarizados con sistemas de interfaz humano máquina.

¿Cual considera que es su nivel de conocimiento técnico en cuanto a sistemas de automatización?  
8 responses

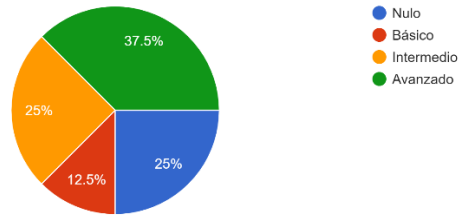


Figura 6-7: Resultados de la primera pregunta para el encuestado.

A como se aprecia en la Figura 6-8, ningún participante considera que las instrucciones no estuvieron claras, aparte de un participante que consideró que se debe mejorar la redacción, pero no tanto que dejara de entenderse. Y un participante que necesitó aclaración en una de las instrucciones que fue quien marco intermedio.

¿Considera las instrucciones brindadas fueron claras?  
8 responses

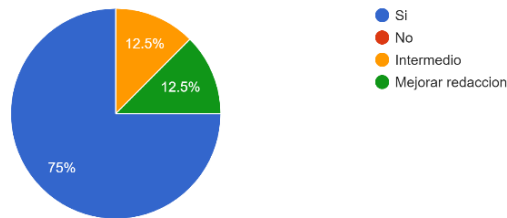


Figura 6-8: Resultados de la segunda pregunta para el encuestado.

En la Figura 6-9 se observa cómo ningún participante consideró que la interfaz no fuera clara. El único comentario fue que la interfaz fue muy sencilla, pero no por ello no se entendía lo que se quería mostrar.

¿Considera que la interfaz gráfica es lo suficientemente clara?  
7 responses

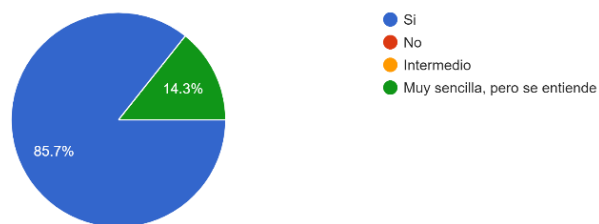


Figura 6-9: Resultados de la tercera pregunta para el encuestado.

La Figura 6-10 muestra la parte de comentarios de parte de los encuestados. Dos respuestas no dieron comentarios. Dentro de las recomendaciones se mencionan mejorar las instrucciones, la interfaz y la redacción, así como más instrucciones y estadísticas.

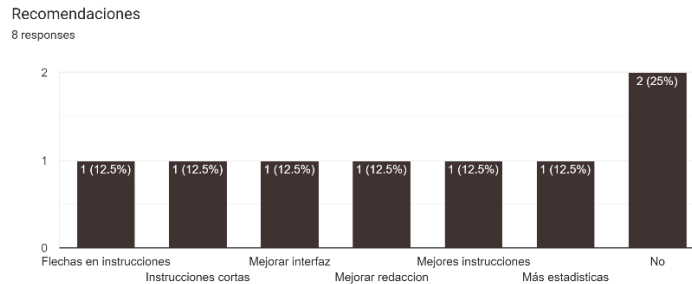


Figura 6-10: Resultados de la cuarta pregunta para el encuestado.

Los resultados de la primera pregunta para el encuestador se muestran en la Figura 6-11. En ella se evidencia que sólo una de las personas no fue capaz de configurar el sistema adecuadamente. Todos los demás sí fueron capaces de una correcta configuración del sistema, unos más rápidos y seguros que otros, pero correctamente.

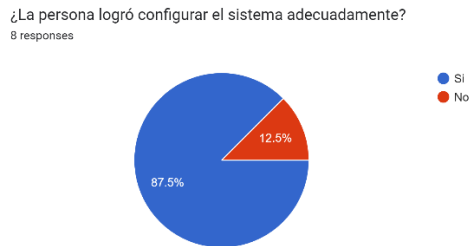


Figura 6-11: Resultados de la primera pregunta para el encuestador.

La última pregunta de la encuesta muestra sus resultados en la Figura 6-12. Aquí se observan los comentarios brindados por el encuestador. Se observa como 3 personas no tuvieron problemas para configurar el sistema, a una le costó, pero lo logró, otra volvió a empezar a medio camino, otra necesito aclaraciones y finalmente la persona que falló por no reiniciar en contador.

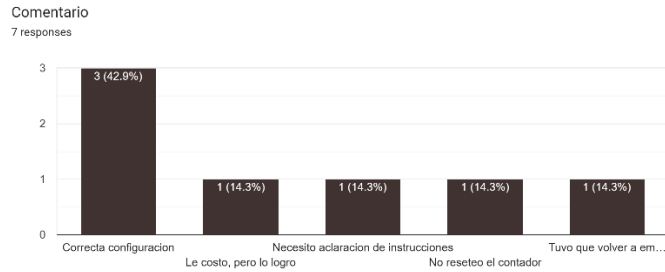


Figura 6-12: Resultados de la segunda pregunta para el encuestador.

A manera de conclusión se puede mencionar que todos los participantes encontraron la interfaz clara. De igual manera, el 87.5% de los participantes fue capaz de configurar el sistema tras leer un corto y sencillo manual de instrucciones. Cabe mencionar que la persona que falló en la configuración del sistema era de las que no tenían conocimiento técnico previo. Es bastante claro, a como la encuesta lo indica, que tanto el instructivo corto como la interfaz necesitan mejoras. De igual forma, estos deberán pasar por una rigurosa revisión en la empresa donde se instalen para que lleguen a cumplir sus estándares y logren seguir la misma línea de otros que ya tienen para otros equipos.

## 6.2 Diagramas de conexiones

### 6.2.1 Diagrama de Red

En la Figura 6-13 se observan las conexiones de red del sistema. Para estas conexiones, el centro de interconexión de los dispositivos es el switch industrial ya presente en la planta, el cual debe estar conectado a la red general de la empresa con el fin de poder acceder a los dispositivos remotamente. Para conectar los dispositivos del sistema se utilizan cables de red industriales, preferiblemente categoría 6A [63]. Se debe conectar la cámara ISD902M por medio de su cable ethernet propietario, y el VisionView 900, el cual utiliza un cable de red ordinario.

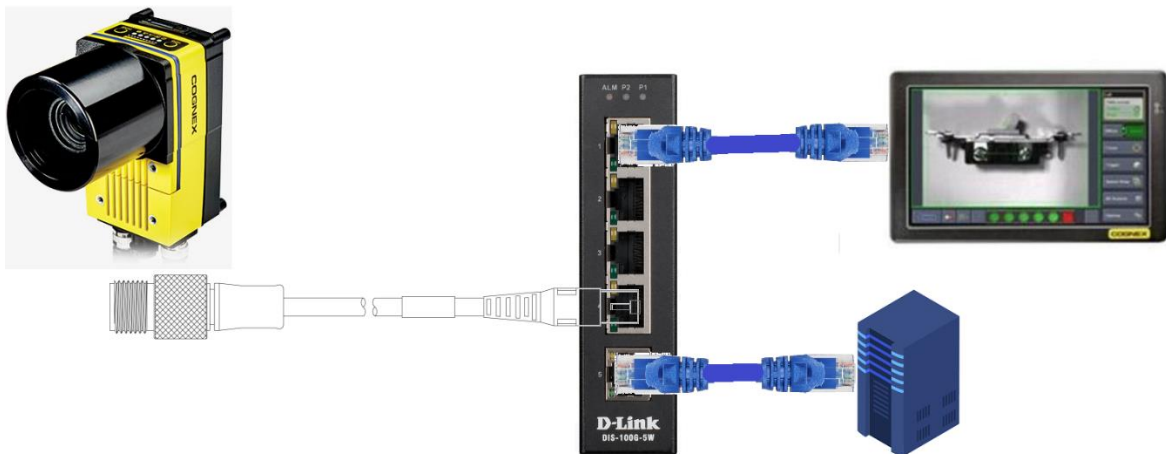


Figura 6-13: Diagrama de Red del Sistema.

### 6.2.2 Diagrama de conexiones

En la Figura 6- 14 es posible apreciar el diagrama de conexiones general del sistema. En este se muestran tanto las conexiones eléctricas principales, como las conexiones de entradas y salidas entre dispositivos. En este se tienen como dispositivos conocidos, la cámara ISD902M y el sensor de detección de objetos marca Festo. Aparte de estos, se colocaron versiones genéricas de fuente de alimentación de 24V DC, un PLC y un actuador eléctrico, simulando así los dispositivos que se conocen están en la planta e integrarían el sistema general.

En el Apéndice J se encuentran los diagramas de asignación de cables del cable de entradas y salidas de la cámara ISD902M y del sensor de Festo. Los cables de ambos

dispositivos siguen un código de colores explicado a continuación (solo para los cables usados).

Tabla 6- 1: Código de colores de cables utilizados. Cámara a la izquierda y sensor a la derecha.

Cámara	Sensor
Rojo: 24V DC	Café: 24V DC
Negro: GND.	Azul: GND
Cable anaranjado: Trigger de la cámara.	Negro: Señal
Morado/blanco: Común para entradas	
Verde: Común para salidas	
Azul: Salida de alta velocidad 0	

Cabe destacar que, para la cámara, tanto la entrada del trigger como la salida de alta velocidad fueron conectados en configuración PNP, al conectar sus comunes a GND. De igual forma, el sensor se configuró como PNP según lo indica la Figura J-2.

Para el sensor,

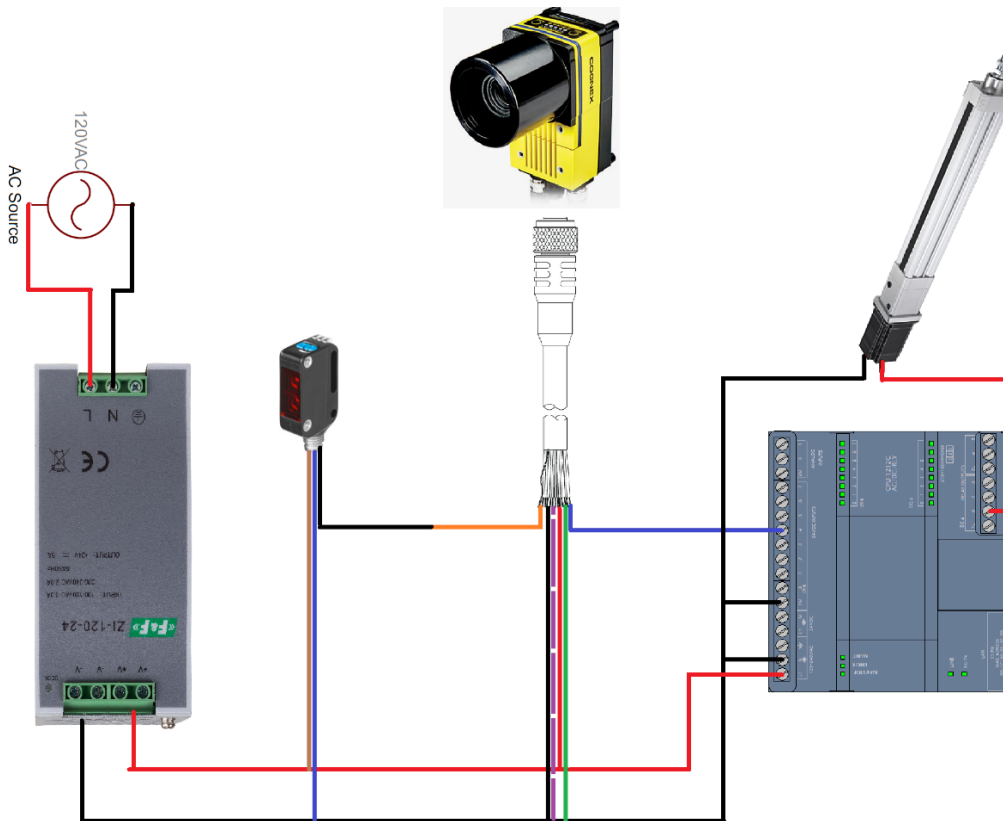


Figura 6- 14: Diagrama de Conexiones del Sistema.

