



**UNIVERSIDAD DEL MAR
CAMPUS PUERTO ESCONDIDO**

**DETECCIÓN Y SEGUIMIENTO LINEAL DE OBJETOS NO
FLEXIBLES INVARIANTES EN COLOR EN UNA SECUENCIA
DE IMÁGENES**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN INFORMÁTICA**

**PRESENTA
JASIEL HASSÁN TOSCANO MARTÍNEZ**

**DIRECTOR DE TESIS
M. EN C. JORGE OCHOA SOMUANO**

Dedicatoria

Dedico este trabajo de tesis a las siguientes personas por ser parte importante en el desarrollo de este trabajo de tesis:

Luz María Martínez Antonio

Mi mamá

Daniel Miguel Rentería Martínez

Mi hermano

M. en C. Manuel Alejandro Valdés Marrero

Jefe de Carrera de Informática

M. en C. Jorge Ochoa Somuano

Profesor Investigador y Director de Tesis

M. en C. Isidro Moctezuma Cantorán

Profesor Investigador y Revisor de Tesis

M. en I. María de Jesús Estudillo Ayala

Profesor Investigador y Revisor de Tesis

Agradecimientos

Como autor de este trabajo de tesis agradezco a mi alma mater, Universidad del Mar Campus Puerto Escondido, por haberme brindado una formación profesional de calidad, de igual forma agradezco a cada uno de mis maestros su entrega y desempeño académico en bien de mi formación profesional. Y me siento especialmente afortunado de haber conocido y haber contado con el apoyo inmenso y el consejo sabio de dos de ellos, mis maestros el M. en C. Jorge Ochoa Somuano y M. en C. Manuel Alejandro Valdés Marrero, mi asesor de tesis y jefe de carrera respectivamente, a quienes les quiero manifestar mi sincero reconocimiento y agradecimiento por haber confiado en mí, procurando siempre tener para mí la orientación y la palabra justa de aliento para alcanzar mis metas.

Para todo lo que soy ahora, la base fuerte que me sostiene, la que me levanta si alguna vez siento que caigo, la que sólo escucha, pero aconseja con el infinito amor y paciencia esa es mi familia, lo más importante que tengo en la vida a mi madre Luz María Martínez Antonio, por siempre le viviré agradecido no sólo por darme la vida, sino por su lucha constante por hacer de mi una persona de provecho. A mi hermano Daniel Miguel Rentaría Martínez por su tolerancia y paciencia para su hermano menor.

Vaya un pensamiento de amor para mi padre que no tuvo tiempo de verme convertido en hombre. José Nicandro Toscano Santiago.

Resumen

El objetivo de este trabajo de tesis denominado “Detección y seguimiento lineal de objetos no flexibles invariantes en color en una secuencia de imágenes”, consistió en desarrollar un software que permite, a partir de una secuencia de imágenes, la detección de objetos en movimiento y como consecuencia realizar un seguimiento del objeto durante una trayectoria lineal de grado 1. En el desarrollo de este trabajo de tesis se han aplicado diferentes técnicas de procesamiento de imágenes entre las cuales se pueden mencionar las siguientes: aplicación de la escala de grises, filtro de la mediana, binarización, operadores de Sobel y resta de imágenes.

A raíz de la aplicación de estas técnicas, se puede determinar que el sistema desarrollado tiene una efectividad del 99.7%, siempre y cuando la secuencia de imágenes se obtenga bajo un ambiente controlado, esto quiere decir, que los colores de los objetos deben tener un contraste notable respecto al fondo en cada una de las imágenes de la secuencia.

Abstract

The purpose of this research project -- called "Detection and linear monitoring of non - flexible color objects into an image sequence"-- refers to the development of a software program that allows the detection and follow-up of mobile objects in a sequence of images following a linear trajectory. For this investigation project I have applied different techniques to the image process, as follows: application of gray scale, median filter, binarization, operators Sobel and Reduction of images.

As a result, it can be determined that the developed system has a 99.7 percent effectiveness, but only if the image sequence is obtained in a controlled environment. In other words, the colors of the objects must have a quantifiable contrast against the background of each image in the sequence.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES..... | 5 |
| 2.1. Estado del Arte y Trabajos Relacionados..... | 5 |
| 2.2. Justificación..... | 25 |
| 2.3. Planteamiento del Problema..... | 26 |
| 2.4. Objetivos | 29 |
| 2.5. Alcances y Límites | 31 |
| CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO..... | 35 |
| 3.1. Percepción Visual..... | 36 |
| 3.2. Escala de Grises..... | 38 |
| 3.3. Filtro de la Mediana | 39 |
| 3.4. Binarización..... | 40 |
| 3.5. Operadores de Sobel..... | 41 |
| 3.6. Resta de Imágenes..... | 43 |
| CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL TEMA | 45 |
| 4.1. Análisis..... | 45 |

| | |
|--|----|
| 4.2. Diseño..... | 46 |
| 4.3 Implementación..... | 49 |
| 4.4. Pruebas y Resultados..... | 49 |
| 4.5. Resultados de los Casos de Prueba..... | 58 |
| | |
| CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS..... | 65 |
| | |
| ANEXO A. IMÁGENES DE ENTRADA ORIGINALES | 71 |
| | |
| A.1. Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco) | 71 |
| A.2. Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris)..... | 72 |
| A.3. Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris | 73 |
| A.4. Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris..... | 74 |
| A.5. Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle | 75 |
| A.6. Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle..... | 76 |
| A.7. Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle | 77 |
| A.8. Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle..... | 78 |
| | |
| ANEXO B. IMÁGENES DE SALIDA EN ESCALA DE GRISES | 79 |
| | |
| B.1. Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco) | 79 |
| B.2. Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris)..... | 80 |
| B.3. Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris | 81 |
| B.4. Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris..... | 82 |
| B.5. Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle..... | 83 |

| | |
|--|-----|
| B.6. Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle | 84 |
| B.7. Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle..... | 85 |
| B.8. Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle..... | 86 |
| | |
| ANEXO C. IMÁGENES DE SALIDA CON ELIMINACIÓN DE RUIDO | 87 |
| | |
| C.1. Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco) | 87 |
| C.2. Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris) | 88 |
| C.3. Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris | 89 |
| C.4. Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris..... | 90 |
| C.5. Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle..... | 91 |
| C.6. Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle | 92 |
| C.7. Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo la calle | 93 |
| C.8. Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle..... | 94 |
| | |
| ANEXO D. IMÁGENES DE SALIDA BINARIZADAS | 95 |
| | |
| D.1. Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco) | 95 |
| D.2. Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris)..... | 96 |
| D.3. Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris | 97 |
| D.4. Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris..... | 98 |
| D.5. Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle | 99 |
| D.6. Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle..... | 100 |
| D.7. Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle | 101 |
| D.8. Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle..... | 102 |

ANEXO E. IMÁGENES DE SALIDA CON DETECCIÓN DE BORDES 103

E.1. Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)..... 103

E.2. Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris) 104

E.3. Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris 105

E.4. Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris 106

E.5. Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle..... 107

E.6. Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle 108

E.7. Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle..... 109

E.8. Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle 110

ANEXO F. IMÁGENES DE SALIDA CON DETECCIÓN Y SEGUIMIENTO 111

F.1. Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)..... 111

F.2. Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris)..... 112

F.3. Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris..... 113

F.4. Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris 114

F.5. Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle..... 115

F.6. Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle..... 116

F.7. Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle 117

F.8. Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle 118

ANEXO G. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA 119

G.1. Sección de bienvenida 120

| | |
|---|-----|
| G.2. Pantalla principal de sistema desarrollado..... | 120 |
| G.3. Sección de procesos aplicados a la secuencia de imágenes..... | 121 |
| G.4. Sección de árbol de ubicación de secuencia de imágenes..... | 122 |
| G.5. Sección de secuencia de imágenes..... | 123 |
| G.6. Sección de menú de herramientas..... | 124 |
| G.7. Realizar transportación de secuencia de imágenes de la carpeta origen al sistema | 128 |
| G.8. Aplicación del método de la escala de grises a la secuencia de imágenes..... | 130 |
| G.9. Aplicación del método de la mediana a la secuencia de imágenes..... | 131 |
| G.10. Aplicación del método de la binarización a la secuencia de imágenes..... | 132 |
| G.11. Aplicación del método de Sobel a la secuencia de imágenes..... | 133 |
| G.12. Aplicación de la detección y seguimiento de los objetos en la secuencia de imágenes..... | 134 |
| G.13. Solicitar ayuda acerca del sistema..... | 136 |
| G.14. Método de guardado de cada una de las imágenes de la secuencia..... | 136 |
| G.15. Método para salir del sistema..... | 138 |
| | |
| ANEXO H. CONTENIDO DEL CD..... | 139 |
| | |
| Referencias..... | 145 |

LISTADO DE FIGURAS

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 2.1. | Procesos para denotar el primer plano y la detección de bordes..... | 9 |
| Figura 2.2. | Cálculo del límite dilatado y de los bordes internos del objeto..... | 9 |
| Figura 2.3. | Proceso de refinación de la imagen..... | 10 |
| Figura 2.4. | Proceso de construcción del objeto..... | 11 |
| Figura 2.5. | Cálculo de la región aislada de la sombra del objeto..... | 12 |
| Figura 2.6. | Proceso para recuperar la región sombreada en un área..... | 12 |
| Figura 2.7. | Prueba al sistema aplicando la eliminación de la sombra de los objetos..... | 13 |
| Figura 2.8. | Etapas fundamentales del tratamiento digital de imágenes..... | 27 |
| Figura 3.1. | Estructura del ojo humano como sensor remoto natural para la formación y captura de imágenes..... | 36 |
| Figura 3.2. | Aplicación de la escala de grises a una imagen de entrada..... | 38 |
| Figura 3.3. | Aplicación del filtro de la mediana a una imagen de entrada..... | 39 |
| Figura 3.4. | Visualización de histogramas de intensidad..... | 40 |
| Figura 3.5. | Aplicación de la binarización a una imagen de entrada..... | 41 |
| Figura 3.6. | Representación de máscaras denominadas operadores de Sobel..... | 42 |
| Figura 3.7. | Aplicación de los operadores de Sobel a una imagen de entrada..... | 43 |
| Figura 3.8. | Resta de matrices de dos imágenes..... | 44 |
| Figura 4.1. | Diagrama general del sistema desarrollado..... | 46 |
| Figura 4.2. | Prueba 1 imágenes de entrada para la aplicación de la escala de grises..... | 51 |
| Figura 4.3. | Prueba 1 imágenes de salida después de aplicar la escala de grises..... | 52 |
| Figura 4.4. | Prueba 1 imágenes de salida después de aplicar el filtro de la mediana..... | 53 |
| Figura 4.5. | Prueba 1 imágenes de salida después de aplicar el filtro de binarización..... | 55 |
| Figura 4.6. | Prueba 1 imágenes de salida después de aplicar el operador de | |

| | | |
|-------------|--|----|
| | Sobel..... | 56 |
| Figura 4.7. | Prueba 1 resultado final de aplicar la detección y seguimiento del objeto..... | 57 |
| Figura A.1. | Imágenes de entrada del caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)..... | 72 |
| Figura A.2. | Imágenes de entrada del caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris)..... | 73 |
| Figura A.3. | Imágenes de entrada del caso 3. Auto de color azul y fondo amarillo y gris..... | 74 |
| Figura A.4. | Imágenes de entrada del caso 4. Persona vestida de color negro y fondo amarillo y gris..... | 75 |
| Figura A.5. | Imágenes de entrada del caso 5. Perro de color café y como fondo la calle..... | 76 |
| Figura A.6. | Imágenes de entrada del caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo la calle..... | 76 |
| Figura A.7. | Imágenes de entrada del caso 7. Camioneta de color gris y como fondo la calle..... | 77 |
| Figura A.8. | Imágenes de entrada del caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo la calle..... | 78 |
| Figura B.1. | Imágenes de salida en escala de grises del caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco) | 80 |
| Figura B.2. | Imágenes de salida en escala de grises del caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris) | 81 |
| Figura B.3. | Imágenes de salida en escala de grises del caso 3. Auto de color azul y fondo amarillo y gris..... | 82 |
| Figura B.4. | Imágenes de salida en escala de grises del caso 4. Persona vestida de color negro y fondo amarillo y gris..... | 83 |
| Figura B.5. | Imágenes de salida en escala de grises del caso 5. Perro de color café y como fondo la calle..... | 84 |
| Figura B.6. | Imágenes de salida en escala de grises del caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo la calle..... | 84 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figura B.7. | Imágenes de salida en escala de grises del caso 7. Camioneta de color gris y como fondo la calle..... | 85 |
| Figura B.8. | Imágenes de salida en escala de grises del caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo la calle..... | 86 |
| Figura C.1. | Imágenes de salida con eliminación de ruido del caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)..... | 88 |
| Figura C.2. | Imágenes de salida con eliminación de ruido del caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris) | 89 |
| Figura C.3. | Imágenes de salida con eliminación de ruido del caso 3. Auto de color azul y fondo amarillo y gris..... | 90 |
| Figura C.4. | Imágenes de salida con eliminación de ruido del caso 4. Persona vestida de color negro y fondo amarillo y gris..... | 91 |
| Figura C.5. | Imágenes de salida con eliminación de ruido del caso 5. Perro de color café y como fondo la calle..... | 92 |
| Figura C.6. | Imágenes de salida con eliminación de ruido del caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo la calle..... | 92 |
| Figura C.7. | Imágenes de salida con eliminación de ruido del caso 7. Camioneta de color gris y como fondo la calle..... | 93 |
| Figura C.8. | Imágenes de salida con eliminación de ruido del caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo la calle..... | 94 |
| Figura D.1. | Imágenes de salida binarizadas del caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco) | 96 |
| Figura D.2. | Imágenes de salida binarizadas del caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris) | 97 |
| Figura D.3. | Imágenes de salida binarizadas del caso 3. Auto de color azul y fondo amarillo y gris..... | 98 |
| Figura D.4. | Imágenes de salida binarizadas del caso 4. Persona vestida de color negro y fondo amarillo y gris..... | 99 |
| Figura D.5. | Imágenes de salida binarizadas del caso 5. Perro de color café y como fondo la calle..... | 100 |
| Figura D.6. | Imágenes de salida binarizadas del caso 6. Camioneta de color rojo y | |

| | | |
|-------------|--|-----|
| | como fondo la calle..... | 100 |
| Figura D.7. | Imágenes de salida binarizadas del caso 7. Camioneta de color gris y como fondo la calle..... | 101 |
| Figura D.8. | Imágenes de salida binarizadas del caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo la calle..... | 102 |
| Figura E.1. | Imágenes de salida con detección de bordes del caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco) | 104 |
| Figura E.2. | Imágenes de salida con detección de bordes del caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris) | 105 |
| Figura E.3. | Imágenes de salida con detección de bordes del caso 3. Auto de color azul y fondo amarillo y gris..... | 106 |
| Figura E.4. | Imágenes de salida con detección de bordes del caso 4. Persona vestida de color negro y fondo amarillo y gris..... | 107 |
| Figura E.5. | Imágenes de salida con detección de bordes del caso 5. Perro de color café y como fondo la calle..... | 108 |
| Figura E.6. | Imágenes de salida con detección de bordes del caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo la calle..... | 108 |
| Figura E.7. | Imágenes de salida con detección de bordes del caso 7. Camioneta de color gris y como fondo la calle..... | 109 |
| Figura E.8. | Imágenes de salida con detección de bordes del caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo la calle..... | 110 |
| Figura F.1. | Imágenes de salida con detección y seguimiento del caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco) | 112 |
| Figura F.2. | Imágenes de salida con detección y seguimiento del caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris) | 113 |
| Figura F.3. | Imágenes de salida con detección y seguimiento del caso 3. Auto de color azul y fondo amarillo y gris..... | 114 |
| Figura F.4. | Imágenes de salida con detección y seguimiento del caso 4. Persona vestida de color negro y fondo amarillo y gris..... | 115 |
| Figura F.5. | Imágenes de salida con detección y seguimiento del caso 5. Perro de color café y como fondo la calle..... | 116 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| Figura F.6. | Imágenes de salida con detección y seguimiento del caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo la calle..... | 116 |
| Figura F.7. | Imágenes de salida con detección y seguimiento del caso 7. Camioneta de color gris y como fondo la calle..... | 117 |
| Figura F.8. | Imágenes de salida con detección y seguimiento del caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo la calle..... | 118 |
| Figura G.1. | Ventana de bienvenida del sistema DELIMO..... | 120 |
| Figura G.2. | Pantalla principal del sistema DELIMO..... | 121 |
| Figura G.3. | Presentación de diferentes procesos aplicados a la secuencia de imágenes en la sección de procesos aplicados..... | 122 |
| Figura G.4. | Árbol de ubicación de secuencias de imágenes..... | 123 |
| Figura G.5. | Sección de secuencia de imágenes..... | 124 |
| Figura G.6. | Herramientas del menú archivo en la sección de herramientas..... | 125 |
| Figura G.7. | Herramientas del menú procesos aplicados en la sección de herramientas..... | 126 |
| Figura G.8. | Herramientas del menú ayuda en la sección de herramientas..... | 128 |
| Figura G.9. | Localización de la carpeta contenedora origen en la sección de árbol de ubicación de secuencia de imágenes..... | 129 |
| Figura G.10. | Selección del botón abrir secuencia de imágenes en la sección de menú de herramientas..... | 129 |
| Figura G.11. | Visualización de las imágenes en la sección de procesos aplicados a la secuencia de imágenes y sección de secuencia de imágenes..... | 130 |
| Figura G.12. | Realización de dar clic en el botón escala de grises en la sección de menú de herramientas..... | 130 |
| Figura G.13. | Resultado de la aplicación de la escala de grises a la secuencia de imágenes..... | 131 |
| Figura G.14. | Realización de dar clic en el botón mediana en la sección de menú de herramientas..... | 131 |
| Figura G.15. | Resultado de la aplicación del método de la mediana a la secuencia de imágenes..... | 132 |
| Figura G.16. | Realización de dar clic en el botón binarización en la sección de | |

| | | |
|--------------|---|-----|
| | menú de herramientas..... | 133 |
| Figura G.17. | Resultado de la aplicación del método de la binarización a la secuencia de imágenes..... | 133 |
| Figura G.18. | Realización de dar clic en el botón Sobel en la sección de menú de herramientas..... | 134 |
| Figura G.19. | Resultado de la aplicación del método de Sobel a la secuencia de imágenes..... | 134 |
| Figura G.20. | Realización de dar clic en el botón detección y seguimiento de objetos en la sección de menú de herramientas..... | 135 |
| Figura G.21. | Resultado de la detección y seguimiento de los objetos a la secuencia de imágenes..... | 135 |
| Figura G.22. | Realización de dar clic en el botón acerca del sistema en la sección de menú de herramientas..... | 136 |
| Figura G.23. | Visualización de la información acerca del sistema..... | 136 |
| Figura G.24. | Realización de dar clic en el botón de guardar secuencia de imágenes en la sección de menú de herramientas..... | 137 |
| Figura G.25. | Cuadro de diálogo para guardar cada una de las imágenes de la secuencia que se encuentran en el sección de procesos aplicados a la secuencia de imágenes..... | 137 |
| Figura G.26. | Realización de dar clic en el botón de salir del sistema en la sección de menú de herramientas..... | 138 |
| Figura H.1. | Estructura del contenido del CD de esta tesis..... | 139 |
| Figura H.2. | Documento de tesis en formato portátil..... | 140 |
| Figura H.3. | Archivos fuente de este trabajo de tesis..... | 140 |
| Figura H.4. | Archivo ejecutable del sistema desarrollado DELIMO..... | 141 |
| Figura H.5. | Carpeta de anexos integrada al CD del trabajo de tesis..... | 141 |
| Figura H.6. | Carpetas de imágenes de entrada de cada caso de prueba..... | 142 |
| Figura H.7. | Imágenes de entrada del caso de prueba A.3. Caso 3.Auto de color azul con fondo amarillo..... | 142 |
| Figura H.8. | Setup del sistema DELIMO..... | 143 |

LISTADO DE ECUACIONES

| | | |
|------------|--|----|
| Ecuación 1 | Obtención de los valores de los componentes del vector gradiente en x..... | 41 |
| Ecuación 2 | Obtención de los valores de los componentes del vector gradiente en y..... | 41 |
| Ecuación 3 | Forma uno del cálculo de la magnitud..... | 42 |
| Ecuación 4 | Forma uno del cálculo del ángulo del valor del gradiente..... | 42 |
| Ecuación 5 | Forma dos del cálculo de la magnitud y ángulo del valor del gradiente..... | 42 |
| Ecuación 6 | Fórmula del cálculo de la resta de imágenes..... | 43 |

GLOSARIO DE TÉRMINOS

| | |
|-------------|--|
| Ambiente | Condiciones externas que afectan a un individuo y que pueden ser físicas (temperatura, humedad, acidez del agua, etc.) o bióticas (número de competidores, depredadores, parásitos, etc.) (Sarukhán 1988). |
| Color | Características de las cosas que se nota con la vista y que se produce porque los rayos de luz se reflejan en ellas (Diccionario didáctico de español 1995). |
| Contraste | Oposición, contraposición o diferencia notable que existe entre personas o cosas (Diccionario de la lengua española 1997). |
| Detección | Poner de manifiesto, utilizando medios adecuados, lo que no puede ser observado directamente (Diccionario de la lengua española 1997). |
| Efectividad | Real y verdadero, en oposición a lo quimérico, dudoso o nominal (Diccionario de la lengua española 1997). |
| Flexible | Que tiene disposición para doblarse fácilmente. Que tiene disposición a ceder o acomodarse fácilmente al dictamen o resolución de otro (Diccionario de la lengua española 1997). |
| Imagen | Representación grabada, pintada, dibujada o esculpida de una persona o cosa (Diccionario de la lengua española 1997). |

| | |
|----------------|---|
| Imagen digital | Matriz de valores en dos dimensiones (2D) (Pajares Martinsanz & de la Cruz García 2008). |
| Lineal | Se ha empleado para atribuir a algo una disposición aproximada de línea, en el sentido de en forma de recorrido o trazo cuyos elementos se suceden unos a otros (aún cuando encierren una figura geométrica), y en el de prevalencia de una dimensión sobre otra, cuando se trata de superficies (Winckler s.f.). |
| Movimiento | Cambio de posición de un cuerpo con respecto a otro (Diccionario de la lengua española 1997). |
| Objeto | Cualquier cosa que se puede tocar o que se puede ver (Diccionario didáctico de español 1995). |
| Procesamiento | Someter datos o materiales a una serie de operaciones programadas (Diccionario de la lengua española 1997). |
| Prototipo | Es una versión preliminar, intencionalmente incompleta o reducida de un sistema (Weitzenfeld 2004). |
| Reflectancia | Cuando un rayo de luz incide en la superficie de un material transparente, la onda <<ve>> una enorme distribución superficial de átomos muy próximos entre sí que harán que se esparza la onda (Hecht 1986). |
| Rendimiento | Producto o utilidad que da una cosa (Diccionario de la lengua española 1997). |
| Secuencia | Serie o sucesión de cosas que guardan entre si cierta relación. Sucesión no interrumpida de planos o escenas que en una película se |

refieren a una misma parte o aspecto del argumento (Diccionario de la lengua española 1997).

Seguimiento Ir después o detrás de uno. Dirigir la vista hacia un objeto que se mueve y mantener la visión de él. Ir en busca de una persona o cosa. Proseguir o continuar en lo empezado (Diccionario de la lengua española 1997).

Subyacente Yacer debajo de algo. Estar algo oculto tras otra cosa (Diccionario de la lengua española 1997).

Trayectoria Línea descrita en el espacio por un punto en movimiento (Diccionario de la lengua española 1997).

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis consiste en la realización de un software a manera de prototipo que permite, a partir de una secuencia de imágenes, la detección de un automóvil en movimiento y como consecuencia realizar el seguimiento del automóvil detectado durante una trayectoria lineal (software realizado en Borland C++ Builder 5.0).

Problemática

El proceso que realiza el sistema cerebral para la detección y seguimiento lineal de objetos consta en un análisis de las imágenes visualizadas, el cual da como resultado una inmediata clasificación de objetos respecto a diferentes atributos, por ejemplo; color, forma, posición, movilidad, entre otras. En el caso de la realización de las aplicaciones informáticas

enfocadas a la detección y seguimiento lineal de objetos no flexibles invariantes en color en una secuencia de imágenes el proceso resulta ser complejo, una imagen es representada en forma matricial en un plano cartesiano (x, y) , la cual contiene valores de píxeles correspondientes a valores de intensidad. Durante el procesamiento de las imágenes, la aplicación debe implementar métodos de análisis con la finalidad de interpretar lo que ocurre en las imágenes presentadas.

Metodología de Solución

En este trabajo de tesis las operaciones o transformaciones matemáticas que se utilizaron para cumplir con el objetivo de la detección y seguimiento de los objetos fueron las siguientes en el orden que se indican:

- Escala de grises
- Filtro de la mediana
- Filtro de binarización
- Operadores de Sobel
- Resta de imágenes

En primer lugar se obtiene una secuencia de imágenes que cumplan con las limitaciones indicadas en el apartado 2.6, una vez obtenida la secuencia a la cual se desea realizar la detección y seguimiento del objeto se procede a aplicar el método de la escala de grises, en segundo término se llevará a cabo la aplicación del filtro de la mediana a las imágenes resultantes del método anterior para posteriormente aplicar el filtro de la binarización, después se deberán aplicar los operadores de Sobel y finalmente aplicar la resta de imágenes y así poder cumplir con éxito el objetivo de la detección y seguimiento de los objetos.

