

DISEÑO DE SISTEMA VERIFICADOR DE IDENTIDAD Y CODIFICACIÓN DE PRODUCTOS MANUFACTURADOS EN LA INDUSTRIA DE ENVASADO

Ing. Héctor Hernández Núñez ^[1], Ing. Enoc Sánchez Solís ^[2], MC Ernesto Chavero^[3]

[1] Alumno del posgrado, [2] Industria de envasado, [3] Asesor CIATEQ

hectorhernandeznunez@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo de investigación nace de la necesidad eminente que tiene la industria de envasado sobre la problemática actual que tiene en su codificación de productos de alto volumen de producción, el objetivo es proponer una alternativa viable para garantizar la identidad del producto antes de ser enviado al cliente.

El diseño de sistema se basa en el procesamiento de imágenes teniendo como plataforma el módulo de análisis de imágenes de Matlab; primeramente se desarrolló un algoritmo para estructurar el código de identificación de producto tomando en cuenta los requerimientos gubernamentales transmitidos a través de las especificaciones de cliente. La imágenes es tomada con una cámara, un sensor provee de la señal para realizar la captación de imagen en el momento justo que el producto pasa frente a la cámara, la imagen es seccionada, trasformada a binaria y procesada mediante operaciones morfológicas; el reconocimiento óptico de caracteres se realizó mediante un sistema OCR por el método del factor de correlación.

Se incluye un sistema rechazador por medio de un cilindro neumático y se complementa con un algoritmo que permite configurar el número de piezas con defecto detectadas antes de parar el transportador, se incluye un indicador visual con lámparas (semáforo) que le permite al operador saber el estado del sistema y así poder supervisar el correcto funcionamiento

Inspección, imágenes, Calidad.

INTRODUCCION

En vista de un mercado competitivo global, en la actualidad, la mejora continua de la calidad es una prioridad importante, sobre todo para las grandes corporaciones de los países industrializados, uno de los caminos es la prevención de defectos en los productos y la inspección en línea de los atributos o variables a controlar. Usando la tecnología de reconocimiento óptico

de caracteres (OCR) , las industrias de la manufactura, farmacéutica, de alimentos y cosméticos monitorean las cadenas de suministro en tiempo real desde la recepción de materias primas hasta el envío de productos reduciendo inventarios y desperdicios, así como mejorando su productividad. Cognex en su nota técnica OCRMax (1) menciona como tecnología OCR, ha establecido récords industriales por su facilidad de uso y velocidad de lectura de imágenes complejas, se ha convertido en un reto de la tecnología debido a las inmensas cantidades de aplicaciones que abarca el tema y a lo sofisticada que es su técnica.

El objetivo de este trabajo es diseñar un sistema, para la asignación e inspección del lote así como rechazador de producto que integre la tecnología de visión óptica OCR con la finalidad de reducir los costos por retrabajos y retiro del producto del mercado.

FUNDAMENTOS

Procesamiento digital de imágenes

Erick Cuevas menciona el procesamiento digital de imágenes puede definirse como la operación de imágenes mediante computadora. La materia prima del procesamiento de imágenes y de la visión son las imágenes, las cuales son consideradas como una representación del mundo físico que tiene información importante, la cual es captada mediante un procesamiento de muestreo, generalmente por medios electrónicos.

Para poder obtener imágenes digitales, se requiere de un proceso que involucra captura, muestreo, cuantificación y codificación. Una imagen puede definirse como una función bidimensional que cuantifica la intensidad de luz (el espectro visible es el más común). Una imagen normalmente es representada como $I(x,y)$, donde el valor de la intensidad se obtiene por el indexado de las coordenadas x e y . El modo más común de representación de la imagen es por medio de una matriz, la ecuación 1 representa la manera de indexar los datos matriciales. (2)

$$I(x,y)=\begin{bmatrix} I(1,1) & I(2,1) & \dots & I(N,1) \\ I(1,2) & I(2,2) & \dots & I(N,2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I(1,M) & I(2,M) & \dots & I(N,M) \end{bmatrix} \text{ Ecuación 1}$$