### 6.3 Revisión de Necesidades

En la Tabla 6-2 es posible apreciar, a modo de resumen del documento en general, si las necesidades planteadas llegan a cumplirse, y la ubicación de dicha validación.

Tabla 6-2: Necesidades, su cumplimiento y donde se demuestra este cumplimiento.

No.	Necesidad	¿Validada?	¿Dónde?
1	Sistema capaz de inspeccionar 400 latas por minuto, 500 sería deseable.	Si	Sección 7.1.1
2	El sistema debe ser capaz de comunicarse con el PLC para activar el mecanismo de rechazo de latas.	Si	Sección 7.1.1
3	El sistema debe ser capaz de verificar que la lata tiene impresa la información requerida tras ser introducida al sistema por el operario.	Si	Sección 7.1.1
4	El sistema debe tener algún tipo de interfaz con el usuario para el cambio de información a verificar.	Si	Sección 7.1.2
5	El sistema debe tener algún tipo de pantalla donde se muestren estadísticas e información que debe ser observada por el operario.	Si	Sección 7.1.2
6	El sistema debe ser capaz de leer distintos colores de tinta de impresión.	Si	Sección 7.1.1
7	El sistema debe ser capaz de leer en distintas tonalidades de materiales de lata.	Si	Sección 7.1.1
8	El sistema debe estar a un mínimo de 1cm de distancia de la línea de producción.	Si	Sección 7.1.1
9	El sistema debe ser al menos IP65 para industria alimentaria.	Si	Hoja datos ISD902M en Tabla A-1.

<b>10</b>	El sistema debe alimentarse a 24V DC.	Si	Especificaciones del VisionView 900 en [62] Especificaciones del domo en [51]
<b>11</b>	El sistema debe trabajar con protocolos de comunicación industriales como Ethernet IP, Modbus o entradas y salidas digitales.	Sí	
<b>12</b>	El sistema completo debe pesar menos de 5kg.	Si	Apéndice I
<b>13</b>	El sistema debe ser capaz de leer distintos tamaños de letra.	Sí	Sección 7.1.1
<b>14</b>	El sistema debe funcionar con distintos tamaños de lata.	Sí	Sección 7.1.1
<b>15</b>	El sistema debe poder ser instalado sobre perfiles de aluminio estándar.	Sí	Cada equipo posee montaje del fabricante
<b>16</b>	El sistema debe poder bloquearse con contraseña con el fin de evitar cambios en configuraciones por personal no autorizado.	Sí	Especificaciones del VisionView 900 en [62]
<b>17</b>	El sistema debe tener una eficiencia mayor al 90% en las lecturas realizadas.	Sí	Sección 7.1.1
<b>18</b>	El sistema completo no debe superar un presupuesto de \$50.000.	Sí	Tabla 7- 3

## 6.4 Resultados generales

Tomando como base general en el desarrollo del proyecto se tuvo el libro de Diseño y Desarrollo de Productos [30]. Gracias a este fue posible llegar a una solución capaz de resolver el problema planteado por el cliente.

Tras plantear las necesidades, especificaciones y conceptos y encontrar candidatos ideales por subsistema que tuvieran las características ideales para, en conjunto, resolver el problema planteado, fue posible llegar a validar sus capacidades.

El proceso de las validaciones propuso retos al tener que buscar pruebas capaces de poner a pruebas las capacidades de la solución propuesta. Para ello se tuvieron en cuenta las necesidades que se necesitaban satisfacer, así como el equipo disponible para ello.

En la validación de toma de imágenes a alta velocidad se tuvo que buscar el equipo capaz de simular el paso de una banda transportadora a alta velocidad. Para esto se usó uno de los robots presentes en el laboratorio que tiene capacidades de hacer recorridos lineales a velocidades aún mayores a las requeridas por la prueba. Tras definir el uso del robot y adaptarle un mecanismo capaz de sostener la lata adecuadamente, se buscaron mecanismos de sujeción que permitieran la colocación de la cámara, el domo de iluminación y el sensor detector del paso de objetos. Tras usar brazos y soportes presentes en el laboratorio se ajustaron las programaciones del robot y la cámara para hacerlas trabajar en conjunto y se realizó la validación.

Tras lograr el posicionamiento adecuado de la cámara y el domo para que al activarse el sensor se capturara la cara inferior de la lata en el momento preciso fue posible observar que las lecturas fueron satisfactorias. Algunas fallaron al principio debido a que la distancia a la que se colocó el domo no fue la misma a la que se encontraba con las fotos de entrenamiento. Una vez corregido este error de posicionamiento, el sistema funcionó a como estaba programado para hacerlo. La lógica de comparación funcionó adecuadamente y se procedió a realizar pruebas con latas de distintas tonalidades, tamaños de letra y tamaños de lata, así como cuando el sistema fue entrenado; logrando buenas lecturas en todas las pruebas realizadas.

Una vez se tuvo el sistema funcionando adecuadamente se procedió a diseñar la interfaz de humano máquina. Para ello se utilizaron las herramientas presentes en el software de programación de la cámara para esto. La referencia a las casillas de la parte de la programación para su uso en la interfaz gráfica fue un reto que requirió paciencia y experimentación, pero el resultado logró apegarse a los requerimientos definidos para esta. Se colocó una luz para indicar cuando la lectura es correcta, un contador de las lecturas realizadas y estadísticas de las lecturas correctas, incorrectas y su porcentaje. También se colocó una casilla para introducir la información a comparar con la lectura, la cual habilita su edición por medio de un selector que pone y saca al sistema de línea.

Tras el diseño de esta interfaz fue posible hacer la prueba para su validación. En esta se hicieron numerosas pasadas de la lata por su área de inspección y siempre fue posible observar las estadísticas adecuadas actualizándose en el momento justo. Así como la correcta comparación de la lectura contra el texto introducido en el segmento para ello.

La última parte de la validación realizada fueron las pruebas con compañeros de la empresa, donde tras hacerlos leer un pequeño instructivo se les hizo utilizar una Tablet para simular el dispositivo real y configurar el sistema. La gran mayoría de los que realizaron la prueba lo hicieron correctamente con la excepción de una persona sin conocimiento técnico alguno.

Con estas pruebas fue posible validar cada una de las necesidades planteadas al principio del proceso, logrando así concluir con el éxito en el diseño del sistema que resuelva el problema planteado.

## 7 Análisis económico

En este capítulo se lleva a cabo el análisis económico con el fin de buscar determinar qué tan viable es la solución planteada.

Primeramente, en la Tabla 7-1 se recopilan los costos del equipo que se utilizaría en la solución propuesta.

Tabla 7-1: Costo de equipo de la solución propuesta.

Artículo	Precio (\$)
Luz domo	1800
Soporte domo	250
Cable domo	115
Cámara ISD902M	10620
Licencia ViDi Read 1 año	2155
Lente	295
Soporte cámara	270
Cable I/O	155
Cable ethernet	150
VisionView 900	1210
Soporte VisionView	145
Sensor	95
Montaje Sensor	75
Cable sensor	115
Tornillería	200
Computador	2500
Cables	200
<b>Total</b>	<b>20350</b>

Seguidamente, en la Tabla 7- 2 se recopilan los gastos adicionales en los que se incurrieron para el desarrollo de la solución. Estos datos se calculan asumiendo que se tomaron cuatro meses en todo el proceso del desarrollo de la solución.

Tabla 7- 2: Gastos de inversión administrativa del proyecto.

Rubro	Costo (\$)
Electricidad	500
Agua	200
Alquiler	15000
Internet	800
Salario pasante	2000
Misceláneos	500
<b>Total</b>	<b>19000</b>

Sumando los gastos en equipo, más los gastos de inversión administrativa, en la Tabla 7-3 se muestra la inversión total en el desarrollo del sistema.

Tabla 7- 3: Inversión total en el desarrollo del sistema.

Rubro	Costo (\$)
Inversión en equipo	20350
Inversión administrativa	19000
<b>Total</b>	<b>39350</b>

El valor de la inversión total, según la Tabla 7- 3, es de USD \$39350, valor mucho menor al presupuesto propuesto por el cliente de USD \$50000.

Las ganancias que se espera que el sistema genera no son ingresos en sí, según lo que comentó el cliente. En ocasiones se presentan entregas de lotes de refrescos en los que se presentan productos sin impresiones de la fecha de vencimiento, o lotes de bebidas con gran número de latas equivocadas. Esto genera una multa para la empresa por parte de supermercados y distribuidoras, ya que así está acordado en sus contratos de distribución. Por cuestiones de confidencialidad no se nos comentó el monto real de estas multas, pero para el cálculo del TIR se nos indicó que el monto de estas ha llegado a alcanzar los USD \$35 000 anuales. Es por ello que para calcular el TIR se usará un flujo de dinero anual de \$35 000.

Según la información otorgada por el cliente, para considerar que una inversión va a ser rentable, consideran que el TIR debe ser de al menos 25% a 6 años plazo.

Según [64], es posible obtener el valor del VAN por medio de la ecuación (7.1).

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (7.1)$$

Con:  $F_t$  como los flujos de dinero en cada período  $t$ ,  $I_0$  la inversión inicial,  $k$  el interés exigido y  $n$  los períodos de tiempo en años. Sustituyendo los valores conocidos en (6.1), se obtiene la ecuación (7.2).

$$VAN = -39350 + \sum_{t=1}^6 \frac{35000}{(1+0.25)^t} \quad (7.2)$$

Tras realizar el cálculo de (7.2) se obtiene un valor para el VAN = \$63949.84.

De acuerdo con [65], se puede calcular el TIR con la ecuación (6.1), haciendo el valor de VAN=0.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} \quad (7.3)$$

Sustituyendo los valores conocidos en (6.3), se obtiene la ecuación (7.4).

$$0 = -39350 + \sum_{t=1}^6 \frac{35000}{(1+TIR)^t} \quad (7.4)$$

Despejando por medio de software de cálculo, se obtiene un TIR = 85%.

Finalmente, el [66] se explica como calcular el ROI, utilizando la fórmula (7.5).

$$ROI = \frac{VAN - I_0}{I_0} * 100 \quad (7.5)$$

Sustituyendo con valores conocidos en (7.5), se obtiene la ecuación (7.6).

$$ROI = \frac{63949.84 - 39350}{39350} * 100 \quad (7.6)$$

Tras resolver la ecuación (7.6) se obtiene que el valor un ROI = 62.51%.

Una vez obtenidos estos valores, es necesario conocer si son positivos para conocer la viabilidad del proyecto. Para ello, cada uno de los autores dice lo siguiente:

- Según [64] un VAN > 0 generará beneficios.
- Según [65] con un TIR >  $k$  el proyecto de inversión debe ser aceptado.
- Según [66] con un ROI > 0 se están generando beneficios.

De acuerdo con las condiciones anteriores, al tener un valor de VAN y ROI positivos, el proyecto generará beneficios a los inversionistas, esto debido a que las proyecciones de ambos, bajo las condiciones propuestas, cumplen con generar ganancias a futuro. En cuanto

al TIR, este es mayor que su k de 25%. El resumen de estos valores se puede encontrar en la Tabla 7- 4, donde se puede concluir que los tres indicadores de factibilidad de inversión son positivos y sugieren que la inversión se realice.

Tabla 7- 4: Tabla resumen de indicadores de factibilidad de inversión.

