



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: SISTEMA DE FORMACIÓN EN ROBÓTICA INDUSTRIAL
BASADA EN CÉLULAS ROBOTIZADAS KUKA Y VISIÓN ARTIFICIAL**

AUTOR: PILLAJO LEMACHE, ARACELY MONSERRATH

DIRECTOR: MSc.: OROZCO BRITO, LUIS ALBERTO

SANGOLQUÍ

2019



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "**SISTEMA DE FORMACIÓN EN ROBÓTICA INDUSTRIAL BASADA EN CÉLULAS ROBOTIZADAS KUKA Y VISIÓN ARTIFICIAL**" fue realizado por la señorita **Pillajo Lemache Aracely Monserrath** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 8 de Julio del 2019

Firma:

Ing. Luis Alberto Orozco Brito, MSc

C. C: 1710443803



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Pillajo Lemache Aracely Monserrath**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **SISTEMA DE FORMACIÓN EN ROBÓTICA INDUSTRIAL BASADA EN CÉLULAS ROBOTIZADAS KUKA Y VISIÓN ARTIFICIAL** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz

Sangolquí 8 de Julio del 2019

Firma:

Aracely Monserrath Pillajo Lemache

C. C: 1724467756



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Pillajo Lemache Aracely Monserrath** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **SISTEMA DE FORMACIÓN EN ROBÓTICA INDUSTRIAL BASADA EN CÉLULAS ROBOTIZADAS KUKA Y VISIÓN ARTIFICIAL** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 8 de Julio del 2019

Firma:

Aracely Monserrath Pillajo Lemache

C. C. 1724467756

DEDICATORIA

Mi trabajo de titulación está dedicado con todo cariño a mis padres Ramón y Ermita quienes han sabido tener mucha dedicación y paciencia en el transcurso de mi vida. Además, quienes con mucho amor y esfuerzo han sabido conducirme en el camino correcto hasta conseguir mis objetivos, apoyándome incondicionalmente en esta etapa universitaria.

A mí querida hermana Jessenia, quien ha sido la mejor hermana ya que siempre me ha brindado su amor y apoyo. A toda mi familia quienes han sabido estar presente y me han brindado de cualquier manera su apoyo para lograr este importante objetivo. A mis abuelitos que en base a su esfuerzo y ejemplo han podido enseñarme lo importante de la vida.

A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa universitaria, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme compartir y vivir grandes experiencias, bendiciéndome con la oportunidad de disfrutar de todas las personas que quiero y que tengo muy presente en mi corazón.

Gracias a mis padres por brindarme su apoyo incondicional en cada momento, ya que sin ellos no lograría esta meta. A mis abuelitos, tíos y primos, quienes me han ayudado desde comencé mi carrera universitaria.

Agradezco a mi tutor de tesis quien fue promotor de este proyecto de investigación, quien impartió varios de sus conocimientos y experiencias para la culminación de este trabajo.

Gracias a mis amigos quienes de una u otra manera me permitieron compartir y aprender de ellos.

Infinitamente gracias a todos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Justificación e Importancia	3
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos	4
1.4. Alcance	5
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Visión Artificial con Cámara Web.....	7
2.1.1. Componentes Visión Artificial	7
2.1.2. Sensor CCD	8
2.1.3. Calibración de Cámara.....	9
2.1.4. Representación y adquisición de imágenes	10
2.1.5. Cámara Web	12
2.1.6. Preprocesamiento	12
2.1.7. Segmentación de Imágenes.....	13
2.1.8. Descripción y Representación (Extracción de Rasgos).....	14
2.1.9. Identificación o Clasificación	14
2.2. Visión Artificial con Cámara Industrial.....	15

2.2.1. In-Sight Explorer.....	15
2.2.2. Hardware Sensor Cognex In-Sight 7600.....	17
2.2.3. Conexión Cámara In-Sight 7600 y Software In-Sight Explorer.....	18
2.2.4. Preprocesado de la Imagen.....	19
2.2.5. Análisis de la Imagen.....	21
2.3. Célula Robotizada.....	22
2.3.1. Robot KUKA KR3 R540.....	22
2.4. Dispositivos Electrónicos.....	24
2.4.1. Controlador Lógico Programable (PLC) S7-1200.....	24
2.4.2. Panel de Visualización o Touch panel KTP700 Basic.....	25
2.4.3. Computador HP Spectre x360 13.....	25
2.4.4. Switch CSM 1277.....	26
2.5. Programas.....	26
2.5.1. Programa para Sistema de Visión Artificial con Cámara Industrial.....	27
2.5.2. Programa para Sistema de Visión Artificial con Cámara Web.....	28
CAPÍTULO III.....	31
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA CÉLULA ROBOTIZADA DE VISIÓN ARTIFICIAL.....	31
3.1. Diseño de Soportes para Cámara Cognex.....	32
3.2. Diseño de Sistema de Actuación (Banda Transportadora).....	33
3.2.1. Dimensionamiento de Componentes del Sistema de Actuación.....	33
3.3. Selección de Sensores.....	34
3.4. Diseño de Soportes para Sensores.....	36
3.5. Diseño de Soporte para Cámara Web.....	37
3.6. Diseño de Grippers o Pinzas.....	37
3.7. Diseño de Piezas de Madera.....	39
3.8. Arquitectura de Comunicación de la Célula Robotizada basada en Cámara Industrial.....	40
3.8.1. Configuración conexión PROFINET.....	41
3.8.2. Variables Cámara In-Sight 7600.....	41
3.9. Arquitectura de Comunicación de la Célula Robotizada basada en Cámara Web.....	50

CAPÍTULO IV	53
GUÍAS DE PRÁCTICAS	53
4.1. Práctica 1: Introducción a la Visión Artificial: Identificación y Clasificación de Patrones.....	54
4.1.1. Objetivo General.....	54
4.1.2. Objetivos Específicos	54
4.1.3. Descripción General de la Actividad.....	54
4.1.4. Materiales	55
4.1.5. Alcance.....	57
4.2. Práctica 2: Identificación y Clasificación de Códigos 1D y 2D	58
4.2.1. Objetivo General.....	58
4.2.2. Objetivos Específicos	58
4.2.3. Descripción General de la Actividad.....	59
4.2.4. Materiales	59
4.2.5. Alcance.....	61
4.3. Práctica 3: Control de Nivel de Llenado de Bebidas Embotelladas	63
4.3.1. Objetivo General.....	63
4.3.2. Objetivos Específicos	63
4.3.3. Descripción General de la Actividad.....	63
4.3.4. Materiales	64
4.3.5. Alcance.....	66
4.4. Práctica 4: Localización y Clasificación de Objetos Metalúrgicos (Sistema Pick And Place- Cámara Cognex)	68
4.4.1. Objetivo General.....	68
4.4.2. Objetivos Específicos	68
4.4.3. Descripción General de la Actividad.....	69
4.4.4. Materiales	69
4.4.5. Alcance.....	72
4.5. Práctica 5: Localización y Clasificación de Objetos Metalúrgicos (Sistema Pick And Place- Cámara Web)	73
4.5.1. Objetivo General.....	73
4.5.2. Objetivos Específicos	73

4.5.3. Descripción de la Actividad	74
4.5.4. Materiales	74
4.5.5. Alcance.....	76
CAPÍTULO V	79
EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS Y RESULTADOS	79
5.1. Práctica 1: Introducción a la Visión Artificial: Identificación y Clasificación de Patrones.....	79
5.2. Práctica 2: Identificación y Clasificación de Códigos 1D y 2D	81
5.3. Práctica 3: Control de Nivel de Llenado de Bebidas Embotelladas	84
5.4. Práctica 4: Localización y Clasificación de Objeto Metalúrgicos (Sistema Pick And Place - Cámara Cognex 7600).....	86
5.5. Práctica 5: Localización y Clasificación de Objeto Metalúrgicos (Sistema Pick And Place - Cámara Web)	88
CAPÍTULO VI	93
6.1. Conclusiones	93
6.2. Recomendaciones	95
6.3. Trabajos futuros	96
BIBLIOGRAFÍA.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Especificaciones Cámara Web para PC</i>	12
Tabla 2: <i>Especificaciones Cámara In-Sight 7600</i>	18
Tabla 3: <i>Datos Técnicos Robot KUKA KR3 R540</i>	23
Tabla 4: <i>Especificaciones Técnicas PLC-S7 1200</i>	24
Tabla 5: <i>Especificaciones Técnicas Touch panel KTP700 Basic</i>	25
Tabla 6: <i>Especificaciones Técnicas HP Spectre x360 13</i>	26
Tabla 7: <i>Especificaciones Técnicas Motor</i>	34
Tabla 8: <i>Parámetros de Análisis para Selección de Sensores</i>	35
Tabla 9: <i>Características Módulo Láser</i>	36
Tabla 10: <i>Módulo Cámara In-Sight 7600</i>	42
Tabla 11: <i>Campos de Control de Adquisición de la Cámara In-Sight 7600</i>	43
Tabla 12: <i>Campo de Estado de Adquisición de la Cámara In-Sight 7600</i>	44
Tabla 13: <i>Motivos de Estado Offline de la Cámara In-Sight 7600</i>	45
Tabla 14: <i>Campo de Control de Inspección de la Cámara In-Sight 7600</i>	46
Tabla 15: <i>Campo de Estado de la Inspección de la Cámara In-Sight 7600</i>	47
Tabla 16: <i>Campo de Resultados de la Inspección de la Cámara In-Sight 7600</i>	48
Tabla 17: <i>Campo de Información de Usuario de la Cámara In-Sight 7600</i>	49
Tabla 18: <i>Detalle de Materiales Guía Práctica 1</i>	55
Tabla 19: <i>Detalle de Materiales Guía Práctica 2</i>	60
Tabla 20: <i>Detalle de Materiales Guía Práctica 3</i>	65
Tabla 21: <i>Detalle de Materiales Guía Práctica 4</i>	69
Tabla 22: <i>Detalle de Materiales Guía Práctica 5</i>	75
Tabla 23: <i>Lectura de Códigos 1D y 2D</i>	83
Tabla 24: <i>Píxeles Obtenidos con Nivel de Sobrellenado</i>	85
Tabla 25: <i>Tabla de Momentos de Hu (Tornillo)</i>	90
Tabla 26: <i>Tabla de Momentos de Hu (Tuerca)</i>	90
Tabla 27: <i>Parámetros Comparativos con Cámara Industrial</i>	91
Tabla 28: <i>Parámetros Comparativos con Cámara Web</i>	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes principales de un sistema de visión artificial.....	8
Figura 2. CCD (Charge Couple Device)	9
Figura 3. Patrones de Calibración de Zhang	10
Figura 4. Sensor de imagen individual (Izquierda) y Sensor de Array (Derecha)	10
Figura 5. Ejemplo del proceso de adquisición de imágenes digitales.....	11
Figura 6. Representación Digital de Imágenes	11
Figura 7. Webcam	12
Figura 8. Diagrama del proceso de Reconocimiento de Objetos.....	13
Figura 9. Modelo Básico de una Red Artificial	15
Figura 10. Vista General Software In-Sight Explorer	16
Figura 11. Cámara COGNEX	17
Figura 12. Ajustes de Red para la Conexión del Sensor Cognex.....	19
Figura 13. Herramienta “Patrón” de Opción Configurar Imagen	21
Figura 14. Ajustes de Valores para Herramienta Patrón.	22
Figura 15. Robot KUKA KR3 R540.....	23
Figura 16. Gráfico del Campo de Trabajo Robot KUKA KR3 R540	23
Figura 17. Partes externas del PLC S7-1200	24
Figura 18. Touch Panel KTP700 Basic.....	25
Figura 19. Computador HP Spectre.....	26
Figura 20. Switch CSM 1277	26
Figura 21. Vista del proyecto TIA Portal	27
Figura 22. Software In-Sight Explorer V 5.7.0.....	28
Figura 23. Entorno Software WorkVisual V4.0.....	28
Figura 24. Software Utilizado para Sistema de Visión Artificial con Cámara Web.....	29
Figura 25. Configuración Sockets Python.....	30
Figura 26. Soporte Vertical para Manejo Manual de Cámara In-Sight 7600.....	32
Figura 27. Soporte Horizontal para Manejo Manual de Cámara In-Sight 7600.....	32
Figura 28. Modelo Banda Transportadora (Vista Delantera vs Vista Posterior).....	33
Figura 29. Motor de 12 VDC para Banda Transportadora	34
Figura 30. Sensor Rayo Láser	35
Figura 31. Módulo Láser KY-008	36
Figura 32. Soporte 1 Módulo Láser KY-008.....	36
Figura 33. Soporte 2 Módulo Láser KY-008.....	37
Figura 34. Soporte para Cámara Web.....	37
Figura 35. Gripper Diseñado en SOLIDWORKS para Objetos Metalúrgicos.....	38
Figura 36. Gripper Diseñado en SOLIDWORKS para Bebidas Embotelladas.....	38
Figura 37. Pieza Cuadrado	39
Figura 38. Pieza Cruz	39
Figura 39. Pieza Octágono	40

Figura 40. Pieza Casa	40
Figura 41. Diagrama de Bloques de Celda Robotizada con Visión Artificial basada en Cámara Industrial.....	41
Figura 42. Conexión Profinet entre Dispositivos Electrónicos.....	50
Figura 43. Diagrama de Bloques de la Celda Robotizada con Visión Artificial basada en Cámara Web.....	51
Figura 44. Comunicación Profinet entre PLC S7-1200 y Controlador KUKA KRC4.	51
Figura 45. Bloques de Comunicación TCP/IP.....	52
Figura 46. Figuras Propuestas a Identificar vs Base para clasificar figuras.....	55
Figura 47. Diagrama de Relación de Componentes de Célula de Visión Artificial - Práctica 1.....	58
Figura 48. Códigos de Barras 1D y 2D	59
Figura 49. Diagrama de Relación de Componentes de Célula de Visión Artificial Práctica 2.....	62
Figura 50. Imagen Proceso Control de Nivel de Bebidas Embotelladas.....	64
Figura 51. Diagrama de Relación de Componentes de Célula de Visión Artificial - Práctica 3.....	68
Figura 52. Calibración de Herramienta y Ejes del Robot KUKA KR3 R540 (DERECHA) – Colocación de Objetos en Caja con Comportamientos (Izquierda)	69
Figura 53. Diagrama de Relación de Componentes de Célula de Visión Artificial - Práctica 4.....	73
Figura 54. Robot KUKA KR3 R540 y objeto metalúrgico detectado.	74
Figura 55. Diagrama de Relación de Componentes de Célula de Visión Artificial - Práctica 5.....	78
Figura 56. Figura de Madera (Hexágono) para Identificación de Patrones	81
Figura 57. Resultado de Lectura Código 2D.....	83
Figura 58. Control de Nivel de Bebidas Embotelladas.....	86
Figura 59. Rechazo de Objeto Metalúrgico (Arandela).....	88
Figura 60. Detección de Tornillo y Tuerca en Software Académico	91

RESUMEN

La visión artificial es un campo en el que mediante la utilización de técnicas aplicadas al análisis de imágenes se extrae información característica para ser empleada en una gran gama de aplicaciones que tienen como objetivos el de facilitar acciones que son recurrentes en las industrias como: automatizar procesos donde se requiere inspecciones sin el contacto físico de operadores y el control de calidad de productos que aparecen con imperfecciones. Por otro lado, la visión artificial trabaja en conjunto con otros dispositivos electrónicos y sistemas de actuación que hacen posible las funciones de sujeción y clasificación, como el empleo de robots industriales los cuales facilitan acciones repetitivas con reducción de tiempo. Este proyecto tiene como finalidad diseñar y elaborar prácticas de laboratorio utilizando componentes industriales como: célula robotizada KUKA KR3 R540, cámara industrial COGNEX, cámara web y dispositivos electrónicos para ejecutar acciones de identificación, localización y clasificación, campos muy utilizados en la visión artificial. Con las prácticas de laboratorio, los estudiantes del Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, podrán acceder a nuevos conocimientos teóricos y prácticos enfocados a la visión artificial, quienes desarrollarán destrezas en la programación de programas como In-Sight Explorer, WorkVisual y TIA PORTAL utilizados para los aplicativos industriales a emular.

PALABRAS CLAVE:

- **VISIÓN ARTIFICIAL**
- **ROBOT KUKA KR3 R540**
- **CÁMARA COGNEX**
- **CÁMARA WEB**

ABSTRACT

Artificial vision is a field that through the use of techniques applied to the analysis of images is extracted characteristic information to be used in a wide range of applications whose objectives are to facilitate actions that are recurrent in industries such as: automate processes where it requires inspections without the physical contact of operators and the quality control of products that appear imperfect. On the other hand, artificial vision works in conjunction with other electronic devices that make clamping and classification functions possible, such as the use of industrial robots which facilitate repetitive actions with time reduction. The purpose of this project is to design and develop laboratory practices using industrial components such as: KUKA KR3 R540 robotic cells, COGNEX industrial camera, web camera and electronic devices to perform identification, location and classification actions, fields widely used in artificial vision. With the laboratory practices, the students of the Department of Electrical, Electronics and Telecommunications of the University of the Armed Forces, ESPE, will be able to access new theoretical and practical knowledge focused on artificial vision, who will develop skills in the programming of the softwares used for the industrial applications to be emulated.

KEYWORDS:

- **ARTIFICIAL VISION**
- **ROBOT KUKA KR3 R540**
- **CAMERA COGNEX**
- **WEBCAM**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se pretende realizar la integración de componentes tecnológicos para realizar un conjunto de prácticas de Visión Artificial. Entre algunos de los principales componentes a utilizar está un sistema robótico de la marca KUKA Robotics, así como de una cámara comercial de la marca COGNEX y una cámara de propósito general para la identificación e inspección de objetos.

El grupo de prácticas de laboratorio tiene como objetivo principal relacionar a los estudiantes pertenecientes al Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, a materias de estudio como Visión Artificial y Robótica Industrial. Temas que en la actualidad son necesarios, ya que incorporan la utilización de dispositivos electrónicos y robots industriales para la ejecución de tareas de inspección repetitivas sin la necesidad de estar presente un supervisor. Mediante la realización de las prácticas de laboratorio se aporta a múltiples beneficios como la mejora de capacidades técnicas y destrezas de los estudiantes para el desarrollo de aplicaciones como identificación, localización y clasificación de objetos. Por otro lado, en posteriores secciones de este proyecto se enfocará en el diseño e implementación de sistemas industriales de Visión Artificial y sistemas educativos llamándolo así a la formación de sistemas de Visión Artificial mediante la utilización de software computacionales como lo es Matlab u OpenCV.

En los posteriores apartados del capítulo, se describe el proyecto mediante antecedentes, justificación, objetivos y alcance; parámetros que especifican el problema y soluciones para la ejecución de este proyecto de investigación.

1.1. Antecedentes

El cambio tecnológico es considerado uno de los principales impulsores del crecimiento industrial y económico de un país, permitiendo así el desarrollo científico; el mismo que es considerado hoy en día un elemento indispensable para impulsar el mejoramiento de la industrialización. (Nora, 2009)

En décadas pasadas las innovaciones causaron una revolución en los procesos de producción y mejoraron los estándares de vida (ONU, 2016), así que con el desarrollo de la tecnología e innovación, la industrialización ha tenido un lugar importante en ciertos sectores permitiendo así el mejoramiento de calidad de productos.

En varias investigaciones desarrolladas en la Industria Ecuatoriana se ha implementado la tecnología de Visión Artificial con diferentes objetivos y aplicados en diferentes industrias; como en la industria alimenticia para detectar la ubicación de granos secos de diferente tonalidad o la extracción de características de frutas específicas. En cambio en la industria maderera ha sido utilizada la Visión Artificial para la identificación de colores o defectos presentes en productos.

Este tipo de inspecciones han sido ejecutadas mediante la realización de sistemas de visión por computador con cámaras digitales y algoritmos matemáticos que son parte de la Inteligencia Artificial.

Por otro lado, en el año de 1995 la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) como eje principal de formación de profesionales da apertura al Laboratorio de Robótica Industrial a cargo del DEEL (Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones). Este laboratorio fue dotado de equipos tecnológicos propios de ese tiempo, el mismo constó con 5 robots CRS A255 y sistemas DegenSystem, pero con el paso del tiempo aproximadamente 23 años, estos equipos ya no se encuentran operativos ya que han cumplido su tiempo de vida útil y deben ser reemplazados. Debido a estas razones se pretende repotenciar el laboratorio de Robótica Industrial con una nueva adquisición de equipos, 7 células de propósito general integradas por:

PLC S7-1200, controlador KRC4 Compact, manipulador robot KUKA KR3 R540, panel de visualización, además de 2 cámaras COGNEX; dispositivos pertenecientes a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

Todo este equipamiento permitirá fomentar el desarrollo de habilidades mediante actividades. Además, con la utilización de estos equipos industriales, los estudiantes podrán desarrollar nuevos proyectos y dotarse de conocimientos para que puedan dar soluciones a los problemas presentes de la industria ecuatoriana.

