

# IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE VISION ARTIFICIAL PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN AREA SUPERFICIAL DE PIÑONES INDUSTRIALES

Steve Rodríguez Guerrero<sup>\*</sup>  
Alejandro Echeverri Echeverri<sup>\*\*</sup>  
Leonardo Emilio Yunda<sup>\*\*\*</sup>

Evaluadores:

Andrés David Restrepo<sup>\*\*\*\*</sup>  
Diego Fernando Duque Betancourt<sup>\*\*\*\*\*</sup>

**Tipo de Artículo: Investigación Científica y Tecnológica**

## RESUMEN

En el siguiente artículo se describe la forma como se desarrolló la aplicación que permitió hacer uso de una de las técnicas de ensayo no invasivo (NTD), como lo es la visión artificial para la determinación de la calidad en el área superficial de piñones industriales. Con la utilización de diversas técnicas de Visión Artificial se logro obtener una caracterización del objeto a estudiar (Un Piñón Industrial), donde parámetros como radios, diámetros, cantidad de dientes, fisuras, entre otras características fueron los fundamentos para la determinación de la Calidad. Adicionalmente las técnicas de iluminación y conversiones de unidades en pixeles a unidades reales hacen parte de la eficiencia de la aplicación permitiendo mejorar y simplificar procesamiento en software, creando un ambiente en hardware que permita que la aplicación sea más rápida. Así con este conjunto, la aplicación se torna más autónoma para la determinación de la calidad del producto.

---

\* Ingeniero Electrónico (2008), Universidad Santiago de Cali, Investigador Asociado al Área de Investigación en Telemedicina. Estudiante de la Especialización en Automatización de la Universidad del Valle. [elguerrero43@yahoo.com](mailto:elguerrero43@yahoo.com)

\*\* Ingeniero Electrónico (2008), Universidad Santiago de Cali. [alejoe23@hotmail.com](mailto:alejoe23@hotmail.com)

\*\*\* Ingeniero Electrónico (2000), Magíster en Ingeniería (2007), Universidad del Valle. Director General de Laboratorios de la Universidad Santiago de Cali, y Coordinador del Grupo de Investigación de Telemedicina T@lebio de la misma Universidad. [leyunda@usc.edu.co](mailto:leyunda@usc.edu.co)

\*\*\*\* Ingeniero Electrónico (1999), Magíster en Automática (2005), estudiante de Doctorado en Ingeniería de la Universidad del Valle. Profesor Tiempo Completo de la Universidad Santiago de Cali. Vinculado al grupo de investigación en Instrumentación Electrónica (GIE). [adareg378@yahoo.com](mailto:adareg378@yahoo.com)

\*\*\*\*\* Ingeniero Electricista (1996), Tecnólogo en Sistemas de Información (1998), Tecnólogo en Electrónica (1999), Magíster en Automática (2001), Universidad del Valle. Profesor Dedicación Exclusiva de la Universidad Santiago de Cali, Coordinador Centro de Estudios e Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Santiago de Cali, vinculado al Grupo de investigación en Instrumentación Electrónica (GIE). [diego.duque01@usc.edu.co](mailto:diego.duque01@usc.edu.co)

## **PALABRAS CLAVE**

Visión Artificial, Piñones, Control de Calidad, *frame grabber*, Matrox, Visual Basic 6.0.

## **ABSTRACT**

In the following paper the form is described like the application was developed that allowed to make use of one of the techniques of test non destructive (NTD), as it is it the artificial vision for the determination of the quality in the superficial area of industrial pinions. With the use of diverse techniques of Artificial Vision you achievement to obtain a characterization of the object to study (An Industrial Pinions), where parameters like radios, diameters, quantity of teeth, fissures, among other characteristics were the basics for the determination of the Quality. Additionally the techniques of illumination and conversions of units in pixels to real units make part of the efficiency of the application allowing to improve and to simplify prosecution in software, creating an atmosphere in hardware that allows that the application is quicker. This way with this group, the application you more autonomous restitution for the determination of the quality of the product.

## **KEYWORDS**

Artificial Vision, Pinions, Quality Control, *frame grabber*, Matrox, Visual Basic 6.0.

## **0. INTRODUCCION**

La Visión Artificial es una herramienta que se basa en el funcionamiento de la visión humana para realizar análisis de las imágenes y establecer la relación entre el mundo tridimensional y las vistas bidimensionales tomadas de ellas, con la diferencia de que usa un sistema de cómputo para obtener y entender la descripción de los objetos captados. En otras palabras, la visión artificial consiste en la adquisición y análisis automático de imágenes sin contacto, con el fin de extraer la información necesaria para controlar un proceso o una actividad como por ejemplo: el control de calidad, ordenación por

calidades, manipulación de materiales, test y calibración de equipos, monitorización de procesos entre otros.

Algunos de los objetivos típicos de la visión artificial incluyen: la detección, segmentación, localización y reconocimiento de ciertos elementos u objetos en imágenes, la evaluación de los resultados obtenidos y registro de diferentes imágenes de una misma escena u objeto. Estos objetivos se consiguen por medio de reconocimiento de patrones, aprendizaje estadístico, geometría de proyección, procesado de imágenes, teoría de gráficos y otros campos.

## **1. OBJETIVOS DE LA IMPLEMENTACION**

El objetivo general como ya se ha mencionado es: implementar un Sistema de Visión Artificial capaz de medir las características más relevantes del área superficial bidimensional de los piñones y de esa forma poder aplicar los conceptos y aplicaciones de control de calidad para la aprobación o no del producto. De aquí que se fijaron ciertas metas para llegar a cumplir el objetivo general, convirtiéndose en los objetivos específicos siguientes:

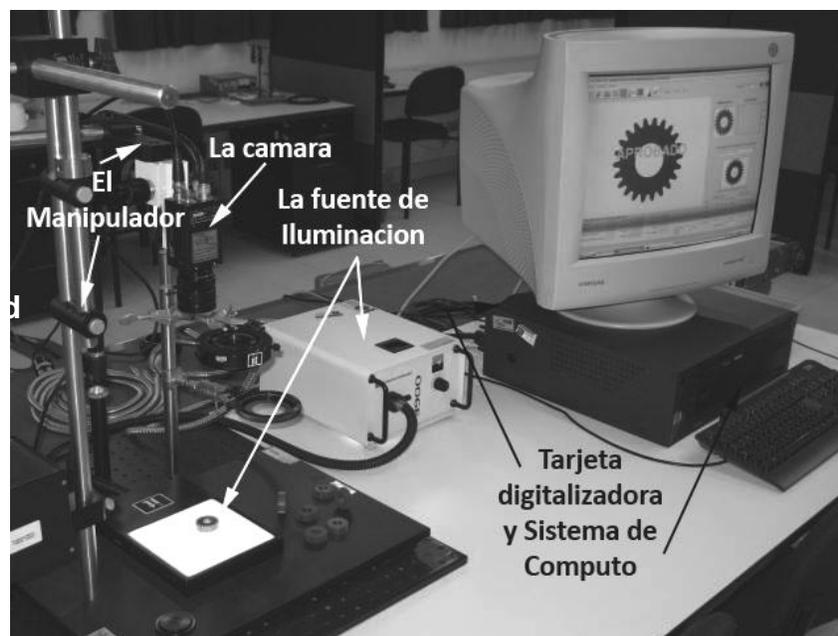
- ✓ Diseñar un sistema de visión artificial capaz de capturar la imagen de un piñón y trasladarla a un sistema de medida de los mismos.
  
- ✓ Diseñar un sistema de visión artificial que permita una vez obtenida la imagen del piñón extraer las características y medidas del mismo ya definidas.
  
- ✓ Diseñar el modulo de control de calidad a partir de las especificaciones utilizando herramientas de procesamiento de imágenes, histogramas y análisis de la estadística descriptiva de los parámetros del piñón (Numero de dientes, Diámetro exterior e interior, Calidad de superficie) para que apruebe o no el producto en su área superficial.

## 2. PROCEDIMIENTO

Para la implementación del sistema se realizaron las siguientes etapas:

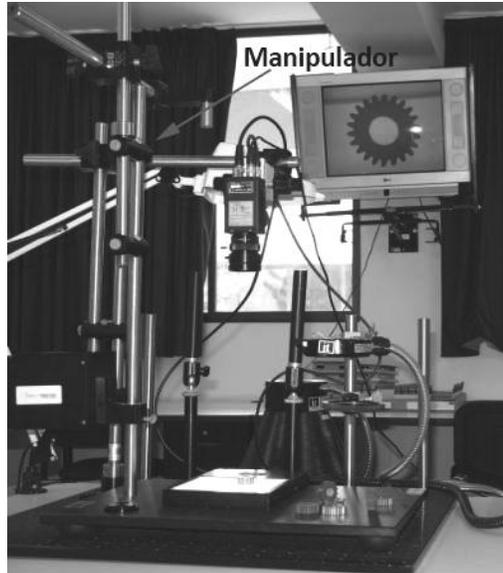
### 2.1 ETAPA 1: RECONOCIMIENTO DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

Los principales elementos que son requeridos para implementar un sistema de visión artificial se muestran en la siguiente figura.



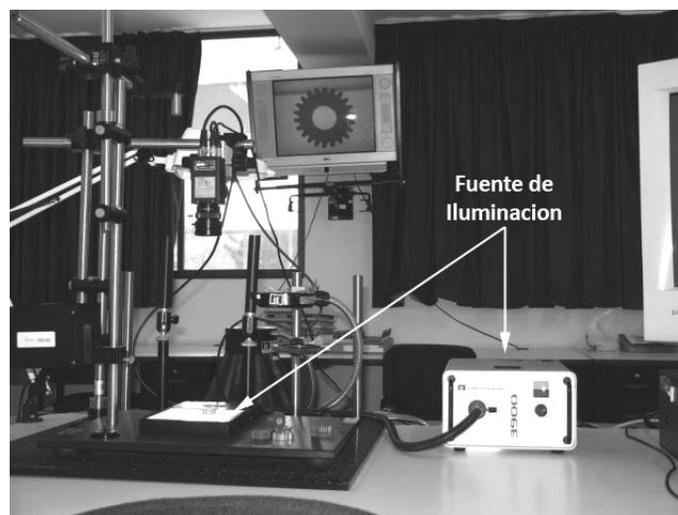
**Figura 1. Elementos de un sistema de Visión Artificial**

**El Manipulador.** Es un aparato que mueve y ubica el objeto de estudio a una posición deseada sin ser tocado por el ser humano. Hay configuraciones en los que el manipulador no mueve al objeto sino a la(s) cámara(s), lo que es muy ventajoso cuando se trata de analizar objetos muy pesados, ya que mover la(s) cámara(s) requiere de una mecánica más sencilla y económica.



**Figura 2. El Manipulador**

**Fuente de Energía o de Iluminación.** La iluminación es un elemento muy importante en un sistema de visión artificial, ya que de ésta depende el éxito de su operación debido a que simplifica considerablemente el análisis y la interpretación de la escena que va a ser digitalizada. Dependiendo del análisis que se desee hacer del objeto de estudio se debe escoger el tipo de iluminación y la energía necesaria para poder tomar una buena imagen de él.



