



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ



DEPARTAMENTO DE METAL-MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA

REPORTE DE RESIDENCIA PROFESIONAL

TEMA:

PROTOTIPO PARA PRUEBAS BIAXIALES
EN MATERIALES POLIMÉRICOS

ASESOR INTERNO:

M.C. OSVALDO BRINDIS VELÁZQUEZ

ASESOR EXTERNO:

DR. EDGAR RIVAS ARAIZA

PRESENTA:

CÉSAR GUADALUPE HERNÁNDEZ BAUTISTA

NÚMERO DE CONTROL:

10270782

RESUMEN

RESUMEN

Los extensómetros son ampliamente usados para la caracterización de propiedades elásticas en distintos tipos de materiales. Dependiendo del tipo de material a examinar se emplean diferentes estrategias para medir la deformación. En este trabajo se presenta el desarrollo e implementación de un algoritmo de visión por computadora para un video extensómetro, capaz de medir desplazamiento y deformación sin contacto en materiales poliméricos. Se describe el hardware necesario y se introduce un algoritmo de visión por computadora empleando el conjunto de herramientas de procesamiento de imágenes de LabVIEW. El desempeño del método se ilustra mediante algunos ejemplos experimentales.

INDICE GENERAL

RESUMEN	i
INDICE DE FIGURAS	iii
INDICE DE TABLAS	iv
CAPITULO I: OBJETIVOS.....	1
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	1
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	1
CAPITULO II: INTRODUCCIÓN.....	2
CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO	3
3.1. POLÍMEROS	3
3.1.1. Clasificación de los polímeros	3
3.2. ELASTÓMEROS	5
3.3. HIPERELASTICIDAD	5
3.4. EXTENSOMETRÍA	7
3.5. EXTENSÓMETROS.....	7
3.5.1. Extensómetros mecánicos	8
3.5.2. Extensómetro óptico	9
3.5.3. Extensómetro eléctrico	10
3.6. VISIÓN ARTIFICIAL	11
3.7. TIPOS DE IMÁGENES DIGITALES.....	13
3.7.1. Imagen Escala de Grises	13
3.7.2. Imagen Binaria.....	13
3.7.3. Imagen a Color	13
3.7.4. Imagen Compleja.....	13
3.8. TIPOS DE ILUMINACIÓN	13
3.8.1. Lámparas de tungsteno.....	14
3.8.2. Lámparas fluorescentes	14
3.8.3. Lámparas halógenas.....	15
3.8.4. Lámparas de diodos	15

PROTOTIPO DE PRUEBAS BIAXIALES PARA CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES POLIMÉRICOS

3.9.	TÉCNICAS DE ILUMINACIÓN	16
3.9.1.	Iluminación frontal	16
3.9.2.	Iluminación lateral.....	16
3.9.3.	Iluminación frontal uniaxial difusa	17
3.9.4.	Iluminación coaxial.....	17
CAPÍTULO IV: PROCEDIMIENTO		18
4.1.	DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO	18
4.2.	CONEXIÓN DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS	18
4.3.	ADQUISICIÓN DE IMAGEN.....	20
4.4.	REGIÓN DE INTERÉS	22
4.5.	UMBRALIZACIÓN	23
4.6.	PROCESO MORFOLÓGICO	23
4.7.	ANÁLISIS DE PARTÍCULAS	25
4.7.1.	Centro de masa	27
4.8.	BUSQUEDA DE OBJETOS.....	27
4.9.	CALIBRACIÓN.....	29
4.10.	BASE DE DATOS	31
4.10.1.	Almacenamiento de datos en un archivo.	31
4.10.2.	File dialog	32
4.10.3.	Almacenamiento de resultados (Spreadsheets)	33
4.10.4.	Write measurement file	33
CAPÍTULO V: RESULTADOS.....		36
BIBLIOGRAFÍA.....		41

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento típico de un material hiperelástico.....	6
Figura 2. Probeta con marcas de referencia a distancias conocidas.	7
Figura 3 Extensómetro Huggenberger	8
Figura 4 Relojes comparadores.....	9
Figura 5 Video extensómetros	9
Figura 6 Extensómetro a espejo o de martens	10
Figura 7 Extensómetro inductivo	10
Figura 8 Prototipo uniaxial.....	11
Figura 9 Proceso básico en un sistema de visión	12
Figura 10 Bombilla Incandescente	14
Figura 11 Lámparas fluorescentes	14
Figura 12 Lámpara Halógena.....	15
Figura 13 Lámparas de diodos	15
Figura 14 Iluminación tipo dirección frontal.....	16
Figura 15 Iluminación lateral.....	16
Figura 16 Iluminación frontal axial difusa	17
Figura 17 Iluminación coaxial.....	17
Figura 18 Calidad de datos base, media y completa de la cámara	18
Figura 19 Calidad de datos base, media y completa de la tarjeta	19
Figura 20 20 Interfaz entre puertos base cámara-tarjeta.....	19
Figura 21 Extensómetro óptico mediante cámara CCD y ordenador	20
Figura 22 Algoritmo base de adquisición de imágenes.....	21
Figura 23 Imagen adquirida por el sistema de visión.....	22
Figura 24 Seleccionando la región de interés, (a) imagen completa y (b) imagen recortada	22
Figura 25 Imagen umbralada, (a) mal umbralado y (b) umbralización óptima.	23
Figura 26 Erosión (a) – Dilatación (b)	24
Figura 27 Reconstrucción morfológica.....	25
Figura 28 Plantilla de calibración	25
Figura 29 Análisis de partículas con imagen binaria	26
Figura 30 Análisis de partículas con escala de grises invertida.....	26
Figura 31 Bloque de funciones para análisis de partículas	27
Figura 32 Conteo desordenado de objetos.....	28
Figura 33 Eje de coordenadas	28
Figura 34 Orden y posición fija de objetos.....	29
Figura 35 Abrir, escribir y cerrar archivo de texto	32
Figura 36 Ruta donde se guardará el archivo usando File dialog.....	32
Figura 37 Ejemplo del guardado de resultados con Spreadsheets	33

Figura 38 Write to measurement file.....	34
Figura 39 Almacenamiento de Coordenadas de acuerdo a los FPS de la cámara.....	35
Figura 40 Sistema de visión por computadora para video extensómetro implementado con LabView.	36
Figura 41 Imagen procesada donde se aprecian las coordenadas en pixeles de los centroides en cada marca	37
Figura 42 Gráfica deformación (mm)–tiempo (s) entre dos marcas de la probeta	37
Figura 43 Deformación biaxial.....	38
Figura 44 Interfaz de usuario	39
Figura 45 Archivo *.txt de un experimento medidas de deformación	40

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Equivalencias entre medidas reales y otorgadas por el sistema.....	30
Tabla 2 Resultados.	31

CAPITULO I: OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar e implementar un algoritmo capaz de medir la deformación y desplazamiento que sufre el material polimérico hiperelástico cuando fuerzas externas alteran su forma inicial mediante puntos de referencia a través de visión por computadora.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Crear un algoritmo capaz de reconocer puntos de referencia sobre un material para medir distancias entre ellos cuando el polímero es deformado.

Diseñar una interfaz amigable con el usuario.

CAPITULO II: INTRODUCCIÓN

Los extensómetros son instrumentos empleados para medir variaciones en la longitud de un objeto que son causadas por la aplicación o remoción de una fuerza. Dichas variaciones pueden ser tan pequeñas que el ojo humano por sí solo no es capaz de identificarlas, o lo suficientemente grandes que se pueden visualizar claramente. Por lo tanto la extensometría es la práctica de medir dichas variaciones con precisión y es usado ampliamente para pruebas de deformación de materiales.

Los extensómetros se pueden clasificar en dos tipos: de contacto o sin contacto; la primera categoría incluye los extensómetros tipo clip y los de brazo sensor. Los extensómetros de contacto presentan inconvenientes cuando se trabaja con materiales suaves o de dimensiones reducidas que dificulta la fijación de los clips o cuchillas de contacto. Por otro lado, los extensómetros sin contacto emplean métodos ópticos como cámaras digitales de alta velocidad o dispositivos láser para medir el desplazamiento y son particularmente adecuados para pruebas en materiales poliméricos suaves [1].

Los video extensómetros basados en cámaras digitales se posicionan como una metodología emergente para medición de deformación sin contacto, este tipo de instrumentos capturan y analizan una imagen digital de la superficie del espécimen [2]. La propiedad de medición sin contacto de los video extensómetros permite realizar pruebas sobre materiales suaves, con muestras pequeñas y en ambientes complicados, además el rango de deformación no está limitado, de tal manera que también puede usarse para medir grandes deformaciones. Una desventaja de este tipo de equipo es el alto costo lo cual restringe el uso de este tipo de instrumentos, un video extensómetro consiste básicamente de una computadora y una cámara digital, donde la complejidad radica en la configuración de la cámara y la implementación de los algoritmos para análisis de imágenes.

En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un sistema de procesamiento de imágenes para aplicación en extensometría de materiales poliméricos. Se establece los requerimientos de hardware y se presenta un algoritmo de procesamiento de imagen adecuado para detectar marcas de pintura en la superficie del material para medir su desplazamiento y deformación.

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

3.1. POLÍMEROS

Los polímeros son moléculas de gran tamaño constituidas por eslabones orgánicos denominados monómeros, formados principalmente por átomos de carbono y pueden poseer grupos laterales o radicales con uno o más átomos unidos mediante enlaces covalentes. Estas moléculas orgánicas son las que constituyen los materiales plásticos que conocemos y también los tejidos de los seres vivos (piel, músculos, tela de araña, seda, etc.).

La constitución molecular determina de forma inequívoca de la identidad de un polímero y comprende la constitución química, la arquitectura de la molécula y la configuración.

Una molécula de polímero consiste en una cadena ininterrumpida de átomos (esqueleto o cadena principal) a la que por lo general, se unen a otros o grupos de átomos (grupos laterales). El segmento de cadena que con tamaño mínimo puede representar exactamente la estructura del polímero, se conoce como unidad constitucional repetitiva (UCR). Los extremos de la cadena principal se apartan de la constitución química del polímero pero por lo general se ignora su existencia y sólo se toma consideración cuando las cadenas contienen un número moderado de UCR.