1.2. Justificación e Importancia

Con la adquisición de los nuevos recursos tecnológicos por parte del DEEL (Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones), se pretende utilizar celdas robotizadas para mejorar el nivel educativo de los estudiantes a nivel de ingeniería y permitir su desenvolvimiento frente a problemas recurrentes de las industrias. Los estudiantes serán capaces de utilizar nueva tecnología que se está aprovechando en la industria como es la Visión Artificial, en la cual se engloba en proporcionar “ojos” a un robot para distinguir detalles que no son visibles por el ojo humano, incrementando así la calidad y el rendimiento de la producción (COGNEX, 2016). Actualmente la Visión Artificial está en fase de crecimiento y en gran demanda debido a que permite automatizar tareas repetitivas, que son ejecutadas con precisión y rapidez. (España, 2015).

De esta manera se pretende incorporar Visión Artificial a una celda robotizada para incrementar al robot con nuevas posibilidades, como la percepción de su entorno, favoreciendo e impulsando nuevas capacidades, como la toma de decisiones de alto nivel (Valero, 2006). Finalmente, mediante la utilización de estos sistemas un estudiante podrá adquirir práctica en la manipulación de robots y simular un trabajo de entorno industrial, permitiendo así un desarrollo profesional requerido actualmente en las industrias.

Por otro lado, se realiza una entrevista que permite medir el grado de conocimiento de los estudiantes con respecto al campo de la Visión Artificial, por lo que se procede a entrevistar a los estudiantes que conforman parte del Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, quienes manifiestan lo siguiente:

De las 25 personas entrevistadas, 95% han escuchado de la Visión Artificial, de las cuales consideran que la Visión Artificial es un tema de gran complejidad, pero cuando se les preguntó sobre si les gustaría tener el conocimiento necesario para su aplicación en varios campos industriales el 95% tuvo una gran aceptación, mientras que 5% respondieron en forma negativa.

También se les preguntó acerca la conveniencia de implementar los aplicativos de Visión Artificial en los laboratorios de Robótica a este respecto el 98% lo consideró necesario y sólo 2% considera inconveniente su implementación

Con estas opiniones queda claro como la mayoría de los estudiantes del Departamento de Electrónica ha escuchado hablar sobre la Visión Artificial, no obstante, cabe resaltar que se considera convenientemente su implementación y por lo tanto se esperaría la colaboración de nuevas guías de estudio para sacar provecho máximo de estas nuevas herramientas que dispone el laboratorio.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar e implementar células robotizadas para fomentar habilidades prácticas a nivel de ingeniería mediante Visión Artificial.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar la identificación de patrones a través de una cámara industrial para ejercer acciones de clasificación con el robot KUKA KR3 R540.
- Realizar el control de calidad de un proceso de embotellamiento en la industria de bebidas, por medio de una célula robotizada de la marca KUKA y una cámara industrial de la marca COGNEX.

- Clasificar partes o piezas de procesos metalúrgicos por medio del robot KUKA KR3 R540, así como de una cámara industrial y software de la marca COGNEX
- Clasificar partes o piezas de procesos metalúrgicos por medio del robot KUKA KR3 R540, así como de una cámara web y software académico.
- Medir la longitud de piezas metalúrgicas para verificar configuraciones de calibración de la cámara industrial COGNEX.
- Implementar mediante software académico, algoritmos de visión por computador (preprocesado, segmentación, identificación de imagen) a partir de las imágenes obtenidas con una cámara de propósito general, para detectar elementos de interés relacionados a procesos industriales propuestos.

1.4. Alcance

Con la realización de este proyecto se tiene como objetivo la realización de células robotizadas con Visión Artificial que permitirán el desarrollo de prácticas a nivel de ingeniería, simulando de cierta manera sistemas industriales, lo cual permitirá el desenvolvimiento de destrezas de los estudiantes, con conceptos aprendidos durante el transcurso de la carrera de Ingeniería Electrónica.

Se realizarán prácticas de laboratorio, cada una consistirá en la utilización de diferentes herramientas o parámetros para la utilización de conceptos de Visión Artificial, permitiendo así la identificación de características de objetos, así como el desarrollo de variadas aplicaciones.

Entre uno de los sistemas a desarrollarse será el Control de Nivel durante la Inspección de Embotellamiento realizado comúnmente para el control de calidad de bebidas, este sistema utilizará una célula basada en un robot industrial, un PLC, una pantalla industrial, una banda para el transporte de las botellas y una cámara industrial.

Otro de los sistemas emulará un proceso de la Industria Metalúrgica, se colocará elementos metálicos sobre una banda transportadora, que los conducirá hacia la

cámara industrial y se determinará la posición de este objeto para que el robot lo sujete y lo coloque en cierto lugar.

Por otro lado, la cámara de propósito general denominada así a una cámara web de bajo costo, se la utilizará para la identificación de objetos para su clasificación, mediante el lenguaje de programación Python, que en conjunto con la célula robotizada permitirán simular un proceso industrial.

Estos sistemas podrán ser supervisados mediante un HMI y con la utilización de pantallas industriales se verificará el funcionamiento de cada sistema. Además, la programación de movimientos de las células robotizadas será realizada en nivel experto utilizando software industrial y se lo ejecutará en el laboratorio de Robótica Industrial.

En los siguientes capítulos, se detallará ciertos conceptos utilizados en el campo de la Visión Artificial tanto en el desarrollo general como industrial utilizados durante la realización de estas prácticas de laboratorio. Es importante mencionar que la Visión Artificial es un extenso campo que engloba varios conceptos y que, mediante el análisis de cualquier tipo de información especial obtenida a través de imágenes digitales, se podrá realizar un determinado proceso. Para este caso las aplicaciones realizadas con los sistemas de visión descritos, pretenden utilizar una muestra del gran campo de conceptos de Visión Artificial; permitiendo conocer, aprender y diferenciar que existen sistemas que varían en la forma de utilización y procesamiento de las imágenes, pero en si ambos desembocan en similares objetivos y aplicaciones.

Finalmente, en los últimos capítulos se indicará el diseño e implementación de componentes utilizados para la cada uno de los aplicativos de la célula de Visión Artificial, así como la arquitectura de comunicación implementada en los sistemas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se muestra el desarrollo de la Visión Artificial tanto en forma académica como industrial, para lo cual se ha dividido en dos importantes partes que detallan la utilización de una cámara de propósito general y una cámara industrial, para el desarrollo de aplicativos o prácticas con el robot KUKA KR3 R540.

La Visión Artificial con la utilización de una cámara web permite la utilización de técnicas de procesamiento adecuadas y lograr un análisis de imágenes digitales para la identificación de objetos; es decir que no requiere de programas comerciales ni de costosos dispositivos electrónicos para desarrollar varias aplicaciones. En cambio, la Visión Artificial con la utilización de una cámara industrial requiere trabajar con un software comercial para la extracción e identificación de características propias de objetos. Por lo tanto, en este capítulo se podrá diferenciar el modo de empleo, extracción y envío de datos (procesamiento) tanto para la cámara industrial como para la cámara de propósito general permitiendo así dar una pauta al desarrollo de varias aplicaciones con diferentes objetivos.

Además, este capítulo muestra una breve introducción a posteriores capítulos de Diseño e Implementación y elaboración de prácticas; información necesaria para introducirse en los aplicativos realizados en este proyecto.

Al final de este capítulo se muestra una descripción técnica de los diferentes componentes utilizados previos al diseño de la célula robotizada con Visión Artificial, así como los programas a utilizarse tanto para la cámara industrial y la cámara de propósito general.

2.1. Visión Artificial con Cámara Web

2.1.1. Componentes Visión Artificial

Las principales componentes de un sistema de visión artificial incluyen iluminación, lente, sensor de imagen, procesamiento de visión y comunicaciones. (COGNEX, In-Sight 7000 Series Vision System, 2018). Ver *Figura 1*.

La iluminación de un elemento o figura es uno de los factores que influyen para la extracción de características puesto que, permite captar una imagen de manera clara. El lente captura la imagen y la presenta al sensor en forma de luz, en cambio el sensor de la cámara convierte la luz en una imagen digital.

El procesamiento de la imagen obtenida consiste en algoritmos que extraen información, ejecutan la inspección y toman una decisión. (COGNEX, Introducción a la Visión Artificial, 2016)

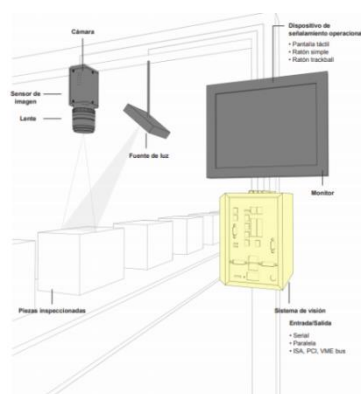


Figura 1. Componentes principales de un sistema de visión artificial

Fuente: (COGNEX, Introducción a la Visión Artificial, 2016)

2.1.2. Sensor CCD

Es un circuito integrado que fue inventado por Willard Boyle y George Smith en el año de 1970. Los sensores CCD son los más utilizados en las cámaras digitales, ya que un sensor CCD convierte la luz entrante en cargas eléctricas y las envía a otra parte de la cámara fotográfica en donde se procesará tal información. Esto reduce al mínimo el ruido y la calidad de la imagen aumenta. (Gordillo, 2004)

Un sensor CCD transforma la energía de la luz incidente en energía eléctrica. La carga eléctrica almacenada en la celda es posteriormente transportada utilizando un registro de desplazamiento para conformar una señal de video (Gordillo, 2004). Ver *Figura 2*.

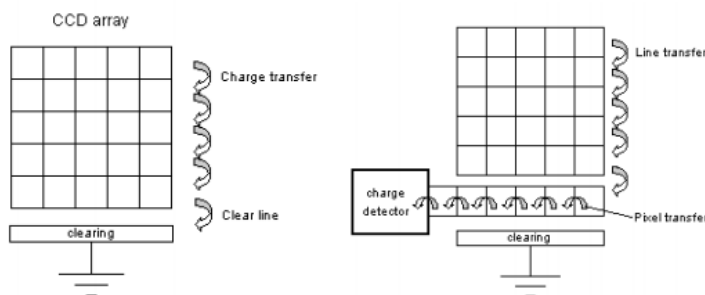


Figura 2. CCD (Charge Couple Device)

Fuente: (Gordillo, 2004)

2.1.3. Calibración de Cámara

2.1.3.1. Modelo de Calibración

Calibrar una cámara es obtener los parámetros intrínsecos y extrínsecos de una cámara, en base a imágenes capturadas. Se denominan parámetros intrínsecos a datos que muestran información propia de la cámara. En cambio, los parámetros extrínsecos denotan la transformación del sistema de coordenadas tridimensional al de la cámara. (Luzardo, 2009)

Obtenidos los parámetros intrínsecos y extrínsecos se puede decir que la cámara está calibrada para representar cualquier punto del mundo real sobre el plano 2D, lo que resulta muy útil para aplicaciones de visión como realidad aumentada. (Luzardo, 2009)

Modelo de Calibración de Zhang

Este método se basa en un patrón plano, el cual puede ser tipo tablero de ajedrez o círculos. Ver *Figura 3*.

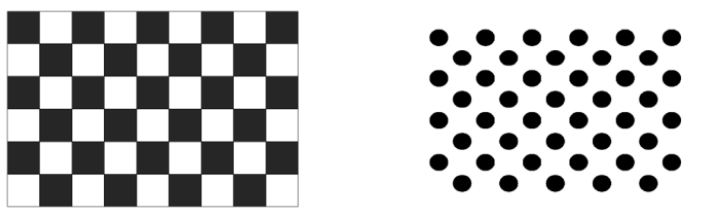


Figura 3. Patrones de Calibración de Zhang

Fuente: (Gordillo, 2004)

El algoritmo utiliza los puntos de las esquinas extraídos del patrón o los centros del tablero de círculos para calcular una transformación proyectiva entre los puntos de N imágenes diferentes. (Lanzaro, 2018)

2.1.4. Representación y adquisición de imágenes

La energía entrante al sensor CCD, es transformada en voltaje por la combinación de energía eléctrica de entrada y el material del sensor que responde al tipo particular de energía que se detecta. Ver *Figura 4*. La forma de onda del voltaje de salida es la respuesta de los sensores y una señal digital. La cantidad se obtiene de cada sensor digitalizando su respuesta. (Woods, 2002)

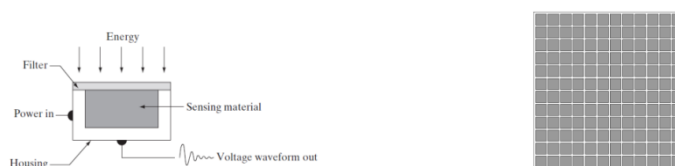


Figura 4. Sensor de imagen individual (Izquierda) y Sensor de Array (Derecha)

Fuente: (Woods, 2002)

El sistema de imágenes es una lente que proyecta la escena vista en la lente, la matriz del sensor que coincide con el plano focal, produce salidas proporcionales a la integral de la luz recibida en cada sensor (Woods, 2002). Los circuitos digitales y analógicos barren estas salidas y convierten a una señal de video, que luego es digitalizada. Ver *Figura 5*.

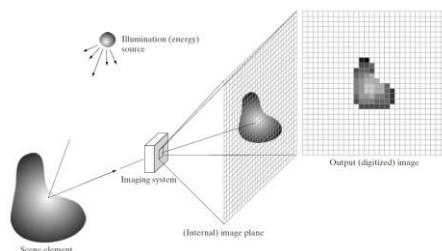


Figura 5. Ejemplo del proceso de adquisición de imágenes digitales.

Fuente: (Woods, 2002)

Una imagen $f(x, y)$ se muestrea de modo que, la imagen digital resultante tenga M (filas) y N (columnas). Los valores de coordenadas a lo largo de la primera fila de la imagen se representan como $(x, y) = (0, 1)$. La notación descrita permite escribir la imagen digital de $M * N$ en una matriz. Ver *Figura 6*.

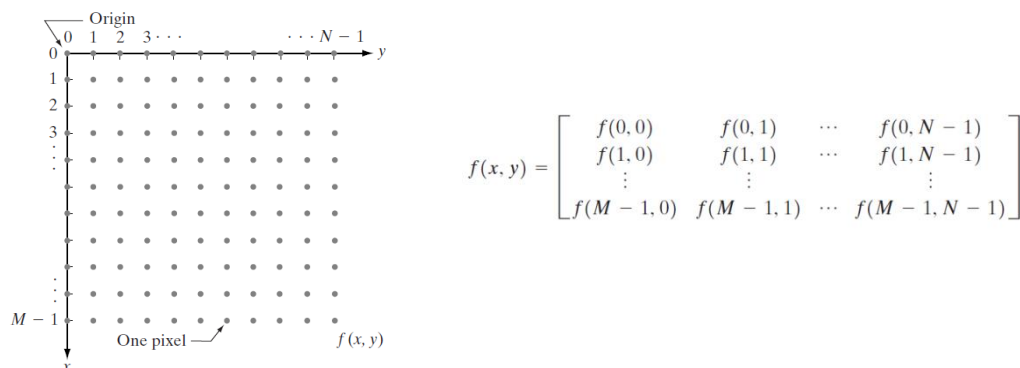


Figura 6. Representación Digital de Imágenes

Fuente: (Woods, 2002)

Cada elemento de la matriz generada se denomina elemento de imagen o píxel en los términos de imagen. Denominándose píxel como la unidad más pequeña de una imagen que está conformada con colores homogéneos.

2.1.5. Cámara Web

Para la adquisición de imágenes de uno de los aplicativos a realizar, se utiliza un dispositivo cotidiano de bajo costo como una cámara web. Se muestra en la *Tabla 1*, sus especificaciones técnicas.

Tabla 1:
Especificaciones Cámara Web para PC

Tipo de Sensor	CMOS
Resolución	640 x 480
Interface	USB
Cuadros por segundo	30 cuadros/segundo
Tamaño del Sensor	4386 x 3.64 mm



Figura 7. Webcam

2.1.6. Preprocesamiento

Es aplicar técnicas de mejoramiento de contraste, reducción de ruido, realce de características, de modo que la imagen se adecue para las posteriores etapas del procesamiento. (Wilfrido, 2015).

Los objetivos del Preprocesamiento de imágenes son la mejora de las imágenes degradadas y la obtención de un realce de las características de la imagen. (Gloria & Dorado, 2007). La degradación viene dada normalmente por:

- Falta de contraste entre niveles de grises o tonalidad. (Gloria & Dorado, 2007)
- Ruido Aleatorio: Puede ser ruido Gaussiano e Impulsivo. (Gloria & Dorado,

2007)

- Ruidos Sistemático: Son perturbaciones que aparecen por falta de iluminancia. (Gloria & Dorado, 2007)
- Distorsión geométrica: Producida por las lentes ópticas de las cámaras.

El preprocesado permite destacar elementos de la imagen, así como ofrecer color en determinadas zonas de una imagen en tonos de grises que el ojo humano aprecia mucho mejor que los contrastes cromáticos. (Gloria & Dorado, 2007)

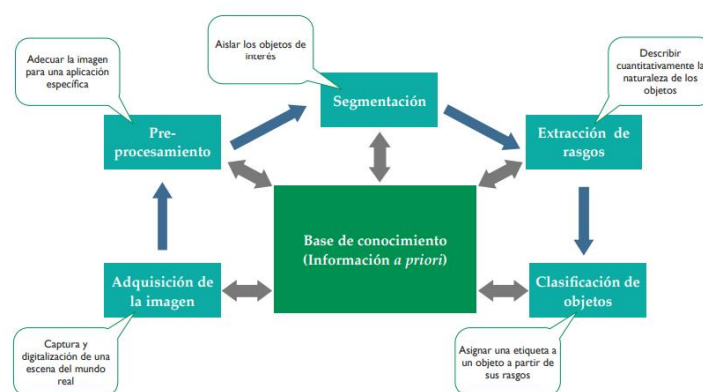


Figura 8. Diagrama del proceso de Reconocimiento de Objetos.

Fuente: (Wilfrido, 2015)

2.1.7. Segmentación de Imágenes

La segmentación de imágenes se enfoca en descomponer la imagen en sus componentes, es decir separa objetos de interés en base a ciertas características propias, que permiten distinguir un objeto entre otro; además del fondo de una imagen.

Los algoritmos de segmentación de imágenes monocromáticas generalmente se basan en una de las dos propiedades básicas de los valores del nivel de gris: discontinuidad y similitud. En la discontinuidad el método consiste en dividir una imagen basándose en los cambios bruscos del nivel de gris. (Nora, 2009)

Los temas más importantes en la discontinuidad son:

- Detección de puntos aislados. (Abellanas, 2018)

- Detección de líneas. (Abellanas, 2018)
- Detección de bordes de una imagen. (Abellanas, 2018)

En la similaridad se presenta la regularidad en los principales métodos que están basados en:

- Umbralización. (Abellanas, 2018)
- Crecimiento de Región. (Abellanas, 2018)
- División y Fusión de Regiones. (Abellanas, 2018)

2.1.8. Descripción y Representación (Extracción de Rasgos)

La imagen después de ser segmentada debe ser representada mediante dos posibilidades:

- **En base a sus características externas:** Mediante su contorno, esta es elegida cuando el objeto principal se centra en la forma del objeto
- **En base a sus características internas:** Mediante los píxeles que comprenden la región.

2.1.9. Identificación o Clasificación

El reconocimiento de objetos es la tarea de encontrar e identificar automáticamente objetos en una imagen. Existen varias formas de identificación, pero solo se detalla la utilizada en el presente proyecto como son las Redes Neuronales.

Redes Neuronales

Las redes neuronales son sistemas de procesamiento de información cuya estructura y funcionamiento se basan en las redes neuronales biológicas, estas redes interactúan para procesar datos y aprender con la experiencia. Tienen una gran importancia ya que pueden resolver problemas como los de visión, y su procesamiento logra respuestas en tiempo real.

En la *Figura 9.* , se muestra la arquitectura genérica de una red neuronal artificial.

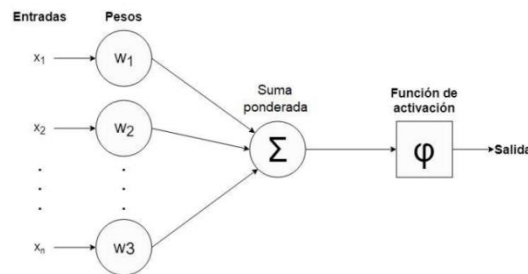


Figura 9. Modelo Básico de una Red Artificial

Fuente: (Martín, 2018)

- **Entradas:** Son los datos numéricos iniciales o las salidas de otras neuronas.
- **Pesos:** El factor de ponderación por el que se multiplicará la entrada correspondiente.
- **Salida:** El valor numérico que la neurona produce tras realizar diferentes cálculos.
- **Suma ponderada:** Cada entrada es multiplicada por su peso correspondiente, y se realiza el sumatorio de todas estas multiplicaciones. El valor resultante es la entrada a la función de activación.
- **Función de activación:** Su principal función es mantener los valores producidos por la neurona dentro de un rango razonable (En muchas ocasiones 0 y 1). Existen diferentes funciones de actuación y se destacan entre ellas la gaussiana y la sigmoideal.

