

Propuesta de un método de control de calidad mediante visión artificial para las cabezas de tornillos hexagonales en una empresa específica de Bogotá.



Andrés Felipe Fuentes

Santiago Zuluaga Sánchez



Ingeniería Industrial

Bogotá, Colombia

Abril 19 del 2010

Propuesta de un método de control de calidad mediante visión artificial para las cabezas de tornillos hexagonales en una empresa específica de Bogotá.

Andrés Felipe Fuentes

Santiago Zuluaga Sánchez

Trabajo de Grado

Director: Martha Manrique Torres



Ingeniería Industrial

Bogotá, Colombia

Abril 19 del 2010

Resumen

Para cumplir con los estándares de calidad internacionales, las empresas Colombianas deben garantizar que sus productos lleguen al cliente sin ningún defecto cumpliendo con los requerimientos impuestos sobre el producto. Para realizar esto, es necesario tener un clasificador que identifique bajo unos criterios de calidad cuándo un producto es defectuoso y no defectuoso. En este trabajo de grado se propone un método de control de calidad mediante visión artificial para las cabezas de tornillos hexagonales manufacturados por empresas de Bogotá. Se define un método de inspección total, integrado a la línea de producción realizando un algoritmo con *NI Vision software*, el cual determinó que para la muestra seleccionada de tornillos vendidos en ferreterías de un sector específico de Bogotá, ninguno cumple con las especificaciones de las normas *ANSI/ASME B18.2.3.1M-1979*. Con la propuesta de este clasificador se pueden extraer las características de interés en la cabeza del tornillo hexagonal con un error despreciable. Se describe una posible implementación a un sistema de producción y se establece que debido al tiempo de procesamiento del clasificador, éste representa el cuello de botella en la línea de producción.

Abstract

To meet international quality standards, Colombian companies must ensure that their products reach the customer without any defect in compliance with the requirements imposed on the product. To do this you must have a classifier to identify based on standards if the product is defective or not defective. This paper provides an artificial vision method that classifies hex cap screws manufactured by companies in Bogotá under quality standards. We define a total inspection method, integrated into the production line by an algorithm with NI Vision software, which determined that the selected sample of screws sold in hardware stores in a specific sector of Bogota, did not meet the specifications of the standards ANSI / ASME B18.2.3.1M-1979. With the proposal of this classifier, the features of interest in the hexagonal screw head can be extracted with a negligible error. A description of a possible implementation into a production system is given, which states that due to the processing time of the classifier, it represents the bottleneck in the production line.

Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	12
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
3.	JUSTIFICACIÓN	17
4.	MARCO TEÓRICO	19
4.1.	CALIDAD	19
4.2.	CONTROL DE CALIDAD	19
4.3.	INSPECCIÓN.....	19
4.4.	TOTAL QUALITY MANAGMENTE (TQM):.....	20
4.5.	CONTINUOUS QUALITY IMPROVEMENT (CQI).....	21
4.6.	COSTOS POR UN POBRE DESEMPEÑO Y CALIDAD	21
4.7.	METROLOGÍA	21
4.8.	DOE (DESIGN OF EXPERIMENTS).....	22
4.9.	CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS	23
4.10.	TEORÍA DE DECISIONES BAYESIANAS	23
4.11.	CLASIFICADOR	23
5.	MARCO CONCEPTUAL	23
5.1.	TORNILLOS	23
5.2.	IMÁGENES DIGITALES	24
5.2.1.	Definición de Imagen Digital	24
5.2.2.	Propiedades de una Imagen Digital	25
5.2.3.	Archivos de imagen.....	26
5.2.4.	Tipos de imágenes.....	27
5.3.	MONTAJE DEL SISTEMA	27
5.4.	ADQUISICIÓN DE IMAGEN	29
5.4.1.	Resolución.....	29
5.4.2.	Iluminación para la captura	30
5.4.3.	Profundidad del campo.....	30
5.4.4.	Perspectiva:.....	30
5.4.5.	Distorsión	31

5.5.	CALIBRACIÓN ESPACIAL	31
5.6.	ANÁLISIS DE LA IMAGEN - HISTOGRAMA	32
5.7.	PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN	32
5.7.1.	Núcleos de Convolución.....	33
5.7.2.	Filtrado Espacial	33
5.8.	SEGMENTACIÓN DE LA IMAGEN.....	34
5.8.1.	Umbralización	34
5.8.2.	Detección de bordes	34
5.8.3.	Reconocimiento de Patrones.....	35
5.8.4.	Medidas dimensionales	36
5.9.	SISTEMA DE COORDENADAS (National Instruments, 2009).....	37
5.9.1.	Localización del Componente en la Imagen.....	38
5.9.2.	Localización de Características.....	38
5.9.3.	Creación de Medidas	39
5.9.4.	Calificación de las Medidas	39
6.	CARACTERIZACIÓN DE LA CABEZA DEL TORNILLO	40
7.	CLASIFICADOR PARA LA CABEZA HEXAGONAL DE UN TORNILLO REFERENCIA M6 X 1 GALVANIZADO.....	44
7.1.	MONTAJE DEL SISTEMA DE CAPTURA.....	45
7.1.1.	Plataforma de Inspección	45
7.1.2.	Posicionamiento de cámara.....	47
7.1.3.	Iluminación.....	49
7.1.4.	Software del clasificador	49
7.2.	CALIBRACIÓN	50
7.3.	ADQUISICIÓN DE IMAGEN	57
7.4.	PRE PROCESAMIENTO.....	57
7.4.1.	POWER X	58
7.4.2.	REALCE DE DETALLES	59
7.5.	ANÁLISIS DE LA ILUMINACIÓN.....	59
7.5.1.	Desarrollo del algoritmo cara superior.....	60
7.5.2.	Adquisición de imágenes en escenarios de luz controlada	60

7.5.3.	SEGMENTACIÓN.....	68
7.6.	ALGORITMO DEL CLASIFICADOR DE CABEZAS HEXAGONALES PARA LOS TORNILLOS M671	
7.6.1.	Adquisición Imagen vista frontal:	72
7.6.2.	Vista Frontal:.....	73
7.6.3.	Defectuoso VF:.....	75
7.6.4.	Adquisición de Imagen Vista Superior:	76
7.6.5.	Vista Superior:.....	76
7.6.6.	Exportar Datos	78
7.7.	ADAPTACIONES DEL CLASIFICADOR:.....	81
7.8.	LIMITACIONES DEL CLASIFICADOR.....	82
8.	CONDICIONES NECESARIAS PARA IMPLEMENTAR EL CLASIFICADOR.....	82
8.1.	BALANCEO EN LÍNEA.....	84
8.1.1.	Producción del Tornillo	85
8.1.2.	Adquisición de Imagen.....	85
8.1.3.	Tiempo Clasificación:	85
8.2.	INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN	85
8.3.	ESTIMATIVO DE LOS COSTOS FIJOS Y VARIABLES DEL CLASIFICADOR.....	87
9.	DISPOSICIÓN DE LOS TORNILLOS CONFORMES Y NO CONFORMES.....	88
10.	CONCLUSIONES.....	94
11.	OBSERVACIONES.....	95
12.	RECOMENDACIONES.....	96
	Bibliografía	97

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 5-1 Referencia espacial del píxel (0,0)	25
Imagen 5-2 Resolución 1280x960	25
Imagen 5-3 Resolución 1280x960 Zoom 16X.....	26
Imagen 5-4 Parámetros fundamentales de un sistema de captura.....	28
Imagen 5-5 Errores de perspectiva y distorsión	30
Imagen 5-6 Ejemplo de núcleos de convolución	33
Imagen 5-7 Detección de Bordes	34
Imagen 5-8 Cruce de Correlaciones Normalizado	36
Imagen 5-9 Concepto Eje de Coordenadas.....	37
Imagen 5-10 Posicionamiento del Eje de Coordenadas	38
Imagen 5-11 Detección de bordes en una figura geométrica	39
Imagen 5-12 Muestra cómo dando un valor máximo y mínimo se da una calificación a la medida	40
Imagen 6-1 Hex Cap Screw, Metric Formed Hex Screws, Metric Hex Bolts (de arriba a abajo).....	43
Imagen 7-1 Fotografía de la plataforma utilizada para realizar el clasificador, punto A.....	46
Imagen 7-2 Fotografía de la plataforma utilizada para realizar el clasificador punto B.....	46
Imagen 7-3 Plataforma con nivelador garantizando perpendicularidad	47
Imagen 7-4 Cámara AVT Guppy Fire Wire	47
Imagen 7-5 Lente FUJINON HF35HA-1B	47
Imagen 7-6 Estación de calidad CTAI Pontificia Universidad Javeriana.....	48
Imagen 7-7 Cámara, su lente se encuentra perpendicular a la plataforma	48
Imagen 7-8 Posición de las cámaras en el montaje de captura.....	49
Imagen 7-9 Métodos de Calibración para la Construcción del Clasificador	50
Imagen 7-10 Parámetro Superintendencia.....	51
Imagen 7-11 Resultado de la segmentación del parámetro mediante umbralización.....	52
Imagen 7-12 Interfaz del algoritmo para determinar el área en píxeles del parámetro.....	52
Imagen 7-13 Campo de visión del clasificador medido por medio con regla.....	56
Imagen 7-14 Adquisición de Imagen.....	57
Imagen 7-15 Objeto realizando Contraste, función Power X	58
Imagen 7-16 Filtrado de convolución	59
Imagen 7-17 Medición de luxes en el punto de interés	60

Imagen 7-18 Montaje y cabeza del tornillo bajo las condiciones del escenario "Luz e Icopor"	61
Imagen 7-19 Identificación de Características Luz e Icopor.	61
Imagen 7-20 Montaje y cabeza superior sin luz ni Icopor	62
Imagen 7-21 Identificación de Características sin Luz ni Icopor	62
Imagen 7-22 Montaje y cabeza superior con luz lateral sin icopor	63
Imagen 7-23 Identificación de Características con luz lateral sin Icopor.....	63
Imagen 7-24 Montaje y cabeza superior con luz lateral e Icopor.....	64
Imagen 7-25 Identificación de Características con Luz Lateral sin Icopor	64
Imagen 7-26 Montaje y cabeza con luz superior sin Icopor	65
Imagen 7-27 Identificación de Características con Luz Lateral sin Icopor	65
Imagen 7-28 Montaje y cabeza superior con luz superior con icopor.....	66
Imagen 7-29 Identificación de Características con Luz superior con Icopor	66
Imagen 7-30 Montaje y cabeza superior con luz sin Icopor	67
Imagen 7-31 Identificación de Características con Luz sin icopor	67
Imagen 7-32 Reconocimiento de Patrón Cabeza Vista Frontal (a), Vista Superior (b)	68
Imagen 7-33 Búsqueda de un borde recto	69
Imagen 7-34 Sistema de coordenadas.....	70
Imagen 7-35 Características Imagen Frontal (a) Características Imagen Superior (b).	71
Imagen 7-36 Interfaz Visual Builder; Simular adquisición	73
Imagen 7-37 Sectores derecho e izquierdo vista frontal	74
Imagen 7-38 Segmentación vista frontal	74
Imagen 7-39 Extracción características	75
Imagen 7-40 Interfaz de tornillo defectuoso	76
Imagen 7-41 Adquisición imagen vista superior	76
Imagen 7-42 Mediciones distancia S y E	77
Imagen 7-43 Estado final de la cabeza hexagonal analizada	78
Imagen 8-1 Propuesta de estación de control de calidad por medio de visión artificial en una línea de producción	83
Imagen 8-2 Posición del tornillo en puesto de control.....	83
Imagen 8-3 Cabeza hexagonal vista frontal.....	84

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1 Total patrimonio empresas manufactureras de tornillos en Bogotá.....	14
Gráfico 2-2 Variación Porcentual del Sector.....	15
Gráfico 5-1 Curva de Escala de Grises.....	35
Gráfico 7-1 Curva de Calibración para el Clasificador.....	54
Gráfico 7-2 Line Profile	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 8-1 Integración del Sistema Operativo	86
Figura 9-1 Dos Rieles con destinos finales en integrado al puesto de control de calidad.....	91
Figura 9-2 Ilustración del actuador en el montaje del puesto de control de calidad.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1 Términos	20
Tabla 5-1 Tipos de tornillo (Español e Inglés).....	24
Tabla 6-1 Medidas de Tolerancia para la caracterización de la cabeza hexagonal del tornillo M6x1.	43
Tabla 7-1 Comparativo entre grilla de puntos y patrón.....	51
Tabla 7-2 Dimensiones Patrón.....	53
Tabla 7-3 Área de la partícula dada en número de píxeles.	53
Tabla 7-4 Resultado obtenido mediante la Curva de Calibración para el clasificador a una altura 43,8 mm	54
Tabla 7-5 Resultados de la calibración contra los límites de la norma.....	55
Tabla 7-6 Resultados del clasificador para el patrón radio 9,50545 mm.	56
Tabla 7-7 Error obtenido del campo de visión entre el calibrador digital y la curva de calibración	56
Tabla 7-8 Resumen de resultado de luxes	68
Tabla 7-9 Distancias entre caras, esquinas y alturas de los once tornillos medidas con el calibrador vernier digital.....	79
Tabla 7-10 Variación entre la medida realizada con un calibrador vernier digital y el instrumento de visión artificial para la variable S.....	80

Tabla 7-11 Variación entre la medida realizada con un calibrador vernier digital y el instrumento de visión artificial para la variable <i>E</i>	80
Tabla 7-12 Variación entre la medida realizada con un calibrador vernier digital y el instrumento de visión artificial para la variable <i>K</i>	81
Tabla 8-1 Requisitos del sistema operativo	86
Tabla 8-2 Calculo de Costo Total de la implementación del Clasificador.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 8-3 Sensibilidad del Costo total de acuerdo al desempeño del Clasificador.	88

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 3-1 Área Responsable de la calidad.....	18
Diagrama 5-1 Proceso de Medición de componentes.....	37
Diagrama 7-1 Etapas para construir el clasificador de cabeza hexagonal.....	45
Diagrama 7-2 Procedimiento para obtener los luxes necesarios para el funcionamiento del clasificador	60
Diagrama 7-3 Diagrama del flujo de los estados del clasificador	72
Diagrama 8-1 Estados del método de clasificación de la cabeza hexagonal de tornillos M6.....	84
Diagrama 9-1 Proceso de disposición de menor esfuerzo.....	90
Diagrama 9-2 Proceso de disposición de mayor esfuerzo.....	92

1. INTRODUCCIÓN

La calidad, como característica fundamental que determina si un producto o servicio cumple las especificaciones requeridas por un cliente, es de vital importancia para la supervivencia de una empresa en el mercado actual. Específicamente en la industria de la metalurgia y metalmecánica del país con mercados en el exterior, el requerimiento de productos de calidad es más estricto y exigente con base a estándares internacionales, por lo que todo apunta a la búsqueda de procesos que garanticen que el cliente recibe productos de calidad.

Como un eslabón esencial dentro del proceso para asegurar la calidad, se encuentra la inspección del producto o servicio. Dentro de las actividades principales de este proceso se evalúa la calidad de alguna característica en relación con un patrón y se realiza una clasificación en productos conformes y no conformes. Normalmente esta actividad en la industria de la metalurgia y metalmecánica de Colombia se efectúa de forma manual, pero desde los años 70 en los países más industrializados, ésta tarea de inspección de bienes manufacturados mediante sistemas de visión artificial se ha vuelto de gran importancia. En la actualidad en Colombia, ya se han realizado varios trabajos de aplicación de control de calidad con sistemas de visión artificial, y como factor de competitividad es necesario que todas las empresas consideren en adoptar las nuevas tecnologías de un mundo globalizado. Considerando esto último, se tiene como propósito de este trabajo el clasificar, en conformes y no conformes, mediante visión artificial, un producto de una empresa en Bogotá del sector metalmecánico especializada en la producción de tornillos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El año 2009 fue un año en el cual la economía mundial fue puesta a prueba. Se enmarcó por una de las grandes caídas en el sistema financiero nunca antes vista por generaciones. Lo que empezó en el sector financiero se transmitió a las industrias y al comercio, provocando gran contracción en la demanda de los consumidores y, aumento en el desempleo. Los países emergentes no fueron ajenos a esta situación. Las exportaciones cayeron gracias a medidas proteccionistas que tomaron muchos gobiernos como medida contra cíclica a la situación. Los precios de los *commodities* bajaron, provocando menor ingreso por parte de la exportación de materia prima. Se vio también como la inversión extranjera bajaba provocando falta de liquides en el mercado para la expansión de proyectos y creación de nuevos empleos.

Para el 2009 Colombia no tuvo un fácil camino. La producción real de industria manufacturera se contrajo un 5,3%, afectado principalmente por la reducción en las industrias de vehículos automotores (-30.2%); industrias básicas de hierro y acero (-17,5%); confecciones (-18,7%); productos minerales no metálicos (-6,6%); y otros productos alimenticios (-9,0%) (DANE, Colombia, 2010).

Las exportaciones con Venezuela se vieron fuertemente golpeadas por las políticas bilaterales de los dos países. Solo entonces en el 2009 el comercio con el país vecino descendió de USD\$ 4.951 millones a USD\$ 3.522 millones teniendo una caída del 29%.¹ A pesar de este escenario tan adverso, donde se pensó que se tendría un crecimiento negativo o del 0%, Colombia logro obtener un PIB del 0,4%. Por su puesto, se tomaron medidas de diversificar nuestro portafolio de exportaciones, resultado positivo que produjo este ambiente adverso comercial, pero ante nuevos destinos y nuevos mercados internacionales, también se encuentran nuevos competidores con mercados mucho más sofisticados y demandantes. Estándares de Calidad y precios competitivos son los métodos para descartar empresas que no buscan encontrar grandes negocios y oportunidades. Satisfacción del cliente en todos los eslabones de la cadena de abastecimiento, mezclado por un apetito de crecimiento empresarial y posición en el mercado origina que día a día las empresas busquen políticas y métodos para reducir sus costos y brindar productos y servicios innovadores de mayor calidad.

En el Foro Económico Mundial del 2009 realizado en Ginebra, Suiza, Colombia fue clasificada en el puesto 69 subiendo del puesto 74 posición del 2008 (Sala-i-Martin, 2009). En este reporte encontramos que en los pilares 11. Sofisticación del Negocio, y 12. Innovación se tienen grandes desventajas.²

Para una empresa manufacturera de tornillos que tiene clientes que no aceptan defectos, es fundamental poder llevar a todos sus clientes productos de calidad que satisfagan sus respectivas necesidades o especificaciones. Como parte primordial para alcanzar este objetivo es necesario

¹http://www.dane.gov.co/daneweb_V09/index.php?option=com_content&view=article&id=128&Itemid=85
Fecha. 13 de Marzo 2010, Anexos estadísticos de oferta y demanda (IV trimestre de 2009

² <http://www.weforum.org/pdf/GCR09/GCR20092010fullreport.pdf> Fecha. 22 de Febrero 2010.

tener un proceso de inspección que garantice la identificación de todos los productos defectuosos, pero como es común en varias empresas manufactureras la inspección es realizada por un inspector que se basa principalmente en sus capacidades sensoriales, lo que irrevocablemente da cabida a los errores de inspección. Éstos se transforman en productos defectuosos en manos del cliente, que conlleva a la empresa a incurrir en una serie de costos que se exponen posteriormente y que afectan sus ganancias. Entre los tipos de tornillos que fabrica una empresa manufacturera de tornillos en Bogotá, están los de cabeza hexagonal, que es una parte del tornillo susceptible a tener defectos. Por lo tanto, una empresa manufacturera de tornillos cuyo proceso de inspección lo realice el hombre sin ayuda, o con ayuda de instrumentos de medida mecánicos, va a tener tornillos con cabezas hexagonales defectuosas que no se identifican y por ende se clasifican como no defectuosas. Es en esta situación donde recae el objeto de estudio a trabajar, que es la calidad de las cabezas hexagonales de los tornillos producidos por una empresa en Bogotá.

Caracterización Financiera de Empresas código CIU 2811 en Bogotá:

Con el propósito de realizar este trabajo de grado se caracterizan cinco empresas productoras de tornillos de Bogotá mirando su situación financiera y se encuentran las empresas las cuales pueden implementar la metodología propuesta para el clasificador por visión artificial.

- Fabrica de Tornillos GUTEMBERG S.A.
- Mundial de Tornillos S.A.
- Tornillería Industrial LTDA
- Tornillos y Partes Plaza LTDA
- Universal de Tornillos y Herramientas LTDA. C.I

En el Anexo A³ se encuentran los estados financieros de cada compañía que permiten inferir sobre la posibilidad de implementar un sistema de control de calidad por medio de visión artificial.

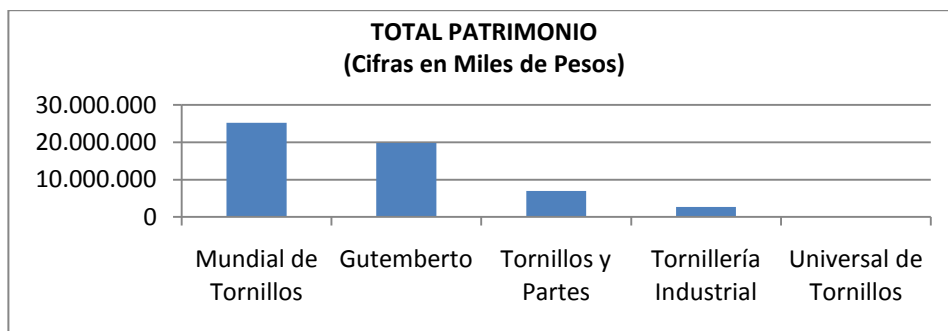


Gráfico 2-1 Total patrimonio empresas manufactureras de tornillos en Bogotá

Fuente: Presentación propia de los autores

³ Anexo A ruta: \\Anexo A\Anexo\A-1

Las dos empresas más grandes según el gráfico 2-1 son Mundial de Tornillos. Donde para el 31 de Diciembre del 2008 Mundial de tornillos cuenta con un patrimonio de \$ 25.175 millones de pesos y Fabrica de Tornillos Gutembergo cuenta con \$ 19.779 millones de pesos. Ahora el patrimonio para Mundial de Tornillos es el 46% del total del patrimonio de este sector caracterizado y para Fábrica de Tornillos Gutembergo es del 36%. Se toma entonces por administración por excepción estas dos empresas ya que ellas tienen el 82% del patrimonio del sector caracterizado.

En el reporte anual del PIB de Colombia entregado por el Dane, se encuentra como el sector tuvo un leve crecimiento en la demanda para el 2009. Como se ve en el gráfico 2-2 el sector tuvo un repunte del 9.1% Para estas dos empresas caracterizadas en el sector se busca entonces crear una propuesta que permita mantener una capacidad instalada competitiva que genere valor agregado a los productos que ofrece. En este caso específico, es garantizar cero defectos en los tornillos manufacturados.

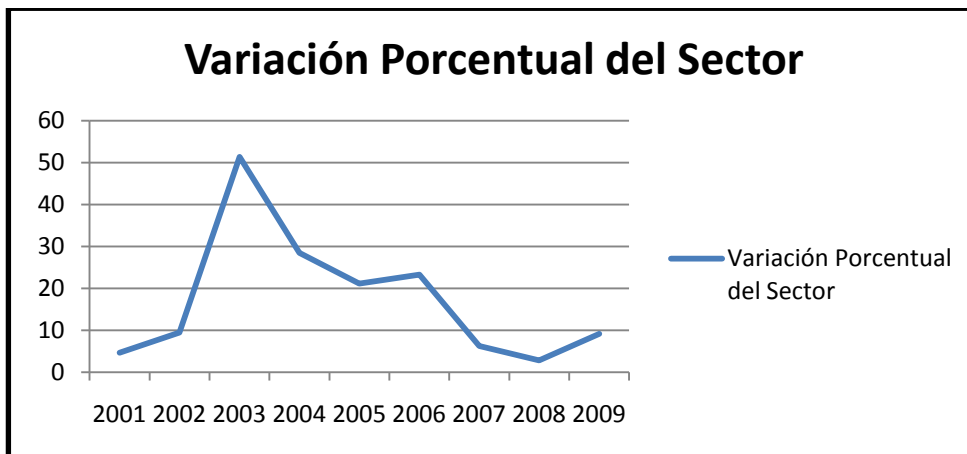


Gráfico 2-2 Variación Porcentual del Sector

Fuente: Pib_Oferta_por_ramas_de_actividad_Corrientes_(Desestacionalizadas)_2009-4.xls, Dane Marzo 2010.

Tal propuesta necesita inversión en infraestructura y tecnología. Gestionar un método de control de calidad total integrado a la línea de producción, requiere de compañías con indicadores financieros particulares.

Mirando primero la razón de endeudamiento de cada compañía, se tiene que para Gutembergo en el 2008 era del 36,35%. Sus pasivos que están a corto plazo han disminuido de un alto 90% en el 2005 a un 79%. Para la empresa de Mundial de Tornillos encontramos que su razón de endeudamiento en el año 2008 fue un poco menor a Gutembergo, 30,68%. Sus pasivos a corto plazo representan el 100% de su deuda obtenida. Esto quiere decir que Mundial de tornillos a pesar de ser una empresa tan grande no está concentrando su deuda para financiar inversiones a largo plazo, que por lo general es aquella deuda de que se transmite en infraestructura, tecnología

e innovación. A pesar de ello se encuentra para ambas empresas manufactureras una razón de endeudamiento bajo, lo cual les permite adquirir créditos que se transforman en inversión.

Otro factor importante para mirar en las dos empresas es sus razones de liquidez las cuales permitirán que la empresa pueda responder a cualquier inversión o deuda contraída en un corto plazo. Este indicador es importante ya que para el propósito de implementar una estación de calidad es importante que la empresa cuente con las ventas que puedan sostener los créditos adquiridos. A 31 de Diciembre del 2008 la empresa Mundial de Tornillos muestra que su capital de trabajo neto de \$18.796 millones COP, es el 51,57% de con respecto al total de los activos de la empresa. En la Fabrica de Tornillos Gutemberto S.A. el capital de trabajo neto de \$16.723 millones COP, representa el 53,81% con respecto a los activos totales.

Teniendo un capital neto bueno por encima del 50%, permite que las dos empresas caracterizadas tenga el musculo financiero necesario para realizar inversiones a largo plazo. Entrando ahora en los Estados Financieros de las empresas, a corte del 31 de Diciembre del 2008 se tiene que para la empresa manufacturera Mundial de Tornillos sus ingresos operacionales aumentaron en un 1,13% con respecto al 2007, año el cual fue de gran aceleramiento en el sector manufacturero en Colombia. Para la Fábrica de Tornillos Gutemberto S.A. se tiene otro tipo de escenario donde disminuye en un 1,68% con respecto al 2007. Esto pudo ocurrir puesto que para el 2008 hubo una depresión en las exportaciones ya que el mundo y los países industrializados demandantes, bajaron sus importaciones y entraron en políticas proteccionistas. Se podría inferir que Gutemberto que es una empresa principalmente de exportaciones y sectores muy específicos como el automotriz, tuvo problemas para aumentar sus ventas, y especialmente cuando la base del análisis es el año 2007.

Se determina que tanto Gutemberto como Mundial de Tornillos, tienen el musculo económico, patrimonio e indicadores financieros para generar y financiar métodos que les permitan entrar como empresas competitivas en el mercado Internacional.

Si se desea mirar con más detalle estas cifras, en el Anexo A se encuentra toda la información en detalle de los estados financieros de las empresas caracterizadas. En la página web del DANE⁴ se encuentra los informes anuales del PIB en Colombia.

⁴http://www.dane.gov.co/daneweb_V09/index.php?option=com_content&view=article&id=128&Itemid=85.

Fecha. 13 de Marzo 2010

3. JUSTIFICACIÓN

Las empresas que realizan el proceso de inspección basándose en la capacidad sensorial humana están sujetas a una serie de desventajas asociadas directamente con el factor humano. En el libro “Manual de control de la calidad”⁵ de Juran, se determinan los errores de inspección a los que contribuye el inspector como elemento humano del proceso. Estos errores los clasifican en varias clases:

- Errores debidos a falta de capacidad, de destreza o conocimientos técnicos. Pueden etiquetarse de “errores técnicos”.
- Errores por inadvertencia.
- Errores intencionales.

Según una nota de J. M. Juran, los inspectores detectan alrededor del 80% de los defectos reales de los productos y pasan por alto el 20% restante. (Manual de control de la calidad, 2005)

En una empresa del sector metalmecánico manufacturera de tornillos, que tenga clientes con políticas cero defectos como la industria automotriz⁶, tener un 20% de defectos por errores de inspección resulta en elevados costos, que se pueden expresar como costos externos. Estos surgen cuando un defecto es encontrado después de que el cliente recibe el producto. Aunque su valor exacto es difícil de estimar, se sabe que impactan fuertemente en las ganancias de la compañía. Esto sucede principalmente por la mala imagen que puede ganarse la firma, ya sea por malos comentarios transmitidos de una persona a otra, la pérdida de clientes actuales y futuros, o si el problema es relevante puede ser transmitido por medios de comunicación importantes. Por otro lado se generan costos por servicio de garantías y litigaciones. (Krajewski, 2007)

Por ende, es de vital importancia que una empresa del sector de la metalurgia y metalmecánica manufacturera de tornillos, garantice cero defectos en sus productos y para lograr esto es necesario automatizar el proceso. Se sustituye, por lo tanto, las inspecciones repetitivas por una máquina automatizada, que no comete errores por inadvertencia (ni de otro tipo) una vez que su puesta en funcionamiento es correcta y estable (Manual de control de la calidad, 2005). Entre otras ventajas para la industria de los sistemas de visión automatizados, está la eliminación del trabajo humano evitando su presencia en entornos peligrosos, el aumento de la velocidad de inspección para estar acorde con la rapidez de producción, el análisis estadístico de la información, la detección de defectos más pequeños, un manipulado más preciso de piezas, el incremento de la fiabilidad de los procesos eliminando criterios subjetivos que aparecen en la ejecución de tareas rutinarias (como en los cambios de turno o a lo largo de un turno) y otros (CHIN, y otros, 1982).