**Figura 3. Fuente de Iluminación**

Como una forma de ejemplificar la importancia de la iluminación y de acuerdo con el análisis que se desee realizar se pueden contar con diferentes tipos de iluminación:

Requerimientos	Tipo de Objeto	Tipo de Iluminación
Reductor de Iluminación de Objetos	Objetos Brillantes	Difusa frontal, Difusa
Superficies con defectos	Cualquier tipo de objetos	Difusa frontal, Difusa
Texturas altamente	Objetos de piso cercano	Direccional simple,
Reducción de sombras	Cualquier tipo de objeto	Direccional, luz
Defectos de alta	Objetos con	Frontal difusa, Difusa
Perfil de objetos en	Objetos Transparentes	Campo Oscuro
	Objetos sin	Luz Estructurada

**Tabla 1. Tipos de Iluminación<sup>1</sup>**

**Sensor de Imagen o Cámara.** Un sistema de imágenes debería crear suficiente calidad de imagen para permitirnos extraer la información deseada de algún objeto de la imagen. La calidad de la misma puede ser adecuada para una aplicación e inadecuada para otra. Existe una variedad de factores que contribuyen a la calidad general de la imagen, incluyendo resolución, contraste, errores geométricos, errores de perspectiva (distorsión), etc.

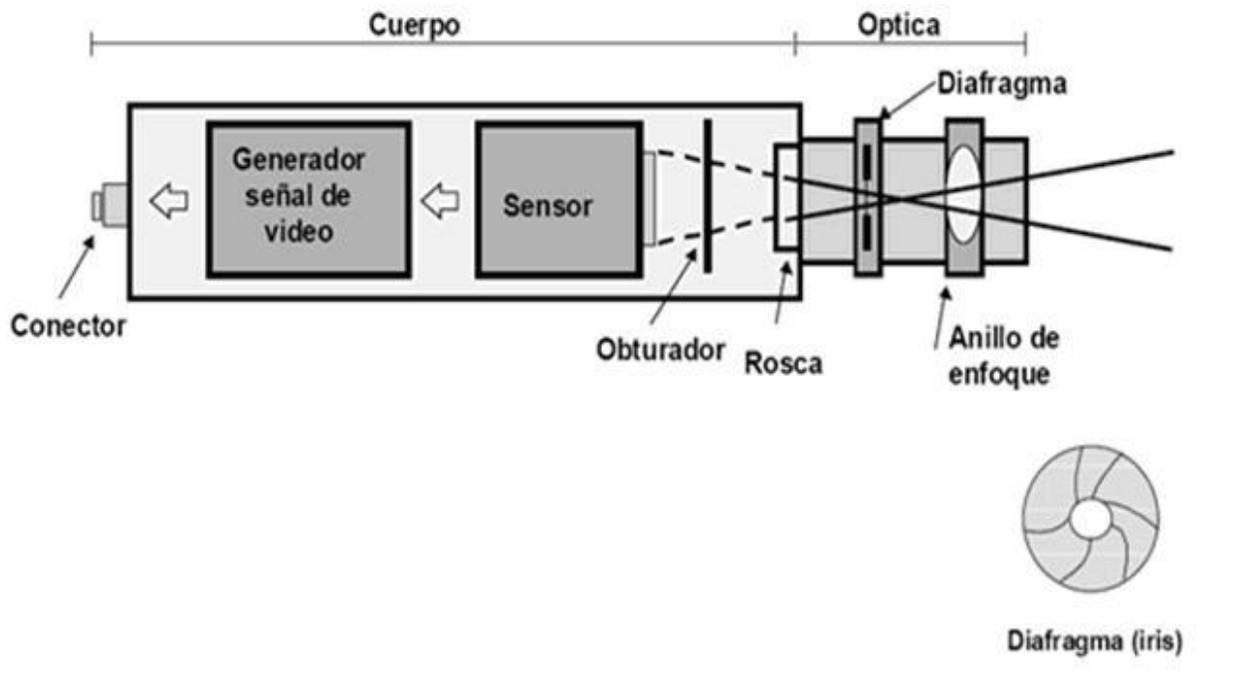


**Figura 4. Cámara CV-M10 BX/RS**

Los dispositivos de adquisición de imágenes, generalmente cámaras (en su defecto scanner), son los que se encargan de capturar las imágenes del entorno y transmitir las al

<sup>1</sup> Tomada de <http://www.edmundoptics.com/techSupport/DisplayArticle.cfm?articleid=264>

equipo de cómputo en el cual se desea realizar el procesamiento. Las cámaras son dispositivos que a través de juegos de lentes reconstruyen una imagen en el sensor empleando fotodiodos, que al ser impactadas por los fotones, convierten esa información luminosa en píxeles. En la figura 5 se muestra el esquema de una cámara, en la cual se diferencian la parte del cuerpo de la cámara y la parte óptica.



**Figura 5. Estructura del sensor de Imagen o Cámara**

**Tarjeta Digitalizadora.** La transmisión de la imagen se puede realizar de manera análoga o de manera digital. Cuando la transmisión es de manera análoga se requiere de una tarjeta digitalizadora (*frame grabber*) para convertir la imagen análoga a digital. Un parámetro importante en una *frame grabber* es la resolución máxima que puede alcanzar. Debido a que la **Cámara CV-M10 BX/RS**, usada tiene salida de información de tipo análogo, se manipulo la Tarjeta Digitalizadora **MATROX ORION**.



**Figura 6. Imagen de la Tarjeta Digitalizadora <sup>2</sup>**

**Sistema de Computo.** El sistema de cómputo es el equipo o dispositivo en el cual se realiza toda la tarea de procesamiento de la imagen que se ha adquirido. Por lo general, el sistema de cómputo son computadores o servidores debido al alto poder de procesamiento que tienen, pero en algunos casos hay dispositivos como cámaras muy sofisticadas, que realizan tareas no muy exigentes, que pueden hacer las veces de dispositivo de adquisición, *frame grabber* y sistema de computo para después enviar la información resultante a un computador para ser almacenada o reutilizada.

Las tareas típicas de un computador utilizado en un sistema de Visión artificial son:

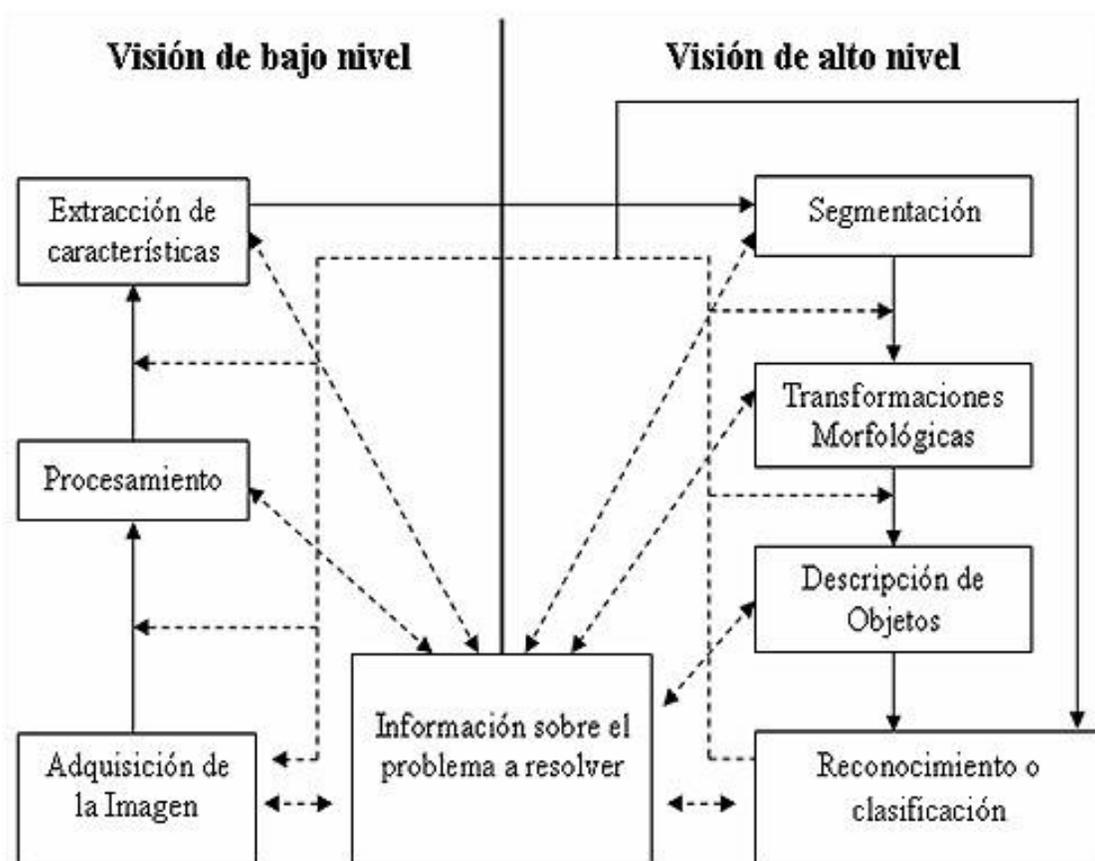
- Mejoramiento de la imagen,
- Segmentación,
- Clasificación de patrones y
- Análisis espacial.

---

<sup>2</sup> Tomada de [http://www.matrox.com/imaging/news\\_events/pressrel/archives/1999/orion.cfm](http://www.matrox.com/imaging/news_events/pressrel/archives/1999/orion.cfm)

## 2.2 ETAPA 2: ETAPAS DEL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL.

**Etapas de desarrollo de una aplicación de visión artificial.** La mayor parte de las aplicaciones de visión artificial se desarrollan en: *Visión de bajo nivel*, que es donde se procesa la imagen con el fin de abstraer sus características más relevantes como por ejemplo: color, textura, movilidad y morfología del objeto. La *Visión de alto nivel* (Análisis de la imagen), es donde se toman las características de la etapa anterior y a partir de ellas se pueden obtener características como: análisis de la forma, reconocimiento y localización de objetos. En la siguiente figura se pueden apreciar los procesos que se realizan en cada una de las etapas de desarrollo.



**Figura 7. Etapas de Desarrollo de una Aplicación de Visión Artificial<sup>3</sup>**

<sup>3</sup> Tomado de: Gonzalo Pajares y Jesús de la Cruz. Visión Por Computador: Imágenes Digitales y Aplicaciones. Editorial: Alfaomega y Ra-Ma Editores.

### 2.3 ETAPA 3: DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PIÑONES

Se denomina piñón a la pieza de menor tamaño y número de dientes de un engranaje (ver la figura 8), mientras que a la de mayor tamaño y número de dientes se le llama rueda o corona. Esto quiere decir que un engranaje está formado por dos ruedas dentadas la cuales giran alrededor de unos ejes cuya posición relativa es fija.

