Articulo **Revista de Prototipos Tecnológicos**
Septiembre, 2017 Vol.3 No.9 42-55

Prototipo mecatrónico de Visión para la detección de defectos en cremalleras de poliéster

MOLINA-CESPEDES, Julio Cesar *†, LUJAN-RAMIREZ, Carlos Alberto, SANDOVAL-GIO, Jesus, y SANDOVAL-CURMINA, Victor

Recibido Junio 18, 2017; Aceptado Agosto 3, 2017

Resumen

El prototipo mecatrónico de visión para la detección de defectos en cremalleras de poliéster consiste en un sistema de procesamiento de imágenes que detecta la presencia de defectos en cremalleras para automatizar el proceso de selección del material. Este prototipo se construye con materiales de bajo costo, utilizando un motor a pasos, una cámara industrial con interfaz USB3, un microcontrolador y una computadora. Primero se determina la resolución espacial de la cámara, relacionando el número de pasos del motor y el tamaño de la imagen para establecer la tasa de velocidad de adquisición de muestras. Se evalúan tres algoritmos diseñados con MATLAB para la detección de defectos y con base en el desempeño se elige el algoritmo con mejor resultados, sometiendo a este último a pruebas adicionales con diferentes defectos para verificar su validez mediante un estudio del tamaño del defecto mínimo permisible para determinar las muestras válidas. El algoritmo desarrollado genera una semilla y a partir de esta una segmentación para contabilizar los pixeles y determinar si la muestra contiene defectos, lográndose una eficiencia del 98.7% en la detección de defectos con mayor frecuencia en las muestras. Este prototipo será fundamental en el desarrollo de maquinaría especializada de inspección.

Visión, procesamiento de imágenes, mecatrónica, algoritmo de segmentación y control de calidad

Abstract

The mechatronic vision prototype for the detection of defects in polyester zippers consists of an images processing system to detect the presence of defects in polyester zippers to automate the material selection process. This prototype is built with low-cost materials, using a stepper motor, an industrial camera with the USB3 interface, a microcontroller and a computer. Through the digital image processing is calculated the spatial camera resolution, relating the number of steps of the motor and the size of the image to establish the sample acquisition rate. Three algorithms are tested to detect defects with MATLAB scientific software and the algorithm with the best performance is chosen, subjecting the latter to other tests with different defects to verify their functionality by a study of the minimum allowable defect size to determine valid samples. The developed algorithm generates a seed and from it a segmentation to count the pixels and then to determine if the sample contains defects, achieving an efficiency of 98.7% in the detection of the most frequency defects in the samples. This prototype will be a fundamental part in the development of specialized inspection machinery.

Vision, images processing, mechatronics, segmentation algorithm and quality control

Citación: MOLINA-CESPEDES, Julio Cesar, LUJAN-RAMIREZ, Carlos Alberto, SANDOVAL-GIO, Jesus, y SANDOVAL-CURMINA, Victor. Prototipo mecatrónico de Visión para la detección de defectos en cremalleras de poliéster. Revista de Prototipos Tecnológicos 2017, 3-9:42-55.

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: julio.molina@upy.edu.mx)
† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En el ámbito industrial de hoy, las empresas deben invertir en tecnología para mejorar sus procesos y así puedan ofrecer a sus clientes soluciones de alta calidad en el menor tiempo posible a costos de operación rentables y con el menor impacto al medio ambiente (Lárraga, 2016). Estas buscan la eficiencia y mejora continua en el aprovechamiento de las materias primas, manejo de los materiales, inspección de calidad del producto y embalaje. La inspección de materiales de proveedores y productos terminados consume tiempo y recurso humano durante el análisis de los defectos.

En el caso de las cremalleras de poliéster se presentan las siguientes problemáticas con un inspector humano: el ojo presenta cambios de percepción debido a las variaciones de iluminación, el operador se distrae y se fatiga al estar realizando una operación repetitiva, o cuando se necesita revisar una mayor cantidad de producto se precisa de operarios que atienden otras áreas.

Todas estas problemáticas originan reprocesos y retrasos de tiempo que provocan pérdidas y disminución de la productividad. Es aquí en donde intervienen los *sistemas de visión artificial automatizados*, que integran a la ingeniería multidisciplinaria de sistemas mecánicos, electrónicos y de computación a lo que hoy le conocemos como *mecatrónica y la inteligencia artificial*.

Los sistemas de inspección visual capturan imágenes, éstas se procesan y posteriormente se analizan e interpretan para dar una respuesta (Vargas, 2010). Estas respuestas rechazan productos dañados o de forma incorrecta. Sus aplicaciones son muchas ya que pueden controlar robots en una cadena de producción en donde puede detenerse cuando se detectan defectos en el producto.Un ejemplo de ello lo muestra la Figura 1.

Figura 1 Sistema de Visión en una cadena de producción. Cognex

Existen compañías, muchas extranjeras, que pueden proveer de maquinaria de inspección, pero con altos costos de inversión debido a la importación. También en ocasiones no se tiene el respaldo del soporte técnico para realizar futuras adaptaciones dados diferentes procesos. Hay otras compañías establecidas en México que tienen soluciones de inspección por imágenes, sin embargo los costos no son tan rentables para la empresa mediana. (Mitropulosa, 1999), (Azorín-López, 2007), (Ulloa, 2009).

El presente artículo plantea un nicho de oportunidad para el desarrollo de maquinaria especializada como alternativa a las fallas por el error en un operador inspector humano. Se propone un prototipo de inspección para la detección de defectos utilizando una cámara con interfaz USB3 con velocidades muy cercanas a GigaETHERNET, un microcontrolador de bajo coste, una computadora personal, un motor a pasos y algunos elementos mecánicos simples. La motivación es desarrollar un prototipo integrando varias tecnologías para su uso en la industria, en donde las condiciones de trabajo son exigentes con el costo más bajo posible. Ejemplos de estos sistemas se presentan en (Flores, 2017) y (Delgado, 2016).El presente trabajo está organizado de la siguiente manera: La Sección 2 presenta una descripción de los defectos presentes comúnmente en rollos de cremallera.

