

## MONITOREO Y CONTROL DE LA ETAPA DE INSPECCIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE BALINES

Mario Mauricio Bustillo Díaz, Mario Leopoldo Bustillo Eguiluz, Bárbara Sánchez Rinza, Alain Ariel Córdova Rivadeneyra, Alejandro Rangel Huerta, Apolonio Ata Pérez, Gerardo Martínez Guzmán.

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ciencias en la Computación

Av. San Claudio y 14 Sur Edificio 135 Ciudad Universitaria. Puebla, Puebla.

Tel. 229-5500 ext. 7200, 7201, 7207, 7208

leopoldobeguiluz1@hotmail.com, bustillo1956@hotmail.com, arieltech@live.com.mx, apolonio@cs.buap.mx, brinza@hotmail.com, arangel@cs.buap.mx.

### RESUMEN

El presente artículo trata del diseño e implementación de un sistema destinado a la automatización de la etapa de inspección en la producción de balines industriales.

La etapa de reconocimiento de defectos en la fábrica Tzubaki de C. A. la realizan operadores, los cuales usan la vista como principal instrumento, ellos aplican subjetivamente su experiencia en la detección de defectos y utilizan tiempos para el control de calidad excesivos. Se ha demostrado con estudios médicos y empíricos que esta forma de inspeccionar continuamente provoca daños en los ojos de los operadores.

La originalidad de este trabajo consiste en la utilización de metodologías de la ciencias de la computación (visión por computadora) y del control para automatizar el proceso de inspección en la producción de balines.

**Palabras claves:** *Balines, Automatización, Detección de defectos, Inspección.*

### 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe la necesidad para las empresas de automatizar sus procesos, esto permite garantizar la competitividad, mejorando la producción y las condiciones de trabajo de los empleados.

Para la empresa Tzubaki de C. A. encontrar defectos en balines industriales, menores a 3 mm, es una tarea sumamente difícil, ya que más allá del entrenamiento en observación, desarrollo de patrones de búsqueda y utilización de dispositivos de aumento (lupa, microscopios, etc.); están presentes factores subjetivos de decisión y métodos perjudiciales para la vista de los operadores humanos [1, 2].

El sistema desarrollado controla un mecanismo (ver fig. 1), el cual es un prototipo que permite

realizar, a escala, el control de calidad en balines industriales. Se efectúa la inspección y control de fallos, para garantizar que la decisión que se toma con respecto al balón sea confiable.

En la inspección del balón, interaccionan subsistemas que permiten su funcionamiento: toma de una muestra de la producción, adquisición de las imágenes del balón en diferentes posiciones, procesamiento digital de las imágenes para encontrar algún defecto en el balón y control del mecanismo de acuerdo al resultado del procesamiento de la imagen.

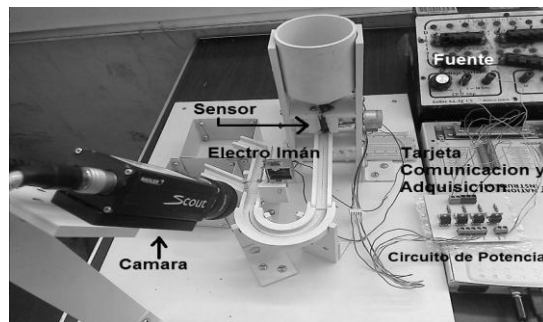


Figura 1. Prototipo para la inspección de balines.

### 2. DESARROLLO

Para la realización del sistema se implementaron y utilizaron técnicas de visión por computadora (umbralización) con Vision Builder AI, así como, interfaces de comunicación y adquisición de datos de National Instruments, usadas para el control de un motor a paso que permite la selección de una muestra, un sensor infrarrojo que funge como trigger de la adquisición de las imágenes (30 fps) y otro para llevar el conteo de los balines entre muestra y muestra; por último una compuerta para la separación de balines con y sin defectos de la muestra.

