MÁSTER EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y CONTROL

Trabajo de Fin de Máster

Estudio del concepto de cámara estereoscópica y su implementación en aplicaciones para control de calidad de productos de fabricación industrial.

ALUMNO: RUBÉN CABALGANTE BALLESTA.

DIRECTOR: JOSÉ SÁNCHEZ MORENO.

CURSO 2017/2018.

CONVOCATORIA SEPTIEMBRE 2018

MÁSTER EN INGENIERÍA DE SISTEMAS Y CONTROL

TFM:

Estudio del concepto de cámara estereoscópica y su implementación en aplicaciones para control de calidad de productos de fabricación industrial.

CLASE DE PROYECTO: VISIÓN POR COMPUTADOR.

ALUMNO: RUBÉN CABALGANTE BALLESTA.

DIRECTOR: JOSÉ SÁNCHEZ MORENO.

CALIFICACIÓN

Autorización

Autorizamos a la Universidad Complutense y a la UNED a difundir y utilizar con fines académicos, no comerciales y mencionando expresamente a sus autores, tanto la memoria de este Trabajo Fin de Máster, como el código, la documentación y/o el prototipo desarrollado.

Firmado:

Firma del alumno

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer todo el apoyo emocional recibido durante los años dedicados en este Máster a mi familia y mi novia, gracias a ellos he podido superar el reto de estudiar y trabajar al mismo tiempo.
Además agradecer el apoyo y consejos de José Sánchez, tutor del Trabajo de Fin de Máster, para la realización de la memoria del proyecto.

RESUMEN

El proyecto realizado para el Trabajo de Fin de Máster pretende demostrar los conocimientos adquiridos durante el máster, centrándose en la Visión Artificial. Además, estos conocimientos en Visión por Computador han sido ampliados y puestos en práctica en el ámbito profesional en el que actualmente estoy trabajando.

Con este proyecto se prentende innovar en aplicaciones de verificación de calidad de productos fabricados en el sector industrial.

La aplicación desarrollada ha sido implementada para demostrar la eficiencia y la repetibilidad en las mediciones realizadas en pines de conectores para conocer las desviaciones de las coordenadas de estos tanto en X, Y y Z tomadas con un sistema de visión artificial 3D basado en estereoscopía.

El principal objetivo de este proyecto es desarrollar un sistema de visión estereoscópico que mejore sistemas más antiguos basados en cámaras 2D que únicamente podían medir coordenadas X e Y para conocer si los pines dentro de un conector estaban doblados. Con dicho sistema 3D estereocópico se pretende realizar un sistema capaz de medir desviaciones de pines dentro de un conector para poder satisfacer la alta demanda de los clientes de fábricas encargadas de producir componentes electrónicos a nivel internacional.

ABSTRACT

This final project performed for the Master's project pretends to demostrate the knowlodges learnt during this master, focusing on Artificial Vision.
Moreover, these Computer Vision knowloges have been implemented and tested in my current professional job.

This project pretends to improve and innovate applications for verification of quality of products made in industrial factories.

The developed application has been implemented to demostrate the efficient and repetibility of measurements done on pins of connectors to calculate the desviations of X, Y and Z coordinates of each pin using a 3D vision system based on a stereoscopic system.

The main aim of this project is to develop a stereoscopic vision system to improve or find an alternative to older 2D vision systems that only they were possible to measure X and Y coordinates to know if pins inside of a connector were bent.
With this Stereoscopic 3D system, it pretends to develop a system with the possibility to measure pin desviations in X, Y and Z inside of a connector to satisface the high demand from customers of factories who produce electronic components on all over the world.

LISTA DE PALABRAS.

Visión.

Artificial.

Computador.

OMS.

Estereoscopía.

Estereoscópico.

Conector.

Segmentación.

Disparidad.

3D.

GRR.

Cg.

CgK.

Coordenadas.

Eje.

Cámara.

ÍNDICE

Capítulo 1. 12
INTRODUCCIÓN 12
1.1 Contexto Trabajo de Fin de Máster. 12
1.2 Motivación. 13
1.3 Objetivos. 13
Capítulo 2. 15
ESTADO DEL ARTE. 15
2.1 Antecedentes. 18
2.1.1. Proyectos fuera del sector industrial. 18
2.1.2. Proyecto desarrollado dentro del sector industrial. 19
Capítulo 3. 25
DESARROLLO 25
3.1 HARDWARE 25
3.2 Software Desarrollado: 28
3.2.1. Adquisición de imágenes. 28
3.2.2. Segmentación y Evaluación de Pines. 31
3.2.3. Resultado de Pines *(Ilustración 28)*. 42
Capítulo 4. 57
CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS. 57
c. CONCLUSIONES. 57
1- Cg/CgK. 57
2- GRR. 69
d. TRABAJOS FUTUROS. 75
BIBLIOGRAFÍA. 78
Listado siglas, abreviaturas y acrónimos. 79

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS.

Ilustración 1 Sistema visión estereoscópica de 2 cámaras 15
Ilustración 2 Triangulación Visión estereoscópica 16
Ilustración 3 Visión paralela estereoscópica 17
Ilustración 4 Visión Cruzada estereoscópica 17
Ilustración 5 Imagen disparidad ejemplo de sistema estereoscópico 18
Ilustración 6 Imagen reconstrucción 3D fondo marino 19
Ilustración 7 Componente electrónico evaluado en sistema control posición pines eje X e Y... 20
Ilustración 8 Referencias utilizadas en proyecto antecedente 21
Ilustración 9 Eje de coordenadas utilizado para medir coordenadas de los pines en X e Y 22
Ilustración 10 Segmentación punta de los pines 22
Ilustración 11 Calibración de la conversión píxel/milímetro 23
Ilustración 12: Diagrama Montaje Hardware Sistema estereoscópico utilizado 25
Ilustración 13 Especificaciones cámara Chromasens 26
Ilustración 14 Diagrama de flujo de la Adquisición de imágenes 29
Ilustración 15 Imagen reconstruida de un escaneo lineal de una pieza 30
Ilustración 16 Diagrama de flujo de Evaluación de la pieza. 31
Ilustración 17 Ejemplo imagen disparidad de una pieza OK 32
Ilustración 18 Ejemplo imagen disparidad de una pieza NOK 33
Ilustración 19 Archivos calibración de fábrica de la cámara estereoscópica 34
Ilustración 20 Segmentación de pines en imagen disparidad 36
Ilustración 21 Pines segmentados 37
Ilustración 22 Archivo excel con valores nominales de la pieza (CAD) 38
Ilustración 23 Valores nominales del CAD 38
Ilustración 24 Lectura parámetros CAD 39
Ilustración 25 Coordenadas CAD transformadas sobre los pines segmentados. 40
Ilustración 26 Transformación regiones del CAD sobre los pines segmentados 40
Ilustración 27 Intersección región nominal del CAD y regiones pines segmentados 41
Ilustración 28 Diagrama de Flujo "Resultado de Pines" 42
Ilustración 29 Obtención coordenadas X,Y y Z de nube de puntos de la punta del pin. 43
Ilustración 30 Medidas de la punta del pin filtrados sin valores 0, "sin agujeros" de segmentación 44
Ilustración 31 Medidas de todos los pines, tras calcular medias de medidas de las puntas de pines. 45
Ilustración 32 Valores nominales y reales de los Pines 46
Ilustración 33 Valores nominales y reales de los pines. 47
Ilustración 34 Valores del CAD transformados sobre los pines reales de la imagen. 48
Ilustración 35 Desviación X, Y y R (euclídea) 49
Ilustración 36 Valores CotempZ seleccionado con la máscara de selección de pines. 52
Ilustración 37 Diferencia de altura de los pines. 53
Ilustración 38 Imagen catalogo piezas pines prensados en PCB 54
Ilustración 39 Base del pin y punta del Pin analizados 55
Ilustración 40 Región segmentada del anillo de cobre evaluado para calcular distancia a la base del pin. 55
Ilustración 41 Pieza verificación utilizada para los estudios de capacidad. 58

Ilustración 42 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 1 de la pieza de Verificación..... 59
Ilustración 43 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 2 de la pieza de Verificación..... 60
Ilustración 44 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 3 de la pieza de Verificación..... 61
Ilustración 45 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 4 de la pieza de Verificación..... 62
Ilustración 46 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 5 de la pieza de Verificación..... 63
Ilustración 47 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 6 de la pieza de Verificación..... 64
Ilustración 48 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 7 de la pieza de Verificación..... 65
Ilustración 49 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 8 de la pieza de Verificación..... 66
Ilustración 50 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 9 de la pieza de Verificación..... 67
Ilustración 51 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 10 de la pieza de Verificación..... 68
Ilustración 52 Ejemplo Valores Pin 1 para el cálculo del GRR en Desviación X..... 70
Ilustración 53 Resultados GRR en desviación X de todos los pines 71
Ilustración 54 Resultados GRR en desviación Y de todos los pines..... 72
Ilustración 55 Tolerancia de 0,4mm en Altura..... 73
Ilustración 56 Resultados GRR en Altura de todos los pines. 74
Ilustración 57 Cámara estereoscópica para medir desniveles mecánicos..... 76
Ilustración 58 Detección problema mecánico con cámara estereoscópica..... 76

Capítulo 1.

INTRODUCCIÓN.

La presente memoria, del Trabajo de Fin de Máster en Ingeniería de Sistemas y Control, pretende demostrar los conocimientos adquiridos durante la realización del Máster, sobre todo en la parte de Visión Artificial, para su aportación en el desarrollo de aplicaciones industriales de visión por computador de sistemas estereoscópicos implementados en mi ámbito profesional para el control de calidad de productos en su fase final de producción.
De esta forma, esta memoria, englobaría los conocimientos aprendidos durante el Máster junto con el conocimiento y aplicación en el ámbito profesional.

1.1 Contexto Trabajo de Fin de Máster.

El presente Trabajo de Fin de Máster se ha desarrollado en el ámbito profesional dentro de la empresa para la que trabajo.
Gracias a los conocimientos adquiridos durante la realización del Máster en Ingeniería de Sistemas y Control y experiencia profesional en Visión Artificial se ha podido desarrollar este proyecto para dar solución a los problemas de los clientes de la empresa para la que trabajo.

En el proyecto realizado, la parte que he desarrollado por mi cuenta es toda la parte de Visión Artificial desarrollado en Halcon explicado a partir del apartado *3.2 Software Desarrollado* hasta el final de la memoria. En todo lo realizado por mi cuenta para este proyecto se encuentra el software desarrollado en Halcon para:

- Captura de imágenes de la cámara Chromasens utilizada junto con la corona LED para la iluminación.
- Reconstrucción y segmentación de los pines a partir de las imágenes reconstruidas en 3D con las imágenes adquiridas.
- Ordenar y posicionar los pines segmentados.
- Evaluación de pines y medida de pines en X, Y y Z.

Además realicé los estudios de capacidad, repetibilidad y reproducibilidad para la comprobación de la viabilidad del sistema desarrollado.

El resto de elementos necesarios para hacer que el sistema de visión funcione, no ha sido realizado integramente por mi cuenta, pero formé parte del desarrollo y decisión de los elementos a utilizar.
Por lo tanto, las partes del proyecto que no fueron desarrolladas al completo por mi cuenta han sido:

- Hardware: La parte Hardware utilizada en el sistema de visión artificial desarrollado fue decisión de todo el equipo de trabajo después de realizar pruebas con varios equipos.
- Sistema OMS: El sistema OMS para el lanzamiento de las secuencias desarrolladas en Halcon y comunicación entre sistema de visión y PLC, fue

desarrollado por otro grupo de desarrollo utilizando el software TestStand de National Instruments.

- Calibración de la cámara Chromasens: Las cámaras Chromasens estereoscópicas vienen precalibradas de fábrica con el archivo de calibración correspondiente de cada cámara. Por lo tanto, no fue necesario calibrar la cámara para la realización de este proyecto, de esta forma se pudo dedicar más tiempo en el Trabajo de Fin de Máster para enfocarlo en el desarrollo software.
- Diseño de la pieza de verificación: La pieza de verificación utilizada para los estudios de capacidad y repetividad fue diseñada por el equipo mecánico de la empresa.

1.2 Motivación.

La motivación principal de este Trabajo de Fin de Máster, dada la necesidad de medir cotas que incluyan valores X, Y y Z de componentes electrónicas dentro del sector de la fabricación industrial, , se basa en utilizar la visión estereoscópica como un sistema flexible que permita utilizarse en aplicaciones industriales que pueda cubrir las variaciones de productos, tiempo bajo de análisis y, además, que sea repetitivo y preciso en su medida 3D.

La estereovisión tradicional utiliza un par de imágenes tomadas cada una de una cámara para realizar el análisis de profundidad de una escena basándose en características de forma o luminosidad.
Esto quiere decir, que por cada captura de la visión estereoscópica, se obtiene información de la profundidad de la región capturada, pero en el ámbito industrial se necesita tener un sistema estereoscópico que permita absorber la variabilidad física de productos (tamaños diferentes de productos, acabado de los materiales que se desean analizar, etc), así cómo cumplir requisitos dentro de la máquina especificadas por cliente como el tiempo de ciclo de la visión, que se traduce a velocidad en la visión estereoscópica.

1.3 Objetivos.

Dentro de la evaluación final de la calidad de productos industriales, desde el punto de vista de la experiencia en la implantación de sistemas de visión artificial industriales, los sistemas de visión artificial más complicados de realizar, costosos y con más pseudofallos (fallos en la medida de la visión artificial) son los implementados para la medida 3D de pines dentro de un conector.
Debido al poco espacio disponible de acceso a los pines dentro de un conector, es complicado disponer de una aplicación 3D capaz de medir alturas de pines. Estos productos podían ser evaluados para medir si los pines estaban doblados (medición en X e Y) pero no en altura.
Si, además, de su desplazamiento en X e Y, era requisito evaluar la altura de los pines, se utilizaban barridos láser que incrementaban el coste y, además, no eran sistemas que absorbieran variabilidad en el producto, ya que si cambiaba el tamaño de los pines en otra máquina, el haz de luz del láser utilizado en la

anterior máquina podía no ser compatible porque el tamaño de los pines es distinto.
Por este motivo, se necesitaba poder ser más flexible y preciso en la medida 3D de pines dentro de un conector. En resumen, los principales objetivos del sistema estereoscópico para la medición de pines serán:

a. Discriminar pines del resto de objetos:

Se seleccionarán únicamente los pines del resto de objetos presentes en el conector discriminando por luminosidad y tamaño, para ser más rápido y preciso en la medida.

b. Variabilidad de productos:

El sistema debe ser capaz de tener medidas 3D de pines en conectores de distintos tamaños y de distintos acabados de los pines. Para ello, se realizará:

- *Captura de imágenes estereoscópicas mediante escaneo:*

Las cámaras estereoscópicas se colocarán sobre un eje lineal que capturarán imágenes durante un tiempo de escaneo para luego recomponer una imagen total de las imágenes capturadas. De esta forma, el tamaño del conector no sería un problema, ya que podemos escanear el tamaño que se desee.
Iluminación homogénea y adaptativa al producto:

- Se deberá seleccionar una iluminación que sea homogénea a toda la región de evaluación y, además, que tenga la posibilidad de variarse su intensidad para adaptarla a diferentes acabados de productos para obtener pines con luminosidad similar en los diferentes productos.

c. Velocidad de escaneo:

Este objetivo estaría relacionado con la “Captura de imágenes estereoscópicas mediante escaneo”, ya que se debe poder variar la velocidad del eje de escaneo para cubrir los requisitos de tiempo de ciclo en máquina impuestos por el cliente.

Capítulo 2.

ESTADO DEL ARTE.

El concepto de visión estereoscópica *[1][2][3]* se centra en el principio basado de utilizar 2 o más cámaras 2D para obtener coordenadas en X, Y y, lo más importante de este método, coordenadas en eje Z debido a la posibilidad de obtener la profundidad de los objetos en las imágenes.

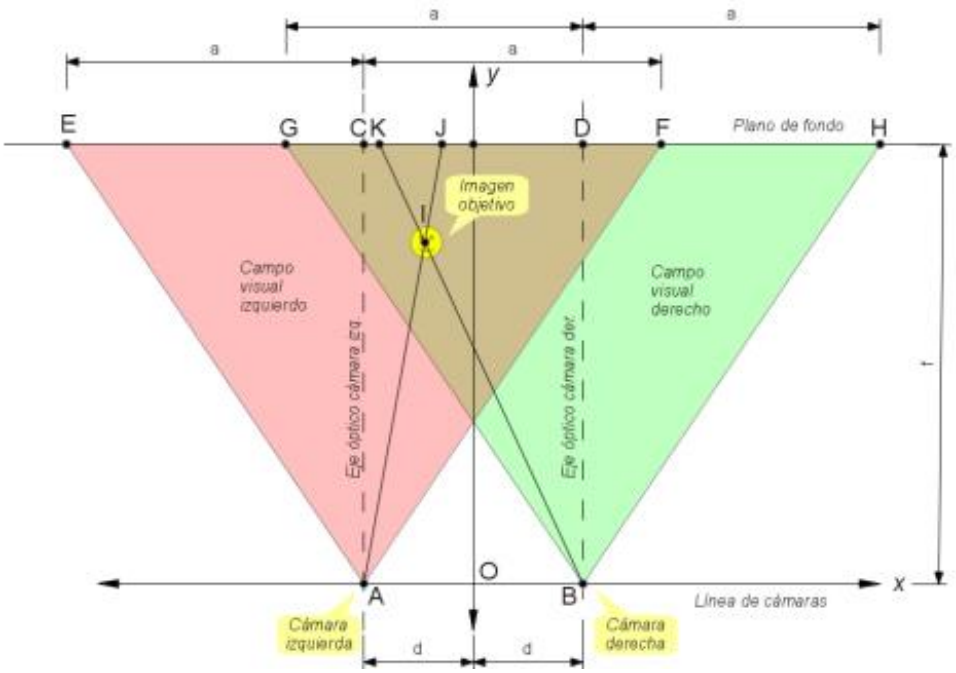


Ilustración 1 Sistema visión estereoscópica de 2 cámaras

- **Explicación del concepto de visión estereoscópica.**

La imagen anterior *(Ilustración 1)* muestra las proyecciones de la imagen objetivo sobre el plano de fondo, donde el segmento AI se proyecta hasta el punto J del plano de fondo, el segmento BI hasta el punto K. De esta forma, quedan determinadas dos rectas: AJ y BK *[4].*
La intersección de estas dos rectas nos proporcionan la ubicación de la imagen objetivo, que puede determinarse como un sistema de dos ecuaciones lineales con dos incógnitas.
Los parámetros fijos del sistema son:

- "d": distancia entre cada cámara y el origen del sistema.
  Se asume que ambas están a la misma distancia. Determinado por la colocación de las cámaras.
- "f": distancia entre la línea de cámaras y el plano de fondo. Se asume que la línea es paralela con el eje horizontal del plano.

- “a”: apertura del campo visual, determinado por la distancia focal de cada cámara.

Como única restricción, los puntos de interes (punto I) deben ser visibles por ambas cámaras, esto quiere decir que los puntos a medir con la cámara estereoscópica deben estar dentro de la focal de las cámaras y de la apertura de ambas. Por lo tanto, la zona útil del sistema está determinada por la intersección de los segmentos AF con BG.
hoja.

El proceso completo de visión estereoscópica contempla seis pasos principales, a saber:

1. Adquisición de imágenes
2. Modelado de la cámara (geometría del sistema)
3. Extracción de las características
4. Correspondencia de las imágenes (características)
5. Determinación de la distancia (profundidad)
6. Interpolación, cuando sea necesaria

A continuación, se detallará los tres primeros pasos principales que contempla el proceso utilizado en la visión estereoscópica:

- ## Adquisición de imágenes

La adquisición de las imágenes se realizará utilizando dos cámaras separadas ligeramente entre sí para obtener las imágenes de la misma escena con cámaras diferentes.
De esta forma, las imágenes obtenidas, también tendrán un pequeño desplazamiento entre sí, para cada imagen capturada por las cámaras, un objeto está en puntos diferentes del plano.
Esta triangulación (*Ilustración 2*) entre el punto P y Q y el origen de referencia, provocan una sensación de profundidad *[5].*

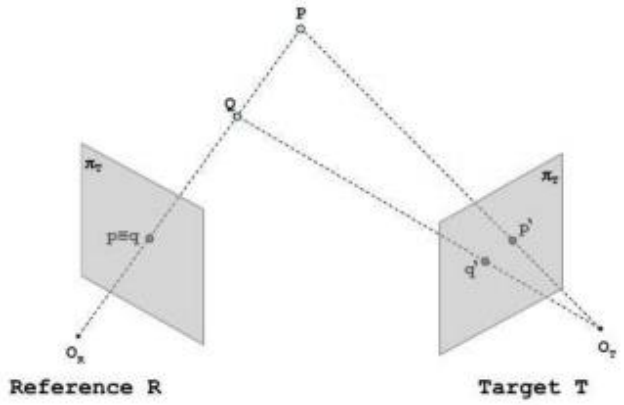


Ilustración 2 Triangulación Visión estereoscópica

Con estos datos, se obtiene cada punto en ambas imágenes para transformarlas en una misma imagen de disparidad.

- **Geometría del sistema:**

Existen dos métodos principales para la captura de imágenes en una visión estereoscópica, dependiendo de la posición relativa entre cámaras:

- *VISIÓN PARALELA*: cámaras colocadas en paralelo entre sí, separadas una respecto a la otra por una línea horizontal o línea base *(Ilustración 3).* Los puntos de interes visualizados por cada cámara son perpendiculares respecto a la línea base, mientras que las líneas de correspondencia que unen los puntos de una imagen respecto a la otra son horizontales.



Ilustración 3 Visión paralela estereoscópica

- *VISIÓN CRUZADA:* las cámaras tienen una inclinación entre sí, no están paralelas *(Ilustración 4)*.

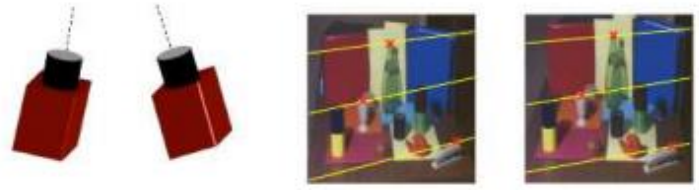


Ilustración 4 Visión Cruzada estereoscópica

La visión cruzada tiene la desventaja de distorsionar las imágenes capturadas, ya que las cámaras no están paralelas.

- **Extracción de características (Imagen Disparidad).**

La imagen disparidad de dos imágenes establece la correspondencia entre los píxeles o características que existen entre ambas para obtener la profundidad de la escena. Con esto se consigue estimar la profundidad de cada uno de los puntos en la escena con el objetivo de poder construir una imagen o mapa de disparidad, una imagen que representa la disparidad entre las dos cámaras.

Normalmente el mapa de disparidad se representa como una imagen monocroma donde los objetos con mayor disparidad (objetos más cercanos) son

representados con un tono más claro y los objetos con menor disparidad (objetos más lejanos) son representados con un tono más oscuro.
El algoritmo para calcular la disparidad consiste de forma general en buscar cada punto singular de la imagen izquierda en la imagen derecha, para observar en que nuevo píxel se encuentra.
La imagen de disparidad *(Ilustración 5)* es utilizada básicamente para la reconstrucción tridimensional de los objetos de una escenas a partir de varias capturas debido a que aporta información de la profundidad de los objetos.