⁵ **Juran, Joseph M. 2007.** *Método Juran Análisis y planeación de la calidad.* Quinta edición. México D.F : McGraw-Hill, 2007.

⁶ Información Suministrada por Eidenman Cardenas del departamento de Calidad de Gutemberto S.A. Telefono: (571) 2618666 ext 238. Correo Electrónico: aplaneacion@gutemberto.com

La responsabilidad de la calidad no le corresponde a una sola área o persona, puesto que es una tarea que todos deben compartir (Bersterfield, 1995).

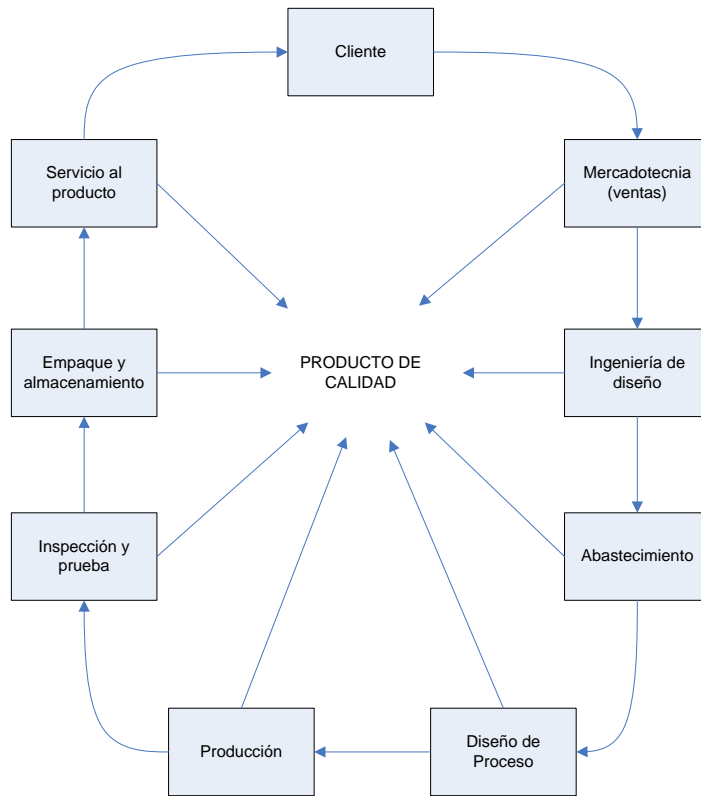


Diagrama 3-1 Área Responsable de la calidad
Fuente: (Bersterfield, 1995)

Como se puede ver en el Diagrama 3-1 todas las áreas de una empresa están destinadas a contribuir con la obtención de un producto de calidad. En este trabajo se busca de manera concreta, realizar un aporte en el área de *Inspección y prueba*.

Es importante recalcar que los avances en la tecnología computacional y la reducción de costos en los equipos de captura de imágenes, permiten tener al alcance de una mediana empresa tecnologías de visión artificial. Por lo tanto, como aporte principal de este proyecto se propondrá un método capaz de clasificar mediante visión artificial tornillos de cabeza hexagonal de una empresa manufacturera de tornillos en Bogotá, en productos con cabeza hexagonal defectuosa y no defectuosa según unas características de calidad definidas.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. CALIDAD

El concepto de calidad bajo el cual se trabajará durante el proyecto se define a continuación:

“Calidad puede definirse como una combinación de características de ingeniería y de fabricación, que determina el grado de satisfacción y utilidad que el producto proporciona al consumidor durante su uso” (Estación de control de calidad por visión artificial para un centro de manufactura integrada por computador (CIM), 2006)

“La calidad de un producto o servicio es el grado en el cual el producto o servicio cumple las especificaciones” (Barry, 2006)

4.2. CONTROL DE CALIDAD

Enviar productos de mala calidad a un cliente, le significan a la empresa y al cliente costos innecesarios, por lo que las compañías emplean tácticas de administración de la calidad. Ésta, mejor conocida como control de calidad, es un factor fundamental para todos los sectores productivos. Tener un control de calidad es asegurarse que la empresa pueda entregar un producto de calidad, que junto con otras herramientas podrá ser entregado en el lugar indicado en el momento correcto.

“El control de la calidad es la aplicación de técnicas y esfuerzos para lograr mantener y mejorar la calidad de un producto o servicio. Implica la integración de las técnicas y actividades siguientes relacionadas entre sí:

- 1. Especificación. Que es lo que se necesita que sea el producto*
- 2. Diseño del producto o servicio de manera que cumpla con las especificaciones.*
- 3. Producción o instalación que cumpla perfectamente con las especificaciones.*
- 4. Inspección para cerciorarse del cumplimiento de las especificaciones.*
- 5. Revisión durante el uso a fin de encontrar información que, en caso de ser necesario, sirva como base para modificar las especificaciones.”* (Bersterfield, 1995)

4.3. INSPECCIÓN

Según el Manual de Control de Calidad de J. M Juran el término “inspección” supone siempre la evaluación de la calidad de alguna característica en relación con un patrón. “Esta evaluación puede ser descrita como el “acto de inspección” y consta de las operaciones siguientes (en la medida en que sean aplicables a las distintas características de la calidad):

1. Interpretación de la especificación
2. Medición de la calidad de la característica

3. Comparación del punto uno con el dos
4. Enjuiciamiento de la conformidad
5. Destino de los casos conformes
6. Destino de los casos no conformes
7. Registro de los datos obtenidos.” (Manual de control de la calidad, 2005)

“Todos los vocablos básicos de esta enumeración admiten una gran variedad de acepciones. El término “especificaciones” se usa en sentido genérico como patrón de la característica. Puede tratarse de una descripción escrita, de un plano, de una fotografía, de una muestra, de una instrucción verbal o de un recuerdo nebuloso.

La palabra “medición” se emplea en el sentido genérico de evaluación y tiene su propio argot” (Manual de control de la calidad, 2005):

<i>Cuando la medición se hace...</i>	<i>...el término que suele emplearse es:</i>
Por el hombre, sin ayuda	Inspección
Con ayuda de instrumentos de medida mecánicos	Galgado o verificación
Con ayuda de instrumentos de medida electrónicos	Ensayo
Con ayuda de instrumentos de medida químicos o metalúrgicos	Análisis o ensayo

Tabla 4-1 Términos

Fuente: (Manual de control de la calidad, 2005)

El fin principal de la inspección es determinar si los productos son conformes con la especificación. Este fin se denomina a menudo “aceptación” o “aceptación del producto” (Manual de control de la calidad, 2005).

4.4. TOTAL QUALITY MANAGMENTE (TQM):

El objetivo perseguido por la Gestión de Calidad Total es lograr un proceso de mejora continua de la calidad por un mejor conocimiento y control de todo el sistema (diseño del producto o servicio, proveedores, materiales, distribución, información, etc.) de forma que el producto recibido por los consumidores este constantemente en correctas condiciones para su uso (cero defectos en calidad), además de mejorar todos los procesos internos de forma tal de producir bienes sin defectos a la primera, implicando la eliminación de desperdicios para reducir los costos, mejorar todos los procesos y procedimientos internos, la atención a clientes y proveedores, los tiempos de entrega y los servicios post-venta. (Bersterfield, 1995)

4.5. CONTINUOUS QUALITY IMPROVEMENT (CQI)

“El método de mejoramiento continuo de la calidad es una aproximación a la administración de la calidad en la que con la definición tradicional de calidad enfatiza en la organización y sus sistemas. Enfocado en los procesos. En este caso inspección y control y no en el individuo. Reconoce ambos “clientes” externos e internos, promoviendo la necesidad de datos pertinentes que permitan mejorar el proceso. Es una filosofía la cual contiene como núcleo que la mayoría de las cosas pueden y deben ser mejoradas mediante el método científico aplicado al trabajo diario para llegar a las necesidades de los clientes y ser más competitivos en el servicio que ofrece”⁷

4.6. COSTOS POR UN POBRE DESEMPEÑO Y CALIDAD

Según se expresa en el libro “Operations Management Processes and Value Chain”, la mayoría de expertos estima que las pérdidas asociadas a un “Poor process performance and Quality” se encuentran en un rango entre el 20 y 30 por ciento de las ventas brutas (Krajewski, 2007)

Estos costos se pueden clasificar en cuatro categorías:

- Costos preventivos: asociados con prevenir defectos antes de que ocurran
- Costos de inspección: costos en que se incurre cuando la firma estima el nivel de rendimiento de sus procesos
- Costos de falla interna: Resultan por defectos descubiertos durante la producción. Se clasifican en dos categorías, los asociados al re-trabajo si el producto necesita que se le repita un proceso, o *chatarra* si el producto ya no puede ser utilizado para un futuro procesamiento.
- Costos de falla externos: Surgen cuando un defecto es encontrado después de que el cliente reciba el producto. Aunque su valor exacto es difícil de estimar, se sabe que impactan fuertemente en las ganancias de la compañía. Esto sucede principalmente por la mala imagen que puede ganarse la firma, ya sea por malos comentarios transmitidos de una persona a otra, la pérdida de clientes actuales y futuros, o si el problema es muy grande puede ser transmitido por los medios. Por otro lado se generan costos por servicio de garantías y litigaciones. En el caso que la empresa tenga procesos de logística inversa, aparecen otros costos de falla externos asociados a estos.

4.7. METROLOGÍA

“La metrología es una de las áreas fundamentales de la mecánica, ya que trata de las medidas y su expresión y, gracias a ella, todas las piezas que integran un montaje determinado pueden ser

⁷ <http://www.fpm.iastate.edu/worldclass/cqi.asp>, Octubre 25 de 2009

intercambiadas en caso de deterioro. Se vale de medios imprescindibles como son los instrumentos de medida y las tolerancias”⁸

La metrología industrial, que en Colombia está bajo la supervisión de la División de Metrología de la Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia (SIC), parte de las tolerancias y los instrumentos de medida para asegurar y determinar la calidad de fabricación de un producto teniendo en cuenta su diseño y su función. Este concepto de tolerancia surge ante la imposibilidad de construir piezas de medidas rigurosamente iguales a las de referencia. En el Anexo B se muestra la tabla que presenta las tolerancias utilizadas en ingeniería.

Como la estación de visión artificial a utilizar es la ubicada en el CTAI se cita una corta definición de las tolerancias que mide la estación de calidad según la tesis de Gabriel Zambrano:

- Rectitud: todos los puntos forman una línea recta. La tolerancia se representa por dos líneas paralelas.
- Redondez o circularidad: todos los puntos forman un círculo. La tolerancia se define por dos círculos concéntricos.
- Angularidad: dos segmentos rectos que forman un ángulo específico –aparte de 90º–. La zona de tolerancia se define por dos planos paralelos al ángulo básico.
- Perpendicularidad: superficies o ejes que forman un ángulo recto entre sí. La tolerancia es una zona definida por dos planos paralelos perpendiculares al eje del dato.
- Paralelismo: superficies o ejes equidistantes entre sí. La tolerancia del paralelismo especifica una zona definida por dos planos o líneas paralelas al plano o eje del dato.
- Concentricidad: los ejes de todos los elementos locales cruzados de una superficie de revolución son comunes a la característica del eje del dato. La tolerancia especifica una zona cilíndrica cuyo eje coincide con el eje del dato. (Estación de control de calidad por visión artificial para un centro de manufactura integrada por computador (CIM), 2006)

4.8. DOE (DESIGN OF EXPERIMENTS)

El diseño de experimentos es un método con técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro una situación deseada a evaluar. En un diseño experimental se utilizan y analizan una o más variables que pertenecen a la situación a evaluar para cuantificar el efecto que tienen con otra variable de interés. En el diseño de experimentos se establecen unas pautas, parámetros y restricciones determinando las variables que se van a manipular, la manera en la que se hará, y cuantas veces se efectuara el experimento, con el propósito de establecer un grado de confianza dado a una relación de causa y efecto. (Kuehl, 2001)

⁸ *Mecánica del Taller*. 3ª ed. Madrid: Mostotes, 1993.

4.9. CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

El SPC, por sus siglas en inglés, es la metodología más importante para la administración de la calidad. Éste implica establecer estándares, supervisarlos, realizar mediciones y tomar acciones correctivas cuando se produce un producto o servicio. (Barry, 2006)

4.10. TEORÍA DE DECISIONES BAYESIANAS

Es fundamentada en una aproximación estadística al problema de reconocimiento de patrones. Esta aproximación es basada cuantificando los resultados entre el cambio interactivo de varias decisiones clasificadas usando probabilidad y el costo que acompaña a cada una de estas decisiones. Se basa en la suposición que todas las decisiones que involucran un problema están sujetas a un término probabilístico y que todos los valores de probabilidad son conocidos. (Gonzalez, y otros, 2002)

4.11. CLASIFICADOR

Un clasificador es un algoritmo el cual usa datos de entrada para clasificar de una forma determinada la información relevante (patrones) para el algoritmo. José Luis Alba lo define en su presentación de “Reconocimiento de patrones” como un subsistema que utiliza un vector de características de la entidad cuantificable y lo asigna a una de M clases.

5. MARCO CONCEPTUAL⁹

5.1. TORNILLOS

“Se denomina tornillo a un elemento mecánico cilíndrico dotado de cabeza, generalmente metálico, aunque pueden ser de madera o plástico, utilizado en la fijación de unas piezas con otras, que está dotado de una caña roscada con rosca triangular, que mediante una fuerza de torsión ejercida en su cabeza con una llave adecuada o con un destornillador, se puede introducir en un agujero roscado a su medida o atravesar las piezas y acoplarse a una tuerca.” (Obergh, y otros, 2004)

Existen diferentes clases de tornillos que son clasificadas según su uso y forma. En el español la palabra tornillo acompañada de un “descriptor” (hexagonal, para madera, Allen, carrocería, etc.) ayuda a clasificarlos, pero en inglés se clasifica el tornillo como “screw” o “bolt” (se define su diferencia más adelante) acompañado de un “descriptor” (“hex, “heavy hex”, etc.). En la tabla a continuación se muestran algunos ejemplos:

⁹ Los numerales del 5.2 al 5.9 se refieren a los conceptos mencionados en el “*NI Vision Concepts Manual*” de National Instruments, 2009.

Español	Ingles
Tornillos hexagonales	Hex cap screw
Tornillos carrocería	Cariiage bolt nut
Tornillos maquinaria	Machine screw
Tornillos para metal	Steel screw
Tornillos para techo	-
Tornillos para madera	Wood Screw
Tornillos Allen	Socket cap screw
Tornillo centro	Center bolt
Tornillos para concreto	Concrete screw
Tuercas	Nuts
Arandelas	Washers
Remaches	Rivets

Tabla 5-1 Tipos de tornillo (Español e Inglés)

Fuente: TORNECA, <http://www.torneca.com/ingles/tornillos.html>. Consultada 16/03/2010

Bolt: “A bolt is an externally threaded fastener designed for insertion through holes in assembled parts, and is normally intended to be tightened or released by torquing a nut” (Varios, 1984)

Es un sujetador de rosca externa diseñado para insertarse en un agujero a través de las piezas a ensamblarse, que normalmente es fijado (apretado) o soltado mediante el uso de una tureca.

Screw: “A screw is an externally threaded fastener capable of being inserted into holes in assembled parts, of mating with a preformed internal thread or forming its own thread and of being tightened or released by torquing the head”

Es un sujetador de rosca externa diseñado para insertarse en un agujero roscado a su medida que se ajusta o desajusta aplicando una fuerza de torsión a la cabeza.

5.2. IMÁGENES DIGITALES¹⁰

5.2.1. Definición de Imagen Digital

Una imagen es una matriz bidimensional de valores que representan la intensidad de la luz. Cuando se hable de imagen en el presente trabajo se hace referencia a una imagen digital. La imagen es por lo tanto una representación discreta de una imagen real en el computador. Esta imagen está representada en función de la intensidad de la luz.

$$f(x, y)$$

Formula 5-1.

Fuente: NI Vision Concepts Manual, pg 1-1.

Donde f es la intensidad del punto (x, y) , y donde x y y representan las coordenadas de un elemento de la imagen llamado píxel.

¹⁰ National Instruments. 2009. *NI Vision Concepts Manual*. pg 1-1, Austin, Texas : s.n., 2009.

Por convención, la referencia espacial de los píxeles con las coordenadas (0, 0) se encuentra en la esquina superior izquierda de la imagen. Como se observa en el Gráfico el valor de x aumenta de izquierda a derecha, y el valor y aumenta de arriba a abajo.

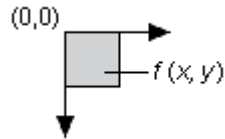


Imagen 5-1 Referencia espacial del píxel (0,0)

Fuente: NI Vision Concepts Manual, pg 1-1.

5.2.2. Propiedades de una Imagen Digital

Una Imagen Digital tiene tres propiedades básicas: resolución, definición, y número de planos.

Resolución de la imagen: La resolución espacial de una imagen está determinada por su número de filas y columnas de píxeles. Una imagen compuesta por m columnas y n filas tiene una resolución de $m \times n$. Esta imagen tiene m píxeles a lo largo de su eje horizontal y n píxeles a lo largo de su eje vertical.



Imagen 5-2 Resolución 1280x960

Fuente: Presentación propia de los autores

Como se puede ver en la imagen5-1, su resolución es de 1280 ($m = 1280$) por 960 ($n = 960$).

En la imagen 5-2 podemos observar un zoom de 16X mostrando como se ve el píxel.

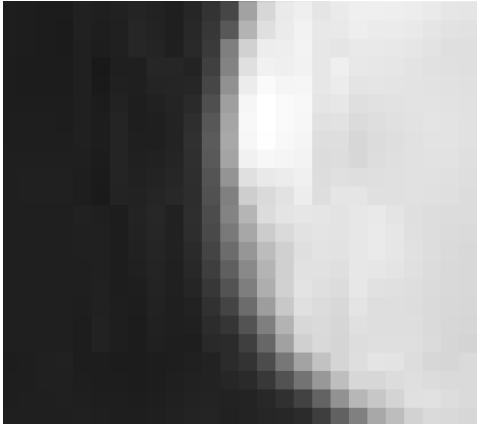


Imagen 5-3 Resolución 1280x960 Zoom 16X.

Fuente: Presentación propia de los autores

Resolución Radiométrica: La definición de una imagen indica el número de tonos que se pueden ver en la imagen. La profundidad de bits de una imagen es el número de bits utilizados para codificar el valor de un píxel. Para una profundidad de bits dado de n , la imagen tiene una definición de la imagen de 2^n , es decir, un píxel puede tener 2^n valores diferentes. Por ejemplo, si n es igual a 8 bits, un píxel puede tener 256 valores diferentes que van desde 0 hasta 255. Si n es igual a 16 bits, un píxel puede tener 65.536 valores diferentes que van desde 0 a 65.535 o de -32.768 y 32.767.

La forma en que se codifica la imagen depende de la naturaleza del dispositivo de adquisición de imágenes, el tipo de procesamiento de imágenes que se utilizará y el tipo de análisis que se desea realizar. Para este trabajo de grado se realiza análisis de la forma geométrica del objeto. Por lo que una imagen de 8-bits es suficiente.

Resolución espectral: Se puede expresar como el número de planos en una imagen. Corresponde al número de arreglos de píxeles que componen la imagen. Una imagen en escala de grises está compuesta por un plano. Una imagen en color real está compuesta por tres planos, uno para el componente rojo, otro para el componente azul y el otro para el componente verde. En las imágenes de color-real, la intensidad del píxel está codificada en tres valores diferentes. Un valor para el rojo, otro para el verde y otro para el azul, conocida como una imagen RGB (por sus siglas en inglés). Las imágenes HSL (por sus siglas en inglés) están definidas por el tono, la saturación, y la luminancia.

5.2.3. Archivos de imagen

Un archivo de imagen se compone de un encabezado seguido de valores de los píxeles. Dependiendo del formato de archivo, el encabezado contiene información de la imagen sobre la resolución horizontal y vertical, la definición de píxeles. Los formatos que se utilizaron en este trabajo fueron los JPEG (*Joint Photographic Experts Group format*). Las imágenes se tomaron en

formato de escala de grises de 32 bit y se pasan a 8 bit utilizando sólo la gama roja de la resolución espectral.

5.2.4. Tipos de imágenes

Imágenes en escala de grises: Está compuesta por un solo plano de píxeles. Cada píxel está codificado usando cualquiera de los siguientes números:

- Un entero de 8-bit sin signo entre valores de 0 y 255.
- Un entero de 16-bit con signo (+, -) representado valores entre -32.768 y +32.767
- Un número de coma flotante con precisión sencilla, codificado usando 4bytes (32-bit), representa valores entre $-\infty$ y ∞ .

Imágenes a color: está codificada en la memoria como una imagen RGB o HSL. Una imagen a color está compuesta por cuatro valores. Las imágenes RGB almacenan información del color utilizando 8-bits para cada espectro (rojo, verde y azul). Las HSL, también utilizan 8-bit para cada gama. Las imágenes RGB U64 almacenan la información del color utilizando 16-bit para cada espectro. En los dos modelos, RGB y HSL, existe un valor adicional de 8-bit que permanece sin utilizar. Esta representación se conoce como codificación de 4 x 8-bit o 32-bit. Para el modelo RGB U64 la representación se conoce como de 4 x 16-bit o 64 bit.

5.3. MONTAJE DEL SISTEMA ¹¹

Antes de adquirir, analizar y procesar imágenes, es necesario realizar el montaje del sistema de captura. Los cinco elementos a tener en cuenta para esto son: campo de visión (field of view), distancia de trabajo (working distance), resolución (resolution), profundidad del campo (depth of field) y tamaño del sensor (sensor size). En la Imagen 5-4 se ilustran estos conceptos.

¹¹ Ibid., pg 3-1

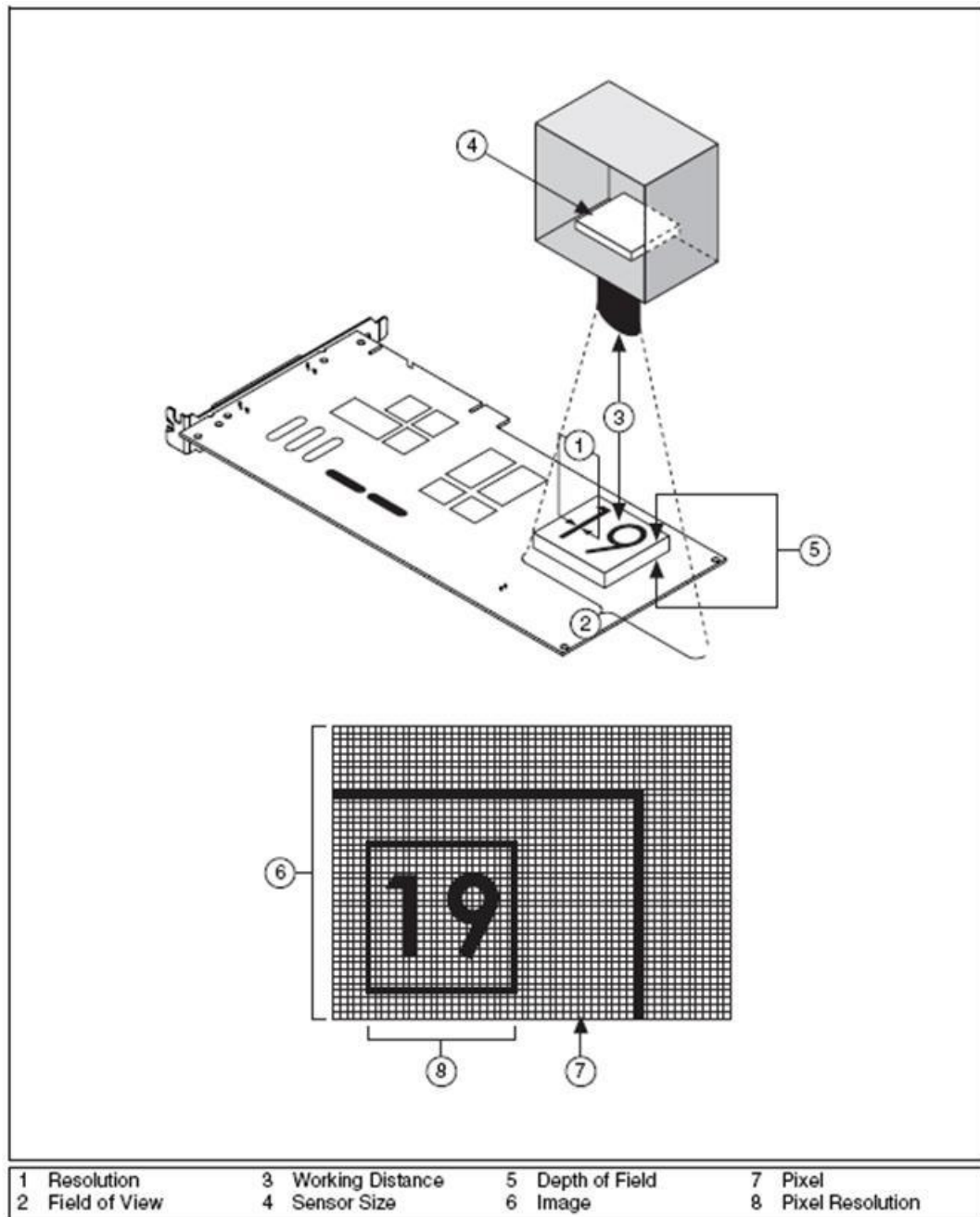


Imagen 5-4 Parámetros fundamentales de un sistema de captura

Fuente: NI Vision Concepts Manual, pg 3-2.

Resolución: El objeto de menor tamaño en la imagen que el sistema puede distinguir.

Resolución del Píxel: El mínimo número de píxeles necesarios para representar el objeto bajo inspección.

Campo de visión: El área del objeto bajo inspección que la cámara puede tomar.

Distancia de trabajo: La distancia desde el objeto bajo inspección hasta el frente del lente de la cámara.

Tamaño del sensor: La dimensión del área activa del sensor, definida normalmente por su longitud horizontal.

Profundidad del campo: La máxima profundidad bajo la cual el objeto permanece enfocado

5.4. ADQUISICIÓN DE IMAGEN¹²

El montaje del sistema de captura debe tomar imágenes de calidad que permitan obtener información relevante de estas. Existen cinco factores que contribuyen a este objetivo: la resolución, iluminación, la profundidad del campo, la perspectiva y la distorsión.

5.4.1. Resolución

Hay dos tipos de resolución cuando se desea establecer el sistema de imágenes: resolución del píxel y la resolución.

Resolución del píxel: se refiere al número mínimo de píxeles que se necesitan para representar el objeto bajo inspección. Puede determinar la resolución de píxel necesaria según la característica más pequeña que se desea inspeccionar. Se debe tener mínimo dos píxeles representando la característica más pequeña de la imagen. Para determinar la cantidad de píxeles necesarios según la imagen se utiliza la siguiente fórmula:

$$\frac{(\text{longitud del eje más largo del objeto})}{(\text{Tamaño de la característica más pequeña del objeto})} \times 2$$

Formula 5-2

Fuente: NI Vision Concepts Manual, pg 3-3.

Si el objeto no ocupa todo el campo de visión, el tamaño de la imagen será mayor que la resolución de píxel.

Resolución: indica la cantidad de detalles del objeto que el sistema de imagen puede reproducir. Las imágenes con resolución baja les falta nivel de detalle y con frecuencia se ven borrosas. Tres factores contribuyen a la resolución de su sistema de imagen: el campo de visión, el tamaño del sensor de la cámara, y el número de píxeles en el sensor. Al conocer estos tres factores, se puede determinar la distancia focal del lente de la cámara.

Tamaño del sensor y número de píxeles en el sensor: El tamaño del sensor es importante para determinar el campo de visión, que es un elemento clave para determinar los requerimientos

¹² Ibid., pg 3-3

mínimos de resolución. La longitud diagonal del sensor especifica el tamaño del área activa del sensor. El número de píxeles en el sensor deben ser mayores o iguales a resolución del píxel. Hay que escoger una cámara con un sensor que satisfaga los requerimientos mínimos de resolución.

Contraste: El contraste define las diferencias entre los valores de intensidad del objeto bajo inspección y el fondo. El montaje del sistema debe proporcionar suficiente contraste para diferenciar los objetos del fondo. Mediante diferentes técnicas de iluminación se puede realzar el contraste del sistema.

5.4.2. Iluminación para la captura

En las aplicaciones industriales existen técnicas variadas para controlar la iluminación, entre estas están: (i) la iluminación difusa: se utiliza usualmente en aplicaciones donde se quiere analizar las características de la superficie del objeto; (ii) la iluminación a contraluz o retro-iluminación: se emplea para realzar la silueta de los objetos; (iii) la iluminación estructural: se emplea para obtener información tridimensional mediante unos patrones de proyección de luz sobre las escenas; (iv) la iluminación direccional: se usa cuando se quiere inspeccionar la superficie de los objetos para encontrar irregularidades que puedan clasificarse como defectos.

5.4.3. Profundidad del campo

La profundidad del campo de un lente reside en su habilidad para mantener los objetos enfocados a diferentes alturas. Si se van a inspeccionar objetos con varias alturas es más recomendable escoger un lente que mantenga una imagen de calidad a medida que los objetos se acercan o alejan del lente.

5.4.4. Perspectiva:

Los errores de perspectiva ocurren cuando el lente de la cámara no está perpendicular al objeto bajo inspección. Estos errores se manifiestan en cambios de la magnificación del objeto dependiendo de la distancia entre éste y el lente.