3.1.1. Clasificación de los polímeros

Según el origen:

- Polímeros Naturales: Son los que se pueden presentar en la naturaleza como: la celulosa, el caucho, las resinas, entre otros.
- Polímeros semisintéticos: Son los obtenidos por la transformación química de los polímeros naturales, sin que se destruya de modo apreciable su naturaleza macromolecular. Ej: la seda artificial obtenida a partir de la celulosa.
- Polímeros Sintéticos: Son los que se obtienen por vía puramente sintética a partir de sustancias de bajo peso molecular. Ej: el Nylon.

Según la estructura molecular:

Polímeros lineales: La molécula está constituida por una cadena de la que sólo cuelgan los grupos laterales, los cuales ya estaban presentes en el monómero.

- Polímeros ramificados: Existen cadenas más o menos largas, en mayor o en menor frecuencia, que emergen de manera aleatoria de la cadena principal.
- Polímeros entrecruzados: Son polímeros ramificados en los que las ramas entrelazan las cadenas unas con otras, de manera que todo el conjunto puede concebirse como una sola macromolécula de tamaño limitado.

Según las reacciones de formación:

- Polímeros de adición: Son polímeros cuyas macromoléculas se han formado por unión de moléculas monómeras no saturadas. Ej: el polietileno.
- Polímeros de condensación: Son polímeros cuyo enlace entre las macromoléculas son multifuncionales, con separación de algún producto de bajo peso molecular. Ej: Nylon, las proteínas.
- Polímeros poliaductos: Son aquellos cuyo enlace entre las macromoléculas son multifuncionales, sin separación de moléculas sencillas. Ej: poliuretanos y resinas.

Según la composición química de la cadena principal:

- Polímeros homocadena: Son aquellos en los que la cadena principal no contiene heteroátomos. Dentro de este grupo de polímeros, se distinguen cinco familias principales: las poliolefinas, los Poliestirénicos, los insaturados (polienos), los polivinilos y los poliacrílicos.
- Polímero heterocadena: En esta clase de polímeros (que contienen heteroátomos en la cadena principal) hay tantas familias como funciones químicas, distinguiéndose en cada caso los tipos AB y A-AB-B según que las funciones complementarias de los monómeros estén sobre la misma molécula o no.

Según sus propiedades físicas

- Termoestables: Son polímeros que no se pueden fundir a través de un proceso de calentamiento simple, puesto que su masa es tan dura que necesita temperaturas muy elevadas para sufrir algún tipo de destrucción.
- Elastómeros: Son polímeros que aunque pueden ser deformados, una vez que desaparece el agente que causó la pérdida de su forma pueden retomar a ella.
- Termoplásticos: Este es un tipo de polímeros que tienen facilidad para ser fundidos, y por lo tanto pueden ser moldeados. Si tienen una estructura regular y organizada, pertenecen a la subdivisión de los cristalinos, pero si su estructura es desorganizada e irregular, se considera amorfos.

Según su uso

- Plásticos “commodities”: Son plásticos de uso cotidiano, que se caracterizan por ser económicos y de consumo masivo.
- Plásticos “specialities”: Son plásticos destinados a aplicaciones más específicas y con un valor considerable.

3.2. ELASTÓMEROS

En el caso que nos concierne se estudiarán polímeros de tipo Elastómero también denominados cauchos o hules, tienen un comportamiento térmico que puede variar de termoplástico a termo rígido según su estructura. La clasificación se realiza en base a su comportamiento mecánico: se trata de materiales poliméricos que tienen la capacidad de deformarse mucho más que el 300% en forma elástica, por lo que, cuando se remueva la fuerza aplicada para estirarlos recuperan sus dimensiones originales. Esto se debe a que las largas cadenas poliméricas se encuentran enrolladas e idealmente podemos decir que, cuando se aplica un esfuerzo para estirar la muestra, las cadenas lineales se desenredan. Cuando se libera el esfuerzo las cadenas vuelven a enrollarse y el polímero regresa a su forma y tamaño original. Sin embargo, esto es sólo una idealización del comportamiento de las macromoléculas ya que las cadenas no sólo se desenrollan sino que también deslizan unas sobre otras, de modo que al eliminar el esfuerzo aplicado la deformación elástica (instantánea y reversible) pero puede quedar una deformación remanente (deformación plástica, debida al deslizamiento).

Algunos materiales como lo son los elastómeros, polímeros, gomas, neumáticos, calzado, mangueras, sellos, materiales biológicos (arterias, músculos, piel), aparatos destinados al aislamiento de la base de estructuras pueden estar sometidos a grandes deformaciones sin presentar deformación permanente, siendo clasificados como materiales hiperelásticos.

3.3. HIPERELASTICIDAD

La hiperelasticidad es la capacidad de un material para experimentar deformaciones grandes (aproximadamente 500% en tensión y 90% a compresión), sin perder sus propiedades originales [2].

El comportamiento típico de un material hiperelástico se muestra en la figura 1, la cual consta de tres fases, en primer lugar, el material muestra una pequeña deformación con un rango relativamente pequeño de esfuerzo debido a la

deformación elástica de las paredes celulares, en tercer lugar, una región de densificación se produce a altos esfuerzos por el aplastamiento de las paredes celulares, dando lugar a un rápido aumento del esfuerzo de compresión.

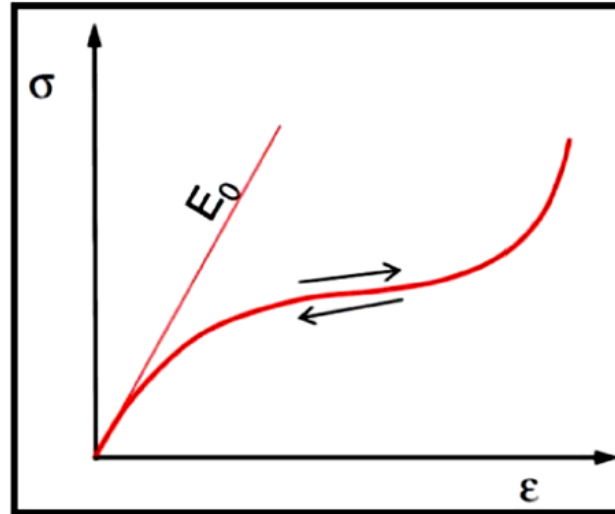


Figura 1. Comportamiento típico de un material hiperelástico

Comportamiento mecánico

Ensayo de Tracción

El ensayo mecánico más empleado para caracterizar la respuesta mecánica de un material es el de tracción. Entre las propiedades mecánicas que pueden medirse mediante un ensayo de tracción se destacan [3]:

1. Elongación
2. Rotura
3. Tensión de rotura

En la figura 2 se puede apreciar un material hiperelástico grado cinco utilizado en este tipo de pruebas. Las marcas que tiene este material sirven de referencia para poder medir la deformación que resiste antes de romperse o sin llegar a tal grado. Para saber la deformación que sufre este material, es necesario que la distancia entre centros de las marcas puestas en él sean conocidas y en base a eso poder medir la separación entre ellas antes y después de aplicarse fuerzas.



Figura 2. Probeta con marcas de referencia a distancias conocidas.

3.4. EXTENSOMETRÍA

La Extensometría es una técnica que estudia la deformación originada en un material. Su fundamento básico es la variación de la resistencia producida cuando un material se alarga o contrae.

Transductor

Transductores, el término en general, cualquier instrumento que permite que la energía fluya desde un sistema físico a otro, aunque su significado más restringido es el de un dispositivo en el que los cambios de una determinada magnitud física (presión, momento, fuerza, aceleración...) se transforman en señales eléctricas proporcionales a los citados cambios.

3.5. EXTENSÓMETROS

Los extensómetros son instrumentos de alta precisión capaces de medir deformaciones en sólidos. Las mediciones de las deformaciones pueden

realizarse de manera directa o indirecta. Los extensómetros son clasificados en extensómetros: mecánicos, ópticos, eléctricos [3].

3.5.1. Extensómetros mecánicos

Son aquellos que no sólo disponen de sistemas de palancas o barras para amplificar la deformación, sino que además poseen registradores a cuadrantes con escalas de lecturas directas o graduados arbitrariamente. Los más comunes son el extensómetro de Huggenberger (figura 3) y el extensómetro con reloj micrométrico y a palancas (figura 4).

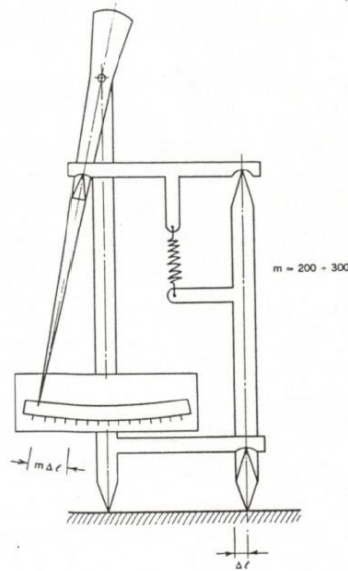


Figura 3 Extensómetro Huggenberger

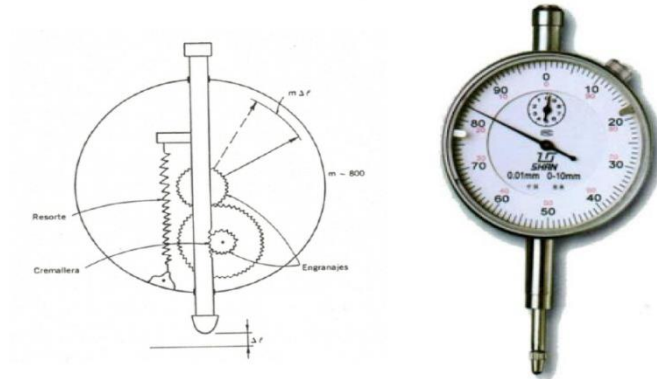


Figura 4 Relojes comparadores

3.5.2. Extensómetro óptico

Utilizan un sistema de iluminación para registrar el alargamiento de del espécimen analizado. Aunque existe una variedad de este sistema de visión, los más comunes son, el extensómetro a base de cámaras como el de la figura 5, o el extensómetro a espejo o de martens como el que se ilustra en la figura 6.