Organización del Documento de Tesis

El presente documento de tesis está estructurado en cinco capítulos, a continuación se describen de forma general los cuatro restantes:

Capítulo 2. Antecedentes. En este capítulo se plantean los conocimientos disponibles acerca del tema de la detección y seguimiento lineal de objetos hasta al momento, en sí, esto consiste en analizar lo que se ha hecho anteriormente respecto a este tema, el cómo se ha planteado, cómo se ha realizado y cómo se ha solucionado. Todo esto con el objetivo de tener una idea básica de cómo realizar y dar solución a este trabajo de tesis.

Capítulo 3. Marco teórico. Consiste en la presentación de los métodos y técnicas utilizadas para el desarrollo del presente trabajo de tesis así como la teoría necesaria que existe acerca del tema de la detección y seguimiento lineal de objetos.

Capítulo 4. Desarrollo del tema. Se plantea un análisis detallado del sistema desarrollado para resolver el problema de la detección y seguimiento lineal de objetos no flexibles invariantes en color en una secuencia de imágenes, de igual forma se describe el diseño e implementación del mismo. Se explica de forma detallada el funcionamiento del sistema desarrollado en este trabajo de tesis como por ejemplo los elementos principales del sistema, las acciones posibles a realizar. Y se presentan las pruebas realizadas al sistema con la finalidad de conocer el comportamiento, rendimiento y efectividad del mismo en diferentes entornos para resolver el problema planteado anteriormente y así determinar los resultados obtenidos en las pruebas aplicadas.

Capítulo 5. Conclusiones y trabajos futuros. En este último capítulo se realizó un análisis detallado y objetivo de las pruebas realizadas durante el transcurso de este documento de tesis y sus resultados, así como técnicas, herramientas, conocimientos y experiencias obtenidas en la realización de este trabajo de tesis.

Una vez establecido los conceptos básicos hasta lo más específicos y haber dado una idea general al lector acerca de este trabajo de tesis, en el siguiente capítulo se plantean los conocimientos disponibles hasta el momento acerca del tema de la detección y seguimiento lineal de objetos; el cómo se han planteado, como se han realizado y como se han solucionado.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

Actualmente se cuenta con trabajos de investigación realizados por diversos investigadores en el mundo que abordan el tema de la detección y seguimiento de objetos. A continuación se presentan proyectos de investigación relacionados a la detección y seguimiento de objetos.

2.1. Estado del Arte y Trabajos Relacionados

A continuación se da una descripción de los trabajos relacionados con este proyecto de tesis.

Sistema de Visión por Computadora para la Detección y Clasificación de los Vehículos en las Intersecciones de las Vías Urbanas

En el artículo titulado “A computer vision system for the detection and classification of vehicles at urban road intersections” (Messelodi, Modena & Zanin 2005), se documenta el desarrollo de un sistema como extensión del sistema de monitoreo de tráfico de Trento, Italia. El cual consiste en contar y clasificar automáticamente vehículos. Este sistema es denominado SCOCA (del inglés, System for counting and classifying automatically vehicles), su principal objetivo consiste en automatizar tareas, tales como la detección de situaciones potencialmente peligrosas, como por ejemplo la detección de un vehículo en un túnel, el reconocimiento de placas ante violaciones de la ley o la extracción de datos estadísticos de tráfico.

El sistema consiste en la instalación de cámaras situadas en la carretera, las cuales están colocadas en varios cruces de diferentes ciudades. Cada cámara está conectada a una unidad de procesamiento que captura las imágenes y también los códigos de la secuencia de video en formato MPEG. Las unidades de procesamiento están conectadas a través de una red de fibra óptica a una central de gestión de tráfico (TMC, traffic management center) en donde se recibe, descomprime y visualiza la información que se recibe en monitores para fines de control remoto. El sistema es capaz de detectar los vehículos que se mueven a través de las cámaras, para realizar el seguimiento y clasificación de cada uno de los objetos en tiempo real.

El sistema funciona en tiempo real a 25 fotogramas por segundo posiblemente con un breve retraso a consecuencia de la clasificación de los automóviles. Los algoritmos de detección, seguimiento y clasificación se integraron al sistema y con ello se realizaron pruebas en una variedad de secuencia de imágenes en las cuales se detectaron 1256 vehículos y 76 diferentes objetos. Con base en estos datos se determinó que el sistema tiene un 5.2% de error en el conteo de los vehículos, de igual forma se calculó una fiabilidad de 95.1% de vehículos contados en escena que no sean vehículos que están presentes en la misma.

Este artículo es muy interesante tiene perfectamente definidos los módulos entre los cuales cabe resaltar el módulo de extracción de información de tráfico que es el motor

principal del sistema, donde se realiza la detección y seguimiento de los objetos en movimiento y extracción de atributos de objetos: clases, velocidad y ruta.

En la detección y seguimiento de objetos móviles hacen uso de diferentes técnicas como la mediana, cuadro a cuadro diferenciado y sustracción del fondo las cuales son técnicas que se consideraran para la realización de este trabajo de tesis.

Detección y Seguimiento de Sombras en Movimiento en una Secuencia de Tráfico

En el artículo titulado “Moving Shadow Detection and Removal for Traffic Sequences” (Mei, Chong-Zhao & Lei 2007), la identificación de objetos móviles desde una escena de video es una tarea fundamental y critica en la vigilancia, monitoreo y análisis de video. Cuando los objetos detectados contienen sombras pueden causar errores en la localización, reconocimiento y rastreo de los objetos. Por ejemplo, las sombras en realidad pueden cambiar la figura y el color de los objetos y por lo tanto afectar a los algoritmos que intentan seguir o reconocer los objetos que aparecen en la escena. Por lo tanto, la eliminación de sombras es un problema crítico para los sistemas dirigidos en la extracción, seguimiento o reconocimiento de los objetos.

Para la solución del problema planteado anteriormente, se divide en dos secciones el artículo, la sección donde se describe el procedimiento para la detección de sombras y la sección de algoritmo de separación de sombras móviles.

En la sección donde se describe el procedimiento para la detección de sombras se realizó la aplicación de un procedimiento para la detección de sombras la cual está dividida en dos partes que consisten en la estimación de tiempo de disparo y el cálculo de iluminación. En primer lugar es aplicada la estimación de tiempo de disparo y en segundo el cálculo de iluminación; estas dos partes se describen a continuación.

Estimación de tiempo de disparo (Shooting-time estimation)

La estimación de *shooting-time* consiste en citar el tiempo de cada imagen, el cual es almacenado en orden para determinar la admisión de las sombras. Si durante el proceso de

la estimación de tiempo se excluye la posibilidad de sombra (durante la noche o un día lluvioso), El sistema no procesará el algoritmo de sombra. De otra manera, se asume la presencia de sombra en la imagen.

Cálculo de iluminación (Illumination assessment)

El cálculo de la iluminación es usado para decidir si hay sombras en una imagen o no, para poder realizar la toma de esta decisión se emplean dos criterios los cuales son el valor de la energía y el tamaño relativo de la oscuridad.

En la sección del algoritmo de separación de sombras móviles (Edge-based moving shadow removal algorithm), consiste en remover el límite de proyección de sombra y preservar los bordes de los objetos; esto sucede en primer término. En segundo lugar, las formas de los objetos se reconstruyen basadas en la primera información de los objetos, finalmente se extrae la sombra proyectada para sustraer el objeto móvil en la detección. El procedimiento del algoritmo de sombras móviles se clasifica en siete etapas las cuales se describirán a continuación:

1. Detección de bordes para una región de primer plano (Edge detection for foreground region)

En el algoritmo aplicado para la detección de bordes, la información de bordes juega un papel muy importante para la detección de sombras. Se aplica la detección de bordes en una región de primer plano seleccionada, la cual contiene imágenes de entrada. En la figura 2.1a se muestra la imagen de entrada la cual realiza un proceso para denotar el primer plano seleccionado como se muestra en la figura 2.1b y posteriormente realizar la detección de los bordes como se muestra en la figura 2.1c.

3. Refinación del borde interior de los objetos móviles (Refine the interior edge of moving object)

El resultado de las etapas anteriores fue la eliminación de casi todos los bordes del área sombreada. Sin embargo, existen bordes falsos a consecuencia del ruido del objeto, los cuales están lejos del primer plano y cerca del límite de la sombra proyectada. El proceso de refinación consiste en una operación horizontal y una operación vertical en donde su principal objetivo consiste en remover la región de poco ruido la cual tienden a estar en áreas más pequeñas. El resultado de este proceso se observa en la figura 2.3.

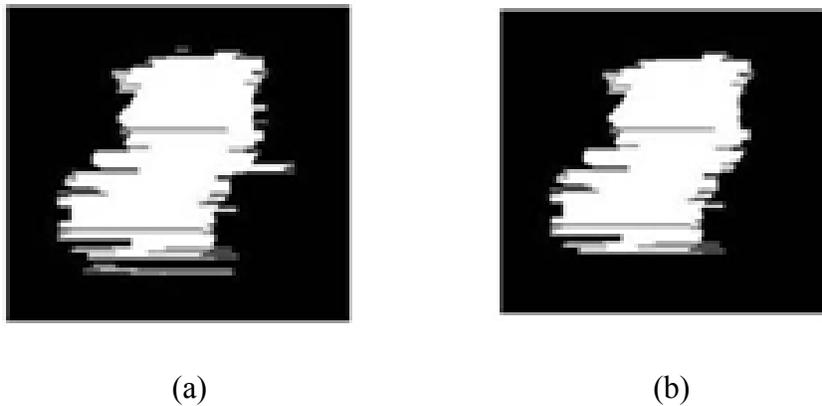


Figura 2.3. Proceso de refinación de la imagen. (a) Imagen de entrada para el proceso de refinación, (b) Resultado de la aplicación del proceso de refinación.

4. Clasificación de la región de primer plano (Foreground region classification)

Si la región del primer plano contiene más de un plano, las sombras de los diferentes vehículos posiblemente se conectarán por sí mismos en esta región. Por tal motivo la etapa de clasificación de la región de primer plano consiste en remover eficazmente las sombras no deseadas del primer plano, debe estar determinado que los puntos de borde pertenecen al primer plano.

5. Construcción del objeto móvil (Construct the moving object)

Hasta estos momentos se asume que los primeros planos están contenidos en un objeto máscara y permite denotar el borde del objeto móvil. En la etapa de construcción del objeto móvil consiste en realizar operaciones de construcción del objeto con los primeros planos del mismo, el proceso de construcción se reflejan en las figura 2.4.

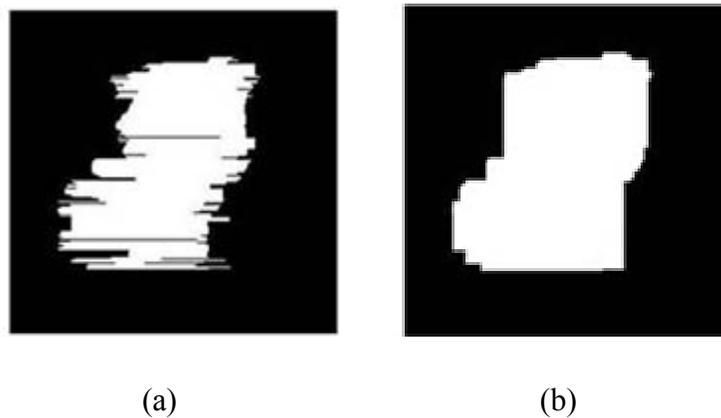


Figura 2.4. Proceso de construcción del objeto. (a) Imagen de entrada para el proceso de construcción del objeto, (b) Resultado de la aplicación del proceso de construcción del objeto.

6. Sombra de un objeto que está en contacto con la luz (Compute seed region of moving cast shadow)

En la etapa de sombra de un objeto que está en contacto con la luz, su principal objetivo es marcar cada región aislada, para con ello poder después calcular el tamaño de cada región y sólo la primera región más larga será considerada como la correcta y la región no correcta será considerada como la sombra del objeto como se muestra en la figura 2.5.



Figura 2.5. Calculo de la región aislada de la sombra del objeto.

7. Como encontrar una región real para sombras móviles (Find real moving shadow region)

En la etapa anterior se puede ver que la sombra detectada en la región es casi la región de la sombra. Sin embargo, no incluye la parte de la sombra en el límite dilatado. Esta etapa consiste en detectar eficazmente la región de la sombra sin dejar partes de la sombra sin aislar. Además el proceso puede ser aplicado para recuperar la región sombreada en un área de límite dilatada como se muestra en la figura 2.6.

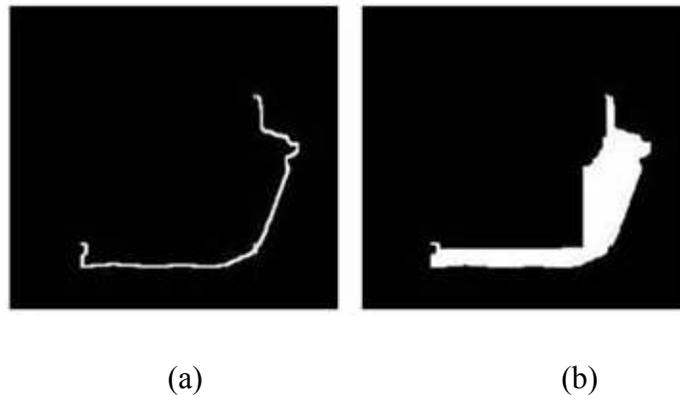


Figura 2.6. Proceso para recuperar la región sombreada en un área. (a) Imagen de entrada para recuperar la región sombreada en un área de límite dilatada, (b) Resultado para recuperar la región sombreada en un área de límite dilatada.

El método propuesto ha sido implementado en una computadora INTEL, Pentium IV 1.0-GHZ usando Matlab 6.5, se han realizado siete pruebas bajo diferentes condiciones, para analizar la fortaleza y efectividad del método propuesto. A continuación se muestra la primera prueba del método propuesto.

La primera prueba demuestra la capacidad del algoritmo propuesto para eliminar sombras no deseadas, cuando la región del primer plano contiene solamente un primer plano. Las figuras 2.7a y 2.7e son imágenes originales, las figuras 2.7b y 2.7f son extraídas del primer plano, las figuras 2.7c y 2.7g son extraídas de las sombras por el algoritmo de sombras, las figuras 2.7d y 2.7h muestran a los objetos móviles con la eliminación de la sombra. Por tal motivo se concluye que el proceso de separación de sombras se transforma de manera satisfactoria y que los vehículos son extraídos exitosamente.

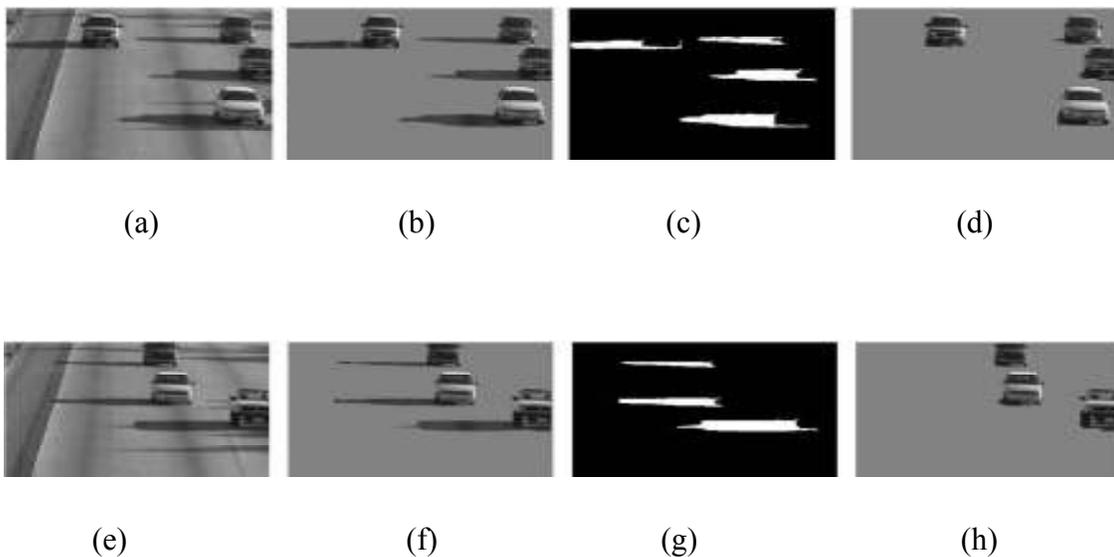


Figura 2.7. Prueba al sistema aplicando la eliminación de la sombra de los objetos. (a) Imagen original 1, (b) Extracción del primer plano de la imagen 1, (c) Extracción de la sombra de la imagen 1 por medio de algoritmos de sombra, (d) Visualización de los objetos móviles de la imagen 1 ya con la correspondiente eliminación de la sombra, (e) Imagen original 2, (f) Extracción del primer plano de la imagen 2, (g) Extracción de la sombra de la imagen 2 por medio de algoritmos de sombra, (h) Visualización de los objetos móviles de la imagen 2 ya con la correspondiente eliminación de la sombra.

En las seis pruebas restantes cabe recalcar que el método cumple con las expectativas esperadas de manera satisfactoria en cuanto a la fortaleza y efectividad del método propuesto en la eliminación de las sombras. Es conveniente decir que este artículo es de un alto nivel de interés ya que el método propuesto para la eliminación de las sombras es de gran utilidad para entornos no controlados, pero para este trabajo de investigación que su principal característica es procesar imágenes de entrada con ambientes controlados podrían ser de gran utilidad algunas etapas que se manejan en éste como son la detección de bordes para una región de primer plano, cálculo inicial del borde interior en el primer plano, refinación del borde interior de los objetos móviles, clasificación de la región de primer plano y construcción del objeto móvil.

Seguimiento de Objetos Rígidos en Secuencias de Imágenes

En la tesis titulada “Seguimiento de objetos rígidos en secuencias de imágenes” (Villamil Brito 2002), plantea que actualmente las empresas industriales de refrescos utilizan objetos en movimiento a través de bandas transportadoras, como es el caso de la “Embotelladora de Cuernavaca S.A. de C.V.”, donde se lleva el control de recipientes translucidos. El trabajo que realizan con los recipientes translucidos en el proceso de llenado y tapado de envases de refrescos, es bajo inspección humana de una forma habitual. La ejecutan diferentes inspectores en cortos periodos para evitar la fatiga de la vista, pues no son capaces de soportar tiempos más largos y aunque son remplazados, su capacidad de verificación regularmente retrasa el paso de envases llenos por la banda transportadora del producto. Sin embargo los procesos industriales que requieren una inspección visual por parte de los seres humanos a menudo implican un esfuerzo considerable, por lo que los riesgos de la degradación de la vista humana son notables.

En una aplicación real en el sector productivo, es necesario seguir el objeto rígido en una banda transportadora a una velocidad constante y el problema que aquí se presenta es; que si hay varios objetos en una secuencia de imágenes se garantiza que los objetos que se están analizando son los mismos, aunque ocupan distintas posiciones en la imagen anterior. Para resolver este problema se aplicaron las siguientes tareas:

- Adquisición de las imágenes
- Pre-procesamiento
- Localización del objeto de interés
- Etiquetado del objeto una vez localizado
- Seguimiento de objeto de interés
- Garantizar que los objetos sean evaluados en el módulo de control de calidad.

El movimiento de uno o varios objetos rígidos da como resultado el cambio de posición del objeto de interés, por ello para poder seguir este objeto se debe realizar una localización del mismo. Debido a eso, un proceso clave para el seguimiento visual de un objeto en secuencias de imágenes es el módulo de localización.

Para la localización de uno o varios objetos, se propone la siguiente metodología:

- Adquisición de cuadros: esta etapa permite descomponer un video en cuadros sucesivos.
- Proyección por columnas 1: esta etapa detecta a un objeto nuevo, por medio del análisis de cada cuadro.
- Umbralización: esta etapa permite encontrar el mejor umbral para segmentar una imagen y da como resultado una imagen binarizada.
- Detección de contornos: esta etapa da como resultado una imagen con bordes, por medio de la utilización del filtro Laplaciano.
- Proyección por columnas 2: en la imagen de bordes se realiza el conteo de todos los pixeles de cada columna en ese renglón.

- Proyección por renglones 1: esta etapa aprovecha las columnas localizadas por el módulo anterior, para realizar el conteo de todos los pixeles de cada renglón es esa columna.
- Análisis de las proyecciones por columnas 2 y por renglones 1: esta etapa examina las proyecciones por renglones y por columnas para determinar las posiciones de columnas y renglones de cada objeto que se encuentra en la imagen.
- Ventana mínima: esta etapa agrupa mediante una ventana el objeto u objetos encontrados en la imagen, utilizando coordenadas localizadas en las etapas de proyección por columna 2 y proyección por renglones 1.

El seguimiento visual consiste en no perder de vista un objeto de interés en los diferentes cuadros que forman la secuencia de imágenes, para esto se propone la siguiente metodología:

- Proyección por columna 1: esta etapa detecta un objeto nuevo, por medio de analizar cuadro a cuadro de una secuencia de imágenes.
- Ventana mínima: esta etapa es parte del módulo de localización, que encuadra en una ventana mínima al objeto localizado.
- Imagen I_{t-1} : en esta etapa se muestra el cuadro anterior del objeto localizado de una secuencia de imágenes.
- Imagen I_t : en esta etapa se muestra el cuadro actual de una secuencia de imágenes.
- Imagen I_d : en esta etapa se efectúa la diferencia de la imagen I_{t-1} y la imagen I_t , dando como resultado una imagen de diferencias.
- Proyección por columnas 2: esta etapa realiza un conteo de todos los pixeles de cada columna en ese renglón.

- Análisis de proyección por columna 2: en esta etapa se efectúa un análisis de la proyección por columnas con el objetivo de encontrar las nuevas posiciones de columnas que delimiten el objeto de la imagen I d.
- Posición de los límites verticales: en esta etapa se determinan las nuevas posiciones de los límites verticales para la nueva ventana mínima.
- Determinación de las regiones que cambiaron: en esta etapa se detectan las regiones que cambiaron entre la imagen I t-1 y la imagen I d.
- Nueva posición de la ventana mínima: en esta etapa se realiza el movimiento de la ventana mínima a la imagen I t-1, de acuerdo a las nuevas posiciones encontradas.
- Toma de decisión: esta etapa evalúa de forma lógica si existe un objeto nuevo, si existe un objeto nuevo se pasa al módulo de localización, si no existe un objeto nuevo se continúa con el proceso de seguimiento.

En lo que respecta a las metas alcanzadas en estas tesis se obtuvo una metodología para el seguimiento de objetos rígidos de igual forma se realizó la implementación de esta metodología, la cual permite el seguimiento de objetos rígidos en una secuencia de imágenes, localizando el objeto de interés, con un buen grado de eficiencia en el seguimiento.

Los resultados obtenidos por parte del sistema desarrollado en esta tesis en el ambiente de desarrollo de Borland C++ Builder 5.0 para el seguimiento visual de objetos rígidos fueron satisfactorios con objetos rígidos de tipos translucidos se obtuvo un 100% de desempeño en el proceso de la localización y en el proceso de seguimiento visual, con los objetos de envases metálicos y envases de plástico se obtuvo un 100% de desempeño en la localización, siempre y cuando se tenga un fondo contrastado con respecto al color del objeto.

Seguimiento y Predicción del Movimiento de Objetos Rígidos en un Ambiente Complejo

En la tesis titulada “Seguimiento y predicción del movimiento de objetos rígidos en un ambiente complejo” (Alarcón Ríos 2004), se plantea que para poder llevar a cabo los procesos de detección, seguimiento y predicción, la visión por computadora se auxilia de la disciplina que tiene por nombre procesamiento digital de imágenes. Esta disciplina lleva a cabo diferentes actividades tales como la segmentación de regiones, ecualización de histogramas, eliminación de ruido dentro de la imagen, ajustes en los niveles de iluminación, contrastes, etc.

En este trabajo de investigación se plantean tres problemas generales que a continuación se enlistan:

- Análisis de la imagen
- Seguimiento de objetos
- Predicción de trayectorias

Brevemente, el análisis de una imagen completa: la existencia de diferentes tonalidades entre píxeles que pertenecen al mismo objeto, los bordes de un objeto en ocasiones no son muy contrastantes con el fondo de la imagen, la existencia de objetos del mismo color o con forma similar, la información falsa llamada ruido que dificulta su análisis, la separación de objetos y fondos dentro de la imagen. Debido a esto se tienen que desarrollar mecanismos que ayuden a mejorar una posible interpretación de la imagen.

Por otro lado, el problema del seguimiento radica principalmente en detectar el movimiento de un objeto al comparar dos imágenes, agrupar las regiones en movimiento y guardar o visualizar en pantalla dichas regiones.

El problema de la predicción se compone básicamente de tres fases: la fase de retroalimentación o guardado de datos, la fase de cálculo o estimaciones y por último la fase de desplegado o el resultado de la información tratada. La primera fase consiste en

extraer los datos del movimiento del objeto a predecir, la segunda y tercera fase se refieren al manejo de estos datos. Los resultados esperados en la predicción están relacionados a los dos problemas anteriores, debido a que si no se hace un correcto análisis de la imagen y un adecuado seguimiento, se obtendrá como resultado una predicción poco exacta de la trayectoria del objeto.

Existen también otros factores que puedan intervenir directamente en el desarrollo de una metodología para el seguimiento y predicción del movimiento de objetos rígidos, entre los cuales se encuentran:

- La profundidad relacionada con la distancia bidimensional entre los objetos y la escena.
- Al permitir el movimiento libre de los objetos, estas puede traslaparse unas con otras.
- La caracterización del comportamiento basado en el movimiento del objeto a predecir.

Resumiendo, el problema que se plantea es, como realizar el seguimiento y la predicción del movimiento de objetos rígidos en ambientes complejos, dadas las condiciones y limitantes que se plantearon con anterioridad.

