



**INSPECCIÓN AUTOMÁTICA CON
VIDEOVIGILANCIA DE SOFTWARE
GRATUITO EN LA FABRICACIÓN
DE AUTOPARTES PLÁSTICAS**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN
MANUFACTURA AVANZADA**

PRESENTAN

**ING. FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ PÉREZ
ASESOR: M. EN C. SIMON VANDEWALLE**

QUERÉTARO, QUERÉTARO, NOVIEMBRE DE 2018

CARTA DE LIBERACIÓN DE ASESOR



24 de octubre de 2017

DRA. MARÍA GUADALUPE NAVARRO ROJERO
DIRECCIÓN DE POSGRADO DE CIATEQ

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del alumno Ing. Francisco Javier Hernández Pérez, una vez revisada la Tesis titulada: "INSPECCIÓN AUTOMÁTICA CON VISIÓN COMPUTACIONAL DE SOFTWARE LIBRE PARA LA MANUFACTURA DE AUTOPARTES PLÁSTICAS", autorizamos que el citado trabajo sea presentado por el alumno para la revisión del mismo con el fin de alcanzar el grado de Maestro en Manufactura Avanzada durante el Examen de Titulación correspondiente.

Y para que así conste se firma la presente a los 24 días del octubre del año 2017.

M. en C. Simon Vandewalle
Master of Science in Electrical
Engineering at Ghent University
Asesor Académico

Grado y nombre completo
Asesor en Planta

Firmado digitalmente
por Simon Vandewalle
Fecha: 2017.11.05
00:08:09 +01'00'

CARTA DE LIBERACIÓN DE REVISOR



Santiago de Querétaro, Qro.
23 de noviembre del 2018

Dra. Maria Guadalupe Navarro Rojero
Directora
Posgrado CIATEQ
PRESENTE.

Por medio de la presente me estoy dirigiendo a Ud. de la manera más atenta, de que fui designado como revisor del trabajo de tesis del **Ing. FRANCISCO JAVIER HERNÁNDEZ PÉREZ**, del trabajo titulado:

"INSPECCIÓN AUTOMÁTICA CON VIDEOVIGILANCIA DE SOFTWARE GRATUITO EN LA FABRICACIÓN DE AUTOPARTES PLÁSTICAS"

Después de haber leído, corregido e intercambiado información con el estudiante antes mencionado, el trabajo de tesis que me fue entregado y haciendo resaltar que el estudiante realizó todos los cambios que le fueron sugeridos a la tesis, ésta puede ser autorizada para su publicación y que de esta manera pueda iniciar los trámites correspondientes para iniciar el proceso de titulación.

Sin otro particular por el momento y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta y en beneficio del estudiante y la institución, agradezco la atención que se sirva prestar a la presente,

ATENTAMENTE

Dr. Israel Barragán Santiago

RESUMEN

La presente tesis explica el diseño de un automatismo *Poka-Yoke* de visión computacional con cámaras web para detectar defectos en la fabricación de autopartes plásticas.

Los defectos de integridad en autopartes plásticas son amorfos y en ubicaciones variadas por lo cual sólo pueden ser detectados eficazmente con la técnica de visión computacional.

Este automatismo combina tres aplicaciones independientes basadas en varias técnicas alternas:

Aplicación 1.- Adquisición de imágenes y procesamiento con cámara web y videovigilancia (*Safe4cam*) de *software* gratuito (significa que no se requiere comprar licencia y que tiene el código cerrado) en lugar de un sensor de visión, esta aplicación fue **desarrollada por Tecnología Pokayoke** (consultoría propiedad del autor de esta tesis, <http://tecnologiapokayoke.mex.tl>) para *Mitchell Plastics* Querétaro.

Aplicación 2.- Sistema de control con *PIC* (*Controlmático II*) en lugar de *PLC*, integrando *hardware* periférico en un mismo gabinete con funcionalidades neumáticas, mensajes de texto (*IIoT*), led *RGB* indicador de estado, entre otros, es decir, combinaciones de tecnología que no se encuentran en los catálogos de distribuidores de equipo de automatización (esta aplicación **es propiedad de Tecnología Pokayoke**).

Aplicación 3.- Nido de posición unívoca **en material TRILOGIQ** en lugar de un nido maquinado y montado en estructura de herrería.

El trabajo planteado en esta tesis abre una alternativa creativa hacia una mayor autonomía tecnológica que implica aumentar el contenido de valor agregado local (de lo cual no hay bibliografía específica que estudie este particular fenómeno tecnológico y social, pero si hay publicaciones sobre la tendencia a crear alternativas tecnológicas como el movimiento "*openmaker*" (1) que es una reacción para autofabricar aplicaciones tecnológicas equivalentes a las comerciales, que son cerradas, para emprender negocios industriales de base tecnológica).

El automatismo funciona reconociendo un patrón incorrecto tras lo cual el *software* emite una alarma acústica que es luego amplificada para obtener un bit útil que dispara una secuencia coordinada por un *PIC* para capturar la pieza defectuosa.

Palabras clave: **Ingeniería y Tecnología, Tecnología de la Instrumentación, Tecnología de la Automatización.**

ABSTRACT

In this thesis is explained the design of a *Poka-Yoke* based on computational vision by webcams to detect defects during manufacturing of plastic automotive parts.

Integrity defects in automotive parts are amorphous and in varied location whereby they can be caught effectively by computational vision technique only.

This *Poka-Yoke* combines three independent applications based in several alternate techniques:

Application 1. Acquisition of images and processing by webcam through video surveillance (*Safe4cam*) of costless software (it means no license purchasing needed but has closed code) instead of a vision sensor, this application was **developed by Tecnologia Pokayoke** (industrial automation consulting, property of the author of this thesis, <http://tecnologiapokayoke.mex.tl>) for Mitchell Plastics Queretaro.

Application 2. Control system based on PIC (called *Controlmatico II*) instead of PLC, integrating peripheral hardware in a block cabinet with functions pneumatics, SMS (IIoT), RGB led status indicator and others, namely, technology combinations that are not in catalogues of automation equipment dealers (this application **is property of Tecnologia Pokayoke**).

Application 3. Single position nest built **in TRILOGIQ components** instead of a machined nest installed on a structure of steel profile.

The topic raised in this thesis open an alternative creative towards greater technological autonomy which implies increasing the local content as value added (there is not a specific bibliography that studies this particular technological and social phenomenon, but there is tendency to create technological alternatives such as the “openmaker group” (1) which is a reaction to self-manufacture technological applications equivalent to commercial ones, because they are closed, in order to be an entrepreneur of industrial businesses based on technology).

This *Poka-Yoke* works recognizing an incorrect pattern then the software emits an acoustic alarm than can be amplified to get a useful bit that triggers a sequence coordinated by a PIC to capture the defective part.

Keywords: **Engineering and Technology, Instrumentation Technology, Automation Technology.**

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARTA DE LIBERACIÓN DE ASESOR	i
CARTA DE LIBERACIÓN DE REVISOR.....	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
AGRADECIMIENTOS.....	xiii
GLOSARIO.....	xiv
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	25
1.1 ANTECEDENTES	25
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	29
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	33
1.4 OBJETIVO GENERAL.....	34
1.4.1 Objetivo específico 1	34
1.4.2 Objetivo específico 2.....	34
1.5 HIPÓTESIS.....	34
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	35
2.1 EL MÉTODO CONTEMPORÁNEO DE LIBERACIÓN DE LA PRIMERA PIEZA	36
2.2 VISIÓN COMPUTACIONAL PARA INSPECCIÓN AUTOMÁTICA EN MANUFACTURA.....	39
2.3 TÉCNICAS CONVENCIONALES PARA LA DETECCIÓN DE ATRIBUTOS EN AUTOPARTES PLÁSTICAS....	45
2.4 LOS MICROCONTROLADORES <i>PIC</i>	50
2.5 CONSTRUCCIONES MODULARES PARA MANUFACTURA ESBELTA	58
2.6 MANUFACTURA 4.0.....	65
2.7 TÉCNICA Y TEORÍA <i>POKA-YOKE</i>	66
2.8 RELACIÓN CON LAS INVESTIGACIONES SOBRE EL TEMA	67
CAPÍTULO 3. PROCEDIMIENTO.....	69
3.1 DEFINICIÓN DE LAS AUTOPARTES Y SUS ATRIBUTOS A INSPECCIONAR	70
3.1.1 Caso A: Autoparte con sobrante de integridad.....	71
3.1.2 Caso B: Autoparte con faltante de integridad.....	74
3.2 EXPLORACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DEL <i>SOFTWARE</i> DE VIDEOVIGILANCIA <i>SAFE4CAM</i> EN APLICACIONES DE MANUFACTURA.....	76

3.3 EXPLICACION CONCEPTUAL DE LOS ALGORITMOS DE SAFE4CAM	79
3.4 OBTENCIÓN DE UN <i>BIT</i> ÚTIL A PARTIR DE LA DETECCIÓN CON EL <i>SOFTWARE</i> DE VIDEOVIGILANCIA <i>SAFE4CAM</i>	80
3.4.1 Caso A: Autoparte con sobrante de integridad	84
3.4.2 Caso B: Autoparte con faltante de integridad	84
3.4.3 Amplificación de la señal de audio	85
3.5 CONSTRUCCIÓN DE LOS NIDOS DE POSICIÓN ÚNICA EN MATERIAL TRILOGIQ.....	87
3.6 DISEÑO DEL CONTROLADOR Y PROGRAMACIÓN.....	92
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....	96
4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	96
4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	100
CONCLUSIONES	104
APORTACIÓN DE LA TESIS.....	107
RECOMENDACIONES	108
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
APÉNDICE A: TABLAS DE EVALUACIÓN PFMEA (4).....	112
APÉNDICE B: EJEMPLO DE UN FORMATO DE LIBERACION DE PRIMERA PIEZA QIR.....	115
APÉNDICE C: FRAGMENTO DE FICHA TÉCNICA DEL PIC 16F628A	116
APÉNDICE D: DECLARACIONES EN PBP.....	118
APÉNDICE E: PERFIL DE LA EMPRESA <i>MITCHELL PLASTICS</i> QUERÉTARO	121
APÉNDICE F: INSTRUCTIVO PARA UTILIZAR <i>SAFE4CAM</i>	122
APÉNDICE G: DECLARATIVAS DEL FABRICANTE <i>LOGITECH</i> ACERCA DE BOCINA z51	125
APÉNDICE H: PROGRAMACIÓN EN PIC BASIC PRO.....	129
APÉNDICE I: DIAGRAMAS ELÉCTRICOS	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pieza correcta (izquierda) y pieza con tiro corto (derecha)	25
Figura 2. Pieza correcta (izquierda) y pieza con falta de llenado (derecha)	25
Figura 3. Pieza correcta (izquierda) y pieza con coladas (derecha)	25
Figura 4. Pieza correcta (izquierda) y pieza con rechupe (derecha)	26
Figura 5. Fragmento de un QIR o Reporte de Inspección de Calidad para la liberación de primera pieza, utilizado en <i>Mitchell Plastics Querétaro</i> para la pieza "Ip Driver" para la camioneta Q5 de <i>Audi</i>	36
Figura 6. Plantilla o escantillón o <i>Checking Fixture</i>	37
Figura 7. Diagrama Ishikawa (5)	38
Figura 8. Diagrama de bloques de las etapas típicas en un sistema de visión computacional (8).....	39
Figura 9. Ejemplo de operaciones sobre el histograma, se observa la ecualización de la imagen (10).....	41
Figura 10. a) Imagen original, b) Imagen corrompida por ruido <i>gaussiano</i> , c) Imagen resultado de la aplicación de un filtro paso bajo sobre b), d) Imagen resultado de la aplicación de un filtro de paso alto sobre a) (7)	42
Figura 11. Ejemplo de una binarización (a) Imagen original, (b) Binarización con umbral en 150 [intensidad], (c) Binarización con umbral en 200 [intensidad], (d) Binarización con umbral en 250 [intensidad] (7)	42
Figura 12. Ejemplo de aplicaciones del algoritmo de "Canny" con escena controlada (11)	43
Figura 13. Detección de bordes, a) imagen original, b) Canny (9)	44
Figura 14. El sensor capacitivo	46
Figura 15. El sensor inductivo	47
Figura 16. El sensor óptico, a la izquierda infrarrojo (E18), a la derecha el láser (QS18) ..	47
Figura 17. El interruptor de proximidad, en este caso normalmente abierto	48
Figura 18. El sensor neumático	49
Figura 19. El PIC 16F628A fabricado por Microchip	50
Figura 20. Diagrama de terminales del PIC 16F628A. Observar que sólo tiene los puertos A y B (14).....	52
Figura 21. Conexión 0 lógico y 1 lógico, diagrama dibujado en <i>ISIS Proteus</i>	54
Figura 22. Paralelismo entre lenguaje <i>ladder</i> (de escalera) y conexiones del PIC	54

Figura 23. Correspondencia entre el patillaje de un programador y el PIC (15).....	55
Figura 24. El entorno de programación de PIC LDmicro (18)	57
Figura 25. Estaciones modulares contruidas con perfil Bosch (19).....	58
Figura 26. Estaciones modulares contruidas con perfil Flexpipe (20)	58
Figura 27. El ensamble no requiere soldadura, ni pintura, sólo una llave hexagonal “T” de 5 mm.....	59
Figura 28. A la izquierda se muestra una fracción del tubo T1-400, 2 conectores F-90, tuerca y tornillo S1. A la derecha se muestran los componentes de la izquierda ensamblados en otro tubo T1-400	60
Figura 29. A la izquierda carro transportador de tablero de instrumentos (<i>IP panel</i>) y a la derecha carro transportador de consola central (<i>Console Body</i>)	60
Figura 30. Estación de trabajo móvil.....	61
Figura 31. Estación de trabajo móvil.....	61
Figura 32. A la izquierda bandas transportadoras de rodillos para transportación de contenedores. A la derecha bandas transportadoras de rodillos, nótese la ventaja de poderse aplicar directamente contra autopartes, en las zonas planas de estas	62
Figura 33. Ejemplo de mobiliario de oficina	62
Figura 34. La cubierta decorativa de control de aire acondicionado para la camioneta TRAX.....	63
Figura 35. Diagrama de flujo de proceso de la cubierta decorativa del control de aire acondicionado. Notar que el <i>Poka-Yoke</i> agregado funciona como una aduana pasa- no pasa	64
Figura 36. Observar la conexión en serie de 4 sensores inductivos <i>PNP</i> para la detección hace funcionar un led indicador. También observar en la imagen de en medio una pieza correcta y otra incorrecta. A la derecha se observa la ubicación estratégica entre 2 operaciones para obtener el desempeño como una aduana de verificación pasa-no pasa.....	64
Figura 37. Esquema de conectividad de una industria bajo el concepto “Industria 4.0” (24)	65
Figura 38. Ejemplo de un dispositivo de ensamble con inspección en la fuente, desarrollado por Tecnología <i>Pokayoke</i> , sólo permite la liberación de piezas correctas, las incorrectas las atrapa	66
Figura 39. El modelo Q5 que <i>Audi</i> está produciendo en México	70

Figura 40. La autoparte <i>Front Door</i> y su ubicación en cada una de las 4 puerta en el interior del modelo Q5 de <i>Audi</i> , hay un <i>Front Door</i> para puerta izquierda y otro <i>Front Door</i> para la puerta derecha, semejantes y reflejados entre si	71
Figura 41. Los 3 puntos de inyección son las coladas en el <i>Front Door</i> , observar una pieza correcta o sea con las coladas cortadas (arriba) contra otra incorrecta sin las coladas cortadas (abajo)	72
Figura 42. Esquema simplificado donde se muestra que la colada es un vestigio del punto de inyección	72
Figura 43. Diagrama de flujo de proceso de la moldura <i>Front Door</i> . Notar que la ubicación del <i>Poka-Yoke</i> correspondería a una frontera entre procesos: En lugar de la mesa de inspección visual	73
Figura 44. La autoparte <i>Trim Cover</i> y su ubicación en el interior del modelo Q5 de <i>Audi</i>	74
Figura 45. A la izquierda una pieza correcta, a la derecha una pieza incorrecta con falta de llenado (incompleta)	75
Figura 46. Diagrama de flujo de proceso del <i>Trim Cover</i> . Notar que la ubicación del <i>Poka-Yoke</i> correspondería a una frontera entre procesos: En lugar de la mesa de inspección visual	75
Figura 47. Videovigilancia con el software de <i>Safe4cam</i>	76
Figura 48. Interfaz de <i>Safe4cam</i> (izquierda) vs escena real (derecha)	80
Figura 49. Detección de colada a través de la técnica de seguimiento de color en <i>Safe4cam</i> (izquierda) vs escena real (derecha)	81
Figura 50. Detección por color en <i>Safe4cam</i>	81
Figura 51. Esquema de conexión de <i>hardware</i> para obtener un <i>bit</i> útil a través de la señal de audio.....	82
Figura 52. Obtención del bit en bajo voltaje desde la bocina externa	82
Figura 53. Diagrama electrónico para obtener el <i>bit</i> útil para el microcontrolador PIC, dibujado en <i>ISIS Proteus 7.1</i>	83
Figura 54. Montaje real del diagrama electrónico para obtener el <i>bit</i> útil para el microcontrolador <i>PIC</i>	83
Figura 55. Obtención de un <i>bit</i> útil en un relevador tras la detección de colada (sobrante de integridad)	84

Figura 56. Del lado izquierdo la detección de falta de integridad con la escena controlada, del lado derecho la interfaz de <i>Safe4cam</i> detectando el fondo verde que no debe ser visto para piezas correctas.....	84
Figura 57. Detección de falta de integridad, del lado izquierdo la escena controlada y del lado derecho la interfaz de <i>Safe4cam</i> sin detectar el fondo verde.....	85
Figura 58. Patillaje del circuito LM386 (<i>Low Voltage Audio Power Amplifier</i>) (39).....	85
Figura 59. Circuito de amplificación de audio con LM386 (39)	86
Figura 60. A: Patillaje del circuito MOC3011 (40) y B: Esquema de integración MOC3011 - LM386 - PIC	86
Figura 61. Montaje de LM386 y MOC3011 integrados en un protoboard	86
Figura 62. Ejemplos de nidos de posición única, del lado izquierdo los nidos con sus respectivos pines, barrenos y muescas, a la derecha los nidos mostrando su capacidad de restricción de posición única en piezas específicas	87
Figura 63. Ejemplo de un nido de posición única para el caso A con material <i>TRILOGIQ</i>	88
Figura 64. El sensor infrarrojo está calibrado para detectar el clip hasta que este es insertado a tope en un barreno en la estructura <i>TRILOGIQ</i> . Notar que se puede ajustar hacia la derecha o izquierda y radialmente gracias al conector F90	88
Figura 65. Sujeción de la pieza caso A con <i>clamp</i> neumático	89
Figura 66. Inspección con cámara web de la presencia de colada contra una escena controlada para el caso A	89
Figura 67. Ejemplo de un nido de posición única para el caso B con material <i>TRILOGIQ</i>	90
Figura 68. El sensor infrarrojo está calibrado para detectar el clip hasta que este es insertado a tope en una ranura en la estructura <i>TRILOGIQ</i> . Notar que se puede ajustar hacia la derecha o izquierda y radialmente gracias al conector F90	90
Figura 69. Sujeción de la pieza caso B con <i>clamp</i> neumático.....	91
Figura 70. Inspección con cámara web de la presencia de colada contra una escena controlada para el caso B.....	91
Figura 71. Diagrama de flujo del funcionamiento del controlador.....	92
Figura 72. El módulo <i>CONTROLMATICO II</i> , propiedad de “Tecnología Pokayoke”	93
Figura 73. Patillaje del PIC 16F887	93

Figura 74 = Figura 55. Obtención de un <i>bit</i> útil en un relevador tras la detección de colada (sobrante de integridad)	96
Figura 75. Integración del amplificador de audio LM386 y el optoacoplador MOC3011	97
Figura 76. Barreras para control de la escena en el Poka-Yoke.....	98
Figura 77. Estación de trabajo proyectada en el software <i>FlexSim</i> (izquierda) y estación real (derecha)	98
Figura 78. Detalle de la interacción brazo robótico (EAOT) contra <i>Poka-Yoke</i>	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fragmento de PFMEA (4).....	32
Tabla 2. Componentes de una aplicación de visión computacional.....	40
Tabla 3. Fabricantes de equipos de visión aplicados en el sector automotriz.....	44
Tabla 4. Funciones de las terminales del PIC 16F628A.....	53
Tabla 5. Lenguaje de alto nivel vs lenguaje de bajo nivel.....	56
Tabla 6. Declaraciones de PBP, fragmento (17).....	57
Tabla 7. Comparativa con otros desarrollos de inspección automática en la manufactura.....	67
Tabla 8. Cómo detectar sobrante de integridad con <i>Safe4cam</i>	77
Tabla 9. Cómo detectar faltante de integridad con <i>Safe4cam</i>	78
Tabla 10. Secuencia de funcionamiento de <i>Safe4Cam</i> (37).....	79
Tabla 11. Señales del controlador CONTROLMATICO II.....	94
Tabla 12. Pruebas y resultados.....	100
Tabla 13. Corridas en producción.....	101
Tabla 14. Resumen de detección correcta o incorrecta.....	103

AGRADECIMIENTOS

En esta sección aprovecho para expresar mi sincero agradecimiento:

- A CONACyT por la beca que me otorgó para realizar esta Maestría.
- A CIATEQ por su innovador modelo educativo dirigido a los profesionales que laboramos en la industria y que sólo a través de estos programas pudimos estudiar una Maestría.
- A la empresa *Mitchell Plastics* por permitir la realización de pruebas del proyecto descrito en la presente tesis.
- A mi asesor M. en C. Simón Vandewalle por su ayuda y guía en el desarrollo de esta tesis.
- Al Dr. Israel Barragán Santiago por su valioso tiempo dedicado a la revisión de esta Tesis.
- A la empresa *TRILOGIQ México* por su apoyo técnico y visión de crear aplicaciones mecatrónicas con su sistema de construcción modular para manufactura.
- A la licenciada Diana Ramírez por su labor de difusión que me permitió tener la fortuna de conocer CIATEQ.
- Al Maestros Geovany González y Fernando Talavera por su valioso trabajo de soporte para el desarrollo de la actividad académica en CIATEQ y por tener siempre tiempo de atender a los estudiantes.
- A todos aquellos profesores que me dejaron enseñanzas muy valiosas: Laura Marmolejo García, José Antonio Cuatpotzo, Francisco Betanzos, Raymundo Medina Negrete, Israel Barragán Santiago, Daniel Napoleón Gómez Balbuena, Gilberto Magaña Loreno, Jorge Amador del Prado y Helen Janeth Zuñiga Osorio.

DEDICATORIA: Para mi hija Hilda y mi esposa Michell.

GLOSARIO

- AIAG: Es el Grupo de Acción de la Industria Automotriz (Automotive Industry Action Group) es una asociación sin fines de lucro fundada en 1982 y con sede en Southfield, Michigan. Originalmente fue creado para desarrollar recomendaciones y un marco para la mejora de la calidad en la industria automotriz de América del Norte. Las áreas de interés de la asociación se han ampliado para incluir estándares de calidad de productos, core tools (PFMEA, CP, SPS, MSA) códigos de barras radiofrecuencia, gestión de materiales, intercambio electrónico de datos, contenedores retornables, sistemas de embalaje, asuntos regulatorios y aduaneros.
- AMEF: El Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF), es un procedimiento que permite identificar fallas en productos, procesos y sistemas, así como evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación, para de esta forma, evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención.
- ANDROID: Es un sistema operativo basado en el núcleo Linux. Fue diseñado principalmente para dispositivos móviles con pantalla táctil.
- APP: Aplicación informática diseñada para teléfonos móviles inteligentes.
- ARDUINO: Es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.
- AVR: Acrónimo de Advanced Virtual RISC, son una familia de microcontroladores.
- CAD: El diseño asistido por computadoras es cuando se utilizan diferentes softwares gráficos para lograr crear una serie de imágenes que conjuntas crean una imagen mayor o dibujo.
- Canny: El algoritmo de Canny es un operador desarrollado por John F. Canny en 1986 que utiliza un algoritmo de múltiples etapas para detectar una amplia gama de bordes en imágenes.
- CAPEX: Del idioma inglés "capital expenditures" o gastos de capital es la cantidad que se gasta para adquirir o mejorar los activos productivos (por ejemplo maquinaria y equipos) con el fin de aumentar la capacidad o eficiencia de una empresa.

- Checking fixture: Herramental de revisión donde se coloca una pieza producida para confirmar que se encuentra entre los límites geométricos y de tolerancias de frontera contra las autopartes vecinas, consta de una plantilla precalibrada y certificada fija y de otras móviles para medición de espacios intersticiales y las máximas interferencias permisibles a través de plantillas tipo pasa – no pasa.
- CIATEQ: Centro de Investigación y Asistencia Técnica del Estado de Querétaro, forma parte del sistema de centros públicos de investigación de CONACyT.
- CIM: Manufactura integrada por computador.
- CONACyT: El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología es un organismo público descentralizado del gobierno federal dedicado a promover, estimular y elaborar las políticas para el desarrollo de la ciencia y la tecnología en México.
- CONTROLMATICO II: Sistema de control basado en el PIC 16F887; cuenta con hasta 38 I/O en un sistema compacto con neumática y telecomunicaciones integradas, visitar <http://tecnologiapokayoke.gq> (sin www.)
- CPU: Abreviatura de Central Processing Unit (unidad de proceso central).
- Darlington: En electrónica, este el transistor es un dispositivo semiconductor que combina dos transistores bipolares en un tándem en un único dispositivo. Esta configuración sirve para que el dispositivo sea capaz de proporcionar una gran ganancia de corriente, su típica aplicación es la amplificación de pequeñas señales.
- EOAT: End Of Arm Tooling o Final de herramental de brazo, que es el manipulador que extrae la pieza plástica del molde para procesarlo en el corte, inspección automática y entrega al obrero.
- Escantillón: Es un patrón o guía para comparar una dimensión de la autoparte contra la especificación geométrica (claro, interferencia, pasa – no pasa, etc.).
- Firmware: Conjunto de instrucciones de un programa informático que se encuentra registrado en una memoria ROM, flash o similar. Estas instrucciones fijan la lógica primaria que ejerce el control de los circuitos de alguna clase de artefacto.

- GSM/GPS: Los dispositivos GPS (Global Position System) Sistema de Posicionamiento Global, sirven para rastrear un objeto e indicar su posición mundial. El GSM (Global System for Mobile communication) o Sistema Global para las comunicaciones Móviles, es un sistema estándar de telefonía móvil digital que le permite telecomunicarse con equipos de cómputo a través del teléfono celular.
- Grumo: Defecto del proceso de pintura el cual consiste en el atrapamiento de una partícula de contaminación debajo de la capa de pintura.
- Hardware: Conjunto de los componentes que conforman la parte material (física) de una computadora.
- Hyperterminal es una aplicación de Windows que le permite establecer una comunicación computadora a computadora a través de una conexión telefónica convencional o por puerto serial. Las comunicaciones no son del tipo de las empleadas para conectarse a Internet, sino las que se usaban antes del gran auge de Internet para conectar una computadora a un sistema remoto BBS, o a otro ordenador personal, a través de una llamada telefónica convencional, permitiendo que a través de las dos computadoras conectadas puedan mantener una conversación "on line", e incluso transferirse archivos, usando para éste último caso el protocolo de transferencia de ficheros Z-módem.
- Hosting: El alojamiento web (en inglés: web hosting) es el servicio que provee a los usuarios de Internet un sistema para poder almacenar información, imágenes, video, o cualquier contenido accesible vía web.
- IoT: Internet of Things o Internet de las cosas,
- IIoT: Industrial Internet of Things o Internet Industrial de las cosas, es una tendencia tecnológica que implica la integración entre las cosas que rodean a las personas y las empresas en todos los ambientes. Se puede definir como la infraestructura que permite vincular a los objetos a las redes de comunicación, al habilitar datos que nunca antes habían estado disponibles, a través de IIoT, las empresas pueden recolectar datos y transformarlos, a partir del análisis de estos se pueden resolver desafíos, como la reducción de costos de fabricación, disminución de desperdicios y una respuesta ágil a los requerimientos de los mercados, todo ello conectando máquinas, personas y objetos.

- **ISIS PROTEUS:** Proteus Design Suite es software de automatización de diseño electrónico, desarrollado por Labcenter Electronics Ltd., que consta de los dos programas principales: Ares e Isis, y los módulos VSM y Electra. El Programa ISIS, Intelligent Schematic Input System (Sistema de Enrutado de Esquemas Inteligente) permite diseñar el plano eléctrico del circuito que se desea realizar con componentes muy variados, desde simples resistencias, hasta alguno que otro microprocesador o microcontrolador, incluyendo fuentes de alimentación, generadores de señales y muchos otros componentes con prestaciones diferentes. Los diseños realizados en ISIS pueden ser simulados en tiempo real, mediante el módulo VSM, asociado directamente con ISIS.

Una de las prestaciones de Proteus, integrada con ISIS, es VSM, el Virtual System Modeling (Sistema Virtual de Modelado), una extensión integrada con ISIS, con la cual se puede simular, en tiempo real, con posibilidad de más rapidez; todas las características de varias familias de microcontroladores, y con la posibilidad de cargar virtualmente el programa al microcontrolador y cada una de sus salidas, y a la vez, conectarlas a los componentes electrónicos para simular las el programa. Se pueden simular circuitos con microcontroladores conectados a distintos dispositivos, como motores eléctricos, pantallas de cristal líquido (LCD), teclados en matriz, etc. Incluye, entre otras, las familias de microcontrolador PIC, tal como PIC10, PIC12, PIC16, PIC18, PIC24 y dsPIC33. ISIS es el CORE (corazón) del entorno integrado Proteus. Combina un entorno de diseño de una potencia excepcional con una enorme capacidad de controlar la apariencia final de los dibujos. ARES, o Advanced Routing and Editing Software (Software de Edición y Ruteo Avanzado); es la herramienta de enrutado, ubicación y edición de componentes, se utiliza para la fabricación de placas de circuito impreso, permitiendo editar generalmente, las capas superficial (Top Copper), y de soldadura (Bottom Copper).

- **KERBEIROS.IO:** Es un software de video vigilancia de bajo presupuesto que utiliza algoritmos de visión por computadora para detectar cambios y que puede activar dispositivos periféricos. KERBEIROS.IO es de código abierto para que todos puedan personalizar el código fuente según sus necesidades y compartirlo con la comunidad informática.

- LCD: Una pantalla de cristal líquido es un dispositivo para la presentación de imágenes o caracteres. Cuenta con varias presentaciones, la 16x2 es la más conocida, ver la datasheet en internet "LCD 1602a v2.0".
- LED: Es un diodo emisor de luz (LED por sus siglas en inglés light-emitting diode) que funciona como una fuente de luz constituida por un material semiconductor dotado de dos terminales. Se trata de un diodo de unión p-n, que emite luz cuando está activado. Si se aplica una tensión adecuada a los terminales, los electrones se recombinan con los huecos en la región de la unión p-n del dispositivo, liberando energía en forma de fotones.
- LOGITECH: Fundada en 1981 en Apples Suiza. Con la innovación y la calidad como base fundamental, Logitech diseña dispositivos periféricos personales que contribuyen a mejorar la experiencia digital. Con productos vendidos en casi todos los países del mundo, la posición de Logitech como principal innovador del sector incluye todo tipo de periféricos personales (inalámbricos y con cable), con énfasis especial en productos de navegación en PC, juego, comunicaciones por Internet, música digital y control de sistemas multimedia domésticos.
- LM386: Es un circuito integrado que consiste en un amplificador que requiere bajo voltaje, tanto en la entrada de audio como en la alimentación. Es frecuentemente usado en amplificadores para computadoras (bocinas externas), radios, amplificadores de guitarra, etc. Suministrando 9 voltios en el pin 8 se puede obtener 0.5 W de potencia, con solo un 0.2% de distorsión.
- MATLAB: Abreviatura de MATrix LABoratory, "laboratorio de matrices", es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows, Mac OS X y GNU/Linux.
- MIT App Inventor 2: Es un entorno de desarrollo de software creado por Google Labs para la elaboración de aplicaciones destinadas al sistema operativo Android. El usuario puede, de forma visual y a partir de un conjunto de herramientas básicas, ir enlazando una serie de bloques para crear la aplicación. El sistema es gratuito y se puede descargar fácilmente de la web. Las aplicaciones creadas con App Inventor están limitadas por su simplicidad,

aunque permiten cubrir un gran número de necesidades básicas en un dispositivo móvil.

- Mitchell Plastics: Es una empresa canadiense proveedora de autopartes, líder de en mecanismos interiores y componentes decorativos.
- OEM: Original Equipment Manufacturer o fabricante de equipo original (automotriz)
- PBP: PICBASIC Pro TM es un compilador BASIC de primera clase para el desarrollo rápido de proyectos basados en microcontroladores Microchip PIC. Es muy rápido y genera un código optimizado y listo para la máquina. Está destinado a ser una herramienta de desarrollo profesional, aunque su sintaxis también lo convierte en un favorito entre los aficionados e instituciones de educativas.
- PCB: En electrónica, "placa de circuito impreso" (del inglés: Printed Circuit Board), es la superficie constituida por caminos, pistas o buses de material conductor laminadas sobre una base no conductora.
- PFMEA: AMEF de Proceso, ver definición de AMEF de este glosario.
- PIC: Peripheral interfaces controller (controlador de interfaces periféricas), es un circuito integrado que tiene las mismas prestaciones de una pequeña computadora, en su interior tiene un procesador, memoria, y varios periféricos, sus mayores ventajas son su tamaño, precio y diversidad. Se utilizan en aplicaciones simples como mandos a distancia, termómetros digitales, controles de acceso por puertas de seguridad, control de maquinaria, domótica del hogar, microrrobótica, monederos electrónicos, etc., por citar algunos ejemplos. Los términos de microcontrolador y microprocesador tienen diferente significado, el primero es un sistema completo con prestaciones limitadas que no pueden modificarse y que puede llevar a cabo las tareas para las que ha sido programado de forma autónoma. Un microprocesador, en cambio, es simplemente un componente que conforma el microcontrolador, que lleva acabo ciertas tareas y en conjunto con otros componentes forma parte de un microcontrolador.
- Pixel: Acrónimo del inglés picture element (elemento de imagen), es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital.
- PLC: Controlador lógico programable, más conocido por sus siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller), es una computadora utilizada en la ingeniería

de automatización industrial, para controlar procesos industriales de casi cualquier tipo, ejemplos de esto son el control de la maquinaria líneas de ensamble, control de procesos químicos instrumentados, etc.

- PNP: Sensores que funcionan con un transistor PNP donde la corriente de la base del transistor controla el flujo de corriente desde el emisor hacia el colector.
- Poka-Yoke: Es una técnica de diseño en manufactura para evitar errores, se puede observar físicamente en herramientas de ensamble a prueba de errores donde se evitan posiciones incorrectas, cantidades incorrectas, torques incorrectos, ensambles incompletos, etc.
- PYTHON: Es un lenguaje de programación cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis que favorezca un código legible. Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es un lenguaje interpretado, usa tipado dinámico y es multiplataforma. Es administrado por la Python Software Foundation. Posee una licencia de código abierto, denominada Python Software Foundation License.
- Q5: El Audi Q5 es un automóvil todoterreno del segmento D que fabrica la empresa alemana Audi desde el año 2008. Es un coche de cinco plazas con carrocería de cinco puertas, motor delantero longitudinal y tracción a las cuatro ruedas.
- Querétaro: Es uno de los treinta y un estados que, junto con la Ciudad de México, forman los Estados Unidos Mexicanos. Su capital y ciudad más poblada es Querétaro. Está ubicado en la región centro del país, limitando al norte con Guanajuato y San Luis Potosí, al sur con Hidalgo y Estado de México y al oeste con Michoacán. Tiene 11,684 km² y con 156.45 habitantes por km². Fue fundado el 23 de diciembre de 1823 y actualmente es uno de los estados más industrializados de México.
- RS-232: Este protocolo es una norma o estándar mundial que rige los parámetros de uno de los modos de comunicación serial. Por medio de este protocolo se estandarizan las velocidades de transferencia de datos, la forma de control que utiliza dicha transferencia, los niveles de voltajes utilizados, el tipo de cable permitido, las distancias entre equipos y los conectores. Además de las líneas de transmisión (Tx) y recepción (Rx), las comunicaciones seriales poseen otras líneas

de control de flujo (Hands-hake), donde su uso es opcional dependiendo del dispositivo a conectar. RS-232 tiene diferentes parámetros como las velocidades en baudios (1200, 2400, 4800 y 9600), la verificación de datos o paridad (paridad par, paridad impar o sin paridad), los bits de parada luego de cada dato (1 ó 2), y la cantidad de bits por dato (7 ó 8) que se utiliza para cada símbolo o carácter enviado. La norma RS-232 fue definida para conectar una PC a un modem. Además de transmitirse los datos de una forma serie asíncrona son necesarias una serie de señales adicionales. Las tensiones empleadas están comprendidas entre +15/-15 voltios. Puerta serial full dúplex para comunicación punto a punto a una distancia no superior a 30 metros. Desde 3 hilos hasta 19 hilos. Este protocolo está disponible en los puertos seriales de la mayoría de las computadoras personales (PC) y se denomina COM1, algunas máquinas tienen un segundo puerto serial denominado COM2. El conector de 9 pines serie que se encuentra en la mayoría de las PC de hoy en día maneja estas señales en RS-232:

- ✓ Request to Send (RTS): Esta señal se envía de la computadora (DTE) al módem (DCE) para indicar que se quieren transmitir datos. Si el módem decide que esta OK, afirma por la línea CTS. Una vez que la computadora prende la señal RTS, esperará que el módem afirme la línea CTS. Cuando la señal CTS es afirmada por el módem, la computadora empezará a transmitir datos.
- ✓ Clear to Send (CTS): Afirmado por el módem después de recibir la señal de RTS indica que la computadora puede transmitir.
- ✓ Data Terminal Ready (DTR): Esta línea de señal es afirmada por la computadora, e informa al módem que la computadora está lista para recibir datos.
- ✓ Data Set Ready (DSR): Esta línea de señal es afirmada por el módem en respuesta a una señal de DTR de la computadora. La computadora supervisa el estado de esta línea después de afirmar DTR para descubrir si el módem esta encendido.
- ✓ Receive Signal Line Detect (RSLD): Esta línea de control es afirmada por el módem e informa a la computadora que se ha establecido una conexión física con otro módem. A veces se conoce como detector de portadora

(CD), sería un error que una computadora transmita información a un módem si esta línea no está activa, es decir si la conexión física no funciona.

- ✓ Transmit Data (TD): Es la línea por donde el dato se transmite de un bit a la vez
 - ✓ Receive Data (RD): Es la línea por donde el dato se recibe de un bit a la vez.
- Raspberry Pi: Es una computadora de placa reducida, computadora de placa única o computadora de placa simple (SBC) de bajo costo desarrollado en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación en las escuelas. Aunque no se indica expresamente si es hardware libre o con derechos de marca, en su web oficial explican que disponen de contratos de distribución y venta con dos empresas, pero al mismo tiempo cualquiera puede convertirse en revendedor o redistribuidor de las tarjetas RaspBerry Pi, por lo que da a entender que es un producto con propiedad registrada, manteniendo el control de la plataforma, pero permitiendo su uso libre tanto a nivel educativo como particular. En cambio el software sí es open source, siendo su sistema operativo oficial una versión adaptada de Debian, denominada Raspbian, aunque permite usar otros sistemas operativos, incluido una versión de Windows 10. En todas sus versiones incluye un procesador Broadcom, una memoria RAM, una GPU, puertos USB, HDMI, Ethernet (El primer modelo no lo tenía), 40 pines GPIO y un conector para cámara. Ninguna de sus ediciones incluye memoria, siendo esta en su primera versión una tarjeta SD y en ediciones posteriores una tarjeta MicroSD. La fundación da soporte para las descargas de las distribuciones para arquitectura ARM, Raspbian (derivada de Debian), RISC OS 5, Arch Linux ARM (derivado de Arch Linux) y Pidora (derivado de Fedora) y promueve principalmente el aprendizaje del lenguaje de programación Python.⁴ Otros lenguajes también soportados son Tiny BASIC,¹¹ C, Perl4 y Ruby.
 - Rechupe: Se trata de defectos en las piezas causados por una escasez de materia prima o por un exceso de calor de la pieza. Debido a ello el material se contrae en el centro y se produce el fenómeno conocido como 'halado'. Para evitarlo es aconsejable empaquetar más plástico dentro de la cavidad, o bien

aumentando el nivel o la duración de la post-presión, o bien mejorando el cojín de inyección.