Figura 5 Video extensómetros



Figura 6 Extensómetro a espejo o de martens

3.5.3. Extensómetro eléctrico

Este tipo de extensómetros basan su principio de la variación de las propiedades eléctricas de un material en función de las deformaciones a las que se ve sometido. Pueden ser tres tipos: inductancia variable (figura 7), de capacidad variable o de resistencia óhmica variable. También existen extensómetros electrónicos.



Figura 7 Extensómetro inductivo

En el caso de estudio que nos concierne nos centraremos en el extensómetro óptico o también denominado video extensómetro utilizando un prototipo uniaxial que se ilustra en la figura 8, el cual con un sistema de visión se podrá medir la deformación que el material anteriormente mencionado y que se muestra en la figura 2 sufre cuando es tensado, mediante un adecuado procesamiento de imagen.



Figura 8 Prototipo uniaxial

3.6. VISIÓN ARTIFICIAL

La visión artificial es una técnicas basadas en la adquisición de imágenes, generalmente en dos dimensiones para su posterior procesamiento por ordenador con el fin de extraer y medir determinadas propiedades de la imagen adquirida con el objetivo de reconstruir sus propiedades geométricas como: forma y tamaño, propiedades de los materiales como: color y textura, para llegar a este fin, se necesita una serie de instrumentos y herramientas que permita generar distintos tipos de algoritmos capaces de llevar cabo dicho proceso con un único objetivo, obtener un sistema inteligente [4].

Existen múltiples aplicaciones de la visión artificial en la industria, sobre todo en la realización de tareas que tienen carácter repetitivo, entre las principales actividades están la inspección, selección de productos, control de calidad, embalaje y monitoreo de procesos.

El objetivo general de un sistema de visión artificial es obtener una descripción de una escena para extraer rasgos de interés para un correcto análisis e interpretación. El sistema de visión está conformado por diversos componentes, cada uno de ellos de vital importancia para el análisis y procesamiento de imágenes:

El proceso de visión artificial se compone básicamente de los siguientes elementos mostrados en la figura 9.



Figura 9 Proceso básico en un sistema de visión

- Ordenador: Es el encargado de hacer la interfaz entre cada uno de los instrumentos (hardware's y software) a emplear en este proceso. Analiza las imágenes capturadas por la cámara, para extraer la información de interés, implementando y ejecutando los algoritmos diseñados para la obtención de los objetos.
- Tarjeta de adquisición de imágenes: Es la interfaz entre la cámara y el ordenador, digitalizando y guardando en memoria la imagen adquirida.
- Cámara: Es el encargado de obtener las características del objeto bajo estudio y transferirlas a un sistema electrónico externo (Tarjeta de adquisición de imágenes, monitor).
- Lente: Controla la luz y el enfoque del exterior hacia el sensor de la cámara formando en él una imagen.
- Software: El algoritmo desarrollado en el Software de procesamiento de imágenes NI Visión para LabView, es la parte inteligente del sistema. Su misión consiste en aplicar las necesarias transformaciones y extracciones de información de las imágenes capturadas con el fin de obtener los resultados para los que haya sido diseñado.
- Iluminación: Es un componente que determina la calidad de la imagen adquirida para su posterior procesamiento.

3.7. TIPOS DE IMÁGENES DIGITALES

3.7.1. *Imagen Escala de Grises*

Está compuesta de un solo plano de píxeles dónde cada pixel es codificado usando uno de los siguientes números [5]:

- Un número entero sin signo de 8 bits representando valores de escala de grises entre 0 y 255.
- Un número entero de 16 bits representando valores desde $-\infty$ hasta $+\infty$.
- Un número de punto flotante de 4 bytes representando valores desde $-\infty$ hasta $+\infty$.

3.7.2. *Imagen Binaria*

Este tipo de imagen está formada por píxeles que sólo pueden tener dos valores, 0 ó 255 para el caso de una definición de 8 bits.

Las imágenes binarias son de gran utilidad para la aplicación de técnicas de detección de bordes, mediciones de áreas o distancias entre otras.

3.7.3. *Imagen a Color*

Una imagen a color codificada de dos formas, RGB (Red, Green, Blue) ó HSL (Hue, Saturation, Luminance). En general las imágenes a color están compuestas por cuatro planos; uno para el valor R ó H, otro para el valor G ó S, otro para el valor B ó L y un último plano llamado alfa que contiene información sobre la transparencia de cada pixel. La información del plano alfa es usada cuando se combinan múltiples imágenes para elaborar composiciones gráficas y efectos visuales en mapas.

3.7.4. *Imagen Compleja*

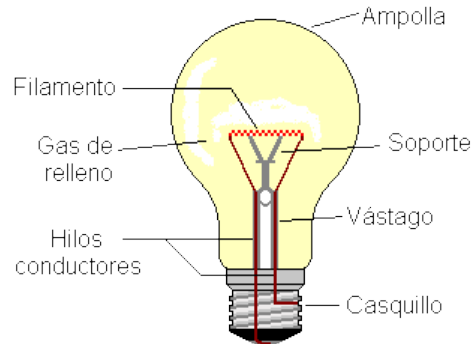
Una imagen compleja contiene la información de frecuencia de una imagen en escala de grises; dicha información se obtiene aplicando una FFT (Fast Fourier Transform) a la imagen. Luego de transformada la imagen, se le puede aplicar operaciones en el dominio de la frecuencia.

3.8. TIPOS DE ILUMINACIÓN

Una iluminación adecuada permitirá resaltar las características de interés del objeto, reducir la complejidad de la imagen y mejorar el tiempo de respuesta del procesamiento digital. Existen varias técnicas de iluminación, como las que se muestran a continuación:

3.8.1. Lámparas de tungsteno

No proporcionan una iluminación uniforme y disipan demasiado calor, si la frecuencia de captura de la cámara no es un múltiplo de la frecuencia de la red eléctrica (50Hz en Europa ó 60Hz América), provocará interferencia en la captura; haciendo que aparezcan franjas más claras u oscuras en la imagen capturada. Fig 10.



Partes de una bombilla

Figura 10 Bombilla Incandescente

3.8.2. Lámparas fluorescentes

Presentan una iluminación bastante homogénea, su balance de color no es uniforme y no disipan mucho calor. Un ejemplo claro de este tipo de lámparas se muestra en la figura 11.

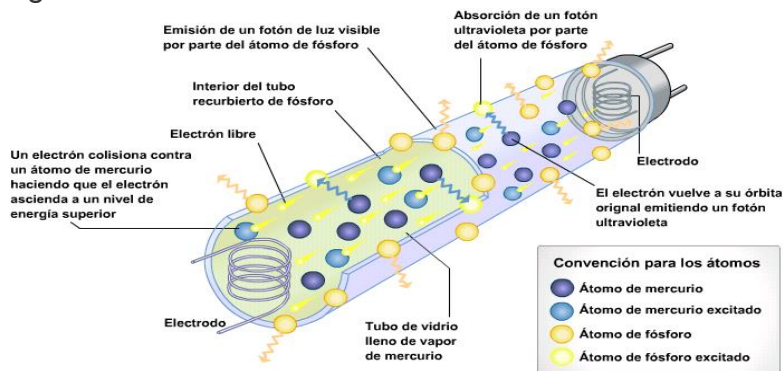


Figura 11 Lámparas fluorescentes

3.8.3. Lámparas halógenas

Poseen un filamento en su interior como las lámparas de Tungsteno, adicionalmente tiene un gas raro y halógeno, no presentan problemas. En la figura 12 podremos observar un ejemplo de este tipo de lámparas.

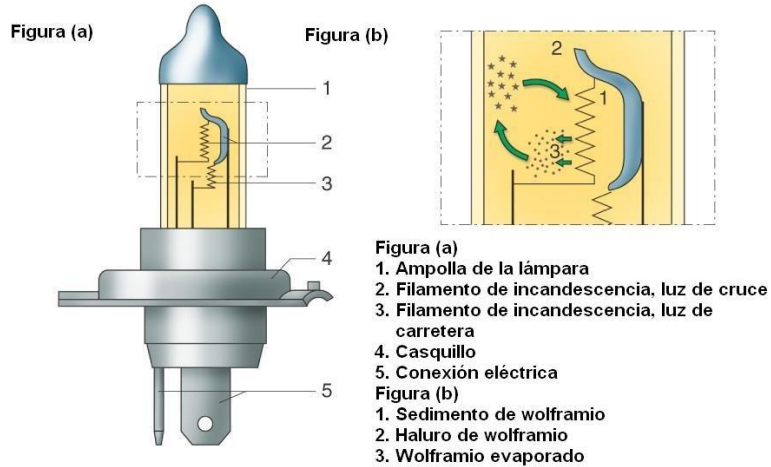


Figura 12 Lámpara Halógena

3.8.4. Lámparas de diodos

Las lámparas Led (fig. 13) son los elementos de iluminación más eficientes que se han construido. Duplican la cantidad de luz que emite una lámpara fluorescente compacta por unidad de energía, y no sólo eso, por lo menos triplica su vida útil. Existen diodos emisores con diferentes longitudes de onda entre ellos: infrarrojos, ultravioletas, rojos, ámbar, blanco, el diodo infrarrojo es el más utilizado cuando se quiere eliminar la luz natural y fuentes de luz artificiales. El uso de diodos se ha popularizado en las diferentes aplicaciones industriales.



Figura 13 Lámparas de diodos

3.9. TÉCNICAS DE ILUMINACIÓN

Las técnicas de iluminación ayudan a un mejor reconocimiento de características según sea el tipo de interés perseguido. A continuación se definen los diferentes tipos de técnicas más implementadas:

3.9.1. Iluminación frontal

Se utiliza en objetos planos con superficies opacas o que no tienen brillo, la cámara se ubica en la misma dirección que la luz y recibe la luz reflejada por el objeto, como se observa en la figura 14. El tipo de fuente que se utiliza con esta técnica son los Leds y fuentes de fibra óptica.