MatLAB (3) es un programa que permite realizar cálculos técnicos y científicos. MatLAB ya con varios años en el mercado y una gran cantidad de funciones implementadas para diferentes disciplinas científicas se han convertido prácticamente en un estándar de programación y desarrollo rápido de aplicaciones, por lo que su utilización en el procesamiento de imágenes es una extensión natural de su lenguaje de programación. MatLAB no solo se puede usar como una potente calculadora en líneas de comandos, sino que es posible realizar programas utilizando estructuras y lineamientos propios de un lenguaje de programación. Las ventajas de utilizar MatLAB para realizar programas es que se pueda sacar ventajas de las cientos de funciones ya programadas creadas para el procesamiento de imágenes.

Lectura, despliegue y escritura de imágenes

En Toolbox de Matlab (4) indica que las imágenes son leídas de algún dispositivo del almacenamiento al ambiente de MatLAB usando la función "imread". Una vez que la imagen ha sido cargada en una variable, podía ser conveniente indagar sobre sus dimensiones, lo que puede ser realizado mediante la función "size". Para desplegar la imagen en MatLAB como si se tratara de graficas generadas por un "plot", se utiliza la función "imshow". De esta manera si se desea desplegar la imagen almacenada en la variable. Después que se ha realizado el procesamiento sobre la imagen se guarda, lo cual se realiza mediante la función "imwrite".

Tipos de Datos

Todos los cálculos numéricos desempeñados por MatLAB se realizan considerando que los números son de tipo double (o números de coma flotante) por lo que muchas de las operaciones realizadas sobre imágenes tienen también este formato. El tipo de dato uint8 (enteros en el intervalo [0,255] se presentan normalmente cuando se presentan cargas de una imagen al ambiente de MatLAB por medio de la función "imread". Otro tipo de dato para la presentación de imágenes es el lógico, el cual permite presentar en forma compacta imágenes binarias, por lo que este tipo de dato solo tiene dos valores posibles 0 y 1, otro tipo de dato utilizado en el ambiente simulink es el single, el cual permite presentar un valor real con una precisión simple, siendo su intervalo de presentación $[10^{-38}, 10^{38}]$.

Las imágenes de escalas de grises es una matriz cuyos valores han sido escalados para representar un determinado número de intervalos. Si la imagen es de tipo uint8 entonces los datos que lo conforman se encuentran en el intervalo [0, 255]. Si la imagen es de tipo double, entonces los datos que la constituyen son de tipo flotante y se encuentran en el intervalo [0,1].

Una imagen binaria del tipo lógico se representa en MatLAB con un arreglo que solo contiene unos y ceros. Estos ceros y unos son especiales, porque no implican valores numéricos, sino más bien banderas que indican el estado de falso (0) o verdadero (1).

Operaciones con pixeles

Por operaciones de pixeles se define a aquellas operaciones realizadas sobre imágenes en donde solo se toma en cuenta el valor del pixel en cuestión de la imagen. Cada nuevo valor de pixel calculado $p' = I'(x,y)$ es dependiente del valor del pixel original $p = I(x,y)$ en la misma posición y con ello independiente de los valores de otro pixel como podría ser sus vecinos. Algunos ejemplos de operaciones con pixeles son el cambio de contraste y de iluminación de la imagen, aplicación de determinadas curvas de iluminación, la inversión completa de la imagen, la segmentación por umbral de una imagen, la correlación gama de la imagen y la transformación de color de una imagen.

Operaciones Morfológicas

Los filtros morfológicos fueron originalmente concebidos para ser usados sobre imágenes binarias, es decir sobre imágenes cuyo píxeles solo tienen dos posibles valores 1 y 0, blanco y negro. Los filtros morfológicos tienen la característica de ser utilizados controladamente, es decir, no pueden ser usados para reaccionar con estructuras particularmente descritas de acuerdo a su forma y estructura. Los filtros morfológicos son capaces de influir sobre la estructura de la imagen, designada previamente la definición del elemento estructural.