ECORFAN® Todos los derechos reservados

La Sección 3 explica el desarrollo y construcción del prototipo mecatrónico propuesto para la solución del problema. La Sección 4 muestra los algoritmos seleccionados que pueden resolver el problema de detección de defectos. La Sección 5 muestra las pruebas y resultados obtenidos. Finalmente, en la Sección 6 se presentan las conclusiones y el prototipo final implementado.

Descripción de los defectos

La cremallera, "*Zipper*" o *cierre*, es uno de los pequeños elementos que se utiliza en botas, bolsos, equipo de camping, fundas, ropa, en materiales quirúrgicos y en trajes espaciales. En este trabajo se describe la cremallera de poliéster, ya que es el más utilizado por su simpleza de fabricación, versatilidad y uso.

Está conformada por dos cintas tejidas de poliéster, ambas unidas a un monofilamento en espiral de nylon o de poliéster, se ensamblan através de un elemento mecánico de unión llamado deslizador o corredera. En la figura 2 se observa el resultado de dicho proceso. Se le denomina cadena a una cantidad de cremallera continua unida. Se selecciona para el estudio, la cremallera de poliéster de color blanco, ya que es de mayor demanda.La cantidad de defectos son diferentes entre cadenas de 1000 m, por lo que se han clasificado las cadenas en tres calidades, que tienen una proporción como muestra la tabla 1.

Figura 2 Formación de la cremallera de poliéster.I ZIPPER®

Calidad A	Calidad B	Calidad C
<25	>25 y <50	>50

Tabla 1 Clasificación de calidad de la cremallera de acuerdo al número de defectos por cada 1000 m

En la tabla 2 se muestran los diferentes tipos de defectos a detectar definidos por el usuario.

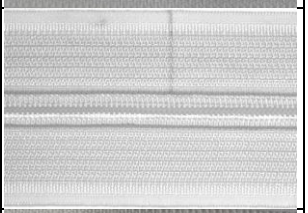
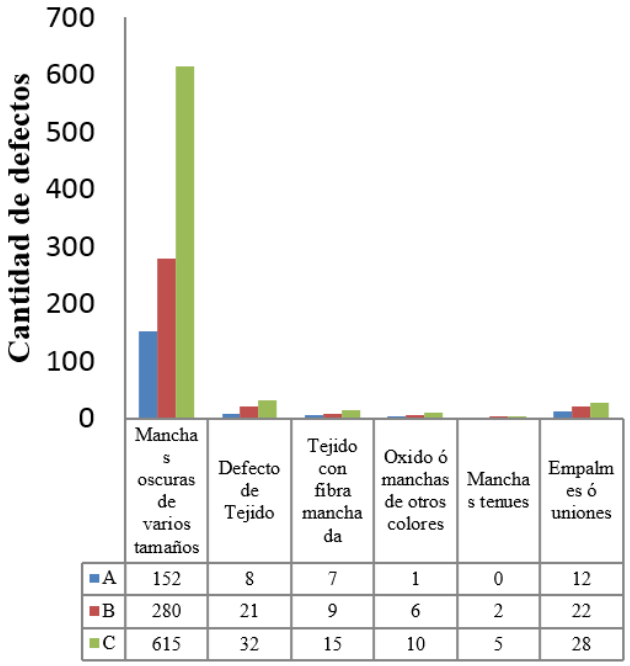
Descripción del defecto	**Imagen**
Manchas oscuras grandes	
Manchas oscuras pequeñas	
Defecto de tejido	
Tejido con fibra manchada	
Oxido ó manchas de otros colores	
Manchas tenues	
Empalmes ó uniones	

Tabla 2 Diferentes tipos de defectos en las cremalleras de poliéster

ECORFAN® Todos los derechos reservados

Tomando como muestra 10000 m de cadena se contabilizaron todos los defectos para detectar los de mayor incidencia y a partir de ahí realizar el diseño de los algoritmos. En la gráfica 1 se muestran los resultados obtenidos al realizar dicho conteo.



Gráfica 1 Cantidad de defectos en 10000 m de cadena de las calidades A, B y C

De la gráfica anterior se puede concluir que los defectos de mayor importancia son las manchas oscuras de varios tamaños y con menor incidencia óxido ó manchas de otros colores y manchas tenues.

Desarrollo y construcción del prototipo

Se ha divido el prototipo en las siguientes etapas

- Diseño mecánico.
- Diseño electrónico

El funcionamiento del prototipo de visión es: adquirir una imagen de una sección de cremallera con una cámara industrial y esta enviarse a una computadora por medio del puerto USB3.

Esta toma la imagen la procesa con un algoritmo de inspección y determina si la muestra contiene defectos o no. En el caso de que la imagen contenga defectos se envía una señal de alarma a un microcontrolador deteniendo el proceso. Si la imagen es correcta la computadora se prepara para hacer avanzar la cremallera y procesar otra imagen.

La detección la realiza analizando imagen por imagen. Se utiliza un motor a pasos para mover la cremallera y detener el proceso en el instante requerido. Tanto el procesamiento de la señal de alarma como el control del motor a pasos se realizan con un microcontrolador. En la figura 3 se muestra el esquema general del sistema propuesto.

Figura 3. Prototipo mecatrónico de Visión propuesto

Diseño mecánico

La parte mecánica de este prototipo está integrada por una estructura, guías para la cremallera, superficie para la visión de la cremallera, guías ajustables para las lámparas LED y cámara de visión hechas en aluminio. Una unidad de tracción mueve la cremallera accionada por el motor a pasos. En la figura 4 se muestra el sistema mecánico del prototipo de visión propuesto.

ISSN-2444-4995
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Figura 4. Sistema mecánico del prototipo de Visión. *Fuente: Elaboraciónpropia*

Por la superficie de visión pasa la cremallera. La particularidad de esta superficie es que contiene una línea negra de 25 mm de ancho, como se muestra en la figura 5. La estrategia de utilizar esta línea se debe a dos motivos:

Figura 5 Superficie para Visión
Fuente: Elaboraciónpropia

1. Funciona como elemento de fondo para los defectos en el tejido; esto es cuando la cremallera contiene orificios ya sea en el tejido o en la zona del filamento en espiral.
2. Se observó una mejor matización de los defectos al colocar el fondo negro.