La mayoría de los trabajos que reportan el desarrollo de una solución se enfoca a una aplicación en particular, por lo tanto de una manera u otra conocen: el escenario, el tipo de objetos en movimiento, así como la forma y tamaño de los mismos, la tonalidad de fondo de la imagen, la frecuencia de cuadros por segundo de la secuencia, etc. El contar con este tipo de información, facilita los procesos que llevan a cabo.

En este artículo, se contempla el uso de diferentes escenarios, por lo tanto los procesos de detección, segmentación y seguimiento de objetos requieren un mayor análisis de la información, así que tratando de encontrar los elementos que permitan alcanzar el

objetivo propuesto, se plantean cinco principales preguntas, y la forma de dar respuestas a ellas:

1. ¿Cómo detectar el movimiento en un par de imágenes, cuando existe una diversidad de colores muy amplios?
2. Ya detectado el movimiento entre un par de imágenes, ¿Cómo determinar a que corresponde ese movimiento?
3. Si el movimiento corresponde a un objeto, ¿Cómo segmentar únicamente las regiones que lo componen?
4. Si el objeto ha sido segmentado correctamente. ¿Cómo seguir ese movimiento a través de la secuencia de imágenes?
5. Cuando los objetos en movimiento han sido detectados, segmentados y seguidos a través de la secuencia de imágenes, ¿Cómo realizar la predicción de la trayectoria de uno de ellos aun sin suficiente información del objeto?

La primera pregunta corresponde al hecho de que en una imagen existe una amplia suma de distintos colores, y que al llevar a cabo el proceso de resta de imágenes los cambios que se registran son demasiados y no corresponden visualmente en la escena. Esto se da por que las imágenes utilizan el formato de color RGB que puede llegar a contener 16,777,216 diferentes combinaciones de colores. Por esta razón se realiza la conversión del modelo RGB al modelo HSI, en donde la variable del tono puede llegar a solo 360 diferentes valores, la variable de saturación toma valores de números reales de 0 a 1, y la variable de intensidad toma los valores enteros de 0 a 255.

El siguiente paso es establecer los umbrales apropiados a estas variables, que permitan la detección de cambios, y así determinar cuándo se ha producido un movimiento significativo en la comparación de un par de imágenes. Dichos cambios son guardados en estructuras de datos.

En relación con la segunda pregunta, el problema es determinar a qué se debe ese cambio significativo en la imagen. El cual puede deberse a cuatro categorías:

1. Alguna de las imágenes procesadas contiene pixeles que cambian drásticamente su color sin ninguna razón aparentemente justificable, a esto se le llama ruido.
2. Existen cambios en la iluminación, sombras, que harán que los pixeles cambien sus valores sin que realmente exista movimiento alguno.
3. Un pixel registra un cambio, dado que un objeto se movía de su posición y dejó de ocupar dicho pixel.
4. Un pixel registra un cambio, dado que un objeto se movió de su posición y pasó a ocupar dicho pixel.

De las cuatro situaciones anteriores, la cuarta es la que interesa para continuar con la segmentación del objeto, para esto el sistema debe ser capaz de identificar cada una de las situaciones anteriores, para ello se toma en cuenta los siguientes supuestos, que son producto del análisis experimental de diversos videos.

- El fondo ocupa un porcentaje mayor de colores, que los objetos en movimiento.
- Un objeto debe de integrarse por regiones de color con más de 20 pixeles.
- Los umbrales de las variables para la determinación del color deben permitir al menos pequeñas variaciones externas en la iluminación, brillo, contraste y nitidez.
- Cuando se produce un cambio significativo en los pixeles y se ha determinado que no es producto del ruido o iluminación, éste sólo puede ser producto de uno de los dos casos, el pixel analizado ha dejado de ser pixel de un objeto para convertirse en parte de un fondo o viceversa.
- El objeto no puede ubicarse en los bordes delimitantes de la escena visual.

La tercera pregunta se refiere al problema de la segmentación del objeto, para esto se lleva a cabo algún tipo de agrupamiento de regiones denominado conectividad de píxel, se establece un umbral en la variable de tono y se realiza la conectividad con los píxeles semejantes, la tonalidad, el tamaño y la posición del objeto son dadas en estructuras de datos. Antes de pasar a la siguiente etapa un algoritmo verifica que no existan traslapados del objeto segmentado.

En relación a la cuarta pregunta, el objeto es seguido a través de la secuencia de imágenes implementando dos algoritmos: el primero para tratar de encerrarlo en una retícula rectangular utilizando coordenadas inferior y superior del objeto, el segundo paso es trazar una cruz en el centro del objeto de color contrario a la retícula.

La respuesta a la quinta pregunta se aborda de la siguiente manera:

1. El usuario elige el objeto del cual se habrá de predecir su trayectoria.
2. El usuario elige el tiempo en donde requiere visualizar los resultados de la predicción de la trayectoria.
3. El sistema caracteriza al objeto elegido por el usuario.
4. El sistema realiza un algoritmo de retroalimentación, para obtener información histórica del objeto.
5. El sistema realiza estimaciones con base en el historial y visualiza la predicción de la trayectoria en el tiempo elegido por el usuario.

Después de analizar los factores que intervienen en el movimiento, el siguiente paso es detectar aquellos elementos que explícitamente no se encuentren presentes en la escena visual, pero que constituyen la parte esencial de la detección, segmentación, seguimiento y predicción del movimiento de objetos.

Al analizar diferentes secuencias de imágenes con diferentes objetos en movimiento, se detectaron importantes riesgos que se mencionan en el orden de aparición.

- Granularidad
- Nitidez
- Contraste
- Dimensión del objeto
- Ubicación
- Trayectoria
- Velocidad

Con base en el análisis previo del movimiento y a la extracción de rasgos, se diseñaron las estructuras de datos que guardarán la información referente a: la detección, segmentación, seguimiento y predicción de movimiento de objetos. A continuación se mencionan las estructuras diseñadas dentro del sistema:

- Modelo RGB
- Modelo HSI
- Agrupamiento de píxeles
- Matriz de ocurrencias
- Vectores de desplazamiento
- Vectores de trayectoria
- Vectores de velocidad
- Vectores de estimación

Con base en el estudio previo de los datos, a la problemática planteada, a las etapas que integran la metodología de solución, a los algoritmos y módulos previstos se diseña la arquitectura que permita alcanzar el objetivo planteado, el cual se divide en tres niveles:

1. Nivel general: la arquitectura consta de 5 etapas principales como son la inicialización, detección del movimiento, segmentación, seguimiento y predicción. Estas etapas interactúan con módulos, estructura de datos y el usuario.
2. Nivel de seguimiento: esta arquitectura trata de explicar a mayor profundidad la metodología empleada para realizar el seguimiento del objeto en movimiento y consta de 4 etapas como son la de inicialización, detección del movimiento, segmentación y seguimiento.
3. Nivel de la predicción: se enfoca únicamente a la etapa de predicción y se basa en tres procesos como son la retroalimentación, estimación de la trayectoria y post-alimentación.

Al término de este trabajo de investigación y con base en los resultados obtenidos se puede concluir de manera general que la metodología empleada para realizar el seguimiento y la predicción del movimiento de objetos rígidos demostró ser eficiente. Ya que para un lado permite la identificación y rastreo de varios objetos a la vez sin importar el tamaño, forma, color o trayectoria de los mismos en un lapso de tiempo razonable. Por otro lado permite también la estimación y comparación de trayectorias de los objetos y de esta manera determinar el grado de precisión en el proceso de predicción.

Conclusiones Generales

En la actualidad la detección y seguimiento de los objetos sigue siendo objeto de estudio, ya que no se ha podido obtener un método ideal que pueda resolver este problema con una efectividad del cien por ciento, existen diferentes factores que ocasionan este problema, por mencionar algunos: la intensidad de la luz, las sombras, reflejos, etc. Las actuales

aplicaciones que se han desarrollado hacen uso del tratamiento digital de las imágenes con la finalidad de aplicar mecanismos que ayuden a mejorar una posible interpretación de las imágenes.

En el transcurso de este capítulo se abordaron proyectos de investigación los cuales su principal objetivo consiste en la detección y seguimiento de los objetos, para esto cada uno hace uso de diferentes herramientas para cumplir con su objetivo, entre las principales herramientas planteadas se encuentra la utilización del método de la mediana, cuyo principal objeto consiste en la eliminación del posible ruido que pueda existir en las imágenes, la umbralización es otra técnica importante ya que permite encontrar el mejor umbral para segmentar y dar como resultado una imagen binarizada, también se cuenta con las herramientas de la detección de contornos por mencionar algunos ejemplos el método Laplaciano, Sobel, etc., y para finalizar una herramienta efectiva para la detección y seguimiento de los objetos que abordan estos proyectos de investigación es el análisis cuadro a cuadro en la secuencia de la imágenes para determinar la detección y el seguimiento del objeto en la secuencia.

A raíz de lo anterior se desarrolló un software que es el primero en la comunidad universitaria que realiza la detección y seguimiento lineal de objetos no flexibles invariantes en color en una secuencia de imágenes. Para la realización de este proyecto se contó con conocimientos básicos acerca del tratamiento de imágenes como son el pre-procesamiento y procesamiento de imágenes digitales, así como algoritmos de inteligencia artificial.

2.2. Justificación

Con el desarrollo del software se dará una pauta para solucionar diferentes situaciones enfocadas a las áreas que se han propuesto anteriormente.

- El costo de desarrollo del software es menor en comparación con los desarrollados por grandes empresas.

- La realización de este software será el primero en la comunidad universitaria enfocado al área de la detección y seguimiento de objetos.
- El software tendrá una gran utilidad para la comunidad universitaria y será la base motivacional para el desarrollo de nuevos proyectos enfocados al área de la detección y seguimiento de objetos.
- Posteriormente se podría implementar con la ayuda de imágenes satelitales el seguimiento de automóviles oficiales de la Universidad del Mar, para los fines que se designen.

2.3. Planteamiento del Problema

La realización de las aplicaciones informáticas enfocadas a la detección y seguimiento lineal de objetos no flexibles invariantes en color en una secuencia de imágenes el proceso resulta ser complejo, una imagen es representada en forma matricial en un plano cartesiano (x, y) , la cual contiene valores de píxeles correspondientes a valores de intensidad. Durante el procesamiento de las imágenes, la aplicación debe implementar métodos de análisis con la finalidad de interpretar lo que ocurre en las imágenes presentadas. Dichos métodos se encuentran básicamente en las áreas del conocimiento que a continuación se describen.

Áreas Involucradas

A continuación se da una descripción de las áreas involucradas en este trabajo de tesis.

Tratamiento Digital de Imágenes

Con la finalidad de cumplir con el objetivo de este trabajo de tesis anteriormente planteado, uno de los principales factores determinantes es el tratamiento digital de imágenes, su principal objetivo consiste en mejorar la información presentada de cada una de las imágenes, para la mejor interpretación de éstas mismas.

El tratamiento digital de imágenes se divide en las siguientes etapas, según (González & Woods 1992) (Fig. 2.8).

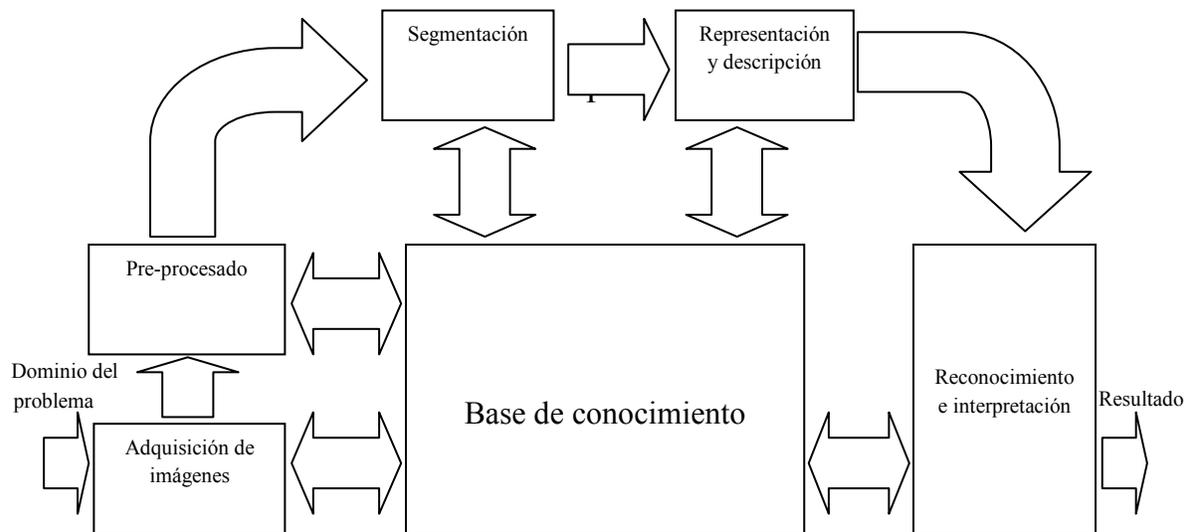


Figura 2.8. Etapas fundamentales del tratamiento digital de imágenes (González & Woods 1992).

A continuación se describen brevemente las etapas del tratamiento digital de imágenes:

- **Adquisición de imágenes:** consiste en adquirir una imagen digital mediante sensores de imágenes capaces de digitalizar las señales como por ejemplo una cámara entre otros sensores de imágenes.
- **Pre-procesado:** el principal objetivo de pre-procesamiento de las imágenes consiste en mejorar la calidad de las imágenes mediante técnicas de pre-procesamiento con el fin de tener éxito en las siguientes etapas.
- **Segmentación:** el proceso de segmentación consiste en partir una imagen de entrada en regiones constituyentes u objetos.
- **Representación y descripción:** la representación es parte fundamental ya que se centra en las zonas de interés de la imagen y la finalidad de la descripción

consiste en extraer información relevante que sea fundamental para diferenciar una clase de objetos de otra.

- **Reconocimiento e interpretación:** el reconocimiento consiste en etiquetar los objetos basándose en cierta información y la interpretación tiene el fin de asignar un significado a estos objetos etiquetados en el reconocimiento.
- **Base de conocimiento:** la principal función de la base de conocimiento radica en guiar la operación de cada módulo del tratamiento digital, en si es una base de datos sobre el dominio del problema.

Detección y Seguimiento

Los primeros datos históricos acerca de las técnicas de tratamiento de imágenes se remontan a la década de 1920 (González & Woods 1992), en donde se utilizó el sistema de *Bartlane*, el cual consistía en la transmisión de imágenes por cable con la finalidad de enviar fotografías a través del Atlántico. Desde entonces el tratamiento de imágenes ha evolucionado considerablemente y actualmente se desarrollan aplicaciones informáticas con el fin de resolver diferentes situaciones enfocadas al área de la visión artificial, a continuación se dan algunos ejemplos.

Detección de intrusos: se cuenta con una secuencia de imágenes en la cual el principal objetivo es la vigilancia de una zona restringida, en las primeras imágenes se visualiza la zona en un estado normal, conforme pasan las imágenes se visualiza un intruso no autorizado para estar en la zona restringida, el software lo identifica y realiza el seguimiento del intruso no autorizado.

Detección de objetos abandonados: se tiene una secuencia de imágenes de una central camionera o aeropuerto donde se pueden identificar objetos que han permanecido por un gran periodo de tiempo, por lo cual se puede inferir a estos como objetos abandonados y con ello poder realizar el levantamiento y resguardo de los objetos abandonados.

Detección de robo: se cuenta con una secuencia de imágenes de un museo de pinturas en la cuales las primeras imágenes reflejan al museo en estado normal, continuando con la secuencia es detectado que existe una variación entre las imágenes anteriores a las presentes y con ello se puede detectar la falta de alguna de las pinturas en el museo.

Detección y seguimiento de automóviles: la secuencia de imágenes de un *boulevard* de una gran ciudad, en la cual se puede realizar la detección de los automóviles y seguimiento de los mismos y con ello ayudar al sistema de tránsito, proporcionándoles información de los automóviles que pasan por esa transitada avenida.

Detección de embarcaciones marítimas en la costa: con la secuencia de imágenes enfocadas a la costa, se pueden detectar embarcaciones marítimas y con ello realizar su seguimiento e inclusive en un trabajo futuro inferir sus posibles movimientos.

Hoy en día, existen aplicaciones informáticas que están enfocadas a la detección y seguimiento de objetos como por ejemplo; Video Inteligente Axis el cual su principal objetivo consiste en la videovigilancia del mundo real, por mencionar algunas. Estas aplicaciones son desarrolladas por grandes organizaciones consolidadas en el área de la detección y seguimiento de objetos; a consecuencia de esto, las aplicaciones tienden a tener un elevado costo, por tal motivo la adquisición de éstas resultan difíciles de obtener.

2.4. Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un software que permita, a partir de una secuencia de imágenes, la detección de objetos en movimiento y como consecuencia realizar un seguimiento del objeto durante una trayectoria lineal, con la finalidad de resolver diferentes situaciones enfocadas al área de la

detección y seguimiento de objetos mediante la utilización de conocimientos acerca de la informática, inteligencia artificial y visión por computadora.

Objetivos Específicos

1. Llevar a cabo una investigación exhaustiva sobre proyectos desarrollados con temas similares a la detección y seguimiento de objetos, como producto se debe obtener el estado del arte debidamente elaborado con aquellos que sean de mayor interés para la presente investigación.
2. Tomar varias series de imágenes a diferentes objetos en movimiento con la finalidad de elaborar una base de secuencias de imágenes que sirvan para la fase de pruebas.
3. Detectar que en cada secuencia de imágenes aparezca sólo un objeto en movimiento y su trayectoria debe ser forzosamente en línea recta, no importando el ángulo de dicha trayectoria.
4. Investigar e implementar algunos algoritmos de pre-procesamiento de imágenes, como pueden ser: Escala de grises, Mediana, Binarización, Transformadas de Fourier, con la finalidad de mejorar algunas características de las imágenes a ser utilizadas en la fase de pruebas.
5. Destacar los detalles de interés, una vez pre-procesadas las imágenes someterlas a algún algoritmo de procesamiento de imágenes.
6. Detectar en una secuencia de imágenes un objeto que se encuentre en movimiento, es decir, el software será capaz de detectar aquél objeto que en una imagen se encuentre en un lugar diferente a la posición en la que estaba en la imagen anterior y así sucesivamente.
7. Llevar a cabo el seguimiento de la trayectoria del objeto detectado, hasta que éste se detenga o hasta que salga de la imagen o en su defecto cuando deje de ser visible por causa de algún obstáculo.
8. Escribir los resultados obtenidos en la etapa de pruebas y experimentación, así como comentarios y conclusiones obtenidas a partir de esta etapa.

2.5. Alcances y Límites

Este proyecto consiste en la detección y seguimiento de automóviles; la trayectoria de estos automóviles es en forma lineal, esto quiere decir que no deben tener trayectorias curvas o cambios de dirección impredecibles en la secuencia de las imágenes obtenidas; los automóviles deben ser no flexibles, es decir, durante la secuencia de imágenes no cambiarán su forma original; también serán invariantes en color, en el caso de cambios de tonalidad causados por incidencias de luz o por ausencia de esta misma.

Alcances

El software desarrollado en este proyecto de tesis, cuyo principal objetivo es realizar la detección y seguimiento de automóviles, cuenta con las siguientes características:

- El sistema cuenta con la implementación del módulo de la aplicación de la escala de grises.
- El sistema cuenta con la integración del modulo de la aplicación del método de la mediana.
- El sistema cuenta con la implementación del modulo de la aplicación de método de la binarización.
- El sistema cuenta con la implementación del modulo de la aplicación de los operadores de Sobel.
- El sistema cuenta con la integración del modulo de la aplicación de la detección y seguimiento de objetos.
- El sistema tiene la capacidad de poder abrir desde 2 hasta 1000 imágenes en cada una de las secuencia de imágenes para realizar la correspondiente detección y seguimiento de objetos
- El sistema es capaz de guardar desde 2 hasta 1000 imágenes resultantes de cada uno de los módulos implementado a la secuencia de imágenes originales.
- El sistema es capaz de realizar la detección y seguimiento de un solo objeto en una secuencia de imágenes siempre y cuando las imágenes cumplan con ciertas características establecidas en el siguiente apartado.

Límites

Las imágenes obtenidas que serán procesadas en el software deberán cumplir con los siguientes parámetros:

- La trayectoria de los objetos deberá de ser necesariamente en forma lineal.
- Los objetos a ser detectados deberán ser no flexibles, esto es, no deben tener articulaciones que les permita cambiar su forma visual.
- Durante el proceso de la detección y seguimiento de los objetos, éstos deberán ser invariantes en color, es decir, deben mantener el mismo color durante toda la secuencia de imágenes.
- Cada una de las imágenes pertenecientes a la secuencia total que el software procesará para realizar la detección y seguimiento deberán tener una dimensión igual o menor de 320 pixeles de ancho por 240 pixeles de alto.
- El número de imágenes por cada secuencia puede ir desde 2 hasta las 1000.
- Las imágenes procesadas por el software deberán tener ciertas características, como estar en un ambiente controlado, tanto en el escenario como en la iluminación.

Para que el sistema no cuente con estas limitantes se proponen a continuación posibles soluciones a éstas:

- Investigación e implementación de algoritmos para la detección y seguimiento de objetos con trayectorias no lineales.
- Investigación e implementación de algoritmos para la detección y seguimiento de objetos flexibles.
- Investigación e implementación de algoritmos para la detección y seguimiento de objetos variantes en color.
- Investigación e implementación de algoritmos para la detección y seguimiento de objetos en ambientes no controlados, tanto en el escenario como en la iluminación.

- Para incrementar el número de imágenes que procesará el sistema es necesario tener una máquina con más poder computacional que sea capaz de procesar más de 1000 imágenes por secuencia.
- Las dimensiones de las imágenes fueron establecidas con fines estéticos a la interfaz pero en dado caso las dimensiones pueden ser mayores a las establecidas.

Después de haber establecido los conocimientos disponibles hasta el momento acerca del tema de la detección y seguimiento lineal de objetos y de tener una idea básica de cómo realizar y dar solución a este trabajo de tesis se procederá con el marco teórico en donde se hace la presentación de los métodos y técnicas utilizadas para el desarrollo del presente trabajo de investigación así como la teoría necesaria acerca del tema de la detección y seguimiento lineal de objetos.

CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

La principal función de la percepción visual es aportar de inmediato un marco de referencia de la posición que ocupamos en el espacio, y permite evaluar todo lo que nos rodea de acuerdo a su forma, tamaño y color (Lira 1987), tal marco de referencia es definido como escenas del entorno natural en el que se encuentra el ser humano y estas escenas son representadas por parte del sistema visual como imágenes. El sistema visual está constituido por dos subsistemas básicos; el de la formación de las imágenes, representado por el iris y el cristalino; y el sensor o de registro de imágenes, representado por la retina (Lira 1987). En la figura 3.1 se muestra un esquema del ojo humano.

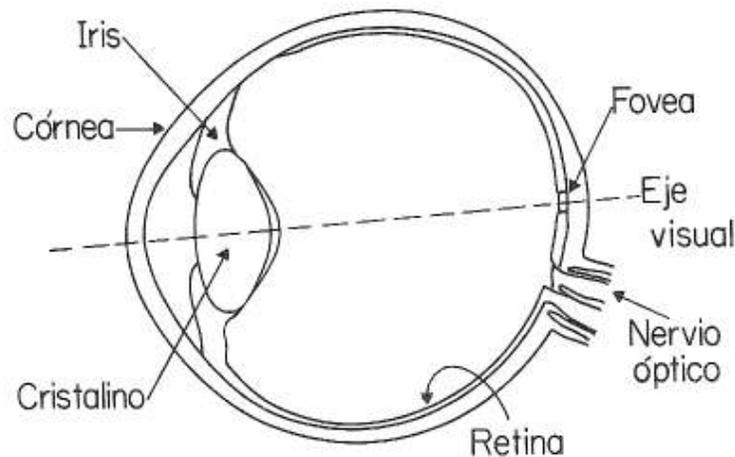


Figura 3.1. Estructura del ojo humano como sensor remoto natural para la formación y captura de imágenes (Lira 1987).

3.1. Percepción Visual

La percepción visual consta de cinco diferentes etapas, según (Lira 1987).

- Formación de imágenes: a través de los dispositivos de captura de la intensidad luminosa, se obtiene una o más imágenes digitales.
- Pre-procesamiento: las imágenes digitales captadas a veces necesitan un procesamiento previo, con el fin de mejorar la calidad de las mismas. Para ello se utilizan técnicas tales como: realzado, suavizado, etc.
- Segmentación: de las imágenes previamente tratadas se extrae la información subyacente, tal como bordes y regiones.
- Extracción de características: obtención de propiedades que identifiquen cada una de las estructuras anteriores (bordes y regiones) de forma unívoca.
- Representación y conocimiento: en esta fase se realiza la percepción propiamente dicha, bien utilizando técnicas de aprendizaje o bien formando una composición tridimensional de la escena.

En la actualidad se considera frecuentemente óptica, al estudio y manejo de las imágenes digitales (Malacara 1989), y ésta misma se encuentra dividida en diferentes ramas, una de las más importantes es el procesamiento de imágenes, la cual ha evolucionado de una manera significativa gracias al avance tecnológico de las computadoras digitales, podemos remontarnos a cuando se hicieron los primeros programas espaciales, desde 1964 en donde se utilizaron técnicas de computadora en el Jet Propulsion Laboratory para mejorar las imágenes de la Luna enviadas por la sonda espacial Ranger 7 (Pajares Martinsanz & de la Cruz García 2008).