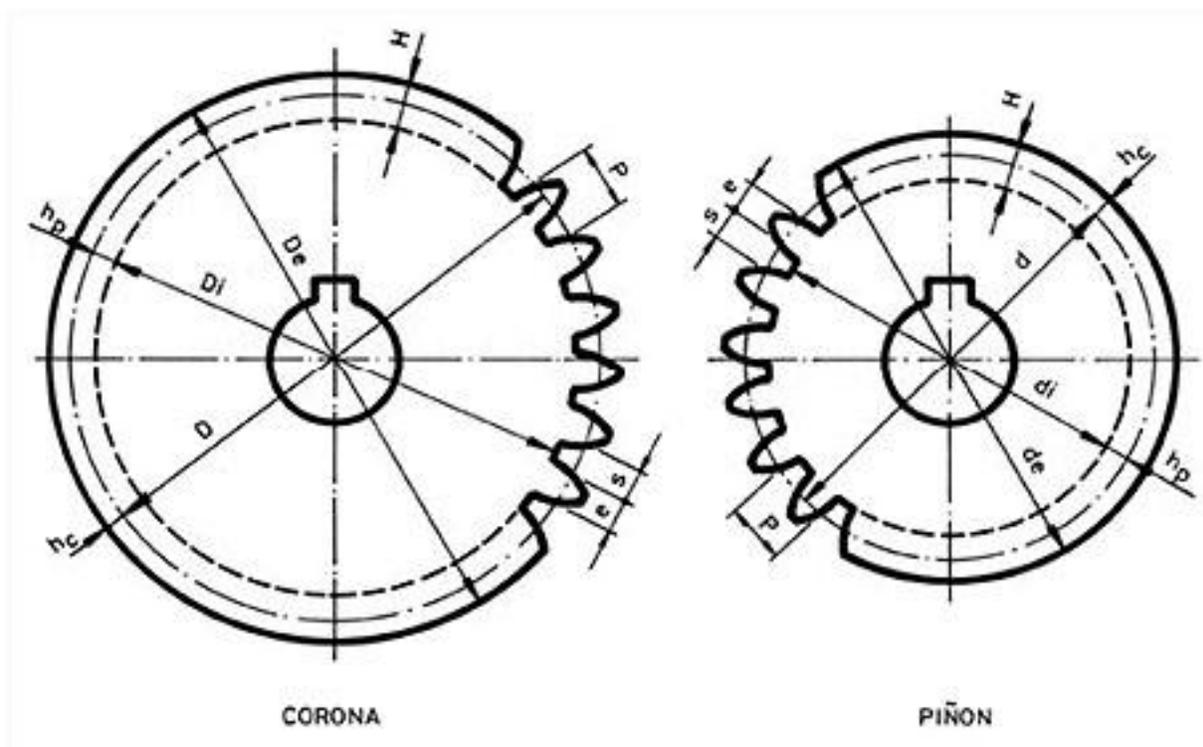


Figura 8. Piñón o engranaje<sup>4</sup>

Los engranajes son mecanismos que se utilizan para la transformación de velocidades tanto en magnitud como en dirección, para transmitir potencia entre las distintas partes de una máquina. Una de las aplicaciones más importantes de los engranajes es la transmisión del movimiento desde el eje de una fuente de energía, como puede ser un motor de combustión interna o un motor eléctrico, hasta otro eje situado a cierta distancia y que ha de realizar un trabajo.

<sup>4</sup> Maquinas, Cálculos de Taller; Casillas A. L. Edición Hispanoamericana, 36 Edición, 2001.

Los parámetros característicos de un piñón son:

- ✓ *Número de dientes (N)*: Es fundamental para calcular la relación de transmisión.
- ✓ *Paso circular (pc)*: Es la distancia que hay entre dos dientes consecutivos.
- ✓ *Diámetro primitivo (dp)*: Es el diámetro de la circunferencia sobre la que hacen contacto los dientes cuando engranan unos con otros para realizar la transmisión. La fórmula para determinar el diámetro del círculo primitivo es: Módulo multiplicado por el número de dientes:

$$dp = M \times N.$$

- ✓ *Módulo (M)*: Es el que regula el tamaño del diente en función del esfuerzo que se tenga que transmitir. El tamaño de los dientes está normalizado. El módulo está indicado por números. El módulo guarda relación directa entre el diámetro primitivo de un engranaje y el número de dientes que tenga. Tanto el módulo como el paso se expresan en unidades de longitud (mm). El valor del módulo suele ser un número entero o fracción sencilla.
- ✓ *Diámetro exterior (de)*: Es el diámetro de la circunferencia que limita la parte exterior del engranaje.
- ✓ *Excentricidad*: Grado de desviación de una sección cónica con respecto a una circunferencia.

$$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$$

Donde: a= radio menor con el eje X y b=radio menor con respecto al eje Y.

- ✓ *Diámetro interior (Di)*: Es el diámetro de la circunferencia que limita el pie del diente.
- ✓ *Pie del diente*: Es la parte del diente comprendida entre la circunferencia interior y la circunferencia primitiva.

## 2.4 ETAPA 4: CONTROL DE CALIDAD

El termino calidad se utiliza para indicar el nivel de comportamiento de un producto. Generalmente, el comportamiento deseado se mide en términos de los requisitos especificados, definiendo así la naturaleza de la calidad de los productos; por lo general se toman en cuenta los siguientes factores:

- ✓ Características importantes de un producto, tales como dimensiones, proporción de ingredientes, resistencia, u otras variables. Se establecen los límites inferiores o superiores, o ambos, que son conocidos como tolerancias para los parámetros importantes.
- ✓ Los productos no conformes son de calidad inaceptable.
- ✓ El nivel de calidad puede referirse a:
  - La mediana de una medida de un lote.
  - Las medidas tomadas a una unidad de un producto.
  - La proporción de producto que no es conforme.

El control de calidad abarca dos aspectos principales:

El **primero** se refiere a la capacidad y a la medición real de las características que son significativas en cuanto al comportamiento del producto.

El **segundo** se refiere a proporcionar los caminos que conducen a la acción correctora en todos aquellos casos en los que las mediciones de la calidad indican un comportamiento significativamente fuera del estándar.

En términos generales, el control de calidad se refiere a un sistema organizativo por medio del cual la producción se ajusta a unos parámetros específicos que definen la calidad de un producto.

## 2.5 ETAPA 5: DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

La aplicación se fundamenta en el siguiente diagrama de flujo:

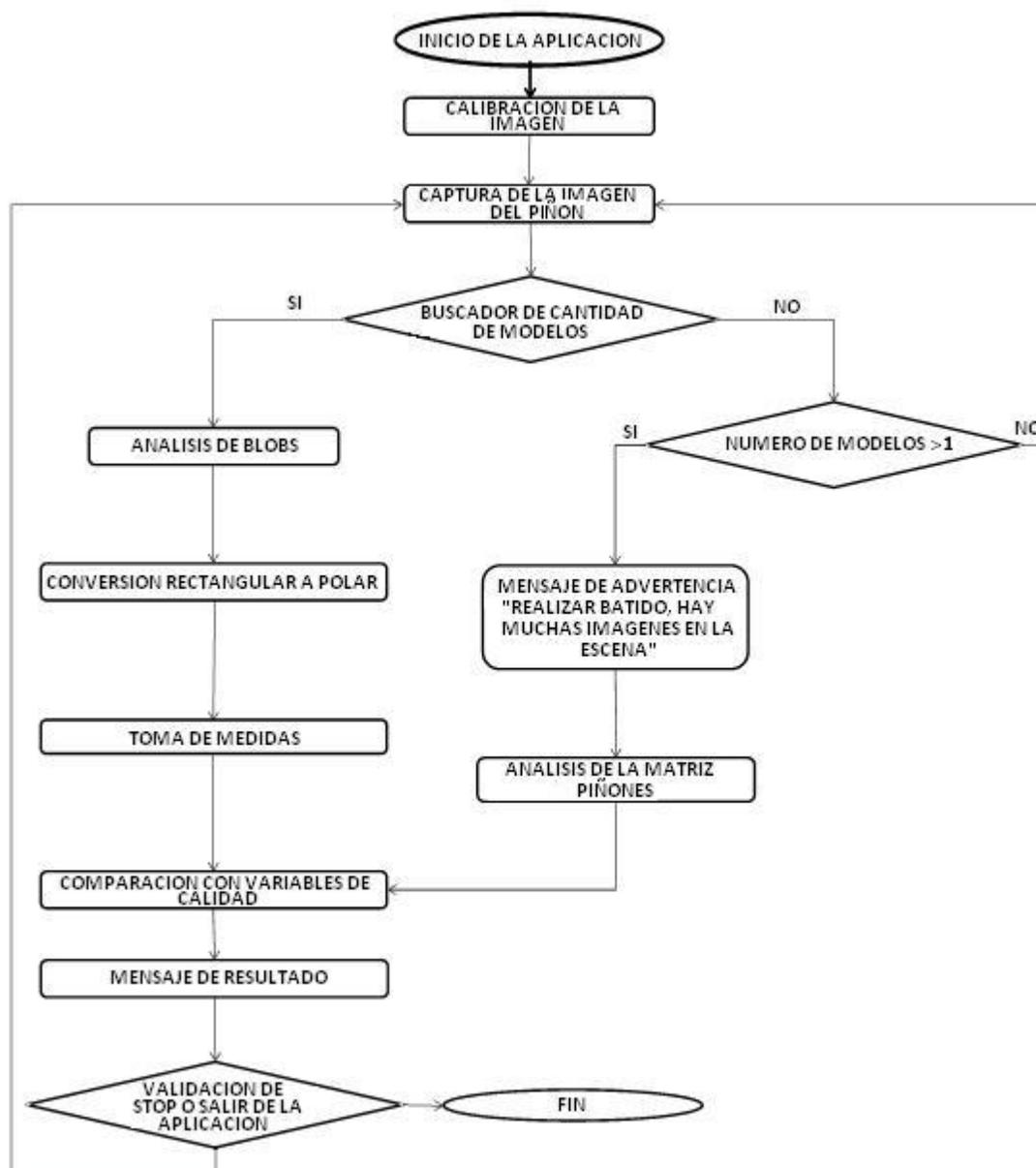


Figura 9. Diagrama de Bloques Aplicación Toma de Resultados del Piñón

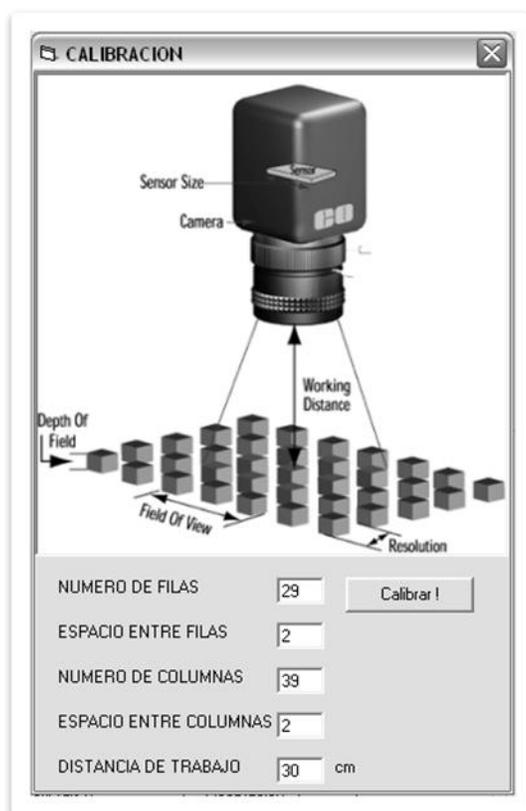


**Figura 10. Imagen de la Aplicación**

En la imagen anterior corresponde a la pantalla de la aplicación principal, donde se puede seleccionar el método a realizar en la aplicación, como por ejemplo si el usuario va a realizar la **calibración**<sup>5</sup> de la cámara usando una imagen de calibración predefinida que está guardada como archivo dentro de la computadora o si va a tomar una imagen real como patrón de calibración. De igual manera se puede realizar el análisis de los piñones dependiendo de la selección que haya indicado el usuario, obtener las imágenes de piñones que han sido grabados previamente y reposan dentro de un archivo o la toma instantánea de la imagen en tiempo real.