- REFLEX: Es el principio de detección por reflexión sobre el objeto, en este caso, la luz infrarroja viaja en línea recta, en el momento en que un objeto se interpone el haz de luz rebota contra este y cambia de dirección permitiendo que la luz sea enviada al receptor y el elemento sea censado, un objeto de color negro no es detectado ya que este color absorbe la luz y el sensor no experimenta cambios. Hay dos tipos de fotocélulas de reflexión sobre objeto, las de reflexión difusa y las de reflexión definida. La ventaja de las barreras réflex es que el cableado es en un solo lado, a diferencia de las barreras emisor-receptor que es en ambos lados.
- Software: Es un conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas que permiten ejecutar distintas tareas en una computadora.
- Tampografía: Es una técnica de impresión basada en la transferencia de tinta desde una superficie plana con una marca cóncava llamada cliché, hacia otra superficie por medio de un tampón de goma (de elastómero sintético), que se adapta perfectamente a formas irregulares. La tampografía se aplica para imprimir tipografía y figuras en botonería y carátulas de aparatos electrónicos, automotrices, accesorios publicitarios, envases, etc.
- Tiro corto: Es un defecto de moldeo caracterizado por ser una pieza incompleta, usualmente en las zonas más alejada del punto de inyección, tiene múltiples causas como velocidad de inyección demasiado baja, la obstrucción de la boquilla o la falta de material suficiente en la tolva pueden originar esta incidencia. Una solución sencilla es inyectar más material y/o aumentar la velocidad de inyección. También es posible arreglar la situación cambiando el molde a una máquina de mayor capacidad (tonelaje).
- Transistor: Es un dispositivo electrónico semiconductor utilizado para entregar una señal de salida en respuesta a una señal de entrada. Cumple funciones de amplificador, oscilador, conmutador o rectificador. El término "transistor" es la contracción en inglés de transfer resistor ("transferencia de impedancia"). Actualmente se encuentra prácticamente en todos los aparatos electrónicos de uso diario tales como radios, televisores, reproductores de audio y video, relojes

de cuarzo, computadoras, lámparas fluorescentes, tomógrafos, teléfonos celulares, aunque casi siempre dentro de los llamados circuitos integrados.

- TRILOGIQ: Es un fabricante de sistemas tubulares para construir modularmente estaciones de trabajo tipo manufactura esbelta (lean Manufacturing), permiten la construcción de casi cualquier estructura. Las aplicaciones tradicionales para manejo de materiales en ambientes de manufactura incluyen racks de almacenaje, mesas de trabajo, carros y trolleys de kitting. Otras aplicaciones van desde la creación de marcos de clasificación en centros de distribución, bancos de trabajo personalizados para el ensamble del producto hasta estaciones de bebidas en eventos deportivos mundiales, ver <https://trilogiq.com.mx/>
- USB: Es el acrónimo de Universal Serial Bus (Bus Universal en Serie, en español). Se trata de un concepto de la informática para nombrar al puerto que permite conectar periféricos a una computadora.
- VCA: Voltaje de corriente alterna.
- VDC: Voltaje de corriente directa.
- Web: En informática, la World Wide Web (WWW) o red informática mundial es un sistema de distribución de documentos de hipertexto o hipermedios interconectados y accesibles vía Internet.
- WIP: Work In Process, se denomina así a los materiales que no son producto final, tampoco materia prima pero que tienen una ubicación y cantidad controlada en un proceso de manufactura.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El proceso de moldeo por inyección de autopartes presenta modos de falla en la integridad (2):

- Tiro corto (*short shoot*).- Pieza incompleta (la diferencia entre tiro corto y falta de llenado es la causa raíz. El tiro corto se debe a problemas asociados al proceso como falta de material, falta de presión de sostenimiento, entre otros. La falta de llenado se debe a obstrucciones en venteos del molde), ver figura 1.

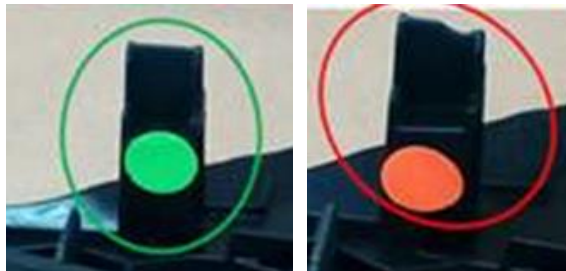


Figura 1. Pieza correcta (izquierda) y pieza con tiro corto (derecha)

- Falta de llenado (*non – fill*).- Zona que no pudo ser llenada con material porque existe una obstrucción en el venteo que impide la salida del aire de la cavidad hacia el exterior, ver figura 2.



Figura 2. Pieza correcta (izquierda) y pieza con falta de llenado (derecha)

- Coladas (*runners*).- Vestigios de puntos de inyección que deben ser cortados porque no tienen otra función en la pieza ya que su función es absorber el efecto de contracción del material, ver figura 3.

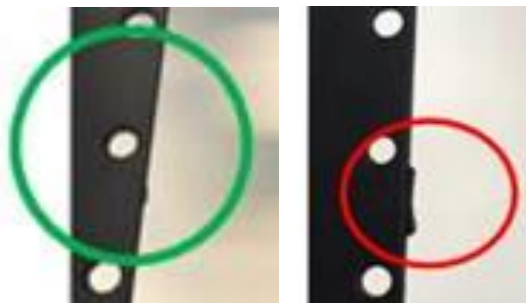


Figura 3. Pieza correcta (izquierda) y pieza con coladas (derecha)

- Rechupe (*sink*).- Depresión o hendidura de la pieza plástica que no sigue la superficie del molde; usualmente (pero no siempre) junto o sobre un área de incremento de espesor de la pared como cuando se incorporan costillas, torres u otras formas que aumentan el espesor de la pared causado por un encogimiento excesivo y localizado durante el enfriamiento del material (3), ver figura 4.



Figura 4. Pieza correcta (izquierda) y pieza con rechupe (derecha)

Los defectos mencionados se pueden originar en dos momentos diferentes, el primer momento es durante el arranque de la máquina de moldeo (que es el inicio de cualquier corrida de producción) y el segundo momento corresponde a la producción en serie.

En ambos momentos es posible que los defectos sucedan y que no sean detectados porque la inspección sensorial humana no es efectiva.

Para evitar los defectos existen procedimientos para la verificación del arranque y para el mantenimiento preventivo, pero como se explicará a continuación, existe un riesgo muy alto de escape sistemático de defectos bajo la detección basada en la técnica de liberación de la pieza que asume que el proceso está controlado.

Durante el arranque de la máquina de moldeo se hace un ajuste manual de las variables del proceso (tamaño de disparo, temperaturas del cañón de inyección, contrapresión, etc.) dentro de rangos comprobados como válidos (receta de parámetros), se inspeccionan las primeras piezas y se comparan visualmente contra una pieza maestra para confirmar que el arranque se hizo correctamente. Sin embargo, las autopartes tienen geometrías complejas y es complicado encontrar visualmente las diferencias, en este punto es cuando se puede producir un error, como puede entenderse, durante el arranque se depende de la intervención humana para ajustar los parámetros y validar las piezas moldeadas.

Durante la producción en serie las piezas son inspeccionadas por un obrero calificado que utilizando sus sentidos de la vista y del tacto revisa las autopartes pieza a pieza buscando defectos.

Hasta este punto el proceso podría ser conceptualizado como estable pero intervienen otros factores externos al proceso y que inciden negativamente en la mano de obra:

- Trabajo repetitivo en ciclos cortos de fabricación (30 segundos aproximadamente).
- Inspección de autopartes con geometrías muy complejas.
- Peso y dimensión de autopartes grandes (como un tablero de instrumentos o una consola central) que dificultan la correcta inspección.
- Moldes de cavidades múltiples que producen varias piezas al mismo tiempo.

La causa raíz de estos modos de falla es múltiple y no es objeto de la presente tesis, pero supóngase que una válvula de venteo se bloqueó, durante la producción en serie esta falla provocará falta de llenado, es decir, las piezas estarán incompletas de alguno de los últimos puntos donde la cavidad es llenada con material plástico fundido.

A continuación se describirán las consecuencias si el defecto no pudo ser detectado durante el arranque y durante la inspección pieza a pieza:

- El defecto no fue detectado por el obrero porque la inspección visual es poco efectiva (en la escala de 0-10 se califica como 8 en un *PFMEA* porque se podría generar 100% de producto defectuoso) y generará desperdicios en material, tiempo de máquina y tiempo de mano de obra.
- El defecto será descubierto hasta el proceso de ensamble final del cliente, momento en el cual la pieza no podrá ser ensamblada y por protocolo de control de calidad se detendrá la línea de ensamble automotriz durante un tiempo que genera costos a cargo del proveedor de autopartes.
- El costo por detener la línea de ensamble automotriz será proporcional a la cantidad de piezas defectuosas pudiendo ser una o hasta todo un lote de fabricación por lo que no podrán ser ensamblados uno o miles de coches en la armadora automotriz.

Bajo esta simple descripción queda planteado un escenario muy frecuente donde se aprecia que la falta de detección objetiva es un problema.

Para contrarrestar dicho escenario indeseable se recurriría a mejorar la detección de los defectos más críticos y comunes mediante tecnologías como la visión computacional, para la cual existe en el mercado una amplia oferta de modelos pero de un número limitado de fabricantes, esta tecnología casi no se aplica para inspeccionar pieza por pieza en el proceso de moldeo por inyección porque el costo es elevado (cercano a 6000 dólares norteamericanos) e implica inversión en equipo de capital (CAPEX).

Un factor contrario a la inversión en un sistema de visión es la capacidad del proceso porque frecuentemente la máquina es compartida por turnos para moldear varios modelos que son de dimensiones, materiales, formas y colores diferentes, y se requerirían ajustes al sistema de visión o al menos una cámara por modelo lo cual multiplicaría el costo del sistema de visión.

Lo anterior se debe a que cada pieza tiene una geometría diferente a las demás, con puntos susceptibles a defectos en diferentes zonas y requeriría la cámara en diferente ubicación para poder detectar los defectos, si el color del plástico cambia, entonces también cambiaría la ubicación y tipo de iluminación, los ajustes requeridos no serían compatibles con los tiempos de cambios de modelo en manufactura esbelta (lean Manufacturing menores a 10 minutos).

Existen pocos casos, aún en grandes empresas transnacionales, en los cuales se logra aplicar la inspección automática con cámaras de visión bajo el cumplimiento de todas las siguientes condiciones mínimas:

- Máquinas de moldeo dedicadas a un único modelo.
- Caso de negocio muy rentable por ser de alto volumen de producción y con proyección durante varios años.
- Especificación geométrica compleja con altas probabilidades de falla de moldeo (deformaciones, pieza incompleta, presencia de coladas, etc.)

Esta tecnología de visión computacional está monopolizada y estandarizada en protocolos cerrados propiedad de fabricantes transnacionales que venden el equipo (*hardware* con *firmware*) y el programa (*software* bajo licencia) a distribuidores locales. En esta situación, el estilo contemporáneo de la ingeniería de manufactura es comprar un equipo de visión comercial, cuando se tiene el recurso económico, pero si no es así entonces se tiene que atenuar el problema mediante capacitación, documentación de ayudas visuales, etc., es decir paliar el problema de detección pero no resolverlo.

Las siguientes dos premisas sirvieron para orientar el desarrollo de esta tesis:

1. En la actualidad hay muchos recursos tecnológicos factibles de ser utilizados para diseñar automatismos de inspección aplicables en la manufactura: *software* de videovigilancia de uso gratuito (*Safe4cam, KiOS, etc.*), teléfonos celulares *ANDROID* con cámara e *internet, apps, software* para crear *apps* gratis como "*MIT App Inventor 2*" y cámaras web, en cuanto a controladores existen *ARDUINO, PIC, RaspberryPi, AVR, etc.*
2. La industria del proceso de moldeo por inyección tiene la necesidad de mejorar la detección de defectos.

Los recursos tecnológicos mencionados no fueron creados para esta industria, pero la aplicación de alguna de sus funcionalidades podría ser una innovación tecnológica tan útil que haría más eficiente el proceso productivo de la industria de fabricación de autopartes moldeadas por inyección.

En la presente tesis se muestra un ejemplo de la aplicación creativa de tecnologías alternas a los equipos comerciales de visión para demostrar que es posible crear aplicaciones mecatrónicas industriales innovadoras, sencillas, propias y funcionales con gran potencial de comercialización.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La inspección automática de la especificación geométrica de autopartes plásticas en la salida de la máquina de moldeo es un estado binario:

Estado 1: Sí se tiene implementada la inspección automática, los defectos son detectados y capturados, porque este es un *Poka-Yoke* (sistema a prueba de errores).

Estado 0: No se tiene implementada la inspección automática y existe la fuga sistemática de defectos con costo a cargo del proveedor de autopartes.

Dicho costo es proporcional al tiempo de paro de la línea de producción de la armadora automotriz.

Esta industria tiene el particular acuerdo estandarizado entre las partes (cliente y proveedor) de trasladar el costo de la no calidad hacia el proveedor de autopartes.

Los costos asociados a la no calidad son por ejemplo, la certificación de inventarios por un tercero, implementación de acciones correctivas al proceso, multas y recargos.

La revisión por un tercero se conoce como "sorteo" del idioma inglés "sort" que significa separar, cuesta al menos de \$50,000 pesos por inspeccionar y certificar 1000 piezas y detener la línea de una planta armadora automotriz por 1 minuto cuesta \$30,000 pesos aproximadamente en procesos de ensamble por ejemplo.

Las piezas defectuosas del proceso de moldeo sólo generarían más desperdicio de recursos en los subsecuentes procesos de manufactura como pintura, tampografía y ensamble. A continuación se presentan 6 casos que muestran el problema en 6 grados, tras presentar los casos, se muestra un *PFMEA* donde se sintetiza cuantitativamente los 6 casos en la tabla 1.

- Caso A: Unas cuantas piezas defectuosas pasaron por los procesos de pintura, tampografía y ensamble, pero en la inspección final fueron detectadas y desechadas. Ocurrió desperdicio en 3 procesos, hay un costo bajo por desechar el material y por ocupar ineficientemente las líneas de fabricación por unos minutos.
- Caso B: Toda una corrida de piezas defectuosas (miles) pasaron por los procesos de pintura, tampografía y ensamble, pero en la inspección final fueron detectadas y desechadas. Ocurrió desperdicio en 3 procesos, hay un costo medio por desechar el material y por ocupar ineficientemente las líneas de fabricación por unas horas.
- Caso C: Unas cuantas piezas defectuosas pasaron por los procesos de pintura, tampografía y ensamble, en la inspección final no fueron detectadas. El cliente, la armadora automotriz, detectó el problema porque no pudo ensamblar las piezas. Ocurrió desperdicio en 4 procesos, hay un costo bajo por desechar el material y por ocupar ineficientemente las líneas de fabricación por unos minutos, y un costo alto por detener la línea de fabricación del cliente (porque no podrá fabricar la cantidad planeada de automóviles y deberá ajustar sus inventarios de materiales incompletos) que solicitará la revisión de todo el inventario en su almacén, en tránsito y en el almacén del proveedor. Esta revisión debe ser hecha por un tercero y certificar pieza por pieza, adicional a este costo de certificación se agrega el costo de material expeditado (urgente) para recuperar el faltante defectuoso.

- Caso D: Toda una corrida de piezas defectuosas (miles) pasaron por los procesos de pintura, tampografía y ensamble, en la inspección final no fueron detectadas. El cliente, la armadora automotriz detectó el problema porque no pudo ensamblar las piezas. Ocurrió desperdicio en 4 procesos, hay un costo alto por desechar el material y por ocupar ineficientemente las líneas de fabricación por unas horas y un costo alto por detener la línea de fabricación del cliente (porque no podrá fabricar la cantidad planeada de automóviles y deberá ajustar sus inventarios de materiales incompletos) que solicitará la revisión de todo el inventario en su almacén, en tránsito y en el almacén del proveedor. Esta revisión debe ser hecha por un tercero y certificar pieza por pieza, adicional a este costo se agrega el costo de material expeditado (urgente) para recuperar el faltante defectuoso.
- Caso E: Unas cuantas piezas no fueron detectadas ni siquiera por la armadora automotriz y habrá algunos coches vendidos con este defecto, entonces una fracción de estos serán reclamados por presentar ruido por vibración porque la autoparte presenta un ruido por vibración y apariencia deficiente. El costo de este reclamo de garantía será a cargo del proveedor de autopartes incrementado con multas y recargos.
- Caso F: Si ocurre que una gran cantidad de coches que fueron vendidos con este defecto, entonces se recurre a una campaña de reparación (*recall*) con otro alto costo también a cargo del proveedor de la autoparte, es un caso desastroso ya que todos o casi todos serán reclamados por presentar ruido por vibración y apariencia deficiente.

Respecto al estándar utilizado en la calificación de severidad, ocurrencia y detección revisar apéndice A donde se incluye la referencia de *Daimler* (4) basada en la *AIAG*, esta última no se incluye porque es un documento con derechos de comercialización. Observar también que las últimas 5 columnas del *PFMEA* corresponden a las acciones correctivas y a la evaluación de haberlas planeado y confirmado, sobre este mismo ejemplo se puede observar que luego de aplicar las acciones recomendadas todos los NPR se redujeron porque se mejoró la detección mientras que la severidad se mantiene porque el efecto seguiría siendo el mismo.

Tabla 1. Fragmento de PFMEA (4)

Requerimiento	Potencial modo de falla	Potencial efecto de la falla	Sev	Causa potencial	Occ	Actual control de prevención	Actual control de detección	Det	NPR	Acciones recomendadas	Sev	Occ	Det	NPR
Pieza moldeada completa	Pieza moldeada incompleta por tiro corto (caso A)	Desechar % de lote de piezas	7	Venteo tapado	6	Procedimiento de arranque	Inspección visual en el proceso de moldeo y contención final	8	168	Agregar equipo Poka-Yoke de detección a la salida del proceso de moldeo (sistema de visión computacional con cámaras web)	7	2	5	70
	Pieza moldeada incompleta por tiro corto (caso B)	Desechar todo el lote de piezas	8	Incorrecto arranque de moldeo	3	Procedimiento de arranque	Inspección visual en el proceso de moldeo y contención final	8	192		8	2	5	80
	Pieza moldeada incompleta por tiro corto (caso C)	Interrupción significativa en armadora automotriz (minutos)	7	Incorrecta inspección en 3 procesos en planta de autopartes	4	Procedimiento de liberación de producto terminado	Inspección visual en el proceso de moldeo y contención final	8	224		7	2	5	70
	Pieza moldeada incompleta por tiro corto (caso D)	Interrupción significativa en armadora automotriz (horas)	8	Incorrecta inspección en 3 procesos en planta de autopartes	2	Procedimiento de liberación de producto terminado	Inspección visual en el proceso de moldeo y contención final	8	128		8	2	5	80
	Pieza moldeada incompleta por tiro corto (caso E)	Molestia visual o audible por vibración para usuario final en algunos vehículos	3	Incorrecta contención de inspección de calidad vehículo en armadora	2	Procedimiento de liberación de producto terminado	Inspección visual en el proceso de contención final	8	48		3	2	5	30
	Pieza moldeada incompleta por tiro corto (caso F)	Molestia visual o audible por vibración para usuario final en todos vehículos	8	Incorrecta contención de inspección de calidad vehículo en armadora	2	Procedimiento de liberación de producto terminado	Inspección visual en el proceso de contención final	8	128		8	2	5	80

1.3 JUSTIFICACIÓN

Esta tesis aporta una aplicación innovadora que permite la evolución del estado binario de la inspección automática de la especificación geométrica en autopartes plásticas, hacia otro nuevo que tiene estados intermedios en los que a través del uso de tecnologías alternas a los equipos comerciales de visión se supera la barrera presupuestaria que implica corregir proyectos industriales que no consideraron modos de falla relacionados con la integridad de la autoparte moldeada por inyección.

Esta tesis es útil porque muestra la creación de aplicaciones mecatrónicas industriales con tecnologías alternativas para obtener ventajas competitivas, innovadoras e inmediatas al alcance de cualquier industrial (propietario, gerente, ingeniero o proveedor) que tenga la intención de explotarlas a su favor.

Conviene mencionar en este punto que la influencia del concepto “*openmaker*” (1) fue decisiva en la elección de la solución planteada para esta tesis.

La solución propuesta es una respuesta que algunas personas tenemos hacia la superación de obstáculos técnicos y excluyentes que en sí mismos no son profundamente insalvables.

Es el caso de plantearse el objetivo específico 1 que se mencionará en el siguiente punto ordinal de esta tesis; entonces surgieron preguntas simples:

- ¿Hay alguna aplicación de celular que permita detectar colores y que emita alguna señal eléctrica, algún sonido, alguna vibración, etc.?
- ¿Hay algún software de visión que permita obtener un bit serialmente?
- ¿Alguien ha desarrollado alguna tarjeta bluetooth que tenga algún software relacionado con cámaras web?
- ¿Hay algún videotutorial que muestre una idea semejante?
- ¿Hay algún proyecto escolar documentado en la red?

Responder negativamente era una respuesta inaceptable y sobre estas reflexiones el buscador en internet arrojó respuestas parciales y una de estas fue el software Safe4cam.

De esta manera la tesis no comenzaría desde primitivos prototipos que condujeran hacia soluciones que otros ingenieros ya hayan desarrollado.

También se cuidó que las alternativas no fueran sujetas a restricciones de propiedad industrial.

En dicha búsqueda aparecieron a la par opciones como KIOS que es un software de videovigilancia para Raspberry Pi por ejemplo y que pudo haberse utilizado en lugar de Safe4cam en esta tesis, en cualquiera de estos casos, la búsqueda de un trabajo similar de inspección automática no produjo hallazgos.

Es decir cualquier software que detectara colores específicos y emitiera algún sonido era factible de ser utilizado para detectar un fondo que no debía ser visible a menos que la autoparte estuviera incompleta.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Basado en tecnologías alternativas de visión computacional, diseñar un automatismo *Poka-Yoke* prototipo que inspeccione atributos de la especificación geométrica pieza por pieza de una autoparte plástica compleja.

1.4.1 Objetivo específico 1

Encontrar una tecnología de visión computacional gratuita aplicable en la inspección en manufactura.

1.4.2 Objetivo específico 2

Obtener un bit útil para habilitar un juicio binario resultante de la inspección automática de piezas defectuosas en un *Poka-Yoke* prototipo controlado por un *PIC*.

1.5 HIPÓTESIS

Mediante una combinación de tecnologías alternativas de visión computacional se pueden crear aplicaciones mecatrónicas industriales, para la inspección de atributos de autopartes plásticas, funcionalmente equivalentes a los sistemas comerciales de línea para visión computacional.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describen los 7 fundamentos de esta tesis:

- El método contemporáneo de liberación de la primera pieza, que significa el método de validación del arranque de una corrida de producción.
- Visión computacional para inspección automática en manufactura, en la cual se explican sus conceptos básicos.
- Técnicas convencionales para la detección de atributos en autopartes plásticas.
- Los microcontroladores de los cuales el enfoque es exclusivo hacia los *PIC*.
- Construcciones modulares para manufactura esbelta, con lo cual se explican las aplicaciones del material *TRILOGIQ* y surge una técnica alternativa nueva para crear nidos *Poka-Yoke* para manufactura.
- Manufactura 4.0, que es una tendencia en la manufactura de clase mundial hacia la interconexión de los subsistemas dentro de los sistemas de manufactura a través de *IIoT*.
- La técnica y teoría *Poka-Yoke* que es un sistema para garantizar la calidad durante la fabricación.

También se muestra cómo se relacionan otras tesis con el tema abordado en este trabajo.

La combinación de estos 7 fundamentos permitirá entender el procedimiento correspondiente al capítulo 3 y la presentación de los resultados en el capítulo 4.

2.1 EL MÉTODO CONTEMPORÁNEO DE LIBERACIÓN DE LA PRIMERA PIEZA

A continuación se describe lo que se realiza en el estado 0 que corresponde al problema planteado en esta tesis, del cual como ya se mencionó existen procedimientos para validar si la primera pieza moldeada es correcta.

El procedimiento técnico que se utiliza para emitir el juicio de validación de la primera pieza moldeada se denomina “liberación de primera pieza” y recibe diversos nombres según le convenga a cada empresa, a continuación se mencionan algunos nombres: *First Off Release (FOR)*, *Set Up Sheet (SUS)* y en el caso de *Mitchell Plastics* se denomina *Quality Inspection Report*, un fragmento de este se muestra en la figura 5 (QIR, o reporte de inspección de calidad, ver apéndice B).

2	Apariencia, Ajuste & Funcionalidad: 0 defectos. Libre de rebaba, tiros cortos, estrés, grietas, manchas blancas, rayas. >> RECHUPES >> DEFORMACIÓN (usar mesa de marmol) >> CLIPS Asegurar que no estén rotos, doblados o tiro corto >> VERIFICAR CORTE DE COLADA AL RAS	NA	1 pza	Inicio Medio Final de turno	Líder de Célula	Comparación Visual	LHD	OK
							RHD	
3	DATE WHEEL: Verificación de fechador: Asegurar que el fechador esté actualizado.	NA	1 pza	PP	Líder de Célula	Comparación Visual	LHD	OK
							RHD	
4	WEIGHT: Peso: (Pieza Inyectada) 66.2-69.0	Báscula MPQ-EM-017	1 pza	Inicio Medio Final de turno	Líder de Célula	Medición	LHD	67.26
							RHD	
5	CC: Dimensional: A ser verificado en el escantillón según instrucción de trabajo de equipo					Comparación contra CF	LHD SPC 1 ± 0.4 mm	-0.17
							LHD SPC 2 ± 0.4 mm	-0.16
							LHD SPC 3 ± 0.4 mm	-0.03
							LHD SPC 4 ± 0.4 mm	0.17

Figura 5. Fragmento de un QIR o Reporte de Inspección de Calidad para la liberación de primera pieza, utilizado en *Mitchell Plastics* Querétaro para la pieza “Ip Driver” para la camioneta Q5 de Audi

Dicho procedimiento QIR específico para la pieza “Ip Driver” establece lo siguiente:

1. Inspeccionar la apariencia de la autoparte, buscando defectos estéticos (características cualitativas).
2. Verificar el reloj fechador (característica de trazabilidad).
3. Pesar la pieza (característica cuantitativa).
4. Colocar la autoparte en un *checking fixture* (que es un escantillón certificado por un laboratorio de metrología) en la cual se miden 4 puntos SPC (*Statistical Process Control* o puntos de control estadístico de proceso) para confirmar que la pieza se encuentre dentro de las tolerancias especificadas.

Respecto a la figura 5, como ya se describió, se trata de un fragmento del documento de liberación de primera pieza, ver apéndice B para mayor referencia.

Se entiende que se trata de una lista de verificación que requiere inspeccionar visualmente características cualitativas y medir otras para definir si la pieza es correcta.

El *checking fixture* al que hace referencia la figura 5 se puede ver en la figura 6 donde se puede apreciar el escantillón que se utiliza para verificar que la pieza moldeada (*Ip Driver*) es correcta.

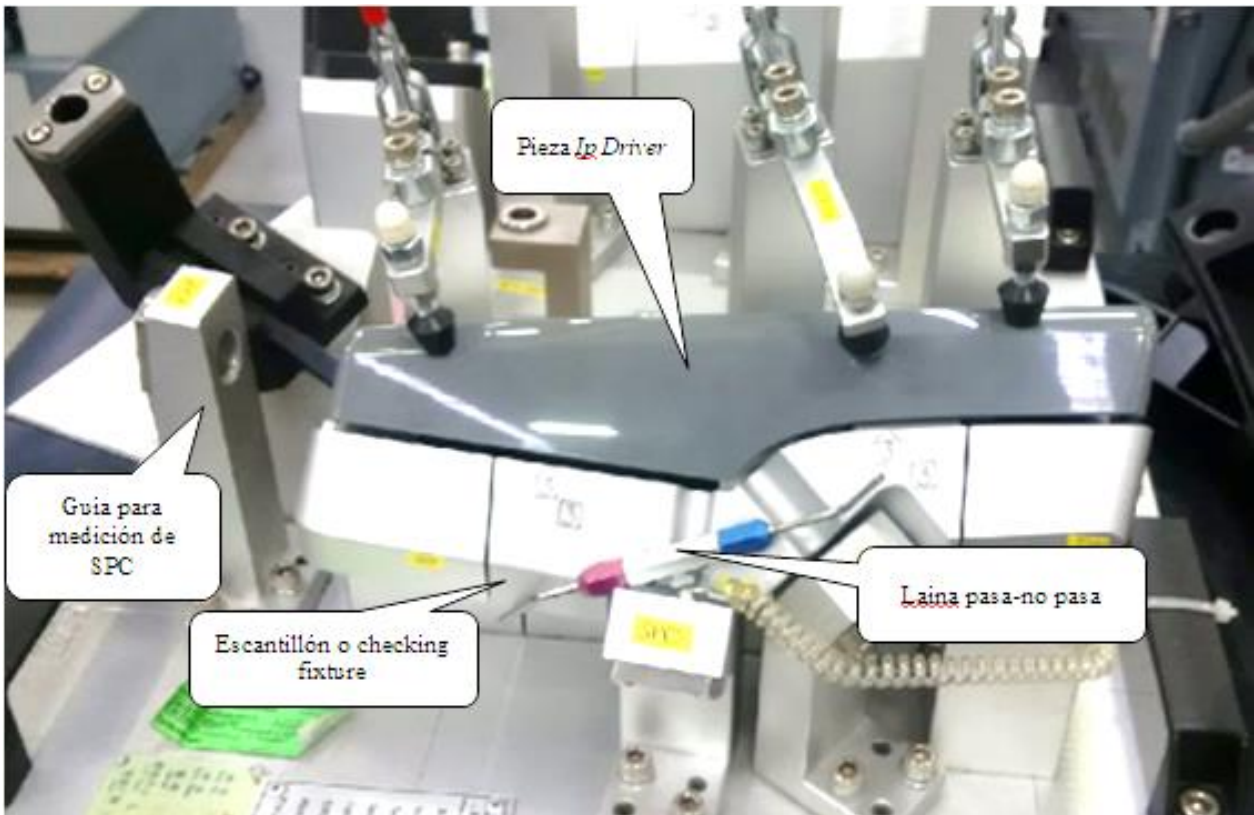


Figura 6. Plantilla o escantillón o *Checking Fixture*

Aunque la pieza es medida y se realizan verificaciones objetivas para confirmar que la pieza producida está dentro de las especificaciones, este método sólo puede garantizar que esta pieza es correcta y está sustentado en los siguientes dos preceptos ideales y contradictorios con la realidad:

- I. No existirán variaciones que produzcan piezas incompletas ni fuera de los límites de la especificación geométrica.
- II. El obrero será capaz de detectar cualquier defecto.

Este método es falible porque asume que la perfección del proceso y el desempeño perfecto del obrero.

Desde su origen el QIR asume y contrasta con el método *Ishikawa* el cual establece como posibles al menos 4 causas fundamentales (4M): *Man* (el obrero, el hombre, su capacitación), *Machine* (máquina), *Method* (método) y *Material* (se pueden incluir otros orígenes como entorno, medición, etc.), ver figura 7.

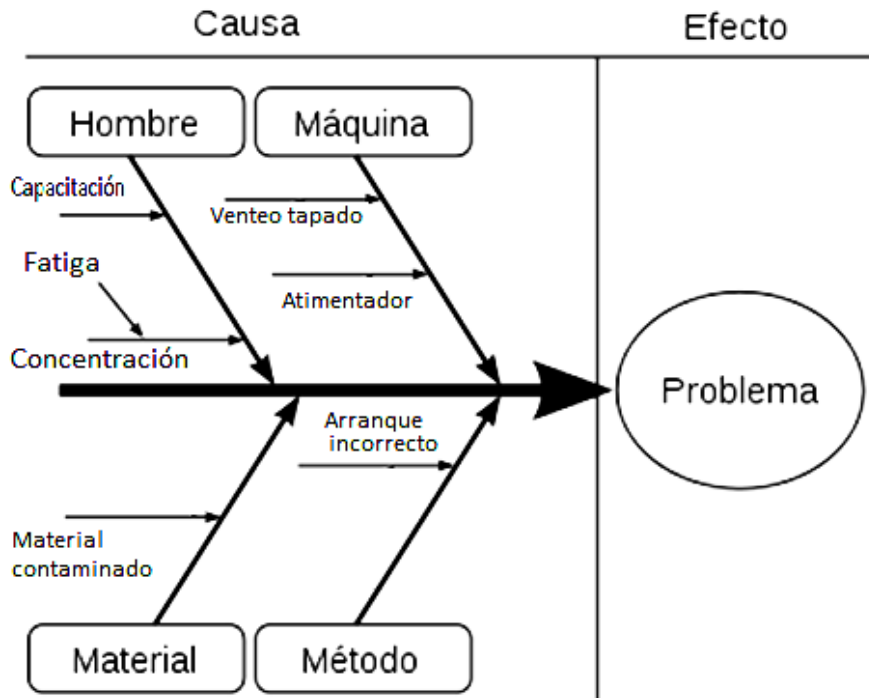


Figura 7. Diagrama Ishikawa (5)

De la figura 7 se puede observar que distintos factores pueden ser la causa raíz de un problema de manufactura, a continuación se mencionan dos ejemplos:

- En la rama "Hombre" (*Man*) podría ser que no fue capacitado correctamente para realizar el trabajo debido a la alta rotación de personal que afecta al sector manufacturero como en el caso del estado de Querétaro (6); otra causa atribuible al obrero podría ser fatiga, negligencia, distracción, entre otras.
- En la rama "Material" podría ser que se utilizó un material contaminado.
- En la rama Máquina podría ser que un venteo del molde se tapó y en concordancia con la rama Material (contaminado) explicaría la "falta de llenado" (las piezas siguientes estarán incompletas en los lugares más alejados del punto de inyección).

La comparación hecha entre el método de liberación de primera pieza aplicado en la manufactura de autopartes plásticas de apariencia contrasta totalmente con el método *Ishikawa* y éste expone sus limitaciones de aquel que concluyen en grandes fallas como las descritas en la sección 1.2 y analizadas en la tabla 1 *PFMEA*.

2.2 VISIÓN COMPUTACIONAL PARA INSPECCIÓN AUTOMÁTICA EN MANUFACTURA

La visión computacional emula en las computadoras la capacidad natural de ver, a través de la aplicación de algoritmos sobre las imágenes adquiridas para obtener una interpretación matemática de la imagen.

En particular la visión computacional aplicada a la manufactura es una técnica estandarizada en cámaras muy específicas para localizar, identificar, medir, contar, validar y seguir objetos mediante la detección de atributos como color, forma, dimensiones, textura y bordes (7).

Estas cámaras son programables y pueden funcionar de manera independiente al sistema de control para proporcionarle a este un juicio digital (cierto=1 o falso=0) que haga funcionar un automatismo periférico.

Existen cuatro fases principales en la ejecución de aplicaciones de visión computacional pero no son estrictamente secuenciales ni indispensable el uso de todas en el algoritmo [8], ver figura 8:

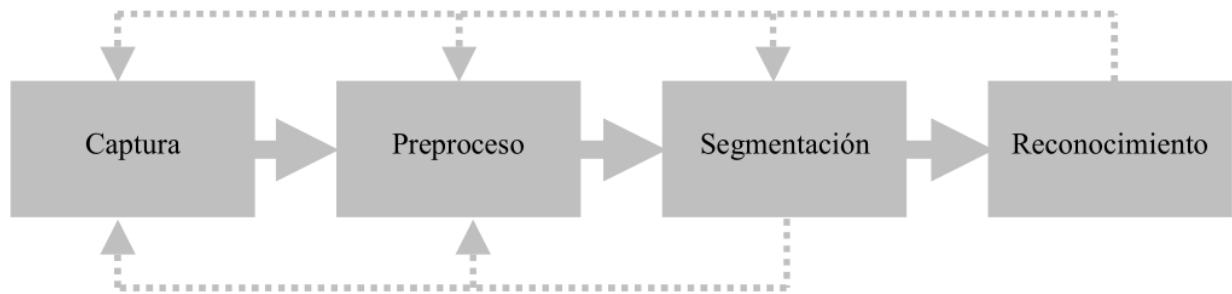


Figura 8. Diagrama de bloques de las etapas típicas en un sistema de visión computacional (8)

Etapa de captura: Es puramente sensorial, consiste en la adquisición de las imágenes mediante una cámara. En esta etapa se utilizan complementos para facilitar la óptica de la cámara como lentes para filtrar el color, iluminación de color, iluminación de diferentes técnicas: Luz frontal, luz lateral, iluminación por campo oscuro, iluminación por contraste, iluminación axial difusa, iluminación difusa domo, etc.

Etapa de preproceso: Es el acondicionamiento de las imágenes, con objeto de facilitarlas etapas posteriores. También incluye la aplicación de algoritmos sobre las imágenes para filtrar (resaltar) las características requeridas y eliminar las partes indeseables de la imagen.

Etapa de segmentación: Consiste en aislar los elementos o región de interés de la imagen del resto del ambiente.

Etapa de reconocimiento: El propósito final de la visión artificial es el reconocimiento, que se logra mediante la interpretación de los datos obtenidos en las etapas anteriores (7). En esta etapa se pretende distinguir los objetos segmentados, gracias al análisis de ciertas características que se establecen previamente para diferenciarlos.

El reconocimiento es utilizado entonces para emitir un juicio sobre los objetos segmentados respecto al patrón predefinido. Existen varias técnicas para realizar el reconocimiento y se mencionan algunas a continuación: Reconocimiento estadístico de patrones, optimización paramétrica y algoritmos basados en teoría de gráficas, entre otros (7).

En general las aplicaciones de visión computacional constan de dos sistemas: el sistema formación de las imágenes y el sistema de procesamiento de las imágenes (9), ambos son desglosados en la Tabla 2.

Tabla 2. Componentes de una aplicación de visión computacional

Sistema	Subsistema	Función
Formación de las imágenes	Iluminación	Conjunto de dispositivos que producen radiación electromagnética para que incidan sobre los objetos a visualizar. Se puede citar algunos elementos como lámparas, pantallas fotográficas, láseres y leds infrarrojos.
	Captación	Es el transductor (cámara) que convierte la radiación electromagnética recibida (desde la radiación <i>gamma</i> hasta la radiofrecuencia) en señales eléctricas continuas, las cuales dependiendo de la tecnología utilizada CCD (<i>Charge Coupled Device</i>) o CMOS (<i>Complementary Metal Oxide Semiconductor</i>) son transformadas (en el subsistema de adquisición) para su interpretación matemática en forma matricial discreta donde cada elemento de la matriz es un pixel.
	Adquisición	La señal eléctrica procedente de las cámaras no es aprovechable aún y debe ser tratada por una interfaz <i>frame grabber</i> (tarjetas de adquisición de imágenes) conectada entre la cámara y la computadora. Dicha interfaz en algunos sistemas de visión está integrada a la cámara y se omite tanto en <i>software</i> como en <i>hardware</i> .
Procesamiento de las imágenes	Procesamiento	Mediante algoritmos se transforman las imágenes digitalizadas en arreglos y datos matemáticos para realizar las operaciones de matrices mediante las cuales se puede extraer la información útil de las imágenes. Se puede realizar externamente en un sistema basado en PC o internamente en un sistema de visión artificial independiente.

Los sistemas de visión computacional utilizan algoritmos, algunos de los principales son:

- Ecualizado de histograma: Es una técnica que crea un nuevo histograma, con una distribución más uniforme de los diferentes niveles de intensidad. En el eje x está la intensidad y en el eje y el número de píxeles que se encuentran en la imagen, para ilustrar la explicación comparar la fotografía original y la ecualizada en la figura 9, esta fue tomada de Machine Vision India (10).