Uno de los principales objetivos de este trabajo de tesis es el procesamiento de imágenes, para esto se tiene que entender cada uno de los términos.

En primer lugar una imagen es el resultado de la composición de una componente de iluminación que incide sobre la escena y una componente de reflectancia, que se corresponde con la luz reflejada por los objetos. Ambas componentes forman lo que se conoce como intensidad (Pajares Martinsanz & Santos Peñas 2006). Como segundo lugar la definición de procesamiento consiste en someter datos o materiales a una serie de operaciones programadas (Diccionario de la lengua española 1997). Una vez ya establecidos estos términos se puede definir que el procesamiento de imágenes tiene como objetivo mejorar el aspecto de las imágenes y hacer más evidentes en ellas ciertos detalles que se desean hacer notar (Malacara 1989).

El procesamiento digital de imágenes se efectúa generalmente en los tres pasos siguientes (Malacara 1989):

1. Dividir la imagen en un arreglo rectangular de elementos. Cada elemento de la imagen así dividida se conoce con el nombre de pixel.
2. Asignar un valor numérico a la luminosidad promedio de cada pixel. Así, los valores de la luminosidad de cada pixel, con sus coordenadas que indican su posición, definen completamente la imagen. Todos estos números se almacenan en la memoria de la computadora.

- Alterar los valores de la luminosidad de los píxeles mediante las operaciones o transformaciones matemáticas necesarias, a fin de hacer que resalten los detalles de la imagen que sean convenientes.

En el siguiente apartado se da una breve explicación de cada una de las transformaciones matemáticas que se realizaron en este trabajo de tesis.

3.2. Escala de Grises

Las imágenes en modo escala de grises emplean hasta 256 matices de gris. Esto se consigue con 256 niveles diferentes de brillo. Cada píxel de una imagen en escala de grises tiene un valor de brillo que oscila entre 0 (negro) y 255 (blanco). Los valores de la escala de grises también pueden medirse como porcentajes de cobertura de tinta negra (0% equivale blanco y 100% equivale negro) (Sánchez Maza 2001).

Una forma de convertir una imagen a color en escala de grises es, obtener cada uno de los tres diferentes valores de color que componen a un píxel los cuales son rojo, verde y azul. Una vez obtenidos estos valores son promediados y el resultado obtenido es asignado al píxel.

En la figura 3.2 se muestran los resultados de la aplicación de la escala de grises a una imagen en escala de grises.



(a)



(b)

Figura 3.2. Aplicación de la escala de grises a una imagen de entrada. (a) Imagen de entrada a color, (b) Imagen de salida después de la aplicación de la escala de grises.

3.3. Filtro de la Mediana

La mediana M , de un conjunto de valores es tal que la mitad de los valores del conjunto son menores que M y la mitad de los valores son mayores que M . Con el objeto de realizar un filtrado de la mediana en el entorno de la vecindad, se ordenan las intensidades de ésta, se determina la mediana y se asigna esta última a la intensidad del pixel. Por ejemplo, en un entorno de vecindad 3×3 la mediana es el quinto valor más grande, en un entorno de 5×5 la mediana es el decimo tercer valor más grande, y así sucesivamente (Pajares Martinsanz & de la Cruz García 2008).

La principal función del filtrado de la mediana es hacer que los puntos con intensidades muy distintas se hagan muy parecidos a sus vecinos, eliminando así los picos de intensidad que aparezcan aislados en el área de la máscara de filtro (Pajares Martinsanz & de la Cruz García 2008).

En la figura 3.3 se muestra el resultado del filtrado de la mediana a una imagen en escala de grises.



Figura 3.3. Aplicación del filtro de la mediana a una imagen de entrada. (a) Imagen de entrada en escala de grises, (b) Imagen de salida después de la aplicación del filtrado de la mediana.

3.4. Binarización

El uso de los umbrales en el tratamiento de imágenes constituye una de las principales técnicas en los sistemas de visión industrial para la detección de objetos, especialmente en aplicaciones que requieren procesar una cantidad elevada de datos (Pajares Martinsanz & de la Cruz García 2008).

Suponiendo que el histograma de intensidad mostrado en la figura 3.4a corresponde a una imagen $f(x, y)$ compuesta por objetos claros sobre un fondo oscuro, teniendo los píxeles del objeto y del entorno intensidades agrupadas en dos tonos dominantes. Una forma obvia de extraer los objetos del entorno es seleccionar un nivel T que separe los dos tonos de intensidad. De esta forma, un píxel (x, y) para el cual $f(x, y) > T$ será un píxel del objeto; en caso contrario, el punto será del entorno. En la figura 3.4b se muestra un caso ligeramente más general del uso de esta técnica. Ahora, si el histograma se caracteriza por tres modos dominantes (por ejemplo dos tipos de objetos sobre un fondo oscuro). El proceso será similar: se clasificará un punto como perteneciente a una de las clases de objetos si $T_1 < f(x, y) \leq T_2$, a la otra clase de objeto si $f(x, y) > T_2$ y al entorno si $f(x, y) \leq T_1$ (Pajares Martinsanz & de la Cruz García 2008).

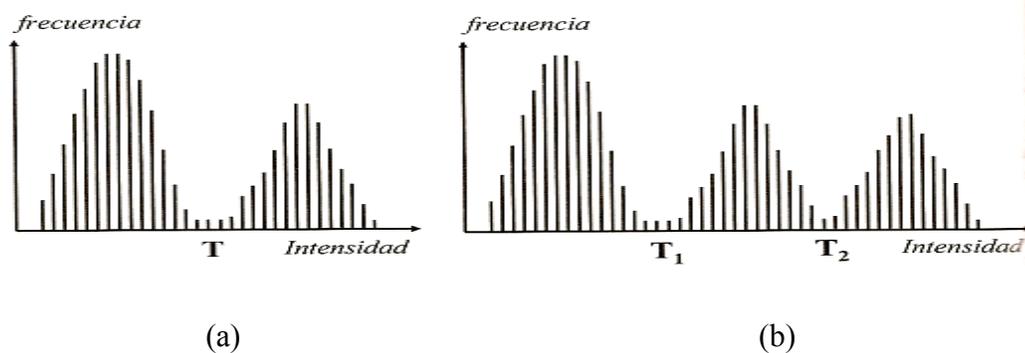


Figura 3.4. Visualización de histogramas de intensidad. (a) Umbral único, (b) Umbrales múltiples.

En la figura 3.5 se muestran los resultados de la binarización a una imagen en escala de grises.



(a)



(b)

Figura 3.5. Aplicación de la binarización a una imagen de entrada. (a) Imagen de entrada en escala de grises, (b) Imagen de salida después de aplicar la binarización.

3.5. Operadores de Sobel

Los operadores gradiente en general tienen el efecto de magnificar el ruido subyacente en la imagen, tanto los operadores de Sobel como el resto de los operadores de vecindad tienen la propiedad añadida de suavizar la imagen, eliminando parte del ruido y por consiguiente, minimiza la aparición de falsos bordes debido al efecto de magnificación del ruido por parte de los operadores derivada (Pajares Martinsanz & de la Cruz García 2008).

A partir de la figura 3.6 las derivadas basadas en los operadores de Sobel son (Pajares Martinsanz & de la Cruz García 2008):

(1)

(2)

Donde los distintos valores de Z en la región de la figura 3.6a son los niveles de gris de los pixeles solapados por las máscaras en cualquier localización de la imagen. Para obtener los valores de los componentes del vector gradiente en el punto definido por el pixel central de la región se utilizan las ecuaciones 1 con lo que la magnitud y el ángulo se pueden obtener a partir de las ecuaciones 3, 4 y 5, Es decir, se obtiene un valor del gradiente en dicho punto (Pajares Martinsanz & de la Cruz García 2008).

$$|G| = \sqrt{Gx^2 + Gy^2} \quad (3)$$

$$\phi(x, y) = \tan^{-1} \frac{Gy}{Gx} \quad (4)$$

$$|G| \approx |Gx| + |Gy| \quad (5)$$

Para obtener el siguiente valor, las máscaras se mueven a la siguiente posición del nuevo pixel y se repite el proceso, después de haber barrido todas las posibles posiciones, el resultado es una imagen gradiente. Es preciso tener en cuenta que en los bordes de la imagen los valores de gradiente no se pueden calcular por sobrepasar las máscaras la propia imagen (Pajares Martinsanz & de la Cruz García 2008).

$$\begin{bmatrix} Z1 & Z2 & Z3 \\ Z4 & Z5 & Z6 \\ Z7 & Z8 & Z9 \end{bmatrix}$$

(a)

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

(b)

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

(c)

Figura 3.6. Representación de mascarar denominadas operadores de Sobel. (a) región de la imagen de dimensión de 3×3 , (b) Máscara usada para obtener Gx en el punto central de la región 3×3 , (c) Máscara usada para obtener Gy en el mismo punto. Estas máscaras se denominan operadores de Sobel (Pajares Martinsanz & de la Cruz García 2008).

A continuación se muestran los resultados de los operadores de Sobel aplicados a una imagen en escala de grises (Fig. 3.7):



Figura 3.7. Aplicación de los operadores de Sobel a una imagen de entrada. (a) Imagen de entrada en escala de grises, (b) Imagen de salida bordes extraídos después de la aplicación de los operadores de Sobel.

3.6. Resta de Imágenes

Una de las principales operaciones aritméticas usadas en el procesamiento de imágenes es la resta de las imágenes. Cabe aclarar que para realizar esta operación aritmética todas las imágenes de la secuencia deben de ser del mismo tamaño con el fin de realizar con éxito la resta de las imágenes de la secuencia (Esqueda Elizondo & Palafox Maetre 2005).

La resta de imágenes consiste en restar de una imagen el valor correspondiente de otra imagen. La resta de imágenes, al igual que otros operadores aritméticos, requiere que ambas imágenes sean de igual tamaño. En sí, se puede determinar la ecuación de la resta de imágenes de la forma siguiente (Esqueda Elizondo & Palafox Maetre 2005):

$$C(x,y) = A(x,y) - B(x,y) \quad (6)$$

CAPÍTULO 4. DESARROLLO DEL TEMA

A continuación se aborda el análisis, diseño e implementación del sistema desarrollado en este trabajo de tesis.

4.1. Análisis

El sistema desarrollado en este trabajo de tesis que consiste en un software que permite, a partir de una secuencia de imágenes, la detección de objetos en movimiento y como consecuencia realizar el seguimiento de un objeto durante una trayectoria lineal, se consideran 7 módulos en el desarrollo del sistema:

- Adquisición de imágenes
- Aplicación de la escala de grises

- Aplicación del Filtro de la mediana
- Aplicación de la binarización
- Aplicación de los operadores de Sobel
- Detección y seguimiento
- Interfaz gráfica de usuario (GUI)

A continuación se presenta un diagrama general del sistema implementando los 7 módulos planteados anteriormente (Fig. 4.1):

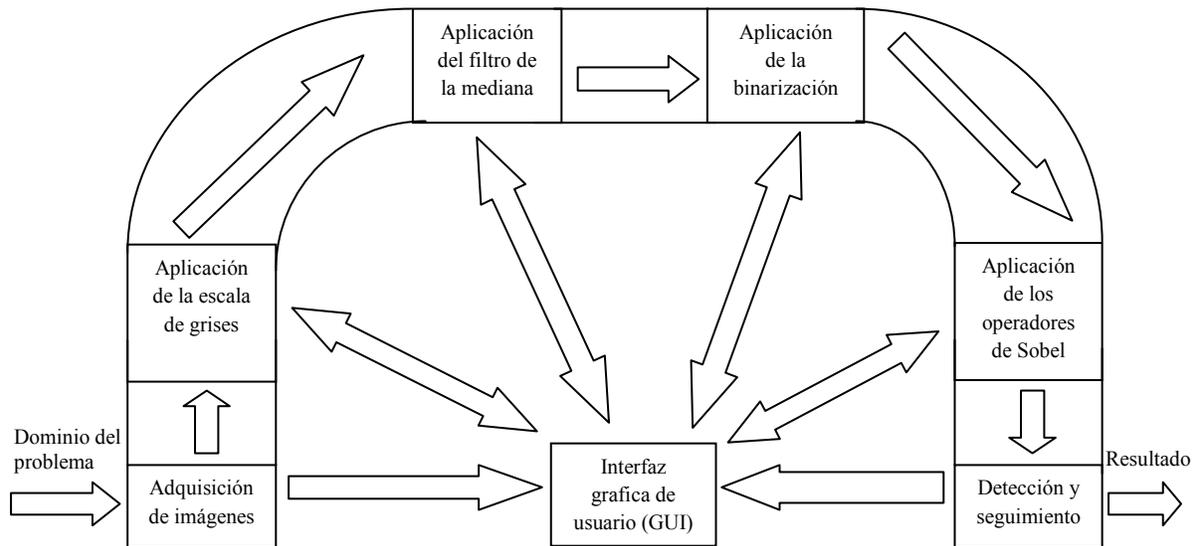


Figura 4.1. Diagrama general del sistema desarrollado.

4.2. Diseño

A continuación se describirán cada uno de los módulos que integran el diagrama general del sistema desarrollado:

Adquisición de imágenes

El módulo de adquisición de imágenes tiene por objetivo obtener la secuencia de imágenes a la que se desea realizar la detección y seguimiento del objeto, el usuario da la ubicación exacta de la localización de la secuencia de imágenes para que el módulo proceda a cargar cada una de las imágenes de la secuencia con el objetivo de enviarlas a visualizar en la interfaz gráfica de usuario.

Nota: Cada una de las imágenes de la secuencia deberá de cumplir con las características planteadas en el capítulo 2.6. Alcances y Límites.

Aplicación de la escala de grises

Una vez obtenida y enviada la secuencia de imágenes a la interfaz gráfica de usuario en el módulo anterior, el módulo de la aplicación de la escala de grises adquiere cada una de las imágenes de la secuencia y realiza el respectivo método de conversión a escala de grises, una vez realizado este método cada una de las imágenes resultantes de la secuencia son enviadas a la interfaz gráfica de usuario para la aplicación del siguiente método.

Aplicación del Filtro de la mediana

Se tiene cada una de las imágenes de la secuencia en escala de grises visualizadas en la interfaz gráfica de usuario, estas son adquiridas por el módulo del filtro de la mediana el cual aplicará a cada una de las imágenes de la secuencia el método de la mediana, una vez realizado, las imágenes resultantes son enviadas a la interfaz gráfica de usuario para la aplicación del siguiente método.

Aplicación de la binarización

A continuación se tiene la secuencia de imágenes bajo el efecto del filtro de la mediana en la interfaz gráfica de usuario de esta forma ahora son obtenidas por el proceso de la

binarización que se encargará de aplicar la método de la binarización a cada una de las imágenes de la secuencia, después de haber aplicado este método son enviadas a visualizar al módulo de la interfaz gráfica de usuario para la aplicación del siguiente método.

Aplicación de los operadores de Sobel

Las imágenes resultantes del método de binarización que se encuentran en la interfaz gráfica de usuario son adquiridas por la etapa de aplicación de los operadores de Sobel, a cada una de estas imágenes se les aplica el método Sobel con la finalidad de realizar la detección de los contornos, una vez realizado este método las imágenes resultantes son enviadas a visualizar a la interfaz gráfica de usuario para la aplicación del siguiente método.

Detección y seguimiento

Se tiene la secuencia de imágenes después de la aplicación del método de Sobel, estas mismas se obtienen de la interfaz gráfica de usuario para el módulo de la detección y seguimiento que consiste en un análisis cuadro a cuadro entre la primera imagen de la secuencia contra cada una de las demás imágenes restantes de la secuencia con el objetivo de detectar y realizar el seguimiento del objeto, una vez realizado el análisis cuadro a cuadro, las imágenes resultantes son enviadas a visualizar a la interfaz gráfica de usuario.

Interfaz gráfica de usuario (GUI)

La interfaz gráfica de usuario tiene dos principios funciones la primera consiste en recibir y presentar los resultados obtenidos por cada módulo del sistema, y como segunda función es la de enviar a los módulos solicitantes la información de cada una de las imágenes para así poder llevar a cabo sus tareas correspondientes.

4.3 Implementación

Para la implementación del sistema desarrollado en este trabajo de tesis se utilizó una computadora con las siguientes características:

- Memoria RAM: 512 MB
- Velocidad de procesador: 1.47 GHz
- Resolución de pantalla: 1024 por 768 píxeles.
- Sistema operativo: Windows XP.

El entorno de desarrollo en donde se desarrolló este proyecto de tesis fue Borland C++ Builder 5.0, el cual es un potente desarrollador de aplicaciones para Windows.

4.4. Pruebas y Resultados

A continuación se realizan y documentan las pruebas al sistema desarrollado para así poder medir la efectividad del mismo y con ello determinar los resultados ante las pruebas aplicadas.

Cabe mencionar que en el caso de prueba que aquí se explica sólo se aprecian 6 imágenes de la secuencia general de N posibles imágenes, con fines estéticos para la presentación del presente documento, sin embargo, en los anexos se pueden ver todas las imágenes que se utilizaron en cada uno de los casos de prueba. Para los casos de prueba se tomaron imágenes con 3 tipos de cámaras, por cual se consideró para la estructura del presente trabajo la clasificación de los casos por tipo de cámara.

Se realizaron tomas de secuencias de imágenes con tres tipos diferentes de cámaras para los casos de prueba del sistema desarrollado, se da una breve descripción de sus especificaciones.

Las secuencias de imágenes utilizadas para los casos de prueba 1 y 2 fueron capturadas con una cámara web de visión nocturna de la empresa Acteck con un sensor SXVGA 2560 x 2048 de alta calidad de 2.0 Mega Pixeles, para obtener imágenes con una resolución de hasta 1600 x 1200 pixeles.

Las secuencias de imágenes utilizadas para los casos de prueba 3, 4 y 5, a las cuales se realizará la detección y seguimiento del objeto, fueron capturados con una Webcam integrada a una computadora personal XPS M1330 de la empresa Creative Technology Ltd. con una resolución de 2.0 Mega Píxeles.

Las secuencias de imágenes con las que se realizó la detección y seguimiento del objeto para los casos de prueba 6, 7 y 8, fueron capturados con una cámara digital Kodak Easyshare Z1012 que cuenta con un objetivo óptico de 12 aumentos, sensor CCD de $\frac{1}{2}$, 33 pulgadas y con una resolución de 10.1 Mega Píxeles.

A continuación se presentan las pruebas realizadas al sistema, así como los resultados obtenidos:

4.4.1. Cámara Web de Visión Nocturna de la Empresa Acteck

4.4.1.1. Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)

Las imágenes para este caso fueron tomadas durante el periodo de la madrugada en un cuarto iluminado con luz artificial, de fondo se tenía una cartulina de color blanca y como objeto un automóvil de juguete de color negro.

4.4.1.1.1. Aplicación de la escala de grises a la secuencia de imágenes originales

En este apartado se realiza la aplicación de la escala de grises a una secuencia de imágenes de entrada (Fig. 4.2), en donde se puede visualizar un automóvil de color negro desplazándose en cada una de las imágenes de la secuencia y con una dimensión de llantas considerablemente grandes con respecto a la estructura del automóvil. El fondo de cada una de las imágenes es de color blanco con la finalidad de realizar el contraste con respecto al automóvil, cabe mencionar que estas imágenes fueron tomadas de noche con el objetivo de disminuir un poco los problemas de luminosidad que pudieran presentarse en la secuencia de imágenes.

Para la aplicación de la escala de grises a una secuencia de imágenes se obtuvieron varias imágenes en un ambiente controlado, esto quiere decir que el entorno de las imágenes son manipuladas por el ser humano con el fin de obtener mejores resultados, las características de esta secuencia de imágenes se pueden ver en la figura 4.2:

- Se localiza un automóvil de color negro en posiciones diferentes en cada una de las imágenes de la secuencia, con lo que se obtiene un efecto de desplazamiento.
- El fondo de la imagen es contrastada con respecto al color del automóvil que se encuentra desplazándose en la secuencia de imágenes.
- El automóvil es completamente negro sin ninguna incrustación de otro tipo de color que pueda ocasionar ruido durante la detección y seguimiento del objeto.

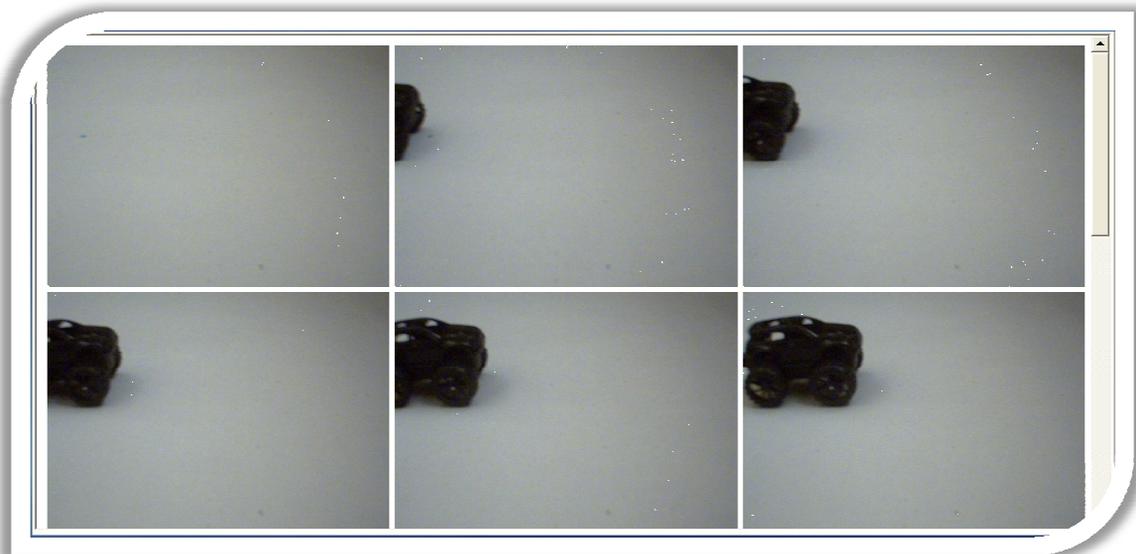


Figura 4.2. Prueba 1 imágenes de entrada para la aplicación de la escala de grises.

Una vez cargada la secuencia de imágenes originales se realiza la correspondiente aplicación de la escala de grises mediante la opción “Procesos aplicados → Escala de grises”. Como resultado de la aplicación de la escala de grises se obtiene la secuencia de imágenes que se muestra en la figura 4.3.

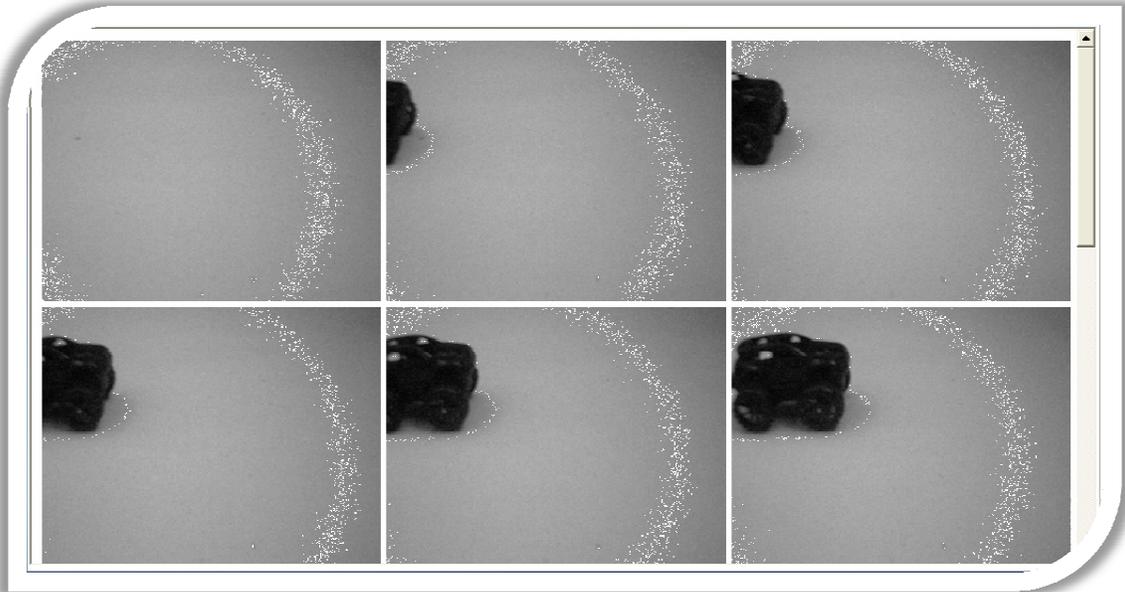


Figura 4.3. Prueba 1 imágenes de salida después de la aplicación de la escala de grises.

Para ver todas las imágenes utilizadas ver el anexo A en la sección A.1. Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)

4.4.1.1.2. Aplicación del filtro de la mediana a la secuencia de imágenes en escala de grises

Una vez realizada la conversión a escala de grises, se utiliza la secuencia de imágenes resultantes con el fin de aplicar el correspondiente filtro de la mediana, esta secuencia de imágenes cuenta con el mismo automóvil y el mismo fondo ambos elementos se encuentra en tonalidades de escala de grises a diferencia de la secuencia de imágenes originales.

La aplicación del filtro de la mediana a una secuencia de imágenes en escala de grises tiene la finalidad de eliminar el ruido que se presente en cada una de las imágenes de la secuencia, entre las principales características que se encuentran en la secuencia de imágenes en escala de grises son las siguientes (Fig. 4.3):

- Se localiza el automóvil de color negro en tonalidades de escala de grises desplazándose en cada una de las imágenes de la secuencia.