<sup>5</sup> Se entiende por calibración al conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones específicas, las señales producidas por un instrumento analítico y los correspondientes valores de concentración del juego de patrones de calibrado. Tomado de: [www.quiminet.com](http://www.quiminet.com).

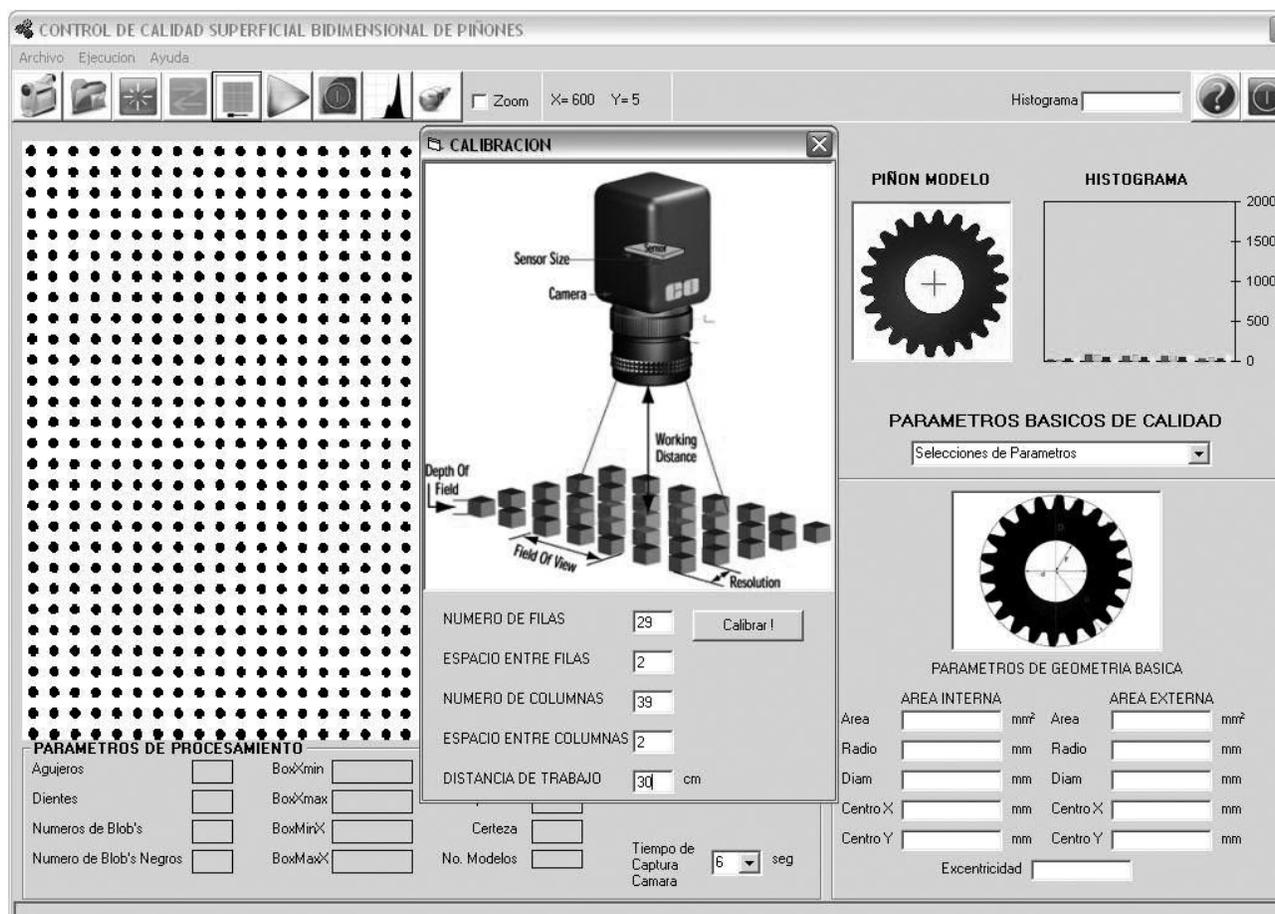
Una vez se ha seleccionado el método el cual se vaya a proceder con la aplicación, se debe realizar el proceso de calibración del escenario de trabajo para obtener resultados óptimos en medidas de sistemas reales, como medidas en milímetros o pulgadas<sup>6</sup>. En la imagen que se muestra a continuación se puede determinar la distancia existente entre el objeto evaluado y el lente de la cámara.



**Figura 11. Solicitud de Calibración**

A continuación se puede observar una imagen en el momento de la calibración del escenario usados para la aplicación.

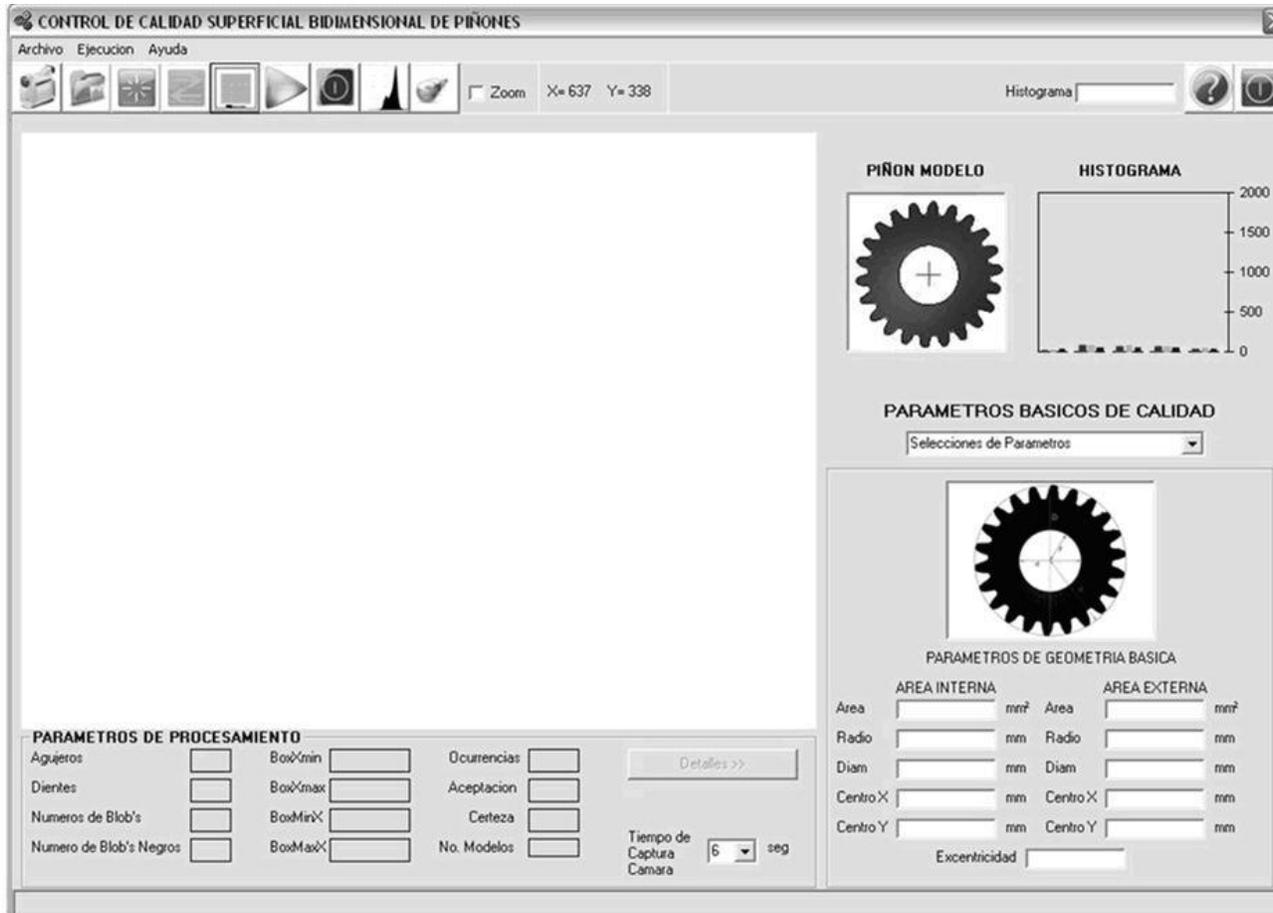
<sup>6</sup> El proceso de calibración de cámaras, es necesario para poder extraer información métrica a partir de imágenes 2D del mundo 3D. Tomado de: Artículo COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE CALIBRACIÓN DE CÁMARAS DIGITALES.