Las guías ajustables para las lámparas LED y cámara de visión contienen unas correderas en los tres ejes, para ajustar la cámara y las lámparas LED. Cabe señalar que se seleccionaron lámparas LED de tipo *arrays* debido a que se necesitaba iluminación a lo largo de la cremallera y evitar sombras por el relieve del filamento de la cremallera. Se coloco la cámara a una distancia de 210 mm aproximadamente, esto arroja una resolución de 91 mm de longitud por imagen. En la figura 6 se muestra la estructura para las lámparas LED y cámara de visión.

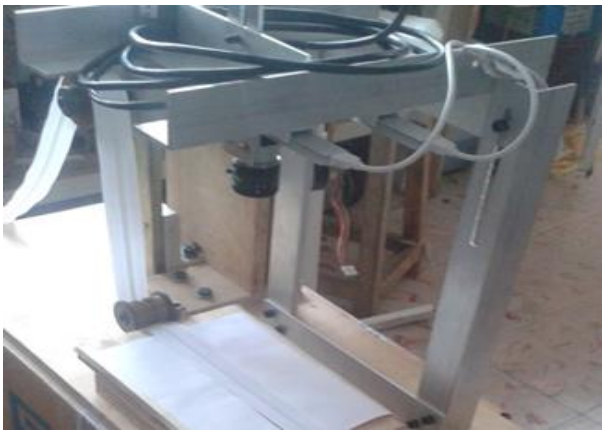


Figura 6 Estructura para las lámparas LED y cámara de Visión.
Fuente: Elaboraciónpropia

La unidad de tracción está compuesta por un motor a pasos, reductor y rodillos. Todos estos elementos están colocados como se muestra en figura 7.

Figura 7 Sistema de tracción con motor a pasos
Fuente: Elaboraciónpropia

ISSN-2444-4995
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Este motor a pasos es de la marca *SANYO DENKI*, modelo: 103G770-1856. Es de tipo unipolar de 6 hilos, 1.8 grados/paso, con torque 4.8 kg/cm. Tiene un eje de 6.5 mm y ensamblado en él una polea dentada de 25 dientes con un diámetro total de 15mm. Este torque es el suficiente para mover la cremallera. Para completar una vuelta se divide 360 grados entre 1.8°/paso y con esto se determina el número de pasos por revolución (PPR) como:

$$PPR = \frac{360°}{1.8°/paso} = 200\ PPR\ . \quad (1)$$

El reductor está compuesto por la polea dentada de 15 mm del motor a pasos y una polea dentada de 37 mm. A través de una banda del mismo tipo se trasmite el movimiento, como se puede apreciar en la figura 8. Estos tienen una relación de vuelta de:

$$G = \frac{D1}{D2} = \frac{15\ mm}{37\ mm} = 0.405. \quad (2)$$

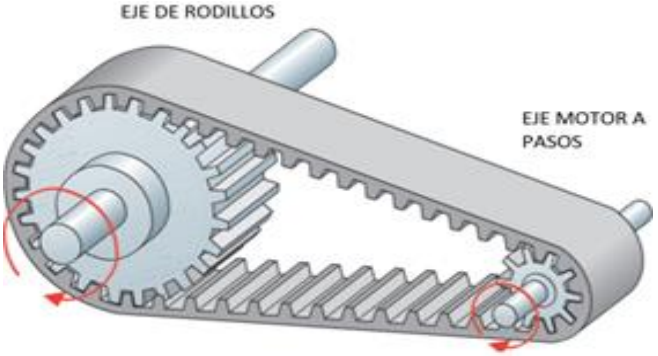


Figura 8. Figura representativa del reductor
Fuente:http://www.pasionporvolar.com/el-autogiro-cap-11-el-reductor/

Es decir por cada vuelta en el eje del motor a pasos, el eje de los rodillos girará 0.405 de vuelta, por lo que necesita 2.46 vueltas el eje del motor para completar una vuelta en el eje de rodillos. Los rodillos están compuestos por dos elementos, uno superior de 50 mm y el otro inferior de 51 mm. Ambos presionan a la cremallera con una palanca y un resorte, ver detalle en Figura 9.

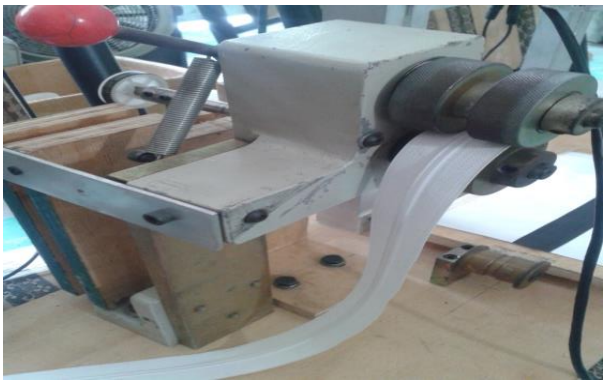


Figura 9 Rodillo del sistema de tracción.
Fuente: Elaboraciónpropia

Dado que la resolución espacial de la muestra es de 91 mm, la cremallera deberá recorrer esta longitud en la adquisición de cada imagen. Para calcular el número de pasos que debe dar el motor para completar esta longitud se deben realizar los cálculos siguientes: Primero calculamos la longitud total que avanza la cremallera por vuelta del rodillo inferior. Esto se logra usando el perímetro del rodillo más el grosor de la cremallera que es de 1 mm. Los resultados se muestran acontinuación:

$$p = \pi * D = 3.1416 * 51mm = 160.22\ mm, \quad (3)$$
$$L = p + 1\ mm = 160.22 + 1 = 161.22\ mm. \quad (4)$$

Como es mayor a 91 mm, se calcula la fracción de vuelta que tiene que girar el rodillo inferior para avanzar 91 mm de cremallera, lo que queda como:

$$Fracción\ de\ vuelta = \frac{91mm}{161.22} = 0.564\ vuelta. \quad (5)$$

Este dato se utiliza en la relación de vueltas con la polea del motor y se calcula el número de pasos que se necesitan para completar los 91 mm de cremallera. Sabiendo que 200 PPR = 0.405 de vuelta del rodillo inferior, entonces:

$$\#de\ pasos\ a\ 91mm = \frac{0.564\ vuelta*200PPR}{0.405} = 278.73\ pasos \quad (6)$$

Por lo tanto, el motor a pasos necesita 278.73 pasos para trasladar 91 mm de cremallera. Lo hemos fijado en 278 pasos.