2.2. Visión Artificial con Cámara Industrial

2.2.1. In-Sight Explorer

In-Sight Explorer es un software propio de la marca Cognex, el cual permite obtener imágenes mediante comunicación Profinet para trabajar en conjunto con varios dispositivos electrónicos. Ver *Figura 10*. Este software es capaz de adquirir las imágenes mediante una variedad de opciones propias del sistema, además dispone de herramientas que permiten la inspección de ciertas características propias a identificar por parte de un operario.

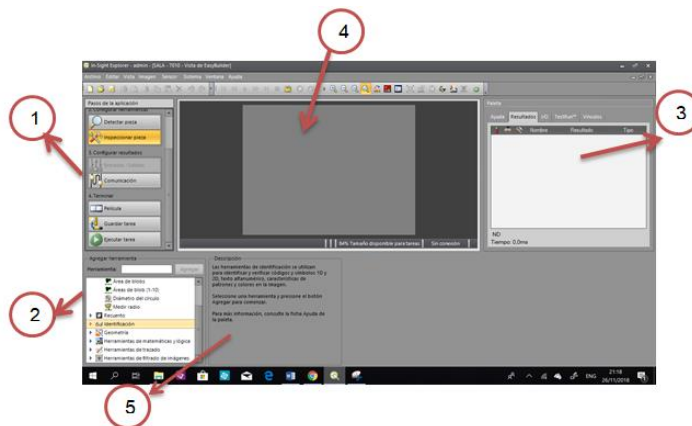


Figura 10. Vista General Software In-Sight Explorer

1. **Pasos de Aplicación:** Es una ventana localizada en la parte izquierda del software que muestra cuatro pasos que muestran una guía para el proceso de configuración de la imagen, así como el envío de información hacia otros dispositivos.
2. **Paleta de herramientas:** Es un conjunto completo de herramientas de visión para localizar, medir, contar e identificar características, además de herramientas de matemática, lógica, geometría y visualización gráfica.
3. **Tabla de Resultados:** Esta tabla muestra los resultados obtenidos al aplicar varias de las herramientas y gracias a luces indicadoras muestran el estado de la herramienta identificada.

4. Centrado en la imagen: Esta ventana con la utilización del cursor de mouse permite utilizar herramientas de forma rápida para configurar los objetos de interés a identificar.

5. Panel de configuración: Esta ventana aparece cuando se ajusta los parámetros de las herramientas de visión.

2.2.2. Hardware Sensor Cognex In-Sight 7600

El sensor o cámara In-Sight 7600 es un potente sistema de visión que contiene específicas funciones para la realización de inspecciones de piezas y es empleado en la mayoría de industrias. Ver *Figura 11*.



Figura 11. Cámara COGNEX

La cámara Cognex In-Sight 7600 utiliza un sensor CMOS que es un dispositivo digital electrónico que regula luminosidad y el contraste de las imágenes capturadas. Ver *Tabla 2*.

Tabla 2:
Especificaciones Cámara In-Sight 7600

MEMORIA DE PROCESAMIENTO DE IMAGEN	512MB
TIPO DE SENSOR	CMOS
RESOLUCIÓN	800x600
CUADROS POR SEGUNDO	217/165
TAMAÑO DE BIT	256 niveles de grises (8 bits / pixel)
TIPO DE LENTE	Montaje- C / Montaje-S con autoenfoco
ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA	24 VDC
MATERIAL	Carcasa de aluminio
PROTECCIÓN	IP67
TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO	5°C hasta 40°C
ALMACENAJE ADICIONAL	Tarjeta SD de 8 GB

Fuente: (COGNEX, In-Sight 7000 Series Vision System, 2018)

2.2.3. Conexión Cámara In-Sight 7600 y Software In-Sight Explorer

Una vez instalado el software In-Sight Explorer, la cámara Cognex debe ser conectada físicamente a un cable de alimentación y de comunicación, respectivamente.

Al encender la cámara Cognex y al abrir el software In-Sight Explorer, automáticamente el dispositivo aparecerá en la parte inferior izquierda de la Ventana de “Seleccione un Sensor”. Posteriormente al seleccionar el botón “Agregar” dentro las opciones que muestra el software, se visualizará la ventana denominada “Agregar dispositivos a la red”.

El software buscará la cámara conectada a la red mediante direcciones MAC, en la misma ventana deberá configurar una dirección IP y una máscara de subred que se asignará a la cámara. Ver *Figura 12*.

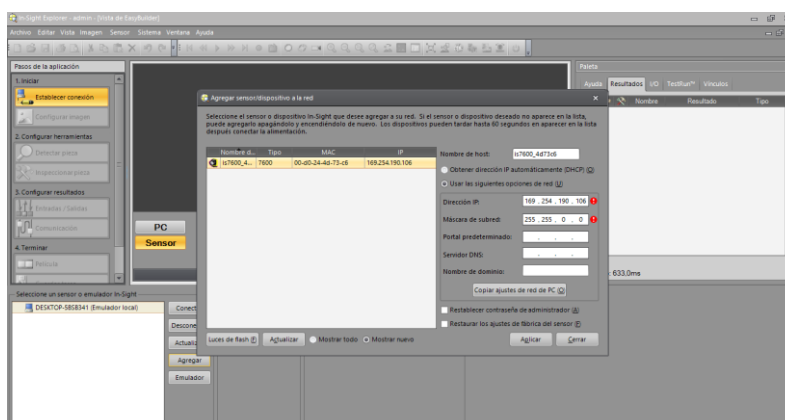


Figura 12. Ajustes de Red para la Conexión del Sensor Cognex.

Captura de Imagen

Para realizar la adquisición de la imagen, se colocará las piezas a analizar en el área de captura de imagen de la cámara, además se utilizará elementos diseñados para cada práctica.

2.2.4. Preprocesado de la Imagen

Al realizar varias capturas de imágenes de forma “Manual” se observa que las imágenes obtenidas son de poca calidad debido a las condiciones de enfoque. Por lo tanto, se realiza un preprocesado de la imagen, con lo cual el software dispone de una serie de herramientas presentes en la pestaña “Configurar Imagen”, los cuales permitirán obtener imágenes con mejor calidad.

Algunas de las opciones que presenta el software y que se pueden ajustar se describen a continuación:

- **Disparador (Trigger):** Es un menú que muestra algunas de las siguientes opciones: *Cámara*, *Continuo*, *Externo*, *Manual*, *Red* y *Ethernet Industrial*, donde se podrá escoger la manera en que se adquirirá la imagen.
- **Retardo de disparo (mseg):** Esta opción permite añadir un ciclo de tiempo después de enviar la orden de capturar una imagen.
- **Intervalo de Disparo (mseg):** Es el intervalo de tiempo entre la toma de imagen

de una tras otra.

- **Exposición (mseg):** Le permite especificar el tiempo de exposición. Cuando la cámara In-Sight recibe una señal de activación, la luz se integra en la matriz CCD durante el tiempo especificado, es decir que le permite ajustar la exposición de la imagen, es decir añadir más o menos luz a la imagen.
- **Autoexposición:** Permite definir un área específica en la imagen que se expondrá durante la adquisición de la imagen. Se debe seleccionar “Disparo continuo” o “Único” en el menú desplegable de “Autoexposición” para habilitar esta funcionalidad.
- **Tiempo de Exposición Máximo:** Tiempo máximo de exposición de la imagen.
- **Brillo Objetivo de la Imagen:** Ajuste del brillo de la imagen mediante software, se debe seleccionar “Disparo continuo” o “Único” en el menú desplegable de *Exposición automática* para habilitar esta funcionalidad.
- **Fila Inicial:** Permite ajustar el cuadro de captura de la imagen.
- **Número de Filas:** Este valor numérico alcanza el valor de 600 ya que ajusta el número de filas en píxeles de la imagen.
- **Modo Control de Luz:** Permite activar o desactivar los leds de iluminación de la cámara.

El menú desplegable “Disparador (Trigger)” le permite especificar la fuente de activación de la adquisición de imágenes cuando la cámara In-Sight está en línea y presenta las siguientes opciones de selección:

Cámara: Activa la adquisición de la imagen en un flanco ascendente detectado en el puerto de entrada de entrada del hardware de la cámara.

Continuo: Permite la libre adquisición de imágenes en ejecución.

Externo: Habilita la adquisición de imágenes en un comando en serie o en el flanco ascendente aplicado a un bit de entrada discreta configurado como un activador de adquisición.

Manual: Habilitar la adquisición de imágenes presionando F5.

Red: Permite la adquisición de imágenes cuando se activa el sistema "maestro" de In-Sight especificado en la red.

2.2.5. Análisis de la Imagen

Identificación de Patrón

En la parte izquierda del software se visualizará el botón denominado "Detectar Pieza", el mismo mostrará varias herramientas que permitirán ejecutar una tarea, para este caso se utilizará la herramienta "Patrón". Ver *Figura 44*.

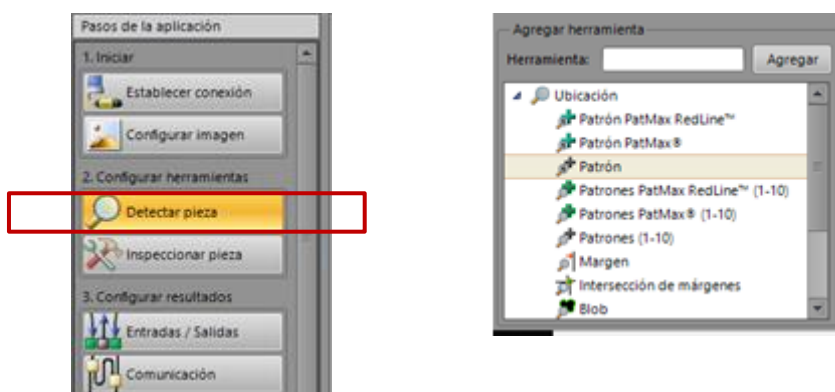


Figura 13. Herramienta "Patrón" de Opción Configurar Imagen

Al seleccionar el botón "Agregar" después de seleccionar la herramienta "Patrón", se visualizará dos recuadros en color verde y morado.

El recuadro verde también denominado "Modelo", permite ajustar a la pieza a identificar como un patrón. En cambio, el recuadro "Buscar" permite ajustar al área donde se puede localizar la pieza a identificar, ya que los objetos a analizarse pueden estar en cualquier posición.

Una vez configurado el patrón a identificar se visualizará variables en la "Ventana de Resultados", al seleccionar la herramienta resultante se accederá a la configuración de parámetros. Ver *Figura 14*.

- Nombre de la Herramienta (Tool Name)
- Elemento de la Herramienta (Tool Fixture)

- Herramienta Habilitada (Tool Enable)
- Entrenar Entrada
- Aceptar umbral
- Tolerancia de Rotación
- Tolerancia de la Escala (Scale Tolerance:)
- Offsets
- Tipo de Modelo (Model Type)
- Precisión (Accuracy)
- Tiempo de Espera

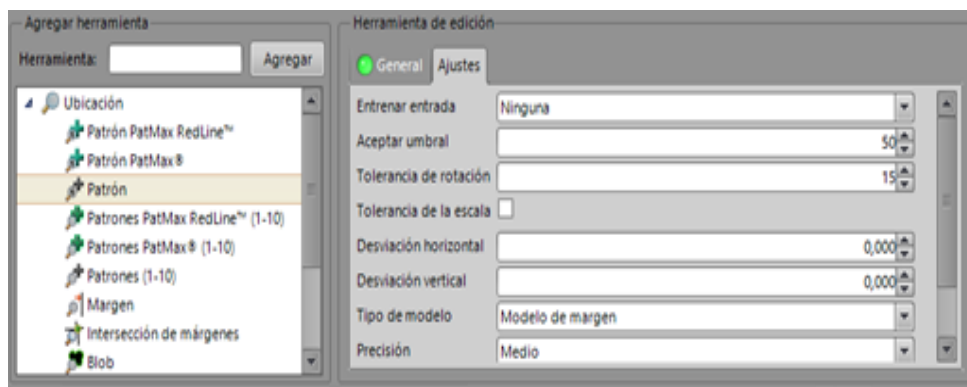


Figura 14. Ajustes de Valores para Herramienta Patrón.

2.3. Célula Robotizada

2.3.1. Robot KUKA KR3 R540

El robot KR3 R540 es un manipulador compacto que permite realizar movimientos flexibles en un reducido espacio y es utilizado para ejecutar tareas de producción repetitivas y con una gran rapidez. Ver *Figura 15*.

Este robot tiene 6 articulaciones, cada una de estas posee un cierto rango de trabajo, si se desea acoplar cierta carga al robot este solo soporta una carga máxima de 2 kg. Es decir, de acuerdo a las especificaciones técnicas del robot se puede efectuar ciertas aplicaciones para que este pueda ejecutar con éxito sus movimientos. Ver *Tabla 3*.

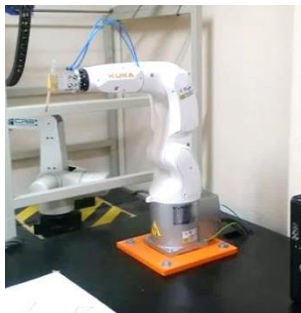


Figura 15. Robot KUKA KR3 R540

Tabla 3:

Datos Técnicos Robot KUKA KR3 R540

Alcance Máximo	541 mm
Carga Máxima	2 kg
Número de Ejes	6
Posición de Montaje	Piso, Techo, Pared
Peso	Aprox. 26.5 kg
Índice de Protección	IP40

Fuente: (KUKA, KR 3 R540, 2018)

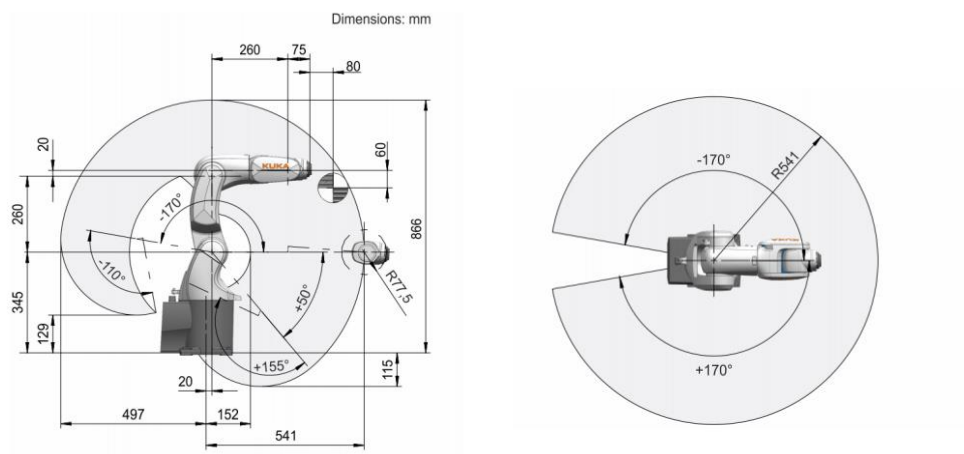


Figura 16. Gráfico del Campo de Trabajo Robot KUKA KR3 R540

2.4. Dispositivos Electrónicos

Entre los elementos electrónicos proporcionados por el Laboratorio de Robótica que conformarán parte de la célula de Visión Artificial se describen a continuación:

2.4.1. Controlador Lógico Programable (PLC) S7-1200

El PLC S7-1200 es un dispositivo que se utiliza para la programación de lógicas de control de procesos industriales. Se usan en la actualidad en todo tipo de aplicaciones industriales, para resolver requerimientos de procesos de control, así como una amplia gama de formas de comunicación que puede emplearse para un determinado proceso. Ver *Tabla 4*.

Tabla 4:
Especificaciones Técnicas PLC-S7 1200

MLFB	6ES7212-1BE40-0XBO
CPU	1212C
Versión	AC/DC/Relé
Alimentación	110/220 VAC
Entradas Digitales	8 DI a 24 VDC
Salidas Digitales	6 DO tipo relé
Entradas Analógicas	2 AI (voltaje)
Salidas Analógicas	No
Comunicación	Profinet/Profibus/RS485/RS232



Figura 17. Partes externas del PLC S7-1200

2.4.2. Panel de Visualización o Touch panel KTP700 Basic

Es una pantalla electrónica en la que se puede visualizar y controlar los programas denominados HMI de un proceso en específico. Ver *Tabla 5*.

Tabla 5:

Especificaciones Técnicas Touch panel KTP700 Basic

MLFB	6AV2123-2GB03-0AX0
Pantalla	TFT, 64.000 colores
Tamaño	7"
Resolución	800 x 480
Interfaz de Comunicación	Profinet/ Industrial Ethernet (RJ45)
Software de Programación	TIA Portal WinCC Basic V11 o Superior



Figura 18. Touch Panel KTP700 Basic

2.4.3. Computador HP Spectre x360 13

Tabla 6:
Especificaciones Técnicas HP Spectre x360 13

Sistema Operativo	Windows Home 10
Procesador	Intel Core i7 de octava generación
Pantalla	13,3" Full HD
Memoria	8 GB
Almacenamiento	256 GB
Peso	1.26 Kg



Figura 19. Computador HP Spectre

2.4.4. Switch CSM 1277

El switch es un dispositivo que permite la interconexión de redes y realizar topologías lineales y en estrella. Ver *Figura 20*.



Figura 20. Switch CSM 1277

2.5. Programas

Para que exista un intercambio de datos entre los componentes electrónicos de la sección 2.4, se requiere de los siguientes programas:

2.5.1. Programa para Sistema de Visión Artificial con Cámara Industrial

Los dispositivos electrónicos de sección 2.4 utilizan la interfaz de comunicación Profinet, el cual es un estándar o tecnología Ethernet para el intercambio rápido de datos con capacidad en tiempo real. Entre los programas que se utilizan para establecer dicha comunicación se detallan a continuación:

2.5.1.1. TIA Portal

Este software proporciona un entorno de fácil manejo para programar la lógica del controlador, configurar la visualización de HMI y definir la comunicación por red. (SIEMENS, 2009). Ver *Figura 21*.

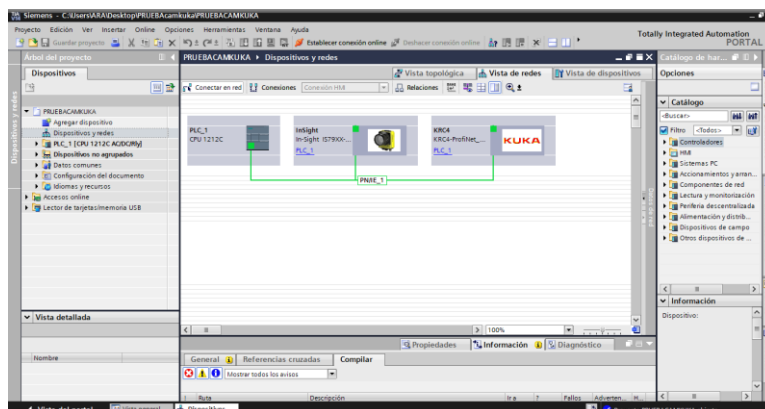


Figura 21. Vista del proyecto TIA Portal

2.5.1.2. In-Sight Explorer V5.7.0

Es un software propio de la marca COGNEX que muestra una interfaz para el control de la cámara industrial. Posee varias herramientas que permiten la captura de la imagen, así como de varias opciones de comunicación con dispositivos externos. Ver *Figura 22*.

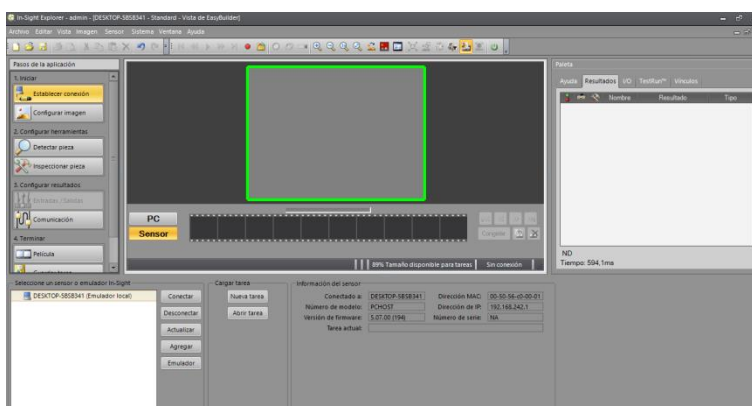


Figura 22. Software In-Sight Explorer V 5.7.0

2.5.1.3. WorkVisual V4.0

Es un entorno de programación a nivel de ingeniería que permite la configuración y el diagnóstico de células robóticas de la marca KUKA. Ver *Figura 23*.