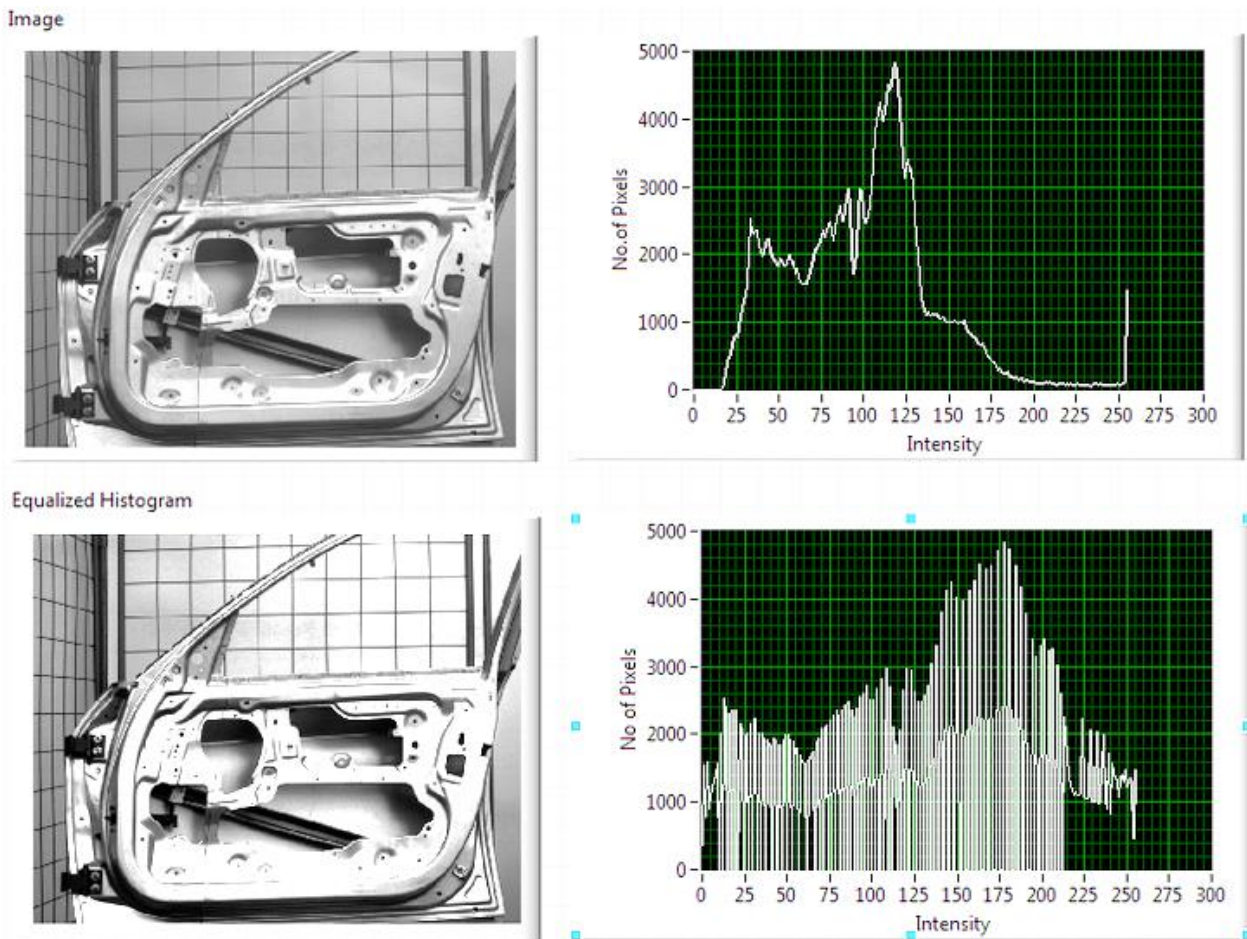


Figura 9. Ejemplo de operaciones sobre el histograma, se observa la ecualización de la imagen (10)

- Filtrado: Es una técnica cuyo objetivo es mejorar o destacar algún elemento de las imágenes, de manera que las etapas posteriores sean posibles o se simplifiquen. Un filtro puede simplificarse como un cambio o transformación de una señal de entrada a la que se le aplica una función, conocida como función de transferencia, para obtener una señal de salida (8). Se tienen 2 tipos de filtros: los pasa bajos (*LPF* o *Low Pass Filter*) y los pasa altos (*HPF* o *High Pass Filter*), ver ejemplo en la figura 10.

El filtro de paso bajo se aplica en mejoramiento de la imagen para cancelar parcialmente el ruido (procedente de la sensibilidad de las cámaras al infrarrojo, objetos calientes en la escena o falta de iluminación uniforme).

Este filtro tiene el inconveniente de ocasionar pérdida en la calidad de los detalles finos y degradación de los bordes, ver figura 10 c).

Los filtros pasa altos se utilizan para eliminar las bajas frecuencias para obtener los detalles y cambios bruscos de intensidad mientras atenúa las bajas frecuencias, resaltando así los bordes de la imagen, ver figura 10 d).

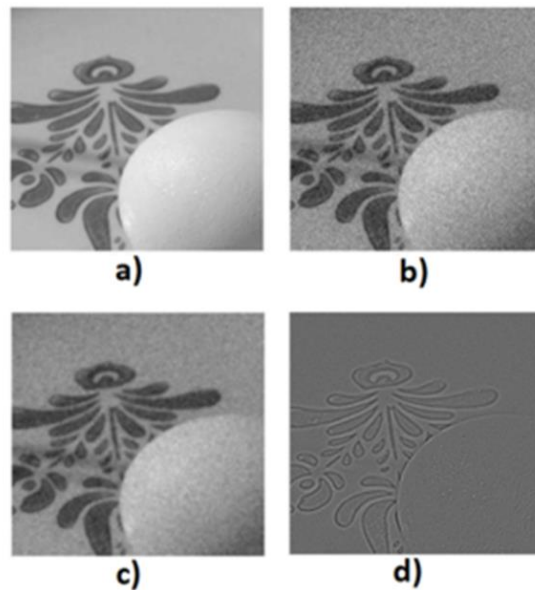


Figura 10. a) Imagen original, b) Imagen corrompida por ruido *gaussiano*, c) Imagen resultado de la aplicación de un filtro paso bajo sobre b), d) Imagen resultado de la aplicación de un filtro de paso alto sobre a) (7)

- Binarización por umbral: Es una técnica que permite “separar” un objeto de interés del resto de la imagen, mediante una transformación de la imagen de entrada a partir del umbral definido (desde 0 hasta 255 [intensidad]), obteniéndose una imagen de salida en la cual cada pixel puede tomar alguno de dos valores: 0 (menores al umbral se muestran en negro) y 1 (mayores al umbral se muestran en blanco), ver figura 11.

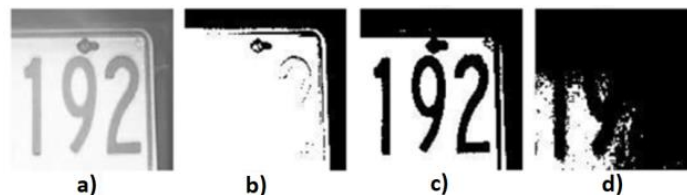


Figura 11. Ejemplo de una binarización (a) Imagen original, (b) Binarización con umbral en 150 [intensidad], (c) Binarización con umbral en 200 [intensidad], (d) Binarización con umbral en 250 [intensidad] (7)

- Detección de bordes: Es una técnica que consiste en hallar la línea de *pixeles* que separa ese objeto del fondo de la imagen. Los *pixeles* hallados corresponden a aquellos de mayor frecuencia y que corresponden a los bordes. La manera más común para detectar orillas es utilizar algún tipo de derivada o diferencial, aplicado en un vecindario pequeño, es entonces cuando una operación de derivación permite calcular las variaciones entre un punto y su vecindario, entendida una imagen como una función, un contorno implica un cambio en la pendiente en dicha función, donde la función tiene un valor de gradiente o derivada alta (7). Esta técnica corresponde a la aplicación de filtros de paso alto para acentuar las orillas. Entre las técnicas de detección de bordes más extensamente aplicadas, destaca "Canny", observar su utilidad en la figura 12, esta fue tomada de "A combined vision-robot arm system for material assortment" (11) para ilustrar la descripción de la detección de bordes:

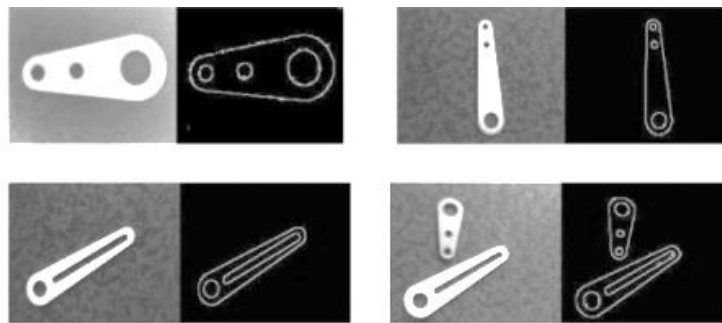


Figura 12. Ejemplo de aplicaciones del algoritmo de "Canny" con escena controlada (11)

- Este algoritmo es ampliamente usado en la localización de contornos. Se caracteriza por evitar la ruptura de los bordes de los objetos. Su fundamento se basa en un proceso de optimización, teniendo en cuenta los siguientes objetivos a maximizar (9):
 1. Aumentar la relación señal-ruido de la imagen.
 2. Disminuir al máximo la distancia entre el borde detectado y el borde real.
 3. No identificar un borde por un único *pixel*, sino por un conjunto de *pixeles* que tengan una cierta conectividad.

En la figura 13 se muestra otro ejemplo del algoritmo de Canny sin la escena controlada, observar cómo los bordes de la escena también son resaltados.

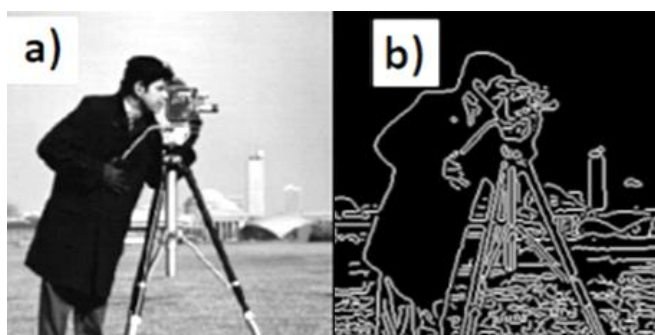


Figura 13. Detección de bordes, a) imagen original, b) Canny (9)

A continuación se enlistan en la Tabla 3 algunos fabricantes de estos equipos que por su presencia y relevancia se han convertido en sinónimos de equipos de visión entre los ingenieros de manufactura de la industria automotriz:

Tabla 3. Fabricantes de equipos de visión aplicados en el sector automotriz

Fabricante	Ubicación	Ejemplo de producto
<p>BANNER ENGINEERING: Es una empresa global y líder mundialmente reconocida en el campo de los productos para automatización industrial.</p> <p>https://www.bannerengineering.com/mx/es/products/machine-vision.html</p>	<p>Minneapolis, Estados Unidos de América</p>	<p>Sensor de vision iVu Plus TG Gen2</p>
<p>KEYENCE: Proveedor líder en sensores, sistemas de medición, marcadores láser, microscopios y sistemas de visión computacional en todo el mundo.</p> <p>https://www.keyence.com.mx/products/vision/vision-sys/index.jsp</p>	<p>Osaka, Japón</p>	<p>Sensor de visión serie IV cabezal: IV-HG150MA Amplificador de sensor: IV-HG10 Sensor: IV-H500MA</p>
<p>INFAIMON: Es una compañía multinacional dedicada en exclusiva a la visión computacional y el análisis de imagen.</p> <p>https://www.infaimon.com/es/</p>	<p>Barcelona, España</p>	<p>Cámara inteligente BOA 1280 PRO</p>
<p>COGNEX CORPORATION: Es el principal proveedor mundial de sistemas, software, sensores de visión y lectores industriales utilizados para la automatización de los procesos de fabricación.</p> <p>https://www.cognex.com/es-mx</p>	<p>Boston, Estados Unidos de América</p>	<p>Sensor de visión In-Sight 2000-120C</p>

2.3 TÉCNICAS CONVENCIONALES PARA LA DETECCIÓN DE ATRIBUTOS EN AUTOPARTES PLÁSTICAS

La detección de atributos en piezas plásticas comprende atributos propios de la pieza y atributos de accesorios ensamblados.

Los atributos propios de la pieza se refieren a la integridad de ésta, por ejemplo, si la pieza está incompleta o con una sección deformada, se tendría un atributo indeseable y podría ser detectado mediante varias técnicas convencionales como sensores inductivos, infrarrojos o interruptores de proximidad.

Los atributos de accesorios ensamblados se refieren a la presencia, posición u orientación de clips, cinchos, mangas protectoras, tampografía, entre otros. Estos accesorios ensamblados podrían ser detectados mediante sensores infrarrojos, capacitivos, inductivos (si son ferrosos como tornillos o clips) o interruptores de proximidad.

La utilización de estas técnicas dependerá de la posición del accesorio en la autoparte, de la velocidad de fabricación, tamaño del accesorio, color del accesorio y poco dependerá del presupuesto del proyecto.

La aplicación de estas técnicas es efectiva sobre atributos de ensamble porque son puntuales y poco eficientes en la detección de atributos por la extensión de la pieza ya que estas técnicas son puntuales y muy limitadas a algunos milímetros de cobertura (1~6 mm aproximadamente) por lo que si se espera un tiro corto y se selecciona un sensor para cubrir esta zona no se puede detectar si ocurre fuera de la zona de cobertura.

A pesar de su eficacia en la detección de atributos de ensamble y de su poca eficiencia en la detección de atributos propios de la pieza, la aplicación de estas técnicas se omite frecuentemente por varias razones, algunas de estas tienen que ver con el perfil profesional de los negociantes del proyecto y sobre la falta de experiencia con el sistema *Poka-Yoke*. A continuación se enlistan algunos dispositivos aplicables y se explica por qué son escasamente aplicados en la detección en autopartes:

- Sensor capacitivo: Su funcionamiento se basa en un circuito oscilante RC y las líneas del campo eléctrico que se cierran a través del aire. La aproximación de un objeto con una constante dieléctrica superior a la del aire, ocasiona el desequilibrio del circuito y el inicio de las oscilaciones.

Esta variación de la capacidad es función de la constante dieléctrica, volumen, densidad y composición del objeto a detectar. Es por esta razón por lo que la mayor parte de detectores capacitivos llevan incorporado un ajuste de sensibilidad para adaptarlo a cada uno de los elementos a detectar de acuerdo con sus propias características y constitución.

Este sensor puede detectar la presencia de componentes ferrosos hasta una distancia máxima equivalente al radio del sensor. Por ejemplo sirve para detectar clips plásticos, cinchos plásticos, molduras plásticas, presencia y posición de torres portaclips de las piezas moldeadas, presencia de tiros cortos y deformaciones. Ver la figura 14.



Figura 14. El sensor capacitivo

Cinco razones por las cuales no son utilizados:

1. Los herramentales que no tocan la pieza no los paga el cliente.
 2. Se privilegia la detección visual por sobre la instalación de sensores con costo.
 3. Pocos ingenieros de manufactura han experimentado previamente con esta técnica capacitiva.
 4. La detección de tiros cortos en zonas específicas es un vacío del que nadie se ocupa durante la etapa de planeación del proceso de manufactura.
 5. Requiere el diseño de un nido donde se pueda asentar la pieza ensamblada, un soporte para instalar el sensor y su integración con un controlador.
- Sensor inductivo: Sirve en el caso de autopartes plásticas, únicamente para detectar cuerpos ferrosos ensamblados o incrustados en las autopartes. El sensor está formado por un devanado enrollado en un núcleo, de modo que al aproximar el extremo del devanado a un objeto metálico cambia la inductancia. Este cambio puede monitorearse por el efecto que produce un circuito resonante (oscilador de alta frecuencia) es entonces cuando satura un transistor (PNP ó NPN) y detecta sin contacto objetos metálicos ferrosos.

Este sensor puede detectar la presencia de componentes ferrosos a una distancia de la mitad de su diámetro. Por ejemplo clips metálicos, rondanas, tornillos, grapas, etc. Ver la figura 15.



Figura 15. El sensor inductivo

Tres razones por las cuales no son utilizados:

1. Los herramientas que no tocan la pieza no los paga el cliente.
 2. Requiere el diseño de un nido donde se pueda asentar la pieza ensamblada, un soporte para instalar el sensor y su integración con un controlador.
 3. Se privilegia la detección visual por sobre la instalación de sensores con costo.
- Sensor óptico: El funcionamiento de estos sensores se basa en un acoplamiento entre una fuente emisora y un receptor, esta combinación recibe el nombre de optoacoplador. Según su fuente de iluminación pueden ser infrarrojo o laser. El emisor es un led y el receptor un fototransistor que conmuta porque su base tiene un cristal fotosensible saturable cuando recibe suficiente radiación, puede utilizarse en dos modos diferentes: modo proximidad réflex y modo barrera; también se puede utilizar en la detección de color y medición de distancias. Se puede detectar la presencia de la pieza plástica o una porción de esta para confirmar que no haya presencia de tiros cortos o bien detectar coladas, accesorios ensamblados, tampografía, accesorio del color correcto, posición y orientación de accesorios, etc. Detecta sin contacto. Ver la figura 16.

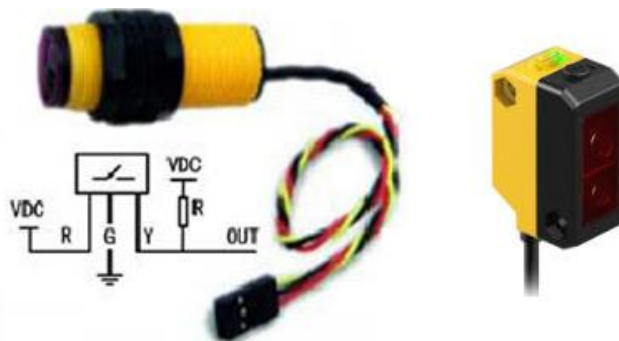


Figura 16. El sensor óptico, a la izquierda infrarrojo (E18), a la derecha el láser (QS18)

Tres razones por las cuales no son utilizados:

1. Los herramentales que no tocan la pieza no los paga el cliente.
 2. Requiere el diseño de un nido donde se pueda asentar la pieza ensamblada, un soporte para instalar el sensor y su integración con un controlador.
 3. Se privilegia la detección visual por sobre la instalación de sensores con costo.
- Interruptor de proximidad: Requiere un contacto físico y una pequeña fuerza de acción para cerrar los contactos (ruptores), son muy utilizados en la detección de finales de carrera, detectores de paso y conteo.

También se conoce como microswitch, en general es un dispositivo mecánico que permite desviar o interrumpir el curso de una corriente eléctrica para cerrar o abrir un circuito o cambiar el estado de una señal hacia un controlador. Tienen uno o varios pares de contactos que se abren y cierran de forma mecánica al mismo tiempo, estos contactos son normalmente abiertos o normalmente cerrados o una combinación de estos polos que son el número de circuitos independientes en una sola acción de conmutación. Un problema que presentan los interruptores mecánicos es el rebote de señal porque los elementos de contacto son elásticos, el contacto puede rebotar varias veces antes de cerrarse, por lo general 20 milisegundos después concluye el efecto, para eliminar este problema se puede recurrir por ejemplo a pausas de 20 milisegundos en la programación cuando detecte el interruptor cerrado.

Se pueden utilizar para detectar la presencia de la pieza plástica o bien detectar la presencia de algún tiro corto o deformación, si no es presionado o presencia de colada si es presionado, etc. Ver la figura 17.



Figura 17. El interruptor de proximidad, en este caso normalmente abierto

Dos razones por las cuales no son utilizados:

1. Requiere el diseño de un nido donde se pueda asentar la pieza ensamblada, un soporte para instalar el interruptor y su integración con un controlador.
 2. Se privilegia la detección visual por sobre la instalación de microswitches con costo.
- **Sensores neumáticos:** Utilizan aire comprimido, con la proximidad o desplazamiento de un objeto (la autoparte) que obstruya la salida de aire, se obtiene un cambio en la presión en éste, se utilizan para detectar la obstrucción o apertura de conductos. El transductor asociado para detectar este cambio de presión es el presostato que es un instrumento que abre o cierra un circuito eléctrico, en función del cambio de un valor de presión prefijado en un circuito neumático. Detección de integridad, presencia y fuga de la autoparte de tipo flexible como cubrepolvos, tapetes y mangueras. Ver la figura 18.

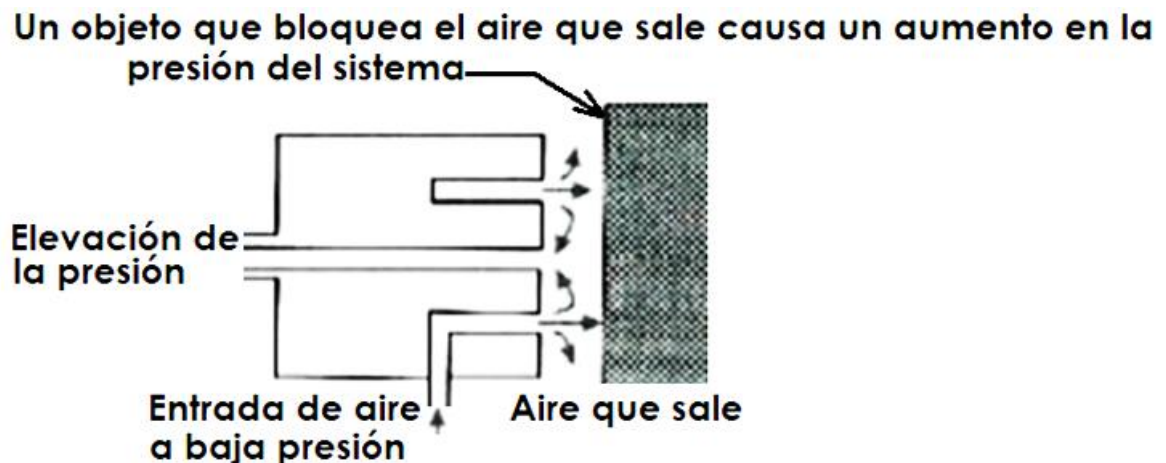


Figura 18. El sensor neumático

Hasta este punto de la tesis, se ha descrito con qué se puede detectar atributos de las autopartes plásticas ya sea usando sensores convencionales o sistemas de visión. La inspección con sistemas de visión correspondería al estado 1 que no es el problema según se definió en la sección 1.2. Mientras que si se inspecciona automáticamente con sensores convencionales, también se obtendría un estado intermedio entre el estado 0 y el estado 1, al menos se podría automatizar el juicio entre una pieza correcta y otra incorrecta. El estado 0 implica la ausencia de cualquiera de estas técnicas de detección.

2.4 LOS MICROCONTROLADORES PIC

Este capítulo se enfocará exclusivamente a los microcontroladores PIC, ver figura 19.



Figura 19. El PIC 16F628A fabricado por Microchip

Los PIC son computadoras de un solo chip económicas y manufacturadas por *Microchip Technology Inc* cuya central se encuentra en *Chandler Arizona*. Su éxito es multifactorial por sus diversas características benéficas como:

- Funciones de control especializadas para diferentes dispositivos periféricos como LCD, conversor analógico digital, lectura directa de potenciómetros y transductores resistivos, entradas y salidas digitales configurables, etc.
- Bajo costo y amplia disponibilidad con distribuidores locales en todo el mundo.
- Fácil programación por su abundante disponibilidad de *software*, bibliografía, *blogs* y videotutoriales para autodidactas.

El acrónimo *PIC* indistintamente significa "*Programmable Intelligent Computer*" (computadora inteligente programable) y "*Peripheral Interface Controller*" (controlador de interfaces periféricas), pero el nombre oficial de *Microchip* para estos dispositivos es ahora microcontroladores *PICmicroR*.

En este trabajo se considera que "*Peripheral Interface Controller*" describe mejor a los *PIC* porque permite controlar dispositivos periféricos mientras que el otro significado, de computadora inteligente, es más amplio y puede referirse a cualquier computadora.

En cuanto a su historia, surgieron en 1977, *General Instruments* predecesor de *Microchip*, desarrolló el original PIC1650 que en su arquitectura, programación y otras características corresponde directamente a los fundamentos de los modernos *PIC*, así se menciona en el libro *Programming the PIC Microcontroller with MBasic* (12).

El 40% de las aplicaciones del *PIC* se encuentran en equipos de oficina, como *PC*, impresoras láser, *fax* y en teléfonos inteligentes. El 33% se encuentran en productos electrónicos de consumo como reproductores de música, videojuegos y lavadoras. El 23% se encuentra en las comunicaciones, autopartes y aplicaciones militares (13).

Respecto a su arquitectura, un microcontrolador es un sistema de microprocesador que contiene datos y memoria programada, entradas y salidas en serie y paralelo, *timers* (temporizadores) e interrupciones externas e internas: todo integrado en un solo chip que se puede comprar por tan solo dos dólares (13).

El término microcomputadora se utiliza para describir un sistema que incluye como mínimo un microprocesador, memoria de programa, memoria de datos y dispositivos de entrada o salida, por lo tanto, una microcomputadora puede ser cualquiera desde computadora de escritorio hasta inclusive un microcontrolador integrado en un solo chip (13).

Entonces derivado de las definiciones de microcomputadora y microcontrolador, el concepto de microcontrolador denota una computadora de un solo chip y el prefijo *micro* sugiere que el dispositivo es pequeño y *controlador* sugiere que se use en aplicaciones de control (12).

A continuación se explicará la diferencia entre microprocesador y microcontrolador:

- El microprocesador es un circuito integrado que contiene la *CPU*, sus terminales son las líneas de buses de direcciones, datos y control para conectarse con la memoria, módulos de entrada y salida, por lo tanto es un sistema abierto porque su configuración es variable según la aplicación.

- El microcontrolador es un sistema cerrado en el que todas las partes están contenidas en su interior y sólo salen las líneas (terminales) que gobiernan a los dispositivos periféricos. Un microcontrolador debe ser programado para que realice desde el simple parpadeo de un led hasta el sofisticado control de un robot. Un solo microcontrolador supe tareas de circuitos lógicos como compuertas *AND*, *OR*, *NOT* o *NAND*, conversores *A/D* o *D/A*, etc.

Cada *PIC* tiene un número determinado de puertos, en el caso del 16F628A tiene sólo 2 de los cuales el A por diseño tiene capacidades analógicas opcionales y el B es solamente digital, ver figura 20, imagen tomada del data sheet(14).

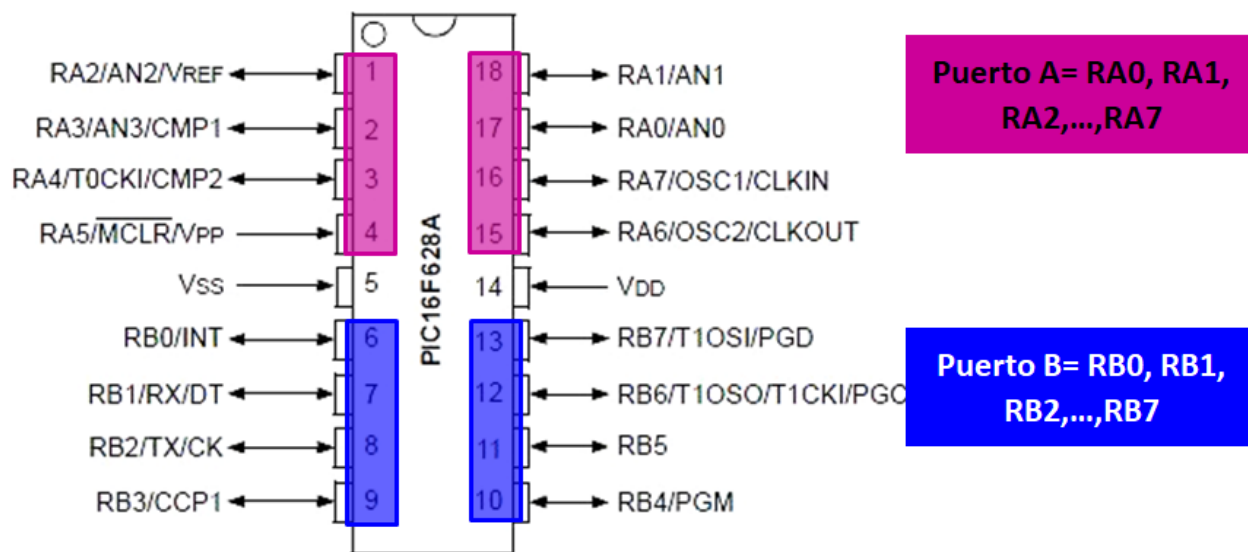


Figura 20. Diagrama de terminales del *PIC* 16F628A. Observar que sólo tiene los puertos A y B (14)

A continuación, en la tabla 4, se describirán las funciones que tiene cada terminal del *PIC* 16F628A, dichas funciones son semejantes para otros *PIC*, estas especificaciones fueron tomadas de su respectiva *datasheet* (ficha técnica) y que se encuentran en el apéndice C.

Tabla 4. Funciones de las terminales del PIC 16F628A

Patita	Nombre	Descripción
17	RA0 / AN0	Bidireccional I/O, entrada comparador analógico
18	RA1 / AN1	Bidireccional I/O, entrada comparador analógico
1	RA2 / AN2 / VREF	Bidireccional I/O, entrada comparador analógico y voltaje de referencia
2	RA3 / AN3 / CMP1	Bidireccional I/O, entrada comparador analógico y salida de comparador analógico 1
3	RA4 / T0CKI / CMP2	Bidireccional I/O, entrada reloj TIMER0 y salida del comparador analógico 2
4	RA5 / MCLR / VPP	Unidireccional de entrada I, en modo MCLR activa RESET Externo, VPP se utiliza en la comunicación para programación ICSP
15	RA6 / OSC2 / CLKOUT	Bidireccional I/O, entrada de oscilador externo, salida de 1/4 de la frecuencia OSC1
16	RA7 / OSC1 / CLKIN	Bidireccional I/O, entrada de oscilador externo, entrada de reloj externo
6	RB0 / INT	Bidireccional I/O, resistencia PULL-UP programable, entrada de interrupción externa
7	RB1 / RX / DT	Bidireccional I/O, resistencia PULL-UP programable, entrada de dato RS232, I/O dato serial asíncrono
8	RB2 / TX / CK	Bidireccional I/O, resistencia PULL-UP programable, salida de dato RS232, I/O señal de reloj asíncrono
9	RB3 / CCP1	Bidireccional I/O, resistencia PULL-UP programable, I/O módulo CCP/PWM
10	RB4 / PGM	Bidireccional I/O, resistencia PULL-UP programable,, entrada de voltaje bajo de programación
11	RB5	Bidireccional I/O, resistencia PULL-UP programable
12	RB6 / T1OSO / T1CKI	Bidireccional I/O, resistencia PULL-UP programable, salida oscilador TIMER1, CLOCK entrada reloj se utiliza en la comunicación para programación ICSP
13	RB7 / T1OSI	Bidireccional I/O, resistencia PULL-UP programable, entrada oscilador TIMER1, DATA se utiliza en la comunicación para programación ICSP
5	VSS	Tierra (-5VDC)
14	VDD	Alimentación (+5VDC)

Un PIC puede detectar el paso de estado alto a bajo (cero lógico) y bajo a alto (uno lógico) para estas funciones se requieren diferentes conexiones, mismas que son mostradas en la figura 21.

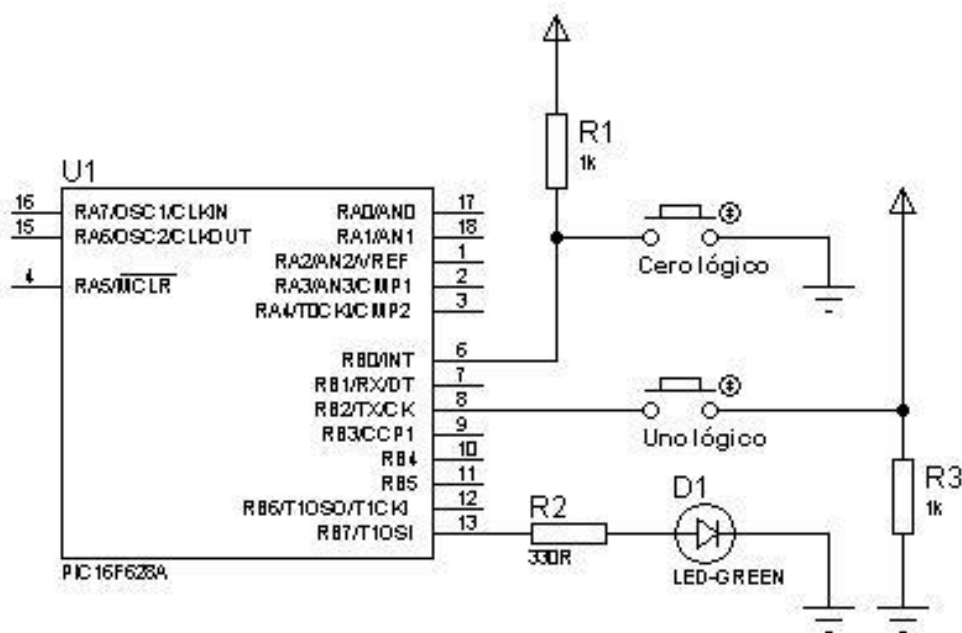


Figura 21. Conexión 0 lógico y 1 lógico, diagrama dibujado en *ISIS Proteus*

El *PIC* realiza operaciones aritméticas y lógicas por lo cual es posible programar aplicaciones iguales a las funciones de un *PLC*, combinando la programación con lógica cableada, ver figura 22.

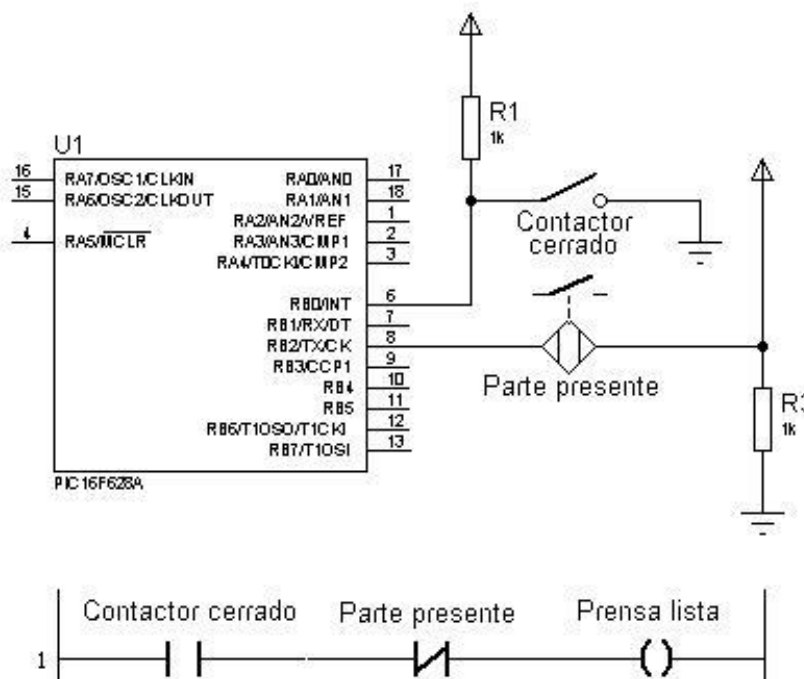


Figura 22. Paralelismo entre lenguaje *ladder* (de escalera) y conexiones del PIC

Algunas terminales del *PIC* tienen múltiple funcionalidad: entradas o salidas y de comunicación. Un caso muy particular se refiere a comunicación para programación. Para programar el *PIC*, se le transfiere el código desde una computadora a través de un dispositivo llamado consola de programación, tarjeta de programación o simplemente programador.

Una técnica que facilita la programación del *PIC*, sin desmontarlo del circuito, es utilizando el modo *ICSP* (*In Circuit Serial Programming*, programación serial en circuito), ver figura 23, esta fue tomada de "Electro-tech-online" porque ilustra esta conexión entre un programador y el PIC 16F628A (15).

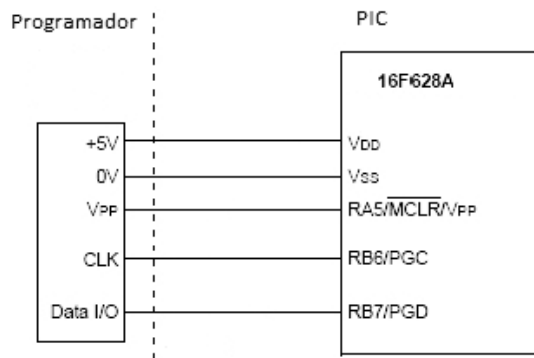


Figura 23. Correspondencia entre el patillaje de un programador y el PIC (15)

En cuanto a la programación de los *PIC*, existen diferentes lenguajes como *ASSEMBLER*, *C*, *BASIC*, etc. En este capítulo y en lo subsecuente se hará referencia a la programación en *PBP* (*PicBasic Pro* de *microEngineering Labs*) porque es un lenguaje de alto nivel con instrucciones específicamente desarrolladas para los microcontroladores *PIC*.

El lenguaje general de programación *BASIC* fue creado como una herramienta fácil de usar, se generalizó en la década de 1980 y sigue siendo popular en variaciones como *PBP* para programar microcontroladores. El nombre de *BASIC* fue acuñado en un acrónimo agradable que significa código de instrucción simbólica multiusos para principiantes (*Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code*) (16).

PBP permite un desarrollo más rápido y fácil de aplicaciones con *PIC* en comparación con el lenguaje de ensamblador de *Microchip* *MPASM* pero éste aventaja a *BASIC* en la velocidad de ejecución y en un menor tamaño del programa, ambas características irrelevantes en la integración mecatrónica de aplicaciones en manufactura, ante el agotamiento de memoria, se substituye el *PIC* por otro con mayor capacidad.

En la tabla 5 se presenta una comparación entre la programación en *ASSEMBLER* y el lenguaje de alto nivel *PBP*, el programa sólo es para hacer parpadear un led, un programa con más entradas y salidas o *LCD*, multiplicaría varias veces el número de líneas y uso de registros.

Tabla 5. Lenguaje de alto nivel vs lenguaje de bajo nivel

<pre> ***ASSEMBLER (bajo nivel)*** ; ; List p=16F628A status equ 03h portb equ 06h trisb equ 86h cont1 equ 20h cont2 equ 21h cont3 equ 22h reset org 0 goto Inicio org 5 retardo movlw D'10' movwf cont1 repite1 movlw D'100' movwf cont2 repite2 movlw D'110 movwf cont3 repite3 nop nop nop decfsz cont3 Goto repite3 Decfsz cont2 Goto repite2 Decfsz cont1 Goto repite1 Retlw 0 Inicio: bsf status,5 movlw 00h movwf Trisb bcf status,5 prog bsf portb,1 call retardo bcf portb,1 call retardo goto retardo end </pre>	<pre> ***BASIC (alto nivel)*** ; ; Inicio: HIGH portb.1 PAUSE 1000 LOW portb.1 PAUSE 1000 GOTO inicio </pre>
--	--

El lenguaje de programación *PBP* contiene 81 declaraciones específicas, ver tabla 6, para mayor referencia ver el apéndice D (17).

Tabla 6. Declaraciones de *PBP*, fragmento (17)

Declaración	Descripción de la función
COUNT	Cuenta el número de pulsos en un pin
PAUSE	Demora con resolución de 1 milisegundo (ms)
REVERSE	Convierte un pin de salida en entrada o viceversa

Antes de terminar esta sección se mencionará una nueva herramienta para programación de *PIC* basada en lenguaje *ladder*: "LDmicro: Ladder Logic for PIC and AVR" (18). Es gratuita, experimental y no tiene la posibilidad de programar todos los *PIC*. Tiene la ventaja de ser más universal en su entendimiento para los programadores de *PLC* porque su entorno se asemeja mucho a otros sistemas comerciales y porque está basado en simbología *ladder*, ver figura 24.

