



Centro de Investigaciones en Óptica, A.C.

PROTOTIPO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA  
DE CARACTERIZACIÓN DEL *FOGGING*  
EN SUSTRATOS DE VIDRIO  
UTILIZANDO TÉCNICAS DE  
PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

Tesis presentada por el

Ing. José Matías Hernández Alvarado

Como requisito para obtener el grado de

Maestro en Ciencias (Óptica)

Asesor: Dr. Evguenii Kourmychev

León, Gto. México, Junio 2004

## AGRADECIMIENTOS

Expreso mi mas profundo agradecimiento a las autoridades administrativas y docentes del centro de investigaciones en óptica, A.C. por el gran apoyo recibido durante la estancia que me permitió realizar los estudios de Maestría en Ciencias( Óptica), así como al personal técnico que labora en dicha institución.

Al Dr. Evguenii Kourmychev, por su valiosa asesoría y motivación en el desarrollo de este trabajo de tesis, así como sus enseñanzas como maestro del CIO.

Al Dr. Raúl Sánchez Yáñez, por su asesoría en la codificación del software desarrollado.

Al Dr. Ricardo Flores, por su asesoría en la óptica del fenómeno del *fogging*, además de sus enseñanzas como maestro del CIO.

Al Dr. Apolinar Muñoz por su asesoría en la codificación del software desarrollado.

Al M.I. Ricardo Valdivia, por su paciencia y valiosa asesoría en el hardware diseñado y armado en el CIO.

Al M.C. Gil Arturo Pérez Herrera, por la asesoría en el software para el control del movimiento de los motores de pasos y funcionamiento de éstos.

Al M.C. Guillermo Garnica, por su valiosa asesoría en los algoritmos de procesamiento digital de las imágenes.

Al personal de taller mecánico por el trabajo de ensamble de los motores de pasos a la mesa micrométrica.

A mis maestros: ( Dra. Marija Scholl, Dra. Cristina Solano, Dr. Sergio Calixto, Dr. Fernando Mendoza Santoyo, Dr. Gonzalo Paéz, Dr. Victor Pinto, Dr. Marco Antonio Meneses, Dr. Bernardo Mendoza Santoyo, Dr. Oracio Barbosa, Dr. Francisco Cuevas ) Gracias a todos por sus valiosas enseñanzas.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología( CONACyT ) que me dio el apoyo económico con una beca crédito durante el tiempo que estuve estudiando en este centro de investigaciones: CIO A.C.

Al departamento de formación académica: El Dr. Manuel Servín( Director y maestro), Guillermina Muñoz Palancares, Laura Gonzalez Ochoa y María de Lourdes Gómez.

Al personal de la biblioteca: Sra. Angeles Sánchez, Alejandra Vargas Puente y Marissa Vásquez.

# ÍNDICE

	pág.
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN .....	4
Capítulo 2. PROPUESTA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE INSPECCIÓN DEL FOGGING.....	7
2.1 Diagrama de bloques del sistema. ....	8
2.2 Muestreo de las imágenes de prueba. ....	9
2.3 Procesamiento, análisis y estadísticas de las imágenes. ....	13
Capítulo 3. RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	15
3.1 Características generales del prototipo experimental. ....	15
3.2 Calibración del sistema óptico. ....	18
3.3 Automatización de la mesa micrométrica y programas de control ...	21
3.4 Adquisición de imágenes .....	29
3.5 Formación de la imagen del <i>fogging</i> sobre dos tipos de sustratos. ...	36
3.6 Procesamiento de las imágenes .....	45
3.7 Estadísticas de tamaño y densidad de las gotas del <i>fogging</i> .....	53
Capítulo 4. CONCLUSIONES .....	59
BIBLIOGRAFÍA .....	62
Anexo A: Funciones de ecualización .....	63
Anexo B: Descripción de la tarjeta digitalizadora .....	67
Anexo C: La serie de imágenes de muestreo, binarizadas y depuradas .....	76
Anexo D: Secuencia de imágenes de preprocesamiento .....	81

# Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

El procedimiento para la evaluación del acabado de la piel destinada para los interiores de vehículos se encuentra establecido por el documento SAE J1756 (Sociedad Americana Internacional de Ingenieros Automotrices SAE J1756; Liberado en 1994 – 12, SAE Internacional). Este documento establece los procedimientos de prueba para determinar la tendencia que pueden presentar algunos materiales, utilizados durante el proceso de acabado de piel destinada a la confección de interiores automotores, en la formación de películas dispersas delgadas de fases condensadas en superficies de vidrio (parabrisas) u hojas de aluminio. Este fenómeno se conoce en la industria automotriz como *fogging*. Una imagen micrográfica del *fogging* está presentada en la Figura 1.1

Una de las consecuencias malignas del *fogging* es que, al depositarse en la parte interior del parabrisas de autos, éste disminuye la visibilidad de manera directa o indirecta. Las razones físicas son como siguen. Los conductores de autos conocen bien, por la experiencia propia, la pérdida de visibilidad por el empañamiento del parabrisas. En términos físicos, la luz (sea del sol emergente de la mañana o luces de autos por la noche) se dispersa debido a las microgotas de agua depositadas sobre la superficie del parabrisas. El efecto de dispersión depende tanto del ángulo de incidencia de la luz como del tamaño y de la densidad de distribución de las gotas. Las sustancias que puede soltar la piel de las vestiduras de un carro forman una fase condensada dispersora de luz, facilitando el empañamiento de parabrisas. Estos hechos resaltan la importancia de

la caracterización cualitativa del *fogging*. Nos proporciona los datos sobre el tamaño y la densidad de distribución de las microgotas. Pues el *fogging* en transcurso del tiempo puede formar una película dispersora permanente. Esta película sirve como un conjunto de centros de condensación de agua. La formación excesiva del *fogging* exige la necesidad de cambios en procesos de tratamiento de piel para las vestiduras de carros.

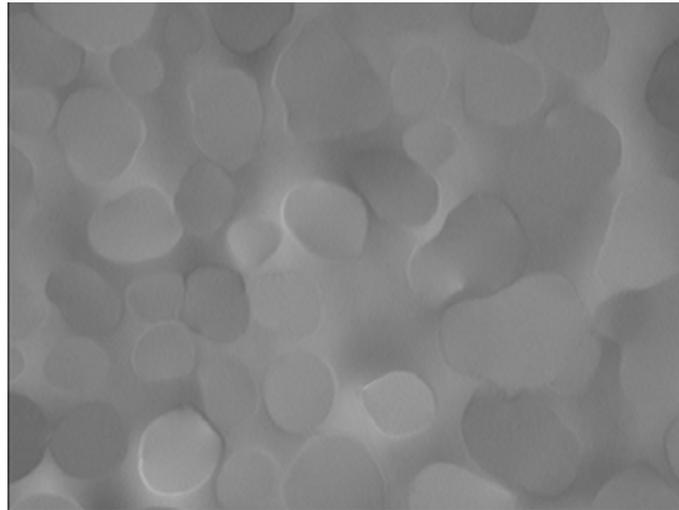


Figura 1.1. Muestra del *fogging* en un sustrato de vidrio.

Comúnmente, la detección de dichas fases del *fogging* se realizan con el auxilio de un microscopio, ya que el tamaño de las gotas de dicho condensado es micrométrico. Anteriormente la evaluación del *fogging* en Cueros Industrializados del Bajío (CUINBA) y otras empresas, hasta nuestro conocimiento se había reducido a la determinación del tamaño de micro gotas condensadas sobre un sustrato de vidrio. Este proceso es manual, tardado y está sujeto a errores en la evaluación.

El presente trabajo se realizó con el objetivo de desarrollar un sistema óptico-electrónico que realice la cuantificación automática del *fogging* en sustratos de vidrio. Mediante el análisis de texturas, utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes [1, 2, 3]. Con el propósito de obtener la estadística completa tanto en la distribución de deposiciones como en el tamaño de las gotas. Los datos obtenidas por medio de la prueba del *fogging* sirven para la retroalimentación en los procesos de tratamiento de las pieles de confección, es decir, son indicadores de control de calidad.

La tesis está escrita de la siguiente manera. El capítulo 1 presenta una introducción breve del problema de caracterización del *fogging*. En el capítulo 2 se describe la propuesta para la solución del problema de inspección del *fogging*, detallando los pasos de ésta. El prototipo experimental y resultados de pruebas de éste se describen en el capítulo 3. En el capítulo 4, se dan las conclusiones y se especifican los resultados obtenidos.

## Capítulo 2.

# PROPUESTA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE INSPECCIÓN DEL FOGGING

### 2.1 La solución propuesta

En el Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. se realizan trabajos de investigación en el análisis de la textura y determinación estadística de las características de las texturas, utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes. Estos trabajos de investigación han sido probados en experimentos controlados y demostraron su buen desempeño. Pueden ser aplicados en procesos industriales, como puede ser el caso de la prueba de *fogging* realizada por CUIINBA.

En el año 2001 se obtuvieron 36 muestras típicas del *fogging*, proporcionadas por CUIINBA. Primeramente les estudiamos y caracterizamos el *fogging* manualmente utilizando un microscopio óptico convencional, con la finalidad de determinar los requerimientos del procedimiento y parámetros a evaluar en la prueba del *fogging*. En esta etapa encontramos que para obtener buenas imágenes de micro gotas de deposiciones es necesario escoger una fuente de luz adecuada junto con un microscopio óptico convencional unido a una cámara digital, con el fin de poder analizar las imágenes mediante de las técnicas de procesamiento digital de imágenes. También notamos que las deposiciones pueden ser tanto homogéneas como no homogéneas, requiriendo por tanto diferentes técnicas de muestreo. Es fácil de ver que la automatización de muestreo requiere una mesa micrométrica motorizada y controlada

por una computadora. Una vez establecidos dichos parámetros y requerimientos, procedimos con el diseño del sistema automatizado de inspección del *fogging*, adquisición de los componentes y ensamble del sistema. El diseño del sistema fue una consecuencia natural del análisis de requerimientos y su funcionamiento se muestra el diagrama de bloques en la Figura 2.1.

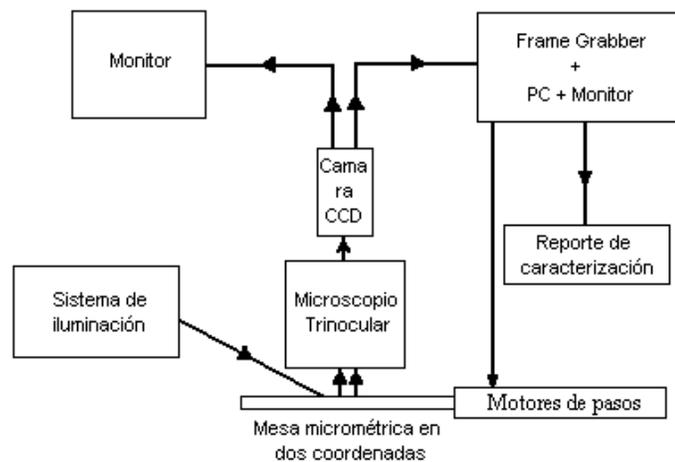


Figura 2.1. Diagrama de bloques del sistema de caracterización del *fogging*

La imagen digital del *fogging* se obtiene mediante un microscopio con una cámara CCD integrada [4]; para la inspección visual, dicha imagen puede observarse en la pantalla del monitor o mediante los oculares del microscopio trinocular. La cámara CCD está conectada a la computadora a través de una tarjeta digitalizadora que permite el almacenamiento de imágenes y su procesamiento posterior por computadora. Cabe mencionar que la calidad de imagen, su contraste en particular, es dependiente del

sistema de iluminación en cuyo diseño se requiere cierto cuidado. El campo de visión de un microscopio es pequeño. Por lo tanto, el muestreo sobre áreas grandes del *fogging* se implementa mediante una mesa micrométrica en dos coordenadas que está automatizada, el control de posicionamiento está ejercido por computadora. Una parte inminente de la automatización del sistema son programas de cómputo que controlan el proceso de adquisición de imágenes digitales para su procesamiento posterior.

## **2.2 Muestreo de imágenes de prueba**

Hablando de muestreo de una imagen nos referimos a la adquisición de las regiones de ésta, de tal manera que el conjunto de subimágenes obtenidas sea representativo para la caracterización de la imagen analizada. Como mencionamos anteriormente, en la inspección industrial pueden presentarse las deposiciones tanto homogéneas como no homogéneas. Si la deposición es homogénea, el muestreo representativo puede ser secuencial sobre una malla rectangular o aleatorio sobre un área determinada de la probeta. En cuanto a una deposición no homogénea, el muestreo debe ser prácticamente manual o secuencial sobre un área relativamente pequeña de la probeta. Para realizar dichos procedimientos se requiere automatizar la mesa micrométrica con motores de pasos y desarrollar los programas de control de motores que a la vez están sincronizados con el programa de adquisición de imágenes.

Al elegir el tipo de muestreo, se ejecuta el programa de “Muestreo secuencial” o “Muestreo aleatorio”. Cada uno de estos programas gobierna las siguientes acciones:

control de motores de paso y posicionamiento de la mesa micrométrica según el muestreo elegido; adquisición de la imagen por la cámara CCD en cada uno de los sitios de posicionamiento y finalmente, la imagen adquirida se transfiere a la PC a través de la tarjeta digitalizadora para ser almacenada en un formato digital en la base de datos correspondiente.

De acuerdo al procedimiento de muestreo elegido, la mesa micrométrica se desplaza a la posición con las coordenadas previamente calculadas por el programa y se detiene en este punto por un instante para permitir la adquisición de la imagen del área expuesta al microscopio. El diagrama de movimiento secuencial y aleatorio de la mesa se presenta en las Fig. 2.2 y 2.3, respectivamente.

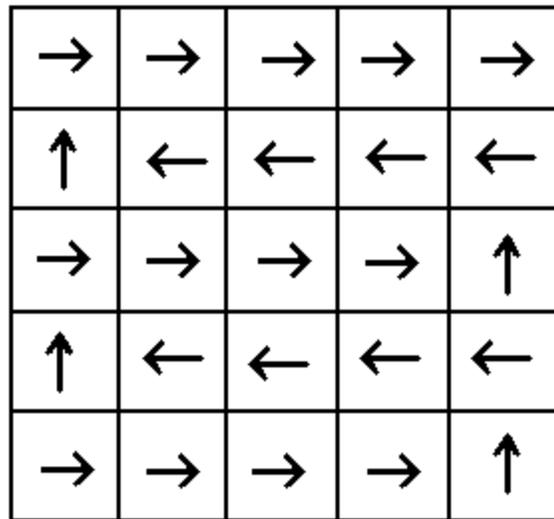


Figura 2.2. Diagrama de movimiento secuencial.

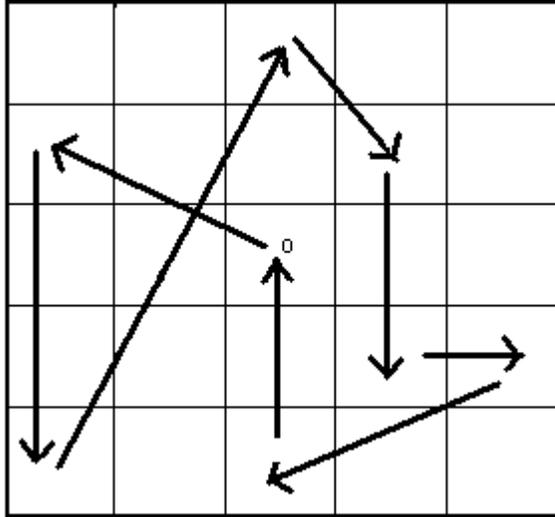


Figura 2.3. Diagrama de movimiento aleatorio de 8 desplazamientos.

Una vez posicionada la mesa, el programa de control de motores activa el programa de adquisición de imagen de la tarjeta digitalizadora a través de una cámara CCD que está ensamblada con el microscopio. La imagen adquirida se graba en la PC que controla el sistema de inspección y así se termina la etapa de muestreo. El diagrama de flujo de muestreo se presenta en la Figura 2.4.



Figura 2.4. Diagrama de flujo de muestreo.

## 2.3 Procesamiento, análisis y estadísticas de las imágenes

El procesamiento de imágenes de muestreo, se realiza a través de una serie de programas codificados en C. Estos programas comienzan con la lectura de la imagen, después se aplica uno de los filtros “arcos parabólicos” u “arcos circulares” (véase el Anexo A) con la intención de resaltar las fronteras de las microgotas. Luego se binariza la imagen para simplificar el análisis de éste, quedando sólo con píxeles en negro y que representan las fronteras de las gotas y con el fondo constituido por píxeles blancos. Una vez binarizada la imagen, procedemos a encontrar los píxeles de los bordes externos de las gotas y calcular el área de cada gota, además, de sus semiejes mayor y menor de una elipse equivalente y la orientación de ésta. Los datos de dimensiones y de áreas se almacenan en un vector de datos, que sirve para calcular las estadísticas (histogramas de distribución) de semiejes junto con áreas de gotas y la distribución espacial de gotas.

En nuestro trabajo se calculan y utilizan las siete características estadísticas del *fogging*: 1.-porcentaje de ocupación de las gotas respecto del área total de la muestra, 2.- La posición en la dirección “x”, 3.- posición en la dirección “y”, 4.- El ángulo de orientación respecto al eje “x”, 5.- Area de cada una de las gotas que forman el *fogging*, 6.- El eje mayor de la elipse equivalente y finalmente 7.- El eje menor de la elipse equivalente. Apoyándonos en el concepto de elipse equivalente (que se describe en la Sección 3.6) para la caracterización de gotas de *fogging*, se calculan las características

individuales de cada elipse. Estas constituyen la base para la evaluación de diferentes características estadísticas del *fogging*.

Las estadísticas de los semiejes mayores “*a*” y menores “*b*” de las elipses equivalentes caracterizan la forma de gotas del *fogging* y se representan mediante de dos histogramas de distribución de ocurrencia ( $N_a$  y  $N_b$ ) de gotas contra las dimensiones de semiejes correspondientes en determinados intervalos (véase la Figura 3.12 correspondiente en la sección de resultados).

Conociendo la longitud de semiejes, se calcula el área de cada gota; las áreas se usan para obtener otra característica importante del *fogging* que es la distribución de gotas por tamaños.

El porcentaje de ocupación  $O$  determina la razón del área total ocupada por las gotas del *fogging* entre el área total de las muestras y se calcula de la siguiente manera:

$$O = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{A_g}{A_m} \right)_i, \quad (2.1)$$

Donde  $N$  es el número de muestras,  $A_m$  y  $A_g$  es el área de una muestra y el área ocupada por las gotas de esta muestra.

La anisotropía del *fogging* se caracteriza por el histograma de distribución del ángulo de orientación de elipses equivalentes.

Y por último, los dos histogramas de distribución de los centros de gotas sobre los ejes X e Y caracterizan la homogeneidad de deposición del *fogging* sobre las muestras.

## **Capítulo 3. RESULTADOS EXPERIMENTALES**

### **3.1 Características generales del prototipo experimental**

En la etapa experimental del proyecto hemos desarrollado un sistema óptico-electrónico para la adquisición y procesamiento de imágenes digitalizadas de microgotas depositadas en placas de vidrio (sustratos transparentes y de espejo) durante la prueba del *fogging*. La vista general del equipo esta presentada en la figura 3.1. Los componentes principales del prototipo actual y sus funciones son los siguientes (véase las Figuras 2.1 y 3.1).

El sistema integrado de microscopio está constituido por el Trinocular Video Zoom Microscope VZM-100, la cámara CCD Panasonic GP-KR222 junto con el AC Adapter (fuente de alimentación de la cámara) y S-Video Cable, la fuente de iluminación Stoker-Yale ImageLine Model 20 y el Monitor Sony Trinitron PVM-14N64. Este sistema permite la observación y análisis visual de muestras tanto a través de oculares como en el monitor Sony Trinitron mediante la cámara CCD. La fuente de iluminación Stoker-Yale proporciona la iluminación difusa hacia la muestra a través del cable de fibra óptica.