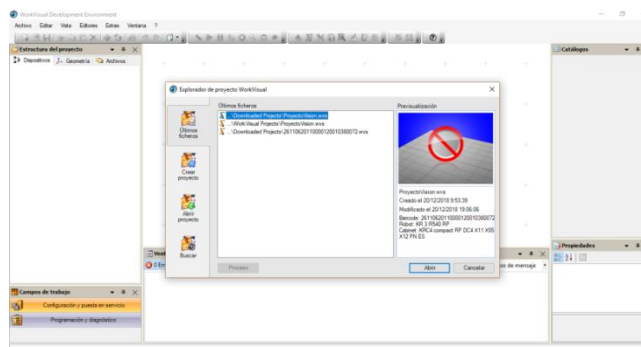


Figura 23. Entorno Software WorkVisual V4.0

2.5.2. Programa para Sistema de Visión Artificial con Cámara Web

Entre uno de los lenguajes de programación a utilizar para el sistema de visión artificial con cámara web se detalla a continuación:

PYTHON

Python es un lenguaje de programación donde se puede efectuar algoritmos de procesamiento con gran rapidez y está enfocado a la programación orientada a objetos. Su entorno y comandos que se utilizan para su programación son muy similares a otros lenguajes de programación, convirtiéndolo así en uno de los lenguajes de programación muy utilizado en varias aplicaciones tecnológicas de la actualidad.

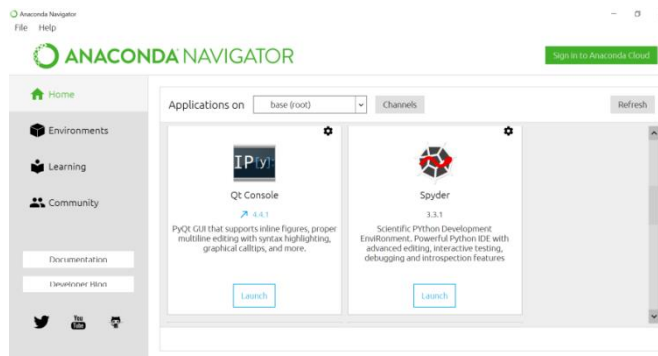


Figura 24. Software Utilizado para Sistema de Visión Artificial con Cámara Web

Por otro lado, se implementa una comunicación asíncrona, debido a que la adquisición y procesamiento de las imágenes la realiza un sistema computacional realizado con el lenguaje de programación Python.

La información resultante del sistema computacional se envía al PLC S7-1200, porque en este caso el computador será el controlador del sistema de Visión Artificial. Por lo tanto, para que exista intercambio de datos entre el controlador KRC4 y el PLC S7-1200 se realiza las configuraciones de la comunicación habilitando los sockets que son métodos que permiten que los programas puedan comunicarse entre sí.

Una vez obtenidos los datos en el PLC S7-1200, estos datos son enviados al controlador del robot KUKA KRC4, este controlador solo recibe valores lógicos es decir 0 o 1. Por lo que se implementa la comunicación Profinet para la comunicación entre PLC y el controlador del robot KUKA KRC4.

Todas estas configuraciones se las realiza en el software TIA Portal que en conjunto con el software Spyder, que es un entorno multiplataforma para la programación en lenguaje Python permitirán el intercambio de información.

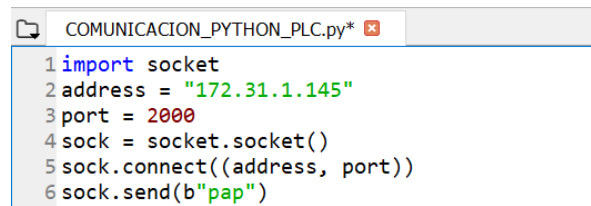
SOCKETS

Un socket de red es un punto final de un flujo de comunicación que permite mantener una comunicación activa con la máquina cliente y el servidor; es decir la máquina

cliente puede interactuar con lo que le responda el servidor, por ejemplo, se puede enviar string, bool, o números. Los sockets pueden utilizar el protocolo TCP o UDP.

SOCKETS PYTHON

Python proporciona funciones para trabajar con los sockets, donde se configura la dirección IP del dispositivo a recibir la información; así como el mensaje a enviar.

A screenshot of a code editor window titled 'COMUNICACION_PYTHON_PLC.py*'. The code is as follows:

```
1 import socket
2 address = "172.31.1.145"
3 port = 2000
4 sock = socket.socket()
5 sock.connect((address, port))
6 sock.send(b"pap")
```

Figura 25. Configuración Sockets Python

CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA CÉLULA ROBOTIZADA DE VISIÓN ARTIFICIAL

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE posee 7 células robotizadas de propósito general, las cuales están conformadas por: 1 PLC S7-1200 SIEMENS, 1 Panel de Visualización, 1 Controlador KRC4 Compact, 1 manipulador KR3 R540 marca KUKA. Además, se encuentra en la adquisición 2 cámaras industriales de la marca COGNEX, dispositivos que permiten la realización de ciertas prácticas de laboratorio de este proyecto.

En el presente capítulo se diseñará e implementará componentes que formarán parte y convertirán a la célula de propósito general, en una célula robotizada de Visión Artificial; ya que estos elementos no forman parte de los dispositivos de la célula de propósito general proporcionados por el Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE. Por otro lado, estos componentes permitirán ejecutar los aplicativos de manera didáctica, ya que los estudiantes podrán visualizar y manipular objetos con la ayuda del Robot KUKA KR3 R540.

Además, estos componentes ejercerán funciones propias de cada aplicación; entre ellos una banda transportadora para el desplazamiento de bebidas embotelladas y de objetos metálicos como tuercas y tornillos, así como de soportes metálicos para la sujeción de la cámara Cognex, soporte de madera para la sujeción de la cámara web, grippers o pinzas para ejercer acciones de pick and place con el Robot KUKA KR3 R540, soportes para la sujeción de sensores y el diseño de elementos de madera para la identificación y clasificación de cada uno de estos objetos. Como se menciona, estos objetos son de importancia para ejecutar varias acciones de movimiento con el Robot KUKA KR3 R540, ya que el podrá manipular objetos en manera real. Finalmente, se realizará un análisis de varios sensores disponibles en el mercado para su posterior selección.

3.1. Diseño de Soportes para Cámara Cognex

Se propone dos sistemas manuales para la ubicación y manejo de la Cámara In-Sight 7600, debido a que son indispensables para la programación y aplicación de herramientas a configurar en el Software Explorer. Ver *Figura 26* y *Figura 27*.

De tal manera, el robot KUKA KR3 R540 realizará los movimientos programados sin producir choques con la cámara industrial, ya que está localizada fuera del campo de trabajo del robot, parámetros indicados en la sección **2.3.1**.

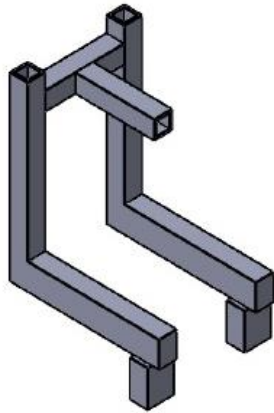


Figura 26. Soporte Vertical para Manejo Manual de Cámara In-Sight 7600

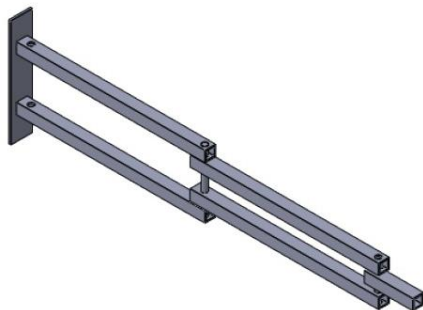


Figura 27. Soporte Horizontal para Manejo Manual de Cámara In-Sight 7600

3.2. Diseño de Sistema de Actuación (Banda Transportadora)

La banda transportadora está diseñada con una banda o correa que se desplaza sobre una placa metálica y sujeta a los laterales con rodillos metálicos, que permiten el ajuste y la rotación de la correa. La ventaja de este tipo de diseño es la gran estabilidad que obtienen los objetos en este tipo de desplazamiento. Además, el costo de este sistema es mucho menor en comparación con diseños en base a rodillos.

En el *Anexo F* se adjunta el diseño y las dimensiones de la banda transportadora en base a las medidas de la mesa de trabajo, donde se encuentra localizado el manipulador del Robot KUKA KR3 R540. Además, se proporciona las vistas laterales y frontales en el software SOLIDWORKS.

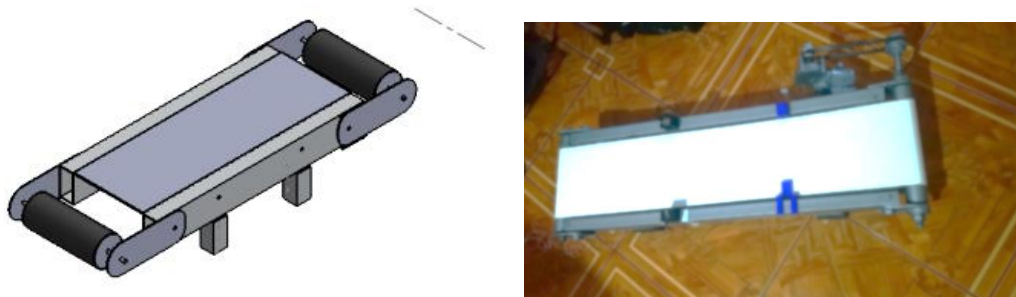


Figura 28. Modelo Banda Transportadora (Vista Delantera vs Vista Posterior)

3.2.1. Dimensionamiento de Componentes del Sistema de Actuación

Para el movimiento de la banda o correa se acopla un motor de 12VDC a ejes metálicos, para la rotación de poleas de hierro fundido de 2" de diámetro. Una de las poleas ejercerá un movimiento continuo que será transferido hacia la otra polea gracias al desplazamiento de una banda de caucho de 12 cm de largo. Este motor permitirá tal movimiento mecánico y está colocado al lado derecho de la estructura para la rotación de las poleas. Ver *Figura 29*.



Figura 29. Motor de 12 VDC para Banda Transportadora

Tabla 7:

Especificaciones Técnicas Motor

Voltaje	12 V
Lugar de Origen	China
Par	90 N.m
Uso	Limpiaparabrisas

3.3. Selección de Sensores

Para la detección de elementos como botellas plásticas y objetos metálicos que son desplazados en la banda transportadora, se implementa sensores de presencia tipo láser debido a que son los únicos que cumplen con los requerimientos para cada de una de las aplicaciones a ejecutarse. Como se observa en la Tabla 8 los sensores tipo láser cubren una distancia mayor a 10 cm y al interrumpir su fuente generan una señal eléctrica que permite la detección de objetos.

Tabla 8:
Parámetros de Análisis para Selección de Sensores

Sensores de Proximidad	Valoración			TOTAL
	50%	30%	20%	
	Costo (<\$15)	Distancia (>10cm)	Precisión ($\pm 4\%$)	
Tipo Inductivo			✓	20%
Tipo Magnético			✓	20%
Tipo Capacitivo			✓	20%
Tipo Fin de Carrera	✓		✓	70 %
Tipo Láser	✓	✓	✓	100 %

Por las razones mostradas con anterioridad, se utiliza el Módulo Láser KY-008 Rojo Tipo Punto debido a su accesibilidad de adquisición y costo. Por otro lado, el módulo no proporciona una señal de salida con voltaje alto, se requiere aumentar ese valor mediante un módulo relé, para enviar la señal a una entrada digital del PLC S7 1200.

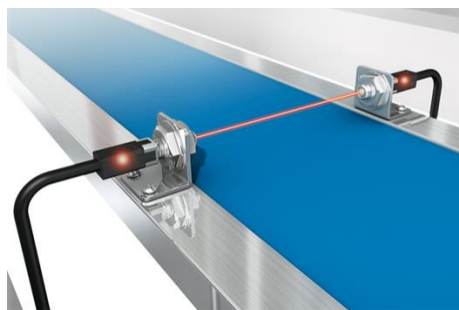


Figura 30. Sensor Rayo Láser

Fuente: (CORPORATION, 2019)

Tabla 9:
Características Módulo Láser

Modelo	Módulo Láser KY-008 Rojo Tipo Punto
Voltaje	5 V
Corriente de Trabajo	30mA
Potencia	5 mW

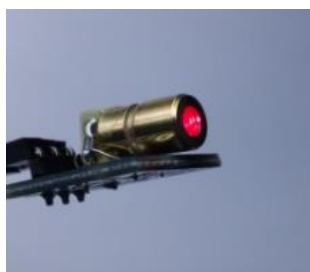


Figura 31. Módulo Láser KY-008

Fuente: (Tecnológica, 2019)

3.4. Diseño de Soportes para Sensores

Para sujetar los módulos de rayo láser se requiere de varios soportes impresos en PLA, los cuales serán colocados en los laterales de la banda transportadora permitiendo así la emisión y recepción de la fuente del rayo láser.

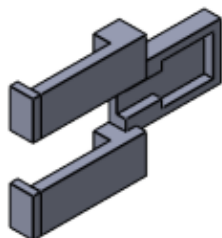


Figura 32. Soporte 1 Módulo Láser KY-008

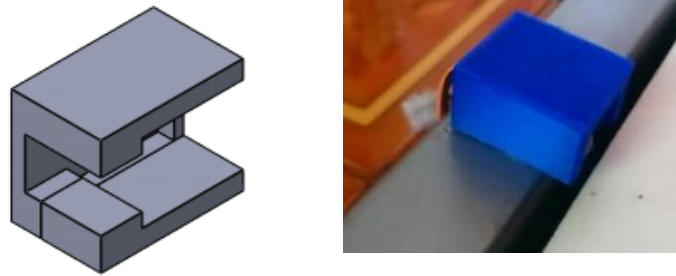


Figura 33. Soporte 2 Módulo Láser KY-008

En el *Anexo F*, se muestra las dimensiones de cada uno de los soportes diseñados.

3.5. Diseño de Soporte para Cámara Web

Para la sujeción y ajuste de la cámara web se requiere de un soporte que permitirá colocar la cámara a una cierta altura y obtener un cuadro de imagen más amplio.

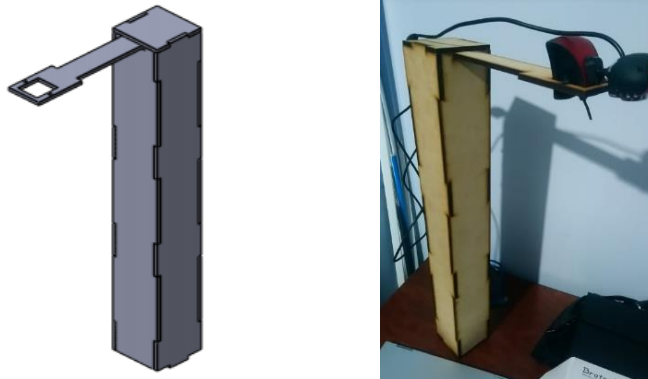


Figura 34. Soporte para Cámara Web

En el *Anexo F*, se muestra las dimensiones del soporte diseñado.

3.6. Diseño de Grippers o Pinzas

GRIPER 1:

El gripper a diseñar tiene como función específica de sujetar y liberar objetos como: tuercas y tornillos. Este gripper debe proporcionar flexibilidad al robot KUKA KR3 R540 para manipular los objetos metalúrgicos.

Además, este gripper está diseñado en base a las dimensiones de la herramienta propia del manipulador del robot KUKA KR3 R540, ya que este gripper tiene una apertura mínima de 60 mm y máxima de 90 mm, y solo sujeta objetos de forma rectangular.



Figura 35. Gripper Diseñado en SOLIDWORKS para Objetos Metalúrgicos.

GRIPER 2:

El segundo gripper a diseñar tiene la función específica de sujetar y liberar las cabezas de botellas de bebidas. Ver *Figura 36*. Se decide sujetar las cabezas y no los cuellos de las botellas debido a mayor seguridad de agarre y manipulación por parte del robot KUKA KR3 R540.



Figura 36. Gripper Diseñado en SOLIDWORKS para Bebidas Embotelladas.

En el *Anexo F*, se visualizará las piezas diseñadas con sus respectivas vistas y dimensiones.

3.7. Diseño de Piezas de Madera

Para una de las prácticas de laboratorio es necesaria la creación de piezas de madera diseñadas a la medida del gripper del robot KUKA KR3 R540, debido a que este gripper posee un cierto rango de apertura. En el *Anexo F*, se visualizará cada una de estas piezas con sus respectivas dimensiones.

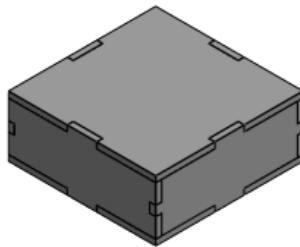


Figura 37. Pieza Cuadrado

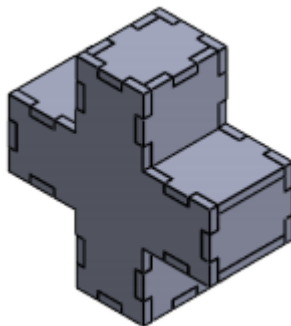


Figura 38. Pieza Cruz

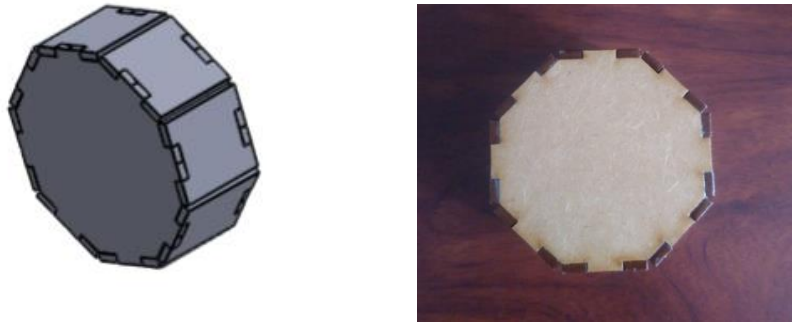


Figura 39. Pieza Octágono

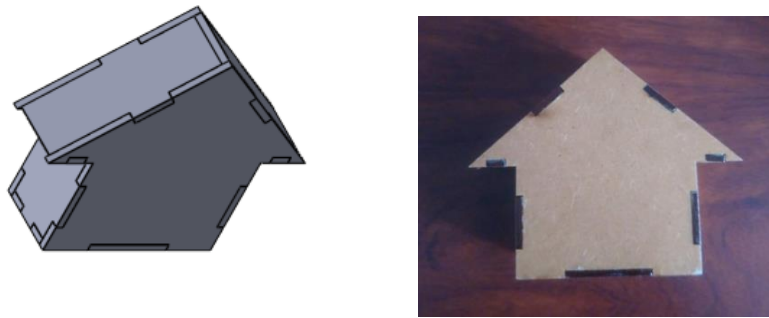


Figura 40. Pieza Casa

3.8. Arquitectura de Comunicación de la Célula Robotizada basada en Cámara Industrial

Se propone implementar una Red Profinet entre los dispositivos electrónicos como: PLC S7- 1200, Panel de Visualización, Controlador KRC4 y Cámara Cognex. Este tipo de red seleccionada es obligatoria ya que todos los dispositivos presentan dicha comunicación de fábrica, por lo cual se implementa una topología tipo estrella para el envío y recepción de los datos generados. Ver *Figura 41*.

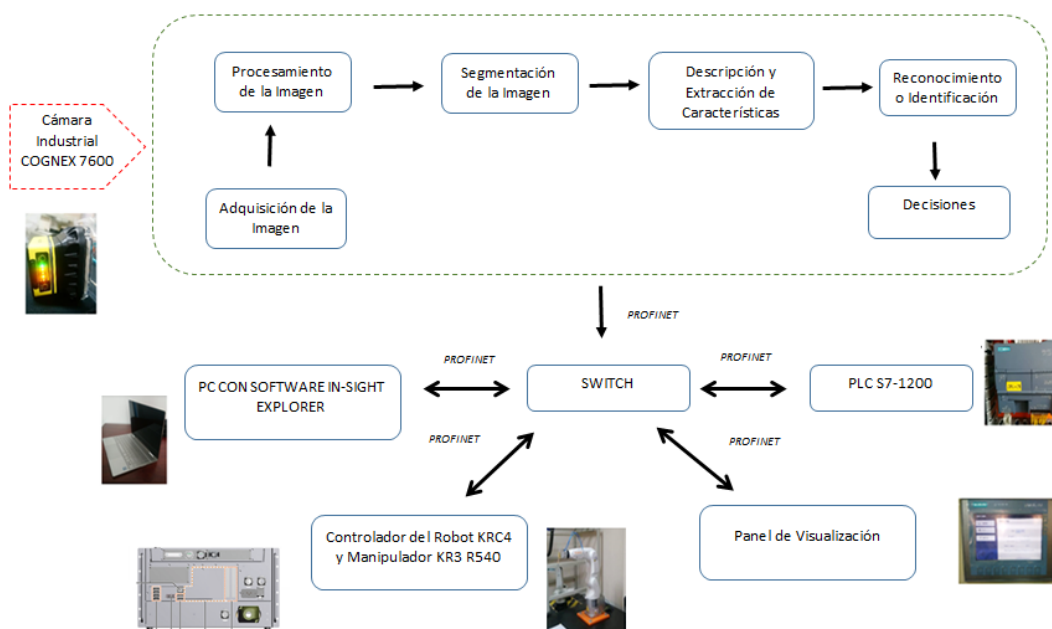


Figura 41. Diagrama de Bloques de Celda Robotizada con Visión Artificial basada en Cámara Industrial

3.8.1. Configuración conexión PROFINET

Al terminar de configurar las herramientas a ejecutarse en cada práctica de laboratorio, se deberá realizar un click en el botón “Comunicación”, para establecer la configuración PROFINET de la cámara.