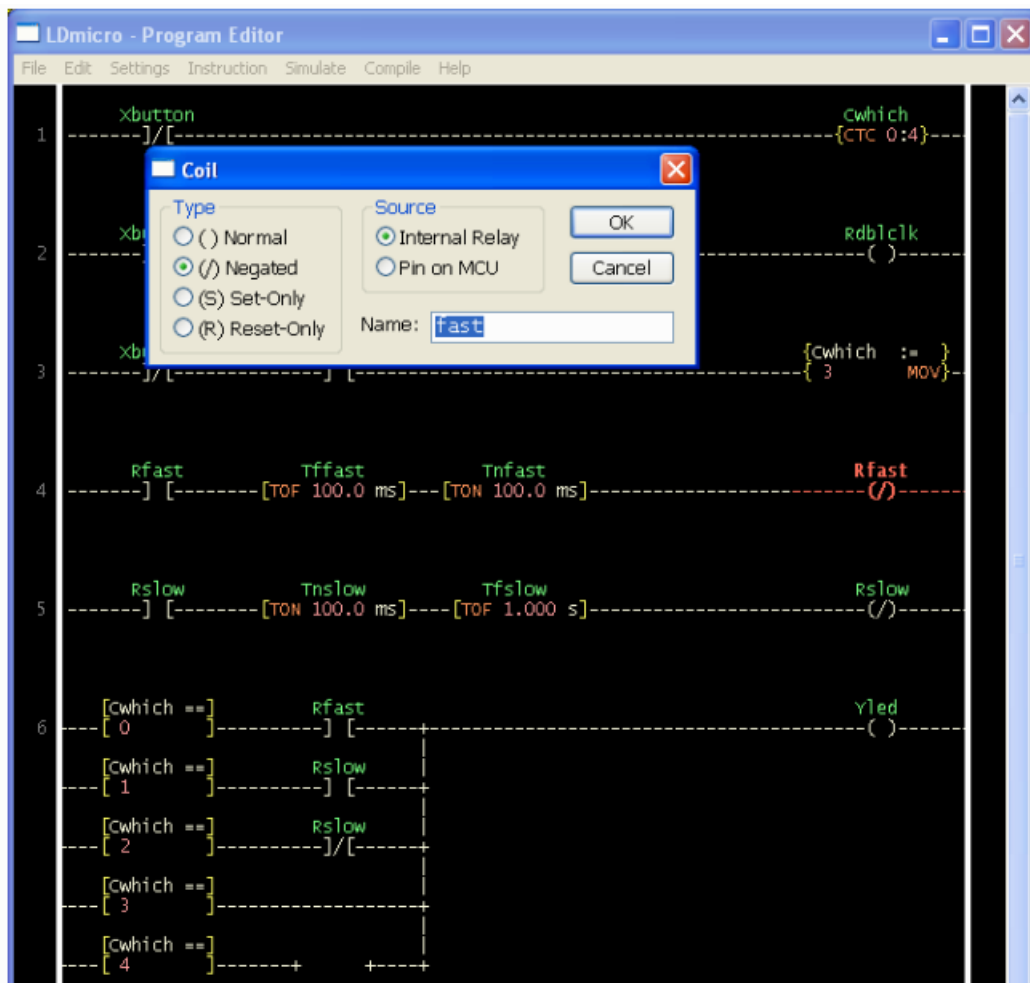


Figura 24. El entorno de programación de PIC LDmicro (18)

2.5 CONSTRUCCIONES MODULARES PARA MANUFACTURA ESBELTA

La construcción de mobiliario industrial basado en estructuras modulares permite una adaptación individual y flexible a diferentes requerimientos, corto tiempo de desarrollo y bajo costo de inversión porque tienen características muy versátiles como: ensamblaje rápido y simple, tiempo de planificación corto, desmontaje simple, fácil construcción, compatibilidad para futuras modificaciones, y reutilización futura de todos sus elementos constructivos: tubos y conectores (19).

Dichas estructuras de construcción modular están basadas en perfiles columnares de aluminio como en el caso de la figura 25.



Figura 25. Estaciones modulares contruidas con perfil Bosch (19)

También existen construcciones modulares en tubos de perfil circular de aleaciones ferrosas como en el caso de la figura 26, imagen tomada de flexpipeinc (20).



Figura 26. Estaciones modulares contruidas con perfil Flexpipe (20)

En ambos casos, además de los perfiles se requiere de conectores y tornillos para la construcción de sofisticadas estaciones y sistemas móviles para la industria manufacturera.

Otros beneficios es que no requiere personal especializado para la construcción ya que no se necesita soldadura para las uniones ni pintura para los acabados, ver figura 27.



Figura 27. El ensamble no requiere soldadura, ni pintura, sólo una llave hexagonal "T" de 5 mm

Existen varios fabricantes de componentes de esta técnica de construcción modular, entre ellos destaca por su presencia en la industria manufacturera automotriz en México la empresa *TRILOGIQ* (21).

TRILOGIQ es una empresa internacional de vanguardia, especialista en la creación de soluciones modulares a través de estructuras tubulares unidas por conectores con presencia en más de 19 países y con más de 20 años de experiencia, ofrece soluciones innovadoras basadas en sistemas tubulares para exhibir, almacenar, ordenar y transportar materiales para la optimización de los procesos industriales.

Esta compañía tuvo éxito en su servicio y en sus productos que le permitieron crecer de manera constante y ahora tiene presencia alrededor del mundo. Suministra a muchas de las compañías líderes de fabricación en todo el mundo y a una amplia gama de sectores industriales. Un extenso programa de investigación y desarrollo asegura que los productos son continuamente desarrollados y mejorados para cubrir las necesidades de los clientes, por ejemplo su línea "composite GRAPHIT".

Con los principios y metodologías de manufactura esbelta que se están aplicando en muchos negocios fuera del tradicional sector de manufactura, con las soluciones de valor agregado de *TRILOGIQ*, están logrando un gran impacto en la eficiencia, seguridad y rentabilidad para muchos negocios en todo el mundo.

El elemento constructivo más utilizado de *TRILOGIQ* es el F-90, ver figura 28.



Figura 28. A la izquierda se muestra una fracción del tubo T1-400, 2 conectores F-90, tuerca y tornillo S1. A la derecha se muestran los componentes de la izquierda ensamblados en otro tubo T1-400

A continuación se muestran ejemplos de aplicación del material *TRILOGIQ* en la industria manufacturera:

- Transporte de autopartes, ver figura 29.



Figura 29. A la izquierda carro transportador de tablero de instrumentos (*IP panel*) y a la derecha carro transportador de consola central (*Console Body*)

- Estaciones de trabajo, ver figura 30:



Figura 30. Estación de trabajo móvil

- Almacenamiento y surtimiento de materiales respetando PEPS (primeras entradas son primeras salidas) por gravedad, ver figura 31.



Figura 31. Estación de trabajo móvil

- Bandas transportadoras, ver figura 32.



Figura 32. A la izquierda bandas transportadoras de rodillos para transportación de contenedores. A la derecha bandas transportadoras de rodillos, nótese la ventaja de poderse aplicar directamente contra autopartes, en las zonas planas de estas

- Mobiliario de oficina, ver figura 33.



Figura 33. Ejemplo de mobiliario de oficina

Hasta este punto el material *TRILOGIQ* es conocido por sus excelentes propiedades de construcción modular para carros de transporte, almacenamiento de contenedores, mesas y estaciones de trabajo, entre otros. Pero no tienen en sus catálogos ejemplos de aplicaciones mecatrónicas y aquí es donde la presente tesis encuentra un nicho de oportunidad para **ampliar las aplicaciones**, necesidad planteada por *TRILOGIQ* México a Tecnología Pokayoke a quien le solicitó propuestas de estaciones de manufactura inteligentes.

A continuación se muestra un ejemplo desarrollado por Tecnología Pokayoke, basado en la construcción modular con material *TRILOGIQ* en combinación con sensores inductivos *PNP NO (HUCHOO CHE12-4APA-A710)* conectados en cascada con una lámpara indicadora led (*BANNER S22LGRYPQ, S22 EZ LIGHT-22MM-IP67*).

La autoparte en este caso, fue la cubierta decorativa del control de aire acondicionado de la camioneta *TRAX* de *GM*. Esta consta de 4 clips ensamblados en la parte posterior, ver figura 34.

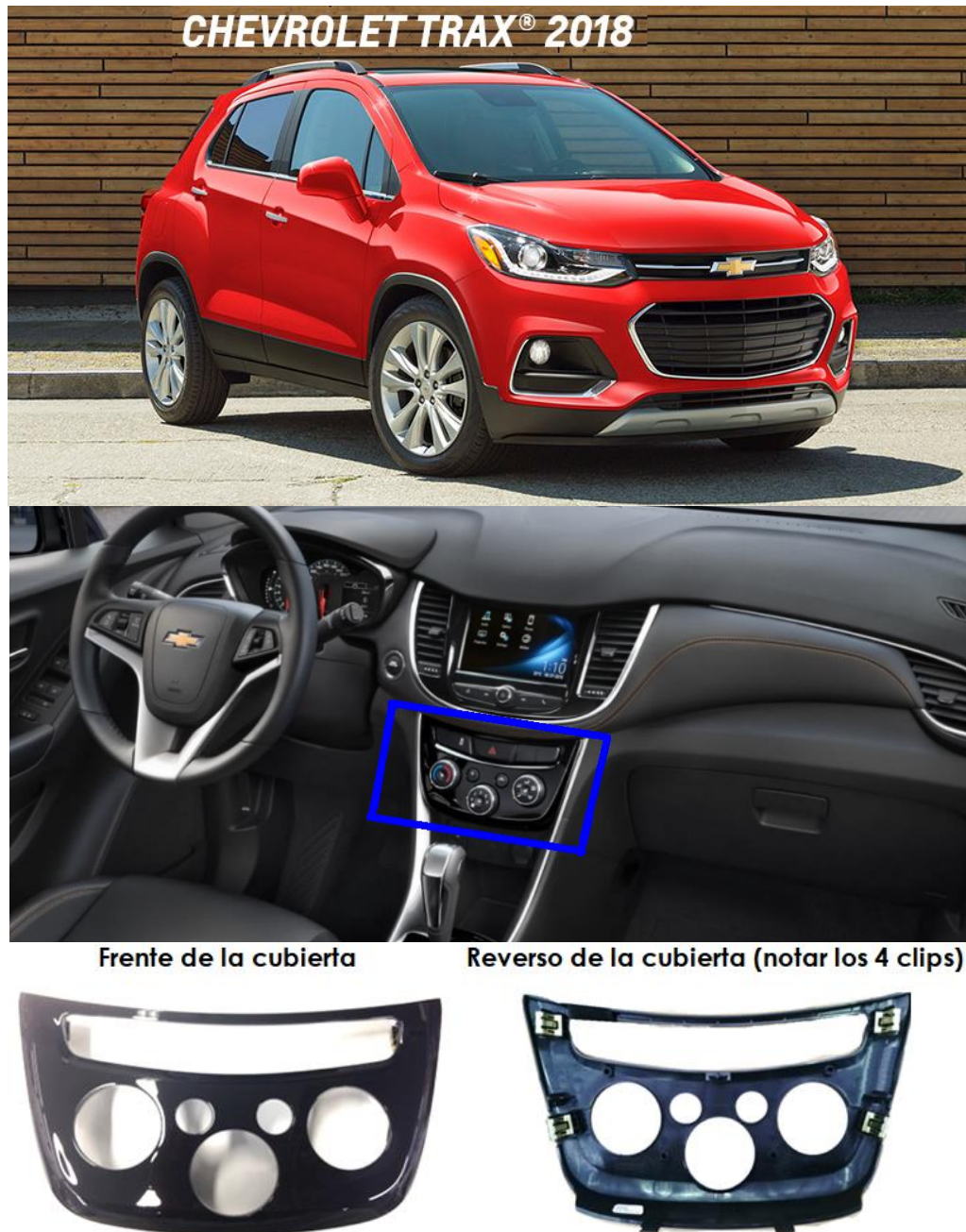


Figura 34. La cubierta decorativa de control de aire acondicionado para la camioneta TRAX

El proceso de esta autoparte es el que se muestra en la figura 35.

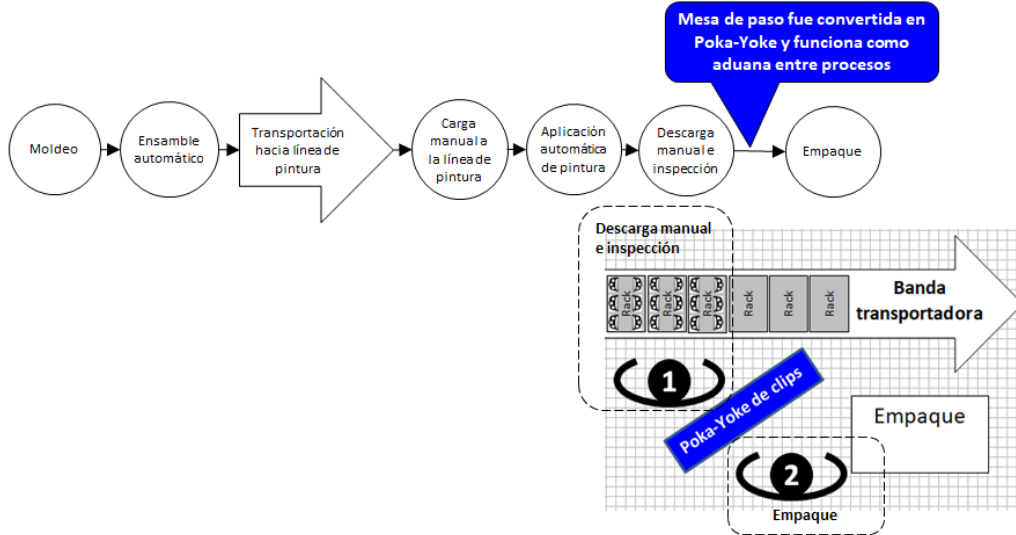


Figura 35. Diagrama de flujo de proceso de la cubierta decorativa del control de aire acondicionado. Notar que el Poka-Yoke agregado funciona como una aduana pasa-no pasa. Este Poka-Yoke fue instalado posterior al lanzamiento del modelo debido a reclamos del cliente que recibió piezas sin los clips instalados. La causa raíz fue múltiple porque el proceso de ensamble automático tenía varios modos de falla los cuales para ser eliminados requerían meses de modificación. El Poka-Yoke cubrió el requerimiento de contención permanente como último punto de aseguramiento de la calidad, mismo que ha sido muy efectivo ya que se han embarcado durante 30 meses piezas ensambladas correctamente, se comprobó que el tiempo y costo de implementación de Poka-Yokes construidos con la técnica modular son de bajo costo y rápida implementación, el del ejemplo tuvo un costo material de \$1200 pesos y 8 horas de tiempo de construcción, mientras que el Poka-Yoke definitivo de construcción tradicional tuvo un costo material de \$245000 pesos y 2 meses de tiempo de construcción y 1 año de implementación, ver figura 36, solo se muestra el prototipo.

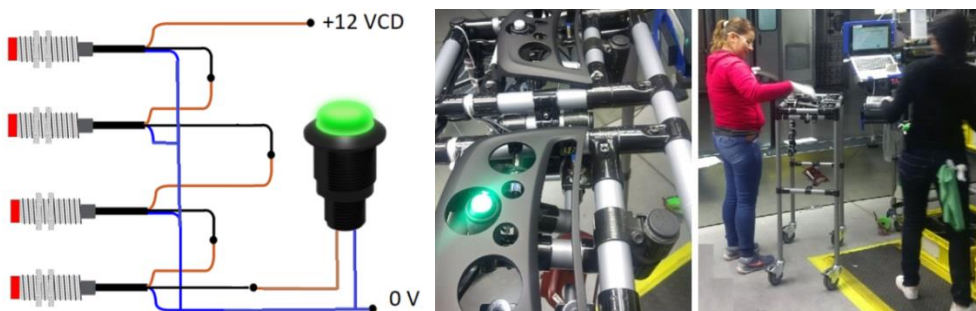


Figura 36. Observar la conexión en serie de 4 sensores inductivos PNP para la detección hace funcionar un led indicador. También observar en la imagen de en medio una pieza correcta y otra incorrecta. A la derecha se observa la ubicación estratégica entre 2 operaciones para obtener el desempeño como una aduana de verificación pasa-no pasa

2.6 MANUFACTURA 4.0

El término Industria 4.0 fue acuñado por el gobierno alemán para describir la fábrica inteligente, una visión de la fabricación comunicada con todos los procesos interconectados por internet de las cosas (IoT) que lo transforma a este *IloT*, *Internet industrial de las cosas* o *I2OT* (*Internet Industrial de las Cosas* o *Industrial Internet Of Things*).

Se espera que el nuevo concepto de industria 4.0 sea tan transformador como lo fueron en su momento la máquina de vapor en la primera revolución industrial, la producción en masa de la segunda revolución industrial o la proliferación de la tecnología de la información ha caracterizado la tercera revolución industrial.

Para el caso de la cuarta revolución industrial ya se plantea un objetivo como: "...el desafío para la cuarta revolución industrial es el desarrollo de *software* y sistemas de análisis que convierten el diluvio de datos producidos por las fábricas inteligentes en información útil y valiosa..." (22).

Términos como *machine to machine (M2M)*, empresas conectadas, manufactura e industria inteligente, manufactura 4.0 e *IloT*, entre otras, darán forma a la Industria 4.0, donde la gran explosión de información generada por sensores y máquinas conectadas a *internet* será el foco de atención para desarrollar nuevos productos, para satisfacer, en tiempo real, las necesidades cada vez más exigentes del consumidor (23).

La nueva industria 4.0 tiene varios fundamentos tecnológicos como: *Big data* y análisis de datos, *Cloud Computing*, Ciberseguridad, Robótica, *IloT*, simulación y prototipado, realidad aumentada, entre otros, ver figura 37, tomada de businesswire (24).

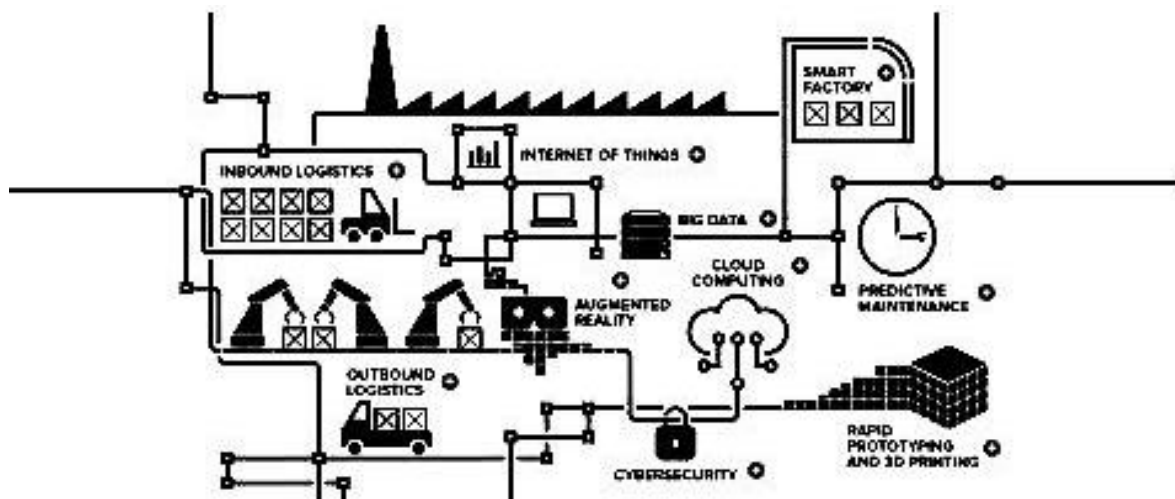


Figura 37. Esquema de conectividad de una industria bajo el concepto "Industria 4.0" (24)

2.7 TÉCNICA Y TEORÍA POKA-YOKE

Poka-Yoke es una técnica y teoría de calidad que conforman un sistema desarrollado por el ingeniero japonés *Shigeo Shingo* en la década de 1960 – 1970, que significa "a prueba de errores". Un dispositivo *Poka-Yoke* es cualquier artefacto que ayuda a prevenir los errores antes de que sucedan, los detecta e impide construir otro error.

El control de calidad denominado "cero defectos" (ZQC por sus siglas en inglés *Zero Quality Control*) establece que con el uso de dispositivos *Poka-Yoke* e inspección de la materia prima desde su origen y en cada etapa del proceso se obtiene la más alta calidad, para conseguir el ZQC se deben cumplir cuatro elementos básicos (25):

1. Inspeccionar en la fuente para detectar errores antes de que se conviertan en defectos.
2. Hacer una inspección de la fuente en cada producto individual, es decir, una inspección del 100 por ciento.
3. Retroalimentar rápidamente para que los errores se puedan corregir de inmediato. Las técnicas tradicionales como la liberación de primera pieza, detectan los errores sin eficacia y cuando lo hacen los errores ya se han convertido en defectos.
4. Usar sistemas a prueba de errores llamados *Poka-Yoke* (en lugar de depender de los obreros ubicados a pie de máquina), para hacer la inspección en la fuente y dar retroalimentación en tiempo real (26).

En la figura 38 se muestra un ejemplo de *Poka-Yoke* que indica al obrero el orden y la posición de ensamble de terminales en un conector, al terminar el ensamble, se valida automáticamente mediante la medición de la impedancia entre los devanados del motor, detecta errores en la fuente y los atrapa evitando la fuga de defectos.

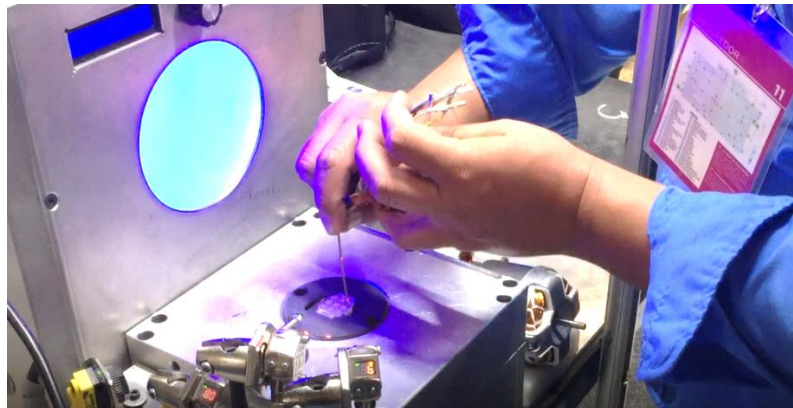


Figura 38. Ejemplo de un dispositivo de ensamble con inspección en la fuente, desarrollado por Tecnología Pokayoke, sólo permite la liberación de piezas correctas, las incorrectas las atrapa

2.8 RELACIÓN CON LAS INVESTIGACIONES SOBRE EL TEMA

En la tabla 7, se realiza la comparativa contra otras tesis contemporáneas realizadas con inspección automática utilizando aplicaciones de visión computacional para sistemas de manufactura:

Tabla 7. Comparativa con otros desarrollos de inspección automática en la manufactura

Tesis	Similitud	Diferencia respecto a la presente tesis
Estación de control de calidad por visión computacional para un centro de manufactura integrada por computador (CIM) (27)	El sistema fue calibrado contra una pieza patrón, en esta tesis se demostró la precisión de un sistema de medición automática basado en inspección por visión computacional.	Se trata de una medición sobre lotes producidos, no pieza por pieza en la fuente de fabricación. Utiliza PLC, no produjo desarrollo tecnológico ni una aplicación de diseño propio, sólo adquirieron un equipo de visión computacional y lo integraron a una celda de manufactura integrada de uso académico en un laboratorio de manufactura.
<i>Implementation of Shape – Based Matching Vision System in Flexible Manufacturing System</i> Implementación de un sistema de visión basado en la forma en un sistema de fabricación flexible (28)	Afirma que la manufactura esbelta y flexible proporciona ventajas competitivas por lo que la visión computacional debería proporcionar dichas ventajas durante la inspección y reconocimiento de formas, dicha ventaja se traduciría en un inmejorable servicio que los clientes buscan en términos de velocidad y flexibilidad. Coincide también en los excesivos costos de las tecnologías de visión computacional y en que aunque son ofertadas como de amplia y flexible aplicación en la realidad cada modelo de sistema de visión es dedicado para ciertas aplicaciones concretas y difícilmente adaptables a otras.	No se creó una aplicación tecnológica propia, sólo se adquirió un sistema de visión comercial y se programó para reconocimiento de formas sin una aplicación manufacturera real, sólo se utilizó con fines académicos.

Tesis	Similitud	Diferencia respecto a la presente tesis
<p><i>Manufacturing Probe Needles With Vision</i> = Fabricación de agujas de sonda con visión (29)</p>	<p>Los principales objetivos del diseño fueron incrementar la velocidad de medición, rendimiento, precisión y repetibilidad.</p> <p>También con la aplicación se minimizó la dependencia del obrero.</p>	<p>Creó una aplicación tecnológica propia, con base en las necesidades del mercado que requería exactamente automatizar la medición metrológica, sin embargo se trata de una medición sobre lotes producidos, no sobre pieza por pieza en la fuente de fabricación.</p>
<p><i>Artificial intelligence based system to improve the inspection of plastic mould surfaces</i> = Sistema basado en inteligencia computacional para mejorar la inspección de superficies de moldes de plástico (30)</p>	<p>Se enfoca en la detección de defectos ocasionados por moldeo en piezas plásticas y predice el efecto de las fallas en las superficies de moldes de inyección para mejorar los productos.</p>	<p>Crea una aplicación tecnológica propia muy ingeniosa que ataca la fuente del problema desde el herramental mismo pero no aplica la detección automática pieza por pieza en la fuente de fabricación.</p>
<p><i>Poka-Yoke system based on image analysis and object recognition</i> = Sistema Poka-Yoke basado en análisis de imágenes y reconocimiento de objetos (31)</p>	<p>Coincide en la aplicación en la fuente mediante sistemas de visión comerciales con integración de periféricos analógico – digital no comerciales, es un excelente ejemplo de integración y aplicación de visión computacional.</p>	<p>Se trata de una aplicación muy completa que tiene un costo alto y largo tiempo de desarrollo, la presente tesis propone un escenario diferente: una reducida pero específica inspección de la autoparte plástica y un desarrollo de bajo costo y rápida aplicación. Otra diferencia es que el objeto de inspección es una placa electrónica PCB y la presente tesis está enfocada a autopartes.</p>

CAPÍTULO 3. PROCEDIMIENTO

El paso más relevante fue encontrar algún *software* gratuito de visión computacional que tuviera la funcionalidad de identificar cambios en la escena filmada y alguna interacción con otro *software* o *hardware* para obtener un *bit*.

El *software* encontrado fue *Safe4cam* que fue especialmente interesante porque permite la selección de zonas de la escena de videovigilancia y opcionalmente seguimiento de color.

Utilizando *Safe4cam* se presentarán 2 casos de detección de defectos con videovigilancia en autopartes plásticas de apariencia con defectos opuestos:

- Caso A: Autoparte con sobrante de integridad.
- Caso B: Autoparte con faltante de integridad.

En ambos, se obtuvo un *bit* útil que indicó la detección del defecto. La obtención del *bit* útil tuvo 2 etapas de desarrollo que siguieron una cronología dependiente de la disponibilidad de recursos:

- Primera etapa: Amplificación con una bocina z51 LOGITECH y 2 transistores 2N3904 conectados en *Darlington*.
- Segunda etapa: Amplificación con un circuito integrado LM386 y un optoacoplador MOC3011.

Tras la obtención del *bit* útil, se procedió a la construcción de dos nidos de posición única con elementos modulares de *TRILOGIQ* para experimentar con sensores infrarrojos y cámaras web para definir sus posiciones, anclaje y control de escena en el nido.

El resultado de esta técnica será tratado en el capítulo 4 integrando el triplo del caso A pero en una estación de inspección para detectar las 3 coladas de la moldura *Front Door*.

Dicha estación de inspección es el *Poka-Yoke* prototipo definido en el objetivo de esta tesis.

Respecto al control se utilizó el módulo *CONTROLMÁTICO II* propiedad de Tecnología Pokayoke, el cual consta de varios sistemas periféricos controlados por un *PIC* cuya construcción será explicada en este capítulo 3.

3.1 DEFINICIÓN DE LAS AUTOPARTES Y SUS ATRIBUTOS A INSPECCIONAR

Se recomienda revisar el apéndice E sobre el perfil de la empresa *Mitchell Plastics* que es el fabricante de las autopartes de los casos A y B.

Una autoparte interior de apariencia es aquella con áreas visibles donde las características de color, brillo o textura son acabados que embellecen al habitáculo del automóvil y que por lo tanto son características significativas de calidad para el usuario final y deben ser controladas desde el diseño y mantenidas en durante la producción (32).

La especificación de otras autopartes establece geometría, tolerancia, materiales, normas aplicables y desempeño, mientras que en autopartes de apariencia implica además otras consideraciones respecto a la visibilidad que tiene el piloto desde su asiento sobre las superficies que embellecen al habitáculo interior del automóvil, por lo que éstas se clasifican en 3 tipos A, B o C de las cuales la más crítica es la tipo A (33).

Los casos A y B corresponden a la clasificación A y se ensamblan en el modelo Q5 de *Audi*, ver figura 39 y apéndice E.



Figura 39. El modelo Q5 que *Audi* está produciendo en México

3.1.1 Caso A: Autoparte con sobrante de integridad

Se trata de la autoparte denominada *Front Door* que es una moldura embellecedora ensamblada en cada una de las 4 puertas del vehículo Audi Q5, ver figura 40.



Figura 40. La autoparte *Front Door* y su ubicación en cada una de las 4 puertas en el interior del modelo Q5 de Audi, hay un *Front Door* para puerta izquierda y otro *Front Door* para la puerta derecha, semejantes y reflejados entre si

Cada pieza de *Front Door* debe estar libre de defectos de pintura (grumos, escurrimientos, porciones sin pintar, etc.), libre de defectos de moldeo (rechupes, deformaciones, tiros cortos, etc.), y tener la capacidad de ensamble.

La falta de capacidad de ensamble mencionada en el párrafo anterior tiene su origen en la omisión de corte de "colada", en la figura 41 se muestra una pieza con colada (significa que es una pieza defectuosa) y otra pieza sin colada (significa que es correcta y que puede ser ensamblada). Según la estadística de reclamos, el defecto ocurrió en 62 casos durante 1 año de producción.

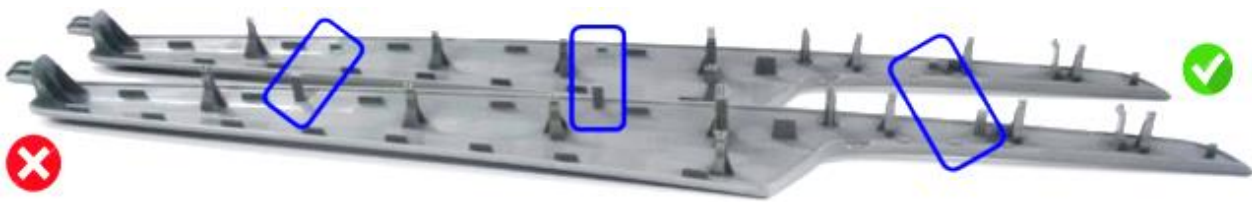


Figura 41. Los 3 puntos de inyección son las coladas en el *Front Door*, observar una pieza correcta o sea con las coladas cortadas (arriba) contra otra incorrecta sin las coladas cortadas (abajo)

La colada es originada en los herramientales de moldeo que utilizan la técnica de inyección de plástico denominada "entrada directa" en la cual los canales de distribución (*runners*) representan la parte que une a la vena con las cavidades del molde, ver el esquema de la figura 42 (34).

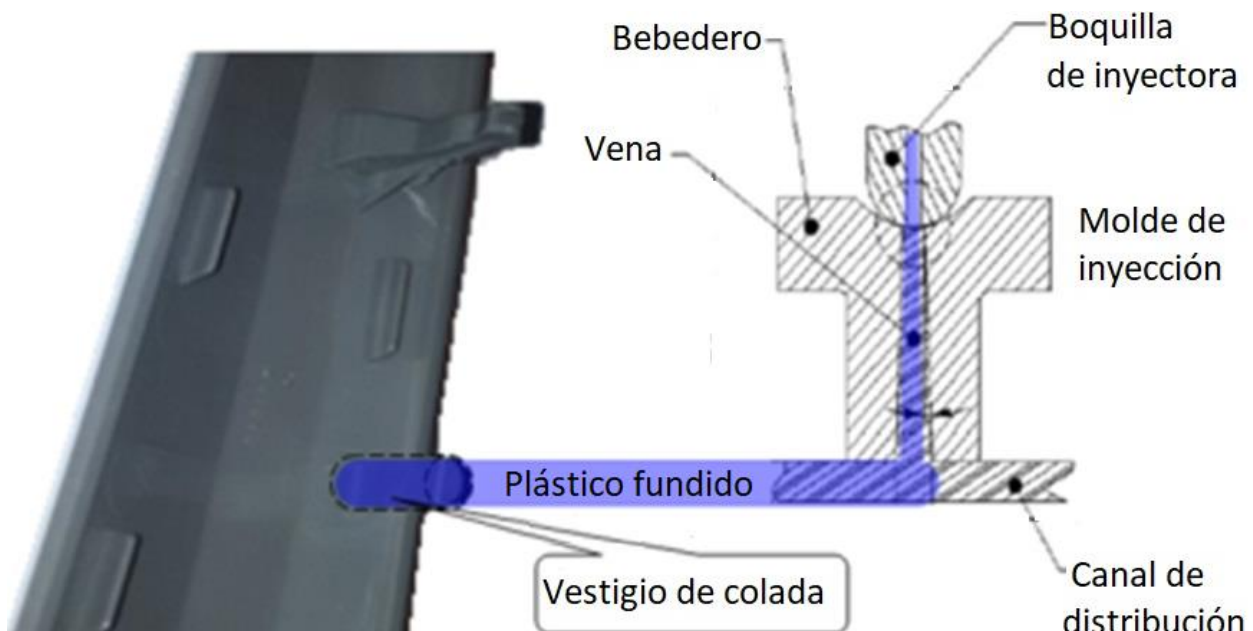


Figura 42. Esquema simplificado donde se muestra que la colada es un vestigio del punto de inyección

El principal objetivo de los canales de distribución es conducir el material plástico simultáneamente a la misma presión y temperatura, pero el resultado son vestigios rígidos denominados colada y que en el caso del *Front Door* son 3 como pudo observarse en la figura 41. La colada tiene las siguientes funciones secundarias:

- Reducir el efecto rechupe (*shrinkage*) en la zona visible de la pieza (zona "A"), ver también la sección 1.1.
- Reducir el impacto de líneas de flujo en la zona "A" porque estas pueden ser visibles aún pintadas.
- Inyectar en múltiples puntos para la misma pieza.
- Inyectar varias cavidades (cada cavidad significa una pieza) al mismo tiempo.

A pesar de las funciones secundarias del uso de la colada, ésta en el ensamble no tiene una función y provoca modos de falla indeseables como ruido y rechinos molestos para el usuario final en la condición dinámica del vehículo (coche en circulación bajo caminos no planos como empedrados) e interferencia al ensamblar porque impide la inserción completa de los clips dentro de los nichos en la contraparte en la puerta, el efecto visible indeseable es que la moldura presenta claros que denotan ensamble deficiente.

Por los efectos negativos que ocasiona la presencia de la colada, la pieza es sometida por el brazo robótico a corte automático por cizallamiento, ver figura 43.

En la operación de corte automático es donde la falla sucede por varias causas:

- Caída de la presión neumática del instrumental de corte.
- Falta de filo en las cuchillas.
- Alineación incorrecta entre instrumental de corte y brazo robótico que posiciona y manipula la pieza moldeada sobre la estación de corte.

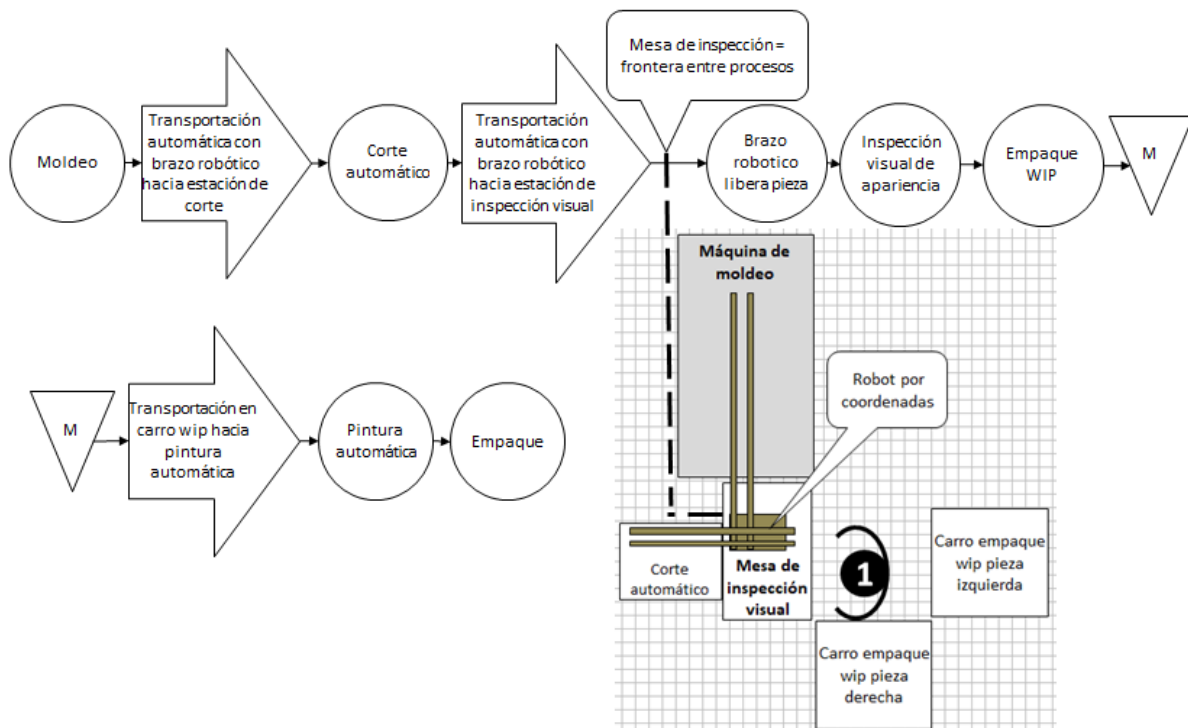


Figura 43. Diagrama de flujo de proceso de la moldura *Front Door*. Notar que la ubicación del *Poka-Yoke* correspondería a una frontera entre procesos: En lugar de la mesa de inspección visual

Observar en la figura 43 que la ubicación del *Poka-Yoke* sería una aduana entre procesos de modo que se realizaría la inspección pieza a pieza.

Aunque atacar el origen del problema reduciría la ocurrencia, en este proyecto se desarrolló la técnica para la detección de coladas, lo cual también reduciría el NPR.

3.1.2 Caso B: Autoparte con faltante de integridad

Se trata de la autoparte denominada *Trim Cover* que es un componente del portavasos en la consola central del vehículo Audi Q5, ver figura 44.



Figura 44. La autoparte *Trim Cover* y su ubicación en el interior del modelo Q5 de Audi. Cada pieza de *Trim Cover* debe estar libre de defectos de pintura (grumos, escurrimientos, porciones sin pintar, etc.), libre de defectos de moldeo (rechupes, deformaciones, tiros cortos, etc.), y tener la capacidad de ensamble.

En la figura 45 se muestra una pieza con falta de llenado. Según la estadística de reclamos, el defecto ocurrió en 16 ocasiones durante 1 año de producción.

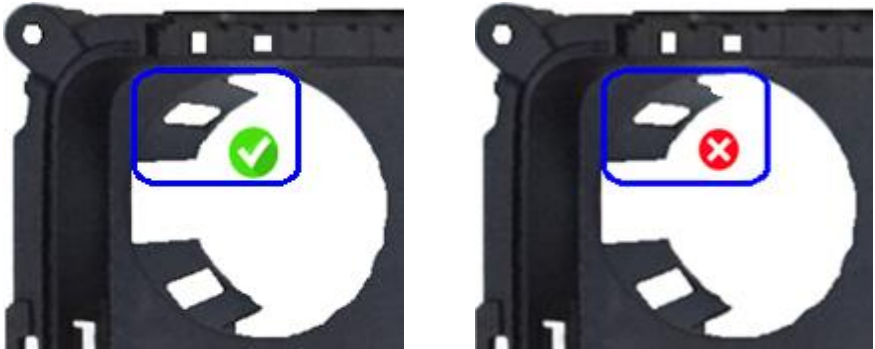


Figura 45. A la izquierda una pieza correcta, a la derecha una pieza incorrecta con falta de llenado (incompleta)

La falta de capacidad de ensamble mencionada en este caso, tiene su origen en el moldeo y su escape sistemático en el error humano al inspeccionar deficientemente la autoparte, en la figura 46 se puede observar que la ubicación del Poka-Yoke sería una aduana entre procesos de modo que se realizaría la inspección pieza a pieza.