**Figura 12. Imagen del Proceso de Calibración de la Escena a Tomar**

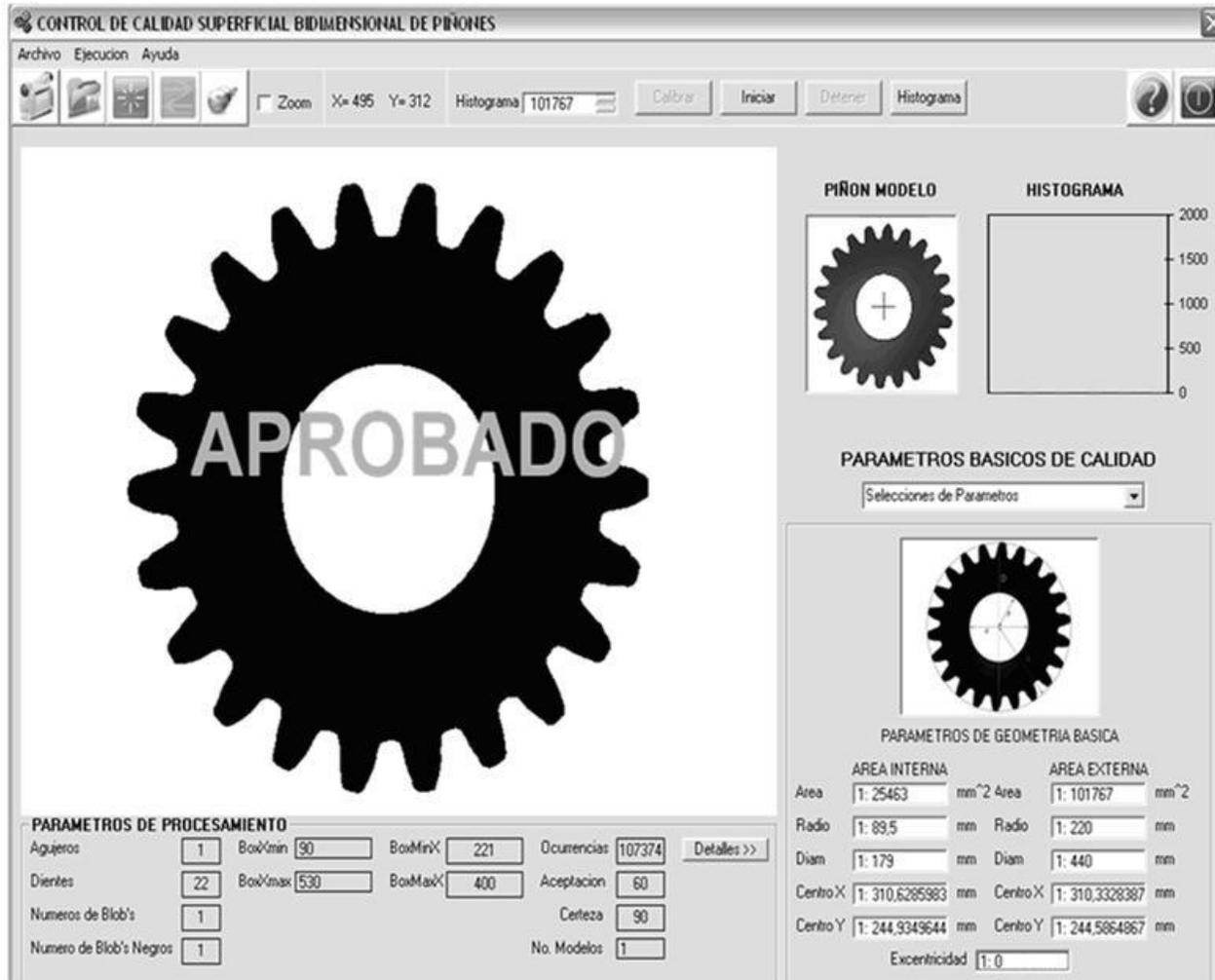
Una de las técnicas de calibración usadas muy comúnmente es la utilización de grillas. Las grillas son un conjunto de elementos muy bien definidos en ubicación y distancia entre ellos. En la imagen de la figura 12, y detrás de la ventana de calibración se aprecia el prototipo de grilla utilizada para la calibración de la aplicación.

Luego de ajustar los parámetros necesarios para una adecuada calibración de la aplicación, llenando los campos necesarios como se observa en la ventana de calibración anterior, se pasa a la ventana donde iniciara todo el procedimiento de determinación de los parámetros de los piñones.



**Figura 13. Imagen de la escena de la aplicación luego de ser Calibrada**

Una imagen como la que se muestra en la figura No. 14, permite ver la determinación de la aplicación con respecto al objeto en estudio y adicionalmente parámetros de medidas que permitieron a la aplicación llegar a esa consideración.



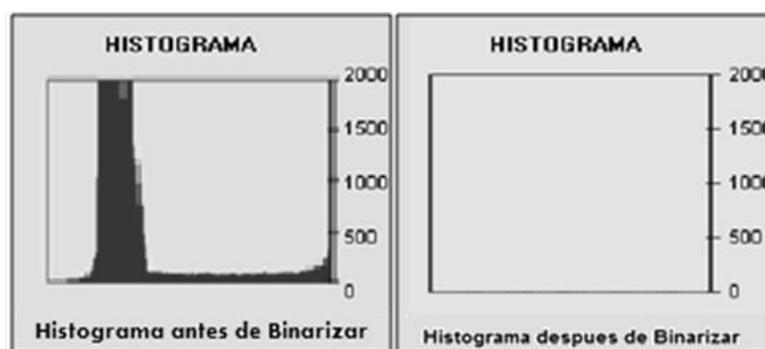
**Figura 14. Imagen del resultado final aplicación**

Una descripción general acerca del procedimiento realizado por la aplicación es la siguiente:

Se inicia el proceso con la **adquisición** o captura de la imagen, donde cabe destacar que si aumentamos o disminuimos el diámetros el iris de la cámara se puede limitar la cantidad de luz que entra a la imagen que se desea evaluar, de igual manera si se modifica aleatoriamente el grado de enfoque de la cámara a través del ajuste del lente se puede obtener resultados indeseados para este tipo de aplicación, o se logra observar una de los métodos de tratamiento de imágenes como lo son los métodos de apertura o

cierre de una imagen, métodos que se pueden consultar con más detalle en libros especializados en temas de Procesamiento de Imágenes. Una vez la imagen es cargada correctamente en el plano disponible, la aplicación queda lista para realizar una serie de análisis, que inician con la **binarización**<sup>7</sup>, técnica que permite reducir la imagen al valor máximo y mínimo de la escalas de grises (blanco y negro). Al binarizar se logra separar la imagen del piñón de la imagen que sirve como fondo del objeto y así se puede determinar el área que se va analizar, mientras que se elimina las demás partes de la escena que resultan innecesarias para objetivo. En este procedimiento es necesario contar con un **valor de umbral**<sup>8</sup> óptimo que permita obtener la información necesaria, una mala elección de umbral, produce pérdidas de información de la imagen que pueden llegar a ser muy importantes. Un ejemplo al cual recurrimos para la aplicación fue al determinar, si cada valor de píxel esta sobre uno de los valores de umbral o dentro del rango dentro de dos valores de umbral, así los que están dentro del grupo que cumplen las condiciones específicas son agrupados al valor máximo de la imagen mientras que los otros píxeles son agrupados a valor mínimo.

Se puede observar en el histograma de la aplicación, que antes de realizar el proceso de binarización se tiene una distribución en escala de grises bastante variante e imprecisa.



**Figura 15. Histogramas antes y después de Binarizar**

<sup>7</sup> La binarización es una herramienta del procesamiento de imágenes en el cual se deja una imagen en dos colores: blanco y negro.

<sup>8</sup> Valor que se define dentro de la escala de grises y que sirve para determinar la cantidad de píxeles que están por debajo o por encima de este.

Luego de este procedimiento se procede con el **Análisis de Blobs**, el cual conlleva varios procesos.

El **Análisis de Blobs**, permite identificar regiones de píxeles conectadas dentro de una imagen, las regiones son comúnmente conocidas como Blobs. Los Blobs son áreas de píxeles en contacto que están en el mismo estado lógico o igual intensidad binarizada. Típicamente el fondo tiene el valor de cero y el plano principal es todo lo demás.