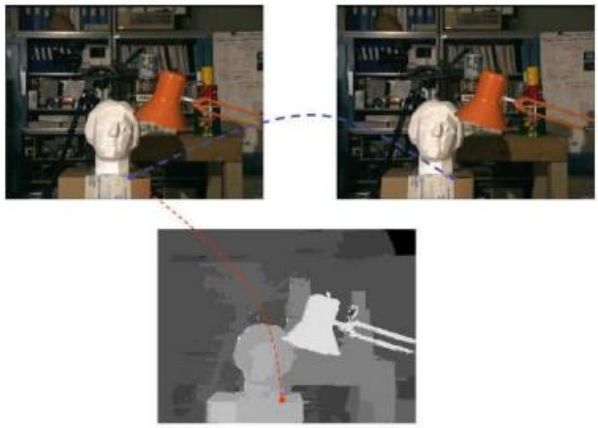


Ilustración 5 Imagen disparidad ejemplo de sistema estereoscópico

2.1 Antecedentes.

2.1.1. Proyectos fuera del sector industrial.

La visión estereoscópica ha sido utilizada en proyectos para dar solución a problemas muy diferentes, no solo para la industria sino también para distintos ámbitos que requieren medir profundidades en imágenes como pueden ser en la identificación y reconstrucción de terrenos poco accesibles como son los terrenos lunares y submarinos.
Una aplicación conocida es la implementada para la reconstrucción tridimensional de escenas submarinas *[6],* de tal manera que se pueda complementar análisis de muestras y medidas fisicoquímicas, gracias a sus medidas cuantitativas en 3D.
Para este proyecto se utilizó un sistema de estereovisión para capturar diferentes imágenes de un objeto, a intervalos fijos de acuerdo a una trayectoria predefinida.

- Proceso de reconstrucción 3D de escenas submarinas:

El sistema de estereovisión estaba montado sobre el manipulador de un robot submarino, el cual estaba preprogramado con la trayectoria a recorrer y, a su vez, ofrecía una imagen en vivo del escenario.
De esta forma, se conoce la trayectoria que ha recorrido el robot y junto con las imágenes capturadas en todo el recorrido se pudo obtener las posiciones exactas de la cámara para lograr una reconstrucción 3D precisa del trayecto realizado.

Una vez obtenidas las imágenes de la visión estereoscópica se procede a la extracción de características para obtener una representación inicial al relacionar aquellas escenas.
A continuación, se realizaba una triangulación básica de puntos para obtener una estimación de la escena tridimensional. Por último, se implementó una técnica de estimación de profundidad densa para adquirir una reconstrucción 3D de alto realismo *(Ilustración 6)*.

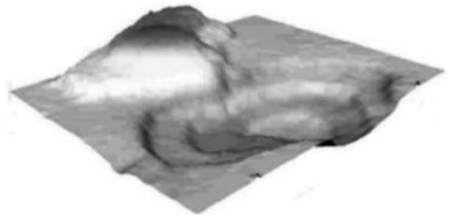


Ilustración 6 Imagen reconstrucción 3D fondo marino

De acuerdo a los resultados se determinó que la precisión del sistema es proporcional a la cantidad de imágenes que se obtengan, es por eso que el curso de la investigación se encaminó a desarrollar el método usando un gran grupo de imágenes para mejorar la precisión de la medida. Este proyecto da una solución real a la necesidad de diferentes industrias de tener una visión real y detallada de escenas submarinas.

2.1.2. Proyecto desarrollado dentro del sector industrial.

El proyecto desarrollado dentro del ámbito profesional es un claro ejemplo que sirve de antecedente en el proyecto desarrollado en el Trabajo de Fin de Máster.

Esta aplicación fue implementado para trabajar en líneas de producción de diferentes fábricas que producen componentes electrónicos para el sector automovilístico cuya función es medir la desviación en X e Y de los pines para conocer si están doblados, pero no es capaz de medir alturas.

Hasta ahora, los sistemas más utilizados en visión artificial con cámaras cenitales en las líneas de producción, han sido utilizadas para medir desviaciones de los pines en X e Y. Con una cámara 2D no es posible acceder dentro de conectores para tener una vista perpendicular con la que poder medir alturas de pines, por este motivo, la única solución que había era medir coordenadas X e Y.

Existen productos que necesitan cumplir una serie de tolerancias para poder ser utilizados en el cliente final.
En este caso, se muestra uno de los sistemas más utilizados en el chequeo de pines de los conectores de uno de los sensores electrónicos producidos en la fábrica.

El sistema desarrollado consistía en medir la desviación en X e Y de cada uno de los pines respecto a una referencia conocida.

Debido a las limitaciones de espacio por ser una pieza pequeña, para medir las cotas de los pines, solo se puede colocar una cámara de forma cenital a los pines, de tal forma que las únicas vistas posibles con una única cámara son la posición X e Y de los pines *(Ilustración 7)*.

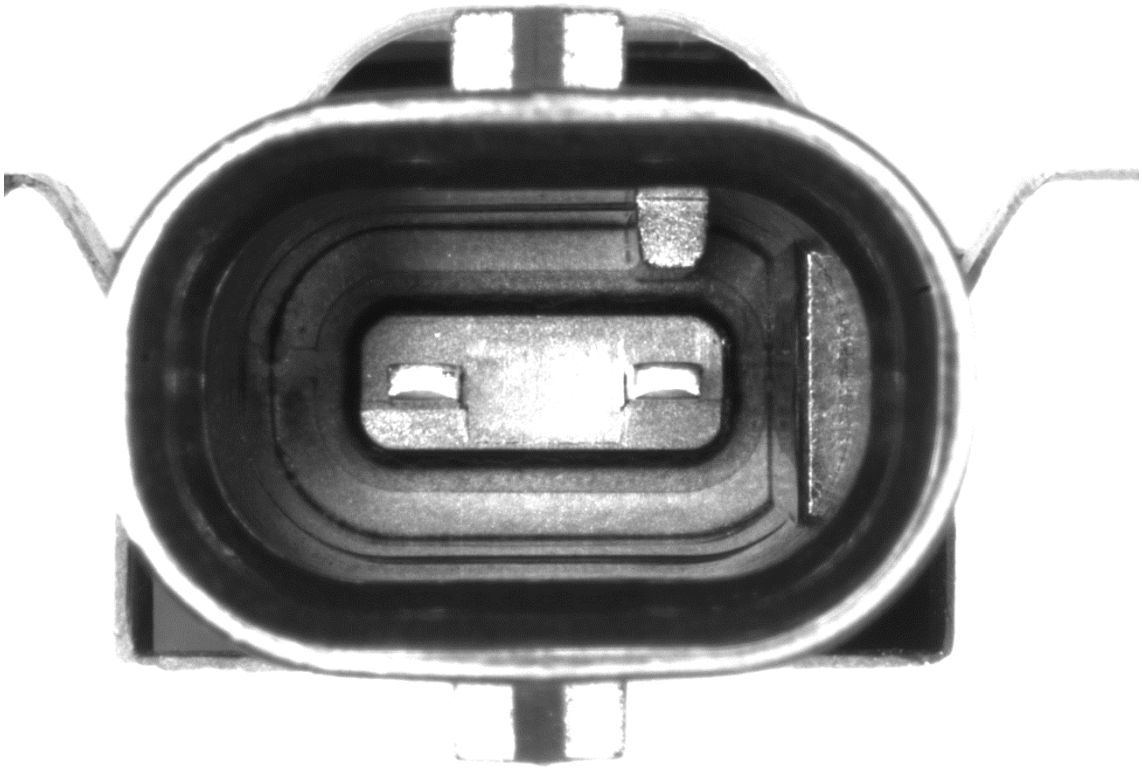


Ilustración 7 Componente electrónico evaluado en sistema control posición pines eje X e Y

- Proceso de medida cotas X e Y de pines en un conector industrial:

El programa realizado, se encarga de medir la cota en X e Y de las siguientes referencias dadas por los planos de la pieza.

- *Búsqueda ejes de referencia.*

Para ello, se buscan las líneas de referencia, lineas amarillas y rojas mostradas en la imagen, *(Ilustración 8)* aplicando detección de bordes al detectar el salto de nivel de gris de las líneas negras de referencia (nivel de gris bajo entorno 0-60) y la parte de plástico de alrededor (60-255).

Una vez conocidas las referencias de los planos de la pieza, se procede a establecer el eje de coordenadas *(Ilustración 9)* que se utilizará para medir los pines al origen de coordenadas en X e Y. Con las líneas superior e inferior se podrá sacar la distancia media entre ellas para conocer el origen del eje Y, ya que, por planos vendría definido que el punto medio de estas dos referencias se deberían encontrar el centro de los pines en el eje Y.

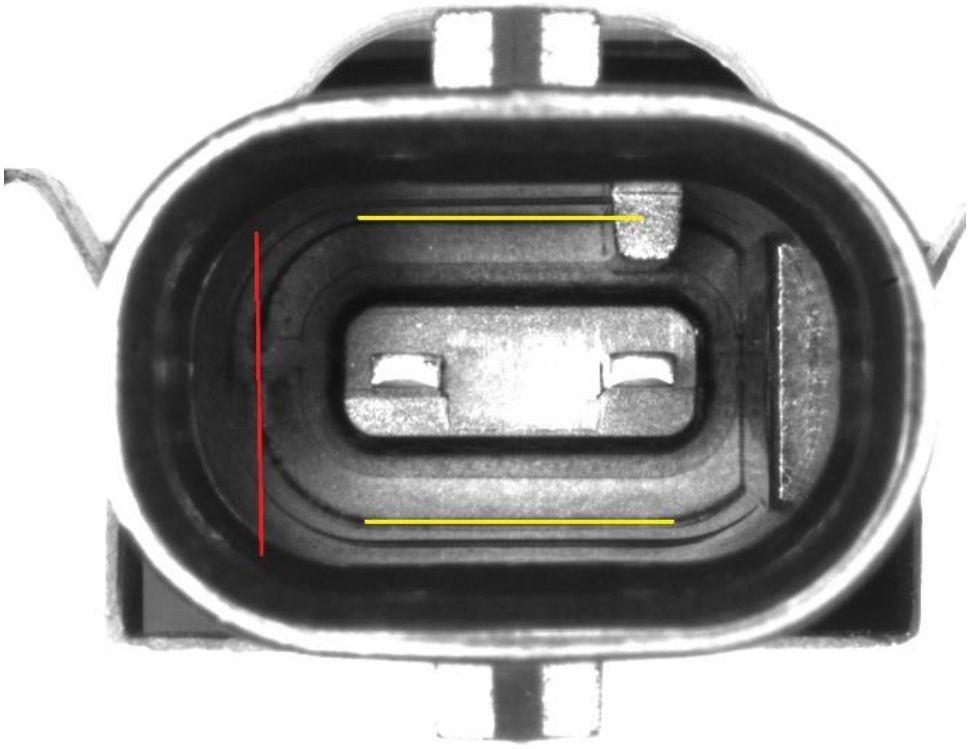


Ilustración 8 Referencias utilizadas en proyecto antecedente

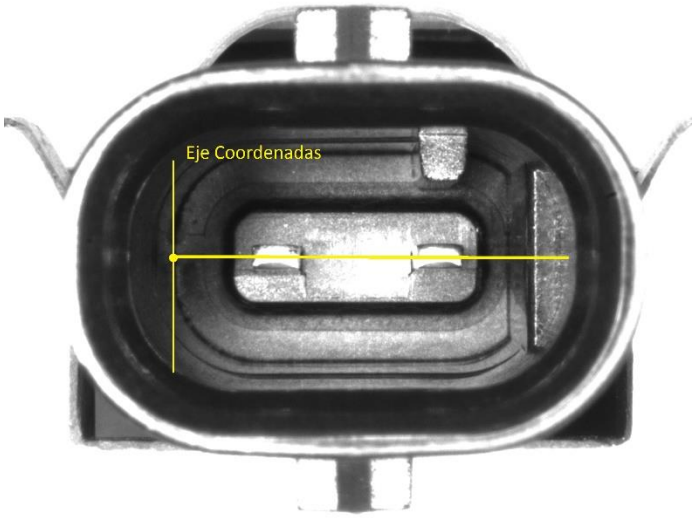


Ilustración 9 Eje de coordenadas utilizado para medir coordenadas de los pines en X e Y

- *Segmentación de Pines.*

Una vez posicionado el eje de coordenadas, se procede a la búsqueda de los pines utilizando un método de búsqueda de "blobs" conocidos por ser los pines blancos (nivel de gris entorno a 255) y el fondo gris. Con ello, se conocerá el centro de los blobs y se podrán posicionar respecto al eje de coordenadas conocido *(Ilustración 10)*.

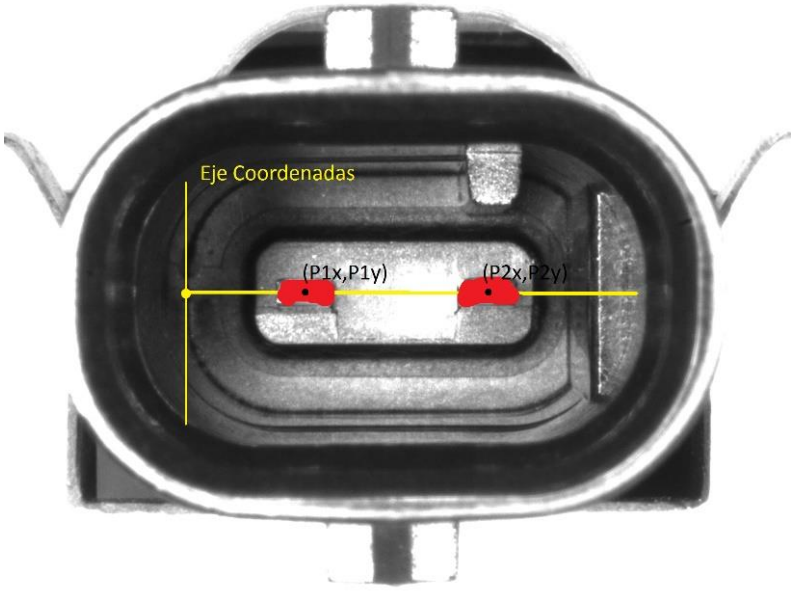


Ilustración 10 Segmentación punta de los pines

De esta forma, se conoce la posición X e Y en píxeles de los pines. Solo será necesario transformar a milímetros estas distancias X e Y dadas en píxeles para compararlas con las tolerancias de planos.

- *Calibración de la cámara.*

La conversión será realizada mediante una conversión Píxel/mm que se puede obtener fácilmente realizando una calibración de la visión. El proceso consistirá medir en milímetros una distancia de dicha pieza y capturar con la cámara una imagen de la pieza. En la imagen tomada por la cámara se medirá en píxeles la distancia conocida en milímetros para conocer la relación píxel/mm del sistema de visión artificial.
La conversión píxel a milímetro utilizada en este proyecto fue 0,01mm/px, ya que se obtenían 770 píxeles en una medida conocida de 8mm *(Ilustración 11)*.

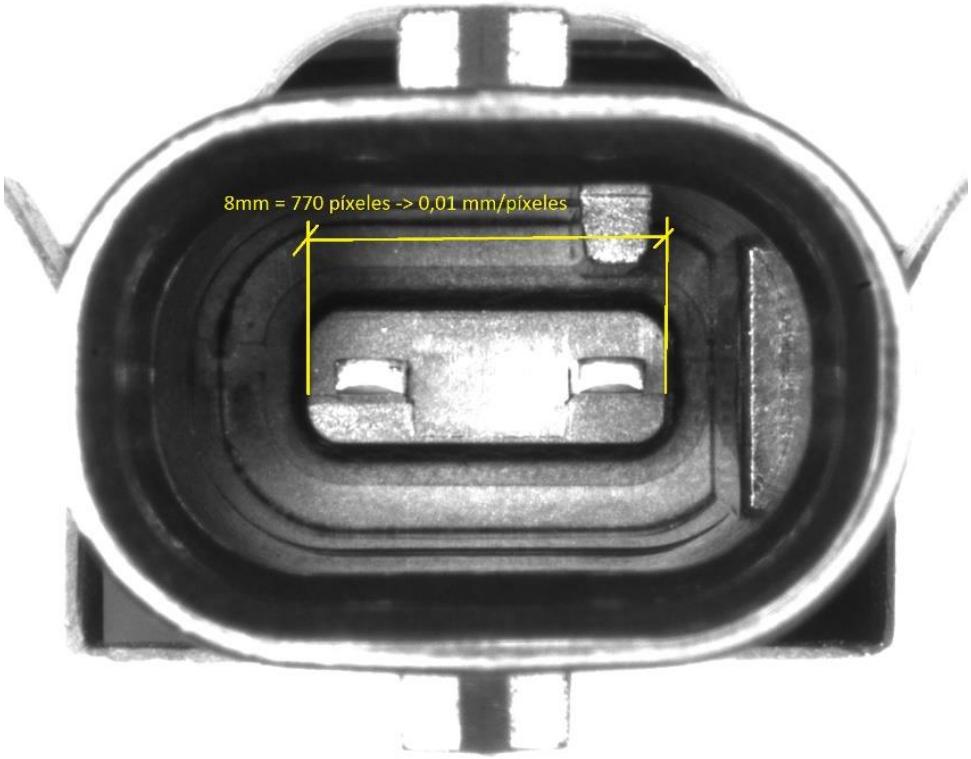


Ilustración 11 Calibración de la conversión píxel/milímetro

- *Cálculo de los resultados.*

Los valores tomados en píxeles se transforman a milímetros usando la conversión de la calibración realizada previamente.
Una vez se tienen los resultados en milímetros se pueden comprobar si están dentro de las especificaciones de planos.

Como se ha demostrado, los sistemas utilizados hasta ahora se basaban en medición de cotas en 2D pero no en la adquisición de características en 3D. Es por este motivo, por lo que se está apostando en la Industria en desarrollar sistemas 3D. Los sistemas 3D serán capaces de poder medir altura de pines en cavidades pequeñas.

Para el desarrollo de un sistema capaz de medir posición en X, Y y Z en cavidades pequeñas y a un bajo coste económico y computacional para no sobrepasar tiempos de ciclo en la máquina, se utilizará un sistema de visión estereoscópica porque utiliza una técnica capaz de extraer información tridimensional (profundidad) a partir de la posición relativa de un objeto en imágenes bidimensionales al ser observado desde distintos ángulos por dos o más cámaras separadas a una cierta distancia.

Los sistemas estereoscópicos ofrecen la posibilidad de extraer características de profundidad utilizando cámaras 2D, de esta forma, se puede tener un sistema 3D con menor coste económico que con otras soluciones que utilizan escaneo láser para medir distancias, además de menor coste computacional al utilizar la búsqueda de coordenadas en imágenes, en vez de utilizar sistemas mixtos de imagen con láser.

Capítulo 3.

DESARROLLO

3.1 HARDWARE

Desde el lado del Hardware, utilizado para el sistema propuesto, se han utilizado los siguientes dispositivos *(Ilustración 12)* para conseguir la imagen 3D deseada de visión estereoscópica.

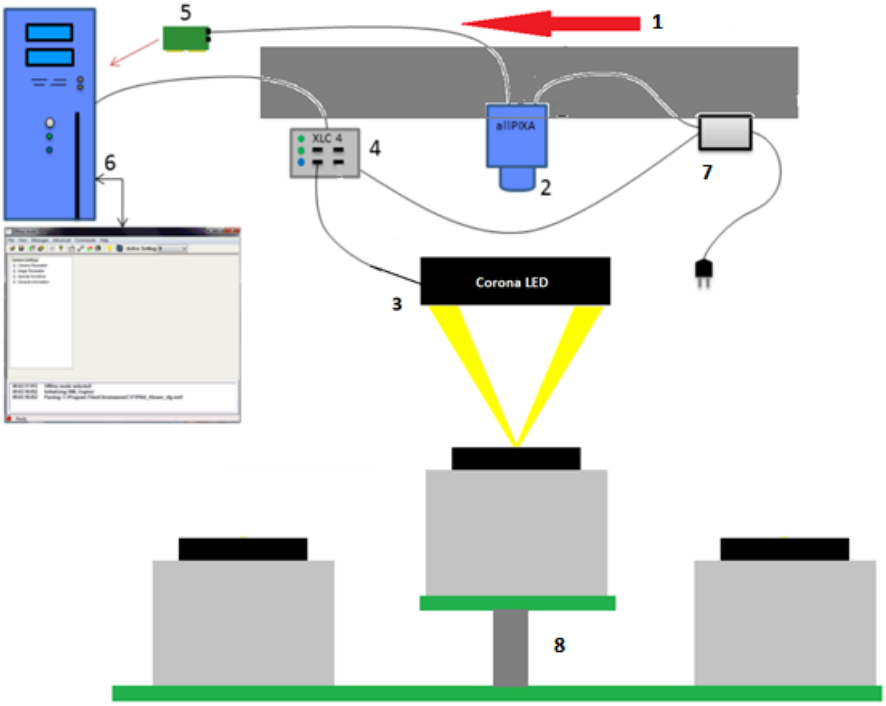


Ilustración 12: Diagrama Montaje Hardware Sistema estereoscópico utilizado

1. **Eje Lineal:**

Debido al reducido espacio disponible en la máquina, los requisitos de cliente para detectar desviaciones muy pequeñas en la medida y la limitación de coste económico para utilizar varias cámaras, se decide utilizar un eje lineal que mueva todo el cabezal cámara 3D-Iluminación para realizar un barrido de la pieza a analizar colocada estáticamente bajo el eje lineal y, de esta forma, poder tener una imagen de todo el conector de los pines.

2. **Cámara 3D estereoscópica de alta resolución:**

La cámara estereoscópica 3D seleccionada para realizar este proyecto ha sido Chromasens 3D All-Pixa, ya que permite realizar escaneos de imágenes línea por línea para luego reconstruir la imagen y devolver una imagen completa de la superficie escaneada. Se decidió utilizar esta cámara ya que cumplía las condiciones de resolución en X,Y y Z, tiempo de ciclo y, además, era la solución más económica al solo utilizarse una cámara e iluminación.

Las especificaciones más destacadas de la cámara son las mostradas en la siguiente imagen *(Ilustración 13).*

TECHNICAL SPECIFICATIONS	CP000470-C01-015-0040
Optical resolution (µm/pixel)	15
Field of view (mm)	40
Number of pixel	2666
Height resolution (µm)*	4
Height range (mm)**	2.6
Free working distance (mm)	99.6
Maximum speed (mm/s)	310
Line frequency (kHz)	21.2
Dimensions LxWxH (mm)	167.65 x 102 x 100

CAMERA SPECIFICATIONS	
Camera	Stereo camera with lenses (factory calibrated)
Sensor	Tri-linear CCD line-sensor (RGB)
Active pixel size	10 µm x 10 µm
Interfaces	Camera Link Base/Medium External I/O

Ilustración 13 Especificaciones cámara Chromasens

3. Corona iluminación LED Blanca:

Se utiliza una corona rectangular de iluminación LED de color Blanco para tener conseguir una imagen homogénea en cada línea de escaneo de la imagen total del conector.

4. **Controlador de iluminación:**

Para controlar el encendido/apagado de la corona LED y la intensidad lumínica de la iluminación, se va a utilizar el controlador del fabricante de la corona LED para mandarle órdenes desde el programa de visión por comunicación serie RS232 para el encendido y apagado y la información de la corriente deseada en la iluminación para el control de la luminosidad.

5. **Frame Grabber (Tarjeta conectada a PC):**

La tarjeta Frame Grabber establece la conexión del PC con la cámara mediante la intefaz CameraLing para el envío de los datos de imágenes al PC.

6. **PC:**

Se ha seleccionado un PC industrial Klein. Desde el que se realizará la adquisición de las imágenes de la cámara 3D, se controlará el encendido/apagado de las iluminaciones y además se incluirá el programa de evaluación de las imágenes capturadas para el análisis del 3D de los pines del conector.
Las especificaciones de este PC serán muy altas para poder analizar imágenes "pesadas" lo más rápido posible.
El PC elegido para este propósito estará compuesto de:

- Procesador Xeon.
- Memoria RAM de 16GB.
- Disco duro de 1000GB.
- Tarjeta gráfica NVidia GeForce Titan.