La cámara CCD del microscopio se conecta a través de los cables ACNBL-BNC y BCBL-CAN4 con la tarjeta digitalizadora (frame grabber Imaging Technology PC-

COMP) de la computadora HP Pavilion de tal manera que la imagen se digitaliza y transforma en el formato TIFF que permite ver la imagen en la pantalla de PC y procesarla digitalmente.

La mesa micrométrica en dos coordenadas, automatizada con dos motores de pasos, permite el posicionamiento de la muestra controlado por una PC con la precisión de hasta  $2.5 \mu m$ . Un sistema de iluminación de luz dirigida se usa adicionalmente la luz difusa de la lámpara Stoker-Yale en algunos experimentos. Rejillas de Ronchi de 50 lpp y 2000 lpp se usan para la calibración del equipo. El equipo fue calibrado, determinando la resolución del sistema óptico para diferente amplificación y la posible distorsión de imagen. La resolución máxima lograda con el equipo disponible es de  $2 \mu m$ .

Para lograr la caracterización cuantitativa del *fogging* se desarrollaron programas computacionales en lenguaje C que mediante una PC desempeñan las siguientes funciones: posicionamiento aleatorio o secuencial, de la mesa micrométrica, junto con la adquisición y almacenamiento de imágenes [5,6]. Se desarrollaron los algoritmos de caracterización de deposiciones, logrando medir el tamaño y la orientación de las gotas, y la densidad de deposiciones. A partir de las evaluaciones sobre las muestras disponibles se logró conocer la distribución, forma y densidad típica de las gotas del *fogging*.

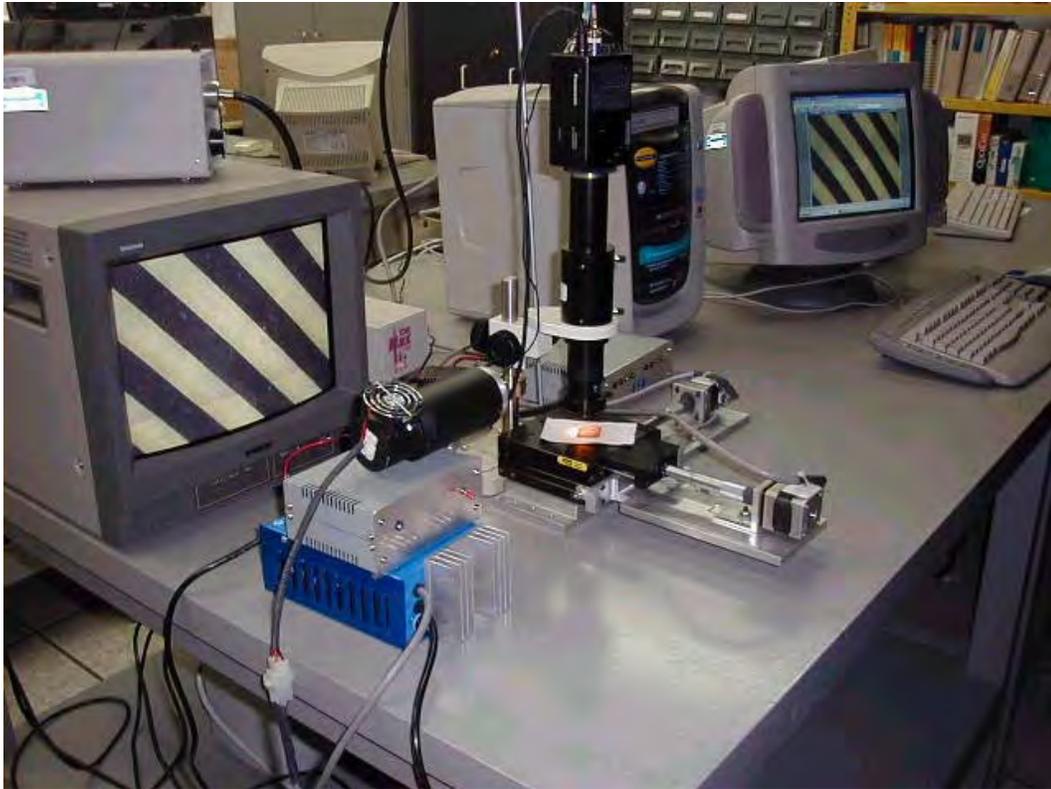


Figura 3.1 Vista general del prototipo experimental actual

### 3.2 Calibración del sistema óptico

Como hemos indicado anteriormente, el sistema óptico del prototipo está formado por un microscopio trinocular, una cámara Panasonic GP-KR222 y un monitor Sony Trinitron de 13" en la diagonal y 4/3 como razón de aspecto dimensional, además, una fuente de iluminación difusa de la marca Stocker & Yale. Las ampliaciones tanto del objetivo primario como de los dos oculares de microscopio son de 2.5x, 3x, 4x, 5x, 6x, 7x, 8x, 9x, 10x. No obstante, el sistema óptico empleado sirve para la observación y determinación del tamaño de objetos microscópicos. Por tanto, éste debe ser caracterizado por su resolución  $R$ , la dimensión mínima de un objeto que puede ser observado en la monitor. Se tiene que distinguir la resolución horizontal,  $R_h$ , y vertical,  $R_v$ , dado que la pantalla tiene la dimensión horizontal y vertical diferente. El ojo humano de un experimental puede distinguir en la pantalla los objetos de hasta 1mm lineal de dimensión, dependiendo del contraste. Por tanto, este número se tomó como limitante de la resolución, es decir, se supuso que la resolución del sistema es igual a la dimensión de un objeto, observado mediante el sistema, cuyo tamaño lineal en la pantalla es igual a 1mm. Con el fin de determinar la resolución del sistema óptico del prototipo y la posible distorsión de imagen para diferente ampliación, el equipo fue calibrado de la siguiente manera.

Se utilizaron dos rejillas de Ronchi: una de ellas tiene 50 líneas por pulgada (LPP) y otra de 2000 LPP. Primero se calculó el ancho físico,  $a$ , de c/u de las líneas de las rejillas de Ronchi. El ancho de línea es  $25.4mm / 50 = 0.508mm$  y  $25.4mm / 2000 = 0.0127mm$  para la rejilla de 50 y 2000 LPP respectivamente. Por su finura la rejilla de

2000 LPP se utilizó para los aumentos de 10x, 9x, 8x, 7x, 6x, 5x, 4x, dado que para menores aumentos ya es muy difícil de contar el número de líneas de rejilla. La rejilla de 50 lpp se utilizó para los aumentos de 7x, 6x, 5x, 4x, 3x y 2.5x tomando en cuenta que para mayores aumentos la imagen de una línea de la rejilla ya ocupa mas de la mitad de la pantalla. La medición de la resolución en la región de traslape de ampliaciones nos permite validar los resultados de medición con diferentes rejillas y controlar la exactitud de datos.

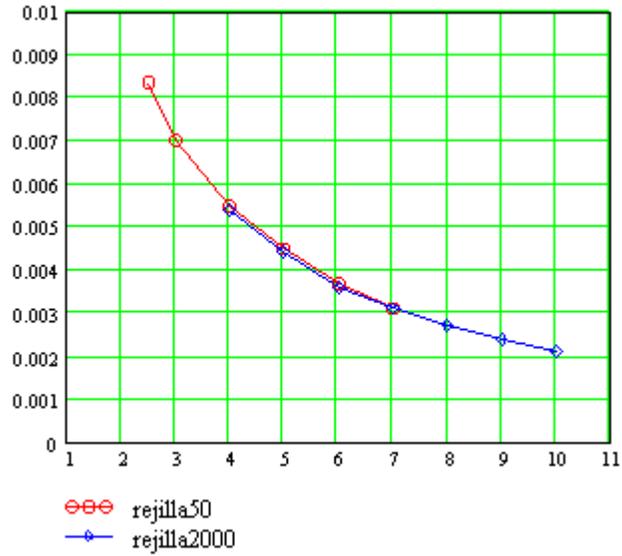
Luego se midió el ancho  $W$  y largo  $L$ , de la pantalla, quedando:  $W = 200mm$ ,  $L = 270mm$ . Suponiendo que los objetos de dimensión lineal de orden de 1mm pueden, relativamente fácil, observarse en la pantalla del monitor, dependiendo del contraste, tomamos dicho número como limitante de resolución del sistema usando la observación mediante la pantalla. Por tanto, la resolución del sistema en dirección horizontal,  $R_h$ , y en dirección vertical,  $R_v$ , de la pantalla del monitor se definieron con la siguientes relaciones:

$$R_h = \frac{N \times a}{L}, \quad R_v = \frac{N \times a}{W}, \quad (3.1)$$

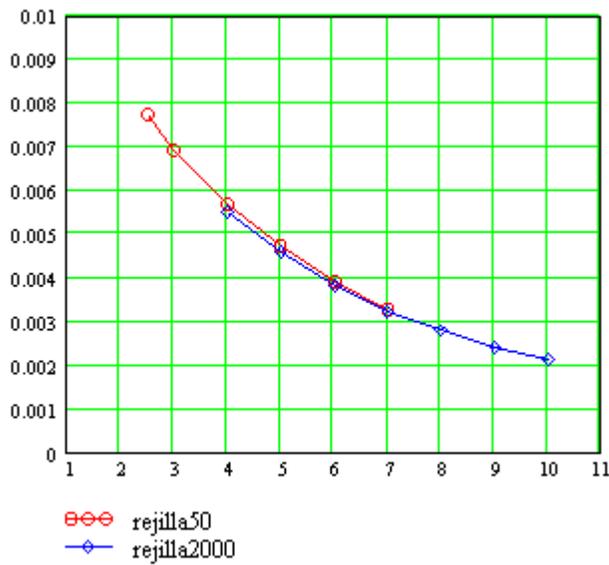
donde  $N$  es número de líneas de la rejilla observadas en el monitor y  $a$  es ancho físico de una línea de rejilla. Para la evaluación de resolución horizontal, se usa la imagen del monitor con líneas verticales de la rejilla, la imagen con líneas horizontales es usada en el caso de resolución vertical. Nótese que para obtener la dimensión física,  $d_h$  y  $d_v$ , de un objeto, cuya imagen en el monitor tiene la dimensión lineal horizontal y vertical,  $l_h$  y  $l_v$ , expresada en  $mm$ , se usa la fórmula (3.2), dando el resultado en  $mm$ :

$$d_h = l_h R_h, \quad d_v = l_v R_v. \quad (3.2)$$

Los resultados de calibración obtenidos para cada una de las ampliaciones, se muestran en las siguientes gráficas:



a) Resolución horizontal,  $R_h$



(b) Resolución vertical,  $R_v$

Figura 3.2 Gráficas experimentales de curvas de resolución horizontal (a) y vertical (b).

### 3.3 Automatización de la mesa micrométrica y programas de control

Con el fin de lograr un posicionamiento preciso y bien controlado de muestras bajo el microscopio, se tomó una mesa micrométrica con desplazamiento en dos ejes de la marca Parker Hannifin (vea la Figura 3.3). Ésta tiene dimensiones en sus ejes “X” e “Y” de igual medida, cada lado mide 125 mm. La mesa tiene como capacidad máxima de análisis, un área de  $50 \times 50 \text{ mm}^2$ , pues el máximo recorrido que tiene cada uno de los micrómetros es de 50 mm. Un mínimo desplazamiento controlado manualmente es de  $0.5\text{mm}/50 = 10\text{micras}$ , dado que el paso de la rosca es 0.5 mm y la perilla de micrómetro tiene 50 divisiones.

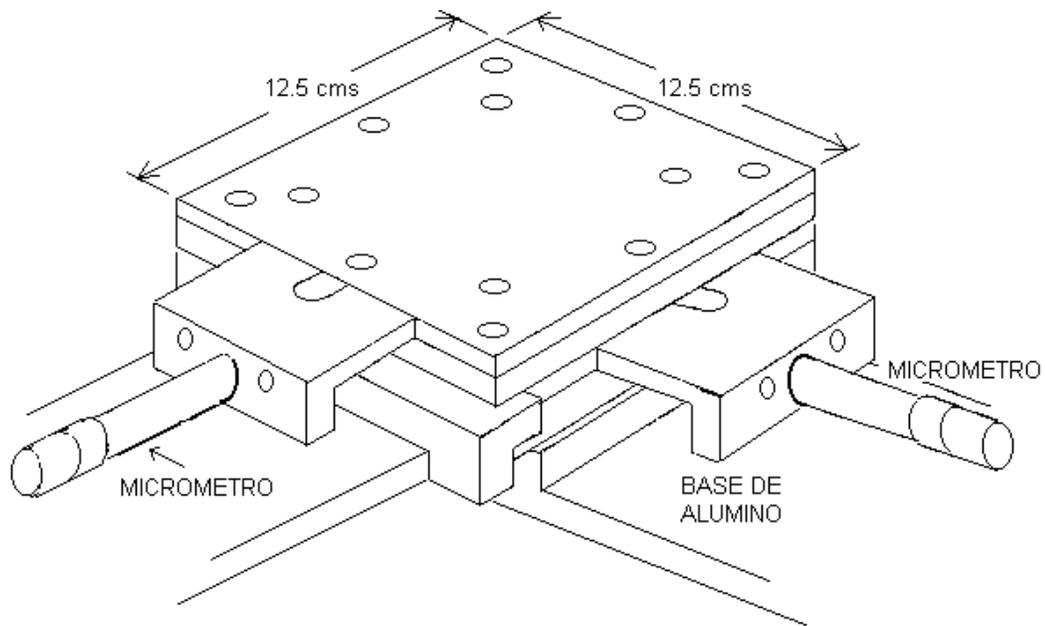


Figura 3.3 Mesa micrométrica con desplazamiento en dos direcciones, X e Y.

La mesa originalmente estaba diseñada para moverse en forma manual. Pero debido a las necesidades de movimiento en forma automática secuencial u aleatoria, se optó por adaptarle un motor de pasos a cada uno de los micrómetros de la mesa. Los motores de pasos mueven los micrómetros, éstos a su vez transmiten el movimiento a la mesa. Para lograr el desplazamiento lineal de la mesa deseado hay que definir el número de pasos para cada uno de los motores.

Se usaron los motores de la compañía MINEBEA, Co. fabricados en Tailandia. Estos motores de pasos tienen un desplazamiento angular de  $1.8^\circ$  grados por paso dando una vuelta completa en 200 pasos. Como el paso de la rosca de micrómetros es de 0.5 mm, por cada paso del motor, se tiene un desplazamiento lineal de  $2.5 \mu\text{m}$  sobre cada eje de la mesa. Cabe mencionar que los motores tienen una potencia de consumo de 4.5 watts y trabajan a 4.5 volts de DC y 1.0 A.

Los motores son controlados por un programa que envía la señal a los drivers que son dispositivos electrónicos diseñados y construidos en el Laboratorio de Electrónica del CIO. Los drivers a su vez suministran la energía hacia determinada bobina que nos dará el movimiento deseado. La dirección del movimiento angular depende de la secuencia con que se alimenten tales bobinas, ésta puede ser en dirección de las manecillas del reloj o en contra de éstas. La dirección de giro de los motores viene dada por la secuencia con que se alimente a las bobinas. Estos datos se le proporcionan a los programas de control de motores de pasos. Los datos que alimentan

al programa deben estar en base exadecimal. A continuación se mencionan las 4 secuencias utilizadas en estos programas.

#### GIRO DEL MOTOR EN DIRECCION DE LAS MANECILLAS DEL RELOJ

que corresponde al movimiento de la mesa en la dirección POSITIVA del eje “X”

BINARIO	EXADECIMAL	DECIMAL
0000 0001	0x01	1
0000 0010	0x02	2
0000 0100	0x04	4
0000 1000	0x08	8

#### GIRO DEL MOTOR EN CONTRA LAS MANECILLAS DEL RELOJ

que corresponde al movimiento de la mesa en la dirección NEGATIVA del eje “X”

BINARIO	EXADECIMAL	DECIMAL
0000 1000	0x08	8
0000 0100	0x04	4
0000 0010	0x02	2
0000 0001	0x01	1

#### GIRO DEL MOTOR EN DIRECCION DE LAS MANECILLAS DEL RELOJ

que corresponde al movimiento de la mesa en la dirección POSITIVA del eje “Y”

BINARIO	EXADECIMAL	DECIMAL
0001 0000	0x10	16
0010 0000	0x20	32
0100 0000	0x40	64
1000 0000	0x80	128

#### GIRO DEL MOTOR EN CONTRA LAS MANECILLAS DEL RELOJ

que corresponde al movimiento de la mesa en la dirección NEGATIVA del eje “Y”

BINARIO	EXADECIMAL	DECIMAL
1000 0000	0x80	128
0100 0000	0x40	64
0010 0000	0x20	32
0001 0000	0x10	16

Cuando se escribe el programa de control de motores, se utiliza la función `_outp(Dato, Hexadecimal)` definida en el lenguaje C y C++. Esta función recibe los datos siguientes: el valor de la dirección del puerto por el cual hay comunicación entre la PC y el driver, el otro dato es un valor en número exadecimal que corresponde a determinada bobina. La palabra *Dato* puede tener los siguientes valores: 0x378 ó 0x3bc que son las posibles direcciones del puerto paralelo en las PC, con arquitectura intel. En los programas de movimientos secuencial o aleatorio, *Dato* es igual a 0x378.

Dos ejemplos de la codificación para los cuatro pasos del motor que mueve la mesa en la dirección del eje “X”, son como siguen:

<pre> void GiraDirDelRelej_x() {   _outp( Dato, 0x01 );   _outp( Dato, 0x02 );   _outp( Dato, 0x04 );   _outp( Dato, 0x08 ); } </pre>	<pre> void GiraContraRelej_x() {   _outp( Dato, 0x08 );   _outp( Dato, 0x04 );   _outp( Dato, 0x02 );   _outp( Dato, 0x01 ); } </pre>
---	---

La codificación para los cuatro pasos del motor que mueve la mesa en la dirección del eje “Y”, es siguiente:

<pre> void GiraDirDelRelej_y() {   _outp( Dato, 0x10 );   _outp( Dato, 0x20 );   _outp( Dato, 0x40 );   _outp( Dato, 0x80 ); } </pre>	<pre> void GiraContraRelej_y() {   _outp( Dato, 0x80 );   _outp( Dato, 0x40 );   _outp( Dato, 0x20 );   _outp( Dato, 0x10 ); } </pre>
---	---

Después de la función `_outp(Dato,Hexadecimal)`, se ejecuta la función `Delay()` para regular la velocidad del motor. Dicha función proporciona un retardo entre las dos consecutivas llamadas a la función `_outp(Dato,Hexadecimal)`. Cada función de giro de los motores, descrita arriba nos proporciona un desplazamiento de 10µm.

Según los programas desarrollados en este trabajo los dos motores se mueven secuencialmente, es decir, cada desplazamiento predeterminado se ejecuta primeramente en la dirección X y después en Y. Para los desplazamientos de la mesa secuenciales se determina el número de desplazamientos y la magnitud de cada uno en las direcciones X e Y; en este caso el programa de cómputo de desplazamientos está constituido básicamente de dos ciclos. Para los desplazamientos de mesa aleatorios, primero se calculan las posiciones aleatorias dentro de la región de muestreo que son almacenados en dos vectores de datos, uno para coordenadas en X y otro para las coordenadas Y correspondientes. Después se ejecuta el programa de desplazamientos tomando los datos de los vectores de datos antes indicados. En seguida se muestran los dos algoritmos usados en programas de posicionamiento de muestreo secuencial y aleatorio.

## **ALGORITMO DE POSICIONAMIENTO SECUENCIAL**

**(con subprograma de captura y almacenamiento de una imagen)**

**PASO 1.** - Se determina la malla de muestreo rectangular dando los valores para el número de pasos  $N_x$  en la dirección X y para el número  $N_y$  en la dirección Y.