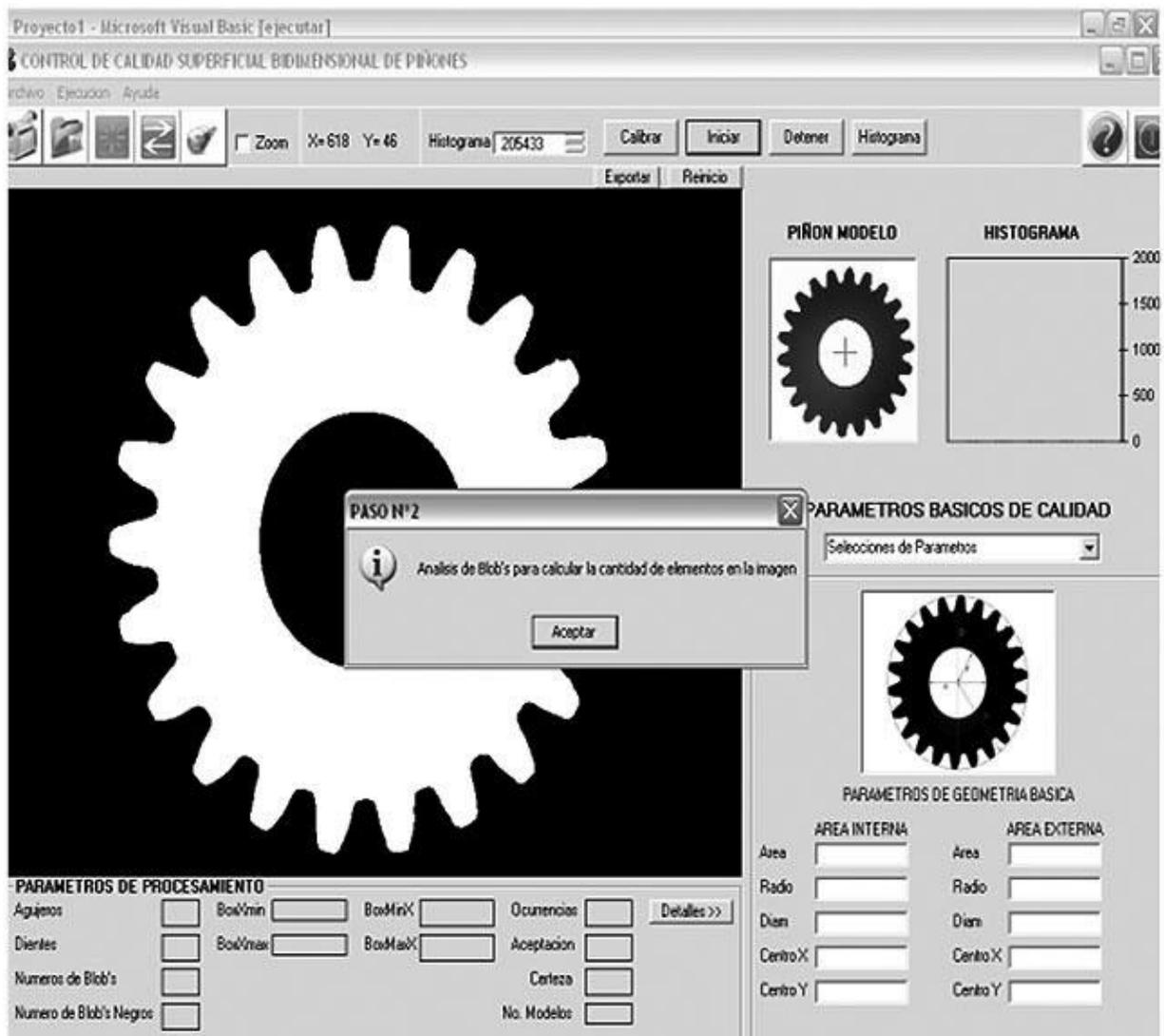


Figura 16. Imagen de Binarización

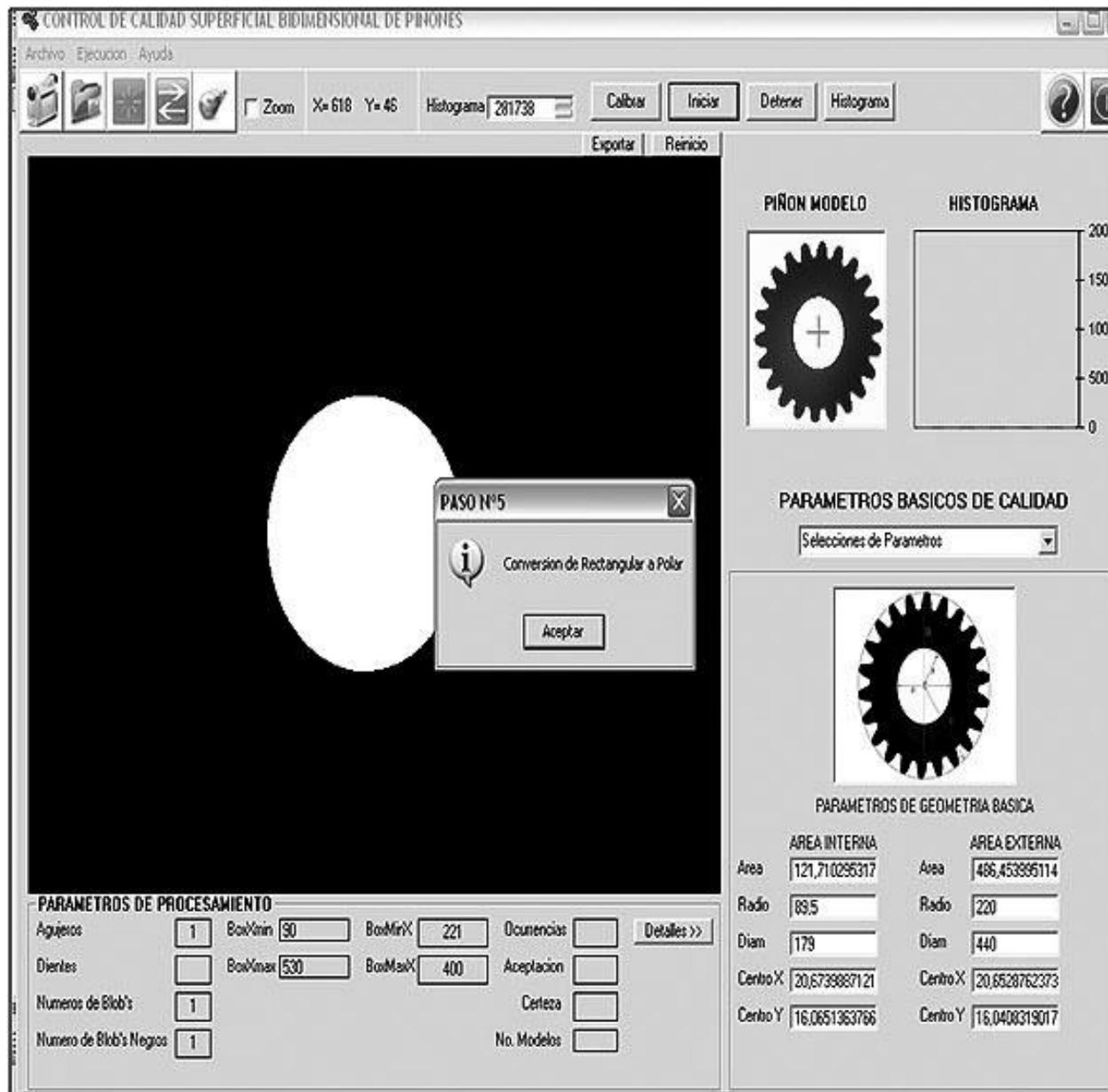
Algunos de los procedimientos realizados para llevar a cabo el Análisis de Bolb's fueron:

- ✓ *Operación de Apertura*, para borrar detalles claros que sean pequeños en comparación con el elemento estructural, manteniendo el resto de la imagen prácticamente igual.
- ✓ *Operación de Suavizado*, con la que básicamente se atenúa o se borra el ruido generado por los otros procedimientos realizados anteriormente.
- ✓ *Operación de Umbralización*, para determinar el valor de intensidad en el cual el píxel de la imagen evaluada pasa de un valor máximo a un mínimo, es decir pasa de 255 a 0, o viceversa.

Con estos tres pasos se consiguió determinar con exactitud la cantidad de elementos en el área de trabajo.

Una vez logrado esto, se procede a calcular algunos parámetros necesarios para determinar las dimensiones reales del piñón y definir la calidad del mismo. Los parámetros calculados fueron: posición central de la imagen (tanto en el eje X, como en el eje Y), diámetro exterior del piñón, diámetro interno del agujero del piñón, radios (Externos e Internos), área y perímetro. Luego teniendo en base estos datos, obtenidos con el *Análisis de Blobs* se logro calcular otros parámetros necesarios para determinar la exactitud de la aplicación.

Otra característica que se determinaron con el *Análisis de Blobs* fue la cantidad de agujeros existentes en el elemento examinado, esto obedeciendo a que la aplicación se realiza con piñones rectos y esta pieza industrial posee un centro hueco o dicho de otra manera, tiene un agujero en el centro. Al determinar este parámetro se hizo más fácil descartar elementos que fueran ajenos o diferentes a lo que realmente se desea evaluar, es decir, si la aplicación detecta una imagen diferente a la que se desea evaluar inmediatamente será descartada del proceso. La siguiente figura es el resultado de calcular los parámetros anteriormente mencionados y la delimitación de la cantidad de agujeros que existen en la imagen.



**Figura 17. Imagen de Parámetros Calculados y cantidad de Agujeros**

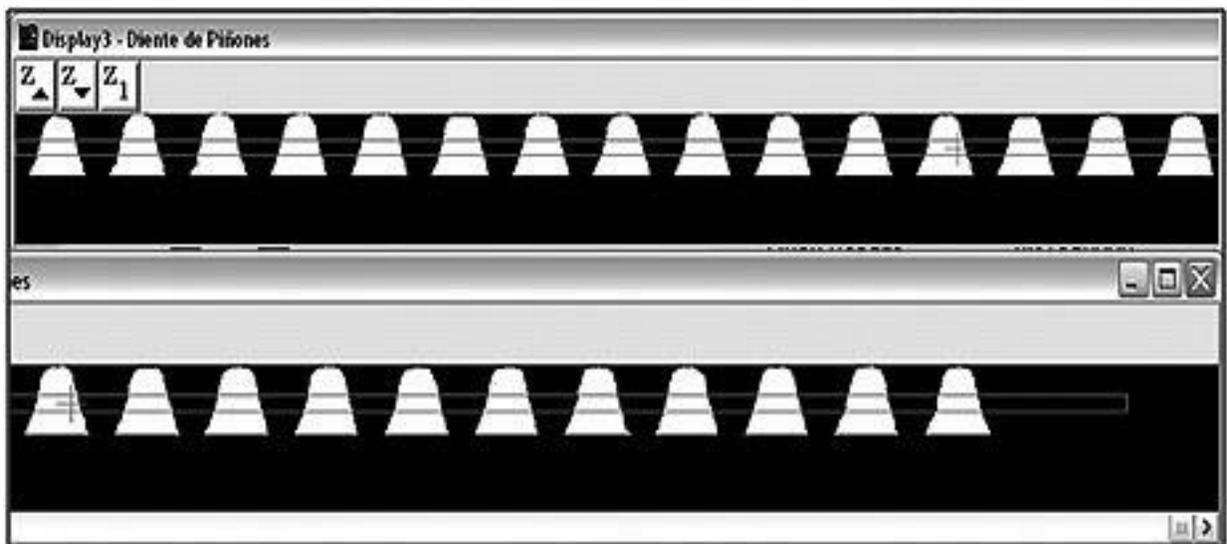
Obtenidos en su totalidad los parámetros deseados del piñón, se procede con el conteo de los dientes que posee el piñón evaluado. Este cálculo se realiza con un procedimiento llamado **conversión rectangular a polar**.

Las transformaciones de polar a rectangular y rectangular a polar permiten convertir coordenadas polares a cartesianas y viceversa. Para una transformación rectangular a

polar, los bordes en la zona de interés son definidos especificando el centro, el radio inicial y final, y el ángulo inicial y final en una imagen.

Este procedimiento tiene inicio con un escaneo de la zona específica, basándose en un ángulo inicial y final. En la aplicación, el ángulo inicial es menor que el final, y la dirección de escaneo es en contra de las manecillas del reloj. El rango válido del ángulo para realizar este procedimiento está entre:  $-360^\circ$  a  $360^\circ$ .

Una vez se ha realizado esta transformación, la imagen circular del piñón es convertida a una forma lineal, de esta manera se logra calcular la cantidad de los dientes. Luego se realizan algunos cálculos matemáticos de las características propias de estos.

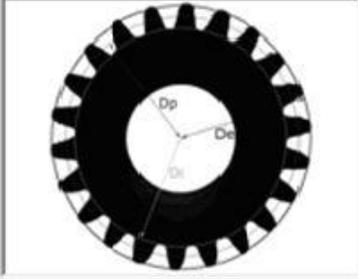


**Figura 18. Conversión Rectangular a Polar**

A continuación se muestra algunas figuras en las que se muestran los parámetros que son calculados a cada piñón que pasa por la aplicación.

**PARAMETROS BASICOS DE CALIDAD**

Medidas de Engranaje



**MEDIDAS DE ENGRANAJE**

Diámetro Exterior	1: 1400,362166	mm
Diámetro Interno	1: 1147	mm
Diámetro Primitivo	1: 1283,333333	mm
Modulo	1: 58,33333333	
Paso Circunferencial	1: 183,26	mm