En la Opción “Configuración de dispositivo” se escogerá las siguientes alternativas: PLC, Siemens y Profinet.

3.8.2. Variables Cámara In-Sight 7600

El módulo de la cámara In-Sight 7600 presenta registros o direcciones de memoria internas del PLC, en los cuales se van a guardar las variables de la cámara COGNEX. Ver *Tabla 10*.

Tabla 10:
Módulo Cámara In-Sight 7600

Nombre Módulo	Tipo de Variable	Inicio Dirección
Control de Adquisición	Q	1
Estado de Adquisición	I	1
Control de Inspección	Q	2
Estado de la Inspección	I	4
Control de Comandos	I	68
Control de SoftEvent	Q	8
Información de Usuario	Q	66
Resultados de la Inspección	I	70

Cada vez que se inserta el módulo de la cámara In-Sight 7600 se genera la información mostrada en la tabla anterior de manera automática, donde se puede observar la parte de Entradas/Salidas y lo más importante las variables de control.

Control de Adquisición

Este módulo de la cámara In-Sight 7600 permite el control de la adquisición de las imágenes, Ver *Tabla 11*, así como el poner en línea (online) y desconectar (offline) la cámara Cognex 7600 también denominado Sensor In-Sight.

Tabla 11:
Campos de Control de Adquisición de la Cámara In-Sight 7600

Nombre Tag	Tipo de Dato	Dirección	Descripción
Habilitar Disparo	Bool	%Q1.0	Este campo está configurado para habilitar el disparo a través del bit de Disparo. Para restablecer el mecanismo de activación solo se pone el valor de 0 en este bit.
Disparo	Bool	%Q1.1	Para activar este bit se debe establecer las siguientes condiciones: <ul style="list-style-type: none"> • El sensor In-Sight está en línea(Online). • Se establece el bit de Habilitar Disparo. • El parámetro Disparador (Trigger) de la función Configurar Imagen debe estar configurado en Red o Externo.
Reservado	Bool	%Q1.2	(No se usa)
Reservado	Bool	%Q1.3	(No se usa)
Reservado	Bool	%Q1.4	(No se usa)
Reservado	Bool	%Q1.5	(No se usa)
Reservado	Bool	%Q1.6	(No se usa)
Establecer Offline	Bool	%Q1.7	Cuando se activa este bit, el sensor In-Sight se pone fuera de línea, es decir se desconecta la comunicación.

Fuente: (Cognex, 2014)

Estado de Adquisición

Este módulo indica la adquisición de imágenes y el estado en línea / fuera de línea para el sensor In-Sight 7600. Ver *Tabla 12* y *Tabla 13*.

Tabla 12:
Campo de Estado de Adquisición de la Cámara In-Sight 7600

Nombre Tag	Tipo de Dato	Dirección	Descripción
Disparo Listo	Bool	%I1.0	Este campo indica cuándo un sensor In-Sight puede aceptar un nuevo disparo (Trigger). Se activa cuando el sensor está en línea (Online), si el bit de Habilitar Disparo se establece el sensor no está adquiriendo una imagen actualmente.
Trigger Activado	Bool	%I1.1	Este campo indica cuando el sensor In-Sight ha sido disparado, este bit permanecerá establecido hasta que el bit de Disparo (Trigger) se borre.
Adquiriendo	Bool	%I1.2	Se establece cuando un sensor In-Sight está adquiriendo una imagen actualmente.
Adquisición Perdida	Bool	%I1.3	Se establece cuando un sensor In-Sight pierde un disparo de Adquisición; sino se activa este bit significa que una adquisición se realiza con éxito.
Razón Offline	Bool	%I1.5 %I1.6	Este campo de 3 bits se utiliza para identificar la causa del porque el sensor se encuentra en el estado e Offline.
En línea (Online)	Bool	%I1.7	Este bit se establece cuando el sensor In-Sight está en línea y se borra cuando el sensor está desconectado.
ID de adquisición	Bool	%I2.0- %I3.0	Este ID se incrementa en la finalización de cada adquisición independientemente de el origen del activador, y se puede utilizar para sincronizar una adquisición con los resultados de la inspección.

Fuente: (Cognex, 2014)

Tabla 13:
Motivos de Estado Offline de la Cámara In-Sight 7600

Razón Offline	Nombre	Descripción
0	En línea (Online)	El sensor está en línea.
1	Programación	El trabajo del sensor está siendo modificado.
2	Discrete Offline	Una señal discreta mantiene al sensor Desconectado (Offline)
3	Comm. Offline	Un protocolo de comunicaciones establece al sensor desconectado (Offline)

Fuente: (Cognex, 2014)

Control de Inspección

Este campo controla el manejo de la ejecución del trabajo y los resultados de la inspección. Ver *Tabla 14*.

Tabla 14:
Campo de Control de Inspección de la Cámara In-Sight 7600

Nombre Tag	Tipo de Dato	Dirección	Descripción
Habilitación de Buffer de Resultados	Bool	%Q2.0	Cuando se establece este bit, el ID de Inspección, el Resultado de Inspección se mantienen constantes hasta que el campo de Resultado de la Inspección de Adquisición lo reconozca y se establezca.
Resultado de la Inspección de Adquisición	Bool	%Q2.1	Cuando se establece el bit de Habilitación de buffer de resultados, el bit de Resultado de la Inspección de Adquisición reconoce que el PLC ha recibido el ID de inspección, el resultado de la inspección y datos de los resultados de la inspección. El siguiente conjunto de resultados de inspección se envía a El PLC.
Reservado	Bool	%Q2.2 %Q2.3 %Q2.4 %Q2.5 %Q2.6 %Q2.7	(No se usa)

Fuente: (Cognex, 2014)

Estado de la Inspección

Este campo Indica el estado de la ejecución del trabajo y los resultados de la inspección. Ver *Tabla 15*.

Tabla 15:
Campo de Estado de la Inspección de la Cámara In-Sight 7600

Nombre Tag	Tipo de Dato	Dirección	Descripción
Inspeccionando	Bool	%I4.0	Este bit se establece cuando un sensor In-Sight está ejecutando un trabajo.
Inspección Completada	Bool	%I4.1	Este bit se alterna al completar una inspección.
Buffer de Resultados Completo	Bool	%I4.2	Este campo se establece cuando se establece el bit Habilitación de Buffer de Resultados y el sensor In-Sight ha descartado un conjunto de resultados de inspección porque el PLC no ha reconocido los resultados y, a su vez, establece el bit de Resultado de la Inspección de Adquisición . Hasta ocho inspecciones se llevan a cabo en el búfer del sensor; por lo tanto, este bit se establece cuando la novena inspección se agrega al búfer y sobrescribe la Octava inspección en el amortiguador. El bit no se borra hasta una inspección válida ocurre y no se sobrescribe una inspección previa.
Resultados Válidos	Bool	%I4.3	Se establece cuando los campos ID de inspección, y Resultados de Inspección son validos
Cargando Tarea	Bool	%I4.4	Este bit se establece al cargar un nuevo trabajo.
Tarea Cargada	Bool	%I4.5	Este bit se conmuta al finalizar una operación de carga de trabajo.
Fallo en la carga	Bool	%I4.6	Este bit se establece cuando falla el último intento de carga de trabajo.
Reservado	Bool	%I4.7	(No se usa)

Fuente: (Cognex, 2014)

Resultados de la Inspección

Este campo muestra los datos que se enviaron desde la Función “Formatear Datos de Salida”. Si el bit de Habilitación de Buffer de Resultados del módulo de control de Inspección está configurado, entonces los resultados de la inspección permanecerán sin cambios hasta que se confirme pulsando el bit de Resultado de la Inspección de Adquisición. Ver *Tabla 16*.

Tabla 16:

Campo de Resultados de la Inspección de la Cámara In-Sight 7600

Nombre Tag	Tipo de Dato	Dirección	Descripción
Insight-Result ID	Byte	%IB70 %IB71	El ID de adquisición asociado a este conjunto de resultados.
Insight-Result Code	Byte	%IB72 %IB73	Sin uso, siempre 0
Insight-InspectionResults(0)	Byte	%IB74 - %IB137	Datos

Fuente: (Cognex, 2014)

Información de Usuario

Este campo muestra los datos se pueden leer ya que se ha configurado desde la interfaz Profinet como datos en la Función “Formatear Datos de Entrada”. Ver *Tabla 17*.

Tabla 17:
Campo de Información de Usuario de la Cámara In-Sight 7600

Nombre Tag	Tipo de Dato	Dirección
Insight-UserData Option	Word	%QW66
Insight-UserData Length	Word	%QW68
Insight-UserData(0)	Byte	%QB70
Insight-UserData(1)	Byte	%QB71
Insight-UserData(2)	Byte	%QB72
Insight-UserData(3)	Byte	%QB73
Insight-UserData(4)	Byte	%QB74
Insight-UserData(5)	Byte	%QB75
Insight-UserData(6)	Byte	%QB76
Insight-UserData(7)	Byte	%QB77
Insight-UserData(8)	Byte	%QB78
Insight-UserData(9)	Byte	%QB79
Insight-UserData(10)	Byte	%QB80
Insight-UserData(11)	Byte	%QB81
Insight-UserData(12)	Byte	%QB82
Insight-UserData(13)	Byte	%QB83
Insight-UserData(14)	Byte	%QB84
Insight-UserData(15)	Byte	%QB85

Fuente: (Cognex, 2014)

Una vez establecida la configuración de los parámetros a controlar y las variables a trabajar se deberá realizar la comunicación entre dispositivos para este caso se seleccionará del “Catálogo de Hardware” el Touch Panel KTP300, PLC S7-1200, controlador del robot KUKA KRC4 y la cámara In-Sight a conectar. Ver *Figura 42*.

Seleccionados los dispositivos a controlar se deberá unir los puertos de comunicación de cada uno de los componentes, así como la configuración de las direcciones IP de cada uno de ellos.

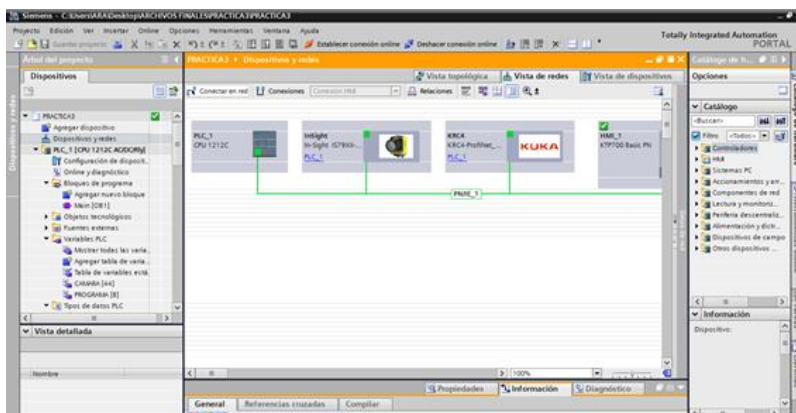


Figura 42. Conexión Profinet entre Dispositivos Electrónicos

3.9. Arquitectura de Comunicación de la Célula Robotizada basada en Cámara Web

Se propone implementar una Red Profinet entre los elementos electrónicos como: PLC S7-1200, Panel de Visualización y Controlador KUKA KRC4, con una topología tipo estrella. Ver *Figura 43*.

Por otro lado, debido a que el procesamiento de las imágenes la realiza un computador, se implementa una comunicación asíncrona, donde cada dato calculado es enviado bit por bit hacia el PLC S7-1200.

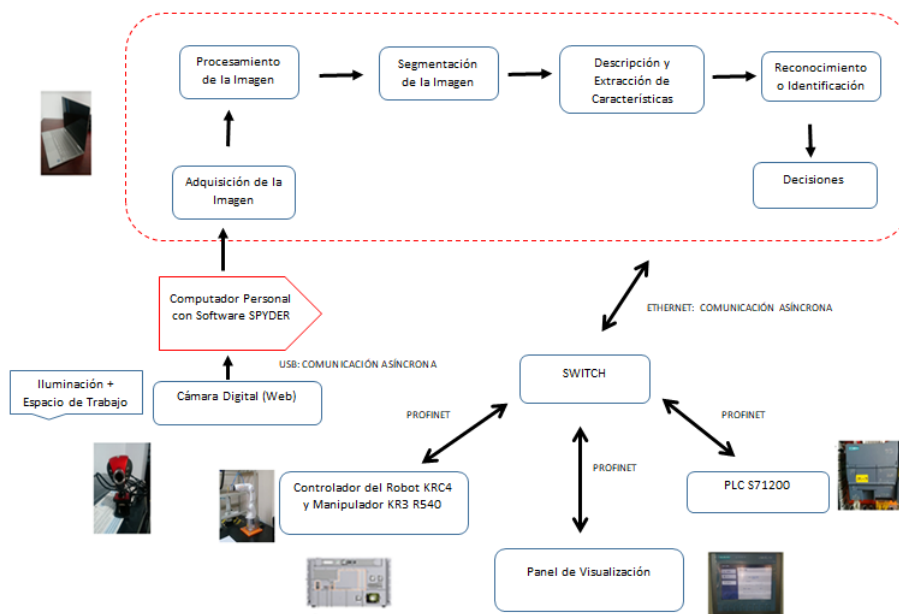


Figura 43. Diagrama de Bloques de la Celda Robotizada con Visión Artificial basada en Cámara Web

Para las aplicaciones de visión artificial a realizarse con la cámara web se realizará un proyecto en el software “TIA Portal”, en la pestaña de “Catálogo de Hardware” se escogerá los bloques de los dispositivos, como el PLC S7-1200 y el controlador del robot KUKA KRC4. Seleccionados los dispositivos a controlar se deberá unir los puertos de comunicación, para el controlador KRC4 y el PLC S7-1200 se utiliza la comunicación Profinet. Ver *Figura 44*.

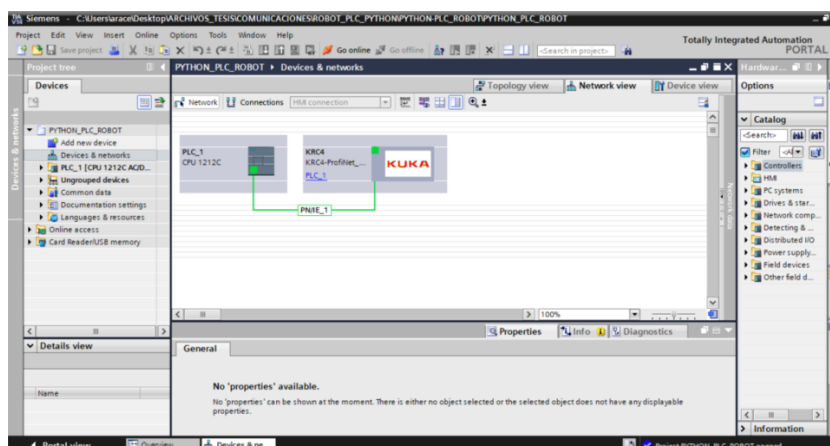


Figura 44. Comunicación Profinet entre PLC S7-1200 y Controlador KUKA KRC4.

Por otro lado, para establecer la comunicación entre la computadora y el PLC se deberá realizar las siguientes configuraciones:

- Se utilizará bloques de comunicaciones denominados “TCON” y “TRCV”. Ver *Figura 45*. Los cuales permitirán el enlace de la comunicación a través de sockets y guardar el dato enviado por medio del programa Spyder, respectivamente. Un socket queda definido por la dirección IP de la máquina, el puerto en el que escucha, y el protocolo que utiliza.

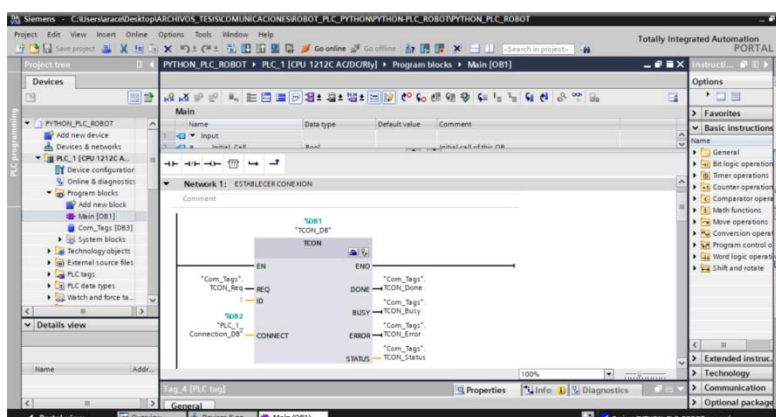


Figura 45. Bloques de Comunicación TCP/IP

En los bloques de programación (TCON) se deberá asignar una dirección IP al PLC S7-1200, y se seleccionará el tipo de comunicación a implementarse (TCP), de la misma manera se asignará la dirección IP del computador. Además, se escribirá el número de puerto a establecer la comunicación.

El puerto de comunicación estará establecido tanto en la configuración de los bloques de la comunicación TCP/IP, así como en el lenguaje de programación Python.

Una vez establecida la configuración al cargar el programa en el PLC S7 1200, se visualizará en las variables de datos la información enviada a través del puerto

CAPÍTULO IV

GUÍAS DE PRÁCTICAS

En el presente capítulo se indicará la metodología a implementarse para la realización de las prácticas de laboratorio de Visión Artificial. Estas prácticas tienen como propósito acercar a los estudiantes a aplicativos industriales, empleando innovadores dispositivos electrónicos disponibles en el Laboratorio de Robótica Industrial del Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE (Matriz). Además de la incorporación de los elementos diseñados y de la arquitectura de comunicación propuesta en el capítulo anterior, que transforman a la célula de propósito general a una célula específica denominada célula de Visión Artificial.

Cada práctica consta de una guía preparatoria y de una guía de laboratorio, que se enfoca en antecedentes de conceptos de estudio como: identificación, control de calidad y localización, además de la descripción del procedimiento a seguir para la elaboración de cada laboratorio.

En cada una de las prácticas se emplean componentes de la célula de propósito general como: 1 PLC S71200, 1 controlador KRC4, 1 manipulador KR3 R540 y 1 panel de Visualización, además de una cámara de la marca COGNEX y una cámara de propósito general. Se enfocará en la utilización de programas como: In-Sight Explorer, TIA PORTAL, WorkVisual y Python; que permiten la adquisición, control y programación de cada una de las prácticas.

Las prácticas están propuestas para que los estudiantes la realicen en grupos de 2 a 3 personas y en sesiones de hasta 2 horas. Los temas a tratar en general son el manejo y programación de cámaras industriales y de propósito general para utilizarla en varios aplicativos, aprovechando así la potencialidad de las herramientas proporcionados por la célula de visión artificial.

4.1. Práctica 1: Introducción a la Visión Artificial: Identificación y Clasificación de Patrones.

4.1.1. Objetivo General

Identificar y Clasificar figuras de madera por medio de detección de patrones del Software In-Sight Explorer de la cámara Cognex 7600.

4.1.2. Objetivos Específicos

- Configurar el protocolo de comunicación Profinet entre dispositivos industriales para la adquisición y comunicación de datos, así como de ejecución de lógicas de control.
- Construir 4 piezas de madera de contornos diferentes, con tamaños inferiores a 90 mm y una base de madera con cavidades de los contornos de cada pieza.
- Clasificar las 4 piezas de madera basado en su contorno mediante la utilización del software In-Sight Explorer.
- Aplicar el direccionamiento de los espacios de memoria del PLC S7-1200 para trabajar con los datos enviados por parte del Software In-Sight Explorer.
- Efectuar la programación en KUKA Robot Language (KRL) para realizar movimientos de clasificación.

4.1.3. Descripción General de la Actividad

En la práctica de laboratorio se realizará la identificación y clasificación de 4 tipos de piezas de madera denominadas como octágono, casa, cruz y cuadrado. Ver *Figura 46*. Mediante capturas de imágenes realizadas con la Cámara Industrial Cognex 7600 y el robot KUKA KR3 R540 que cumplirá la tarea de recoger y trasladar cada objeto hacia las cavidades de los contornos de las figuras designados en la caja de madera.