## 2.1. Descripción del prototipo.

El mecanismo consta de diferentes bloques que se explicaran a continuación:

En la figura 2 se muestra una parte del mecanismo la cual tiene como finalidad evitar la aglomeración de balines. Esta sección consta de un contenedor, un embudo de selección y un vibrador. El embudo recibe continuamente balines asegurando que solo uno pase por un cubo de selección (ver fig. 3); por otro lado el vibrador funcionando constantemente elimina el embotellamiento de balines en la parte más angosta del embudo.

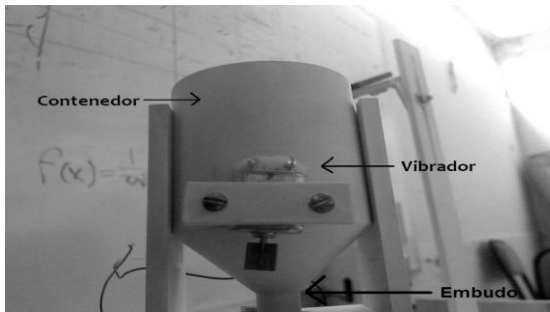


Figura 2. Contenedor, embudo y vibrador.

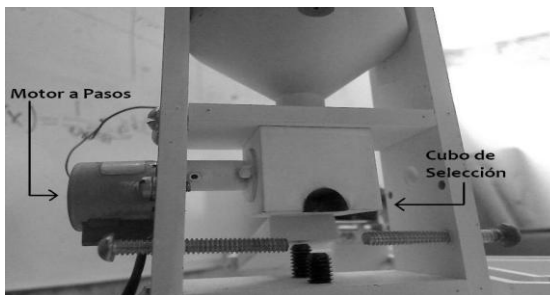


Figura 3. Motor a pasos y cubo de selección.

En la figura 3 se presenta otro bloque del prototipo. Éste se encarga de obtener muestras de la producción de balines. Se compone de dos elementos: un cubo para la selección de una muestra, el cual contiene un único orificio y permite elegir un balón de la producción cada determinado número de balines, este número depende del lote de balines. El otro bloque es un motor a pasos que permite la manipulación del cubo de selección de muestras y definir la posición de éste, enviando al balón a uno de los rieles (inspección o producción). En el riel de inspección se realiza la adquisición de imágenes y la inspección del balón (ver fig. 4).

En la figura 4 se muestra la sección donde se realiza la adquisición y procesamiento de las imágenes del balón elegido como muestra. Esta

parte del prototipo se compone de: los rieles de inspección, un electro-ímán y una compuerta de decisión. Los últimos dos componentes permiten seleccionar los balines de la muestra sin defectos de los que los contienen.

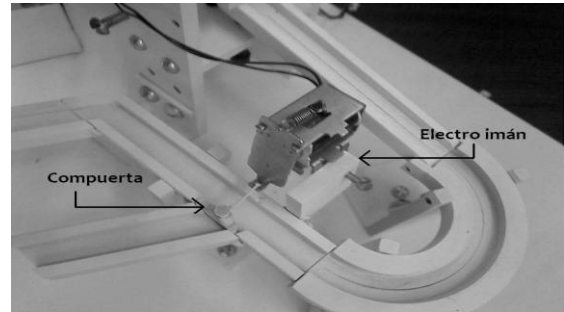
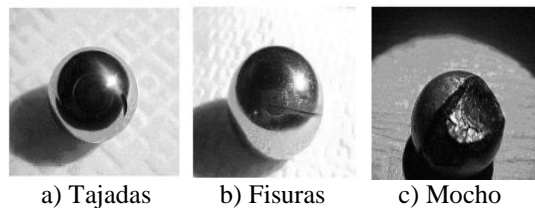


Figura 4. Electro imán-compuerta y rieles de inspección.

## 2.2. Tipos de defectos en balines y inspección en Tzubaki de C. A.

A continuación se expondrá el proceso de inspección y la clasificación de los defectos en balines, como antecedente del proyecto permite generar una perspectiva del alcance e importancia de este sistema.