**PASO 2.** - **Se realiza un ciclo interno en X una cantidad de veces igual a la longitud del ciclo externo,  $N_y/2$**

PASO 2.1.- Se realiza un ciclo interno de  $N_x$  pasos

PASO 2.1.1 Se ejecuta la función *GiraDirDelReloj\_x( )*

// Esta función hace girar el motor “X” en la dirección de las manecillas del reloj, la mesa se mueve en la dirección POSITIVA del eje X

PASO 2.1.2.- Se adquiere una imagen en la posición lograda

PASO 2.1.3.- Se almacena la imagen en formatoTIFF en la memoria de la PC

Cierra el ciclo (2.1)

PASO 2.2.- Ejecuta la función *GiraDirDelReloj\_y( )*

// Esta función hace girar el motor ”Y” en dirección de las manecillas del reloj, la mesa se mueve en la dirección POSITIVA del eje “Y”

PASO 2.3.- Se adquiere una subimagen en la posición lograda

PASO 2.4.- Se almacena la subimagen en formato TIFF en la memoria de la PC

PASO 2.5.- Se realiza otro ciclo interno de Nx pasos

PASO 2.5.1.- Se ejecuta la función *GiraContraReloj\_x( )*

//Esta función hace girar el motor “X” en dirección contraria de las manecillas del reloj, la mesa en dirección NEGATIVA del eje “X”

PASO 2.5.2- Se adquiere una subimagen en la posición lograda

PASO 2.5.3- Se almacena la subimagen en la memoria de la PC

Cierra el ciclo (2.5)

PASO 2.6.- Se ejecuta la función *GiraDirDelReloj\_y( )*

// Esta función hace girar el motor “Y” en dirección de las manecillas del reloj, la mesa se mueve en la dirección POSITIVA del eje “Y”

PASO 2.7.- Se adquiere una subimagen en la posición lograda

PASO 2.8.- Se almacena la subimagen en formato TIFF en la memoria de la PC

PASO 2.9.- Reinicia el ciclo 2.1 hasta terminar el ciclo externo en Y

Fin del ciclo externo (PASO 2).

FIN DEL PROGRAMA DE ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO DE  
SUBIMAGENES DE MUESTREO SECUENCIAL.

### **ALGORITMO DE POSICIONAMIENTO ALEATORIO,**

(con subprograma de captura y almacenamiento de una imagen)

**PASO 1.-** Definir la cantidad de posiciones a calcular, “Max”.

**PASO 2.-** Calcula coordenadas de las posiciones en “X” e “Y” de forma aleatoria e independiente.

**PASO 3.-** Almacena las coordenadas de las posiciones en dos vectores, uno para las ordenadas (x) y otro para las abcisas (y), incluyendo los signos

**PASO 4.-** Calcula las diferencias entre posiciones en forma consecutiva, “dX” y “dY”, y las almacena en dos vectores: “delta\_x” y “delta\_y”.

**PASO 5.-** Realiza un ciclo de posicionamiento la cantidad de veces igual a “Max”

**PASO 5.1** Si el signo de la diferencia “dX” es POSITIVO, el programa realiza la función

*GiraDirDelRelej\_x( )*

// El motor “x” mueve la mesa en dirección positiva del eje “x”

Si el signo de la diferencia ”dX” es NEGATIVO, el programa realiza la

función *GiraContraRelej\_x( )*

// El motor ”x” mueve la mesa en dirección negativa del eje “x”

**PASO 5.2.-** Si el signo de la diferencia “dY” es POSITIVO, el programa realiza la

función *GiraDirDelRelej\_y( )*

// El motor “y” mueve la mesa en dirección positiva del eje “y”

Si el signo de la diferencia “dY” es NEGATIVO, el programa realiza la función *GiraContraReloj\_y( )*

// El motor “y” mueve la mesa en dirección negativa del eje “y”

PASO 5.3.- Ejecuta el subprograma de captura de una subimagen.

PASO 5.4.- Almacena la subimagen en el formato TIFF en la memoria de la PC.

CIERRA EL CICLO 5 Y TERMINA EL PROGRAMA DE  
POSICIONAMIENTO ALEATORIO DEL A MESA, CAPTURA Y  
ALMACENAMIENTO DE IMÁGENES DE MUESTREO.

### **3.4 Adquisición y almacenamiento de imágenes en la PC**

Para adquirir imágenes pueden usarse dos posibilidades, adquisición y almacenaje manual y en forma automática. A continuación se presenta la descripción del procedimiento para la adquisición de una imagen de manera manual y después de manera automática.

CAPTURA DE IMAGENES CON UNA CÁMARA CCD Y SU  
ALMACENAMIENTO EN LA PC DE MANERA MANUAL

1.- Seleccionar en el escritorio de la pantalla de la PC ó en el directorio donde se encuentre el programa **ITI Camera Configurator**

- 2.- Conectar la cámara: cable **rojo CAMARA** al conector **BNC**.
- 3.- Encender la cámara con el regulador pequeño TDE MAX 1000 (aunque es obvio, ha sucedido que "no hay señal").
- 4.- Encender la fuente de iluminación y si se desea, el monitor trinitron de SONY.
- 5.- Dentro del programa, para la observación continua, en el menú con los íconos, seleccionar **Grab**.
- 6.- Para "congelar" una imagen, seleccionar **Snap**.
- 7.- Para guardar una imagen en disco, en la barra de menús, seleccionar **Operation**, y luego **Save TIFF file...** (único formato disponible) y determinar el subdirectorio y el nombre del archivo imagen que se ha de almacenar.
- 8.- Al salir, a la pregunta *Save current file before exit?* contestar **No** (Es para el archivo de configuración utilizado por *default*, no para las imágenes).
- 9.- *Apagar* la fuente de iluminación y luego el regulador pequeño TDE MAX 1000.
- 10.- Desconectar la cámara.

**NOTA:** Jamás conectar ó desconectar la cámara CCD con la fuente TDE MAX 1000 encendida, esto dañaría la cámara CCD.

#### CAPTURA DE IMAGENES CON UNA CAMARA CCD Y SU ALMACENAMIENTO EN LA PC EN FORMA AUTOMÁTICA

Para esta operación deben realizarse los pasos 2,3,4 y 9,10 del procedimiento anterior de manera manual. En los programas movimiento secuencial y aleatorio de los motores se elaboró un subprograma en C que realiza las funciones de adquisición y almacenaje automáticos de imágenes que corresponden a los puntos 6,7 mencionados

anteriormente. Dicho subprograma está construido principalmente con las funciones en C que ya vienen de fábrica con la tarjeta PC-COMP. Estas funciones se mencionan, en el anexo B. Las funciones que realizan la captura y almacenaje de la imagen son las siguientes:

**Itex\_host\_snap**( *parámetros* ) // Captura la imagen

**Itex\_write\_image\_file**( *parámetros* ) // Escribe la imagen en la memoria de la PC.

Estas dos funciones se ejecutan para cada posición previamente calculada de la muestra.

A continuación se hará una descripción de estas dos funciones.

**Itex\_host\_snap**( *pcmod, image\_buff* )

*pcmod* Es un puntero a un módulo estructura itx.

*image\_buff* Este puntero es la dirección donde se almacenará el archivo imagen en la PC.

La función **Itex\_host\_snap(...)** adquiere una simple imagen en el destino. Esta función espera hasta que la adquisición se complete. Además, la función regresa los siguientes valores:

ITX\_BAD\_ARG Generalmente este valor es “null”

ITX\_NO\_ERROR Inexistencia de error.

**Itex\_write\_image\_file**(Filename, img\_buf, 0, 0, dx, dy, IFFCL\_GRAY, 8,

IFFCOMP\_DEFAULT)

Filename Es un puntero al archivo donde se va escribir la imagen

Img\_buf Es un puntero al archivo fuente de la imagen

“0”	Es el comienzo de la imagen en la dir “x”
“0”	Es el comienzo de la imagen en la dir “y”
dx	Es el ancho en pixeles de la imagen
dy	Es la altura en pixeles de la imagen
IFFCL_GRAY	Imagen en niveles de gris que se adquiere y almacena
“8”	Es la profundidad en bits de la imagen.
IFFCOMP_DEFAULT	Es la técnica de compresión de la imagen.

La función **itx\_write\_imagen(...)** escribe una imagen al archivo apuntado por *Filename*. Esta función comienza en la localización del pixel(0,0) y escribe para las dimensiones (dx, dy). La tarjeta PC-COMP solamente almacena imágenes en formato \*.TIFF . Esta función de escritura de imágenes regresa los siguiente valores:

ITX_NO_ERROR	Operación realizada exitosamente.
ITX_ALLOC_ERROR	No se puede asignar la memoria.
ITX_FILE_ERROR	Nombre del archivo incorrecto ó la función no puede localizar el archivo.
ITX_BAD_IFILE	Tipo de archivo erróneo ó extensión desconocida.

## DESCRIPCION DE LOS FORMATOS DE IMAGENES UTILIZADOS

En el procesamiento de imágenes existen varios formatos, cada uno de ellos con sus ventajas y desventajas. En este trabajo se utilizó el formato TIFF y el formato BMP. El formato TIFF es el que viene definido en el software de la tarjeta PC-COMP por

default. El formato TIFF puede trabajar en muchas plataformas y sistemas operativos. El formato BMP es mas fácil de trabajar, los algoritmos de procesamiento de imágenes se realizan en este formato con facilidad. Este formato nos proporciona una matriz de elementos, todos ellos números enteros que van desde 0 hasta 255. Estos valores representan todos los posibles valores en tonos de grises. A continuación se describen los formatos de las imágenes TIFF y BMP.

**El formato TIFF** (Tag image file format)

Tipo de imagen	Bitmap(raster)
Propietarios	Aldus y Microsoft
Plataformas que soporta	Pc, MacIntosh y plataformas de trabajo UNIX
Aplicaciones que soporta	Artes gráficas y diseño publicitario

Es similar al GIF y utiliza compresión LZW( Lempel y Ziv,Welch)

**VENTAJAS** de TIFF: Es el formato adecuado para una amplia gama de aplicaciones independientemente de la arquitectura de la computadora, sistema operativo y hardware gráfico. Este formato maneja blanco y negro, niveles de gris e imágenes a color, permitiendo al usuario ajustarse a las características de un scanner, monitor o impresora.

**DESVENTAJAS** de TIFF: Esta versatilidad también crea algunos problemas, pues requiere de un gran esfuerzo en la programación para decodificar totalmente una imagen en este formato.

### **El formato BMP (Mapa de bits)**

Tipo de imagen	Bitmap
Uso deseado	Despliega y almacena en plataforma de Windows
Propietario	Microsoft
Aplicaciones	Cualquier programa que despliegue alguna imagen y trabaje bajo windows.

VENTAJAS de BMP: Trabaja muy bien bajo windows, soporta mapas de bits esparcidos.

DESVENTAJAS de BMP: Pobremente soportado en otras plataformas y en otros sistemas operativos.

### **CABLES UTILIZADOS EN LAS CONEXIONES ENTRE LA PC Y LA CAMARA, ENTRE LA PC Y EL MONITOR**

La tarjeta PC-COMP tiene dos conectores. En un extremo del grupo de conectores o plato de entrada o salida hay 44 pines. También hay 5 Subconectores uno de los cuales es para la cámara y es de color rojo, los otros son para conexiones misceláneas. Este cable tiene capacidad para 5 cámaras. En la parte interna de la PC, viene oculto un cable conector de 26 pines el cual provee una conexión paralela de entrada o salida en la forma de 8 datos de entrada y 8 datos de salida, y un drive alto para canales TTL. El cable de conexión entre la cámara y el monitor SONY Trinitron se llama Y/C (S-VIDEO), este es un cable que puede trabajar con dos canales por lo cual tiene 2 pines para cada canal y dos para tierra.

## FORMACION DE LA BASE DE DATOS DE IMÁGENES

Las imágenes que se adquieren se almacenarán en algún directorio de la PC definido por el usuario. Esta trayectoria se define en el primer parámetro de la función **Itex\_write\_image\_file**( “C:\...\prueba\_1.tif ”,.....,.....) En este parámetro se define la ruta donde se almacenarán las imágenes, el nombre de la secuencia de imágenes y la extensión de los archivos almacenados. En esta secuencia hay varios archivos cuya diferencia está sólomente en el último caracter antes de la extensión. Este caracter es el valor de la “i” en el ciclo *for* ( i = 0; i<Max; i ++ ). N = Max-1. N es el número total de posiciones calculadas ya sea aleatorias o secuenciales. Dentro de este ciclo se encuentra el sub-programa de captura y almacenamiento de la imagen.

Ejemplo:

```
“C:\.....\prueba_0.tif”      // prueba 0
“C:\.....\prueba_1.tif”      // prueba 1
“C:\.....\prueba_2.tif”      // prueba 2
      “                          “
“C:\.....\prueba_N.tif”      // prueba eNésima
```

## SINCRONIZACION DE LA MESA MICROMÉTRICA CON LA CÁMARA CCD

En el programa de automatización de posicionamiento de la mesa se encuentra inmerso el programa de captura y almacenamiento de imágenes. Cuando se ejecuta programa de posicionamiento aleatorio o secuencial, después de que la mesa llega a una posición previamente calculada se detienen los motores de paso, se activa la cámara

CCD, se toma una imagen y almacena en la PC; esto se lleva un tiempo del orden de centésimas de segundo. A continuación se leerá la siguiente posición de un vector de posiciones y se realizará el movimiento en direcciones “X” e “Y”. Llegando a la posición calculada, de nuevo se activará la cámara, se toma una imagen y almacena en la PC. De esta manera se hará para todas las posiciones calculadas y así tendrá fin el programa de captura y almacenamiento de las imágenes.

### **3.5 Formación de imagen del fogging sobre dos tipos de sustratos**

En la industria automotriz es común preparar probetas del *fogging* sobre los sustratos de vidrio. Un buen contraste en las imágenes facilita el procesamiento digital de éstas para la caracterización del *fogging*. El contraste de una imagen del *fogging* sobre un sustrato depende de varios factores, entre ellos el material (índice de refracción) del sustrato y el tipo de iluminación. Con la finalidad de encontrar las condiciones óptimas para la formación de imagen, en este trabajo analizamos el contraste de las imágenes del *fogging* de dos sustancias sobre dos tipos de sustrato usando diferente iluminación. Se usaron los sustratos de vidrio transparente y de espejo de vidrio, aplicando la iluminación de la luz blanca difusa y dirigida, con diferentes ángulos de incidencia. Estudiamos el *fogging* formado por la evaporación de agua y de aceite.

La iluminación difusa se obtiene mediante la lámpara StockerYale marca ImageLite integrada al microscopio. Esta lámpara tiene 10 graduaciones para distintas intensidades. Para la luz dirigida se utilizó una lámpara del taller óptico del CIO que envía la luz con un espejo parabólico de 3 intensidades.

Se implementó el experimento de adquisición de imágenes del *fogging* sobre dos tipos de sustratos: de vidrio transparente y de espejo de vidrio. Para cada tipo de sustrato se usó la iluminación de dos tipos: luz blanca difusa y luz blanca dirigida con ángulos de incidencia de 15°, 30°, 45° y 60°. Además, se exploraron dos sustancias típicas para generar el *fogging*, el agua y el aceite vegetal. El diagrama del experimento se muestra en la Figura 3.4.

Cabe mencionar que las deposiciones del *fogging* se obtuvieron por la evaporación de agua y aceite. El *fogging* de aceite es estable sobre los sustratos y prácticamente no se cambia durante el experimento, permitiendo tomar las fotografías de la misma área de la probeta, variando tanto el tipo como las condiciones de iluminación. Sin embargo, dado que el *fogging* de agua es bastante volátil en el ambiente de laboratorio y se desaparece en el lapso de un minuto, estuvimos obligados a recrear la probeta para cada toma de la imagen. Por tanto, las imágenes del *fogging* de agua no se repiten exactamente en el muestreo, complicando la comparación de contraste de ellas.

Para tomar una imagen, la muestra se coloca en el centro de la mesa automatizada, después se activa el programa de cómputo llamado “ITI camera configurator”, que tiene varias opciones. Las opciones que nos interesan son: grabación continua (*Grab*), adquisición de una imagen (*Snap*) y almacenaje de la imagen (*Save*). Primero se activa la opción (*Grab*) con la finalidad de ver en tiempo real la imagen, esto es importante en las muestras generadas con vapor de agua, pues éstas se modifican en el tiempo de manera significativa. A continuación se activa la opción (*Snap*) para activar la cámara CCD y se toma la foto del área elegida. Finalmente se activa la opción (*Save*) para almacenamiento de la imagen en algún directorio definido para este propósito en la PC.

De acuerdo al esquema del experimento (véase la Fig. 3.4) fueron adquiridas dos series de imágenes correspondientes a dos tipos de sustratos, conteniendo cada una de ellas  $20 + 24 = 44$  imágenes. Veinte imágenes del fogging de agua y aceite fueron tomadas con luz difusa variando su intensidad según 10 graduaciones de la lámpara StockerYale. Las veinticuatro imágenes restantes de cada serie corresponden a una combinación de las siguientes condiciones: 2 sustancias del *fogging* por 3 intensidades por 4 ángulos de luz dirigida.

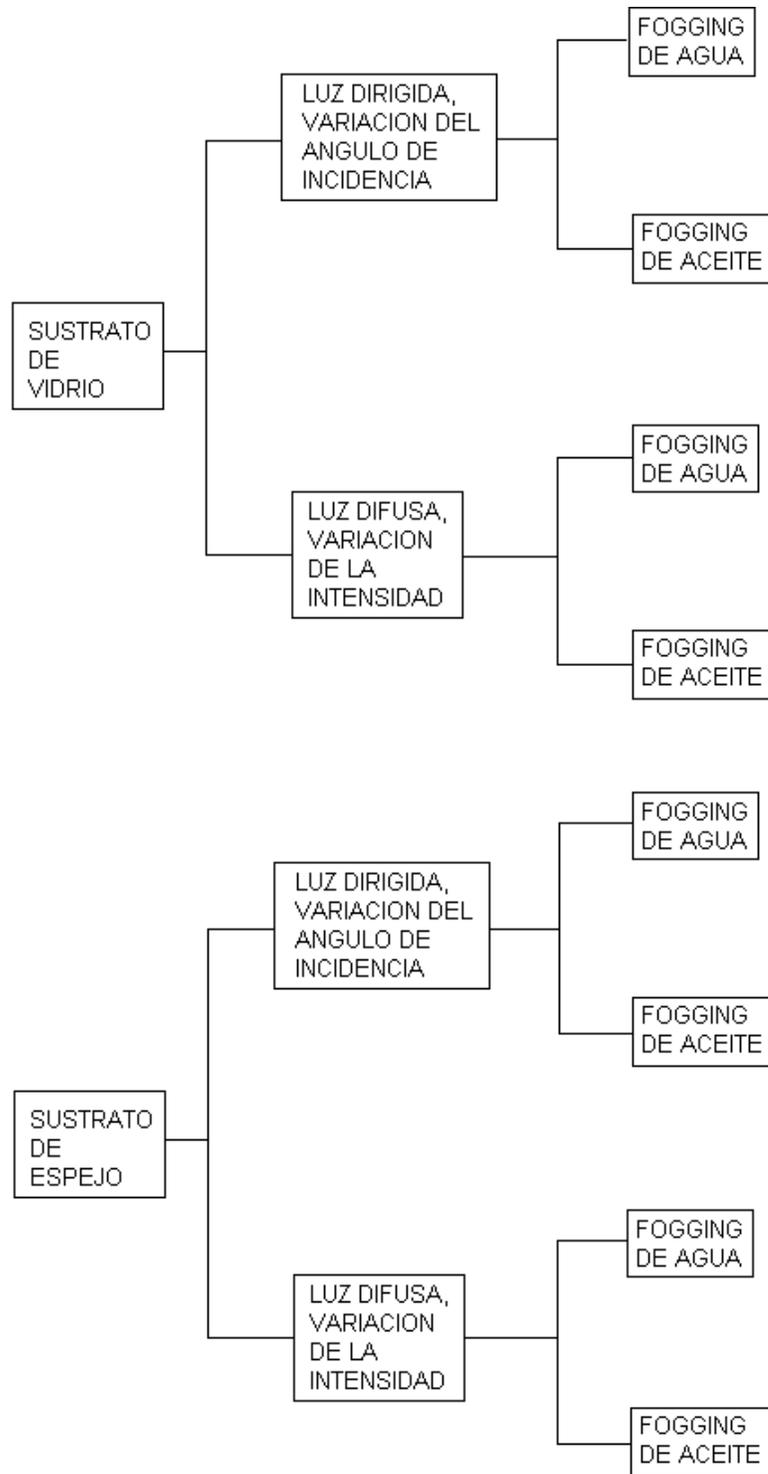


Figura 3.4 El diagrama del experimento de formación de imágenes del *fogging* sobre dos tipos de sustrato

Analizando cualitativamente el contraste y nitidez de las imágenes adquiridas de cada serie se concluye que para el sustrato de vidrio transparente iluminado con luz dirigida, el mejor contraste se logra con la intensidad máxima, graduación 3 de la lámpara, a  $60^\circ$  de incidencia (véase la Figura 3.5, imágenes 2.1 y 2.2). Para luz difusa, el mejor contraste se logra con la intensidad de graduación 7 de la lámpara StockerYale (véase la Figura 3.5, imágenes 1.1 y 1.2). Comparando imágenes obtenidos con luz dirigida (Figura 3.5, imágenes 2.1 y 2.2) y luz difusa (Figura 3.5, imágenes 1.1 y 1.2), vemos que la luz dirigida es preferible en caso de sustratos de vidrio transparente.