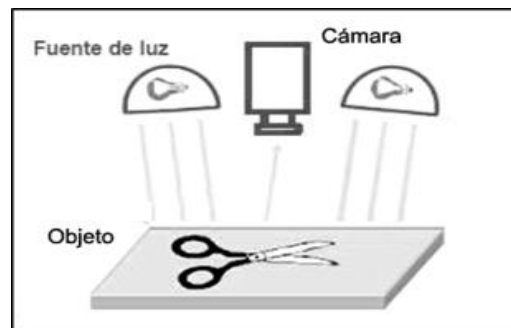


Figura 14 Iluminación tipo dirección frontal

3.9.2. Iluminación lateral

Se emplea para mostrar detalles laterales de los objetos, estructura superficial, pero introduce problemas con los efectos de la sombra, debido a que con esta técnica de iluminación la luz incide lateralmente a un determinado ángulo como se observa en la figura 15.

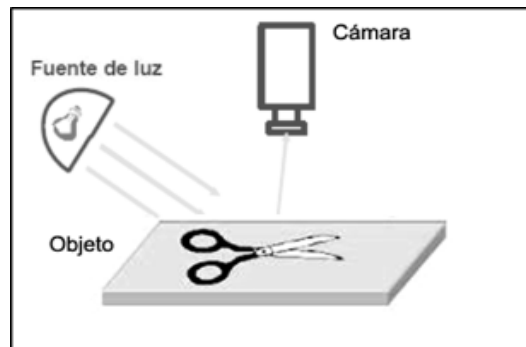


Figura 15 Iluminación lateral

3.9.3. Iluminación frontal uniaxial difusa

Se utiliza para todos los tipos de objetos, sin importar que sean opacos o brillantes. Como fuente luz pueden emplear lámparas que proporcionen una luz difusa y uniforme, como los focos incandescentes (tungsteno), fluorescente, etc. Este método se muestra en la figura 16.

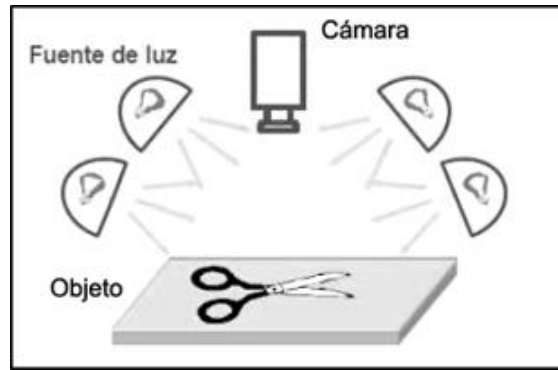


Figura 16 Iluminación frontal axial difusa

3.9.4. Iluminación coaxial

Emplea una luz difusa y uniforme en objetos opacos o brillantes, es usado para todo tipo de inspección pero la luz debe incidir al objeto desde el mismo eje de la cámara. Esta iluminación se genera mediante el uso de anillos de luz o divisores de haz, por lo que representa un alto coste y es difícil de montar. Esta técnica es ilustrada en la figura 17.

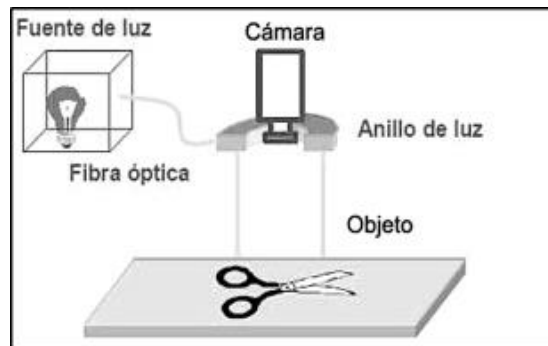


Figura 17 Iluminación coaxial

PROCEDIMIENTO

CAPÍTULO IV: PROCEDIMIENTO

En este trabajo se empleará un material polimérico usado en el diseño de partes anti-vibratorias para la industria automotriz. A partir de la probeta mostrada en la figura 2, en ella se pretende medir la distancia que se puede elongar y deformar un polímero grado cinco cuando es sometido a fuerzas externas con la ayuda pertinente de un algoritmo de procesamiento de imagen.

4.1. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO

El algoritmo desarrollado para este extensómetro, se diseñó bajo la plataforma NI Visión para LabVIEW 2014 utilizando lo siguiente:

- Ordenador con Windows 7, 8gb de memoria RAM y 1 Tera de disco duro.
- Tarjeta de adquisición de imágenes NI PCIe-1433
- Cámara Basler Aca 2040-180KM de 5 megapíxeles que proporciona una resolución de 2048x2048.
- Lente Azure, con apertura de iris y enfoque manual, además la distancia de enfoque va desde los 20cm hasta los 50cm.

4.2. CONEXIÓN DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS

En base a las instrucciones de la página 23 del manual de la cámara la cual se ilustra en la figura 18, y la pagina 3-1 del manual de la tarjeta de adquisición de imágenes ilustrada en la figura 19, se determinó la forma en la que van conectadas las entradas y salidas de la tarjeta de adquisición de imágenes.

The drawing below shows the location of the three connectors.
There is also an LED indicator located on the back of the camera as shown in the drawing.

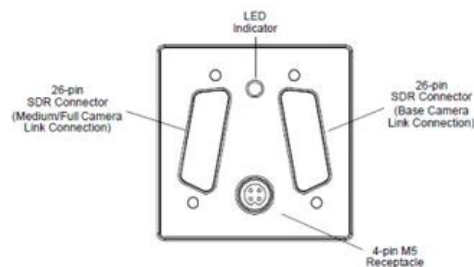


Figura 18 Calidad de datos base, media y completa de la cámara

The following figure shows the connectors on the NI 1433 device.

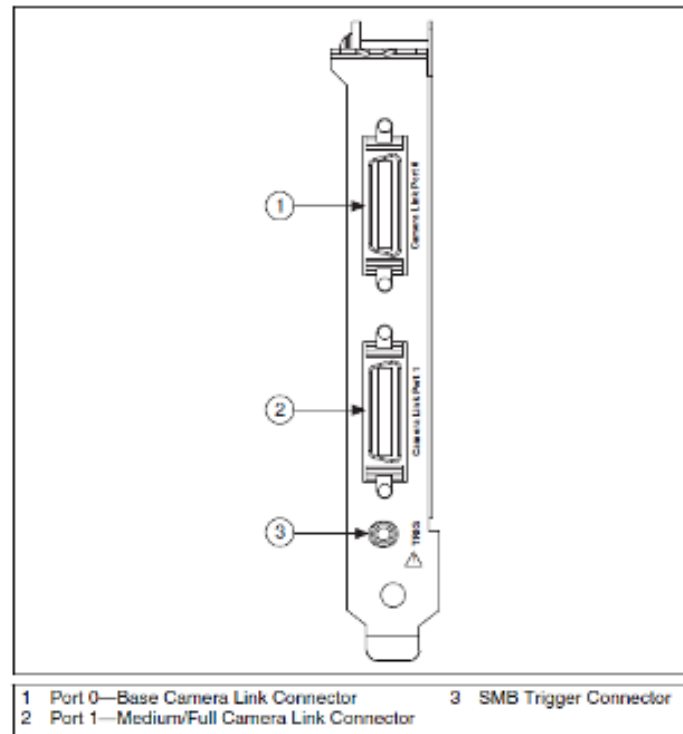


Figura 19 Calidad de datos base, media y completa de la tarjeta

El puerto 0 hace referencia a la calidad base de la tarjeta, mientras que el 1 a la media y completa. Se debe hacer que los puertos base, media y completa de ambos dispositivos coincidan para tener una interfaz adecuada entre ambos como se muestra en la figura 20.



Figura 20 Interfaz entre puertos base cámara-tarjeta

La medición de deformación en el material polimérico implica el seguimiento de puntos de referencia obtenidos a partir de marcas en la probeta bajo estudio. Por lo que el algoritmo de procesamiento de imagen debe ser capaz de reconocer los marcadores y calcular el punto de referencia para obtener la medición de desplazamiento. Igualmente el algoritmo empleado debe ser lo bastante robusto para hacer frente a variaciones en las imágenes bajo prueba, tales como ruido, cambios de iluminación y rotación en la imagen. El algoritmo que se presentará a continuación asume una iluminación constante obtenida desde una lámpara de LED's ubicada en un ángulo y distancia adecuada para evitar reflejo de la luz sobre el material.

La figura 21 muestra un esquema de un extensómetro sin contacto empleando visión por computadora.

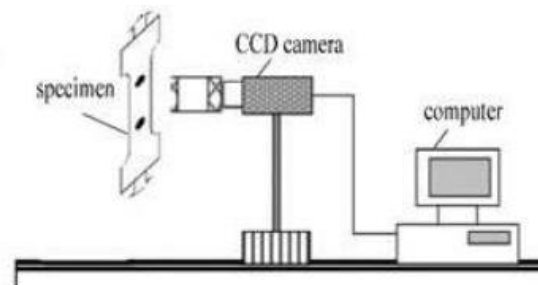


Figura 21 Extensómetro óptico mediante cámara CCD y ordenador

El proceso para la caracterización del polímero tiene el siguiente procedimiento:

4.3. ADQUISICIÓN DE IMAGEN

El sistema de adquisición de imagen es el encargado de tomar la información proveniente de la cámara y convertirla en una señal digital que pueda ser procesada por el ordenador.

Para producir una escena, la escena debe estar iluminada con una o más fuentes de luz, el saber escoger una técnica de luz adecuada puede ahorrar tiempo en la elaboración del algoritmo.

Cuando el reflejo de luz incide sobre el objeto analizado y este es captado por el sensor de la cámara, se convierte en una imagen. Se utiliza una iluminación

controlada para poder acentuar las características de interés de una imagen y atenuar las características innecesarias [5].

El proceso de adquisición de imágenes es el siguiente:

1. La imagen es adquirida por la cámara, a través de un sistema de sensores utilizados por la cámara.
2. El sistema de adquisición que se encarga de la conversión analógica a digital, para que ésta pueda ser procesada.
3. La información digital es utilizada como dato de entrada para un ordenador que, dependiendo el algoritmo desarrollado pueda realizar los cálculos correspondientes.