La inspección de balines en la empresa Tzubaki de C. A. se realiza de la siguiente manera: Un empleado capacitado en el análisis de superficies hace una inspección visual con ayuda de una lámpara, en una bandeja llena de balines, haciéndolos girar con el movimiento de la misma para poder encontrar algún defecto. Los defectos más pequeños se identifican con lupas y microscopios, auditando su forma y su velocidad de rotación [3].



a) Tajadas b) Fisuras c) Mocho

Figura 5. Clasificación de defectos.

Los defectos que se encuentran en los balines, se dividen en la siguiente clasificación: Tajada (ver fig. 5.a.), se caracterizan por una lesión profunda y alargada en la superficie del balón. Flash, defectos muy pequeños, quemaduras o fisuras (ver fig. 5.b.). Y la categoría de defectos sin forma circular, pueden ser aplanados o “mochos” (ver fig. 5.c.).

### 2.3. Toma de muestra de un balín.

Para la selección de un balín de la muestra, se controla un cubo de selección en el cual se monta un motor a pasos (ver fig. 3). El procedimiento se realiza mediante el giro del motor-cubo de selección, permitiendo que el balín tome el camino de producción o inspección.

Se utiliza un motor a pasos de 4096 pasos. Este número de pasos permite realizar los desplazamientos angulares necesarios para el desarrollo de este proyecto.

Con las características técnicas del motor (500 ma y 12 v) se diseña la etapa de potencia, para el manejo de las variables eléctricas del motor y el control de la secuencia de magnetizado de las bobinas del motor unipolar. Este proceso permite colocar al cubo de selección para tomar la muestra que es procesada. El motor se desplaza 1250 pasos. Después de la selección de la muestra, se mueve 1250 pasos en dirección contraria.

Se garantiza que las muestras seleccionadas a lo largo de la inspección sean representativas con respecto a un lote de la producción, utilizando métodos de probabilidad [4].

### 2.4. Adquisición de imágenes del balín.

Para la adquisición de imágenes de un balín se ocupan módulos de Vision Builder AI que permiten el control de cámaras utilizando el puerto IEE 1394 de la tarjeta PCI-8255R de National Instruments. Se utiliza una cámara industrial BASLER sca640-70fm, la cual captura imágenes en escala de grises, con su interfaz de comunicación y su software diseñado especialmente para sistemas de visión (ver fig. 6).

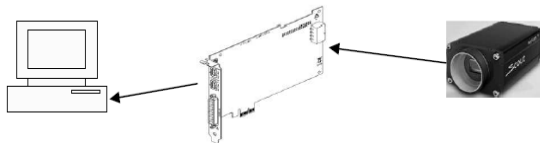


Figura 6. Proceso de adquisición de la imagen.

Se han modificado las condiciones del entorno, para la realización de la adquisición de imágenes, reduciendo los problemas de reflejo en el balín, por las características de su superficie metálica [8]. Las modificaciones que se hicieron son: establecer una iluminación homogénea en la zona de inspección, utilizar el color blanco antireflejante como fondo en todo el prototipo, construir una cubierta para el prototipo de color blanco y determinar la posición de la cámara, para la adquisición de las imágenes. La posición de la

cámara está determinada para que se enfoque a los rieles de inspección [6].

La adquisición empieza después de la toma de muestra de un balín, y es disparada por una señal de conteo en el sistema. El conteo de balines se registra por el sensor infrarrojo QRD1114 y la tarjeta NI USB 6251, la cual recibe las señales que generan el paso de balines controlado por el sensor (ver fig. 1).

La captura de las imágenes se lleva a cabo en la curva del riel del prototipo (ver fig. 4), en el camino de inspección. El tiempo en el que recorre el balín esta sección es aproximadamente 0.5 segundos. Se garantiza la toma de todas las posiciones de las superficies del balín, esto se logra con una velocidad de captura de 30 frames por segundo. Para la detección del defecto únicamente es necesario 8 de esas imágenes.