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Pasa su criterio</b>	<b>Conclusión según autor</b>
<b>VAN</b>	\$63949.84	Si	Inversión generará ganancias.
<b>TIR</b>	85%	Si	El proyecto debe ser aceptado.
<b>ROI</b>	62.51%	Si	Inversión generará ganancias

## 8 Conclusiones y recomendaciones

### 8.1 Conclusiones

Tomando como referencia los objetivos planteados al principio del proyecto, se generaron las siguientes conclusiones:

- Por medio de la evaluación de los procedimientos de control en la planta de producción de la empresa fue posible determinar cómo llegar a lograr identificar productos fuera de las líneas de producción adecuada.
- El correcto análisis del sistema actual ayudó en la escogencia de las soluciones posibles, de manera que, al buscar una solución final, se consideraron tantas alternativas como fue posible, así como la consideración de las ventajas y desventajas de estas.
- Fue posible diseñar un sistema de lectura industrial capaz de leer caracteres alfanuméricos a en latas que se mueven a 600mm/s, analizarlos en un tiempo promedio de menos de 120ms y actuar de acuerdo con el programa desarrollado para identificar productos fuera de su línea de producción correspondiente.
- Se diseñó un sistema capaz de tener una eficiencia del 100% en lecturas realizadas en condiciones de laboratorio que buscaron replicar las ambientes reales de funcionamiento.
- Se logró realizar una integración adecuada del sistema diseñado con los componentes actuales de planta, agregándole funcionalidad al sistema actual sin restarle desempeño o características funcionales.
- Se diseñó una interfaz apropiada que cumple con los requerimientos del cliente para poner en marcha el sistema de lectura e introducir el texto a comparar, así como mostrar información y estadísticas; como un indicador de cuando la lectura coincide con el texto introducido, número de lecturas totales, número de lecturas buenas, número de lecturas malas, porcentaje de lecturas buenas y la imagen capturada donde se muestra el código leído.
- El sistema pudo ser configurado correctamente usando la interfaz diseñada por el 87.5% de los participantes de la validación tras leer un corto instructivo.

## 8.2 Recomendaciones

- En caso de querer utilizar un sistema similar en líneas de producción que trabajen a mayor velocidad, es recomendable buscar utilizar sistemas con procesamiento externo. Esto debido a que el equipo utilizado fue capaz de trabajar adecuadamente bajo las condiciones definidas, pero en caso de exigirle más velocidad al sistema, el mismo puede quedarse corto.
- De forma similar a la recomendación anterior, en caso de querer extraer más información de la lectura realizada, el tiempo de procesamiento puede aumentar y no rendir lo suficiente para cumplir con las condiciones estipuladas.
- En caso de querer agregar un nuevo producto a la línea de producción cuyas fotos no hayan sido entrenadas en el programa de lectura de códigos, se deben entrenar las mismas con el fin de evitar fallos en las lecturas futuras.
- Es una buena práctica el utilizar en el entrenamiento del sistema de lectura, imágenes con latas que posean condiciones particulares que, aunque se consideren buenas, puedan afectar la lectura de sus caracteres.

## 9 Bibliografía

- [1] “Empresa,” *Kopar.com.mx*, 2012. <https://www.kopar.com.mx/es/empresa> (accessed Jun. 29, 2022).
- [5] H. Golnabi and A. Asadpour, “Design and application of industrial machine vision systems,” *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 23, no. 6, pp. 630–637, Dec. 2007, doi: 10.1016/j.rcim.2007.02.005.
- [6] J. F. Vélez Serrano, *Visión por computador*. S.L. - DYKINSON, 2 ed., 2003.
- [7] N. J. Nilsson, *Principles of Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann Publisher, Inc, 1980.
- [8] A. Boucher-Genesse, “How to Configure Your 2D Vision System Correctly,” *Robotiq.com*, 2016. <https://blog.robotiq.com/how-to-configure-your-2d-vision-system-correctly> (accessed Nov. 03, 2022).
- [9] “Difference Between Vision Sensors & Vision Systems - Blog | Cognex,” *Cognex.com*, 2020. <https://www.cognex.com/blogs/machine-vision/whats-the-difference-between-vision-sensors-and-vision-systems> (accessed Nov. 02, 2022).
- [10] “The Importance of IP Ratings for Food & Beverage Operations,” *Teguar Computers*, Jul. 13, 2016. <https://teguar.com/ip-ratings-food-beverage-computers/> (accessed Nov. 09, 2022).
- [11] J. Ayala, “Qué son los grados de protección IP y para qué sirven - Heatwave,” *Heatwave*, Mar. 30, 2020. <https://www.heatwave.com.mx/noticias/que-son-los-grados-de-proteccion-ip/> (accessed Nov. 09, 2022).
- [12] “What is HMI?,” *Inductive Automation*, 2018. <https://www.inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi> (accessed Nov. 09, 2022).
- [20] R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers y K. Ye, *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*, México: Pearson Educación, 2012.

- [21] C. M. Bencardino, Estadística y Muestreo, Bogotá: Ecoe Ediciones, 2012.
- [30] S. E. Karl Ulrich, Diseño y Desarrollo de productos., 5ta ed., México D.F.: McGrawHill, 2013.
- [31] “Murrelektronik GmbH,” *Murrelektronik.com*, 2022.  
<https://www.murrelektronik.com/products-industries/products/electronics-in-the-cabinet/> (accessed Nov. 07, 2022).
- [32] “Lithium batteries for industrial applications,” *Super-b.com*, 2022.  
<https://www.super-b.com/en/lithium-industrial-batteries> (accessed Nov. 07, 2022).
- [33] “Machine Vision Lighting | Cognex,” *Cognex.com*, 2022.  
<https://www.cognex.com/what-is/machine-vision/components/lighting> (accessed Nov. 07, 2022).
- [34] Basler AG, “Basler ace - Area Scan Cameras,” *Basler AG*, Apr. 11, 2022.  
<https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/area-scan-cameras/ace/> (accessed Nov. 07, 2022).
- [35] Basler AG, “Basler racer - Line Scan Cameras,” *Basler AG*, Apr. 11, 2022.  
<https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/line-scan-cameras/racer/> (accessed Nov. 07, 2022).
- [36] Basler AG, “Camera Bracket: 360 / 90 - Mounting,” *Basler AG*, Jul. 11, 2022.  
<https://www.baslerweb.com/en/products/accessories-and-bundles/camera-bracket-360-90/> (accessed Nov. 07, 2022).
- [37] “Cognex Partner Portal,” *Cognex.com*, 2020.  
<https://partner.cognex.com/Catalog/ViewProduct.aspx?c=BKT-22C-PTI> (accessed Nov. 07, 2022).
- [38] “Native Mode Communications,” *Cognex.com*, 2020.  
[https://support.cognex.com/docs/is\\_590/web/EN/ise/Content/Communications\\_Reference/NativeModeCommunications.htm?tocpath=Communications%20Refere](https://support.cognex.com/docs/is_590/web/EN/ise/Content/Communications_Reference/NativeModeCommunications.htm?tocpath=Communications%20Refere)

nce%7CNative%20Mode%20Communications%7C\_\_\_\_\_0 (accessed Nov. 07, 2022).

- [39] “In-Sight Communications,” *Cognex.com*, 2020.  
[https://support.cognex.com/docs/is\\_590/web/EN/ise/Content/Communications\\_Reference/In-SightCommunications.htm?tocpath=Communications%20Reference%7C\\_\\_\\_\\_\\_0](https://support.cognex.com/docs/is_590/web/EN/ise/Content/Communications_Reference/In-SightCommunications.htm?tocpath=Communications%20Reference%7C_____0)  
(accessed Nov. 07, 2022).
- [40] “I/O Cards | Cognex,” *Cognex.com*, 2022.  
<https://www.cognex.com/products/machine-vision/vision-software/vision-accessories/io-cards> (accessed Nov. 07, 2022).
- [41] “IPC5 Vision Controller Features | Cognex,” *Cognex.com*, 2022.  
<https://www.cognex.com/products/machine-vision/vision-software/vision-accessories/vision-controller> (accessed Nov. 07, 2022).
- [42] “WebAccess/SCADA,” *Advantech.com*, 2022.  
[https://www.advantech.com/en/products/webaccess-scada/sub\\_a7b4308c-a3d0-446c-8f03-0d098d4b2c31](https://www.advantech.com/en/products/webaccess-scada/sub_a7b4308c-a3d0-446c-8f03-0d098d4b2c31) (accessed Nov. 07, 2022).
- [43] “WebAccess/HMI,” *Advantech.com*, 2022.  
[https://www.advantech.com/en/products/webaccess-hmi/sub\\_da3ae445-a6ab-4231-abb5-b873399437a1](https://www.advantech.com/en/products/webaccess-hmi/sub_da3ae445-a6ab-4231-abb5-b873399437a1) (accessed Nov. 07, 2022).
- [44] “WTB9-3P2411P10 | Fotocélulas | SICK,” *Sick.com*, 2022.  
[https://www.sick.com/cl/es/fotocelulas/fotocelulas/w9/wtb9-3p2411p10/p/p663308?ff\\_data=JmZmX2lkPXA2NjMzMDgmZmZfbWFzdGVySWQ9cDY2MzMwOCZmZl90aXR5ZT1XVEI5LTNQMjQxMVAxMCZmZl9xdWVyeT0mZmZfcG9zPTEmZmZfb3JpZ1Bvcz01MCZmZl9wYWdlPTEmZmZfcGFnZVNpemU9OCZmZl9vcmlnUGFnZVNpemU9OCZmZl9zaW1pPTk0LjA=](https://www.sick.com/cl/es/fotocelulas/fotocelulas/w9/wtb9-3p2411p10/p/p663308?ff_data=JmZmX2lkPXA2NjMzMDgmZmZfbWFzdGVySWQ9cDY2MzMwOCZmZl90aXR5ZT1XVEI5LTNQMjQxMVAxMCZmZl9xdWVyeT0mZmZfcG9zPTEmZmZfb3JpZ1Bvcz01MCZmZl9wYWdlPTEmZmZfcGFnZVNpemU9OCZmZl9vcmlnUGFnZVNpemU9OCZmZl9zaW1pPTk0LjA=)  
(accessed Nov. 07, 2022).
- [45] “GLL170-N333 | Fibra óptica y sensores con fibra óptica | SICK,” *Sick.com*, 2022. <https://www.sick.com/cl/es/fibra-optica-y-sensores-con-fibra->

optica/sensores-fibra-optica/gll170/gll170-n333/p/p492151?ff\_data=JmZmX2lkPXA0OTIxNTEmZmZfbWFzdGVySWQ9cDQ5MjE1MSZmZl90aXRsZT1HTEwxNzAtTjMzMyZmZl9xdWVyeT0mZmZfcG9zPTEmZmZfb3JpZ1Bvcz02JmZmX3BhZ2U9MSZmZl9wYWdlU2l6ZT04JmZmX29yaWdQYWdlU2l6ZT04JmZmX3NpbWk9OTQuMA== (accessed Nov. 07, 2022).

- [46] Basler AG, “Basler ace aca1600-60gm - Area Scan Camera,” *Basler AG*, Jul. 11, 2022. <https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/area-scan-cameras/ace/aca1600-60gm/> (accessed Nov. 08, 2022).
- [47] “ML-M1616UR | MORITEX Corporation,” *Moritex.com*, 2015. <https://moritex.com/model/1-1-2-7-2-04.html> (accessed Nov. 08, 2022).
- [48] “Lens Advisor - Interactive Tools | Cognex,” *Cognex.com*, 2022. <https://www.cognex.com/es-mx/resources/interactive-tools/lens-advisor> (accessed Nov. 08, 2022).
- [49] “S75 Brick Light - Smart Vision Lights,” *Smart Vision Lights*, Oct. 10, 2022. <https://smartvisionlights.com/products/s75/> (accessed Nov. 08, 2022).
- [50] “LT3RZF130-60-1-W-24V | LED illuminators | Opto Engineering | Lighting,” *Opto Engineering*, 2022. <https://www.opto-e.com/en/products/ltlaic-series/LT3RZF130-60-1-W-24V> (accessed Nov. 08, 2022).
- [51] “HPD2-150SW | CCS INC.,” *CCS INC. - Leading the Way With the Top Market Share in Inspection LED Lighting.*, 2022. <https://www.ccs-grp.com/products/model/1216> (accessed Nov. 08, 2022).
- [52] “In-Sight D900 - Deep Learning Vision System | Cognex,” *Cognex.com*, 2022. <https://www.cognex.com/products/machine-vision/2d-machine-vision-systems/in-sight-d900> (accessed Nov. 08, 2022).
- [53] “In-Sight 7000 Series Vision Systems | Cognex,” *Cognex.com*, 2022. <https://www.cognex.com/products/machine-vision/2d-machine-vision-systems/in-sight-7000-series> (accessed Nov. 08, 2022).