ECORFAN® Todos los derechos reservados

Diseño Electrónico

Para el funcionamiento de la unidad de tracción se implementó un driver de potencia que controla el motor a pasos. Las entradas están opto-acopladas y los elementos de potencia son MOSFET de canal N. Para el diseño se utilizó el software *Proteus*. En la figuras 10 se muestra el diseño electrónico y en la figura 11 el PCB (*Printed Circuit Board).*

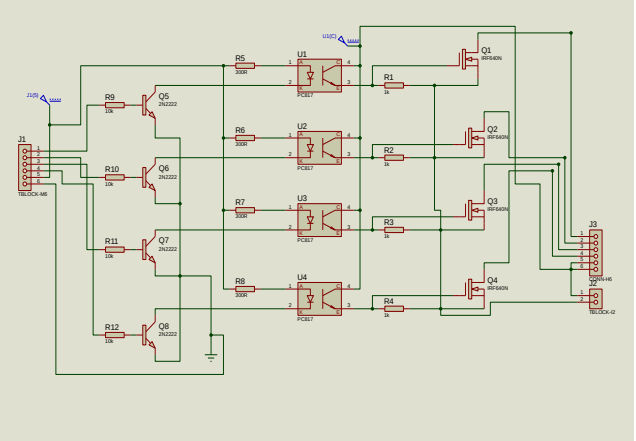


Figura 10 Diagrama esquemático del driver de potencia
Fuente Elaboraciónpropia

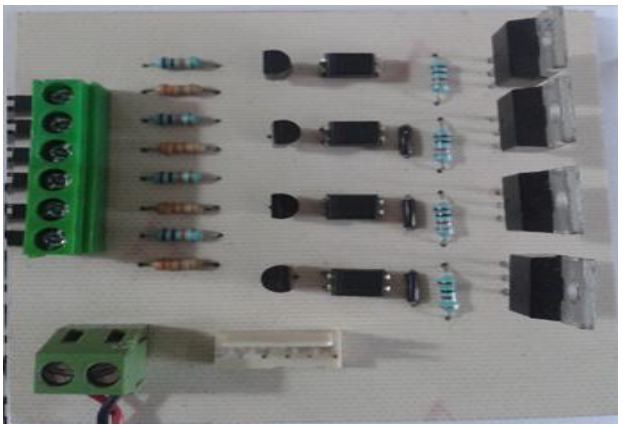


Figura 11 *PCB del driver de potencia*
Fuente Elaboraciónpropia

El motor a pasos contiene 4 bobinas de 3.5 Ω conectadas a 12 VDC. La fuente de 12VDC para alimentar el driver y el motor a pasos se requiere que trabaje con una corriente de 5 A.

Se usó el microcontrolador ATMEGA328P-PU, basado en la plataforma ARDUINO UNO debido a que su programación es "*open source"* y además es un sistema de fácil implementación ya que tiene integrado el puerto USB convencional. (Flores, 2017). Este se encarga de controlar el movimiento del motor a pasos y la salida de la alarma activando un buzzer.

Se establecieron tres comandos para su operación:

- "on".
- "off".
- "alarma".

Con el comando "on" el motor a pasos recorre los 275 pasos (91 mm) y se detiene esperando otro comando "on".

Durante el intervalo de detención se captura la imagen y al final del periodo del procesamiento se envía otra vez este comando para que se traslade de nuevo la cremallera otros 91 mm. Con el comando "off" el motor a pasos se detiene cuando se interrumpe el proceso. Con el comando "alarma". El motor a pasos se detiene y genera una señal de alarma que activa un buzzer.

Se ha seleccionado la cámara Basler Ace acA1300-30um/uc con interfaz USB3 VISION de la compañía *National Instrument* debido a que es de uso industrial y de bajo costo para su segmento comparado con otras marcas. Es una cámara *Progresive Scan* (escaneo progresivo) para superficies y es ideal para el prototipo que aquí se describe. Además, la cámara se seleccionó de tipo monocromática debido a que en la mayoría de los procesos de inspección se utilizan imágenes en escala de grises para evitar un procesamiento extra. La resolución de esta cámara es de 1296 x 966. En la figura 12 se muestra la cámara seleccionada.

ECORFAN® Todos los derechos reservados

Figura 12 Cámara Basler Scan Ace USB3
Fuente:http://www.baslerweb.com/en

Las ópticas adecuadas para esta cámara usan lentes que reconstruyen la imagen para que el sensor obtenga la luz necesaria y pueda realizarse la captación adecuada. El modelo seleccionado es de la marca Computar modelo: M1214-MP2. Consta de un lente de apertura que controla la cantidad de luz y un lente focal para la nitidez de la imagen. El ajuste se realiza manualmente. El ensamblado es de tipo C, usado ampliamente en la industria.

Algoritmos empleados

La implementación de algoritmos de visión por computadora desde el lenguaje C resulta muy costosa en tiempo, ya que requiere de la manipulación de punteros, gestión de memoria, etc. (Lujan, 2012). Sin embargo la cámara Basler trabaja con una plataforma basada en C++, y dada sus características de alto y bajo nivel, la hace la más apropiada para la implementación de algoritmos de visión computacional.

Utilizar C++ para el periodo de prueba exige un tiempo mayor de corrección de errores debidos al proceso de implementación del algoritmo. Todos estos problemas pueden ser resueltos si la implementación de prueba es realizada en MATLAB utilizando su toolbox de procesamiento de imágenes, con ello el tiempo de implementación de pruebas se convierte en el mínimo con la confianza de utilizar algoritmos científicamente probados y robustos.

El sistema de visión primero adquiere la imagen a través del uso de Visual Studio con Visual C++ y la cámara Basler, luego la guarda en un archivo para posteriormente tratarla y procesarla en Matlab. Entonces se diseña el algoritmo de detección y posteriormente se migra a C++ para su versión final.

