

**UNIVERSIDAD
PANAMERICANA**

ESCUELA DE INGENIERÍA

**SISTEMA AUTOMÁTICO DE INSPECCIÓN MEDIANTE VISIÓN
POR COMPUTADORA**

TESIS
QUE PRESENTA

IVAN CESAR PALACIOS AGUAYO

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN INGENIERÍA

CON RECONOCIMIENTO DE VALIDEZ OFICIAL DE ESTUDIOS DE LA
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA, DE ACUERDO CON EL NO. 2007575 DE
FECHA 29 DE JUNIO 2007

DIRECTOR DE TESIS

DR. RAMIRO VELAZQUEZ GUERRERO

AGUASCALIENTES, AGS., MAYO DE 2015

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, fuente de apoyo y motivación constante e incondicional durante mi crecimiento profesional, en especial durante el desarrollo de esta tesis donde me ausente largas horas de su compañía.

A la memoria de Adrian, quien en vida me enseñó a valorar la vida y el tiempo de convivencia en familia, a luchar en todo momento ante las adversidades y a encontrar tenacidad para buscar y conseguir las metas.

A mis padres quienes siempre me motivaron a crecer profesionalmente y llevar a término esta tesis.

Biblioteca UP Aguascalientes

TABLA DE CONTENIDOS

Introducción.....	10
1 Planteamiento del Problema.....	12
1.1 Antecedentes	13
1.2 Problemática	18
1.3 Objetivos	23
1.4 Justificación	25
2 Marco Teórico.....	27
2.1 Fundamentos de imágenes digitales	28
2.1.1 Adquisición de la imagen	28
2.1.2 Digitalización y representación de la imagen.....	29
2.1.3 Resolución de imagen	31
2.2 Mejoramiento/preprocesado de imágenes en sistemas de visión.....	32
2.2.1 Negativo de imagen	32
2.2.2 Transformaciones logarítmicas	32
2.2.3 Transformación de potencias (Corrección gamma)	33
2.2.4 Ecuilización de histograma	34
2.3 Morfología	34
2.3.1 Erosión y dilatación.....	34

2.3.2	Funciones abriendo y cerrando	36
2.3.3	Transformación “hit - miss”	37
2.3.4	Extracción de limites (contornos).....	38
2.4	Iluminación y óptica.....	38
2.4.1	Técnicas de iluminación.....	38
2.4.2	Tipos de iluminación	40
2.4.3	Lentes (óptica)	43
3	Metodología y Desarrollo del Proyecto	46
3.1	Diseño de la investigación	47
3.2	Población y muestra.....	47
3.3	Instrumentos y técnicas de análisis	48
3.4	Datos de identificación.....	49
3.5	Análisis situacional o diagnostico.....	50
3.6	Descripción del proyecto.....	52
3.6.1	Concepto inicial.....	52
3.6.2	Investigación de fabricantes/distribuidores	53
3.6.3	Identificación de especificaciones del sistema de inspección	53
3.6.4	Pruebas del concepto en prototipo 1	54
3.6.5	Identificación de componentes complementarios	55
3.6.6	Diseño del circuito lógico y eléctrico	57

3.6.7	Diseño mecánico de partes	57
3.6.8	Fabricación y Ensamble.....	58
3.6.9	Diseño y elaboración del software de control	58
3.6.10	Creación de sub-rutinas de inspección	60
3.6.11	Revisión inicial de funcionamiento	71
3.6.12	Pruebas de operación y corrección de errores	72
3.6.13	Elaboración del plan de validación.....	72
3.6.14	Ejecución y análisis de la validación	73
3.6.15	Entrenamiento y puesta en operación	73
3.7	Indicadores de evaluación del proyecto	74
4	Resultados.....	75
4.1	Validación del equipo	76
4.1.1	Repetitividad y reproducibilidad por atributos	76
4.1.2	Repetitividad y reproducibilidad de inspección por Operador	79
4.1.3	Tiempo ciclo promedio del equipo	80
4.2	Acciones posteriores a la validación	81
4.2.1	Selección de inspecciones a implementar en producción.....	81
4.2.2	Primeros resultados del equipo en producción	82
5	Conclusiones	84
6	Referencias	86

7 Anexos..... 88

Biblioteca UP Aguascalientes

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Diferentes interruptores de corriente Airpax®.	22
Fig. 2.1 Adquisición de la imagen.	28
Fig. 2.2 Elemento individual de un sensor de imagen.	28
Fig. 2.3 Proceso de adquisición de imágenes digitales.	29
Fig. 2.4 Imagen digitalizada y su representación numérica y matemática.	30
Fig. 2.5 Corrección de gamma γ	33
Fig. 2.6 a) Efectos de erosión b) Efectos de dilatación.	35
Fig. 2.7 Funciones abriendo y cerrando paso a paso.	36
Fig. 2.8 Aplicación de transformación hit-miss.	37
Fig. 2.9 Obtención de contornos.	38
Fig. 2.10 a), b), c), d), e), f), y g) Tipos de iluminación.	40
Fig. 2.11 Longitudes de Onda para LEDs de diferentes colores.	41
Fig. 2.12 Longitud de onda luz fluorescente compara otros tipos de luz.	42
Fig. 2.13 Distancia focal.	43
Fig. 2.14 Distancia focal, parámetros para cálculo.	44
Fig. 3.1 Organigrama área interruptores de corriente.	49
Fig. 3.2 Concepto de sistema de inspección semiautomático.	52
Fig. 3.3 Primer prototipo, y prueba del concepto.	55
Fig. 3.4 Diseño de máquina para inspección.	57
Fig. 3.5 Ensamble de elementos para el sistema de visión.	58
Fig. 3.6 Interfaz de operación para operador.	59

Fig. 3.7 Estructura principal del programa.....	60
Fig. 3.8a VI LabView para identificación de cara frontal de remaches.	61
Fig. 3.8b Secuencia de imágenes en inspección cara frontal de remaches... 61	
Fig. 3.9a VI LabView para inspección de remaches en cara posterior.....	62
Fig. 3.9b Secuencia de imágenes en inspección remaches cara posterior....	62
Fig. 3.10a VI LabView para identificación de arcos disipadores.	63
Fig. 3.10b Secuencia de imágenes en proceso de pieza ejemplo.	63
Fig. 3.11a VI LabView para detección de insertos negros.	64
Fig. 3.11b Secuencia de imágenes y resultado ejemplo.	64
Fig. 3.12 VI LabView para elevar el contraste de la imagen.	65
Fig. 3.13 VI LabView para identificar etiqueta y su ángulo.....	65
Fig. 3.14 Secuencia de imágenes para resaltar terminales e imagen patrón. 66	
Fig. 3.15 VI LabView para inspección de tipo de terminal.....	66
Fig. 3.16 Resultado final de inspección por tipo de terminal.	67
Fig. 3.17 Secuencia de imágenes identificación de switch auxiliar.	67
Fig. 3.18 VI LabView para identificación de switch auxiliar.	68
Fig. 3.19 Secuencia de imágenes para localizar etiquetas “UR”.....	68
Fig. 3.20 VI LabView para identificación de etiquetas “UR” y “UL”.....	69
Fig 3.21 VI LabView inspección de modelo y aplicación de contraste.	69
Fig. 3.22 VI LabView “sub seek model” paso a) y b);	70
Fig. 3.23 VI LabView “sub seek model”, aplicación de OCR y comparación.. 71	
Fig. 3.24 Secuencia de imágenes para identificar número de parte.	71
Fig. 4.1 a) – d) Resultados aceptables del Gage R&R.....	76

Fig. 4.1e) – i) Resultados aceptables del Gage R&R.....	77
Fig. 4.2 Resultados no aceptables del Gage R&R.....	78
Fig. 4.3 Resultado GR&R del total de características vs. estándar.....	79
Fig. 4.4 Resultado GR&R para Operadores de inspección.....	80
Fig. 4.5 Tiempo promedio de inspección.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Distancia mínima para lentes usando tubos de extensión.	45
Tabla 3.1 Características requeridas para inspección	56
Tabla 4.1 Características requeridas para inspección al cierre del proyecto.	83

Biblioteca UP Aguascalientes

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de visión por computadora son ampliamente usados en diferentes sectores como la industria, la biología y microscopia, medicina, sistemas de reconocimiento de personas y control de tráfico, sistemas de inspección y transporte de equipaje, incluso existen aplicaciones en el deporte, parques temáticos, vehículos autónomos o robots y ayuda a personas con alguna discapacidad física.

Dentro de la industria existe un creciente mercado para el uso de sistemas de visión por computadora, los principales usos son en la industria automotriz, electrónica, envases y embalaje, alimentación, farmacéutica, aeronáutica, metalurgia, cerámica entre los principales, sin embargo pueden ser usados en cualquier proceso de manufactura.

Las aplicaciones en las que se utilizan principalmente dichos sistemas son el control de calidad, aunque existen cada vez más aplicaciones en campos como los robots autónomos; la rastreabilidad de productos ya sea usando tecnologías de reconocimiento de caracteres o lectura de códigos de barra o 2D; y la medición de alta precisión, entre otras.

Esta tesis está enfocada en la aplicación de un sistema de visión en la industria de componentes eléctricos y está estructurada en 5 capítulos desarrollados de la siguiente manera:

El capítulo 1 presenta una breve historia de los sistemas de visión para inspección en la industria, posteriormente detalla el problema a resolver así como la justificación para el desarrollo del proyecto.

El capítulo 2 introduce el aspecto teórico en el tratamiento de imágenes digitales así como también la importancia en la selección de iluminación y óptica adecuada para el proyecto.

El capítulo 3 detalla la metodología usada para el desarrollo de la tesis, posteriormente cada aspecto del desarrollo del proyecto, desde su concepción y ejecución hasta la puesta en marcha del sistema.

Finalmente el capítulo 4 muestra los resultados obtenidos durante las pruebas de validación y arranque así como las conclusiones finales.

Biblioteca UP Ajustalientes

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Sistemas de visión y su aplicación en la industria para inspección

En este primer capítulo se describirán antecedentes de los sistemas de visión abordando historia y aplicación en la industria para fijar una referencia al lector antes de introducirse a los detalles de este desarrollo. Enseguida se presenta la descripción de problema industrial al que se buscará una solución con un sistema de visión adaptable. Posteriormente enmarcamos los objetivos para el desarrollo del sistema de visión descrito en este trabajo, así como la justificación para llevarla a la fabricación e implementación.

Biblioteca UP Aguascalientes

1.1 Antecedentes

En la actualidad el uso de los sistemas de visión se ha popularizado debido a los avances tecnológicos, procesadores más rápidos y eficientes, cámaras de precio accesible, alta resolución y alta velocidad, así como software y algoritmos ya desarrollados y probados que facilitan la implementación de los sistemas de visión en la industria.

En la década de los 70's los sistemas de visión eran analógicos y muy costosos, solo eran aplicables a equipos altamente automatizados con grandes volúmenes de producción donde la inversión podía ser recuperada, los sistemas eran hechos a la medida por lo que solo el desarrollador podía realizar actualizaciones y/o cambios mayores al sistema, creando también dependencia; adicional era necesario hardware especializado. Cada sistema solo realizaba la inspección de una característica, dada la limitada capacidad aumentando el costo si se requerían varias características a verificar.

A partir de la década de los 80's el procesamiento de imágenes y los sistemas de visión se convierten en un campo de estudio en las universidades, también en esta década aparecen los primeros sistemas en escala de grises con procesador de imágenes. Al final de la década los fabricantes de equipo ya cuentan con cámaras para aplicaciones industriales.¹

¹ Industrial Vision Systems Ltd and NeuroCheck GmbH (2011) *History of machine vision*. (Visitado el 12/10/2012) Disponible en: <http://www.machinevision.co.uk/#/history-of-machine-vision/4550697639>

Para los 90's se da el crecimiento masivo de la industria alimentado por el desarrollo de los semiconductores y la electrónica. Los avances tecnológicos en esta década permiten el desarrollo de cámaras inteligentes con chips para procesamiento de imágenes. Se acelera el uso de la tecnología estandarizada de PC y sistema operativo Windows®. Por último, se inicia el uso de algoritmos y el desarrollo de interfaces graficas más amigables para la programación dentro de la industria.¹

En la década del 2000, "GigE camera Technology" (Estándar de comunicación para sistemas de visión) se une al estándar "FireWire (IEEE 1394, high performance serial bus)" los cuales son usados extensamente en la industria, a la par, las cámaras digitales pueden incluir chips inteligentes a buen costo. En esta década también se incrementa el uso de los sistemas de visión para interpretación de códigos de barra y datamatrix.¹

Los sistemas de visión se han convertido en pieza clave en la manufactura y control de calidad de las empresas modernas; los sistemas miden, seleccionan partes por su color, forma o apariencia, comparan con una imagen de referencia o interpretan caracteres, códigos 1D o 2D todo en tiempo real sin la necesidad de intervención humana. Estos sistemas pueden constar de una o varias cámaras trabajando e interpretando en conjunto o independientemente ya sea para retroalimentar, posicionar un robot o solo para aceptar/rechazar un producto.²

² Industrial Vision Systems Ltd and NeuroCheck GmbH (2011) *What is machine vision?*. (Visitado el 12/10/2012) Disponible en: <http://www.machinevision.co.uk/#>

Los sistemas de visión aplicados en la industria y que se conocen como “Machine Vision”, no solo se componen de la cámara y la computadora, requieren además del uso de otras ramas de la ingeniería ya que existen otras variables que deben ser consideradas para la correcta operación de los mismos; por citar las principales áreas involucradas en un sistema tenemos: iluminación, óptica, sensores, electrónica (digital y analógica), procesamiento de señales, procesamiento de imágenes, arquitectura de sistemas digitales, software, ingeniería industrial, interfaces humano-computadora, sistemas de control, manufactura, control de calidad, etc. Otro punto importante es que es probable que algunos sistemas no cuenten con computadora; dados los avances tecnológicos el procesamiento de la imagen podría realizarse en hardware especializado ya sea electrónico y/o óptico.³

Existe una seria discusión en el tema ya sea si se trata de sistemas de visión de máquinas (Machine Visión), visión por computadora (Computer Visión) o procesamiento digital de imágenes por computadora (Digital Image Processing), estos tres temas comparten términos conceptos y técnicas de algoritmos; sin embargo nuestro enfoque estará en la visión de máquinas donde lo primordial es identificar si una pieza en particular cumple con una serie de especificaciones para determinar si es aceptable, corresponde a producto a, b, c, etc. o es defectuosa; mientras tanto la visión por computadora va más allá, trata de determinar qué es lo que tenemos en una imagen particular. Por citar dos ejemplos, la visión por computadora ayuda a determinar si existen o no células cancerosas en medicina y

³ Batchelor, B.G. (2012) *Machine Vision Hand Book*. London Springer. <http://www.springerlink.com/content/978-1-84996-169-1#section=1040403&page=7&locus=72>

ayuda a identificar objetivos militares. Como ejemplos de la visión de maquinas están el identificar si un circuito integrado cuenta con todos sus componentes y también si una moneda tiene el estampado en ambos lados.³

Actualmente en la industria todos los sistemas de visión del mercado son digitales, los costos han sido reducidos dramáticamente, cuando en el pasado un equipo promedio rondaba en los \$40,000 dólares hoy en día se pueden conseguir sistemas de menos de \$1,000; otra gran diferencia es la simplicidad. El más simple es la cámara inteligente, donde todo el sistema de visión está en un solo dispositivo. Los equipos más completos cuentan con varias cámaras, las cuales pueden ser de tonos de gris, color, alta resolución, luz infrarroja o rayos x; almacenaje y/o comunicación a través de redes de manera sencilla. Por último una ventaja más de los sistemas actuales es referente a la complejidad, anteriormente se requería de un experto en automatización y/o visión para implementar estos sistemas de visión, actualmente para muchos sistemas, no se requiere del experto en visión, dada la facilidad de instalación y fácil manejo del software; claro está que los expertos seguirán siendo requeridos en el desarrollo de los sistemas complejos.⁴

Los elementos para crear la mayoría de los sistema de visión son los siguientes: posicionamiento de la parte a inspeccionar incluyendo sensor de pieza presente, la fuente de luz adecuada para la aplicación, la lente, una o más cámaras,

⁴ Bangert M. (2006) Profile: The Evolution of Machine Vision. *Quality Magazine*. (Visitado el 13/10/2012) Disponible en: <http://www.qualitymag.com/articles/90345-profile-the-evolution-of-machine-vision>

el procesador de visión, una interfaz a proceso, y el control de movimiento o manipulación de la pieza.⁵

Dentro de estos elementos, se deben tener en cuenta algunas características importantes como son la resolución de la cámara, el tipo de sensor de la cámara CCD (“charged coupled device”) o CMOS (“complementary metal oxide semiconductor) si se trata de color o escala de grises, velocidad (cuadros por segundo), tipo y frecuencia de la luz, el filtro óptico que se usará con el lente, memoria y capacidad del procesador para las imágenes, el tipo de comunicación que tendrá el procesador con otros elementos de control, ya sea un PLC (“programmable logic controler”), una interfaz grafica y/o comunicación con otro elemento de control a través de una red; otro punto importante es la interfaz que tendrá la cámara con el procesador.

Dentro de las interfaces de comunicación entre cámaras digitales y controladores, las más comunes son los siguientes: FireWire (IEEE 1394), GigE y cameralink (estándar de interfaz para cámaras digitales), existen otros, sin embargo éstos son los más comerciales por el momento. Detallando cada uno de éstos tenemos que la interfaz FireWire puede transmitir imágenes hasta 800Mbps lo cual equivale a una cámara de 2 mega pixeles trabajando a 5 fps (cuadros por segundo), sin embargo tiene la limitante de la longitud del cable a 4.5 metros; para el caso de

⁵ DALSA (2009) *Machine Vision and Process Control*. (Visitado el 13/10/2012) Disponible en: http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=parts%20of%20a%20machine%20vision%20system&source=web&cd=8&cad=rja&ved=0CF0QFjAH&url=http%3A%2F%2Fwww.teledyne.com%2Fpublic%2Fipd%2Fwhitepapers%2Fmv_pr.pdf&ei=Sz96UKebCITuyAG124HqDw&usg=AFQjCNFRg joc7a5aPY2MqKWfN1C8IUZk2A

GigE este estándar puede transmitir imágenes hasta 1Gbps a una distancia de cable equivalente a 100m; para el caso de cameralink puede transmitir hasta 6Gbps (usando dos cables) a distancias de 10 metros, lo cual normalmente cumple la mayoría de las aplicaciones industriales sin embargo esta interfaz requiere de un grabador de imágenes (frame grabber) y cables especiales lo cual eleva el costo del sistema.⁶

Finalmente, los sistemas de visión actuales tienen la capacidad de garantizar inspección al 100% de las partes de una o varias características, alertando para la segregación de partes defectuosas pero a su vez también tomar mediciones de los procesos para llevar un control estadístico automatizado y poder hacer ajustes antes de producir piezas defectuosas. Por otro lado existe una gran variedad de productos de visión para uso en todo tipo de industria los cuales se ajustan prácticamente a cualquier aplicación de inspección.⁷

1.2 Problemática

Dentro de cualquier proceso de manufactura existe la posibilidad de generar defectos en los productos, estos se crean por un sinnúmero de situaciones dentro del

⁶ B. Grey (2011) *Trends in machine vision cameras* (Visitado el 14/10/2012) Disponible en: <http://machinevision4users.blogspot.mx/2011/09/trends-in-machine-vision-cameras.html>

⁷ Roszkowski R. (2010) *Vision Systems Add Accuracy*. *Quality Magazine*. (Visitado el 14/10/2012) Disponible en: <http://www.qualitymag.com/articles/89477-vision-systems-add-accuracy>

proceso por lo cual los ingenieros eligen el considerar inspecciones dentro de la manufactura de los productos.

La inspección visual da certidumbre al fabricante de cualquier producto, al sentir la confianza de que alguien vió el producto antes de que éste fuera empacado y embarcado desde la planta de manufactura; incluso algunos fabricantes incluyen en sus productos un sello y/o leyenda con el nombre o clave de la persona que inspeccionó el producto.

No es la excepción para la empresa de sensores y controles donde se desarrolla el proyecto, donde cada línea de producción cuenta con una inspección final realizada al 100% de los productos de cada línea, dependiendo de la complejidad, características y tamaño del producto, la inspección consta de al menos un punto a verificar hasta una cantidad incontable de puntos a verificar.

Se puede asumir que al revisar un producto el inspector será capaz de identificar defectos que incluso no habían sido considerados o imaginados por los ingenieros. Pero la realidad es diferente, las inspecciones son realizadas por personas, donde cada uno tiene habilidades y conocimientos diferentes, por lo que un defecto determinado para una persona es aceptable sin embargo para otra no lo es. A estas diferencias las conocemos como diferencias en los criterios de inspección.