- [54] “In-Sight 8000 Vision Systems | Cognex,” *Cognex.com*, 2022. <https://www.cognex.com/products/machine-vision/2d-machine-vision-systems/in-sight-8000-series> (accessed Nov. 08, 2022).
- [55] “CIC Cameras | Cognex,” *Cognex.com*, 2022. <https://www.cognex.com/products/machine-vision/vision-software/vision-accessories/cameras/cic-cameras> (accessed Nov. 08, 2022).
- [56] “CMB30-25NPPEC0SA00 | Sensores de proximidad capacitivos y magnéticos | SICK,” *Sick.com*, 2022. [https://www.sick.com/cl/es/sensores-de-proximidad-capacitivos-y-magneticos/sensores-de-proximidad-capacitivos/cmb/cmb30-25nppec0sa00/p/p669084?ff\\_data=JmZmX2lkPXA2NjkwODQmZmZfbWFzdGVySWQ9cDY2OTA4NCZmZl90aXR5ZT1DTUIzMC0yNU5QUEVDMFNBM DAmZmZfcXVlcnk9JmZmX3Bvcz0xJmZmX29yaWdQb3M9MSZmZl9wYWdl PTEEmZmZfcGFnZVNpemU9MjQmZmZfb3JpZ1BhZ2VTaXplPTI0JmZmX3Np bWk9OTEuMA==](https://www.sick.com/cl/es/sensores-de-proximidad-capacitivos-y-magneticos/sensores-de-proximidad-capacitivos/cmb/cmb30-25nppec0sa00/p/p669084?ff_data=JmZmX2lkPXA2NjkwODQmZmZfbWFzdGVySWQ9cDY2OTA4NCZmZl90aXR5ZT1DTUIzMC0yNU5QUEVDMFNBM DAmZmZfcXVlcnk9JmZmX3Bvcz0xJmZmX29yaWdQb3M9MSZmZl9wYWdl PTEEmZmZfcGFnZVNpemU9MjQmZmZfb3JpZ1BhZ2VTaXplPTI0JmZmX3Np bWk9OTEuMA==) (accessed Nov. 08, 2022).
- [57] “GRL18S-F1431P01 | Fococélulas | SICK,” *Sick.com*, 2022. [https://www.sick.com/cl/es/fococelulas/fococelulas/gr18s/grl18s-f1431p01/p/p427047?ff\\_data=JmZmX2lkPXA0MjcwNDcmZmZfbWFzdGVyS WQ9cDQyNzA0NyZmZl90aXR5ZT1HUkwxOFMtRjE0MzFQMDEmZmZfcX Vlcnk9JmZmX3Bvcz03JmZmX29yaWdQb3M9ODgmZmZfcGFnZT0xJmZmX 3BhZ2VTaXplPTgmZmZfb3JpZ1BhZ2VTaXplPTgmZmZfc2ltaT05NC4w](https://www.sick.com/cl/es/fococelulas/fococelulas/gr18s/grl18s-f1431p01/p/p427047?ff_data=JmZmX2lkPXA0MjcwNDcmZmZfbWFzdGVyS WQ9cDQyNzA0NyZmZl90aXR5ZT1HUkwxOFMtRjE0MzFQMDEmZmZfcX Vlcnk9JmZmX3Bvcz03JmZmX29yaWdQb3M9ODgmZmZfcGFnZT0xJmZmX 3BhZ2VTaXplPTgmZmZfb3JpZ1BhZ2VTaXplPTgmZmZfc2ltaT05NC4w) (accessed Nov. 08, 2022).
- [58] Vladimir Gryaznov, “Transporte de latas de aluminio en el transportador para la cerveza embotellada. CervecerÃa para la producciÃn,” *Dreamstime.com*, 2022. <https://es.dreamstime.com/transporte-de-latas-aluminio-en-el-transportador-para-la-cerveza-embotellada-cervecer%C3%ADa-producci%C3%B3n-image159094032> (accessed Nov. 08, 2022).
- [59] Festo, “Sensor de reflexión directa SOOE-DS-R-PNLK-T | Festo ES,” *Festo.com*, 2022. <https://www.festo.com/es/es/a/8075663/> (accessed Nov. 09, 2022).
- [60] “RT3-401SS | Robot Epson SCARA T3 All-in-One | SCARA | Robótica | Para el trabajo | Epson América Central,” *Epson.co.cr*, 2022. <https://epson.co.cr/Para-el->

trabajo/Rob%C3%B3tica/SCARA/Robot-Epson-SCARA-T3-All-in-One/p/RT3-401SS (accessed Nov. 08, 2022).

- [61] “In-Sight Vision Suite | Cognex,” *Cognex.com*, 2022.  
<https://www.cognex.com/training/training-descriptions/in-sight-vision-suite>  
(accessed Nov. 08, 2022).
- [62] “VisionView 900 Visualization Solution - Blog | Cognex,” *Cognex.com*, 2020.  
<https://www.cognex.com/blogs/machine-vision/visionview-900-is-a-better-visualization-solution> (accessed Nov. 08, 2022).
- [63] E. Cables, “Lo que necesitas saber sobre los Cables Ethernet industriales,” *Cables y Redes*, May 07, 2020.  
<https://www.cablesyredes.com/articulos-blog/cables-ethernet-industriales/>  
(accessed Nov. 10, 2022).
- [64] Víctor Velayos Morales, “Valor actual neto (VAN) | Economipedia,” *Economipedia*, 2022.  
<https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html> (accessed Nov. 10, 2022).
- [65] Andrés Sevilla Arias, “Tasa interna de retorno (TIR) - Definición y ejemplos | Economipedia,” *Economipedia*, 2022.  
<https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html> (accessed Nov. 10, 2022).
- [66] R. Peiró, “ROI de Marketing - Definición, qué es y concepto | Economipedia,” *Economipedia*, 2022.  
<https://economipedia.com/definiciones/roi-de-marketing.html> (accessed Nov. 10, 2022).

## 10 Apéndices

### 10.1 Apéndice A: Hojas de Especificaciones de Familias de Cámaras Cognex

Tabla A-1: Especificaciones de Sistemas de visión de la familia ISD900. Tomado de [52]

		D905M	D905C	D902M	D902C
Image Type		Monochrome	Color	Monochrome	Color
Imager Type		2/3 inch CMOS (3.45 $\mu$ m x 3.45 $\mu$ m pixels)		1/2.3 inch CMOS (3.45 $\mu$ m x 3.45 $\mu$ m pixels)	
Resolution (pixels)		5 MP 2448 x 2048		2.3 MP 1920 x 1200	
Acquisition Speed (Max)		26 fps	16 fps	51 fps	34 fps
Memory	File storage	16 GB non-volatile flash memory; unlimited storage via remote network device			
	Processing	3 GB SDRAM			
	Additional Storage	8 GB SD card, network drive via FTP over gigabit network			
Optics	Lenses	C-Mount, S-Mount, Autofocus			
	Indicator LEDs	SD card status, pass/fail LED and 360° viewing indicator ring, network LED, and error LED			
	Lighting	External lights via light control connector			
I/O	Network	Gigabit Ethernet (10/100/1000 Mbps)			
	Built-in	1 dedicated trigger IN, 1 general purpose IN, 2 general purpose OUT, 2 bi-direction IN/OUT			
Mechanical	Industrial M12 Connectors	Power/IO; Ethernet; External light power/control			
	Dimensions	53.4 mm (2.10 in) x 60.5 mm (2.38 in) x 121.0 mm (4.77 in)			
	Weight	380 g (13.4 oz.)			
	Protection	IP67 with C-mount lens cover or integrated light connected			
Power		24 VDC			

Tabla A-2: Especificaciones de Sistemas de visión de la familia IS7000. Tomado de [53]

		7500	7501	7600	7800	7801	7802	7802P	7900	7901	7902	7902P	7905
Image Type		Monochrome and color						Monochrome	Monochrome and color			Monochrome	Monochrome and color
Performance Factor		0.6x		1x	2.3x			2.5x					
Job/Program Memory		7.2 GB on board + 8 GB on SD card											
Image Processing Memory		512 MB SDRAM											
Sensor Type		CMOS, global shutter											
Resolution (pixels)		640 x 480/800 x 600 <sup>1</sup>	1280 x 1024	640 x 480/800 x 600 <sup>1</sup>	1280 x 1024	1600 x 1200	1920 x 1200	640 x 480/800 x 600 <sup>1</sup>	1280 x 1024	1600 x 1200	1920 x 1200	2448 x 2048	
Acquisition Rate (fps)	Monochrome	217/165	76	217/165	76	53	55	217/165	76	53	55	32	
	Color	135/100	45	135/100	45	33	n/a	135/100	45	33	n/a	17	
HDR Support		No					Yes <sup>2</sup>		No			Yes <sup>2</sup>	
Lens Type		C-mount, S-mount/M12, Autofocus											
Light Options		Internal light, DataMan 360 light, external light powered by In-Sight or external light independent power										Internal light, external light powered by In-Sight or external light independent power	
Internal Light Color		Red, white, IR, or blue											
Indicator LEDs		SD card status, pass/fail LED, 360-degree viewing indicator ring, network LED and error LED											
Built in IO		1 dedicated trigger in, 1 input, 2 outputs, 2 bi-directional/configurable, and RS-232. Additional I/O available via external I/O modules: CIO-MICRO or CIO-1400											
Power		24 VDC											
Industrial M12 Connectors		3: Power and I/O, Ethernet, and External light power/control											
Protection		IP67 with internal light option or C-mount lens cover											
Network Communications		1G (1000)/100/10 Mbps											
Industrial Protocols		OPC UA, EtherNet/IP with AOP, PROFINET Class B, iQSS, CC-Link IE Field Basic, SLMP/SLMP Scanner, Modbus TCP, IEEE 1588 (CIP Sync)											
General Protocols		TCP/IP, UDP, FTP, SFTP, Telnet, SMTP, RS-232											

Tabla A-3: Especificaciones de Sistemas de visión de la familia IS8000. Tomado de [54]

		8100	8101	8200	8400	8401	8402	8405	8500P	8501P	8502P	8505P
Performance Factor		1X		1.7X		3.9X			4.6X			
Image Type		Monochrome and Color						Monochrome			Monochrome and Color	
Job/Program Memory		512 MB							14.8 GB			
Image Processing Memory		512 MB										
Sensor Type		CMOS, global shutter					CMOS, rolling shutter		CMOS, global shutter			
Resolution		640 x 480	1280 x 1024	640 x 480	640 x 480	1280 x 1024	1600 x 1200	2592 x 1944	640 x 480 880 x 600	1280 x 1024	1920 x 1200	2448 x 2048
HDR+ Support <sup>1</sup>		No							Yes			
Acquisition Rate (fps)	Monochrome	217	76	217	217	76	53	13	133 108	66	55	32
	Color	135	45	135	135	45	33	n/a			35	17
Lens Type		C-Mount										
Indicator LEDs		Network status, 2 configurable LEDs										
Built-in I/O		1 dedicated trigger input, 2 high speed outputs (including strobe). Additional I/O available via CIO-MICRO <sup>2</sup> external I/O module.										
Power		Class 2 Power over Ethernet (PoE)							Class 3 Power over Ethernet (PoE)			
Industrial Connectors		M12: Power/Ethernet, M8: I/O					RJ45: Power/Ethernet, M8: I/O		M12: Power/Ethernet, M8: I/O			
Industrial Protocols		OPC UA, Ethernet/IP with AOP, PROFINET Class B, iQSS, Modbus TCP, SLMP/SLMP Scanner										
Size		31 mm x 31.2 mm x 75.1 mm					31 mm x 31.2 mm x 71.6 mm		35 mm x 32 mm x 75.55 mm			
Weight		132.2 g					78 g		192 g			
Network Speed		10/1000/1000 Mbps (Gigabit)										
Rockwell Add-on Profile		Yes										

Tabla A- 4: Especificaciones de Sistemas de visión de cámaras “tontas”. Tomado de [55]

Area Scan								
Model Number	Resolution	Frame Rate	Sensor Type	Sensor	Sensor Size	Power Consumption	Lens Mount	Color / Mono
Rolling Shutter								
CAM-CIC-5MR 5000R	5MP	14fps	CMOS	Aptina MT9P031	1/2.5"	2.5W/2.2W	C	C, M
CAM-CIC-10MR	10MP	10fps	CMOS	Aptina MT9J003	1/2.3"	3.3W/3.5W	C	C, M
CAM-CIC-12MR	12MP	8fps	CMOS	Sony IMX226	1/1.7"	2.5W/2.9W	C	C, M
Global Shutter								
CAM-CIC-1300	1.3MP	60fps	CMOS	e2v EV76C560	1/1.8"	2.4W/2.0W	C	C, M
CAM-CIC-2000-60	2MP	60fps	CMOS	e2v EV76C570	1/1.8"	2.1W/2.5W	C	M
CAM-CIC-4000	4MP	25fps	CMOS	CMOSIS CMV4000	1"	3.4W/2.9W	C	C, M
CAM-CIC-5000-20	5MP	23fps	CMOS	Sony IMX264	2/3"	2.4 W/2.8 W	C	C, M
CAM-CIC-3100	31MP	3.82 fps	CMOS	Sony IMX342	APS-C	5.4W / 6.7W	F	C,M

Tabla A- 5: Especificaciones de Sistemas de visión de cámaras de Escaneo Lineal. Tomado de [55]

Line Scan								
Model Number	Resolution	Frame Rate	Sensor Type	Sensor	Sensor Size	Power Consumption	Lens Mount	Color / Mono
CAM-CIC-4KL-24	4K	24kHz	CMOS	Awaiba DR-4K-7	N/A	4W	F	M

## 10.2 Apéndice B: Pasos para el entrenamiento de lectura de caracteres por medio de ViDi Read y Aprendizaje Profundo.

1. Como primer paso, se inserta la herramienta de ViDi Read, se le da doble click y se selecciona el área de inspección, a como se observa en la Figura B-1.