Para adquirir las imágenes se utilizó las librerías de la plataforma *Pylon 4* en Visual C++. Estas librerías contienen absolutamente todos los elementos necesarios para el manejo de la cámara Basler.

Ajuste de tamaño de imagen

Si bien el sensor de la cámara tiene un tamaño estándar de 960 x 1280, para obtener el máximo rendimiento de la cámara esta se ajusto para obtener imágenes de un tamaño de 470 x 1280 pixeles. Este tamaño de imagen se ajusta a lo ancho de la cremallera de poliéster.

Por la experiencia de inspección de los operadores, así como por la definición de los defectos, se calculó el área del *defecto mínimo*, siendo este de *0.1 mm²*, esto con una una imagen de 33 x 91mm y una resolución de 464 x 1280 pixeles Con estos datos podemos calcular la cantidad de pixeles que necesita el defecto mínimo. Cabe señalar que el área del defecto mínimo puede ser de cualquier forma, sin embargo para el cálculo consideramos al área de un cuadrado. Para obtener la cantidad de pixeles, se calcula el tamaño del pixel de acuerdo a la resolución con las siguientes expresiones:

$$Ancho\ pixel = \frac{33\ mm}{464\ pixel} = 0.071\frac{mm}{pixel}, \quad (7)$$

$$Alto\ pixel = \frac{91\ mm}{1280\ pixel} = 0.071\frac{mm}{pixel}. \quad (8)$$

Para el cálculo de la longitud de cada lado del cuadrado se tiene:

$$L = \sqrt{0.1} = 0.3162\ mm, \quad (9)$$

Y en la figura 13 se muestra como queda el área utilizada para el defecto mínimo.

ECORFAN® Todos los derechos reservados

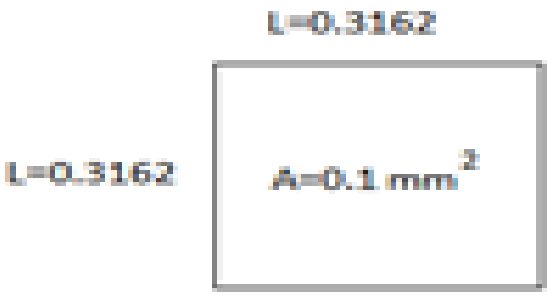


Figura 13 Área represeantada por el defecto mínimo
Fuente: Elaboraciónpropia

Para el cálculo de la cantidad de pixeles por cada lado del cuadrado

$$Lpixel = \frac{0.3162\ mm}{0.071\ mm/pixel} = 4.45\ pixeles \qquad (10)$$

Finalmente, se calcula la cantidad de pixeles del defecto mínimo en el area cuadrada.

$$\#pixeles\ Defecto\ Mínimo = 4.45\ x4.4 = 19.83 \approx \mathbf{20\ pixeles} \qquad (11)$$

Diseño del algoritmo de detección

La idea básica de nuestro algoritmo es encontrar una imagen con defecto, mostrarla y avisar. El operador observa dicho defecto y determina si lo elimina o lo marca. Este algoritmo debe ser lo más rápido posible. Una vez que se encuentre el defecto mínimo en una imagen entonces ya no hay necesidad de inspeccionar todo lo que resta de la imagen. Es decir, al primer defecto mínimo detectado considerar toda la imagen con defecto.

Existe literatura que muestra técnicas y algoritmos para la detección de defectos en telas, que si bien son los más parecidos a las cremalleras, sin embargo todos ellos están basados en el análisis de la estructura homogénea del tejido que son las tramas y urdimbre. No es preciso aplicar fielmente esas técnicas y algoritmos, (*aunque es expandible para otros trabajos y líneas de investigación*) dado que para el caso de la cremallera, el tejido es homogéneo en algunas zonas pero puede camibiar por ser de diferente proveedor.

Por lo que tendríamos que aplicar diferentes algoritmos en cada tipo de tejido; esto genera complejidad y tiempo de computo. En su caso es necesario diseñar un algoritmo más simple. En las figuras 14 y 15 podemos obervar la diferencia de tramas y urdimbres.

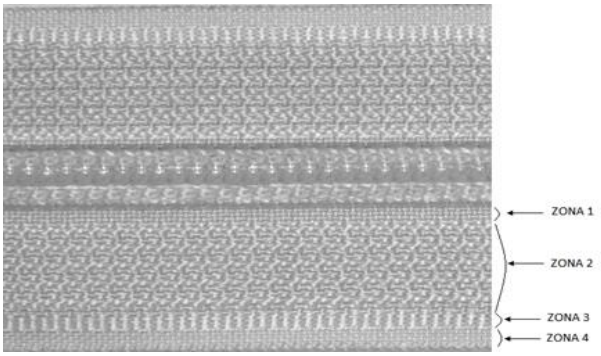


Figura 14 Tipos de tejidos en muchas zonas de un cierto proveedor
Fuente Elaboraciónpropia

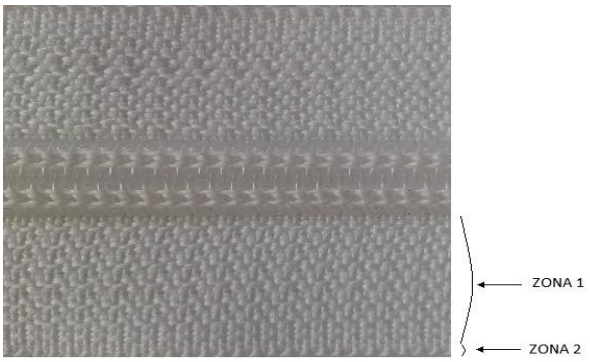


Figura 15 Tipos de tejidos con pocas zonas de otro proveedor
Fuente: Elaboraciónpropia

Como vemos en las imágenes hay varios tipos de tejidos que se encuentran a lo largo de la cadena de cremallera. Ya se ha comentado anteriormente que la cremallera de poliéster no es una superficie homogénea totalmente, ya que contiene un filamento en espiral en el centro que forma un relieve y tejido homogéneo por zonas, sin embargo esta estructura no cambia y en cierta forma puede tratarse como homogénea. Esta idea nos permite identificar toda forma que no pertenezca a esa superficie, extraerla, analizarla y generar la señal de error si es necesario.