- El fondo de la imagen también se encuentra en tonalidades de escala de grises en la secuencia de imágenes.
- Las imágenes cuentan con indicios de ruido, provocado por una ligera diferencia en la iluminación del fondo, que pueden causar fallas durante la detección y seguimiento de objetos.

A continuación se aplica el filtro de la mediana a la secuencia de imágenes en escala de grises mediante la opción “Procesos aplicados → Mediana”. Como resultado de la aplicación del filtro de la mediana se obtiene la secuencia de imágenes que se muestra en la figura 4.4.

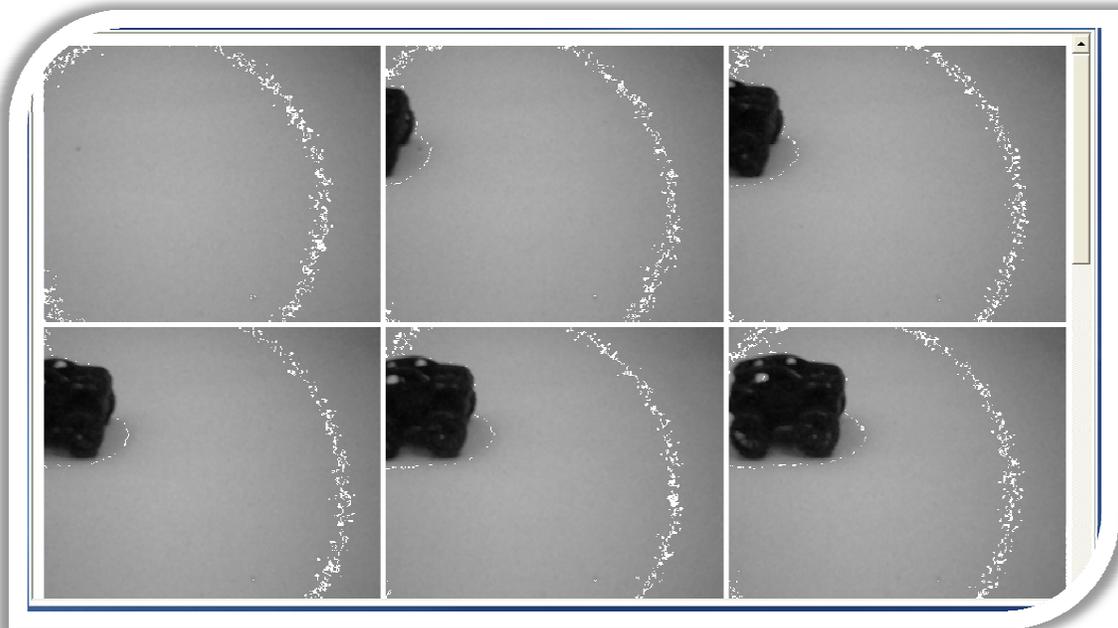


Figura 4.4. Prueba 1 imágenes de salida después de la aplicación del filtro de la mediana a las imágenes en escala de grises.

Cabe señalar que el cambio entre la figura 4.3 y la figura 4.4, para este caso puede ser casi imperceptible, sin embargo, se obtienen algunos cambios en los valores de algunos píxeles.

4.4.1.1.3. Aplicación del filtro de binarización a la secuencia de imágenes resultantes de la aplicación del filtro de la mediana

Después de haber realizado el punto 4.4.1.1.2 se procede a realizar la aplicación del filtro de binarización a las imágenes resultantes de la aplicación del filtro de la mediana, en esta secuencia de imágenes se localiza el mismo automóvil en escala de grises desplazándose en las imágenes de la secuencia con el mismo fondo, a diferencia de las imágenes resultantes del apartado 4.4.1.1.1 estas imágenes cuentan con la eliminación del ruido gracias a la aplicación del filtro de la mediana.

La aplicación del filtro de binarización a la secuencia de imágenes resultantes del apartado anterior tiene como finalidad dejar cada una de las imágenes en dos tonalidades de color, para este ejemplo, blanco y negro; para con ello poder realizar la correcta detección de bordes con los operadores de Sobel que se aplicarán posteriormente, esta misma secuencia de imágenes cuenta con las siguientes características (Fig. 4.4):

- Se localiza el automóvil de color negro con su respectiva eliminación de ruido, desplazándose en cada una de las imágenes de la secuencia.
- El fondo de la imagen ahora ya no muestra el ruido que se puede presentar en cada una de las imágenes de la secuencia.
- Las imágenes ya no cuentan con ningún indicio de ruido que pueda causar fallas durante la detección y seguimiento del objeto.

A la secuencia de imágenes obtenidas se le realiza la correspondiente aplicación del filtro de binarización mediante la opción de “Procesos aplicados → Binarización” como resultado de la aplicación de la binarización se obtendrá la secuencia de imágenes que se muestran en la figura 4.5.

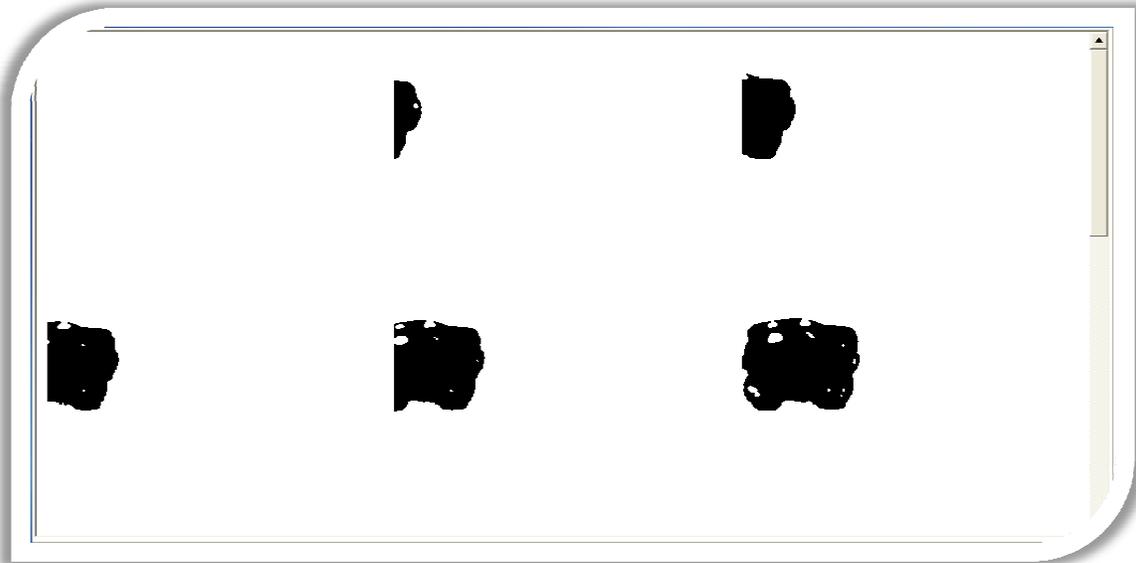


Figura 4.5. Prueba 1 imágenes de salida después de la aplicación del filtro de binarización.

4.4.1.1.4. Aplicación de los operadores de Sobel a la secuencia de imágenes resultantes de la aplicación del filtro de binarización

Después de haber realizado el apartado 4.4.1.1.3 se procede a realizar la aplicación del filtro de Sobel a las imágenes resultantes de la aplicación del filtro de binarización, en esta secuencia de imágenes se localiza el mismo automóvil en color negro desplazándose en las imágenes de la secuencia y también el mismo fondo pero en color blanco.

La aplicación del filtro de Sobel a la secuencia de imágenes resultantes del apartado anterior tiene como finalidad el realizar la correcta detección de bordes, esta misma secuencia de imágenes cuenta con las siguientes características (Fig. 4.5):

- Se localiza el automóvil completamente de color negro desplazándose en cada una de las imágenes de la secuencia.
- El fondo de la imagen es completamente de color blanco en cada una de las imágenes de la secuencia.
- Ahora se cuenta solamente con dos elementos en las imágenes, un coche completamente negro y un fondo blanco.

A la secuencia de imágenes obtenidas se le realiza la correspondiente aplicación de los operadores de Sobel mediante la opción de “Procesos aplicados → Sobel” como resultado de la aplicación de estos operadores se obtendrá la secuencia de imágenes que se muestra en la figura 4.6.

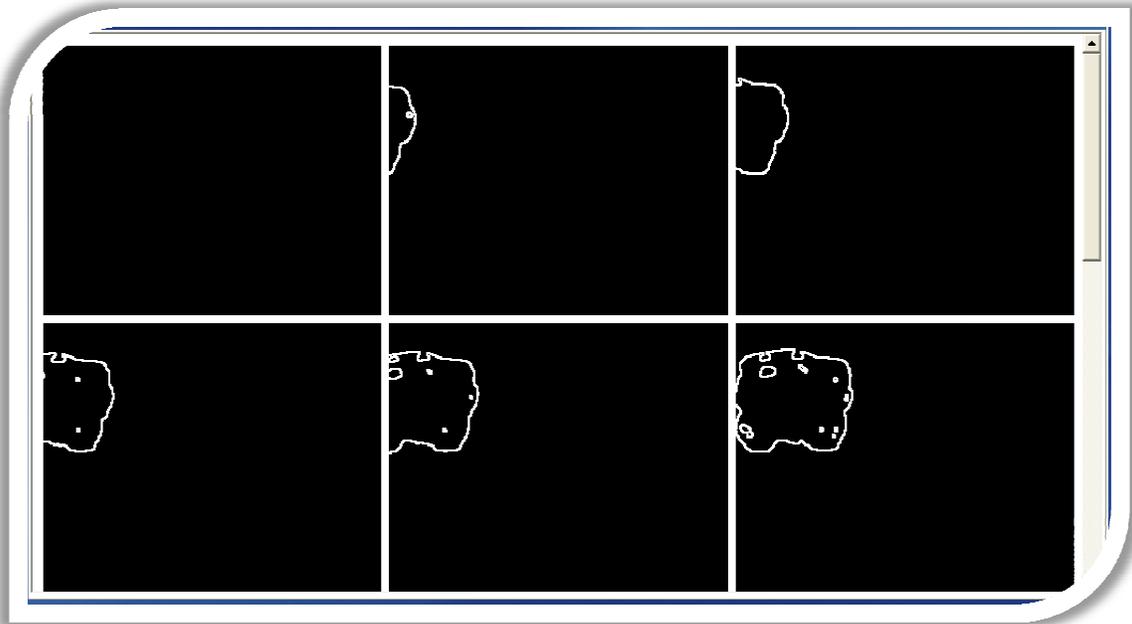


Figura 4.6. Prueba 1 imágenes de salida como resultado de la aplicación del operador de Sobel.

4.4.1.1.5. Aplicación de la detección y seguimiento de los objetos a la secuencia de imágenes resultantes de la aplicación de los operadores de Sobel

Después de haber realizado el apartado 4.4.1.1.4 se procede a realizar la detección y seguimiento de los objetos aplicando el procedimiento de la resta de la imágenes a las imágenes resultantes de la aplicación de los operadores de Sobel, en esta secuencia de imágenes se localiza el automóvil, pero solamente se visualizan los bordes del mismo desplazándose en las imágenes de la secuencia y también se cuenta con el fondo pero en color negro.

La aplicación de la detección y seguimiento de los objetos a la secuencia de imágenes resultantes del apartado anterior tiene como finalidad realizar la correcta detección y seguimiento de los objetos, esta misma secuencia de imágenes cuenta con las siguientes características (Fig. 4.6):

- Se localiza solamente los bordes del automóvil desplazándose en cada una de las imágenes de la secuencia.
- El fondo de la imagen es completamente de color negro en cada una de las imágenes de la secuencia.
- En la figura 4.6 solamente se visualiza los bordes de color blanco del automóvil en la secuencia de imágenes.

A la secuencia de imágenes obtenidas se le realiza la correspondiente aplicación de la detección y seguimiento mediante la opción de “Procesos aplicados → Detección y seguimiento” como resultado de la aplicación de esta acción se obtendrá la secuencia de imágenes que se muestran en la figura 4.7.

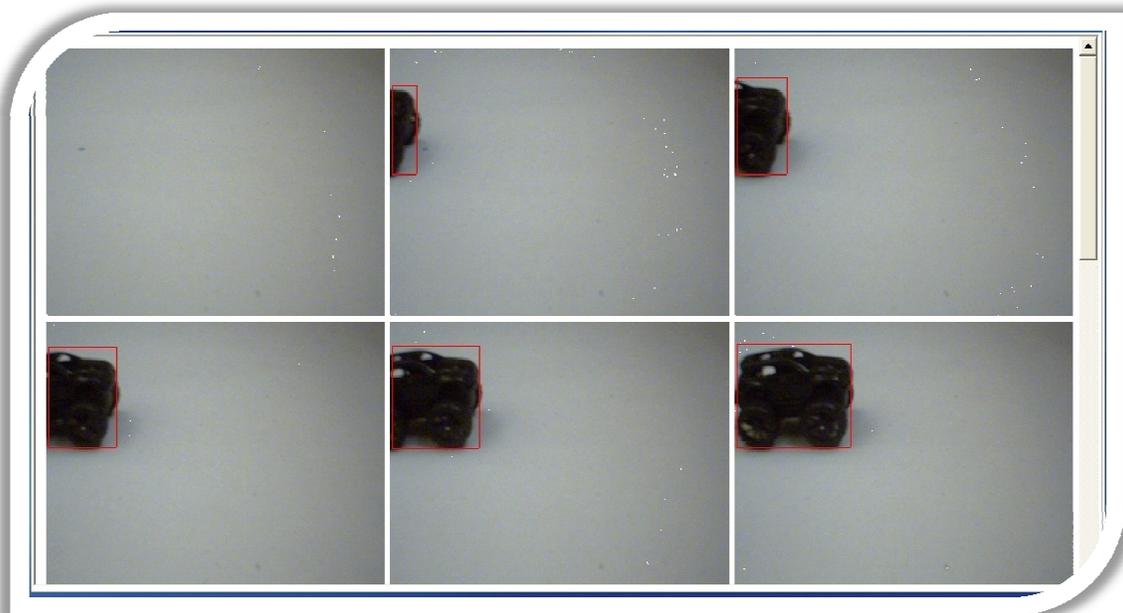


Figura 4.7. Prueba 1 resultado final de aplicar la detección y seguimiento del objeto.

Para apreciar la detección y seguimiento del objeto se colocó un polígono de cuatro lados en color rojo, a partir de los resultados obtenidos. Como resultados obtenidos para este caso, se puede determinar una efectividad del 100% y un porcentaje de error del 0%, en un tiempo de ejecución de 40.8 segundos.

El criterio para el cálculo del error se tomo con base en el área de los objetos rodeados por el polígono de color rojo, respecto al objeto en su totalidad.

Como los procedimientos en el sistema para cada uno de los casos de prueba es el mismo, sólo se muestran a continuación los resultados obtenidos en cada uno de los ocho casos de prueba y en la tabla 4.1 se indican los resultados más sobresalientes que se obtuvieron en cada una de las pruebas.

4.5. Resultados de los Casos de Prueba

A continuación se da una breve descripción de las pruebas realizadas al sistema y de igual forma se indica el resultado obtenido en cada caso.

Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)

Para esta prueba al sistema, se realizó una secuencia de imágenes con un automóvil de juguete de color negro desplazándose en sentido de izquierda a derecha sobre una cartulina blanca con el fin de realizar el contraste entre el fondo y objeto (automóvil). Por los resultados obtenidos en la aplicación de la detección y seguimiento del objeto se puede determinar que el desempeño del sistema es bueno, ya que tiene un porcentaje de efectividad del 100% y un porcentaje de error del 0%. El tiempo en que fue realizado la detección y seguimiento del objeto fue de 40.8 segundos.

Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris)

Para esta prueba realizada al sistema, se realizó una secuencia de imágenes con un automóvil de juguete de color negro y como fondo el piso de la sala de cómputo C de la Universidad del Mar campus Puerto Escondido, con la finalidad de conocer el rendimiento del sistema bajo estos ambientes. Se puede determinar gracias a los resultados arrojados por parte del sistema que la efectividad del mismo es buena en estos tipos de casos teniendo una efectividad del 100% y un porcentaje de error del 0%. Todo este proceso fue realizado en un tiempo de 51.6 segundos.

Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris

Para la prueba realizada al sistema para este caso se tuvo que localizar una pared sin ningún tipo de *graffiti* o mancha que pueda ocasionar problemas con la detección y seguimiento de los objetos, todo esto con la finalidad de conocer el rendimiento del sistema bajo estos ambientes. Se puede determinar gracias a los resultados arrojados por parte del sistema que la efectividad del mismo es buena en estos tipos de casos teniendo una efectividad del 99.5% y un porcentaje de error del 0.5% debido a que quedan zonas muy pequeñas del automóvil sin detectar mucho menor que los casos anteriores. El proceso fue realizado en un tiempo de 40.8 segundos.

Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris

El sistema no fue desarrollado para realizar la detección y seguimiento de las personas pero en dado caso que se deseara aplicar este sistema para estos tipos de casos el sistema funcionaría de una forma satisfactoria. Por ejemplo, en este caso se tuvo que localizar una pared sin ningún tipo de *graffiti* o mancha que pueda ocasionar problemas con la detección y seguimiento de los objetos y como objeto a una persona vestida de color negro para realizar el contrastes con la pared, todo esto con la finalidad de conocer el rendimiento del sistema bajo estos tipos de ambientes. Se puede determinar gracias a los resultados arrojados en un tiempo de procesamiento de 50.3 segundos por parte del sistema que la

efectividad del mismo es buena en estos tipos de casos también teniendo una efectividad del 99.5% y un porcentaje de error del 0.5% debido a que quedan zonas muy pequeñas de la persona sin detectar.

Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle

DELIMO fue realizado especialmente para la detección y seguimiento de los automóviles pero si en dado caso se desea aplicar a la detección y seguimiento de los animales el sistema para estos tipos de casos funcionaria de forma satisfactoria; claro ejemplo es este caso, en donde se visualiza una calle real y como objeto un perro de color café desplazándose de derecha a izquierda en la secuencia. Para este caso de prueba se puede determinar gracias a los resultados arrojados en un tiempo de 31.3 segundos por parte del sistema que la efectividad del mismo es regular en estos tipos de casos teniendo una efectividad del 58.9% y un porcentaje de error del 41.1% debido a que el sistema no detecta algunas partes del animal en cuestión como por ejemplo su cola y sus patas.

Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle

En este caso se realizó una secuencia de imágenes en una calle perteneciente a la ciudad de Cuernavaca, Morelos en donde el fondo de la imagen es una calle real con basura, tierra, entre otros elementos y como objeto una camioneta de color rojo desplazándose de derecha a izquierda en la secuencia, todo esto con la finalidad de conocer el rendimiento del sistema bajo estos ambientes. Se puede determinar gracias a los resultados arrojados en un tiempo de 20.2 segundos por parte del sistema que la efectividad del mismo es buena en estos tipos de casos teniendo una efectividad del 87.2% y un porcentaje de error del 12.8% debido a que también igual que casos anteriores el sistema deja zonas muy pequeñas sin detectar.

Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle

En este caso también se realizó una secuencia de imágenes en una calle perteneciente a la ciudad de Cuernavaca, Morelos en donde el fondo de la imagen es una calle común y corriente con basura, tierra, entre otros elementos y como objeto una camioneta de color gris desplazándose de derecha a izquierda en la secuencia, todo esto con la finalidad de conocer el rendimiento del sistema bajo estos ambientes. Se puede determinar gracias a los resultados arrojados en un tiempo de 37.7 segundos por parte del sistema que la efectividad del mismo es buena en estos tipos de casos teniendo una efectividad del 86.9% y un porcentaje de error del 13.1% debido a que el sistema deja zonas sin detectar a consecuencia de la confusión del color del fondo con partes de color de la camioneta.

Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle

En este caso también se realizó una secuencia de imágenes en una calle perteneciente a la ciudad de Cuernavaca, Morelos en donde el fondo de la imagen es una calle común y corriente con basura, tierra, entre otros elementos y como objeto un automóvil de color blanco desplazándose de derecha a izquierda en la secuencia, todo esto con la finalidad de conocer el rendimiento del sistema bajo estos ambientes. Se puede determinar gracias a los resultados arrojados en un tiempo de 27.4 segundos por parte del sistema que la efectividad del mismo es buena en estos tipos de casos teniendo una efectividad del 92.6% y un porcentaje de error del 7.4% debido a que el sistema deja zonas sin detectar a consecuencia de la sombra del automóvil la cual es detectada por el sistema y este es un problema común en el área de la detección y seguimiento de objetos.

A continuación se muestra en la tabla 4.1 el concentrado de los casos de prueba, para una mayor apreciación de los resultados y sus principales características.

Tabla 4.1. Resultado de los casos de prueba aplicados a DELIMO.

| Caso | Objeto de interés | Fondo | Número de imágenes | Tiempo de ejecución | Porcentaje de efectividad | Porcentaje de error | Ambiente |
|-------------|--------------------------|--------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------|
| 1 | Automóvil negro | blanco | 12 | 40.8 seg. | 100% | 0% | Controlado |
| 2 | Automóvil negro | Gris | 12 | 51.6 seg. | 100% | 0% | Controlado |
| 3 | Automóvil azul | Una pared | 12 | 40.8 seg. | 99.5% | 0.5% | Controlado |
| 4 | Persona de negro | Una pared | 12 | 50.3 seg. | 99.5% | 0.5% | Controlado |
| 5 | Perro café | Una calle | 10 | 31.3 seg. | 58.9% | 41.1% | No controlado |
| 6 | Camioneta roja | Una calle | 6 | 20.2 seg. | 87.2% | 12.8% | No controlado |
| 7 | Camioneta gris | Una calle | 12 | 37.7 seg. | 86.9% | 13.1% | No controlado |
| 8 | Automóvil blanco | Una calle | 8 | 27.4 seg. | 92.6% | 7.4% | No controlado |

En este capítulo se desarrolló un análisis detallado del sistema DELIMO así como el diseño e implementación del mismo, de igual forma se realizaron casos de prueba al sistema con la finalidad de conocer el comportamiento, rendimiento y efectividad del

mismo en diferentes entornos para resolver el problema planteado en este trabajo de tesis. A continuación se presenta el siguiente capítulo en donde se realiza un análisis detallado y objetivo de las pruebas realizadas durante el transcurso de este documento de tesis y sus resultados, así como técnicas, herramientas, conocimientos y experiencias obtenidas en la realización de este trabajo de tesis.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Conclusiones

En el transcurso de este trabajo de tesis denominado “Detección y seguimiento lineal de objetos no flexibles invariantes en color en una secuencia de imágenes”, se abordaron cinco diferentes capítulos los cuales son: Introducción, Antecedentes, Marco teórico, Desarrollo del tema, Pruebas y Resultados, y finalmente Conclusiones y Trabajos futuros, los cuales fueron desarrollados detalladamente en este trabajo de tesis que cuyo principal objetivo consistió en desarrollar a DELIMO (*Detection and linear monitoring of objects*), un software que permite, a partir de una secuencia de imágenes, la detección de objetos en movimiento y como consecuencia realiza un seguimiento del objeto durante una trayectoria lineal, con la finalidad de resolver diferentes situaciones enfocadas al área de la detección y

seguimiento de objetos mediante la utilización de conocimientos acerca de la informática, inteligencia artificial y visión por computadora.

El sistema DELIMO está constituido por siete importantes módulos que se encuentran interactuando constantemente para así poder cumplir con el objetivo propuesto, los módulos que lo constituyen son los siguientes:

- Adquisición de imágenes
- Aplicación del Filtro de la mediana
- Aplicación de los operadores de Sobel
- Interfaz gráfica de usuario (GUI)
- Aplicación de la escala de grises
- Aplicación de la binarización
- Detección y seguimiento

DELIMO está enfocado especialmente a la detección y seguimiento de automóviles, que son objetos no flexibles en ambientes controlados, sin embargo puede integrarse a otro tipo de áreas como por ejemplo a la detección y seguimiento de animales y personas (que son objetos flexibles) solo por mencionar algunos ejemplos, los cuales fueron casos de prueba utilizados en este trabajo de tesis, teniendo así DELIMO una buena efectividad en este tipo de situaciones.

A este sistema se le aplicaron 8 casos de prueba con la finalidad de poder conocer el comportamiento y la efectividad del sistema en cada uno de los casos, de estos 8 casos se realizaron 4 casos en un ambiente controlado, tal como se especifica en punto 2.5. Límites y alcances, de los cuales 3 son del área de aplicación del sistema y 1 no pertenece al área de aplicación, como objeto en tres de estos se utilizó un automóvil y en el otro una persona. El sistema DELIMO en estos cuatro casos tuvo una buena efectividad en cuanto a la detección y seguimiento de los objetos con un promedio de efectividad del 99.7%, con un porcentaje de error del 0.3%.

Los 4 casos restantes fueron realizados en ambientes no controlados con el único propósito de hacer pruebas con ambientes no controlados y conocer la respuesta del sistema

ante este tipo de escenarios, teniendo en cada uno de los casos diferentes objetos para realizar su correspondiente detección y seguimiento; por ejemplo, camionetas, automóviles y un perro. El sistema en estos cuatro casos tuvo en promedio una efectividad del 81.4% y un porcentaje de error del 18.6%. Se considera que los porcentajes obtenidos son satisfactorios aun cuando se expuso al sistema ante escenarios que no pertenecen a su área de aplicación.

En general se puede determinar que DELIMO tiene un efectividad en promedio del 90.5% y un porcentaje de error del 9.5% en diferentes entornos. Cabe señalar que la detección y seguimiento de los objetos fue realizado casi en un 100%, sin embargo, como el polígono utilizado para indicar la detección y seguimiento de los objetos, no cubre al 100% a estos, se presenta una tasa de error, pero cabe señalar que la ubicación del objeto en movimiento es del 100%. A consecuencia de esto fue que el porcentaje de efectividad de DELIMO bajó ligeramente, como consecuencia de ciertos problemas de contrastes en la imagen debido a que las imágenes no cumplen intencionalmente del todo con las limitaciones establecidas en el punto 2.5 de este documento de tesis.