A continuación en la figura 22 se presenta un algoritmo de adquisición de imágenes:

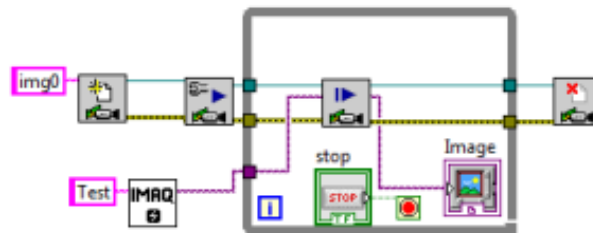


Figura 22 Algoritmo base de adquisición de imágenes

En la figura 23 se muestra el prototipo sujetando la probeta vista desde la cámara. La cámara Basler ACA2040-180KM empleada en este video extensómetro, es un tipo de cámara que por default adquiere imágenes en la llamada “escala de grises” esta es la razón por lo que esta imagen tiene la apariencia mostrada.

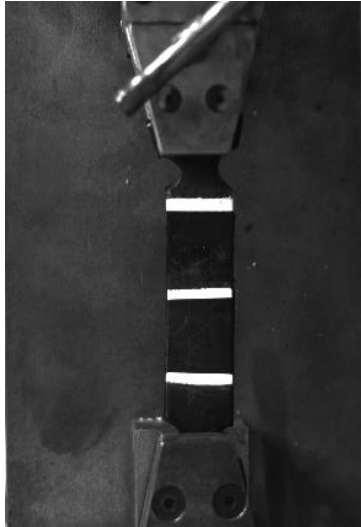


Figura 23 Imagen adquirida por el sistema de visión

4.4. REGIÓN DE INTERÉS

Se le denomina región de interés al recorte de la imagen inicial a sólo la parte de mayor trascendencia para llevar a cabo el estudio, de esta manera se logra ignorar los alrededores sin importancia, como se muestra en la fig. 24

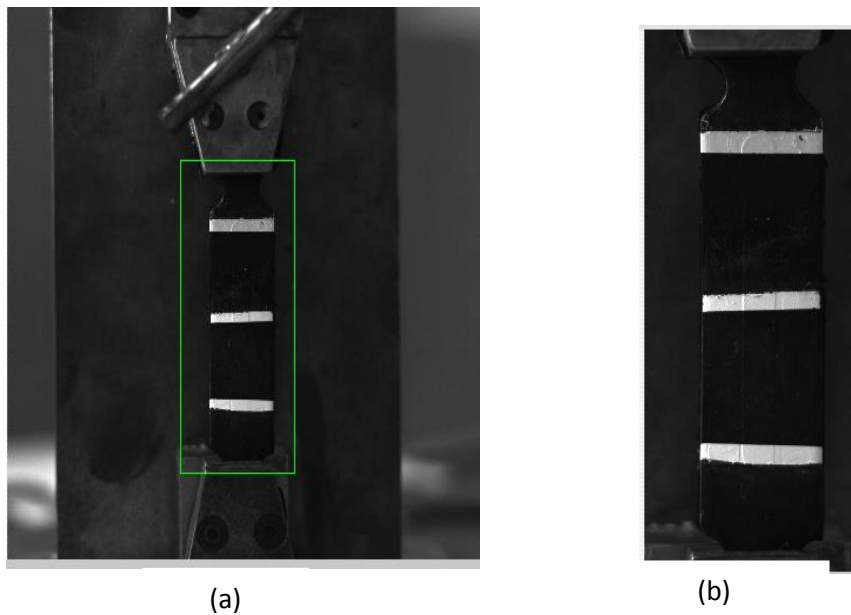


Figura 24 Seleccionando la región de interés, (a) imagen completa y (b) imagen recortada

4.5. UMBRALIZACIÓN

Este proceso convierte la imagen de escala de grises a binaria, divide la imagen en dos regiones, la región de partículas y la región del fondo.

Los valores de umbral se seleccionan de tal manera que correspondan a valores mínimos y máximos para posibles tonos de blanco de las marcas en la imagen adquirida. De manera experimental se fijaron los valores 95 y 255 para el umbralado mínimo y máximo respectivamente. La figura 25 muestra imágenes de ejemplo donde se aprecia el efecto de esta herramienta, resaltando la importancia de seleccionar valores adecuados de acuerdo a la iluminación y tono de las marcas usadas.

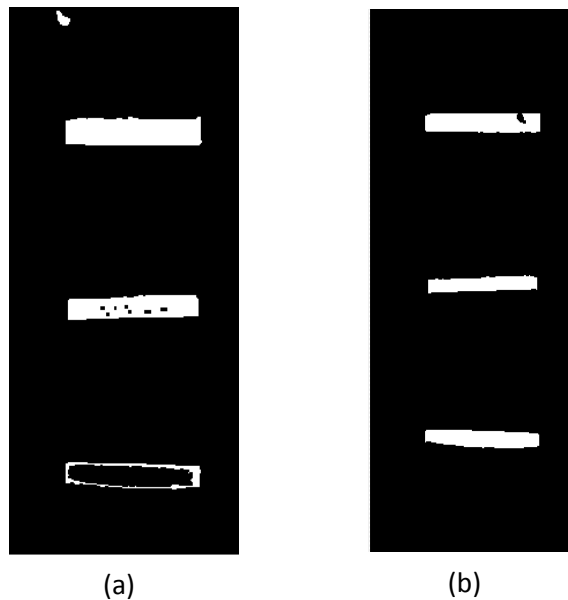


Figura 25 Imagen umbralada, (a) mal umbralado y (b) umbralización óptima.

4.6. PROCESO MORFOLÓGICO

El proceso morfológico es la alteración de una imagen. Se aplica cuando éstas presentan ruido u objetos con orificios, defectos que no son deseables para el análisis [5]. Como se muestra en la figura 24 el pequeño orificio en la parte superior derecha de la marca superior, así también en la figura 25, dicho orificio sigue presente a pesar de establecer un buen umbralado obteniendo como resultado sólo mayor visibilidad.

En el proceso morfológico se encuentran herramientas que se utilizan para la reconstrucción de objetos cuya importancia se ve afectada al detectar imperfecciones que afectan al análisis deseado, por lo que se recurre a las operaciones de erosión y dilatación. Con estas operaciones se obtiene la reconstrucción de los objetos, eliminando pequeñas y grandes partículas que tocan los bordes o cubriendo esas imperfecciones que el objeto de interés pueda tener.

En la figura 26 se muestra el efecto de la erosión, esta desgasta los bordes de la imagen disminuyendo su tamaño y abriendo agujeros en el objeto. La dilatación hace más grande los objetos y cuando dos de ellos se juntan, hacen uno, como se visualiza en la siguiente figura.

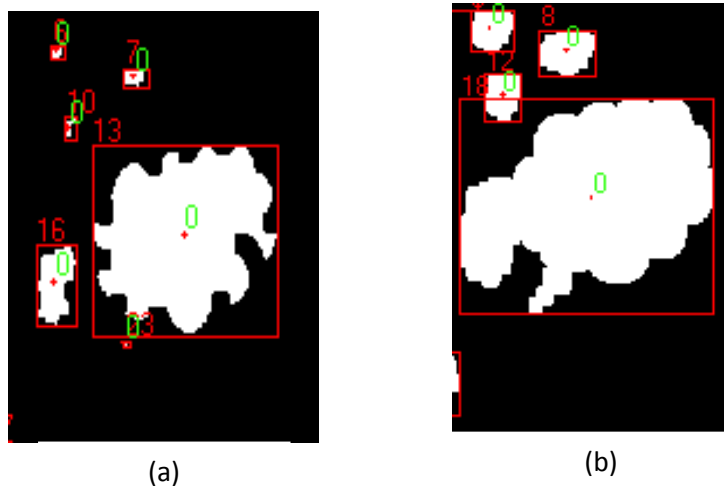


Figura 26 Erosión (a) – Dilatación (b)

Existe una operación llamada Open, la cual es la fusión de estas dos, primero se dilata y después se erosiona, de esta manera el objeto no aumenta ni disminuye su tamaño, sólo se reconstruye. La aplicación de esta herramienta se ve reflejada en la figura 27.



Figura 27 Reconstrucción morfológica

4.7. ANÁLISIS DE PARTÍCULAS

El análisis de partículas se usa para detectar grupos de píxeles llamados partículas, para luego realizar mediciones de parámetros sobre estas [5]. En un proceso de análisis de partículas se realiza una búsqueda en toda la imagen, se detectan todas las partículas y se crea un reporte para cada una. Este reporte puede incluir una variedad de parámetros como lo son el área, perímetro, centro de masa, valor de circularidad.

En este trabajo extraeremos parámetros como lo son; coordenadas en X e Y, las cuales nos darán la posición de cada partícula detectada y el valor de circularidad para la calibración del sistema mediante una plantilla como la que se muestra en la fig. 28. Esta plantilla tiene objetos de 1 milímetro de diámetro y una distancia entre centros de 10 milímetros.

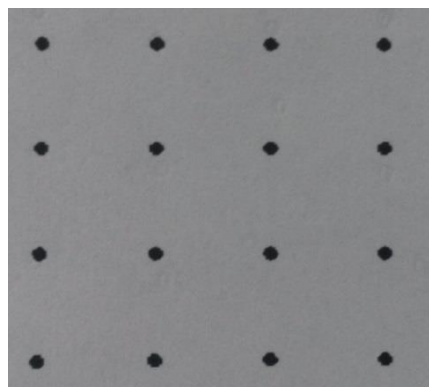


Figura 28 Plantilla de calibración

Utilizando la plantilla de calibración y aplicando todo el proceso anteriormente mencionado, obtenemos los siguientes resultados ilustrados en la figura 29.