ISSN-2444-4995
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Con esta lógica se puede extraer valores de una imagen correcta y compararla con la que se inspecciona, este valor sin duda es dado por un filtro de promedio. La imagen promedio se ajusta en un rango de 200.

Calibración de umbral

Con base en la adquisición de imágenes, se determinó que el umbral que más se adapta al color blanco es el de 100 en un rango de intensidad pixel de 0-255. Se realizaron pruebas con distintos defectos en varias tonalidades desde lo más bajos a los más altos, siendo este valor el que más favorece en ambos extremos de valores de pixel. Si el promedio de la imagen es 200 entonces el umbral está a la mitad.

Algoritmos

Se probaron 3 algoritmos de detección que tienen la siguiente estructura secuencial:

Algoritmo 1. Filtro promedio, Binarización a través de un umbral y segmentación parcial.

Algoritmo 2. Binarización a través de un umbral y segmentación parcial.

Algoritmo 3. Generación de semillas a través de un Umbral y segmentación parcial.

Como se puede ver la umbralización y la segmentación son procesos comunes en todos los algoritmos. Para el caso de la segmentación se utilizó la lógica de guardar las direcciones de pixeles debajo del umbral y posteriormente utilizar esas direcciones para realizar un recorrido alrededor de ese pixel para verificar si se encuentran debajo del umbral; si es así, estos pixeles se marcan para no volverlos a detectar. Todos los pixeles vecinos debajo del umbral se cuentan hasta llegar al defecto mínimo, que en este caso se ha definido a 20.

Se guarda la dirección de cada pixel encontrado y se marca dándole otro valor para no ser contado nuevamente. Cada dirección genera un nuevo ciclo de recorrido para detectar pixeles debajo del umbral, se cuentan y se marcan.

En la Figura 16 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo de segmentación implementado.

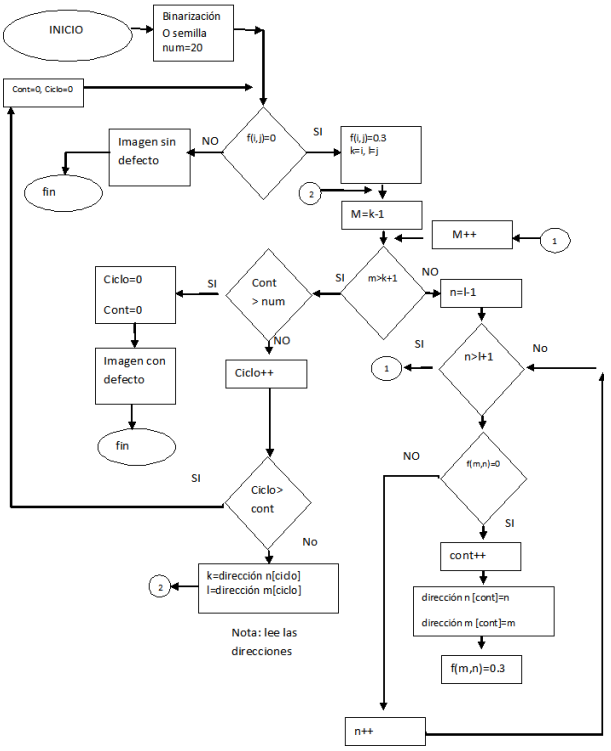


Figura 16 Diagrama de flujo del algoritmo de segmentación
Fuente: Elaboración propia

Pruebas y resultados

Se realizaron pruebas a los tres algoritmos tomando una muestra con el defecto de menor tamaño necesario a detectar.

Pruebas con el primer algoritmo

El filtro promedio suaviza la imagen y con el dato del promedio de la imagen de referencia se realiza la binarización de esa nueva imagen, de manera que los puntos que quedan fuera del umbral son pintados en negro.Posteriormente se aplica una segmentación para contabilizar la cantidad de pixeles negros para determinar si la imagen contiene defectos.

ISSN-2444-4995
ECORFAN® Todos los derechos reservados

Pruebas con el segundo algoritmo

Este algoritmo se omite el filtro de suavizado. Se realiza una binarización a través del umbral con el dato del promedio de la imagen de referencia, quedando en negro los puntos que están fuera del umbral. Posteriormente se aplica la segmentación para contabilizar los pixeles.

Pruebas y resultados con el tercer algoritmo

Se generan semillas o puntos a través de un umbral. Luego se contabilizan y se marcan los pixeles con una segmentación en un intervalo de valores de grises entre el valor del umbral y un 50% sobre él, es decir entre 100 y 150. El nivel de detalle lo determina este porcentaje. El algoritmo detecta el defecto cuando el conteo se pasa de los 20 pixeles. En las figuras de la 17 a 19 se muestran imágenes que ilustran las fases del proceso de que consta el Algoritmo 3.

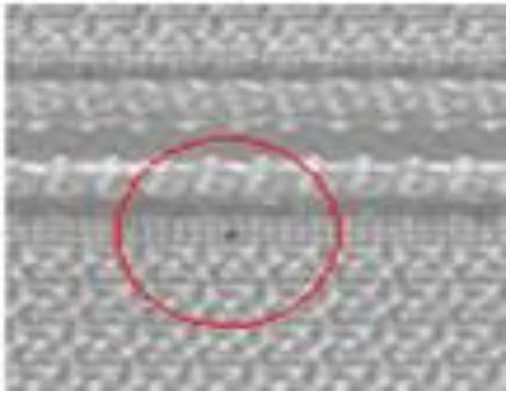


Figura 17 Imagen original
Fuente:Elaboracion propia

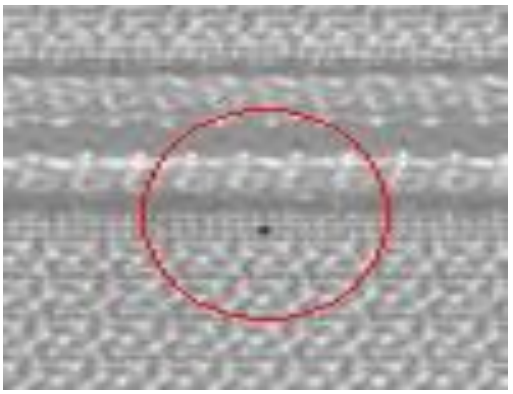


Figura 18 Imagen generando semilla para la segmentación
Fuente: Elaboracion propia