7. **Alimentación 24 V:**

El sistema de visión propuesto de cámara estereoscópica Chormasens y corona LED trabajan a 24V, por lo tanto, será necesario disponer de un transformador de 220V en CA a 24V en CC que permita una corriente máxima de 10 A, debido a que la corona LED puede llegar a necesitar hasta 10 A ya que se puede regular su intensidad para modificar la intensidad lumínica de la lámpara.

8. **Elevador regulable en altura:**

Por otro lado, la cámara 3D estereoscópica que se va a utilizar para este proyecto tiene mucha resolución porque tiene un rango de enfoque pequeño (4mm). Por este motivo, se ha decidido utilizar un eje vertical con el que poder controlar la elevación de la pieza a analizar para presentarla bajo la cámara 3D a una determinada posición y, así, poder mantener todos los pines a una distancia de la cámara y estar enfocados.
De esta forma, se permite que el sistema de visión sea estable a cambios de alturas de las piezas dependiendo del producto que se quiera evaluar.
A la hora de incluir un nuevo catálogo en el análisis de la producción solo será necesario ajustar la posición a la que tiene que llevar el eje vertical la pieza para mantener los pines enfocados bajo la cámara.

3.2 Software Desarrollado:

El software desarrollado ha sido implementado en Halcon v13. En el algoritmo se realizan los tres principales grandes bloques del programa desarrollado: Adquisición de imágenes, Segmentación y Evaluación de Pines y Resultado de los Pines.

3.2.1. Adquisición de imágenes.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo *(Ilustración 14)* que se ha utilizado para la adquisición de imágenes con la cámara Chromasens 3D. En esta secuencia intervienen para la adquisición de imágenes:

- PLC que lanzará las órdenes sobre el sistema OMS de visión.
- Sistema de visión OMS para el control de cámara e iluminación y lanzamiento de secuencias realizadas en Halcon. Además, realizada la comunicación entre el sistema de visión y PLC para el envío de resultados.
- Eje lineal horizontal para mover el conjunto cámara-iluminación sobre la pieza a evaluar y permitir la adquisición de las lineas escaneadas a una velocidad controlada.

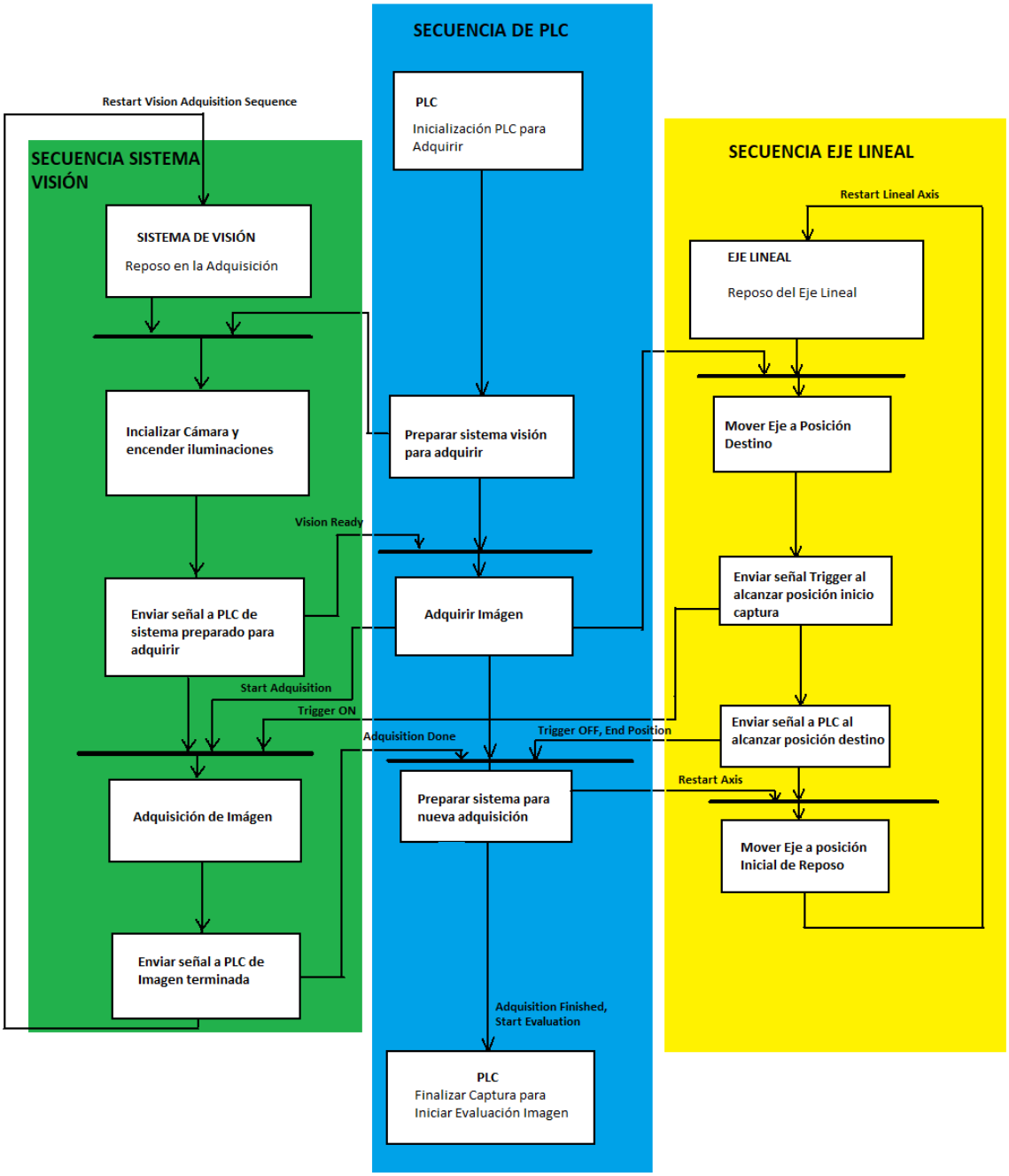


Ilustración 14 Diagrama de flujo de la Adquisición de imágenes

En resumen, para tomar la imagen completa del conector de pines, se ordenará encender la corona LED mediante comunicación serie RS232 y a la vez se preparará la cámara para proceder al escaneo de líneas de imágenes. La cámara comenzará a capturar líneas de imágenes cuando reciba el trigger por la entrada digital que proviene del eje líneal al alcanzar este una posición configurada previamente como inicio de la captura. En este caso se configuró el eje lineal para mandar el trigger a la cámara al alcanzar 10 mm.

Cuando la cámara reciba el trigger del eje lineal comenzará a capturar la imagen y terminará la captura cuando se hayan completado las líneas deseadas de imagen. En este caso, la cámara ha sido configurada para adquirir 9200 lineas,

por lo que al terminar la adquisición de esas líneas de imágenes mientras el eje está en movimiento, se reconstruirá la imagen con todas las líneas capturadas para dar como resultado una imagen estereoscópica del conector *(Ilustración 15).*

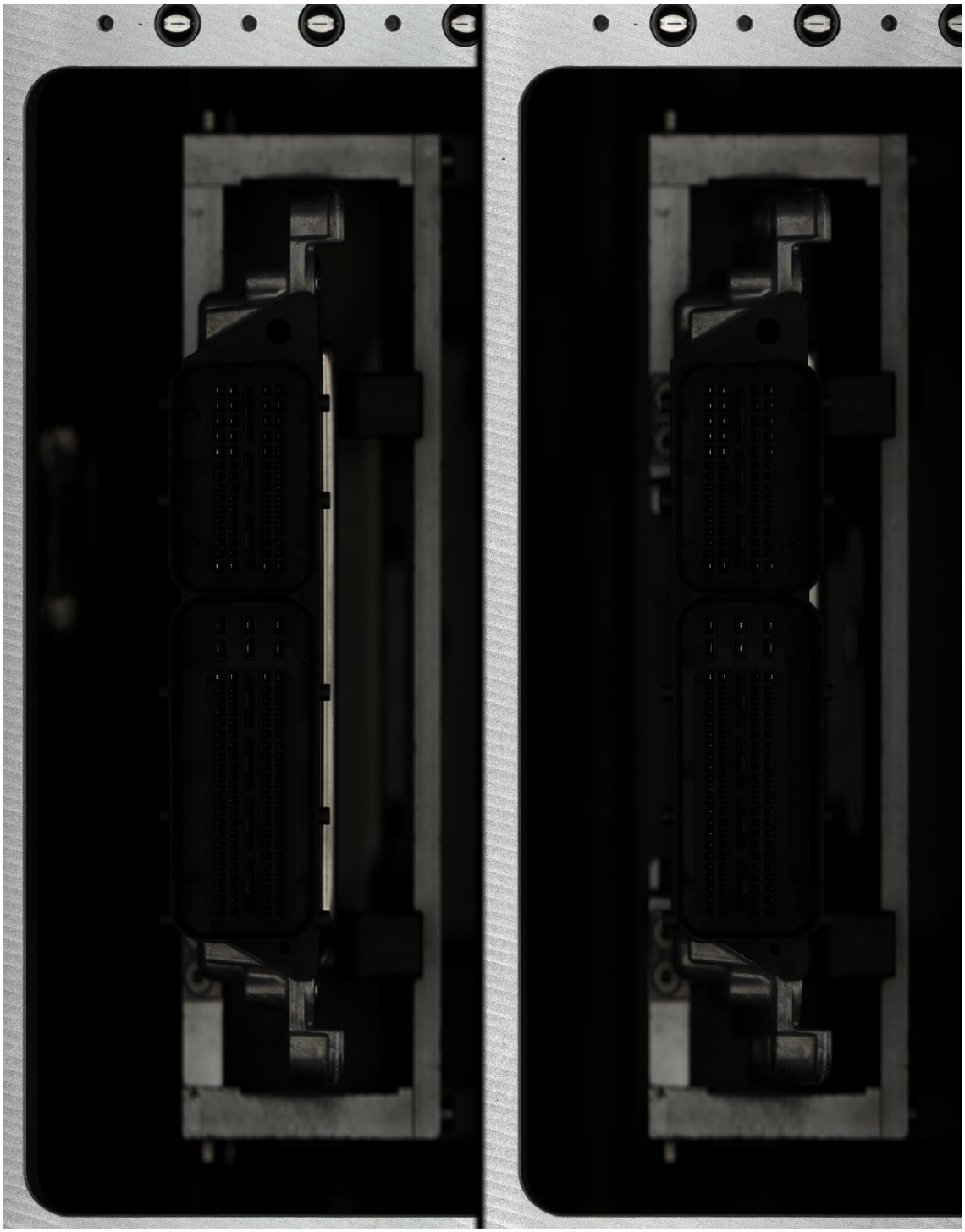


Ilustración 15 Imagen reconstruida de un escaneo lineal de una pieza

3.2.2. Segmentación y Evaluación de Pines.

Después de capturar la imagen 3D del conector completo, se procede a calcular la imagen de Disparidad para realizar una segmentación de los pines dentro del conector. De esta forma, se contará el número de pines en el conector para conocer si se encuentran todos los pines o falta alguno de ellos. Si están presentes todos los pines, se procederá a evaluar sus cotas X, Y y altura.

Para la evaluación de la imagen estereoscópica se detalla en el siguiente flujograma la secuencia completa *(Ilustración 16).*

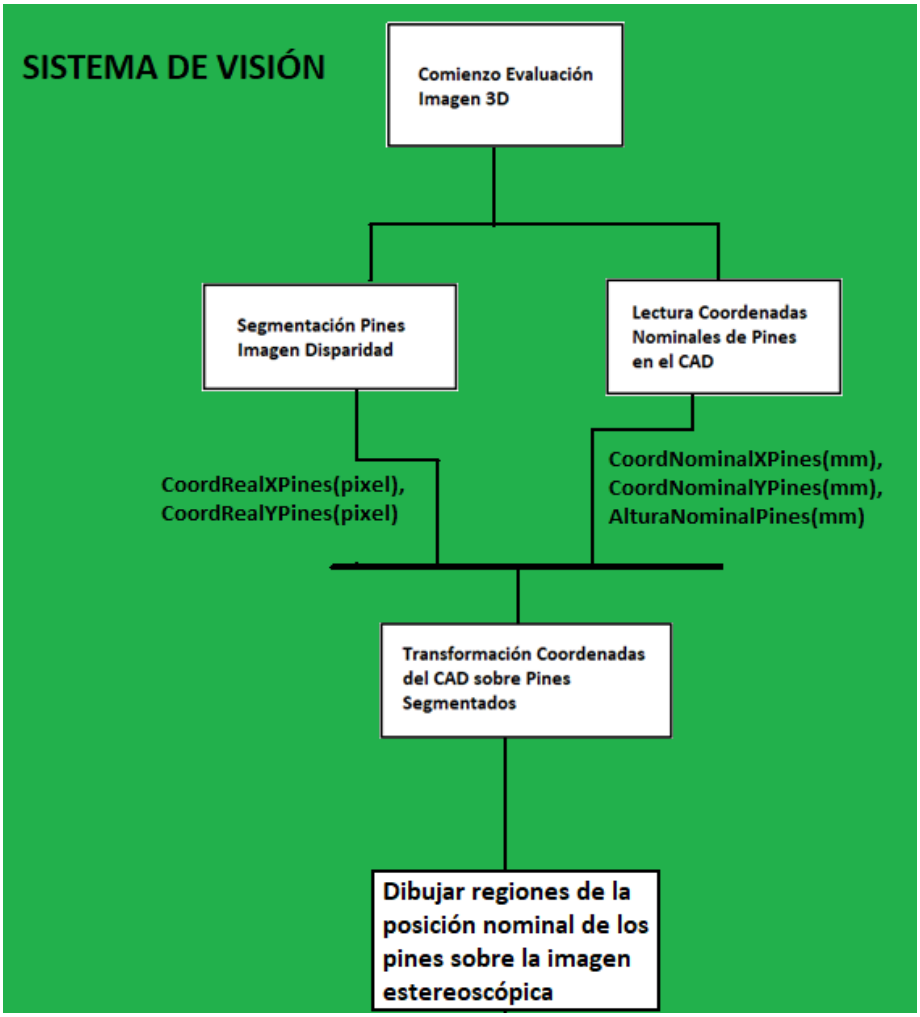


Ilustración 16 Diagrama de flujo de Evaluación de la pieza.

A continuación, se realizará una explicación más detallada del diagrama de flujo anterior para entender el sistema propuesto.

El software desarrollado para la segmentación y evaluación de los pines consiste principalmente en:

1. Segmentación Pines con Imagen Disparidad:

La imagen disparidad permite conocer el mapa de alturas de la pieza, dentro del campo de enfoque de la cámara. En este caso, la cámara está ajustada a una altura que siempre tengamos la media de alturas de los pines del producto enfocados, en este caso, a 99.6 mm.
El software de Halcon permite utilizar las librerias de desarrollo de Chromasens (cs3d) con las que poder calcular desde la imagen estereoscópica, obtenida en la captura de imágenes, la imagen Disparidad, imagen 3D, imagen X, imagen Y e imagen Z.
En este primer chequeo se calcula la imagen Disparidad utilizando la siguiente función en Halcon:

cs_3d_stereo (Disparity, Rect, P3D, CS3DHandle, ObjectModel3D)

A continuación, se muestran dos ejemplos de una imagen de Disparidad con pines buenos *(Ilustración 17)* y otra imagen con pines NOK (pines doblados) en un conector *(Ilustración 18)*.



Ilustración 17 Ejemplo imagen disparidad de una pieza OK

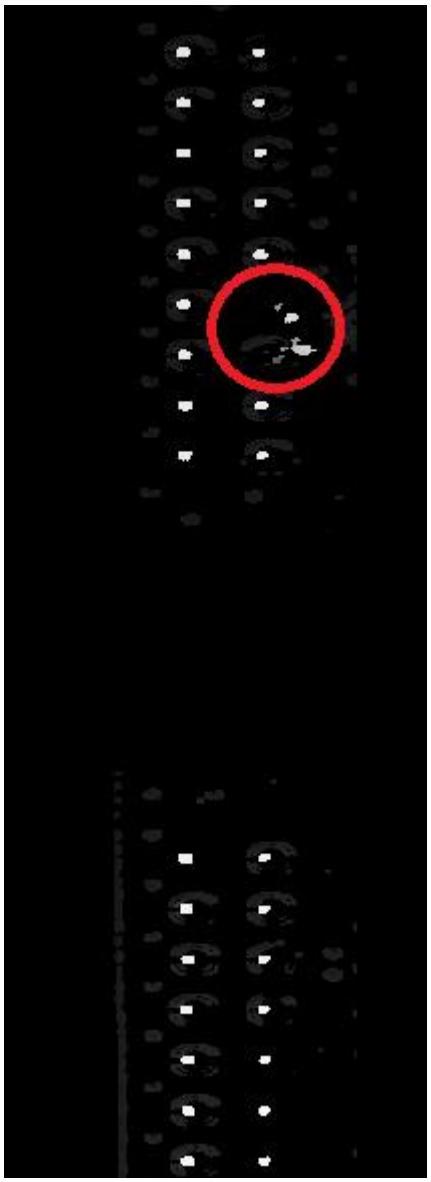


Ilustración 18 Ejemplo imagen disparidad de una pieza NOK

Con estas imágenes de Disparidad, lo que se pretende es poder segmentar los pines para hacer un primer filtrado al seleccionar las regiones que están a una cierta distancia de la cámara. En este caso se hace un filtrado de los elementos que se encuentran en el rango de disparidad de 30000 a 70000. Esto se traduce en que detectaremos los elementos más altos y no el fondo de la imagen.
En este caso las regiones más altas son los pines y restos o suciedad que pueda haber entre ellos.
Es por ello que con esta primera segmentación podemos filtrar los elementos que están a una distancia de la cámara.

Los pasos a seguir para calcular dicha imagen han sido:

1.1. Cargar Parámetros de Calibración de la cámara.

Previamente, la cámara fue calibrada por el proveedor de Chomasens con los parámetros propios de cada cámara para hacer una correcta reconstrucción de la imagen estereoscópica. Algunos de esos parámetros son los valores de cada una de las 2 cámaras utilizadas para la captura de la imagen estereoscópica como la distancia Focal de cada una de las cámaras, relación milímetros por píxel, ancho en píxeles de la imagen, número de canales de la cámara, ángulos de inclinación de las cámaras, distancia entre cámaras, etc.
Las funciones utilizadas para cargar los valores de calibración de la cámara 3D serán:

- Primero se borrará el Handle de la cámara por si hubiera parámetros previamente cargados:

clear_cs_3d_handle (CS3DHandle)

- Se cargará en el Handle de la cámara el archivo de calibración *(Ilustración 19)* que estará incluido dentro de la carpeta de calibración de la cámara.

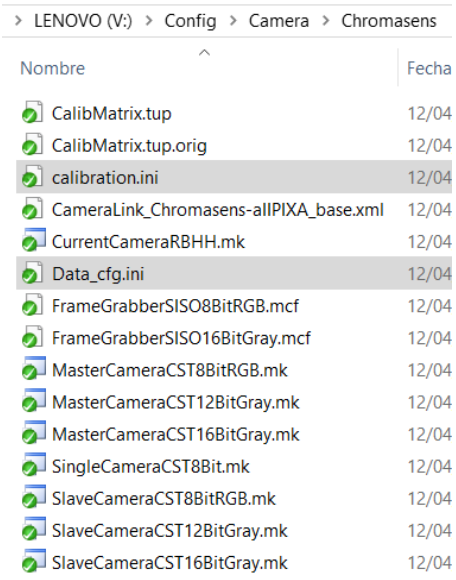


Ilustración 19 Archivos calibración de fábrica de la cámara estereoscópica

Se carga el archivo “Data_cfg.ini”, que además de llamar internamente al archivo de calibración “calibration.ini”, cargará parametros preconfigurados de Disparidad para la reconstrucción 3D que más adelante podremos modificar.

VisionParameterPath:=’ V:/Config/Camera/Chromasens’
create_cs_3d_handle ('config_file', VisionParameterPath + '/' + 'Data_cfg.ini', CS3DHandle)

1.2. Cargar parámetros de reconstrucción 3D.

Una vez cargados los parámetros preconfigurados de la cámara dados por el proveedor como la calibración y valores de disparidad por defecto para la reconstrucción de la imagen, se podrá modificar tres parámetros para la reconstrucción correcta de la imagen:

HeightRangeMin -> Altura mínima que se desea evaluar.
HeightRangeMax -> Altura máxima que se desea evaluar.
CorrelationWindow -> Ventana de correlación utilizada para la reconstrucción 3D de la imagen. Normalmente se ha utilizado en este tipo de proyectos una ventana de 15x15.

Conociendo que la distancia óptima de enfoque es 90mm, se puede filtrar, por ejemplo, para solamente medir alturas entre 88mm y 92mm. Este rango de medida lo podemos variar en píxeles. Siendo 0 píxeles la distancia nominal 99.6 mm, se puede utilizar como en este proyecto unos rangos de 14, -30 para detectar distancias de los pines a la cámara entre 94 y 101 mm aproximadamente.

```
cs_3d_set_param (CS3DHandle, 'height_range_start_in_px', HeightRangeMin)
cs_3d_set_param (CS3DHandle, 'height_range_end_in_px', HeightRangeMax)
cs_3d_set_param (CS3DHandle, 'window_type', CorrelationWindow)
cs_3d_stereo (Disparity, Rect, P3D, CS3DHandle, ObjectModel3D)
```

1.3. Segmentación Pines.

Una vez cargados los parámetros de reconstrucción de la imagen sobre la imagen capturada estereoscópica, se obtiene la imagen de Disparidad *(Ilustración 20)* tras realizarse la reconstrucción 3D.