Para el sustrato de espejo de vidrio, el mejor contraste se obtiene en las mismas condiciones (véase la Figura 3.5, imágenes 3.1 y 3.2 para luz difusa e imágenes 4.1 y 4.2 para luz dirigida a  $60^\circ$ ). Además, comparando imágenes 3.1 y 3.2 contra 4.1 y 4.2 vemos que la luz difusa es preferible para trabajar con los sustratos de espejo de vidrio.

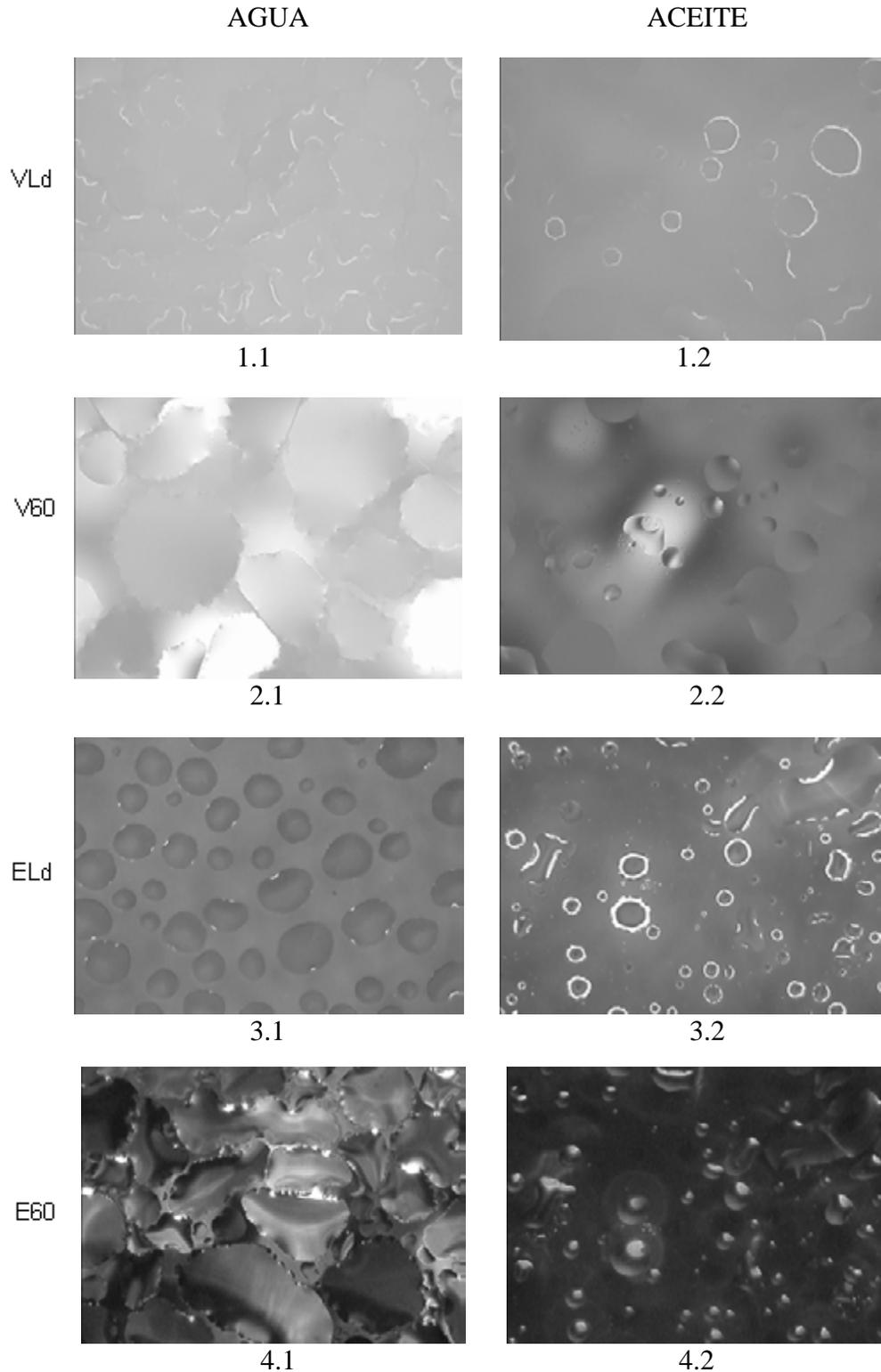


Figura 3.5 Imágenes del *fogging* de agua y aceite sobre sustratos de vidrio transparente y de espejo de vidrio, empleando luz difusa y dirigida. VLd = Vidrio iluminado con luz difusa, V60= Vidrio iluminado con luz dirigida a 60°, Eld= Espejo iluminado con luz difusa E60=Espejo iluminado con luz dirigida a 60°.

El efecto de formación de la frontera brillante en las imágenes de gotas depositadas en los sustratos de espejo iluminadas por luz difusa puede explicarse de la siguiente manera. Recordamos que la distancia focal de la lente de microscopio es aproximadamente de 50 mm, dependiendo de la amplificación empleada. El campo de visión es pequeño (del orden de 1 mm según la amplificación) y éste está ubicado en la zona cercana a la perpendicular trazada por el centro de la lente. La montura de la lente tiene un diámetro de 30 mm y la salida de luz difusa tiene la forma de anillo abrazando esta lente, es decir, el anillo dispersor tiene el diámetro medio de 33 mm.

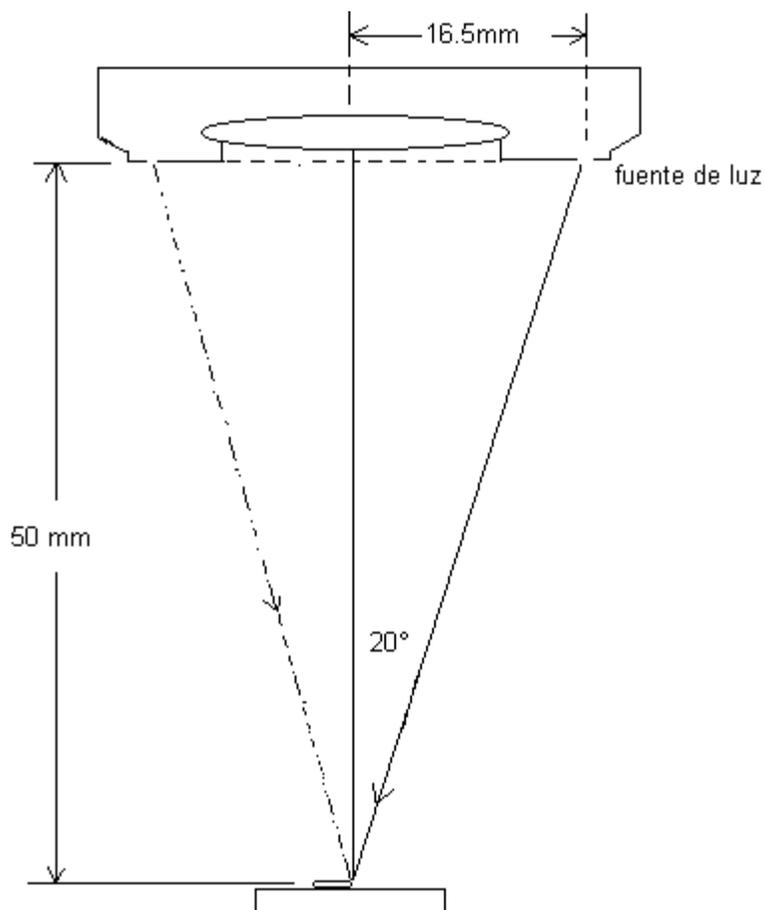


Figura 3.6 Geometría del arreglo óptico de iluminación de gotas del *fogging*

Dicha geometría del arreglo óptico (véase la Figura 3.6) sugiere que los rayos de luz que iluminan cada gota en el campo de visión del microscopio inciden en forma circular con ángulo de incidencia de aproximadamente  $20^\circ$  con respecto a la vertical. Con el fin de comprender la formación de imagen de la frontera de una gota, analizaremos el camino óptico de los rayos incidentes representados en la Figura 3.7.

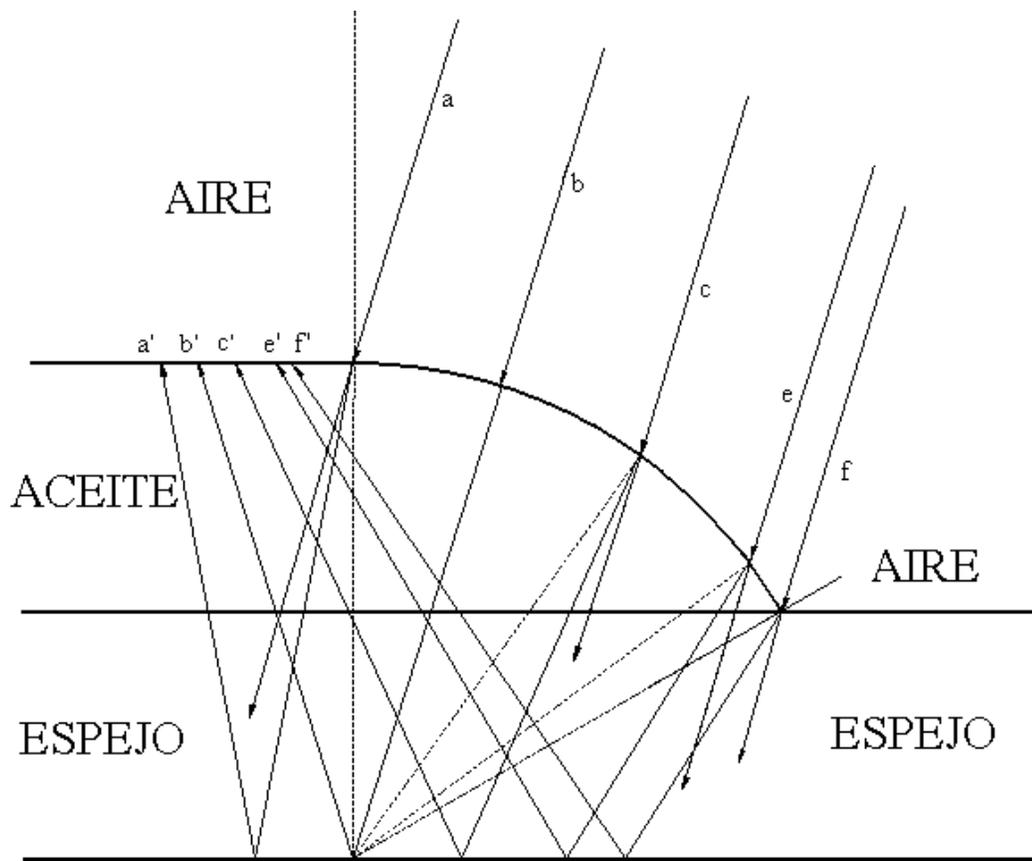


Figura 3.7 Formación de la imagen de la frontera de una gota: trazo de rayos.

Notamos que por condiciones físicas, la competencia entre la fuerza de gravedad y la tensión superficial (capilaridad) de un líquido sobre un sólido, la parte central de una gota sobre un vidrio tiene la superficie de poca curvatura (prácticamente plana) con una curvatura notable en las proximidades de su frontera. Por tanto, un modelo simplificado de la forma de superficie de una gota sobre un espejo es la superficie plana en la parte central que se transforma en una superficie convexa en las proximidades de la frontera, como se dibuja en la Figura 3.7. De la figura mencionada se comprende que los rayos incidentes sobre la parte plana de la gota se reflejan en el espejo de sustrato con un ángulo igual al de incidencia, y por tanto no entran en la pupila de la lente del microscopio, contribuyendo muy poco en la formación de la imagen de la gota. Al contrario, los rayos que inciden sobre la superficie convexa en la frontera de la gota se reflejan en el espejo convergiendo los rayos en la dirección con ángulo menor de la incidencia. Por tal razón estos rayos entran en la pupila de la lente participando en la formación de la imagen de la gota resultando en un anillo brillante que pueden verse en la Figura 3.5 (imagen 3.2). Como se comprende de la Figura 3.7, el área de la imagen de la gota es un poco menor que el área real de ésta. Cabe mencionar que por la cercanía de los índices de refracción del aceite y vidrio del espejo de sustrato, empleamos el trazo de rayos simplificado continuo en la Figura 3.7. En cuanto a la situación con los sustratos de vidrio transparente (no-espejo), el trazo de rayos es parcialmente parecido a lo anterior con la gran diferencia que haya poca reflexión de la luz de las interfases, teniendo como consecuencia la imagen de la frontera mucho más tenue.

### 3.6 Procesamiento de imágenes

Como hemos visto en la sección anterior, la adquisición de imágenes de muestras del *fogging* sobre sustratos de vidrio es un proceso muy sensible a la iluminación. La caracterización de muestras del *fogging* de manera digital y automatizada requiere imágenes de buen contraste que permitan fácilmente identificar cada gota del *fogging* sobre el fondo de la imagen. Una etapa importante de preprocesamiento de una imagen es su filtrado (véase Anexo A) y binarización, quedando como resultado la imagen binaria que es más fácil para la caracterización.

En las imágenes en niveles de gris las fronteras de gotas se ven claramente cerradas de forma elíptica o circular (véase la Figura 3.8).

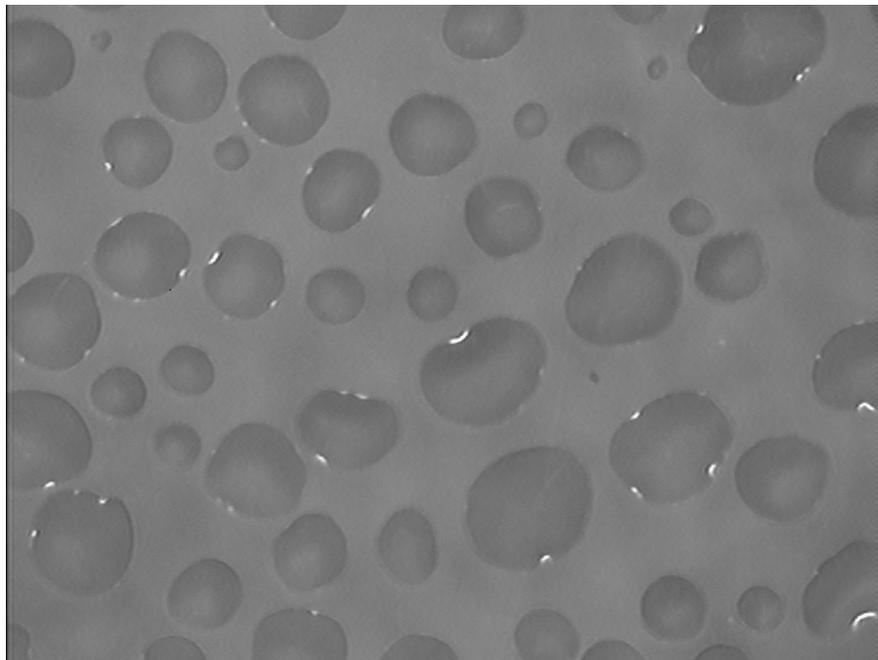


Figura 3.8 Una imagen de *fogging* en niveles de gris tomada por una CCD.

Sin embargo, al binarizar la imagen quedan algunas fronteras abiertas o discontinuas afectadas por ruido en forma de sombrilla pegada a las fronteras de gotas. En la Figura 3.9 se muestra el resultado de binarización (con un umbral global) de una imagen típica, buena.

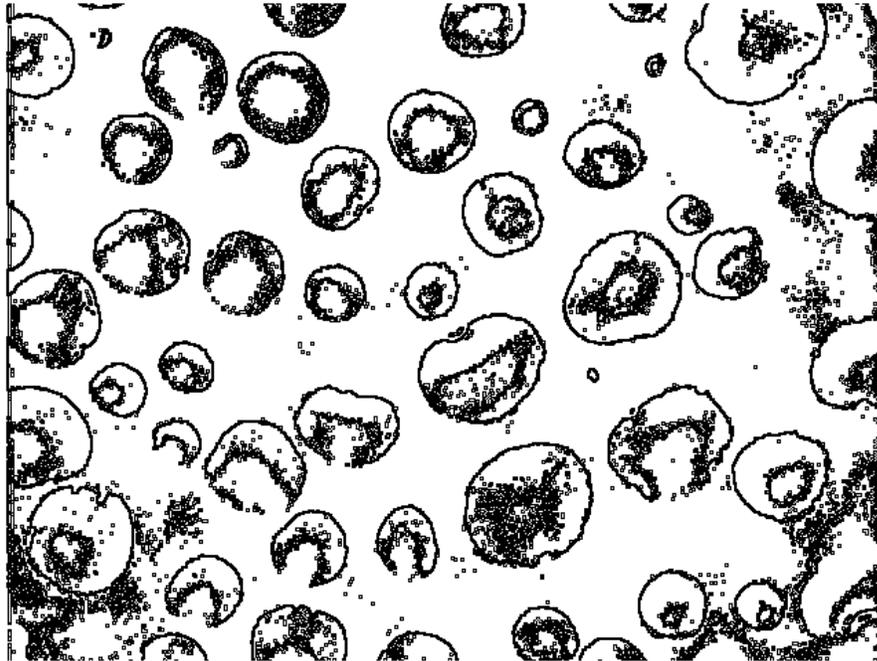


Figura 3.9. La imagen binarizada resultante de la imagen de la Fig. 3.8

De esta figura se ve que la imagen binarizada puede tener dos principales defectos que dificultan la caracterización: Algunas de las fronteras de las gotas no son cerradas y además, hay gotas que están pegadas a las penumbras externas al contorno que no son separables de manera automática. El mayor problema de procesamiento computarizado lo causan las curvas no cerradas en forma de herradura, unidas a penumbras. Tomando en cuenta que en una imagen típica pueden encontrarse varios patrones afectados por una combinación de dichos defectos, la aplicación de técnicas

convencionales del cierre de fronteras y de la purificación de penumbras (que requiere la segmentación de imagen) se vuelve poco práctica. Por tal motivo, después de un número de intentos para resolver el problema de manera automática. Llegamos a conclusión de que en forma práctica, aunque provisional. Se deben preprocesar las imágenes eliminando el ruido y cerrar fronteras abiertas de gotas internas manualmente. Se utilizó el programa Paint Brush de Microsoft quedando una imagen como de la siguiente figura.