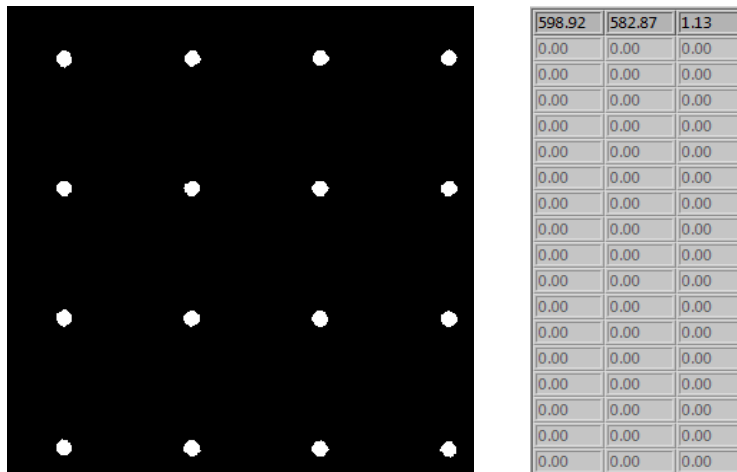


Figura 29 Análisis de partículas con imagen binaria

Como se aprecia en la figura 29, el reconocimiento de partículas no es el esperado. El programa detecta el fondo como partícula y las partículas como fondo, por lo tanto el resultado del análisis es la posición y valor de circularidad de sólo un objeto. Dada la situación se procede a emplear la última herramienta morfológica en este proceso y es un inversor de escala de grises. Con esta herramienta se espera solucionar el problema ilustrado. A continuación se muestra en la fig. 30 el resultado obtenido.

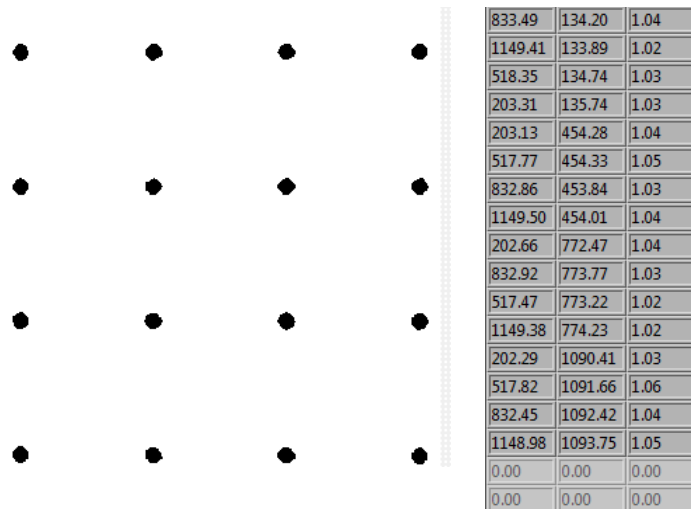


Figura 30 Análisis de partículas con escala de grises invertida

Utilizando esta herramienta se logra reconocer los 16 objetos que contiene la plantilla de calibración otorgando en la primera columna las coordenadas en X, mientras que en la segunda las de Y. La tercera columna otorga un valor de circularidad, la cual para un círculo oscila entre 1 y 1.06.

4.7.1. Centro de masa

El módulo NI Vision cuenta con bloques de función que implementan las operaciones de procesamiento de imagen arriba descritas, así como una función especial para análisis de partículas. Donde el análisis de partículas se usa para detectar grupos de píxeles llamados partículas, para luego realizar mediciones de parámetros sobre estas [6].

En un proceso de análisis de partículas se realiza una búsqueda en toda la imagen, se detectan todas las partículas y se crea un reporte para cada una. Este reporte puede incluir una variedad de parámetros como lo son el área, perímetro, centro de masa, valor de circularidad entre muchos más.

En este caso de estudio extraeremos parámetros como lo son; coordenadas (x,y) del centro de masa (centroide), las cuales servirán como posición de referencia para calcular la deformación del material sujeto a tensión axial.

La figura 31 muestra el bloque de función proporcionado por el módulo NI Vision de Labview.

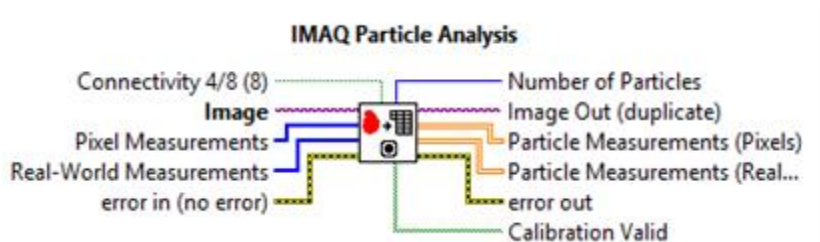


Figura 31 Bloque de funciones para análisis de partículas

4.8. BUSQUEDA DE OBJETOS

Para tener un orden de cada objeto detectado y localizada con su respectiva posición, se requiere poner en práctica un algoritmo capaz de hallarlos y ordenarlos de una manera eficiente y bajo ciertas condiciones, tales como si el objeto sufre cambios en su tamaño original y/o rotación [6].

Para llevar a cabo este paso se utilizó el bloque de conteo de objetos de LabVIEW, con el que se obtuvo el resultado mostrado en la figura 32.

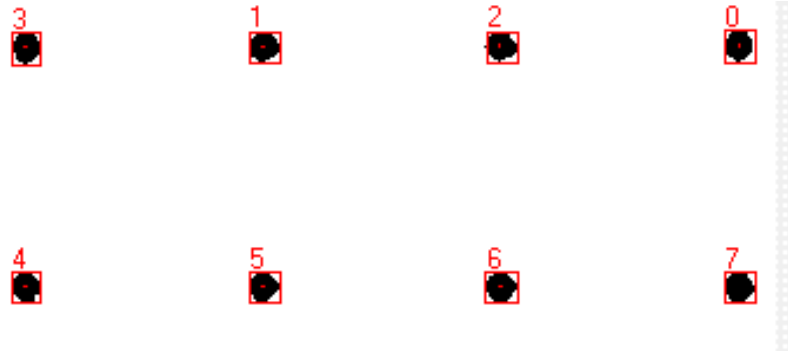


Figura 32 Conteo desordenado de objetos

El número de las partículas varían entre los demás objetos localizados en la misma fila, por lo que este bloque sólo numera los objetos detectados y no los ordena.

Por convención, el origen del eje coordenado del pixel (0,0) está localizada en la esquina superior izquierda, por tanto el incremento en horizontal es a la derecha y el vertical hacia abajo como se observa en la figura 33 [6]. El programa asigna el número de objeto siguiendo este principio dando la prioridad al objeto más cercano al (0,0) con respecto de Y. Al tener una línea horizontal de objetos el programa se desestabiliza y el número inicial de cada uno de ellos varía de acuerdo de sí mismos.

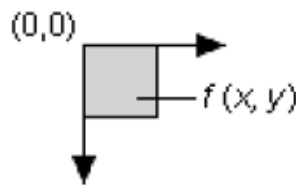


Figura 33 Eje de coordenadas

Dada la situación se creó un juego de arreglos en el algoritmo, el cual tiene la tarea siguiente:

1. Hacer un escaneo de objetos con respecto del eje Y, lo que significa que el más cercano al (0,0) tendrá prioridad.

2. Enseguida se hace otro escaneo y las coordenadas de los objetos localizados son ordenadas con respecto de X, de esta manera el objeto más cercano al (0,0) con respecto de X se le asignará la primera etiqueta.
3. El objeto siguiente tendrá el número de etiqueta posterior al primero y así sucesivamente.

Los resultados obtenidos de este método de ordenamiento es el que se muestra en la figura 34.



Figura 34 Orden y posición fija de objetos

4.9. CALIBRACIÓN

El proceso de calibración está centrado en la equivalencia entre píxeles y milímetros, esta conversión se puede hacer con una regla de tres ya que a través de ella podemos saber cuántos píxeles hay en un milímetro o viceversa.

A los largo de los experimentos realizados, se ha observado que la equivalencia entre píxeles y milímetros varía de acuerdo a la distancia que se encuentra el objeto analizado y el lente de la cámara, por lo que el equipo utilizado tanto la probeta como la cámara se deben encontrar fijos ya que de no ser así la calibración para una distancia puede variar si se emplea en otra.

Cuando el equipo a utilizar se encuentra fijo se procede a la calibración comenzando con una plantilla con varios círculos a distancias conocidas entre centros. Las medidas entre centros fueron elegidas al azar como se ilustra en las figura 34. En base a ella se procese a realizar los primeros cálculos como se muestra a continuación la ecuación (1) tomando como referencia las partículas cero y uno:

$$\text{Distancia conocida entre centros (mm)} = X1 - X0 \text{ (píxeles)} \quad (1)$$

$$1\text{mm} = ? \text{ Píxeles}$$

$$10\text{mm} = (695 - 357) \text{ píxeles}$$

$$1\text{mm} = ? \text{ píxeles}$$

Por lo tanto

$$10\text{mm} = 338 \text{ píxeles}$$

$$1\text{mm} = 33.8 \text{ píxeles}$$

Este resultado es un valor aproximado, para verificar la misma equivalencia se hicieron pruebas con plantillas que tienen objetos de un milímetro de diámetro y una separación entre centros de 12mm, 12.5mm y 12.8 mm obteniendo los resultados siguientes que se muestran en la tabla 1:

Tabla 1 Equivalencias entre medidas reales y otorgadas por el sistema.

Plantilla	Distancia en mm dado por el sistema	X1-X0	1 milímetro	1 pixel
10mm de separación entre objetos	9.987 mm	338 píxeles	33.8 píxeles	.029585 mm
12mm de separación entre objetos	11.9321 mm	324 píxeles	27 píxeles	.037037 mm
12.5mm de separación entre objetos	12.4381 mm	336 píxeles	26.88 píxeles	.037202 mm
12.8mm de separación entre objetos	12.67 mm	347 píxeles	27.11 píxeles	.036886 mm

Al realizar una variedad de experimentos se descubrió que la cámara detecta pequeñas imperfecciones en los objetos siendo esta la razón que unos objetos tienen más otros menos píxeles de distancia. Sabiendo esto se procedió a obtener una distancia promedio entre objetos, es decir, no sólo la distancia entre X1-X0, sino el promedio de X e Y para tener una precisión y un error en general, de esta manera obtener un factor de conversión generado por el sistema.

Tabla 2 Resultados.