Figura 46. Figuras Propuestas a Identificar vs Base para clasificar figuras.

4.1.4. Materiales

Tabla 18:

Detalle de Materiales Guía Práctica 1

1. Laptop



2. Cámara Cognex In-Sight 7600



3. Conector Profinet y PWR



CONTINÚA 

4. Robot KUKA KRC4 Compact



5. PLC S7-1200



6. Touch Panel



7. Piezas de Madera



8. Caja de Madera Con Cavidades de Contornos



4.1.5. Alcance

El alcance de la Práctica 1, busca inicializar al estudiante con conceptos de Visión Artificial, quienes aprenderán el funcionamiento y manejo tanto de programas como del manipulador KUKA KR3 R540.

La Práctica 1 consta de una guía preparatoria donde se muestra un algoritmo básico de Preprocesamiento de imágenes, con el objetivo de que el estudiante realice un análisis de una imagen de interés, obteniéndose así un enlace hacia conceptos teóricos mostrados en documentos anexos, marco teórico, datos técnicos, direccionamiento de variables e instalación de software para comunicación.

La guía de laboratorio consta de varios pasos que deben seguir los estudiantes para la identificación y la clasificación de las piezas de madera. Uno de las más importantes instrucciones hace hincapié al manejo de programas como: In-Sight Explorer , TIA Portal y WorkVisual V4.0, así como el tipo de comunicación a realizar para la interconexión de los dispositivos electrónicos.

La práctica puede ser realizada dentro de los límites exigidos por las especificaciones técnicas del Robot KUKA, del gripper SMC MHL2 Ø10 y de la cámara industrial. Estos parámetros son de relevancia porque las piezas diseñadas deben estar dentro de la zona de trabajo del robot KUKA para su manipulación, por lo que el tamaño de las piezas no sobrepasa los 90 mm, ya que están sujetas a medidas específicas.

Esta práctica de laboratorio está constituida por elementos como: 1 Controlador KRC4, 1 manipulador KR3 R540, 1 panel de visualización, 1 PLC S7 1200 y una cámara COGNEX 7600, además de un computador con programas de la cámara industrial y del robot KUKA. Por otro lado, el robot utiliza su herramienta original (Gripper SMC MHL2 Ø10) y manipula las piezas de madera para su traslación hacia una caja de madera con contornos. Ver *Figura 47*.

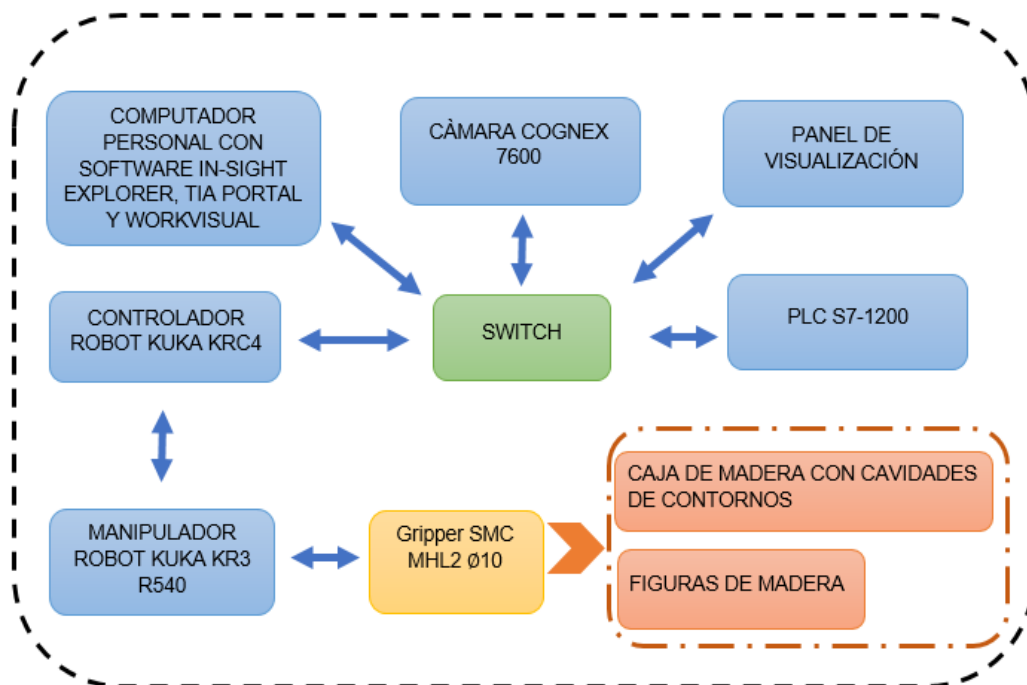


Figura 47. Diagrama de Relación de Componentes de Célula de Visión Artificial - Práctica 1

4.2. Práctica 2: Identificación y Clasificación de Códigos 1D y 2D

4.2.1. Objetivo General

Identificar y Clasificar códigos 1D y 2D mediante la herramienta “Identificación” del Software In-Sight Explorer de la Cámara Industrial Cognex 7600.

4.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar la identificación de códigos con la herramienta “Identificación” del Software In-Sight Explorer.
- Generar códigos 1D y 2D de aplicativos webs para la identificación.
- Configurar el protocolo de comunicación Profinet entre dispositivos industriales para la adquisición y comunicación de variables de datos, así como de ejecución de lógicas de control.

- Aplicar el direccionamiento de los espacios de memoria del PLC S7-1200 para trabajar con los datos enviados por parte del Software In-Sight Explorer.
- Efectuar la programación en KUKA Robot Language (KRL) para realizar movimientos de clasificación.

4.2.3. Descripción General de la Actividad

En la Práctica 2 se realizará la identificación de código 1D y 2D. Ver *Figura 48*. El proceso consiste en la obtención de una imagen mediante el control de la cámara Cognex 7600, se aplicarán herramientas de identificación propias del programa In-Sight Explorer para la detección de los códigos 1D y 2D. Además, se realizará la programación KRL para efectuar los movimientos del robot KUKA KR3 R540, el cual deberá sujetar al pallet y clasificarlo.



Figura 48. Códigos de Barras 1D y 2D

4.2.4. Materiales

Tabla 19:
Detalle de Materiales Guía Práctica 2

1. Laptop



2. Cámara Cognex In-Sight 7600



3. Conector Profinet y PWR



4. Robot KUKA KRC4 Compact



5. PLC S7-1200



CONTINÚA 

6. Touch Panel



7. Pallets con Código de Barras



8. Caja de Madera con Compartimientos



4.2.5. Alcance

El alcance de la Práctica 2 busca enfocar al estudiante a nuevas herramientas de trabajo que dispone el programa In-Sight Explorer , para relacionarlo a aplicativos industriales, ya que en la actualidad la mayoría de procesos utilizan comúnmente etiquetas con cualquier tipo de códigos para facilidad y rapidez de procesamiento de información.

La Práctica 2, consta de una guía preparatoria que está diseñada en el aprendizaje, generación de códigos y de la utilización e importancia de códigos a nivel nacional e internacional. Además, se enfoca en los varios campos de aplicación de cada una de las etiquetas existentes.

En cambio, la guía de laboratorio consta de una serie de procedimientos donde el estudiante a partir de códigos generados en aplicativos de páginas web, empezará a manejar herramientas para la identificación del código de detectar.

Como se observa en la *Figura 49* esta práctica de laboratorio está constituida por elementos como: 1 Controlador KRC4, 1 manipulador KR3 R540, 1 panel de visualización, 1 PLC S7 1200 y una cámara COGNEX 7600, además de un computador con programas de la cámara industrial y del robot KUKA. Por otro lado, el robot utiliza su herramienta original (Gripper SMC MHL2 Ø10) para la manipulación de pallets con etiquetas para su traslación hacia una caja de madera con espacios distribuidos.

La práctica puede ser realizada dentro de los límites exigidos por las especificaciones técnicas del Robot KUKA, del gripper SMC MHL2 Ø10 y de la cámara industrial. Estos parámetros son de relevancia porque los pallets están dentro de la zona de trabajo del robot KUKA para su manipulación, y el tamaño de los pallets no sobrepasa los 90 mm.

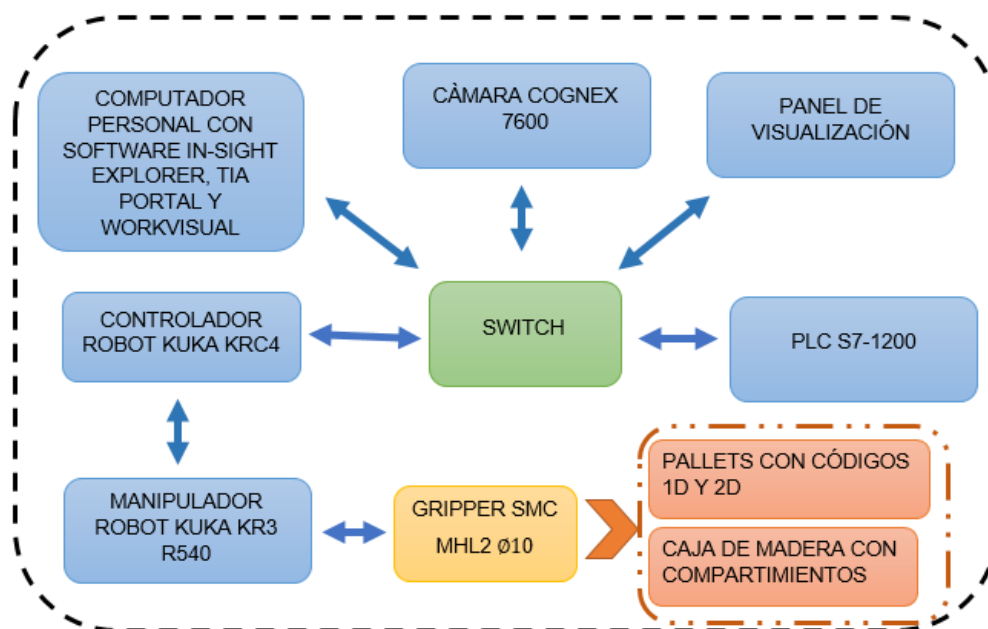


Figura 49. Diagrama de Relación de Componentes de Célula de Visión Artificial - Práctica 2

4.3. Práctica 3: Control de Nivel de Llenado de Bebidas Embotelladas

4.3.1. Objetivo General

Realizar el control de calidad mediante el control de nivel de bebidas embotelladas con Cámara Industrial Cognex 7600.

4.3.2. Objetivos Específicos

- Implementar un control de nivel de bebidas embotelladas para la aceptación o rechazo de botellas, basada en la herramienta “Número de Píxeles” del Software In-Sight Explorer.
- Clasificar botellas en base a la identificación del nivel de líquido utilizando el robot KUKA y una jaba de botellas.
- Integrar instrumentación y componentes diseñados como banda transportadora a la célula de visión artificial.
- Utilizar nuevas herramientas de la cámara In-Sight 7600 para la detección de nivel (control de calidad).
- Configurar el protocolo de comunicación Profinet entre dispositivos industriales para la adquisición y comunicación de variables de datos, así como de ejecución de lógicas de control.
- Aplicar el direccionamiento de los espacios de memoria del PLC S7-1200 para trabajar con los datos enviados por parte del Software In-Sight Explorer.

4.3.3. Descripción General de la Actividad

En la práctica de laboratorio se realizará un control de nivel de bebidas embotelladas, las cuáles serán desplazadas una tras otra sobre la banda transportadora. En medio de la banda transportadora se encuentra el Módulo Láser que detectará la presencia de una botella y detendrá el movimiento de la misma, para que la cámara In-Sight 7600 realice capturas de imágenes y se ejecute el control de nivel de cada botella.

Las botellas identificadas están distribuidas de dos maneras: una mitad con nivel de líquido correcto y la otra mitad con un nivel incorrecto, es decir detectadas como rechazo. La botella identificada como nivel correcto será colocada en la parte izquierda de una jaba de botellas y en la parte derecha las botellas detectadas como rechazo, por el manipulador del robot KUKA KR3 R540.

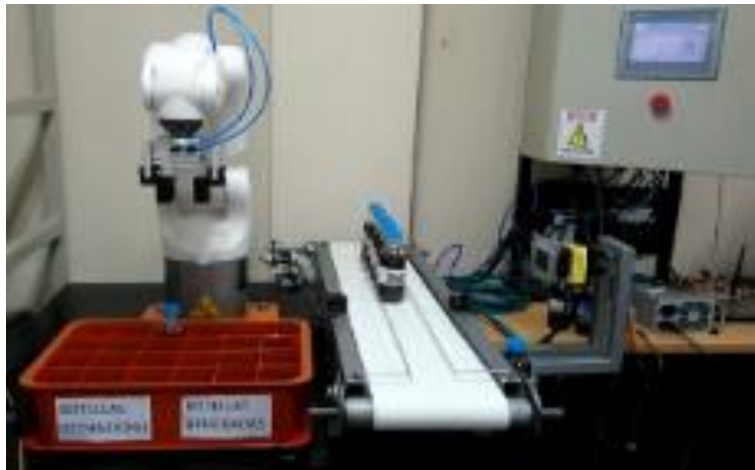


Figura 50. Imagen Proceso Control de Nivel de Bebidas Embotelladas.

4.3.4. Materiales

Tabla 20:
Detalle de Materiales Guía Práctica 3

1. Cámara Cognex In-Sight 7600 y
Conector Profinet- Conector
PWR



2. PC



3. Robot KUKA KR3 R540



4. Controlador KRC4 Compact



5. Banda Transportadora



CONTINÚA



6. Botellas de Bebidas Plásticas



7. Jaba de Botellas con 2 secciones diferenciadas



8. Gripper



9. Relé



4.3.5. Alcance

El alcance de la Práctica 3 busca relacionar al estudiante a procesos industriales cotidianos como el control de calidad efectuada en varias industrias, para este caso

existirá la aprobación o rechazo de nivel de líquido de bebidas, basada en el número de píxeles del cuello de cada botella. El estudiante podrá palpar tal proceso de control, ya que comúnmente son procesos que no se realizan diariamente en los laboratorios de Robótica Industrial.

La Práctica 3 consta de una guía preparatoria, donde el estudiante relacionará nuevos campos e importancia de aplicación de la visión artificial, así como de herramientas de identificación en los procesos de producción. La práctica de laboratorio consta de varios pasos, donde el estudiante empleará conocimientos técnicos para conectar los sensores y actuadores, así como la programación tanto del robot KUKA KR3 R540 y de la Cámara Cognex 7600.

Como se observa en la *Figura 51*, esta práctica de laboratorio está constituida por elementos como: 1 Controlador KRC4, 1 manipulador KR3 R540, 1 panel de visualización, 1 PLC S7 1200 y una cámara COGNEX 7600, además de un computador con programas de la cámara industrial y del robot KUKA. Por otro lado, el robot utiliza el *GRIPER 2* diseñado en el capítulo anterior, para la manipulación de las cabezas de las botellas y su traslación hacia una jaba de botellas.

La práctica puede ser realizada dentro de los límites exigidos por las especificaciones técnicas del Robot KUKA, del *GRIPER 2* y de la cámara industrial. Estos parámetros son de relevancia porque la banda transportadora, y jaba de botellas están dentro de la zona de trabajo del robot KUKA para su manipulación. Además, el gripper diseñado solo sujeta botellas y no es aplicable a la sujeción de otro tipo de objetos, ya que se producirán colisiones que afectarán durante el paso del tiempo al Robot KUKA.

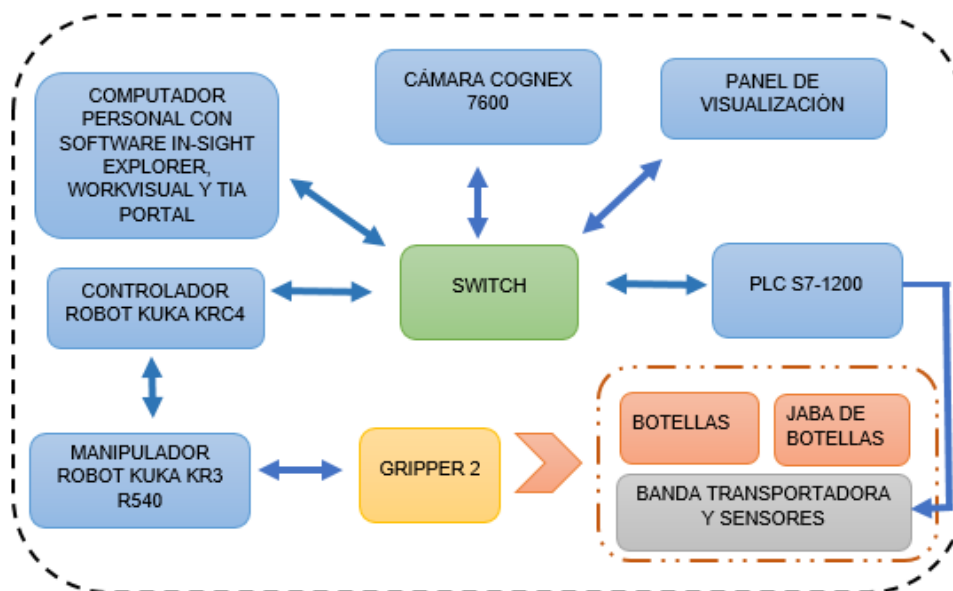


Figura 51. Diagrama de Relación de Componentes de Célula de Visión Artificial - Práctica 3

4.4. Práctica 4: Localización y Clasificación de Objetos Metalúrgicos (Sistema Pick And Place- Cámara Cognex)

4.4.1. Objetivo General

Determinar la posición o localización de objetos metalúrgicos utilizando herramienta Patrón PatMax de la Cámara Cognex 7600.

4.4.2. Objetivos Específicos

- Implementar técnicas de calibración de la cámara In-Sight 7600 para determinar coordenadas de localización.
- Obtener las coordenadas cartesianas de posición y de orientación de herramientas metalúrgicas como una tuerca y tornillo.
- Configurar el protocolo de comunicación Profinet entre dispositivos industriales para la adquisición y comunicación de variables de datos, así como de ejecución de lógicas de control.
- Aplicar el direccionamiento de los espacios de memoria del PLC S7-1200 para trabajar con los datos enviados por parte del Software In-Sight Explorer.

- Efectuar la programación en KUKA Robot Language (KRL) para realizar movimientos de clasificación.

4.4.3. Descripción General de la Actividad

En la práctica de laboratorio se realizará la clasificación de objetos metalúrgicos como tornillos y tuercas, que se desplazarán sobre una banda transportadora.

La Cámara Cognex obtendrá una imagen del objeto y en base a herramientas del programa In-Sight Explorer se obtendrá las coordenadas cartesianas y de orientación de las piezas; al mismo tiempo el robot KUKA KR3 R540 en base a las coordenadas obtenidas posicionará su herramienta sobre la pieza metalúrgica y la sujetará para su posterior clasificación en una caja de madera con compartimientos.



Figura 52. Calibración de Herramienta y Ejes del Robot KUKA KR3 R540 (DERECHA) – Colocación de Objetos en Caja con Compartamientos (Izquierda)

4.4.4. Materiales

Tabla 21:
Detalle de Materiales Guía Práctica 4

1. Cámara Cognex In-Sight 7600 y
Conector Profinet- Conector
PWR



2. PC



3. Robot KUKA KR3 R540



4. Controlador KRC4 Compact



CONTINÚA 

5. Banda Transportadora



6. Objetos Metalúrgicos



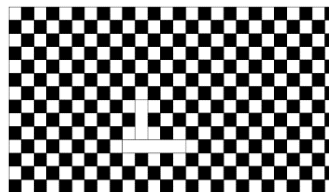
7. Caja de madera con compartimientos



8. Gripper



9. Tablero con marca Fiducial



4.4.5. Alcance

El alcance de la Práctica 4 busca relacionar al estudiante con procesos de calibración de cámaras industriales, quienes transformarán medidas propias de la cámara como pixeles a nuevas medidas del mundo real.

La Práctica 4 consta de una guía preparatoria donde el estudiante aprenderá y efectuará varios tipos de calibración de una cámara industrial. Efectuada la calibración de la cámara, se procederá a la realización de la guía de laboratorio donde se muestran los pasos de realizar para la obtención de las coordenadas del objeto.

Se aplica la herramienta de reconocimiento de patrones denominada “Patrón PatMax” del software In-Sight, así como el ajuste de los parámetros de adquisición de la imagen para la obtención de las coordenadas del primer objeto y posteriormente de los siguientes. Finalmente se procederá a la calibración del Robot KUKA KR3 R540 para su posterior programación.