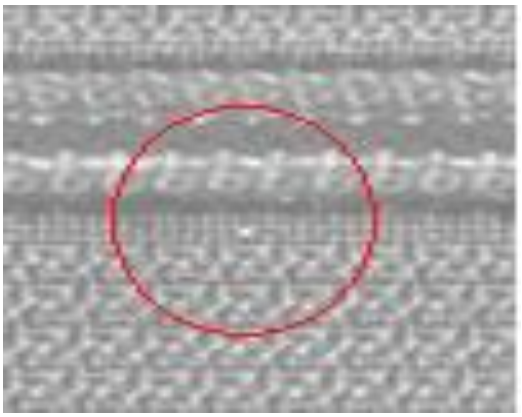


Figura 19 Imagen segmentada
Fuente Elaboracion propia

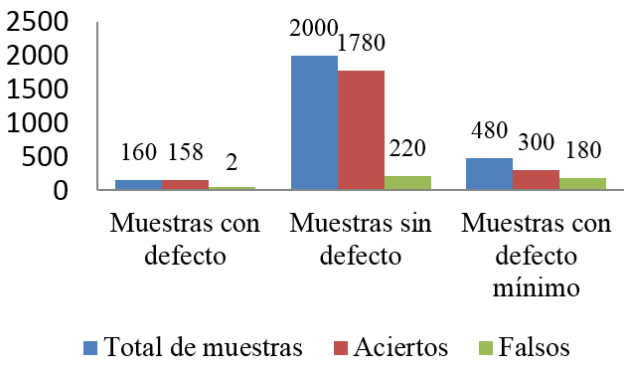
Comparativa entre algoritmos

Para los defectos muy grandes y obscuros el algoritmo uno funciona bien, sin embargo el algoritmo dos realiza esto adecuadamente sin la necesidad de filtro promedio. En este caso el algoritmo dos funciona para defectos de tamaño mediano y oscuro y es muy rápido. El algoritmo 3 permite detectar defectos pequeños y más tenues con valores superiores al 50% del umbral, y aunque es más lento que el algoritmo dos, es funcional y cumple el objetivo planteado.

Resultados con varios tipos de defectos

Se aplicaron muestras con defectos, sin defectos, defectos mínimos válidos y defectos atenuados para observar el comportamiento del tercer algoritmo. Las muestras fueron tomadas de cremalleras de calidad tipo C de un solo proveedor. Las muestras representan un metraje de 250 m. En la gráfica 2 se muestra el resumen de estos resultados.

ISSN-2444-4995
ECORFAN® Todos los derechos reservados



Gráfica 2 Resultados de detección de defectos con el algoritmo 3 en cremalleras tipo C
Fuente:Elaboracion Propia

Conclusiones y trabajos a future

De acuerdo a las pruebas realizadas se observó que el uso del tercer algoritmo resulta en resultados favorables, aunque para los defectos atenuados no es muy eficiente. Sin embargo, las muestras con este tipo de defectos representan un porcentaje muy pequeño comparado con los otros tipos de defectos.

Para los defectos de mayor incidencia en los lotes de cremalleras se observa una eficiencia del 98.7 %. Para las muestras sin defecto se observa una eficiencia del 89%, sin embargo los falsos defectos son debidos a arrugas del material o por causas imputables al umbral en la iluminación, sin que esto represente gran problema puesto que no es muy recurrente. Para el caso de las muestras con defectos míniamente válidos se observa un porcentaje del 75%, este se considera un porcentaje bajo, pero los que no se detectan se consideran tolerables según el estándar que se definió de 0.1 mm² (20 pixeles). En las pruebas se observó una velocidad de traslación media de la cremallera de 1000 m /1.5 hrs, considerando que esta era intermitente.

El prototipo. Para efectos del prototipo que aquí se propone, el funcionamiento es intermitente, ya que en el instante de la captura de la imagen la cremallera está detenida. La justificación de ello es que en el algoritmo de inspección podamos evitar usar imágenes borrosas o un procesamiento extra debido al movimiento de la cremallera.

Tal condición no exenta que en desarrollos futuros pueda trabajarse con un movimiento contínuo, puesto que el prototipo está diseñado para soportar tal funcionamiento.

Sobre el diseño mecánico. El diseño mecánico fue elaborado considerando materiales de fácil adquisición, siendo las partes estructurales de aluminio. También se ha de comentar que se ajustaron y adaptaron algunas piezas que fueron tomadas de partes de otras máquinas. La finalidad de ello, fue para disminuir costos en la construcción y conseguir una rápida integración.

El diseño del mecanismo de arrastre de la cremallera se basó en esquemas de maquinaria industrial que maquila los cierres de cremallera, en donde se tomaron ideas sobre las guías y el modo de traslación del material. Sobre la estructura de las lámparas de LED y cámara, es un diseño propio con versatilidad de ajuste manual de las alturas.

Sobre el algoritmo. Dado que el prototipo funciona en un ambiente industrial, las imágenes adquiridas son sometidas a cambios en la iluminación. Esto se resolvió con un proceso de calibración en donde el usuario ajusta la iluminación a través de una rejilla integrada en el lente de la cámara. El programa te muestra el promedio de la imagen, este debe estar dentro de un rango de 200 ± 5%; es decir, entre 190 y 210.

En este rango se detecta de mejor forma los defectos, ya que a menor umbralización los valores cercanos a los defectos son muy oscuros por lo que el defecto pierde información de los pixeles vecinos. Por otro lado, las imágenes muy claras presentan una borrosidad en defectos más tenues, lo que lleva consigo la pérdida de la detección del defecto. La importancia en la calibración de la cámara radica en la necesidad de mantener la imagen adquirida en un rango de iluminación adecuada para conseguir la máxima fiabilidad.