La forma de compensar y tratar de que todos los inspectores tomen aproximadamente la misma decisión es ayudándolos con entrenamiento y ayudas visuales, donde se les entrena a comparar lo que ven contra una referencia

fotográfica de lo que es considerado un límite de aceptación, este criterio se enriquece con alguna leyenda indicando por ejemplo el número máximo de rayones permitidos o el número máximo de burbujas visibles en una resina.

El problema de este método es que continuamente los criterios sufren actualización al agregar características nuevas, creando un sinfín de características que el inspector debe buscar y encontrar con la limitante del tiempo que debe dedicar a la inspección ya que siempre existe la presión por inspeccionar más piezas. Incluso la persona mejor entrenada será incapaz de recordar todos los criterios con precisión al inspeccionar una pieza, dando la oportunidad para que una pieza defectuosa escape al proceso de revisión.

Otro factor que afecta la calidad de los productos es la variación en la referencia. En éste los inspectores son susceptibles de cambiar los criterios haciéndolos más suaves o más estrictos sin darse cuenta. Por lo general cuando existe presión sobre el inspector para terminar con prontitud se da un ablandamiento de los criterios; por citar algunos ejemplos el producir más piezas, la cercanía al cierre de turno, la cercanía al horario de comedor, etc., por el contrario, cuando la presión se da hacia la calidad los criterios tienden a endurecerse, por dar un ejemplo si se da el caso de rechazo de producto, o cuando existe alguna llamada de atención al inspector.

Un problema para la empresa que genera esta situación de variación es el costo, en un momento dado pueden estar re-trabajando y/o desperdiciando producto sin ser necesario y por otro lado el riesgo de dejar escapar una característica

inaceptable al cliente, el cual también creará un costo por sorteo y/o remplazo de producto.

Existen factores adicionales que también crean variaciones, por ejemplo el conocido como ceguera de taller, en éste después de varias horas de estar inspeccionando el mismo producto, el cerebro humano deja de notar diferencias y entra en un ciclo donde solo ve cambios de pieza, pero todas las piezas son iguales, en este momento se da el riesgo de dejar pasar productos defectuosos. Otros factores adicionales también se dan por el mal manejo de materiales que se pudiera tener en las operaciones al no diferenciar claramente de lugar las piezas ya inspeccionadas de las no inspeccionadas.

Un último factor a mencionar es la variación de los productos, cuando en una línea de producción se tiene una cantidad pequeña de productos diferentes, a un inspector entrenado no les será difícil recordar las diferencias a las que hay que poner atención entre los diferentes productos; sin embargo cuando se tienen cientos de productos entre los cuales existen pequeñas diferencias entre cada uno, se vuelve todo un reto para los inspectores el poder diferenciar piezas defectuosas de las piezas aceptables.

En esta investigación analizamos un área de manufactura donde existen miles de productos o números de parte y donde existen mínimas diferencias entre éstos.

Los Interruptores de corriente Airpax®, son en su mayoría de color negro, con dimensiones iguales o muy similares entre sí, la principal diferencia entre estos radica en la corriente nominal a la que opera, esta diferencia se hace notar en la

etiqueta de producto, otras diferencias radican en el tipo o color de palanca, tipo de terminales, numero de polos y si cuentan o no con interruptor auxiliar. Ver Fig. 1.1

Fuente: www.airpax.net.



Fig. 1.1 Diferentes interruptores de corriente Airpax®.

Como se describió anteriormente, este producto cuenta con diferentes inspecciones visuales en diferentes puntos del proceso, sin embargo la más importante es la final, en ésta se verifican todas las características externas, así como la etiqueta del mismo contra la orden de producción, es todo un reto lograr una inspección detallada al 100% de cada punto en el 100% de las piezas.

Dentro de algunos de los puntos a verificar en este tipo de interruptores se incluyen fracturas en las carcasas (plásticos envolventes), fracturas en las palancas, color de la palanca, golpes en terminales, terminales correctas (existen diferentes tipos según la corriente), tornillería, ya sea que la lleve o no la lleve según el requerimiento, si lleva tornillería que esté completa, es decir que no le falte o sobren tuercas y/o rondanas y/o tornillos, que tenga presente los insertos, la orientación del interruptor auxiliar si está incluido, etc.

En realidad dada la complejidad del producto, la inspección se realiza usando un método de comparación, en este método los inspectores juntan un grupo de interruptores, los colocan en línea y comienzan a buscar diferencias entre los mismos, los giran por cada una de las caras hasta terminar, al revisar las caras con etiqueta, revisan con más detalle el número de parte.

Se trata de una situación compleja, los principales reclamos de cliente interno y externo en los últimos 3 años han sido por ensambles incorrectos y faltantes de componentes; estos recaen en las pequeñas diferencias que tienen los productos entre sí o en el olvido de colocar un componente.

1.3 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es crear un sistema automático para la detección y segregación de piezas no conformantes, a través del uso de cámaras digitales y software capaz de identificar los principales defectos conocidos en piezas inspeccionadas, este sistema contará con las siguientes características:

- Interfaz gráfica para usuario de fácil interpretación y manejo amigable.
- Configuración automática del sistema al inicio de cada lote de manufactura a través de la lectura de la hoja viajera del lote.
- Contar con una base de datos de todos los productos, y recetas de inspecciones que requiere cada producto.

- Al encontrar no conformidades, el sistema listará el o los defectos encontrados permitiendo al operador del sistema aceptar solo las piezas que cumplen con los criterios establecidos en las recetas de inspecciones.
- La pieza a inspeccionar rotará frente a la(s) cámara(s) para la captura de todas las caras, la inspección se realizará en 5 de las 6 caras con las que cuenta.

Un objetivo primordial esperado con la implementación de los sistemas automáticos es la reducción de los eventos de calidad tanto internos como externos que caen en las clasificaciones de ensambles incorrectos con subcategorías insertos incorrectos, error en interruptor auxiliar, errores en tornillería así como en la clasificación de faltante de componentes con subcategorías faltante de etiquetas, faltante de componentes o tornillería. La reducción esperada es de al menos un 90%, así como una mejora en las partes por millón (PPM) de las líneas afectas a menos 50 ppm.

Por la parte del costo, se tiene el objetivo de reducir los tiempos de inspección, así como mejorar la productividad. Referente a la inversión, la expectativa es tener un retorno de inversión (ROI) no mayor a 2.5 años.

Durante la ejecución del proyecto, se desarrollarán habilidades en programación para sistemas de visión, usando software especializado, también se evaluarán y estudiarán diferentes técnicas de filtrado, morfología y segmentación las cuales son la base del software para la identificación de las piezas conformantes y

las no conformantes. También se usarán conceptos de óptica e iluminación, por lo que se desarrollarán habilidades básicas en estas áreas.

Un último objetivo es duplicar el sistema a las diferentes líneas de manufactura y productos de los interruptores Airpax®, así como establecer bases estandarizadas para aplicar los conceptos en otras unidades de negocio dentro la empresa.

1.4 Justificación

La implementación del sistema propuesto tiene particular importancia debido a la necesidad de mejorar el desempeño de calidad externa dado que los clientes finales no están dispuestos a seguir aceptando defectos dentro de estas categorías. Adicionalmente, el llevar una administración de defectos internos tiene un alto costo para la organización, por la gran cantidad de inspecciones, re trabajos y tiempo que esto conlleva. El sistema logrará una identificación temprana de los defectos, eliminando los costos de rechazos internos y la mala imagen con los clientes finales.

Dada la alta rotación de operadores y el comportamiento de los volúmenes de producción de temporada, se presenta la situación de operadores con poca habilidad y experiencia, aunado a los procesos altamente manuales y dependientes del operador que generan excursiones de defectos, principalmente en los que se refiere este trabajo de tesis. El sistema de visión dará una mejora inmediata en los resultados de calidad tanto externos con cliente, como internos; una vez contenida

la situación, dará tiempo a los equipos de manufactura para trabajar posteriormente en las razones que crean los defectos.

Una de las principales ventajas esperadas de usar un sistema automático, es que una vez estén programados los criterios, estos tendrán mínimas variaciones y la repetitividad será entre excelente y aceptable. Dado que los métodos a utilizar son métodos matemáticos donde se definen límites de aceptación, se tendrá mayor exactitud para diferenciar las piezas buenas de las malas.

Otra ventaja significativa es el número de características a inspeccionar, mientras un inspector promedio solo tendrá presente un número limitado de características, en el sistema automático se podrán programar tantas como sean necesarios, siendo la única limitante el tiempo de inspección total que se incrementará algunos milisegundos.

Al contar con una base de datos de las diferentes inspecciones y productos, el realizar un cambio de modelo en el sistema será un proceso sencillo a diferencia de otros sistemas o métodos.

Al contar con el sistema automático de inspección, se logrará realizar un nuevo rebalanceo de las operaciones el cual llevará a mejoras en la productividad de las líneas de producción.

Al comparar los beneficios que arroja tanto en calidad, costo y sencillez se hace constar que son más los beneficios que los puntos en contra y por consiguiente viable para su ejecución inmediata.

2 MARCO TEÓRICO

Obtención de imágenes digitales y su procesamiento

En este capítulo abordaremos en primera instancia los fundamentos de imágenes digitales que darán claro entendimiento al lector del tema. En segunda instancia se aborda el preprocesado de imágenes seguido de la morfología aplicada a las imágenes, para comprender los procesos a los que se someterán las piezas inspeccionadas. Finalmente se discute la iluminación y óptica, parte clave en la obtención de imágenes de calidad, nítidas y de alto contraste.

Biblioteca UP Aguascalientes

2.1 Fundamentos de imágenes digitales

2.1.1 Adquisición de la imagen

La generación de una imagen digital en una cámara (dentro del espectro electromagnético visible) comienza por absorción de energía en un material sensible a la luz, este material es la base del sensor dentro de la cámara y es quien absorbe la energía resultante de la combinación de una fuente de iluminación y una reflexión creada por algún objeto, de manera similar al ojo humano. Ver Fig. 2.1

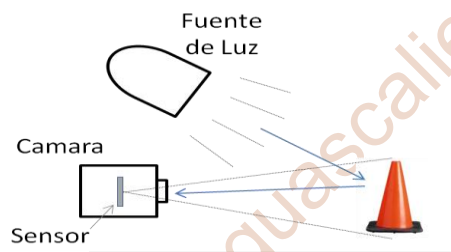


Fig. 2.1 Adquisición de la imagen.

La energía absorbida por el sensor es transformada en una señal de voltaje mediante la combinación de un voltaje con el que se alimenta el sensor y la reacción del material que responde al tipo particular de energía detectada, la combinación de estos factores crea una señal de voltaje que se digitaliza posteriormente. Ver Fig. 2.2

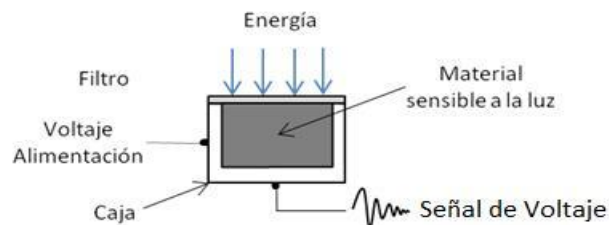


Fig. 2.2 Elemento individual de un sensor de imagen.

Un sensor dentro de la cámara digital es formado por un grupo de elementos, estos pueden ser desde una línea de elementos o una malla de elementos, cada elemento en una cámara digital representará un pixel, por lo que una cámara de 640X480 pixeles tendrá 307200 elementos en su sensor y cada elemento generará una señal de voltaje que representa una sección particular de la imagen. El conjunto de los valores de voltaje de cada elemento forman una imagen.

2.1.2 Digitalización y representación de la imagen.

El proceso de digitalización comienza en el sensor de la cámara digital, la forma de representarlo es por medio de un plano imaginario, dentro de él se traza una malla imaginaria y cada cuadro de la malla es la representación de cada elemento en el sensor de la cámara, esta malla produce salidas proporcionales a la integral de la luz recibida por cada elemento del sensor; la circuitería del sensor genera una matriz de datos que representa los valores de voltaje de cada elemento y la imagen completa obtenida por la cámara, este proceso se puede apreciar en la

Fig. 2.3

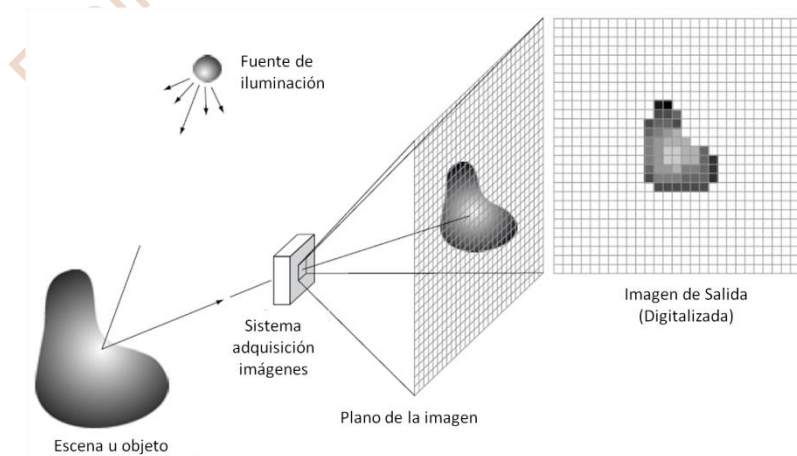


Fig. 2.3 Proceso de adquisición de imágenes digitales.

Dado que la malla representada es un plano, la imagen por consiguiente representa una imagen de una escena en 2D, la forma de representarla matemáticamente es una función de la forma $f(x, y)$ el valor o amplitud de f en las coordenadas espaciales (x, y) en un valor positivo finito y es determinado por la escena a capturar, donde los valores de cada coordenada dependen de la intensidad de gris, donde negro es representado por 0 y blanco por el valor máximo de la intensidad. Ver Fig. 2.4

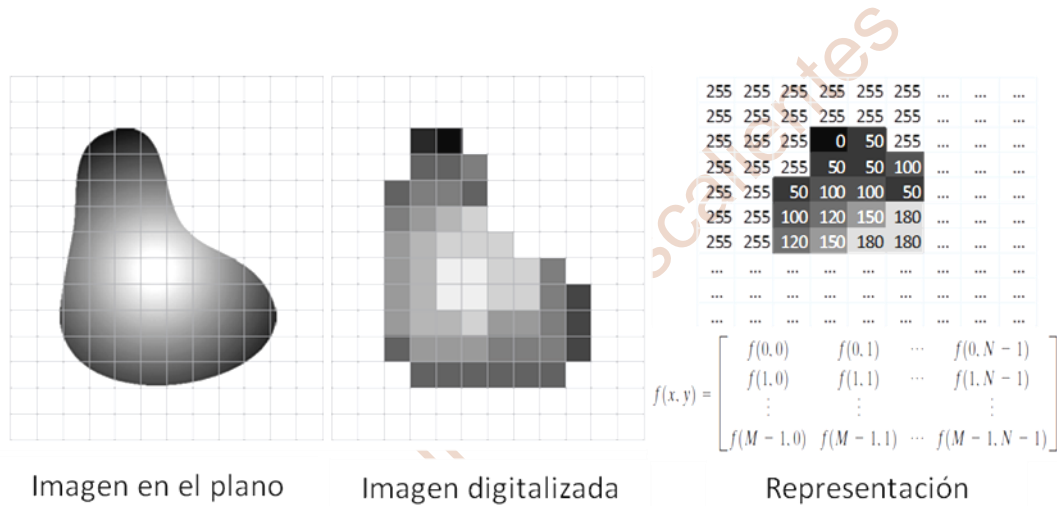


Fig. 2.4 Imagen digitalizada y su representación numérica y matemática.

En imágenes digitales, la intensidad es típicamente representada por números enteros donde cada número representa un valor de la escala de grises entre negro y blanco y la cantidad grises disponibles depende del número de bits de la imagen, por práctica común representado por " $2^{(k)}$ bits". Una imagen de 2 bits, solo tendrá disponibles los valores de intensidad 0 y 1 que representan negro y blanco

respectivamente; mientras una imagen de 8 bits tendrá 256 posibles valores de intensidad, siendo 0 el negro y 255 el blanco⁸.

2.1.3 Resolución de imagen

La forma de determinar la calidad de una fotografía digital es a través de la resolución, existen varios conceptos de resolución. La resolución de una cámara es determinada por la cantidad de elementos del sensor o pixeles del sensor y típicamente se expresa en mega pixeles, por ejemplo una cámara de 20 mega pixeles tendrá más capacidad de definir mas detalles comparándola con una cámara de 8 mega pixeles asumiendo que ambas cámaras tienen lentes equivalentes. Aunado al total de pixeles, las cámaras y las fotografías tienen un ancho y alto que definen la formación de pixeles en columnas y líneas, una imagen de 1024X1024 pixeles tendrá 1 mega pixeles en cámaras de escalas de grises. Otro concepto de resolución se refiere a la intensidad de gris o color de cada pixel, este concepto se explica en la sección 2.1.2. Al imprimir una imagen o visualizarla existe otro concepto de resolución, éste se refiere al número de pixeles que se imprimirán/visualizarán por cada unidad de medida, este se le conoce en Estados Unidos y otros países como dpi (puntos por pulgada del ingles “dots per inch”) la impresión típica de un periódico se realiza por ejemplo a 75 dpi, mientras una revista a 133 dpi, un folleto lúcido en 175 dpi.⁹

⁸ Gonzalez R.C. (2008) Digital Image Fundamentals. En *Digital Image Processing*. 3a edición. Saddle River N.J. Pearson Prentice Hall. 55-58

⁹ Gonzalez R.C. (2008) Digital Image Fundamentals. En *Digital Image Processing*. 3a edición. Saddle River N.J. Pearson Prentice Hall. 59-60

2.2 Mejoramiento/preprocesado de imágenes en sistemas de visión

En todo sistema de visión, después de la adquisición de la imagen se consideran típicamente 4 pasos, el primero es mejoramiento y/o preprocesado de la imagen, donde se generan imágenes a partir de la original que contienen solo la información necesaria; el segundo segmentación, donde se separan los objetos de interés en grupos; el tercero extracción de características donde se obtiene la información o mediciones de cada grupo o imagen; y finalmente clasificación e interpretación de los datos, donde los datos computados se compraran con los estándares conocidos obteniendo el resultado final¹⁰.

La siguiente sección detalla el mejoramiento y preprocesado de imagen.

2.2.1 Negativo de imagen

El negativo de una imagen se obtiene reemplazando el valor de cada pixel por su complemento en la escala de grises (0 a 255), es usado para mejorar detalles en blanco o gris dentro de regiones oscuras o negras de una imagen¹¹.

2.2.2 Transformaciones logarítmicas

Esta transformación mapea un rango estrecho en la entrada con valores de baja intensidad en un rango más amplio en la salida, ésta se usa para expandir los

¹⁰ Zuech N (2000) *Understanding and Applying Machine Vision* 2nd edition. New York. Marcel Dekker Inc. pp 167

¹¹ Gonzalez R.C. (2008) *Intensity Transformations and Spatial Filtering*. En *Digital Image Processing*. 3a edition. Saddle River N.J. Pearson Prentice Hall. pp 108-114

valores de pixeles oscuros mientras se comprimen los valores más altos de intensidad, el caso inverso sería la transformación de logaritmo inverso¹¹.

2.2.3 Transformación de potencias (Corrección gamma)

De igual forma, esta transformación expande los valores de pixeles oscuros a un más amplio rango de pixeles y es útil para manipular contrastes, en la Fig. 2.5 se puede apreciar un ejemplo, en el lado inferior izquierdo el valor de intensidad de salida y un valor de entrada haciendo intersección con una de las curvas para un valor de gamma, los valores de gamma menores a 1 aclaran la imagen y los valores mayores a 1 la oscurecen¹².

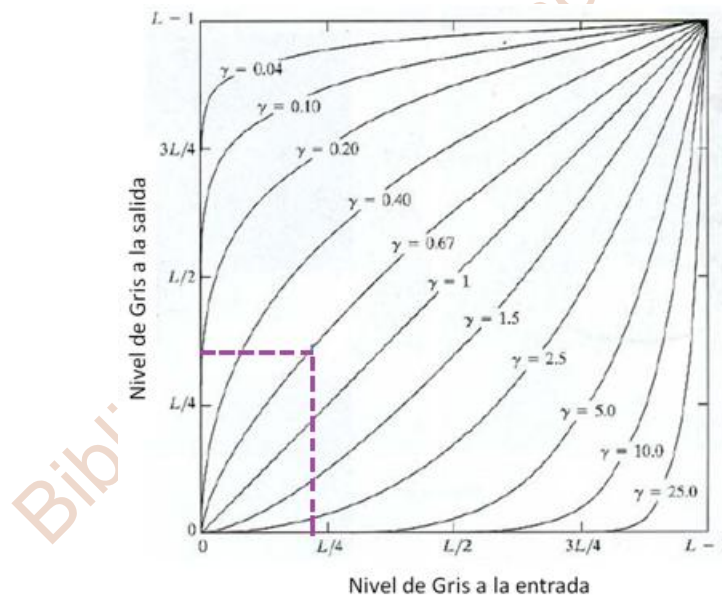


Fig. 2.5 Corrección de gamma γ ¹².