Esta práctica de laboratorio está constituida por elementos como: 1 Controlador KRC4, 1 manipulador KR3 R540, 1 panel de visualización, 1 PLC S7 1200 y una cámara COGNEX 7600, además de un computador con programas de la cámara industrial y del robot KUKA. Por otro lado, el robot utiliza el *GRIPER 1* diseñado en el capítulo anterior, para la manipulación y traslación de objetos metalúrgicos hacia una caja de madera. Ver *Figura 53*.

La práctica puede ser realizada dentro de los límites exigidos como: especificaciones técnicas del Robot KUKA, GRIPER 1, componentes como banda transportadora y de la cámara industrial. Estos parámetros son de relevancia porque los objetos a identificarse se desplazan sobre una banda transportadora que está dentro de la zona de trabajo del robot KUKA, así como la flexibilidad que adquiere el robot para la sujeción de los objetos metálicos con el gripper propuesto.

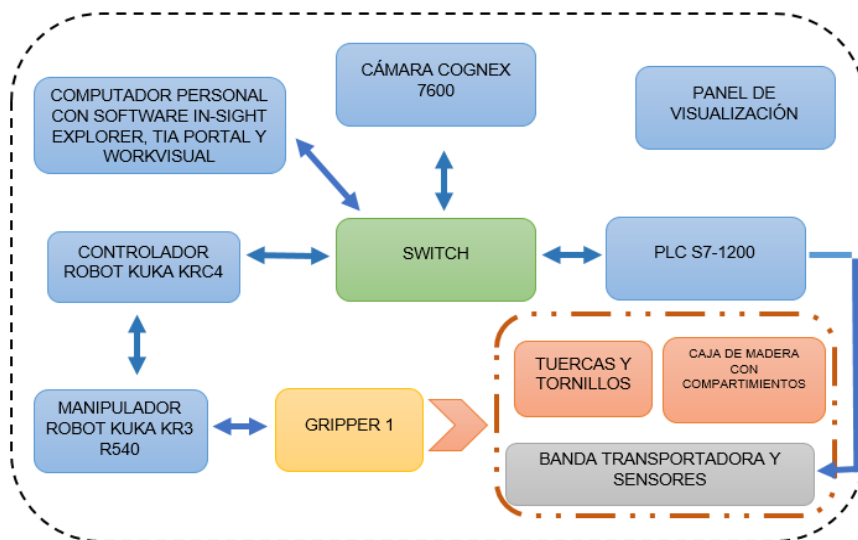


Figura 53. Diagrama de Relación de Componentes de Célula de Visión Artificial - Práctica 4

4.5. Práctica 5: Localización y Clasificación de Objetos Metalúrgicos (Sistema Pick And Place- Cámara Web)

4.5.1. Objetivo General

Determinar la posición o localización de objetos metalúrgicos mediante algoritmos de procesamiento y reconocimiento con una Cámara Web.

4.5.2. Objetivos Específicos

- Localizar e Identificar objetos metalúrgicos mediante algoritmos de visión por computador.
- Establecer comunicación TCP/IP entre computadora personal y PLC S7-1200 para envío de datos del software académico.
- Configurar el protocolo de comunicación Profinet entre dispositivos industriales como PLC S7-1200 y Controlador KRC4 para la adquisición y comunicación de variables de datos, así como de ejecución de lógicas de control.
- Efectuar la programación en KUKA Robot Language (KRL) para realizar movimientos de clasificación.

4.5.3. Descripción de la Actividad

En la práctica de laboratorio se realizará la clasificación de objetos metalúrgicos como tornillos, tuercas, las cuales se localizarán dentro de una caja cerrada con iluminación constante.

Mediante el control de la cámara web se realizará varias capturas de imágenes, las cuáles serán sometidas a una serie de algoritmos de procesamientos como: adquisición, filtrado, segmentación, descripción para concluir en la identificación del objeto. Como salida del procesamiento se obtienen datos como posición, ángulo de orientación y un valor que muestre el objeto a identificar, toda esta información es enviada hacia el PLC S7-1200 y al controlador del robot KUKA KRC4. Finalmente, el robot posionará su herramienta en la pieza metálica y efectuará la acción de (pick and place).



Figura 54. Robot KUKA KR3 R540 y objeto metalúrgico detectado.

4.5.4. Materiales

Tabla 22:
Detalle de Materiales Guía Práctica 5

1. WebCam



2. PC



3. Robot KUKA KR3 R540



4. Controlador KRC4 Compact



CONTINÚA 

5. Objetos Metalúrgicos



6. Caja de Madera con Compartimientos



7. Gripper



8. Caja Cerrada con Iluminación Constante



4.5.5. Alcance

El alcance de la guía de la Práctica 5 busca relacionar al estudiante con algoritmos de procesamiento digital de imágenes, mediante la utilización de lenguajes de

programación libres como lo es Python. Además, se hace hincapié al uso de cámaras de bajo costo y de características básicas en comparación con cámara industriales, ya que de tal manera se podrá realizar un análisis tanto en la manera de obtención de las imágenes, así como del gran manejo de información que conlleva procesar información de las imágenes obtenidas de una cámara de propósito general.

La Práctica 5 consta de una guía preparatoria, donde el estudiante podrá aprender nuevas técnicas de comunicación para el envío de información del computador hacia el controlador del robot KUKA KRC4. Además, se proporciona en la guía de laboratorio la algoritmia realizada para la obtención de las coordenadas del objeto, para su posterior identificación y clasificación.

Esta práctica de laboratorio está constituida por elementos como: 1 Controlador KRC4, 1 manipulador KR3 R540, 1 panel de visualización, 1 PLC S7 1200 y una cámara de propósito general, además de un computador con programas SPYDER y del robot KUKA. Por otro lado, el robot utiliza el *GRIPER 1* diseñado en el capítulo anterior, para la manipulación de objetos metalúrgicos y su traslación hacia una caja de madera. Ver *Figura 55* y *Figura 53*.

La práctica puede ser realizada dentro de los límites exigidos como: especificaciones técnicas del Robot KUKA, GRIPER 1, cámara de propósito general y el entorno cerrado. Estos parámetros son de relevancia porque el entorno cerrado permite un mayor control de luz y está localizado dentro de la zona de trabajo del robot KUKA. La manipulación de los objetos metálicos con el gripper propuesto, proporciona mayor facilidad de agarre y desplazamiento hacia lugares específicos.

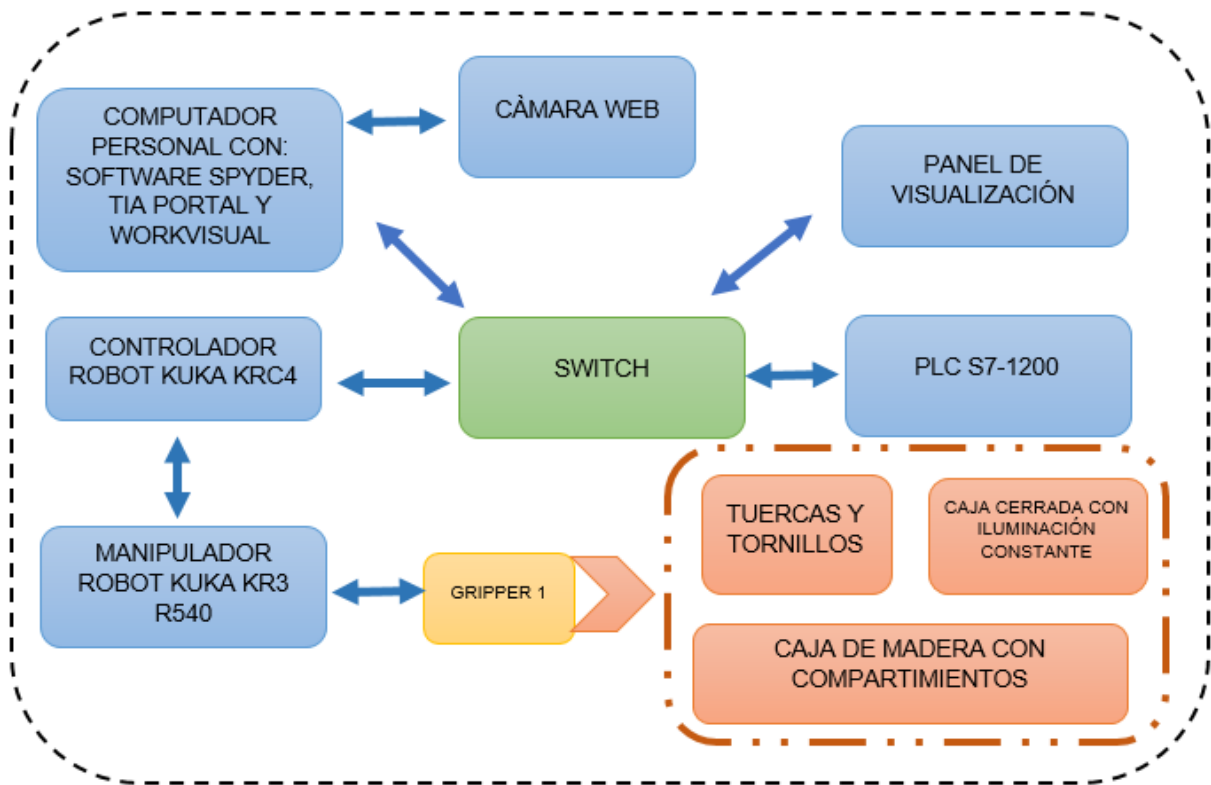


Figura 55. Diagrama de Relación de Componentes de Célula de Visión Artificial - Práctica 5

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN DE PRÁCTICAS Y RESULTADOS

El presente capítulo ofrece un análisis de los resultados obtenidos a través de la realización de las sesiones de las prácticas propuestas en el Capítulo IV que fueron ejecutadas en el Laboratorio de Robótica Industrial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Cada práctica de laboratorio, permite conocer facilidades y dificultades en la ejecución de procedimientos en temas enfocados hacia una determinada función del gran campo de la Visión Artificial como: detección de patrones, identificación de códigos 1D y 2D, control de calidad y localización de objetos.

Uno de los fines de las prácticas es el complementar y/o reforzar los contenidos impartidos por los docentes mediante el acceso a contenido de asignatura de Robótica Industrial y Visión Artificial, objetivo principal de la realización de este proyecto de investigación.

Para la evaluación de las prácticas en los siguientes apartados se realizará un análisis de varios parámetros resultantes durante la puesta en marcha de las prácticas como: dificultad de implementación de arquitecturas de comunicación, problemas detectados por los estudiantes, tiempo de ejecución de las prácticas, normativas para la programación de movimientos del robot KUKA, y actividades complementarias que medirán el nivel de aprendizaje recibido en cada una de estas prácticas debido a la complejidad de cada una de ellas.

Finalmente se mostrará un análisis de parámetros comparativos entre la cámara industrial y la cámara de propósito general.

5.1. Práctica 1: Introducción a la Visión Artificial: Identificación y Clasificación de Patrones

Durante la ejecución de la Práctica 1 se obtiene problemas con la configuración de la comunicación Profinet entre los dispositivos como: Cámara Cognex, controlador y manipulador KUKA y PLC S7-1200, debido a que cada uno de estos dispositivos electrónicos realiza la adquisición y transmisión de datos de manera particular, es decir el controlador del Robot KUKA KRC4 solo recibe datos lógicos de 1 o 0 y la Cámara Cognex trabaja con el tipo de dato configurado en el Software In-Sight Explorer.

Los estudiantes al ejecutar la Práctica 1 no muestran problemas en la instalación y manejo de programas que son necesarios para la programación de cada uno de los dispositivos electrónicos de la Célula de Visión Artificial. Se determina falencias en el direccionamiento de las variables del PLC S7-1200 generadas por la Cámara Cognex, ya que, al ser un dispositivo tecnológico innovador, requiere de un estudio previo de funcionamiento para la aplicación de lógicas de control a desarrollar.

Además, los estudiantes no muestran dificultad en la utilización del programa In-Sight Explorer, debido a que sus herramientas son de fácil uso, y que en conjunto con la documentación propuesta respecto al manejo del programa In-Sight Explorer se logra tener una idea de la utilización y funcionamiento. Su interfaz es didáctica y muestra recomendaciones al momento de seleccionar un determinado botón.

Se realiza un cálculo estimado del tiempo requerido para la realización de la práctica, concluyendo que no se finaliza la práctica en el tiempo propuesto y se requiere aproximadamente de 1 hora extra para conocer y visualizar tanto el funcionamiento, manejo y el direccionamiento de variables de la Cámara Cognex.

Por otro lado, los movimientos a realizar por parte del manipulador KUKA KR3 R540, pueden ser modificados debido a que no se obliga al estudiante a colocar los objetos en definidas posiciones, solo se debe tomar en cuenta el espacio de la mesa de trabajo y de la estructura de la cámara Cognex. Cada estudiante, es libre de decidir la ubicación de cada uno de los elementos con los que se trabaja en la Célula de Visión Artificial.

Al finalizar la Práctica 1, los estudiantes son puestos a prueba para determinar el nivel de adquisición de los nuevos conocimientos, es decir se añade un nuevo contorno

al conjunto de piezas de madera proporcionadas en el capítulo anterior como: casa, octágono, cruz, y un cuadrado. Ver *Figura 56*. Con esta pieza el estudiante realiza la identificación y la clasificación en base a su contorno, empleando la herramienta propuesta en la guía de laboratorio. Esta pieza está diseñada al igual que las otras para que el robot KUKA sujete al objeto sin producirse ningún choque o colisión. La nueva pieza a identificar es añadida a los patrones obtenidos de las imágenes capturadas con la cámara Cognex, pero en este caso se realizó acciones de rechazo debido a que esta pieza no forma parte de los espacios de la caja de madera con compartimientos, por lo cual el manipulador KR3 R540 ejecuta nuevas acciones para colocar el objeto en otra posición diferente al de la caja.



Figura 56. Figura de Madera (Hexágono) para Identificación de Patrones

5.2. Práctica 2: Identificación y Clasificación de Códigos 1D y 2D

Durante la ejecución de la Práctica 2, no se obtiene problemas con la configuración de la comunicación Profinet entre los dispositivos como: Cámara Cognex, controlador y manipulador KUKA y PLC S7-1200, ya que la anterior práctica abarcó la implementación de tal comunicación.

Los estudiantes al ejecutar la práctica, no presentan problemas en la utilización del Programa In-Sight Explorer, debido a que la herramienta utilizada para la identificación

de los códigos es de fácil uso. Además, no presentan problemas en el direccionamiento de las variables del PLC S7-1200 generadas por la Cámara Cognex.

Se muestra facilidad de realización en los procedimientos a ejecutar en la práctica de laboratorio y se determina que hay una reducción del tiempo propuesto, debido a que los estudiantes ya conocen las funciones específicas de cada uno de los botones del programa In-Sight Explorer. Por lo tanto, utilizan los mismos conceptos de programación del Robot KUKA, así como la lógica de control a implementarse.

Para la programación de movimientos del manipulador KUKA KR3 R540, pueden ser modificados debido a que no se obliga necesariamente a colocar los pallets en definidas posiciones de la mesa de trabajo. Cada estudiante, es libre de decidir la ubicación de cada uno de los pallets con los que se trabaja en la Célula de Visión Artificial.

Por otro lado, se decide realizar pruebas extras, en donde se somete a la Cámara Cognex a la lectura de códigos de productos comerciales.

En la *Tabla 23* se detallan los contenidos y los códigos empleados en las distintas pruebas para la práctica experimental. El primer código UPC corresponde a valores numéricos generados por la compañía KW-triO que diseña y construye materiales y accesorios de oficina. En el segundo código QR, se accede a la información sobre un enlace web de la compañía Lamosan (Laboratorio Farmacéutico). Ver *Figura 57*. Como se aprecia en este ejemplo en las etiquetas se encuentra codificada todo tipo de información como: números, letras, palabras y enlaces a páginas web.

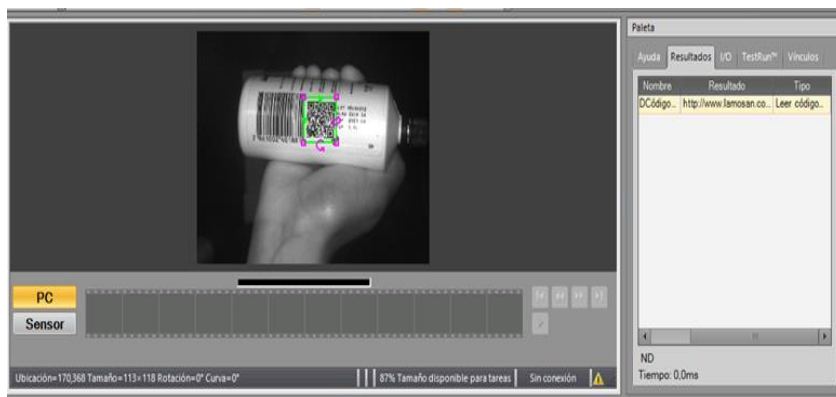


Figura 57. Resultado de Lectura Código 2D

Tabla 23:
Lectura de Códigos 1D y 2D

Código	Contenido
	4714213000283
	www.lamosan.com/es/fisio-ub-pdf/
	7891150034075

CONTINÚA →

188365-A

La Cámara Cognex al realizar la lectura de todas las etiquetas comerciales decodifica la información oculta en códigos legibles, pero las que se encuentran en un estado degradado la cámara no detecta el tipo de código y no realiza ninguna lectura.

5.3. Práctica 3: Control de Nivel de Llenado de Bebidas Embotelladas

Durante la ejecución de la Práctica 3, no se obtiene problemas con la configuración de la comunicación Profinet entre los dispositivos como: Cámara Cognex, controlador y manipulador KUKA KR3 R540 y PLC S7-1200 ya que son procesos repetitivos y básicos para la ejecución de esta práctica.

Los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE no presentan dificultad en la implementación de los componentes diseñados como: banda transportadora y gripper 2. Debido a que es un proceso realizado comúnmente en aplicativos de programación de PLC, y se muestra facilidad en la implementación de la lógica de control.

El tiempo de ejecución de esta práctica de laboratorio, requiere de la utilización de un tiempo extra (aproximadamente 1 hora), porque se presentan retardos en el direccionamiento Profinet entre el PLC S7-1200 y el controlador del robot KUKA KRC4.

Para la programación de movimientos de sujeción de las botellas por parte del manipulador KUKA KR3 R540, no pueden ser modificados debido a que la banda transportadora está colocada en un específico lugar de la mesa de trabajo. Cada

estudiante, deberá colocar la jaba de botellas en el lado contrario de la banda para facilidad de desplazamiento del robot KUKA KR3 R540.

Como se determinó en el Capítulo 1 de este documento, la Visión Artificial es aplicada en varias industrias entre una de ellas la industria de bebidas, en la realización de esta práctica de laboratorio se analiza varias pruebas para determinar la cantidad de nivel que contiene cada botella, en base al número de pixeles del cuello de las botellas.

Para encontrar el rango de pixeles a trabajar y que permitirán determinar si la bebida es aceptada o rechazada, se analiza varias botellas con diferentes alturas de donde se realizó lecturas de sobrellenado, así como lecturas con botellas de líquido vacías, al promediar estos resultados se encontró un cálculo de rango de aceptación del nivel de cada botella. En la *Tabla 24* se puede observar los resultados obtenidos en cada medición de botellas con exceso de líquido.

Tabla 24:
Pixeles Obtenidos con Nivel de Sobrellenado

Nº	Pixeles Obtenidos
1	25000
2	25670
3	28000
4	30000
5	25777
6	29845
7	26784
8	31259
9	28569
10	27454
11	26895
12	25846
13	24589
14	24333

CONTINÚA 

15	24526
Promedio Obtenido	26970

De igual manera se procede a realizar un promedio en base a los datos obtenidos con las botellas con bajo nivel de líquido. Después de haber escogido el rango mínimo y máximo de los pixeles, se ajustó este parámetro en el programa de la cámara Cognex, determinando que una botella vacía o con bajo nivel de líquido era detectada como rechazo y viceversa. Ver *Figura 58*.



Figura 58. Control de Nivel de Bebidas Embotelladas.

5.4. Práctica 4: Localización y Clasificación de Objeto Metalúrgicos (Sistema Pick And Place - Cámara Cognex 7600)

Durante la ejecución de la Práctica 4, no se obtiene problemas con la configuración de la comunicación Profinet entre los dispositivos como: Cámara Cognex, controlador y manipulador KUKA y PLC S7-1200 ya que la anterior práctica abarcó la implementación de tal comunicación.

Los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE presentan dificultades en la adquisición de las coordenadas cartesianas de los objetos metálicos, debido a que la herramienta proporcionada por el programa In-Sight Explorer, muestra datos referentes a los píxeles de la imagen, por lo cual se realiza la calibración de la cámara industrial permitiendo así la transformación de píxeles a coordenadas del mundo real. Parámetros necesarios para determinar las unidades a trabajar tanto para el robot KUKA como para la cámara industrial. Este punto se hizo hincapié debido a que si no se logra la calibración de la cámara a unidades como milímetros el robot no efectuará ningún tipo de movimiento.