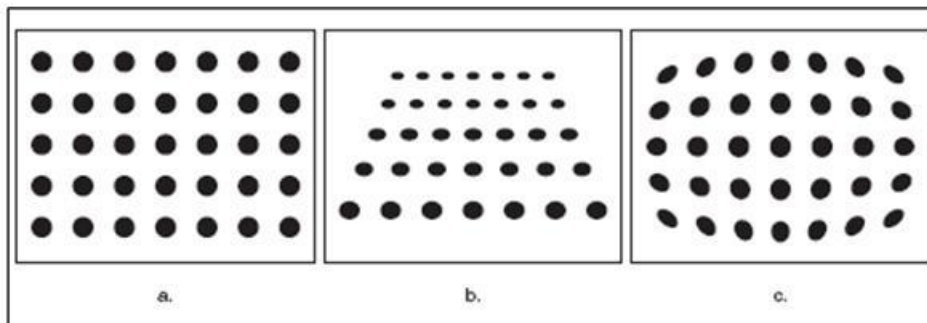


Imagen 5-5 Errores de perspectiva y distorsión

Fuente: NI Vision Concepts Manual, pg 3-6.

En la Imagen 5-5b se observa el error de perspectiva en la foto captada por un lente que no está perpendicular al objeto bajo estudio. En caso que se necesiten hacer mediciones precisas y no se cuenta con un lente perpendicular al objeto, se pueden utilizar técnicas de calibración que corrigen el error causado por la perspectiva.

5.4.5. Distorsión

La distorsión no lineal es una aberración geométrica causada por errores ópticos del lente de la cámara. Esto hace que los puntos más lejos del centro óptico de la cámara aparezcan más lejos de lo que en verdad están, como se puede ver en la figura c. Al igual que para los errores de perspectiva existen técnicas, como la calibración espacial para corregir estos errores.

5.5. CALIBRACIÓN ESPACIAL¹³

Es el proceso para asignarle medidas en unidades reales a un píxel, teniendo en cuenta y corrigiendo, de ser necesarios, los errores debido al montaje del sistema. Esto es de suma importancia cuando se desean realizar medidas precisas en unidades reales (Ejemplo: milímetros, pulgadas). Una imagen contiene información en forma de píxeles; mediante una calibración espacial se puede transformar medidas hechas en unidades de píxeles a otra unidad. Es un proceso sencillo si se sabe la relación que hay entre los píxeles y las unidades del mundo real. Por ejemplo, si un píxel equivale a un milímetro, la longitud representada por una medida de 10 píxeles es 10 milímetros.

Cabe aclarar que antes de hacer esta transformación, si es necesario, hay que corregir los errores debidos a la perspectiva y a la distorsión del lente. Un punto fundamental antes de realizar la calibración, es establecer un sistemas de coordenadas, sin este no sería posible expresar las medidas en unidades del mundo real.

Como se ha mencionado hay técnicas de calibración para determinadas condiciones. Para corregir errores de perspectiva se pueden utilizar algoritmos como la matriz de perspectiva, en el caso de errores causados por la distorsión de la lente un algoritmo adecuado sería el de *Método de Sid-Ahmed&Boraie*. Para efectos de este trabajo se utilizará una calibración simple, adecuada cuando no se presentan errores ni de perspectiva ni de distorsión radial. Para que esto sea posible la cámara debe estar perpendicular al plano de la imagen y la distorsión sobre el objeto inspeccionado debe ser despreciable. El método más común para cualquiera de estos tres tipos de calibración es mediante el uso de una grilla de puntos. A partir del resultado de la foto de la grilla, de las medidas reales entre los puntos y aplicando el algoritmo respectivo se calibra la imagen para unas condiciones específicas. Otro método es tomar la foto de piezas rectificadas como las galgas patrón. Mediante técnicas de binarización se pueden hallar el número de píxeles que comprenden la superficie del objeto en la imagen, posteriormente conociendo el área real de

¹³ Ibid., pg 3-7

esa superficie de la galga, se puede determinar cuál es el área de cada píxel y por ende la longitud de su lado (debe ser un píxel cuadrado)¹⁴

5.6. ANÁLISIS DE LA IMAGEN - HISTOGRAMA ¹⁵

Existen variadas herramientas para analizar las imágenes, como lo son los histogramas, perfiles de línea, y medidas de intensidad. Estas técnicas utilizan medidas estadísticas basadas en las intensidades de los niveles de grises en cada píxel. Se pueden utilizar para entender el contenido de la imagen lo que facilita la posterior selección de las herramientas necesarias para la inspección. También se pueden utilizar para realizar tareas de inspección básicas como buscar por la presencia o ausencia de características específicas.

Un histograma cuenta y grafica el número total de píxeles en cada escala de gris. A partir de la gráfica se puede determinar si la imagen contiene diferentes regiones de un valor de gris específico. También ayuda a determinar componentes como el fondo, objetos y el ruido. En general un histograma describe la distribución de las intensidades de los píxeles en la imagen, lo que permite determinar la saturación de la imagen y la falta de contraste. Mucha luz crea sobreexposición del sensor mientras que poca genera sub-exposición, en cualquiera de los dos casos se puede perder información importante, por lo tanto es fundamental, con un análisis del histograma, determinar las características de luz que permitan adquirir la imagen que más se adapte a las necesidades del clasificador a realizar.

5.7. PROCESAMIENTO DE LA IMAGEN ¹⁶

En ésta etapa, básicamente se prepara la imagen para ser segmentada según requerimientos del clasificador. Preparar, consiste en realzar o mejorar algunas características importantes de la imagen original para facilitar el proceso de segmentación. Existen diferentes tipos de algoritmos especializados para este fin, por ejemplo las transformaciones de las *Tablas de consulta* son funciones básicas que destacan detalles en áreas que contienen información relevante. Algunas funciones son: *Equalización del Histograma*, *correcciones gamma*, *correcciones logarítmicas* y *correcciones exponenciales*.

Las tablas de consulta pueden mejorar el contraste y brillo de la imagen modificando la intensidad de regiones con un contraste pobre. Las transformaciones de las tablas de consulta convierten los valores de las intensidades en escala de grises de la imagen original a otros valores en lo que sería la imagen transformada.

¹⁴ Khalili, K., Razavi, S.A. y Karimzadgan, D. High Resolution Measurements Using a Low Resolution System. *Measurement Science Review*. 2005, vol. 15, num. 1.

¹⁵ National Instruments. 2009. *NI Vision Concepts Manual*. pg 4-1, Austin, Texas : s.n., 2009.

¹⁶ Ibid., pg 5-1

5.7.1. Núcleos de Convolución

Un núcleo de convolución define un filtro en 2D que se puede aplicar sobre una imagen en escala de grises. En este caso el núcleo hace referencia a una estructura que representa un píxel en relación con sus píxeles vecinos. Los coeficientes del núcleo de convolución son los que determinan el valor final del píxel filtrado, es decir definen la contribución de cada píxel vecino al valor del píxel a actualizar. La cantidad de píxeles vecinos es determinada por el tamaño del núcleo, que puede ser una matriz llena con los coeficientes, cuadrada o rectangular, normalmente de 3x3 o 5x5. En el caso de la Imagen 5-6 se tiene un núcleo de 3x3, donde el valor del píxel central se deriva de los valores de sus ocho píxeles vecinos, en la figura b el valor central del píxel depende de sus 24 píxeles vecinos.

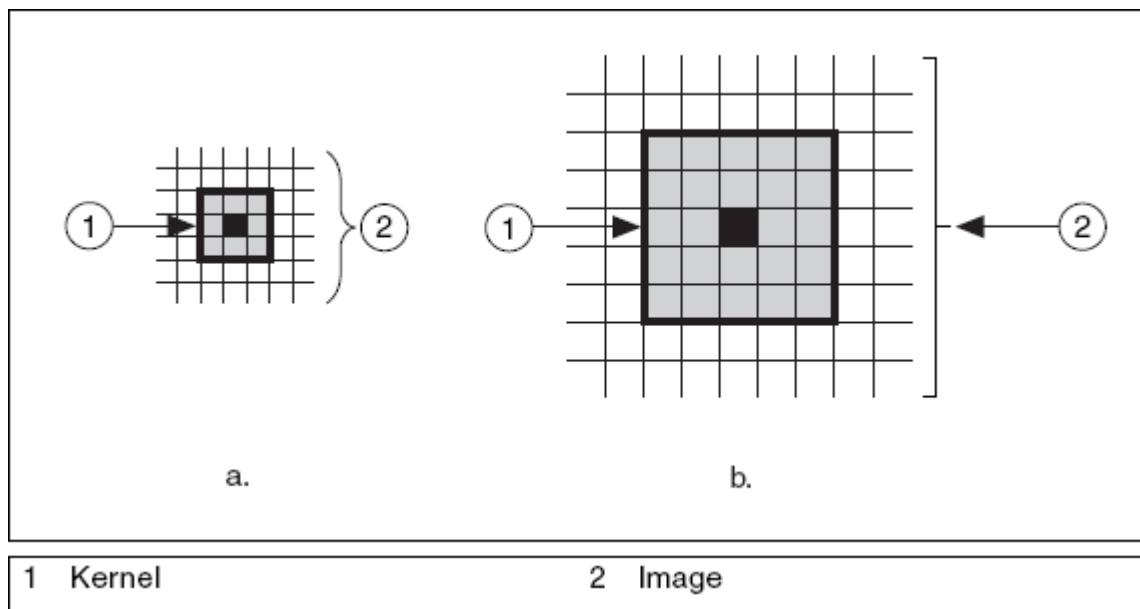


Imagen 5-6 Ejemplo de núcleos de convolución

Fuente: NI Vision Concepts Manual, pg 5-11.

5.7.2. Filtrado Espacial

Los filtros están divididos en dos tipos: lineal (*convolución*) y no lineal. Las convoluciones se dividen en cuatro grandes familias: Gradiente, Laplaciana, Suavizado y Gaussiana. Los filtros espaciales sirven para distintos propósitos, como detectar ejes a lo largo de una dirección especificada, detectar contornos, reducir el ruido y suavizar la imagen. Los no lineales pueden detectar ejes o remover píxeles aislados. Algunos ejemplos de los métodos utilizados para la extracción de un contorno son: Diferenciación, Gradiente, Prewitt, Roberts, Sigma o Sobel.

Los filtros espaciales se pueden dividir en dos: de alto paso y de bajo paso. Los primeros enfatizan variaciones significativas de la intensidad de la luz usualmente ubicadas en los contornos de los objetos. Este tipo de filtros ayuda a aislar patrones de variaciones abruptas que corresponden a ejes finos, detalles y ruido. Los segundos atenúan las variaciones de la intensidad de luz. Ayudan

a enfatizar patrones de variaciones graduales como objetos y el fondo. Tienen tendencia a suavizar la imagen eliminando detalles y nublando los bordes.

5.8. SEGMENTACIÓN DE LA IMAGEN¹⁷

La segmentación de la imagen es el proceso de separar objetos del fondo y entre sí, para de esta forma poder identificarlos y caracterizarlos.

5.8.1. Umbralización

La umbralización segmenta la imagen en las regiones de las partículas, las cuales contienen los objetos bajo inspección, y la región del fondo basada en las intensidades de los píxeles de la imagen. El resultado es una imagen binaria. La umbralización se puede utilizar para extraer áreas que corresponden a estructuras significativas de la imagen y concentrar el análisis sobre estas. Esta técnica es normalmente el primer paso en variadas aplicaciones de visión artificial para realizar análisis en imágenes binarias. Existen variados tipos de umbralización que se adecúan a diferentes condiciones de las imágenes, como lo son los algoritmos de agrupamiento, entropía, intervianza, métrica y momentos.

5.8.2. Detección de bordes

Esta herramienta busca los bordes a lo largo de una línea de píxeles. Se utiliza para buscar puntos o medidas de referencia que permitan inferir sobre las dimensiones de una imagen.

La forma como se encuentra el borde es encontrando el cambio de intensidad que tiene el píxel entre sus píxeles vecinos. La forma como se determina el píxel es buscando mediante una dimensión los píxeles que cambian abruptamente con sus vecinos. Como se muestra en la Imagen 5-7, mediante una referencia de una dimensión puntos 1 (las líneas) se analizan los píxeles y detecta los bordes, puntos 2, el píxel que tiene el cambio de intensidad en grises con respecto a su vecino.

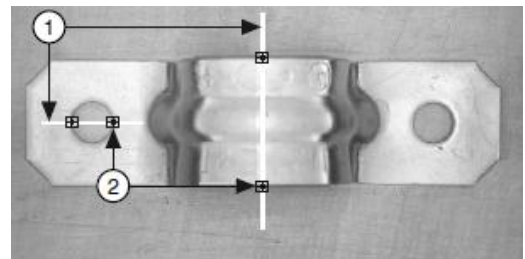


Imagen 5-7 Detección de Bordes

Fuente: NI Vision Concept Manual pg 11-4

¹⁷ Ibid., pg 8-1

En la gráfica 5-1 se muestra el principio para detectar la intensidad en el nivel de grises de una imagen.

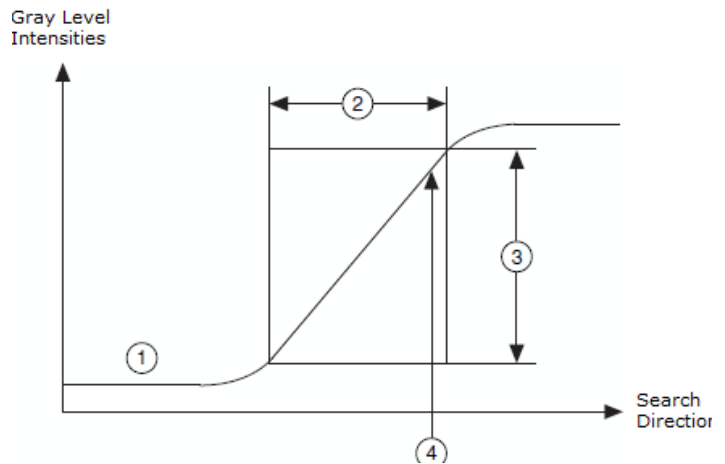


Gráfico 5-1 Curva de Escala de Grises
Fuente: Ni Vision Concept Manual

Mirando el Gráfico 5-1 se encuentra en el eje x la línea de búsqueda de una dimensión, punto (1) Imagen 5-7, y en el eje y se encuentra la escala de intensidad de grises. El punto (2), muestra la longitud del borde. Es decir cuántos píxeles representan el borde. (3) denota la fuerza del borde y se podría también traducir que entre más fuerte es la distinción del borde mayor será la pendiente de la curva. El punto (4) muestra entonces el punto de inflexión donde se encontraría el punto del borde.

5.8.3. Reconocimiento de Patrones

Los algoritmos de reconocimiento de patrones se utilizan para localizar una región de grises en la imagen en donde la pareja corresponde a un objeto previamente seleccionado, que también se denomina modelo o plantilla.

La ventaja de los algoritmos de reconocimiento de patrones es que funcionan sin necesidad de la variación de luz, foco, ruido en la imagen, y transformaciones geométricas como lo son rotación, movimiento y escala de la imagen.

El algoritmo utilizado para reconocimiento de patrones en este trabajo es el de Cruce de Correlación que fue tomado del NI Vision Concepts Manual (National Instruments, 2009).

La forma en la que funciona este algoritmo es considerando una sub imagen $w(x, y)$ de tamaño $K \times L$ dentro de una imagen $f(x, y)$ de tamaño $M \times N$, donde $K \leq M$ y $L \leq N$. La correlación entre $w(x, y)$ y $f(x, y)$ en el punto (i, j) esta dada por la ecuación....

$$C(i, j) = \sum_{x=0}^{L-1} \sum_{y=0}^{K-1} w(x, y) f(x + i, y + j)$$

Ecuación 5-1

Fuente: NI Vision Concept Manual, pg 12-7

Donde $i = 0, 1, \dots, M - 1$,

$j = 0, 1, \dots, N - 1$, y la sumatoria es realizada sobre la región en la imagen donde w y f se sobrepone.

La Imagen 5-8 ilustra el procedimiento de la correlación. Por convención el eje de coordenadas de la imagen f se encuentra en la esquina superior izquierda. “La correlación es el proceso de mover el modelo o sub imagen w alrededor de la imagen y el cálculo de C en el área.” Esto por lo tanto quiere decir que se debe multiplicar cada píxel del modelo por el píxel de la imagen que esta sobrepuesto y tomando todos los resultados obtenidos por todos los píxeles del modelo. El valor máximo de C indica la posición donde w cuadra mejor en f . La correlación en los bordes de la imagen no es congruente puesto que no deja iterar alrededor de todos los píxeles del modelo.

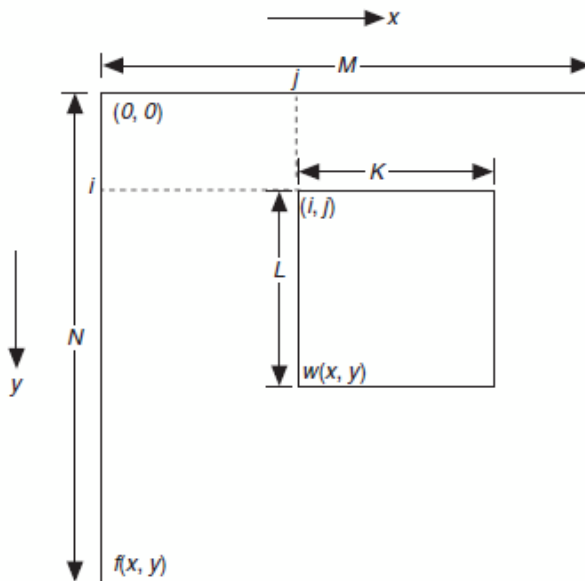


Imagen 5-8 Cruce de Correlaciones Normalizado

Fuente: NI Vision Concepts Manual, pg 12-8

5.8.4. Medidas dimensionales

Se deben utilizar las Medidas Dimensionales o herramientas de calibración (*gauging tools*) para obtener información cuantitativa crítica, tales como distancias, ángulos, áreas, acoplamiento de

rectitud, acoplamiento circular, y cantidades. Estas mediciones pueden ayudar a determinar si un producto ha sido fabricado correctamente.

Los tornillos (ver 5.1 TORNILLOS pg. 23) son piezas mecanizadas pequeñas que se construyen en gran cantidad. La inspección de este tipo de componentes por medio del recurso humano es tediosa, consume tiempo, y es inconsistente. Este método de control de calidad por medio de visión artificial para las cabezas hexagonales de los tornillos, toma las medidas de forma rápida y consistente de las cabezas hexagonales y genera un informe de los resultados. Si la distancia a medir o contar, no está comprendida dentro de los límites de tolerancia especificados por las normas internacionales, ese tornillo debe ser clasificado como defectuoso.

El proceso de medición se compone de los siguientes cuatro pasos:

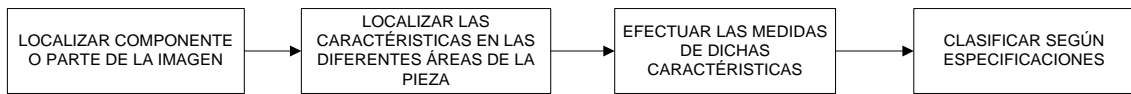


Diagrama 5-1 Proceso de Medición de componentes

Fuente: Presentación propia de los autores

5.9. SISTEMA DE COORDENADAS (National Instruments, 2009)

Con el objetivo de minimizar los tiempos de ejecución de las herramientas de visión, las medidas se toman, no de toda una imagen sino de un ROI (Region of Interest). El objeto que se desea analizar siempre debe encontrarse en el ROI para poder analizarlo. Cuando el objeto que se desea analizar se encuentra siempre en la misma posición de la imagen no existe necesidad de crear un punto de referencia.

En la mayoría de casos las imágenes que se clasifican no llegan de manera igual a la anterior, sino que pueden variar en posición, o rotar. Es por esto que antes de extraer las medidas, se debe establecer un punto de referencia a partir de donde se extraen todas las características necesarias a analizar.

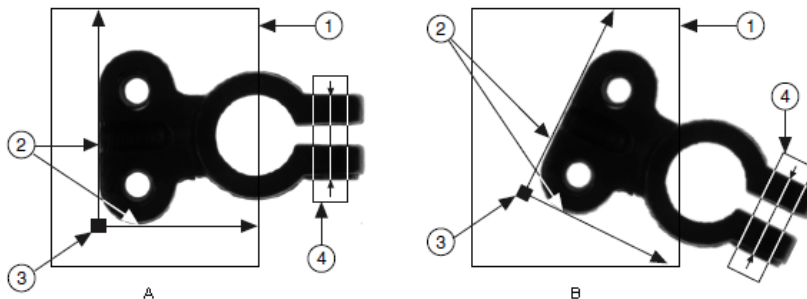


Imagen 5-9 Concepto Eje de Coordenadas

Fuente: NI Vision Concepts Manual. Pg 14-5

Como se puede ver en la Imagen 5-9 se encuentran las imágenes A y B. Ambas difieren en posición de la imagen. Se define primero una ROI (Punto (1)) donde se desea encontrar una característica específica. En esta figura se pone el eje de coordenadas en un punto específico y característico de la ROI (Punto (3)). Construido esto se procede a encontrar la medida a la cual se desea realizar el análisis (Punto (4)), y este paso se realiza siempre en referencia al eje de coordenadas construido anteriormente

5.9.1. Localización del Componente en la Imagen

Una aplicación típica de medición es extraer medidas de ROIs (*región de interés, por sus siglas en ingles*) y no de una imagen completa. Para utilizar esta técnica, las piezas necesarias del objeto siempre deben aparecer dentro del ROI que se defina.

Por lo general, el objeto bajo inspección aparece desplazado o rotado dentro de las imágenes que se está procesando. Cuando esto ocurre, el ROI necesita cambiar y rotar del mismo modo que el objeto. Para que el ROI se mueva en relación con el objeto, debe localizar el objeto en cada imagen. Para realizar esto se necesita posicionar el objeto en una referencia cartesiana de x y y , ver Imagen 5-10.



Imagen 5-10 Posicionamiento del Eje de Coordenadas
Fuente: NI Vision Builder for Automated Inspection Tutorial

5.9.2. Localización de Características

Para medir un objeto, es necesario encontrar puntos de referencia o características en el objeto sobre el que puede basar sus medidas. En la mayoría de las aplicaciones, puede realizar mediciones basadas en los puntos detectados en la imagen o referencias geométricas que se

ajusta a los puntos detectados. Características de objetos que son útiles para las mediciones se clasifican en dos categorías:

- Puntos localizados en el borde de un objeto con el método de detección de fronteras.
- Formas o patrones dentro del objeto, localizadas mediante coincidencia de patrones.

Ejemplo de esto se puede ver en la Imagen 5-11 donde se localiza la característica deseada como lo pueden ser dos segmentos de un objeto en específico.

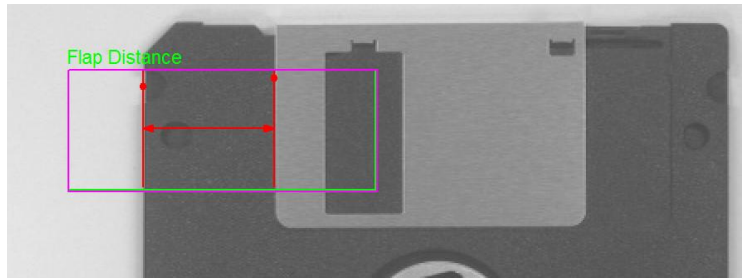


Imagen 5-11 Detección de bordes en una figura geométrica
Fuente: NI Vision Builder for Automated Inspection Tutorial

5.9.3. Creación de Medidas

Se puede realizar diferentes tipos de mediciones de las características encontradas en la imagen. Las medidas típicas incluyen distancia entre puntos, ángulo entre dos líneas representadas por tres o cuatro puntos, la mejor línea, encaje circular o elíptica, y áreas de figuras geométricas, como círculos, elipses y polígonos, que se ajustan a detectar los puntos.

5.9.4. Calificación de las Medidas

Como último paso se desea valorar la medida que se ha tomado de la imagen. Se puede determinar la calidad de la imagen o el objeto analizado utilizando ya sea una imagen parámetro de comparación o mediante una entrada escrita como pueden ser límites, estableciendo un máximo y un mínimo.

En la Imagen 5-12 se muestra como se utiliza mediante máximos y mínimos la clasificación de una medida.

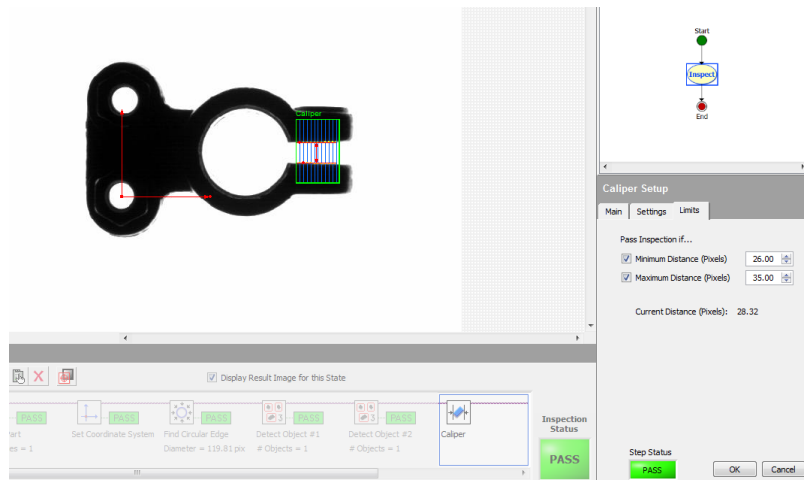


Imagen 5-12 Muestra cómo dando un valor máximo y mínimo se da una calificación a la medida
Fuente: NI Vision Builder for Automated Inspection Tutorial

En otras aplicaciones, las mediciones dimensionales obtenidas de la imagen deben ser comparadas con los valores que se especifican en unidades reales. En este caso, se convierten las medidas de la imagen a unidades del mundo real mediante las herramientas calibración descritos en la configuración del sistema y de calibración.

6. CARACTERIZACIÓN DE LA CABEZA DEL TORNILLO

En la industria metalmecánica los estándares son utilizados para establecer límites dimensionales y físicos para aquellas partes diseñadas para ser intercambiables. Gracias a estos, es posible que partes como turecas, tornillos, roscas, arandelas etc. sean manufacturadas en diferentes tiempos y lugares garantizando que se cumplan las especificaciones técnicas. Adicionalmente se necesitan estándares que garanticen el funcionamiento y desempeño de las herramientas, máquinas y equipos. Los estándares pueden ser establecidos por diferentes tipos de actores, por ejemplo: una compañía puede definirlos para uso específico de sus productos, un sector industrial al detectar la necesidad de algún estándar puede definirlo a través de los organismos a cargo del sector o sociedades de ingenieros. Esto ha creado diferentes organismos encargados de la normalización de estos estándares, como lo son actualmente la “American National Standard”, la “British Standards”, la “ISO Standards”, la “Engineering Society Standards”, la “Trade Association Standards”, el “Instituto Alemán de Normalización” (DIN) entre otras. Algunas de estas han ido evolucionando con el paso del tiempo, de estándares nacionales o regionales a unos más globalizados debido a varios inconvenientes que se venían presentando por la utilización de diferentes sistemas de unidades. Gracias a esto, se reducen costos directos e indirectos, asociados al trabajo de diseñadores (manejar diseños en diferentes unidades métricas), se asegura una selección óptima de materiales, componentes y productos semi-terminados, reduce inventarios de

materiales, se minimiza el número de productos diferentes vendidos y reduce costos en el proceso de compra de bienes (Varios, 1984)

Anteriormente, se utilizaban dos tipos de estándares, uno en unidades métricas y el otro en pulgadas, lo que por los problemas ya mencionados motivó a que se empezaran a desarrollar estándares bajo la normativa de la ISO. Esto ha impulsado que los nuevos productos sean producidos bajo estándares en unidades métricas, pero existen todavía muchos productos y repuestos viejos que tienen la referencia a estándares en pulgadas. Para otro tipo de productos el estándar aceptado internacionalmente está en pulgadas debido a su amplio uso ya establecido. Cabe aclarar que para el caso de los tornillos, tuercas y arandelas actualmente se siguen manejando tablas en diferentes unidades, pero que en su mayoría se pueden adaptar a los estándares reconocidos en gran parte del mundo.

En el ANEXO C de este trabajo se encuentran los diferentes estándares bajo los cuales se pueden encontrar gran variedad de tornillos de cabeza hexagonal. A partir de estos se selecciona uno con sus respectivas características, que a continuación serán utilizadas para definir los parámetros del clasificador.

Características del tornillo a clasificar

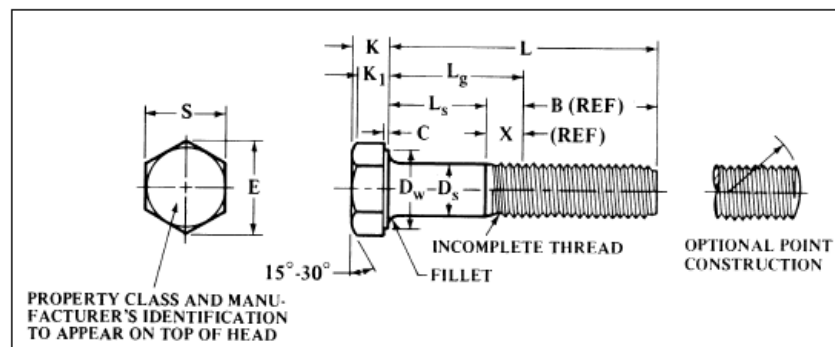
Ya establecido los tipos de tornillos de cabeza hexagonal con sus medidas y límites para diferentes estándares, se procede a seleccionar el estándar a utilizar para el clasificador y se agrupan aquellos tipos de tornillos que presentan las mismas características en la cabeza. Mediante esto es posible crear un clasificador que se adapte fácilmente a la mayor cantidad de tornillos. Teniendo en cuenta estos lineamientos, se seleccionan tres tipos de tornillos, cuyas cabezas presentan características muy similares entre sí y están manufacturadas bajo los estándares de las normas ANSI en unidades métricas (están de acuerdo a los estándares comparables de la ISO). Se presentan a continuación

- **Hex Cap Screws** ANSI/ASME B18.2.3.1M-1979 (R1995).
- **Metric Formed Hex Screws** ANSI/ASME B18.2.3.2M-1979 (R1995).
- **Metric Hex Bolts** ANSI/ASME B18.2.3.5M-1989.