Plantilla	Distancia promedio en pixeles	Distancia promedio dada por el sistema en mm	Factor de conversión promedio dado por el sistema.	Error promedio del sistema.
<i>10mm de separación entre objetos.</i>	<i>284.25 pixeles</i>	<i>10 mm</i>	<i>28.42 pixeles</i>	<i>0.00017 mm</i>
<i>12mm de separación entre objetos.</i>	<i>324.58 pixeles</i>	<i>12mm</i>	<i>27.26 pixeles</i>	<i>0.0077mm</i>
<i>12.5mm de separación entre objetos.</i>	<i>337.15 pixeles</i>	<i>12.5mm</i>	<i>26.97 pixeles</i>	<i>0.000074 mm</i>
<i>12.8mm de separación entre objetos.</i>	<i>345.28 pixeles</i>	<i>12.8mm</i>	<i>26.97 pixeles</i>	<i>0.00018 mm</i>

Observamos un nivel de error muy bajo por lo que podemos decir que este método de calibración es confiable.

4.10. BASE DE DATOS

Una base de datos es un sistema en el que se pueden llevar los registros de datos de alguna operación, actividad o tarea, que puede ser monitoreada por el usuario. Se puede considerar como un depósito donde se almacena información electrónica.

4.10.1. Almacenamiento de datos en un archivo.

Para guardar datos en un archivo de disco nuevo se han de seguir tres pasos:

1. Crear el archivo nuevo.
2. Escribir datos en el archivo.
3. Cerrar el archivo.

También podemos abrir uno ya existente y añadir la nueva información al final de ese fichero o sobre escribir su contenido.

Hay dos maneras de crear un archivo, la segunda es mediante la programación a través del dialog box (ventana de diálogo). El primer método, proporcionaremos el

nombre del archivo y del pathname (localización del archivo) dentro de VI. El pathname consta del nombre de la unidad de disco duro a guardar (por ejemplo C ó A) seguido de dos puntos, tantas barras inclinadas (/) como subdirecciones haya que separar, y a continuación el nombre del archivo. Un ejemplo sería “C:/LVSE/TEST1.DAT”, como se ilustra en la figura 35, donde el nombre del archivo es “TEST1.DAT” y se encuentra en el directorio “LVSE”.

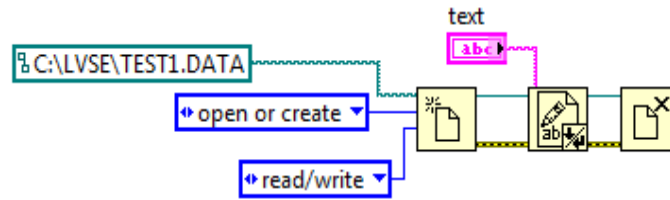


Figura 35 Abrir, escribir y cerrar archivo de texto

4.10.2. File dialog

En el método del dialog box, el VI visualiza una ventana como la de la figura 36, en la que podemos buscar un directorio y escribir el nombre del archivo.

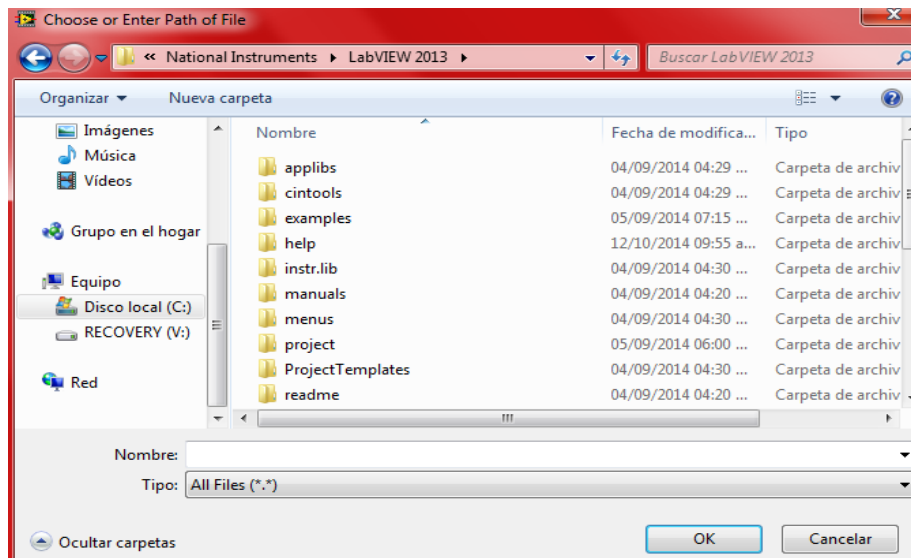


Figura 36 Ruta donde se guardará el archivo usando File dialog

4.10.3. Almacenamiento de resultados (Spreadsheets)

En un spreadsheet o tabla de resultados, los tabuladores separan columnas, mientras que los saltos de línea separan filas. Usando la función Concatenate Strings para insertar un tabulador entre cada alimento y un salto de línea después del último elemento.

El siguiente fragmento del bloque de diagrama crea el fichero de texto que se indica en la figura 37. La función Format & Append primero convierte el número de iteraciones y el número aleatorio en strings. La función concatenate strings a continuación inserta un tabulador y un salto de línea, mientras que el VI escribe strings formando al fichero.

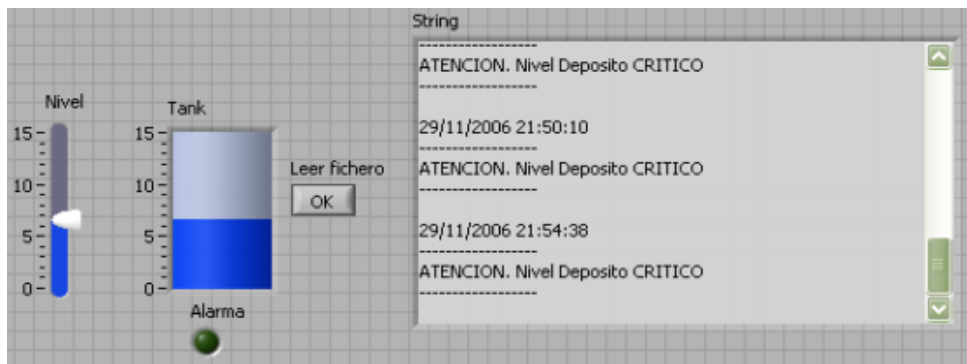


Figura 37 Ejemplo del guardado de resultados con Spreadsheets

4.10.4. Write measurement file

Esta herramienta es conveniente utilizarla cuando se guardan grandes cantidades de datos en uno o distintos archivos. Este bloque tiene la capacidad de guardar los archivos en distintos formatos como se ilustra en la figura 38.

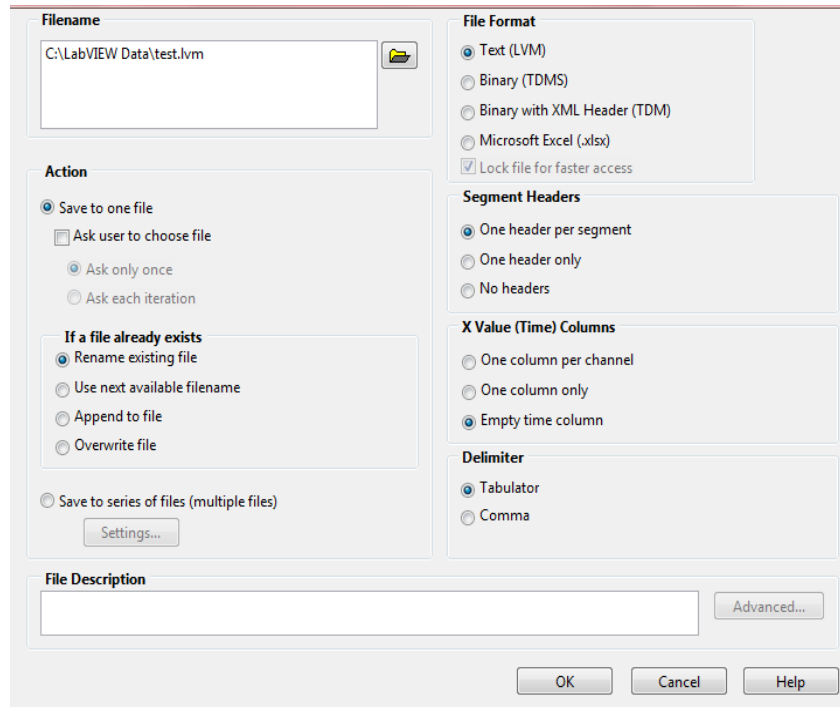


Figura 38 Write to measurement file

Este bloque puede guardar datos en formato LVM, TDMS, TDM Y .xlsx, todos estos pueden abrirse por medio de hoja de cálculo. A través de esta herramienta se puede guardar en un archivo o distintos una cadena de datos, así también puede guardar datos cada determinado tiempo y en caso de que el usuario desee, esta aplicación genera un encabezado indicando:

- Numero de columnas
- Hora
- Fecha
- Tiempo de duración de la prueba
- Número de archivo guardado

Esta herramienta puede ser muy útil si es aplicada adecuadamente.

Write to measurement es la herramienta aplicada en este proyecto y fue empleada para guardar la posición de los objetos localizados y a la vez ordenar por columnas las coordenadas de X e Y.

En la figura 39 se muestra la utilidad de este bloque, siendo las dos primeras columnas X,Y respectivamente del objeto 0 las dos inmediatas son las del objeto 1 y así sucesivamente de acuerdo a la figura 34.

357.000000	86.000000	695.000000	131.000000	1037.000000	177.000000
357.000000	86.000000	695.000000	131.000000	1037.000000	177.000000
357.000000	86.000000	695.000000	131.000000	1037.000000	177.000000
357.000000	86.000000	695.000000	131.000000	1037.000000	177.000000
357.000000	86.000000	695.000000	132.000000	1037.000000	177.000000
357.000000	86.000000	695.000000	131.000000	1037.000000	177.000000
357.000000	86.000000	695.000000	131.000000	1037.000000	177.000000
357.000000	86.000000	695.000000	131.000000	1037.000000	177.000000
357.000000	86.000000	695.000000	131.000000	1037.000000	177.000000
357.000000	86.000000	695.000000	131.000000	1037.000000	177.000000
357.000000	86.000000	695.000000	131.000000	1037.000000	177.000000
357.000000	86.000000	695.000000	131.000000	1037.000000	177.000000
357.000000	86.000000	695.000000	131.000000	1037.000000	177.000000
357.000000	86.000000	695.000000	131.000000	1037.000000	177.000000
357.000000	86.000000	695.000000	131.000000	1037.000000	177.000000

Figura 39 Almacenamiento de Coordenadas de acuerdo a los FPS de la cámara

El objetivo de almacenar las posiciones por segundo es el monitoreo del desplazamiento entre estos objetos cuando fuerzas externas alteren la distancia original y conocida que hay entre ellos en milímetros.