Aunque atacar el origen del problema reduciría la ocurrencia, en este proyecto se desarrolló la técnica para la detección de piezas incompletas, lo cual reduciría el NPR.

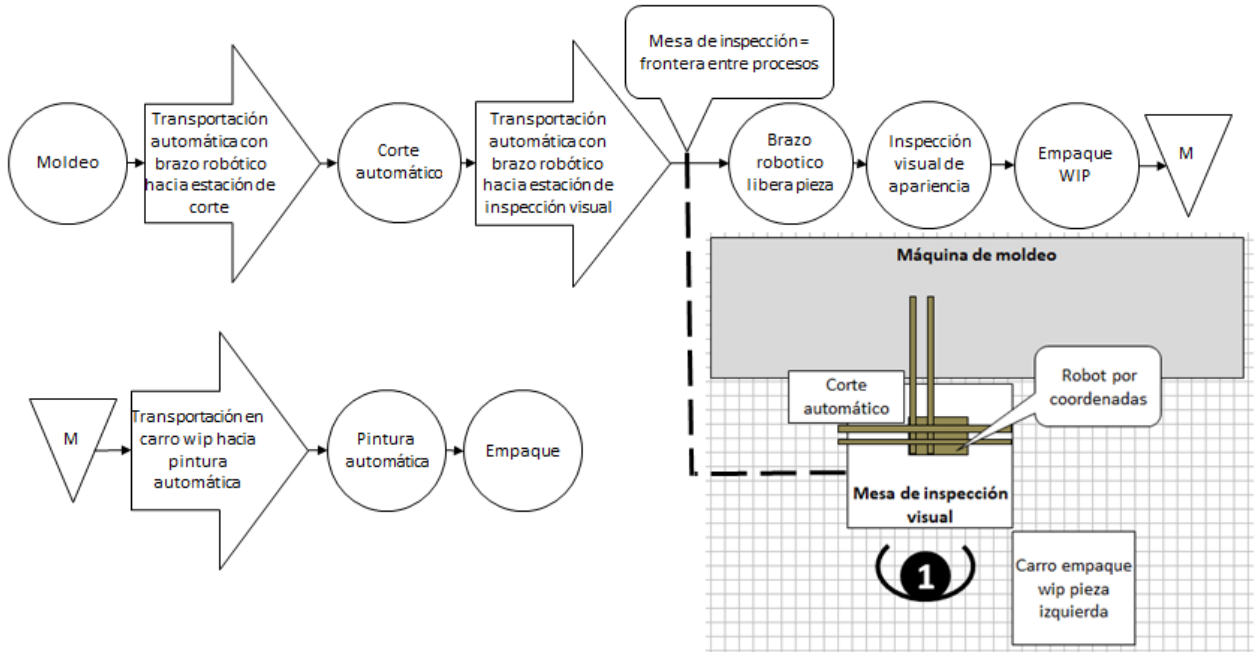


Figura 46. Diagrama de flujo de proceso del *Trim Cover*. Notar que la ubicación del Poka-Yoke correspondería a una frontera entre procesos: En lugar de la mesa de inspección visual

3.2 EXPLORACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DEL SOFTWARE DE VIDEOVIGILANCIA SAFE4CAM EN APLICACIONES DE MANUFACTURA

Se entiende por sistema de videovigilancia a toda aquella actividad que implique la colocación de una o varias cámaras de videograbación, fijas o móviles, que tengan la finalidad de monitorear el comportamiento y actividades de un espacio o personas. Existen diferentes tipos de sistemas de videovigilancia entre los que destacan: Detección de intrusos, seguimiento, detección de objetos abandonados, conteo de objetos, etc. (35).

Safe4cam es un programa gratuito que permite convertir una cámara web en una cámara de seguridad para videovigilar (36).

Este *software* cuenta con funcionalidades como:

- Detección de movimiento.
- Seguimiento de color.
- Captura de fotografías con estampado de fecha y hora.
- Envío de alertas por *email*.
- Posibilidad de seleccionar áreas específicas de vigilancia.
- Portabilidad, puede ejecutarse desde *Google Drive* o también desde una memoria *USB*.
- Alarma acústica (en caso de detectar movimiento o el color predefinido).

Por ejemplo ver la figura 47 que muestra la detección de movimiento al cruzar una zona predefinida, esta detección ocasionará una respuesta en la alarma acústica del *software*.

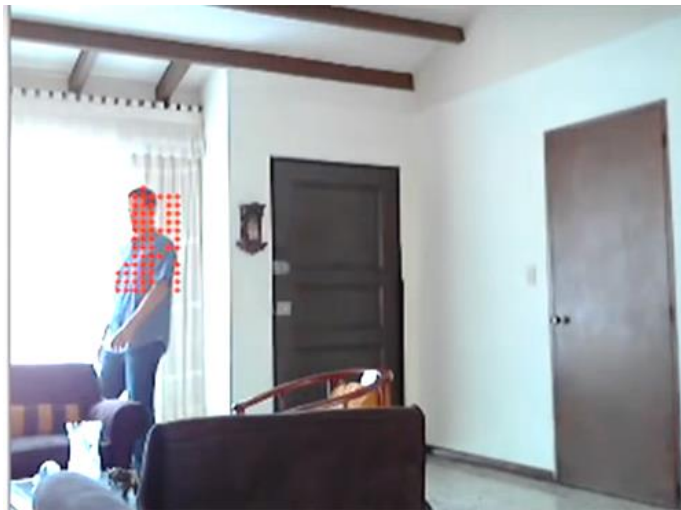

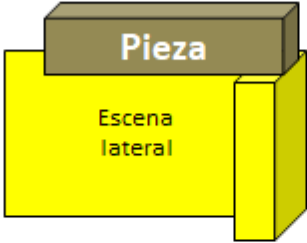



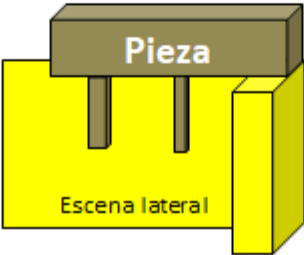




Figura 47. Videovigilancia con el software de *Safe4cam*

Por lo explorado en este *software*, se concluye que *Safe4cam* es suficientemente factible para crear aplicaciones innovadoras en el campo de la visión computacional aplicada a la manufactura lo que permitiría crear muchos estados intermedios entre no tener y tener inspección automática con mayor tendencia hacia el estado binario 1 (tener inspección automática) descrito en la sección 1.2 de esta tesis.

Ver la tabla 8 donde se muestra la idea general de cómo detectar selectivamente sobrantes de integridad (caso A) por medio de cambios en la escena.

Tabla 8. Cómo detectar sobrante de integridad con *Safe4cam*

Situación	Cámara	Escena controlada	Qué "ve" la cámara desde A	Respuesta del software
Sin pieza / con pieza correcta	Web 	Escena de color uniforme 	Una escena controlada de fondo contrastante color amarillo 	 Ninguna
Con pieza incorrecta	Web 	Escena de color uniforme 	Una escena interrumpida por - movimiento - detección del color predefinido 	 Alarma acústica

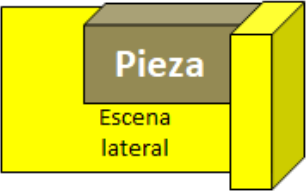


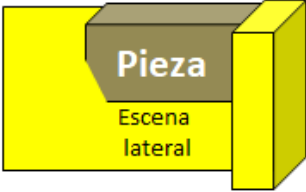


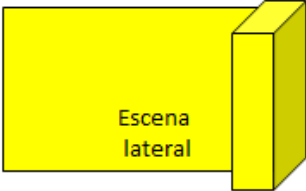
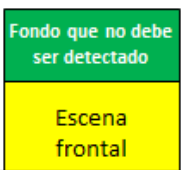

En la tabla 8 se puede observar que al controlar la escena, es decir, elegir el fondo de color contrastante al de la pieza, se puede detectar la presencia del color de la pieza y el movimiento de piezas con sobrante de integridad como en el caso de las coladas. La alarma acústica emitida es una respuesta del procesamiento de los cuadros del video y para ser utilizada como un bit útil se requerirá de una interface acústica que será explicada en este capítulo. En este punto se ha cumplido el objetivo específico 1.4.1, que fue encontrar una tecnología de visión computacional gratuita aplicable en la inspección en manufactura.

Para el caso B (faltante de integridad), en la tabla 9 se muestra cómo sería detectado a través de un fondo auxiliar.

El fondo auxiliar no debe ser detectado al inspeccionar, en este caso se trataría de una pieza correcta.

Cuando el fondo auxiliar es detectado, se trata de una pieza incompleta e incorrecta. La respuesta acústica deberá estar invertida por el controlador para tener un programa congruente.

Tabla 9. Cómo detectar faltante de integridad con Safe4cam

Situación	Cámara	Escena controlada	Qué "ve" la cámara desde A	Respuesta del software
Pieza correcta	Web	Escena de color uniforme 	Una escena de fondo amarillo y la pieza color café 	 Ninguna
Con pieza incorrecta	Web	Escena de color uniforme 	Una escena de fondo amarillo, la pieza color café y una porción de color verde 	 Alarma acústica
Sin pieza	Web	Escena de color uniforme 	Una escena de fondo amarillo, la pieza color café y una porción de color verde 	 Alarma acústica

3.3 EXPLICACION CONCEPTUAL DE LOS ALGORITMOS DE SAFE4CAM

La videovigilancia ha tenido 3 etapas evolutivas: Analógica en Circuitos Cerrados de Televisión (CCTV), CCTV + IP (Internet Protocol) y Videovigilancia inteligente (capaz de implementar algoritmos de visión computacional para seguimiento de objetos, reconocimiento, conteo, etc.) (35).

Safe4Cam pertenece a la generación de videovigilancia inteligente, es un software gratuito de código cerrado y el autor no lo puede compartir por lo que a continuación en la tabla 10, se describirá el funcionamiento general del software asumiendo que esta sea su estructura básica.

Tabla 10. Secuencia de funcionamiento de Safe4Cam (37)

Paso	Algoritmo	Explicación
1	Recibir pixel definido por usuario = P	Definir color a seguir. El algoritmo comienza con la asignación que el usuario indique sobre cuál es el objeto objetivo
2	R	Radio predefinido de búsqueda de puntos alrededor del pixel con la finalidad de no buscar en toda la imagen. En la referencia bibliográfica 37 se utiliza un radio = 50 pixeles
3	Obtener matriz RGB(R)=I	Valores R, G y B del pixel
4	$FD(x,y,t)= I_{t+1}-I_t $	Función para diferenciar entre 2 cuadros del video, sólo en el área R, con el objetivo de encontrar los pixeles que cambiaron de lugar en dos cuadros consecutivos Donde $f(x,y,t)$ es el valor en matriz RGB del pixel, Rojo=R, G=Verde, B=Azul Para que sea un método de segmentación más robusto se utilizaría un promedio de varios cuadros consecutivos.
5	Si $FD \leq \text{umbral}$, está en reposo. Si $FD > \text{umbral}$, está en movimiento.	Encontrar los pixeles que cambiaron de lugar en dos cuadros consecutivos, si para una posición en particular el valor de un cuadro al siguiente difiere más que el umbral, quiere decir que hay un objeto que está moviéndose en esa posición. Por eso se utiliza un umbral, para decidir si ese pixel tiene un cambio significativo en su valor como para ser considerado parte de un objeto que se está moviendo.
6	Dilatar	Crece regiones conectadas a partir de un punto de la región
7	Corrección de llenado	Se rellenan zonas huecas dentro de la región segmentada
8	K-means	Algoritmo para obtener el color dominante
9	Tracking	Realizar seguimiento por color del objeto

3.4 OBTENCIÓN DE UN BIT ÚTIL A PARTIR DE LA DETECCIÓN CON EL SOFTWARE DE VIDEOVIGILANCIA SAFE4CAM

En el apéndice F se puede consultar cómo obtener algunas configuraciones del software *Safe4cam*. Dado que la respuesta del software es emitir una alarma acústica, en este punto la meta es transformar dicho audio en un *bit* útil de 5 VCD para ser recibido por un *PIC*, tal como se indicó en el objetivo específico 1.4.2.

De esta manera, al captar un *bit* útil sin programación al interior de la computadora se simplificará la construcción del *Poka-Yoke* sin la interacción entre softwares.

Para facilitar la detección, se debe controlar el color del fondo de la escena seleccionando uno contrastante en luminosidad al color de la pieza (38).

En este caso, la pieza es gris y una opción es contrastarlo contra una escena de color amarillo, sin este control de escena se obtendrían muchas falsas alarmas ocasionadas por sombras y reflejos, ver en la figura 48 cómo el enfoque en la interfaz de *Safe4cam* se relaciona con la escena real.

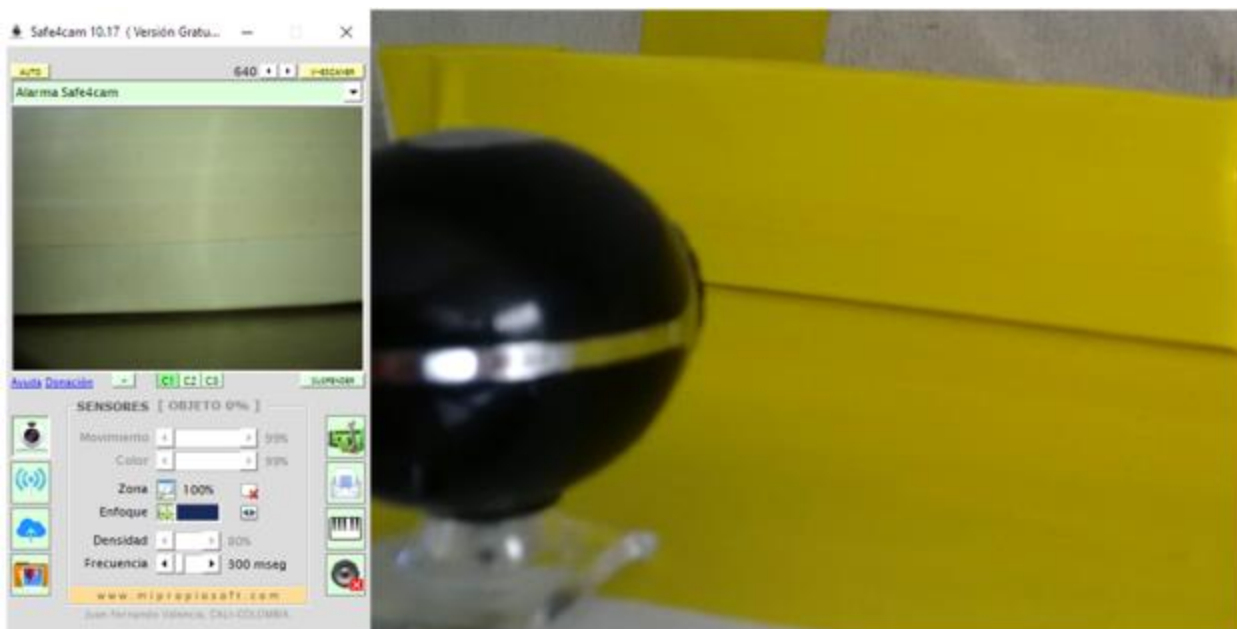


Figura 48. Interfaz de *Safe4cam* (izquierda) vs escena real (derecha)

El software *Safe4cam* detecta movimiento y realiza la detección del color predefinido, ambas funcionalidades serán utilizadas para generar la respuesta deseada seleccionando el color de la pieza en el software, ver figura 49.



Figura 49. Detección de colada a través de la técnica de seguimiento de color en Safe4cam (izquierda) vs escena real (derecha)

La cámara utilizada fue una webcam, su especificación es "DIGITAL ZOOM F/2.8 f=8.34mm"), calibrada mediante su lente-tuerca de ajuste en la condición más nítida a 90 mm de la pared amarilla.

Notar también en la figura 49 que *Safe4cam* realiza automáticamente la detección de colada lo cual está indicado por un recuadro rojo de enfoque sobre la colada (lado izquierdo de la figura 49). En la figura 50 se observa un cuadrado rojo intermitente en la parte superior de la interfaz que indica detección y emisión de la alarma acústica, misma que será la utilizada para integrar eléctricamente el resultado de la inspección automática a un microcontrolador *PIC* (también podría integrarse a un *PLC*).

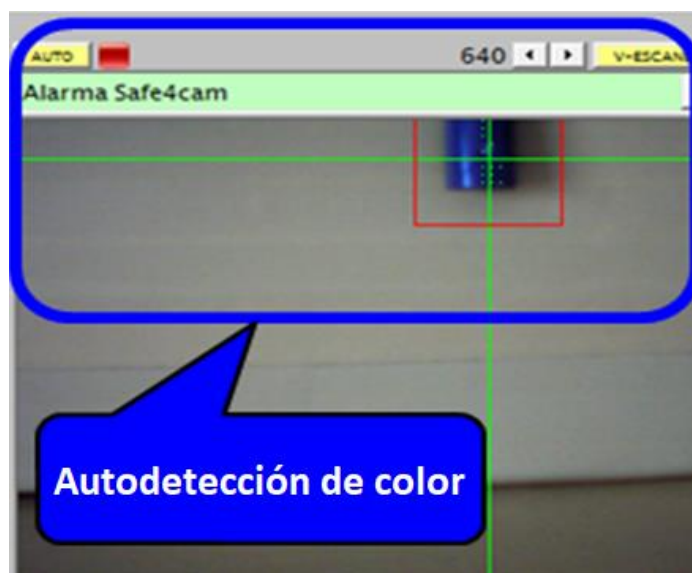


Figura 50. Detección por color en Safe4cam

Sin embargo, esta señal de respuesta tiene menos de 4 milivolts entre las terminales del canal de audio, este voltaje no es útil en un PIC ni tampoco podría activar un relevador.

Para poder utilizar este resultado de detección, se van a tomar los 4 milivolts procedentes del canal de audio (configurar en *Safe4cam* "Alerta Roja" y el controlador de sonido de la computadora al nivel >70%) y se realizará la primera amplificación mediante una bocina externa conectada al canal de audífono, ver la figura 51 que muestra un esquema de conexión.



Figura 51. Esquema de conexión de hardware para obtener un bit útil a través de la señal de audio

Para aprovechar la señal de audio procedente de la computadora se eleva el bajo voltaje del audio sin comprometer la integridad del puerto de audio mediante la bocina externa para obtener una diferencia de potencial de 24 milivolts en los cables señalados en la figura 52 y que corresponden a la salida hacia el parlante.

La bocina externa tiene conexión tipo audífono jack de 3.5 mm y alimentación independiente de 120 VCA, en este caso el modelo utilizado es z51 marca LOGITECH (plug 3.5 mm, salida 5.4 voltios, 1100 miliampers), ver la figura 52.

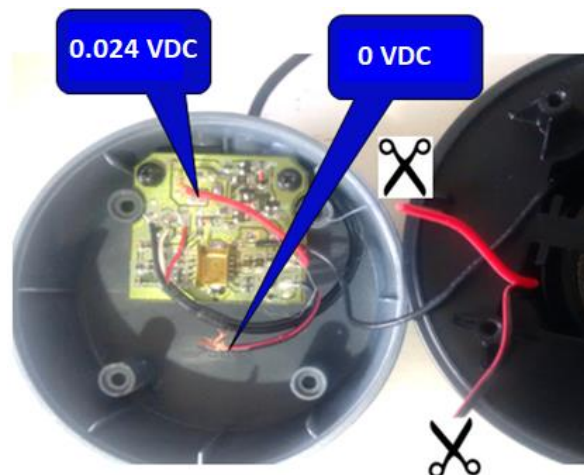


Figura 52. Obtención del bit en bajo voltaje desde la bocina externa

Al desarmar la carcasa de la bocina se pudo medir una tensión entre los 2 cables que conectaban hacia el parlante, dicha tensión fue de 24 milivolts, que es 6 veces mayor que la del canal de audio.

La señal obtenida a partir del parlante, a su vez fue amplificada por 2 transistores 2N3904 conectados en *Darlington*, Q1 y Q2, respectivamente, como se indica en la figura 53 para activar un relevador de 12 VCD que corresponde a la obtención de un *bit* útil, que aunque sería de 12 VCD es posteriormente regulable a 5 VCD.

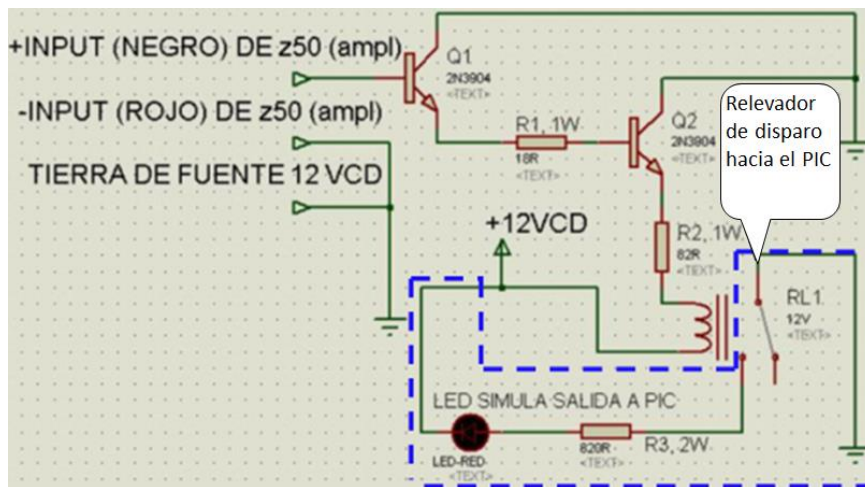


Figura 53. Diagrama electrónico para obtener el *bit* útil para el microcontrolador PIC, dibujado en ISIS Proteus 7.1

En la figura 53 también se observa una sección delimitada (línea discontinua azul) que corresponde al *bit* útil aislado eléctricamente a través de un relevador que puede hacer la conmutación hacia un microcontrolador PIC a 5 VCD. En la figura 54 se observa el circuito real montado en un tablero de pruebas *protoboard* y que corresponde a esta primera prueba exploratoria de factibilidad.

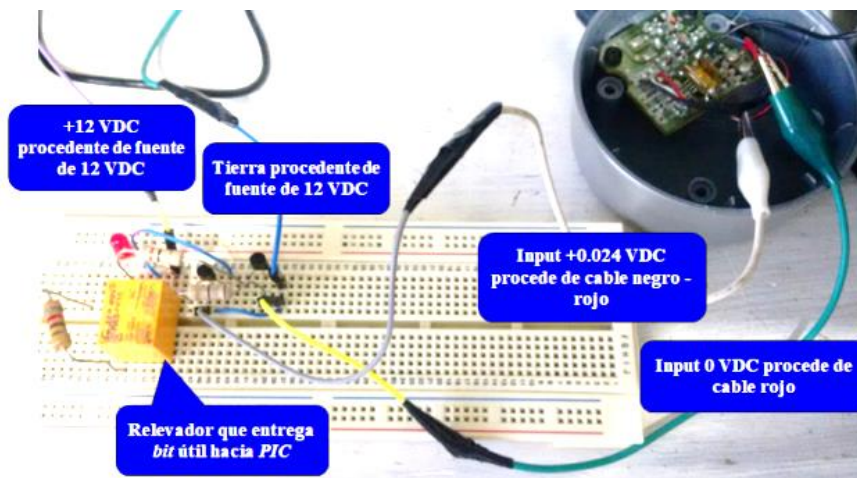


Figura 54. Montaje real del diagrama electrónico para obtener el *bit* útil para el microcontrolador PIC

3.4.1 Caso A: Autoparte con sobrante de integridad

Respecto a este caso, en la sección 3.4 ya se proporcionaron los detalles referentes a la preparación de la escena, sólo queda mostrar la figura 55 en la que se observa el circuito real donde el relevador proporciona una señal eléctrica aislada y sin ruido utilizable para un microcontrolador PIC.



Figura 55. Obtención de un *bit* útil en un relevador tras la detección de colada (sobrante de integridad)

3.4.2 Caso B: Autoparte con faltante de integridad

En la figura 56 se muestra una pieza incorrecta para verificar la factibilidad de detección por seguimiento de color bajo una escena controlada y con colores contrastantes, se pudo obtener un *bit* útil para ser usado por un microcontrolador PIC (o PLC).



Figura 56. Del lado izquierdo la detección de falta de integridad con la escena controlada, del lado derecho la interfaz de *Safe4cam* detectando el fondo verde que no debe ser visto para piezas correctas

En la figura 57 se muestra una pieza correcta del caso B, debido a que no es detectado el fondo verde, la pieza es validada como correcta.

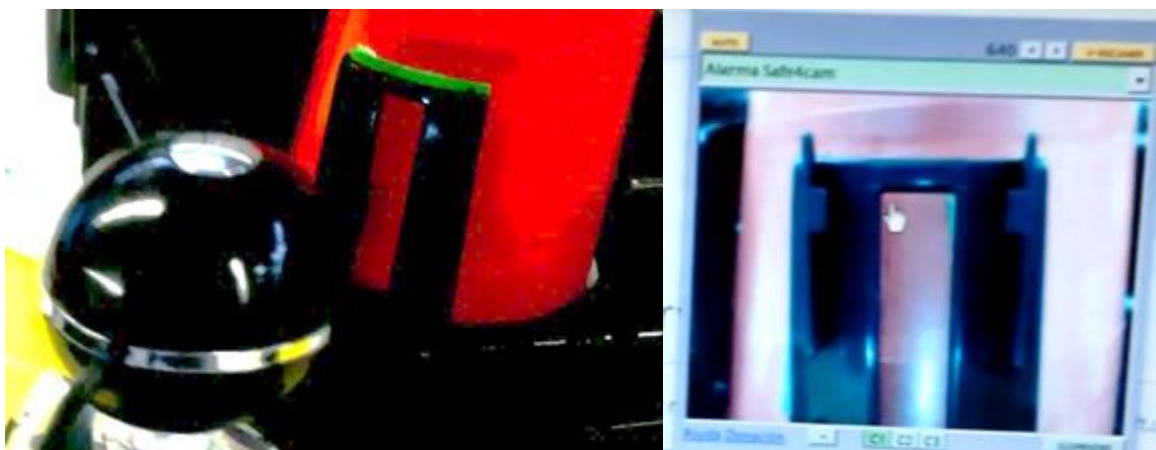


Figura 57. Detección de falta de integridad, del lado izquierdo la escena controlada y del lado derecho la interfaz de *Safe4cam* sin detectar el fondo verde

El funcionamiento en este caso fue la detección de fondo color verde con la silueta de la zona a inspeccionar, cuando falta material (por tiro corto o falta de llenado), entonces se detecta el color verde y el *bit* es obtenido.

Este funcionamiento es semejante a la detección de colada y totalmente compatible en el mismo *hardware* periférico y de control.

3.4.3 Amplificación de la señal de audio

En esta primera etapa se utilizaron la combinación de bocina z51 del fabricante *LOGITECH* y 2 transistores en conexión *Darlington*, se solicitó permiso por escrito al fabricante para la utilización del equipo con finalidad educativa para el desarrollo de esta tesis, la respuesta no fue prohibitiva y en las declarativas del equipo no existe ningún impedimento jurídico que lo prohíba expresamente en la forma como ha quedado planteada en esta tesis, ver apéndice G.

También en una segunda etapa se substituyeron los transistores en *Darlington* y la bocina z51 por un circuito amplificador LM386 que se muestra a continuación en la figura 58 y con el cual se obtuvo también el *bit* útil, figura tomada del data sheet (39).

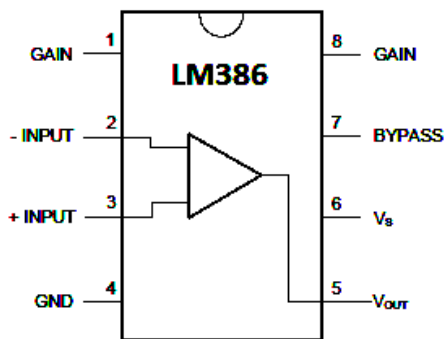


Figura 58. Patillaje del circuito LM386 (*Low Voltage Audio Power Amplifier*) (39)

En la figura 59 se muestra el circuito utilizado y que corresponde al de la página 13 de la ficha técnica, figura tomada del data sheet (39).

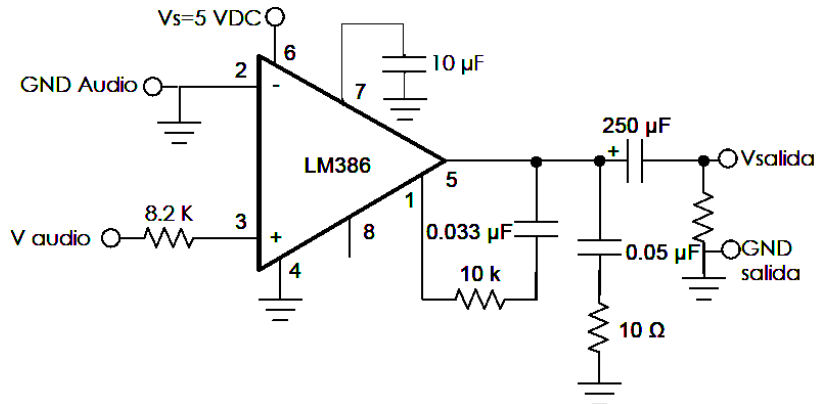


Figura 59. Circuito de amplificación de audio con LM386 (39)

Con este circuito a partir de 0.004 volts se obtuvo una amplificación hasta 0.2 volts con los cuales se puede activar un optoacoplador como el MOC3011, ver figura 60, tomada del data sheet (40).

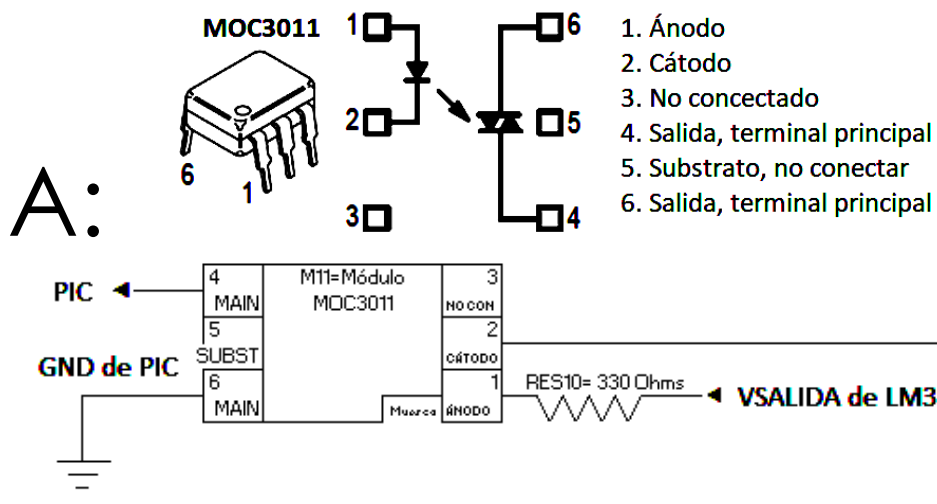


Figura 60. A: Patillaje del circuito MOC3011 (40) y B: Esquema de integración MOC3011 - LM386 - PIC

En la figura 61 se puede observar el montaje de ambos LM386 y el MOC3011 en un tablero de pruebas *protoboard*, el circuito puede revisarse en la sección 3.6.



Figura 61. Montaje de LM386 y MOC3011 integrados en un protoboard

3.5 CONSTRUCCIÓN DE LOS NIDOS DE POSICIÓN ÚNICA EN MATERIAL TRILOGIQ

Los nidos de posición única se utilizan en manufactura para restringir el movimiento de las piezas en proceso con la finalidad de realizar inspecciones, ensambles o pruebas.

Frecuentemente se fabrican en materiales como aluminio, *nylamid* u otros polímeros especializados. Su construcción está basada en análisis CAD a fin de acoplar el nido y la pieza con la mayor exactitud posible, ver 2 ejemplos en la figura 62. En la parte superior de ésta se muestra un nido de inspección de clips metálicos, observar los sensores inductivos alojados dentro de los nichos en posiciones tales que, al colocar la pieza, se pueda detectar siempre en la misma posición la presencia de los clips. En la parte inferior de la figura se observa una pieza a la cual se le ensamblarán 4 clips, en este caso el nido restringe a la pieza para que los clips sean ensamblados en una única posición aprovechando la restricción que el nido realiza sobre la pieza.

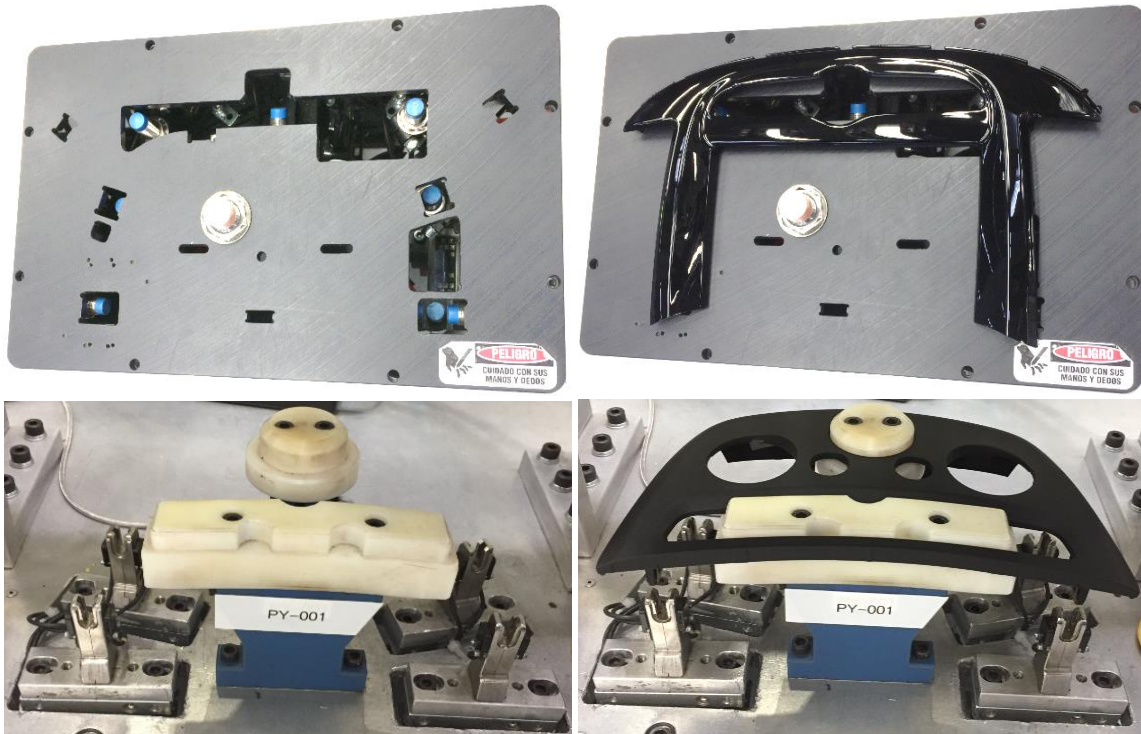


Figura 62. Ejemplos de nidos de posición única, del lado izquierdo los nidos con sus respectivos pines, barrenos y muescas, a la derecha los nidos mostrando su capacidad de restricción de posición única en piezas específicas

Estos nidos son obtenidos mediante procesos de mecanizado de precisión por técnicos especializados, su tiempo de fabricación toma algunas semanas en producirlos y ajustarlos, el costo oscila entre \$20,000 y \$50,000 pesos mexicanos dependiendo la complejidad de la geometría. Como puede comprenderse, se procede desde el análisis CAD hacia la pieza real.

A continuación se mostrará el desarrollo rápido de nidos de construcción modular basados en material *TRILOGIQ*. Ver en la figura 63 el caso "A" (sobrante de integridad).



Figura 63. Ejemplo de un nido de posición única para el caso A con material *TRILOGIQ*

Este nido corresponde al que detecta las coladas en la pieza *Front Door*. Restringe el movimiento de la pieza a una única posición en la cual la pieza es detectada mediante un sensor infrarrojo e18 como se muestra en la figura 64.

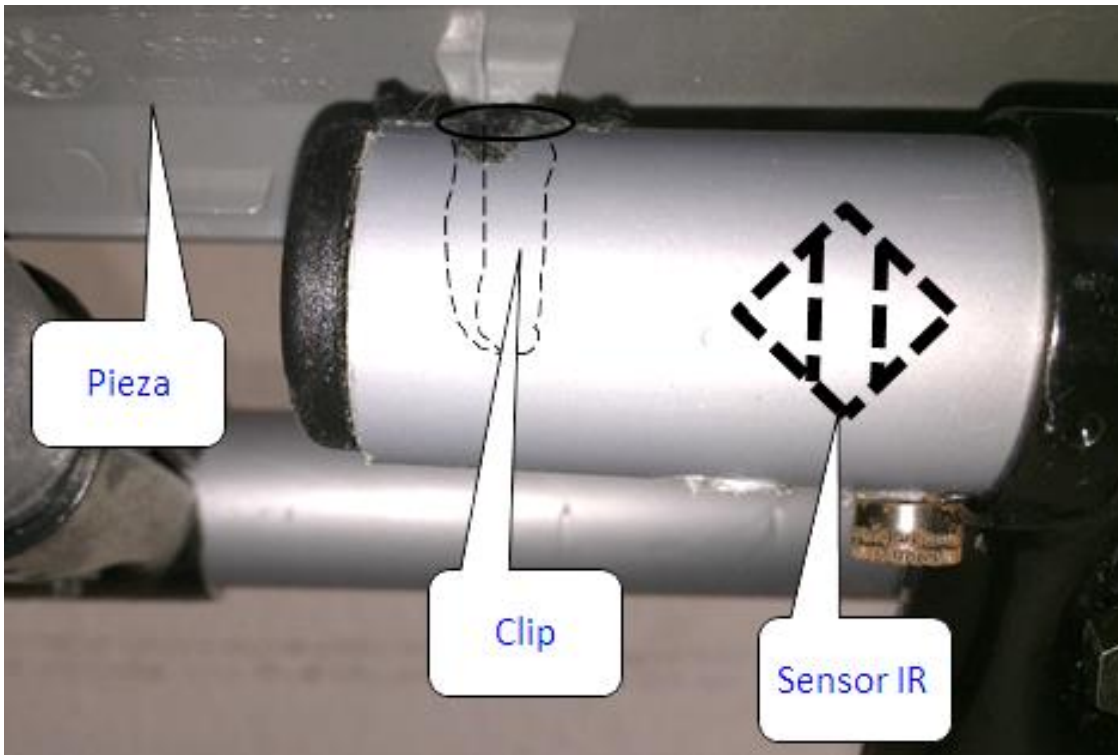


Figura 64. El sensor infrarrojo está calibrado para detectar el clip hasta que este es insertado a tope en un barreno en la estructura *TRILOGIQ*. Notar que se puede ajustar hacia la derecha o izquierda y radialmente gracias al conector F90

Cuando la pieza es detectada, entonces se cierra el *clamp* neumático y se sujeta la pieza para inspeccionarla, ver la figura 65.

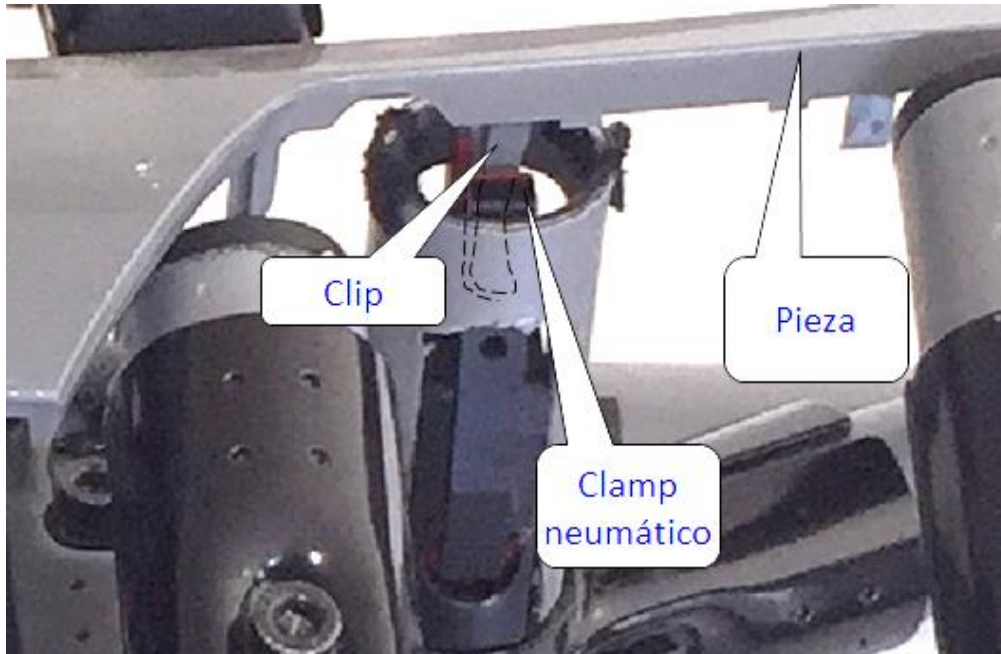


Figura 65. Sujeción de la pieza caso A con *clamp* neumático

La pieza es sujeta para realizar la inspección automática de presencia de colada, ver la figura 66.