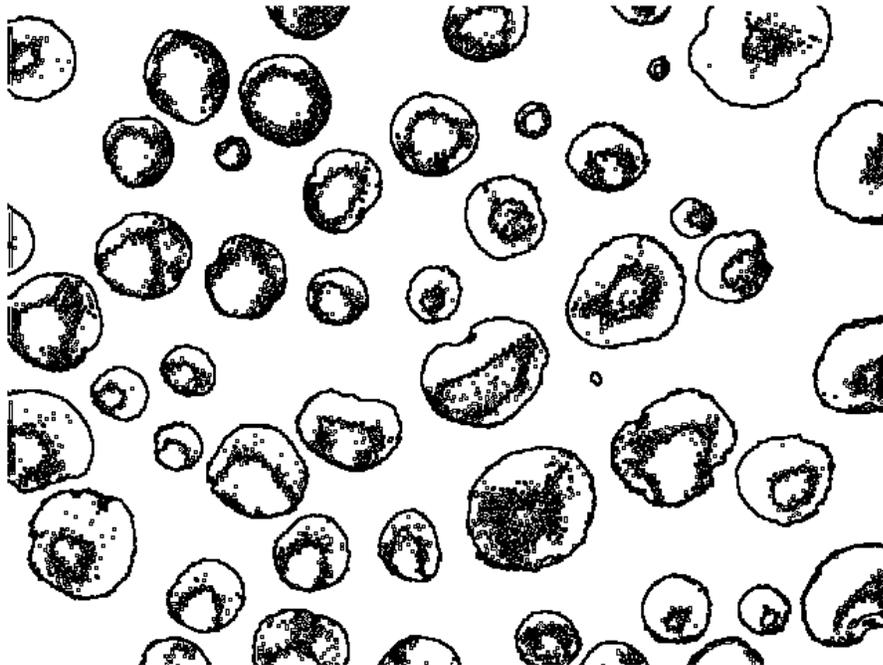


Figura 3.10 La imagen depurada

En nuestro trabajo, después de la purificación manual de imágenes, continuamos con la siguiente etapa que consiste en cierre de fronteras de gotas pegadas a la orilla de la imagen y caracterización estadística de gotas del *fogging*. Cabe mencionar que la

cierre de fronteras de gotas pegadas a la periferia de imagen se hace mediante de un programa de cómputo. En primer lugar, analizando las imágenes analógicas y digitalizadas en niveles de gris, notamos que las gotas del *fogging*, por lo general, tienden a tener la forma circular o elíptica debido a los procesos físicos de adhesión con la superficie de sustrato (véase, por ejemplo, la Figura 3.5). También, se presentan casos de formas un tanto irregulares, pero la diferencia de las formas mencionadas es relativamente pequeña. Además, la caracterización del *fogging* se centra principalmente en la estadística del tamaño de gotas, su orientación y densidad de deposiciones. Por tanto, se propuso la aproximación de cada gota por una elipse equivalente, la técnica correspondiente se describe a continuación. Los cinco parámetros de una elipse equivalente a una gota se calculan partiendo de los cinco puntos de la frontera de la gota, resolviendo un sistema de ecuaciones correspondiente. Los cinco parámetros de una elipse son: posición del centro (dos parámetros), eje mayor, eje menor y la orientación del elipse (la inclinación del eje mayor). Cabe mencionar que una técnica similar, llamada *moment-based-features*, esta descrita en [1], p. 393.

Con el fin de describir la técnica de elipses equivalentes analizaremos la ecuación general de las cónicas. Estas curvas vienen dadas por la siguiente expresión:

$$Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0, \quad (3.3)$$

donde  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$  y  $F$  son parámetros de las cónicas. Estos parámetros definen el tipo de curva que puede resultar. El discriminante  $I$ ,

$$I = B^2 - 4AC, \quad (3.4)$$

define el tipo de cónica real. Si  $I < 0$ , se tiene una curva conocida como *elipse*. Si  $I = 0$ , obtenemos una curva llamada *parábola*. Si  $I > 0$ , la curva obtenida se le llama *hipérbola*.

La ecuación general de segundo grado, Ec. (3.3) se puede reducir a una ecuación de 5 parámetros dividiendo todos los coeficientes de ésta entre el primer coeficiente “A”, siempre y cuando  $A \neq 0$ , que es válido tanto para una elipse como una parábola, resultando

$$x^2 + bxy + cy^2 + dx + ey + f = 0, \quad (3.5)$$

donde  $b = B/A$ ,  $c = C/A$ ,  $d = D/A$ ,  $e = E/A$ ,  $f = F/A$ . Tomando 5 puntos de una elipse, se puede encontrar los coeficientes de la ecuación correspondiente. Nótese que en caso de una elipse equivalente, los 5 puntos se toman de la frontera de la gota. Los puntos los elegimos de manera que queden *equidistantes* entre uno y otro, sobre el perímetro de la frontera. De esta manera se obtiene un sistema de 5 ecuaciones como sigue:

$$bx_1y_1 + cy_1^2 + dx_1 + ey_1 + f = -x_1^2 \quad (3.6 \text{ a})$$

$$bx_2y_2 + cy_2^2 + dx_2 + ey_2 + f = -x_2^2 \quad (3.6 \text{ b})$$

$$bx_3y_3 + cy_3^2 + dx_3 + ey_3 + f = -x_3^2 \quad (3.6 \text{ c})$$

$$bx_4y_4 + cy_4^2 + dx_4 + ey_4 + f = -x_4^2 \quad (3.6 \text{ d})$$

$$bx_5y_5 + cy_5^2 + dx_5 + ey_5 + f = -x_5^2 \quad (3.6 \text{ e})$$

En nuestro trabajo utilizamos el método de Gauss Jordan para encontrar la solución al sistema de ecuaciones respecto a los coeficientes  $b, c, d, e, y f$ . Para regresar a los coeficientes originales se usan las fórmulas de conversión:

$$A=1/b, \quad B=b/b, \quad C=c/b, \quad D=c/b, \quad E=e/b \quad y \quad F=f/b.$$

Una vez que se tienen los 6 parámetros, procedemos a calcular las siguientes características de elipse. Primero, se calcula el discriminante, para saber si la curva obtenida es elipse o hipérbola. En caso de que resulta una hipérbola, se usara otro conjunto de cinco puntos sobre la frontera de gota para generar el sistema de ecuaciones (3.6). Cabe mencionar que la elipse equivalente generalmente no pasa por los cinco puntos elegidos. Luego calculamos el ángulo de rotación de elipse con la siguiente relación:

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{B}{A-C} \quad (3.7)$$

Esta relación es válida sí y solo sí  $A$  es diferente de  $C$ .  $\theta$  es el ángulo de giro del eje mayor respecto al eje vertical de la imagen.

Para el cálculo del centro de la elipse equivalente y de los semiejes se deben de encontrar otros coeficientes que resultan al girar el sistema coordenado a un ángulo tal que desaparezca el término cruzado “ $xy$ ”, resultando éste igual a  $\theta$ . Pues, los ejes del nuevo sistema coordenado estarán paralelos a los semiejes de la elipse y las coordenadas del centro de la elipse estarán dadas por las siguientes expresiones:

$$h = -D/2A, \quad k = -E/2A \quad .$$

Para el cálculo de los semiejes “ $a$ ” y “ $b$ ”, se requieren los coeficientes de la elipse en el sistema coordenado girado al ángulo  $\theta$ . Estos se calculan de la manera siguiente:

$$A' = A \cos^2 \theta + B \sin \theta \cos \theta + C \sin^2 \theta$$

$$C' = A \sin^2 \theta - B \sin \theta \cos \theta + C \cos^2 \theta$$

$$E' = E \cos \theta - D \sin \theta$$

$$D' = D \cos \theta + E \sin \theta$$

Los coeficientes faltantes  $B'$  y  $F'$  no se escribieron, ya que  $B' = 0$  y el otro no cambia su valor al girar el sistema de coordenadas. La condición  $B' = 0$  define el valor de ángulo de rotación, Ec. (3.7).

Para cálculo de los semiejes se calcula

$$M = \frac{C'D'^2 + A'E'^2 - 4A'C'F'}{4A'^2 C'^2}$$

El semieje mayor “ $a$ ” quedará dado por la siguiente expresión:

$$a = \sqrt{MC'}$$

El semieje menor “ $b$ ” quedará dado por otra expresión semejante:

$$b = \sqrt{MA'}$$

Finalizando, el área de la elipse equivalente será calculada de la siguiente manera:

$$Area = \pi ab .$$

Como vemos anteriormente, teniendo una imagen binarizada de una gota, se eligen cinco puntos de la frontera. En base de estos cinco puntos se resuelven cinco ecuaciones lineales respecto a los parámetros que definen una elipse equivalente. Por supuesto, la forma de elipse depende del conjunto de cinco puntos elegidos. Con el fin de disminuir la variación de parámetros de elipse contra los cinco puntos elegidos de la frontera, se eligen varios conjuntos (de 3 a 10) de cinco puntos de referencia, obteniendo varias elipses equivalentes, cuyos parámetros en principio se distinguen entre sí. Después, los parámetros de elipses se promedian, dando finalmente una sola elipse equivalente a la gota analizada.

Con el fin de justificar dicha aproximación y evaluar el error correspondiente en cuanto a las dimensiones y el área de la gota, se hicieron pruebas de comparación visual de la elipse equivalente sobrepuesto a la gota original, junto con la comparación de dimensiones de la gota calculadas directamente, contando el número de píxeles dentro y en la frontera de la imagen de la gota, y obtenidas de la elipse equivalente, según la formula  $A = \pi ab$ , donde  $a$  y  $b$  son los semiejes de la elipse. Cabe mencionar que para

dichas comparaciones se escogieron las gotas tanto de forma regular elíptica o circular, como de la forma irregular. Como demuestra la Figura 3.11, las gotas de forma regular (elíptica o circular) tienen una aproximación cualitativa muy buena por la elipse sobrepuesta. Además, el área de elipse calculada por semiejes es prácticamente igual al área de gota calculada por el relleno de la frontera de ésta, con una diferencia de menos de 5%. En cuanto a las gotas irregulares, la forma de éstas no se reproduce exactamente por una elipse equivalente, sin embargo la orientación y dimensiones se respetan con una buena precisión, que se refleja a través de la comparación de área de la gota y de área de elipse; la diferencia en áreas, por lo general, no excede 7%.



Figura 3.11. Elipses equivalentes en tono de gris sobre las gotas correspondientes.

La técnica propuesta de la aproximación de imágenes de gotas por elipses equivalentes tiene varias virtudes muy útiles. En primer lugar, automáticamente se resuelve el problema de cierre de frontera en imágenes de gotas con fronteras abiertas. Además, teniendo los parámetros de las elipses equivalentes es muy fácil de encontrar

las estadísticas requeridas para la caracterización del *fogging* (véase la Sección 3.7). La técnica es bastante rápida para considerarse como un candidato para las aplicaciones industriales en tiempo real.

### **3.7 Estadísticas de tamaño y densidad de gotas del *fogging***

Con el fin de probar el funcionamiento de algoritmos y programas de análisis estadístico del *fogging* se tomó una de las muchas muestras del *fogging* sobre el sustrato de espejo, de la cual se adquirieron 10 imágenes de muestreo similares a la imagen de la Figura 3.6. Cada imagen fue sometida al preprocesamiento descrito en la Sección 3.6, quedando con una serie de 10 imágenes binarizadas y depuradas que se presentan en el Anexo C. En base de éstas imágenes se obtienen las 7 características estadísticas del *fogging* descritas en la Sección 2.3. En el Anexo D se muestra la serie de imágenes que comprende las etapas principales de la transformación de cada imagen de muestreo en niveles de gris durante su preprocesamiento y análisis estadístico. Los resultados de análisis estadístico se representan en la Figura 3.12 en forma de histogramas de ocurrencia en los intervalos de datos correspondientes. Por conveniencia computacional los datos de tamaño y dimensión de gotas en estos histogramas se manejan en píxeles. La altura de cada barra representa el número de gotas que tienen la magnitud de la característica en un intervalo correspondiente a éste barra.

Los histogramas A y B representan la distribución de los centros de gotas sobre el eje X e Y, respectivamente. Las posiciones de centros se miden en “píxeles” del monitor de PC. El histograma A muestra la distribución de las posiciones sobre el eje X repartidas en 10 intervalos de 64 píxeles cada uno: (0 a 64) – 1; (65 a 128) – 2; (129 a 192) – 3; (193 a 256) – 4; (257 a 320) – 5; (321 a 384) – 6; (385 a 448) – 7; (449 a 512) – 8; (513 a 576) – 9; (577 a 640) – 10. El histograma B muestra la distribución de las posiciones sobre el eje Y repartidas en 10 intervalos de 48 píxeles cada uno: (0 a 48) – 1; (49 a 96) – 2; (97 a 144) – 3; (145 a 192) – 4; (193 a 240) – 5; (241 a 288) – 6; (289 a 336) – 7; (337 a 384) – 8; (385 a 432) – 9; (433 a 480) - 10. De allí se ve que la distribución de los centros de gotas sobre la superficie de sustratos es aproximadamente uniforme que concuerda con el análisis visual de imágenes del Anexo C.

El histograma C muestra la distribución de ángulo de orientación del eje mayor de elipses equivalentes respecto al eje vertical, repartido en intervalos de  $18^{\circ}$  sexagesimales cada uno, desde  $-90$  hasta  $90$  grados: ( $-90$  a  $-72$ ) – 1; ( $-73$  a  $-54$ ) – 2; ( $-54$  a  $-36$ ) – 3; ( $-37$  a  $-18$ ) – 4; ( $-18$  a  $0$ ) – 5; ( $1$  a  $18$ ) – 6; ( $19$  a  $36$ ) – 7; ( $37$  a  $54$ ) – 8; ( $55$  a  $72$ ) – 9; ( $73$  a  $90$ ) -10. Dicho histograma tiene dos lóbulos prácticamente simétricos indicando que los ejes mayores, de la mayor parte de gotas elípticas, están orientadas en dos direcciones privilegiadas de aproximadamente  $36^{\circ}$  con respecto al eje vertical. Recordando que las muestras de prueba fueron preparadas mediante la dispersión de aceite hecha con flujo de aire (spray), podemos pensar que dicho efecto se debe a la forma de flujo de aire del spray en el momento de deposición del *fogging* sobre los sustratos, es decir, el flujo de aire había separado en dos corrientes con las direcciones indicadas.

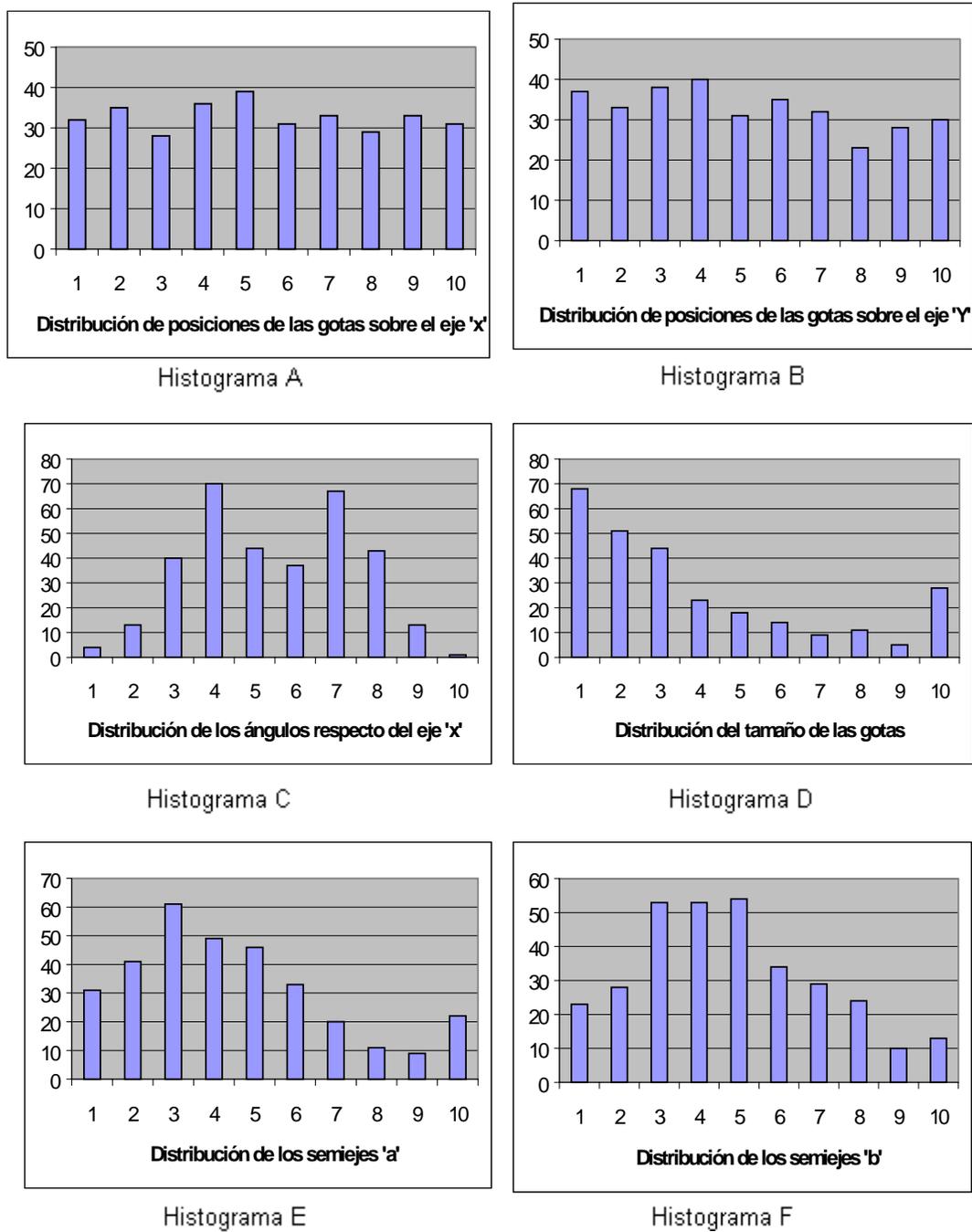


Figura 3.12 Histogramas de análisis estadístico obtenidas de 10 imágenes de muestreo del *fogging*.

En el eje "x" del Histograma A es la distribución a lo largo de la imagen -640/10-

En el eje "x" del histograma B se refiere a la distribución a lo ancho de la imagen -- 480/10 --

En el eje "x" del histograma C es la distribución de los ángulos desde -90 hasta 90 --180/10-

En el eje "x" del histograma D es la distribución del tamaño desde 0 a 7000 pixeles --7000/10

En los ejes "x" de los histogramas E y F se refieren a la distribución de los semiejes de 0 a 50 cada barra a barca 50/10 pixeles de ancho.

En cuanto al tamaño (área) de gotas, el histograma D muestra la distribución de las áreas repartidas por intervalos de 700 píxeles cada uno: (0 a 700) – 1; (701 a 1400) – 2; (1401 a 2100) – 3; (2101 a 2800) – 4; (2801 a 3500) – 5; (3501 a 4200) – 6; (4201 a 4900) – 7; (4901 a 5600) – 8; (5601 a 6300) – 9; (6301 a 7000) – 10. El histograma nos indica que en las muestras analizadas prevalecen las gotas de tamaño menor de 2100 píxeles, es decir, las gotas en las tres primeras barras del histograma suman más de 60% del número total de gotas del *fogging*. Llama atención un aumento de número de gotas de tamaño mayor de 6300 píxeles (el último cajón del histograma), que representan aproximadamente 11% de población.

La característica del *fogging* relacionada con la población y tamaño de gotas es el porcentaje del área de las gotas respecto del área de la muestra, tal como se indica en la Sección 2.3, fórmula 2.1. A continuación se dan los porcentajes para cada una de las imágenes de muestreo analizadas.