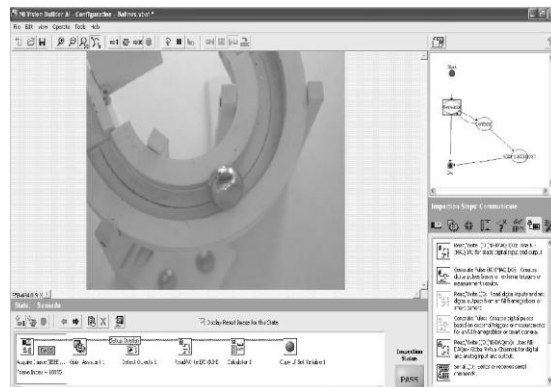


Figura 7. Software para la adquisición de la imagen.

### 2.5. Procesamiento digital de las imágenes del balín.

Para procesar una imagen, se comienza con una digitalización de una interpretación del entorno como un conjunto finito de valores en un buffer de memoria; se expresa la información en una matriz de  $N \times M$ . Un filtro es una función que se aplica a la matriz y transforma los valores de los píxeles de ésta (Ecuación 1).

$$F(A) \rightarrow A_1[n][m] \quad (1)$$

Para la construcción de un algoritmo capaz de detectar propiedades de defectos en los balines, se necesita identificar las características asociadas a ese rasgo y los valores de los píxeles que contienen esa propiedad, que los diferencia de los otros. El algoritmo para la detección se apega al método general para el procesamiento de una

imagen, el cual depende de: una buena adquisición, un preprocesado o acondicionamiento de la imagen, la segmentación de la imagen, la representación de la información adquirida y el reconocimiento del defecto [5].

### 2.5.1. Preprocesado y acondicionamiento de la imagen.

Después de la adquisición de las imágenes se aplican diferentes técnicas y filtros, los cuales permiten exaltar las características del balín y delimitar el área de interés para el procesamiento (ver fig. 8). Se define un área en la imagen adquirida. Esta área comprende únicamente los rieles de inspección, por donde se desliza el balín de muestra. Esta área es fija para toda la inspección.

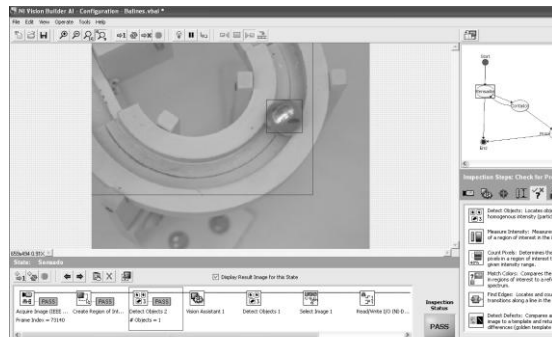


Figura 8. Región de interés y detección del balín.

Posteriormente se detecta el balín en el riel de inspección. Se emplea un histograma para determinar el valor promedio de los píxeles en el área de interés. Con el valor obtenido se usa umbralización para detectar al balín. Se aplican técnicas de agrupamiento de píxeles, de detección del objeto de estudio (balín) dentro de la región de interés, delimitación del tamaño en píxeles del objeto y el número de objetos que se procesan en la región de interés.

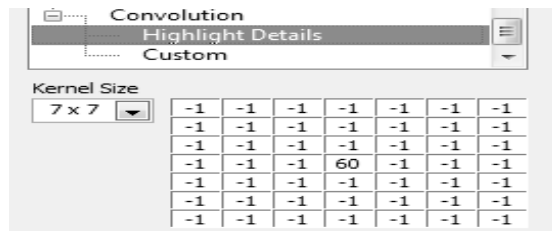


Figura 9. Matriz de convolución.