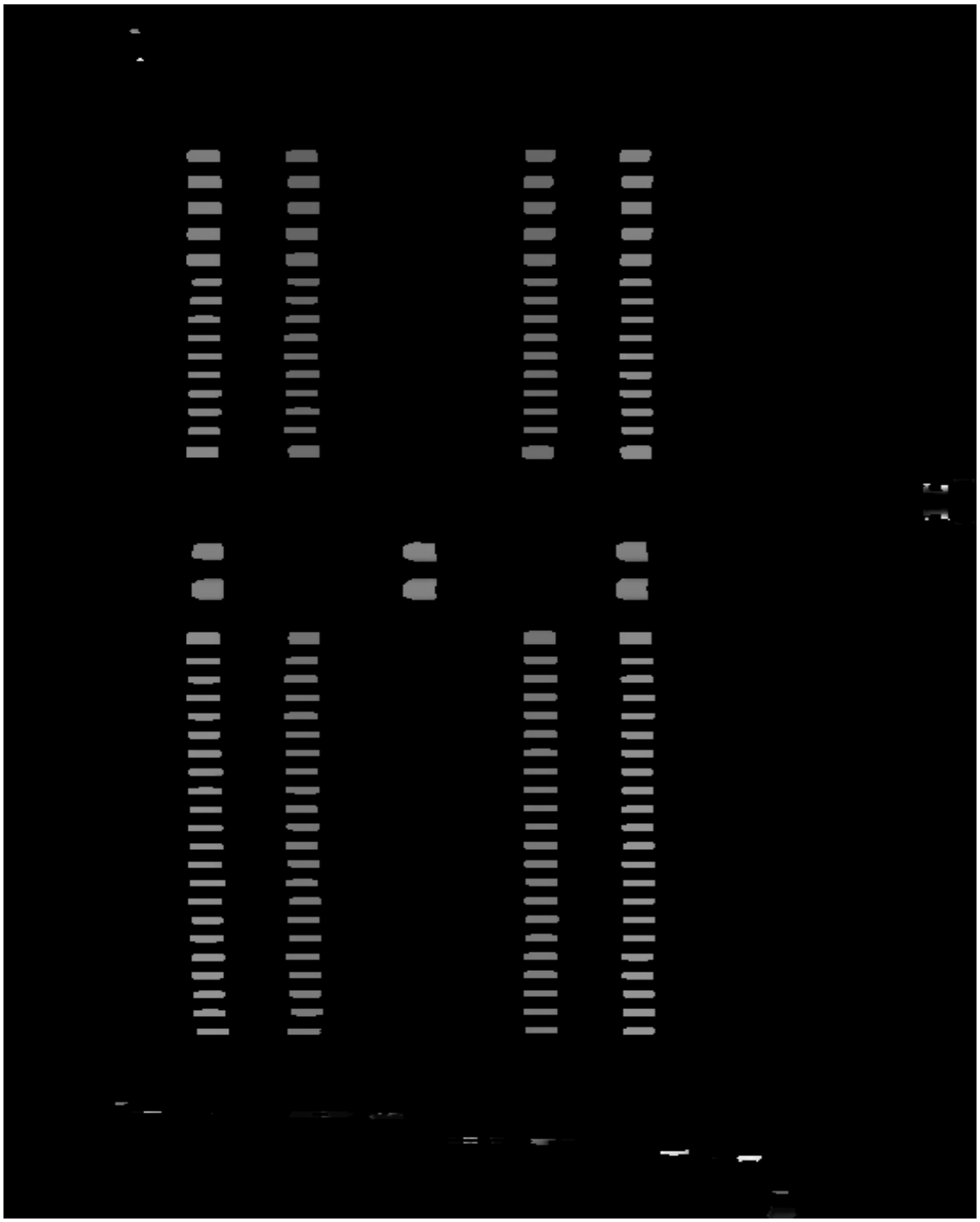


Ilustración 20 Segmentación de pines en imagen disparidad

En dicha imagen se puede segmentar los pines que hay dentro del conector. Además para segmentar únicamente los pines, nos apoyamos de unas regiones de búsqueda para cada uno de los subconectores y, además, conociendo que los pines están a una distancia determinada de la cámara, filtraremos por nivel de gris de los pines, sabiendo que el valor de Disparidad de los pines está entre 30000 y 70000. De esta forma se descarta ruido que haya fuera de los pines y posibles falsos pines por suciedad que haya en el fondo del conector.

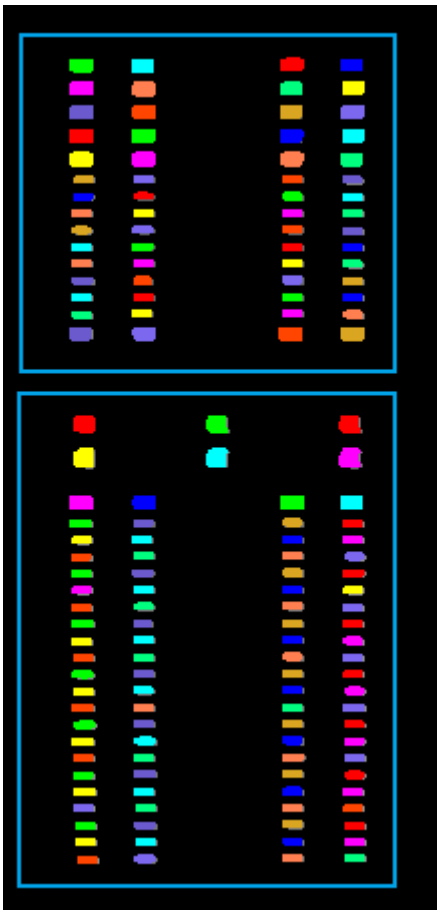


Ilustración 21 Pines segmentados

Una vez segmentados los pines *(Ilustración 21)*, se consigue obtener las coordenadas X e Y de los pines reales de la imagen.
Estas coordenadas serán útiles, más adelante, para realizar la transformación de los valores nominales de los pines sobre la imagen.

2. Lectura Coordenadas Nominales Pines en CAD.

El objetivo del sistema de visión es poder detectar las variaciones en X, Y y Z de los pines, y para ello, se realizará dicha comprobación midiendo la diferencia que existe entre las coordenadas de los Pines reales de producción y los valores nominales especificados en los planos diseñados por el cliente. El archivo donde se incluyen las coordenadas X, Y y Z de cada uno de los pines viene representado en un archivo Excel *(Ilustración 22)* que previamente se ha creado para poder ser leido desde Halcon e ir recorriendo las filas y columnas fácilmente.

Dicho archivo Excel con los parámetros nominales y tolerancias de los pines, lo llamaremos a partir de ahora archivo CAD debido a que este archivo Excel ha sido creado a partir de los valores diseñados para la pieza en AutoCAD.

El formato utilizado para representar las coordenadas nominales de los pines, así como sus tolerancias, viene definido en el siguiente archivo *(Ilustración 23)* dentro de la carpeta del catálogo correspondiente de producción.

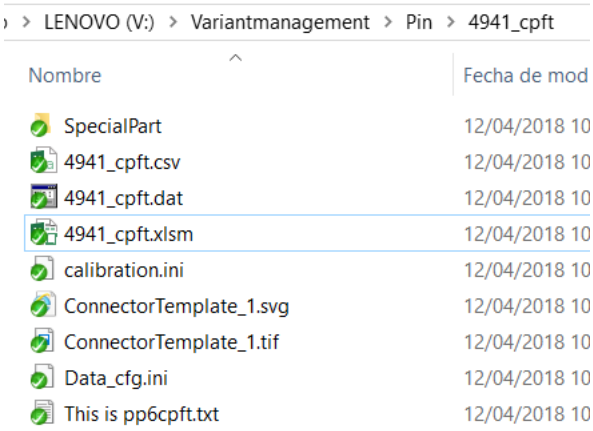


Ilustración 22 Archivo excel con valores nominales de la pieza (CAD)

												PosTolerance: for +/- 0,25 mm, enter 0,25					
Connector Scan Index	Connector	Pin Row	Pin	PinID	X	Y	Z	Pin Type	Width X	Width Y	Height	Pos. Tolerance	Height Lower Tolerance	Height Upper Tolerance	Height Offset	Scan Pos. X	Scan Pos. Y
1	1	1	1	1	0	0	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm	0	0
			2	2	0	2,54	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			3	3	0	5,08	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			4	4	0	7,62	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			5	5	0	10,16	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			6	6	0	12,7	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			7	7	0	15,24	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			8	8	0	17,78	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			9	9	0	20,32	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			10	10	2,54	0	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			11	11	2,54	2,54	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			12	12	2,54	5,08	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			13	13	2,54	7,62	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			14	14	2,54	10,16	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			15	15	2,54	12,7	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			16	16	2,54	15,24	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			17	17	2,54	17,78	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			18	18	2,54	20,32	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
		2	1	19	0	40,64	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			2	20	0	43,18	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			3	21	0	45,72	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			4	22	0	48,26	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			5	23	0	50,8	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			6	24	0	53,34	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			7	25	0	55,88	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			8	26	0	58,42	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			9	27	0	60,96	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			10	28	2,54	40,64	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			11	29	2,54	43,18	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			12	30	2,54	45,72	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			13	31	2,54	48,26	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			14	32	2,54	50,8	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			15	33	2,54	53,34	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			16	34	2,54	55,88	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			17	35	2,54	58,42	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		
			18	36	2,54	60,96	-2,400	Auto	0,80 mm	0,80 mm	2,40 mm	999,00 mm	-0,20 mm	0,20 mm	0,00 mm		

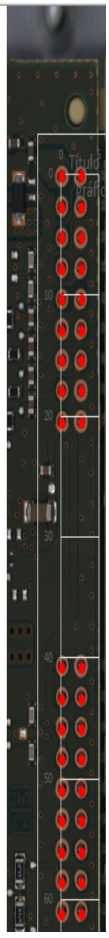


Ilustración 23 Valores nominales del CAD

Estos valores se leerán en Halcon *(Ilustración 24)* para utilizarse posteriormente. Para la lectura de dichos parámetros se utiliza una función para la lectura de archivos CSV.

CS_ReadCAD (CADPath, Type, TTNR, PLCScanInd, Connector, Pin_Row, Pin, PinID, CADX, CADY, CADZ, Height, Pos_Tolerance, Height_Lower_Limit, Height_Upper_Limit, Height_Offset, Width_X, Width_Y, Pin_Type)

	Connector	Pin_Row	Pin	PinID	CADX	CADY	CADZ	Height	Pos_Tolerance	Height_Lower_Limit	Height_Upper_Limit	Height_Offset	Width_X	Width_Y	Pin_T
0	1	1	1	1	0	0	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
1	1	1	2	2	0	2.54	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
2	1	1	3	3	0	5.08	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
3	1	1	4	4	0	7.62	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
4	1	1	5	5	0	10.16	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
5	1	1	6	6	0	12.7	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
6	1	1	7	7	0	15.24	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
7	1	1	8	8	0	17.78	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
8	1	1	9	9	0	20.32	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
9	1	1	10	10	2.54	0	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
10	1	1	11	11	2.54	2.54	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
11	1	1	12	12	2.54	5.08	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
12	1	1	13	13	2.54	7.62	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
13	1	1	14	14	2.54	10.16	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
14	1	1	15	15	2.54	12.7	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
15	1	1	16	16	2.54	15.24	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
16	1	1	17	17	2.54	17.78	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
17	1	1	18	18	2.54	20.32	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
18	1	2	1	19	0	40.64	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
19	1	2	2	20	0	43.18	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
20	1	2	3	21	0	45.72	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
21	1	2	4	22	0	48.26	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
22	1	2	5	23	0	50.8	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
23	1	2	6	24	0	53.34	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
24	1	2	7	25	0	55.88	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
25	1	2	8	26	0	58.42	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
26	1	2	9	27	0	60.96	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
27	1	2	10	28	2.54	40.64	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
28	1	2	11	29	2.54	43.18	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'
29	1	2	12	30	2.54	45.72	-2.31	2.31	999.0	-999.0	1.31	0.0	0.8	0.8	'Auto'

Ilustración 24 Lectura parámetros CAD

Se procederá a calcular la matriz de transformación necesaria, tran obtener los valores nominales nominales de los pines que van a ser evaluados.

3. Transformación del CAD sobre los pines segmentados.

Una vez se tienen las coordenadas X e Y de los pines reales en la imagen dados en píxeles y, por otro lado, se conocen las coordenadas X e Y de los pines nominales en milímetros leidos del CAD, se procederá a transformar las coordenadas nominales de milímetros a píxeles *(Ilustración 25)* para superponer dichas coordenadas sobre la imagen y poder detectar si los pines segmentados están dentro de dichos puntos nominales.

Por lo tanto, utilizaremos la función siguiente para desplazar las coordenadas nominales dadas en milimetros sobre los posibles pines reales segmentados *(Ilustración 26)*:

TransformSourceToTarget_Rectangle2_Box(CADCross, CADOverDisp,CADY,CADX, Row_Pre, Col_Pre,CADMovedToDispRow, CADMovedToDispCol)

CADX	CADY	CADMovedToDispRow	CADMovedToDispCol
13.7	-118	1153.48	2120.23
13.7	-114.5	1270.3	2120.31
13.7	-111	1387.12	2120.4
13.7	-107.5	1503.94	2120.48
13.7	-104	1620.76	2120.56
13.7	-101	1720.89	2120.64
13.7	-98.5	1804.34	2120.7
13.7	-96	1887.78	2120.76
13.7	-93.5	1971.22	2120.81
13.7	-91	2054.67	2120.87
13.7	-88.5	2138.11	2120.93
13.7	-86	2221.55	2120.99
13.7	-83.5	2305.0	2121.05
13.7	-81	2388.44	2121.11
13.7	-78	2488.57	2121.18
10.7	-118	1153.74	2019.57
10.7	-114.5	1270.56	2019.65
10.7	-111	1387.38	2019.74
10.7	-107.5	1504.2	2019.82
10.7	-104	1621.02	2019.9
10.7	-101	1721.16	2019.97
10.7	-98.5	1804.6	2020.03
10.7	-96	1888.04	2020.09
10.7	-93.5	1971.49	2020.15
10.7	-91	2054.93	2020.21
10.7	-88.5	2138.37	2020.27

Ilustración 25 Coordenadas CAD transformadas sobre los pines segmentados.

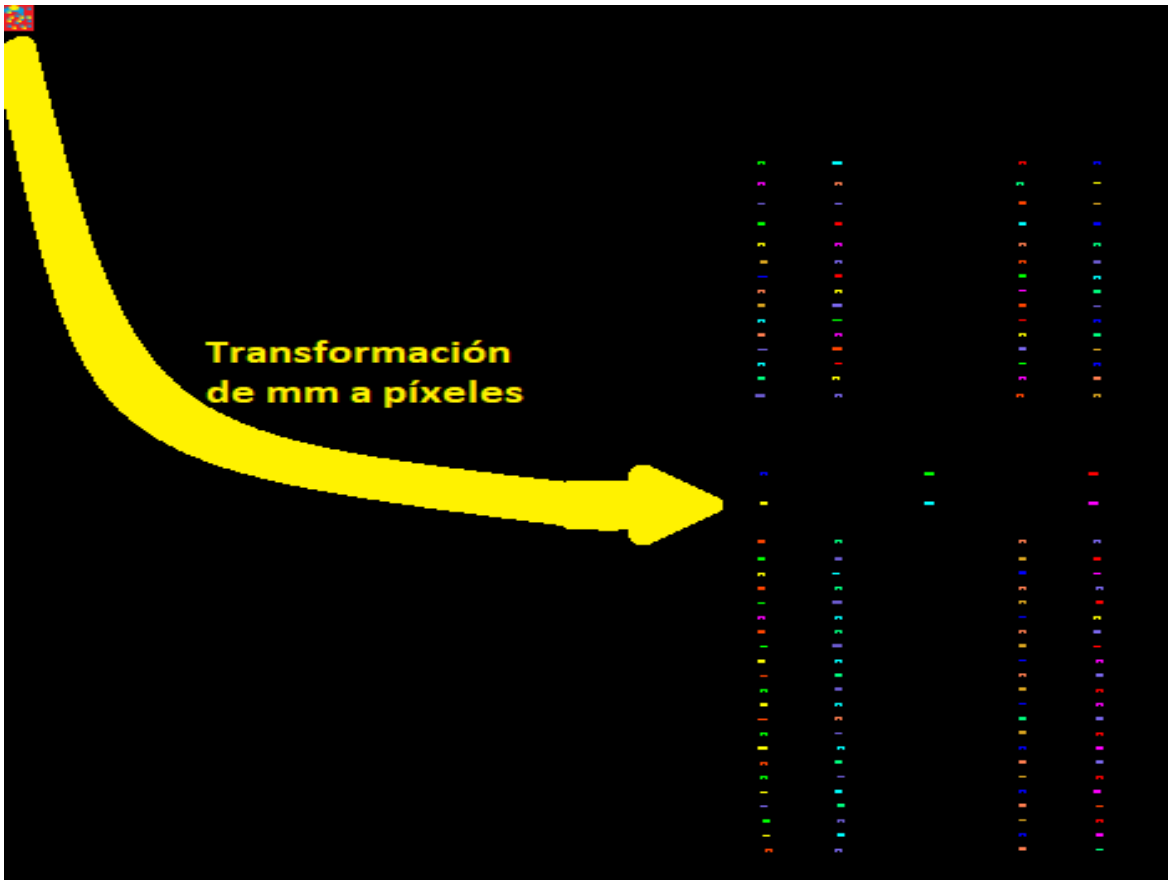


Ilustración 26 Transformación regiones del CAD sobre los pines segmentados

4. Dibujar regiones nominales de los pines sobre imagen estereoscópica.

Una vez se ha posicionado los pines nominales en píxeles sobre la imagen real estereoscópica se procede a dibujar una pequeña región en cada uno de los pines nominales para hacer la intersección con las regiones segmentadas de los pines candidatos segmentados en la imagen de disparidad. De esta forma, se realiza un nuevo filtrado para descartar pines que se hayan segmentado fuera de estas regiones de pines nominales para evitar tomar suciedad o ruido segmentado como pines.
Los pines que queden dentro de las regiones nominales serán los pines que se van a evaluar. Si en alguna región nominal no coincide que haya ningún posible pin, el programa avisará que no se han detectado todos los pines del conector, por lo que se conocerá sin continuar con el programa que el conector es defectuoso al faltarle uno de los pines.

```
gen_rectangle2 (RectForFineSelectioning, CADMovedToDispRow, CADMovedToDispCol, gen_tuple_const(|CADMovedToDispRow|, 0), \
                Width_Y * ScaleY, Width_X * ScaleX)
dilation_rectangle1 (RectForFineSelectioning, RectForFineSelectioningFinal, 30, 30)

union1 (ConnectedRegions3Rough, ConnectedRegions3RoughUnion)
intersection (RectForFineSelectioningFinal, ConnectedRegions3RoughUnion, ConnectedRegions3Pre)
```

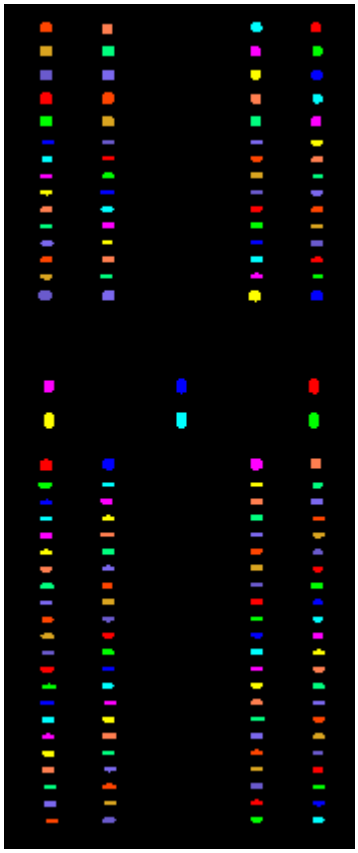


Ilustración 27 Intersección región nominal del CAD y regiones pines segmentados

Una vez se han obtenido todos los pines dentro de las regiones de búsqueda nominales *(Ilustración 27)*, tendremos las regiones segmentadas de pines filtradas únicamente con los pines para seguir con su evaluación de coordenadas.

3.2.3. Resultado de Pines *(Ilustración 28)*.

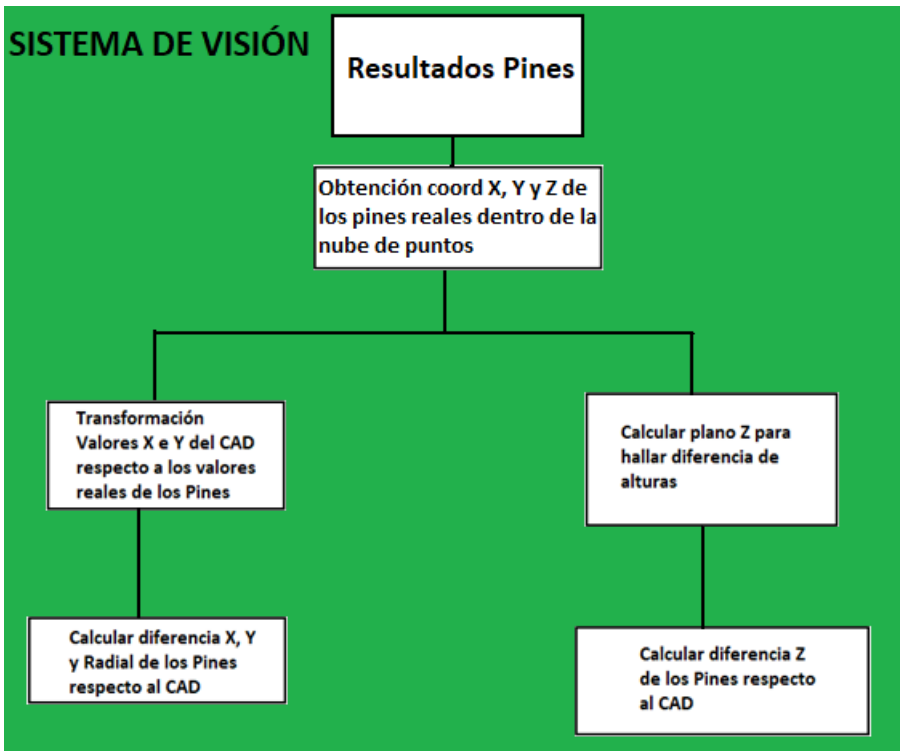


Ilustración 28 Diagrama de Flujo "Resultado de Pines"

Una vez se tienen todas las regiones de los centros de los pines reales segmentados y ya filtrados con los pines nominales, se procede a calcular la desviación de la medida de los pines.

1. **OBTENCIÓN COORDENADAS X, Y Y Z DE CADA UNO DE LOS PINES REALES.**

De los procedimiento anteriores en los que se filtraron únicamente los pines reales de la pieza, se ha obtenido una región para cada una de las puntas de los pines.

Dicha región se va a descomponer en una nube de puntos con la que poder calcular las coordenadas X, Y y Z para tener una medida más homogénea del pin.

get_region_points (ObjectSelected, Rows_WithZero, Columns_WithZero)

De cada nube de puntos se obtienen las coordenadas X, Y y Z de las imágenes X, Y y Z en esos puntos *(Ilustración 29)* para obtener distintas medidas de la punta del pin con la que poder realizar una media de todas las medidas de la punta de un pin.
Primero se calculan las imágenes X, y y Z de la imagen capturada:

access_channel (P3D_Reduced1, X_Channel1, 1)
access_channel (P3D_Reduced1, Y_Channel1, 2)
access_channel (P3D_Reduced1, Z_Channel1, 3)

Se obtienen los valores de la nube de puntos sobre las imágenes X, Y y Z:
get_grayval (Y_Channel, Rows_WithZero, Columns_WithZero, Y_WithZero)
get_grayval (X_Channel, Rows_WithZero, Columns_WithZero, X_WithZero)
get_grayval (Z_Channel, Rows_WithZero, Columns_WithZero, Z_WithZero)

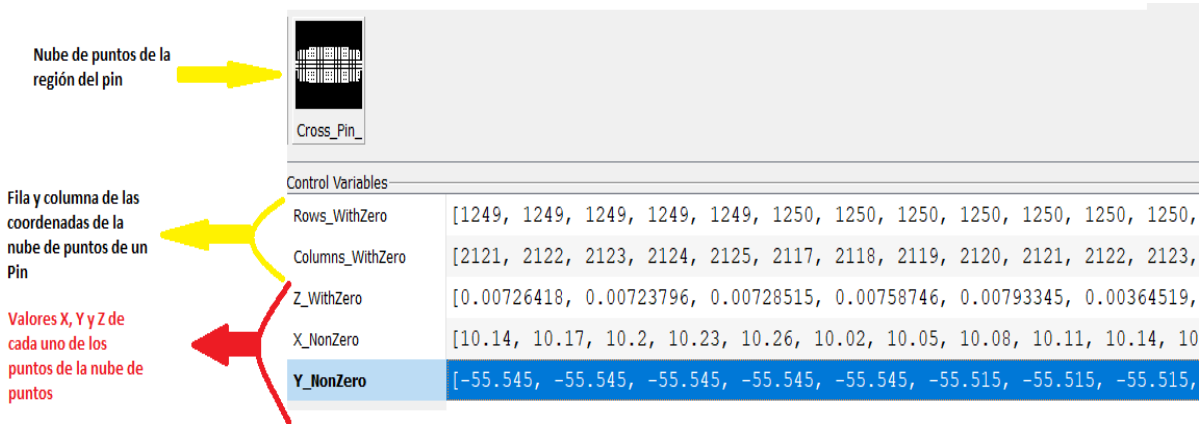


Ilustración 29 Obtención coordenadas X,Y y Z de nube de puntos de la punta del pin.