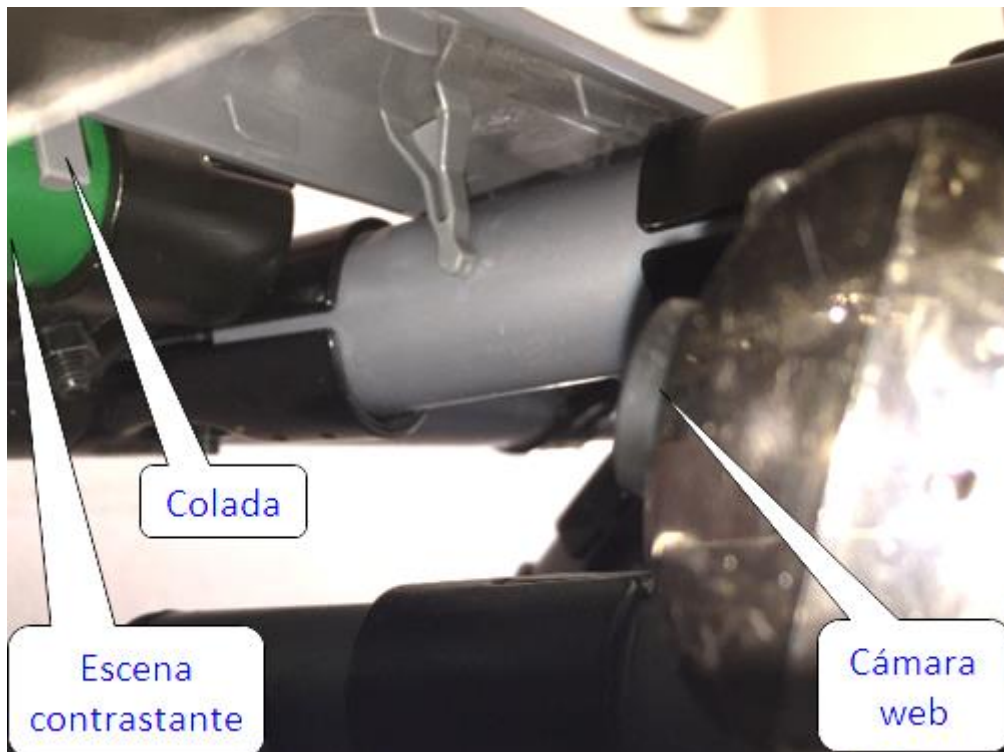


Figura 66. Inspección con cámara web de la presencia de colada contra una escena controlada para el caso A

Estando la pieza sujeta se realiza la inspección de la presencia de coladas con la cámara web bajo una escena contrastante.

Siguiendo el mismo principio, a continuación se mostrará el desarrollo rápido del nido del caso "B" (faltante de integridad), ver figura 67.



Figura 67. Ejemplo de un nido de posición única para el caso B con material TRILOGIQ. Este nido corresponde al que detecta la falta de llenado (o tiros cortos) en la pieza Trim Cover. Restringe el movimiento de la pieza a una única posición en la cual la pieza es detectada mediante un sensor infrarrojo e18 como se muestra en la figura 68.

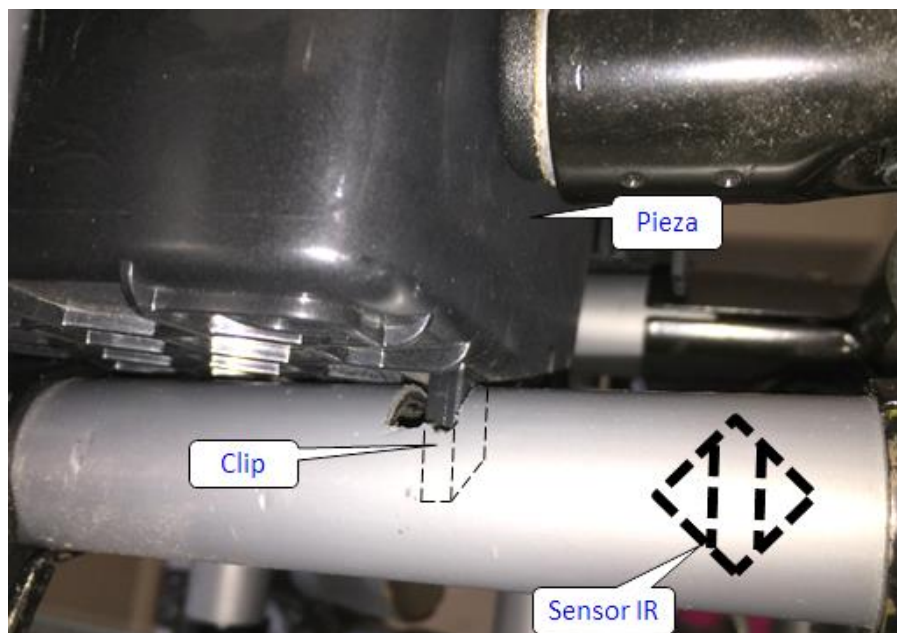


Figura 68. El sensor infrarrojo está calibrado para detectar el clip hasta que este es insertado a tope en una ranura en la estructura TRILOGIQ. Notar que se puede ajustar hacia la derecha o izquierda y radialmente gracias al conector F90

Cuando la pieza es detectada, entonces se cierra el clamp neumático y se sujeta la pieza para inspeccionarla, ver la figura 69.



Figura 69. Sujeción de la pieza caso B con clamp neumático

La pieza es sujeta para realizar la inspección automática de presencia de falta de integridad, ver la figura 70.

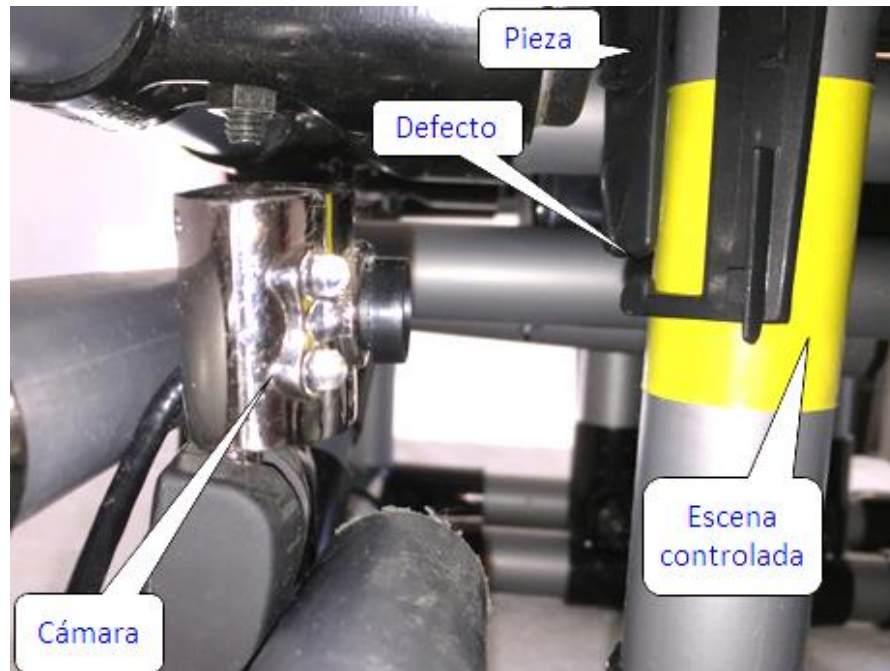


Figura 70. Inspección con cámara web de la presencia de colada contra una escena controlada para el caso B

Estando la pieza sujeta se realiza la inspección de la presencia de falta de integridad (tiro corto o falta de llenado) con la cámara web bajo una escena contrastante.

3.6 DISEÑO DEL CONTROLADOR Y PROGRAMACIÓN

En la figura 71 se muestra el diagrama de flujo que describe cómo funciona este sistema:

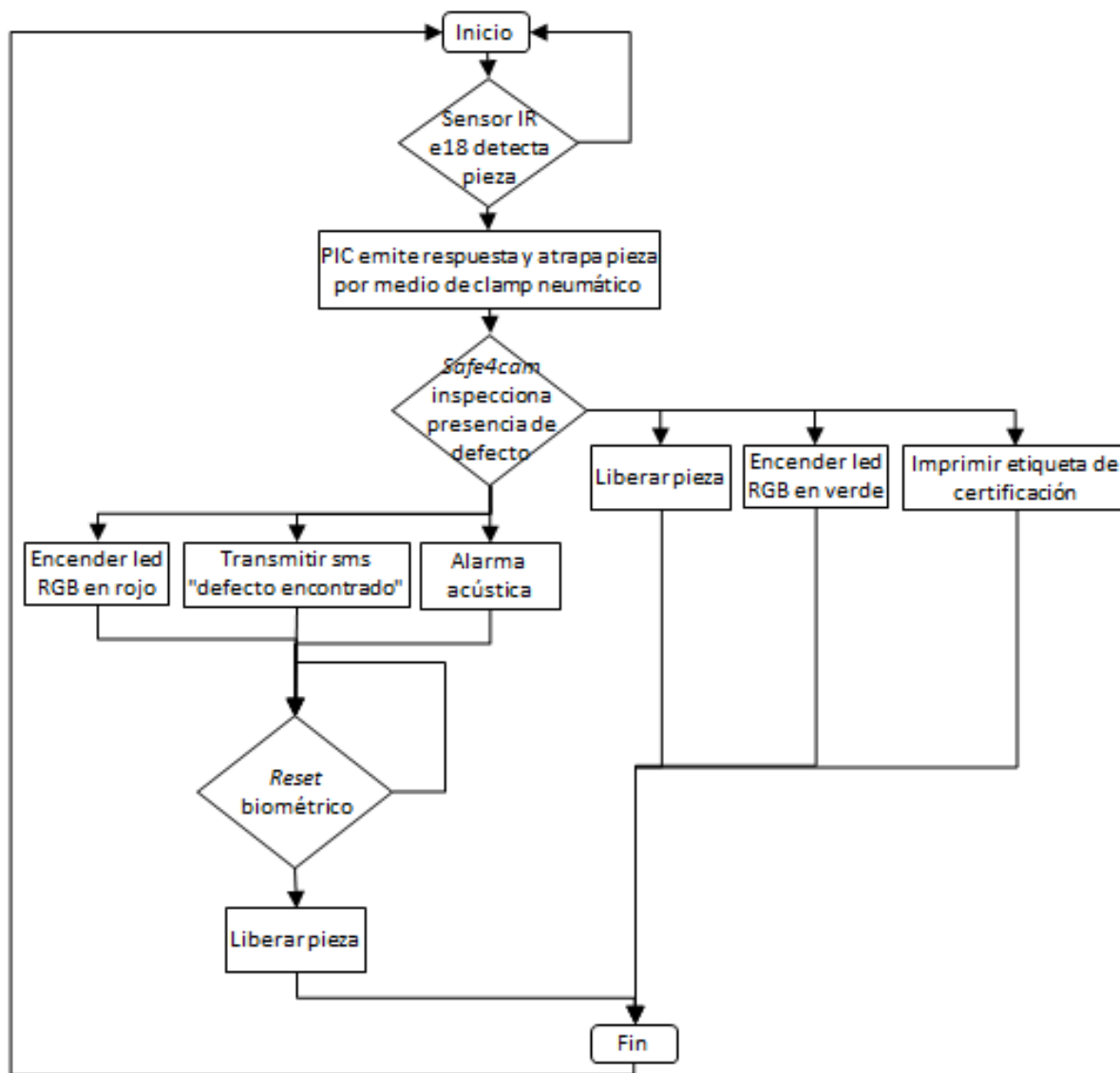


Figura 71. Diagrama de flujo del funcionamiento del controlador

Para el control se utilizará el módulo *CONTROLMÁTICO II* propiedad de Tecnología Pokayoke, el cual consta de varios sistemas periféricos controlados por un *PIC* (puede funcionar con el *PIC 16F628A* o con el *16F887*, dependiendo el número de entradas y salidas de la aplicación).

En la figura 72 se muestra el módulo "CONTROLMATICO II" que consta de las siguientes características:



Figura 72. El módulo CONTROLMATICO II, propiedad de "Tecnología Pokayoke"

- Portátil
- Tiene desde 16 hasta 36 entradas y salidas configurables porque utiliza PIC, intercambiable según la aplicación (16F628A, 16F887, 18F2550, 18F4550), ver la figura 73 que muestra el patillaje del PIC 16F887 utilizado en esta tesis.
- Puede manejar señales analógicas
- Led RGB indicador multicolor configurable
- Alarma audible
- LCD para indicación de instrucciones o selección de modelo
- Selector de modelos, varios Poka-Yokes pueden utilizar el mismo controlador
- Telecomunicaciones para informar fallas a una lista de destinatarios
- Puede manejar periféricos como cámaras web y control biométrico
- Impresión de etiquetas de certificación de pruebas, trazabilidad de fecha, hora, turno, obrero, etc.
- Valvulería neumática integrada

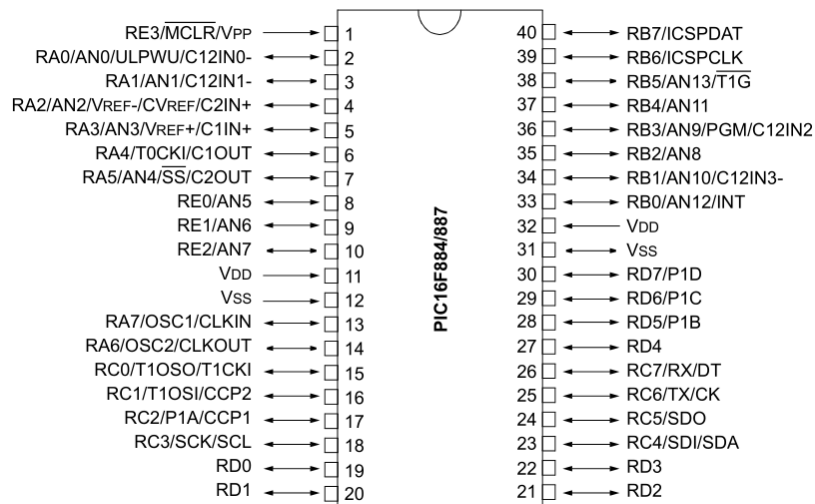


Figura 73. Patillaje del PIC 16F887

En la tabla 11 se enlistan las 14 señales de salida y las 5 señales de entrada requeridas para la aplicación de la presente tesis y que justifican la selección de un PIC de más de 18 bornes de conexión, en este caso, todas son digitales.

Tabla 11. Señales del controlador CONTROLMATICO II

Terminal	Periférico	Tipo	Puerto	Uso
2	Electroválvula	Salida	RA0	Sujetar pieza
3	GPS	Salida	RA1	Enviar sms / email
4	Impresora	Salida	RA2	Emitir etiqueta de certificación
5	Zumbador	Salida	RA3	Notificar error a obrero
6	Led RGB rojo	Salida	RA4	Notificar error a obrero
7	Led RGB verde	Salida	RA5	Notificar pieza correcta a obrero
14	Relevador de MOC	Salida	RA6	Desenclavar amplificador
13	(reserva)	(reserva)	RA7	(reserva)
33	(reserva)	(reserva)	RB0	(reserva)
34	(reserva)	(reserva)	RB1	(reserva)
35	(reserva)	(reserva)	RB2	(reserva)
36	(reserva)	(reserva)	RB3	(reserva)
37	(reserva)	(reserva)	RB4	(reserva)
38	(reserva)	(reserva)	RB5	(reserva)
39	(reserva)	(reserva)	RB6	(reserva)
40	(reserva)	(reserva)	RB7	(reserva)
15	Reset biométrico	Entrada	RC0	Desbloqueo
16	(reserva)	(reserva)	RC1	(reserva)
17	(reserva)	(reserva)	RC2	(reserva)
18	Sensor E18	Entrada	RC3	Detectar pieza presente
23	Amplificador LM386	Entrada	RC4	Amplificar audio de computadora
24	(reserva)	(reserva)	RC5	(reserva)
25	(reserva)	(reserva)	RC6	(reserva)
26	(reserva)	(reserva)	RC7	(reserva)
19	Potenciómetro	Entrada	RD0	Navegación en menú
20	Botón selector NA	Entrada	RD1	Seleccionar opciones en menú
21	LCD Enable	Salida	RD2	Desplegar instrucciones a obrero
22	LCD RS	Salida	RD3	Desplegar instrucciones a obrero
27	LCD Bit D4	Salida	RD4	Desplegar instrucciones a obrero
28	LCD Bit D5	Salida	RD5	Desplegar instrucciones a obrero
29	LCD Bit D6	Salida	RD6	Desplegar instrucciones a obrero
30	LCD Bit D7	Salida	RD7	Desplegar instrucciones a obrero
8	Led amarillo	Salida	RE0	Notificar pieza detectada a obrero
9	(reserva)	(reserva)	RE1	(reserva)
10	(reserva)	(reserva)	RE2	(reserva)
1	(reserva)	(reserva)	RE3	(reserva)
12	GND	Alimentación	VSS	Alimentación
31	(reserva)	Alimentación	VSS	(reserva)
11	(reserva)	Alimentación	VDD	(reserva)
32	+5VDC	Alimentación	VDD	Alimentación

El programa del CONTROLMATICO II correspondiente al pokayoke de detección de coladas se encuentra en el apéndice H.

En dicho apéndice se puede observar que se siguió la estructura siguiente:

- Configuración de LCD
- Declaración de variables
- Definiciones varias
- Declaración de constantes
- Mapeo de puertos A, B, C, D y E
- Rutina de selección de modelo
- Rutina de pokayoke de colada
- Rutina de pieza incorrecta
- Rutina de pieza correcta
- Sección de pausas invocadas

En las rutinas pokayoke de colada, pieza incorrecta y pieza correcta, se muestra la coordinación entre los dispositivos periféricos que integran la interface hombre - máquina:

- LCD
- Computadora (ejecutando el software "safe4cam")
- Led amarillo para indicar pieza detectada
- Led verde indicador de pieza correcta
- Impresora de etiquetas de certificación de pieza correcta
- Alarma acústica indicadora de pieza incorrecta
- GPS para envío de sms de pieza incorrecta
- Clamp para sujeción de pieza
- Led rojo indicador de pieza incorrecta

El diagrama eléctrico correspondiente al pokayoke de detección de coladas se encuentra en el apéndice I. En dicho diagrama se puede observar la distribución de potencia desde 127 VCA hacia 3 circuitos: 32 VDC, 12 VCD y 5 VCD, este último utilizado para el circuito de control.

El circuito muestra la interconexión entre los diferentes dispositivos periféricos, notar la relación entre el microcontrolador PIC 16F887 y el módulo M6 (relevadores), entre los cuales no hay interfaces de acoplamiento eléctrico como transistores.

También se muestra el punto más álgido de esta aplicación: el acoplamiento de la señal acústica a través del módulo M10 que corresponde al amplificador LM386.

La salida de este circuito de amplificación es enlazada al PIC a través del módulo M11 que corresponde al MOC 3011 que entrega una señal digital.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

La figura 74 es idéntica a la mostrada en la 55, sólo que se abundará en su explicación. Se muestra en la figura del lado derecho la escena con fondo amarillo, sobre ésta se encuentra colocada la pieza *Front Door*. En este caso en particular la pieza es defectuosa porque tiene la presencia de coladas. Observar que se buscó la presentación de color uniforme en el fondo y diferente al de la pieza. La cámara no capta en su totalidad la escena y la pieza sino que únicamente inspecciona la zona donde aparecería una colada. Observar del lado derecho que la interfaz de *Safe4cam* capta la porción de la escena donde aparecería una colada. Al detectar la presencia mediante el seguimiento de color, emite una alarma acústica. La alarma acústica fue extraída hacia una bocina externa y de ésta conducida la diferencia de potencial hacia un protoboard con transistores en *Darlington*. Mediante los transistores se logró amplificar el voltaje y conmutar un relevador con lo cual se pudo obtener un bit útil para ser usado por un microcontrolador *PIC* o un *PLC* estándar.



Figura 74 = Figura 55. Obtención de un *bit* útil en un relevador tras la detección de colada (sobrante de integridad)

Esta primera prueba permitió confirmar que el *software* tendría la funcionalidad necesaria para el automatismo de inspección automática y concretar las siguientes acciones hacia la sincronización de *hardware* periférico.

Dicha sincronización requeriría la multiplicación del *hardware* utilizado hasta este momento por el número de inspecciones automáticas simultáneas, en este caso por la pieza presenta 3 coladas para un total de 6 coladas por tratarse de un molde de inyección familiar donde se obtiene una pieza izquierda y otra derecha, una es reflejo de la otra; de modo que 2 coladas pueden ser inspeccionadas por una cámara, por lo cual se requieren 3 cámaras.

También se requería mejorar la amplificación de la señal mediante la simplificación del *hardware* utilizado, por esta razón se substituyó la bocina externa por un circuito integrado LM386 combinado con un MOC3011. En la figura 75 para el amplificador LM386 se puede observar:

- La alimentación del circuito por 112 y 1115
- La entrada de la señal de audio procedente de la computadora en 1112 y 1113
- La salida de respuesta en 1121.

Por parte del optoacoplador:

- La alimentación por 124 y 1123
- La señal entrada de audio procedente del LM386 en 1124
- La respuesta en 122, 1126 y 126 hacia 84.

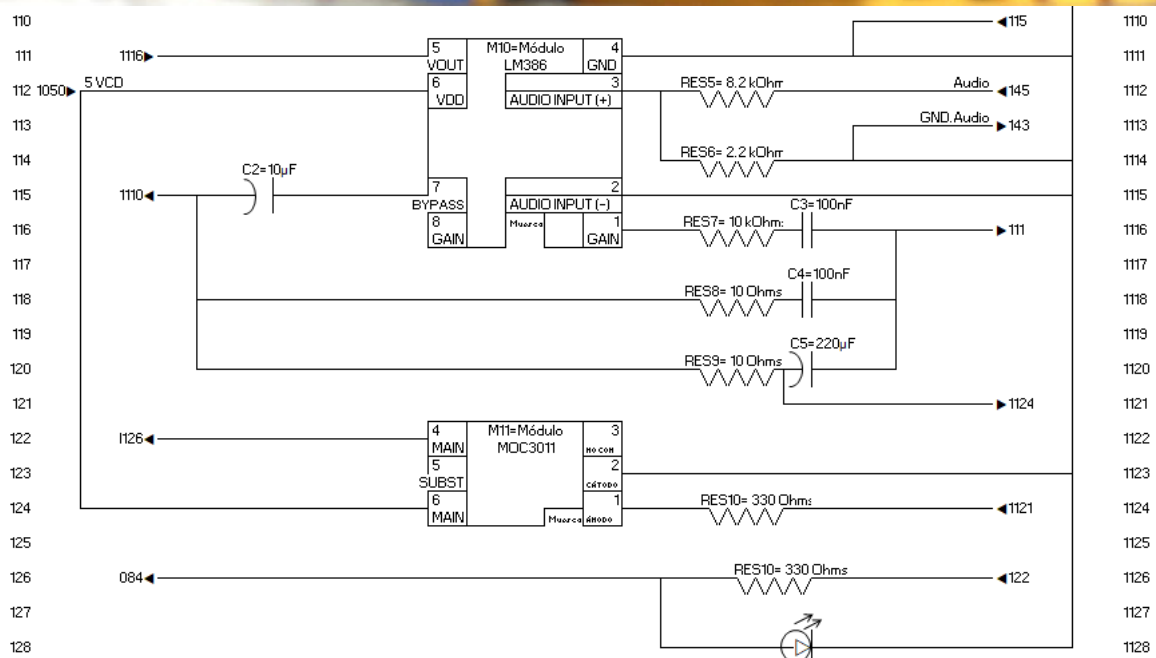


Figura 75. Integración del amplificador de audio LM386 y el optoacoplador MOC3011

En la figura 76 se muestra la triplicación del sistema para la detección de las coladas de las piezas *Front Door* (izquierda y derecha), observar las 3 cámaras y sus escenas en las cuales se tuvo el cuidado de mantener el control del fondo para videovigilar en condición bicolor (fondo de la escena en amarillo para contrastar con el color gris de la pieza) para evitar interferencias por brillos o sombras.

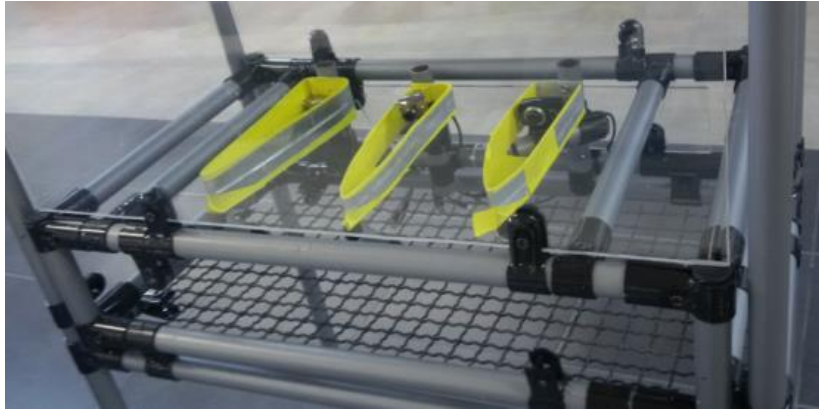


Figura 76. Barreras para control de la escena en el Poka-Yoke

En la figura 77 se muestra la secuencia y la ubicación del *Poka-Yoke* en ❶, en donde la secuencia es: El robot saca las piezas de molde en ❶; el robot lleva las piezas hacia estación de corte en ❷; el robot lleva las piezas hacia estación de inspección automática de coladas en ❸; el robot coloca las piezas sobre la mesa de paso en ❹; el obrero inspecciona la apariencia de la zona "A" (zona de vista) de las piezas en ❺; el obrero coloca piezas en empaque *WIP* en ❻.

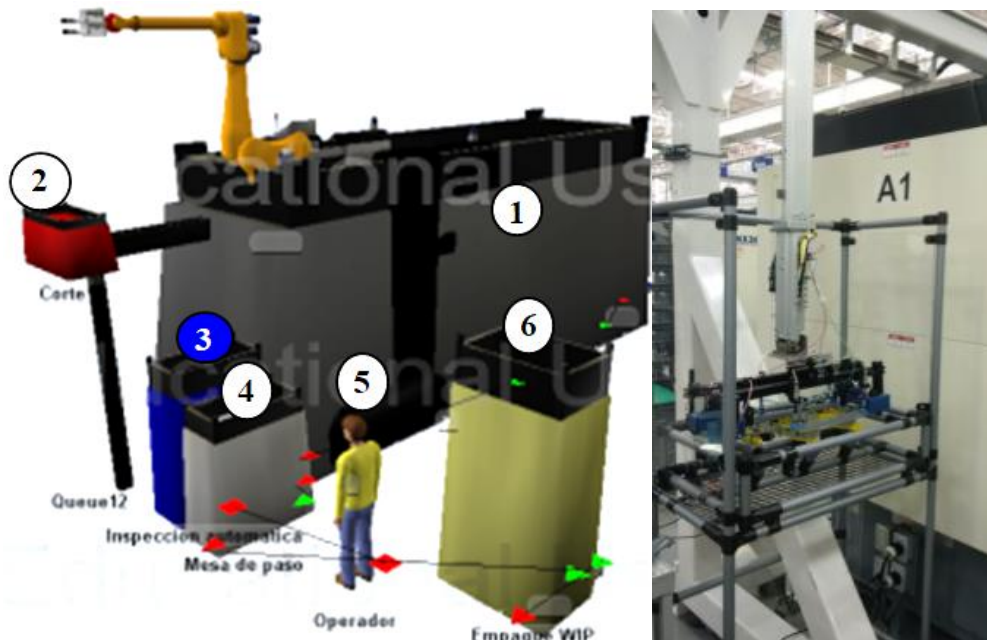


Figura 77. Estación de trabajo proyectada en el software *FlexSim* (izquierda) y estación real (derecha)

En la figura 78 se muestra la segunda prueba para confirmar la compatibilidad mecánica y eléctrica de ambos sistemas *robot – Poka-Yoke* (interferencia). El brazo robótico recibe el nombre de *EOAT* (*End Of Arm Tooling* = Final de herramental de brazo, que es el manipulador que extrae la pieza plástica del molde para procesarlo en el corte, inspección automática y entrega al obrero).

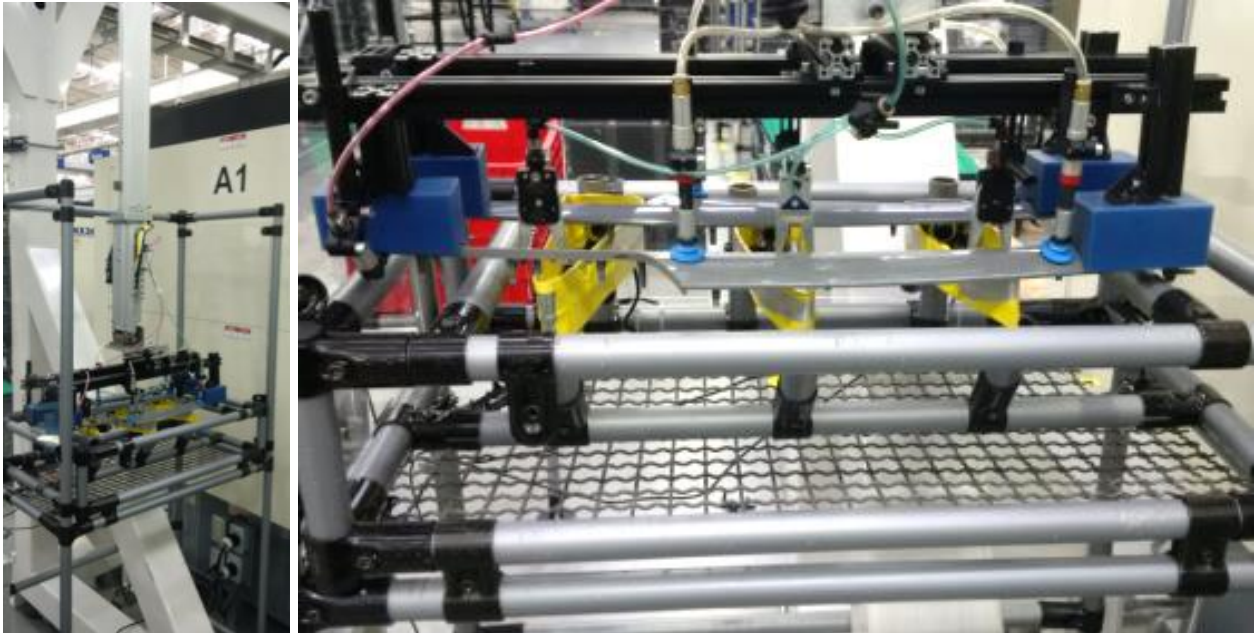


Figura 78. Detalle de la interacción brazo robótico (EOAT) contra *Poka-Yoke*

Observar en la figura 78 que el robot pudo colocar las piezas sobre el *Poka-Yoke* sin contacto contra éste, apenas presentando las zonas de las piezas que presentan coladas, el *Poka-Yoke* realizó la inspección y entregó un bit de respuesta hacia el controlador de robot, esta fue la prueba de compatibilidad eléctrica de modo que del circuito de control un bit de 5 VCD pudo ser conmutado hacia el circuito de 24 VDC del controlador de robot.

Observar también cómo la estructura *Trilogiq* permite la creación de nidos para inspección automática con suficiente versatilidad como para adaptarse a los movimientos precisos de un robot marca *Yushin*.

Esta segunda prueba permitió realizar las corridas de producción con el sistema instalado y compatible con el robot y su controlador, en la siguiente sección se presentará el análisis de los resultados y la evaluación de éstos.

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A continuación en la tabla 12 se presenta el orden cronológico de las pruebas y resultados obtenidos.

Tabla 12. Pruebas y resultados

Prueba	Resumen
Factibilidad de detección de sobrante de integridad (coladas) con <i>Safe4cam</i>	Resultado: Positivo, se confirmó que mediante el control de la escena se podía detectar la presencia de coladas. Prototipo: Escena controlada, <i>Safe4cam</i> y <i>webcam</i> .
Obtención del bit útil con una bocina externa y transistores	Resultado: Positivo, se confirmó que la alarma acústica a través de una bocina externa y 2 transistores en <i>Darlington</i> podía proporcionar un bit útil. Prototipo: Escena controlada, <i>Safe4cam</i> , <i>webcam</i> , bocina externa, 2 transistores y 1 relevador.
Obtención del bit útil con un amplificador de audio LM386 y optoacoplador MOC	Resultado: Positivo, se confirmó que la alarma acústica a través de un amplificador LM386 y un optoacoplador podía proporcionar un bit útil. Prototipo: Escena controlada, <i>Safe4cam</i> , <i>webcam</i> , LM386, MOC3011 y 1 relevador.
Factibilidad de detección de faltante de integridad (tiro corto / falta de llenado) con <i>Safe4cam</i>	Resultado: Positivo, se confirmó que el mismo sistema permite detectar faltante de integridad y proporciona un bit útil. Prototipo: Escena controlada, <i>Safe4cam</i> , <i>webcam</i> , LM386, MOC3011 y 1 relevador.
Interferencia mecánica y compatibilidad eléctrica	Resultado: Positivo, se confirmó la interacción mecánica sin contacto entre el <i>Poka-Yoke</i> , el brazo robótico y su controlador. La compatibilidad eléctrica también fue favorable mediante la conmutación de un relevador (5 VCD / 24 VCD) Prototipo: <i>Poka-Yoke</i> con prototipo triplicado (e interacción con Robot <i>Yusin</i> y su controlador).
Integración <i>Poka-Yoke</i> de coladas y brazo robótico	Se integró la señal del relevador hacia el controlador del brazo robótico y pudo funcionar el sistema de manera coordinada y se realizó el ajuste de sensibilidad y posición de las cámaras

Al haberse obtenido los resultados favorables de la detección de defectos, se procedió a la planeación del experimento para validar el sistema en corridas reales de producción, las cantidades correspondieron a los lotes solicitados por el cliente y a aquellos momentos en los cuales los inventarios permitieron la utilización de la máquina de moldeo donde se fabrica el modelo *Front Door*.

Se planearon 3 corridas en los 3 turnos porque era importante conocer la interferencia de la luz ambiental en la nave industrial.

En la tabla 13 se muestran los resultados obtenidos durante 3 corridas de producción, en estas 3 corridas de 900 piezas cada una, se introdujeron intencionalmente 25 piezas con colada para evaluar la efectividad del sistema.

Tabla 13. Corridas en producción

Prueba	Resultado
Prueba 1 Turno matutino-vespertino	Totales: 925 piezas Piezas incorrectas detectadas como correctas: 0 Piezas incorrectas detectadas como incorrectas: 25 Piezas correctas detectadas como correctas: 844 Piezas correctas detectadas como incorrectas: 56
Prueba 2 Turno vespertino-nocturno	Totales: 925 piezas Piezas incorrectas detectadas como correctas: 0 Piezas incorrectas detectadas como incorrectas: 25 Piezas correctas detectadas como correctas: 871 Piezas correctas detectadas como incorrectas: 29
Prueba 3 Turno nocturno-matutino	Totales: 925 piezas Piezas incorrectas detectadas como correctas: 0 Piezas incorrectas detectadas como incorrectas: 25 Piezas correctas detectadas como correctas: 900 Piezas correctas detectadas como incorrectas: 0

En todas las pruebas se detectó el 100% de las piezas incorrectas pero hubo otros casos de falsa detección de piezas correctas como piezas incorrectas.

Esta situación aunque no es deseable al menos no permite el escape de errores.

En la primera prueba las causas de la detección incorrecta fueron la calibración de la sensibilidad de la cámara y cambios en la iluminación ambiental que se manifestaron en el reflejo de la iluminación de la cámara sobre algunas secciones del brazo robótico y que provocaron que la cámara las detectara del mismo color que la pieza.

En la segunda prueba se suprimió la iluminación de la cámara porque así se obtenían detecciones sin reflejos en las herramientas del brazo robótico, sin embargo la inclinación de la cámara no era apropiada aún, por esa razón detecto algunas piezas correctas como incorrectas.

En la tercera prueba se ajustó la posición de la cámara y la iluminación de ésta se mantuvo suprimida, el resultado fue más eficaz con estas condiciones sin perturbaciones en el sistema.

El ajuste en la posición de la cámara se centró en la zona más alejada de la base de la colada, esta situación fue congruente porque la colada presente siempre tiene el mismo tamaño, por lo que no se disminuyó la capacidad de detección.

Como pudo observarse existieron errores de detección pero ninguno que confundiera una pieza incorrecta por una correcta.

Los errores fueron ocasionados por:

- El uso de la iluminación de la cámara que redujo la diferencia entre colores: el gris de la pieza y el gris de las herramientas metálicas del manipulador fin de brazo del robot (EOAT).
- La posición incorrecta de la cámara que captó zonas de la escena susceptibles de interferencia por iluminación ambiental.

Tras corregir las 2 causas, el sistema detectó correctamente las 25 piezas incorrectas y las 900 correctas.

A continuación se presentará el modelo estadístico de distribución de probabilidad discreta binomial correspondiente al experimento porque la variable en este caso es de tipo cualitativo dicotómico, en la tabla 14 se resumen las 2 variables, detección correcta y detección incorrecta.

Tabla 14. Resumen de detección correcta o incorrecta

Prueba	Resultado
Prueba 1	Totales: 925 piezas Probabilidad de detección correcta= 869/925=0.9394 Probabilidad de detección incorrecta=56/925=0.0605
Prueba 2	Totales: 925 piezas Probabilidad de detección correcta= 896/925=0.9686 Probabilidad de detección incorrecta=56/925=0.0313
Prueba 3	Totales: 925 piezas Probabilidad de detección correcta= 925/925=1 Probabilidad de detección incorrecta=0/925=0

De la tabla 14 se toma la probabilidad promedio es $p=(0.9394+0.9686+1)/3 = 0.9693$

$q = 1-p = 1-0.9693 = 0.0307$

Aplicando la fórmula de cálculo de probabilidad de una distribución:

$$P(X=r) = \binom{n}{r} p^r q^{n-r} = \left(\frac{n!}{r!(n-r)!} \right) p^r q^{n-r}$$

Donde $r = 6$ porque el límite de calidad anual 6 piezas por millón, $n = 43200$ que es el volumen anual de producción, sea p la probabilidad promedio de detección correcta $p = 0.9693$ y q la probabilidad promedio de detección incorrecta $q = 0.0307$

La probabilidad de encontrar 6 piezas incorrectamente detectadas es

$$P(6) = \binom{43200}{6} (0.9693)^6 (0.0307)^{43194}$$

$$P(6) = \left(\frac{43200!}{(6!)(43194!)} \right) (0.9693)^6 (0.0307)^{43196}$$

Debido a que el factor $0.0307^{43196} \cong 0$, la probabilidad de 6 detecciones incorrectas es casi nula.

CONCLUSIONES

La hipótesis planteada en la sección 1.5 de esta tesis fue:

“Mediante una combinación de tecnologías alternativas de visión computacional se pueden crear aplicaciones mecatrónicas industriales, para la inspección de atributos de autopartes plásticas, funcionalmente equivalentes a los sistemas comerciales de línea para visión computacional”.

La hipótesis fue confirmada porque:

- La tecnología alternativa de visión computacional fue el del *software* gratuito *Safe4cam*, combinada con control por *PIC* del módulo *CONTROLMATICO II* y montada en un nido de estructura *TRILOGIQ*.
- Las 3 aplicaciones en su conjunto resultaron en un ejemplo de aplicación mecatrónica industrial de videovigilancia de la aparición de las coladas, mediante la función de seguimiento de color.
- Se pudo detectar el atributo de la no presencia de coladas y el atributo de pieza con falta de llenado (incompleta).