Para el acondicionamiento de la imagen se utiliza la convolución (ver fig. 9) y la potencia X para

realzar detalles dentro del objeto determinado en el preprocesamiento [6].

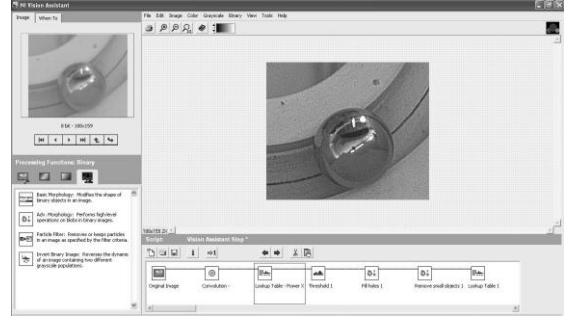


Figura 10. Acondicionamiento de imagen, convolución y potencia X.

### 2.5.2. Segmentación de la imagen y reconocimiento del defecto.

Para la detección del defecto en el balín, se utiliza nuevamente segmentación de la imagen (ver fig. 11), ya que en el acondicionamiento de la imagen, se han realizado los píxeles que corresponden al defecto (ver fig. 10). Las condiciones ambientales de la iluminación para la aplicación de la segmentación, en esta parte del diseño del sistema, no son importantes.

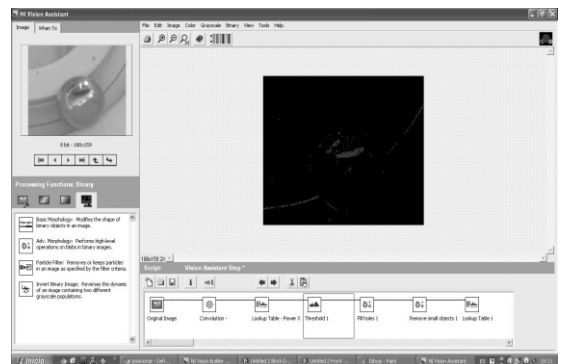


Figura 11. Segmentación de la imagen.

En la figura 11 se observa objetos que podrían ser defectos o no. Los filtros que se emplean para hacer la discriminación del defecto, en dependencia de su morfología, se plantean dos algoritmos diferentes. El primero consiste en aplicar un filtro morfológico, teniendo el criterio de conectividad y vecindad. Se aplican agrupaciones de 8 píxeles, considerando el centro como vecino de todos. La conectividad se establece con el valor del píxel del centro. Se toma en cuenta que las imágenes se binarizan con la segmentación. Después, se usa otro filtro morfológico para eliminar objetos, que por sus dimensiones están definidos como ruido.

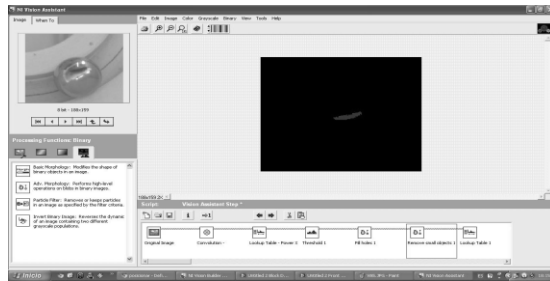


Figura 12. Aplicación de filtros morfológicos.

El segundo algoritmo, se diferencia en la aplicación de los filtros morfológicos, y se ocupa para la detección de defectos pequeños (1 mm-0.2 mm). La región de interés en este algoritmo cambiara a un rectángulo circunscrito al balón detectado, teniendo como centro el centro del balón (ver fig. 13). El primer filtro morfológico que se ocupa después de la umbralización es la dilatación (ver fig. 14).