Imagen #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% de ocupación	46.3	15.4	21.00	21.9	17.3	20.1	20.0	18.9	14.4	18.7

De allí se concluye que el porcentaje de ocupación promedio es 21.4%

Los histogramas E y F muestran la distribución de la longitud de semiejes, mayor “a” y menor “b” respectivamente, repartidos en intervalos de longitud de 5 píxeles cada uno: (0 a 5) – 1; (6 a 10) – 2; (11 a 15) – 3; (16 a 20) – 4; (21 a 25) – 5; (26 a 30) – 6; (31 a 35) – 7; (36 a 40) – 8; (41 a 45) – 9; (46 a 50) – 10. Cuando las dos

distribuciones de semiejes “a” y “b” son idénticas, este quiere decir que estadísticamente las gotas son circulares. Por tanto el grado de diferencia entre las dos distribuciones nos indica la excentricidad e irregularidad en la forma de las gotas del *fogging*. Dado que los histogramas E y F difieren uno de otro ligeramente, se concluye que las gotas en su mayoría son elipsoidales con la excentricidad,  $e = \sqrt{1 - (b/a)^2}$ , cercana a 0 correspondiente a una circunferencia.

## Capítulo 4. CONCLUSIONES

A continuación se enlistan los resultados y hallazgos más importantes de trabajo.

1. Con el fin de automatizar el proceso de adquisición y análisis de las características estadísticas del *fogging* hemos diseñado y desarrollado un prototipo experimental semi-automatizado de caracterización cuantitativa del *fogging* sobre sustratos de vidrio. La automatización de la mayor parte de procesos reduce significativamente el tiempo de caracterización, permite ampliar el número de características y precisar las magnitudes de éstas.
2. Dentro del procedimiento de caracterización del *fogging* fueron automatizadas con control por computadora (PC) siguientes etapas: Posicionamiento de la probeta y muestreo en puntos deseados de manera aleatoria o regular; adquisición y almacenamiento de imágenes digitales en niveles de gris en PC; binarización de imágenes; Obtención los histogramas de distribución de forma, orientación, tamaño y densidad de deposiciones del *fogging*. La etapa de depuración de imágenes binarizadas, que precede a la etapa de obtención de estadísticas, quedó no automatizada, se implementa de manera manual en Paint Brush. Pensamos que actualmente no es factible efectuarla mediante una PC por su naturaleza.

3. Anteriormente para la caracterización del *fogging* se usaban parámetros integrales, el peso total de deposiciones y/o el tamaño máximo de las gotas. En nuestro trabajo ampliamos la lista de parámetros tradicionalmente empleados en la industria de curtiduría, utilizando los histogramas de distribución de forma, orientación, tamaño y densidad de deposiciones del *fogging*, que permite un análisis más completo y preciso del *fogging*. Dado que la formación del *fogging* es influida por los procesos de tratamiento de pieles, la perfección de análisis de éste contribuye en la inspección y corrección (sea el caso) de los procesos de producción.
4. La automatización de la mesa micrométrica permitió mejorar la exactitud de posicionamiento de muestras hasta de 2.5  $\mu\text{m}$ , comparado con el 10  $\mu\text{m}$  de posicionamiento manual.
5. La calibración del sistema óptico del prototipo experimental existente permitió establecer la resolución de éste que es de 2  $\mu\text{m}$  con la amplificación máxima de 10x del microscopio.
6. En experimentos de prueba trabajamos con el *fogging* de dos tipos de sustancias, aceite vegetal y agua, depositado sobre dos tipos de sustratos, vidrio transparente y espejo. Implementamos la iluminación con dos tipos de luz, difusa y orientada a diferentes ángulos de incidencia y diferentes intensidades de iluminación. Las imágenes de *fogging* más fáciles de analizar se obtuvieron sobre sustratos de

espejo con iluminación difusa de la fuente circular en la escala de intensidad entre 5 y 7 de la lámpara Stocker & Yale. Por esta razón, fue propuesta y afinada una técnica que consiste en la iluminación de las muestras sobre sustratos de espejo con la luz difusa de una fuente circular, para mejorar significativamente las imágenes de gotas remarcando las fronteras de éstas, que es importante para el procesamiento posterior de imágenes y adquisición de características estadísticas del *fogging*.

7. La técnica de aproximación de gotas del *fogging* por elipses equivalentes resulta muy fructífera en varios aspectos: facilita la caracterización cuantitativa de forma, orientación y tamaño de gotas; Potencialmente permite el cierre de fronteras incompletas de gotas en imágenes binarizadas. Cabe mencionar que en este trabajo para resolver las ecuaciones de elipse equivalente en base de cinco puntos de frontera de gota se usó el método muy conocido de Gauss Jordan que podría fallar en algunos casos específicos de fronteras de gotas. Por tal razón es recomendable usar uno de los métodos variacionales más robustos, por ejemplo, la solución por el mínimo de cuadrados.
8. Los resultados de prueba del prototipo experimental fueron obtenidos sobre la base de 10 imágenes de una muestra de *fogging* de aceite sobre sustrato espejo. Estos resultados están sintetizados en los histogramas de frecuencia para cada uno de los parámetros medidos mostrando el funcionamiento satisfactorio del sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Jain A.K., Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice Hall.
- [2] Randle V. And O. Engler, Introduction to Texture Analysis: Macrotecture, Microtexture and Orientacion Mapping, Gordon and Breach Science Publishers.
- [3] Wojnar L., Image Analysis: Applications in Materials Engineering, CRC Press.
- [4] Russ J. C., Computer Assisted Microscopy: The Measurement and Analysis of Images, North Carolina State University Press.
- [5] Sedgewick R., Algoritmos en C+ +, Addison Wesley y Diaz de Santos
- [6] Seúl M., O’Gorman L and Sammon M.J., Practical Algorithms for Image Analysis: Description, Examples and Code, Cambridge University Press.
- [7] David F. Rogers, Procedural Elements for computer Graphics, McGrawHill
- [8] Bernd Jähne, Digital Image Processing, Ed. Springer
- [9] Rafael C. Gonzalez, Digital Image processing, Ed. Addison Wesley Publishing Company.
- [10] James R. Parker, Algorithms for Image & Computer Vision, Ed. John Wiley & Sons
- [11] Byron S. Gottfried, Programacion en C, ed. McGrawHill
- [12] Hebert Shildt, Programacion Avanzada en C, McGrawHill
- [13] Lesek Wojnar, Image Analysis, Applications in engineering, CRC Press, Cap.6, pág 187.
- [14] Charles H. Lemann, Geometría Analítica, Editorial LIMUSA, ....

## ANEXO A: Funciones ecualizadoras

Un filtro aplicado a la imagen de entrada  $I_e(m,n)$  transforma ésta en una imagen de salida con nuevas características deseadas,  $I_s(x,y) = f(I_e(x,y))$ , donde “m” y “n” indican la posición del píxel dentro de la imagen. Con el fin de mejorar el contraste de imágenes para la umbralización posterior, probamos algunas funciones ecualizadoras y nos quedamos con las funciones “arcos parabólicos” y “arcos circulares” como filtros fáciles de manejar obteniéndose resultados adecuados. La función “arcos parabólicos” esta compuesta de dos parábolas. El arco parabólico

$$f(x) = \frac{x^2}{b-1} \quad (\text{A-1})$$

se utilizó para el  $x$  en el rango de intensidad de 0 a 127. Para el rango complementario de 128 a 256 se utilizó la parábola

$$g(x) = b + \sqrt{(256-b)(x-b)} \quad (\text{A-2})$$

La variable independiente  $x$  es la intensidad de cada uno de los píxeles y la constante  $b$  es el valor de umbralización. La figura A1 representa la gráfica de la función de ecualización descrita para el valor de umbralización  $b = 128$ .

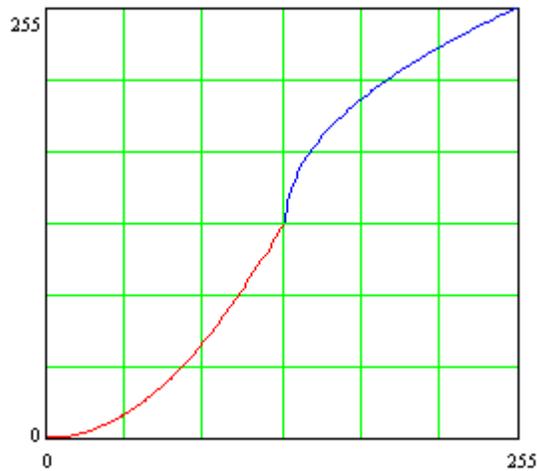
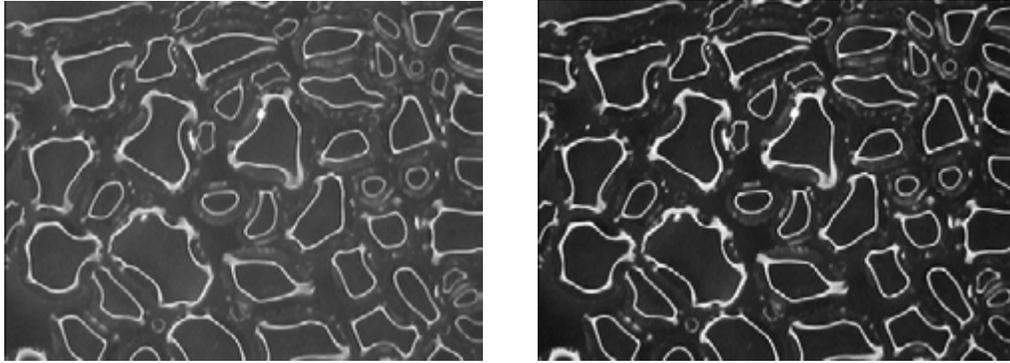


Figura A1. Gráfica de la función de ecualización “arcos parabólicos”.

El filtro “arcos parabólicos” representado por las Ecs. (A-1) y (A-2), transforma los valores de intensidad de píxeles de la imagen original y nos da como resultado otra imagen mejorada en el contraste. Este mapeo se realizó con la finalidad de mejorar el contraste de la imagen. Un ejemplo de aplicación de dicho filtro se presenta en la figura A2 donde se observa como la función de ecualización modifica la intensidad de la imagen, haciendo mas oscuros los píxeles menores en intensidad a 127 y haciendo mas blancos los píxeles mayores o iguales a 128.



(a)

(b)

Figura A2. Imagen original (a) e imagen ecualizada o de contraste mejorada por el filtro “arcos parabólicos” (b).

Se obtienen aun mejores resultados de contraste con el filtro “arcos circulares” definido por la función,

$$f(x) = 127.5 - \sqrt{127.5^2 - x^2} \quad (\text{A-3})$$

para las intensidades  $x$  de 0 a 127, y por el arco circular

$$g(x) = 127.5 + \sqrt{127.5^2 - (x - 255)^2} \quad (\text{A-4})$$

para los valores de  $x$  de 128 a 256. La gráfica de la función ecualizada “arcos circulares” esta mostrada en la figura A3.

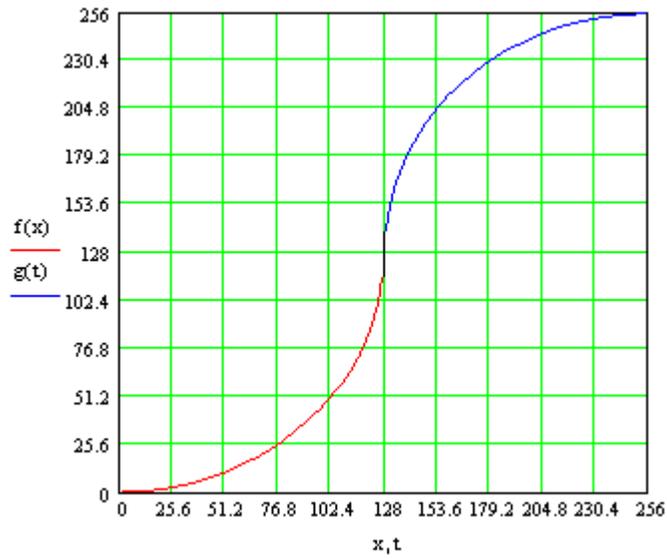


Figura A3. Gráfica de la función de ecualización “arcos circulares”.

Un ejemplo de aplicación de filtro “arcos circulares” se presenta en la figura A4.

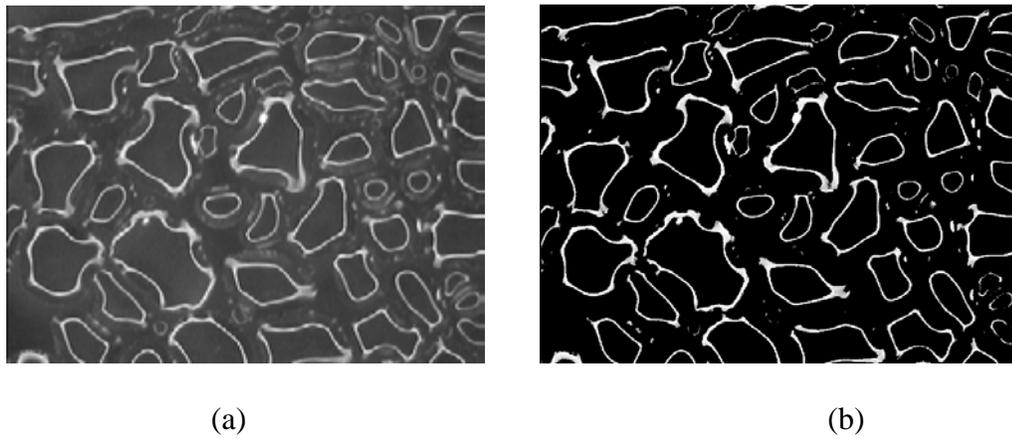


Figura A4. Imagen original (a) e imagen ecualizada o de contraste mejorada por el filtro “arcos circulares” (b).

## **ANEXO B: Descripción de la tarjeta digitalizadora**

La tarjeta digitalizadora Imaging Technology PC-COMP es un grabador de 32-bits con la velocidad de transferencia de 60Mb/seg en el bus PCI. Con la razón de transferencia del bus PCI indicada eliminamos la necesidad de utilizar a una tarjeta de video o circuito de display. La PC-COMP captura imágenes de cámaras a color en los formatos NTSC y PAL y de cámaras monocromáticas RS – 170 o CCIR. La tarjeta digitalizadora provee de interfase para hospedarse en una computadora a través del bus PCI y así poder transferir los datos de la imagen directamente a la memoria de la PC. El procesamiento y despliegado de la imagen es manejado por los recursos de la PC.

La PC-COMP es una tarjeta de 4 entradas para capturar imágenes, que interactúa con el video estándar NTSC o PAL de color compuesto, incluyendo VCR's de cámaras monocromáticas RC-170 y CCIR. La PC-COMP tiene la memoria RAM de 1Mb para almacenar imágenes y una interfase hacia el PCI-bus para una rápida transferencia al sistema que procesa y despliega. Transfiere datos a una razón de 60Mb/seg que pueden ser almacenados dependiendo de la capacidad del huésped (PC). La PCI-interfase permite al PC-COMP operar en ambas direcciones como esclavo y como master. La razón de transferencia puede variar según el tráfico del bus, el tamaño del bloque, las capacidades y el dispositivo destino. La tarjeta graba las imágenes en formato TIFF.

La cámara graba en tonos de gris 8-bits MONO\_CCIR en los siguientes tamaños: 512x512, 720x576 y 768x576; en 8-bits MONO RS170 en los siguientes tamaños: 512x480, 640x480 y 720x480; en 16 bits PAL los tamaños son 720x576 y 678x576; en 16 bits NTSC son de 640x480 y 720x480 y en super-video VHS S.

INICIALIZACION DE LA TARJETA. Como parte de la instalación, la cámara conectada y la imagen adquirida usando una utilería llamada el “configurador”. El configurador es un programa que provee el método para ajustar los parámetros de la cámara en tiempo real mientras te permite observar dinámicamente el cambio de un parámetro. El configurador también produce archivos que contienen la información que has creado de la cámara. La sección de iniciación del programa es donde el archivo de configuración es cargado.

La función de iniciación hace lo siguiente:

- 1.- Carga tu archivo de configuración en la estructura de datos del ITEX. Itex es un conjunto de funciones que nos ayudan a realizar programas de manejo de la imagen (no-modificación): Adquisición, lectura, guardado, recorte de una subimagen etc.

- 2.- Carga los valores por default, para todos los parámetros que no están especificados por el archivo de configuración en la estructura de datos del itex.

- 3.- Obtiene un módulo puntero; Esos puntos para la estructura de datos del itex que se usaron para referirse a una tarjeta específica.

- 4.- inicializa el sistema. El sistema en la tarjeta PC-COM que se está usando. Si tu tienes una sola tarjeta, el sistema le asignará el numero cero. Si la tarjeta es múltiple,

tendrás múltiples sistemas. El proceso de iniciación toma datos de la estructura de datos del itex y carga esos valores directamente al hardware para el sistema especificado.

## FUNCIONES QUE NOS AYUDAN A CODIFICAR EL SOFTWARE DE MANEJO DE LA TARJETA.

### **Funciones core.**

Estas funciones son usadas para inicializar y des-inicializar el software ITEX. La mayoría de esas funciones son llamadas alguna vez en la aplicación.

Itex-err-level. ⇔ agrupa el error que reporta el nivel

Itex-get-acq-dim. ⇔ Regresa las dimensiones del frame de la cámara

Itex-get-brd-param. ⇔ Regresa las propiedades del hardware.

Itex-get-modcnf. ⇔ Regresa el puntero al módulo(configuración de la estructura)

Itex-init-sys. ⇔ Inicializa el sistema

Itex-initilize. ⇔ Inicializa y regresa el puntero a la configuración de la estructura

Del módulo.

Itex-load-cnf. ⇔ Carga un archivo de configuración

Itex-remove-sys. ⇔ Borra las localizaciones del sistema.

Itex-set-display-hdlr. ⇔ Redirección el manejador de error I/O.

## **Funciones que despliegan la imagen**

Esas funciones despliegan el video adquirido en vivo a una aplicación cliente.

`Itex-create-cam-area-img-src.` ⇔ Crea una subimagen desde la entrada de la cámara fuente.

`Itex-create-cam-img-src.` ⇔ Crea una imagen desde la cámara de la entrada.

`Itex-create-host-img-src.` ⇔ Crea una estructura para la imagen fuente en el huésped

`Itex-create-hw-overlay.` ⇔ Crea los datos necesarios para incrustar hardware.

`Itex-create-image-conn.` ⇔ Crea una estructura de conexión para la imagen itex.

`Itex- create-sw-overlay.` ⇔ Crea una incrustación en el software.

`Itex-create-win-image-sink.` ⇔ Crea una imagen sink para aplicaciones windows.

`Itx-delete-image-conn.` ⇔ Borra una conexión de la imagen itex.

`Itex-delete-img-src.` ⇔ Borra una imagen fuente.

`Itex-display-conn.` ⇔ Despliega una conexión de imagen itex.

`Itex-display-frame.` ⇔ Conjunto de comandos para desplegar utilidades.

`Itex-img-conn-color-remap.` ⇔ Agrega color a una imagen monocromática.

`Itex-overlay-get-dec.` ⇔ Regresa el puntero al hardware, contexto del dispositivo.

`Itex-overlay-releasedc.` ⇔ Suelta el contexto de un dispositivo.

`Itex-set-color-key-img-conn.` ⇔ Clave de color de la imagen sink. Selecciona win-YcRcB

`Itex-set-display-zoom-img-conn.` ⇔ Despliega un zoom.

`Itex-set-host-img-src-addr.` ⇔ Cambia la dirección de la memoria de la imagen en el huésped.

`Itex-set-img-src-aoi.` ⇔ Cambia el puntero de inicio de la imagen fuente.

### **Funciones de display del servidor.**

Estas funciones crean una imagen para desplegar en el servidor, la cual puede proveer de video en vivo en una aplicación cliente el mantenimiento por la aplicación. Un servidor ligado puede ser a través del uso de la función:

`Itex-display-conn.` ⇔ En un camino automatizado.