El porcentaje de error obtenido en la detección y seguimiento de los objetos se puede considerar despreciable ya que no afecta la detección y seguimiento lineal de objetos no flexibles invariantes en color en una secuencia de imágenes.

Trabajos futuros

Cabe aclarar que este trabajo de tesis es el primer proyecto realizado en la comunidad universitaria de la Universidad del Mar Campus Puerto Escondido enfocado al área de la detección y seguimiento de los objetos, y se espera sea la base motivacional para el desarrollo de nuevos proyectos enfocados en esta área. A partir del desarrollo de este sistema se pueden implementar actualizaciones o desarrollar futuros proyectos innovadores por parte de la comunidad universitaria.

A continuación se proponen posibles actualizaciones que se pueden integrar al sistema DELIMO:

- Implementación de métodos para la realización de la eliminación de sombras en cada una de las imágenes de la secuencias.
- Implementación de métodos con la finalidad de poder realizar la eliminación de reflejos.
- Implementación de métodos para la eliminación de problemas de variaciones de intensidad de luz.
- Implementación de métodos para la detección y seguimiento de dos o más objetos que se encuentren en la secuencia de imágenes.
- Integración de nuevos métodos y técnicas de segmentación con la finalidad de mejorar las características de los objetos deseados.

A continuación se proponen futuros proyectos que se pueden realizar a partir del sistema DELIMO:

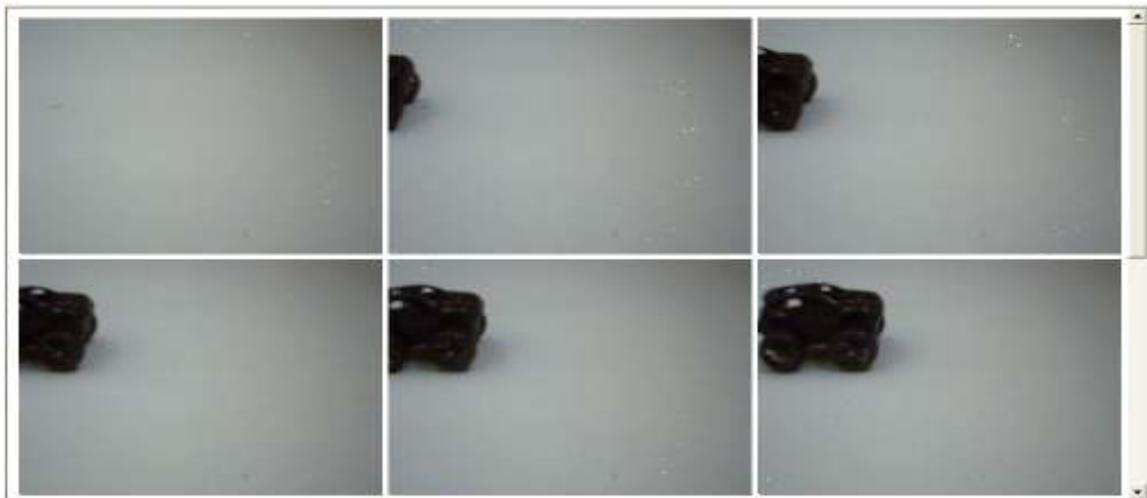
- Realización e implementación de sistemas de monitoreo que registren las entradas y salidas de los automóviles pertenecientes a la Universidad del Mar Campus Puerto Escondido.
- Construcción e implementación de sistemas de monitoreo para la localización y seguimiento de automóviles oficiales de la Universidad del Mar Campus Puerto Escondido, con la ayuda de imágenes satelitales, para los fines que se designen.
- Desarrollo e implementación de sistemas de vigilancia en zonas restringidas de bancos, centros comerciales, centros militares, escuelas, etc. Con la finalidad de detectar intrusos o personas sin acceso a la zona.
- Desarrollo e implementación de sistemas de monitoreo para la salas de cómputo de la Universidad del Mar Campus Puerto Escondido, con la finalidad de detectar personas con actitudes sospechosas que puedan dañar los bienes materiales de las salas de cómputo.

- Realización e implementación de sistemas de reconocimiento de patrones de automóviles, con la finalidad de ayudar al sistema de tránsito para los fines que se designen.
- Desarrollo de sistemas de monitoreo de objetos abandonados para su posterior implementación en centrales camioneras, aeropuertos, centros comerciales, etc.
- Realización de sistemas de monitoreo de embarcaciones marítimas acercándose a las costas para prevención ante posibles accidentes que puedan suceder.

Actualmente en el mundo, el tema de la detección y seguimiento de los objetos se encuentra en un constante avance tecnológico, día a día surgen necesidades a cubrir por novedosas ideas de grandes jóvenes investigadores que son el futuro de este mundo en constante actualización.

ANEXO A. IMÁGENES DE ENTRADA ORIGINALES

A.1. Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)



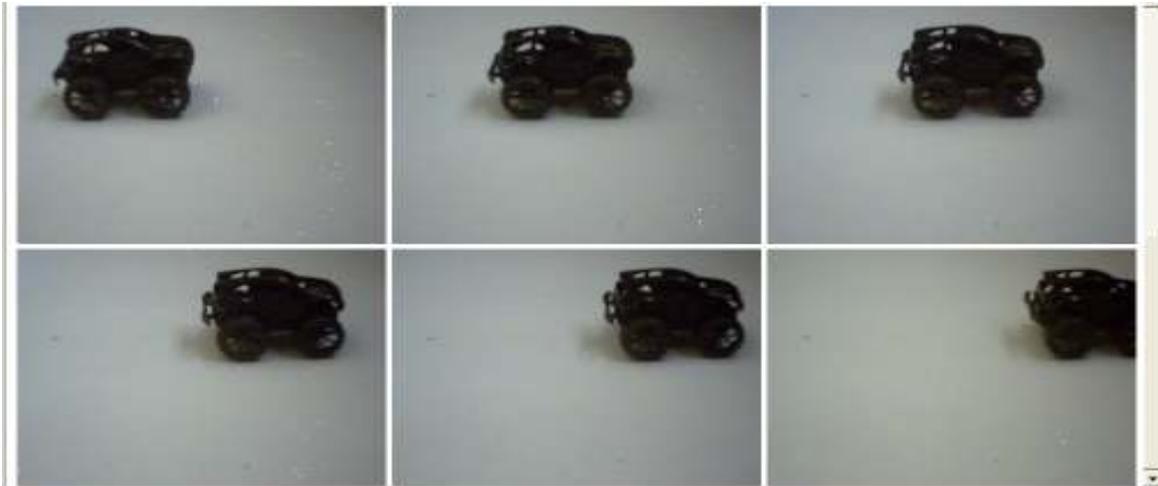
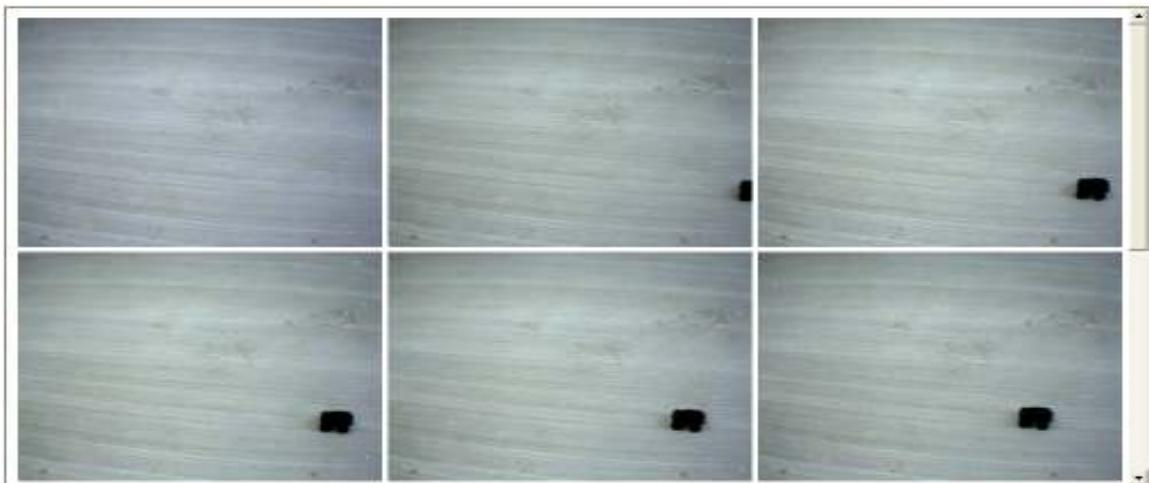


Figura A.1. Imágenes de entrada del caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco).

La figura A.1 muestra una secuencia de doce imágenes originales del “Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)”, en donde se visualiza un automóvil de color negro desplazándose de izquierda a derecha en cada una de las imágenes, con un fondo liso de color blanco en un ambiente controlado.

A.2. Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris)



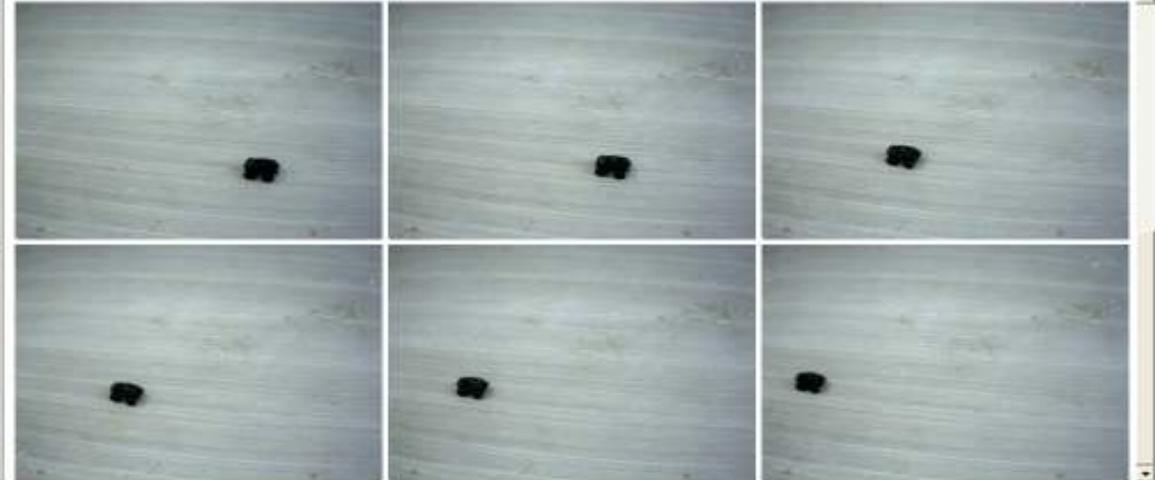


Figura A.2. Imágenes de entrada del caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris).

La figura A.2 muestra una secuencia de imágenes originales del “Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris)”, en donde se aprecia un automóvil de color negro desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes, con un fondo liso de color gris en un ambiente controlado.

A.3. Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris

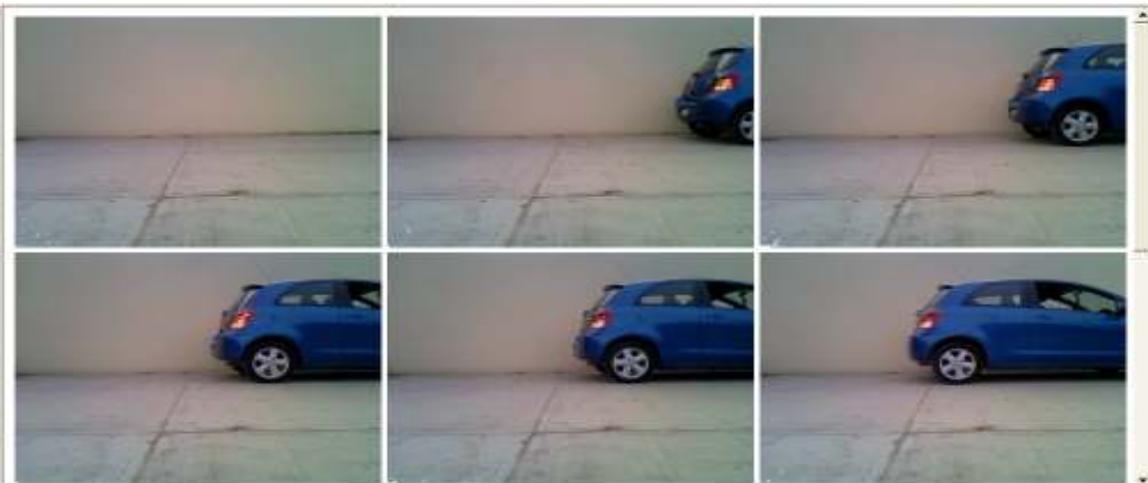




Figura A.3. Imágenes de entrada del caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris.

La figura A.3 muestra una secuencia de 12 imágenes originales del “Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris”, en donde se visualiza un automóvil real de color azul desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes, con un fondo de color amarillo y gris en un ambiente controlado.

A.4. Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris

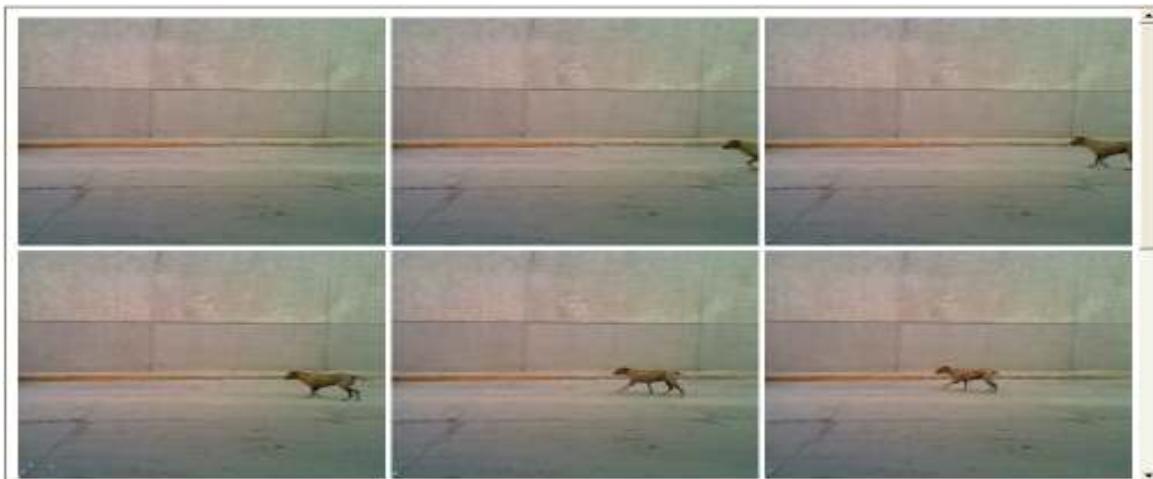




Figura A.4. Imágenes de entrada del caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris.

La figura A.4 muestra una secuencia de imágenes originales del “Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris” en donde se aprecia a una persona vestida de color negro desplazándose de izquierda a derecha en cada una de las imágenes, con un fondo de color amarillo y gris en un ambiente controlado.

A.5. Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle



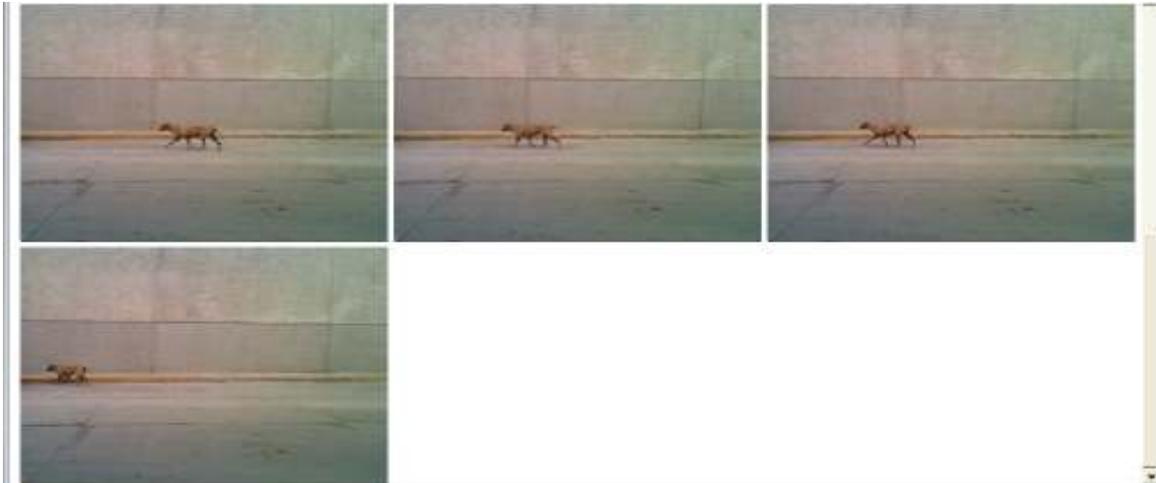


Figura A.5. Imágenes de entrada del caso 5. Perro de color café y como fondo una calle.

La figura A.5 muestra una secuencia de 10 imágenes originales del “Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle” en donde se puede visualizar a un perro de color café desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y como fondo una calle normal en un ambiente no controlado.

A.6. Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle



Figura A.6. Imágenes de entrada del caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle.

La figura A.6 muestra una secuencia de 6 imágenes originales del “Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle”, en donde se visualiza una camioneta real de color rojo desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y como fondo una calle normal en un ambiente no controlado.

A.7. Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle

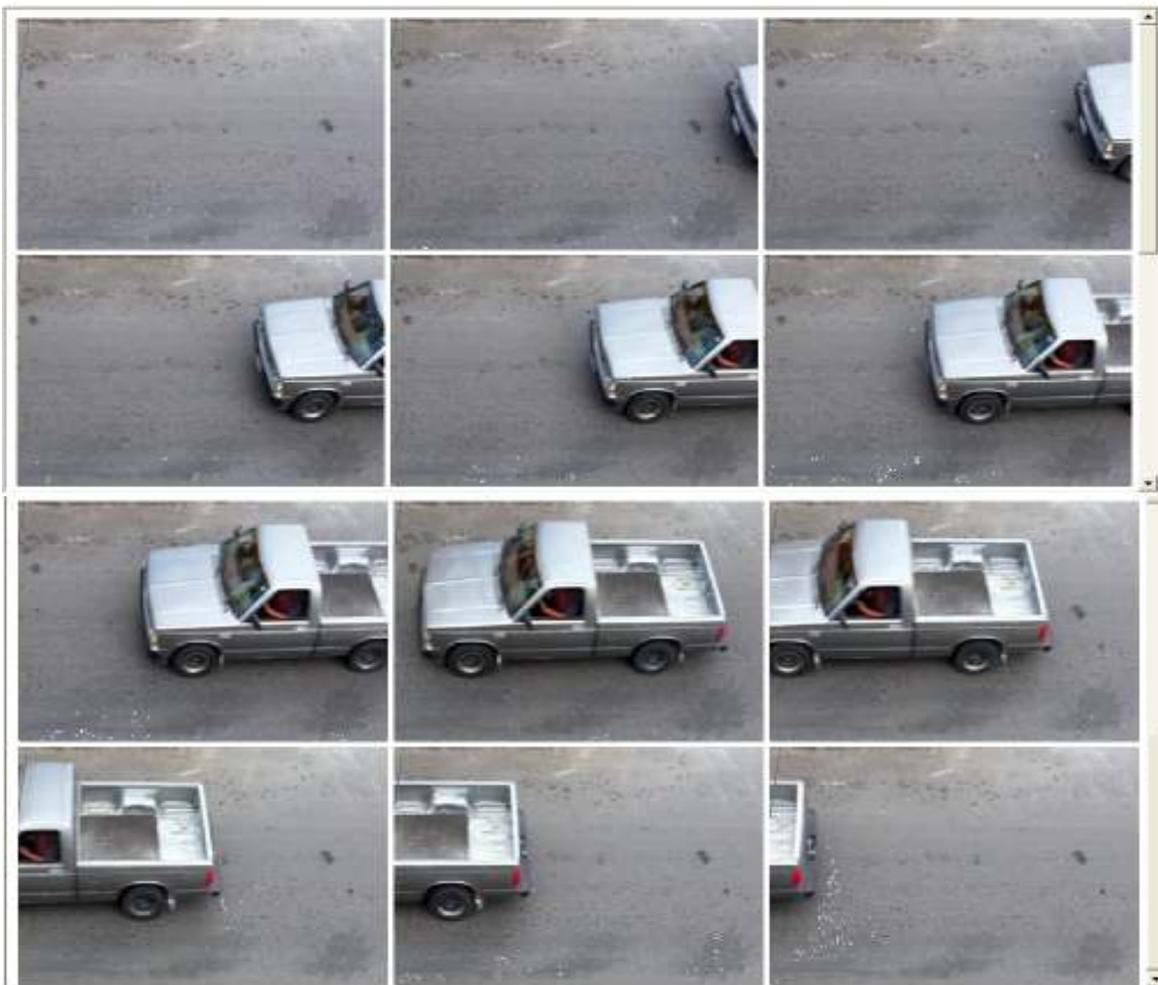


Figura A.7. Imágenes de entrada del caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle.

La figura A.7 muestra una secuencia de 12 imágenes originales del “Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle”, en donde se visualiza una camioneta real de color gris desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y como fondo una calle normal en un ambiente no controlado.

A.8. Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle

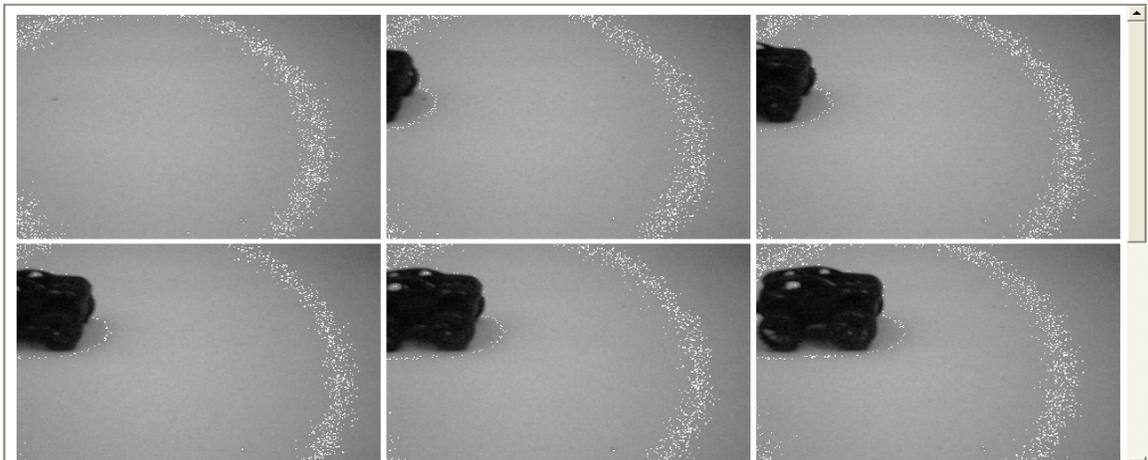


Figura A.8. Imágenes de entrada del caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle.

La figura A.8 muestra una secuencia de 8 imágenes originales del “Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle”, en donde se visualiza un automóvil real de color gris desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y como fondo una calle normal en un ambiente no controlado.

ANEXO B. IMÁGENES DE SALIDA EN ESCALA DE GRISES

B.1. Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)



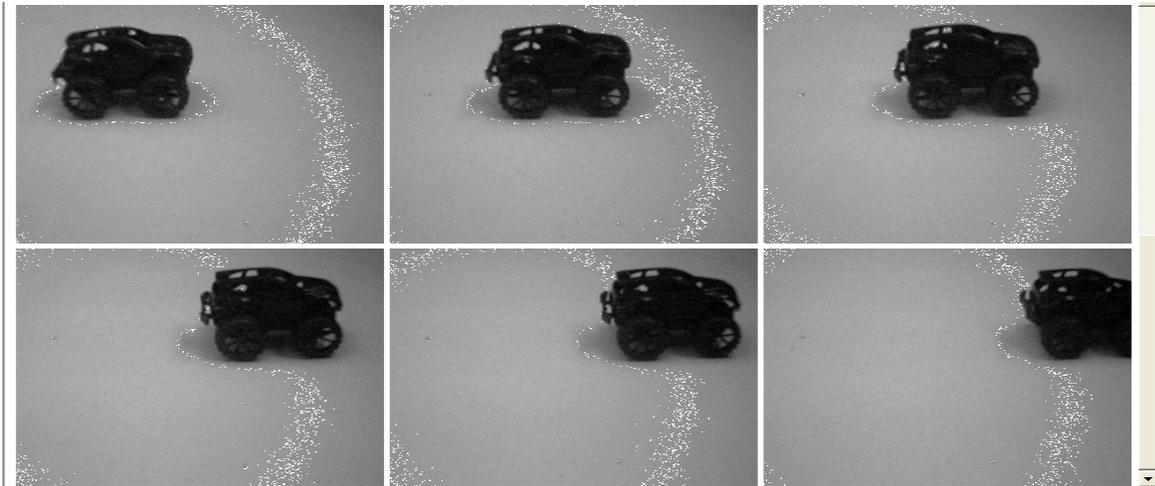
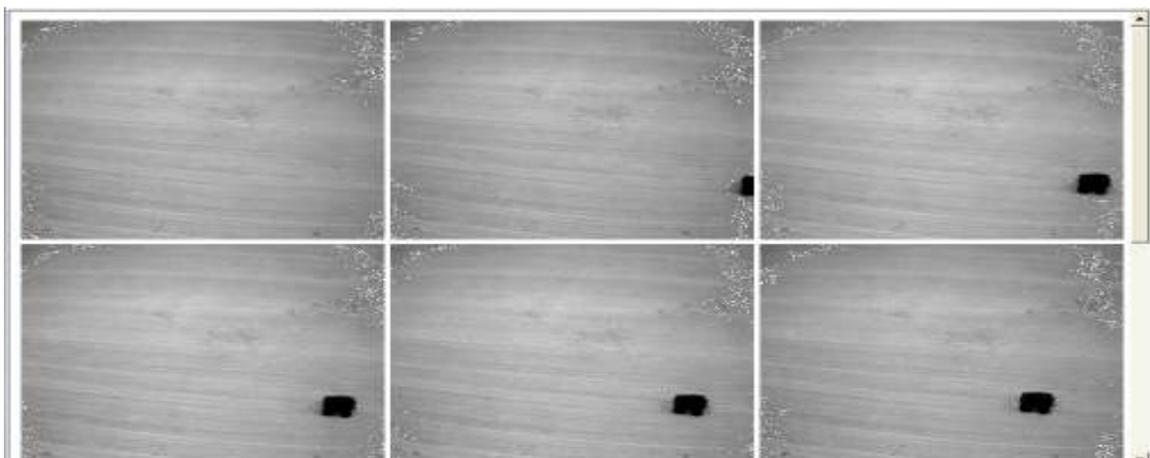


Figura B.1. Imágenes de salida en escala de grises del caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco).