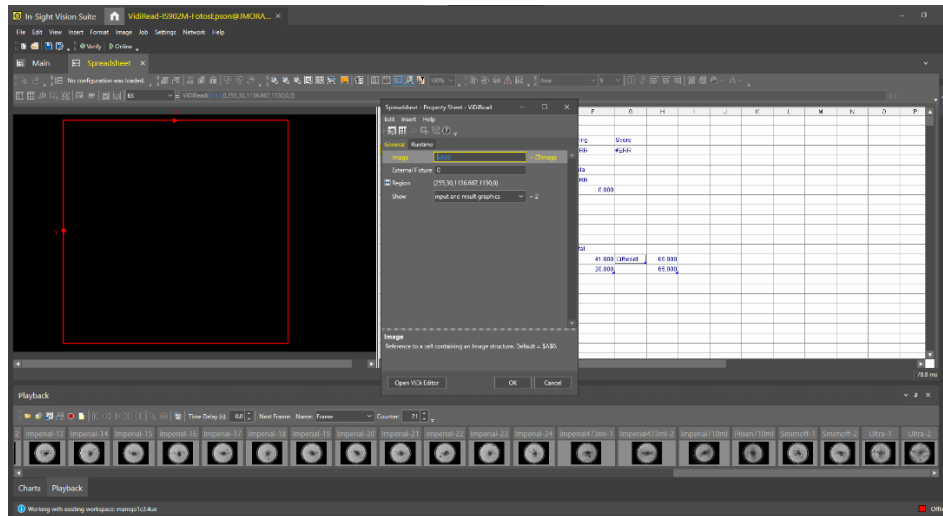


Figura B-1: Paso 1 para el entrenamiento de lectura de caracteres por medio de ViDi Read y Aprendizaje Profundo.

2. Seguidamente se agregan fotos a la función, se identifican caracteres en un par de imágenes y se entrena para que la herramienta adivine las demás.



Figura B-2: Paso 2 para el entrenamiento de lectura de caracteres por medio de ViDi Read y Aprendizaje Profundo.

3. En las imágenes donde la herramienta no leyó bien, se selecciona Accept View, y se corrige.



Figura B-3: Paso 3 para el entrenamiento de lectura de caracteres por medio de ViDi Read y Aprendizaje Profundo.

4. Una vez corregido, se agrega al set de entrenamiento para que lo corrija la próxima corrida.

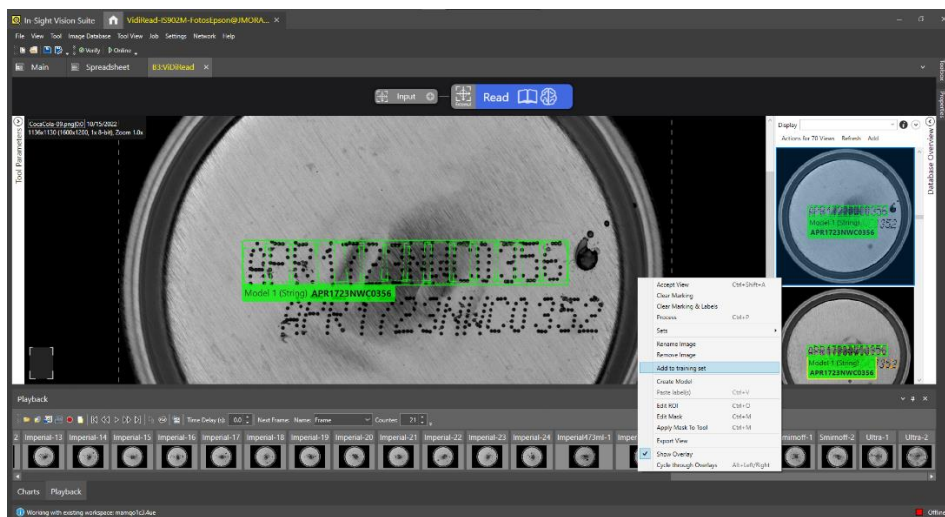


Figura B-4: Paso 4 para el entrenamiento de lectura de caracteres por medio de ViDi Read y Aprendizaje Profundo.

5. En la columna de la izquierda, se abren las opciones.



Figura B-5: Paso 5 para el entrenamiento de lectura de caracteres por medio de ViDi Read y Aprendizaje Profundo.

6. En el training set, se escoge el 50%. Se selecciona OK & Randomize.



Figura B-6: Paso 6 para el entrenamiento de lectura de caracteres por medio de ViDi Read y Aprendizaje Profundo.

7. Para iniciar el entrenamiento, se da click en el cerebro en la parte superior.



Figura B-7: Paso 7 para el entrenamiento de lectura de caracteres por medio de ViDi Read y Aprendizaje Profundo.

8. Se le da el tiempo requerido para el entrenamiento. Y se vuelve al paso 2.



Figura B-8: Paso 8 para el entrenamiento de lectura de caracteres por medio de ViDi Read y Aprendizaje Profundo.

## 10.3 Apéndice C: Informe de entrenamiento de ViDi Read.

7/11/22, 4:19

PFG - Read.html

PFG

Tool Read



70 samples, 44 trained

Date 11/7/2022

### Features

Feature	Found	Train	Recall	Prec
-	59	36/57	95.2	100.0
0	105	64/94	100.0	83.3
1	35	23/29	66.7	66.7
2	198	105/169	100.0	78.0
3	92	51/81	93.3	90.3
4	12	6/10	100.0	100.0
5	77	43/64	95.2	80.0
6	8	4/8	100.0	100.0
7	15	8/12	100.0	80.0
8	32	16/32	93.8	100.0
A	26	11/16	100.0	55.6
B	32	16/32	93.8	100.0
C	17	11/16	80.0	80.0
D	3	2/3	100.0	100.0
E	59	34/55	100.0	87.5
F	32	16/32	93.8	100.0
I	2	2/3	0.0	
L	58	36/57	95.2	95.2
M	4	2/3	100.0	50.0
N	18	11/17	100.0	100.0
O	1	1/1		
P	38	21/26	100.0	45.5
R	20	10/15	100.0	71.4
S	12	12/13	0.0	
T	1	1/1		
W	11	8/12	75.0	100.0
	967	550/858	95.5	84.7
			86.7	84.7

### Models

∅ processing time 48.6 ± 3.5 msec

Model	Found	Train	Recall	Prec
Model 1 (String)	70	44/69	76.0	76.0

(Move the mouse over the marking to get detailed info, click on the images to hide/show the marking)

### Training Set (44 Views)

file:///C:/Users/JMora-Koplat/OneDrive - Grupo Kopar/Escritorio/PFG/PFG - Read.html

1/14

Figura C-1:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 1.



BavariaGold-2.png|0:0, trained

BavariaGold-3.png|0:0, trained



BavariaGold-5.png|0:0, trained

Bohemia-1.png|0:0, trained



Bohemia-2.png|0:0, trained

Bohemia-3.png|0:0, trained



Bohemia-4.png|0:0, trained

Bohemia-6.png|0:0, trained



CocaCola-02.png|0:0, trained

CocaCola-03.png|0:0, trained



CocaCola-04.png|0:0, trained

CocaCola-06.png|0:0, trained



CocaCola-08.png|0:0, trained



CocaCola-10.png|0:0, trained



CocaCola-11.png|0:0, trained



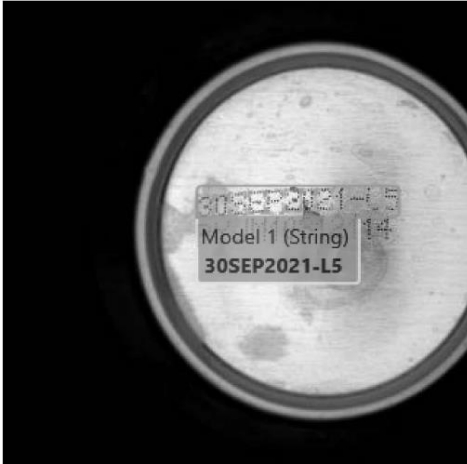
CocaCola-12.png|0:0, trained



Filler (1).png|0:0, trained



Filler (2).png|0:0, trained



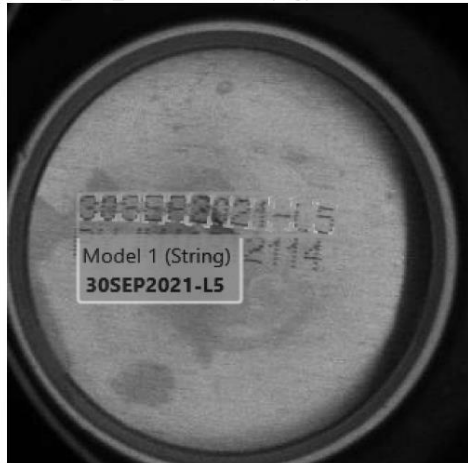
Filler (3).png|0:0, trained

Filler (4).png|0:0, trained



Frame\_0002\_20221104150312.png|0:0, trained

Frame\_0004\_20221104150320.png|0:0, trained



Frame\_0006\_20221104150328.png|0:0, trained

Frame\_0008\_20221104150335.png|0:0, trained



Frame\_0010\_20221104150342.png|0:0, trained

Frame\_0012\_20221104150349.png|0:0, trained



Frame\_0014\_20221104150355.png|0:0, trained

Frame\_0016\_20221104150402.png|0:0, trained



Frame\_0018\_20221104150410.png|0:0, trained

Frame\_0020\_20221104150418.png|0:0, trained

Figura C-6:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 6.



Imperial-04.png|0:0, trained

Imperial-06.png|0:0, trained



Imperial-08.png|0:0, trained

Imperial-09.png|0:0, trained



Imperial-11.png|0:0, trained

Imperial-14.png|0:0, trained

Figura C-7:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 7.



Imperial-16.png|0:0, trained

Imperial-18.png|0:0, trained



Imperial-21.png|0:0, trained

Imperial-22.png|0:0, trained

Figura C-8:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 8.