La función "bwmorph" implementa una variedad de operaciones útiles, basadas en combinaciones de dilataciones y erosiones. La sintaxis básica de esta función es:

$$IR = \text{bwmorph}(I, \text{operación}, n);$$

Donde IR es una imagen binaria, operación es la cadena de caracteres que especifica la operación que se desea realizar y "n" es un entero positivo que especifica el número de veces que la operación se repite. El número "n" es opcional y al omitir significa que la operación se desempeña solo una vez. La función "bwmorph" puede ser considerada también como una función que implementa rápidamente operaciones morfológicas de gran uso sin necesidad de construir separadamente la estructura de referencia, tal es el caso para la erosión y dilatación donde se realizan operaciones utilizando una estructura de referencia de una matriz de unos de 3x3.

Reconocimiento de patrones usando el coeficiente de correlación

Cuando se necesita comparar una imagen con otra, o bien identificar si determinado patrón conocido se encuentra presente en una imagen, puede ser fácilmente definido en dos imágenes I_1 y I_2 son iguales, si la diferencia entre las imágenes $I_1 - I_2$ es cero. La diferencia entre dos imágenes puede ser útil para detectar cambios para detectar cambios en imágenes consecutivas que tienen una iluminación constante. Uno de los factores a considerar en el método de comparación es la iluminación, esto debido a que un simple cambio en la iluminación global de la imagen, un desplazamiento en el objeto o bien una pequeña rotación puede ser que la diferencia numérica $I_1 - I_2$ sean considerables a pesar de que en la opinión del observador las imágenes sean iguales. (2)

El método de reconocimiento de patrones usando el coeficiente de correlación nos ayuda a evitar problemas con la iluminación con los píxeles menores de 1 que tiene poca o ninguna correlación o semejanza. En la ecuación 2 se conoce en el campo de la estadística con el coeficiente de correlación. El coeficiente de correlación no puede ser considerado como un índice de correlación global que considera el uso general de datos, sino un factor local que considera solo secciones determinadas explícitamente por el tamaño de la imagen de referencia. El intervalo de valores en los que fluctúa el coeficiente de correlación es de $[-1, 1]$, donde el valor de 1 representa el mayor índice de semejanza, mientras que -1 representa que son totalmente diferentes $I(x, y)$ y $R(i, j)$.

$$C(r,s) = \frac{\sum_{(i,j) \in R} \left(I(r+i, s+j) - \bar{I}(r,s) \right) \left(R(i,j) - \bar{R} \right)}{\left[\sum_{(i,j) \in R} \left(I(r+i, s+j) - \bar{I}(r,s) \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \left[\sum_{(i,j) \in R} \left(R(i,j) - \bar{R} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad \text{Ecuación 2}$$

PROCEDIMIENTO

La identidad del producto así como la identificación por medio de un código denominado lote de producto son uno de los principales requerimientos gubernamentales que debe contener todo producto, por esto es necesario el diseño del proceso adecuado para garantizar el cumplimiento de las variables mencionadas.

La falta parcial o total del lote en el producto es valorado por el cliente como defecto crítico por lo que actualmente se tiene implementado una metodología escrita para asignación, carga a equipo e inspección del número de lote, sin embargo los continuos problemas de rechazo de productos por legibilidad o falta del lote hacen cuestionable el proceso establecido teniendo como imperativo el planteamiento de un proceso diferente.

Características del producto a considerar

La estructura del lote de producto está definida por cada uno de los clientes, para fines del desarrollo de este trabajo de investigación resumimos características similares que contienen la estructura de los lotes y que deberán ser ajustados para la aplicación específica de algún producto, en general podemos enlistarlos en los siguientes:

Año de elaboración: Este dato indica el año de fabricación de producto, para la estructura del lote se estará considerando dos dígitos numéricos del 0 al 9.

Día de Fabricación: Este dato indica el día en que fue producido, para nuestra estructura de lote se tomara el día juliano el año que corresponde a 3 dígitos alfanuméricos del 0 al 365.