¹² Gonzalez R.C. (2008) Intensity Transformations and Spatial Filtering. En *Digital Image Processing*. 3a edición. Saddle River N.J. Pearson Prentice Hall. pp 111

2.2.4 Ecuación de histograma

La manipulación del histograma de una imagen puede ser usado para mejorarla, una imagen oscura, una imagen demasiado iluminada, o una imagen de bajo contraste pueden ajustarse a una imagen de alto contraste.

Este método altera los niveles de gris de los píxeles de manera que estén mejor distribuidos en la escala de grises. La ecualización puede limitarse a un intervalo de manera que solo estos estén distribuidos, dando realce a alguna característica de interés¹³.

2.3 Morfología

2.3.1 Erosión y dilatación

La erosión comprime o adelgaza una imagen al eliminar píxeles aislados en el fondo así como el contorno de grupos de píxeles de acuerdo al elemento estructural definido, el elemento estructural se define en una formación rectangular la cual pasa por toda la imagen, para entender el proceso nos posicionamos en un píxel P_0 donde el elemento estructural se centra en este píxel, creando una máscara donde los píxeles bajo esta se les denomina como P_i ,

Si el valor de P_i es igual a 0 entonces P_0 se hace 0, caso contrario se hace 1.

¹³ National Instruments Corporation (2005) Image Processing. *NI Vision IMAQ Vision Concepts Manual*. Austin TX. pp 5-8

Si todos los P_i son igual a 1 entonces P_0 se hace 1, caso contrario P_0 se hace 0.

La dilatación elimina pequeños orificios en grupos de píxeles y aumenta o engruesa los contornos de acuerdo al contorno definido por el elemento estructural, de igual forma que la erosión posicionando el elemento estructural centrado en un píxel el cual se denomina P_0 los demás elementos bajo la máscara son P_i^{14} ,

Si el valor de un P_i es igual a 1 entonces P_0 se hace 1, caso contrario P_0 se hace 1.

Si cualquier P_i es igual 1 entonces P_0 se hace 1, caso contrario P_0 se hace 0.

Para ver los efectos lo podremos apreciar en la Fig. 2.6

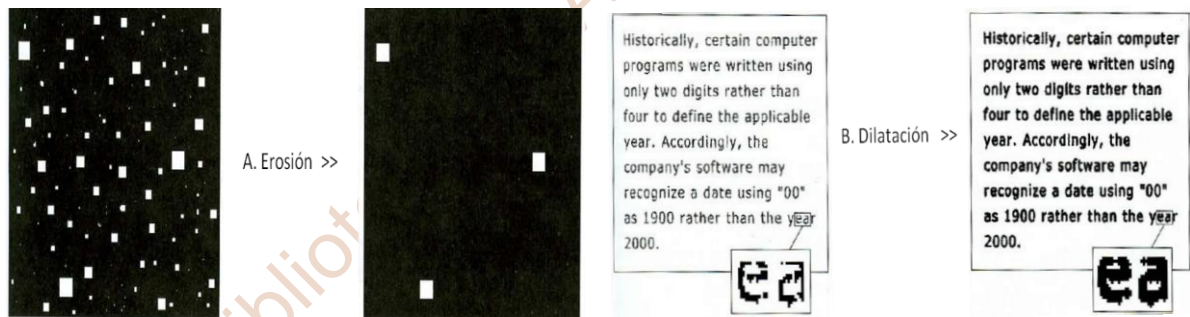


Fig. 2.6 a) Efectos de erosión b) Efectos de dilatación¹⁵.

¹⁴ National Instruments Corporation (2005) Binary Morphology *NI Vision IMAQ Vision Concepts Manual*. Austin TX. pp 9-10, 9-11

¹⁵ Gonzalez R.C. (2002) Morphological Image Processing. En *Digital Image Processing*. 2a edition. Saddle River N.J. Pearson Prentice Hall. pp 525-527

2.3.2 Funciones abriendo y cerrando

La función abriendo es una erosión seguida de una dilatación, suaviza el contorno de objetos, rompe istmos estrechos y elimina pequeñas salientes. La función cerrando es una dilatación seguida de una erosión, esta función también suaviza secciones de un contorno, pero a diferencia de abriendo, fusiona pequeñas separaciones, llena pequeños orificios y llena pequeñas aberturas en un contorno. En la Fig. 2.7 se muestran efectos de las funciones abriendo y cerrando.

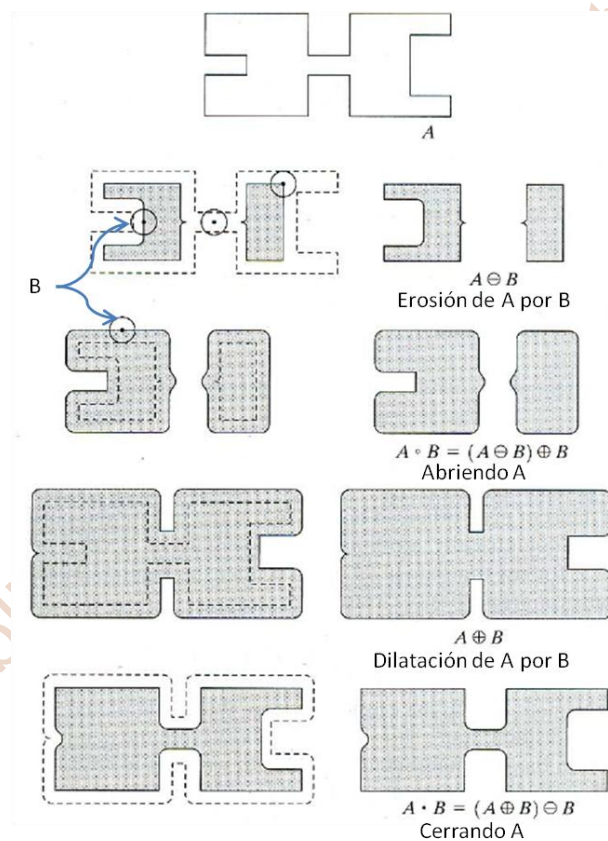


Fig. 2.7 Funciones abriendo y cerrando paso a paso¹⁶.

¹⁶ Gonzalez R.C. (2008) Morphological Image Processing. En *Digital Image Processing*. 3a edición. Saddle River N.J. Pearson Prentice Hall. pp. 637

2.3.3 Transformación “hit - miss”

La transformación hit - miss, localiza configuraciones particulares de píxeles definidas por la plantilla definida, esta transformación puede localizar desde píxeles, cruce de figuras, patrones longitudinales, y ángulos a través de las fronteras. Para analizar el comportamiento posicionamos el centro del elemento estructural o patrón en un píxel determinado que llamaremos P_0 , los píxeles enmascarados por el elemento estructural se denominarán P_i ¹⁷,

Si el valor de cada píxel P_i coincide con la máscara definida por el elemento estructural entonces el píxel P_0 se hace 1, caso contrario P_0 se hace 0.

En la Fig. 2.8 las figuras b, c, d y e muestran el resultado de la transformación hit-miss aplicada a la imagen a.

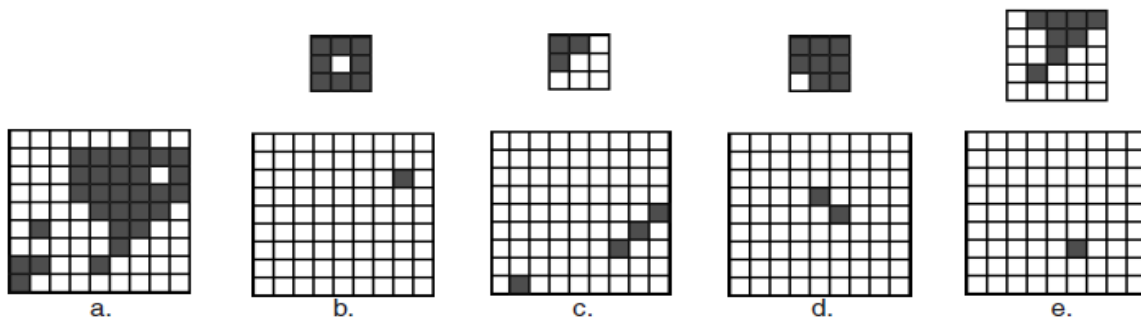


Fig. 2.8 Aplicación de transformación hit-miss.

¹⁷ National Instruments Corporation (2005) Binary Morphology *NI Vision IMAQ Vision Concepts Manual*. Austin TX. pp. 9-14, 9-15

2.3.4 Extracción de límites (contornos)

El contorno de un objeto en una imagen puede ser obtenido al erosionar la imagen que contiene el objeto y después restar a la imagen original la imagen erosionada, considerando el elemento estructural adecuado, el cual determinará el espesor de la imagen resultante, la Fig. 2.9 muestra paso a paso este proceso¹⁸.

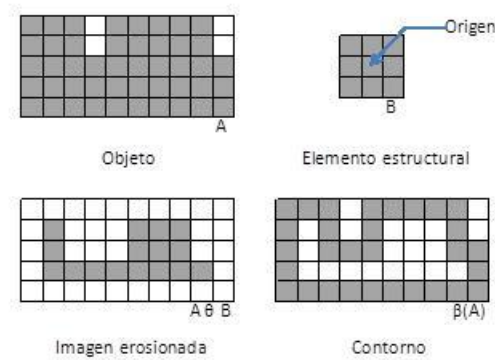


Fig. 2.9 Obtención de contornos.

2.4 Iluminación y óptica

2.4.1 Técnicas de iluminación

Existen diferentes técnicas de iluminación las cuales se usan para resaltar algunas características diferentes de las piezas que se van a analizar. La iluminación frontal (Fig. 2.10a) es la técnica más común, donde la cámara se orienta al objetivo al igual que la iluminación, es útil en superficies con pocos reflejos. La iluminación lateral (Fig. 2.10b) se usa para resaltar detalles en las piezas que solo son visibles

¹⁸ Gonzalez R.C. (2008) Morphological Image Processing. En *Digital Image Processing*. 3a edición. Saddle River N.J. Pearson Prentice Hall. pp. 642

orientando la luz en forma lateral a la vertical entre la pieza y la cámara. La iluminación por campo oscuro (Fig. 2.10c) consiste en tener la iluminación perpendicular a la línea entre la cámara y la pieza, se usa para resaltar grabados grietas, surcos u otra característica superficial. La iluminación por contraste (Fig. 2.10d) consiste en colocar al objeto entre la cámara y la fuente de iluminación, esta técnica se usa para reconocer el perfil del objeto y hacer mediciones muy precisas. La iluminación sobre el mismo eje o coaxial (Fig. 2.10e) consiste en colocar la fuente de luz lateralmente donde la luz pase a través de un espejo semi-transparente “beam splitter” éste desvía el haz de luz hacia el eje de la cámara, esta iluminación se usa en objetos reflejantes. La iluminación difusa tipo domo (Fig. 2.10f) combina una iluminación reflejante sobre una cúpula esférica y coaxial en la parte superior de la cúpula, esta técnica se usa para aplicaciones complejas ya que no produce ningún tipo de sombra. Algunos de los objetos inspeccionados bajo esta técnica son espejos, compact disk, latas, etc. La iluminación difusa tipo domo plano (Fig. 2.10g) usa el concepto anterior pero en este caso ocupa menos de un centímetro de espesor e incorpora una lamina de material especial transparente que difracta la luz perpendicularmente produciendo una iluminación homogénea y difusa, dentro de sus aplicaciones está la verificación de impresión en latas.¹⁹

¹⁹ Infaimon (n/a) Infaimon Su asesor en visión artificial Tecnología y Productos. Barcelona. 12-15

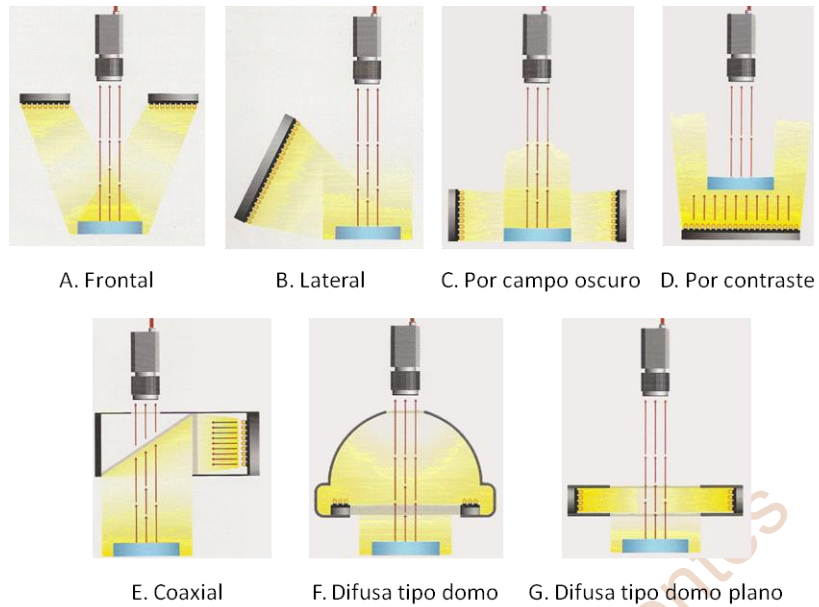


Fig. 2.10 a), b), c), d), e), f), y g) Tipos de iluminación.

2.4.2 Tipos de iluminación

Como se menciona en el catalogo INFAIMON, “Actualmente en el mercado se pueden encontrar 4 tipos principales de iluminación basados en las fuentes de luz, LED (Del inglés light emisor diode), fluorescente, fibra óptica y láser, cada uno tiene sus ventajas y desventajas”, así como sus características propias como son intensidad, duración y precio. La iluminación por LED es ampliamente usada en los sistemas de visión principalmente por su reducido tamaño, larga vida equivalente a 100,000 horas y eficiencia energética, el color más usado es el rojo, sin embargo hay disponibles ultravioleta, verde, azul, infrarrojo, y blanco, este color de luz depende del semiconductor usado en la construcción del LED, el cual emite luz incoherente

de espectro reducido al circular una corriente²⁰; la longitud de onda de la luz emitida por LED se puede observar la figura (Fig. 2.11).

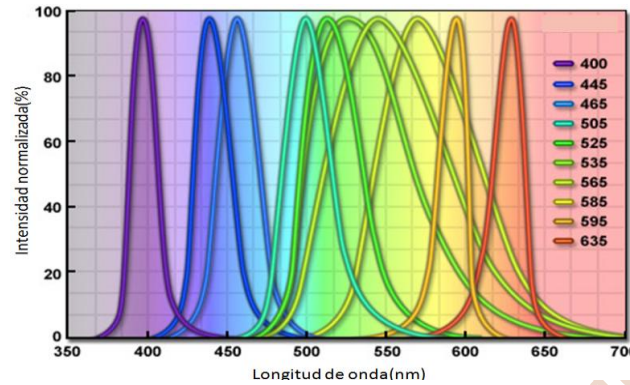


Fig. 2.11 Longitudes de Onda para LEDs de diferentes colores²¹.

La iluminación por fluorescente consiste en lámparas de vapor de mercurio a baja presión, también es usada en sistemas de visión, pero su uso es restringido debido a la limitada variedad de formas disponibles, la vida útil es de alrededor de 10,000 horas, en las aplicaciones industriales debe considerarse operarlas a frecuencias superiores a 25 khz debido a que menor frecuencia se podría apreciar en la intensidad de imágenes capturadas²²; la longitud de onda de la luz fluorescente se puede apreciar en la figura (Fig. 2.12) al igual que una comparación con otros tipos de lámparas.

²⁰ Infaimon (n/a) Infaimon Su asesor en visión artificial Tecnología y Productos. Barcelona. pp. 16

²¹ Davidson M.W. (n/a) *Fundamentals of Light-Emitting Diodes (LEDs)*. (Visitado el 30/11/2012) Disponible en: <http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/print/lightsources/leds-print.html>

²² Infaimon (n/a) Infaimon Su asesor en visión artificial Tecnología y Productos. Barcelona. pp. 18

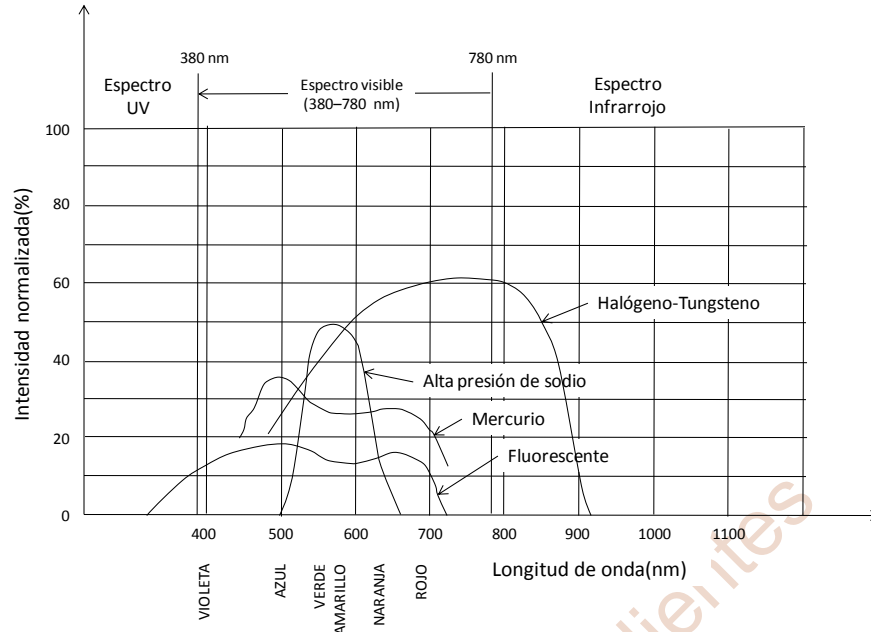


Fig. 2.12 Longitud de onda luz fluorescente compara otros tipos de luz²³.

La iluminación por fibra óptica es por el momento la más intensa, se usa para dirigir la luz a puntos de difícil acceso o por ser una luz fría en donde el incremento de temperatura no está permitido, generalmente tienen LEDs o lámparas halógenas. La iluminación por láser se usa para resaltar una característica o determinar la tercera dimensión en una imagen, para usarse se genera una línea de luz y se visualiza en forma oblicua, las distorsiones de esta línea equivalen a cambios en la profundidad; existen diferentes formas de haz de luz, como lo son una línea, un punto, una malla, una cruz, etc. Su uso dependerá de cada aplicación.²⁴

²³ Kruegle, H. (2006) *CCTV Surveillance: Video Practices and Technology*. Burlington, MA. Butterworth-Heinemann. pp. 73

²⁴ Infaimon (n/a) Infaimon Su asesor en visión artificial Tecnología y Productos. Barcelona. pp. 17, 19

2.4.3 Lentes (óptica)

Para la selección de un lente adecuado para un sistema de visión, es necesario considerar varios factores, como los son el tamaño del sensor, de la cámara, distancia de trabajo, y tamaño del objeto estos contribuirán a poder tener una imagen de calidad para trabajar en la aplicación.

Distancia focal. Este parámetro es particular de la óptica de los lentes y se refiere a la distancia entre el centro óptico y la superficie del sensor de la cámara²⁵, ver la Fig. 2.13 con la representación de la distancia focal.

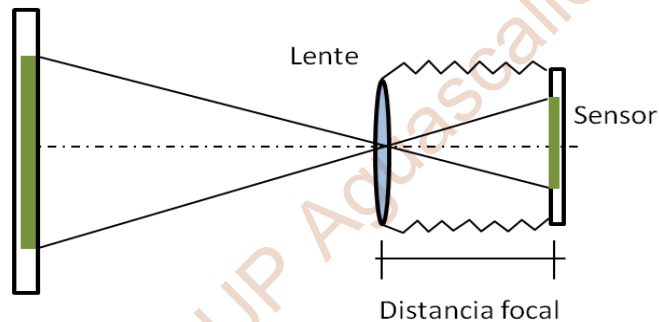


Fig. 2.13 Distancia focal²⁵.