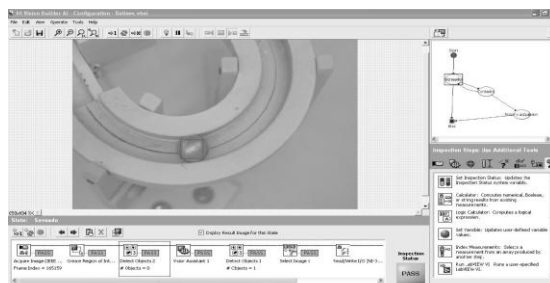


Figura 13. Región de interés para un defecto pequeño.

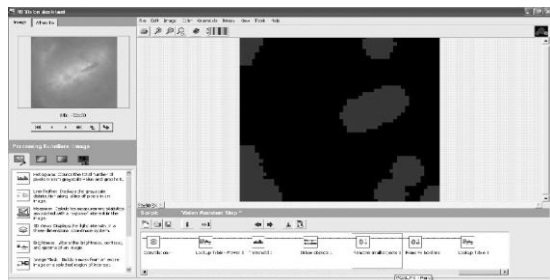


Figura 14. Dilatación del defecto.

Se puede observar en la figura 14, que el defecto localizado en la parte central crece, por efecto de la dilatación, pero también crece el ruido que se da por la sombra del contorno del balón. Para realizar la diferenciación entre el defecto y el ruido se utilizan filtros morfológicos para remover pequeños objetos y eliminar objetos que tocan el borde de la región de interés. En la figura 15 se observa la imagen binarizada con una ampliación

y dilatación del defecto detectado.

Se finaliza con la búsqueda de pixeles con un valor mayor a 0, para conocer el estado del balón [7].

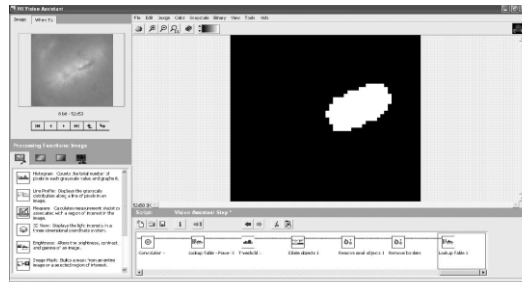


Figura 15. Aplicación de remover pequeños objetos y objetos que tocan el borde.

## 2.6. Control del electroimán.

Para efectuar el diagnóstico del estado del balón (defectuoso o bueno), se utiliza los resultados del procesamiento digital de las imágenes del balón. Se emplean los pixeles relacionados con el defecto. Si estos existen, entonces, se usan para seleccionar los balines defectuosos de la muestra y además, para la toma de decisiones para el control de calidad de la producción (no es un objetivo de este trabajo).

La selección de los balines defectuosos se ejecuta en el prototipo con una compuerta. La compuerta se implementa con un electro-imán (ver fig. 4). El control del electro-imán se realiza con una señal proporcionada desde el sistema a la interfaz NI USB 6251, la cual se adecúa para el manejo del electro-imán.

## 2.7. Arquitectura del sistema.

El sistema y la interacción entre sus diferentes módulos se muestran gráficamente en las figuras 16 y 17, se describirán estos diagramas que representan la arquitectura del sistema tanto en software (ver fig. 16) como en hardware (ver fig. 17).

En el diagrama de estados de software (ver fig. 16), se tiene como inicio del sistema al sensado del balón, seguido de la adquisición de la imagen, ambos cuentan con un modulo de prevención contra fallos. Después se encuentran tres módulos conectados consecutivamente (detección del balón, filtrado y detección de defectos grandes, filtrado y detección de defectos pequeños), los cuales están relacionados con el procesamiento de la imagen, que en conjunto se encargan de la detección del defecto del balón. Por último un modulo se ocupa

para el envío de una señal a la compuerta, la cual depende del resultado del procesamiento anterior. Las transiciones “default” sirven para detener al sistema o en el caso de la adquisición y sentido, para el control de fallos.



Figura 16. Diagrama de estados del software del sistema implementado en Vision Builder AI.

La arquitectura del hardware del sistema se muestra en la fig.17 y consta de 6 módulos.