La figura B.1 muestra una secuencia de 12 imágenes resultantes de haber aplicado el método de escala de grises a la secuencia de imágenes originales del “Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)”, en donde se visualiza un automóvil de color negro en escala de grises desplazándose de izquierda a derecha en cada una de las imágenes, con un fondo en escala de grises en un ambiente controlado.

B.2. Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris)



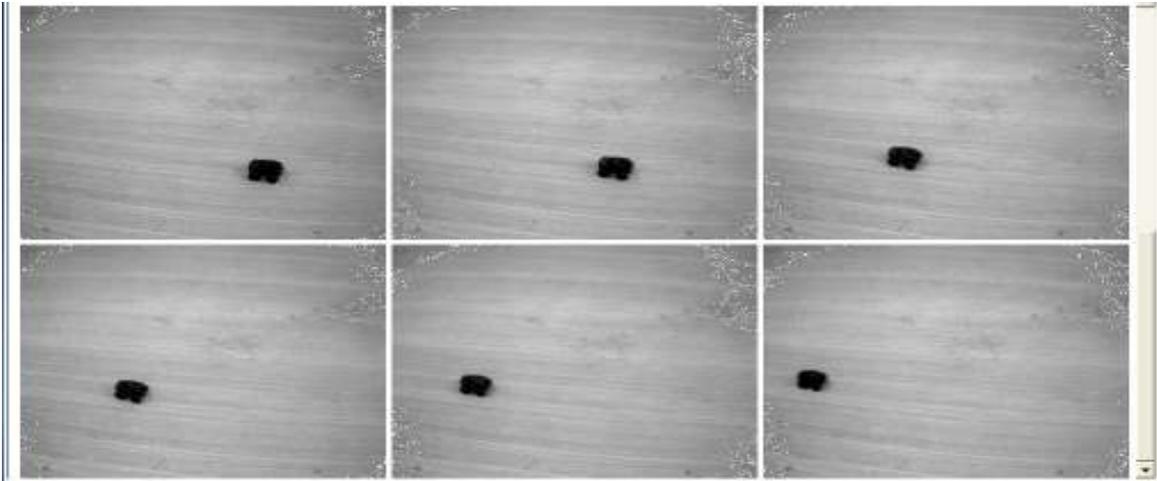


Figura B.2. Imágenes de salida en escala de grises del caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris).

La figura B.2 muestra una secuencia de doce imágenes resultantes de haber aplicado el método de escala de grises a la secuencia de imágenes originales del “Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris)”, en donde se aprecia un automóvil de color negro en escala de grises desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes, con un fondo liso gris en escala de grises en un ambiente controlado.

B.3. Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris



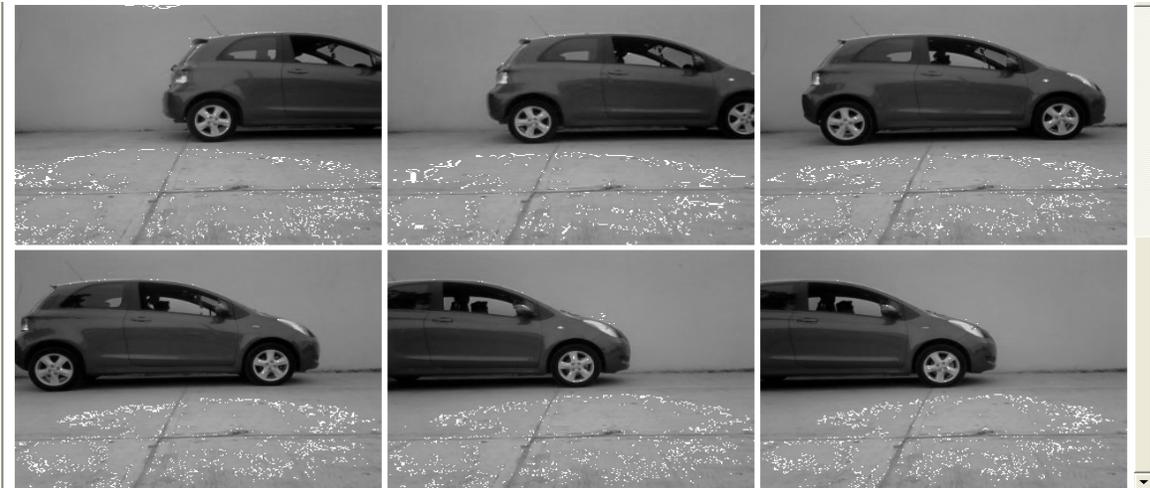
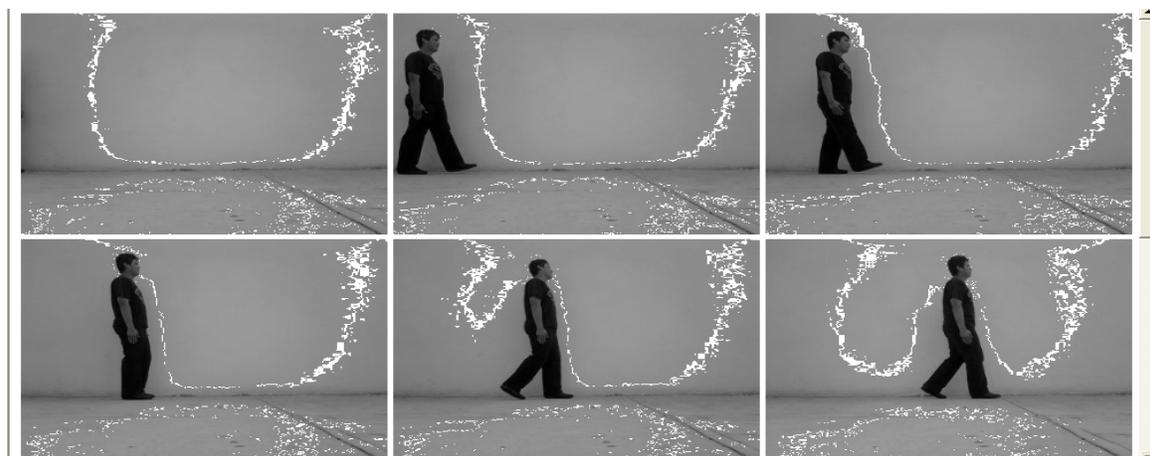


Figura B.3. Imágenes de salida en escala de grises del caso 3. Auto de color azul y fondo amarillo y gris.

La figura B.3 muestra una secuencia de 12 imágenes resultantes de haber aplicado el método de escala de grises a la secuencia de imágenes originales del “Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris”, en donde se visualiza un automóvil real de color azul en escala de grises desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes, con un fondo de color amarillo y gris en escala de grises en un ambiente controlado.

B.4. Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris



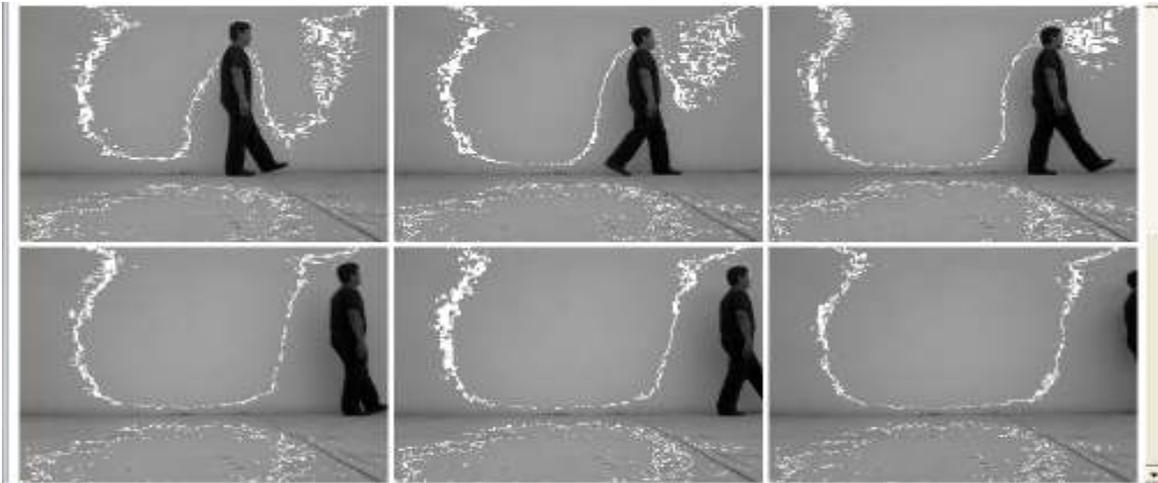
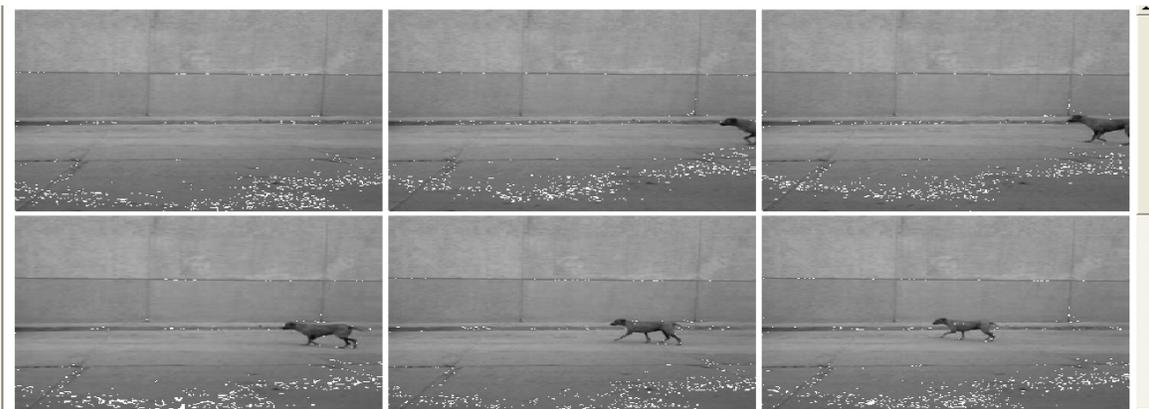


Figura B.4. Imágenes de salida en escala de grises del caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris.

La figura B.4 muestra una secuencia de doce imágenes resultantes de haber aplicado el método de escala de grises a la secuencia de imágenes originales del “Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris”, en donde se aprecia a una persona vestida de color negro en escala de grises desplazándose de izquierda a derecha en cada una de las imágenes, con un fondo de color amarillo y gris en escala de grises en un ambiente controlado.

B.5. Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle



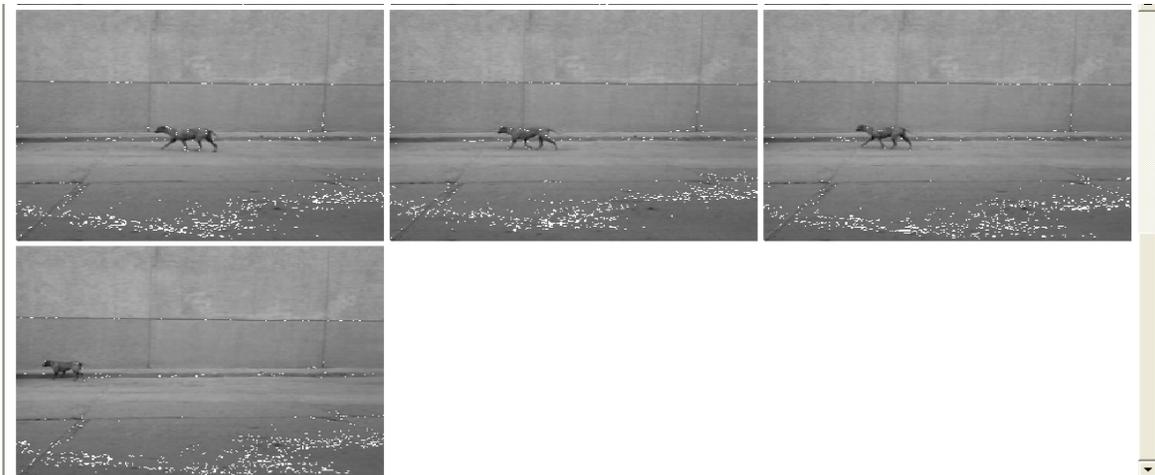


Figura B.5. Imágenes de salida en escala de grises del caso 5. Perro de color café y como fondo una calle.

La figura B.5 muestra una secuencia de 10 imágenes resultantes de haber aplicado el método de escala de grises a la secuencia de imágenes originales del “Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle”, en donde se puede visualizar a un perro de color café en escala de grises desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y como fondo una calle normal en un ambiente no controlado.

B.6. Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle



Figura B.6. Imágenes de salida en escala de grises del caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle.

La figura B.6 muestra una secuencia de seis imágenes resultantes de haber aplicado el método de escala de grises a la secuencia de imágenes originales del “Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle”, en donde se visualiza una camioneta real de color rojo en escala de grises desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y como fondo una calle normal en un ambiente no controlado.

B.7. Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle

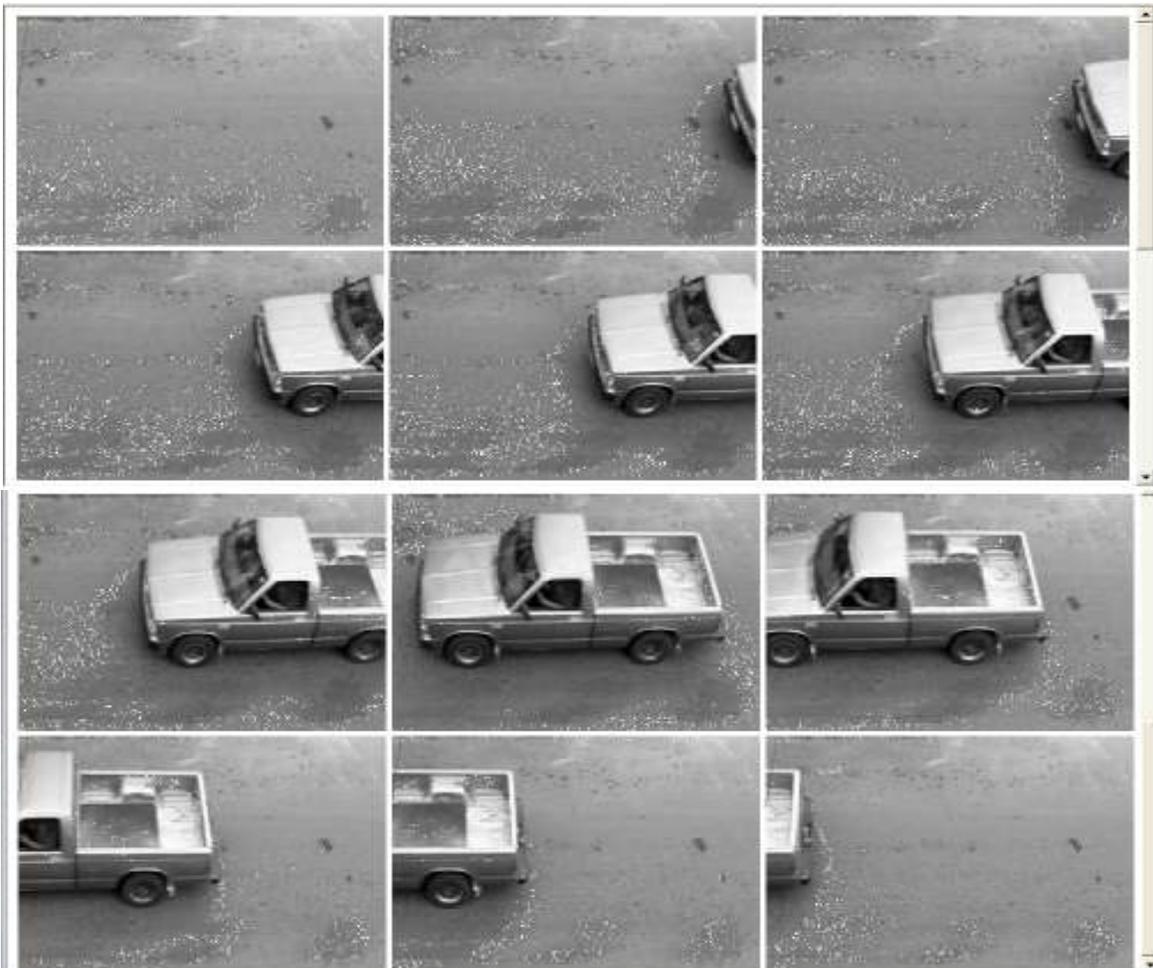


Figura B.7. Imágenes de salida en escala de grises del caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle.

La figura B.7 muestra una secuencia 12 de imágenes resultantes de haber aplicado el método de escala de grises a la secuencia de imágenes originales del “Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle”, en donde se visualiza una camioneta real de color gris desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y como fondo una calle normal en un ambiente no controlado.

B.8. Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle

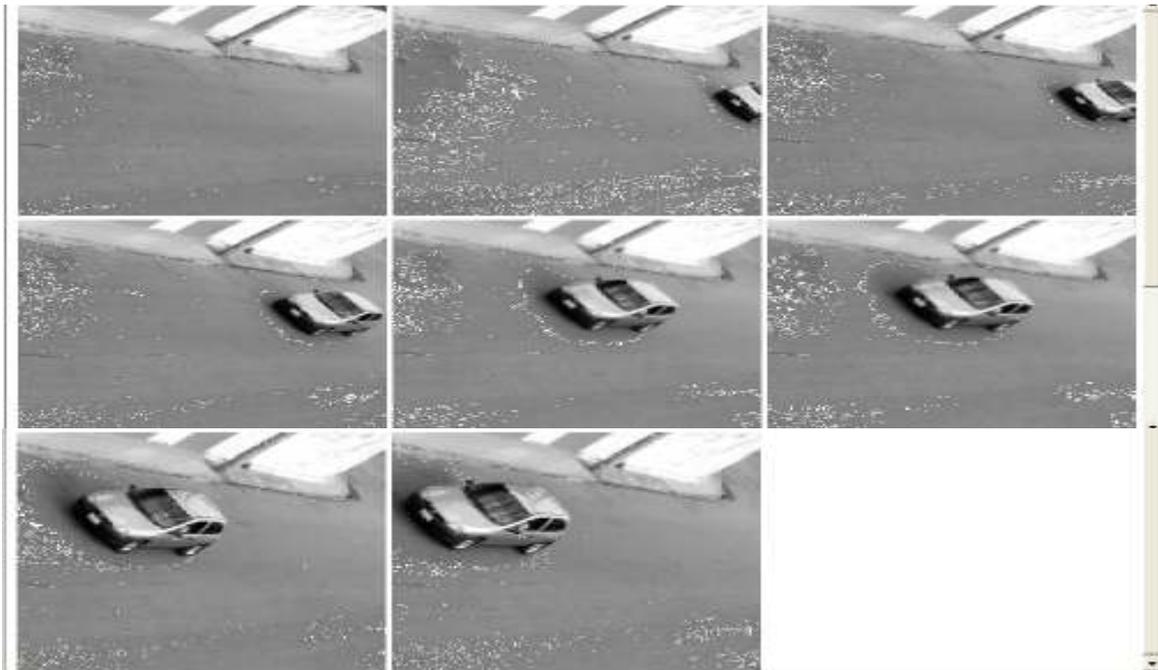
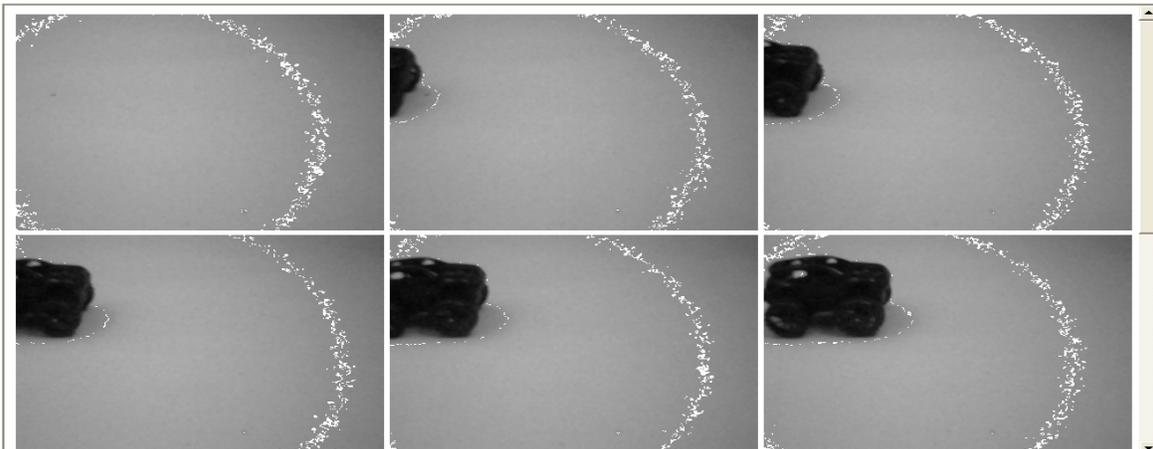


Figura B.8. Imágenes de salida en escala de grises del caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle.

La figura B.8 muestra una secuencia de ocho imágenes resultantes de haber aplicado el método de escala de grises a la secuencia de imágenes originales del “Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle”, en donde se visualiza un automóvil real de color gris desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y como fondo una calle normal en un ambiente no controlado.

ANEXO C. IMÁGENES DE SALIDA CON ELIMINACIÓN DE RUIDO

C.1. Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)



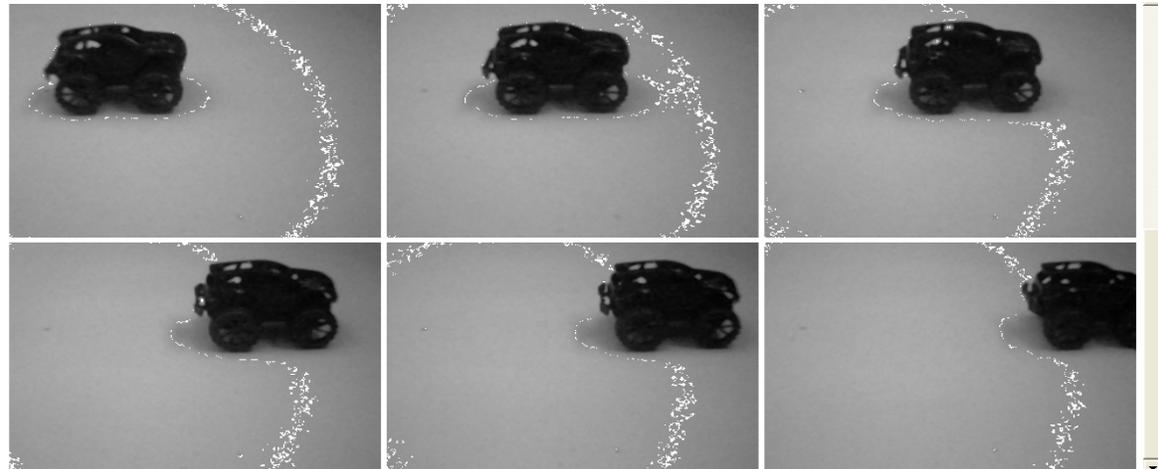
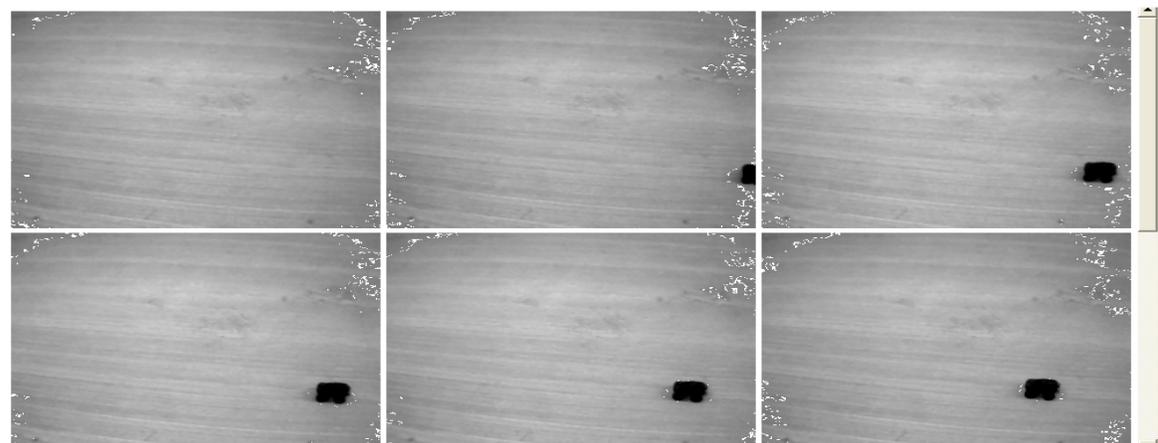


Figura C.1. Imágenes de salida con eliminación de ruido del caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco).