Cada lente tiene su propia distancia focal, así pues para seleccionar un lente se calcula la distancia focal de la imagen deseada, en este caso se considera tanto alto como ancho, ya que el sensor de la cámara es rectangular, la forma de calcularlo es por medio de las siguientes ecuaciones 2.1 y 2.2²⁶, ver Fig. 2.14:

²⁵ Fotonostra (n/a) *La luminosidad*. (Visitado el 3/12/2012) Disponible en: <http://www.fotonostra.com/fotografia/objetivo.htm>

²⁶ The imaging source Europe GmbH (2006) *Lenses Selection and setup*. pp 2 (Visitado el 30/11/2012) Disponible en: http://www.theimagingsource.com/downloads/choosinglenswp.en_US.pdf

$$\text{distancia focal ancho} = \frac{\text{distancia de trabajo} \cdot \text{ancho sensor}}{\text{ancho del objeto} + \text{ancho sensor}} \quad \text{Ecu 2.1}$$

$$\text{distancia focal alto} = \frac{\text{distancia de trabajo} \cdot \text{alto sensor}}{\text{ancho del objeto} + \text{alto sensor}} \quad \text{Ecu 2.2}$$

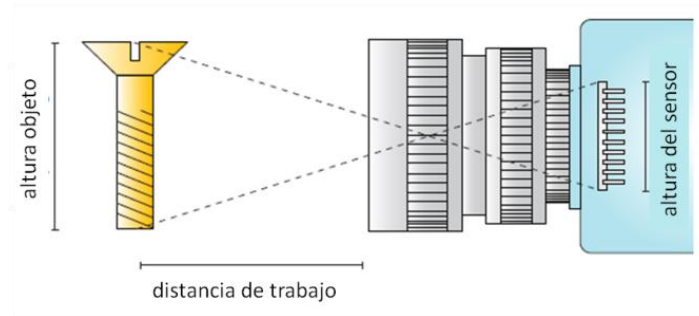


Fig. 2.14 Distancia focal, parámetros para cálculo.

Una vez que se cuente con el valor, se usa el mínimo para elegir el lente requerido por la aplicación calculada, además para asegurar que la imagen será capturada completamente por el sensor, se deberá elegir el lente cuya distancia focal sea menor al obtenido por cálculo.

Para distancias de trabajo muy cortas o menores a la distancia mínima de trabajo de algún lente en particular, será necesario el uso de anillos o tubos de extensión, los cuales permiten reducir la distancia mínima de trabajo de un lente, estos se colocan entre el lente y la cámara. La Tabla 2.1 ejemplifica este comportamiento²⁷:

²⁷ The imaging source Europe GmbH (2006) *Lenses Selection and setup*. pp 2 (Visitado el 30/11/2012) Disponible en: http://www.theimagingsource.com/downloads/choosinglenswp.en_US.pdf

distancia focal:		12 mm	16 mm	25 mm	50 mm	75 mm
anillo/tubo de extensión (mm)	0.5	12 .. 31 cm	22 .. 54 cm	41 .. 129 cm		
	1.0	8 .. 15 cm	17 .. 28 cm	32 .. 66 cm		
	1.5	6 .. 10 cm	14 .. 20 cm	27 .. 45 cm	75 .. 175 cm	
	5.0	2 .. 3 cm	7 .. 8 cm	14 .. 16 cm	43 .. 59 cm	69 .. 125 cm
	10.0			9 .. 10 cm	29 .. 34 cm	50 .. 69 cm
	15.0				23 .. 25 cm	41 .. 50 cm
	20.0					35 .. 41 cm
	25.0					30 .. 35 cm

Tabla 2.1 Distancia mínima para lentes usando tubos de extensión²⁷.

Biblioteca UP Aguascalientes

3 METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL PROYECTO

Técnicas para desarrollar el sistema de visión y su construcción

En el siguiente texto se presenta el proceso usado para el desarrollo de la tesis. En este capítulo se darán a conocer de forma general algunos de los elementos y el procedimiento que se siguieron durante la tesis, además se detalla el desarrollo del proyecto, iniciando con la identificación general del proyecto y su entorno. Acto seguido se presentan los alcances y limitaciones del proyecto. Se continúa con la descripción detallada de la ejecución de cada paso de proyecto y se finaliza con la propuesta de evaluación del mismo.

Biblioteca UP Aguascalientes

3.1 Diseño de la investigación

El trabajo presentado en esta tesis trata de un proyecto de intervención en un proceso de manufactura dentro de la empresa, de la cual se realizó un análisis de la situación actual en el proceso de manufactura donde se encuentra la problemática de gran cantidad de defectos cosméticos en interruptores de corriente.

Durante el análisis a través de graficas de Pareto se eligió atacar la inadecuada detección de defectos visibles, principalmente faltante de componentes, componentes incorrectos y ensambles incorrectos.

En respuesta a la problemática identificada, por medio de lluvia de ideas y aplicación de tecnologías se define la solución propuesta y expuesta en esta tesis, se explica en detalle el desarrollo de la solución así como la aplicación de la misma.

Durante el proceso de desarrollo se realizó levantamiento de información de las diferentes características a inspeccionar, métodos para la detección de las características y similitud con otros componentes. Adicionalmente se realizó un análisis para simplificar los métodos de inspección a utilizar durante la programación.

3.2 Población y muestra

Las áreas identificadas para la aplicación de estas mejoras eran las líneas de producción para interruptores de corriente, compuestas de 13 celdas de manufactura con potencial de aplicación en otras áreas con defectos similares pero con menor incidencia. Dentro de estas celdas se fabrican 8 familias de productos donde se

producen más de 5000 números de parte al año de producto terminado diferentes pero con similitudes físicas, esta característica es una de las problemáticas enfrentadas durante el desarrollo de este proyecto.

3.3 Instrumentos y técnicas de análisis

Durante la ejecución del proyecto se obtuvo información de la bases de datos de reclamos de cliente, así como la base de datos de rechazos internos de calidad, de estas se obtuvieron los principales defectos de cada rubro por medio de la metodología de Pareto.

Una fuente adicional de información fueron los dibujos de producto y componentes así como procedimientos de producción, de donde se documentaron las diferencias entre productos así como los criterios y especificaciones que fueron la base de cada una de las inspecciones. Para este apartado se emplearon las técnicas de visión por computadora a través de funciones de LabView para dar solución a cada una de éstas.

Adicionalmente se emplearon técnicas estadísticas para determinar la capacidad y fiabilidad del equipo terminado, mediante la recolección de datos directamente en la operación de mismo, comparando resultados de inspección entre la máquina y el proceso manual el cual es netamente visual. Este apartado se complementó con algunas entrevistas entre los usuarios de los equipos e inspectores de producto por el método visual.

3.4 Datos de identificación.

Nombre del Proyecto: Inspección semiautomática de interruptores de corriente.

Responsables: Ivan Palacios Aguayo, David Lozano Herrera, Tom Ortega Garcia.

Nombre de la Empresa: Sensata Technologies de México S. de R.L. de C.V.

Ramo: Manufactura sensores y controles.

Tamaño: 12,000 Empleados globalmente, 4000 de ellos en Aguascalientes.

Organigrama del área de manufactura para interruptores: Ver Fig. 3.1

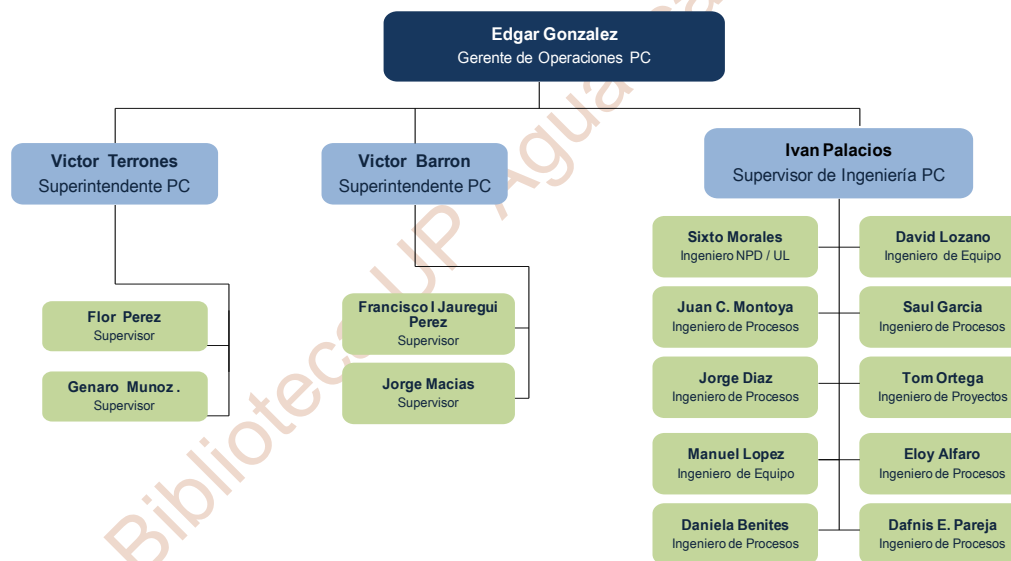


Fig. 3.1 Organigrama área interruptores de corriente.

Principales productos: dispositivos de protección eléctrica que previenen la generación de calor o fuego; sensores automotrices para mejorar desempeño, seguridad y eficiencia;

Duración del proyecto: 8 Meses.

3.5 Análisis situacional o diagnóstico.

Fortalezas:

- Equipo multidisciplinario de trabajo con conocimientos, habilidades y experiencia en automatizaciones, capaces de ejecutar el proyecto.
- Soporte técnico disponible por parte de los principales proveedores.
- Diseño con partes y dispositivos comerciales para fácil sustitución en caso de fallas.
- Interfaz de operador amigable para selección de número de parte y configuración de nuevos lotes de producción.
- Fácil configuración de números de parte, donde se seleccionan las características de inspección en ventanas con todas las opciones posibles.
- Uso de servomotor para dar precisión a la posición del producto frente a la cámara.

Oportunidades:

- Hay proveedores con experiencia para desarrollar el proyecto.
- Equipo disponible a préstamo para realización de experimentos.
- Los principales defectos están claramente identificados.
- Existe literatura en el tema como soporte técnico para resolución de posibles problemas.

Debilidades:

- Poca experiencia del equipo Sensata en sistemas de visión complejos y uso de los algoritmos morfológicos.
- El sistema de inspección será incapaz de detectar el 100% de los defectos, especialmente los superficiales como raspones o manchas.
- El sistema no contará con descarga automática de piezas buenas.

Amenazas:

- Los clientes esperan una reducción de eventos de calidad de manera inmediata.
- Limitación para el uso del capital.
- Restricción para selección de proveedor.
- Que el sistema sea incapaz de detectar los defectos más críticos.
- Extensión de tiempos de entrega de proveedores.
- Limitaciones de tiempo para miembros del equipo.
- Complicaciones técnicas o de programación que retrasen la implementación.
- Fallas de repetitividad y reproducibilidad (conocido como GR&R) y/o falta de capacidad para detección de determinadas características.
- Necesidad de utilizar más de un sistema de iluminación.
- Sistema de iluminación no apropiado la para aplicación requiriendo remplazo y/o re-diseño.

3.6 Descripción del proyecto.

3.6.1 Concepto inicial

A través de una lluvia de ideas con el equipo multidisciplinario se revisaron las tecnologías disponibles en el mercado así como tecnologías ya en uso en la fábrica que pudieran ser útiles. Con el proyecto se busca identificar interruptores con componentes incorrectos, los cuales pueden estar en cualquiera de las caras del interruptor a inspeccionar, por tal motivo se eligió colocar el interruptor en un nido montado a un sistema rotativo que mostrará 4 caras del interruptor frente a la cámara; adicionalmente se identificó que el uso de una segunda cámara simplifica el proceso de inspección para la cara frontal del producto, de esta manera se podrán cubrir 5 de las 6 caras del mismo y no se requerirán mecanismos adicionales para rotar o relocalizar el producto para inspección; se consideró que las características de la cara inferior no son relevantes para la identificación de componentes incorrectos. Ver Fig. 3.2

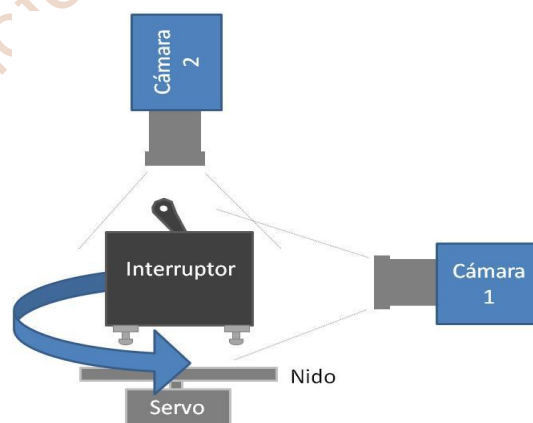


Fig. 3.2 Concepto de sistema de inspección semiautomático.

Posteriormente se citó a diferentes fabricantes y distribuidores de equipo con el fin de obtener recomendaciones al concepto definido, de esta forma se determinó que la iluminación sería un factor importante y podría ser necesario utilizar diferentes métodos de iluminación dependiendo de la dificultad para resaltar las diferentes características en las imágenes capturadas.

3.6.2 Investigación de fabricantes/distribuidores

Se identificaron dos posibles proveedores que podrían apoyar en el desarrollo, uno de ellos solo provee el paquete de visión (cámaras, controlador y software) y da toda la asesoría de sus productos necesaria para programar y poner en marcha el proyecto, en este caso Sensata fabricaría la estación de inspección y ensamblaría los componentes; otro proveedor evaluado ofrece el servicio completo de fabricación y desarrollo de la maquina, ofreciendo una solución a la medida.

Se les solicitó a ambas empresas un análisis del concepto. Ambas presentaron una propuesta de equipo, cotización y un reporte de factibilidad de las inspecciones a los productos.

Una tercera opción a evaluar fue el desarrollo interno de la aplicación, donde solo se comprarían los componentes y la aplicación se desarrollaría internamente usando el software de programación Labview; otras opciones de proveedor fueron descartadas debido a falta de soporte técnico en proyectos pasados.

3.6.3 Identificación de especificaciones del sistema de inspección

Se definieron dos tipos de especificaciones, las que se esperan del sistema en conjunto y las específicas de los componentes principales y protocolo de

comunicación que conforman el sistema de visión. Para las especificaciones del sistema se elaboró un documento de especificaciones, detallando las características generales esperadas de éste, ver en anexo 1; adicionalmente se realizó un desglose por cada cara del interruptor, detallando las características que deberían inspeccionarse, se manejaron dos clasificaciones: características deseadas para inspección y características requeridas en la inspección. Ver Tabla. 3.1

Para el caso de las especificaciones de la cámara, la selección fue en base a experimentación con un equipo con una resolución de 640X480, se tomaron varias fotografías de la pieza completa y haciendo zoom al área de código QR, se inspeccionó la calidad de la imagen y si tenía los suficientes pixeles para poder ser utilizada en la inspección, dado que se alcanzaba a apreciar ligera distorsión se optó por la siguiente resolución 1200X900. También se seleccionó el uso de cámaras GigE para evitar aglomeración de datos en el puerto, la diferencia de puerto USB o Firewire comparados con el GigE es la gran capacidad de transmisión. Otro aspecto considerado fue el utilizar pantalla tipo “touch monitor” para facilitar interfaz con el operador de la marca “ELO Touch Solutions”.

3.6.4 Pruebas del concepto en prototipo 1

Con el fin de verificar si el concepto ideado era viable, se armó un prototipo utilizando un motor DC y una cámara de resolución 640X480, durante las pruebas se determinó la necesidad de seleccionar un servomotor ya que las imágenes deben ser tomadas en el ángulo exacto para que se muestre la cara requerida en forma paralela a la cámara, durante las pruebas pequeñas variaciones en el ángulo provocaron la desorientación del interruptor contra la cámara, referente a la cámara

se obtuvieron imágenes de calidad, sin embargo la distancia entre la cámara y el interruptor era mayor a 50cm, por lo que se consideró cambiar el lente a una distancia focal menor para permitir una máquina compacta, la selección hecha fue un lente de 8mm; el usado durante la prueba fue de 12mm. Ver Fig. 3.3 donde se muestra el primer prototipo.

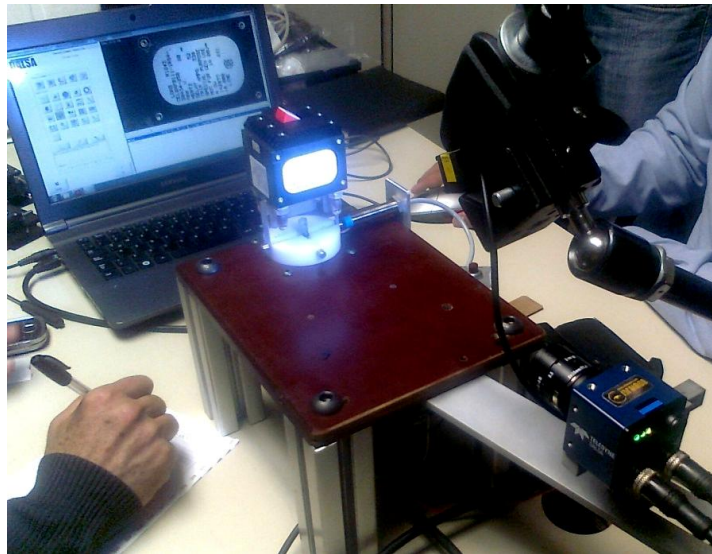


Fig. 3.3 Primer prototipo, y prueba del concepto.

3.6.5 Identificación de componentes complementarios

Para completar la máquina se seleccionó una computadora Dell “OPTIPLEX XE DESKTOP” para uso de 24 hrs y tener procesador “Core Duo” para el procesamiento ágil de las imágenes; un segundo elemento importante es el servomotor marca “Robotis” modelo “DYNAMIXEL Smart” el cual es de muy bajo torque(10 N-m) y precio accesible, este servomotor trae un controlador de comunicación serial el cual es compatible con LabView lo que resulta en una ventaja adicional durante la programación.

CARACTERÍSTICAS A INSPECCIONAR POR SISTEMA DE VISION

#	Vista 1 Frontal-Et. Side	Vista 2 Lateral-Arcos baffles	Vista 3 Posterior-Logotipo Airpax	Vista 3.5 Intermedia	Vista 4 Lateral-Terminal bobina	Vista 5 Superior	Vista 6 Inferior
CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS PARA INSPECCION							
1	Posicion etiqueta SIDE	Tipo de terminal	Numero de parte de etiqueta si esta presente	Diferenciar ancho terminales de switch auxiliar	Ubicacion de terminales laterales	Presencia remaches tipo standoff	Posicion de switch cases (blanco / negro)
2	Numero de parte de etiqueta	Marca en terminal (estampada ej. M5)	Presencia de remaches		Marca en terminal (estampada ej. M5)	Identificar marca de amperaje	marcas especiales, (plugs, numeros, amperaje,)
3	Presencia de remaches	Hardware de terminal (presencia y conteo)	Diametro remache (diferenciar dos tamaños)		Hardware de terminal (presencia y conteo)	Identificar posicion y marca ON / OFF	Tipo y orientacion del plug
4	Diametro del floreado (remache con defectuoso)	Conteo arcos baffles	Presencia terminales laterales		Presencia y tipo de barrier	Identificar presencia y tipo de inserto	Poscion switch en polo
5	Numero de serie (cuando este presente QR)	Presencia y tipo de barrier	Posicion etiqueta Made in Mexico		Presencia de inserto en braket	Etiquetas UL	Stavistor presencia y ruteo
6	Presencia de cubierta en ventila	Quebraduras en ventila de caja	Tipo de guardas de palanca		Etiquetas UL/UR presencia y poscion	Identificar tipo de braket	Marca testigo de switch
7	Orientacion candado de palanca	Presencia arco en terminal				Etiquetas "Tripped"	Espaciador entre polos
8	Tipo de guardas de palanca	Presencia de inserto en braket					
9	Presencia de switch auxiliar						
10	Longitud y alineacion de terminales del switch auxiliar						
CARACTERÍSTICAS OPCIONALES DESEADAS PARA INSPECCION							
1	Alineacion terminales de switch auxiliar	Tipo de palanca - Espesor	Presencia de gomme (LEG)		Marca testigo de probadora Latch	Medicion diametro de insertos	Tipo de guardas en switch uxiliar
2	Tipo de terminales de switch auxiliar	Oren de componentes en tonilleria	Fisura en area de bobina (Bobina gorda)			Identificar color de palanca	Espesor de terminales sitch auxiliar
3	Posicion de palanca	Registrar # Issue UL				Defectos superficiales	Presencia de tira conductora
4	Tipo de palanca	Tipo de cuerda en tornilleria				Candado en palanca	Tipo de barriers
5	Identificar tabs en terminales	En face plate, presencia de resorte					Identificar tipo de tornillos y/o tuercas
6	Tipo de caja	Presencias de guardas					
7	Tipo de Barrier						
8	Leer amperaje de etiqueta						
9	Defectos superficiales						
10	Identificar tornilleria en palanca toggle						
11	Presencia oring (en palanca toggle)						
12	Identificar braker invertido						

Tabla 3.1 Características requeridas para inspección

3.6.6 Diseño del circuito lógico y eléctrico

Los ingenieros de control desarrollaron el circuito básico de conexión entre los componentes. En éste se consideró incluir 3 fuentes de alimentación de 24V, una fuente de 5A se dedico en exclusiva a las cámaras, otra también de 5A se dedico a las lámparas para mantener circuitos independientes y por ultimo una de 10A para alimentar el servomotor, para interconectar las cámaras se seleccionó un interruptor Ethernet de 5 puertos. En la parte de control se conceptualizó de manera general la estructura del programa donde cada inspección quedo en subrutinas. Ver flujo de operación en Anexo 1.