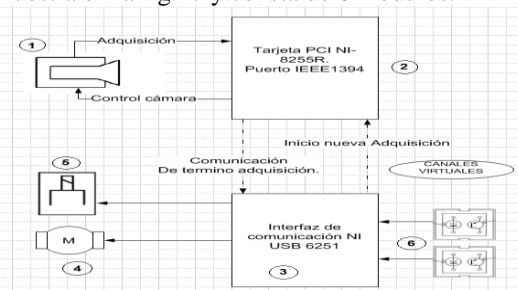


Figura 17. Arquitectura del hardware del sistema;  
 1.- Cámara, 2.- Tarjeta PCI 8255R, 3.- NI-USB 6251, 4.- Motor a pasos, 5.- switch para selección de balines (defectuosos o no), 6.- sensores infrarrojos para detectar del balón de la inspección y del conteo de balines de la producción.

### 3. RESULTADOS.

A lo largo de este artículo, se observan los resultados obtenidos en las diferentes imágenes presentadas en el desarrollo. Las figuras 12 y 15, muestran la detección de defectos grandes mayores a 1 mm, y defectos pequeños menores a 1 mm y mayor o igual a 0.2 mm.

Los resultados respecto al modelo de la muestra aun no son comprobables por la capacidad del contenedor del prototipo. En el prototipo únicamente caben entre 30 y 60 balines en dependencia del diámetro del balón, y es una población pequeña. Sin embargo, se ha realizado con esta población las pruebas de detección de defectos y su procesamiento. Todos los balines

fueron obsequiados por la fábrica. Contamos en la población 10 balines con defecto.

El procesamiento que se ha realizado de la inspección con este prototipo se ha hecho a toda la población. En la mayoría de las corridas realizadas en el laboratorio se detectaron de 9 a 10 balines defectuosos. En 6 de las 20 corridas que se hicieron tuvimos 7 o 8 balines defectuosos.

### 4. CONCLUSIONES.

En base a los resultados se concluye que el sistema puede servir para determinar el estado de la producción de balines en la fábrica, ya que se están considerando la mayoría de las condiciones reales para su explotación, como por ejemplo las condiciones de iluminación del entorno, el modelo para el cálculo de la muestra de un lote de producción etc... [3]. Además, puede sustituir la inspección manual que actualmente se realiza en la empresa.

El prototipo es un sistema que puede ser implementado, escalándolo para ser usado en el proceso productivo.

### 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1]<http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/MANUAL%20DE%20INSP.%20VISUAL.pdf>
- [2]<http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Curso%20Inspeccion%20Visual.pdf>
- [3] Juan Flores García, Mario Mauricio Bustillo Díaz, Apolonio Ata Pérez, Alejandro Rangel Huerta, Nicolás Quiroz Hernández, Mario Leopoldo Bustillo Eguiluz, Juan Aurelio Ortiz Morales. *Detección de defectos en la superficie de los balines usando procesamiento digital de imágenes*. Ed. ITECH 2010. ISSN 1405-2172.
- [4]<http://www.andromeda.cs.buap.mx/tesis/TES1408.pdf>
- [5] Maher A. Sid-Ahmed. *Image Processing Theory, Algorithms, and architectures*. Ed. McGraw-Hill. ISBN 0-07-113570-7, 1996.
- [6] Thomas H. Stehle. *Specular Reflection Removal in Endoscopic Image*. 10th International Student Conference on Electrical Engineering Prague 2006.
- [7] E. R. Davies. *Machine Vision, Theory Algorithms Practicalities*. Ed. ELSEVIER. ISBN 0-12-206093-8, 2005.
- [8] Chang Jiang LI, Zhong ZHANG, Tetsuo MIYAKI, Takashi IMAMURA and Hisanaga FUJIWA. *Processing Specular Reflection Components of Chrome-plated Surface by Multi-Image Reconstruction Method*. Ed. International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications. ISSN: 2150-7988 Vol.1 (2009), pp.303-311.