Este es un buen método para mantener la imagen muestreada sin agregar el gasto de llamar a `itex-display-conn` en tu aplicación. Los parámetros del display pueden ser cambiados mientras la imagen en el servidor está activamente corriendo. Tal como el cambio de destino, contrapesado por operaciones de(scrolling) mover la imagen hacia arriba, hacia abajo, hacia la izquierda o hacia la derecha.

`Itex-create-img-server.` ⇔ Crea un imagen en el servidor ligado

`Itex-delete-img-server.` ⇔ Reiniciliza el servidor suspendido

`Itex-image-server-frame-rate.` ⇔ Suspende la imagen en el servidor.

`Itex-resume-img-server.` ⇔ Regresa la razón de transferencia en el servidor.

`Itex-suspend-img-server.` ⇔ Borra la imagen del servidor.

### **Funciones para salvar, restaura, colorear una imagen.**

Estas funciones cambian las imágenes adquiridas como archivos TIFF, lee y salva archivos TIFF en la memoria del huésped.

Estas funciones pueden ser usadas mientras esté leyendo del buffer que usa la imagen del servidor. Pero no mientras el buffer está siendo escrito.

Itex-image-file-props. ⇔ Lee el archivo de propiedades de la imagen

Itex-read-image-file. ⇔ Lee una imagen desde un archivo.

Itex-rgb-to-yCrCb. ⇔ Convierte una imagen RGB a una imagen yCrCb.

Itex-write-image-file. ⇔ Escribe una imagen a un archivo.

Itex-yCrCb-to-rgb. ⇔ Convierte una imagen yCrCb a una imagen RGB.

### **Funciones de adquisición.**

Estas funciones proveen marcas simples y marcas múltiples de la tarjeta PC\_COMP a la aplicación que está en la memoria del huésped.

Las funciones itex-host-grab e itex-host-seq-grab son insertadas y así se mantendrá el buffer específico con los datos de la imagen. Se recomienda que la grabación secuencial sea usada para aplicaciones de proceso de imágenes. La mayoría de estas funciones están basadas en un soporte del hardware(ping pong) 1Mb. De memoria para las marcas. Limita este soporte para imágenes de 8 bits solamente. En la ausencia del soporte ping-pong, las marcas monocromáticas y de color no está disponibles para adquirir cada marco usando este API.

Itex-gen-swtrig ⇔ Genera un software disparador

Itex-grab-latest-seqnum ⇔ Regresa el numero de secuencia del marco recientemente llenado

Itex-host-frame-seqnum ⇔ regresa el número de secuencia para un marco

Itex-host-grab ⇔ Comienza la adquisición continua

Itex-hot-grab-area ⇔ Comienza adquisición continua para un área

Itex-host-grab-lock ⇔ Protege un cuadro en la memoria del huésped

Itex-host-grab-release ⇔ Abre un marco reservado en la memoria del huésped

Itex-host-grab-stop ⇔ Detiene la adquisición continua

Itex-host-seq-snap ⇔ Adquiere una imagen secuencial de la memoria de la PC\_COMP hacia la memoria del huésped

Itex-host-seq-snap-area ⇔ Adquiere una subimagen de la secuencia de la PC\_COMP hacia la memoria del huésped

Itex-host-snap ⇔ Adquiere una imagen simple de la memoria de la PC\_COMP

Itex-host-trig-read ⇔ Adquiere un imagen de la memoria del huésped

Itex-host-trig-snap ⇔ Adquiere una imagen simple dentro de la memoria del huésped

Itex-host-wait-acq ⇔ Espera para complementación de adquisición específica antes de regresar

Itex-host-wait-trig ⇔ Agrupa el intervalo de espera para adquisición

Itex-read-performance ⇔ Regresa la velocidad de transferencia de la imagen.

### **Funciones de interrupción API**

Estas funciones permiten que una aplicación ligada dependa de un evento de interrupción de la PC\_COMP. Este interruptor puede ser usado en la imagen del servidor ligado o en sus propias rutinas de manejo.

1-4

itex-intr-connect ⇔ Conecta un evento a interrupción

itex-intr-desconnect ⇔ Desconecta interrupción de tablas de software

itex-set-state ⇔ Estado del conjunto de interrupciones

itex-intr-set timeout ⇔ Agrupa los tiempos de vacío para un evento de interrupción

itex-intr-wait ⇔ Suspende la tarea hasta que el evento sucede en el hardware.

**Funciones de adquisición en el buffer** Estas funciones son para propósitos de despliegue sólomente. Desde que la aplicación despliega el contenido de la memoria de la tarjeta PC\_COMP directamente, esas funciones controlan el modo de adquisición de la tarjeta.

No se deben de usar esas funciones con el resto de las funciones de display pues no son compatibles.

Itex-freeze ⇔ Detiene la adquisición

Itex-grab ⇔ Modo continuo de grabación

Itex-snap ⇔ Adquiere una imagen simple

### **Funciones del puerto paralelo**

Estas funciones soportan una entrada de 8 bits, una salida de 8 bits por el puerto paralelo. Este puerto de datos incluye capacidad de cerrar la entrada y una salida strobe para cerrar los datos a una salida externa.

Itex-import-intrport ⇔ Agrupa las interrupciones de entrada al puerto

Itex-inport-mode ⇔ Agrupa los modos de entrada de 8 bits.

Itex-inport-val ⇔ Lee la entrada de 8 bits del puerto

Itex-ouport-strove-val ⇔ Agrupa la salida del valor del puerto strove.

Itex-outport-val ⇔ Agrupa la salida de 8 bits.

## **Reportes y propiedades del hardware**

El itex-API para el PC\_COMP provee una interfase para agrupar varios parámetros y propiedades del hardware. Itex define un grupo de propiedades y valores enumerados

Itex-gen-swtrig ⇔ Genera un disparador a través del software

Itex-gen-param ⇔ Regresa el valor corriente del parámetro del hardware

Itex-set-param ⇔ Agrupa o cambia los parámetros del hardware

Itex-set-window-gen ⇔ Agrupa las dimensiones del generador de windows.

## **Lista de funciones de la cámara**

Estas funciones permiten una aplicación para varios tipos de switcheo directamente

Itex-get-first-cam ⇔ Regresa el número de la primera cámara soportada

Itex-get-next-cam ⇔ Regresa el número de la siguiente cámara soportada

Itex-set-port-cam ⇔ Regresa el puntero donde está la configuración de la cámara

**ANEXO C: Conjunto de imágenes de muestreo, binarizadas y depuradas.**

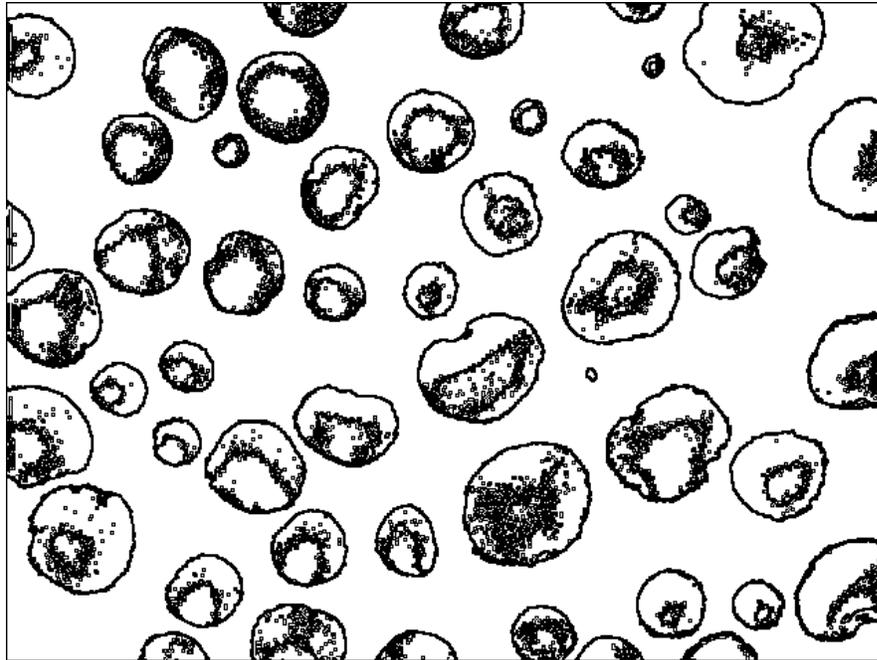


Figura C1. Imagen depurada #1 del conjunto de imágenes de muestreo.

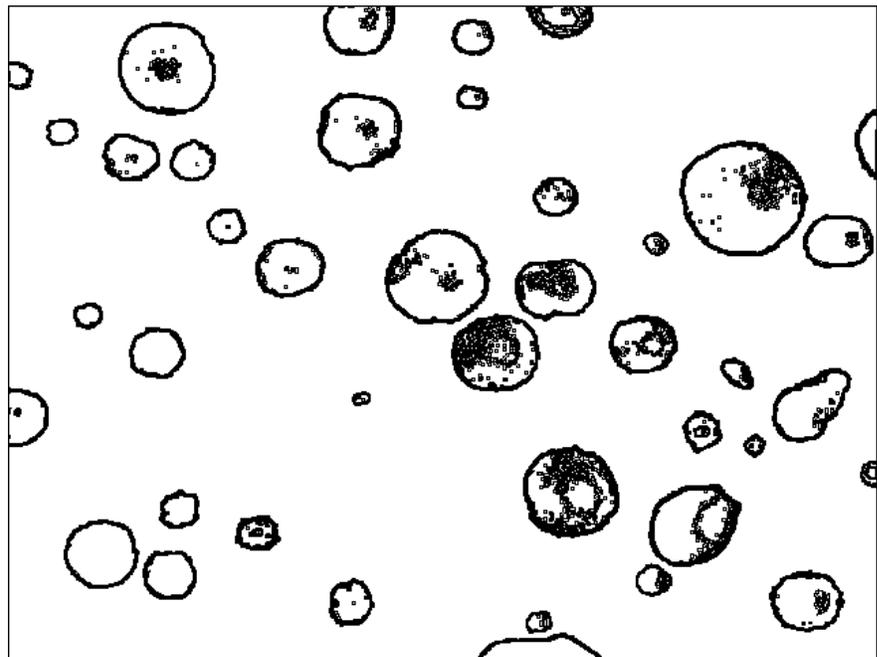


Figura C2. Imagen depurada #2 del conjunto de imágenes de muestreo.

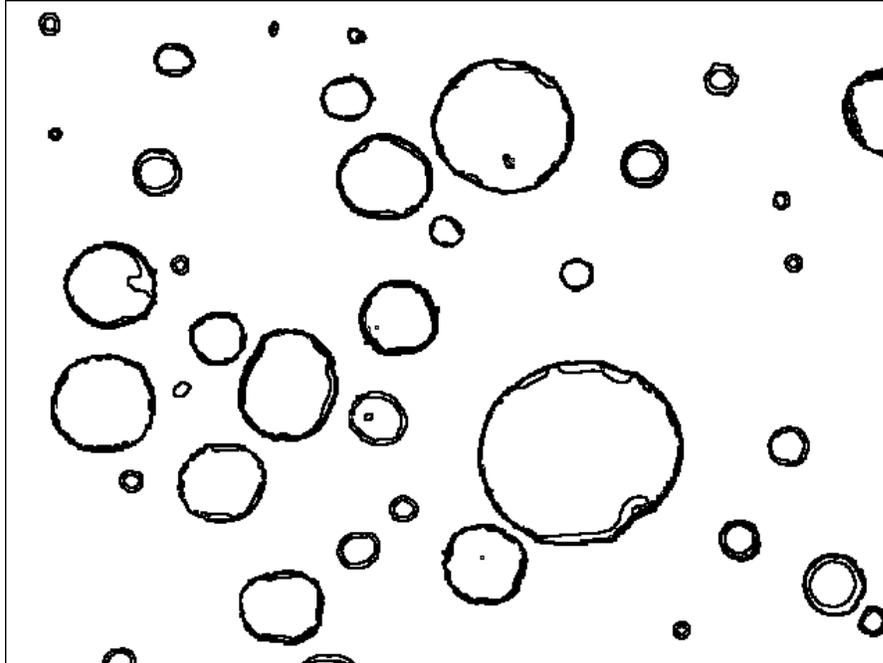


Figura C3. Imagen depurada #3 del conjunto de imágenes de muestreo.

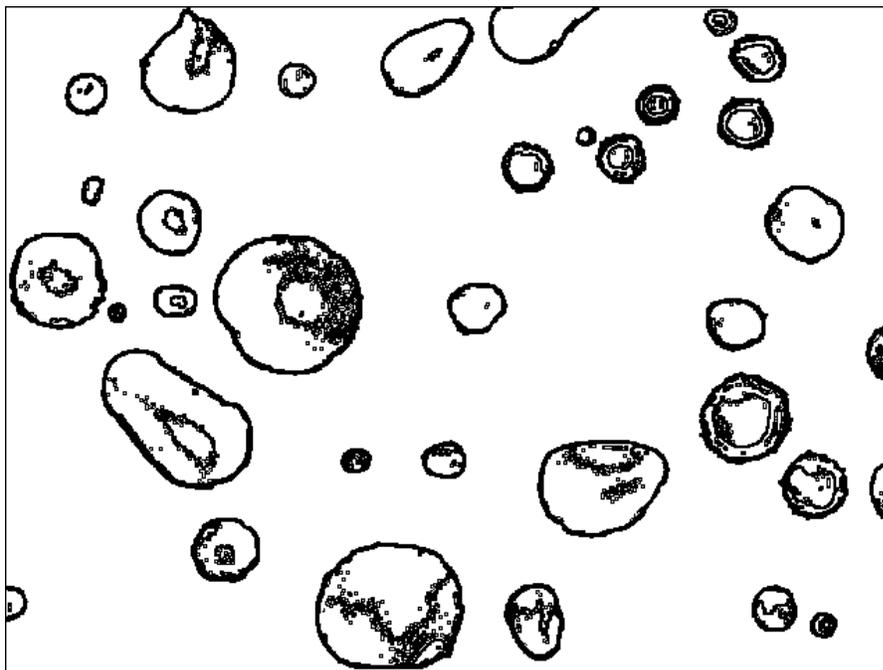


Figura C4. Imagen depurada #4 del conjunto de imágenes de muestreo.

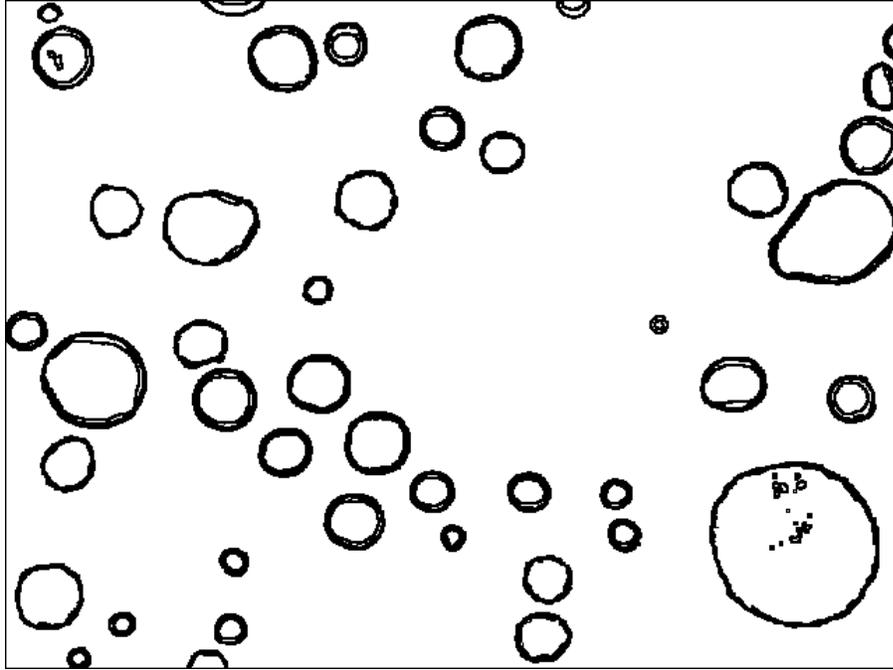


Figura C5. Imagen depurada #5 del conjunto de imágenes de muestreo.

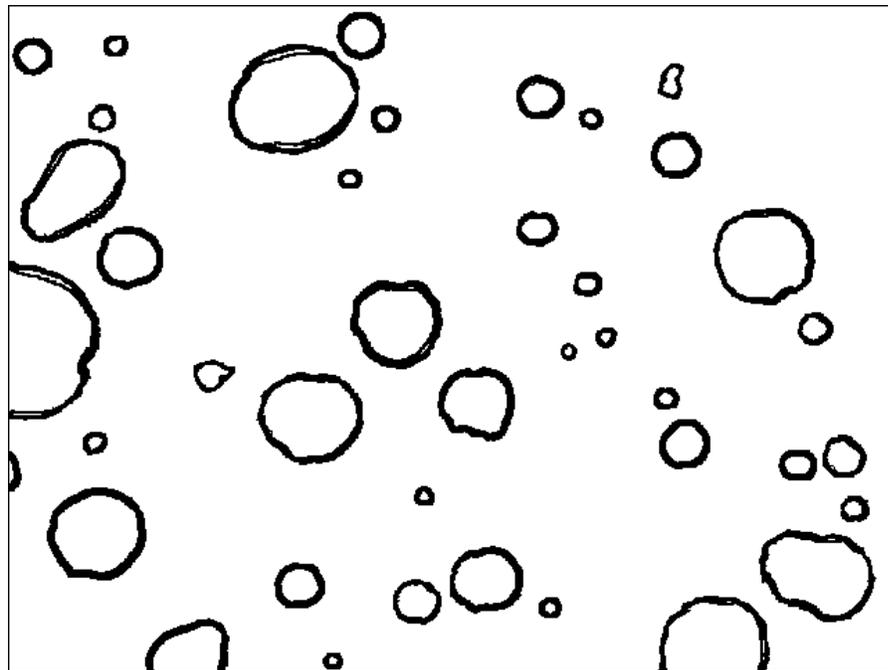


Figura C6. Imagen depurada #6 del conjunto de imágenes de muestreo.

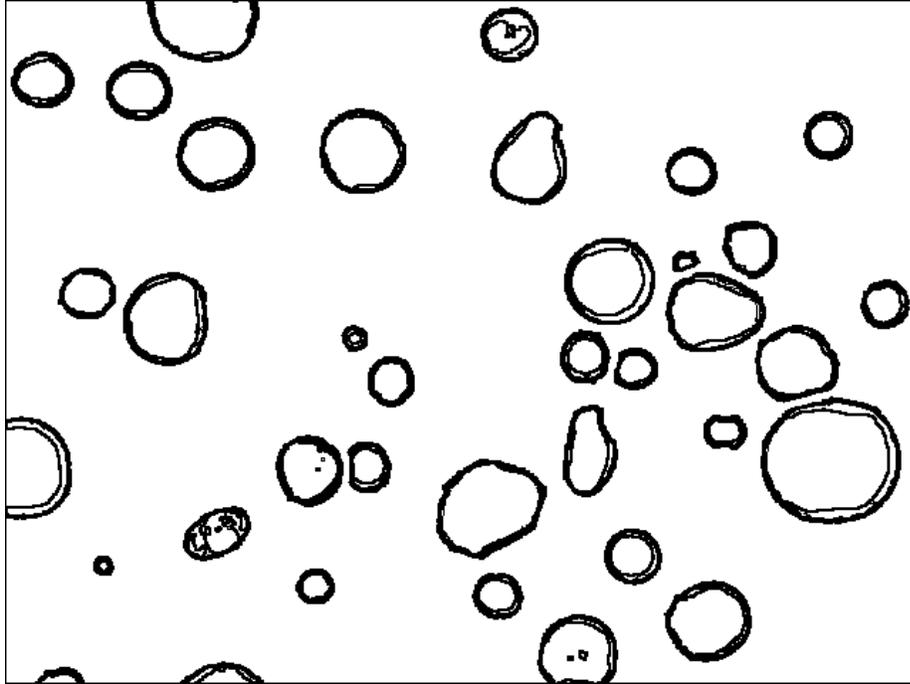


Figura C7. Imagen depurada #7 del conjunto de imágenes de muestreo.