3.6.7 Diseño mecánico de partes

Se diseñaron las partes para montaje en una placa de aluminio de 70X50cm, guardas traslucidas con altura de 50 cm, al interior se colocaron soportes para las cámaras y lámparas, al centro una base en color blanco la cual funge como nido para el interruptor, el motor queda por debajo de la placa de aluminio, al frente se montaron superficies blancas para permitir un alto contraste con la imagen a tomar.

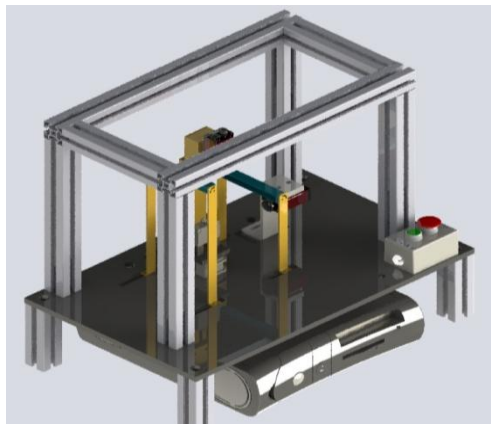


Fig. 3.4 Diseño de máquina para inspección.

3.6.8 Fabricación y Ensamble

Durante la fabricación y ensamble se identificaron conflicto en algunas dimensiones para los soporte de lámparas y cámaras, por lo que fue necesario cambiar su ubicación con el fin de lograr imágenes claras, resaltando las características importantes de los interruptores a inspeccionar. Los pasos posteriores fueron la conexión eléctrica de los elementos de control y movimiento, así como el ruteo de los cables. Ver Fig. 3.5.



Fig. 3.5 Ensamble de elementos para el sistema de visión.

3.6.9 Diseño y elaboración del software de control

El software usado fue LabView 2012 y el primer paso fue el desarrollo de la interfaz para el operador, donde se dejaron controles para ingreso de datos, zona de visualización de imágenes, controles del arranque/paro, barra para indicar cambios de estado, historial, indicador encendido/apagado y contador de piezas. Ver Fig. 3.6.

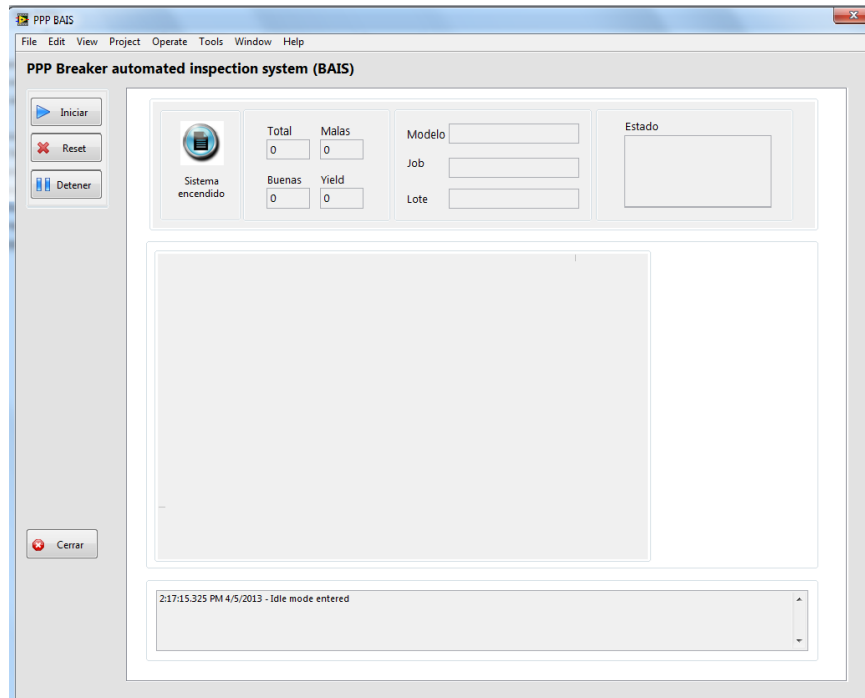


Fig. 3.6 Interfaz de operación para operador.

Los pasos siguientes fueron la estructura principal del programa, dividida en 3 secciones principales que corren en paralelo, sistema de control de movimientos y toma de imágenes, sistema de análisis de imágenes e interfaz grafica. Ver Fig. 3.7. Adicionalmente se complementó con una base de datos para almacenamiento de las configuraciones de cada número de parte que facilita la operación para el modelo seleccionado.

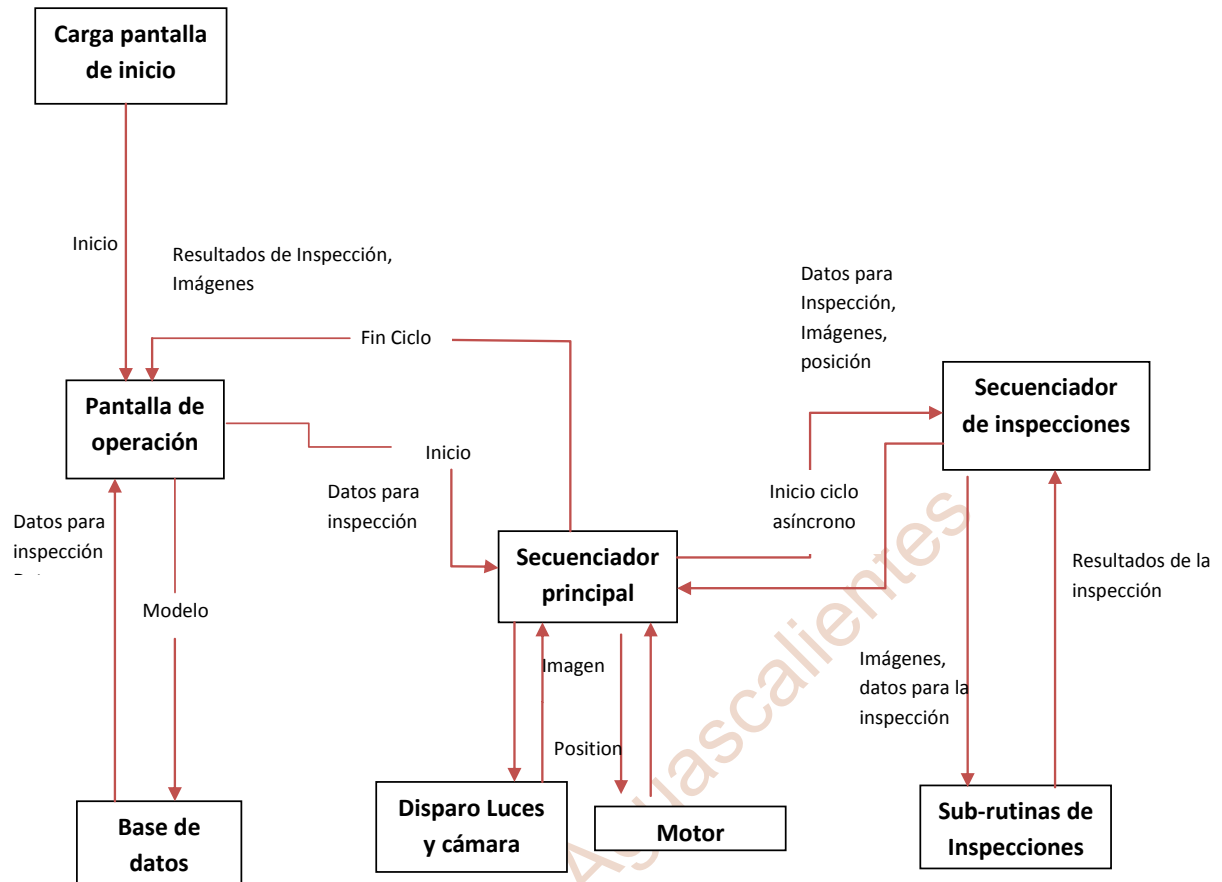


Fig. 3.7 Estructura principal del programa.

3.6.10 Creación de sub-rutinas de inspección

En esta etapa se comenzó por identificar cada una de las características del interruptor generándose una sub-rutina de inspección para cada característica y de las cuales se detallan a continuación.

3.6.10.1 Identificación de remaches cara frontal

El primer paso de esta inspección es la aplicación de una dilatación para eliminar el texto de etiqueta, posteriormente se mejora el contraste de la imagen para resaltar los remaches seguida de la conversión a imagen binaria; finalmente se usa la función de LabView para identificar formas (shape detection), la herramienta

indica los diámetros y posiciones de las formas detectadas las cuales se comparan con los valores esperados para finalmente determinar si la pieza es aceptada o rechazada. Ver en Fig 3.8a el diagrama de LabView conocido como VI y en Fig 3.9b la secuencia de imágenes de un ejemplo.

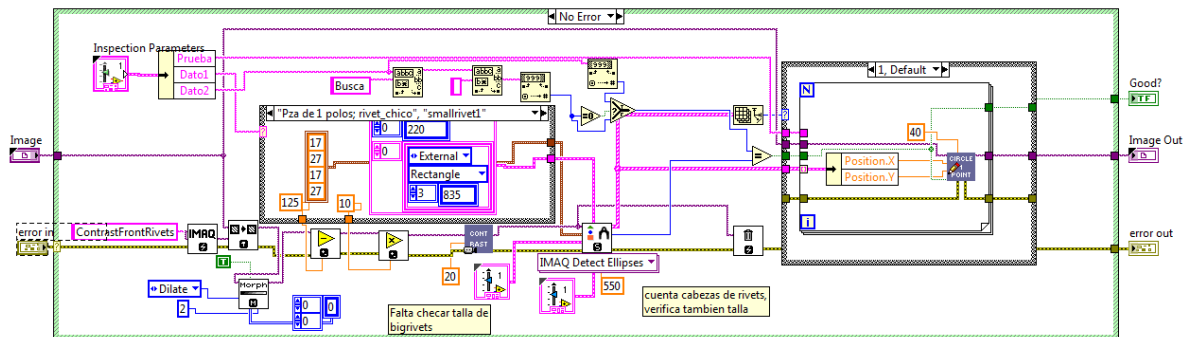


Fig. 3.8a VI LabView para identificación de cara frontal de remaches.

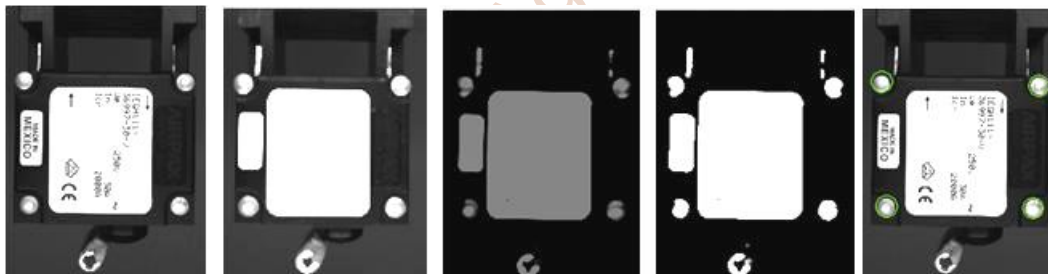


Fig. 3.8b Secuencia de imágenes en inspección cara frontal de remaches.

3.6.10.2 Identificación de remaches cara posterior

Para la identificación de los remaches posteriores se inicia con una dilatación para resaltar los remaches, posteriormente se mejora el contraste de la imagen y se convierte a imagen binaria; finalmente se usa la función de LabView para identificar formas (shape detection), la herramienta indica los diámetros y posiciones de las formas detectadas las cuales se compararán con los valores esperados para

finalmente determinar si la pieza es aceptada o rechazada. Ver en Fig. 3.9a el diagrama de LabView y en Fig. 3.9b una secuencia de imágenes de un ejemplo.

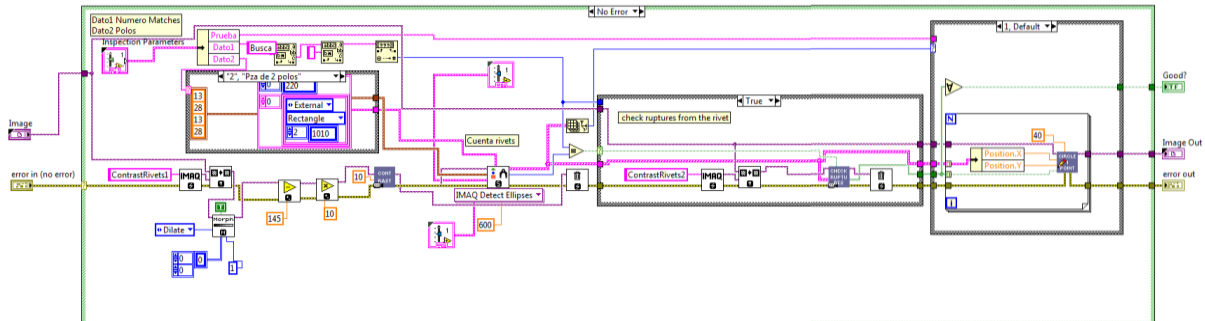


Fig. 3.9a VI LabView para inspección de remaches en cara posterior.

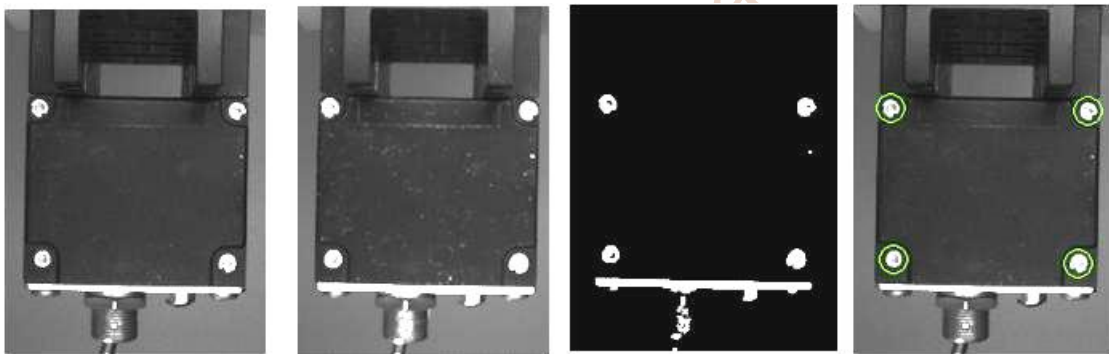


Fig. 3.9b Secuencia de imágenes en inspección remaches cara posterior.

3.6.10.3 Identificación de arcos disipadores

Para esta inspección se inicia con un mejoramiento del contraste, posteriormente se sigue con una dilatación para eliminar ruido en la imagen y finalmente se convierte a una imagen binaria. Se prosigue aplicando la función para detección de formas (shape detection), ésta se configura para buscar elipses que representan cada uno de los arcos, se seleccionó esta opción debido a que las sombras sobre los arcos, los hacen ver como elipses. En esta función se obtuvieron

las coordenadas de las elipses las cuales se evalúan y cuantifican para determinar si se cumple con el valor esperado de acuerdo al número de polos y arcos disipadores requeridos, ver en Fig. 3.10a diagrama de LabView y en figura 3.10b el resultado de una prueba.

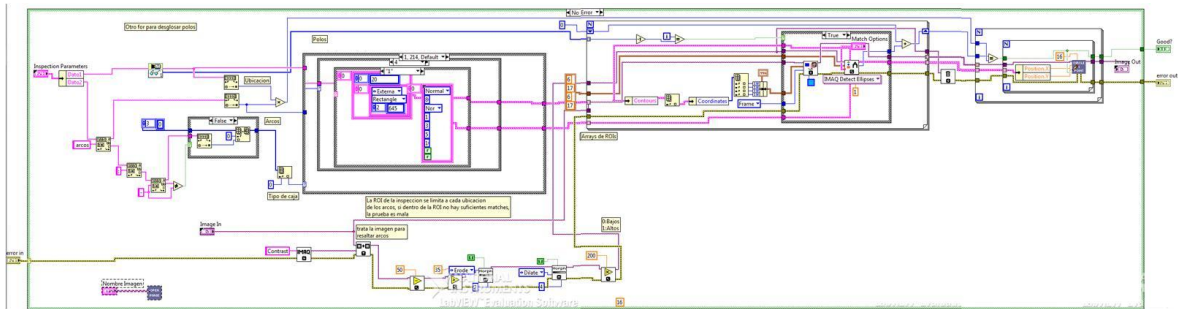


Fig. 3.10a VI LabView para identificación de arcos disipadores.



Fig. 3.10b Secuencia de imágenes en proceso de pieza ejemplo.

3.6.10.4 Identificación de insertos

Para detectar la presencia de insertos se utiliza la cámara superior del equipo, debido a la gran variación en las sombras de luz se opta por realizar la inspección en dos pasos, primero los insertos cercanos a la posición de apagado y una vez el interruptor rote en el nido 180° se volverá ejecutar la inspección. Una vez que se obtiene la imagen, se pasa por un proceso de dilatación y posterior se compara con un patrón maestro, con la herramienta "Match Pattern" de LabView, se cuantifican el

número de objetos encontrados y se compara con el número esperado en base al número de polos del interruptor. Adicionalmente si la condición es verdadera se dibuja un círculo verde usando como centro las coordenadas de los objetos encontrados; en la Fig. 3.11a podremos observar el diagrama para remache negro, y en la Fig. 3.11b el resultado de tal inspección con un interruptor de 1 polo. Esta inspección cuenta con opciones para otros tipos de insertos, usando la misma lógica pero diferente patrón maestro.

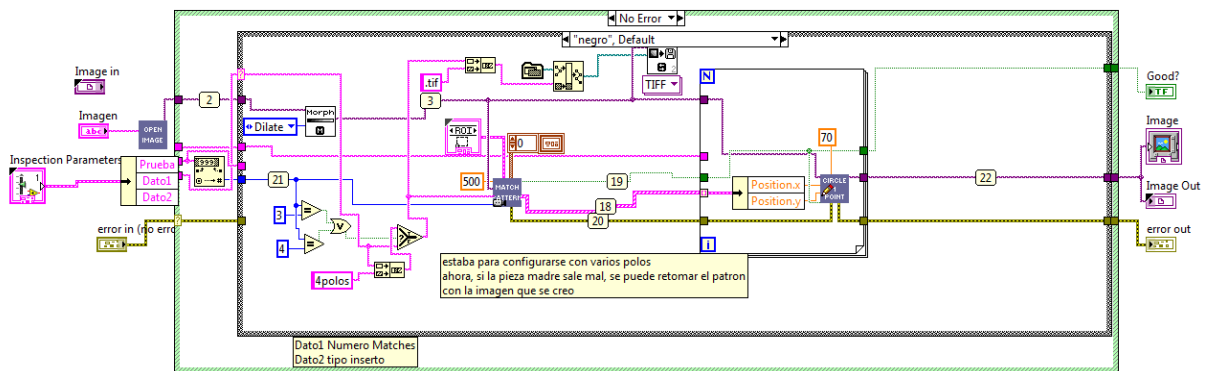


Fig. 3.11a VI LabView para detección de insertos negros.

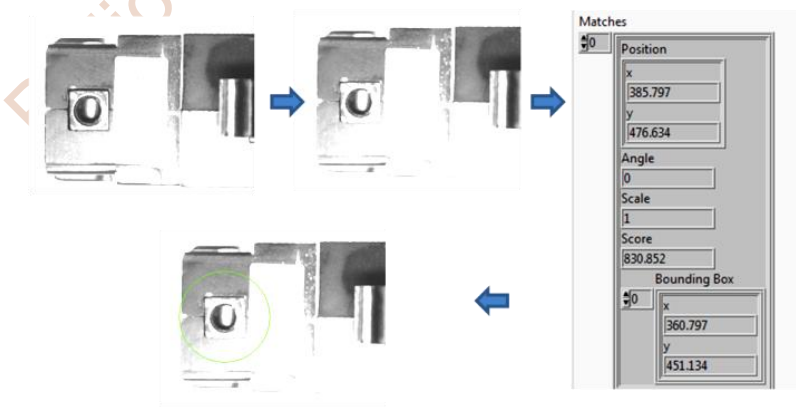


Fig. 3.11b Secuencia de imágenes y resultado ejemplo.