Imperial473ml-2.png[0:0, trained

Imperial710ml.png[0:0, trained



Smirnoff-2.png[0:0, trained

Ultra-1.png[0:0, trained

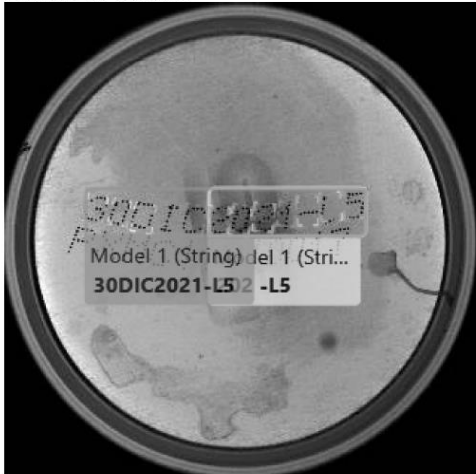
### Test Set (26 Views)



BavariaGold-1.png|0:0



BavariaGold-4.png|0:0



Bohemia-5.png|0:0



CocaCola-01.png|0:0



CocaCola-05.png|0:0



CocaCola-07.png|0:0



CocaCola-09.png|0:0

Filler (5).png|0:0



Imperial-01.png|0:0

Imperial-02.png|0:0



Imperial-03.png|0:0

Imperial-05.png|0:0

Figura C-11:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 11.



Imperial-07.png|0:0

Imperial-10.png|0:0



Imperial-12.png|0:0

Imperial-13.png|0:0



Imperial-15.png|0:0

Imperial-17.png|0:0

Figura C-12:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 12.



Imperial-19.png|0:0



Imperial-20.png|0:0



Imperial-23.png|0:0



Imperial-24.png|0:0



Imperial473ml-1.png|0:0

Pilsen710ml.png|0:0

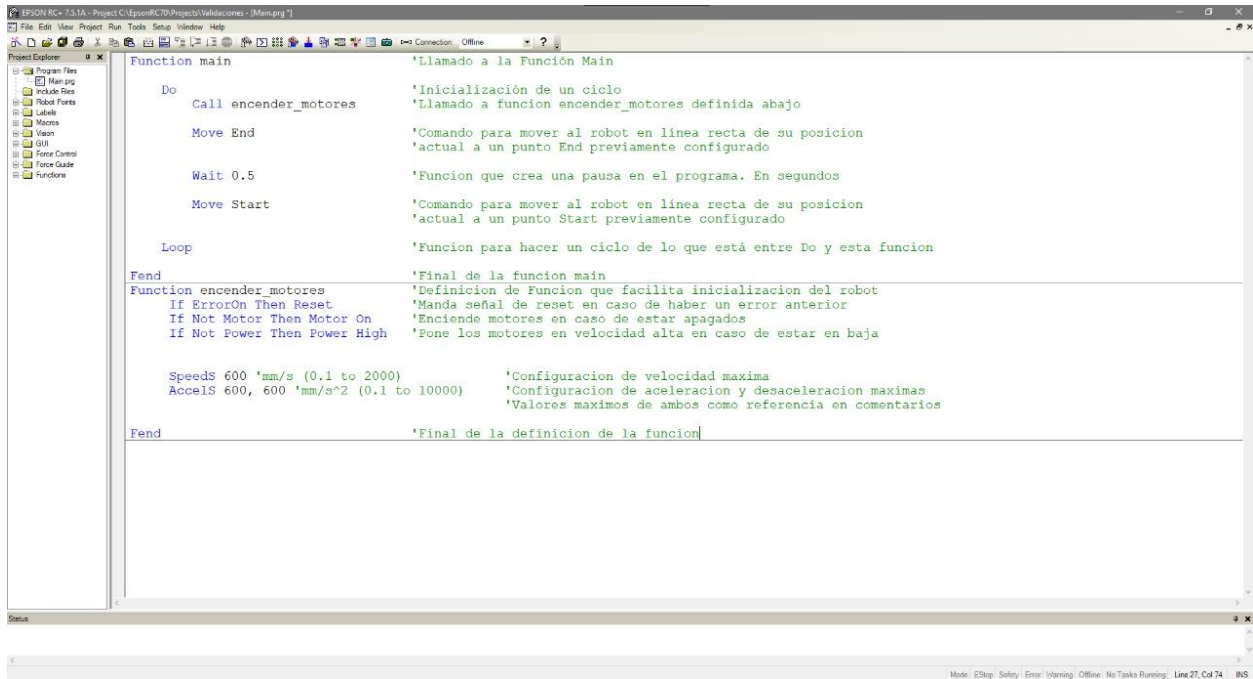


Smirnoff-1.png|0:0

Ultra-2.png|0:0

Figura C-14:Informe de entrenamiento de ViDi Read. Página 14.

## 10.4 Apéndice D: Programación de robot Epson T3 para la validación de Lectura a alta velocidad



```
EPSON RC+ T3.1A - Project C:\Epson\RC\T3\Project5\Validaciones - [Main.prg 1]
File Edit View Project Run Tools Setup Window Help
Project Explorer
Program Files
Main.prg
Robot Res
Robot Ports
Labels
Macros
Vision
Force Control
Force Guide
Functions

Function main                                     'Llamado a la Función Main
Do
  Call encender_motores                          'Inicialización de un ciclo
                                                'Llamado a funcion encender_motores definida abajo
  Move End                                       'Comando para mover al robot en línea recta de su posición
                                                'actual a un punto End previamente configurado
  Wait 0.5                                       'Funcion que crea una pausa en el programa. En segundos
  Move Start                                    'Comando para mover al robot en línea recta de su posición
                                                'actual a un punto Start previamente configurado

  Loop                                          'Funcion para hacer un ciclo de lo que está entre Do y esta funcion
Fend                                           'Final de la función main
Function encender_motores                       'Definición de Funcion que facilita inicializacion del robot
If ErrorOn Then Reset                          'Manda señal de reset en caso de haber un error anterior
If Not Motor Then Motor On                     'Enciende motores en caso de estar apagados
If Not Power Then Power High                   'Pone los motores en velocidad alta en caso de estar en baja

Speeds 600 'mm/s (0.1 to 2000)                 'Configuración de velocidad máxima
Accels 600, 600 'mm/s^2 (0.1 to 10000)        'Configuración de aceleración y desaceleración máximas
                                                'Valores máximos de ambos como referencia en comentarios
Fend                                           'Final de la definición de la función

Mode: EStop Safety Error Warning Offline No Task Running Line 27, Col 74 818
```

Figura D- 1: Programación de robot Epson T3 para la validación de Lectura a alta velocidad.

## 10.5 Apéndice E: Otras capturas obtenidas en las pruebas de validación.

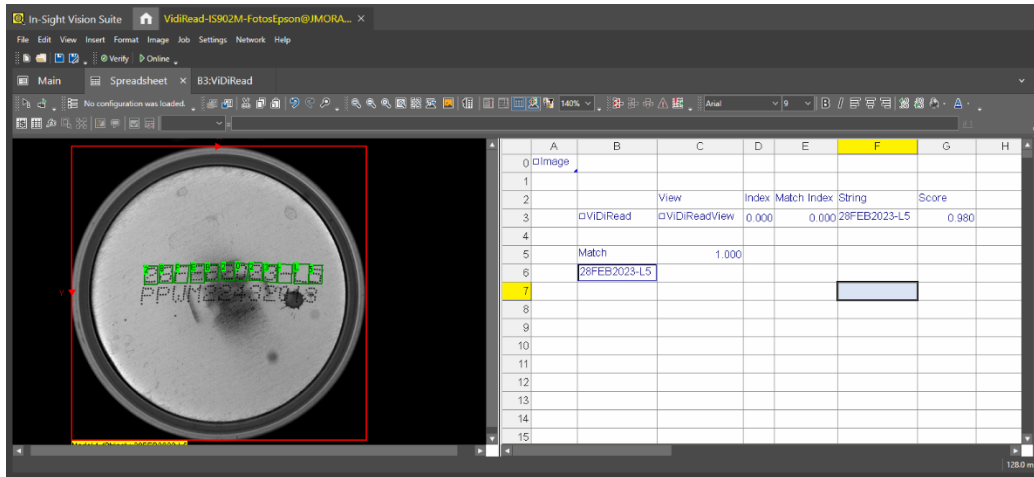


Figura E-1:Toma adicional de validación de velocidad de captura 1.

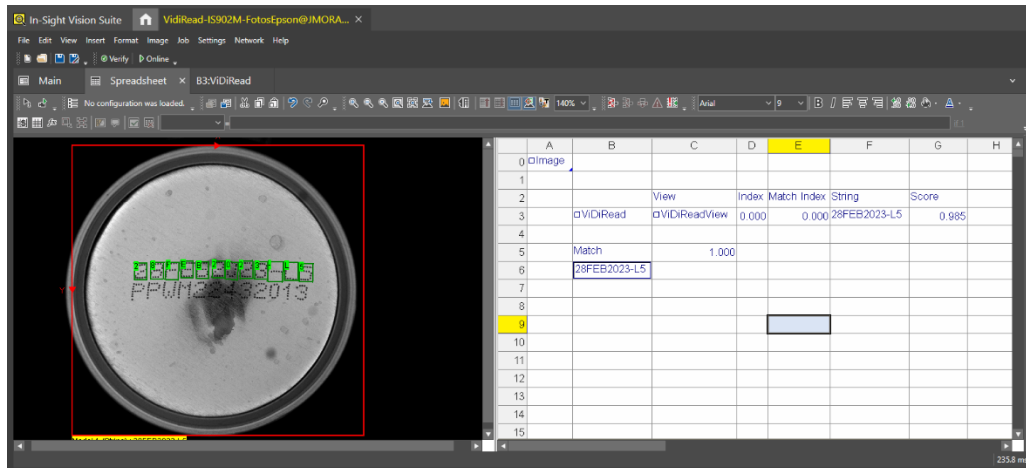


Figura E-2:Toma adicional de validación de velocidad de captura 2.

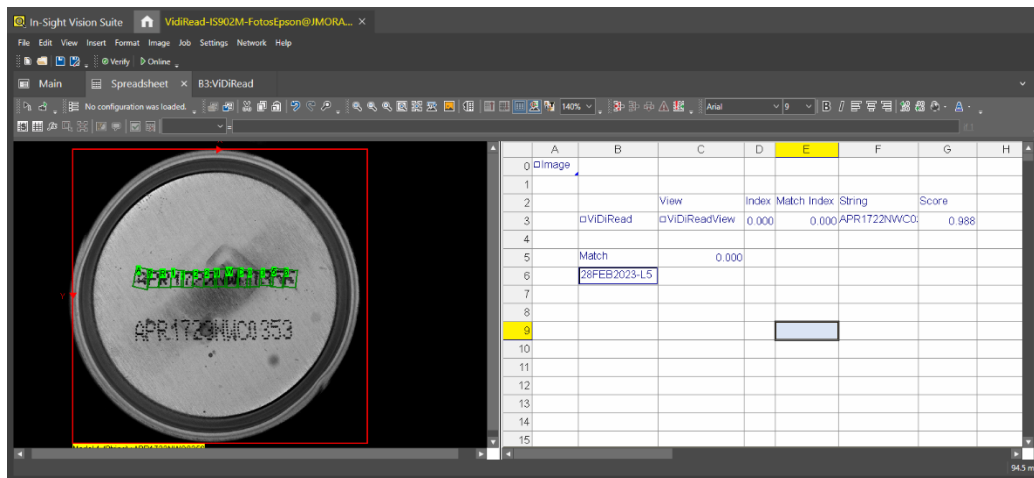


Figura E-3:Toma adicional de validación de velocidad de captura 3.

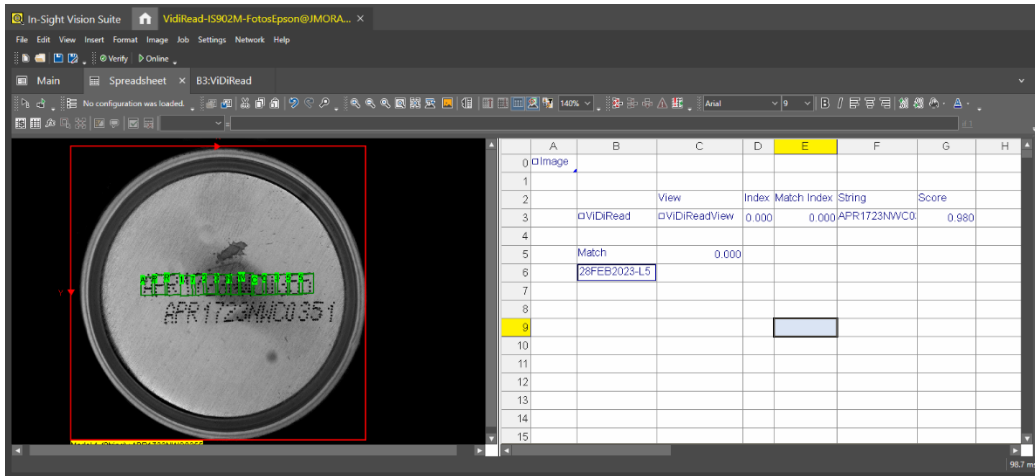


Figura E-4:Toma adicional de validación de velocidad de captura 4.