Para efectos prácticos del trabajo se realiza el clasificador para la referencia M6 x1 del tornillo galvanizado de cabeza hexagonal “Hex Cap Screw” producido bajo los estándares ANSI/ASME B18.2.3.1M-1979 (R1995), y se plantean las modificaciones necesarias dentro del clasificador con las cuales se puede clasificar referencias de mayor tamaño. La calidad se define sólo en función de las dimensiones del tornillo sin tener en cuenta el tipo de acabado de éste. Cabe aclarar en este punto, que la materia prima del tornillo debe pasar primero por un control de calidad antes de que el mismo sea manufacturado. Las pruebas de laboratorio básicas realizadas a la materia prima son las siguientes: (i) dimensión, (ii) dureza, (iii) recalcado, (iv) micro-estructura. “El control de calidad más significativo es el recalcado, donde se toma un trozo de acero cuya altura es de 1.5 a dos veces su diámetro. Dependiendo de su tamaño y de si el producto va a ser fabricado en frío o en

caliente, para luego comprimirlo en una prensa, hasta reducirlo a 1/3 de su altura original. Éste procedimiento se hace con el propósito de determinar la capacidad de conformación plástica del acero, es decir de dejarse transformar en tornillos, tuercas, remaches o pernos. Después de esta prueba el material no debe presentar grietas. En el análisis metalográfico por medio de un microscopio se determina si el acero cumple con las características metalúrgicas requeridas, tales como tamaño de grano, micro-estructura, niveles de descarbonación entre otros. También se le realiza a la muestra de la materia prima una prueba de templeabilidad la cual consiste en determinar mediante tratamiento térmico si el acero tiene la capacidad de endurecimiento para darle al producto una resistencia y dureza óptimas¹⁸. Continuando con lo anterior, al tornillo terminado se le realizan hasta 16 mediciones distintas entre la cabeza y el cuerpo. Como objeto de estudio de este trabajo se clasifican las siguientes medidas pertenecientes a la cabeza hexagonal. (ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.):

- Distancia entre caras opuestas (S)
- Distancia entre esquinas (E)
- Altura de la cabeza (K)
- Altura desde el borde inferior de la arandela hasta una esquina (K_1)
- Ancho de la arandela (C)
- Diámetro de la Arandela (D_w)
- Angulo (entre 15° y 30°)



¹⁸ Fuente: Video “Calidad”,

http://gutenberg.com/index.php?option=com_content&task=view&id=18&Itemid=42, 23 de Mayo de 2010

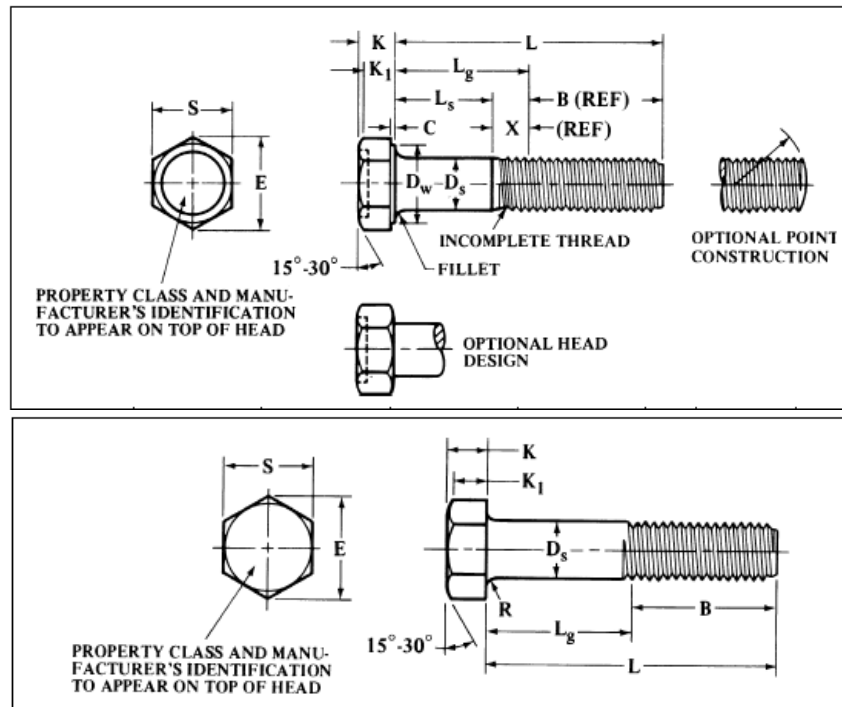


Imagen 6-1 Hex Cap Screw, Metric Formed Hex Screws, Metric Hex Bolts (de arriba a abajo)

Fuente: Oberg, Erik, y otros. *Machinery's Handbook*. 26th edition. pg 1521, 1522, 1530.. New York : Industrial Press, 2000.

Es importante mencionar en este punto que la calidad del tornillo también se determina por otras mediciones realizadas al cuerpo del tornillo (que no son tenidas en cuenta dentro del clasificador presentado en este trabajo), como el diámetro del mismo, el radio de transición del cuerpo a la cabeza, la longitud de la rosca y del cuerpo, entre otras.

Los límites bajo los cuales pueden estar las medidas de la cabeza hexagonal para la referencia M6 X 1 son los siguientes:

Tipo de Tornillo	Distancia entre caras (S)		Distancia entre esquinas (E)		Altura de la cabeza (K)		Wrenching Height (K1)	Ancho de la arandela (C)		Diámetro de la Arandela (DW)
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Min	Max	Min	Min
Hex Cap Screws	10,0	9,78	11,55	11,05	4,15	3,85	2,8	0,5	0,2	8,9
Formed Hex Screws	10,0	9,64	11,55	10,80	4,15	3,85	2,0	0,5	0,2	8,9
Hex Bolts	10,0	9,64	11,55	10,89	4,38	3,55	2,8	n/a	n/a	n/a

Tabla 6-1 Medidas de Tolerancia para la caracterización de la cabeza hexagonal del tornillo M6x1.

Fuente: Presentación propia de los autores

Con el fin de proponer un método que evalué la calidad de la cabeza de tornillos hexagonales referencia M6 manufacturados en Bogotá, por razones prácticas del trabajo, se decidió adquirir un tornillo en diferentes ferreterías de un sector comercial tradicional comprendido entre las calles 53 y 45 y las carreras 7 y 21, en Bogotá. Aunque este procedimiento de selección de los tornillos no se realizó siguiendo reglas de muestreo estadístico, sí existe aleatoriedad en la selección del tornillo, en la medida que al preguntarle al vendedor por un tornillo de referencia M6x1 que haya sido manufacturado en Bogotá, sin especificar la razón para la que se va utilizar, implica que el éste selecciona cualquier tornillo de la estantería. Consecuentemente, el resultado que se obtenga en el presente trabajo acerca de la calidad de los once tornillos, no representa en ningún caso la calidad de los tornillos del sector definido, pero si permite plantear la hipótesis que el clasificador propuesto es una herramienta válida para evaluar la calidad de los tornillos de una muestra representativa de una población de estudio.

7. CLASIFICADOR PARA LA CABEZA HEXAGONAL DE UN TORNILLO REFERENCIA M6 X 1 GALVANIZADO

En las empresas de manufactura se realizan inspecciones continuamente para mantener estándares de calidad que permitan la satisfacción del cliente y el acoplamiento de los productos de la industria. Toda una cantidad de subproductos que existen para obtener productos finales, realizados por empresas distintas, entregados por proveedores diferentes y ensamblados por otras compañías; provocan que a lo largo de esta cadena de distribución existan acuerdos, estándares industriales y patrones de calidad exactamente iguales para todos los eslabones que generen un producto final satisfactorio en todo sentido.

Siendo el tornillo parte del grupo de sujetadores roscados, los cuales ensamblan productos finales, amerita que se le realice un control de calidad riguroso. Se producen 166.6 tornillos M6x1 por minuto. Tal cantidad debe ser inspeccionada y controlada dando como resultado final de este ejercicio un producto certificado. Ahora es importante mirar que inspeccionar tal cantidad de tornillos, garantizando que todos cumplen con los estándares; o realizar un control de calidad por muestreo que permita un resultado minimizando su error estadístico, está condicionado a la capacidad instalada y también al factor humano. Un “clasificador humano” o inspector está sujeto a la fatiga y a las condiciones ergonómicas que afectan su desempeño y su criterio de decisión.

Garantizar la veracidad de unos resultados o cumplimientos de estándares de calidad, necesita de métodos y herramientas diseñadas previamente donde se puede evaluar sus resultados iniciales y realizar modificaciones que conllevan a generar un procedimiento calificado. En esta sección se encuentra la propuesta de este trabajo de grado que permite identificar las características de un tornillo M6 x 1, determinadas en el numeral *0 Características del tornillo a clasificar*. El Diagrama 7-1 presenta los pasos para realizar dicha propuesta.

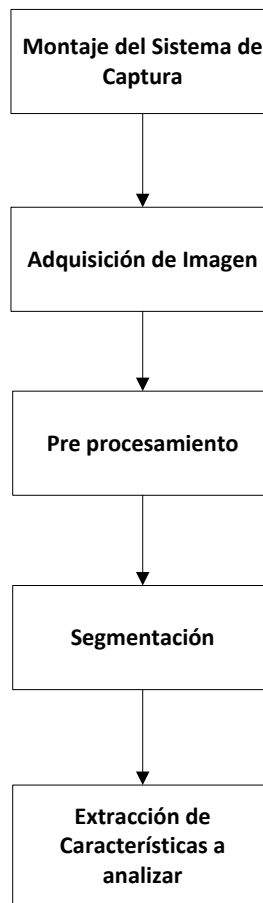


Diagrama 7-1 Etapas para construir el clasificador de cabeza hexagonal

Fuente: Presentación propia de los autores

7.1. MONTAJE DEL SISTEMA DE CAPTURA

7.1.1. Plataforma de Inspección

Esta plataforma fue diseñada para la construcción del algoritmo y prueba del mismo. No representa en ningún momento el montaje físico realizado para la integración física en una empresa de manufactura de tornillos. La Imagen 7-1 muestra una estructura ya diseñada en el CTAI (Centro Tecnológico de Automatización Industrial) donde el punto (A) en la imagen representa nuestro punto de origen para la posición vertical del montaje.

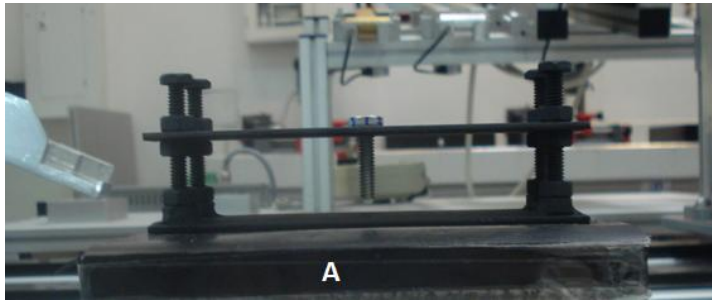


Imagen 7-1 Fotografía de la plataforma utilizada para realizar el clasificador, punto A

Fuente: Presentación propia de los autores

Sobre esta base se diseñó un montaje compuesto por cuatro tornillos dos placas metálicas rectas, dieciséis (16) tuercas, las cuales permiten nivelar la plataforma garantizando su perpendicularidad con el lente de la cámara. EL punto (B) en la Imagen 7-2 muestra un hueco de 6,8mm de diámetro, que permite pasar el cuerpo del tornillo y deja las variables contempladas en la caracterización del tornillo expuestas a su análisis. Para capturar la imagen se pinto la plataforma de color HC10085LD Negro.

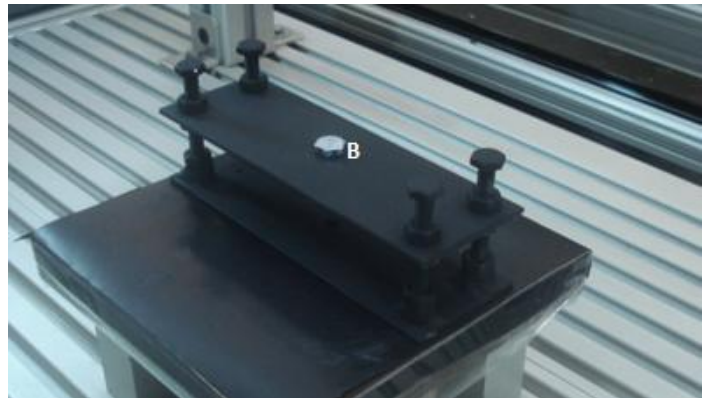


Imagen 7-2 Fotografía de la plataforma utilizada para realizar el clasificador punto B

Fuente: Presentación propia de los autores

Las especificaciones técnicas de la plataforma se encuentran en el Anexo E-5

Para efectos de inicialización y por conceptos de pre procesamiento se pinto la plataforma de un Negro HC10085LD para garantizar un contraste en la imagen adquirida entre el objeto a caracterizar y el fondo; y también para minimizar el reflejo producido por la misma con el objetivo de garantizar la mínima igualdad en escala de grises para los píxeles de la cabeza del tornillo y los del contorno.

La plataforma fue realizada con 16 tuercas las cuales permiten manipular la placa metálica superior en sus cuatro esquinas, con el objetivo de garantizar la perpendicularidad del punto en la

imagen donde se encuentra ubicada la cabeza del tornillo con respecto al campo de visión (Imagen 7-3)

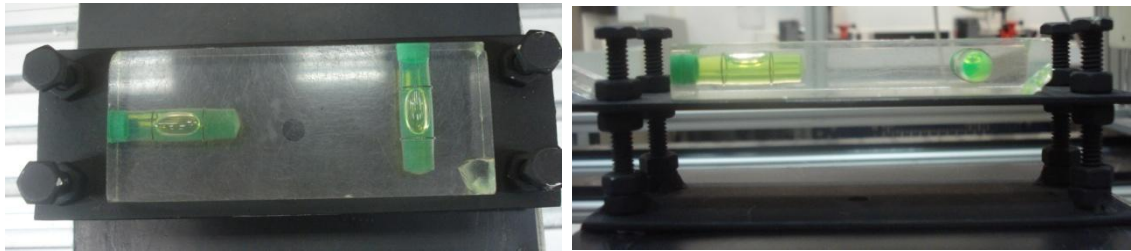


Imagen 7-3 Plataforma con nivelador garantizando perpendicularidad

Fuente: Presentación propia de los autores

7.1.2. Posicionamiento de cámara

Se utiliza una cámara industrial AVT Guppy Fire Wire, la cual se encuentra a disposición en la estación de control de calidad del CTAI de la Pontificia Universidad Javeriana.



Imagen 7-4 Camara AVT Guppy Fire Wire

Fuente: <http://www.alliedvisiontec.com/us/products/cameras/firewire/guppy/f-146bc.html> 25/02/2010.

La cámara utiliza un lente FUJINON HF35HA-1B (Imagen 7-5). Para la construcción del clasificador de cabezas hexagonales se requiere una imagen de 1280 x 960, lo cual nos garantizara la matriz M x N necesaria para el pre procesamiento. La cámara es de 1.4 Mega píxeles, lo que garantiza en primera estancia el requisito mínimo de imagen necesaria para realizar el clasificador. El sensor de la cámara contiene 1360 X 1024 aprx., lo que quiere decir que esta cámara generara una imagen máxima de M x N píxeles correspondientemente.



Imagen 7-5 Lente FUJINON HF35HA-1B

Fuente: http://www.bhphotovideo.com/c/product/404253-REG/Fujinon_HF35HA1B_HF35HA_1B_35_mm_F1_4.html 25/02/2010.

En cuanto al montaje del campo de visión y estructuración del puesto físico de trabajo se presenta en la Imagen 7-6. El punto (C), lente de la cámara, con respecto al punto (A) tiene $36,5 \pm 0,1$ cm de distancia. La dimensión del campo de visión (*5.4 ADQUISICIÓN DE IMAGEN*), que es corroborada por la medida observada en la Imagen 7-13 y mediante la curva de calibración obtenida en el numeral *7.2 CALIBRACIÓN* arroja un valor promedio de 59,207mm. Este campo de visión garantiza que la cabeza del tornillo entre en la ROI (Región de Interés) de nuestro clasificador.

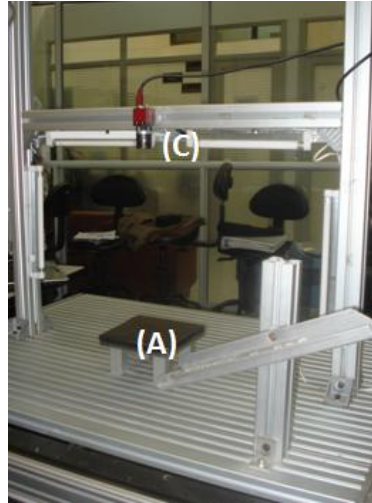


Imagen 7-6 Estación de calidad CTAI Pontificia Universidad Javeriana.

Fuente: Presentación propia de los autores

La posición de la cámara debe garantizar una razón perpendicular entre el lente de la misma y la plataforma, Imagen 7-7.

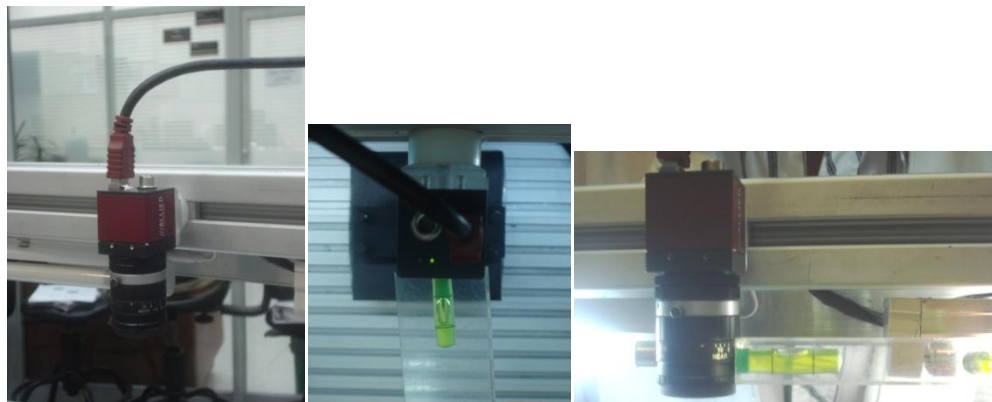


Imagen 7-7 Cámara, su lente se encuentra perpendicular a la plataforma

Fuente: Presentación propia de los autores

Como se ve en el numeral 7.2 *CALIBRACIÓN* se utiliza una calibración simple puesto que se garantiza perpendicularidad entre el lente de la cámara y el campo de visión. A la vez se garantiza la nivelación en la plataforma de inspección brindada por la herramienta utilizada.

7.1.3. Iluminación

Para el sistema de captura de imagen se establece un ambiente constante de condición de luz. Las imágenes del Anexo A¹⁹ se realizaron en la noche con las luces del salón CIM del CTAI de la Pontificia Universidad Javeriana. Mediante un Luxometro, se toman los luxes del salón con la luz del mismo prendida. La constante de candela en el ambiente manejado para el diseño del clasificador es de 289 luxes de tipo fluorescente.

Desde este punto de referencia en el montaje de adquisición de imágenes se encuentran cuatro lámparas fluorescentes de 6 voltios. Dos de ellas se encuentran instaladas una en cada lado del montaje y las 2 restantes en la parte superior como se puede ver en la Imagen 7-8. Se utilizan distintos escenarios de luz los cuales permiten determinar las condiciones en las que el clasificador propuesto por este trabajo de grado funciona. Estas condiciones son analizadas en el numeral 7.4 *PRE PROCESAMIENTO*.



Imagen 7-8 Posición de las cámaras en el montaje de captura
Fuente: Presentación propia de los autores

7.1.4. Software del clasificador

Para la integración del sistema de información con el montaje del sistema de adquisición de imágenes se instalaron los drivers de la cámara AVT Guppy Fire Wire, los cuales se encuentran disponibles en el CTAI de la Pontificia Universidad Javeriana. El software con el que se toman las imágenes de las cabezas hexagonales de los tornillos es SmartView 1.7.

¹⁹ Anexo A ruta: \Anexos\Anexo A\Anexo A-3\

NI Vision Assistant y NI Vision Builder son módulos de LabView 2009, el cual se encuentra disponible con su paquete completo en el CTAI. Para efectos de demostración y prueba del clasificador, este trabajo de grado contiene los ejecutables en el Anexo A²⁰ de ambos software.

7.2. CALIBRACIÓN

Con un montaje adecuado del sistema se realiza la calibración del mismo. Lo primero consiste en determinar cuáles son los patrones a utilizar para la calibración de la imagen en el software. Se consideran dos opciones, utilizar una grilla de puntos (figura 7-9a) que es adquirida junto con el módulo de “Vision Builder” y que se debe imprimir, o unas piezas con medidas rectificadas (Imagen 7-9b).

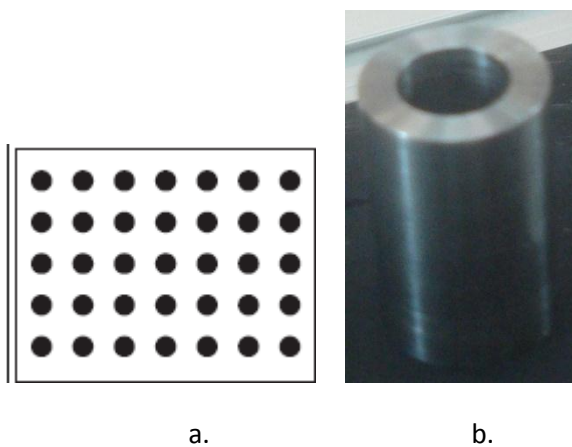


Imagen 7-9 Métodos de Calibración para la Construcción del Clasificador

Fuente: Presentación propia de los autores

La puntos de la grilla tienen radios de 2mm y distancia entre centros de 1cm, lo que puede variar en fracciones de milímetros dependiendo de la impresora. Por el contrario los patrones son piezas mecanizadas en el CTAI cuyas medidas están aprobadas por la superintendencia de industria y comercio, lo que garantiza medidas de alta precisión. En la tabla a continuación se presenta una breve comparación de las dos posibilidades:

Grilla	Patrón
Debido a su color binario, facilita la ubicación de características en la imagen necesarias para determinar los puntos entre los cuales se mide la distancia; ésta se da en píxeles.	Debido a su acabado, genera reflejos que al momento de analizar la imagen en el software pueden dificultar la búsqueda de características.

²⁰ Anexo A ruta: \Anexos\Anexo A\Anexo A-4

Su precisión es limitada.	Es una medida certificada con 4 cifras decimales de precisión.
---------------------------	--

Tabla 7-1 Comparativo entre grilla de puntos y patrón

Fuente: Presentación propia de los autores

Adicionalmente, en el estudio “Estación de control de calidad por visión artificial para un centro de manufactura integrado por computador” de Gabriel Zambrano, realizado en el CTAI en la misma estación utilizada por este trabajo, se demostró que al utilizar estos patrones se garantiza una medida de alta precisión.

Las características recién presentadas, sumado a que las tolerancias de las medidas a realizar en los tornillos (*0 Características del tornillo a clasificar*) están en el rango de fracciones de milímetro entre $\pm 0,40\text{mm}$, garantizan que con el uso de un patrón se cumplan los requerimientos para medir las cabezas de los tornillos. El diagrama representativo de la pieza se presenta en el ANEXO E.

Para obtener el valor de la longitud del píxel a la altura a la que se presenta el tornillo (ver diagrama representativo, ANEXO E5) se busca una curva de calibración, la cual consiste en determinar el área del objeto en píxeles a diferentes alturas. Como se observa en la figura a continuación, la altura sobre la cual se pone una cara del patrón, se aumenta mediante unas placas de diferentes grosores y se registra la imagen respectiva.

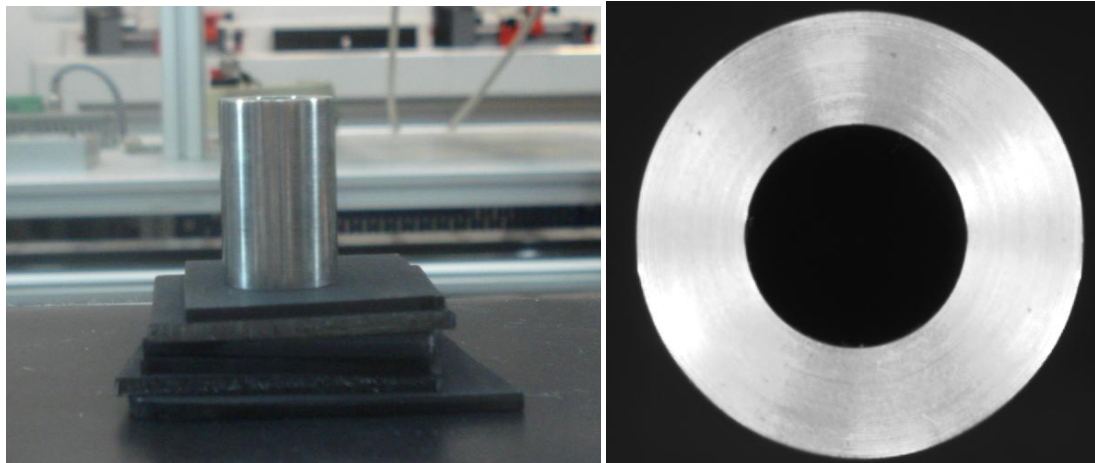


Imagen 7-10 Parámetro Superintendencia

Fuente: Presentación propia de los autores

Posteriormente mediante el software Vision Assistant se realiza la imagen, se convierte a binaria (5.8.1 Umbralización), asignándole el valor 1 a todos los píxeles que conforman la cara del patrón, y se obtiene el área que cubren los mismos. Cabe aclarar que para obtener una imagen como la Imagen 7-11b después de que se transformen los valores de escala de grises a binarios, se debe

realizar un análisis morfológico de las partículas donde se eliminan las no deseadas, se rellenan espacios, y se calculan mediciones. En la Imagen 7-12, se observa la interfaz con parte del algoritmo utilizado para este proceso.

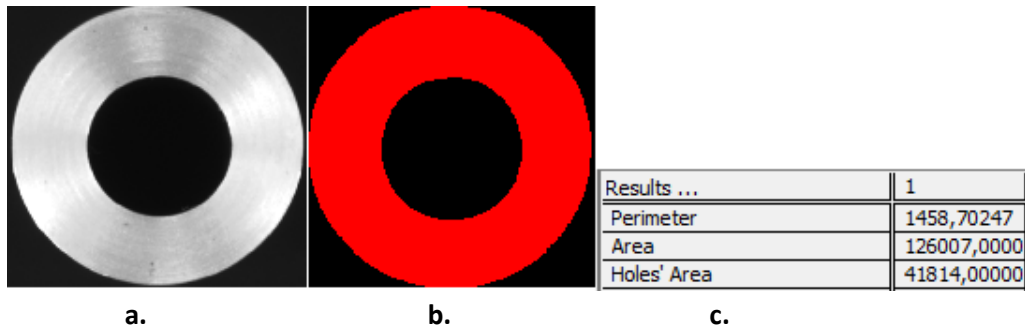


Imagen 7-11 Resultado de la segmentación del parámetro mediante umbralización

Fuente: Presentación propia de los autores

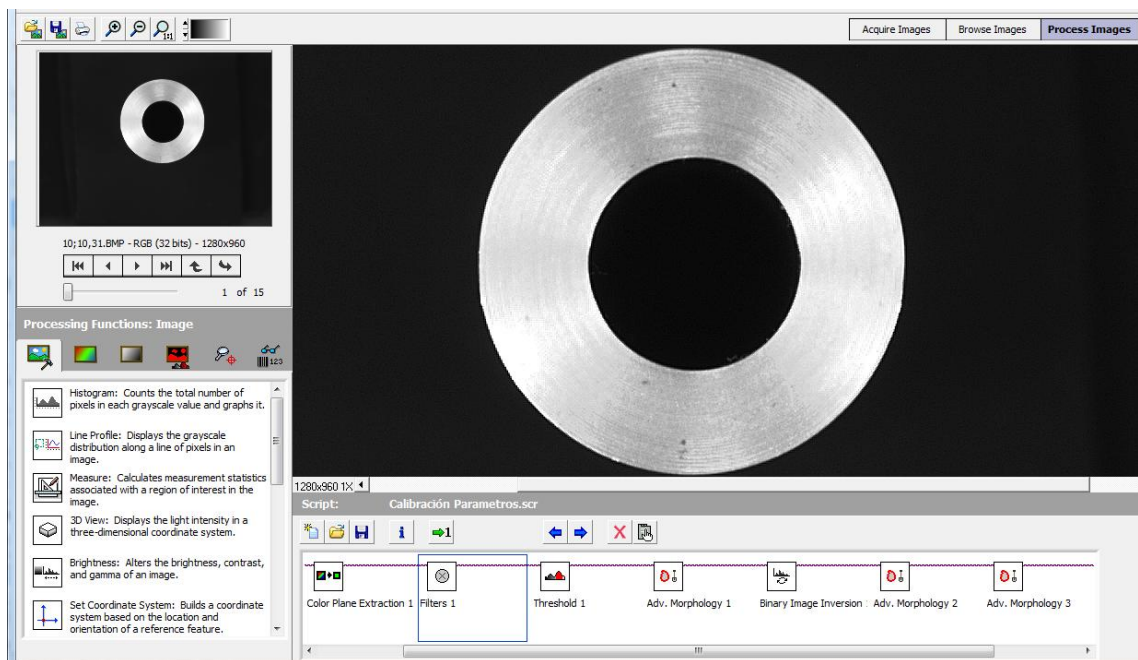


Imagen 7-12 Interfaz del algoritmo para determinar el área en píxeles del parámetro.