3.6.10.6 Identificación de tipo de terminal

En esta característica se aplica una ecualización a la imagen, seguida de una transformación morfológica con el objetivo de mejorar el contraste y posteriormente resaltar las características esenciales de las terminales, posteriormente la imagen se compara con una imagen patrón acorde al producto, en la Fig. 3.14 podremos observar la secuencia de imágenes de este proceso a) al c) y la imagen patrón d); si existe concordancia con la imagen patrón en el subproceso de comparación éste regresa las coordenadas de cada una, finalmente se agregan círculos verdes para cada concordancia identificada a la imagen original. El diagrama de LabView puede observarse en la Fig. 3.15, así como el resultado final en la Fig. 3.16.

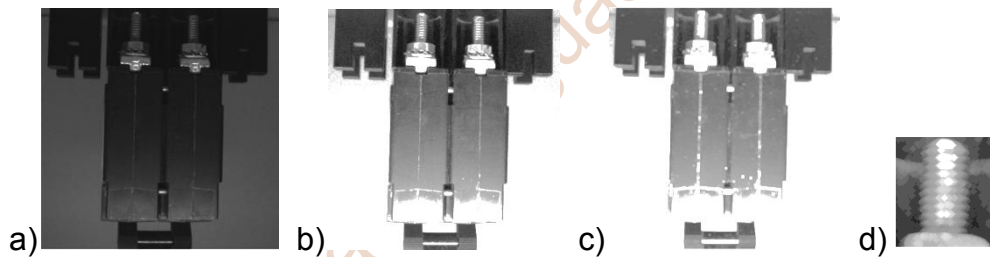


Fig. 3.14 Secuencia de imágenes para resaltar terminales e imagen patrón.

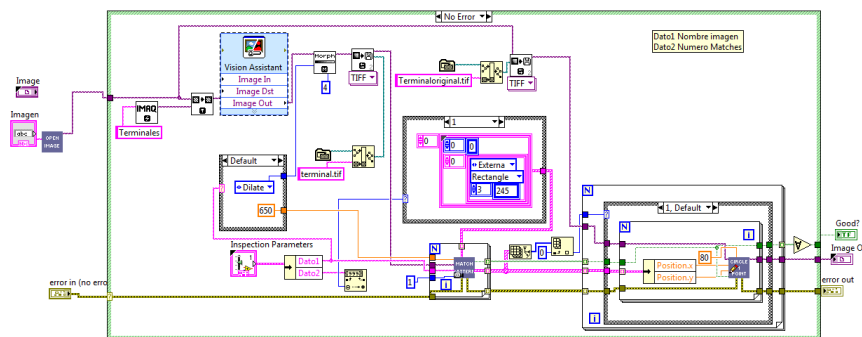


Fig. 3.15 VI LabView para inspección de tipo de terminal.

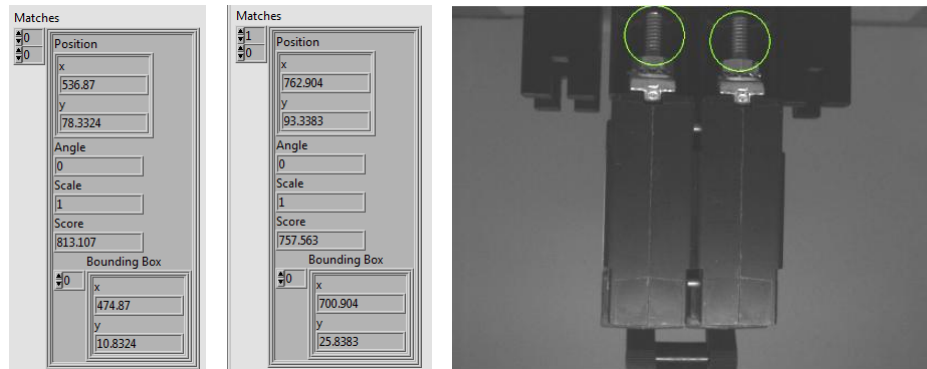


Fig. 3.16 Resultado final de inspección por tipo de terminal.

3.6.10.7 Identificación de switch auxiliar

La técnica desarrollada para identificar el switch auxiliar consiste en dimensionar la distancia entre sus terminales exteriores, para lo cual se convirtió la imagen a un alto contraste para dejarla en blanco y negro, resaltando las terminales en blanco y el resto de la imagen en negro; finalmente usando una herramienta para encontrar las fronteras negro-blanco se puede determinar la distancia entre las terminales; la secuencia de imágenes se puede apreciar en la Fig. 3.17. y el diagrama de LabView en la Fig. 3.18.

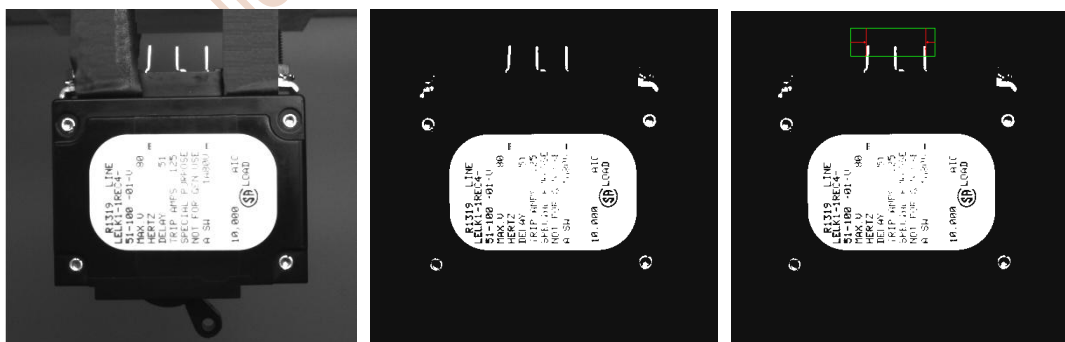


Fig. 3.17 Secuencia de imágenes identificación de switch auxiliar.

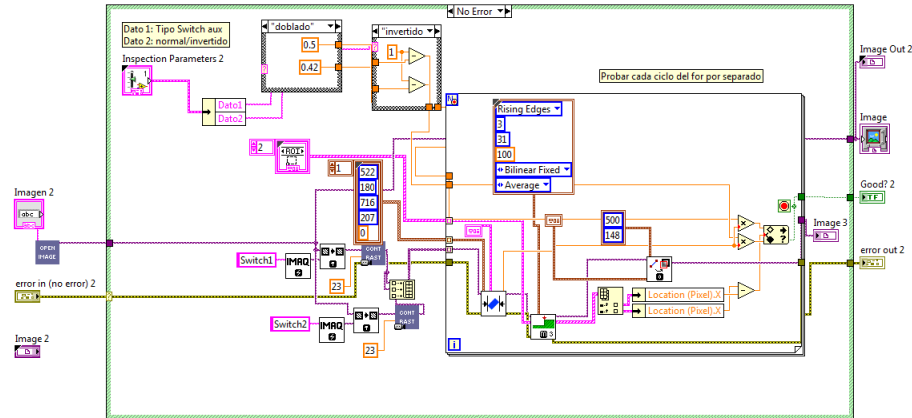


Fig. 3.18 VI LabView para identificación de switch auxiliar.

3.6.10.8 Identificación de etiqueta “UL” o “UR”

El proceso para identificar la presencia de la etiqueta tipo “UL” o “UR” se hace aplicando una corrección de alto contraste a la imagen con la función “BCGLookup VI” donde se define un brillo de 137, contraste 73.4 y gamma de 1.16 logrando el efecto de convertirla a una imagen blanco y negro, posteriormente se hace una comparación con la imagen patrón, ya sea de una etiqueta “UL” o una etiqueta “UR”, usando la función “compare pattern” de LabView; finalmente usando las coordenadas de patrón encontrado en la imagen se dibujó un círculo verde para cada coincidencia. Ver secuencia de imágenes de ejemplo en Fig. 3.19. y el diagrama de LabView en la Fig. 3.20.

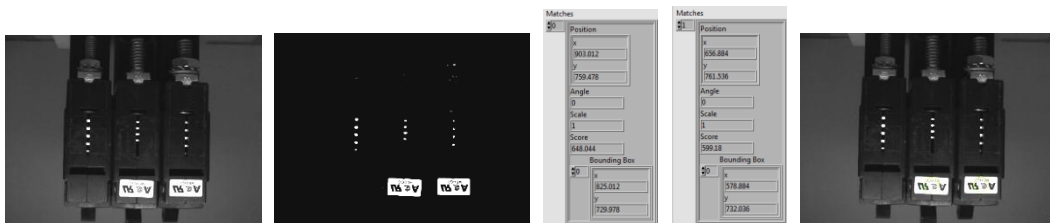


Fig. 3.19 Secuencia de imágenes para localizar etiquetas “UR”.

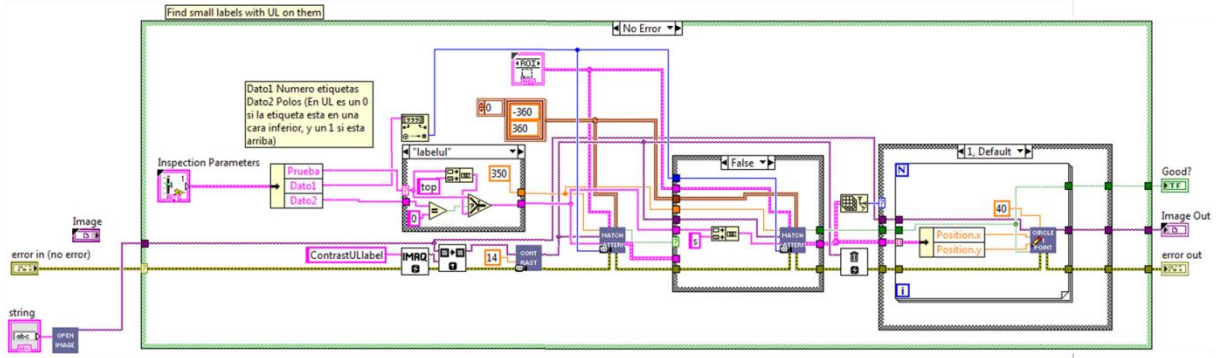


Fig. 3.20 VI LabView para identificación de etiquetas “UR” y “UL”.

3.6.10.9 Identificación de número de parte

El primer paso en la identificación del número de parte es nuevamente convertir la imagen a alto contraste usando la función “BCGLookup VI” donde se define un brillo de 128, contraste 45 y gamma 1.0, logrando caracteres negros sobre fondo blanco sin ruido y/o tonos de grises, posteriormente se identifica la orilla de la etiqueta, este proceso se puede apreciar en el diagrama LabView de la Fig. 3.21

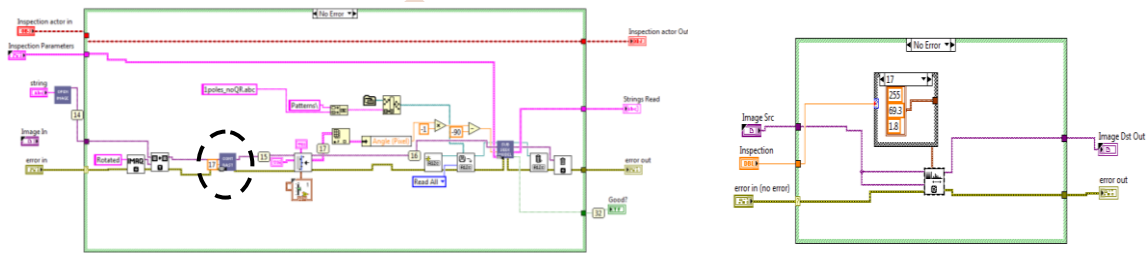


Fig 3.21 VI LabView inspección de modelo y aplicación de contraste.

Los pasos siguientes se ejecutan en una subrutina llamada “sub seek model” en ésta se hace el giro de la imagen con la función “Rotate”, así como identificación de los límites de la etiqueta, con la función “Find Edge”, esta secuencia se puede apreciar en la Fig. 3.22a); posteriormente se define una “ROI” región de interés (del

inglés region of interest) con la función de LabView del mismo nombre, y en conjunto la función “Find edge” se determina la ubicación de los caracteres de interés para la identificación de los números de parte, la cual muestra en la Fig. 3.22b). esta secuencia se usará para aplicar el reconocimiento de caracteres en una sección específica de la etiqueta.

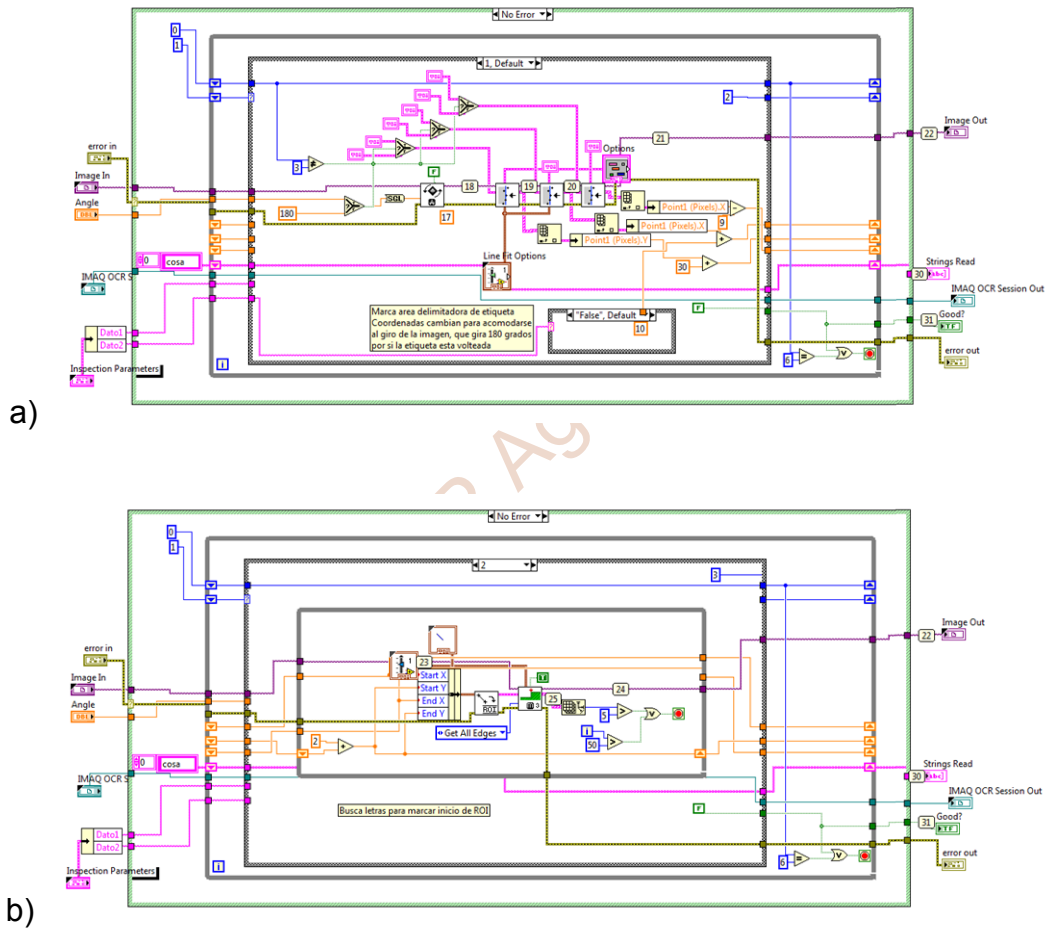


Fig. 3.22 VI LabView “sub seek model” paso a) y b);

a) giro e identificación de límites, b) definición de “ROI” y ubicación de caracteres.

El último paso es identificar los caracteres usando la función “OCR Read Text”, después las cadenas de texto se concatenan y se comparan contra el número

de parte deseado, todos los datos se regresan al VI principal finalizando la inspección, esta última secuencia se aprecia en la Fig. 3.23

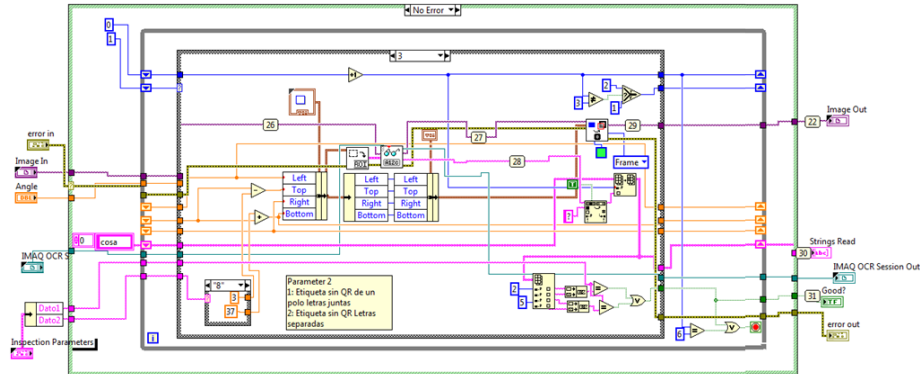


Fig. 3.23 VI LabView “sub seek model”, aplicación de OCR y comparación.

La secuencia de pasos de la inspección descrita y el resultado se puede ver en la secuencia de imágenes de la Fig 3.24.

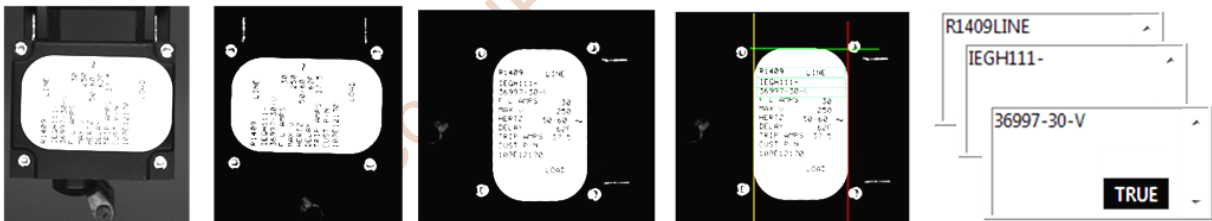


Fig. 3.24 Secuencia de imágenes para identificar número de parte.

3.6.11 Revisión inicial de funcionamiento

Se revisa el correcto funcionamiento primario de todos los componentes y la interacción entre los mismos; se revisa los movimientos de servomotor a cada una de las caras del interruptor, el disparo de las lámparas y adquisición de la imagen de cada una de las cámaras, se ajusta el enfoque de los lentes, y apertura hasta lograr la mejor calidad de imagen, se verifica el tiempo que toma el total de las

inspecciones, se verifica la carga desde y hacia la base de datos en el servidor, también se revisa que el equipo clasifique adecuadamente los interruptores como buenos y malos, así como el que muestre las fotografías donde existe error, por último se revisó el control de las estadísticas y menús para el diagnóstico de fallas ya sea en la operación del equipo o interpretación de las imágenes/inspecciones.

3.6.12 Pruebas de operación y corrección de errores

En este punto se seleccionaron órdenes de producción reales al azar las cuales se llevaron a inspeccionar en el nuevo equipo; nuevamente se validaron todas las funciones del programa, así como cada inspección, durante este proceso, fue necesario hacer ajustes a las inspecciones para cubrir todas las variables no previstas en la programación inicial, ya que la variación de lote a lote genera imágenes con diferentes tonalidades, sombras y brillos que deben contemplarse; posteriormente se inició el llenado de la base de datos, donde se encontró un contratiempo por el tiempo requerido para el llenado de esta, para mitigar la situación, se realizó una herramienta de ayuda en el software donde la base de datos se auto llena de la información ya contenida en el número de parte, y otros puntos también se auto llenan a través de un cuestionario amigable al operador de los números de parte a dar de alta. También se le solicitó al grupo de Ingenieros, Inspectores y Operadores una revisión del equipo, con el objetivo de identificar y corregir aspectos no previstos.

3.6.13 Elaboración del plan de validación

Para definir los puntos de validación se tomó la matriz de inspecciones y para cada característica se definió una lista de verificaciones a realizar, se consideraron

todas las posibles situaciones para cada característica, considerando diferentes números de parte y configuraciones; en este mismo plan se preciso un tamaño de muestra de al menos 50 piezas tomadas al azar de lotes de producción y que considere todas las configuraciones en plan de producción.

3.6.14 Ejecución y análisis de la validación

Se inició con la revisión del equipo por parte del departamento de seguridad para evaluación de riesgos durante la operación, una vez aprobado se inicio la ejecución del plan de validación. En el plan de validación se contempló el uso de piezas buenas previamente inspeccionadas y piezas malas previamente seleccionadas, se consideraron muestras para todas las inspecciones disponibles en el equipo; posteriormente, se corrieron lotes completos de producción con inspección doble, es decir la inspección normal por operador mas la inspección automática del equipo, también durante las corridas de cada orden se verificó el tiempo de la operación. Finalmente el resultado fue satisfactorio dejando el equipo en producción; se generó el plan para replicar el mismo equipo en celdas de producción adicionales.