Una vez calculados todos los valores de la nube de puntos, se realizará una limpieza de las tuplas X, Y y Z debido a que puede haber algún punto de la nube de puntos del pin que no ha detectado valor X, Y o Z por una mala segmentación del pin que provoque un “agujero” en el pin *(Ilustración 30).*
Estos valores que dan resultado “0” al haber un agujero en el pin se eliminarán de la tupla para no falsear el resultado de la coordenada del pin.

Z_WithZero	Y_WithZero	X_WithZero	X_NonZero	Y_NonZero	Z_NonZero
0.0166131	-58.995	9.99	9.99	-58.995	0.0166131
0.0165589	-58.995	10.02	10.02	-58.995	0.0165589
0.0163422	-58.995	10.05	10.05	-58.995	0.0163422
0.0163632	-58.995	10.08	10.08	-58.995	0.0163632
0.0165571	-58.995	10.11	10.11	-58.995	0.0165571
0.0165938	-58.995	10.14	10.14	-58.995	0.0165938
0.0168577	-58.995	10.17	10.17	-58.995	0.0168577
0.0171146	-58.995	10.2	10.2	-58.995	0.0171146
0.0172666	-58.995	10.23	10.23	-58.995	0.0172666
0.0174221	-58.995	10.26	10.26	-58.995	0.0174221
0	-58.965	9.96	9.96	-58.965	0.017513
0.0175375	-58.965	9.99	9.99	-58.965	0.0175375
0.0173767	-58.965	10.02	10.02	-58.965	0.0173767
0.0172387	-58.965	10.05	10.05	-58.965	0.0172387
0.0173208	-58.965	10.08	10.08	-58.965	0.0173208
0.0174449	-58.965	10.11	10.11	-58.965	0.0174449
0.0175375	-58.965	10.14	10.14	-58.965	0.0175375
0.0176441	-58.965	10.17	10.17	-58.965	0.0176441
0.0179306	-58.965	10.2	10.2	-58.965	0.0179306
0.0180477	-58.965	10.23	10.23	-58.965	0.0180477
0.0181893	-58.965	10.26	10.26	-58.965	0.0181893
0.0181351	-58.965	10.29	10.29	-58.965	0.0181351
0.0183605	-58.935	9.93	9.93	-58.935	0.0183605
0.0182155	-58.935	9.96	9.96	-58.935	0.0182155
0.0181368	-58.935	9.99	9.99	-58.935	0.0181368
0.0179971	-58.935	10.02	10.02	-58.935	0.0179971
0.0179621	-58.935	10.05	10.05	-58.935	0.0179621
0.0180582	-58.935	10.08	10.08	-58.935	0.0180582
0.0180337	-58.935	10.11	10.11	-58.935	0.0180337
0.0180565	-58.935	10.14	10.14	-58.935	0.0180565
0.0182854	-58.935	10.17	10.17	-58.935	0.0182854
0.0186296	-58.935	10.2	10.2	-58.935	0.0186296

Ilustración 30 Medidas de la punta del pin filtrados sin valores 0, "sin agujeros" de segmentación

A continuación, se realizará la media de todos los valores de X, Y y Z de cada uno de los pines una vez se tienen las tuplas sin ceros para no falsear medidas.

MeanX := mean(X_NonZero)
MeanY := mean(Y_NonZero)
MeanZ := mean(Z_NonZero)

Finalmente, esta medida de la media de los valores de la nube de puntos de un pin, nos permite conocer un valor más preciso de las coordenadas del pin debido a que la media es más homogénea al tomar medidas no solo del centro del pin sino de toda la punta del pin.
Este proceso se repetirá para todos los pines detectados *(Ilustración 31)*, donde se acumularán las medias de todos los pines en una tupla.

tempX:=[tempX,MeanX]
tempY:=[tempY,MeanY]
tempZ:=[tempZ,MeanZ]

_tempX	_tempY	_tempZ
10.125	-58.425	0.0374822
10.2	-54.945	0.00469586
10.17	-51.405	-0.00614153
10.185	-47.91	-0.0456303
10.155	-44.385	-0.0573629
10.155	-41.31	-0.116095
10.185	-38.79	-0.101136
10.2	-36.285	-0.134405
10.17	-33.795	-0.122878
10.185	-31.32	-0.192651
10.17	-28.815	-0.155514
10.155	-26.295	-0.157666
10.185	-23.805	-0.155149
10.2	-21.315	-0.174652
10.17	-18.42	-0.18631
7.08	-58.485	0.569355
7.02	-54.885	0.533468
7.05	-51.45	0.519423
7.05	-47.88	0.500822
7.05	-44.43	0.487436
7.08	-41.4	0.472946
7.08	-38.895	0.465497
7.08	-36.405	0.463021
7.065	-33.885	0.456016
7.065	-31.41	0.455368
7.065	-28.92	0.454739
7.065	-26.4	0.442142
7.065	-23.91	0.440503
7.08	-21.42	0.4349
7.005	-18.39	0.4095
-0.585	-58.32	0.653812
-0.51	-54.87	0.632822

Ilustración 31 Medidas de todos los pines, tras calcular medias de medidas de las puntas de pines.

2. TRANSFORMACIÓN VALORES X E Y NOMINALES DEL CAD RESPECTO A LOS VALORES REALES.

En este apartado, al tener todos los pines calculados con sus valores reales X e Y *(Ilustración 32)*, lo que se desea es desplazar los valores nominales de los pines para transformarlos sobre el plano XY real de la cámara donde poder hacer los cálculos. De esta forma se podrá realizar la diferencia entre ellos y calcular la desviación en X e Y que existe entre el valor real y el nominal de cada pin.

Valores Nominales CAD

temp_GoldenX	temp_GoldenY	temp_GoldenZ
13.7	-118	0.0
13.7	-114.5	0.0
13.7	-111	0.0
13.7	-107.5	0.0
13.7	-104	0.0
13.7	-101	0.0
13.7	-98.5	0.0
13.7	-96	0.0
13.7	-93.5	0.0
13.7	-91	0.0
13.7	-88.5	0.0
13.7	-86	0.0
13.7	-83.5	0.0
13.7	-81	0.0
13.7	-78	0.0
10.7	-118	0.6
10.7	-114.5	0.6
10.7	-111	0.6
10.7	-107.5	0.6
10.7	-104	0.6
10.7	-101	0.6
10.7	-98.5	0.6
10.7	-96	0.6
10.7	-93.5	0.6
10.7	-91	0.6
10.7	-88.5	0.6
10.7	-86	0.6
10.7	-83.5	0.6
10.7	-81	0.6
10.7	-78	0.6
3	-118	0.6
3	-114.5	0.6

Valores reales Pines

_tempX	_tempY	_tempZ
10.125	-58.425	0.0374822
10.2	-54.945	0.00469586
10.17	-51.405	-0.00614153
10.185	-47.91	-0.0456303
10.155	-44.385	-0.0573629
10.155	-41.31	-0.116095
10.185	-38.79	-0.101136
10.2	-36.285	-0.134405
10.17	-33.795	-0.122878
10.185	-31.32	-0.192651
10.17	-28.815	-0.155514
10.155	-26.295	-0.157666
10.185	-23.805	-0.155149
10.2	-21.315	-0.174652
10.17	-18.42	-0.10631
7.08	-58.485	0.569355
7.02	-54.885	0.533468
7.05	-51.45	0.519423
7.05	-47.88	0.500822
7.05	-44.43	0.487436
7.08	-41.4	0.472946
7.08	-38.895	0.465497
7.08	-36.405	0.463021
7.065	-33.885	0.456016
7.065	-31.41	0.455368
7.065	-28.92	0.454739
7.065	-26.4	0.442142
7.065	-23.91	0.440503
7.08	-21.42	0.4349
7.005	-18.39	0.4095
-0.585	-58.32	0.653812
-0.51	-54.87	0.632822

Ilustración 32 Valores nominales y reales de los Pines

Las funciones utilizadas para realizar la transformaciones de los valores X e Y nominales sobre el plano XY de la cámara son:

```
tuple_not_equal_elem (_tempX, 999, NonAbsMaskX)
tuple_not_equal_elem (_tempY, 999, NonAbsMaskY)
tuple_not_equal_elem (_tempZ, 999, NonAbsMaskZ)
NonAbsMask := NonAbsMaskX*NonAbsMaskY*NonAbsMaskZ
tuple_select_mask (_tempX, NonAbsMask, NonAbs_tempX)
tuple_select_mask (_tempY, NonAbsMask, NonAbs_tempY)
tuple_select_mask (_tempZ, NonAbsMask, NonAbs_tempZ)
tuple_select_mask (temp_GoldenX, NonAbsMask, NonAbs_temp_GoldenX)
tuple_select_mask (temp_GoldenY, NonAbsMask, NonAbs_temp_GoldenY)
tuple_select_mask (temp_GoldenZ, NonAbsMask, NonAbs_temp_GoldenZ)
* First matching
temp_TransformedGoldenZ := temp_GoldenZ
vector_to_hom_mat2d (NonAbs_temp_GoldenY, NonAbs_temp_GoldenX, NonAbs_tempY, NonAbs_tempX, HomMat2D) //X<->Y
affine_trans_point_2d (HomMat2D, temp_GoldenY, temp_GoldenX, temp_TransformedGoldenY,temp_TransformedGoldenX)
```

Primero se seleccionarán los valores reales de los pines que hayan sido detectados correctamente (NonAbsMaskX, NonAbsMaskY y NonAbsMaskZ) y, por tanto, están libres de valores extremos “999” que ocurren al no detectarse la presencia de un pin.

A partir de aquí, se calculará la matriz de transformación para desplazar los valores nominales del CAD (NonAbs_temp_GoldenX y NonAbs_temp_GoldenY) *(Ilustración 33)* sobre el plano XY de la propia cámara (temp_TransformedGoldenX y temp_TransformedGoldenY) *(Ilustración 34)*.

NonAbs_temp_GoldenX	NonAbs_temp_GoldenY	NonAbs_tempX	NonAbs_tempY
13.7	-118	10.125	-58.425
13.7	-114.5	10.2	-54.945
13.7	-111	10.17	-51.405
13.7	-107.5	10.185	-47.91
13.7	-104	10.155	-44.385
13.7	-101	10.155	-41.31
13.7	-98.5	10.185	-38.79
13.7	-96	10.2	-36.285
13.7	-93.5	10.17	-33.795
13.7	-91	10.185	-31.32
13.7	-88.5	10.17	-28.815
13.7	-86	10.155	-26.295
13.7	-83.5	10.185	-23.805
13.7	-81	10.2	-21.315
13.7	-78	10.17	-18.42
10.7	-118	7.08	-58.485
10.7	-114.5	7.02	-54.885
10.7	-111	7.05	-51.45
10.7	-107.5	7.05	-47.88
10.7	-104	7.05	-44.43
10.7	-101	7.08	-41.4
10.7	-98.5	7.08	-38.895
10.7	-96	7.08	-36.405
10.7	-93.5	7.065	-33.885
10.7	-91	7.065	-31.41
10.7	-88.5	7.065	-28.92
10.7	-86	7.065	-26.4
10.7	-83.5	7.065	-23.91
10.7	-81	7.08	-21.42
10.7	-78	7.005	-18.39
3	-118	-0.585	-58.32
3	-114.5	-0.51	-54.87
3	-111	-0.525	-51.39

Ilustración 33 Valores nominales y reales de los pines.

temp_TransformedGoldenY	temp_TransformedGoldenX	temp_GoldenX	temp_GoldenY
-58.399	10.1442	13.7	-118
-54.8955	10.1441	13.7	-114.5
-51.392	10.144	13.7	-111
-47.8886	10.1438	13.7	-107.5
-44.3851	10.1437	13.7	-104
-41.3821	10.1436	13.7	-101
-38.8797	10.1435	13.7	-98.5
-36.3772	10.1434	13.7	-96
-33.8747	10.1433	13.7	-93.5
-31.3722	10.1432	13.7	-91
-28.8698	10.1431	13.7	-88.5
-26.3673	10.143	13.7	-86
-23.8648	10.1429	13.7	-83.5
-21.3623	10.1429	13.7	-81
-18.3594	10.1427	13.7	-78
-58.3985	7.12256	10.7	-118
-54.8951	7.12244	10.7	-114.5
-51.3916	7.12231	10.7	-111
-47.8881	7.12218	10.7	-107.5
-44.3847	7.12205	10.7	-104
-41.3817	7.12194	10.7	-101
-38.8792	7.12185	10.7	-98.5
-36.3768	7.12175	10.7	-96
-33.8743	7.12166	10.7	-93.5
-31.3718	7.12157	10.7	-91
-28.8693	7.12148	10.7	-88.5
-26.3668	7.12139	10.7	-86
-23.8644	7.1213	10.7	-83.5
-21.3619	7.1212	10.7	-81
-18.3589	7.12109	10.7	-78
-58.3974	-0.633005	3	-118
-54.894	-0.633134	3	-114.5

Ilustración 34 Valores del CAD transformados sobre los pines reales de la imagen.

3. CALCULAR DIFERENCIA X, Y Y RADIAL DE LOS PINES RESPECTO AL CAD.

Tras calcular los valores nominales del CAD sobre el plano real XY de la cámara, se puede obtener la desviación de los pines *(Ilustración 35)* en X, Y (DiffX y DiffY) y la desviación euclídea (DiffR) mediante las siguientes funciones:

DiffX_temp := temp_TransformedGoldenX - _tempX

DiffY_temp := temp_TransformedGoldenY - _tempY

DiffR_temp := sqrt(DiffX_temp*DiffX_temp + DiffY_temp*DiffY_temp)

DiffX_temp	DiffY_temp	DiffR_temp
0.0192142	0.0260347	0.0323573
-0.0559143	0.0494994	0.0746766
-0.0260428	0.0129664	0.0290922
-0.0411714	0.0214336	0.0464164
-0.0113004	-0.000101809	0.0113008
-0.0114107	-0.0721297	0.0730267
-0.0415024	-0.0096544	0.0987945
-0.0565942	-0.0921778	0.108165
-0.0266864	-0.0797037	0.0840526
-0.0417782	-0.0522273	0.0668813
-0.0268703	-0.0547507	0.0609889
-0.0119623	-0.0722744	0.0732577
-0.042054	-0.0597993	0.0731061
-0.0571458	-0.0473233	0.0741966
-0.0272564	0.0606481	0.0664914
0.0425641	0.0864593	0.0963686
0.102435	-0.010075	0.10293
0.0723068	0.0583917	0.0929401
0.0721781	-0.00814193	0.0726359
0.0720494	0.0453234	0.0851195
0.0419391	0.0182956	0.0457561
0.0418472	0.0157722	0.0447208
0.0417552	0.0202463	0.0504118
0.0566632	0.0107216	0.0576686
0.0565712	0.038198	0.0682597
0.0564793	0.050674	0.0758799
0.0563873	0.0331493	0.0654096
0.0562954	0.0456254	0.0724627
0.0412036	0.0581014	0.0712285
0.116093	0.0310726	0.120179
-0.0480049	-0.0774485	0.0911194
-0.123134	-0.0239832	0.125448
-0.108262	-0.000516604	0.108264

Ilustración 35 Desviación X, Y y R (euclídea)

4. CALCULAR PLANO Z PARA HALLAR DIFERENCIA DE ALTURAS.

En el programa realizado se han diferenciado dos formas diferentes de calcular la altura de los pines. Existen dos tipos de aplicaciones para las que se ha pensado utilizar este sistema de medición de alturas.

a. Medir diferencias de alturas de las puntas de los pines comparando con el CAD.
b. Medir la altura total desde la base del pin a la punta del pin y comparar con el CAD.

A continuación, se explicará cómo se han realizado las dos funciones para calcular la altura de los pines.

a. Diferencia de alturas de la punta de los pines.

El concepto realizado para calcular la desviación de alturas de los pines respecto al CAD se basa en medir la distancia que existe desde la cámara a cada uno de los pines.
El cálculo de dicho método se realizará colocando un plano 0 en alturas como referencia. Para llevarlo a cabo se han utilizado las siguientes funciones:

```
tuple_select_mask (_tempZ, GoldenZPlanMask, CotempZ)
* Pin height measurement (Calibrate with calibration matrix)
  distance_point_to_plane (CotempX, CotempY, CotempZ, _tempX, _tempY, _tempZ, _PinHeight)
* Methode 2
MeanCotempZ := mean(CotempZ)
_PinHeight := _tempZ-MeanCotempZ

 DiffPinHeight :=  PinHeight - temp GoldenZ
```

A continuación, en el CAD, hemos declarado pines con alturas 0 mm. Esto es así porque se ha dado cota 0mm a los pines más numerosos que serán considerados como el plano 0 del cual partirán el resto de cotas.
Dado que las cotas Z en el CAD con valor 0mm se considera el plano de alturas, se debe calcular el plano Z con los valores reales en la imagen para calcular las diferencias de alturas.
Se seleccionan los valores reales (CotempZ) de la tupla de resultados Z obtenidos anteriormente en los pines (_tempZ) mediante la utilización de una máscara (GoldenZPlanMask) que seleccione únicamente los pines con valor 0mm indicados en el CAD *(Ilustración 36)*.

_tempZ	GoldenZPlanMask	CotempZ
0.0374822	1	0.0374822
0.00469586	1	0.00469586
-0.00614153	1	-0.00614153
-0.0456303	1	-0.0456303
-0.0573629	1	-0.0573629
-0.116095	1	-0.116095
-0.101136	1	-0.101136
-0.134405	1	-0.134405
-0.122878	1	-0.122878
-0.192651	1	-0.192651
-0.155514	1	-0.155514
-0.157666	1	-0.157666
-0.155149	1	-0.155149
-0.174652	1	-0.174652
-0.18631	1	-0.18631
0.569355	0	0.0830161
0.533468	0	0.0400148
0.519423	0	0.0322039
0.500822	0	0.00254521
0.487436	0	-0.0203608
0.472946	0	-0.0458036
0.465497	0	-0.0175458
0.463021	0	-0.0346499
0.456016	0	-0.0220328
0.455368	0	-0.0439309
0.454739	0	-0.0701199
0.442142	0	-0.0825948
0.440503	0	-0.0534482
0.4349	0	-0.0810243
0.4095	0	-0.123709

0.653812	0
0.632822	0
0.607257	0
0.589213	0
0.567133	0
0.616115	0
0.577948	0
0.567363	0
0.554686	0
0.541933	0
0.529267	0
0.487652	0
0.509256	0
0.471943	0
0.425324	0
0.0830161	1
0.0400148	1
0.0322039	1
0.00254521	1
-0.0203608	1
-0.0458036	1
-0.0175458	1
-0.0346499	1
-0.0220328	1
-0.0439309	1
-0.0701199	1
-0.0825948	1
-0.0534482	1
-0.0810243	1
-0.123709	1

Ilustración 36 Valores CotempZ seleccionado con la máscara de selección de pines.

Se realizará la media de las cotas Z de los valores reales de la imagen para hacer una media de ellos y obtener en punto medio de los pines con cota 0mm en el CAD.

MeanCotempZ := mean(CotempZ)

La media será el plano 0 mm en alturas para comenzar a calcular la diferencia de alturas de los pines.

Una vez obtenido el plano 0 en alturas, se procede a calcular la diferencia de cotas con todos los pines *(Ilustración 37)*.

_PinHeight := _tempZ-MeanCotempZ
_DiffPinHeight := _PinHeight – temp_GoldenZ



temp_GoldenZ	_PinHeight	_DiffPinHeight
0.0	0.104177	0.104177
0.0	0.071391	0.071391
0.0	0.0605536	0.0605536
0.0	0.0210648	0.0210648
0.0	0.00933223	0.00933223
0.0	-0.0494001	-0.0494001
0.0	-0.0344413	-0.0344413
0.0	-0.0677101	-0.0677101
0.0	-0.0561825	-0.0561825
0.0	-0.125956	-0.125956
0.0	-0.0888193	-0.0888193
0.0	-0.0909713	-0.0909713
0.0	-0.0884535	-0.0884535
0.0	-0.107957	-0.107957
0.0	-0.119615	-0.119615
0.6	0.63605	0.0360497
0.6	0.600163	0.000163335
0.6	0.586118	-0.0138817
0.6	0.567517	-0.0324829
0.6	0.554131	-0.0458688
0.6	0.539641	-0.0603587
0.6	0.532192	-0.0678082
0.6	0.529716	-0.0702843
0.6	0.522711	-0.0772888

Ilustración 37 Diferencia de altura de los pines.

b. Diferencia de la altura total de los pines.

Este programa se adaptó para poder ser utilizado en aplicaciones de prensados. Principalmente, da la posibilidad de verificar que los componentes electrónicos se han podido prensar correctamente midiendo la altura que sobresalen los pines de la placa PCB *(Ilustración 38).*
Para verificar el correcto prensado de los pines, se realiza primero la medida de todos la base de los pines, en este caso, la base de los pines coincide con los anillos de cobre en los que han sido prensados los pines en la PCB *(Ilustración 39).*

Con las distancias entre cámara y base de los pines, se realiza la media de todas las medidas de las bases de los pines para poder conocer la distancia media entre la PCB y la cámara. Una vez se ha obtenido esta distancia, por diferencia de alturas se podrá obtener la altura total del pin desde la base de la PCB a la punta de los pines. El proceso para calcular la distancia entre punta del pin hasta la cámara se realiza de la misma forma que en el proceso anterior para el cálculo de la desviación de alturas.