Fuente: Presentación propia de los autores

A partir del área real de la superficie del patrón (tabla 7-2) y el número de píxeles que conforman la imagen en las diferentes distancias, se calculan las longitudes del píxel obtenidas para cada altura, medida a partir del punto de origen A de la Imagen 7-1. En la tabla 7-3 se presentan los resultados.

Patrón	
Diametro Externo (mm)	19,0165
Diametro Interno (mm)	9,1837
Área Superficie (mm ²)	217,7806429

Tabla 7-2 Dimensiones Patrón

Fuente: Presentación propia de los autores

Altura (mm)	Área (píxeles)
32,86	119836
35,75	122049
38,01	124105
40,31	126007
43,22	128395
46,04	130955
48,97	133909
51,88	136252
54,16	138630
56,94	141785
59,06	143842
61,94	146580
64,24	149348
67,11	152840
69,27	155380

Tabla 7-3 Área de la partícula dada en número de píxeles.

Fuente: Presentación propia de los autores

Con los datos se define la curva de calibración del área en píxeles (número de píxeles con valor 1) con respecto a la altura.

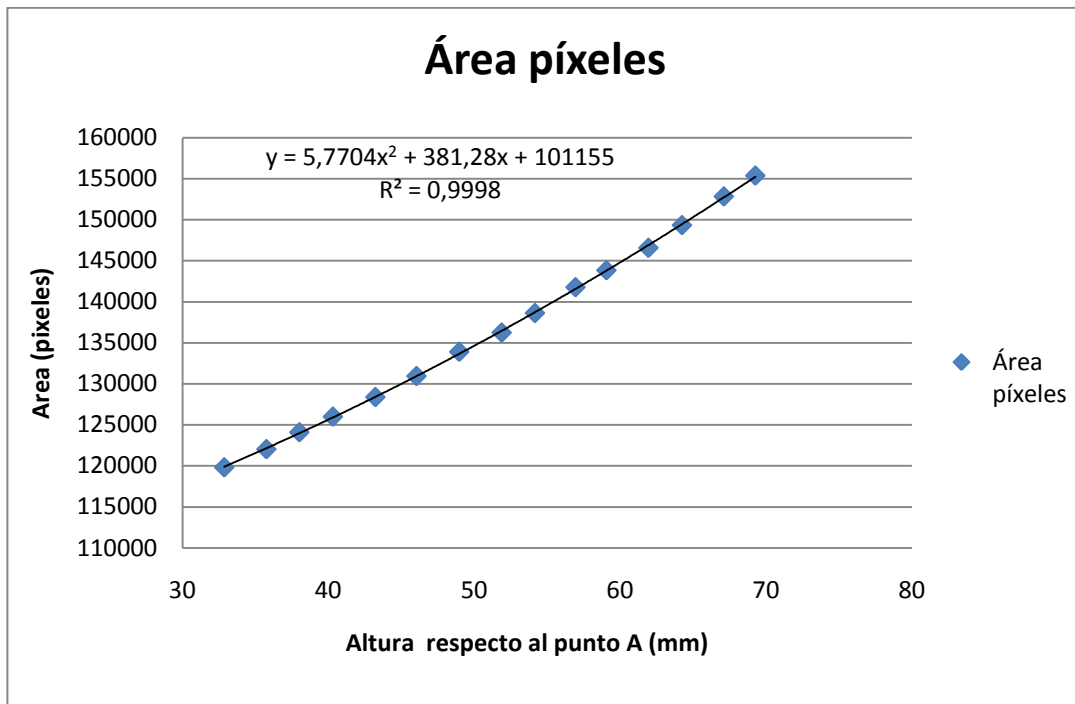


Gráfico 7-1 Curva de Calibración para el Clasificador

Fuente: Presentación propia de los autores

Con base en la ecuación de la línea de tendencia, y el área real del patrón, se halla la longitud del píxel correspondiente a una altura en la que en promedio se encuentra la cara superior de la cabeza del tornillo, respecto al punto A de la Imagen 7-1.

Altura (mm)	Área (píxeles)	Área Píxel (mm ²)	Longitud píxel (mm)
43.8	128925.2302	0.0017	0.041

Tabla 7-4 Resultado obtenido mediante la Curva de Calibración para el clasificador a una altura 43,8 mm

Fuente: Presentación propia de los autores

Con este valor se procede a introducir la calibración a los algoritmos desarrollados en los capítulos posteriores (pre-procesamiento, segmentación, extracción de características) para determinar si el tornillo es o no es defectuoso. Esto con el fin de validar la longitud del píxel. Por otro lado es de gran importancia saber cuánto puede llegar a afectar la medición de la cabeza el hecho que la altura de la misma varíe dentro de una tolerancia de 0,3 mm, o en caso que esté defectuosa se encuentre un poco por encima de esta. Para lograrlo se busca el número de píxeles que a una altura de 43,8 mm signifiquen una longitud dentro de los límites para la distancia entre las caras de la cabeza (Tabla 6-1). Los resultados se ilustran en la Tabla 7-5 para una distancia S igual a 9,64 mm, 9,82mm y 10 mm.

Altura	Distancia entre caras (S) real	Longitud del píxel (mm)	Número de píxeles	Distancia con una calibración para 43,8 mm de altura
42.8	9.64	0.04	233.75	9.61
43.8	9.64	0.04	234.55	9.64
44.8	9.64	0.04	235.36	9.67

Altura	Distancia entre caras (S) real	Longitud del píxel (mm)	Número de píxeles	Distancia con una calibración para 43,8 mm de altura
42.8	9.82	0.04	238.11	9.79
43.8	9.82	0.04	238.93	9.82
44.8	9.82	0.04	239.76	9.85

Altura	Distancia entre caras (S) real	Longitud del píxel (mm)	Número de píxeles	Distancia con una calibración para 43,8 mm de altura
42.8	10	0.04	242.48	9.97
43.8	10	0.04	243.31	10.00
44.8	10	0.04	244.15	10.03

Tabla 7-5 Resultados de la calibración contra los límites de la norma.

Fuente: Presentación propia de los autores

Esto implica que para una cabeza con una distancia S entre 9,64mm y 10mm, el clasificador puede medir las dimensiones de un tornillo (cuya parte superior de la cabeza se encuentre a una altura entre 42,8mm y 44,8mm con respecto al punto A) con una desviación de máximo $\pm 0,03$ mm respecto a la longitud real.

Adicionalmente para validar la calibración, se mide con el instrumento de visión, en diferentes alturas, el radio externo de otra pieza patronada de longitud igual a 9,50545 mm. El resultado se muestra a continuación:

Altura respecto al punto A	Radio Externo patrón	Radio Ext Instrumento de visión	Error	Valor absoluto del error
43.22	9.50545	9.56406	-0.05861	0.05861
46.04	9.50545	9.56347	-0.05802	0.05802
48.97	9.50545	9.57291	-0.06746	0.06746
51.88	9.50545	9.55917	-0.05372	0.05372
54.16	9.50545	9.56285	-0.05740	0.05740
56.94	9.50545	9.56090	-0.05545	0.05545
59.06	9.50545	9.56868	-0.06323	0.06323
61.94	9.50545	9.55236	-0.04691	0.04691
64.24	9.50545	9.57086	-0.06541	0.06541
67.11	9.50545	9.57095	-0.06550	0.06550
69.27	9.50545	9.57900	-0.07355	0.07355
Media Desviación				0.06048

Tabla 7-6 Resultados del clasificador para el patrón radio 9,50545 mm.

Fuente: Presentación propia de los autores

A partir de los resultados obtenidos, se determina que con una desviación de $\pm 0,06048\text{mm}$ de la distancia real y un nivel de confianza del 98% con respecto a la medida real del patrón, la curva de calibración se puede utilizar para calibrar el algoritmo clasificador de cabezas de tornillos hexagonales desarrollado en los software para análisis de imágenes digitales "Vision Assistant" y "Vision Builder".

Se mide el campo de visión con una regla cuya escala está en milímetros. Como se ve en la Imagen 7-13, el campo de visión es de 59 ± 1 mm. Esta medida realizada con el calibrador digital vernier otorga un resultado de 59.22 mm.



Imagen 7-13 Campo de visión del clasificador medido por medio con regla.

Fuente: Presentación propia de los autores

Se sabe que la resolución de la imagen es de 1280 píxeles en la coordenada x. Por lo tanto se toma la medida del grosor de la regla; $1,72 \pm 1$ mm, y se asigna el valor del píxel a esa altura mediante la curva de calibración, 0.0462462265253636 mm. Multiplicando 1280 por el valor del píxel a esa altura se obtiene entonces que el campo de visión es de 59.20 mm.

Medida Campo de Visión (mm)		
Calibración Digital Vernier	Curva de Calibración	Error Curva de Calibración
59.22	59.20	0.02

Tabla 7-7 Error obtenido del campo de visión entre el calibrador digital y la curva de calibración

Fuente: Presentación propia de los autores

7.3. ADQUISICIÓN DE IMAGEN

Mediante el software SmartView 1.7, se capturan las imágenes, en distintas condiciones para los once tornillos seleccionados dentro del sector especificado en el numeral *0 Características del tornillo a clasificar*. Para efectos de la realización de este trabajo de grado las imágenes se grabaron en el computador para después ser utilizadas por los programas de “Vision” como una adquisición simulada. Ahora para realizar una adquisición de imagen en una línea de producción, lo que se desea conocer simplemente es la clasificación de la cabeza hexagonal y determinar el lugar donde ocurrió el error, en orden de realizar un análisis estadístico que permita encontrar la fuente que genera el error. El software de NI Vision permite la integración de toma de imágenes en el tiempo, adaptándose a la línea de producción y al desempeño del clasificador. Se realiza una simulación de imágenes para construir, entrenar y probar el clasificador, depurarlo e interpretar sus resultados de acuerdo a una muestra determinada.

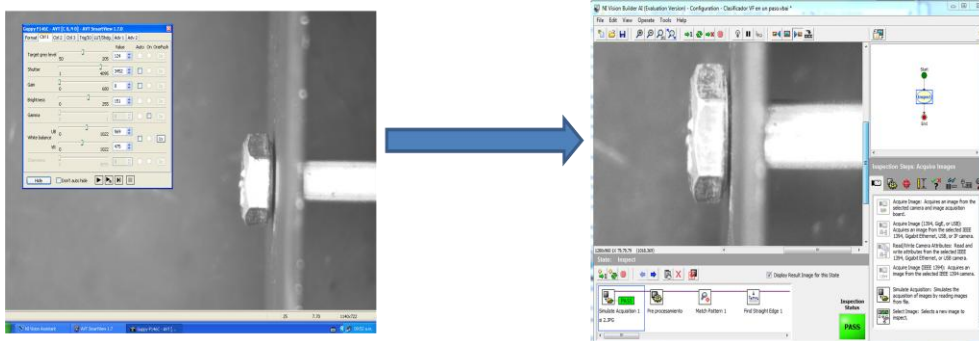




Imagen 7-14 Adquisición de Imagen

Fuente: Presentación propia de los autores

Para realizar la operación vista en la Imagen 7-14 se debe tomar la imagen con SmartView 1.7. Se guarda en una ruta deseada conocida. A la hora de realizar el clasificador se realiza entonces una simulación.

Para realizar la simulación se hace de la misma forma tanto para Vision Assistant como para Vision

Builder. Se utiliza la sección o pestaña de “Acquire Image”  la cual se encuentra al lado derecho de la interface de NI Vision Builder, Configure Inspection. La opción que se selecciona es


 **Simulate Acquisition: Simulates the acquisition of images by reading images from file.**


. El tipo de imagen que se adquiere es de 32 bits en

escala de grises.

7.4. PRE PROCESAMIENTO

Al adquirir una imagen, conformada por 1289 x 960 píxeles, se debe garantizar que exista el mayor contraste entre el fondo de la imagen y la cabeza hexagonal del tornillo, los detalles de la imagen

deben ser realizados con el propósito de garantizar que las características de la cabeza aparezcan, descartando sombras o ruido de la imagen que pueda afectar el análisis posteriormente. Primero para realizar esto se debe extraer una de las gamas espectrales para obtener una imagen en escala de grises de 8 bits, cuantificando cada píxel en una escala de 0 a 255. El pre procesamiento se realiza en el software de Vision Assistant. El comando que se selecciona está en la pestaña “*enhance image*”, re-alzamiento de imagen, icono Vision Assistant,  Vision Assistant: Enhances image features, filters noise, extracts colors planes, and more.

En Visión Assistant se utiliza el comando, extracción del plano (*color plane extracción*). Puesto que la imagen esta en escala de grises, la extracción de cualquiera de los tres planos sea R, G o B, va a asignar los mismos valores para cada píxel.  Color Plane Extraction: Extracts the three color planes (RGB, HSV, or HSL) from an image.

7.4.1. POWER X

Para realizar un gran contraste entre la cabeza hexagonal y el fondo de la imagen se utilizan tablas de consulta, las cuales permiten manipular la imagen de la forma deseada. Se utilizó la función *Power X*. Como se puede ver en la Imagen 7-15, el fondo se diferencia de forma contundente. Para demostrar esto se realiza una línea de perfilamiento, la cual se puede observar en la Gráfico 7-2. Esta línea toma todos los píxeles por los que pasa y dice qué valor tiene entre 0 y 255. Lo que se muestra acá es que existe una pendiente pronunciada entre ultimo píxel del fondo contra el primer píxel del contorno del tornillo. En el Gráfico 7-2 se encuentra la gráfica que genera el programa donde se ve claramente la pendiente en los valores de los píxeles.

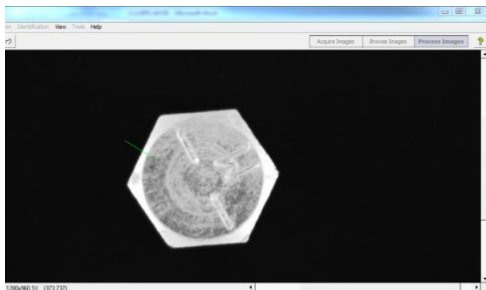


Imagen 7-15 Objeto realizando Contraste, función Power X

Fuente: Presentación propia de los autores

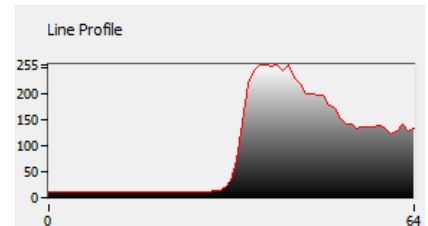


Gráfico 7-2 Line Profile

Fuente: Presentación propia de los autores

7.4.2. REALCE DE DETALLES

Al garantizar el contraste entre los píxeles del fondo y la cabeza hexagonal, se prosigue a disminuir el ruido provocado por el reflejo de la cara y también por el ambiente. Es entonces necesario utilizar *filtros de convolución* (5.7.1 Núcleos de Convolución), los cuales permiten realzar el contorno del tornillo y generan nuevos valores a los píxeles vecinos que permiten que la imagen sea mucho más fácil de analizar.

Se utiliza un filtro de alto paso, el cual permite detección de ejes, contornos, reduce el ruido y suaviza la imagen.

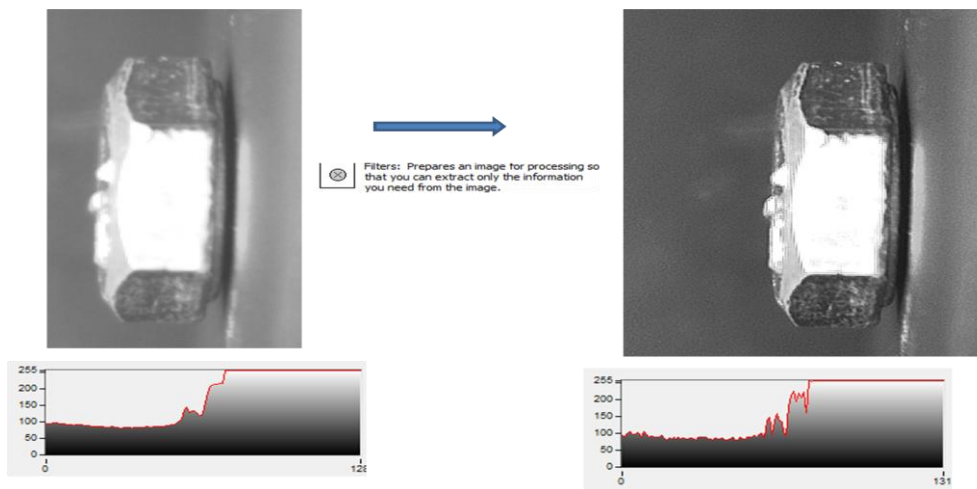


Imagen 7-16 Filtrado de convolución

Fuente: Presentación propia de los autores

Como se aprecia en la Imagen 7-16, el realce de detalle permite que los bordes se encuentren con mayor precisión y permite que el clasificador procese todo tornillo e imagen, limpiando su entorno y realzando el objeto.

7.5. ANÁLISIS DE LA ILUMINACIÓN.

Ya determinado el pre procesamiento por parte de la manipulación del tornillo mediante filtros, y realce de imagen, se realiza el respectivo análisis de los luxes necesarios para garantizar que el clasificador de la cabeza hexagonal de los tornillos funcione de manera adecuada. Los luxes encontrados en el entorno son una variable externa a la manipulación del software de NI Vision. El Diagrama 7-2 muestra los pasos realizados para determinar los niveles de luxes para realizar el clasificador.

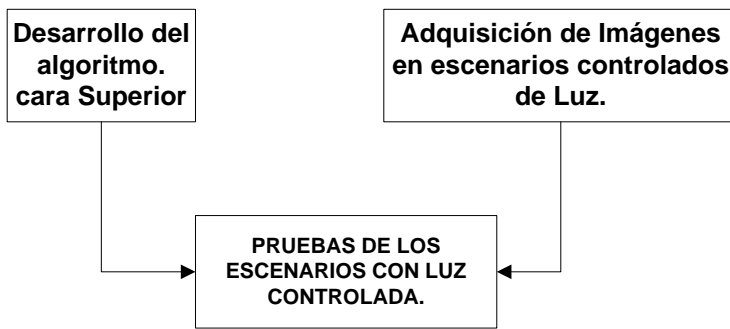


Diagrama 7-2 Procedimiento para obtener los luxes necesarios para el funcionamiento del clasificador
Fuente: Presentación propia de los autores

7.5.1. Desarrollo del algoritmo cara superior.

La primera fase para construir el clasificador fue el algoritmo creado para determinar las características de la cara superior en orden de cuantificar las variables S y E . El Diagrama de Flujo de este algoritmo es explicado en el numeral 7.6.

7.5.2. Adquisición de imágenes en escenarios de luz controlada

Se realiza el montaje para siete escenarios distintos y se les mide la cantidad de luxes sobre el punto de interés, B (Imagen 7-2). En el montaje de la mayoría de escenarios se utiliza espuma de poliuretano expandido la cual se refiere en este trabajo de grado a *Icopor*.



Imagen 7-17 Medición de luxes en el punto de interés
Fuente: Presentación propia de los autores

A continuación se presenta el nombre del escenario con la cantidad de luxes que presenta el ambiente. Cada escenario muestra una foto del montaje. Para los escenarios que contienen *icopor*, las fotografías muestran solo una cara, pero el montaje se realiza con dos secciones de *icopor* una a cada lado. También se muestra una imagen de adquisición para el respectivo escenario. Finalizando se muestra una impresión de pantalla donde se determina si el clasificador con el algoritmo de etapa “*vista superior*” muestra si se detectaron o no todas las características para determinar las variables S y E .

- (i) **Con Luz e icopor: 1663 luxes**

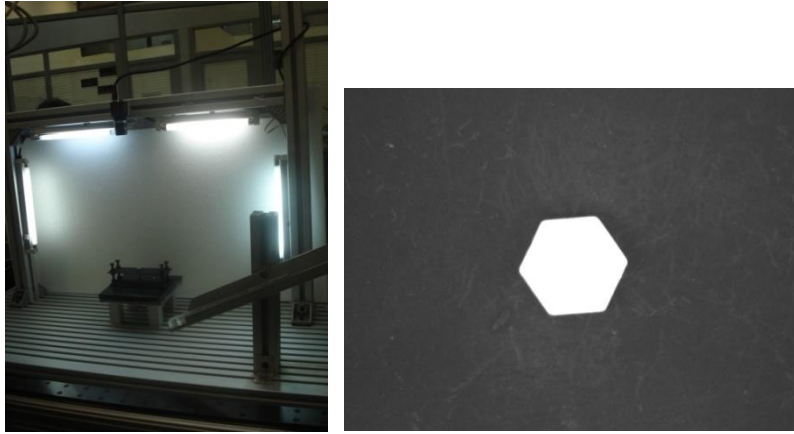


Imagen 7-18 Montaje y cabeza del tornillo bajo las condiciones del escenario "Luz e Icopor"
Fuente: Presentación propia de los autores

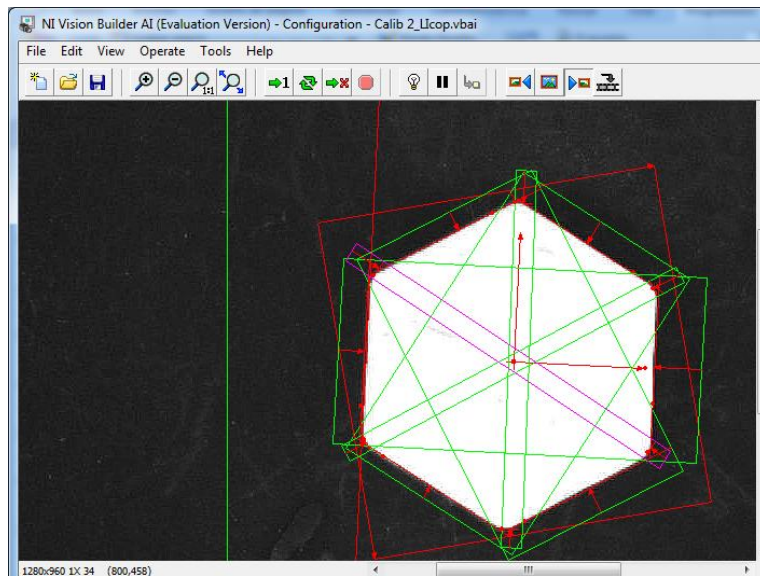


Imagen 7-19 Identificación de Características Luz e Icopor.
Fuente: Presentación propia de los autores

La Imagen 7-19 muestra que el clasificador sí detecto las características necesarias para determinar las variables S y E . Si se desea corroborar este ejercicio se puede realizar ejecutando el archivo de NI Vision Builder ubicado en el ANEXO A²¹

(ii) Sin Luz ni Icopor: 251 luxes

²¹ ANEXO A, ruta: \Anexo A\Anexo A-2\Clasificadores de la Cabeza Superior\Claf 2_LIcop

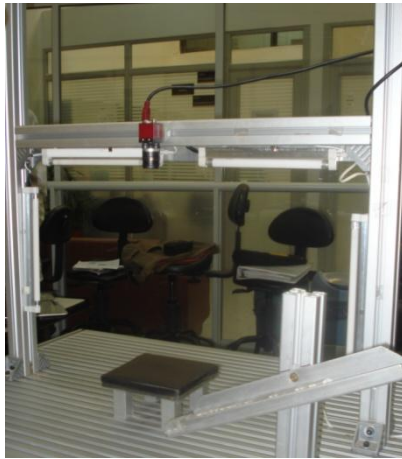


Imagen 7-20 Montaje y cabeza superior sin luz ni Icopor

Fuente: Presentación propia de los autores

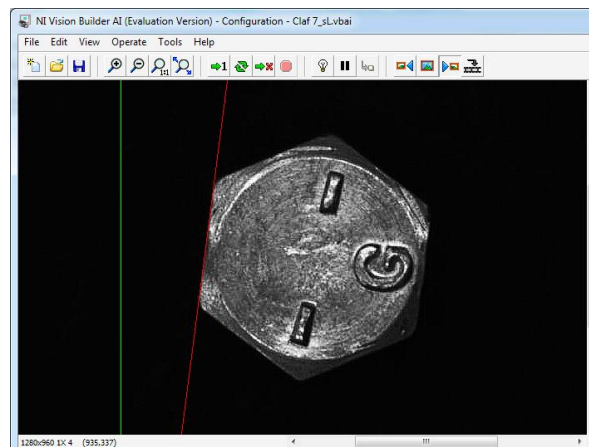


Imagen 7-21 Identificación de Características sin Luz ni Icopor

Fuente: Presentación propia de los autores

Para estas condiciones de luz la cabeza del tornillo no muestra un alto contraste entre el entorno y la cabeza del tornillo. El paso que falla, es la no identificación del patrón previamente definido, para realizar la correlación de grises entre los píxeles, es por esto que estas condiciones de luces no funcionan para identificar las características del tornillo con el clasificador propuesto. Si se desea corroborar este ejercicio se puede realizar ejecutando el archivo de NI Vision Builder ubicado en el ANEXO A²²

(iii) Con Luz lateral y sin Icopor. 336 luxes

²² ANEXO A, ruta: \Anexo A\Anexo A-2\Clasificadores de la Cabeza Superior\Claf 7_sL

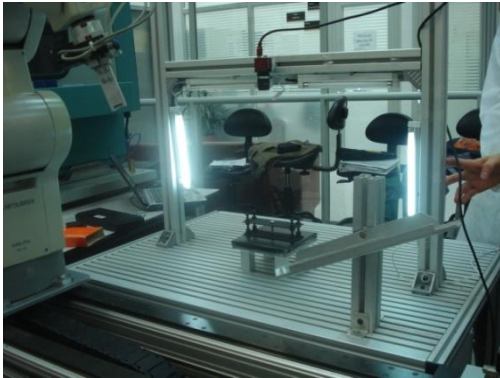


Imagen 7-22 Montaje y cabeza superiro con luz lateral sin icopor
Fuente: Presentación propia de los autores

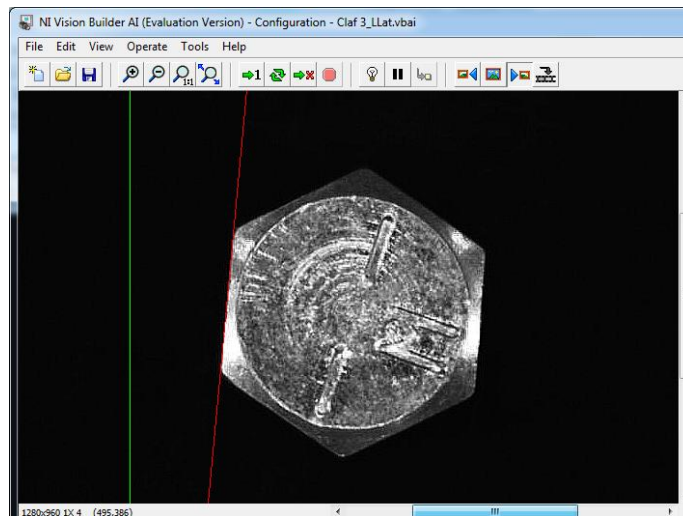


Imagen 7-23 Identificación de Características con luz lateral sin Icopor
Fuente: Presentación propia de los autores

Se puede ver que para el escenario de luz lateral sin Icopor, el clasificador falla por el mismo concepto anterior. No existe una correlación alta entre el parámetro y la imagen para identificar la cabeza y extraer las características. Si se desea corroborar este ejercicio se puede realizar ejecutando el archivo de NI Vision Builder ubicado en el ANEXO A²³

(iv) Con Luz lateral e Icopor. 576 luxes

²³ ANEXO A, ruta: \Anexo A\Anexo A-2\Clasificadores de la Cabeza Superior\Claf 3_LLat

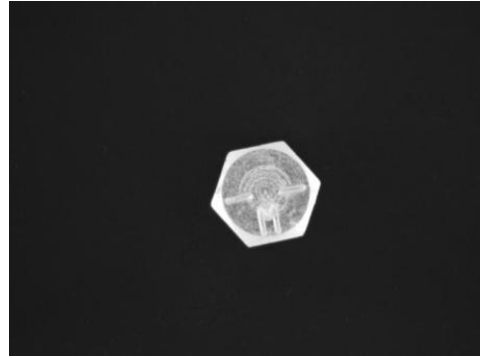
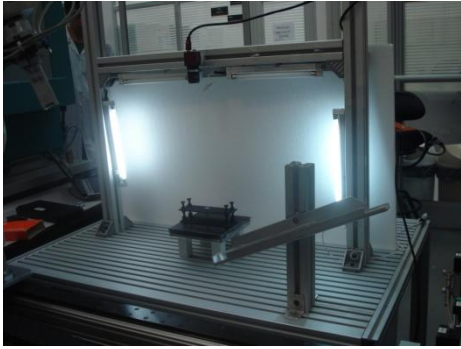


Imagen 7-24 Montaje y cabeza superior con luz lateral e Icopor
Fuente: Presentación propia de los autores