3.6.15 Entrenamiento y puesta en operación

Antes de entregar el equipo a producción, se realizó la instrucción de trabajo del equipo, éste detalla los aspectos de uso del equipo y puesta a punto, las sesiones de entrenamiento con operadores se realizaron en los 3 turnos con al menos 3 operadores y 1 técnico en cada turno, dando una explicación de la operación de la máquina y los puntos críticos de la inspección, durante el entrenamiento se les dieron a conocer las formas de reaccionar a eventualidades o fallas que pudiera tener el equipo.

3.7 Indicadores de evaluación del proyecto

Variable	Definición	Dimensiones	Indicadores
Tiempo de inspección final	Es el tiempo requerido para inspeccionar un producto en todas sus características y caras	< 15	Segundos por pieza
R&R de la inspección total	Índice de repetitividad y reproducibilidad por atributos (Piezas Buena vs. Mala)	> 95	porcentaje
R&R de la inspección por cada característica	Índice de repetitividad y reproducibilidad por atributos o datos (identificación de características defectuosas)	= 100	porcentaje

4 RESULTADOS

Puesta en marcha del sistema de visión

En esta sección se presentan los resultados de operación y validación del sistema de inspección automático para interruptores de corriente una vez puesto en marcha en línea de producción. Se presentan los resultados iniciando por las validaciones del equipo usando piezas de producción con defectos conocidos, teniendo el equipo fuera de línea de producción y posteriormente resultados de desempeño una vez puesto éste en línea de producción.

Biblioteca UP Aguascalientes

4.1 Validación del equipo

4.1.1 Repetitividad y reproducibilidad por atributos

Para determinar la repetitividad y reproducibilidad del equipo se identificaron 88 muestras de producto aceptables en todas las características y 12 muestras defectuosas de cada característica a inspeccionar. El análisis consta de 3 corridas en orden aleatorio para cada programa de inspección, con el uso del software minitab se calculó el resultado, apreciándose los resultados a las características calificadas como aceptables en las Fig. 4.1a) - d) y Fig. 4.1 e) – i) adicionalmente en la Fig. 4.2 las no aceptables por estar debajo del 100%.

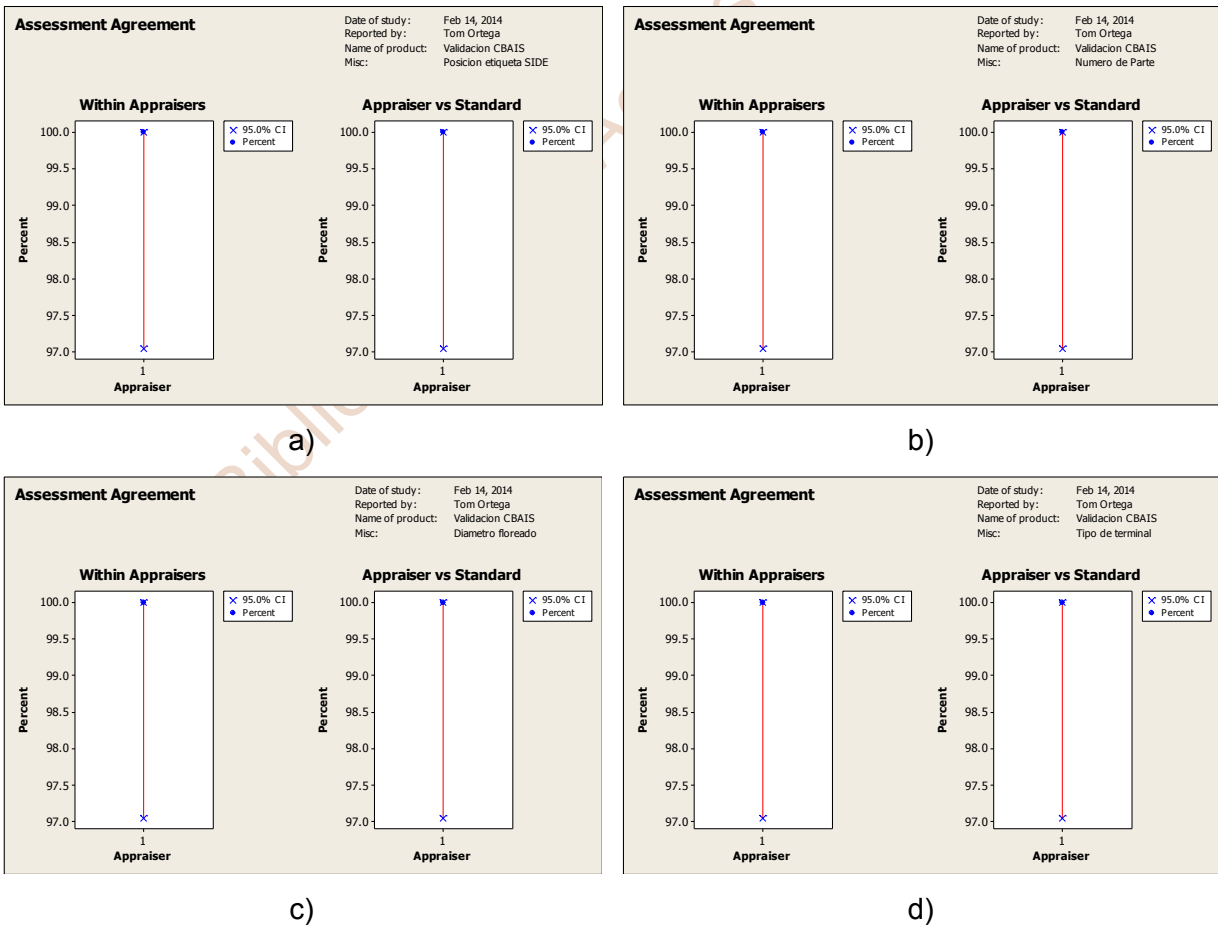
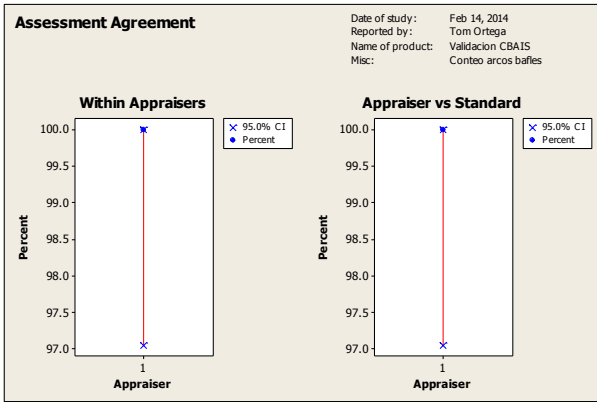
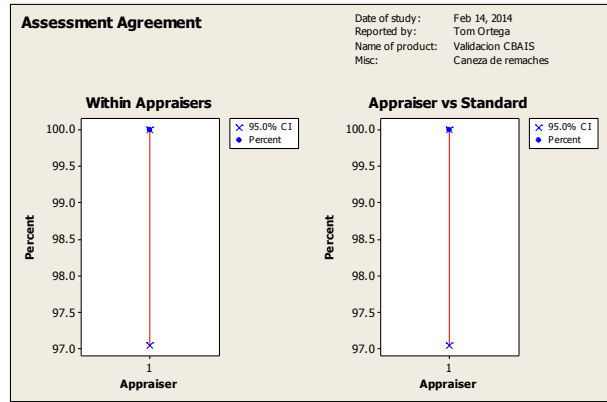


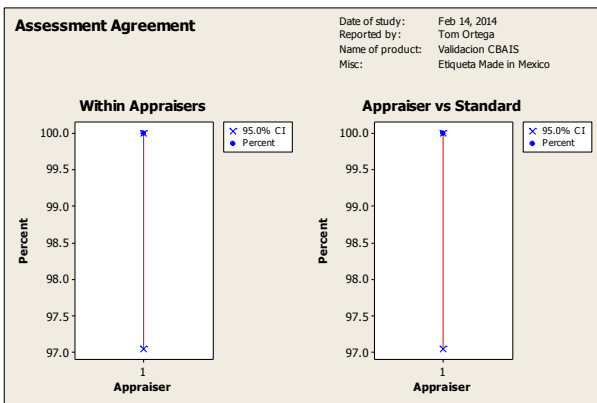
Fig. 4.1 a) – d) Resultados aceptables del Gage R&R



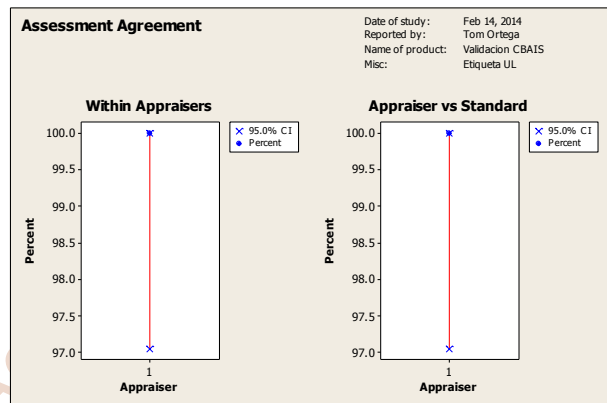
e)



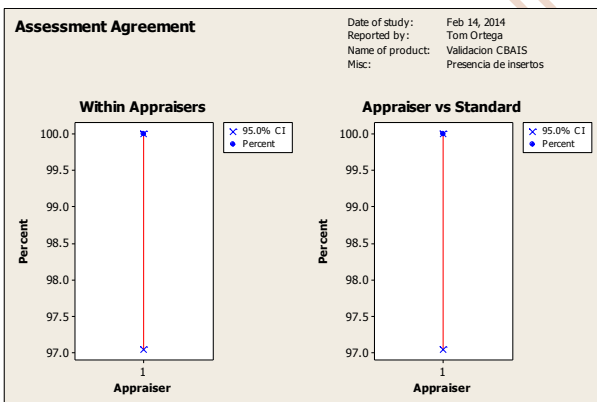
f)



g)



h)



i)

Fig. 4.1e) – i) Resultados aceptables del Gage R&R

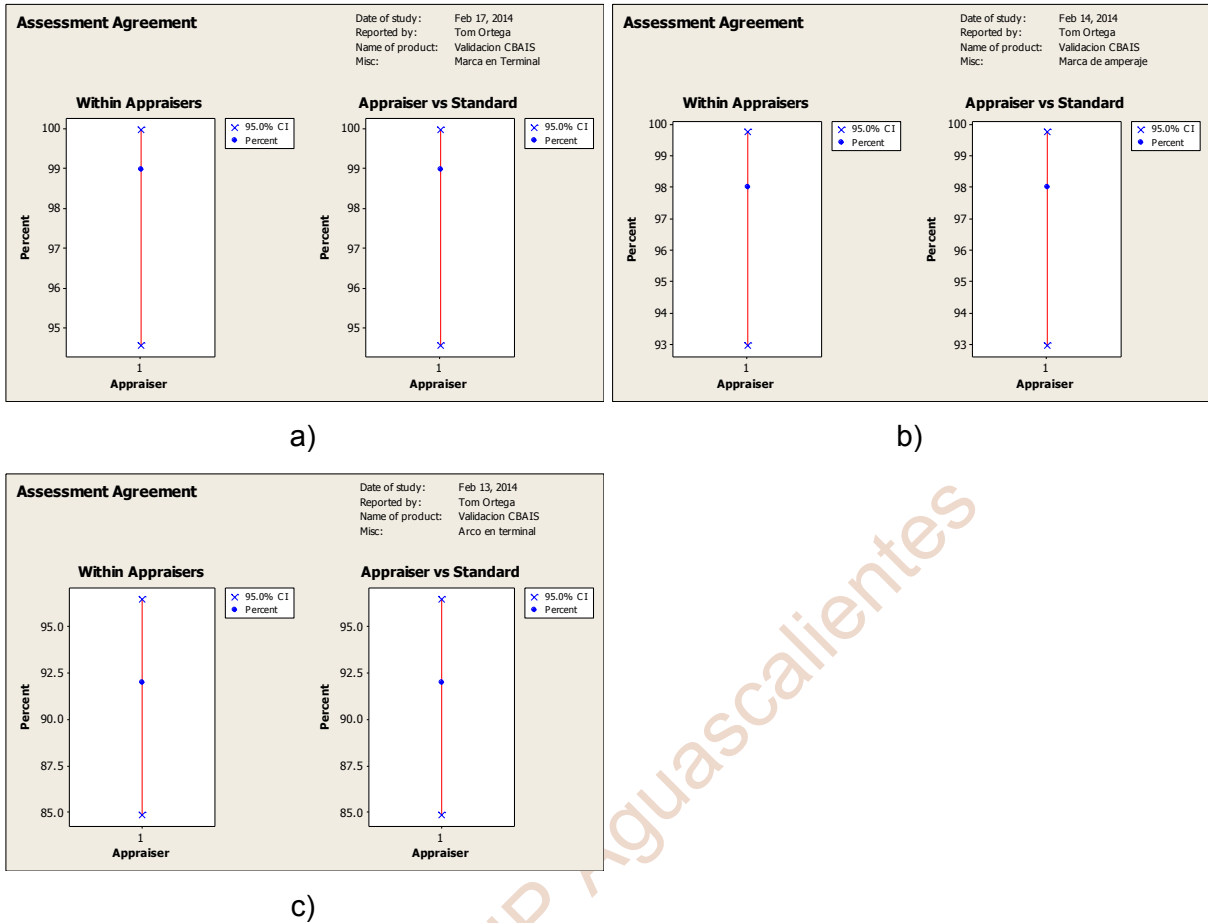


Fig. 4.2 Resultados no aceptables del Gage R&R

Otro estudio de validación se ejecutó para evaluar el resultado de la inspección en conjunto, para lo cual se corrieron 16 muestras de 50 piezas, cada muestra contenía 6 piezas defectuosas y se corrieron 2 iteraciones, usando todas las inspecciones en conjunto, el resultado indica 3 características por debajo de lo esperado y mostrado en la Fig. 4.3

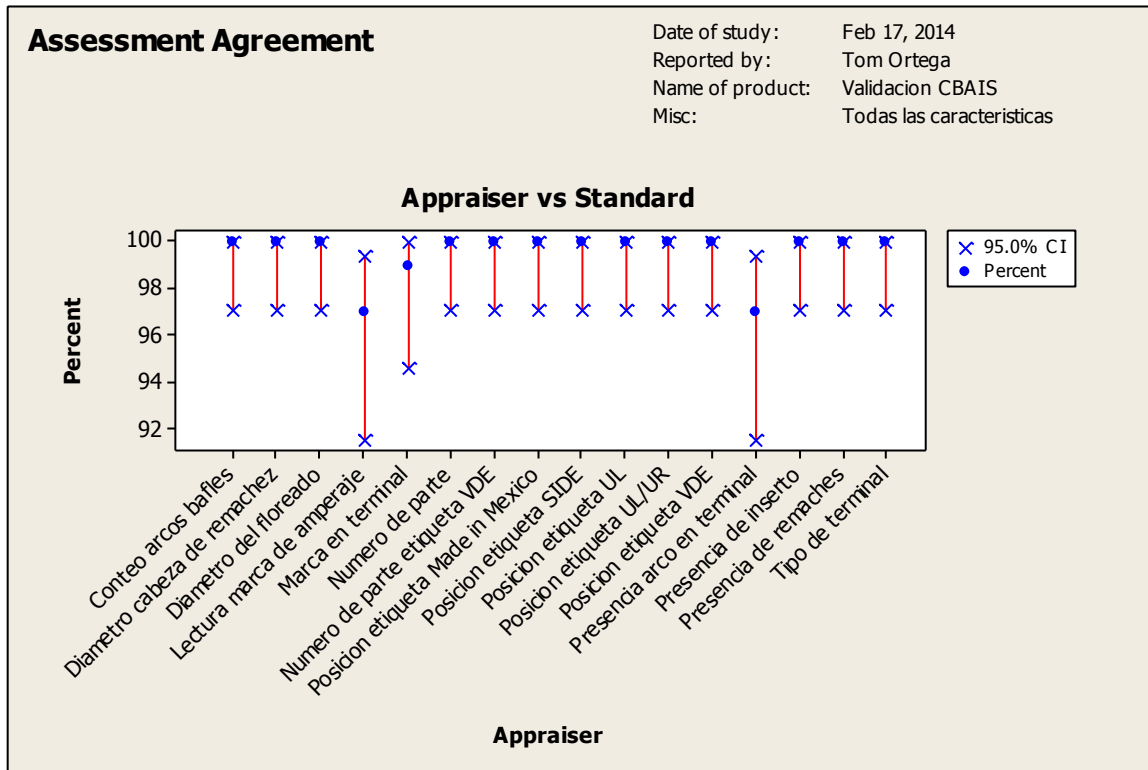
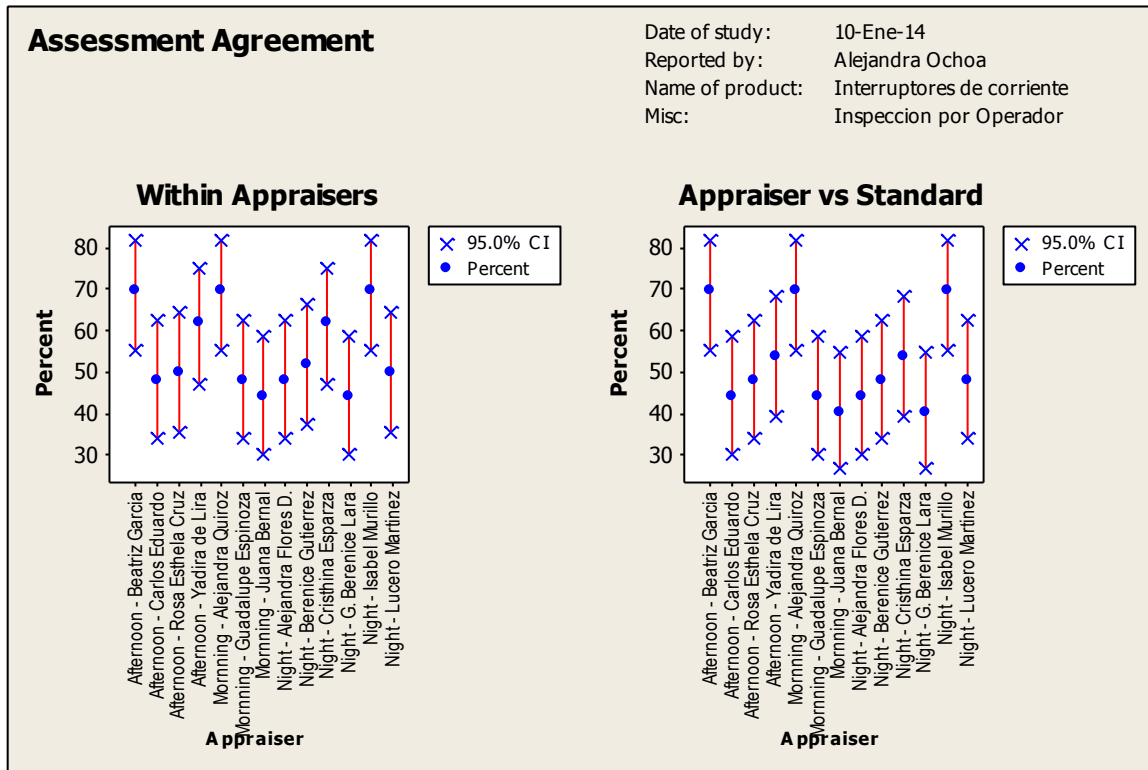


Fig. 4.3 Resultado GR&R del total de características vs. estándar.