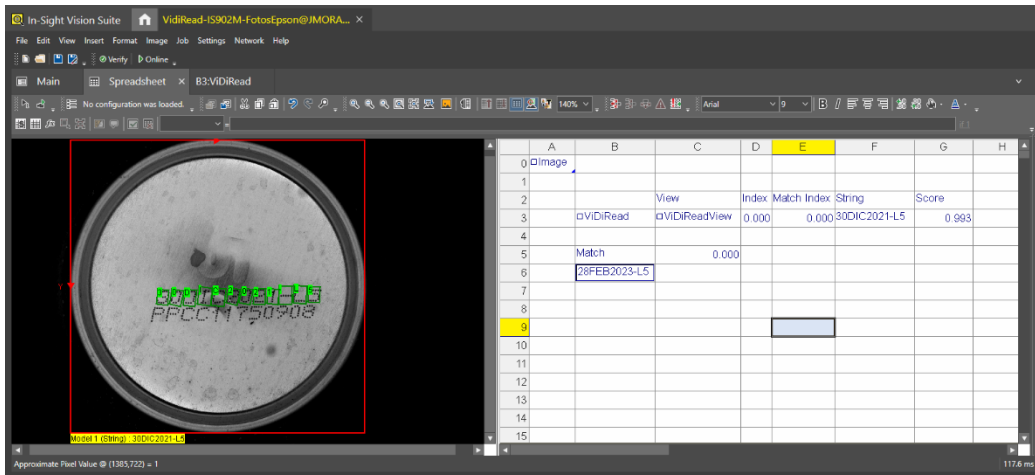


Figura E-5:Toma adicional de validación de velocidad de captura 5.

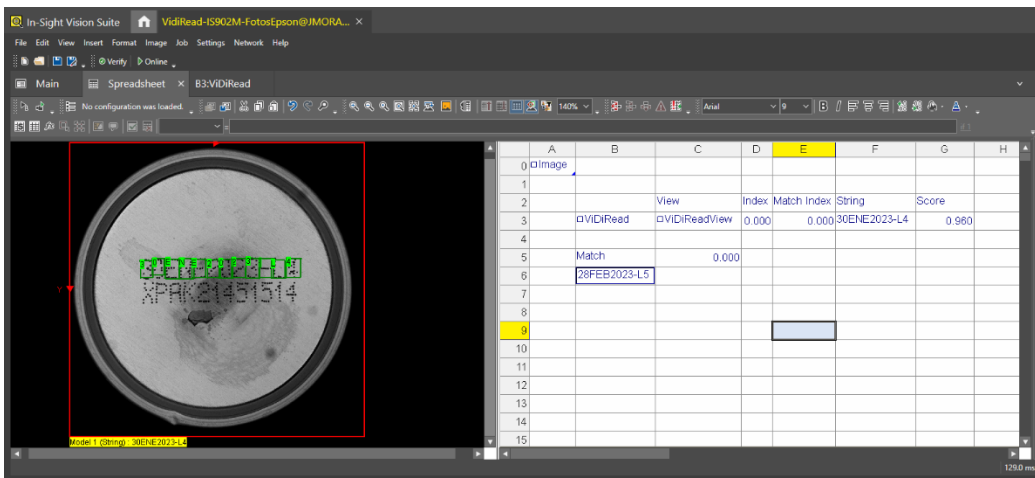


Figura E-6:Toma adicional de validación de velocidad de captura 6.

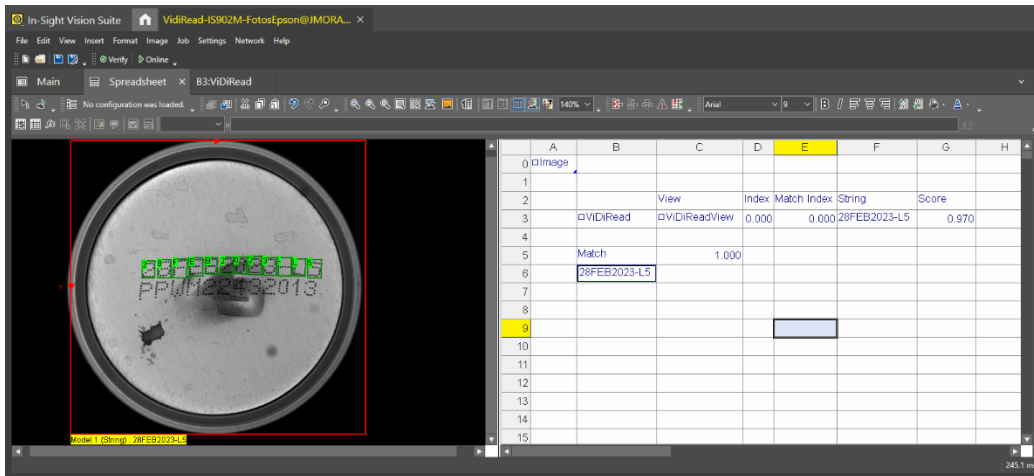


Figura E-7:Toma adicional de validación de velocidad de captura 7.

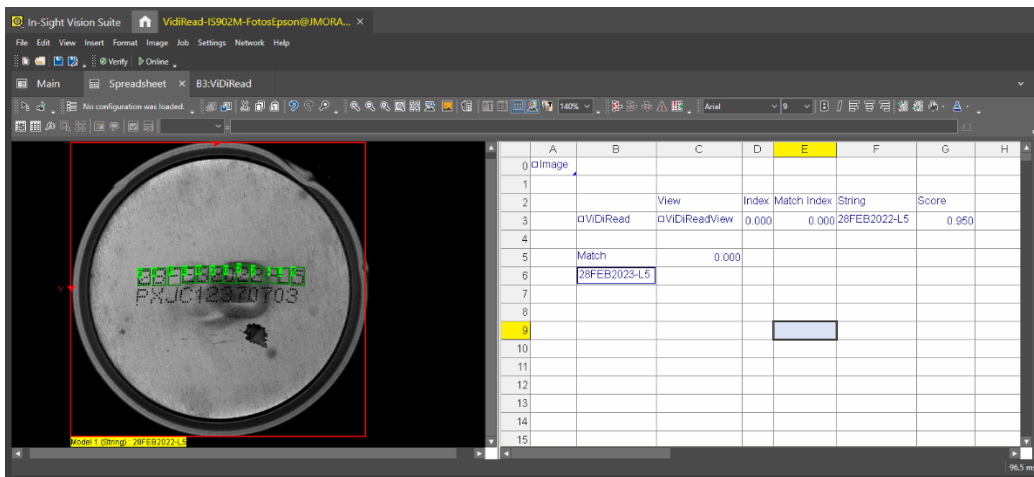


Figura E-8:Toma adicional de validación de velocidad de captura 8.

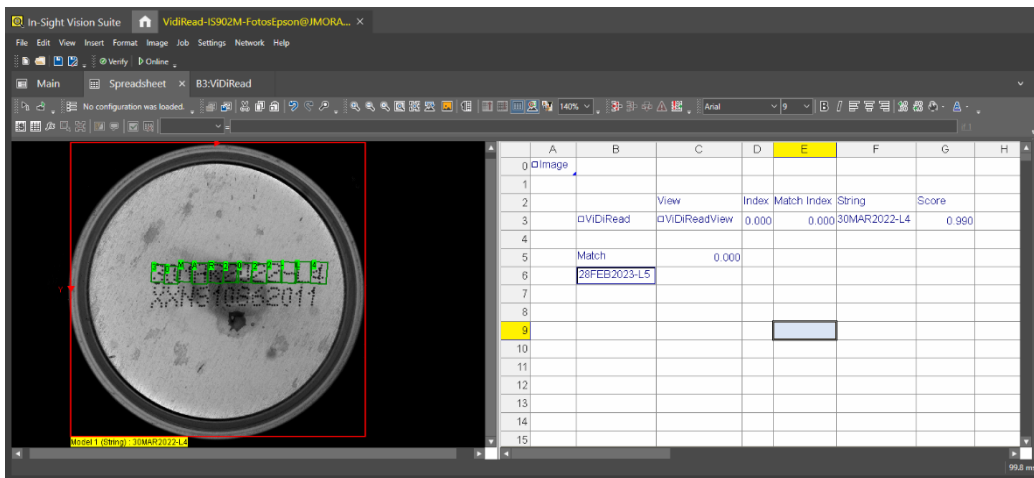


Figura E-9:Toma adicional de validación de velocidad de captura 9.

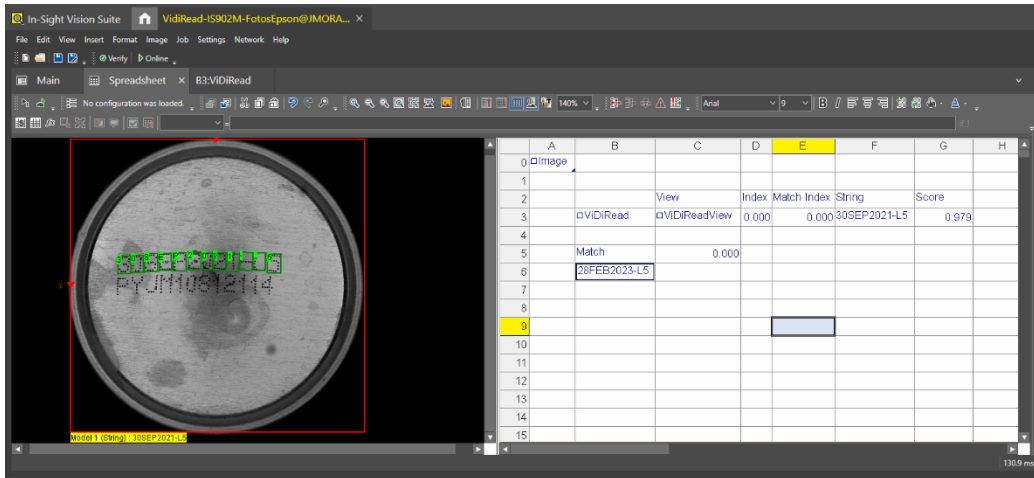


Figura E- 10:Toma adicional de validación de velocidad de captura 10.

## 10.6 Apéndice F: Tabla de especificaciones de VisionView 900

Tabla F-1: Especificaciones de VisionView 900. Aclaración: Aunque la tabla dice VisionView700, esta es la tabla que se encuentra en el manual al que lleva en [61]. Tomado de [61].

Specification		VisionView 700
<b>Display</b>	<b>Size</b>	7" WVGA (16:9 aspect ratio)
	<b>Viewable Area</b>	6" (152.4mm) x 3.6" (91.44mm)
	<b>Type</b>	TFT LCD
	<b>Resolution (pixels)</b>	800 x 480 (384,000 pixels)
	<b>Number of Colors</b>	262,144 (18 bits/pixel)
	<b>Luminance</b>	400 nit
	<b>Contrast Ratio</b>	300:1 at minimum 40° viewing angle
<b>Touch Screen</b>	<b>Backlight Life</b>	10,000 hours to 50% brightness <sup>1</sup>
	<b>Analog Resistive</b>	4 wire
	<b>Life Span</b>	>1 Million touches @ 10 - 100 gram-force using a 2mm diameter rubber pointer.
<b>Memory</b>	<b>Light Transmission</b>	78% or better
	<b>System</b>	64MB Mobile SDRAM
	<b>Program</b>	128MB non-volatile flash memory
<b>Cooling System</b>	<b>Video</b>	16MB Video SDRAM
		Fanless Design
<b>I/O</b>	<b>Status LEDs</b>	Network or Sensor Traffic (left LED when facing touch screen) and Power (right LED when facing touch screen)
	<b>Network</b>	5 Ethernet ports, 10/100 BaseT, TCP/IP protocol, Full Duplex (1 LAN for connecting to wide area network and 4 dedicated sensor ports to connect Cognex vision sensors directly, additionally supplying power to In-Sight Micro vision systems through Power over Ethernet <sup>2</sup> ).
	<b>USB</b>	3 Host USB 2.0 (480 Mb/sec.) ports for saving images <sup>3</sup> to a USB drive <sup>4</sup> .
<b>Power Consumption</b>		24VDC ±10%, 2A (1A when not providing Power over Ethernet to In-Sight Micro vision systems). VisionView contains an internal, self-resetting fuse.
<b>Mechanical</b>	<b>Material</b>	ABS plastic (V0 UL Rated) housing (polyethylene touch screen and lexan seals/labels)
	<b>Mounting</b>	Panel. Standalone mounting with optional accessory mounting kit (P/N 820-0005-1R).
	<b>Dimensions</b>	170.3mm (6.70in) x 205.9mm (8.10in) x 52.5mm (2.07in)
	<b>Weight</b>	860g (30.3 oz.)