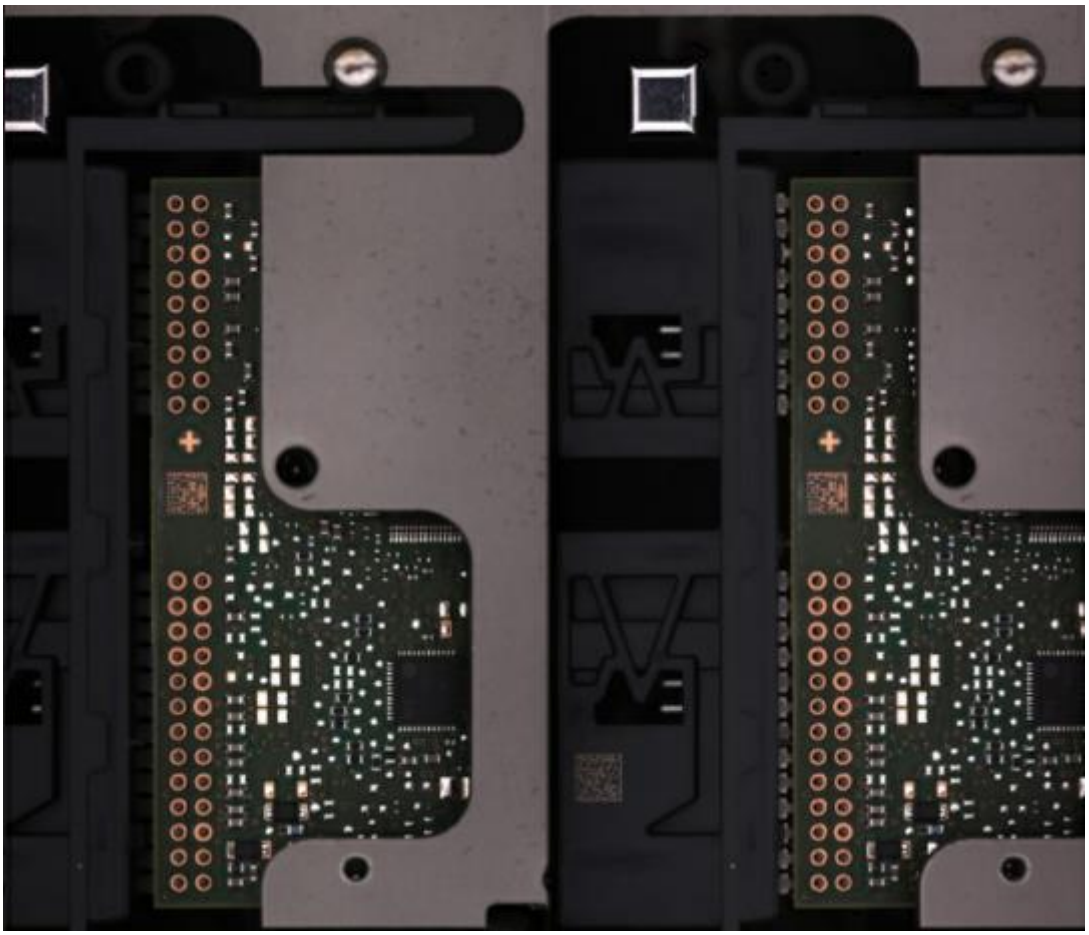


Ilustración 38 Imagen catalogo piezas pines prensados en PCB

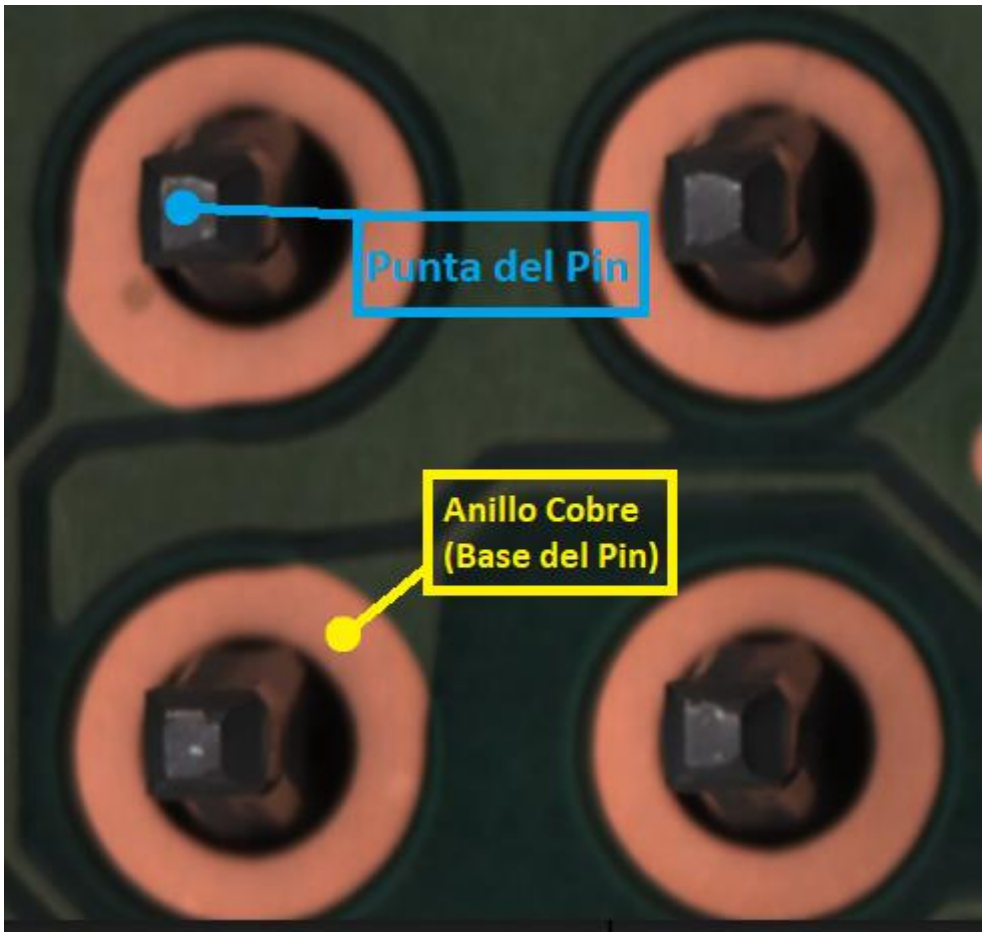


Ilustración 39 Base del pin y punta del Pin analizados

Para el cálculo de la distancia entre PCB y cámara, se seleccionará únicamente el anillo de cobre que rodea la base de cada Pin tanto en la imagen izquierda como en la derecha *(Ilustración 40)* para poder devolver las coordenadas Z de los anillos de cobre.



Ilustración 40 Región segmentada del anillo de cobre evaluado para calcular distancia a la base del pin.

```
FootZ := []
  for IndFootPoint := 1 to NumFootPoint by 1
      select_obj (FootPointROI, SelectedFootPointL, IndFootPoint)
      reduce_domain (ImagePart, SelectedFootPointL,
tempFootPointL)
      CS_FindFootPoint (tempFootPointL, FootPointRowL,
FootPointColL)
```

```
            move_region (SelectedFootPointL, SelectedFootPointR, 0,
MaskDist)
            reduce_domain (ImagePart, SelectedFootPointR,
tempFootPointR)
            CS_FindFootPoint (tempFootPointR, FootPointRowR,
FootPointColR)

            cs_3d_rawimagecoord_to_3d (CS3DHandle, 'green',
HeightImageL, FootPointRowL, FootPointColL, \
                                       FootPointRowR, FootPointColR, tempFootX,
tempFootY, tempFootZ)

        FootZ := [FootZ, tempFootZ]
    endfor
```

Una vez obtenidos todas las medidas de las bases de los pines, se realiza la media de dichas alturas para realizar la diferencia de alturas en cada uno de los pines y conocer la altura total (Base-Punta del pin) de todos los pines del circuito.

```
MeanContempZ := mean(FootZ)
_PinHeight := _tempZ-MeanCotempZ
```

Capítulo 4.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

c. CONCLUSIONES.

Las conclusiones obtenidas en el desarrollo del sistema estereoscópico con la cámara Chromasens utilizada para la medida de las desviaciones de las posiciones X, Y y Z de los pines contenidos dentro de conectores ha sido satisfactoria.
Se ha conseguido cumplir los requisitos previos de cliente: tiempo de ciclo del sistema menor de 10seg y tolerancia en la medida de las desviaciones menor de 0.4 mm.

Para demostrar que el desarrollo cumple con las espectativas, se han realizado los siguientes estudios:

1- Cg/CgK.

Se ha realizado el estudio de capacidad Cg y CgK que siguen las siguientes funciones estadísticas [7]:

$$C_g = \frac{(\frac{K}{100})^* \ Tolerance}{SV}$$

$$C_{gK} = \frac{(\frac{K}{200} * \ Tolerance) \ - \ |\overline{X} - X_m|}{SV / 2}$$

En este caso, con el SW Q-Stat utilizado para el cálculo de estudios de capacidad y repetibilidad, las constantes y variables utilizadas son las siguientes:

K = 20.
SV= 6 x Sg
Siendo “Sg” la desviación estandar.

Los estudios de capacidad de la visión, nos arroja una medición precisa más que suficiente para los criterios de cliente.
Para este estudio, se utilizó una pieza con 10 pines *(Ilustración 41)*, medida con una máquina de medición con una alta resolución y baja desviación en la medida.



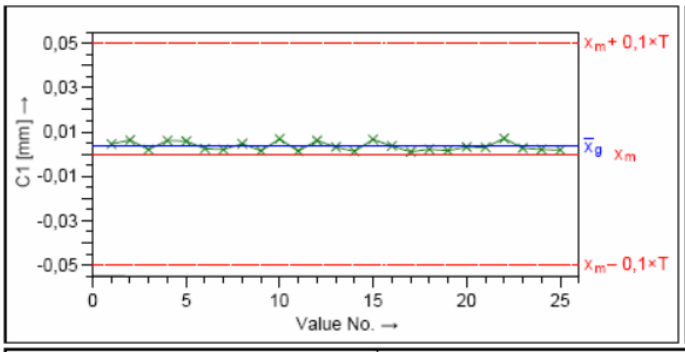
Ilustración 41 Pieza verificación utilizada para los estudios de capacidad.

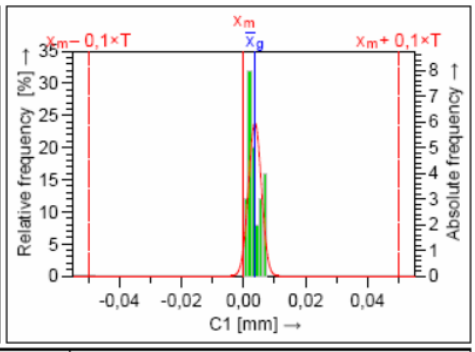
Tras pasar la pieza con 10 pines en la visión 3D, haciendo 25 repeticiones de medida, se obtuvieron los siguientes resultados en cada uno de los pines con su correspondiente estudio de capacidad con sus 25 medidas.

- **Resultados Obtenidos de Cg/CgK:**

1. **Resultados Pin 1 *(Ilustración 42)*:**

Division :	Operating seq. :	Char.Descr. : C1
Group/Dep. :	Mach.Descr. :	Char.No. : 1
Worksh./sect. :	Mach.No. :	Nom.val. : 0,000
Prod. :	Test Location :	Lo.Allow. : -0,250
Part : csv	Gage Descr. :	Up.Allow. : 0,250
Reference no : 1	Gage No. :	Tol. : 0.500
Amend.stat. :	Gage Manu. :	Unit : mm
	Resolution : 0,015	





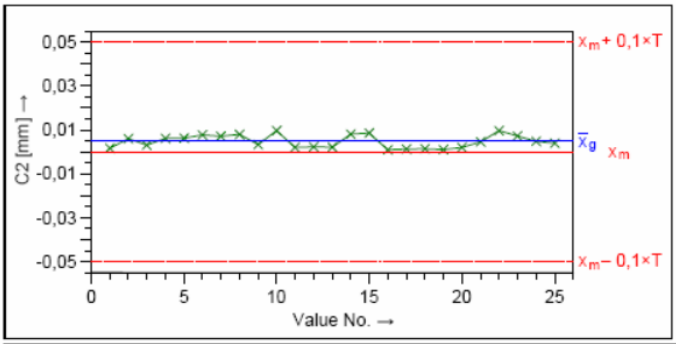
Drawing Values			Collected Values			Statistics		
x_m+0.1×T	=	0.05000	$x_{max\,g}$	=	0.007	$\bar{x}_g$+3s_g	=	0.00964
x_m	=	0.00000	|Bi|	=	0.0035562	$\bar{x}_g$	=	0.00356
x_m-0.1×T	=	-0.05000	$x_{min\,g}$	=	0.001	$\bar{x}_g$-3s_g	=	-0.00252
0.2×T	=	0.10000	R_g	=	0.006	6s_g	=	0.01216
T	=	0.500	n_{tot}	=	25	s_g	=	0.00203
Unit	=	mm						

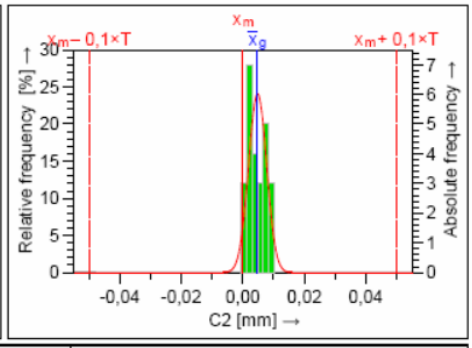
Test for Bias		Test results : significant (α ≤ 0,1%)
		Minimum reference figure for capable measuring system
$C_g = \frac{0.2 \times T}{6 \times s_g}$	= 5.91 ≤ **8.22** ≤ 10.53	$T_{min\,(C_g)}$ = 0.0809
$C_{gk} = \frac{0.1 \times T - \lvert \bar{x}_g - x_m \rvert}{3 \times s_g}$	= 5.47 ≤ **7.64** ≤ 9.80	$T_{min\,(C_{gk})}$ = 0.116
Resolution %RE = 3.00%		$T_{min\,(\%RE)}$ = 0.300

Ilustración 42 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 1 de la pieza de Verificación

2. Resultados Pin 2 *(Ilustración 43)*:

Division :	Operating seq. :	Char.Descr. : C2
Group/Dep. :	Mach.Descr. :	Char.No. : 2
Worksh./sect. :	Mach.No. :	Nom.val. : 0,000
Prod. :	Test Location :	Lo.Allow. : -0,250
Part : csv	Gage Descr. :	Up.Allow. : 0,250
Reference no : 1	Gage No. :	Tol. : 0.500
Amend.stat. :	Gage Manu. :	Unit : mm
	Resolution : 0,015	





Drawing Values			Collected Values			Statistics		
x_m+0.1×T	=	0.05000	$x_{max\,g}$	=	0.010	$\bar{x}_g$+3s_g	=	0.01343
x_m	=	0.00000	|Bi|	=	0.0046863	$\bar{x}_g$	=	0.00469
x_m-0.1×T	=	-0.05000	$x_{min\,g}$	=	0.001	$\bar{x}_g$-3s_g	=	-0.00406
0.2×T	=	0.10000	R_g	=	0.009	6s_g	=	0.01749
T	=	0.500	n_{tot}	=	25	s_g	=	0.00292
Unit	=	mm						

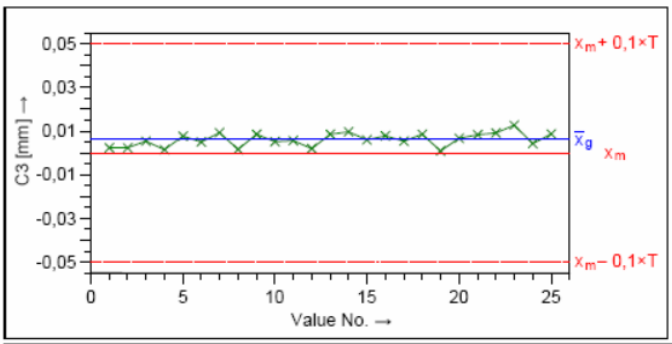
Test for Bias	Test results : significant (α ≤ 0,1%)
	Minimum reference figure for capable measuring system
$C_g = \frac{0.2\times T}{6\times s_g}$ = 4.11 ≤ **5.72** ≤ 7.32 (0 … 1.33)	$T_{min\,(C_g)}$ = 0.116
$C_{gk} = \frac{0.1\times T - \lvert \bar{x}_g - x_m \rvert}{3\times s_g}$ = 3.71 ≤ **5.18** ≤ 6.65 (0 … 1.33)	$T_{min\,(C_{gk})}$ = 0.163
Resolution %RE = 3.00% (0 … 5)	$T_{min\,(\%RE)}$ = 0.300

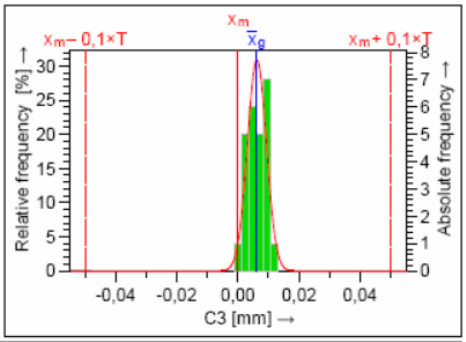
Ilustración 43 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 2 de la pieza de Verificación

3. Resultados Pin 3 *(Ilustración 44)*.

Division :	Operating seq. :	Char.Descr. : C3
Group/Dep. :	Mach.Descr. :	Char.No. : 3
Worksh./sect. :	Mach.No. :	Nom.val. : 0,000
Prod. :	Test Location :	Lo.Allow. : -0,250
Part : csv	Gage Descr. :	Up.Allow. : 0,250
Reference no : 1	Gage No. :	Tol. : 0.500
Amend.stat. :	Gage Manu. :	Unit : mm
	Resolution : 0,015	

i	x_i	i	x_i	i	x_i
1	0,002	11	0,006	21	0,008
2	0,002	12	0,002	22	0,009
3	0,005	13	0,009	23	0,013
4	0,002	14	0,010	24	0,004
5	0,008	15	0,006	25	0,009
6	0,005	16	0,008		
7	0,009	17	0,005		
8	0,002	18	0,009		
9	0,008	19	0,001		
10	0,005	20	0,007		





Drawing Values			Collected Values			Statistics		
x_m+0.1×T	=	0.05000	$x_{max\,g}$	=	0.013	$\bar{x}_g$+3s_g	=	0.01539
x_m	=	0.00000	|Bi|	=	0.0060904	$\bar{x}_g$	=	0.00609
x_m-0.1×T	=	-0.05000	$x_{min\,g}$	=	0.001	$\bar{x}_g$-3s_g	=	-0.00321
0.2×T	=	0.10000	R_g	=	0.012	6s_g	=	0.01861
T	=	0.500	n_{tot}	=	25	s_g	=	0.00310
Unit	=	mm						

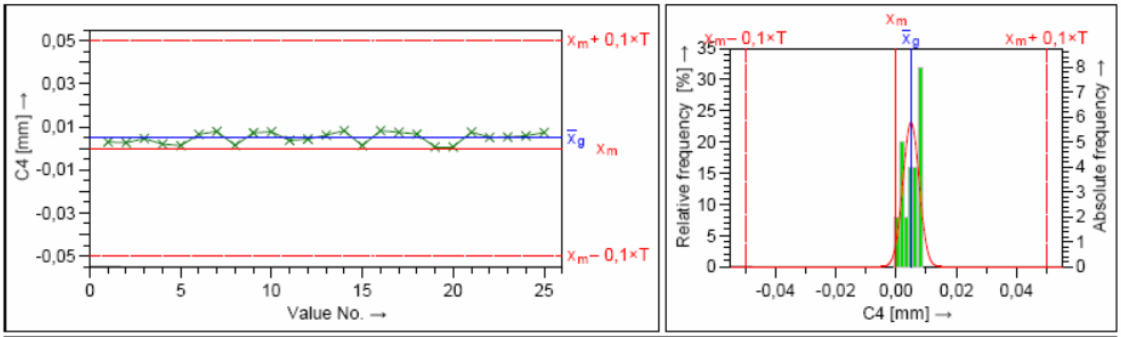
Test for Bias	Test results : significant (α ≤ 0,1%)
	Minimum reference figure for capable measuring system
$C_g = \frac{0.2\times T}{6\times s_g}$ = 3.86 ≤ **5.37** ≤ 6.88 (0 — 1.33)	$T_{min\,(C_g)}$ = 0.124
$C_{gk} = \frac{0.1\times T - \lvert \bar{x}_g - x_m \rvert}{3\times s_g}$ = 3.38 ≤ **4.72** ≤ 6.06 (0 — 1.33)	$T_{min\,(C_{gk})}$ = 0.185
Resolution %RE = 3.00% (0 — 5)	$T_{min\,(\%RE)}$ = 0.300

Ilustración 44 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 3 de la pieza de Verificación

4. Resultados Pin 4 *(Ilustración 45)*.

Division :	Operating seq. :	Char.Descr. : C4
Group/Dep. :	Mach.Descr. :	Char.No. : 4
Worksh./sect. :	Mach.No. :	Nom.val. : 0,000
Prod. :	Test Location :	Lo.Allow. : -0,250
Part : csv	Gage Descr. :	Up.Allow. : 0,250
Reference no : 1	Gage No. :	Tol. : 0.500
Amend.stat. :	Gage Manu. :	Unit : mm
	Resolution : 0,015	

i	x_i	i	x_i	i	x_i
1	0,003	11	0,004	21	0,008
2	0,003	12	0,004	22	0,005
3	0,005	13	0,006	23	0,005
4	0,002	14	0,008	24	0,006
5	0,001	15	0,001	25	0,007
6	0,006	16	0,008		
7	0,008	17	0,007		
8	0,001	18	0,007		
9	0,007	19	0,001		
10	0,008	20	0,001		



Drawing Values			Collected Values			Statistics		
x_m+0.1×T	=	0.05000	$x_{max\,g}$	=	0.008	$\bar{x}_g$+3s_g	=	0.01270
x_m	=	0.00000	|Bi|	=	0.0048469	$\bar{x}_g$	=	0.00485
x_m-0.1×T	=	-0.05000	$x_{min\,g}$	=	0.001	$\bar{x}_g$-3s_g	=	-0.00301
0.2×T	=	0.10000	R_g	=	0.008	6s_g	=	0.01572
T	=	0.500	n_{tot}	=	25	s_g	=	0.00262
Unit	=	mm						

Test for Bias	Test results : significant (α ≤ 0,1%)

Minimum reference figure for capable measuring system

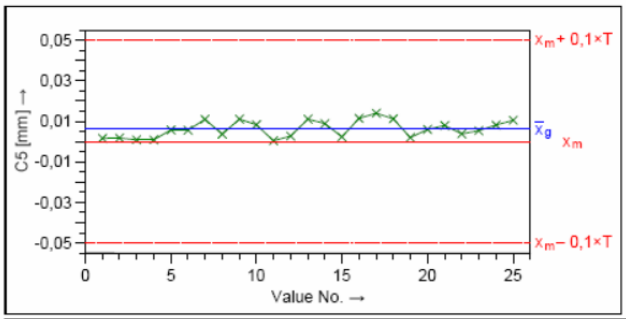
$C_g = \frac{0.2\times T}{6\times s_g}$	= 4.57 ≤ **6.36** ≤ 8.15	0 1.33	$T_{min\,(C_g)}$ = 0.105
$C_{gk} = \frac{0.1\times T - \lvert \bar{x}_g - x_m \rvert}{3\times s_g}$	= 4.12 ≤ **5.75** ≤ 7.38	0 1.33	$T_{min\,(C_{gk})}$ = 0.153
Resolution %RE = 3.00%		0 5	$T_{min\,(\%RE)}$ = 0.300

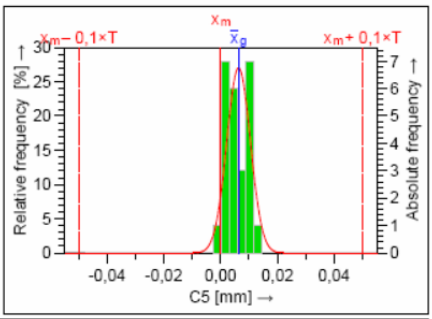
Ilustración 45 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 4 de la pieza de Verificación

5. Resultados Pin 5 *(Ilustración 46)*.

Division :	Operating seq. :	Char.Descr. : C5
Group/Dep. :	Mach.Descr. :	Char.No. : 5
Worksh./sect. :	Mach.No. :	Nom.val. : 0,000
Prod. :	Test Location :	Lo.Allow. : -0,250
Part : csv	Gage Descr. :	Up.Allow. : 0,250
Reference no : 1	Gage No. :	Tol. : 0.500
Amend.stat. :	Gage Manu. :	Unit : mm
	Resolution : 0,015	

i	x_i	i	x_i	i	x_i
1	0,002	11	0,000	21	0,008
2	0,002	12	0,003	22	0,004
3	0,001	13	0,011	23	0,005
4	0,001	14	0,009	24	0,008
5	0,006	15	0,002	25	0,010
6	0,006	16	0,011		
7	0,011	17	0,014		
8	0,004	18	0,011		
9	0,011	19	0,002		
10	0,008	20	0,006		





Drawing Values			Collected Values			Statistics		
x_m+0.1×T	=	0.05000	$x_{max\,g}$	=	0.014	$\bar{x}_g$+3s_g	=	0.01862
x_m	=	0.00000	|Bi|	=	0.0062107	$\bar{x}_g$	=	0.00621
x_m-0.1×T	=	-0.05000	$x_{min\,g}$	=	0.000	$\bar{x}_g$-3s_g	=	-0.00620
0.2×T	=	0.10000	R_g	=	0.014	6s_g	=	0.02481
T	=	0.500	n_{tot}	=	25	s_g	=	0.00414
Unit	=	mm						

Test for Bias	Test results : significant (α ≤ 0,1%)