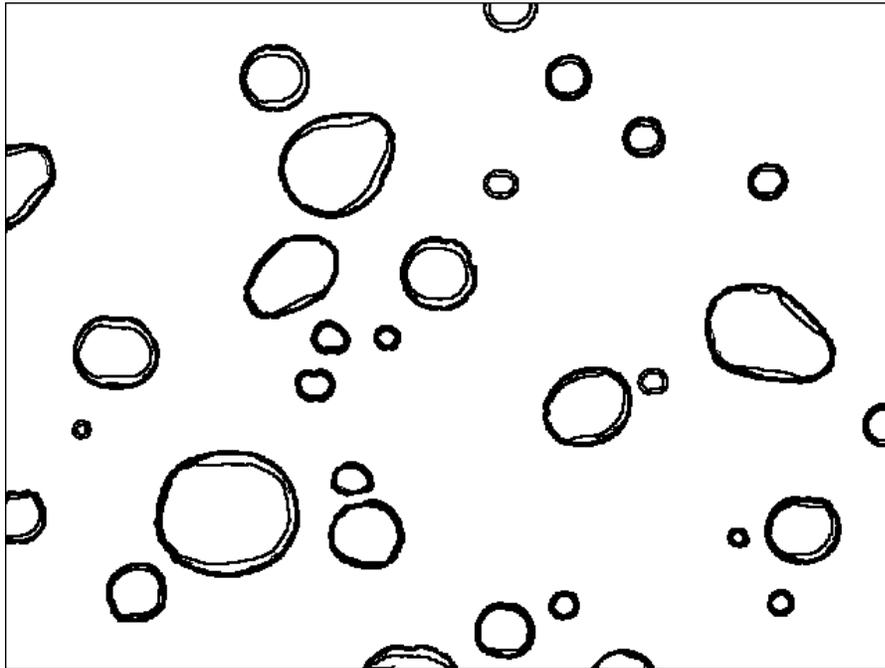


Figura C8. Imagen depurada #8 del conjunto de imágenes de muestreo.

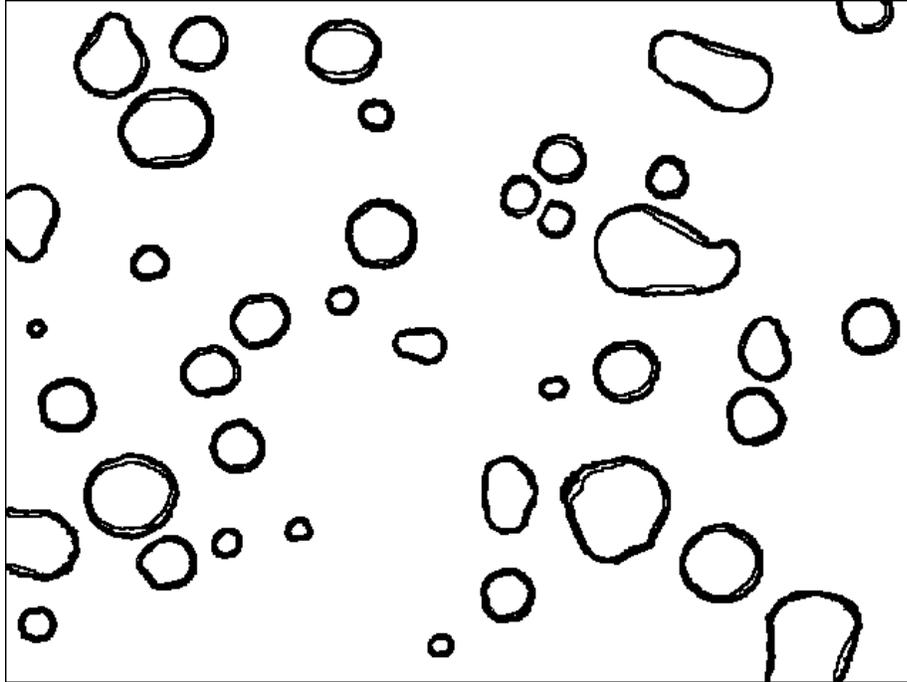


Figura C9. Imagen depurada #9 del conjunto de imágenes de muestreo.

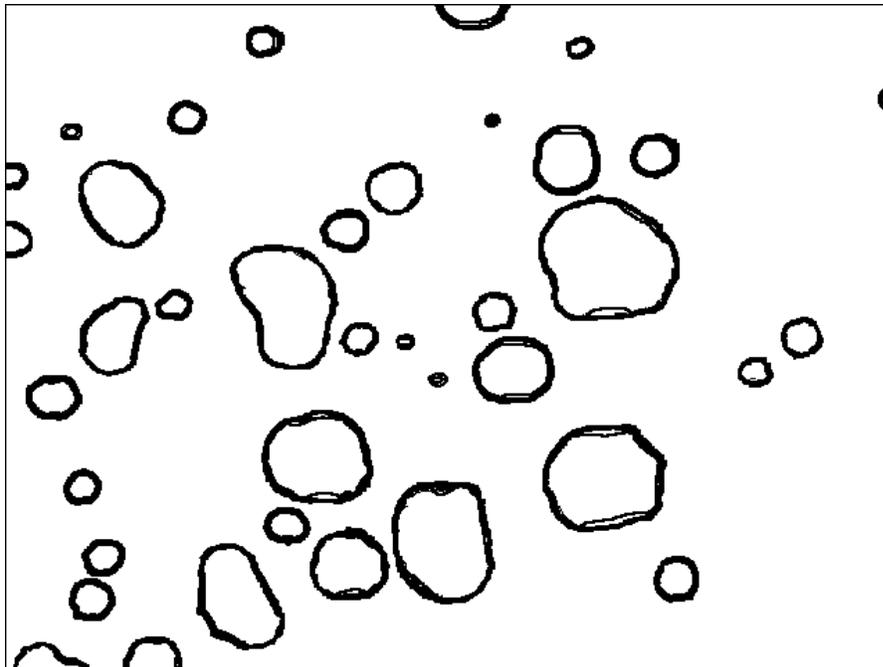


Figura C10. Imagen depurada #10 del conjunto de imágenes de muestreo.

**ANEXO D: Secuencia de imágenes en el proceso de obtención de datos del *fogging*.**

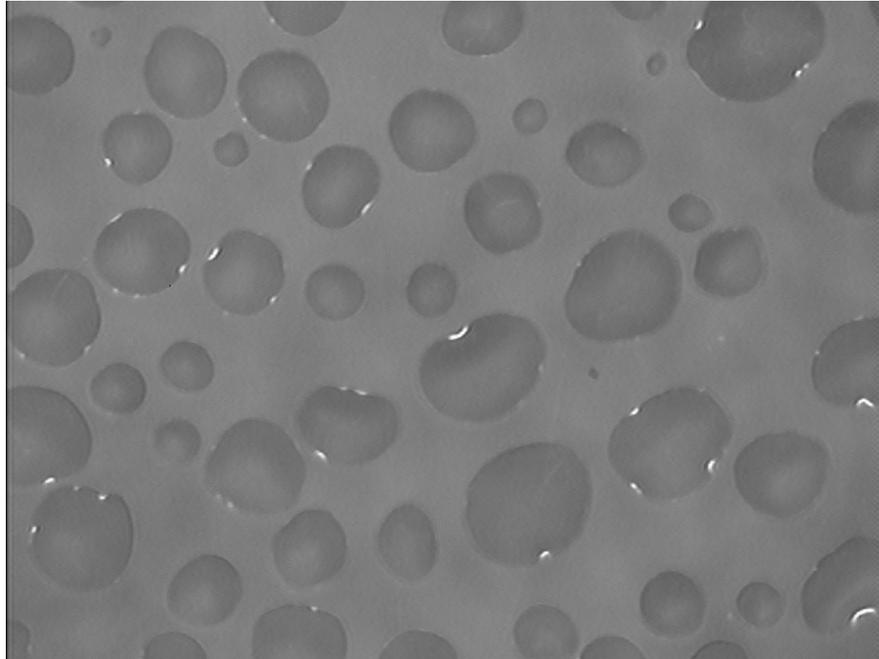


Figura D1. Una imagen de *fogging* en niveles de gris tomada por una CCD.

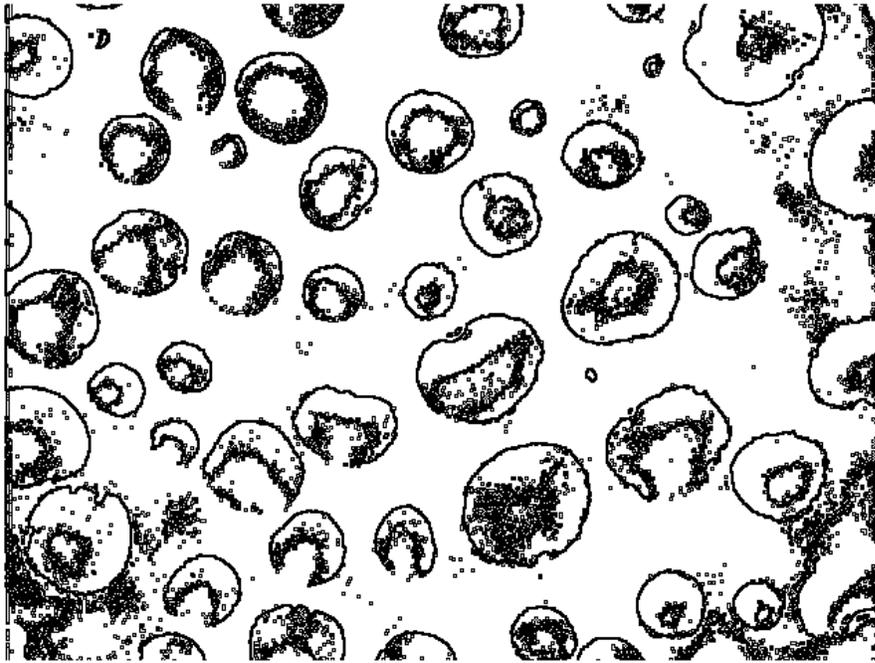


Figura D2. La imagen binarizada resultante de la imagen anterior

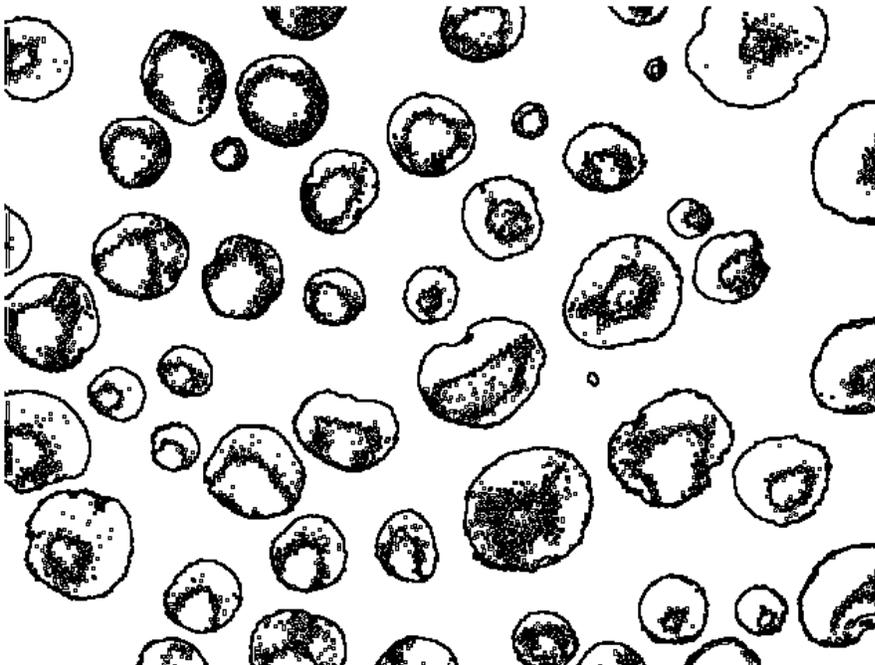


Figura D3. La imagen depurada de la imagen anterior, lista para ser procesada.

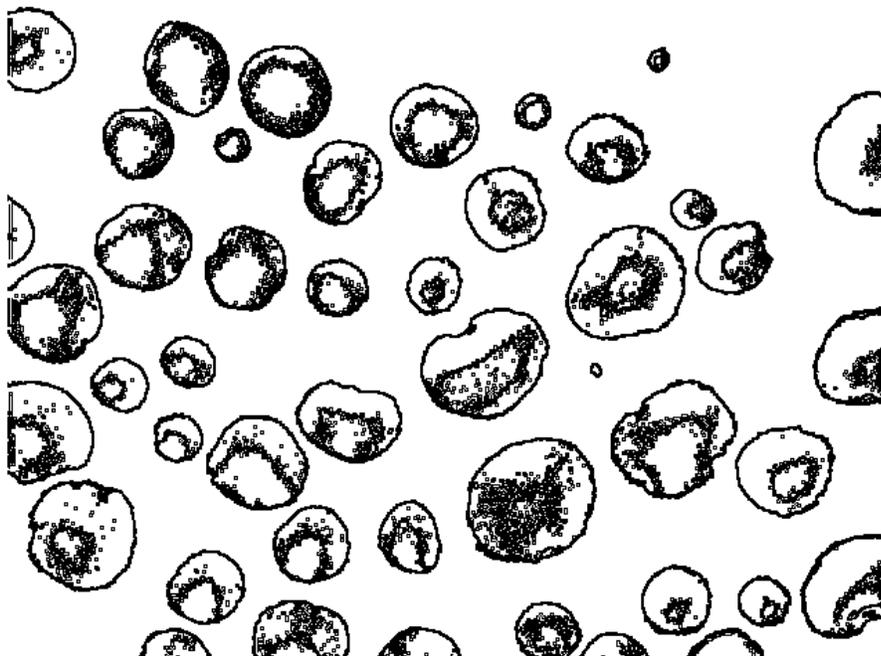


Figura D4. La imagen que se queda después de calcular los parámetros de las gotas y eliminarlas de la frontera SUPERIOR.

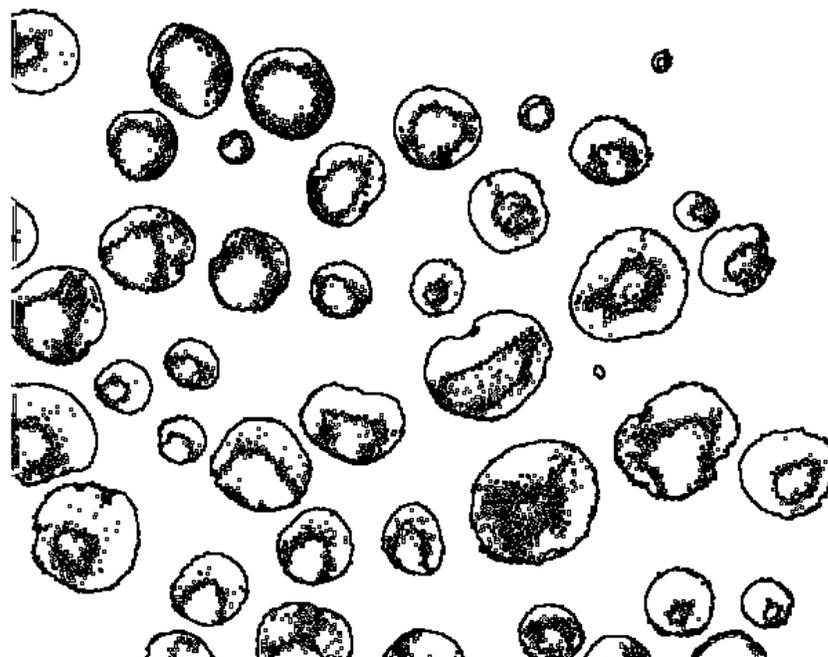


Figura D5. La imagen que se queda después de calcular los parámetros de las gotas y eliminarlas de la frontera DERECHA.



Figura D6. La imagen que se queda después de calcular los parámetros de las gotas de la frontera INFERIOR, luego borrando las gotas correspondientes.

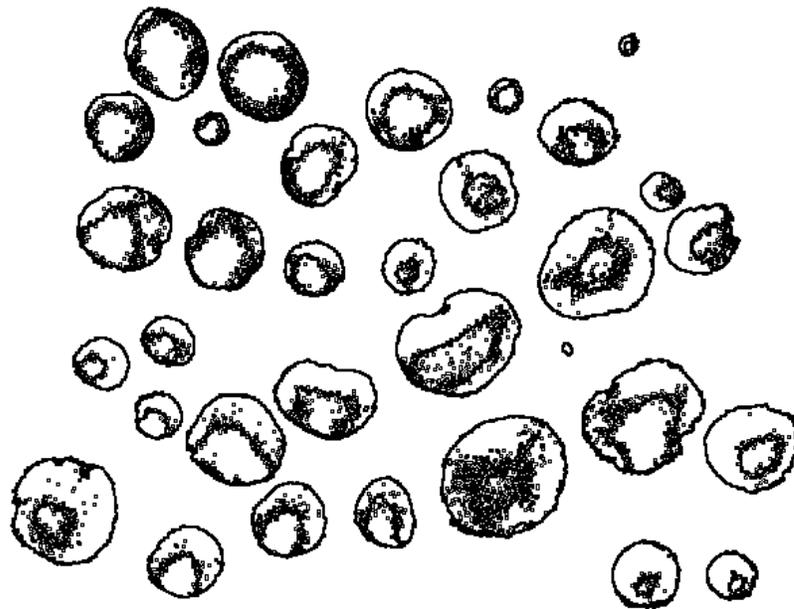


Figura D7. La imagen que se queda después de calcular los parámetros de las gotas de la frontera IZQUIERDA, luego borrando estas gotas.

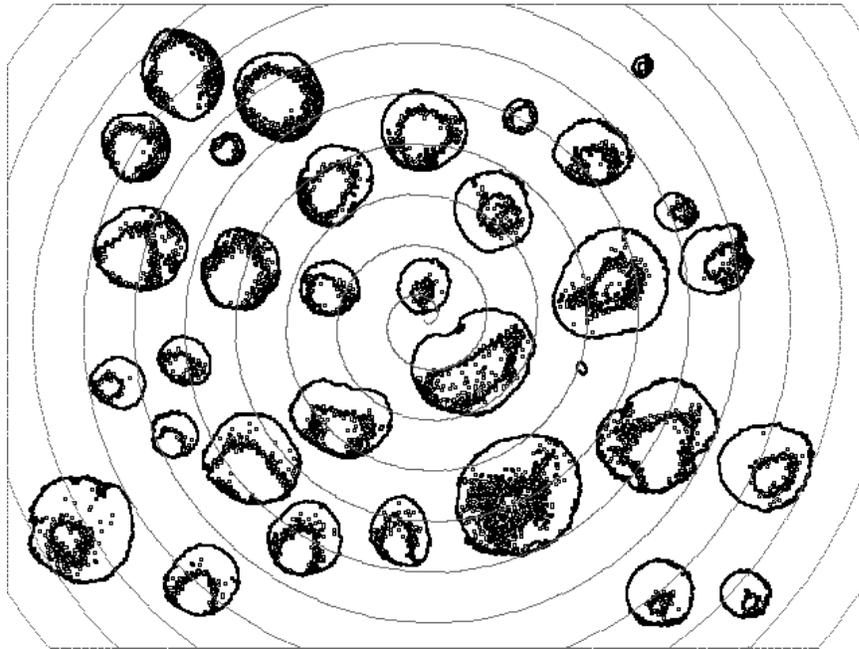


Figura D8. En esta imagen se muestra el algoritmo para obtener los parámetros de cada una de las gotas internas siguiendo una espiral, comenzando desde el centro hacia fuera. Después de calcular los parámetros de la gota que sea cruzada por la espiral ésta se borra de la imagen.