## **10.7 Apéndice G: Instructivo corto para la correcta configuración de la simulación de un sistema de lectura en una Tablet.**

1. Asegurarse que el Sistema se encuentra fuera de línea. Para ello presione el botón en la esquina superior derecha hasta que las letras “Pause” se pongan amarillas.
2. Presionar el pequeño botón cuadrado gris de Reset para reiniciar el contador. Asegúrese que los números para Total, Buenas, Malas y Porcentaje hayan vuelto a cero.
3. En caso de haber algún texto en el recuadro a la par de “Texto a comparar”, bórralo y escriba 30SEP2021-L5 a como se ve, en mayúscula y sin espacios. Revise de nuevo que el texto ingresado coincide con el que se muestra acá en el instructivo.
4. Asegúrese que el pequeño botón gris de Reset no está marcado.
5. Vuelva a poner al sistema en línea presionando el botón en la esquina superior derecha hasta que las letras “Online” se pongan amarillas.

## 10.8 Apéndice H: Encuesta de experiencia de Usuario para validación de HMI.

### Encuesta de experiencia de usuario

La siguiente encuesta busca recopilar información respecto a la experiencia de usuario tras la simulación de configuración del sistema de lectura diseñado por medio de una interfaz de humano máquina en una tablet.

Para el proyecto de graduación de Jorge Mora Herrera

[Iniciar sesión en Google](#) para guardar lo que llevas hecho. [Más información](#)

\*Obligatorio

¿Cual considera que es su nivel de conocimiento técnico en cuanto a sistemas de \* automatización?  
Please select all that apply

Nulo

Básico

Intermedio

Avanzado

¿Considera las instrucciones brindadas fueron claras?

Si

No

Intermedio

Otro: \_\_\_\_\_

Figura H-1: Encuesta de Experiencia de Usuario para validación de HMI. Segmento del encuestado. Parte 1.

¿Considera que la interfaz gráfica es lo suficientemente clara?

Si

No

Intermedio

Otro: \_\_\_\_\_

Recomendaciones

Tu respuesta \_\_\_\_\_

Siguiete  Página 1 de 2 Borrar formulario

Figura H-2: Encuesta de Experiencia de Usuario para validación de HMI. Segmento del encuestado. Parte 2.

## Encuesta de experiencia de usuario

[Iniciar sesión en Google](#) para guardar lo que llevas hecho. [Más información](#)

**Sección para el investigador**

¿La persona logró configurar el sistema adecuadamente?

Si

No

Comentario

Tu respuesta \_\_\_\_\_

Atrás **Enviar**  Página 2 de 2 Borrar formulario

Figura H-3: Encuesta de Experiencia de Usuario para validación de HMI. Segmento del encuestador.

## 10.9 Apéndice I: Cálculo del peso del sistema

Tabla I- 1: Cálculo del peso del sistema.

<b>Artículo</b>	<b>Peso (g)</b>
Luz domo	285
Soporte domo	62
Cable domo	50
Cámara ISD902M	380
Lente	50
Soporte cámara	50
Cable I/O	50
Cable ethernet	50
VisionView 900	860
Soporte VisionView	150
Sensor	10
Montaje Sensor	15
Cable sensor	50
Tornillería	100
Cables	30
<b>Total</b>	<b>2192</b>

## 10.10 Apéndice J: Diagramas de conexión

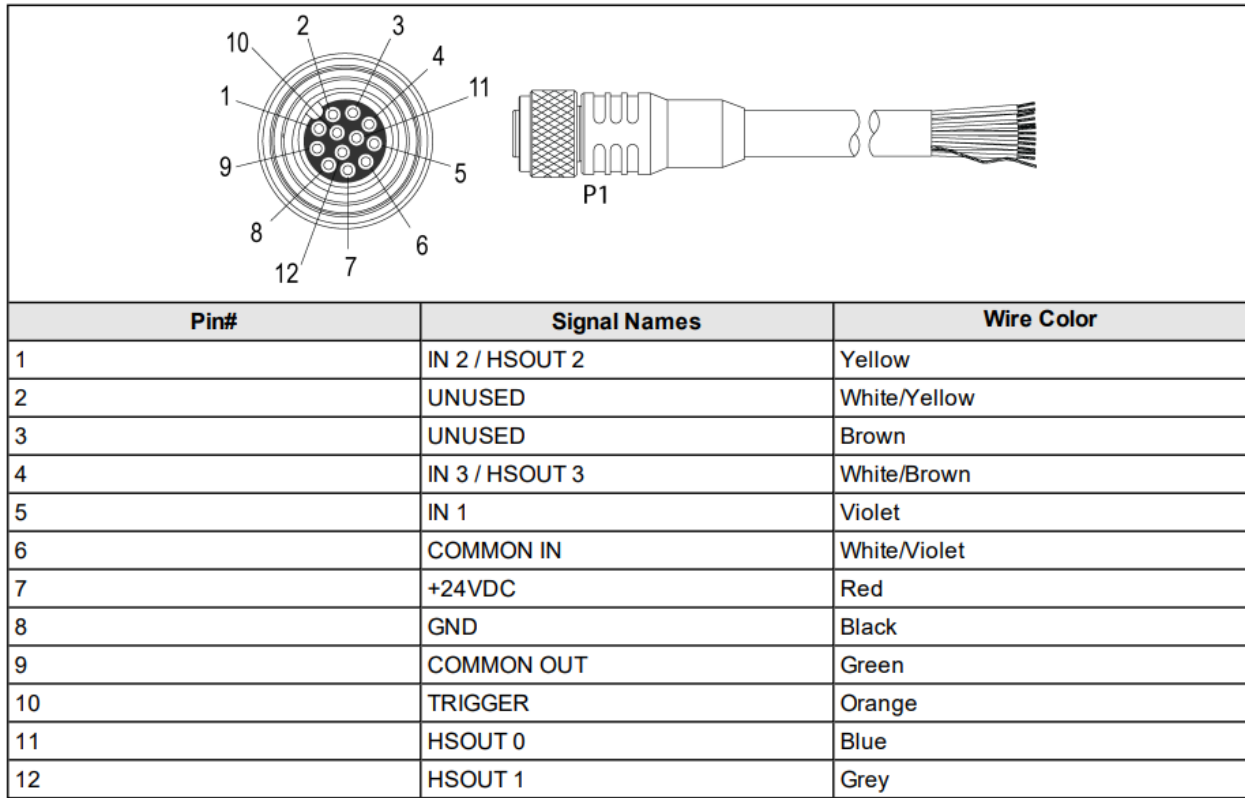


Figura J- 1: Diagrama de conexiones del cable de entradas y salidas de la ISD902M.

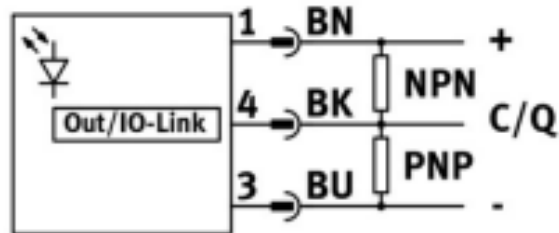


Figura J-2: Diagrama de conexiones del sensor SOOE-DS-R-PNLK-T.

## 10.11 Apéndice K: Plano Eléctrico

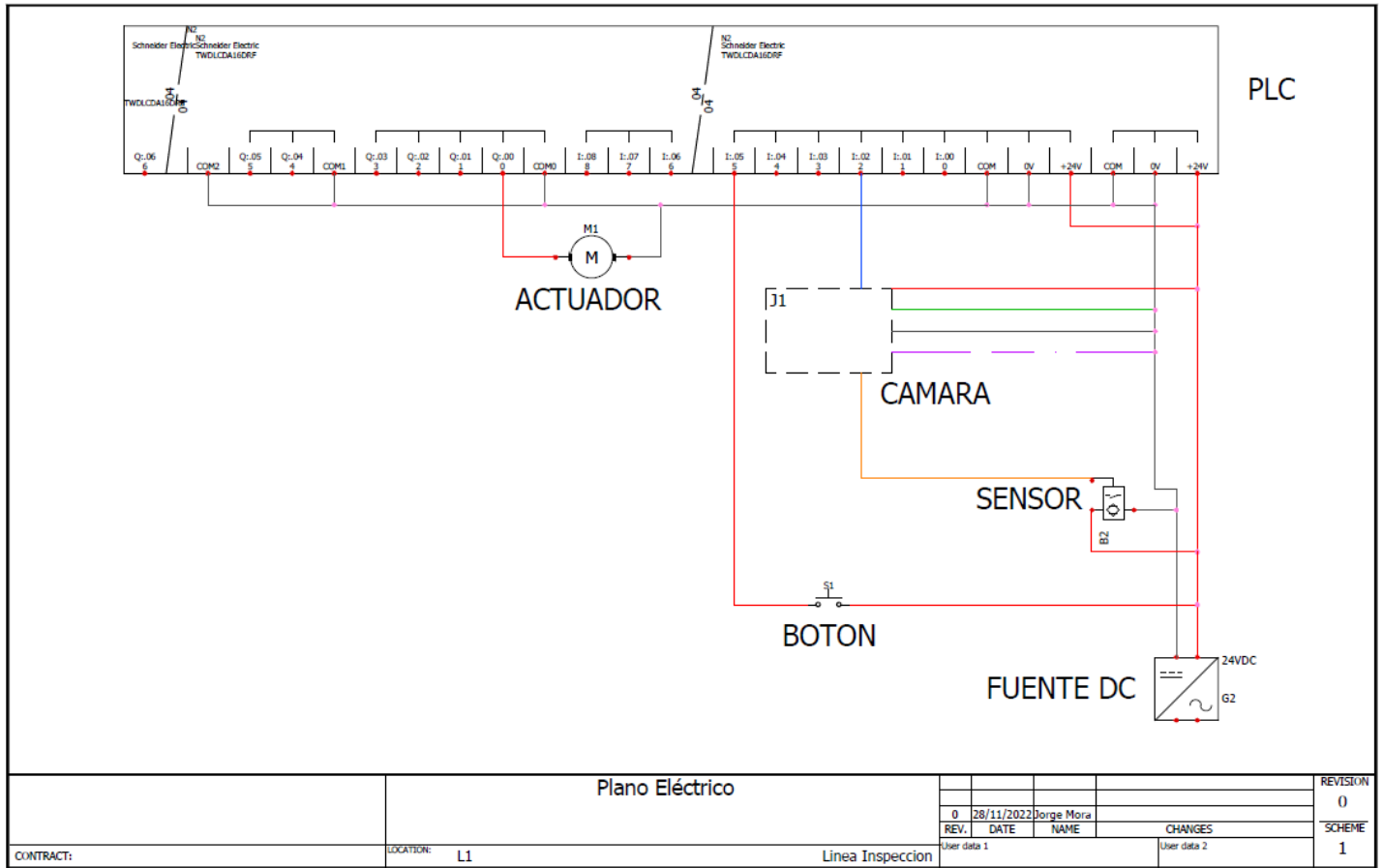


Figura K-1: Diagrama Eléctrico del Sistema