La confirmación de la hipótesis reveló una nueva aplicación del *software Safe4cam*, el cual mediante su función de seguimiento de color se pudo aprovechar en manufactura para la inspección de atributos.

El objetivo general planteado en la sección 1.4 fue:

“Basado en tecnologías alternativas de visión computacional, diseñar un automatismo *Poka-Yoke* prototipo que inspeccione atributos de la especificación geométrica pieza por pieza de una autoparte plástica compleja.”.

El objetivo general fue alcanzado porque mediante la combinación de las 3 aplicaciones (*software* de videovigilancia, módulo de control y estructura) se pudo inspeccionar atributos (sobrante y faltante de integridad) de las autopartes *Front Door* y *Trim Cover*.

El objetivo específico 1 fue:

“Encontrar una tecnológica de visión computacional gratuita aplicable en la inspección en manufactura”.

Este objetivo específico fue alcanzado porque la búsqueda del *software* culminó con el aprovechamiento de las funcionalidades de “*Safe4cam*”.

El objetivo específico 2 fue:

“Obtener un *bit* útil para habilitar un juicio binario resultante de la inspección automática de piezas defectuosas en un *Poka-Yoke* prototipo controlado por un *PIC*”.

Este objetivo específico también fue alcanzado porque se pudo obtener un *bit* a través de acoplamientos eléctricos a partir del canal de audio de una computadora a través de una y dos etapas de amplificación hasta activar un relevador para conmutar el *bit* para ser utilizado por un microcontrolador *PIC* o inclusive por un *PLC* estándar.

En la presente tesis se recurrió por completo a los 4 elementos de la teoría *Poka-Yoke*:

- Elemento 1. Inspección en la fuente. El *Poka-Yoke* estuvo ubicado a la salida de la máquina de moldeo.
- Elemento 2: Inspección al 100%. El *Poka-Yoke* fue un paso obligado entre máquina de moldeo y la mesa de paso hacia el obrero.
- Elemento 3: Retroalimentación en tiempo real. El *Poka-Yoke* emite alarmas hacia el personal requerido para arreglar el problema inmediatamente.
- Elemento 4: Implementación de un artefacto a prueba de errores. Corresponde al *Poka-Yoke* en sí mismo, que fue resultado de las 3 aplicaciones mencionadas (videovigilancia, módulo de control y estructura).

De la Tabla 7 se confirmó que la presente tesis tiene algunas similitudes como el uso de la visión computacional en la manufactura pero es diferente porque la presente tesis aplica videovigilancia sobre manufactura para inspeccionar pieza a pieza autopartes plásticas, es decir que es un tema muy específico sin exploración en otras tesis.

Respecto a aplicaciones mecatrónicas en manufactura utilizando construcción modular, no fueron encontrados registros sobre el tema, lo cual indica que también es un tema novedoso.

La inspección visual realizada por obreros calificados no es confiable y así lo tipifica el estándar de detección para PFMEA (ver apéndice A), razón por la cual el presente *Poka-Yoke* permite subsanar el riesgo y costo de la baja calidad, y a su vez, esta funcionalidad es casi equivalente a haber implementado un equipo de visión comercial de alguna marca reconocida.

La funcionalidad del *Poka-Yoke* desarrollado, no es igual a haber implementado un sistema de visión comercial, por lo que se puede considerar como un intermedio en el estado binario de tener y no tener inspección automática.

Dicho estado binario es un campo no explorado y con gran potencial de transferencia tecnológica transversal, es decir, hay tecnologías que existen en forma madura aplicadas a otras áreas y pueden ser adaptadas a la inspección automática en la Ingeniería de Manufactura.

Respecto al *software Safe4cam* es bastante y suficiente para realizar la correcta detección de atributos por seguimiento de color para obtener juicios rápidos de la especificación geométrica de las autopartes plásticas.

Safe4cam es suficientemente factible para crear innovaciones en el campo de la visión computacional aplicada a la manufactura lo que permitiría crear muchos estados intermedio entre no tener y tener inspección automática con mayor tendencia hacia el estado binario 1 que se mencionó en la definición del problema de esta tesis.

La presente aplicación a pesar de su mérito tiene limitaciones:

- Solamente puede realizar la inspección por atributos de colores contrastantes.
- La medición no puede ser realizada con precisión, aunque sería posible de manera indirecta a través de trigonometría y utilizando un factor de correlación.
- No puede reconocer formas, pero sí puede reconocer colores y fondos contrastantes para reconocer defectos como piezas incompletas.

Con esta tesis se demostró que la inspección automática se puede realizar con tecnologías libres y con recursos mínimos como el uso de cámaras *USB* y un equipo de cómputo compartido.

Respecto al control, se utilizó el módulo *CONTROLMATICO II* basado en *PIC* y con este se explicó cómo el flexible microcontrolador *PIC* es por sí sólo un *PLC* sin interfaces que deja al diseñador la tarea de imaginar el alcance de su controlador y es una tecnología que está al alcance de quien lo necesite, lo entienda y lo sepa proponer en aquellas aplicaciones en las cuales resulte la técnica más idónea.

El sistema pudo detectar el 100% de los casos defectuosos y los errores de detección sucedieron en detectar piezas correctas como incorrectas y fueron corregidos progresivamente y eso no es un problema para el cliente la armadora automotriz ni para el fabricante *Mitchell Plastics*.

Por lo anterior se comprobó que el *Poka-Yoke* tiene la funcionalidad de permitir la detección automática sin requerir la adquisición de equipos de visión comerciales de línea y con probabilidad nula de enviar errores según el cálculo de distribución binomial utilizado.

APORTACIÓN DE LA TESIS

Este trabajo de tesis muestra la técnica que combina aplicaciones tecnológicas alternas de control automático (PIC), visión computacional (Safe4cam) y construcción modular (Trilogiq) para solucionar la falta de detección automática justificada por el costo de los sistemas comerciales de línea para visión computacional.

.

RECOMENDACIONES

Queda totalmente abierta la posibilidad de crear otros dispositivos *Poka-Yoke* aún más sofisticados y complejos basados en este *software Safe4cam*.

Para ello, en este documento hay conocimiento suficiente para motivar a muchos hacia el autodesarrollo, denominado por ejemplo "*openmaker*" [1].

El *PIC* como controlador industrial funciona y puede coadyuvar en la realización de aplicaciones industriales muy avanzadas.

Los *poka-yokes* se pueden diseñar utilizando recursos computacionales mínimos para obtener juicios binarios por medio de acoplamientos eléctricos surgidos desde muchas *APP* de teléfono celular, videovigilancia como *Safe4cam* u otros recursos que existen en *internet*.

También quedan al descubierto las amplias cualidades del material *Trilogiq* para crear estaciones de trabajo e inspección con dispositivos *poka-yoke* integrados porque sus propiedades como material de construcción modular estandarizado lo hacen el más indicado para prototipado rápido de dispositivos *poka-yoke* con electrónica y articulaciones fáciles de acoplar para diseñar estaciones de trabajo inteligentes para manufactura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tecnalía. *Tecnalía*. [En línea] 07 de septiembre de 2017. [Citado el: 12 de agosto de 2018.] <https://www.tecnalia.com/es/ict/noticias/la-tecnologia-abierta-irrumpe-en-la-fabricacion-tradicional.htm>.
- [2] **Carender, Jay W.** *Injection Molding Troubleshooting Guide*. Kentucky USA : Appebooks, 2015. págs. 6, 14, 23-25.
- [3] **Toyota**. QSE305 Quality Standards for Hard Instrument Panel Appearance. Rev 1. EUA : s.n., 2011. pág. 3.
- [4] **DAIMLER**. Guidelines for PFMEA. SCM.Q.C.01. India : s.n., 2013. págs. 2-10.
- [5] **progressalean**. progressalean. [En línea] [Citado el: 12 de ago de 2018.] <http://www.progressalean.com/diagrama-causa-efecto-diagrama-ishikawa/>.
- [6] **Navarro, Maritza y Flores, Francisco**. eluniversalqueretaro. [En línea] 16 de abril de 2017. [Citado el: 12 de ago de 2018.] <http://www.eluniversalqueretaro.mx/cartera/16-04-2017/rotacion-de-personal-pega-empresas>.
- [7] **Sucar, Luis Enrique y Gomez, Geovani**. *Visión Computacional*. Mexico : Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, 2016. págs. 3, 17, 36, 145-147.
- [8] **Velez Serrano, Jose**. *Visión por computadora*. España : S.L. - DYKINSON, 2003. págs. 2, 18, 19, 21,55, 57, 102.
- [9] **Platero Dueñas, Carlos**. *Apuntes de Visión Artificial*. España : EUITI Universidad Politécnica de Madrid, 2009. págs. 25, 26, 141, 143.
- [10] **Bakthavatchalam, Sasikumar**. machinevisionindia. [En línea] 06 de Mar de 2012. [Citado el: 12 de 08 de 2018.] <http://machinevisionindia.blogspot.mx/2012/03/histogram-equalisation-part-ii.html>.
- [11] **Uyar, Erol**. A combined vision-robot arm system for material assortment. ppt-online. [En línea] [Citado el: 12 de ago de 2018.] <https://ppt-online.org/39430>.
- [12] **Smith, Jack**. *Programming the PIC Microcontroller with MBasic*. Inglaterra : Newnes, 2005. págs. 1-5, 67-71.
- [13] **Ibrahim, Dogan**. *Advanced PIC microcontroler projects in C*. s.l. : Newnes, 2008. págs. 1-32.
- [14] **Inc, Microchip Technology**. PIC16F628A Data Sheet. Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nano Watt Technology. 2005. pág. 2.

- [15] Electro-tech-online. [En línea] [Citado el: 13 de ago de 2018.] <https://www.electro-tech-online.com/threads/how-to-connect-icsp-to-pic.37914/>.
- [16] **Matic, Nebojsa.** *BASIC for PIC microcontrollers*. EUA : Microelektronika, 2003. págs. 3-8.
- [17] **Labs, microEngineer.** *PicBasic Pro Compiler. Reference manual*. jul de 2012. págs. 108-111.
- [18] **Westhues, Jonathan.** *LDmicro: Ladder Logic for PIC and AVR*. EUA : s.n., 2016.
- [19] *Workstation design with a modular structure made up of building-block principles.* **Leskova, Andrea y Svac, Vladimir.** Eslovaquia : International Journal of Engineering, 2012, págs. 203-210.
- [20] **Depelteau, Julien.** flexpipeinc. [En línea] 2006. [Citado el: 13 de ago de 2018.] https://www.flexpipeinc.com/us_en/structure/workstation/.
- [21] Trilogiq. [En línea] [Citado el: 15 de 08 de 2018.] <https://trilogiq.com.mx/>.
- [22] Masingenieros. [En línea] [Citado el: 15 de ago de 2018.] <http://www.masingenieros.com/portfolio/el-nuevo-reto-la-industria-4-0/>.
- [23] **Riveroll, Esther.** Los desafíos para la industria 4.0. *FORBES*. 2017. [En línea] [Citado el: 15 de ago de 2018.] *FORBES*. 2017. <https://www.forbes.com.mx/los-desafios-para-la-industria-4-0/>
- [24] Reply lanza soluciones completas de la Industria 4.0 para la fabricación flexible y conectada. 10 de nov de 2017. [En línea] [Citado el: 15 de ago de 2018.] <https://www.businesswire.com/news/home/20171110005329/es/>
- [25] **Shingeo, Shingo.** *Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-yoke System*. EUA : Productivity Press, 1985. págs. 41-54.
- [26] **Kumar, R., & Watt, B.** *Teaching Zero Quality Control Concepts In Mechanical Engineering Technology*. 1998.
- [27] *Estación de control de calidad por visión artificial para un centro de manufactura integrada por computador (CIM).* **Zambrano Rey, Gabriel Mauricio y al, et.** 2007, Ingeniería y Universidad . <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47711103>. ISSN 0123-2126.
- [28] *Implementation of Shape – Based Matching Vision System in Flexible Manufacturing System.* **Lim Wee, Teck y al, et.** 2010, Journal of Engineering Science and Technology Review, págs. 128-135. <http://eprints.utm.edu.my/9091>. ISSN 1791-2377.

- [29] *Manufacturing Probe Needles With Vision*. **Steve, Senders Dave and Neely**. 2005, Machine vision. <https://www.evaluationengineering.com/manufacturing-probe-needles-with-vision>.
- [30] *Artificial intelligence based system to improve the inspection of plastic mould surfaces*. **al, Librantz André. F. et.** Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 28, págs. 181–190. <http://link.springer.com/article/10.1007/s10845-014-0969-5>. ISSN: 0956-5515.
- [31] *Poka Yoke system based on image analysis and object recognition*. **Belu N, Ionescu M, et al.** 2015, Materials Science and Engineering. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/95/1/012138/pdf>. 012138 doi:10.1088/1757-899X/95/1/012138 .
- [32] **Automotive, Fiat Chrysler**. *Appearance Standard AS-10119 revisión A*. EUA : s.n., 2015. pág. 6.
- [33] **Standard, BMW Group**. *Evaluation zone, type of defect, evaluation of defect, motor vehicle, paint coat, surface classification GS 97003-1*. Alemania : s.n., 2012. pág. 4.
- [34] **Luna Huitrón, Abram**. *Diseño de Molde para inyección de plástico*. s.l. : UNAM, 2015. pág. 38.
- [35] **López Paredes, Héctor**. *Detección y seguimiento de objetos con cámaras en movimiento (Proyecto fin de carrera)*. España : Universidad Autónoma de Madrid, 2011. págs. 5-9.
- [36] **Valencia, Juan Fernando**. Mi propio soft. [En línea] [Citado el: 21 de ago de 2018.] <http://www.mipropiosoft.com/safe4cam/>.
- [37] **Martinez, Paula**. *Tracking de Objetos en Video mediante Filtro de Kalman. Monografía de Tratamiento Estadístico de Señales*. EUA : IEEE, 2010. págs. 1 - 9.
- [38] **Muñoz, Juan Camilo**. [En línea] feb de 2013. [Citado el: 22 de ago de 2018.] <http://juanchomillitos.blogspot.com/p/contrastos.html>.
- [39] **Instruments, Texas**. LM386 Low Voltage Audio Power Amplifier Datasheet. EUA : s.n., 2017. págs. 3-13.
- [40] **Semiconductors, FARCHILD**. MOC 3011 Datasheet. 6-Pin DIP Random-Phase optoisolators Triac driver output. s.l. : Farchild Semiconductor Corporation, 2000. págs. 1-4.

APÉNDICE A: TABLAS DE EVALUACIÓN PFMEA (4)

Table 1 – PFMEA SEVERITY RANKING

Effect	CRITERIA : Severity of effect on product (customer effect)	Rank	Effect	CRITERIA : Severity of effect on process (manufacturing / assy. effect)
Failure to meet safety and / or regulatory requirements	Potential failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation without warning.	10	Failure to meet safety and / or regulatory requirements	May endanger operator (machine or assembly) without warning.
	Potential failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation with warning.	9		Or may endanger operator (machine or assembly) with warning.
Loss or degradation of primary function	Loss of primary function (Vehicle inoperable, does not affect safe vehicle operation)	8	Major Disruption	100% of product may have to be scrapped. Line shutdown or stop ship.
	Degradation of primary function (Vehicle operable but at a reduced level of performance)	7	Significant Disruption	A portion of the production may have to be scrapped. Deviation from the primary process including decreased line speed or added manpower.
Loss or degradation of secondary function	Loss of secondary function (Vehicle operable, but Comfort/Convenience functions inoperable)	6	Moderate Disruption	100% of the product may have to be reworked offline and accepted.
	Degradation of secondary function (Vehicle operable, but Comfort/Convenience functions operable at a reduced level of performance)	5		A portion of the production run may have to be reworked offline and accepted
Annoyance	Appearance or audible noise, vehicle operable, item does not conform and noticed by most customers (>75%)	4	Moderate Disruption	100% of the production run may have to be reworked in station before it is processed.
	Appearance or Audible noise, vehicle operable, item does not conform and noticed by many customers (50%)	3		A portion of the production run may have to be reworked in station before it is processed.
	Appearance or Audible noise, vehicle operable, item does not conform and noticed by discriminating customers (<25%)	2		Slight inconvenience to process, operation or operator,
No effect	No discernible effect.	1	No effect.	No discernible effect.


Table 2 – PFMEA OCCURRENCE RANKING

Likelihood of Failure	Criteria: Occurrence of cause – PFMEA (Incidents per items/vehicles)	Rank
Very High	100 per thousand, 1 in 10	10
High	50 per thousand, 1 in 20	9
	20 per thousand, 1 in 50	8
	10 per thousand, 1 in 100	7
Moderate	2 per thousand, 1 in 500	6
	0.5 per thousand, 1 in 2000	5
	0.1 per thousand, 1 in 10,000	4
Low	0.01 per thousand, 1 in 1,000,00	3
	≤ 0.01 per thousand, 1 in 1,000,000	2
Very low	Failure is eliminated through preventive control	1


Table 3 – PFMEA DETECTION RANKING

Opportunity for detection	Criteria: Likelihood of detection by process control	Rank	Likelihood of Detection
No detection opportunity	No current Process Control; Cannot detect or is not analyzed.	10	Almost Impossible
Not likely to detect at any stage	Failure Mode and / or error (Cause) is not easily detected (Ex: Random Results)	9	Very Remote
Problem detection post processing	Failure Mode detection post processing is by operator through visual detection / tactile / audible means	8	Remote
Problem Detection at source	Failure Mode detection in station by operator through visual / tactile / audible means or post-processing through use of attribute gauging (go / no-go, manual torque check / clicker wrench, etc.).	7	Very Low
Problem Detection post processing	Failure Mode detection post-processing by operator through use of variable gauging or in-station by operator through use of attribute gauging (go / no-go, manual torque check / clicker wrench, etc.).	6	Low
Problem Detection at source	Failure Mode or error (cause) detection in-station by operator through use of variable gauging or by automated controls in-station that will detect discrepant parts and notify operator (lighter, buzzer etc). Gauging performed on set up and first piece check (for set up causes only)	5	Moderate
Problem Detection post processing	Failure Mode detection post-processing by automated controls that will detect discrepant part and lock part to prevent further processing	4	Moderately high
Problem Detection at Source	Failure Mode detection in-station by automated controls that will detect discrepant part and automatically lock part in station to prevent further processing	3	High
Error detection and / or problem prevention	Error (Cause) detection in-station by automatic controls that will detect error and prevent discrepant parts from being made.	2	Very High
Detection not applicable; Error prevention	Error (Cause) prevention as a result of fixture design, machine design or part design. Discrepant parts cannot be made because item has been error proofed by process / product design.	1	Almost Certain

APÉNDICE B: EJEMPLO DE UN FORMATO DE LIBERACION DE PRIMERA PIEZA QIR



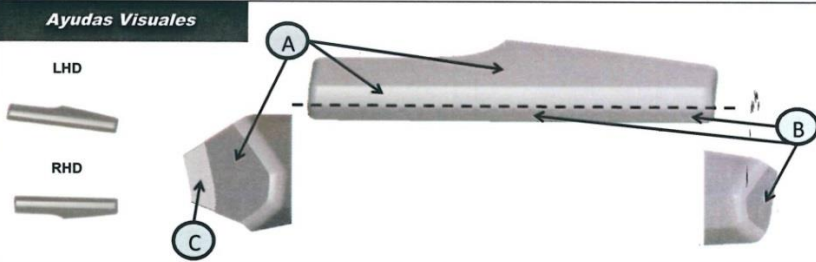
Reporte de Inspección de Calidad



40163A08 (LHD) / 40162A08(RHD)	
Parte / # de Reporte de Inspección de Calidad	
Descripción	IP Driver Side LHD/RHD - Molded
Nivel de Rev. RIC:	1
Fecha:	August 2, 2017
# de Dibujo / Rev:	80B.853.190 / 80C.853.189 Rev 31.07.15

Registro de Trazabilidad	Turno 1	Turno 2	Turno 3
Fecha:		18/08/17	
Lote Resina: 15152 - Sabic Cyroloy C1200HF		6258616	
Lote Colorante: 35058 - C/C Grey		IN70133108	
Firma de Líder de Célula		Elabell	

Ayudas Visuales



Op.#	KPC/KCC	Verificación de Calidad	Gage	Muestra		Resp.	Método	Hora y turno											
				Tam	Frec.														
1		PP / RIC: Sin piezas de producción anterior Sin etiquetas / kanbans anteriores Muestra de etiquetas & Kanban de la corrida actual Etiquetas & Kanban y los contenedores designados Int. de Trabajo actualizadas Alertas & Instrucciones de retrabajo disponibles Identificación de producto correcta Personal capacitado RIC disponibles & completos SS & Puntos de seguridad sin incidentes	NA	1 vez	PP	Líder de Célula	Comparación Visual	OK											
2		Apariencia, Ajuste & Funcionalidad: 0 defectos. Libre de rebaba, lires cortos, estrés, grietas, manchas blancas, rayas. >>> RECHUPES >>> DEFORMACIÓN (usar mesa de marmol) >>> CLIPS Asegurar que no estén rotos, doblados o tiro corto >>> VERIFICAR CORTE DE COLADA AL PAS	NA	1 pza	Inicio Medio Final de turno	Líder de Célula	Comparación Visual	LHD	OK										
3		DATE WHEEL: Verificación de fechador: Asegurar que el fechador esté actualizado.	NA	1 pza	PP	Líder de Célula	Comparación Visual	LHD	OK										
4		WEIGHT: Peso: (Pieza Inyectada) 66.2-69.0	Báscula MPQ-EM-017	1 pza	Inicio Medio Final de turno	Líder de Célula	Medición	LHD	67.26										
5		GC: Dimensional: A ser verificado en el escantillón según instrucción de trabajo de equipo	Escantillón MPQ-EM-118	1 pza	Inicio de turno	Líder de Célula	Comparación contra CF (Indicadores de carátula)	LHD	-0.17 -0.16 -0.03 0.17										
6		GAPS: Verificar claros con feeler de CF					Comparación contra CF (Feeler)	LHD	OK										

APÉNDICE C: FRAGMENTO DE FICHA TÉCNICA DEL PIC 16F628A



18-pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology

High-Performance RISC CPU:

- Operating speeds from DC – 20 MHz
- Interrupt capability
- 8-level deep hardware stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes
- 35 single-word instructions:
 - All instructions single cycle except branches

Special Microcontroller Features:

- Internal and external oscillator options:
 - Precision internal 4 MHz oscillator factory calibrated to $\pm 1\%$
 - Low-power internal 48 kHz oscillator
 - External Oscillator support for crystals and resonators
- Power-saving Sleep mode
- Programmable weak pull-ups on PORTB
- Multiplexed Master Clear/Input-pin
- Watchdog Timer with independent oscillator for reliable operation
- Low-voltage programming
- In-Circuit Serial Programming™ (via two pins)
- Programmable code protection
- Brown-out Reset
- Power-on Reset
- Power-up Timer and Oscillator Start-up Timer
- Wide operating voltage range (2.0-5.5V)
- Industrial and extended temperature range
- High-Endurance Flash/EEPROM cell:
 - 100,000 write Flash endurance
 - 1,000,000 write EEPROM endurance
 - 40 year data retention

Low-Power Features:

- Standby Current:
 - 100 nA @ 2.0V, typical
- Operating Current:
 - 12 μ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
 - 120 μ A @ 1 MHz, 2.0V, typical
- Watchdog Timer Current:
 - 1 μ A @ 2.0V, typical
- Timer1 Oscillator Current:
 - 1.2 μ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
- Dual-speed Internal Oscillator:
 - Run-time selectable between 4 MHz and 48 kHz
 - 4 μ s wake-up from Sleep, 3.0V, typical

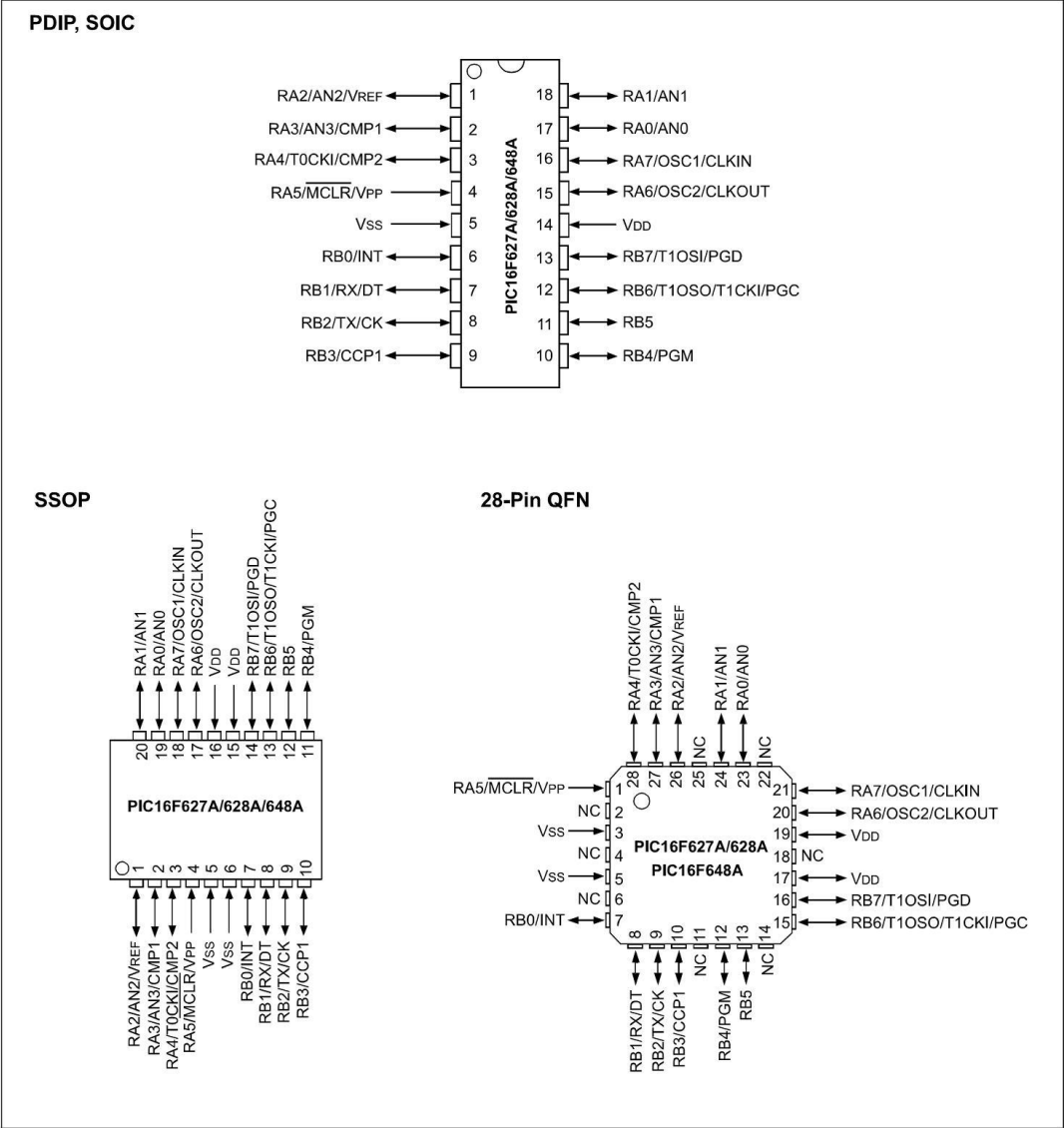
Peripheral Features:

- 16 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
- Analog comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
 - Selectable internal or external reference
 - Comparator outputs are externally accessible
- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with external crystal/clock capability
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Capture, Compare, PWM module:
 - 16-bit Capture/Compare
 - 10-bit PWM
- Addressable Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter USART/SCI

Device	Program Memory	Data Memory		I/O	CCP (PWM)	USART	Comparators	Timers 8/16-bit
	Flash (words)	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					
PIC16F627A	1024	224	128	16	1	Y	2	2/1
PIC16F628A	2048	224	128	16	1	Y	2	2/1
PIC16F648A	4096	256	256	16	1	Y	2	2/1

PIC16F627A/628A/648A

Pin Diagrams



APÉNDICE D: DECLARACIONES EN PBP

PICBASIC PRO™ Compiler REFERENCE MANUAL

Command Overview

5.1 Overview of Commands

@	Insert one line of assembly language code.
ADCIN	Read on-chip analog to digital converter.
ARRAYREAD	Parse array (string) and fill variables.
ARRAYWRITE	Send variables and constants to array (string).
ASML.ENDASM	Insert assembly language code section.
BRANCH	Computed GOTO (equivalent to ON GOTO).
BRANCHL	BRANCH out of page (long BRANCH).
BUTTON	Debounce and auto-repeat input on specified pin.
CALL	Call assembly language subroutine.
CLEAR	Zero all variables.
CLEARWDT	Clear (tickle) Watchdog Timer.
COUNT	Count number of pulses on a pin.
DATA	Define initial contents of on-chip EEPROM.
DEBUG	Asynchronous serial output with fixed pin and baud.
DEBUGIN	Asynchronous serial input with fixed pin and baud.
DISABLE	Disable ON DEBUG and ON INTERRUPT processing.
DISABLE DEBUG	Disable ON DEBUG processing.
DISABLE INTERRUPT	Disable ON INTERRUPT processing.
DO..LOOP	Repeatedly execute a block of statements.
DTMFOUT	Produce touch-tone frequencies on a pin.
EEPROM	Define initial contents of on-chip EEPROM.
ENABLE	Enable ON DEBUG and ON INTERRUPT processing.
ENABLE DEBUG	Enable ON DEBUG processing.
ENABLE INTERRUPT	Enable ON INTERRUPT processing.
END	Stop program execution and enter low power mode.
ERASECODE	Erase block of code memory.
EXIT	Exit the current block structure.
FOR..NEXT	Repeatedly execute statements in a counted loop.
FREQOUT	Produce 1 or 2 frequencies on a pin.
GOSUB	Call BASIC subroutine at specified label.
GOTO	Continue execution at specified label.
HIGH	Make pin output high.
HPWM	Output hardware pulse width modulated pulse train.
HSERIN	Hardware asynchronous serial input.
HSERIN2	Hardware asynchronous serial input, second port.

PICBASIC PRO™ Compiler REFERENCE MANUAL

Command Overview

HSEROUT	Hardware asynchronous serial output.
HSEROUT2	Hardware asynchronous serial output, second port.
I2CREAD	Read from I ² C device.
I2CWRITE	Write to I ² C device.
IF..THEN..ELSE..ENDIF	Conditionally execute statements.
INPUT	Make pin an input.
LCDIN	Read from LCD RAM.
LCDOUT	Display characters on LCD.
{LET}	Assign result of an expression to a variable.
LOOKDOWN	Search constant table for value.
LOOKDOWN2	Search constant / variable table for value.
LOOKUP	Fetch constant value from table.
LOOKUP2	Fetch constant / variable value from table.
LOW	Make pin output low.
NAP	Power down processor for short period of time.
ON DEBUG	Execute BASIC debug monitor.
ON GOSUB	Computed GOSUB.
ON GOTO	Computed GOTO (equivalent to BRANCHL).
ON INTERRUPT	Execute BASIC subroutine on an interrupt.
OWIN	1-wire input.
OWOUT	1-wire output.
OUTPUT	Make pin an output.
PAUSE	Delay (1 millisecond resolution).
PAUSEUS	Delay (1 microsecond resolution).
PEEK	Read byte from register.
PEEKCODE	Read byte from code space.
POKE	Write byte to register.
POKECODE	Write byte to code space when programming device.
POT	Read potentiometer on specified pin.
PULSIN	Measure pulse width on a pin.
PULSOUT	Generate pulse on a pin.
PWM	Output pulse width modulated pulse train to pin.
RANDOM	Generate pseudo-random number.
RCTIME	Measure pulse width on a pin.
READ	Read byte from on-chip EEPROM.
READCODE	Read word from code memory.
REPEAT..UNTIL	Execute statements until condition is true.
RESUME	Continue execution after interrupt handling.
RETURN	Continue at statement following last GOSUB.

REVERSE	Make output pin an input or an input pin an output.
SELECT CASE	Compare a variable with different values.
SERIN	Asynchronous serial input (BS1 style).
SERIN2	Asynchronous serial input (BS2 style).
SEROUT	Asynchronous serial output (BS1 style).
SEROUT2	Asynchronous serial output (BS2 style).
SHIFTIN	Synchronous serial input.
SHIFTOUT	Synchronous serial output.
SLEEP	Power down processor for a period of time.
SOUND	Generate tone or white-noise on specified pin.
STOP	Stop program execution.
SWAP	Exchange the values of two variables.
TOGGLE	Make pin output and toggle state.
USBIN	USB input.
USBINIT	Initialize USB.
USBOUT	USB output.
USBSERVICE	USB service loop.
WHILE..WEND	Execute statements while condition is true.
WRITE	Write byte to on-chip EEPROM.
WRITECODE	Write word to code memory.
XIN	X-10 input.
XOUT	X-10 output.

APÉNDICE E: PERFIL DE LA EMPRESA MITCHELL PLASTICS QUERÉTARO



Mitchell Plastics, planta ubicada en el parque industrial Querétaro

La empresa *Mitchell Plastics*, es un proveedor canadiense de autopartes interiores de apariencia y mecanismos interiores.

Como proveedor de servicios completos, brinda a sus clientes servicios de concepto, diseño y desarrollo, así como pruebas y validación completas de productos. Su amplia gama de capacidades de fabricación internas le permite a *Mitchell Plastics* brindar una integración vertical sin igual para ofrecer a sus clientes el mejor costo y calidad del producto en su clase. Cuenta con 2200 empleados en sus 9 plantas alrededor del mundo.

En la figura 39 se observa el modelo Q5 de *Audi* para el cual la empresa *Mitchell Plastics* Querétaro fabrica 68 autopartes de apariencia que embellecen su interior.

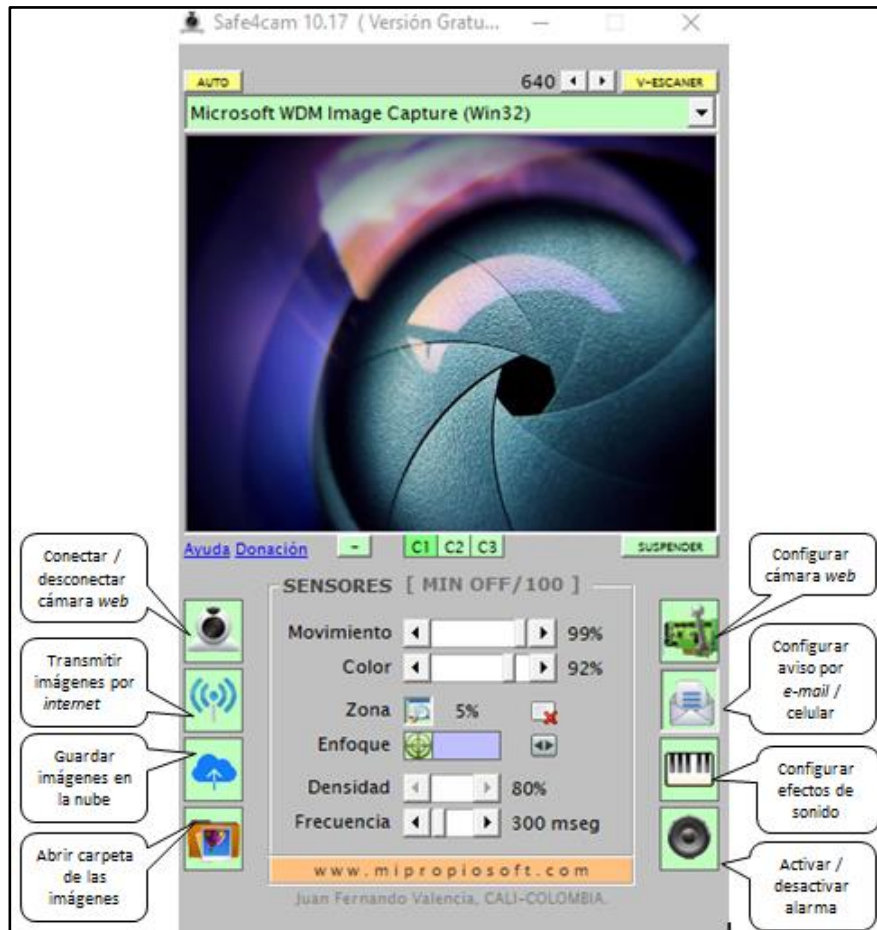
Mitchell Plastics es un proveedor líder de nivel uno de mecanismos interiores para automóviles y componentes decorativos.



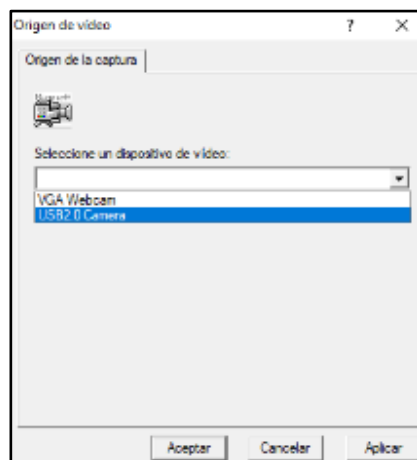
El modelo Q5 que *Audi* está produciendo en México

APÉNDICE F: INSTRUCTIVO PARA UTILIZAR SAFE4CAM

Descargar ejecutable desde la liga <http://www.mipropiosoft.com/safe4cam/>
Clic en "DESCARGAR safe4cam.zip" (está en la parte inferior de la página), instalar y abrir para observar la interfaz que se muestra en la imagen.



Interfaz del software Safe4cam



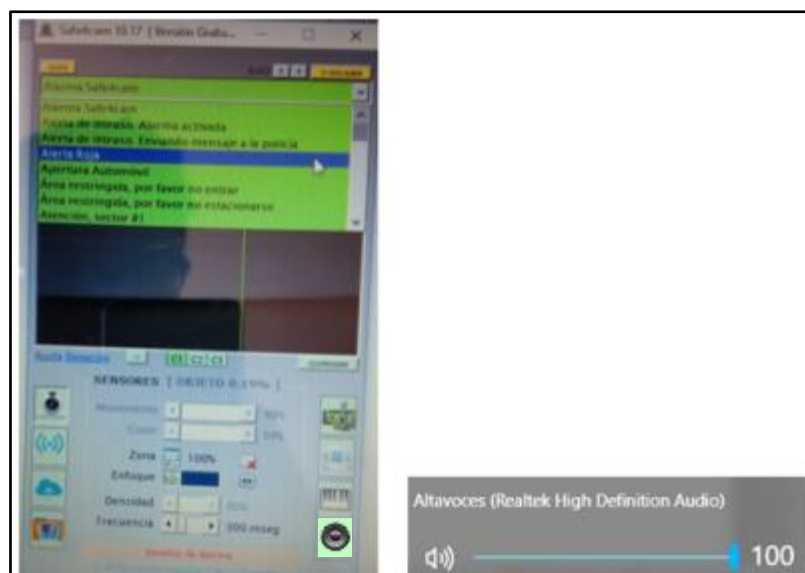
Selección de la cámara origen del video

A continuación, conectar una cámara web genérica (la utilizada tiene la siguiente especificación "DIGITAL ZOOM F/2.8 f=8.34mm"), clic en "configurar cámara web", seleccionar "USB2.0Camera". Ahora enfocar la cámara ajustando el lente – tuerca hasta obtener la imagen más nítida posible desde la ubicación fija de la cámara hasta el objeto.

A continuación en "Zona" dar clic para activar el 100% de la zona, luego dar clic en "Enfoque" para activar la herramienta de detección y seguimiento de objetos por color (webcam tracking), con el ratón dar clic sobre el objeto que se va a seguir, aquí es donde se aprecia la importancia de controlar la escena para tener una captación casi bicolor y conseguir que el seguimiento resultante sea más eficiente y sin falsas alarmas. Observar ahora que el sistema de visión computacional Safe4cam realiza automáticamente la detección de colada lo cual está indicado por un cuadro rojo hueco de enfoque sobre la colada y por otro cuadro rojo relleno pequeño intermitente en la parte superior de la interfaz, también se escucha una alarma acústica, misma que será la utilizada para integrar eléctricamente el resultado de la inspección automática a un microcontrolador PIC o inclusive a un PLC.

Selección de alarma en Safe4cam e incremento de nivel de audio en computadora.