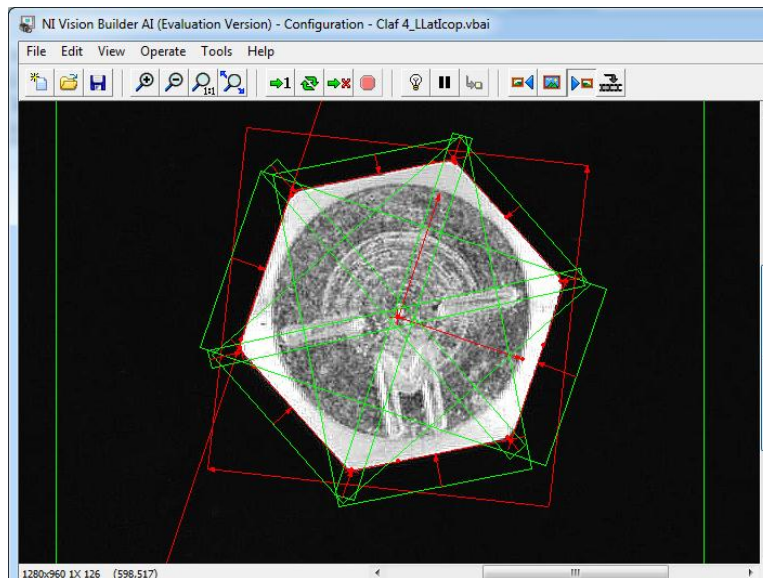


Imagen 7-25 Identificación de Características con Luz Lateral sin Icopor
Fuente: Presentación propia de los autores

Con este escenario sí es posible extraer las características del clasificador de una manera correcta, puesto que el reconocimiento de patrón si genera un contraste y permite generar una correlación alta. También las esquinas y los vértices se diferencian claramente contra el contorno. Si se desea corroborar este ejercicio se puede realizar ejecutando el archivo de NI Vision Builder ubicado en el ANEXO A²⁴

(v) Con luz Superior y sin Icopor. 486 luxes

²⁴ ANEXO A, ruta: \Anexo A\Anexo A-2\Clasificadores de la Cabeza Superior\Claf 4_LLatIcop

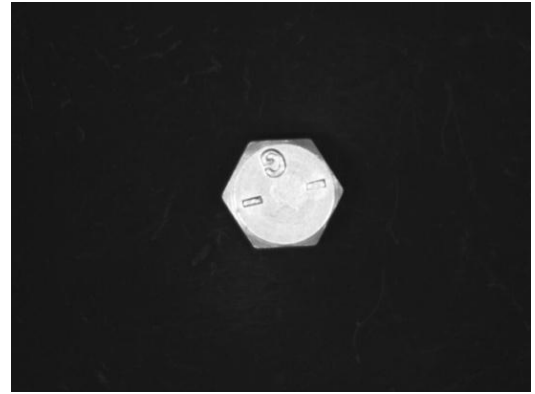


Imagen 7-26 Montaje y cabeza con luz superior sin Icopor

Fuente: Presentación propia de los autores

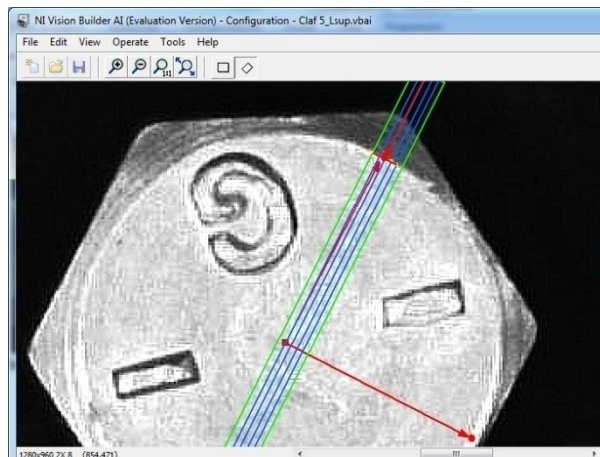


Imagen 7-27 Identificación de Características con Luz Lateral sin Icopor

Fuente: Presentación propia de los autores

Para este escenario el algoritmo sí encuentra el parámetro puesto que las escalas de grises de los píxeles son lo suficientemente grandes para crear una correlación entre la imagen parámetro y la cabeza hexagonal del tornillo. Encontrado el parámetro el algoritmo puede generar entonces la extracción de las características. Como se puede ver la Imagen 7-27 se encontró los vértices de la imagen, pero en la esquina superior, por falta de contraste entre el contorno del tornillo y la plataforma, el *caliper* (5.8 *SEGMENTACIÓN DE LA IMAGEN*) toma el mejor píxel de definido por un vértice, el cual no es el punto que se desea evaluar. Si se desea corroborar este ejercicio se puede realizar ejecutando el archivo de NI Vision Builder ubicado en el ANEXO A²⁵

(vi) Con luz Superior y con Icopor. 915 Luxes

²⁵ ANEXO A, ruta: \Anexo A\Anexo A-2\Clasificadores de la Cabeza Superior\Claf 5_Lsup

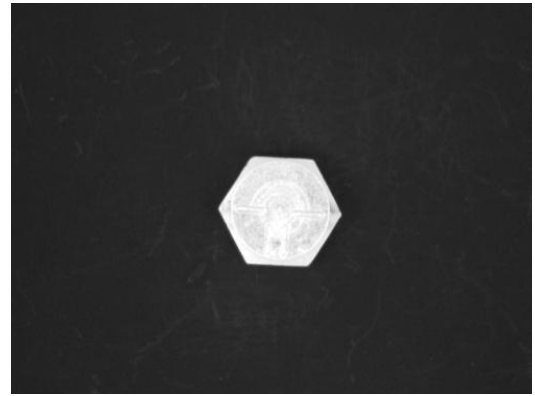
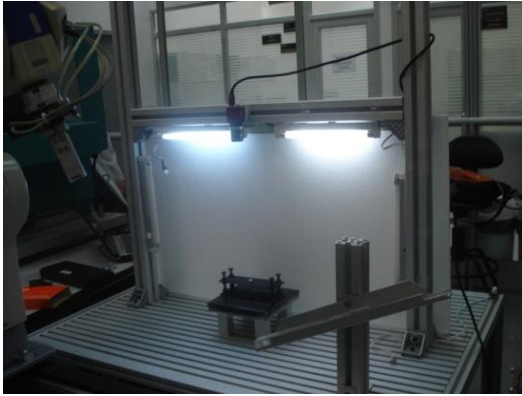


Imagen 7-28 Montaje y cabeza superior con luz superior con icopor
Fuente: Presentación propia de los autores

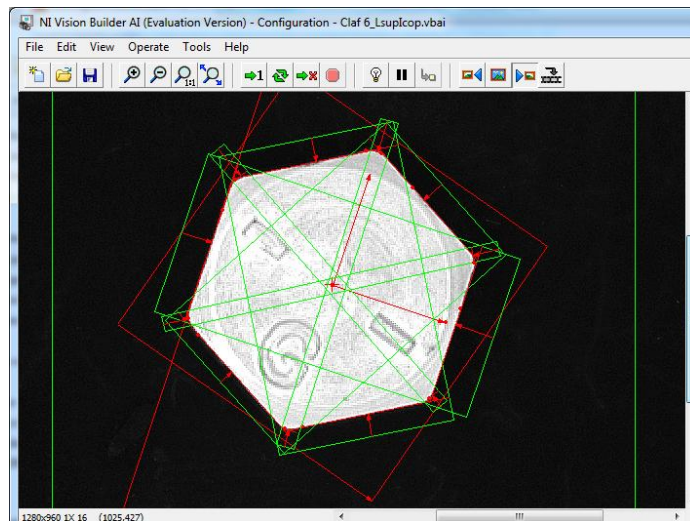


Imagen 7-29 Identificación de Características con Luz superior con Icopor
Fuente: Presentación propia de los autores

Con 915 luxes en el escenario controlado, se pueden extraer todas las características para obtener las variables S y E . Si se desea corroborar este ejercicio se puede realizar ejecutando el archivo de NI Vision Builder ubicado en el ANEXO A²⁶

(vii) Con luz sin Icopor. 525 luxes

²⁶ ANEXO A, ruta: \Anexo A\Anexo A-2\Clasificadores de la Cabeza Superior\Claf 6_LsupIcop

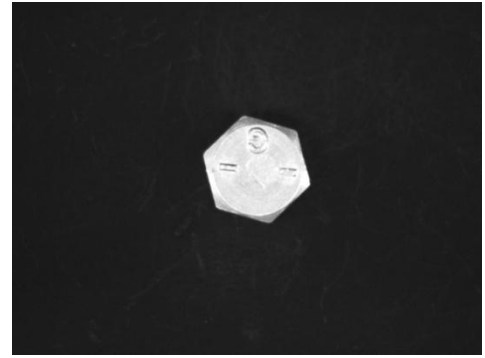


Imagen 7-30 Montaje y cabeza superior con luz sin Icopor

Fuente: Presentación propia de los autores

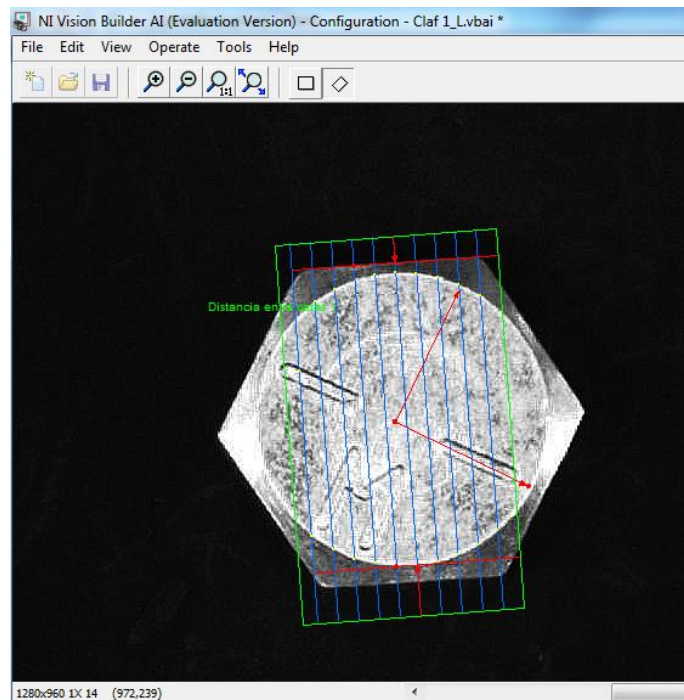


Imagen 7-31 Identificación de Características con Luz sin icopor

Fuente: Presentación propia de los autores

Con la luz obtenida por las lámparas y sin el Icopor se genera un buen contraste en la cabeza hexagonal del tornillo pero por la geometría y el ángulo de caída, se genera una sombra que no permite detectar correctamente las esquinas, lo que quiere decir que el clasificador no sirve para este tipo de escenario. Si se desea corroborar este ejercicio se puede realizar ejecutando el archivo de NI Vision Builder ubicado en el ANEXO A²⁷

²⁷ ANEXO A, ruta: \Anexo A\Anexo A-2\Clasificadores de la Cabeza Superior\Claf 1_L

Resumen datos Obtenidos de Luz:

Por lo tanto el resumen de estos resultados, Tabla 7-8 se obtiene que el rango de luxes necesario para realizar el clasificador es garantizando un rango de mínimo 576 luxes y máximo 1663 luxes.

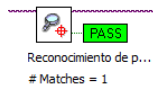
Escenario	notación	Luxes	Concepto
Con luz e lcop	lIcop	1663	si
Sin Luz ni lcopor	sL	251	no
Con luz Lateral y sin lcop	Llat	336	no
Con luz Lateral y con lcop	LlatlIcop	576	si
Con luz superior y sin lcop	Lsup	486	no
Con luz superior y con lcop	LsuplIcop	915	si
Con Luz sin lcop	L	525	no

Tabla 7-8 Resumen de resultado de luxes
Fuente: Presentación propia de los autores

7.5.3. SEGMENTACIÓN

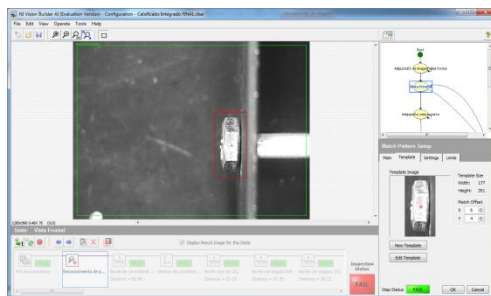
El clasificador por medio de visión artificial realizado en este trabajo de grado busca características y no partículas de una imagen. Esto implica una búsqueda de medidas dimensionales. Se está buscando valores cualitativos de distancia, posicionamiento y coherencia de las medidas frente a unos límites dados por una norma ya establecida en *0 Características del tornillo a clasificar*.

Las herramientas utilizadas para que el clasificador realice estas tareas son:

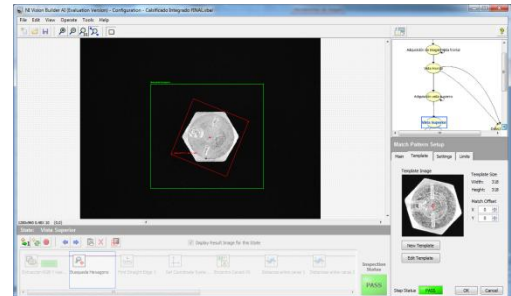


Reconocimiento de Patrones.

Con el propósito de encontrar una región de interés se inicia utilizando una referencia de imagen la cual es leída en escala de grises. (5.8.3 Reconocimiento de Patrones)



(a)

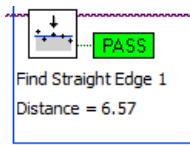


(b)

Imagen 7-32 Reconocimiento de Patrón Cabeza Vista Frontal (a), Vista Superior (b)

Fuente: Presentación propia de los autores

Búsqueda de Contornos Rectos



Permite construir una línea recta a lo largo de un borde encontrado por el clasificador. Después del pre procesamiento es muy sencillo conseguir que el clasificador empiece a delinear el contorno de la imagen.

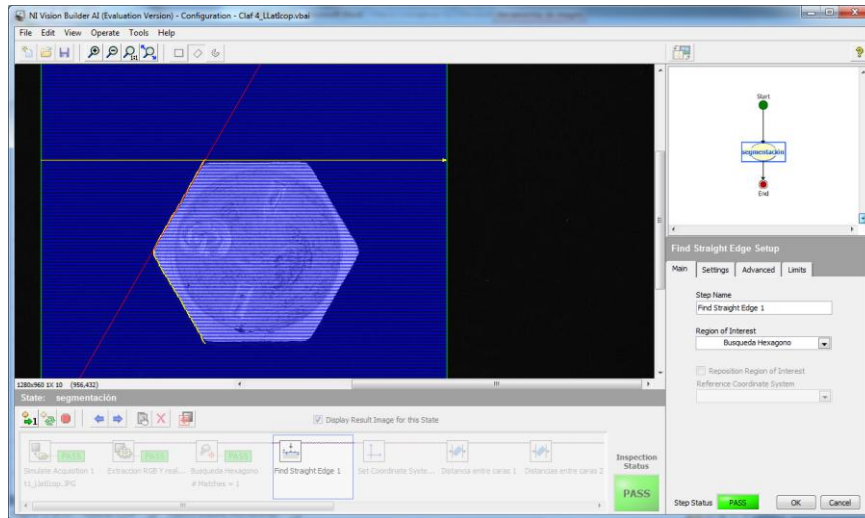
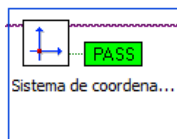


Imagen 7-33 Búsqueda de un borde recto
Fuente: Presentación propia de los autores

Sistema de Coordenadas



Se utiliza para realizar el marco de referencia para ubicar todas las acciones que permiten extraer las características de la cabeza hexagonal. En Imagen 7-34 se encuentra un sistema de coordenadas ubicado en el centro de la imagen patrón que se menciono anteriormente.

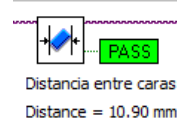


Imagen 7-34 Sistema de coordenadas
Fuente: Presentación propia de los autores

Herramientas de Medidas Dimensionales:

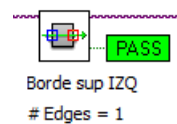
Estas herramientas son las que al ser utilizadas arrojan los números que permiten al clasificador determinar si las características cumplen o no con los estándares. Para medir las variables S , E , K .

Caliper:



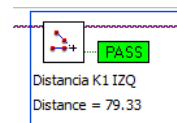
Se utiliza, para encontrar la distancia entre dos características, Se utilizo para encontrar las distancias entre caras, S , y entre vértices, E .

Edge detection:



Permite detectar, realizando una línea recta a lo largo del objeto, puntos ubicados en un borde.

Geometry:



Con esta acción se determinan ángulos, puntos medios, conexión entre dos puntos previamente creados entre otras. Este icono se utiliza para analizar las características que determinan la variable K , $K1$, C y el ángulo.

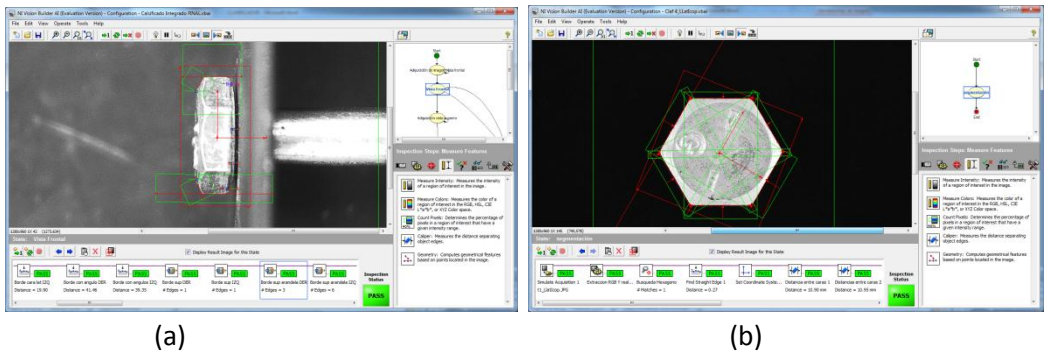


Imagen 7-35 Características Imagen Frontal (a) Características Imagen Superior (b).
Fuente: Presentación propia de los autores

7.6. ALGORITMO DEL CLASIFICADOR DE CABEZAS HEXAGONALES PARA LOS TORNILLOS M6

En este numeral se presenta el algoritmo desarrollado en los software “Vision Assistant” y “Vision Builder”. A continuación se presenta el diagrama con los estados del clasificador.

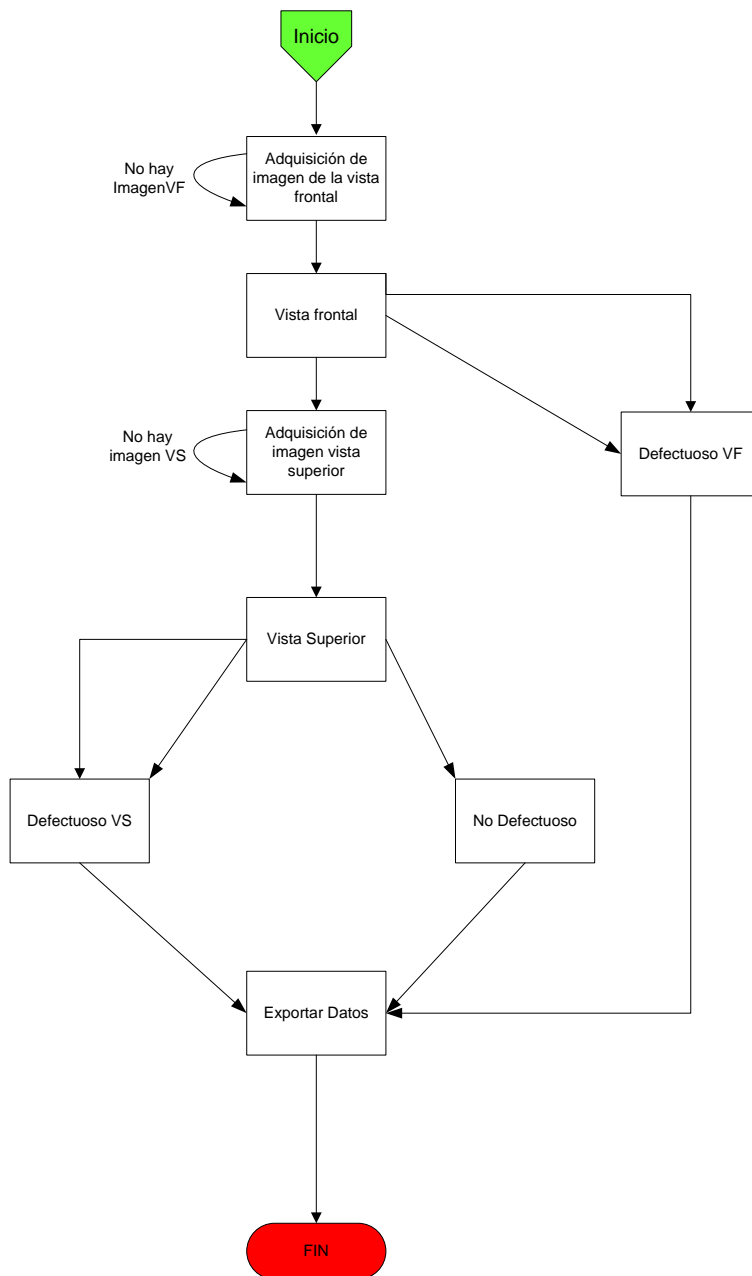


Diagrama 7-3 Diagrama del flujo de los estados del clasificador

Fuente: Presentación propia de los autores

7.6.1. Adquisición Imagen vista frontal:

En este estado, el software espera a que se adquiriera una imagen. Para efectos de este trabajo, y para el desarrollo del algoritmo, se introduce con la herramienta de “Adquisición Simulada”. Con esta, una serie de imágenes guardadas en una carpeta simulan como si la cámara tomara fotos. Para este caso siempre se va a tener una imagen, pero en la realidad la cámara debe esperara por

una señal que determine cuando capturar la foto, por lo tanto el algoritmo no cambiará de estado hasta que esto suceda.

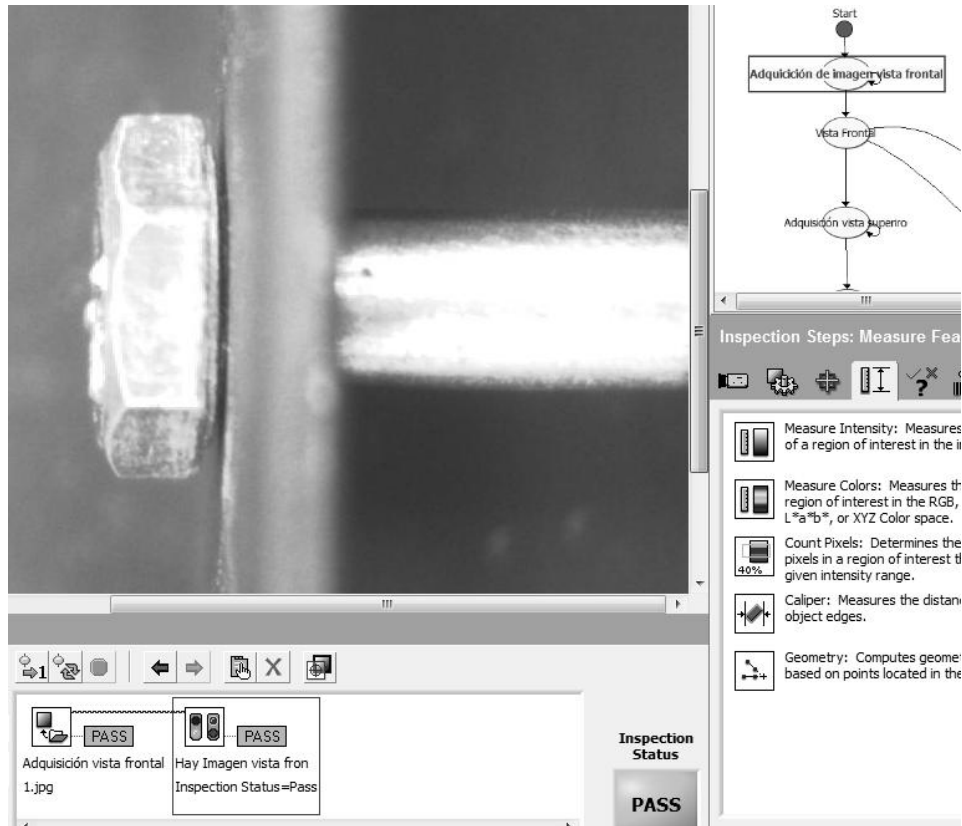
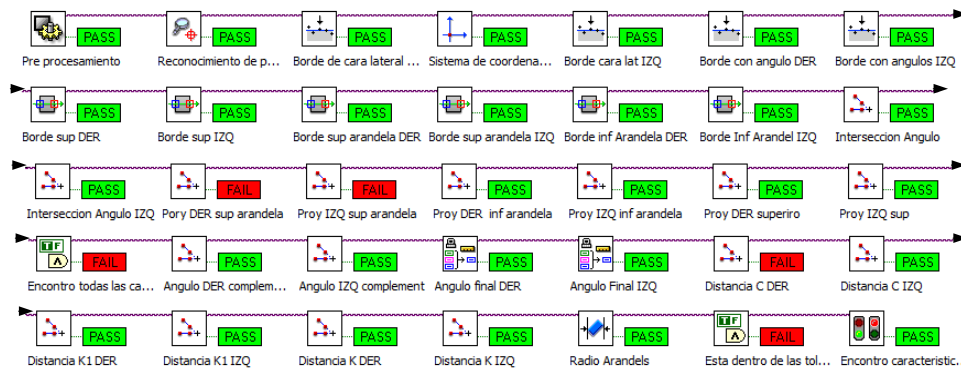


Imagen 7-36 Interfaz Visual Builder; Simular adquisición
Fuente: Presentación propia de los autores

7.6.2. Vista Frontal:

En este estado se encuentra la etapa de pre-procesamiento, segmentación y extracción de características para la vista frontal de la imagen. Las herramientas utilizadas son las siguientes:



En el paso “pre-procesamiento” se mejora la imagen con una *Tabla de consulta “Power X”* con un valor $X = 1,50$ y un filtro de realzado de detalles, lo que facilita su análisis. Posteriormente vienen los tres pasos más importantes del estado, que es reconocimiento de un patrón, encontrar un eje recto, y determinar el sistema de coordenadas. Para que el software funcione se necesita de estos tres pasos, en el primero se encuentra la región de la imagen donde aparece el tornillo y le asigna un punto de referencia a esta, luego se busca uno de los bordes de la cara y con las dos características se definen eje de coordenadas que determina la inclinación del tornillo. La importancia del eje radica en que a partir de este se establecen los lugares de la imagen donde se realiza la búsqueda de características específicas (en este caso los diferentes bordes). Las imágenes que aparecen a partir de este punto de la vista frontal están rotadas 90° de cómo aparecen en el software.

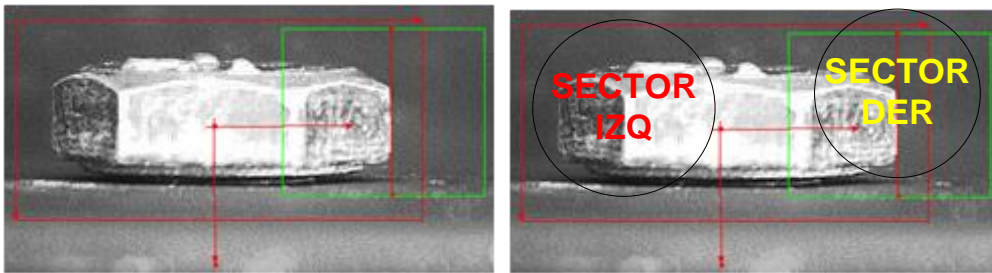


Imagen 7-37 Sectores derecho e izquierdo vista frontal

Fuente: Presentación propia de los autores

En los pasos siguientes se detectan las características principales de la vista frontal utilizando la herramienta de detección de bordes rectos, y detección de bordes. Se busca por los bordes rectos de la cara del SECTOR IZQ (Imagen 7-37), los bordes diagonales entre la cara superior y las caras laterales. Adicionalmente se busca en los dos sectores por los puntos donde empieza y termina la arandela y los puntos donde empieza el borde de la cara superior del tornillo (Imagen 7-38).

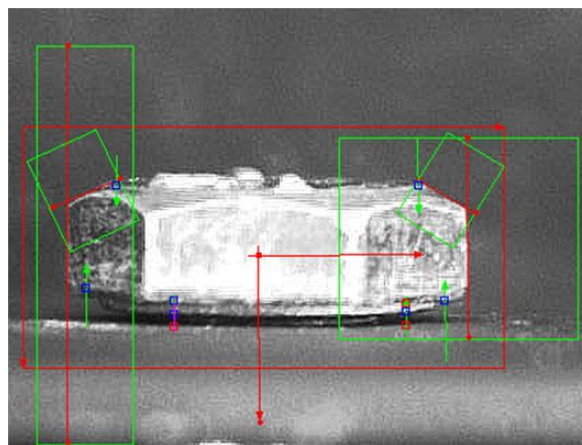


Imagen 7-38 Segmentación vista frontal
Fuente: Presentación propia de los autores

Con la herramienta “Geometry”, se realizan procesos geométricos para dejar todos los puntos críticos sobre las rectas que definen los bordes laterales (Imagen 7-39). Se utilizan intersecciones y proyecciones perpendiculares especialmente. El software realiza en este punto una verificación booleana de que todas las características se hayan encontrado en cuyo caso le da a la verificación valor “PASS”, de no ser así pasa al estado “Defectuoso VF”.