Familia de producto: Este valor se refiere al tipo de producto al que pertenece, se considera 5 clases de producto, la letra A corresponde a la familia de producto de desodorantes, la letra B corresponde a la familia de producto de aerosoles, la letra C corresponde a la familia de productos de detergentes, la letra D corresponde a la familia de producto de shampoos y la letra E corresponde a la familia de productos de jabón líquido para manos.

Línea de producto: Este valor corresponde a la línea de producción en donde fue envasado el producto, se considera del 01 al 08 para fines de este trabajo de investigación.

Número consecutivo: Este valor corresponde para la identificación de los productos con características similares que son envasados el mismo día y línea, se considera de la A-Z.

Tomado en cuenta las características antes enlistadas podemos generar el lote de un producto, el segundo lote fabricado de Jabón líquido para manos elaborado el 23 de Agosto de 2004 en la línea de producción número 3, el lote que corresponde al ejemplo en mención sería 235E1403B detallándolo de la figura 1.

235	E	14	03	B
Día fabricación	Familia de producto	Año	Línea de producción	Numero consecutivo

Figura 1 Detalle de asignación de lote

El tamaño y la fuente del carácter no está especificado en los requerimientos del cliente, solo se especifica la impresión de lote en color negro con tinta de base aceite y con caracteres legibles impresos en la posición especificada.

Generación de base de datos

En el mapeo de procesos se identificó la carga de lote a equipo de inyección de tinta como fase crítica donde ocurre 90 % de los defectos reportados por problema de lote, para eliminar el problema es necesario realizar la comparación del lote impreso en envase con un patrón que no dependa de la atención del personal, para esto se considera crear una base de datos que calcule los numero de lotes, con esto el patrón de referencia no dependerá de error humano y así garantizar el correcta impresión del mismo.

Figura 2 Pantalla principal de hoja de excel para el cálculo de la estructura del lote.

Para generar el número de lote se diseñó una hoja de cálculo utilizando excel oficce, con el desarrollo de esta hoja de cálculo se genera una base de datos con capacidad de almacenaje de

hasta 1,048,573 estructuras de lotes, sin duda esto reduce el riesgo de cometer un error en la generación del lote por no depender de la atención del personal eliminando bitácoras en copia dura, en la figura 2 se muestra su desarrollo completo.

Detección de pieza

El movimiento del producto entre estaciones de trabajo se realizan mediante transportadores de tablillas, la separación entre productos varía dependiendo la velocidad de línea oscilando entre 5 a 15 mm, para la detección de la piezas se instalara un sensor Allen-Bradley 42JS-D2MPA2-F4 ubicado sobre el transportador. La señal del sensor es conectada a un relevador SUN HOLD modelo 0403 de 9VCD el cual actúa como control de la señal de entrada del puerto de señal digital de la tableta arduino uno, en la figura 3 se muestran los componentes utilizados.

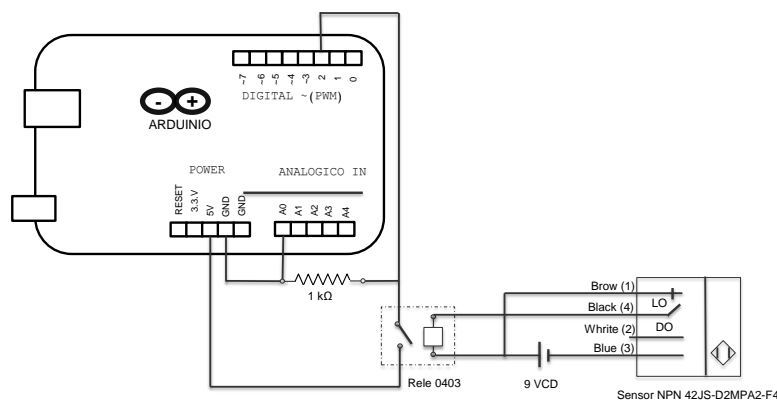


Figura 3 Diagrama para la conexión del sensor

La comunicación de arduino con MatLAB se realiza con la función 'arduino=serial('COM3','BaudRate',9600)', se abre el puerto para poder enviar los datos con 'fopen(arduino)' y son enviados los datos con 'fprintf(arduino,'%s',char(dato))' se da el sentido con 'dato=input('IZQ=1 DER=2 :')' y finalmente se cierra el puerto con 'fclose(arduino)'.