Minimum reference figure for capable measuring system

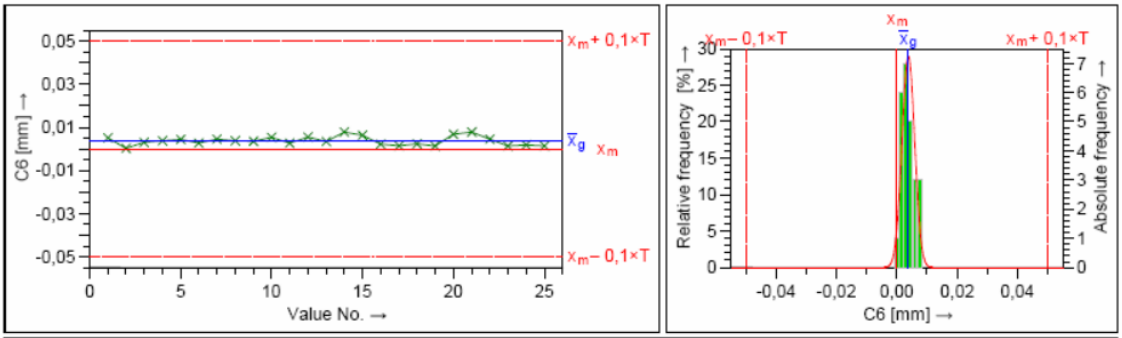
$C_g = \frac{0.2\times T}{6\times s_g}$	= 2.90 ≤ **4.03** ≤ 5.16	0 1.33	$T_{min\,(C_g)}$ = 0.165
$C_{gk} = \frac{0.1\times T - \lvert \bar{x}_g - x_m \rvert}{3\times s_g}$	= 2.52 ≤ **3.53** ≤ 4.54	0 1.33	$T_{min\,(C_{gk})}$ = 0.227
Resolution %RE = 3.00%		0 5	$T_{min\,(\%RE)}$ = 0.300

Ilustración 46 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 5 de la pieza de Verificación

6. Resultados Pin 6 *(Ilustración 47)*.

Division :	Operating seq. :	Char.Descr. : C6
Group/Dep. :	Mach.Descr. :	Char.No. : 6
Worksh./sect. :	Mach.No. :	Nom.val. : 0,000
Prod. :	Test Location :	Lo.Allow. : -0,250
Part : csv	Gage Descr. :	Up.Allow. : 0,250
Reference no : 1	Gage No. :	Tol. : 0.500
Amend.stat. :	Gage Manu. :	Unit : mm
	Resolution : 0,015	

i	x_i	i	x_i	i	x_i
1	0,005	11	0,003	21	0,008
2	0,000	12	0,005	22	0,004
3	0,003	13	0,003	23	0,001
4	0,004	14	0,008	24	0,002
5	0,004	15	0,006	25	0,001
6	0,003	16	0,002		
7	0,004	17	0,001		
8	0,004	18	0,002		
9	0,004	19	0,001		
10	0,005	20	0,007		



Drawing Values			Collected Values			Statistics		
x_m+0.1×T	=	0.05000	$x_{max\,g}$	=	0.008	$\bar{x}_g$+3s_g	=	0.00995
x_m	=	0.00000	|Bi|	=	0.0037177	$\bar{x}_g$	=	0.00372
x_m-0.1×T	=	-0.05000	$x_{min\,g}$	=	0.000	$\bar{x}_g$-3s_g	=	-0.00251
0.2×T	=	0.10000	R_g	=	0.008	6s_g	=	0.01246
T	=	0.500	n_{tot}	=	25	s_g	=	0.00208
Unit	=	mm						

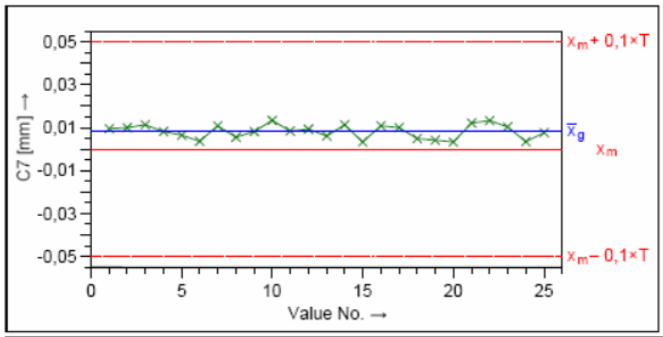
Test for Bias	Test results : significant (α ≤ 0,1%)
	Minimum reference figure for capable measuring system
$C_g = \frac{0.2\times T}{6\times s_g}$ = 5.77 ≤ **8.03** ≤ 10.28 (0 … 1.33)	$T_{min\,(C_g)}$ = 0.0828
$C_{gk} = \frac{0.1\times T - \lvert \bar{x}_g - x_m \rvert}{3\times s_g}$ = 5.32 ≤ **7.43** ≤ 9.54 (0 … 1.33)	$T_{min\,(C_{gk})}$ = 0.120
Resolution %RE = 3.00% (0 … 5)	$T_{min\,(\%RE)}$ = 0.300

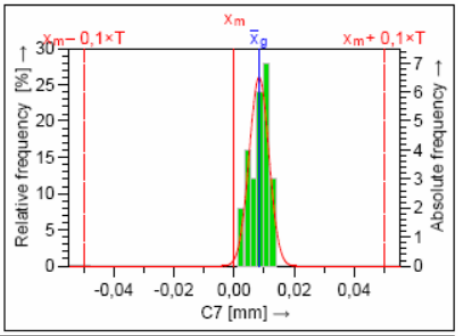
Ilustración 47 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 6 de la pieza de Verificación

7. Resultados Pin 7 *(Ilustración 48)*.

Division	:	Operating seq.	:	Char.Descr.	: C7
Group/Dep.	:	Mach.Descr.	:	Char.No.	: 7
Worksh./sect.	:	Mach.No.	:	Nom.val.	: 0,000
Prod.	:	Test Location	:	Lo.Allow.	: -0,250
Part	: csv	Gage Descr.	:	Up.Allow.	: 0,250
Reference no	: 1	Gage No.	:	Tol.	: 0.500
Amend.stat.	:	Gage Manu.	:	Unit	: mm
		Resolution	: 0,015		

i	x_i	i	x_i	i	x_i
1	0,010	11	0,008	21	0,012
2	0,010	12	0,009	22	0,013
3	0,011	13	0,006	23	0,010
4	0,008	14	0,011	24	0,003
5	0,006	15	0,003	25	0,008
6	0,004	16	0,011		
7	0,011	17	0,010		
8	0,005	18	0,005		
9	0,008	19	0,004		
10	0,013	20	0,003		





Drawing Values			Collected Values			Statistics		
x_m+0.1×T	=	0.05000	$x_{max\,g}$	=	0.013	$\bar{x}_g$+3s_g	=	0.01786
x_m	=	0.00000	|Bi|	=	0.0081975	$\bar{x}_g$	=	0.00820
x_m-0.1×T	=	-0.05000	$x_{min\,g}$	=	0.003	$\bar{x}_g$-3s_g	=	-0.00147
0.2×T	=	0.10000	R_g	=	0.010	6s_g	=	0.01933
T	=	0.500	n_{tot}	=	25	s_g	=	0.00322
Unit	=	mm						

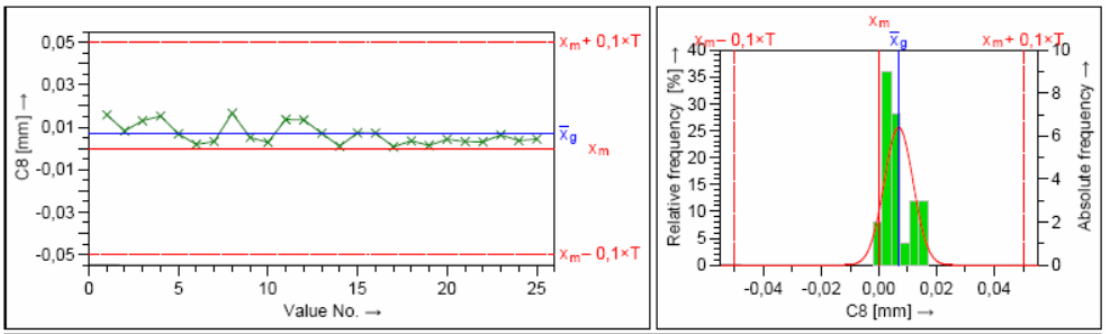
Test for Bias	Test results : significant (α ≤ 0,1%)
	Minimum reference figure for capable measuring system
$C_g = \frac{0.2\times T}{6\times s_g}$ = 3.72 ≤ **5.17** ≤ 6.63 (0 — 1.33)	$T_{min\,(C_g)}$ = 0.129
$C_{gk} = \frac{0.1\times T - \lvert \bar{x}_g - x_m \rvert}{3\times s_g}$ = 3.09 ≤ **4.33** ≤ 5.56 (0 — 1.33)	$T_{min\,(C_{gk})}$ = 0.211
Resolution %RE = 3.00% (0 — 5)	$T_{min\,(\%RE)}$ = 0.300

Ilustración 48 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 7 de la pieza de Verificación

8. Resultados Pin 8 *(Ilustración 49)*.

Division :	Operating seq. :	Char.Descr. : C8
Group/Dep. :	Mach.Descr. :	Char.No. : 8
Worksh./sect. :	Mach.No. :	Nom.val. : 0,000
Prod. :	Test Location :	Lo.Allow. : -0,250
Part : csv	Gage Descr. :	Up.Allow. : 0,250
Reference no : 1	Gage No. :	Tol. : 0.500
Amend.stat. :	Gage Manu. :	Unit : mm
	Resolution : 0,015	

i	x_i	i	x_i	i	x_i
1	0,016	11	0,014	21	0,003
2	0,008	12	0,013	22	0,003
3	0,013	13	0,007	23	0,006
4	0,015	14	0,001	24	0,004
5	0,007	15	0,007	25	0,004
6	0,002	16	0,007		
7	0,003	17	0,001		
8	0,017	18	0,003		
9	0,005	19	0,001		
10	0,003	20	0,004		



Drawing Values			Collected Values			Statistics		
x_m+0.1×T	=	0.05000	$x_{max\,g}$	=	0.017	$\bar{x}_g$+3s_g	=	0.02168
x_m	=	0.00000	|Bi|	=	0.0067217	$\bar{x}_g$	=	0.00672
x_m-0.1×T	=	-0.05000	$x_{min\,g}$	=	0.001	$\bar{x}_g$-3s_g	=	-0.00823
0.2×T	=	0.10000	R_g	=	0.016	6s_g	=	0.02991
T	=	0.500	n_{tot}	=	25	s_g	=	0.00498
Unit	=	mm						

Test for Bias	Test results : significant (α ≤ 0,1%)

Minimum reference figure for capable measuring system

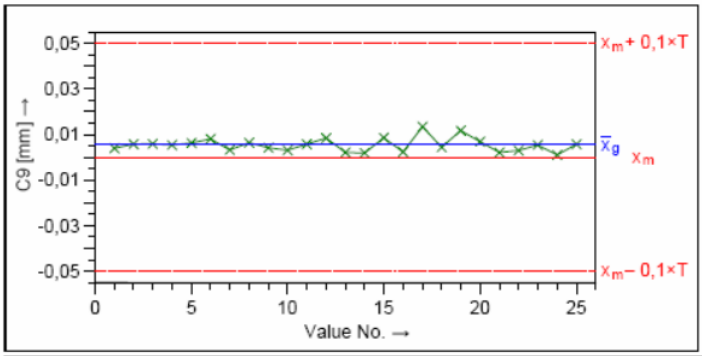
$C_g = \frac{0.2\times T}{6\times s_g}$	= 2.40 ≤ **3.34** ≤ 4.28	$T_{min\,(C_g)}$ =	0.199
$C_{gk} = \frac{0.1\times T - \lvert \bar{x}_g - x_m \rvert}{3\times s_g}$	= 2.06 ≤ **2.89** ≤ 3.72	$T_{min\,(C_{gk})}$ =	0.266
Resolution %RE = 3.00%		$T_{min\,(\%RE)}$ =	0.300

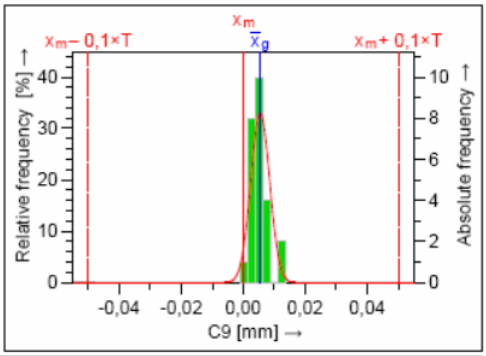
Ilustración 49 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 8 de la pieza de Verificación

9. Resultados Pin 9 (*Ilustración 50)*.

Division	:	Operating seq.	:	Char.Descr.	: C9
Group/Dep.	:	Mach.Descr.	:	Char.No.	: 9
Worksh./sect.	:	Mach.No.	:	Nom.val.	: 0,000
Prod.	:	Test Location	:	Lo.Allow.	: -0,250
Part	: csv	Gage Descr.	:	Up.Allow.	: 0,250
Reference no	: 1	Gage No.	:	Tol.	: 0.500
Amend.stat.	:	Gage Manu.	:	Unit	: mm
		Resolution	: 0,015		

i	x_i	i	x_i	i	x_i
1	0,004	11	0,006	21	0,002
2	0,006	12	0,008	22	0,003
3	0,006	13	0,002	23	0,005
4	0,005	14	0,002	24	0,001
5	0,006	15	0,009	25	0,006
6	0,008	16	0,002		
7	0,003	17	0,013		
8	0,006	18	0,004		
9	0,004	19	0,012		
10	0,003	20	0,007		





Drawing Values			Collected Values			Statistics		
x_m+0.1×T	=	0.05000	$x_{max\,g}$	=	0.013	$\bar{x}_g$+3s_g	=	0.01441
x_m	=	0.00000	|Bi|	=	0.0053429	$\bar{x}_g$	=	0.00534
x_m-0.1×T	=	-0.05000	$x_{min\,g}$	=	0.001	$\bar{x}_g$-3s_g	=	-0.00372
0.2×T	=	0.10000	R_g	=	0.012	6s_g	=	0.01813
T	=	0.500	n_{tot}	=	25	s_g	=	0.00302
Unit	=	mm						

Test for Bias	Test results : significant (α ≤ 0,1%)

Minimum reference figure for capable measuring system

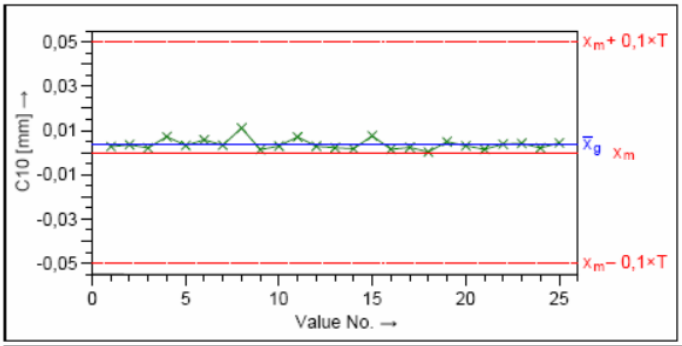
$C_g = \frac{0.2\times T}{6\times s_g}$	= 3.97 ≤ **5.52** ≤ 7.06	0 1.33	$T_{min\,(Cg)}$ = 0.120
$C_{gk} = \frac{0.1\times T - \lvert \bar{x}_g - x_m \rvert}{3\times s_g}$	= 3.53 ≤ **4.93** ≤ 6.33	0 1.33	$T_{min\,(Cgk)}$ = 0.174
Resolution	%RE = 3.00%	0 5	$T_{min\,(\%RE)}$ = 0.300

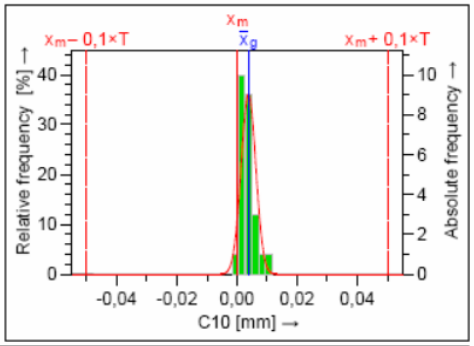
Ilustración 50 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 9 de la pieza de Verificación

10. Resultados Pin 10 *(Ilustración 51)*.

Division	:	Operating seq.	:	Char.Descr.	: C10
Group/Dep.	:	Mach.Descr.	:	Char.No.	: 10
Worksh./sect.	:	Mach.No.	:	Nom.val.	: 0,000
Prod.	:	Test Location	:	Lo.Allow.	: -0,250
Part	: csv	Gage Descr.	:	Up.Allow.	: 0,250
Reference no	: 1	Gage No.	:	Tol.	: 0.500
Amend.stat.	:	Gage Manu.	:	Unit	: mm
		Resolution	: 0,015		

i	x_i	i	x_i	i	x_i
1	0,003	11	0,007	21	0,001
2	0,004	12	0,003	22	0,004
3	0,002	13	0,002	23	0,004
4	0,007	14	0,002	24	0,002
5	0,003	15	0,008	25	0,004
6	0,006	16	0,002		
7	0,003	17	0,002		
8	0,011	18	0,000		
9	0,001	19	0,005		
10	0,003	20	0,003		





Drawing Values			Collected Values			Statistics		
x_m+0.1×T	=	0.05000	$x_{max\,g}$	=	0.011	$\bar{x}_g$+3s_g	=	0.01097
x_m	=	0.00000	|Bi|	=	0.0036714	$\bar{x}_g$	=	0.00367
x_m-0.1×T	=	-0.05000	$x_{min\,g}$	=	0.000	$\bar{x}_g$-3s_g	=	-0.00363
0.2×T	=	0.10000	R_g	=	0.011	6s_g	=	0.01460
T	=	0.500	n_{tot}	=	25	s_g	=	0.00243
Unit	=	mm						

Test for Bias		Test results : significant (α ≤ 0,1%)
		Minimum reference figure for capable measuring system
$C_g = \frac{0.2\times T}{6\times s_g}$	= 4.92 ≤ **6.85** ≤ 8.77 (0 — 1.33)	$T_{min\,(C_g)}$ = 0.0971
$C_{gk} = \frac{0.1\times T - \lvert \bar{x}_g - x_m \rvert}{3\times s_g}$	= 4.55 ≤ **6.35** ≤ 8.15 (0 — 1.33)	$T_{min\,(C_{gk})}$ = 0.134
Resolution %RE = 3.00%	(0 — 5)	$T_{min\,(\%RE)}$ = 0.300

Ilustración 51 Resultados Cg, CgK sobre el Pin 10 de la pieza de Verificación

Se puede observar que se cumple el CgK para la medida de todos los pines. Esto quiere decir que el sistema es capaz de medir con precisión las medidas de desviaciones en X, Y y altura de pines y, además, repetitivo, la misma pieza mide prácticamente lo mismo todas las veces (25 repeticiones) que se mida con el sistema de visión.

2- GRR.

Adicionalmente, se realizó un segundo estudio de viabilidad mucho más restrictivo.
En este caso se realizó lo que se conoce como GRR para garantizar que el sistema es repetitivo y reproducible.

Este estudio consiste en medir 2 veces, con el sistema de visión, la desviación de los pines con 25 piezas diferentes de uno de los catálogos de productos enseñados para la linea. En este caso, el estudio fue realizado por una sola persona, por lo que para el cálculo del GRR se tendrá en cuenta que solo intervino un operario.

Estadísticamente, el GRR [8] viene definido de la siguiente manera:

1- Determinar el rango medio del total de medidas de cada uno de los operarios (A, B y C):

$$\overline{\overline{R}}=\frac{\overline{R}_A+\overline{R}_B+\overline{R}_C}{3}$$

2- Calcular la diferencia del rango de medias de los operarios, es decir, máxima media de las medidas y mínima media de las medidas.

$$\overline{X}_{DIFF}=\overline{X}_{App\ Max}-\overline{X}_{App\ Min}$$

3- Rango de las medias de los valores de las piezas más extremos:

$$R_p=\overline{X}_{Part\ Max}-\overline{X}_{Part\ Min}$$

4- Equipment Variation.

$$EV=K_1\overline{\overline{R}}$$

Donde K1 es el factor del número de “trials” realizados en el GRR. En este caso, se han realizado 2 trials por lo que K1=0.8862.

5- Appraiser Deviation.

Al poder realizarse esta prueba de GRR entre varios operarios, se debe calcular la desviación entre realizarlo un operario u otro.

$$AV=\sqrt{(\bar{X}_{DIFF}K_2)^2-\frac{EV^2}{nr}}$$

Si solo fue realizada la prueba por un operario, AV=0.

6- GRR (Repetibilidad y Reproducible).

$$GRR=\sqrt{EV^2+AV^2}$$

- **Resultados Obtenidos de GRR:**

GRR en la Desviación X:

Para el cálculo de la Desviación de los pines en eje X *(Ilustración 52)*, se utiliza una Tolerancia de 0.8mm (+-0,4mm).

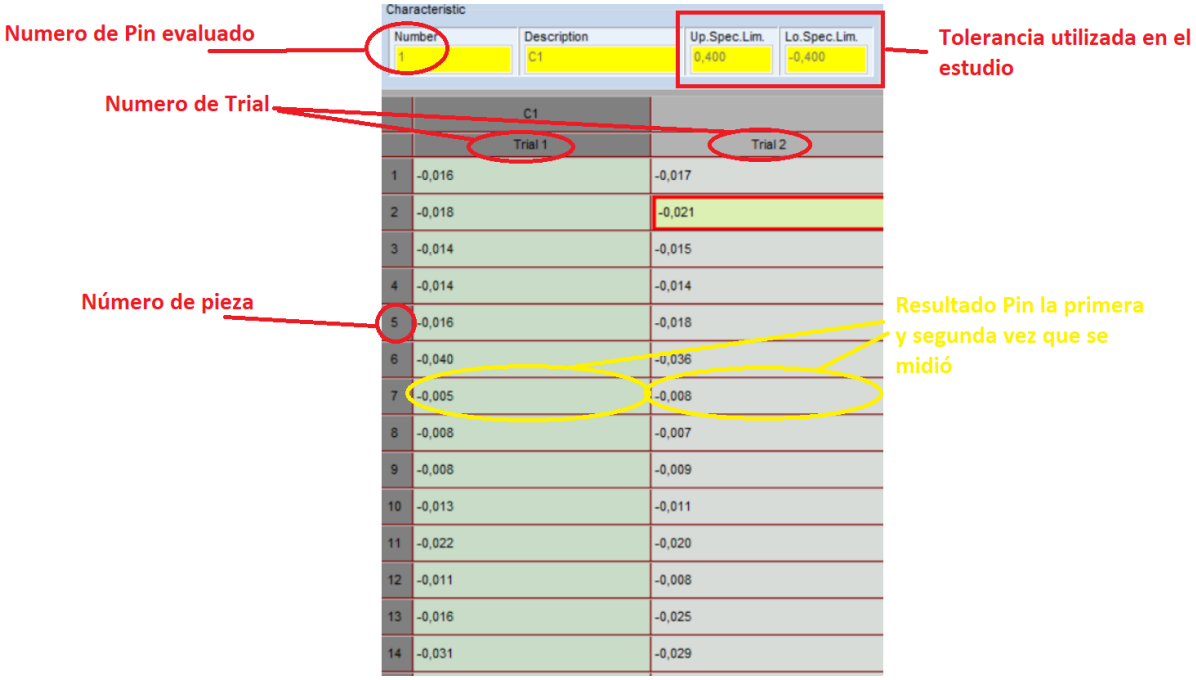


Ilustración 52 Ejemplo Valores Pin 1 para el cálculo del GRR en Desviación X

Se obtienen los siguientes resultados *(Ilustración 53)* de cada uno de los pines ordenados de peor resultado a mejor.