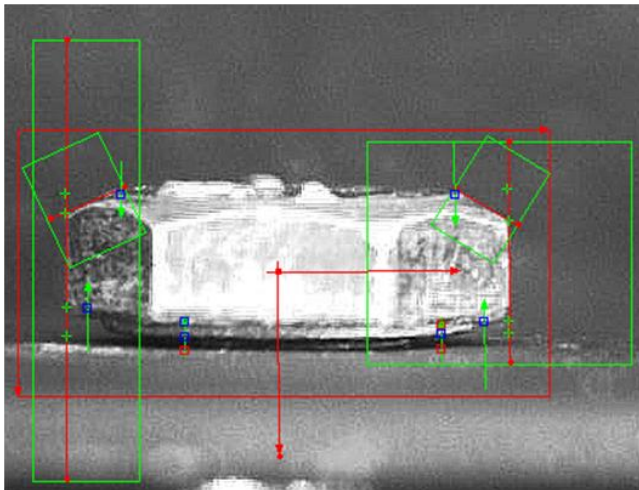


Imagen 7-39 Extracción características

Fuente: Presentación propia de los autores

Con la misma herramienta “Geometry” y con el uso de “Calculator” se determina el ángulo de las esquinas superiores de las caras laterales. Finalmente se hallan las distancias entre puntos representando las características a medir: K, K1, C, Dw. Acá un estado determina que si todas pasan el tornillo pasa la prueba de la vista frontal, de lo contrario pasa al estado “Defectuoso VF”. Este estado simplemente se muestra un mensaje de que la vista frontal del tornillo es defectuosa (Imagen 7-40).

7.6.3. Defectuoso VF:

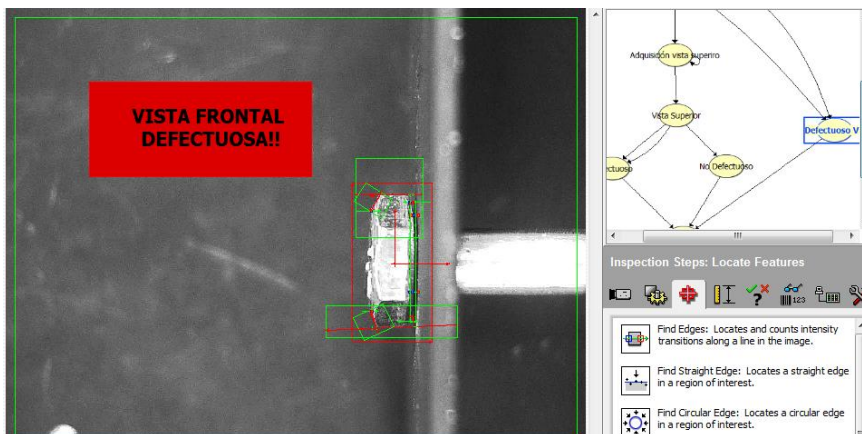


Imagen 7-40 Interfaz de tornillo defectuoso

Fuente: Presentación propia de los autores

7.6.4. Adquisición de Imagen Vista Superior:

Si la vista frontal no tiene ningún defecto pasa al estado de “Adquisición de Imagen Vista Superior” (Imagen 7-41), que al igual que el primer estado es una simulación de la adquisición de la imagen, que en la vida real esperaría por una señal que le indica cuando obturar, de lo contrario no cambia de estado.

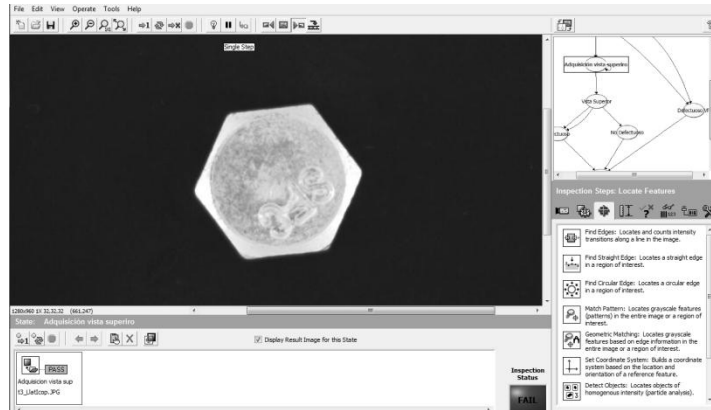
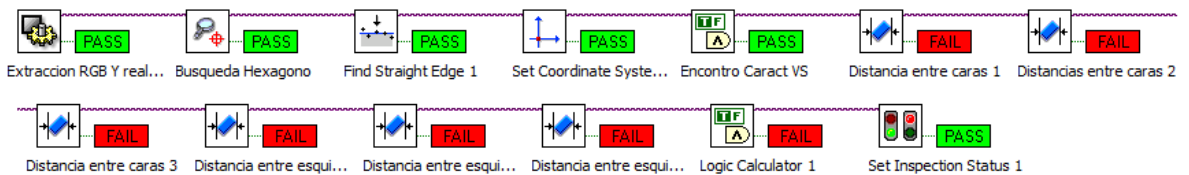


Imagen 7-41 Adquisición imagen vista superior

Fuente: Presentación propia de los autores

7.6.5. Vista Superior:

Cuando se tiene la imagen se pasa al estado “Vista Superior”. Al igual que en el estado “Vista Frontal”, se desarrollan los pasos de pre-procesamiento, segmentación y extracción de características.



Los primeros cuatro pasos son iguales a los del estado “VF”, se utilizan los mismos filtros para mejorar la imagen, el reconocimiento de un patrón identifica donde está el tornillo y con base en cualquiera de los seis bordes rectos ubican un eje de coordenadas, que sin importar con que rotación llegue el tornillo es capaz de proceder a encontrar las características relevantes (segmentar la imagen). Acá un verificador booleano determina un estado donde se pasa si se cumplen todos los cuatro pasos previos, de lo contrario avanza al estado “Defectuoso”

De establecerse el sistema de coordenadas, con la herramienta “Caliper” se realiza la búsqueda de característica y registro de dimensiones al mismo tiempo. Primero se buscan los tres pares de caras opuestas y luego los tres pares de esquinas opuestas (Imagen 7-42).

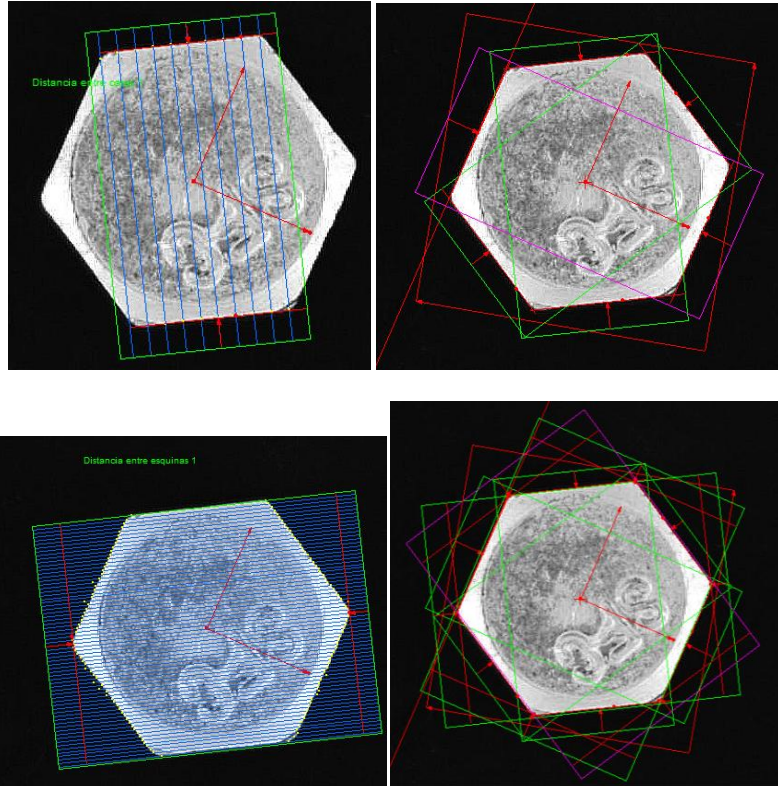


Imagen 7-42 Mediciones distancia S y E
Fuente: Presentación propia de los autores

Dependiendo de si el estado anterior pasa, el clasificador puede ir al estado “Defectuoso” o “No Defectuoso”, en estos se muestra un mensaje del estado final de la cabeza del tornillo (Imagen 7-43)

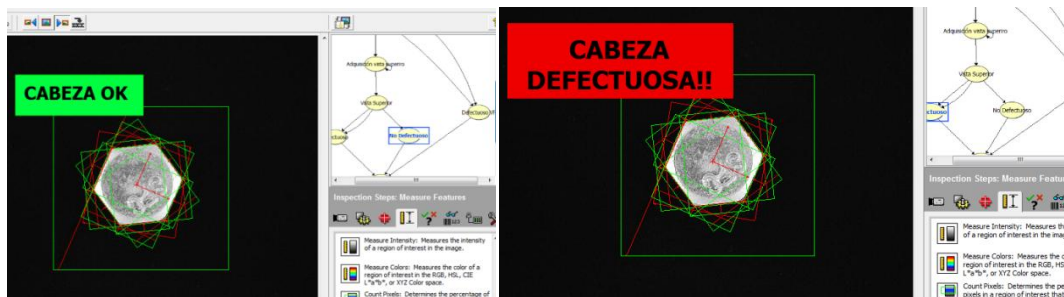


Imagen 7-43 Estado final de la cabeza hexagonal analizada

Fuente: Presentación propia de los autores

7.6.6. Exportar Datos

Por último el clasificador pasa los datos que se le indiquen a un archivo de texto delimitado por tabulaciones que puede ser leído fácilmente en Excel. Esto es un gran beneficio que presenta el software, ya que sólo se necesita la suite de office, o inclusive la versión gratuita para poder almacenar un histórico de los resultados obtenidos. Ya que el software informa acerca de gran cantidad de variables se pueden realizar análisis estadísticos que proporcionen información significativa. Los registros de tiempo son una herramienta útil para conocer, aparte de la duración del proceso de análisis de la pieza, la hora del día a la que se detectó el tornillo defectuoso, la variación de tiempo en que procesa cada tornillo, el gap que hay entre cada medición, entre otras. Por otro lado se puede conocer específicamente donde se detectó y porqué el error. Con esta información se puede determinar cuál parte del proceso en la línea de producción es la que está generando la mayor cantidad de errores, o si a ciertas horas, cuando las máquinas llevan funcionando determinado tiempo se comienzan a ver errores asociados a fatiga en la maquinaria, o que la calibración establecida mediante una puesta a punto del proceso empieza a variar.

Los 11 tornillos que se clasificaron mediante el instrumento de visión artificial tienen como patrón de referencia las mediciones previas, hechas con un calibrador vernier digital. La Tabla 7-9 presenta los resultados obtenidos con el calibrador digital; por otro lado, las variaciones entre las medidas realizadas por el calibrador vernier digital y el clasificador, para las variables S, E y K, se muestran en la Tabla 7-10, Tabla 7-11 y en la Tabla 7-12, respectivamente. Los datos obtenidos con éste instrumento mostraron que los 11 tornillos no cumplen con las conformidad de la norma (*ANSI/ASME B18.2.3.1M-1979 (R1995)*). Las mediciones de las variables de la cabeza hexagonal realizadas por el clasificador se pueden ver en el anexo A-5. Estas demuestran que el clasificador cumple con su objetivo de determinar si la cabeza hexagonal de un tornillo de referencia M6x1 se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma *ANSI/ASME B18.2.3.1M-1979 (R1995)*. Es decir, los 11 tornillos fueron correctamente clasificados como defectuosos.

Con el fin de estandarizar el funcionamiento del clasificador, el ejercicio anterior se debería replicar mediante el diseño de una muestra aleatoria de mayor tamaño; procedimiento que no se encuentra en el alcance de este proyecto.

TORNILLO	S (Norma 10 mm)			E (Norma 11.55 mm)			K (Norma 4 mm)
	1	2	3	1'2	2'3	3'1	Altura
1	10.89	10.93	10.90	12.46	12.44	12.46	3.87
2	10.89	10.91	10.87	12.52	12.48	12.44	3.91
3	10.90	10.92	10.93	12.49	12.45	12.44	4.06
4	10.87	10.84	10.84	12.46	12.37	12.42	3.92
5	10.89	10.87	10.85	12.50	12.46	12.49	3.98
6	11.02	10.98	10.98	12.59	12.52	12.52	4.15
7	10.98	11.00	10.94	12.53	12.51	12.56	4.01
8	10.87	10.85	10.90	12.46	12.48	12.51	4.01
9	11.04	10.99	10.93	12.43	12.51	12.47	4.03
10	10.90	10.89	10.92	12.46	12.52	12.54	3.97
11	10.93	10.90	10.92	12.46	12.45	12.45	3.93
Promedio	10.92	10.91	10.91	12.49	12.47	12.48	3.98
Error con Respecto a la Norma	0.92	0.91	0.90	0.94	0.92	0.93	-0.02
Promedio de medida por encima de la norma.					0.92		

Tabla 7-9 Distancias entre caras, esquinas y alturas de los once tornillos medidas con el calibrador vernier digital

Tornillo	Medida promedio caras con calibrador vernier digital (mm)	Medida Intrumento de vision	Error	Valor absoluto del error
1.1	10.89	10.90	-0.01	0.01
1.2	10.93	10.94	-0.01	0.01
1.3	10.90	10.93	-0.03	0.03
2.1	10.89	10.89	0.00	0.00
2.2	10.91	10.95	-0.04	0.04
2.3	10.87	10.87	0.00	0.00
3.1	10.90	10.86	0.04	0.04
3.2	10.92	10.89	0.03	0.03
3.3	10.93	10.92	0.01	0.01
4.1	10.87	10.91	-0.04	0.04
4.2	10.84	10.88	-0.05	0.05
4.3	10.84	10.86	-0.02	0.02
5.1	10.89	10.92	-0.03	0.03
5.2	10.87	10.88	-0.01	0.01
5.3	10.85	10.90	-0.05	0.05
6.1	11.02	11.00	0.01	0.01
6.2	10.98	10.96	0.01	0.01
6.3	10.98	10.89	0.09	0.09
7.1	10.98	10.95	0.03	0.03
7.2	11.00	10.99	0.01	0.01
7.3	10.94	10.93	0.00	0.00
8.1	10.87	10.85	0.01	0.01
8.2	10.85	10.89	-0.04	0.04
8.3	10.90	10.90	0.00	0.00
9.1	11.04	10.99	0.05	0.05
9.2	10.99	10.96	0.02	0.02
9.3	10.93	10.91	0.02	0.02
10.1	10.90	10.93	-0.03	0.03
10.2	10.89	10.88	0.01	0.01
10.3	10.92	10.97	-0.06	0.06
11.1	10.93	10.95	-0.03	0.03
11.2	10.90	10.85	0.05	0.05
11.3	10.92	10.93	-0.01	0.01
Media Desviación				0.03

Tabla 7-10 Variación entre la medida realizada con un calibrador vernier digital y el instrumento de visión artificial para la variable S.

Las medidas obtenidas por el clasificador para la variable S tienen una media desviación de 0,03 mm con respecto al instrumento de medición calibrador vernier.

Tornillo	Medida promedio esquina con calibrador vernier digital (mm)	Medida Instrumento de vision (mm)	Error	Valor absoluto del error
1.1	12.46	12.40	0.06	0.06
1.2	12.44	12.31	0.13	0.13
1.3	12.46	12.34	0.12	0.12
2.1	12.52	12.41	0.11	0.11
2.2	12.48	12.32	0.16	0.16
2.3	12.44	12.30	0.14	0.14
3.1	12.49	12.44	0.05	0.05
3.2	12.45	12.36	0.08	0.08
3.3	12.44	12.35	0.09	0.09
4.1	12.46	12.51	-0.05	0.05
4.2	12.37	12.36	0.01	0.01
4.3	12.42	12.32	0.10	0.10
5.1	12.50	12.39	0.11	0.11
5.2	12.46	12.37	0.09	0.09
5.3	12.49	12.38	0.11	0.11
6.1	12.59	12.51	0.08	0.08
6.2	12.52	12.45	0.07	0.07
6.3	12.52	12.42	0.10	0.10
7.1	12.53	12.40	0.13	0.13
7.2	12.51	12.32	0.19	0.19
7.3	12.56	12.36	0.20	0.20
8.1	12.46	12.32	0.14	0.14
8.2	12.48	12.33	0.14	0.14
8.3	12.51	12.36	0.15	0.15
9.1	12.43	12.35	0.08	0.08
9.2	12.51	12.43	0.08	0.08
9.3	12.47	12.37	0.09	0.09
10.1	12.46	12.32	0.13	0.13
10.2	12.52	12.39	0.13	0.13
10.3	12.54	12.69	-0.15	0.15
11.1	12.46	12.53	-0.07	0.07
11.2	12.45	12.40	0.05	0.05
11.3	12.45	12.43	0.02	0.02
Media Desviación				0.10

Tabla 7-11 Variación entre la medida realizada con un calibrador vernier digital y el instrumento de visión artificial para la variable E.

Para la variable E, se tiene una media desviación entre las medidas del clasificador y el calibrador vernier de 0.10 mm.

Por último en cuanto a la variable k, se obtiene que la media desviación con respecto al calibrador vernier es de 0,04 mm.

Tornillo	Medida promedio de la altura K con calibrador vernier digital (mm)	Medida Instrumento de vision (mm)	Error	Valor absoluto del error
1	3.87	3.9	-0.03	0.03
2	3.91	3.96	-0.05	0.05
3	4.06	4.05	0.01	0.01
4	3.92	3.92	0.00	0.00
5	3.98	4.08	-0.11	0.11
6	4.15	4.15	-0.01	0.01
7	4.05	4.05	0.00	0.00
8	4.01	4.04	-0.03	0.03
9	4.03	4.08	-0.05	0.05
10	3.97	3.9	0.06	0.06
11	3.93	3.96	-0.03	0.03
Media Desviación				0.04

Tabla 7-12 Variación entre la medida realizada con un calibrador vernier digital y el instrumento de visión artificial para la variable K.

En el ANEXO A²⁸ se puede consultar el archivo que contiene el algoritmo del clasificador de cabezas hexagonales referencia M6 x 1.

7.7. ADAPTACIONES DEL CLASIFICADOR:

El clasificador se probó con un tornillo de cabeza hexagonal referencia M6, manufacturado bajo los estándares de la norma *ANSI/ASME B18.2.3.1M-1979 (R1995)*. Debido a que los parámetros de los límites están delimitados por esta norma, el clasificador presentado en este trabajo sólo puede medir la referencia M6. Es importante advertir, que el método mediante el que fue desarrollado el clasificador permite con unos ajustes sencillos adaptarlo para que sea funcional con una mayor variedad de referencias. Se enlistan a continuación las variaciones que se le pueden hacer al clasificador para crear a partir de éstas, algoritmos específicos para cada referencia de tornillo de cabeza hexagonal.

- El cambio principal que se debe realizar es ingresar una nueva imagen patrón para cada referencia que se quiera analizar (herramienta *Reconocimiento de Patrones*). Debido a que cada referencia tiene unas medidas distintas y la imagen patrón tiene unas dimensiones alejadas a las de una nueva referencia, no podrá reconocerla y por ende no realiza ninguna medición sobre los sitios de interés.
- Los cambios subsecuentes de los otros pasos son modificar, dependiendo del tamaño de la cabeza, los lugares donde se buscan los bordes y los tamaños de las regiones de interés.
- Finalmente se introducen los nuevos límites para cada referencia.

²⁸ Anexo A, ruta: \Anexo A\Anexo A-2\Calsificador Integrado de las Cabezas Hexagonales M6 X 1.vbai

Estas modificaciones funcionan siempre y cuando se pueda garantizar que se tome una imagen con las mismas características de las fotos digitales utilizadas en la construcción de este clasificador. Principalmente se deben asegurar unas condiciones mínimas de luz que eviten sombras o reflejos no deseados, y que no tenga distorsión radial ni de perspectiva. A pesar de ser un clasificador funcional sólo para una referencia, su diseño permite adaptarlo fácilmente a variadas referencias de cabeza hexagonal, es decir los pasos del algoritmo fueron desarrollados para una figura hexagonal y por lo tanto se puede utilizar como base para crear clasificadores para otras herramientas con este tipo de polígono regular, como una tuerca, el corte transversal de una llave hexagonal entre otras.

7.8. LIMITACIONES DEL CLASIFICADOR

La mayor limitación del algoritmo se presenta en el análisis de la vista frontal, ya que para su correcto funcionamiento el tornillo siempre debe llegar con una rotación específica. Adicionalmente se debe garantizar que se analicen las seis caras, situación que añadiría complejidad al diseño del puesto en un ambiente real, donde el tornillo debe rotarse en tres ocasiones para que la cámara capture las diferentes caras. Esto a su vez implica que el estado de "*Vista Superior:*" del algoritmo se debe repetir 3 veces antes de pasar al siguiente estado.

8. CONDICIONES NECESARIAS PARA IMPLEMENTAR EL CLASIFICADOR.

La producción de tornillos es de alto volumen. La línea de producción tiene una capacidad de conformar 166,67 tornillos/minuto. Según Juran, existen dos formas de realizar control de calidad para producciones en línea. La primera se realiza mediante una puesta a punto de la estampadora en frío mirando la calibración y precisión de la misma. El problema de este método es que se puede garantizar la calibración inicialmente, pero la fatiga que recibe la máquina y los largos periodos que dura la misma en funcionamiento generan decremento en su calibración. Pensar en 450 tornillos que se realizan por minuto y llegase a suceder un imprevisto en el molde todos los tornillos pertenecientes a ese lote serían inservibles cuando se trata de calidad total.

Generado el clasificador para las cabezas hexagonales de los tornillos se busca entonces realizar una contextualización del puesto de control de calidad que permite realizar una clasificación total de todos los tornillos producidos.

Las variables analizadas son las caracterizadas dadas en el numeral *0 Características del tornillo a clasificar*. Ya es claro que este clasificador está buscando las piezas que no cumplen con los estándares de calidad. Por lo tanto la estación se encuentra después de conformado el tornillo por la estampadora en frío.

Para la realización del mismo se conoce que los tornillos son estampados y después soltados en una tolva o caneca. Primero se tiene que proponer un embudo que permita a los tornillos caer uno por uno de manera específica en una banda transportadora al sistema de clasificación en línea que

se ha propuesto. En la Imagen 8-1 se muestra una propuesta la cual tiene alcance desde que el tornillo llega a la banda o pasillo hasta que es clasificado como defectuoso y aprobado.

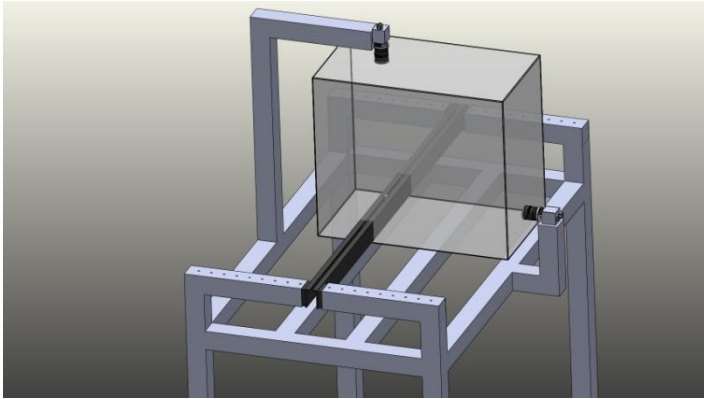


Imagen 8-1 Propuesta de estación de control de calidad por medio de visión artificial en una línea de producción

Fuente: Presentación propia de los autores

Ya construido el clasificador se determinan entonces las características que debe tener el entorno físico y sistema de información para poder clasificar las cabezas hexagonales del tornillo.

El tornillo debe llegar a la banda transportadora o riel con las variables a caracterizar expuestas a los instrumentos de visión artificial, como se ven en la Imagen 8-2

Ilustración técnica Anexo E-1.

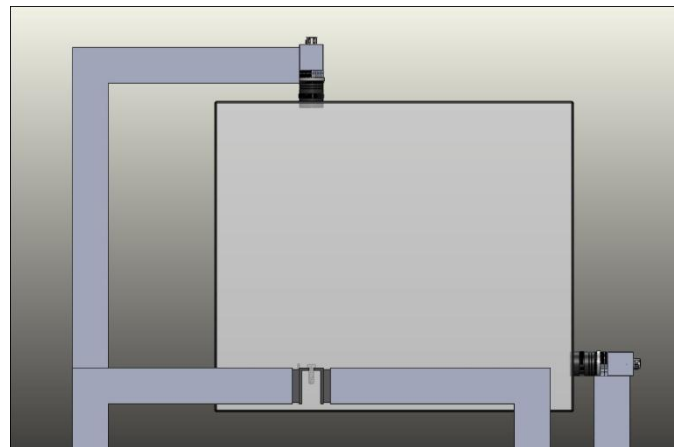


Imagen 8-2 Posición del tornillo en puesto de control

Fuente: Presentación propia de los autores

Para clasificar todas las características de la cabeza hexagonal se deben utilizar dos cámaras industriales ATP Guppy. Se debe garantizar la perpendicularidad de las mismas con su campo de

visión evitando que el campo del mismo tenga errores de distorsión o perspectiva. Esto permite realizar una calibración simple.

Las cámaras se deben encontrar a 320 ± 1 mm de la cabeza del tornillo. La cámara 1 se ubicará en la parte superior capturando la imagen para el estado “Adquisición de Imagen Vista Superior: pg76” al algoritmo integrado del clasificador y clasificando las variables S y E . La cámara 2 se encuentra al costado derecho de la vista frontal (Anexo E-1 y Anexo E-2), también a 320 ± 1 mm de distancia. Esto garantiza un campo de visión de 59 mm para realizar la clasificación.

Como se ve en las figuras de la propuesta de la estación de control de calidad figura 8-1, se tiene una caja vacía la cual representa el nivel de luminancia que se debe garantizar para el correcto funcionamiento del clasificador. Se determinó en el numeral 7.5.2 *Adquisición de imágenes en escenarios de luz controlada* que el nivel de luxes será de 576 luxes. Se debe garantizar para la vista frontal que la instalación de luces no genere sombras que perjudique la medida de la variable C y D_w como se aprecia en la Imagen 8-3.

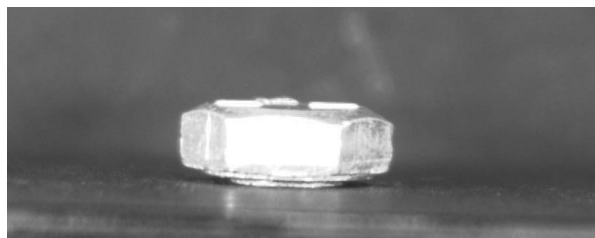


Imagen 8-3 Cabeza hexagonal vista frontal.
Fuente: Presentación propia de los autores

8.1. BALANCEO EN LÍNEA

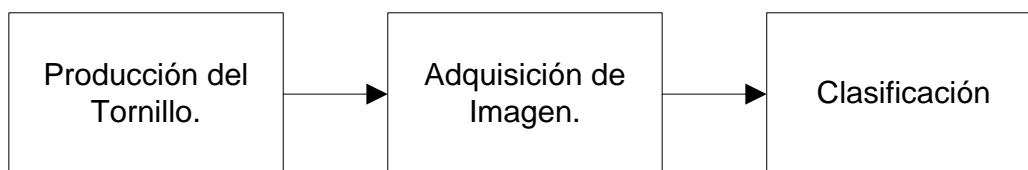


Diagrama 8-1 Estados del método de clasificación de la cabeza hexagonal de tornillos M6.
Fuente: Presentación propia de los autores

El computador que se utiliza será dedicado para el clasificador y almacenamiento de datos. Por lo tanto el desempeño de la maquina en cuanto a eficiencia de sistema será tomada como la máximo y no tiene repercusión en las tasas de de cada estado a ser balanceado.

8.1.1. Producción del Tornillo

Para el conformado del tornillo se utilizó como referencia a la empresa Gutemberto S.A. los cuales utilizan maquinas BoltMaker o estampadoras progresivas. Estas maquinas tiene una razón de producción de 166,6 tornillos/minuto.²⁹

8.1.2. Adquisición de Imagen

El proceso de adquisición de imagen está ligado a la capacidad de captura de la cámara ATV Guppy. *7.1.2 Posicionamiento de cámara.* La cámara funciona a 17.7 fps. Quiere decir que si pasaran 17.7 tornillos por segundo la cámara puede captarlos y guardarlos. 1062 imágenes (Tornillos)/minuto.³⁰

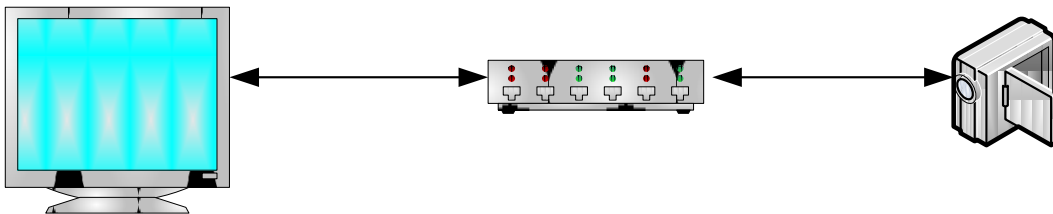
8.1.3. Tiempo Clasificación:

El clasificador se corrió varias veces diferentes lapsos de tiempo. Se tomaron los extremos de estos grupos de corridas. La mínima tuvo una duración de clasificación de 113 segundos, la máxima tuvo una duración de corrida de 226 segundos³¹. El resultado que se adquiere es el máximo en milisegundos correspondiente a la clasificación de un tornillo. En la primera el resultado fue de 991 segundos y para la segunda 993. *Tasa:* 60,42 tornillos/minute.