**Figura 19. Parámetros de Calidad del Piñón**

Adicionalmente se realizan algunos cálculos de los dientes del piñón,

**PARAMETROS BASICOS DE CALIDAD**

Medidas de Dientes

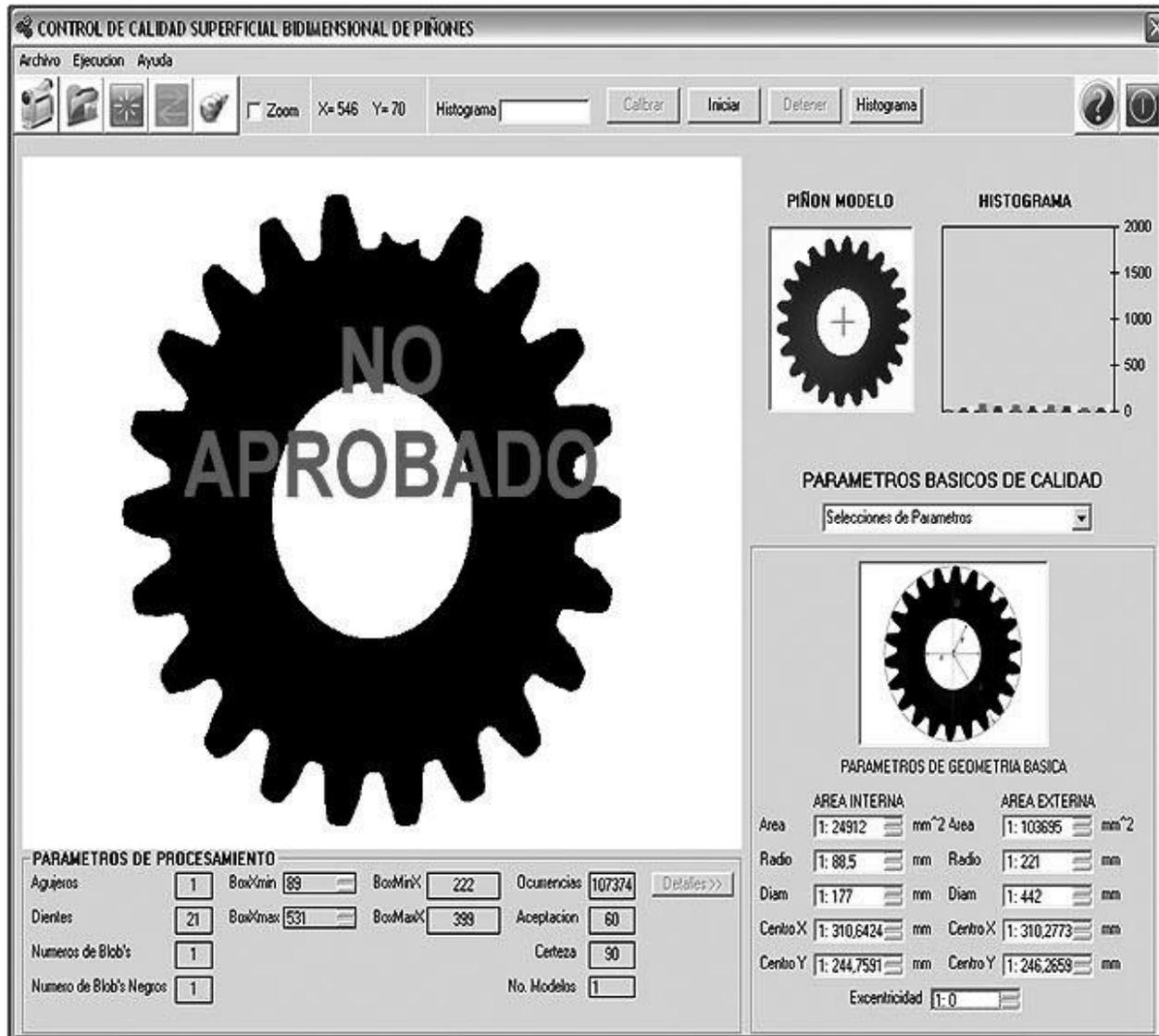


**MEDIDAS DE DIENTES**

h = 126,408333	P = 183,26
L = 58,3333333	e = 91,63
l = 68,075	c = 91,63
R = 17,5	

**Figura 20. Parámetros de Calidad del Diente**

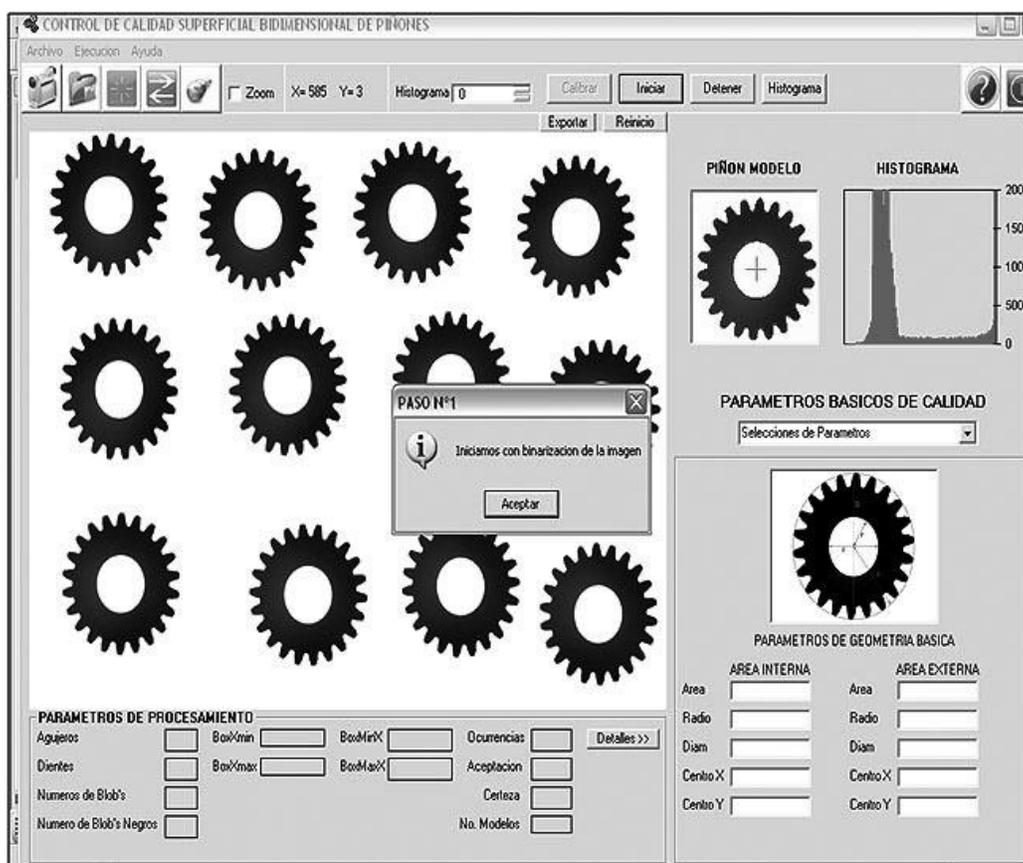
En la siguiente figura se muestra el resultado que se genera cuando la aplicación determina que la calidad de un piñón no es válida, debido a que no cumple con los parámetros básicos y establecidos teóricamente para la determinación de un producto de buena calidad.



**Figura 21. Resultado de un Piñón no valido**

Finalmente se realizaron pruebas en la aplicación en los casos de escenas particulares, como imágenes donde existe más de un piñón o imágenes donde hay piñones traslapados.

En la escena donde se puede tener más de un piñón, la aplicación realiza prácticamente el mismo procedimiento que en el caso de un solo piñón. Se carga la imagen deseada, ya sea desde una carpeta de archivos o una toma en tiempo real, se realiza el proceso de binarización para eliminar las partículas que no son deseadas y así poder realizar una evaluación más completa y acertada, para determinar la cantidad real de objetos que tiene la imagen evaluada, determinando y ubicando los centros reales de cada objeto encontrado en la escena tratada. Con esto se puede empezar el conteo de la cantidad de piñones que se están evaluando, se calculan algunos parámetros necesarios para la comparación de cada objeto encontrado con los de una imagen almacenada previamente para determinar la exactitud y calidad de cada piñón. A continuación se muestra la imagen de la pantalla inicial y algunas de las imágenes que hacen parte del proceso del cálculo de parámetros de calidad de varios piñones.



**Figura 22. Imagen de Aplicación Caso de Varios Piñones**

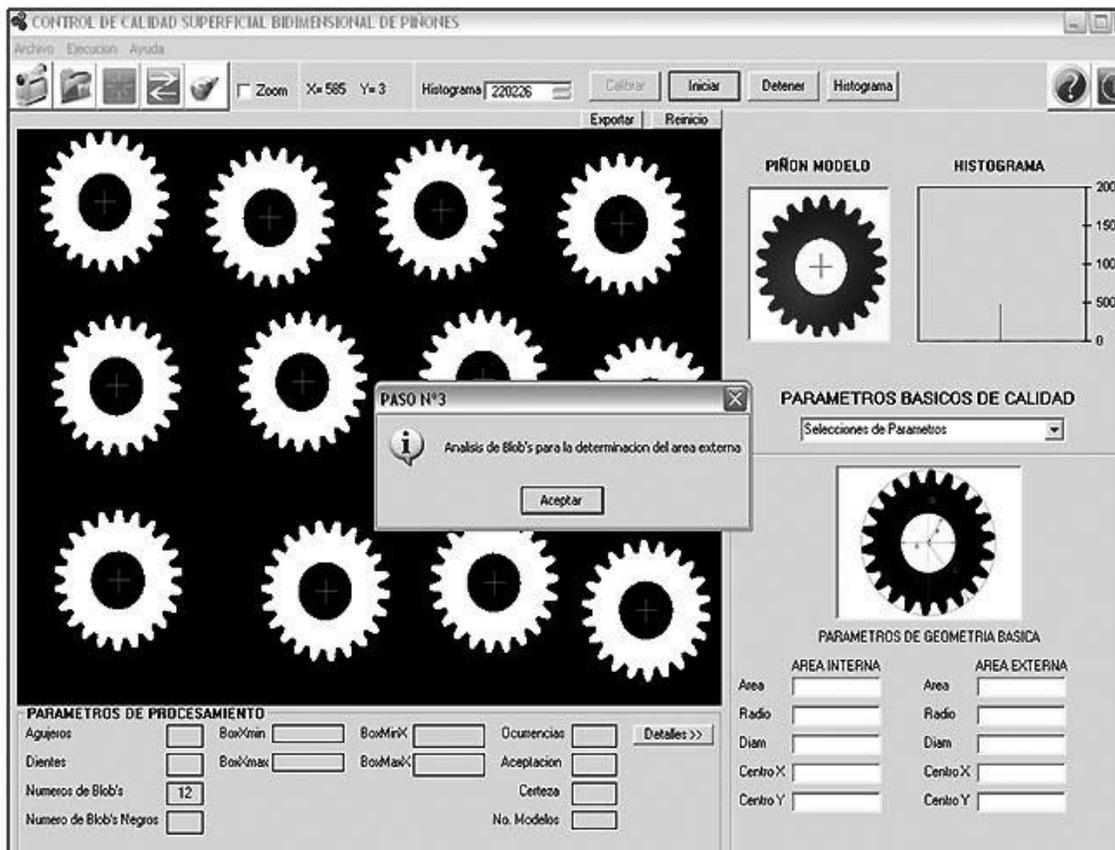
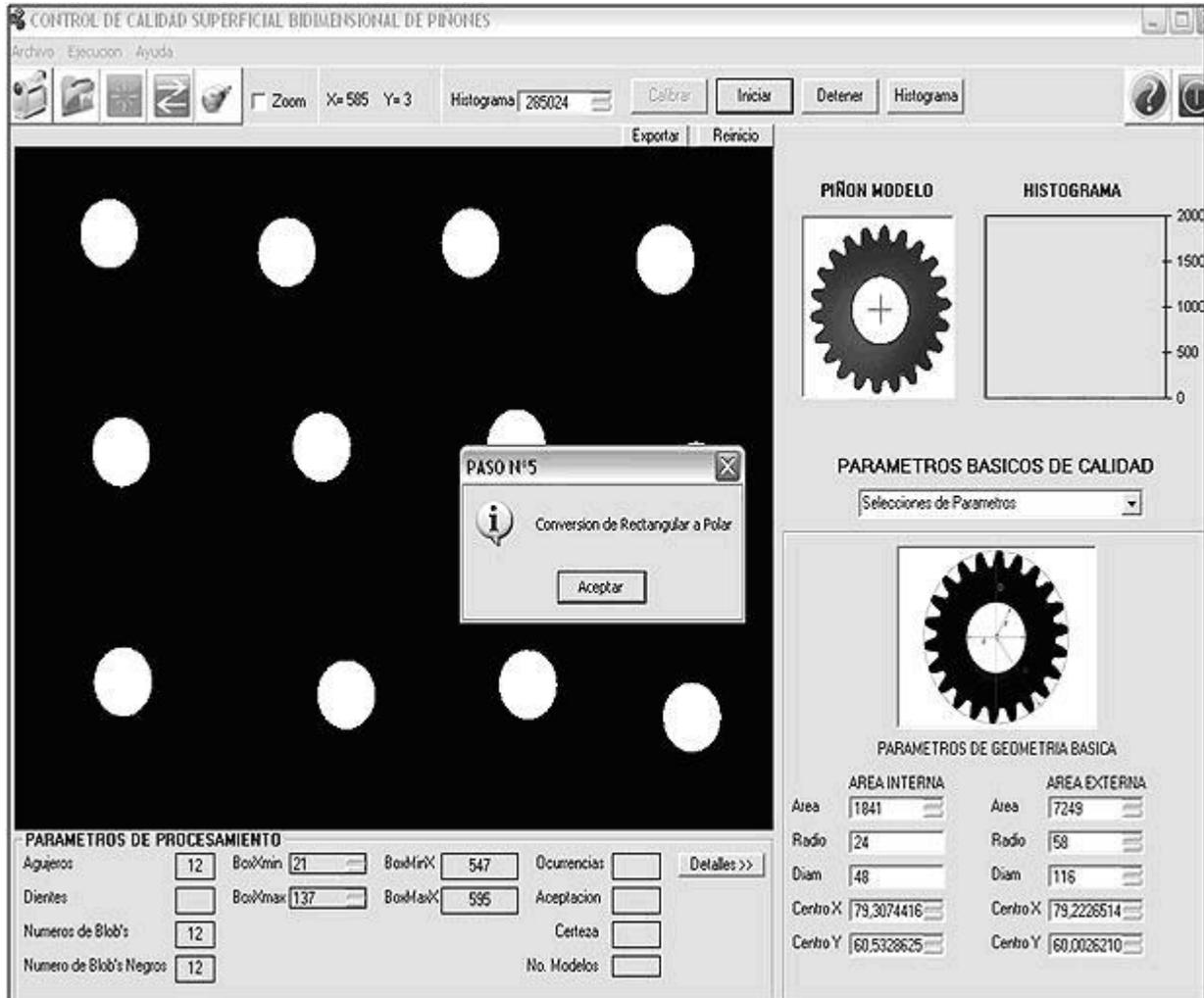