Char.No.	Char.Descr.	T	Unit	n_{tot}	$x_{min\,g}$	$x_{max\,g}$	R_g	$\bar{x}_g$	%GRR	Overall evaluati
33	C33	0.800	mm	50	2.489	2.554	0.066	2.54202	7.22%	
24	C24	0.800	mm	50	-0.030	0.016	0.046	-0.01721	4.12%	
34	C34	0.800	mm	50	2.531	2.554	0.024	2.54373	2.78%	
36	C36	0.800	mm	50	2.509	2.563	0.054	2.53293	2.57%	
26	C26	0.800	mm	50	-0.055	-0.020	0.035	-0.03488	2.49%	
4	C4	0.800	mm	50	-0.001	0.020	0.020	0.00962	2.36%	
11	C11	0.800	mm	50	2.500	2.533	0.033	2.51838	2.33%	
35	C35	0.800	mm	50	2.511	2.552	0.041	2.53685	2.30%	
15	C15	0.800	mm	50	2.520	2.539	0.019	2.53022	2.29%	
7	C7	0.800	mm	50	0.010	0.043	0.033	0.02520	2.19%	
17	C17	0.800	mm	50	2.529	2.571	0.042	2.54317	2.15%	
25	C25	0.800	mm	50	-0.044	-0.010	0.034	-0.02487	2.14%	
5	C5	0.800	mm	50	0.006	0.024	0.018	0.01397	2.06%	
13	C13	0.800	mm	50	2.507	2.535	0.027	2.52274	2.03%	
16	C16	0.800	mm	50	2.531	2.552	0.020	2.54083	2.02%	
18	C18	0.800	mm	50	2.544	2.583	0.039	2.55734	2.02%	
27	C27	0.800	mm	50	-0.051	-0.011	0.040	-0.02927	1.98%	
14	C14	0.800	mm	50	2.517	2.533	0.016	2.52398	1.97%	
9	C9	0.800	mm	50	0.014	0.055	0.041	0.03002	1.96%	
29	C29	0.800	mm	50	2.546	2.581	0.034	2.56284	1.96%	
6	C6	0.800	mm	50	0.010	0.030	0.020	0.01896	1.93%	
22	C22	0.800	mm	50	-0.008	0.017	0.025	0.00391	1.93%	
8	C8	0.800	mm	50	0.015	0.055	0.040	0.02784	1.92%	
23	C23	0.800	mm	50	-0.014	0.008	0.022	-0.00517	1.85%	
30	C30	0.800	mm	50	2.549	2.581	0.032	2.56205	1.84%	
20	C20	0.800	mm	50	-0.006	0.032	0.037	0.00877	1.78%	
31	C31	0.800	mm	50	2.543	2.564	0.021	2.55204	1.77%	
12	C12	0.800	mm	50	2.510	2.536	0.026	2.52228	1.77%	
2	C2	0.800	mm	50	-0.039	0.007	0.046	-0.01366	1.76%	
1	C1	0.800	mm	50	-0.040	-0.003	0.037	-0.01443	1.76%	
21	C21	0.800	mm	50	0.000	0.030	0.030	0.01063	1.73%	
3	C3	0.800	mm	50	-0.020	0.011	0.031	0.00071	1.70%	
19	C19	0.800	mm	50	-0.025	0.016	0.041	-0.01013	1.63%	
28	C28	0.800	mm	50	2.542	2.587	0.045	2.56723	1.63%	
32	C32	0.800	mm	50	2.540	2.560	0.021	2.55172	1.63%	
10	C10	0.800	mm	50	2.494	2.519	0.025	2.50964	1.58%	

Ilustración 53 Resultados GRR en desviación X de todos los pines

GRR en la Desviación en Y:

Para el cálculo de la Desviación de los pines en eje Y *(Ilustración 54)*, se utiliza una Tolerancia de 0.8mm (+-0,4mm).

Char.No.	Char.Descr.	T	Unit	n_{ist}	$x_{min\,g}$	$x_{max\,g}$	R_g	$\bar{x}_g$	%GRR	Overall evaluat
33	C33	0.800	mm	50	53.273	53.322	0.049	53.30579	4.81%	
18	C18	0.800	mm	50	20.321	20.354	0.033	20.33619	2.84%	
16	C16	0.800	mm	50	15.248	15.271	0.023	15.25983	2.66%	
29	C29	0.800	mm	50	43.098	43.129	0.031	43.11379	2.51%	
19	C19	0.800	mm	50	40.558	40.587	0.030	40.57388	2.43%	
20	C20	0.800	mm	50	43.102	43.124	0.023	43.11198	2.39%	
28	C28	0.800	mm	50	40.545	40.587	0.042	40.56654	2.38%	
4	C4	0.800	mm	50	7.592	7.619	0.027	7.60352	2.32%	
26	C26	0.800	mm	50	58.388	58.412	0.024	58.40085	2.30%	
34	C34	0.800	mm	50	55.833	55.866	0.033	55.84792	2.29%	
17	C17	0.800	mm	50	17.796	17.820	0.024	17.80902	2.29%	
8	C8	0.800	mm	50	17.787	17.815	0.028	17.79821	2.20%	
5	C5	0.800	mm	50	10.160	10.187	0.027	10.17162	2.19%	
30	C30	0.800	mm	50	45.640	45.675	0.035	45.65804	2.17%	
1	C1	0.800	mm	50	-0.022	0.007	0.029	-0.00792	2.16%	
3	C3	0.800	mm	50	5.064	5.088	0.023	5.07578	2.14%	
7	C7	0.800	mm	50	15.255	15.273	0.018	15.26326	2.13%	
24	C24	0.800	mm	50	53.308	53.329	0.021	53.31551	2.12%	
12	C12	0.800	mm	50	5.062	5.086	0.023	5.07699	2.09%	
13	C13	0.800	mm	50	7.608	7.638	0.030	7.62319	2.09%	
36	C36	0.800	mm	50	60.888	60.926	0.038	60.91167	2.08%	
2	C2	0.800	mm	50	2.491	2.519	0.028	2.50198	2.05%	
35	C35	0.800	mm	50	58.378	58.403	0.025	58.38947	2.04%	
21	C21	0.800	mm	50	45.655	45.677	0.022	45.66447	1.97%	
25	C25	0.800	mm	50	55.850	55.870	0.020	55.86141	1.94%	
15	C15	0.800	mm	50	12.703	12.727	0.024	12.71393	1.91%	
32	C32	0.800	mm	50	50.742	50.767	0.025	50.75418	1.86%	
9	C9	0.800	mm	50	20.322	20.345	0.022	20.33480	1.84%	
27	C27	0.800	mm	50	60.919	60.950	0.031	60.93490	1.82%	
10	C10	0.800	mm	50	-0.019	0.016	0.035	-0.00310	1.82%	
14	C14	0.800	mm	50	10.160	10.180	0.020	10.16998	1.80%	
11	C11	0.800	mm	50	2.516	2.544	0.027	2.53184	1.69%	
23	C23	0.800	mm	50	50.757	50.776	0.018	50.76526	1.61%	
22	C22	0.800	mm	50	48.199	48.222	0.024	48.21052	1.48%	
31	C31	0.800	mm	50	48.198	48.231	0.033	48.21473	1.44%	
6	C6	0.800	mm	50	12.692	12.713	0.020	12.69997	1.38%	

Ilustración 54 Resultados GRR en desviación Y de todos los pines.

GRR en la Desviación de las alturas de los pines:

Para el cálculo de la Desviación de los pines en altura, se utiliza una Tolerancia más pequeña *(Ilustración 55)* de 0.4mm (+-0.2 mm) y, por tanto, mucho más restrisctiva que en el eje X e Y. A pesar de utilizarse una tolerancia más ajustada en el cálculo de la altura, los resultados son muy prometedores *(Ilustración 56)*.

Number	Description	Up.Spec.Lim.	Lo.Spec.Lim.
22	22.0000000000	0,200	-0,200

	22.0000000000	
	Trial 1	Trial 2
1	-0,033	-0,038
2	-0,042	-0,046
3	-0,044	-0,049
4	-0,027	-0,035
5	-0,044	-0,047
6	-0,048	-0,045
7	-0,031	-0,027
8	-0,051	-0,050
9	-0,043	-0,052
10	-0,049	-0,044
11	-0,035	-0,039
12	-0,048	-0,051
13	-0,053	-0,053
14	-0,042	-0,044
15	-0,018	-0,026

Ilustración 55 Tolerancia de 0,4mm en Altura

Char.No.	Char.Descr.	T	Unit	n_{tot}	$x_{min\,g}$	$x_{max\,g}$	R_g	$\bar{x}_g$	%GRR	Overall evaluati
36	36.0000000000	0.400	mm	50	-0.121	-0.076	0.045	-0.09912	9.01%	
1	1.0000000000	0.400	mm	50	0.071	0.101	0.030	0.08770	8.75%	
27	27.0000000000	0.400	mm	50	-0.083	-0.038	0.045	-0.06212	8.63%	
2	2.0000000000	0.400	mm	50	0.051	0.097	0.046	0.07256	8.51%	
10	10.0000000000	0.400	mm	50	0.026	0.069	0.043	0.05245	8.48%	
35	35.0000000000	0.400	mm	50	-0.122	-0.088	0.034	-0.10203	8.23%	
26	26.0000000000	0.400	mm	50	-0.082	-0.037	0.045	-0.06134	8.08%	
3	3.0000000000	0.400	mm	50	0.044	0.083	0.039	0.06770	7.62%	
34	34.0000000000	0.400	mm	50	-0.123	-0.089	0.033	-0.10308	7.40%	
4	4.0000000000	0.400	mm	50	0.042	0.074	0.033	0.05943	7.02%	
33	33.0000000000	0.400	mm	50	-0.113	-0.080	0.033	-0.09662	7.00%	
25	25.0000000000	0.400	mm	50	-0.084	-0.051	0.033	-0.06748	6.89%	
11	11.0000000000	0.400	mm	50	0.017	0.054	0.037	0.03729	6.73%	
5	5.0000000000	0.400	mm	50	0.039	0.066	0.027	0.05777	6.49%	
24	24.0000000000	0.400	mm	50	-0.076	-0.044	0.032	-0.06053	6.40%	
12	12.0000000000	0.400	mm	50	0.007	0.042	0.036	0.02793	6.14%	
23	23.0000000000	0.400	mm	50	-0.072	-0.038	0.034	-0.05648	5.66%	
6	6.0000000000	0.400	mm	50	0.042	0.074	0.032	0.06032	5.59%	
31	31.0000000000	0.400	mm	50	-0.086	-0.058	0.028	-0.07075	5.46%	
14	14.0000000000	0.400	mm	50	0.003	0.037	0.035	0.02314	5.36%	
13	13.0000000000	0.400	mm	50	-0.003	0.033	0.037	0.01951	5.33%	
32	32.0000000000	0.400	mm	50	-0.102	-0.072	0.030	-0.08595	5.19%	
22	22.0000000000	0.400	mm	50	-0.057	-0.018	0.039	-0.04375	4.89%	
7	7.0000000000	0.400	mm	50	0.052	0.084	0.033	0.06924	4.71%	
8	8.0000000000	0.400	mm	50	0.053	0.086	0.032	0.07192	4.54%	
30	30.0000000000	0.400	mm	50	-0.061	-0.036	0.025	-0.05046	4.54%	
21	21.0000000000	0.400	mm	50	-0.043	-0.009	0.034	-0.03346	4.53%	
17	17.0000000000	0.400	mm	50	0.042	0.066	0.024	0.05271	4.27%	
15	15.0000000000	0.400	mm	50	0.014	0.039	0.025	0.02756	4.24%	
18	18.0000000000	0.400	mm	50	0.056	0.082	0.026	0.07046	3.66%	
29	29.0000000000	0.400	mm	50	-0.037	-0.008	0.029	-0.02135	3.34%	
16	16.0000000000	0.400	mm	50	0.023	0.049	0.026	0.03588	3.25%	
19	19.0000000000	0.400	mm	50	0.011	0.041	0.030	0.02136	3.24%	
9	9.0000000000	0.400	mm	50	0.087	0.112	0.024	0.09883	3.12%	
28	28.0000000000	0.400	mm	50	-0.004	0.022	0.026	0.01019	2.83%	
20	20.0000000000	0.400	mm	50	-0.017	0.006	0.024	-0.00944	2.70%	

Ilustración 56 Resultados GRR en Altura de todos los pines.

Se han obtenido unos resultados muy satisfactorios tanto con el estudio de CGK como de GRR, este último con unos valores muy prometedores al estar todos los pines medidos por debajo del 10% de GRR hasta en la desviación de alturas que podemos llegar a utilizar en nuestro sistemas tolerancias de 0.4 mm.
Estos resultados nos aportan seguridad a la hora de utilizar un sistema de visión estereoscópico como el seleccionado y desarrollado con la cámara Chromasens y, además, a su vez es flexible a la hora de enseñar nuevos conectores con pines siempre que estén dentro del campo de visión de la cámara utilizada.

d. TRABAJOS FUTUROS.

Tras la finalización del desarrollo del programa para la medición de las desviaciones en X, Y y Z de pines en la fabricación de conectores industriales, se plantea la idea de utilizar este mismo sistema en otras aplicaciones y en la posibilidad de continuar desarrollando en sistemas de visión 3D con bajo coste.
Aplicaciones futuras:

1. *Verificación soportes mecánicos de piezas:*

Por un lado, el sistema estereoscópico explicado anteriormente en el Trabajo de Fin de Máster, además de utilizarse en la medición precisa de pines, también se puede utilizar como verificador para la detección de problemas mecánicos en las estructuras que sujetan piezas para el desarrollo industrial y que requieren un alto nivel de precisión en la colocación de las piezas.
En esta visión estereoscópica, se utiliza un sistema de captura de imágenes con una cámara Chromasens, la cuál se moverá sobre un eje para realizar el escaneo de las piezas.
Con esta premisa, todo lo que este en su campo de visión y en su rango de enfoque, podrá ser medido en altura.
Por este motivo, no solo se puede utilizar para medir con precisión desviaciones en medidas de pines sino también para detectar desnivelaciones en los soportes que sujetan piezas de fabricación industrial que requieren alta estabilidad *(Ilustración 57)*. Con esta detección de problemas mecánicos en los soportes o “holders” de las piezas, se podrá actuar sobre ellos para modificarlos antes de tener problemas en los procesos que se hagan sobre las piezas.
En la siguiente imagen se puede observar como en la imagen disparidad se puede medir que en el eje Y del conector hay una desviación entre las dos esquinas de >2 mm, por lo que la pieza no está totalmente plana *(Ilustración 58)*.
Esto nos permite modificar el soporte de la pieza para corregir esta desviación y prevenir problemas en los procesos de la línea, como en el ejemplo descrito anteriormente:

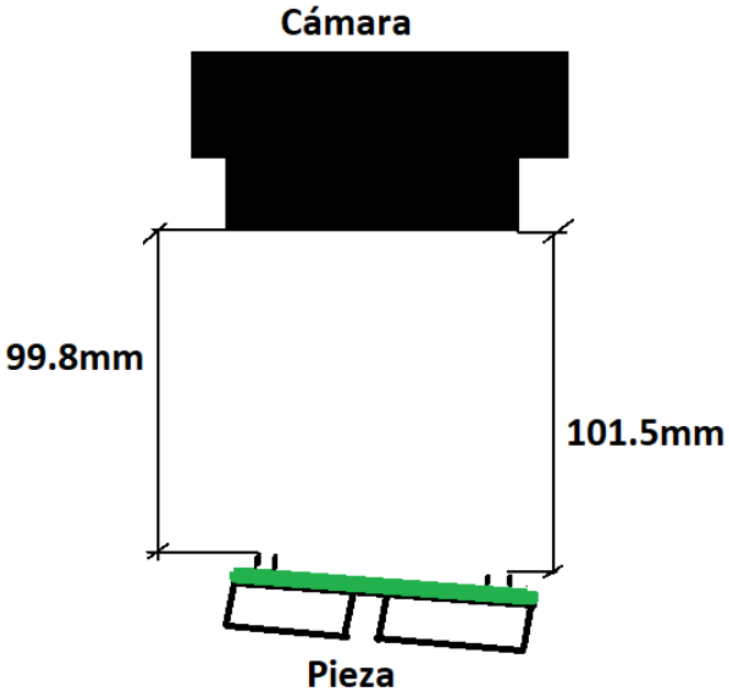


Ilustración 57 Cámara estereoscópica para medir desniveles mecánicos.

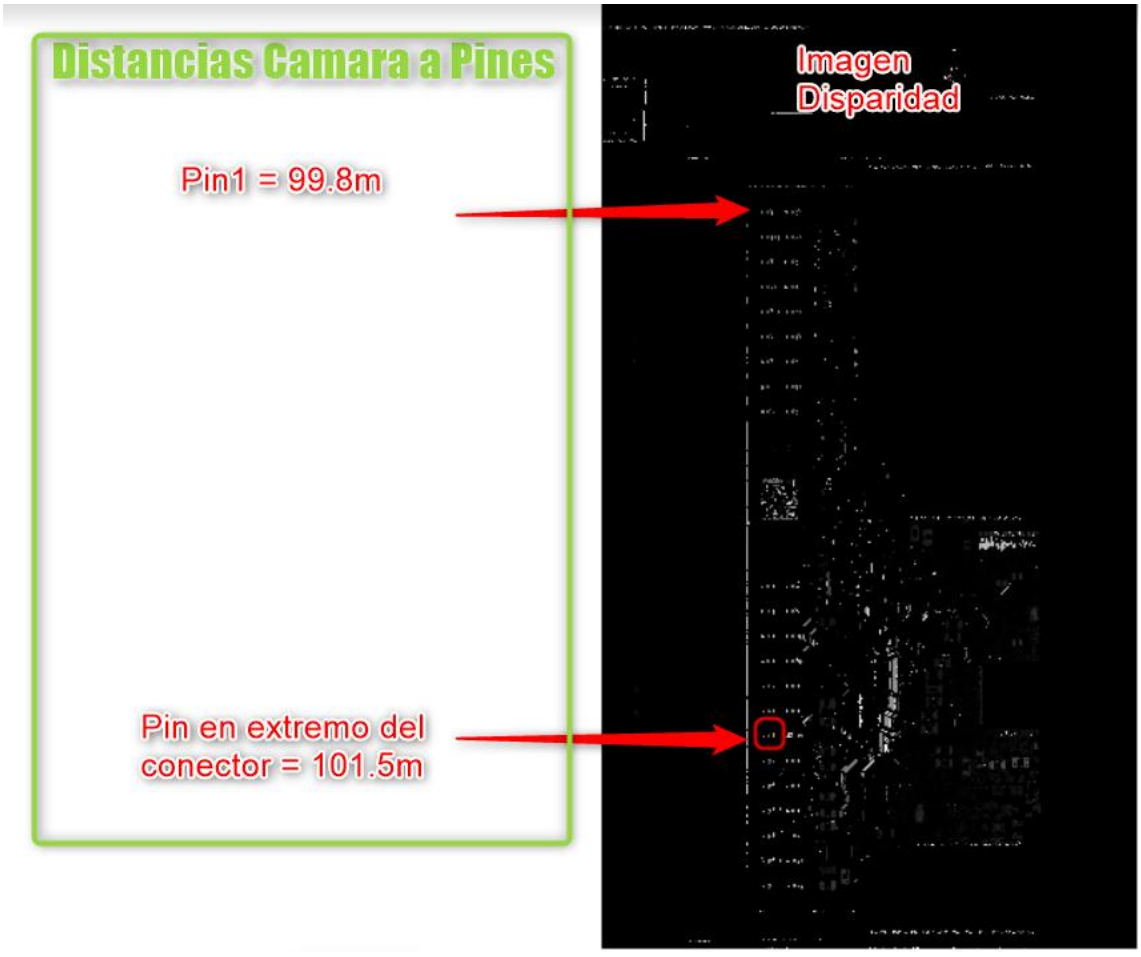


Ilustración 58 Detección problema mecánico con cámara estereoscópica.

2. *Reducción coste hardware.*

Otro de los puntos que se pretende mejorar en el sistema estereoscópico actual, es la optimización del coste de la cámara. Actualmente, la cámara estereoscópica actual nos permite tener una resolución más que suficiente pero el coste es bastante elevado.
La idea de este sistema de medición de pines en altura es poder ser vendido al máximo número de clientes posible. Para ello, se debe ser más competitivo en el precio.
Por este motivo, se pretende reducir el coste de la cámara e iluminación, ya que suponen un incremento bastante alto sobre el precio final. Para ello, se pretende realizar el mismo sistema de visión estereoscópica utilizando dos cámaras individuales y que ofrezcan la posibilidad de acquirir imágenes de forma asíncrona de tipo Line Scan, como en Chromasens, para poder capturar imágenes mientras se está moviendo las cámaras en el eje sobre la pieza para, a continuación, reconstruir la imagen capturada.

3. *Mejora del sistema de visión para la medición del valor real en altura de los pines*.

El sistema desarrollado en este Trabajo de Fin de Máster, se centra en la medición de desviaciones en X, Y y Z con mucha precisión. Estas medidas de desviación se realizan comparando la altura que deberían tener los pines de una pieza nominal con la altura actual de una pieza calculada midiendo la distancia desde la punta de los pines a la cámara.
Esta forma de medir comparando con el valor nominal, se debe a que por especificaciones de cliente se requiere ser capaces de detectar desviaciones muy pequeñas con tolerancias muy bajas. Por este motivo, la cámara utilizada Chromasens ofrece la resolución requerida pero tiene mucha resolución en un rango focal pequeño, unos 2.6 mm. Esto impide el poder medir la altura total de los pines en la mayoría de catálogos, desde la base del conector hasta la punta del pin, ya que para pines mayores de 4mm no se encuentra la base del pin en la focal de la cámara.
Para la mejora de este sistema de visión se podría trabajar en los siguientes desarrollos, a parte de la mejora de reducción del coste económico del punto 2.

BIBLIOGRAFÍA.

[1] E. R. Davies. Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities (4th Edition). 2012.

[2] Asim Bhatti. Stereo Vision and Wavelets/Multiwavelets Analysis: 3D Reconstruction Using Wavelets/Multiwavelets Theory and Stereo Vision. 2009.

[3] P Munro, Antony P. Gerdelan. Stereo Vision Computer Depth Perception. Citeseerx. 2006.

[4] Cristian Daniel Ortega, Fernando Ernesto Moyano. Técnicas de Implementación de Visión Estereoscópica en Robótica. 16o Concurso de Trabajos Estudiantiles, EST 2013.

[5] José Miguel Guerrero Hernández, Gonzalo Pajares Martinsanz, and María Guijarro Mata-García. Técnicas de procesamiento de imágenes estereoscópicas. 2011.

[6] Brandou et Al. 3D Reconstruction of Natural Underwater Scenes Using the Stereovision System IRIS. Department of Physical Resources and Deep-Sea Ecosystems. 2007.

[7] Cg CgK Statistic methods. 2018.

https://support.minitab.com/en-us/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/how-to/gage-study/type-1-gage-study/methods-and-formulas/methods-and-formulas/

[8] GRR Statistic methods, 2018.

https://www.spcforexcel.com/knowledge/measurement-systems-analysis/variable-measurement-systems-part-4-gage-rr

Listado siglas, abreviaturas y acrónimos.

OMS: Omni-directional Multi-camera System. Sistemas utilizados en Visión Artificial para la captura y evaluación de imágenes de aplicaciones que utilizan multiples cámaras.

2D: Dos dimensiones. Se hace referencia al nombrar visiones utilizadas para analizar dos dimensiones.

3D: Tres dimensiones. Se hace referencia al nombrar visiones utilizadas para analizar tres dimensiones.

RS232: Interfaz que designa una norma para el intercambio de datos binarios serie entre un “Equipo Terminal de Datos” y un “Equipo de Comunicación de Datos”.

CG: Estudio de capacidad.

CgK: Estudio de repetibilidad.

GRR: Estudio repetitividad y reproducibilidad.