El tiempo de ejecución de esta práctica de laboratorio, se requiere de la utilización de un tiempo extra (aproximadamente 1 hora), porque se presentan retardos en el direccionamiento Profinet entre el PLC S7-1200 y el controlador del robot KUKA KRC4.

Para la programación de movimientos de sujeción de las piezas metálicas por parte del manipulador KUKA, no pueden ser modificados debido a que la banda transportadora está colocada en un específico lugar de la mesa de trabajo. Cada estudiante, deberá colocar la caja de madera con compartimientos en el lado contrario de la banda para facilidad de desplazamiento del robot KUKA KR3 R540.

Para conocer el nivel de aprendizaje de los estudiantes se propone como actividad complementaria de la Práctica 4, la localización de un nuevo elemento como es el caso de una arandela. Este elemento metalúrgico no corresponde a los elementos a identificar así que el manipulador KUKA KR3 R540 no ejecuta acciones de selección ya que el objeto será trasladado en la banda transportadora hacia una nueva caja donde se colocarán los objetos de rechazo.

Como se puede observar en la *Figura 59*, la Cámara Cognex realiza la adquisición de la imagen del objeto metalúrgico pero obteniéndose como resultado un variable que identifica el rechazo del objeto a identificar.

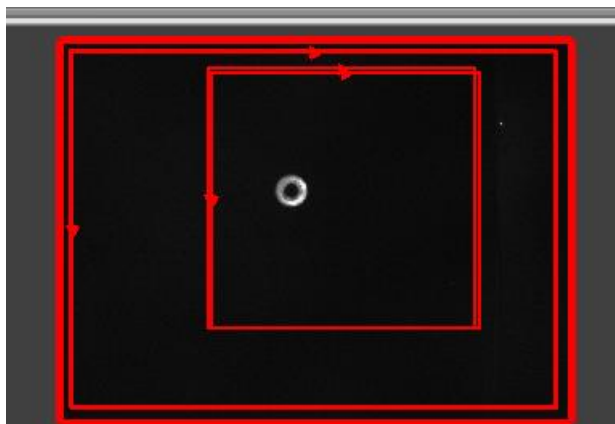


Figura 59. Rechazo de Objeto Metalúrgico (Arandela)

5.5. Práctica 5: Localización y Clasificación de Objeto Metalúrgicos (Sistema Pick And Place - Cámara Web)

Durante la ejecución de la Práctica 5, no se obtiene problemas con la configuración de la comunicación Profinet entre los dispositivos como: PLC S7-1200, controlador y manipulador KUKA, ya que en esta práctica de laboratorio se implementa las mismas configuraciones de interconexión entre los componentes utilizados en anteriores prácticas.

Los estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE no presentan dificultad en la implementación de los componentes diseñados como: banda transportadora y Gripper 1. Además, esta práctica presenta algunos procedimientos similares a la Práctica 4 como la comunicación Profinet y el enlace entre variables de entrada Profinet.

Se obtiene dificultades en la realización de la comunicación entre PLC S7-1200 y computador personal porque se implementa una nueva arquitectura de comunicación, debido a que se utiliza un programa con lenguaje de programación Python, donde se ejecutan algoritmos como: Preprocesamiento, segmentación e identificación. Los datos generados se transmiten por medio de una comunicación asíncrona, que deben ser enviadas hacia el PLC-S71200. Por el tipo de comunicación aplicada la recepción de los datos es lenta y hay retrasos de tiempo para la ejecución de acciones del robot KUKA.

Entre otro de los problemas detectados es la iluminación de la escena de trabajo ya que es de suma importancia, debido a que existe una mala calidad en las imágenes, con anterioridad se ubica a la cámara web en un lugar donde no existe un control adecuado de luz, y existe zonas donde había mayor iluminancia y viceversa.

Entre las primeras pruebas implementas el robot KUKA KR3 R540 no posiciona correctamente su gripper en las coordenadas del objeto, produciéndose choques con el objeto o no se recoge tal objeto. Por lo cual, se decide realizar una caja de madera con luz uniforme, para evitar problemas de identificación de los objetos.

Para la ejecución de esta práctica de laboratorio los estudiantes requieren de tiempo extra al propuesto, porque deben realizar pruebas del programa académico desarrollado, porque se ven afectados con la iluminancia del entorno de trabajo.

Para la programación de movimientos de sujeción de las piezas metálicas por parte del manipulador KUKA, no pueden ser modificados debido a que la banda transportadora está colocada en un específico lugar de la mesa de trabajo. Cada estudiante, deberá colocar la caja de madera con compartimientos en el lado contrario de la banda para facilidad de desplazamiento del robot KUKA KR3 R540.

Una de las más importantes etapas del sistema de visión ejecutado es la descripción y extracción de características, ya que de cada objeto se extrae un contorno mediante valores característicos denominados momentos para su reconocimiento.

Se muestra en la Tabla 25 y Tabla 26 los valores escogidos de los momentos para la identificación de los objetos.

Tabla 25:
Tabla de Momentos de Hu (Tornillo)

Momentos de HU (Tornillo)	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
Posición 1	1,46E-01	5,05E-03	2,09E-03	1,52E-04	8,50E-08	3,76E-06	-7,60E-09
Posición 2	1,43E-01	4,99E-03	1,95E-03	1,71E-04	9,90E-08	5,58E-06	5,45E-09
Posición 3	1,42E-01	4,86E-03	1,90E-03	1,67E-04	9,32E-08	5,50E-06	9,39E-09
Posición 4	1,41E-01	4,87E-03	1,81E-03	1,74E-04	9,64E-08	6,25E-06	1,71E-08
Promedio	0,13480623	0,004611	0,00156775	0,0002065	1,0114E-07	9,0253E-06	4,4945E-08

Tabla 26:
Tabla de Momentos de Hu (Tuerca)

Momentos de HU (Tuerca)	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
Posición 1	1,45E-01	4,61E-03	2,15E-03	1,55E-04	8,95E-08	4,20E-06	-6,55E-09
Posición 2	1,18E-01	3,75E-03	9,55E-04	2,81E-04	9,19E-08	1,51E-05	1,13E-07
Posición 3	1,02E-01	2,50E-03	6,22E-04	2,21E-04	4,46E-08	9,50E-06	6,90E-08
Posición 4	1,33E-01	5,56E-03	1,24E-03	2,43E-04	1,13E-07	1,26E-05	7,06E-08
Promedio	0,13480623	0,004611	0,00156775	0,0002065	1,0114E-07	9,0253E-06	4,4945E-08

De los momentos obtenidos, se muestra que la tuerca y el tornillo tienen valores característicos propios que hacen posible su identificación entre varios objetos,

permitiendo ejecutar algoritmos como la red neuronal empleada para su clasificación. Ver *Figura 60*.

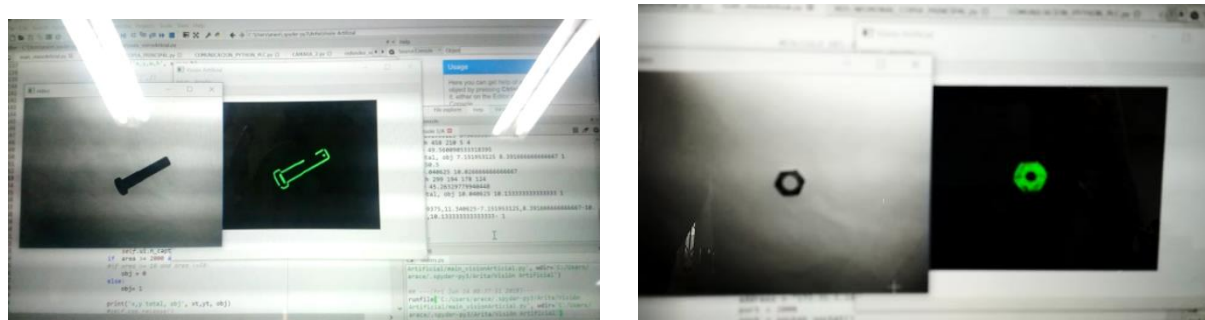


Figura 60. Detección de Tornillo y Tuerca en Software Académico

Debido a que esta práctica de laboratorio tiene similares objetivos a la Práctica 4, se obtiene parámetros comparativos vinculados al robot KUKA, cámara industrial y cámara de propósito general.

La Cámara Industrial es 100% confiable tanto en velocidad como en exactitud, ya que el robot KUKA KR3 R540 de una prueba de 30 repeticiones de la Práctica 4, se obtiene que el objeto es sujetado y desplazado desde las coordenadas cartesianas calculadas sin ningún error.

Tabla 27:

Parámetros Comparativos con Cámara Industrial

PRUEBAS DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL LOCALIZACIÓN CON CÁMARA INDUSTRIAL			
Nro.	Respuesta de Aplicativo Visión Artificial	Velocidad	Exactitud
1	Captura y Visualización de video	100%	100%
2	Detección de Patrones	100%	100%
3	Extracción de coordenadas de localización	100%	100%

Se obtiene una diferencia de valores con respecto a los indicados en la *Tabla 27*, como se aprecia la velocidad de procesamiento es más lenta debido a la gran cantidad de datos a procesar y al tipo de comunicación realizada para este caso asíncrona. Además, la exactitud de las coordenadas cartesianas calculadas de la misma cantidad

de repeticiones, si presenta un porcentaje de error debido a factores externos como es la iluminación.

Tabla 28:

Parámetros Comparativos con Cámara Web

PRUEBAS DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL LOCALIZACIÓN CON CÁMARA WEB			
Nro.	Respuesta de Aplicativo Visión Artificial	Velocidad	Exactitud
1	Captura y Visualización de video	100%	100%
2	Detección de Patrones	95%	96%
3	Extracción de coordenadas de localización	96%	98%

CAPÍTULO VI

6.1. Conclusiones

- Se cumplió con el objetivo de desarrollar una célula robotizada para fomentar habilidades prácticas a nivel de ingeniería mediante visión artificial, ya que se plantea una serie de guías de estudio para que el estudiante adquiera conocimientos del campo de la Visión Artificial.
- Gracias a la célula de Visión Artificial diseñada, así como de los varios elementos tanto físicos y electrónicos utilizados en cada práctica, la célula se encuentra en favorables condiciones para la realización de varios aplicativos industriales.
- El software In-Sight Explorer es una interfaz didáctica que presenta una amplia gama de herramientas que son muy útiles y fáciles de usar, entre una de la más utilizadas es la identificación por patrones; esta herramienta identifica cualquier figura u objeto sin importar su tamaño, dimensión, peso y color.
- En todas las industrias son requeridos sistemas donde se inspeccionen partes de los productos a elaborar ya que mejoran la calidad del mismo, por tal razón se desarrolló un sistema de control de calidad, el cual identifica el nivel de líquido de bebidas embotelladas, permitiendo así su clasificación de acuerdo a los controles de calidad establecidos.
- La cámara COGNEX y el controlador del robot KUKA KRC4 presentan coordenadas cartesianas como eje X, Y y Z; que pueden ser modificados con procedimientos propios de cada dispositivo.
- De acuerdo a las prácticas donde se realiza la localización de objetos, es necesario la fijación de coordenadas tanto para el manipulador del robot KUKA

KR3 540 y de las cámaras.

- Con la aplicación del Software In-Sight Explorer se realizó varios tipos de calibración que permite la cámara industrial, obteniendo medidas de piezas metálicas en unidades del mundo real como centímetros.
- En la guía práctica enfocada hacia la utilización de una cámara web, se requiere de una zona de trabajo donde exista la misma cantidad de luz por lo que así, se evitará la obtención de sombras en las imágenes capturadas, permitiendo un menor procesamiento de información.
- Los componentes tecnológicos utilizados en cada una de las prácticas de laboratorio no presentan una documentación de manejo a excepción de los documentos de programación y datos técnicos, con lo cual se realizó un análisis enfocándose hacia la comunicación, permitiendo así la transmisión de información entre los dispositivos electrónicos.
- A diferencia de los sistemas de visión por computador tradicionales, el sistema Cognex es mucho más preciso por sus algoritmos, comprobándose con varias pruebas experimentales durante la realización de las prácticas, la veracidad en variables como velocidad y precisión.
- Los aplicativos que utilizan la cámara Cognex no necesitan de una fuente de luz externa, debido a que la misma consta de propia luz, evitando así reflejos en las imágenes y logrando una buena captura de imagen.
- La iluminancia es uno de los parámetros de suma importancia para la identificación de objetos en una imagen, ya que evitará cometer errores de localización e identificación y se reducirá el gran procesamiento de información.
- Las herramientas del Software de la Cámara Cognex están diseñadas para ser

aplicadas en procesos industriales, en base a cada una de sus funciones se las utiliza en procesos donde se requiere inspección, medición, filtrado, trazado de gráficos y localización.

- Para la realización de las guías de laboratorios cada estudiante realizará una integración de componentes tecnológicos empleando varios conocimientos aprendidos durante su carrera.
- Para el envío de datos desde el PLC S7 1200 hacia el controlador del robot KRC4, se la realiza mediante comunicación Profinet; ya que la cámara industrial utilizada dispone de tal comunicación, en cambio para el envío de datos de un computador personal hacia el PLC S7 1200 se realizó una comunicación asíncrona.
- Debido a la comunicación asíncrona implementada en el aplicativo que se requiere de una cámara web, se obtiene retrasos de tiempo en la recepción de datos debido a que cada valor numérico es enviado bit a bit.
- Los puntos característicos de los objetos que fueron identificados mediante la captura de imágenes con una cámara web, se los obtuvo con los momentos de Hu que son valores útiles y de gran importancia para la clasificación del objeto.

6.2. Recomendaciones

- En cada aplicativo diseñado se requiere de conocimientos tanto en Robótica, Redes Industriales y Electrónica para el cumplimiento de objetivos propuestos en cada guía.
- Para los aplicativos elaborados las estructuras metálicas cumplen con el objetivo

de velar por la seguridad de la cámara Cognex, pero con el pasar del tiempo se recomienda elaborar una estructura metálica de fábrica que posea varias articulaciones con mayor grado de libertad, evitando así la manipulación de la cámara.

- Para cumplir con los objetivos de cada práctica de laboratorio se utilizan materiales electrónicos de bajo costo, si es necesaria la utilización de sensores industriales, la célula robotizada es apta para tales modificaciones.
- Las aplicaciones están programadas para ser ejecutadas a una velocidad del 30%, a partir de ese valor el manipulador del robot KUKA KR3 R540 realiza acciones a gran velocidad donde es necesario colocar tiempos de espera para el agarre y clasificación de los objetos.

6.3. Trabajos futuros

- Con la célula robótica de visión diseñada, se puede realizar varios aplicativos en el que está inmersa la utilización de la Cámara Cognex ya que este dispositivo es capaz de facilitar y evitar todo tipo de procesamiento de imágenes ya que sus algoritmos propios son aptos para ser aplicados en varios campos industriales.
- El campo de la visión artificial es de gran utilidad debido a que se la utiliza en distintas aplicaciones ya sea a nivel industrial o académico ya que permite el control de calidad, verificación de piezas elaboradas de distinto material, y la clasificación de objetos.
- Se pueden realizar nuevos aplicativos en donde este inmersa la cámara industrial Cognex, como por ejemplo en la inspección de medicamentos relacionados al campo de la farmacéutica, inspección de alimentos orgánicos en la industria alimenticia y la inspección de componentes electrónicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abellanas, M. (02 de Noviembre de 2018). *Segmentación de Imágenes*. Obtenido de <http://alojamientos.us.es/gtocom/pid/tema4.pdf>
- Camacho, E. J. (11 de Mayo de 2009). *Colección de Tesis Digitales*. Recuperado el Octubre de 2018, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/
- Cognex. (2014). *Cognex In-Sight & SIMATIC S7 300 PLC ProfiNET Communication Manual V1.3*. Massachusetts (Estados Unidos).
- COGNEX. (2016). *Introducción a la Visión Artificial*. Massachusetts, USA.
- COGNEX. (21 de Mayo de 2018). *In-Sight 7000 Series Vision System*. Recuperado el 20 de Octubre de 2018, de https://www.tipteh.si/wp-content/uploads/2018/08/Datasheet_In-Sight7000-G2_EN.pdf
- Constante, P. N. (2015). *Diseño e Implementación de un Sistema de Visión Artificial para Clasificación de al menos tres tipos de frutas*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Córdova, U. N. (25 de Enero de 2019). *Bibliotecas UDLAP (Colección de Tesis Digitales)*. Recuperado el 26 de Marzo de 2019, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/jimenez_c_e/capitulo2.pdf
- CORPORATION, K. (24 de Mayo de 2019). *Fundamentos del Sensor*. Obtenido de https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/laser_light/feature/
- Duque, R. G. (s.f.). *Sockets en Python*. Recuperado el 20 de Enero de 2019, de Mundo Geek: <http://mundogeek.net/acerca-de/>
- España, M. d. (2012). *Industriales, Aplicación Práctica de la Visión Artificial en el Control de Procesos*. Recuperado el 31 de Marzo de 2019, de http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf
- España, M. E. (2015). *Aplicación Práctica de la Visión Artificial en el Control de Procesos Industriales*. España.
- Garrido, G. G. (2015). *Ordenación de Objetos Mediante Robot y Técnica de Visión Artificial*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI).
- German, L. (2013). *Diseño de un Sistema de Visión Artificial para la Revisión de Nivel de Llenado de Bebidas Embotelladas*. Univesidad Autónoma del Caribe.

- Gloria, B., & Dorado, J. (2007). *Gestión, Procesado y Análisis de Imágenes Biomédicas*. La Mancha: Ediciones de la Universidad de Castilla.
- Gordillo, D. H. (13 de Diciembre de 2004). *Colección de Tesis Digitales*. Recuperado el 05 de Octubre de 2018, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/hernandez_g_d/
- KUKA. (2018). *Controller KR C4 compact*. Alemania.
- KUKA. (2018). *KR 3 R540*. Augsburg.
- Lanzaro, F. (01 de Octubre de 2018). *Calibración y Posicionamiento 3D*. Obtenido de <http://iie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/gti/timag/trabajos/2014/candombe/calibracion.html>
- López, D. G. (13 de Noviembre de 2018). *Visión*. Obtenido de <http://www.dccia.ua.es/dccia/inf/asignaturas/Vision/?fbclid=IwAR0IoVeTzmrnsAhPTaNr4yQsrWR7DO9UMCFU3HZ3qXii-ZmdW09ak04FS5s>
- Luzardo, G. (Martes de Marzo de 2009). *Calibración de Cámaras con MatLab*. Recuperado el Octubre de 2018, de <http://blog.espol.edu.ec/gluzardo/2009/03/10/calibracion-de-camaras-con-matlab/>
- Martín, P. P. (2018). *Usando Redes Neuronales Convolucionales para Convertir Características Visuales en Estímulos Sonoros*. San Cristóbal de La Laguna(España).
- Naturales-UBA, F. d. (20 de Octubre de 2018). *Visión por Computador*. Obtenido de https://campus.exactas.uba.ar/pluginfile.php/81774/course/section/17104/ClaseVC8_camara.pdf?fbclid=IwAR3hF7fSjZHpduU2LITM50ZbdgKn2Yq_4V9ZSKTg0kbAyC8oWWIZvzLWQV6wF
- Nora, P. S. (2009). Técnicas de Segmentación en Procesamiento Digital de Imágenes. *Revista de Ingeniería de Sistemas e Informática*, 11,12.
- ONUDI. (2016). *El rol de la Tecnología y la Innovación en el Desarrollo Industrial Inclusivo y Sostenible*. Viena.
- Programación de socket en Python (Guía)*. (s.f.). Recuperado el 2019 de Enero de 05, de <https://realpython.com/python-sockets/>
- Quezada, A. L. (2015). *Diseño y Construcción de un Prototipo de Sistema de Visión Artificial para la Clasificación y Control de Calidad de la Chapa de Madera*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- SIEMENS. (2009). *Controlador programable S7-1200*. Alemania.
- SIEMENS. (2011). *PROFINET*. Munich (Alemania).

Tecnológica, D. (13 de Abril de 2019). *Componentes Electrónicos*. Obtenido de <http://dinastiatecnologica.com/producto/modulo-laser-5v-para-arduino-pic-raspberry-pi/>

Tello, L. G., & Iza Carvajal, A. D. (2017). *Diseño y Construcción de una Máquina Clsificadora de Maíz Duro Seco Mediante un Sistema de Visión Artificial para la Distribuidora de Granos y Harinas Danhalu*. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Valero, P. J. (2006). *Introducción a la Robotica Inteligente*.

Wilfrido, G. F. (03 de Junio de 2015). *CIMVESTAV Tamaulipas*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2018, de <https://docplayer.es/60084832-Reconocimiento-de-objetos-en-fotografias-dr-wilfrido-gomez-flores.html>

Woods, G. (2002). *Digital Image Processing*. New Jersey: Prentice Hall.