CAPÍTULO V: RESULTADOS

Para realizar los experimentos del extensómetro óptico se fabricó un mecanismo que sujeta la probeta mediante mordazas. En la figura 40 se muestra el sistema completo de visión por computadora y máquina prototipo empleado en estas pruebas.



Figura 40 Sistema de visión por computadora para video extensómetro implementado con LabView.

A partir del proceso de calibración se determinó que con el tipo de lente y a la distancia de la cámara al objetivo, el factor de conversión es de 28.42 píxeles por milímetro. El programa entrega una imagen en tiempo real donde se muestra las coordenadas del centro de masa de cada marcador, además la información es almacenada en un archivo de texto para su posterior procesamiento. En las figuras 41 y 42 se aprecian la imagen con los centroides de los marcadores encontrados y una gráfica de desplazamiento entre dos marcas.

Resultados



Figura 41 Imagen procesada donde se aprecian las coordenadas en píxeles de los centroides en cada marca

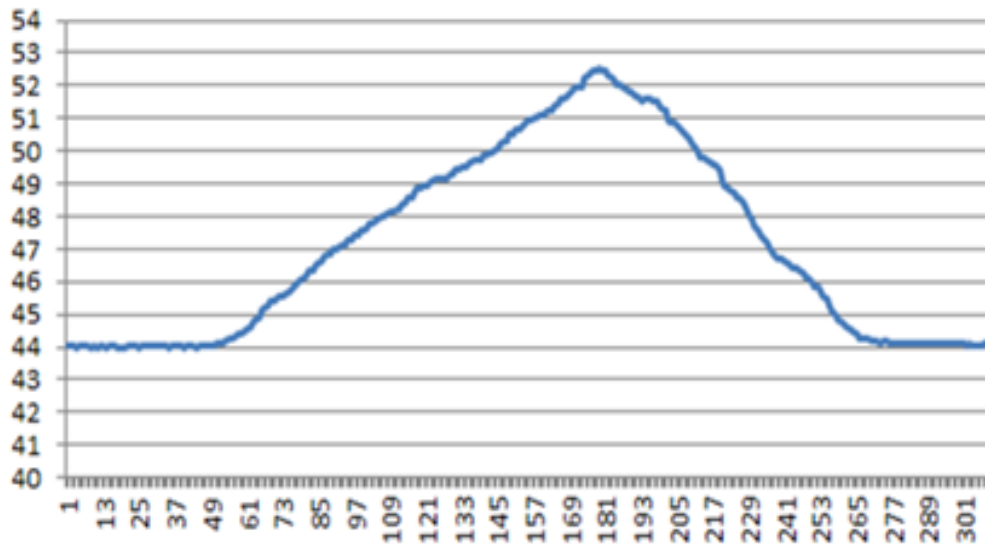


Figura 42 Gráfica deformación (mm)–tiempo (s) entre dos marcas de la probeta

GRÁFICA DE DESPLAZAMIENTO

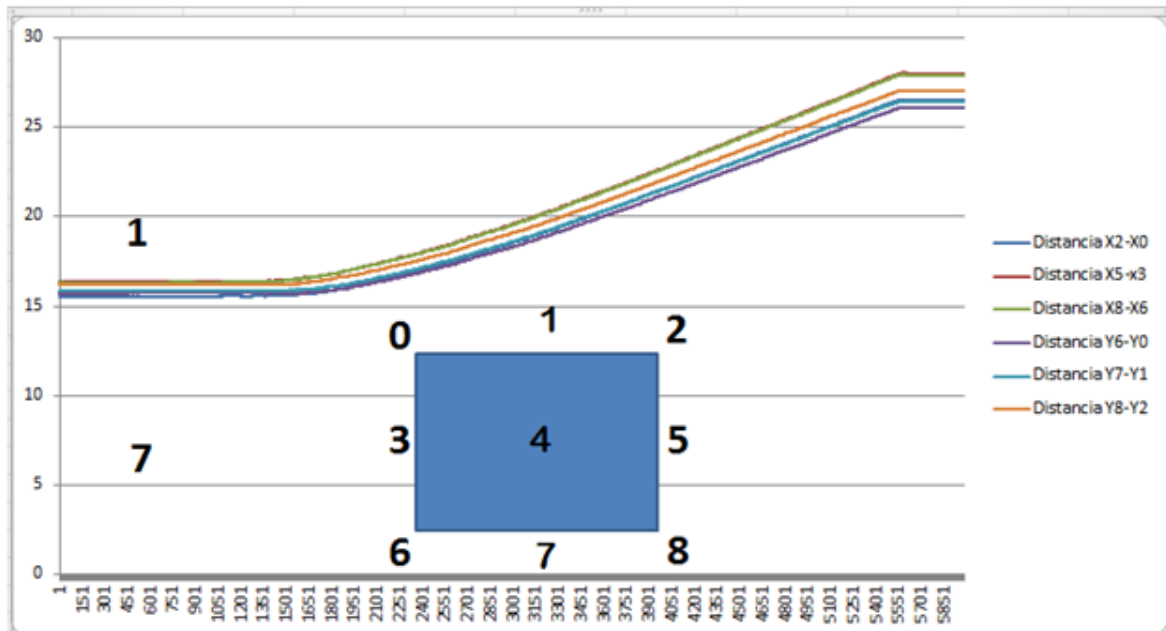


Figura 43 Deformación biaxial

En la figura 43 se ilustra el comportamiento de deformación biaxial de un polímero, esta indica que la deformación de la probeta fue de manera uniforme.

Esto se sabe ya que la distancia deformada entre extremos es similar como lo indica la figura.

Este algoritmo tiene la capacidad de hacer la medición no sólo en dos objetos, sino hasta en 6 al mismo tiempo. La interfaz de usuario tiene un aspecto como el que se ilustra en la figura 43. A través de la interfaz de usuario el operador puede crear archivos de datos los cuales pueden guardar cada uno de los valores utilizados en pruebas realizadas a demás un encabezado con una variedad de datos como lo son:

- Usuario
- Hora
- Fecha
- Compuesto
- Lote
- Ensayo
- Resumen

- Comentarios

Y en seguida las mediciones obtenidas por el sistema. Este archivo se muestra en la figura 44.

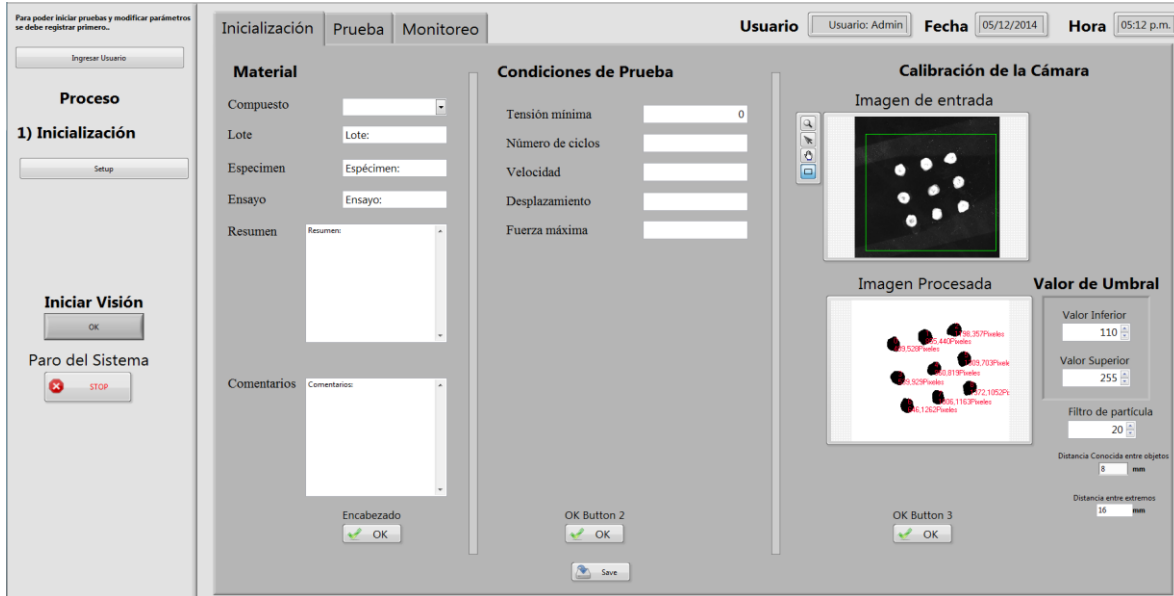


Figura 44 Interfaz de usuario

viernes, 05 de diciembre de 2014 05:12 p.m.
Usuario: Admin

Lote:
Espécimen:
Ensayo:
Resumen:

Comentarios:

0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006250	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375
0.016875	0.061875	0.000625	0.006875	0.006875	0.044375

Figura 45 Archivo *.txt de un experimento medidas de deformación

Las medidas mostradas en la figura anterior muestra la deformación en mm entre 6 marcas, siendo las 3 primeras horizontales y las 3 últimas verticales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. G. Relf, Image acquisition and processing with LabVIEW.
- [2] R. A. Canseco de la Cruz y K. A. Camarillo Gómez, Experimentación y Análisis por MEF del Comportamiento Hiperelástico en Materiales usados en Calzado Deportivo.
- [3] E. Beatriz Hermida, Modulo de materiales poliméricos Guía didáctica.
- [4] C. I. Pineda Guncay, Estimación de coordenadas espaciales de un objeto esférico usando LabVIEW y el Embedded Vision System (EVS) de National Instrument.
- [5] C. E. Gildardo Montero, Dimensionamiento de piezas usando el sistema de visión de la celda de manufactura flexible de ingeniería mecánica.
- [6] P. A. Rangel Tirado, Instrumentos virtuales para video-vigilancia y seguridad.