Se tiene entonces que el cuello de botella para el balanceo en línea es el clasificador de las cabezas hexagonales del tornillo M6 X 1. La cámara no se tiene en cuenta para el balanceo en línea. La máquina de estampación progresiva se mantendrá a su tasa de producción. Por lo tanto la tasa de producción disminuye en **63,74%**. Da un abasto, por lo tanto, de **36,25%** en la línea de producción.

8.2. INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN

El montaje se realiza mediante el software de NI Vision Development y NI Vision Builder. Esto se hace mediante una integración de hardware y software. National Instruments software funciona con ambiente Windows. El sistema de información funciona con un hardware para conexiones IEEE 1394, la cual permite conexiones múltiples al bus del computador, Figura 8-1.



²⁹ Información Suministrada por Eidenman Cardenas del departamento de Calidad de Gutemberto S.A. Telefono: (571) 2618666 ext 238. Correo Electrónico: aplaneacion@gutemberto.com

³⁰ <http://www.alliedvisiontec.com/us/products/cameras/firewire/guppy/f-146bc.html> 25/02/2010.

³¹ Anexo A. ruta: \\Anexo A\Anexo A-2\Resultados archivos "Resultados Corrida_1.xls" y "Resultados Corrida_1.xls"

Figura 8-1 Integración del Sistema Operativo
Fuente: Presentación propia de los autores

Requerimientos del computador:

	MÍNIMO	RECOMENDADO
Procesador	Pentium 4/M o equivalente	Core Duo o equivalente
Memoria	512 MB Ram	1 GB Ram
Interfas	1280 X 1024 de resolución con hardware tarjeta para conexión puertos IEEE 1394	
Espacio libre de Disco	700 MB	
Sistema Operativo	Microsoft Windows 7/Vista/Xp/2000	
Explorador	Microsoft Explorer 5.0 o más actualizada	

Tabla 8-1 Requisitos del sistema operativo

Fuente: Presentación propia de los autores

El desarrollo analítico mediante datos estadísticos que exporta el clasificador se guardan en el sistema mediante planos, .txt, los cuales se pueden exportar a otro sistema operativo que tenga Excel Microsoft Office.

Dos cámaras AVT Guppy cuya caracterización se encuentra en *7.1.2 Posicionamiento de cámara*.

Software: NI Vision Development Module y NI Vision Builder. Ejecutables disponibles en el Anexo A ruta: \\ Anexo A\Anexo A-4.

8.3. ESTIMATIVO DE LOS COSTOS FIJOS Y VARIABLES DEL CLASIFICADOR

Estos precios que se mencionan son representación de cotizaciones básica. El aplicativo de Microsoft Office no se incluye en esta cotización puesto que las empresas caracterizadas ya lo tienen.

COSTOS FIJOS			
Concepto	Monto		
Computador con monitor	1,700,000.00		
Software y Licencia	9,080,883.00		
Implementación del Modelo	1,193,010.00		
Sub Total	11,973,893.00		
COSTOS Variables			
Una Estación de Calidad		Dos Estaciones de Calidad	Tres Estaciones de Calidad
Concepto	Monto	Monto	Monto
Lamparas Fluorescentes	20,000.00	40,000.00	60,000.00
Cámaras AVT Guppy F-080B/C	3,939,854.00	7,879,708.00	11,819,562.00
FUJINON HF35HA-1B	497,766.92	995,533.84	1,493,300.76
Sub Total	4,457,620.92	8,915,241.84	13,372,862.76
TOTAL	16,431,513.92	20,889,134.84	25,346,755.76

*Cifras en COP

** Software NI Vision Module y Builder Module:³² (TRM Contable Marzo 2010: \$1.921,88 COP/USD)

Tabla 8-2 Calculo de Costo Total de la implementación del Clasificador.

Fuente: Presentación propia de los autores

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el resumen de los costos por su concepto. Se tiene los costos fijos y los costos variables. Según el análisis de balanceo en línea realizado en el numeral 8.1, se tiene que el clasificador representa el cuello de botella. Por lo tanto es necesario de **tres (3)** estaciones de control de la calidad para clasificar todas las cabezas hexagonales producidas lo cual acarrea un costo total estimado del clasificador de \$ 25.346.755,78 COP.

Para realizar dos estaciones es necesario que el desempeño del clasificador mejore. En el escenario actual de tres estaciones tenemos que el clasificador tiene una cobertura del 36.25% en la línea de producción. Es por este motivo que se deben utilizar tres estaciones. Pero si se disminuye el desempeño del clasificador, pasando de 0,993 s a 0,719 s, se obtiene que el desempeño del clasificador es de un 50% en la línea de producción. Al reducir el tiempo de

³²Cotización Obtenida de: http://sine.ni.com/apps/utf8/niwq.request_instant_quote. Fecha: 5 Abril 2010.

clasificación en un 27,5% los costos pasan de \$ 25.346.755,78 COP. a \$ 20.889.134,84. Una reducción del 17,59% en los costos totales del Clasificador.

Celda objetivo (Valor de)

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
Desempeño del Clasi. En la producción		36.25%	50.00%

Celdas cambiantes

Celda	Nombre	Valor original	Valor final
Tiempo del Clasificador (ms)		0.993	0.719985224
		Diferencia Porcentual	-27.5%

Tabla 8-3 Sensibilidad del Costo total de acuerdo al desempeño del Clasificador.

Fuente: Presentación propia de los autores

Los costos mencionados representan simplemente una parte de todo el análisis para determinar la viabilidad de la propuesta en una empresa. La viabilidad de este proyecto queda entonces como una recomendación para un futuro trabajo de grado. Para el montaje del sistema de control de calidad también se encuentran otros costos tales como; diseño del puesto de control de calidad, materiales, adaptación de la estación a la línea de producción; horas hombre de trabajo, entre otros.

9. DISPOSICIÓN DE LOS TORNILLOS CONFORMES Y NO CONFORMES

Una pregunta que surge en cualquier empresa donde se haga un control de calidad, es ¿qué hacer con los productos defectuosos? El objetivo de tener una buena práctica de disposición es claro, generar algún valor, disminuir costos y minimizar pérdidas. Las opciones son variadas al igual que sus resultados, los cuales dependen del tipo de producto, los materiales de fabricación, las reglamentaciones específicas de cada país, los lineamientos de la empresa, entre otras variables. Es importante tener claro en este punto, que cualquier producto defectuoso le genera instantáneamente unos costos asociados a la empresa, por lo que el tipo de disposición que se le da a un producto debe llevar al mínimo el impacto que tienen estos costos por fallos, sobre los costos totales de calidad. Una división de estos costos por fallos, como la mencionada por John Grocock en su libro *la cadena de la calidad*³³, se realiza en dos categorías: reprocesos y desechos. Los últimos a su vez se dividen en desechos brutos y valor de recuperación de los que se pueden vender. Esto es una primera opción de disposición, tratar al producto como desecho e intentar obtener algún valor por su venta como chatarra en el caso de los tornillos. Una segunda posibilidad es el reproceso de los tornillos en el caso que sea más barato que volver a producirlos.

³³ J. M. GROOCK, 1986, *La Cadena de la Calidad*, Madrid: Lavel, S.A. Humanes

Considerando los dos tipos de escenarios previamente mencionados, la forma en la cual se pueden disponer los tornillos defectuosos varía significativamente una de otra a partir del momento en que la distinción entre conformes y no conformes está hecha. En los dos casos se parte del momento en cual el tornillo es inspeccionado por el instrumento de visión artificial y se conoce su estado; defectuoso o no defectuoso. Si el resultado es un tornillo fuera de los límites permitidos debe ser retirado de la línea de producción en caso contrario continúa a ser empacado en recipientes de color verdes identificados con el número de lote para garantizar la trazabilidad del producto. Para evitar confusiones las zonas donde llegan los tornillos defectuosos tiene que estar debidamente delimitadas, y a su vez los contenedores donde se almacenan tienen que tener una notoria distinción que contienen productos defectuosos, además de ser de color rojos.

El proceso que implica menos esfuerzo para una empresa que se dedica a la producción de tornillos se muestra en el Diagrama 9-1.

Po ND: posición de riel en destino de No Defectuosos

Po D1: posición de riel en destino de Defectuosos

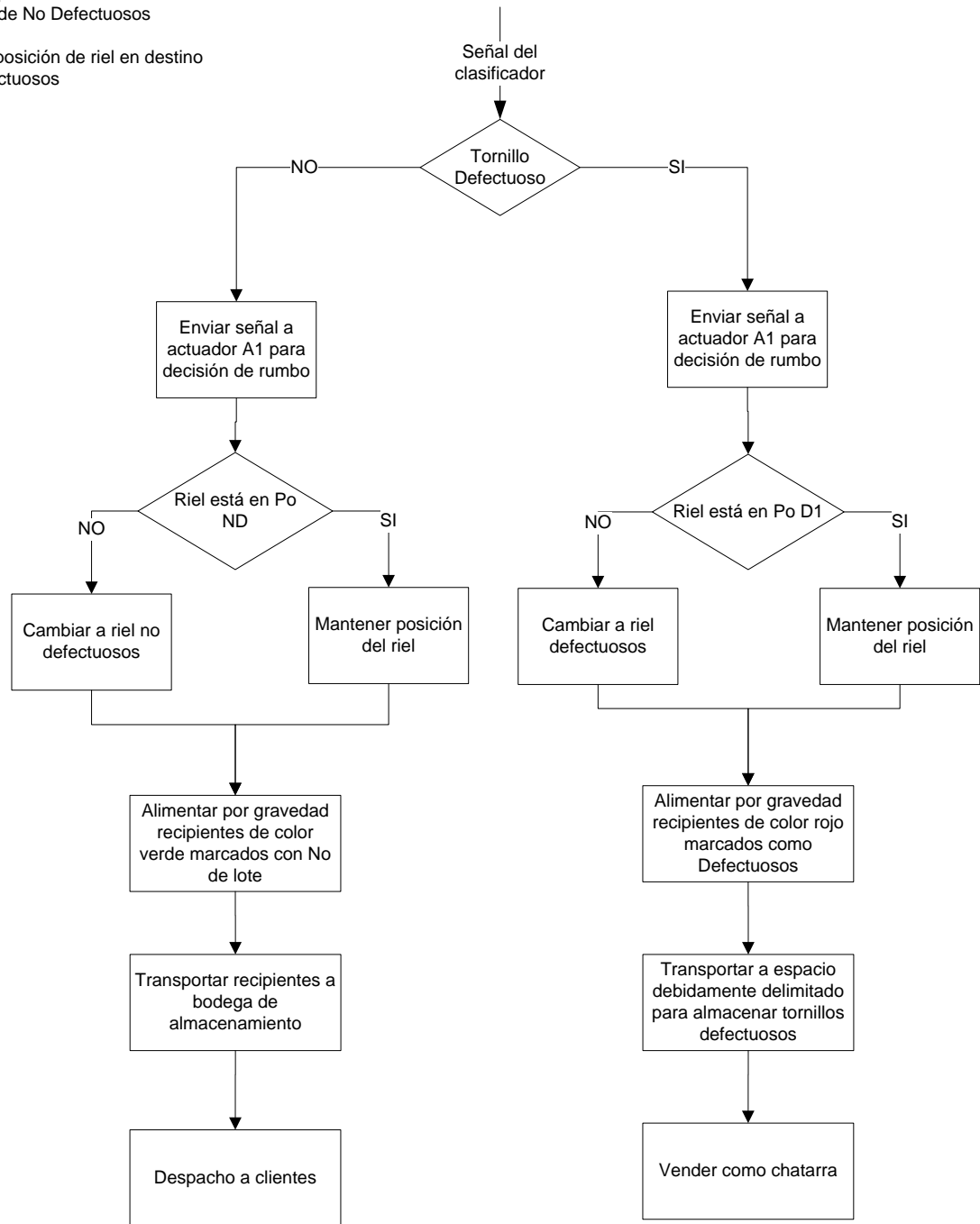


Diagrama 9-1 Proceso de disposición de menor esfuerzo.

Fuente: Presentación propia de los autores

Con este tipo de disposición sólo se garantiza que los tornillos defectuosos se separen de los no defectuosos, para lo cual se necesitan dos rieles con dos destinos finales como se ve en la Figura 9-1 En este caso no es necesaria ninguna clase de diferenciación especial dentro de los mismos tornillos defectuosos, ya que todos se destinan a la chatarrización. Lo más importante es diferenciar de manera clara los recipientes donde se almacenan los tornillos, para lo que se pueden utilizar colores comúnmente asociados a lo correcto e incorrecto; el verde y el rojo respectivamente. El proceso comienza con una señal que le indica a un actuador cuanto tiempo después cambiar el rumbo del riel dependiendo del estado del tornillo. Con cada uno de los posibles estados del tornillo en los diferentes rieles, se transportan a su destino final, donde en el caso que sean tornillos conformes con los estándares, se almacenan mediante alimentación por gravedad en recipientes verdes identificados con el número del lote de producción al que hagan parte. Por su parte los tornillos defectuosos se almacenan en recipientes rojos marcados con una distinción que los identifica como tornillos no conformes. Finalmente dependiendo de su estado final se despachan a los clientes o se envían a chatarrizar, por lo que se recibe un valor de recuperación que disminuye el total de los costos por fallos.

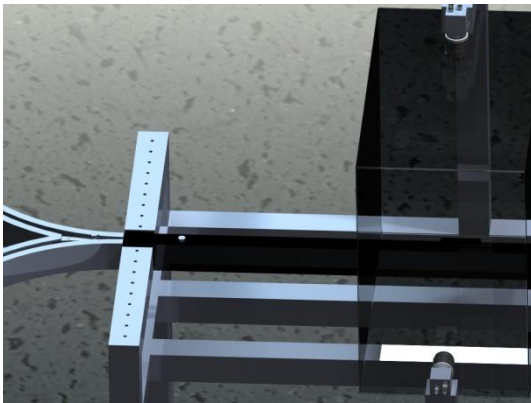


Figura 9-1 Dos Rieles con destinos finales en integrado al puesto de control de calidad

Fuente: Presentación propia de los autores



Figura 9-2 Ilustración del actuador en el montaje del puesto de control de calidad

Fuente: Presentación propia de los autores

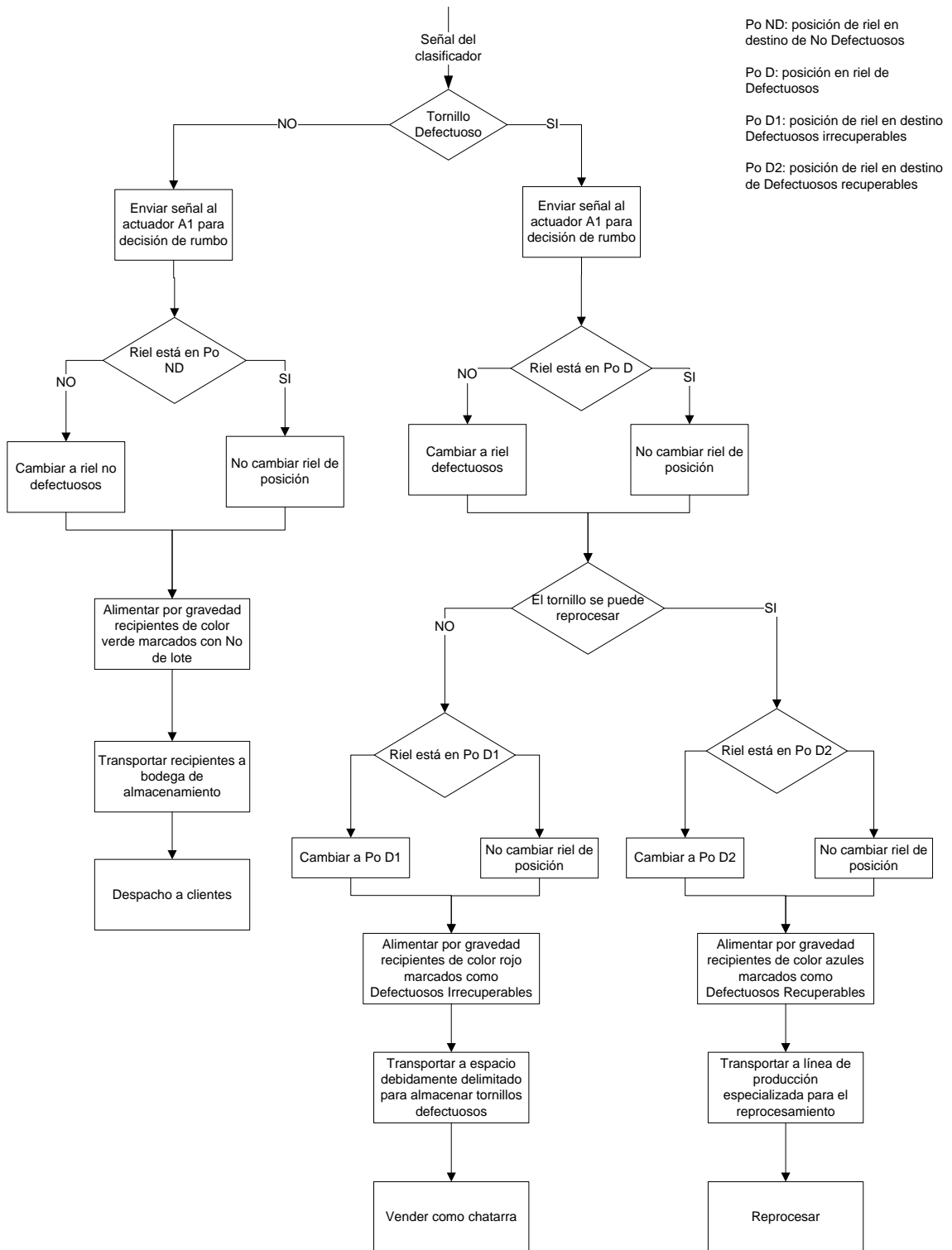


Diagrama 9-2 Proceso de disposición de mayor esfuerzo

Fuente: Presentación propia de los autores

En el proceso presentado en el Diagrama 9-2 se explica el tratamiento que se da a los tornillos cuando se decide optar por el reprocesamiento de los defectuosos. Previo a este trato, hay que definir cuáles son los tornillos que pueden ser reprocesados, lo que depende principalmente del material y acabado que tengan. Lo anterior implica que el clasificador debe ajustarse para reconocer el color del tornillo y determinar el tipo de acabado. Por lo tanto, el tornillo pasa a tener tres estados, no defectuoso, defectuoso recuperable y defectuoso irre recuperable. El clasificador por ende debe enviar señales a dos actuadores indicando cuando activarse (A1 clasifica entre defectuosos y no defectuosos y A2 clasifica entre defectuosos recuperables y defectuosos no recuperables), que dependiendo del estado previo determinan la posición final del destino del riel en el instante t especificado por el clasificador. Para el caso de los conformes y defectuosos irre recuperables se les da el mismo trato que en el escenario del Diagrama 9-2, por su parte los tornillos defectuosos que pueden ser reprocesados llegan a unos recipientes de color azul alimentados por gravedad, que luego son transportados a la línea de producción dedicada al reprocesamiento. Esta opción requiere de un mayor esfuerzo por parte de la empresa, ya que para poder reprocesar tornillos o en general varios tipos de aleaciones se requiere una infraestructura adecuada, que en el actual mercado Colombiano ninguna empresa manufacturera de tornillos posee.

El diagrama también aplica cuando se desea clasificar los tornillos defectuosos dependiendo de la gravedad de la no conformidad, pero a diferencia de enviar una señal cuando cumple ciertas características de color, se envía cuando el tornillo está fuera de los límites permitidos sólo en un porcentaje de la medida nominal. La clasificación se realiza de la misma forma, el actuador recibe una señal que le indica cuando activarse lo que determina el destino final del tornillo. En este caso los contenedores azules son almacenados junto con los no defectuosos (recipientes verdes) y pueden ser despachados a mercados donde no se exige por parte del consumidor final tornillos de calidad de alta precisión.

10. CONCLUSIONES

- a) El clasificador permite determinar si un tornillo tiene una cabeza que no cumple con las especificaciones establecidas en la norma *ANSI/ASME B18.2.3.1M-1979 (R1995)*. Determina la variable de caracterización S con una Media Desviación de 0,03mm; la distancia entre esquinas E con una Media Desviación de 0,10mm; la altura K de la cabeza con Media Desviación de 0,04mm.
- b) Todas las cabezas de los tornillos analizados con el software de visión artificial y con el calibrador Vernier digital fueron defectuosas. Las medidas entre caras y esquinas estaban en promedio 0,92 mm por encima del límite superior establecido por la norma *ANSI/ASME B18.2.3.1M-1979 (R1995)* acorde con las reglamentaciones ISO. (Tabla 7-9)
- c) Comparando la Media desviación obtenida entre las medidas certificadas por la superintendencia y las artificiales obtenidas por el clasificador de 0,06048mm, Tabla 7-6; y el error de la medida física del campo de visión entre el 0,02mm, Tabla 7-7, Se concluye que no garantiza un adecuado nivel al obtener las imágenes de los parámetros, aumenta la discrepancia en un 61,67%.
- d) El proceso de inspección mediante visión artificial elaborado en este trabajo de grado, es un cuello de botella para una línea de producción de tornillos de referencia M6 X 1. Donde se producen 166,67 tornillos/minuto y el clasificador procesa sólo 60,42 tornillos/minuto. Es decir funciona al 36,25% de la tasa de producción. Por lo tanto se necesitan 3 puestos de control de calidad con visión artificial para quitar el cuello de botella generado por el método de control de calidad.
- e) El montaje de la propuesta de un Clasificador por medio de visión artificial tiene un costo de \$ 16.431.513,92 COP sin contar los costos de diseño y montaje del sistema. Este precio será para una estación de calidad la cual satisface el 36,25% de la producción en línea. Por lo tanto para realizar la propuesta que cubra el 100% de esta propuesta será de \$25.346.755,76 COP. Este precio se obtiene multiplicando los costos variables por tres. Tanto las empresas Gutemberto y Mundial de Tornillos tienen la capacidad instalada y la fuerza financiera para gestionar el financiamiento de esta propuesta.
- f) Disminuyendo el tiempo de análisis del clasificador en un 27,5% de 0,993 ms a 0,720 ms, aumentará el desempeño del mismo en la línea de producción de 36,25% a 50%. Esto quiere decir que se necesitan dos estaciones de control de calidad lo que implica una reducción de los costos en un 17,59%. Tabla 8-3.

11. OBSERVACIONES

- a) Las características definidas por un estándar no implican que sean una frontera de decisión entre un tornillo defectuoso y no defectuoso. Como se observa en el estudio, ninguno de los tornillos analizados cumplió con los estándares de calidad para la referencia M6 x 1. Debido a la clara tendencia de tornillos M6 no conformes con la norma en el sector estudiado, se adquirió el mismo tornillo en un almacén de cadena con presencia en varios países para verificar su calidad respecto a la norma ANSI/ASME B18.2.3.1M-1979 (R1995). El resultado obtenido fue similar al de los tornillos adquiridos en las ferreterías dentro del sector de estudio, donde las dimensiones de la cabeza se encuentran por encima de los límites superiores establecidos por la norma. Esto lleva a plantear la hipótesis que el consumidor no está exigiendo tornillos de calidad, cuyas características a pesar de estar establecidas por un estándar mundial no se cumplen y por el contrario se usan sin ningún inconveniente, lo que induce un círculo vicioso donde al productor no le importa llevar al mercado productos no conformes porque el consumidor no se lo exige.
- b) El resultado del presente trabajo indicó que ninguno de los tornillos del conjunto analizado cumple con los estándares internacionales. Este hecho permite plantear nuevas hipótesis para indagar la calidad de los tornillos que se distribuyen al consumidor final. Se puede inferir por lo tanto, que con el uso del clasificador propuesto se facilita realizar un estudio estadístico para determinar la calidad de la cabeza hexagonal de los tornillos de un sector específico.
- c) En referencia a la caracterización del análisis financiero del sector y por el costo de implementación de la tecnología se concluyó que las empresas las cuales son capaces de implementar este método necesitan de ciertas características financieras. No necesariamente para realizar un proyecto es necesario tener una gran liquidez, también teniendo una buena razón de endeudamiento y cumpliendo ciertas características exigidas por las empresas del sector financiero se pueden obtener créditos de inversión. Compañías tales como Colciencias, financian proyectos de innovación y tecnología a tasas mucho más bajas ofrecidas por el sector financiero.
- d) Los módulos de *NI Vision* utilizados en este trabajo de Grado son software los cuales no han sido utilizados antes en la Pontificia Universidad Javeriana. Este documento por lo tanto representa un trabajo investigativo y guía inicial del aplicativo donde se brindan herramientas para poder realizar cualquier tipo de clasificación o pre procesamientos a imágenes que se desean analizar con carácter industrial.

- e) Como se ha concluido en este trabajo el algoritmo que clasifica las cabezas hexagonales produce un cuello de botella. Optimizando el algoritmo en un 27,5% se reducen los costos estimados en un 17,5%. Para realizar esto se puede optimizar el tiempo de pre procesamiento el cual cambia y modifica la imagen. El pre procesamiento también se puede realizar desde la captura de imagen, manipulando el *software* de adquisición. El algoritmo también se puede programar para que apenas encuentre un defecto sea clasificado como tal sin necesidad de caracterizar las otras variables o corra hasta el final.

12. RECOMENDACIONES

- a) Parte del error relativamente alto obtenido en los resultados del algoritmo realizado en *NI Visión Builder* fue producto de la nivelación brindada en la propuesta. Para realizar esta nivelación se utilizó un instrumento el cual no era de alta precisión. La plataforma soporte donde se colocaron las cabezas de los tornillos origina una distorsión en la imagen cuando la perpendicularidad del lente y paralelismo con el campo de visión no se garantizan. El CTAI de la Pontificia Universidad Javeriana, tiene un nivelador digital de alta precisión pero este sirve para nivelar estructuras. El peso y la poca versatilidad del mismo, no permite ser utilizado para proyectos o trabajos como éste de objetos pequeños. Por esto mismo se le recomienda al CTAI la adquisición de un nivelador digital de menor tamaño que garantice el nivel de objetos pequeños.
- b) En la actualidad el CTAI de la Pontificia Universidad Javeriana tiene un puesto de control de calidad el cual representa un paso completo en la estación CIM (Centro Integrado de Manufactura). Para que una pieza mecanizada sea inspeccionada se debe utilizar el brazo robótico. Con esta propuesta ya se tienen las bases para realizar una estación de calidad la cual clasifique todas las piezas mecanizadas sin necesidad de que el brazo robótico sea parte del proceso. El software y la realización del algoritmo es muy versátil para lograr este objetivo. El montaje ya no sería afuera de la banda transportadora sino integrada a ella.
- c) Con el fin de estandarizar el funcionamiento del clasificador, el procedimiento utilizado con el conjunto de tornillos analizados en el presente trabajo se debería replicar mediante el diseño de una muestra aleatoria de mayor tamaño. Es decir, medir las cabezas de la muestra con un instrumento de medida, que puede ser el calibrador vernier digital, y utilizar estas mediciones como patón de referencia para las calculadas con el clasificador propuesto.

Bibliografía

[book auth.] Cecil Bozarth and Robert Handfield. *Introduction to Operations and Supply Chain Management*. s.l. : Prentice Hall, 12, pp. pg 374-376.

Aguirre, Hugo Santiago, et al. 2009. *Value Chain Simulation Manual*. Primera Edición. Bogota D.C. : Pontificia Universidad Javeriana, 2009.

Barry. 2006. [book auth.] Barry Render, Ralph M. Stair and Michael E. Hanna. *Métodos Cuantitativos para los Negocios*. s.l. : Prentice Hall, 2006.

Bersterfield, Dale H. 1995. *CONTROL DE CALIDAD*. Mexico : Prentice Hall, Inc., 1995. ISBN 968-880-530-0.

CHIN, Roland T and HARLOW, Charles A. 1982. *Automated visual inspection, IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*. 1982. Vol. 4.

DANE, Colombia. 2010. *Muestra Mensual de Manufactura Diciembre de 2009*. Bogotá : s.n., 2010.

E., Gonzalez R. and Woods, R. E. 2002. *Digital Image Processing*. New Jersey : Prentice Hall, 2002. ISBN 0201180758.

Estación de control de calidad por visión artificial para un centro de manufactura integrada por computador (CIM). **Zambrano Rey, Gabriel, et al. 2006.** Bogotá : s.n., Diciembre 5, 2006.

Juran, Joseph M. 2007. *Método Juran Análisis y planeación de la calidad*. Quinta edición. México D.F : McGraw-Hill, 2007.

Krajewski. 2007. [book auth.] Lee Krajewski, Larry Ritzman and Manoj Malhotra. *Operations Management Processes and Value Chains*. s.l. : Prentice Hall, 2007, 14, pp. 568-571.

Kuehl, Robert O. 2001. *Diseño de Experimentos*. México : Thompson Learning, 2001. ISBN 0534368344.

Manual de control de la calidad. **Juran, J. M, Gryna Jr., Franc M and Bingham Jr., R. S. 2005.** s.l. : Reverté, 2005. Vol. 2.

National Instruments. 2009. *NI Vision Concepts Manual*. Austin, Texas : s.n., 2009.

Oberg, Erik, et al. 2004. *Machinery's Handbook*. 26th & 27th edition. New York : Industrial Press, 2004.

Sala-i-Martin, Professor Xavier. 2009. *The Global Competitiveness Report 2009-2010.* Switzerland : World Economic Forum, 2009.

Timings, Roger and Tony, May. 1997. *Mechanical Engeneer's pocket book.* Segunda edición. s.l. : Butterworth Heinemann, 1997.

Varios. 1984. *Enciclopedia de Ciencia y Técnica.* s.l. : Salvat Editores S.A., 1984. Vol. 13 Tornillos y tuercas.