Captura y procesamiento de imagen

Para captura la imagen se utilizando la función "videoinput" y para pre visualizarla utilizamos el comando "preview", posteriormente ejecutamos la función "start" la cual toma 10 cuadros o imágenes de lo que está capturando la cámara Webcam, para tener acceso a esta imágenes se utiliza la función "getdata", el arreglo que regresa es el formato R, G, B, como solo una imagen es necesaria, se toma la 5, que sería la imagen media de que se capturo.

El procesamiento de la imagen inicia cambiando la imagen a formato binario, para esto se utiliza la función "im2bw" con un nivel de contraste 0.85 adecuado para el tipo de iluminación aplicada, en la figura 4 se muestra la figura original capturada y aplicando la función "im2bw".



Figura 4 Imagen capturado e imagen binaria

Ya teniendo la imagen en formato binario se aplica los filtros morfológicos “clean” y “bridge”, se segmenta la imagen buscando los máximos y mínimos con “find” recortado la imagen con la función “imcrop”. Posteriormente se procede a extraer letra por letra de la imagen. Para esto se usó la función “bwarea”, la cual etiqueta los componentes conectados de la imagen. En otras palabras, esta función cuenta los trazos continuos y los enumera. Con la función “imresize” cada letra es normalizada a un tamaño de 40 x 22 píxeles, que es el tamaño de la plantilla con la que realizará la correlación.

Correlación de imágenes

Antes de realizar la comparación de la imagen es necesario crear los patrones de comparación, cada letra y número tendrá un patrón de 40 x 22 píxeles en formato JPG, cargados con la función “imread”.

Las imágenes son cargadas en vectores de letras y números, letra=[A B C D E F G H I J K L M N P R S T U V W X Y Z], números=[uno dos tres cuatro cinco seis siete ocho nueve cero], se crea la matriz de caracteres mediante la función “mat2cell” seccionando la matriz en [1 34] de 40 x 22 cada una, se finalmente se guardada con la función “save”.

La operación principal que se empleó para la clasificación fue la correlación en dos dimensiones. Esta operación da un valor de la semejanza entre dos matrices (imágenes). La función utilizada es “corr2” utilizando el ciclo “for” de 1 hasta 34 cargando en un vector denominado “com1”, con este arreglo se calculó y carga el factor de correlación comparando la imagen capturada con la matriz de caracteres, finalmente se realiza una condición comparando el nivel máximo de “com1” con la función “if”, en la figura se muestra el algoritmo utilizado. Una vez terminado el programa se realiza el ensayo, en la figura xxx se muestra la imagen de entrada capturada comparada con la salida obtenida.

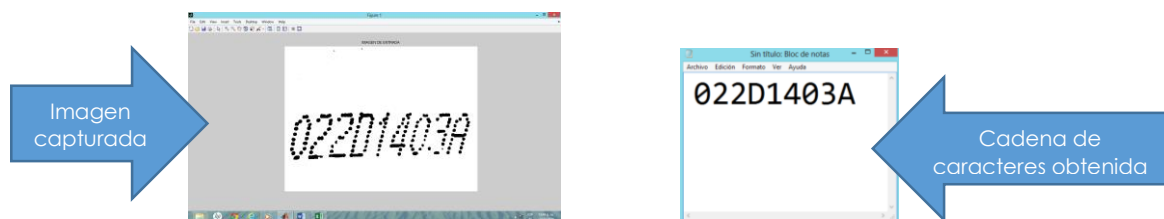


Figura 5 Imagen de entrada capturada por cámara con la salida obtenida por algoritmo

Ya obteniendo la cadena de caracteres se procede a realizar la comparación del mismo con la cadena de caracteres obtenido con la hoja en Excel (estructura de lote), si la cadena de caracteres son iguales el sistema considera una pieza con el número de lote correcto, si la cadena de caracteres tiene diferencias el sistema considera una pieza con defecto en el lotificado. La comunicación de salida para el actuador que realizara el trabajo mecánico de segregación de la pieza (cilindro neumático) se realiza mediante la comunicación de arduino con MatLAB mencionada anteriormente.

RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

Se ha retado el sistema con 6 estructuras de lote tomando 50 lecturas en condiciones experimentales, esto debido a que las pruebas se realizan fuera de línea en condiciones similares, en tabla número 1 se muestran los resultados.

Tabla 1 Resultados obtenidos con el sistema OCR.

MUESTRAS	LOTE CALCULADO EN EXCEL (ESTRUTURA DE LOTE)	LOTE COLOCADO A LA PIEZA	LOTE CALCULADO POR COEFICIENTE CORRELACION	RESULTADO OBTENIDO	CALCULO CORRECTO		MUESTRAS	LOTE CALCULADO EN EXCEL (ESTRUTURA DE LOTE)	LOTE COLOCADO A LA PIEZA	LOTE CALCULADO POR COEFICIENTE CORRELACION	RESULTADO OBTENIDO	CALCULO CORRECTO	
					SI	NO						SI	NO
1	022D1403A	022D1403A	022D1403A	PIEZA OK	X		26	342F1103B	342F1103B	342F1103B	PIEZA OK	X	
2	022D1403A	022D1403A	022D1403A	PIEZA OK	X		27	342F1103B	342F1103B	342F1103B	PIEZA OK	X	
3	022D1403A	022D1403A	022D1403A	PIEZA OK	X		28	342F1103B	342F1103B	342F1103B	PIEZA OK	X	
4	022D1403A	022D1403A	022D1403A	PIEZA OK	X		29	342F1103B	342F1103B	342F1103B	PIEZA OK	X	
5	022D1403A	022D1403A	022D1403A	PIEZA OK	X		30	342F1103B	342F1103B	342F1103B	PIEZA OK	X	
6	022D1403A	022D1403A	022D1403A	PIEZA OK	X		31	342F1103B	342F1103B	342F1103B	PIEZA OK	X	
7	022D1403A	022D1403A	022D1403A	PIEZA OK	X		32	342F1103B	342F1103B	342F1103B	PIEZA OK	X	
8	022D1403A	022D1403C	022D1403C	PIEZA CON DEFECTO	X		33	342F1103B	342F1103B	342F1103B	PIEZA OK	X	
9	022D1403A	022D1403C	022D1403C	PIEZA CON DEFECTO	X		34	342F1103B	342F1103E	342F1103E	PIEZA CON D	X	
10	022D1403A	022D1403A	022D1403A	PIEZA OK	X		35	342F1103B	342F1103E	342F1103E	PIEZA CON D	X	
11	124D1403C	124D1403C	124D1403C	PIEZA OK	X		36	008E1101H	008E1101H	008E1101H	PIEZA OK	X	
12	124D1403C	124D1403C	124D1403C	PIEZA OK	X		37	008E1101H	008E1101H	008E1101H	PIEZA OK	X	
13	124D1403C	124D1403C	124D1403C	PIEZA OK	X		38	008E1101H	008E1101H	008E1101H	PIEZA OK	X	
14	124D1403C	124D1403C	124D1403C	PIEZA OK	X		39	008E1101H	008E1101H	008E1101H	PIEZA OK	X	
15	124D1403C	124D1403C	124D1403C	PIEZA OK	X		40	008E1101H	008E1101H	008E1101H	PIEZA OK	X	
16	124D1403C	124D1403C	124D1403C	PIEZA OK	X		41	008E1101H	008E1101H	008E1101H	PIEZA OK	X	
17	124D1403C	124D1403F	124D1403F	PIEZA CON DEFECTO	X		42	156L1101J	156L1101J	156L1101J	PIEZA CON DEFECT	X	
18	124D1403C	124D1403F	124D1403F	PIEZA CON DEFECTO	X		43	156L1101J	156L1101J	156L1101J	PIEZA OK	X	
19	234A1403G	234A1403G	234A1403G	PIEZA CON DEFECTO		X	44	156L1101J	156L1101J	156L1101J	PIEZA OK	X	
20	234A1403G	234A1403G	234A1403G	PIEZA OK	X		45	156L1101J	156L1101J	156L1101J	PIEZA OK	X	
21	234A1403G	234A1403G	234A1403G	PIEZA OK	X		46	156L1101J	156L1101J	156L1101J	PIEZA CON DEFECT	X	
22	234A1403G	234A1403G	234A1403G	PIEZA CON DEFECTO		X	47	156L1101J	156L1101J	156L1101J	PIEZA OK	X	
23	234A1403G	234A1403G	234A1403G	PIEZA OK	X		48	156L1101J	156L1101J	156L1101J	PIEZA OK	X	
24	234A1403G	234A1403G	234A1403G	PIEZA OK	X		49	156L1101J	156L1101J	156L1101J	PIEZA OK	X	
25	234A1403G	234A1403A	234A1403A	PIEZA OK	X		50	156L1101J	156L1101J	156L1101J	PIEZA OK	X	