Para poder captar un bit útil sin programación al interior de la computadora se va a tomar la señal de audio que procede de la tarjeta de sonido, para ello, en Safe4cam seleccionar la alarma "Alerta Roja" y después incrementar el volumen en el controlador de sonido de la computadora al nivel 100%.



Selección de alarma en Safe4cam e incremento de nivel de audio en computadora

A continuación en "Zona" dar clic para activar el 100% de la zona, luego dar clic en "Enfoque" para activar la herramienta de detección y seguimiento de objetos por color (*webcam tracking*), con el ratón dar clic sobre el objeto que se va a seguir, aquí es donde se aprecia la importancia de controlar la escena para tener una captación casi bicolor y conseguir que el seguimiento resultante sea más eficiente y sin falsas alarmas.

Observar ahora que el sistema de visión computacional *Safe4cam* realiza automáticamente la detección de colada lo cual está indicado por un cuadro rojo hueco de enfoque sobre la colada y por otro cuadro rojo relleno pequeño intermitente en la parte superior de la interfaz, también se escucha una alarma acústica, misma que será la utilizada para integrar eléctricamente el resultado de la inspección automática a un microcontrolador *PIC* o inclusive a un *PLC*.



Detección por color en Safe4cam

APÉNDICE G: DECLARATIVAS DEL FABRICANTE LOGITECH ACERCA DE BOCINA z51

Garantía Limitada de Productos de Hardware Logitech:

Logitech garantiza al comprador original la ausencia de anomalías en lo referente a los materiales y a la fabricación del producto Logitech de hardware durante el tiempo especificado en el paquete del producto y/o en www.logitech.com para el producto, a partir de la fecha de compra (o de entrega, según corresponda en la jurisdicción). También puedes encontrar esta información si seleccionas la sección de asistencia en línea relativa al producto en nuestra página Web en support.logitech.com. Salvo en lo que prohíba la ley vigente, esta garantía es intransferible y protege exclusivamente al comprador original en el país en el que se adquirió el producto. Esta garantía otorga al usuario derechos legales específicos; puede que poseas otros derechos, como una vigencia extendida de la garantía, que variarán de acuerdo con la legislación local.

Cómo comenzar

Lo primero que debes hacer si crees que tienes un reclamo de garantía, es ir a support.logitech.com, donde encontrarás una amplia variedad de páginas de asistencia y preguntas frecuentes de gran utilidad.

Si no encuentras una solución en el sitio web, ponte en contacto con el distribuidor del que adquiriste el producto. Los reclamos de garantía válidos se suelen procesar a través del punto de venta durante los primeros treinta (30) días a partir de la fecha de adquisición. El plazo de tiempo puede variar según el lugar en que se haya adquirido el producto.

Si no puedes procesar el reclamo de garantía a través del punto de venta, visita nuestra sección de Preguntas frecuentes de garantía de asistencia técnica, donde encontrarás la información de contacto de nuestro departamento de asistencia.

Indemnización

La responsabilidad total de Logitech y la única indemnización a la que el usuario tendrá derecho en caso de incumplimiento de la garantía consistirá, a discreción de Logitech, en: (1) la reparación o sustitución del hardware o (2) el reembolso del importe abonado, siempre y cuando el

hardware se devuelva al punto de venta, o cualquier otro lugar que Logitech indique, junto con una copia del recibo de compra o un recibo detallado y fechado. Pueden ser aplicables tasas de envío, salvo que lo prohíba la ley vigente.

Logitech puede, a su discreción, sustituir el producto, ofrecer un producto de iguales características o reparar cualquier producto con piezas nuevas, reparadas o usadas siempre que éstas cumplan con las especificaciones técnicas del producto. Cualquier repuesto de hardware tendrá una garantía por el periodo restante de la garantía original o por un periodo de treinta (30) días, el que sea superior, o por cualquier periodo adicional aplicable en tu jurisdicción.

Esta garantía no cubre problemas o daños resultantes de (1) accidentes, uso indebido, uso incorrecto o cualquier reparación, modificación o desmontaje no autorizado; (2) uso o mantenimiento incorrecto, uso contrario a las instrucciones del producto o conexión a una fuente de alimentación incorrecta; (3) uso de consumibles, como baterías de repuesto, no proporcionados por Logitech salvo donde ese tipo de restricciones estén prohibidas por la ley vigente; (4) piezas perdidas originalmente suministradas con el producto de hardware de Logitech; (5) piezas y accesorios que no sean de Logitech aunque se hayan adquirido junto con el producto de hardware de Logitech; (6) servicios que no sean de Logitech que se puedan controlar o a los que se pueda acceder con un producto de hardware de Logitech; o (7) el desgaste normal del producto.

Esta garantía limitada no cubre, en ningún caso, el remplazo o reembolso de ningún dispositivo electrónico o bienes personales que no sean productos de Logitech. Tampoco cubre productos de Logitech usados por empresas para brindar acceso a Internet a usuarios finales a cambio de un importe.

Limitación de responsabilidad

EN NINGÚN CASO SE CONSIDERARÁ A LOGITECH RESPONSABLE DE NINGÚN DAÑO ESPECIAL, INDIRECTO, RESULTANTE O FORTUITO, INCLUIDOS ENTRE OTROS LOS DERIVADOS DE LA PÉRDIDA DE BENEFICIOS, INGRESOS O DATOS

(YA SEAN DIRECTOS O INDIRECTOS) O PÉRDIDAS COMERCIALES POR INCUMPLIMIENTO DE CUALQUIER GARANTÍA EXPRESA O IMPLÍCITA DEL PRODUCTO INCLUSO CUANDO SE HAYA NOTIFICADO A LOGITECH LA POSIBILIDAD DE TALES DAÑOS. Dado que en algunas jurisdicciones no se permiten las exclusiones o limitaciones de responsabilidad por daños especiales, indirectos, resultantes o fortuitos, puede que las limitaciones o exclusiones expuestas arriba no sean aplicables.

Duración de garantías implícitas

EXCEPTO EN LA MEDIDA EN QUE LO PROHÍBA LA LEY APLICABLE, TODA GARANTÍA DE COMERCIALIZACIÓN IMPLÍCITA O ADECUACIÓN PARA UN USO ESPECÍFICO DE ESTE PRODUCTO DE HARDWARE SE LIMITA A LA DURACIÓN DEL PERIODO DE GARANTÍA EXPLÍCITA APLICABLE AL PRODUCTO. Dado que en algunas jurisdicciones no se permiten limitaciones de duración de garantías implícitas, es posible que las limitaciones antes mencionadas no sean aplicables.

Derechos legales nacionales

Los consumidores poseen derechos legales según la legislación nacional vigente que rija la venta de productos de consumo. Las garantías de esta garantía limitada no afectan a esos derechos. En Brasil, las indemnizaciones incluyen la posibilidad de permitir que el consumidor conserve el producto defectuoso y reciba una reducción proporcional del precio.

Ninguna otra garantía

Ningún distribuidor, representante o empleado de Logitech está autorizado a realizar modificaciones, ampliaciones ni adiciones en esta garantía.

Periodos de garantía

Tenga en cuenta que, en la Unión Europea, cualquier periodo de garantía inferior a dos años deberá ampliarse a dos años.

Dirección de Logitech

Logitech, Inc.

7700 Gateway Blvd.

Newark, California 94560

Dado que no se encontró ninguna restricción en el empaque, garantía o página web, sobre la disposición que el propietario del bien *hardware* decida hacer para su conveniencia personal con este bien, se procedió a consultar directamente:



La respuesta fue:



No existe por lo tanto ningún impedimento legal porque este uso no constituye un delito, el procedimiento jurídico sólo se podría iniciar a petición del fabricante porque no se trata de un delito de oficio, cualquier objeción del tema por parte de un tercero es inválida e intrascendente para esta tesis.

APÉNDICE H: PROGRAMACIÓN EN PIC BASIC PRO

Notas previas sobre la interpretación del programa:

- En algunas líneas se han añadido comentarios para facilitar la lectura de éste.
- Cuando aparece un ";" inicia el comentario
- También se han agregado renglones que comienzan con ";" para estructurar las secciones del programa.
- A partir del ";" los comentarios se hacen en español y son sujetos de ortografía por lo que algunas definiciones de variables y constantes aunque han sido nombradas en español, no se pueden acentuar porque el compilador no reconoce acentos, diéresis ni la letra ñ.
- Corresponde a un fragmento del programa completo pero es suficiente para entender la interacción en el automatismo de las entradas y salidas

```
*****
;
;*****PROGRAMA*****
;
;
;
;*****CONFIGURACIÓN DE LCD*****
DEFINE LCD_DREG PORTD           ;definir LCD en puerto D
DEFINE LCD_DBIT 4               ;definir 4 bits de datos en d.7, d.6, d.5 y d.4
DEFINE LCD_RSREG PORTD         ;definir Register Select en puerto D
DEFINE LCD_RSBIT 3             ;definir bit d.3 como Register Select
DEFINE LCD_EREG PORTD          ;definir Enable en puerto D
DEFINE LCD_EBIT 2              ;definir bit d.2 como Enable
*****
;
;
;*****DECLARACION DE VARIABLES*****
ValorPotenciómetro var BYTE    ;valor en baudios del potenciómetro con el cual se realiza la selección de modelo en menú
Modelo var BYTE                ;modelo seleccionado
*****
;
;
;
```

```

;****DEFINICIONES VARIAS*****
@ ERRORLEVEL -306                ;suprimir advertencia en MPASMWIN "...Crossing page boundary..."=saltos entre niveles de
                                   ;memoria del PIC
DEFINE OSC 4                       ;definir oscilador interno = 4 MHz
;*****
;
;****DECLARACION DE CONSTANTES*****
Tp CON 5                          ;tiempo en [s] durante el cual se cuentan los baudios que pasan a través de la terminal del PIC
                                   ;donde está conectado el potenciómetro

Limite1 CON 10
Limite2 CON 30
Limite3 CON 50
Limite4 CON 70
Limite5 CON 90
Limite6 CON 110
Limite7 CON 130
Limite8 CON 150
Limite9 CON 170
Limite10 CON 180
;*****
;
;****MAPEO DE PUERTOS DEL PIC*****
;*PUERTO A*
Candado VAR porta.0              ;salida, activa electroválvula para sujeción de pieza
GPS VAR porta.1                  ;salida, activa emisión de sms "pieza incorrecta"
Imprimir VAR porta.2            ;salida, activa impresión de etiqueta de certificación de pieza correcta
Alarma VAR porta.3              ;salida, activa alarma acústica de pieza incorrecta
LedRojo VAR porta.4             ;salida, activa led rojo de pieza incorrecta
LedVerde VAR porta.5            ;salida, activa led verde de pieza correcta
CorteMOC VAR porta.6           ;salida, apaga el circuito MOC cada vez que se detona la secuencia de
                                   ;notificación de pieza incorrecta

;reserva porta.7
;
;
;
;
;
;
;

```

```

;*PUERTO B*
;reserva portb.0
;reserva portb.1
;reserva portb.2
;reserva portb.3
;reserva portb.4
;reserva portb.5
;reserva portb.6
;reserva portb.7
;*PUERTO C*
ResetBiometrico VAR portc.0      ;entrada procedente de relevador "NA" (normalmente abierto) de reset biométrico
;reserva VAR portc.1
;reserva VAR portc.2
PiezaPresente VAR portc.3        ;entrada del sensor infrarrojo E90, donde 1=Pieza presente, se observa apagado el led rojo
;indicador del sensor. 0= Sin pieza, se enciende el led rojo indicador del sensor
AmplificadorAudio VAR portc.4    ;señal digital procedente del amplificador MOC3011 (terminal 4) - LM386
;reserva VAR portc.5
;reserva VAR VAR portc.6
;reserva VAR portc.7
;*PUERTO D*
Potenciometro VAR portd.0        ;entrada, elemento resistivo para uso en menú
Boton VAR portd.1                ;botón selector, entrada digital
;LCD EN = portd.2 (enable)       ;lcd
;LCD RS = portd.3 (RS)          ;lcd
;LCD D4 = portd.4               ;bit de datos
;LCD D5 = portd.5               ;bit de datos
;LCD D6 = portd.6               ;bit de datos
;LCD D7 = portd.7               ;bit de datos
;*PUERTO E*
LedAmarillo VAR porte.0          ;salida digital, indicador de pieza detectada
;reserva porte.1
;reserva porte.2
;reserva porte.3
;
;
;
;
;
;

```

;****RUTINA DE SELECCIÓN DE MODELO*****

```
InformacionDeOrigen: ;Mostrar datos de origen y contacto de TECNOLOGIA POKAYOKE
LCDOUT $FE,1,"POKAYOKE ":GOSUB Pausa2000
LCDOUT $FE,$C0,"CONTROLMATICO II":GOSUB Pausa1000
LCDOUT $FE,1,"email:tecnologia ":GOSUB Pausa1000
LCDOUT $FE,$C0,"pokayoke@aol.com":GOSUB Pausa3000
GOTO LcdSelecModelo
LcdSelecModelo:
LCDOUT $FE,1,"Selecc Pokayoke":PAUSE 10
POT potenciometro,tp,valorpotenciometro ;función para discriminar por budios en un potenciómetro
;Pokayoke para detectar coladas
IF ValorPotenciometro<Limite1 THEN LCDOUT $FE,$C0,"Coladas":GOSUB Pausa300
;Pokayoke para detectar tiros cortos
IF ValorPotenciometro>=Limite1 AND ValorPotenciometro<Limite2 THEN LCDOUT $FE,$C0,"Tiros cortos":GOSUB Pausa300
;Pokayoke para detectar felpas
IF ValorPotenciometro>=Limite2 AND ValorPotenciometro<Limite3 THEN LCDOUT $FE,$C0,"Felpas":GOSUB Pausa300
;Pokayoke para detectar clips ferrosos
IF ValorPotenciometro>=Limite3 AND ValorPotenciometro<Limite4 THEN LCDOUT $FE,$C0,"Clips ferrosos":GOSUB Pausa300
;Pokayoke para detectar clips plásticos
IF ValorPotenciometro>=Limite4 AND ValorPotenciometro<Limite5 THEN LCDOUT $FE,$C0,"Clips plasticos":GOSUB Pausa300
;Pokayoke para detectar polos de arnés
IF ValorPotenciometro>=Limite5 AND ValorPotenciometro<Limite6 THEN LCDOUT $FE,$C0,"Polos de arnes":GOSUB Pausa300
;Pokayoke para detectar prueba de fuga
IF ValorPotenciometro>=Limite6 AND ValorPotenciometro<Limite7 THEN LCDOUT $FE,$C0,"Prueba de fuga":GOSUB Pausa300
;Pokayoke para detectar continuidad eléctrica
IF ValorPotenciometro>=Limite7 AND ValorPotenciometro<Limite8 THEN LCDOUT $FE,$C0,"Continuidad elect":GOSUB Pausa300
;Pokayoke para detectar resistencia eléctrica
IF ValorPotenciometro>=Limite8 AND ValorPotenciometro<Limite9 THEN LCDOUT $FE,$C0,"Resist electrica":GOSUB Pausa300
;Pokayoke para controlar por reconocimiento binario de contenedores
IF ValorPotenciometro>=Limite9 AND ValorPotenciometro<Limite10 THEN LCDOUT $FE,$C0,"Rec de modelo":GOSUB Pausa300
;Pokayoke para controlar secuencia torque
IF ValorPotenciometro>=Limite10 THEN LCDOUT $FE,$C0,"Secuencia Torque":GOSUB Pausa300
IF Boton=0 THEN LcdSelecModelo
IF Boton=1 THEN
SWAP ValorPotenciometro,Modelo ;intercambiar valores de ValorPotenciometro a Modelo para inmunidad durante ciclos
GOTO AsignarRutina
ENDIF
GOTO LcdSelecModelo ;repetir ciclo LcdSelecModelo
```

AsignarRutina:

```
IF Modelo<Limite1 THEN PokayokeColada ;Rutina para la aplicación de esta tesis
;IF Modelo>=Limite1 AND Modelo<Limite2 THEN PokayokeOculto ;Omitido, no es necesario para la compresión de esta tesis
;IF Modelo>=Limite2 AND Modelo<Limite3 THEN PokayokeOculto ;Omitido, no es necesario para la compresión de esta tesis
;IF Modelo>=Limite3 AND Modelo<Limite4 THEN PokayokeOculto ;Omitido, no es necesario para la compresión de esta tesis
;IF Modelo>=Limite4 AND Modelo<Limite5 THEN PokayokeOculto ;Omitido, no es necesario para la compresión de esta tesis
;IF Modelo>=Limite5 AND Modelo<Limite6 THEN PokayokeOculto ;Omitido, no es necesario para la compresión de esta tesis
;IF Modelo>=Limite6 AND Modelo<Limite7 THEN PokayokeOculto ;Omitido, no es necesario para la compresión de esta tesis
;IF Modelo>=Limite7 AND Modelo<Limite8 THEN PokayokeOculto ;Omitido, no es necesario para la compresión de esta tesis
;IF Modelo>=Limite8 AND Modelo<Limite9 THEN PokayokeOculto ;Omitido, no es necesario para la compresión de esta tesis
;IF Modelo>=Limite9 AND Modelo<Limite10 THEN PokayokeOculto ;Omitido, no es necesario para la compresión de esta tesis
;IF Modelo>=Limite10 THEN PokayokeOculto ;Omitido, no es necesario para la compresión de esta tesis
.*****
;
;
;****RUTINA POKAYOKE DE COLADA*****
PokayokeColada: ;mostrar instrucción de colocación de pieza
LOW LedVerde:LOW LedRojo:LOW LedAmarillo ;apagar leds indicadores
LCDOUT $FE,1,"Pokayoke Colada":GOSUB Pausa2000 ;mostrar en lcd el tipo de pokayoke seleccionado
LCDOUT $FE,$C0,"Colocar Pieza":GOSUB Pausa2000 ;indicar la colocación de pieza
IF PiezaPresente=1 THEN AtraparPieza ;condición de detección de pieza
IF PiezaPresente=0 THEN PokayokeColada
;
AtraparPieza: ;sujeción de pieza
IF PiezaPresente=1 THEN
LCDOUT $FE,1,"Pieza colocada":GOSUB Pausa10 ;indica pieza sujeta
HIGH LedAmarillo:GOSUB Pausa2000 ;indica pieza presente
LCDOUT $FE,1,"Probando pieza":GOSUB Pausa10 ;indica probando pieza
HIGH Candado:GOSUB Pausa100 ;sujetar pieza
GOSUB Pausa3000 ;pausa para evitar detecciones falsas
IF AmplificadorAudio=1 THEN PiezaIncorrecta ;verificación de señal procedente del amplificador de audio
;aquí es donde se verifica la validación que hace el software safe4cam
;si hubo alarma acústica del software safe4cam entonces ir a subrutina
;común a los pokayokes de este programa PiezaIncorrecta
;si no hay presencia de colada, la pieza es correcta

IF AmplificadorAudio=0 THEN LiberarPieza
ENDIF
IF PiezaPresente=0 THEN PokayokeColada ;Retorno para evitar detecciones falsas
.*****
;...Se omiten otras secciones del programa, no son necesarias para la aplicación de esta tesis
```

;A partir de esta sección, corresponde a subrutinas comunes a otros pokayokes del controlador

*****SUBROUTINA DE PIEZA INCORRECTA*****

PiezaIncorrecta:

LCDOUT \$FE,1,"Pieza incorrecta":GOSUB Pausa10

HIGH Candado:GOSUB Pausa100

;mantener pieza sujeta

HIGH GPS:GOSUB Pausa100

;enviar sms

HIGH Candado:GOSUB Pausa100

;mantener pieza sujeta

HIGH Alarma:GOSUB Pausa100

;emitir alarma acústica

HIGH LedRojo:GOSUB Pausa100

;encender led rojo

HIGH CorteMOC:GOSUB Pausa100

;cortar alimentación a circuito MOC para desenclavar señal

GOSUB Pausa1000

LOW Alarma:GOSUB Pausa100

;apagar alarma acústica

LOW CorteMOC:GOSUB Pausa100

;restablecer alimentación a circuito MOC

GOTO EsperarLiberacion

;preparar liberación de pieza incorrecta

;

EsperarLiberacion:

LCDOUT \$FE,1,"Liberar con":GOSUB Pausa10

LCDOUT \$FE,\$C0,"reset biometrico":GOSUB Pausa10

;indica en lcd aplicación de reset biométrico para desbloquear

IF ResetBiometrico=0 THEN EsperarLiberacion

IF ResetBiometrico=1 THEN QuitarPiezaNG

;al aplicar el reset biométrico entonces liberar

GOTO EsperarLiberacion

;

QuitarPiezaNG:

LOW Candado:GOSUB Pausa100

TOGGLE LedRojo:GOSUB Pausa100

LCDOUT \$FE,1,"Retirar pieza":GOSUB Pausa10

LCDOUT \$FE,\$C0,"Defectuosa":GOSUB Pausa10

IF PiezaPresente=1 THEN QuitarPiezaNG

IF PiezaPresente=0 THEN PokayokeColada

GOTO QuitarPiezaNG

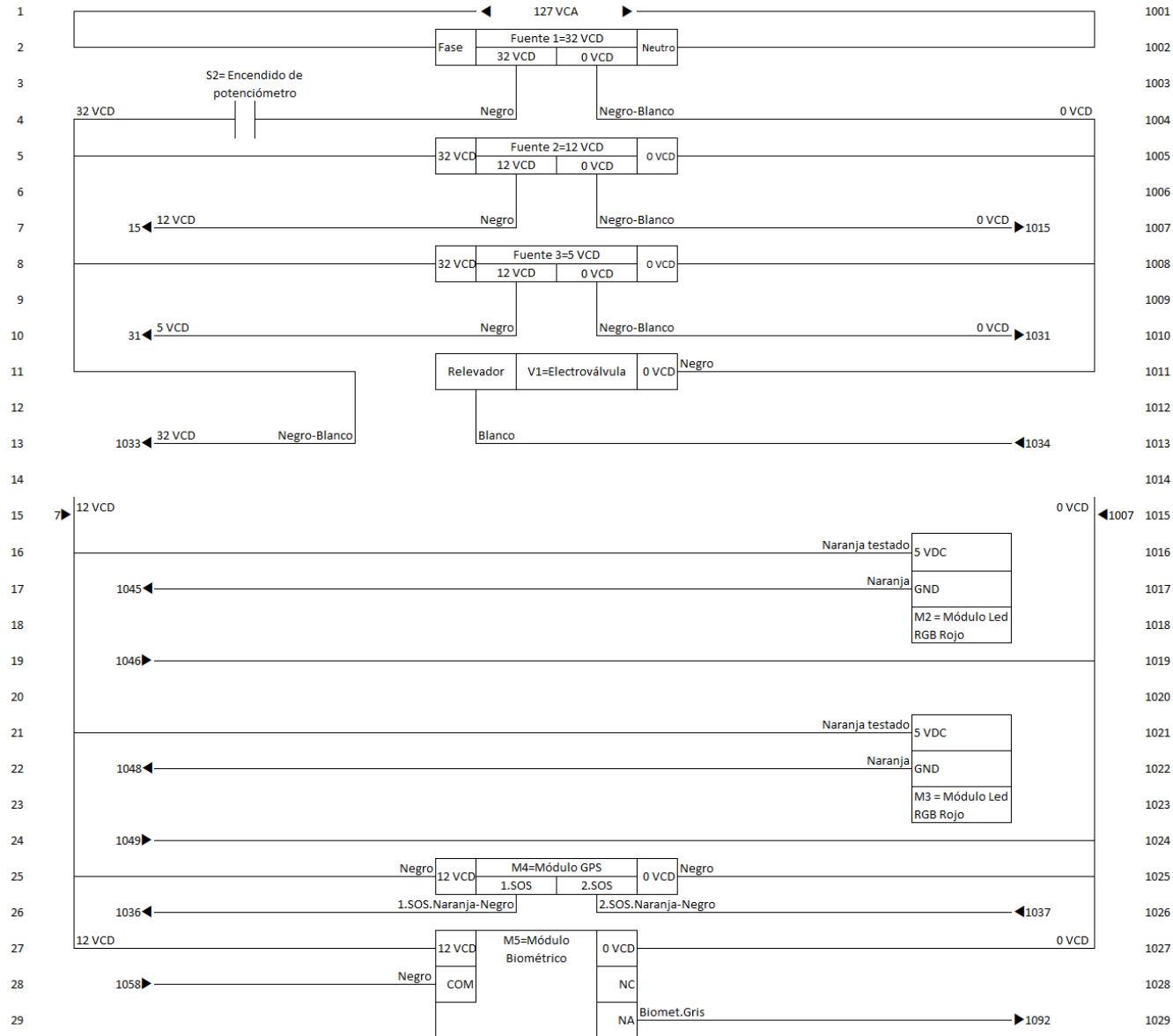
;
;
;
;
;
;
;
;
;
;
;
;

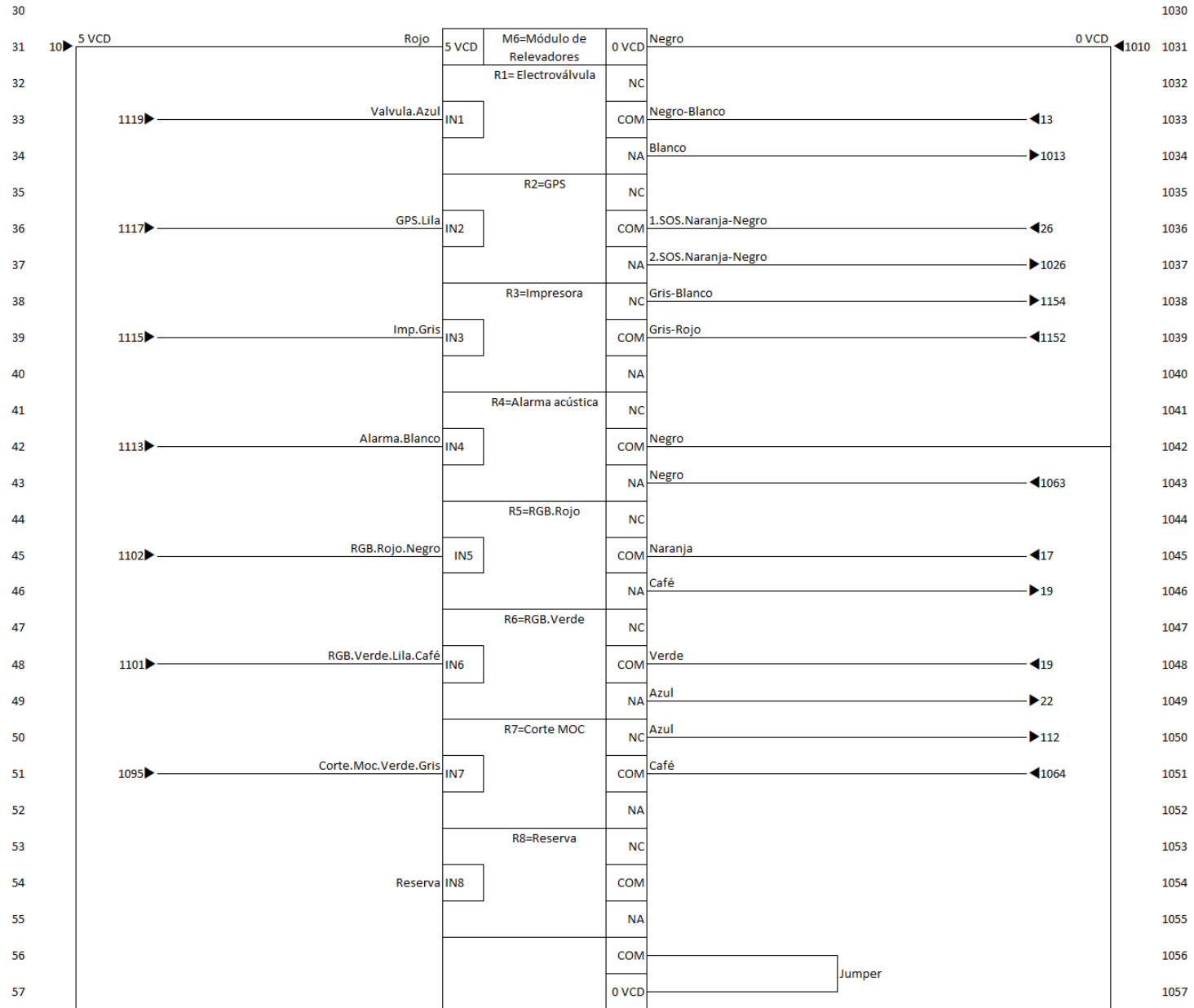

```

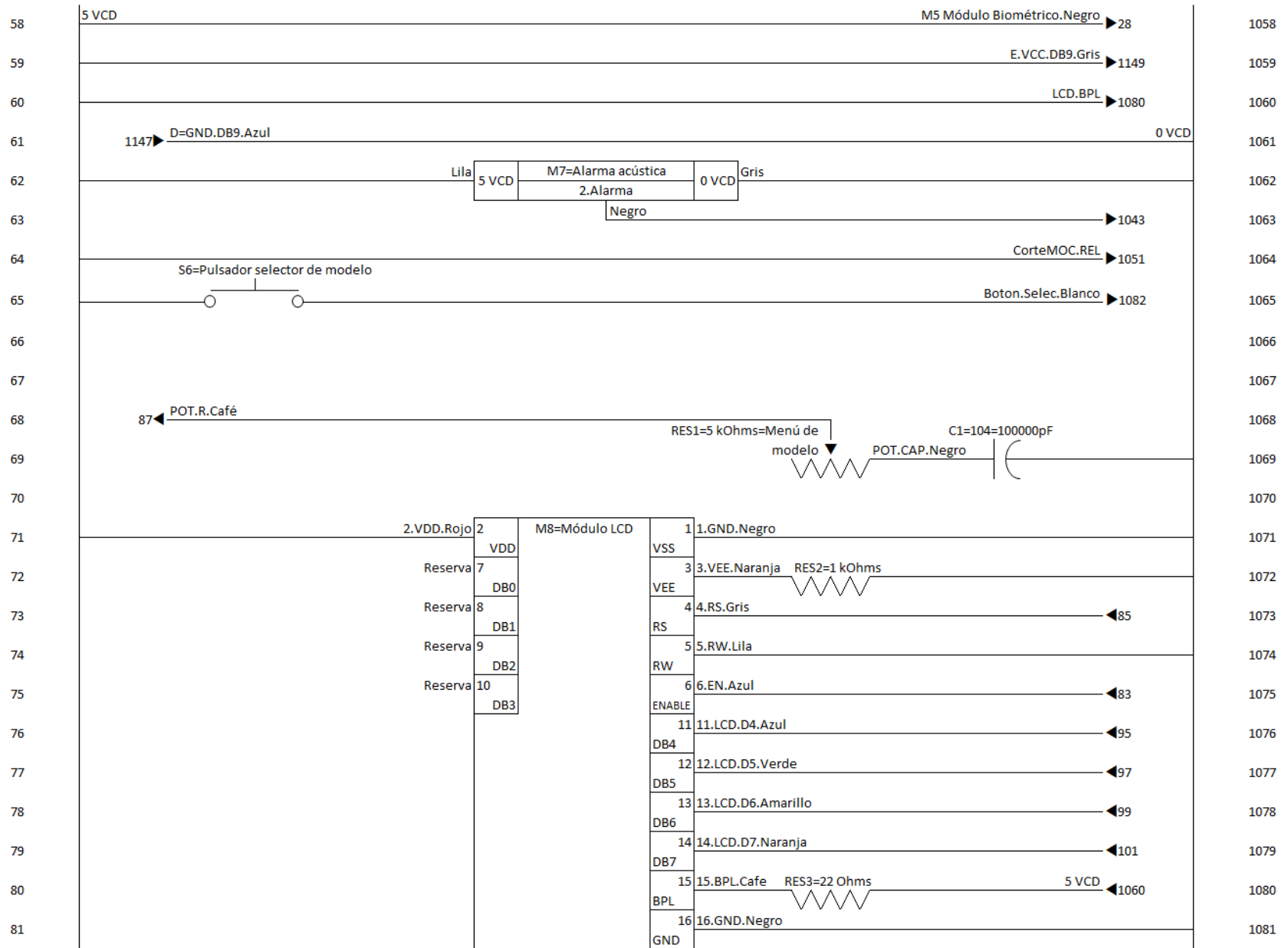
;****SECCIÓN DE SUBROUTINAS DE PAUSAS*****
Pausa5:                                     ;pausa de 5 milisegundos
PAUSE 5
RETURN                                     ;regresar al punto de invocación
Pausa10:                                    ;pausa de 10 milisegundos
PAUSE 10
RETURN                                     ;regresar al punto de invocación
Pausa100:                                   ;pausa de 100 milisegundos
PAUSE 100
RETURN                                     ;regresar al punto de invocación
Pausa300:                                   ;pausa de 300 milisegundos
PAUSE 300
RETURN                                     ;regresar al punto de invocación
Pausa500:                                   ;pausa de 500 milisegundos
PAUSE 500
RETURN                                     ;regresar al punto de invocación
Pausa1000:                                  ;pausa de 1000 milisegundos = 1 segundo
PAUSE 1000
RETURN                                     ;regresar al punto de invocación
Pausa2000:                                  ;pausa de 2000 milisegundos = 2 segundos
PAUSE 2000
RETURN                                     ;regresar al punto de invocación
Pausa3000:                                  ;pausa de 3000 milisegundos = 3 segundos
PAUSE 3000
RETURN                                     ;regresar al punto de invocación
;*****

```

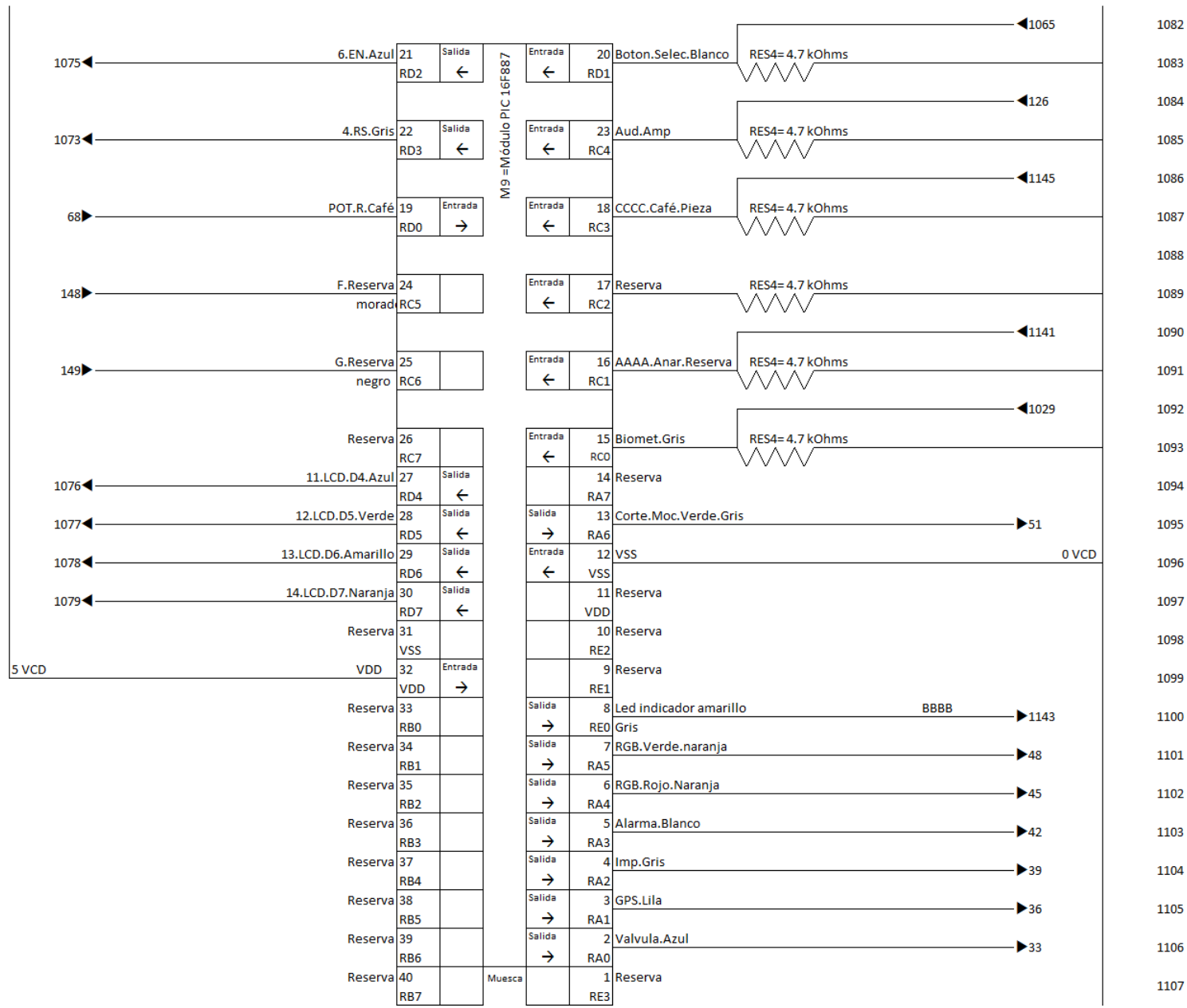
APÉNDICE I: DIAGRAMAS ELÉCTRICOS



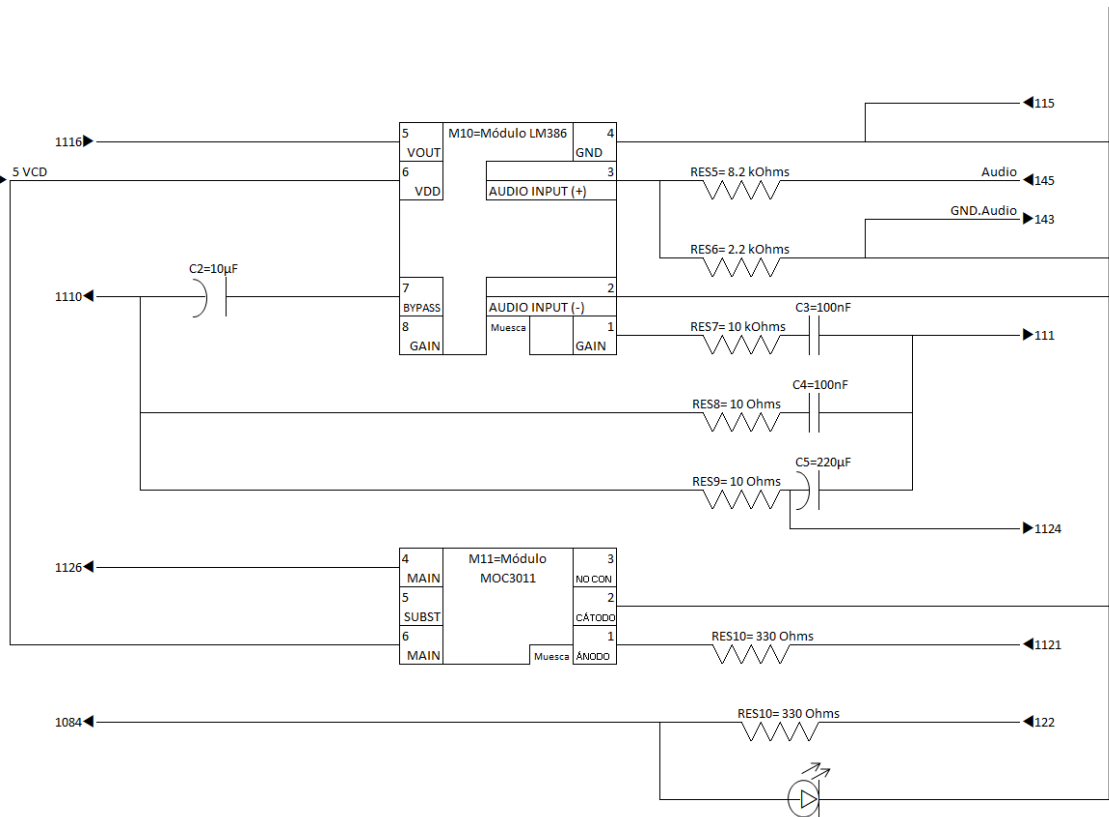




82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107



108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139



1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139

Vpp	9	M12=DB9 hembra (vista desde fuera del gabinete del controlador)	5	Reserva
VDD	8		4	Reserva
VSS	7	Pickit3	3	Reserva
Data	6		2	Reserva
			1	Clock