ISSN-2444-4995
ECORFAN® Todos los derechos reservados

En el proceso de inspección, este umbral se revisa dentro del algoritmo del programa, verificando 10 imágenes sucesivas. Si este está fuera del rango definido, el algoritmo corrige este umbral aplicándole un incremento o decremento de intensidad calculado a base de un porcentaje. Se calcula cuánto porcentaje se desvía y este valor se aplica como compensación. En la experiencia práctica de las pruebas, el desajuste de la intensidad siempre se debió a una baja iluminación, por lo que siempre el ajuste fue para incrementar.

Dentro de los trabajos futuros se encuentran:

- Desarrollar una interfaz gráfica para que el usuario pueda interactuar con la máquina y establecer los parámetros necesarios para realizar la detección de defectos.
- Optimizar el algoritmo y ajustar la tasa de captura de imagen lo más posible buscando la mayor rapidez y con esto el motor este trabajando en tiempo real y ajustar la velocidad adecuada con cada captura de la imagen y obtener la máxima velocidad posible.
- Realizar la inspección de la cremallera del poliéster en ambas caras con la misma imagen, esto es posible con la modificación del ancho de la imagen y el diseño del mecanismo para rotar la cremallera. En especial los equipos que existen implementan varias cámaras, la novedad es utilizar solamente una.
- Modificar el nivel de detalle de la cámara. Esto es posible de logra con el ajuste de la resolución espacial determinado por la altura de la cámara, por lo que se prevé automatizar la altura de la cámara para que se ajuste a diferentes tamaños de imagen y con esto tener mayor nivel de detalle dependiendo de las necesidades de inspección.
- Trabajar con redes neuronales para la clasificación y detección de defectos utilizando imágenes de referencia en donde el sistema tenga la capacidad de aprender.
- Explorar el manejo de otros tipos de plataformas o dispositivos embebidos que puedan ser exigidos por las condiciones de un entorno industrial, ya que debido a la sencillez de aplicación el prototipo se implementó con un microcontrolador a base de la plataforma Arduino.

Agradecimientos

Gracias a la Empresa I-ZIPPER por el apoyo económico para el desarrollo del proyecto y al Tecnológico Nacional de México a través del Instituto Tecnológico de Mérida por el aporte de conocimientos y facilidades para realizar el proyecto.

Referencias

Azorín-López, J. (2007). *Modelado de sistemas para visión de objetos especulares. Inspección visual automática en producción industrial.* (Tesis doctoral). Universidad de Alicante. Alicante, España. Recuperado de http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/7751/1/tesis_doctoral_jorge_azorin_lopez.pdf

Bolton, W. (2010). *MECATRÓNICA Sistema de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica.* 4ta edición.Alfaomega. México D.F. Páginas 170-217.

Cuevas E. V., Navarro, D. S. (2006) *Visión por computadora utilizando Matlab y el Toolbox del procesamiento digital de imágenes.* Recuperado dehttp://proton.ucting.udg.mx/tutorial/vision/cursovision.pdf

Delgado, S. H., Gallegos, J. L. (2016). Tarjeta de Adquisición de datos USB para LabVIEW. *Revista de Sistemas Computacionales y TIC's*, *2* (3), 53-60.

Flores, M.l, Medina, L., Mayorquín, J., García, O. (2017). Detección de Objetos a Color en Tiempo Real con Técnicas de Visión Artifical y Arduino. *Revista de Prototipos Tecnológicos*, *3*(7), 1-7.

ECORFAN® Todos los derechos reservados

Lárraga, H., Piedad, A., Zapata, N., Espinosa, O. (2016). Algoritmo para control de calidad mediante procesamiento de imágenes aplicado a la industria alimenticia. *Revista de Aplicación Científica y Técnica*, *2*(3), 1-7

Lujan, C. A. (2012). *Adquisición y procesamiento digital de imágenes para la obtención de la trayectoria de los vectores de posición de camarón y la jaiba*. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia en cooperación con el Departamento de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Mérida. Valencia España. Recuperado de https://riunet.upv.es/handle/10251/17502

Mitropulosa, P. (1999). *A Real-Time Vision System for Defect Detection and Neural Classification of Web Textile Fabric.* Applied Electronics Laboratory, bVLSI Design Laboratory Department of Electrical and Computer Engineering University of Patras, Grecia. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/228601204_Realtime_vision_system_for_defect_detection_and_neural_classification_of_web_textile_fabric

Morantes O. F., Alférez E. S. (2006). *Algoritmo de segmentación automática para la detección de defectos en imágenes termográficas*. (Tesis para el grado de físico). Universidad industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.

Otero L. M., Valenzuela W. D. (2009) *Análisis de defectos estructurales en textiles mediante el procesamiento digital de imágenes.* (Tesis de Ingeniería). Escuela de Ingenierías eléctrica, electrónica y telecomunicaciones, Facultad de de ingenierías Físico Mecánicas, Universidad Industrial de Santander. Colombia. Recuperado dehttp://repositorio.uis.edu.co/jspui/handle/123456789/3391

Sucar, L. E., Gómez G. (2008). *Visión computacional.* Instituto Nacional de astrofísica, óptica y electrónica. Puebla México. Helmholtz Zentrum Munchen. Nueherberg, Alemania. Recuperado de http://www.ppgia.pucpr.br/~facon/ComputerVisionBooks/2008VisionComputacionalSucarGomez.pdf

Turpín, J. (2011). *Desarrollo de un Sistema de Inspección Visual Automatizado para una línea de envasado de morteros industriales.* (Memorias). Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, Colombia. Recuperado dehttp://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/1954/pfc4060.pdf?sequence=1

Ulloa A. E. (2009). *Diseño y comparación de métodos para la detección automática de defectos en tela.* (Tesis de ingeniería). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima Perú. Recuperado de http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/45338?show=full

Vargas V. (2010). *Sistema de visión artificial para el control de calidad en piezas cromadas*. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional. Escuela superior de ingeniería Mecánica, Eléctrica, Unidad Azcapotzalco. México, D.F. Recuperado de http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/45338?show=full

ECORFAN® Todos los derechos reservados