Del análisis de datos obtenidos el sistema presenta un efectividad del 92%, sin embargo en tabla se observa problemas con la lectura y comparación del carácter "G" presentando confusión con el

numero "6", también se observa problemas en la correlación del carácter "L" confundiéndolo con el número "1", para reducir el error con estos caracteres es posible mejorar el sistema modificando la iluminación segregando el área donde se captura la imagen de la luz recibida del ambiente y/o fuentes externas de iluminación; también es posible mejorar el sistema modificando el tamaño y fuente de los caracteres.

CONCLUSIONES

En la actualidad ser competitivo radica al equilibrio que se obtiene en producir productos con altos niveles de calidad al menor costo, el usos estratégicos de la tecnología para el control de las variables críticas de un proceso demandan una inversión mínima comparado con los resultados obtenidos en costo y calidad del producto, obteniendo retornos de inversión impresionantes que justifican cualquier inversión.

Los sistemas de inspección basados en la captación y procesamiento de imágenes es una de las mejores opciones para ser implementadas dentro del control de proceso en industrias de alto volumen de producción, son ideales en el control de variables que requieren ser inspeccionadas en todo momento.

En la actualidad la tecnología de reconocimiento óptico de caracteres (OCR) ha tenido un desarrollo tecnológico enfocado en la aplicación en procesos industriales, sin embargo se tiene un campo inherente de investigación ya que estos sistemas son altamente vulnerables a los cambios de iluminación, distorsión o rotación del objeto a controlar.

1 Bibliografía

1. **COGNEX.** OCRMax. Massachusetts EE. : Cognex, In-Sight y VisionPro, 2013. VSTN3-201301.
2. **Cuevas, Erick, Zaldívar, Daniel y Pérez, Marco.** *Procesamiento digital de imágenes con Matlab y Simulink.* México D.F. : Alfaomega, 2010. 978-607-707-030-6.
3. **MathWork, Inc.** MATLAB the Language of Technical Computig. US : MathWork, Inc, 2010. Vol. R2010b, Versión 7.11.0.584. Lincese Number : 161051.
4. **MathWork.** Matlab image file operations. [En línea] 2014. [Citado el: 9 de Agosto de 2014.] <http://www.mathworks.com/help/matlab/ref.html>.
5. **Schmid, S.Kalpakkian S.R.** *Manufactura, ingeniería y tecnologia.* s.l. : PEARSON, 2008. Quinta edición.
6. **Denisse, Tello Paladines y Salcan Reyes, Miguel.** Escuela Superior Politecnica de Litoral- ESPOL. *Repositorio Digital (DSPACE).* [En línea] 2009. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/10587>.