Figura 23. Imagen Búsqueda de Centros de Agujeros de los Piñones



**Figura 24. Separación de los Agujeros del Resto de la Forma del Piñón**

De la misma manera en que se accede a visualizar los parámetros de medidas en la aplicación de cada piñón, se puede observar los parámetros para un grupo completo de piñones.

Otra prueba en la aplicación fue, tener un grupo de piñones y entre ellos existen formas ajenas, es decir, no son piñones, el programa detecta las imágenes erradas y las excluye del conteo total de piñones.

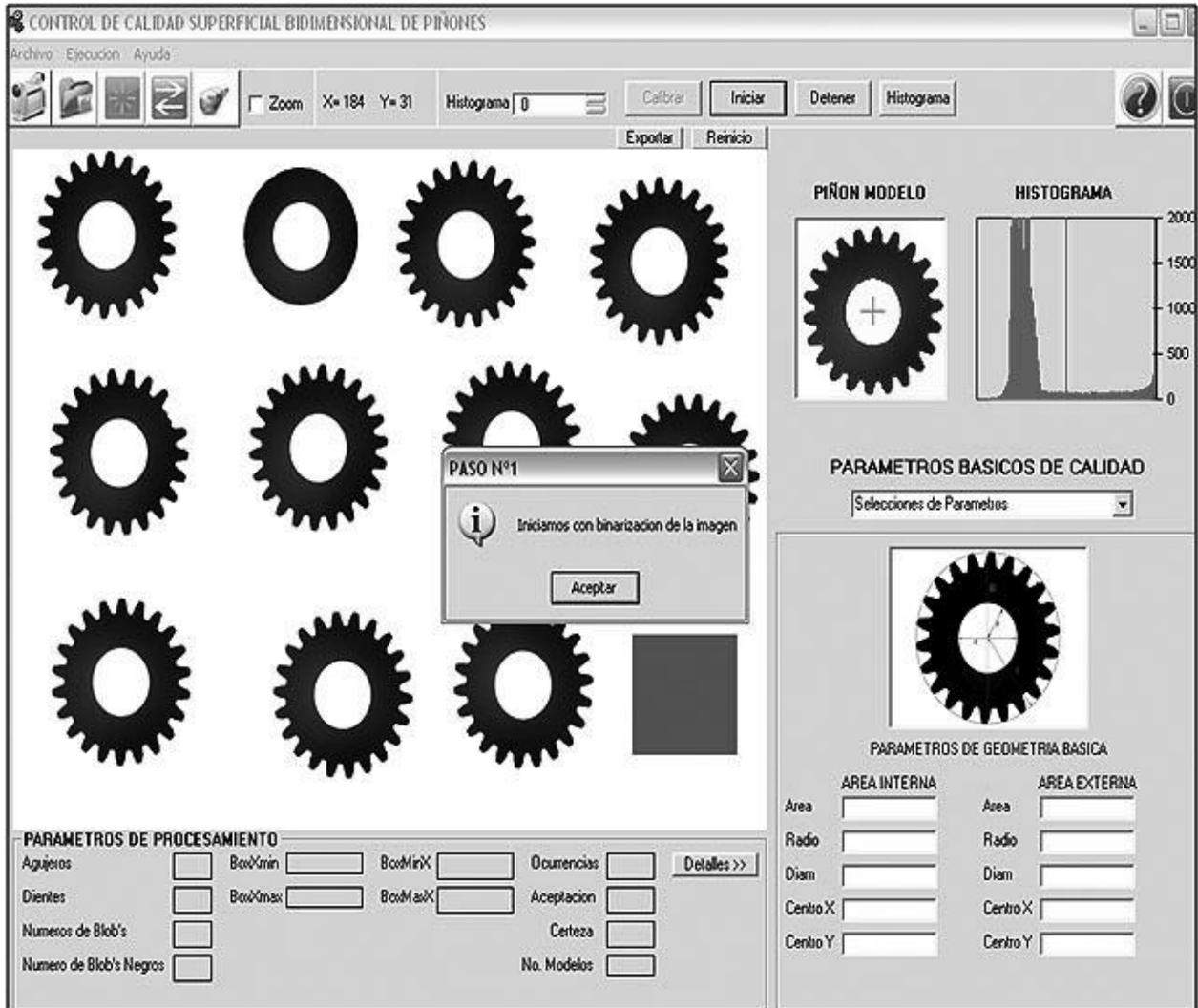


Figura 25. Imagen Detección de Formas Diferentes

### 3. CONCLUSIONES

Las técnicas de Visión Artificial son muy útiles a la hora de realizar alguna determinación en situaciones en las que las habilidades del ser humano, como poder ver, pueden llegar a presentar resultados erróneos o de baja exactitud debido a, por ejemplo limitaciones físicas. Cada técnica o método usado en el tratamiento de las imágenes debe estar condicionado a los objetivos que se desean cumplir, como por ejemplo en este caso la determinación de la calidad de un piñón industrial, exigía la extracción de parámetros como las medidas de los piñones, que posteriormente son utilizados en ecuaciones que

permiten definir a su vez otros parámetros que indican la calidad de este elemento. Los métodos usados en Visión Artificial que lograron estos propósitos, fueron la binarización, Análisis de Blobs y Análisis de Modelos entre otros, los cuales para el propósito de la aplicación eran suficientes y a su vez la comprensión de cada uno de estos métodos fue el inicio a otra de las técnicas del ensayo no destructivo como lo es la Visión Artificial.

Adicionalmente como apoyo al procesamiento de las imágenes en software es recomendable no dejar a un lado aspectos tan importantes como el hardware, el cual sirve como un apoyo de vital importancia y a su vez reduce la complejidad del software, permitiendo ganar tiempo de procesamiento. Uno de los aspectos mencionados con anterioridad fue, la iluminación y sus diversos tipos y el otro aspecto son los patrones de medidas (las grillas), que logran hacer que la cámara y la aplicación se sincronicen y se logre observar al final un despliegue datos reales.

## BIBLIOGRAFIA

- ✓ Rafael C. González y Richard E. Woods. , Tratamiento Digital de Imágenes, versión en español de la Obra Image Processing. 2ª Edición. Editorial Prentice-Hall. 2002.
- ✓ Gonzalo Pajares y Jesús de la Cruz., Visión Por Computador: Imágenes Digitales y Aplicaciones. Editorial: Alfaomega y Ra-Ma Editores.
- ✓ Casillas A. L. Maquinas, Cálculos de Taller. 36a Edición. Edición Hispanoamericana. 2001.
- ✓ Jensen John R. Fundamental of digital Image Processing. 1996.
- ✓ Sonka Milan., Hlavac Vaclav., Boyle Roger., Image Procesing, Análisis and Machine Vision., 2a Edición. PWS Publishing. 1999.

- ✓ Edmund Optics America., Optics and Optical instruments Catalog., 2006.
- ✓ Nilsson Nils., Inteligencia Artificial., 1ª Edición. Mcgraw-hill. 2001.
- ✓ Imágenes y conceptos de los piñones o engranajes,  
[http://pdf.rincondelvago.com/mecanica\\_engranajes.html](http://pdf.rincondelvago.com/mecanica_engranajes.html).  
<http://www2.ing.puc.cl/~icm2312-apuntes-engrana-cilel.jpg.mhl>
- ✓ Información acerca de las partes o fases de la Visión Artificial;  
<http://www.depeca.uah.es/docencia/IT-INFsva/t2-fases.pdf>
- ✓ Imágenes y Especificaciones Técnicas de Cámaras, Fuentes de iluminación,  
[www.edmundoptics.com/onlinecatalog/displayproduct.cfm?productID=236](http://www.edmundoptics.com/onlinecatalog/displayproduct.cfm?productID=236)  
[www.alacron.com/camera/machine%20vision%20cameras/JAI/cv-m10db.pdf](http://www.alacron.com/camera/machine%20vision%20cameras/JAI/cv-m10db.pdf)
- ✓ Imagen y conceptos Técnicos de la tarjeta digitalizadora,  
[www.matrox.com/imaging/news\\_events/pressrel/archives/1999/orion.cfm](http://www.matrox.com/imaging/news_events/pressrel/archives/1999/orion.cfm)