4.1.2 Repetitividad y reproducibilidad de inspección por Operador

Para darnos una idea del impacto del sistema de inspección automático, en comparación con la inspección tradicional se realizó un estudio similar con los inspectores de los 3 turnos, en éste se usaron 50 piezas dentro de las cuales 12 tenían defectos incluidos en el nuevo sistema de visión, cada operador inspeccionó el lote en 3 ocasiones, en orden aleatorio y en diferente día, los resultados indican un comportamiento muy bajo comparado con el equipo automático y se puede apreciar en la Fig. 4.4



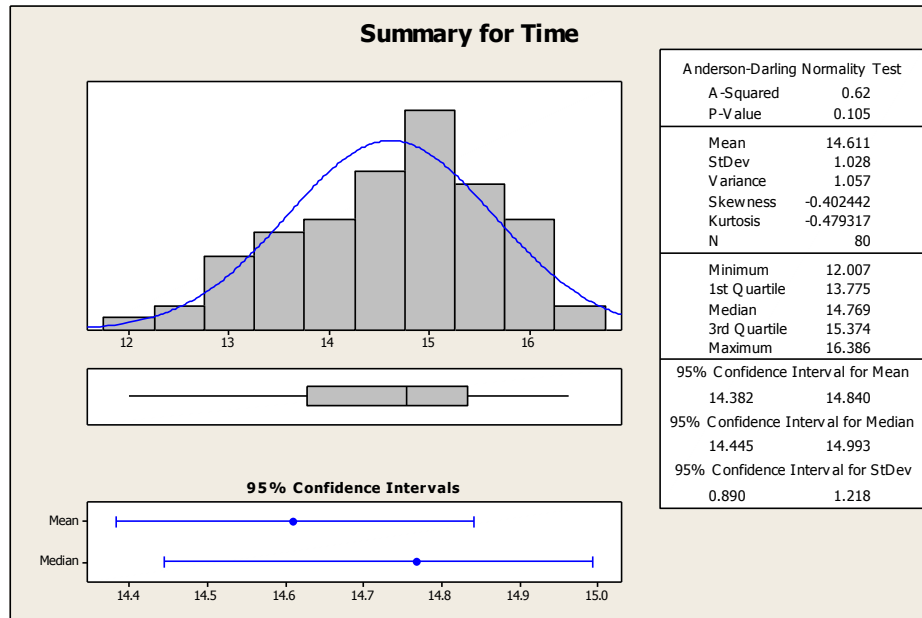


Fig. 4.5 Tiempo promedio de inspección.

4.2 Acciones posteriores a la validación

4.2.1 Selección de inspecciones a implementar en producción

Una vez finalizada la validación y haber analizado los resultados, se optó por remover las inspecciones con porcentajes menores al 100% en el GR&R, aunque el porcentaje de aceptación para una inspección manual es 90%, en nuestra inspección automática se decidió usar 100%, debido a que el tamaño de la muestra de la validación fue realmente pequeño comparado con las expectativas que se tienen del equipo y para no dejar duda a los operadores con el uso de este nuevo sistema.

Al inicio del proyecto se contemplaban una gran cantidad de inspecciones dentro del sistema de visión, sin embargo durante el desarrollo del mismo encontramos que se ocuparía agregar o mejorar el sistema de iluminación para

lograr resaltar el resto de las características a inspeccionar; por tal motivo también se dejaron fuera de los alcances de este proyecto. La tabla 4.1, muestra en color verde las características que se quedaron en el equipo, en color amarillo las que fallaron el proceso de validación y en blanco las que no se desarrollaron.

4.2.2 Primeros resultados del equipo en producción

Durante los primeros 2 meses del equipo en producción se logró reducir los defectos internos de las características inspeccionadas automáticamente en la celda de manufactura, logrando contabilizar 7564 piezas inspeccionadas, donde se rechazaron 279 piezas, de estas últimas se determinó que un 73% fueron falsos rechazos, es decir que las piezas eran buenas, pero el equipo las rechazó.

Otro punto a resaltar fue la necesidad de mejorar la carga de los parámetros de cada número de parte, ya que tomaba hasta 5 minutos la carga de las características a inspección por cada uno en la base de datos, para lo cual se desarrolló un proceso semiautomático en base a la nomenclatura de número de parte y proceso más amigable al operador para parámetros no contenidos en la nomenclatura.

CARACTERÍSTICAS A INSPECCIONAR POR SISTEMA DE VISION

#	Vista 1 Frontal-Et. Side	Vista 2 Lateral-Arcos baffles	Vista 3 Posterior-Logotipo Airpax	Vista 3.5 Intermedia	Vista 4 Lateral-Terminal bobina	Vista 5 Superior	Vista 6 Inferior
CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS PARA INSPECCION							
1	Posición etiqueta SIDE	Tipo de terminal	Numero de parte de etiqueta si esta presente	Diferenciar ancho terminales de switch auxiliar	Ubicacion de terminales laterales	Presencia remaches tipo standoff	Posicion de switch cases (blanco / negro)
2	Numero de parte de etiqueta	Marca en terminal (estampada ej. MS)	Presencia de remaches		Marca en terminal (estampada ej. MS)	Identificar marca de amperaje	marcas especiales, (plugs, numeros, amperaje,)
3	Presencia de remaches	Hardware de terminal (presencia y conteo)	Diametro remache (diferenciar dos tamaños)		Hardware de terminal (presencia y conteo)	Identificar posicion y marca ON / OFF	Tipo y orientacion del plug
4	Diametro del floreado (remache con defectuoso)	Conteo arcos baffles	Presencia terminales laterales		Presencia y tipo de barrier	Identificar presencia y tipo de inserto	Poscion switch en polo
5	Numero de serie (cuando este presente QR)	Presencia y tipo de barrier	Posicion etiqueta Made in Mexico		Presencia de inserto en braket	Etiquetas UL	Stavistor presencia y ruteo
6	Presencia de cubierta en ventila de caja	Quebraduras en ventila de caja	Tipo de guardas de palanca		Etiquetas UL/UR presencia y poscion	Identificar tipo de braket	Marca testigo de switch
7	Orientacion candado de palanca	Presencia arco en terminal				Etiquetas "Tripped"	Espaciador entre polos
8	Tipo de guardas de palanca	Presencia de inserto en braket					
9	Presencia de switch auxiliar						
10	Longitud y alineacion de terminales del switch auxiliar						
CARACTERÍSTICAS OPCIONALES DESEADAS PARA INSPECCION							
1	Alineacion terminales de switch auxiliar	Tipo de palanca - Espesor	Presencia de gomma (LEG)		Marca testigo de probadora Latch	Medicion diametro de insertos	Tipo de guardas en switch uxiliar
2	Tipo de terminales de switch auxiliar	Oren de componentes en tonilleria	Fisura en area de bobina (Bobina gorda)			Identificar color de palanca	Espesor de terminales sitch auxiliar
3	Posicion de palanca	Registrar # Issue UL				Defectos superficiales	Presencia de tira conductora
4	Tipo de palanca	Tipo de cuerda en tornilleria				Candado en palanca	Tipo de barriers
5	Identificar tabs en terminales	En face plate, presencia de resorte					Identificar tipo de tornillos y/o tuercas
6	Tipo de caja	Presencias de guardas					
7	Tipo de Barrier						
8	Leer amperaje de etiqueta						
9	Defectos superficiales						
10	Identificar tornilleria en palanca toggle						
11	Presencia oring (en palanca toggle)						
12	Identificar braker invertido						

Tabla 4.1 Características requeridas para inspección al cierre del proyecto.

5 CONCLUSIONES

Esta tesis ha presentado el diseño, desarrollo y puesta en marcha de un sistema de inspección por computadora para utilizarse en la manufactura de interruptores de corriente.

Durante este desarrollo se construyó un prototipo contando con 2 cámaras digitales GigE, juego de lámparas de Leds rojos y el control desarrollado en el software LabView. Este prototipo tiene la característica de adaptabilidad, ya que pueden agregarse inspecciones adicionales y /o configurarse para otras partes.

La parte medular del proyecto fue el desarrollo del software, donde el equipo se enfrentó a variables numerosas que ponían a prueba las rutinas de inspección, y donde éstas tuvieron que ser mejoradas para mantener la efectividad al máximo.

Los resultados fueron muy satisfactorios debido a la alta capacidad del sistema de inspección para segregar defectos, sin embargo, sólo para aquellas características contempladas. El sistema de inspección tiene un gran potencial, aunque requiere de una inversión de tiempo para desarrollar las secuencias de inspección faltantes para dar máxima funcionalidad en el área de interruptores de corriente.

El área de oportunidad radica en incrementar los sistemas de inspección para cubrir al resto de las líneas de manufactura de interruptores y a puntos adicionales de proceso para detectar defectos internos del ensamble.

Los pasos a seguir al cierre de este proyecto, se pueden resumir en 3 aspectos:

1. Mejora del sistema de iluminación. Debido a la gran cantidad de características es importante considerar el agregar lámparas al sistema de iluminación, debido a que durante el desarrollo algunas zonas mostraban sombras o no se lograba un alto contraste de la característica a evaluar.
2. Desarrollar una herramienta de software para la calibración del sistema. Un código que asegure que el foco y la posición de las cámaras puedan ser instalados en diferentes máquinas para usar las mismas rutinas de inspección. En este mismo apartado se puede añadir una secuencia de verificación al inicio, para evitar baja eficiencia de la inspección automática.
3. Un Consultor. Involucrar al menos a un especialista como consultor, de manera que el estilo de programación sea de fácil comprensión a quienes darían mantenimiento, además de no usar algoritmos en forma repetitiva que consuman los recursos del sistema. Dentro de este aspecto, se requiere también mejorar las habilidades del equipo de trabajo en la comprensión y uso de los filtros digitales.

Se contempla dentro de las prioridades del año 2015 el expandir el uso de sistemas de visión automáticos, tanto para producto terminado, como para producto en proceso y para medición de características en forma digital. El desarrollo expuesto en esta tesis será la base para los nuevos sistemas a desarrollar e implementar.

6 REFERENCIAS

Bangert M. (2006) Profile: The Evolution of Machine Vision. *Quality Magazine*. (Visitado el 13/10/2012) Disponible en: <http://www.qualitymag.com/articles/90345-profile-the-evolution-of-machine-vision>

Batchelor, B.G. (2012) *Machine Vision Hand Book*. London Springer. <http://www.springerlink.com/content/978-1-84996-169-1#section=1040403&page=7&locus=72>

B Grey (2011) *Trends in machine vision cameras* (Visitado el 14/10/2012) Disponible en: <http://machinevision4users.blogspot.mx/2011/09/trends-in-machine-vision-cameras.html>

DALSA (2009) *Machine Vision and Process Control*. (Visitado el 13/10/2012) Disponible en: http://www.teledynedalsa.com/public/ipd/whitepapers/mv_pr.pdf

Davidson M.W. (n/a) *Fundamentals of Light-Emitting Diodes (LEDs)*. (Visitado el 30/11/2012) Disponible en: <http://zeiss-campus.magnet.fsu.edu/print/lightsources/leds-print.html>

Fotonostra (n/a) *La luminosidad*. (Visitado el 3/12/2012) Disponible en: <http://www.fotonostra.com/fotografia/objetivo.htm>

Gonzalez R.C. (2002) *Digital Image Processing*. 2a edición. Saddle River N.J. Pearson Prentice Hall.

Gonzalez R.C. (2008) *Digital Image Processing*. 3ª edición. Saddle River N.J. Pearson Prentice Hall.

Industrial Vision Systems Ltd and NeuroCheck GmbH (2011) *History of machine vision*. (Visitado el 12/10/2012) Disponible en: <http://www.machinevision.co.uk/#/history-of-machine-vision/4550697639>

Industrial Vision Systems Ltd and NeuroCheck GmbH (2011) *What is machine vision?*. (Visitado el 12/10/2012) Disponible en: <http://www.machinevision.co.uk/#>

Infaimon (n/a) Infaimon Su asesor en visión artificial Tecnología y Productos. Barcelona.

Kruegle, H. (2006) *CCTV Surveillance: Video Practices and Technology*. Burlington, MA. Butterworth-Heinemann. [http://site.ebrary.com/lib/upbonaterra/docDetail.action?docID=10158356&p00=cctv surveillance video practices technology](http://site.ebrary.com/lib/upbonaterra/docDetail.action?docID=10158356&p00=cctv+surveillance+video+practices+technology)

National Instruments Corporation (2005) *NI Vision IMAQ Vision Concepts Manual*. Austin TX. Disponible en: <http://www.ni.com/pdf/manuals/372916m.zip>

Roszkowski R. (2010) *Vision Systems Add Accuracy*. *Quality Magazine*. (Visitado el 14/10/2012) Disponible en: <http://www.qualitymag.com/articles/89477-vision-systems-add-accuracy>

The imaging source Europe GmbH (2006) *Lenses Selection and setup*. (Visitado el 30/11/2012) Disponible en: http://www.theimagingsource.com/downloads/choosinglenswp.en_US.pdf

Zuech N. (2000) *Understanding and Applying Machine Vision* 2nd edition. New York. Marcel Dekker Inc. [http://www.ee.iitb.ac.in/student/~bhagwan/communication theory/Pattern Recognition/Computer Vision/Understanding and Applying Machine Vision.pdf](http://www.ee.iitb.ac.in/student/~bhagwan/communication_theory/Pattern%20Recognition/Computer%20Vision/Understanding%20and%20Applying%20Machine%20Vision.pdf)

7 ANEXOS

Anexo 1. Especificación de máquina.

Especificaciones para maquina de inspección digital automática

Fecha: Feb 23, 2013 Autor: Ivan Palacios.

Descripción maquina:

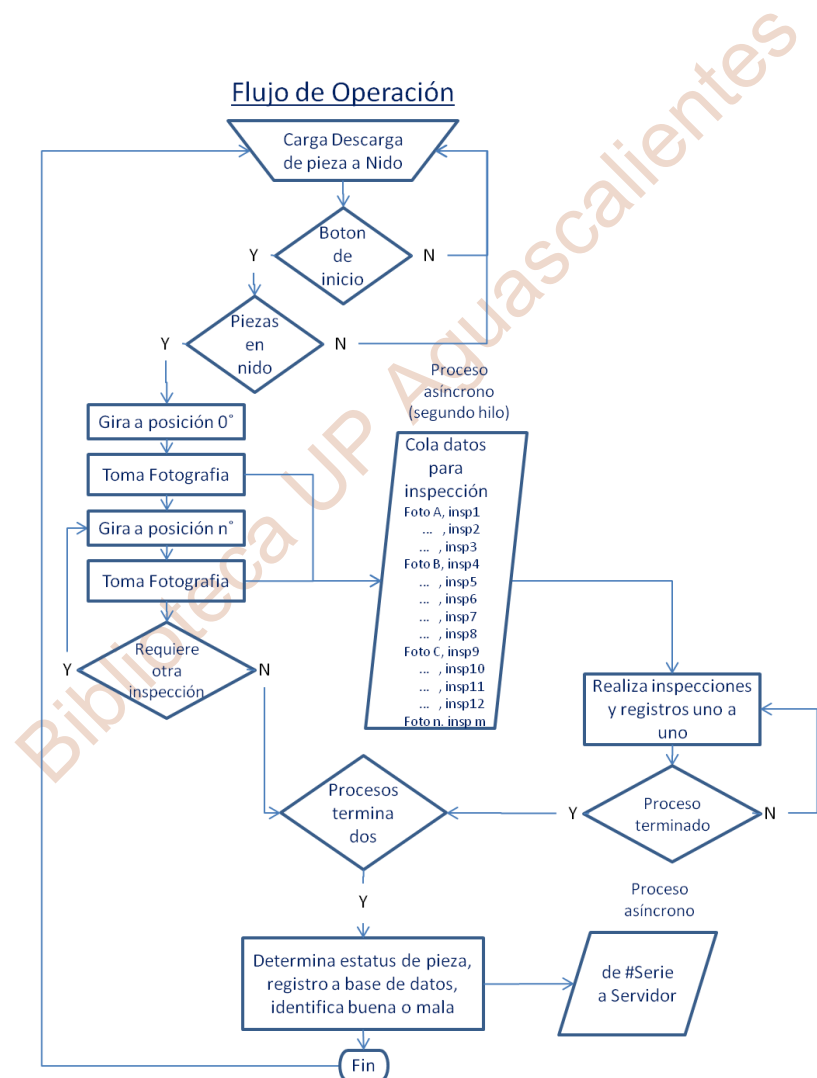
El sistema de inspección es compuesto por un set de 2 cámaras digitales del tipo GigE, montadas una al frente de un nido rotativo y otra en la parte superior. El objetivo principal es la detección de piezas no conformantes, a través del uso de cámara(s) digitales y software capaz de identificar los principales defectos conocidos en piezas inspeccionadas. Las características a inspección se han detallado en la tabla de inspecciones requeridas por cara.

Funciones requeridas:

1. Opción para guardar imágenes en forma secuencia a una carpeta especifica, ya sea del total de las piezas, solo piezas buenas y/o piezas malas, se tendrá la opción de solo guardar estas imágenes y/o las generadas por cada secuencia de inspección indicando el error y los datos que generaron el error.
2. Al registrar el número de serie de cada pieza (solo disponible cuando se inspección código QR o 2D), se registrara base de datos para todos los sistema la siguiente información: # serie, fecha y hora de registro, # maquina, # job, # de parte, status (buena o mala), lista de las inspecciones usadas con numero de revisión.
3. Opción para guardar localmente una copia actualizada de todas las recetas disponibles en servidor.
4. Al cargar recetas verifica versión de cada una, si alguna tiene versión nueva en servidor se actualizara archivo local y avisara al operador.
5. Indicar en pantalla el Job, Numero de parte, Nombre y número de operador, en un recuadro mostrara las fotografías con forme las toma, al final el ciclo indicara pieza buena, mala, y/o indeterminado (cuando este vacío el nido), cuando el resultado sea pieza mala, existirá la opción de revisar las imágenes de las características identificadas malas, esta pantalla podrá hacerse del total del monitor. Adicionalmente, la pantalla del operador mostrara la cantidad

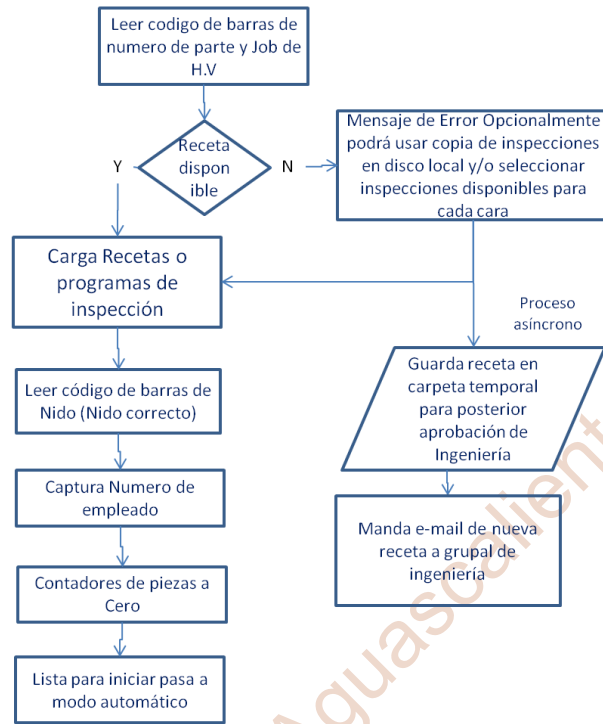
- de piezas buenas, malas, y el % de buenas, también el tiempo total del lote, tiempo de espera total del lote, y tiempo de operación total del lote a la última pieza inspeccionada.
6. A finalizar lote enviara a base de datos el registro al servidor para ser usados por reporteador. Los datos a registrar son, numero de parte, # Job, Fecha y hora de inicio y fin, # maquina, piezas buenas, piezas malas de cada característica, tiempos de espera, operación y total.
 7. Se deberá contar con herramientas complementarias para obtener reportes, uno de piezas totales, buenas, malas y Yield, otro reporte de tiempos de operación vs espera, otro reporte detallado de las piezas que fallaron inspecciones (tipo pareto), finalmente un reporte para obtener los números de serie de piezas consideradas buenas.

Flujo de operación:



Flujo para setup:

Flujo de Setup de Maquina



Biblioteca UP Aguascalientes

Anexo 2

Cronograma propuesto

Sistema Automático de Inspección por Medio de un Sistema de Visión

Fecha: Dic 3, 2012

Responsable: I.Palacios

RoadMap de Implementación		Inicio de semana																																					
Actividad	P/A	19 Nov	26 Nov	03 Dec	10 Dec	17 Dec	24 Dec	31 Dec	07 Jan	14 Jan	21 Jan	28 Jan	04 Feb	11 Feb	18 Feb	25 Feb	04 Mar	11 Mar	18 Mar	25 Mar	01 Apr	08 Apr	15 Apr	22 Apr	29 Apr	06 May	13 May	20 May	27 May	03 Jun	10 Jun	17 Jun	24 Jun	01 Jul	08 Jul	15 Jul			
1 Aprobación de capital	P	█	█	█																																			
	A																																						
2 Ordenar ítems con tiempo entrega	P			█	█	█	█	█																															
	A																																						
3 Diseño y Fabricación de la maquina de inspección	P				█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█																							
	A																																						
3 Desarrollo de programa de inspección	P								█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	
	A																																						
4 Validación de maquina y aplicación en producción	P																																						
	A																																						
5 Recopilación de datos en pruebas de producción con maquina de inspección	P																																						
	A																																						
6 Escritura de capitulo IV : Maquina de inspección	P																																						
	A																																						
7 Captura de datos y análisis de información	P																																						
	A																																						
8 Reporte de resultados. Capitulo V	P																																						
	A																																						
9 Escritura de capitulo III: Metodología	P																																						
	A																																						
10 Conclusiones	P																																						
	A																																						
11 Integración final de la tesis	P																																						
	A																																						

Cronograma de actividades para desarrollo de Tesis

Biblioteca UP