La figura C.1 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado el método de la mediana a la secuencia de imágenes en escala de grises del “Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)”, en donde se visualiza un automóvil de color negro en escala de grises desplazándose de izquierda a derecha en cada una de las imágenes, con un fondo en escala de grises en un ambiente controlado y con su respectiva eliminación de ruido.

C.2. Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris)



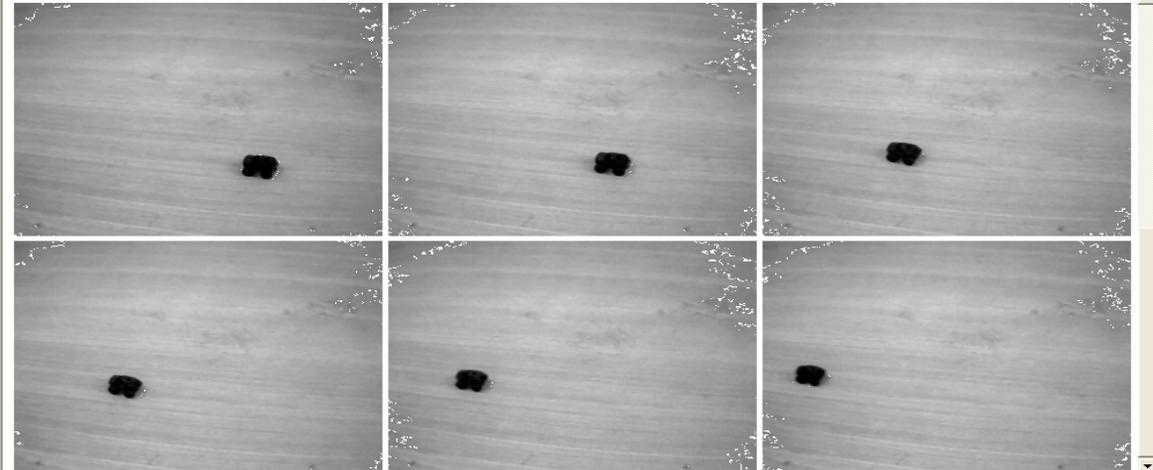


Figura C.2. Imágenes de salida con eliminación de ruido del caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris).

La figura C.2 muestra una secuencia de imágenes resultantes de haber aplicado el método de la mediana a la secuencia de imágenes en escala de grises del “Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris)”, en donde se visualiza un automóvil de color negro en escala de grises desplazándose de izquierda a derecha en cada una de las imágenes, con un fondo en escala de grises en un ambiente controlado y con su respectiva eliminación de ruido.

C.3. Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris



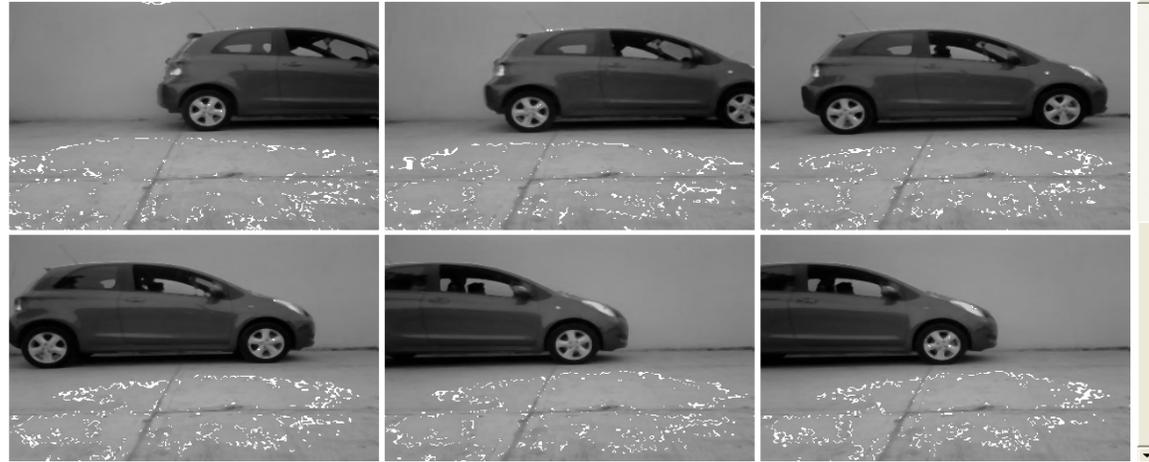
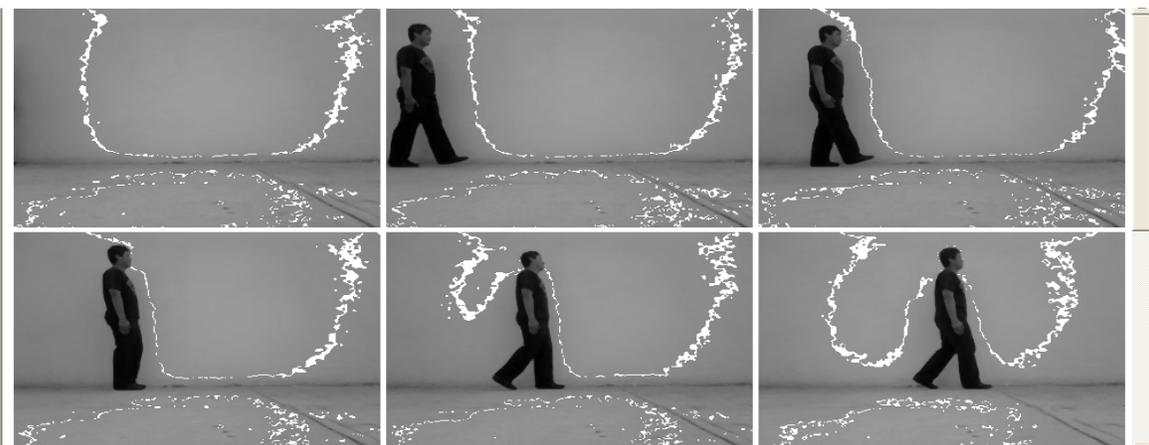


Figura C.3. Imágenes de salida con eliminación de ruido del caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris.

La figura C.3 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado el método de la mediana a la secuencia de imágenes en escala de grises del “Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris”, en donde se visualiza un automóvil real de color azul en escala de grises desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes, con un fondo de color amarillo y gris en escala de grises en un ambiente controlado y con su respectiva eliminación de ruido.

C.4. Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris



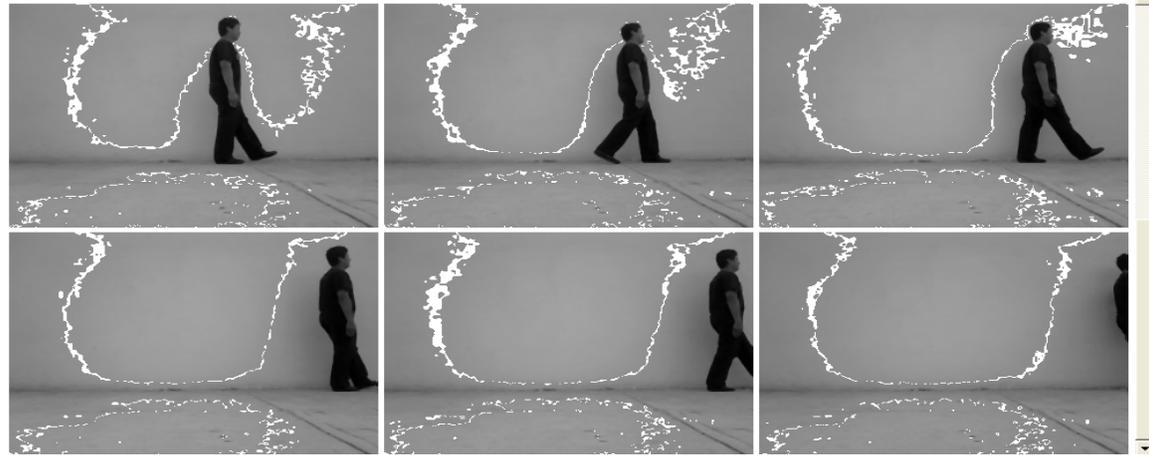
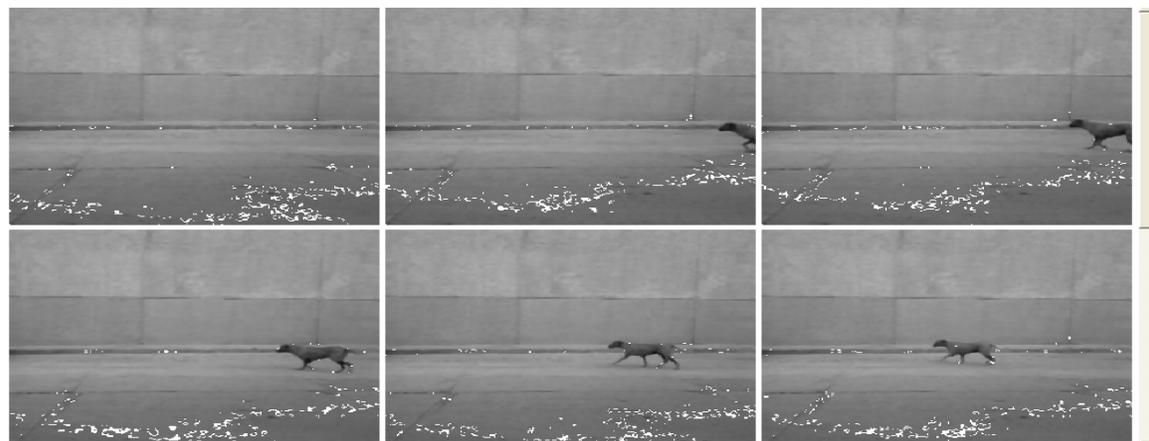


Figura C.4. Imágenes de salida con eliminación de ruido del caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris.

La figura C.4 muestra una secuencia de imágenes resultantes de haber aplicado el método de la mediana a la secuencia de imágenes en escala de grises del “Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris”, en donde se aprecia a una persona vestida de color negro en escala de grises desplazándose de izquierda a derecha en cada una de las imágenes, con un fondo de color amarillo y gris en escala de grises en un ambiente controlado y con su respectiva eliminación de ruido.

C.5. Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle



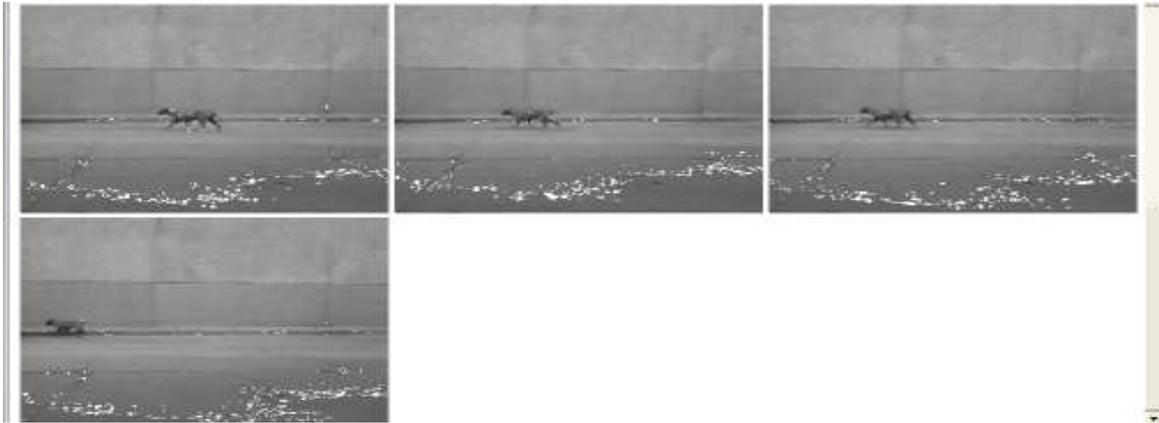


Figura C.5. Imágenes de salida con eliminación de ruido del caso 5. Perro de color café y como fondo una calle.

La figura C.5 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado el método de la mediana a la secuencia de imágenes en escala de grises del “Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle”, en donde se puede visualizar a un perro de color café en escala de grises desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y como fondo una calle normal en un ambiente no controlado y con su respectiva eliminación de ruido.

C.6. Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle



Figura C.6. Imágenes de salida con eliminación de ruido del caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle.

La figura C.6 muestra una secuencia de imágenes resultantes de haber aplicado el método de la mediana a la secuencia de imágenes en escala de grises del “Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle”, en donde se visualiza una camioneta real de color rojo en escala de grises desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y como fondo una calle normal en un ambiente no controlado y con su respectiva eliminación de ruido.

C.7. Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo la calle

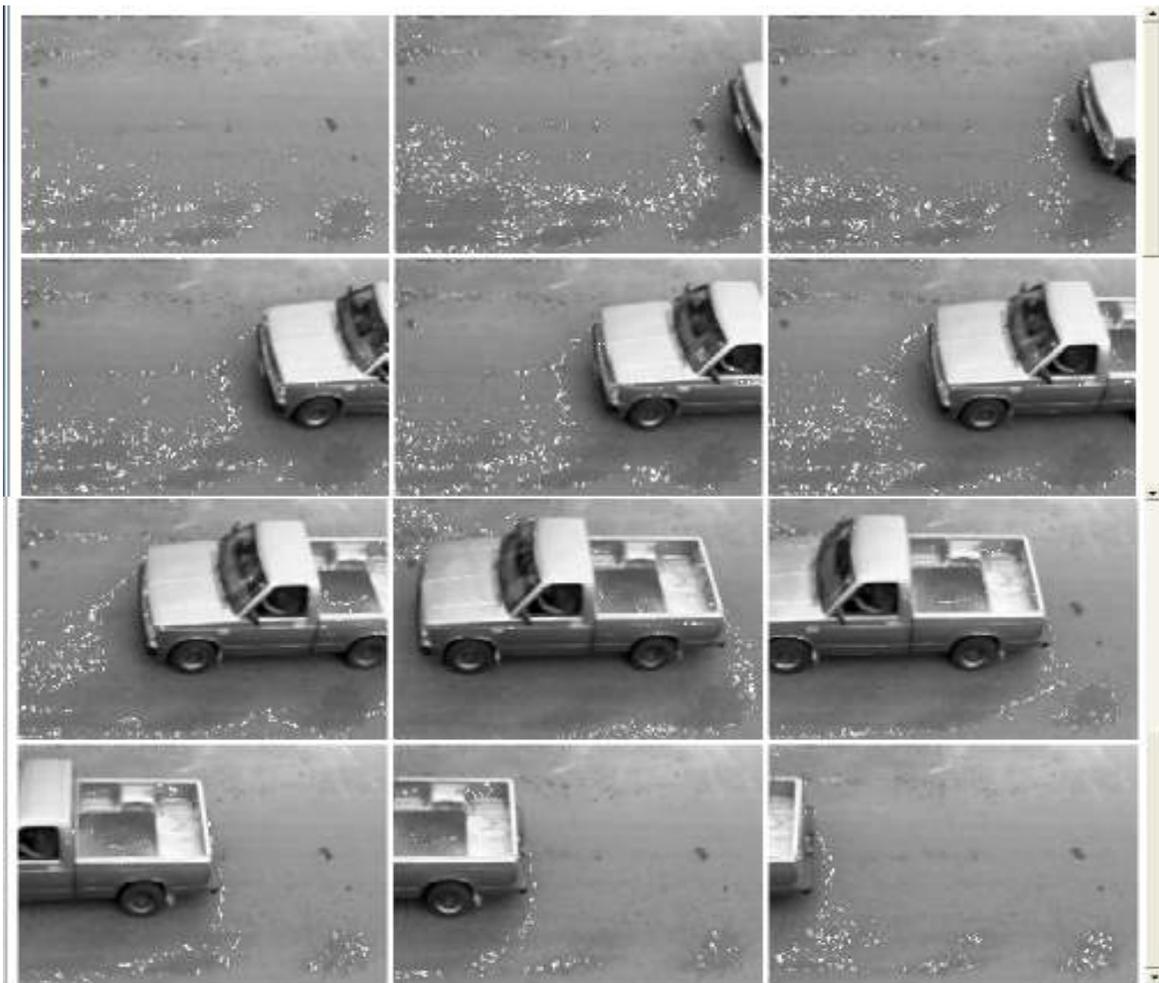


Figura C.7. Imágenes de salida con eliminación de ruido del caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle.

La figura C.7 muestra una secuencia de imágenes resultantes de haber aplicado el método de la mediana a la secuencia de imágenes en escala de grises del “Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle”, en donde se visualiza una camioneta real de color gris desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y como fondo una calle normal en un ambiente no controlado y con su respectiva eliminación de ruido.

C.8. Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle

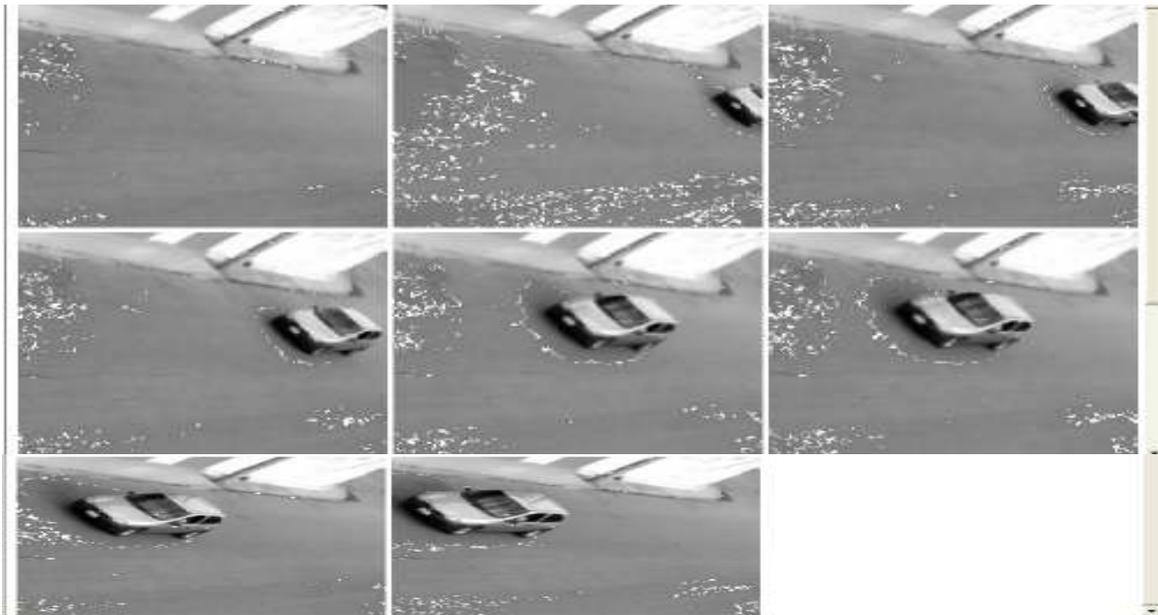
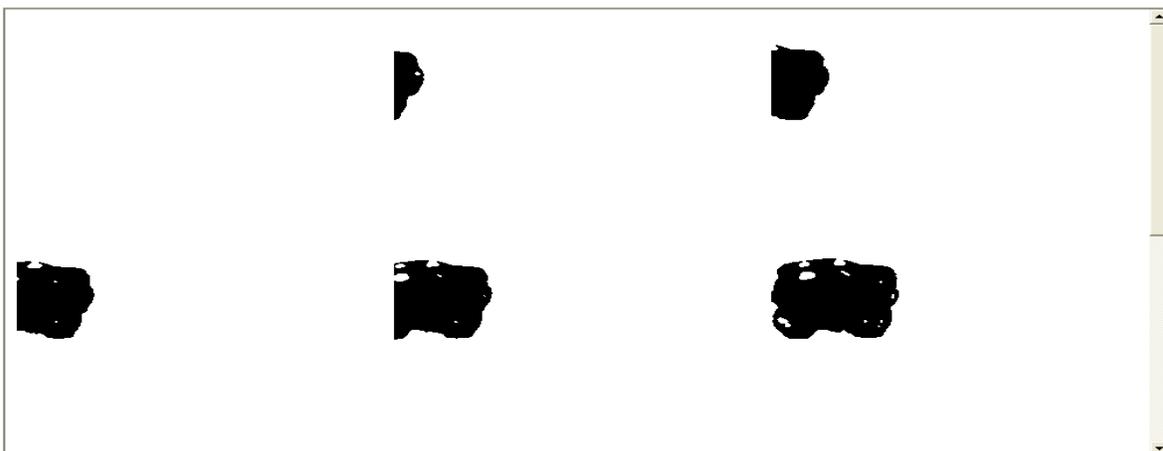


Figura C.8. Imágenes de salida con eliminación de ruido del caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle.

La figura C.8 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado el método de la mediana a la secuencia de imágenes en escala de grises del “Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle”, en donde se visualiza un automóvil real de color gris desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y como fondo una calle normal en un ambiente no controlado y con su respectiva eliminación de ruido.

ANEXO D. IMÁGENES DE SALIDA BINARIZADAS

D.1. Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)



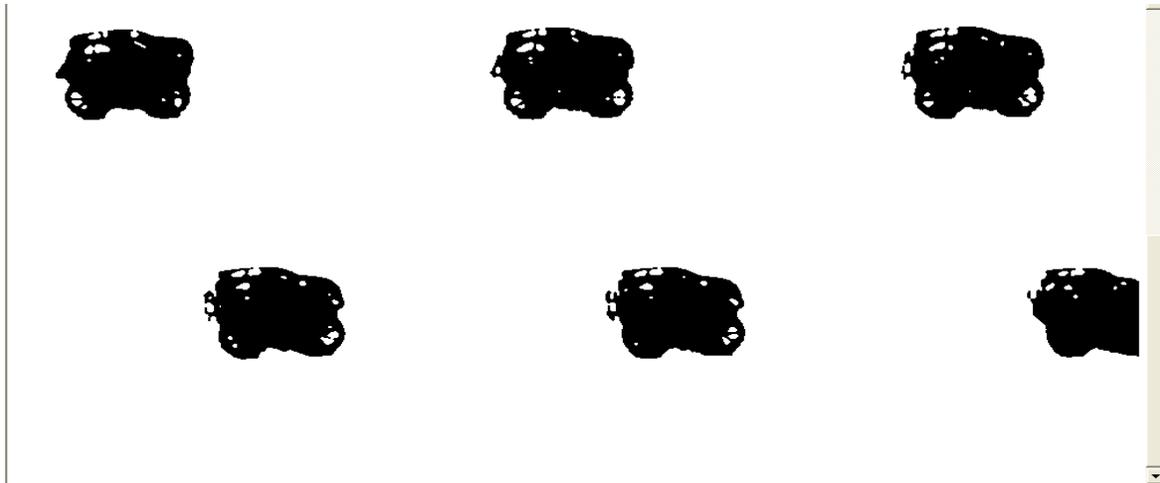
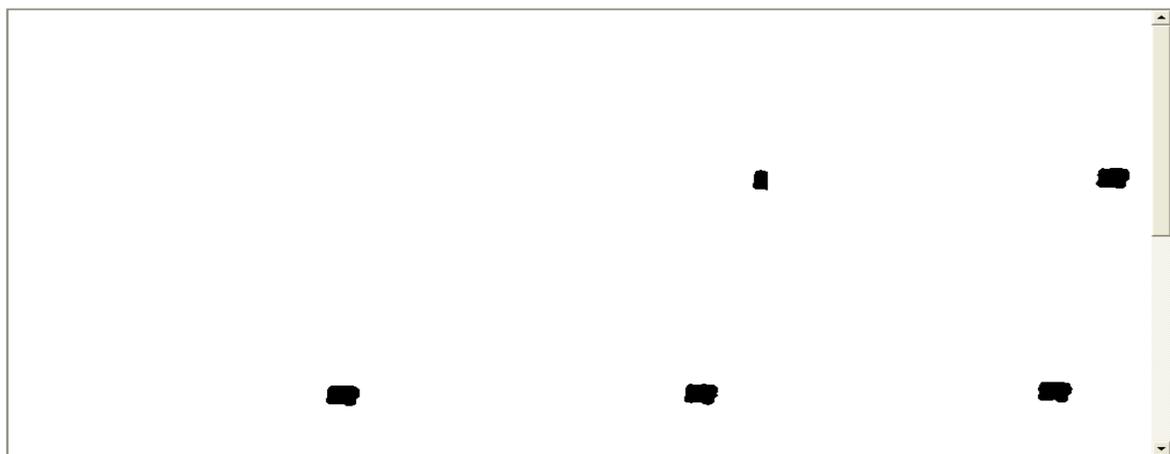


Figura D.1. Imágenes de salida binarizadas del caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco).

La figura D.1 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado la binarización a la secuencia de imágenes resultantes del método de la mediana del “Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)”, en donde se visualiza un automóvil de color negro desplazándose de izquierda a derecha en cada una de las imágenes y con un fondo en color blanco.

D.2. Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris)



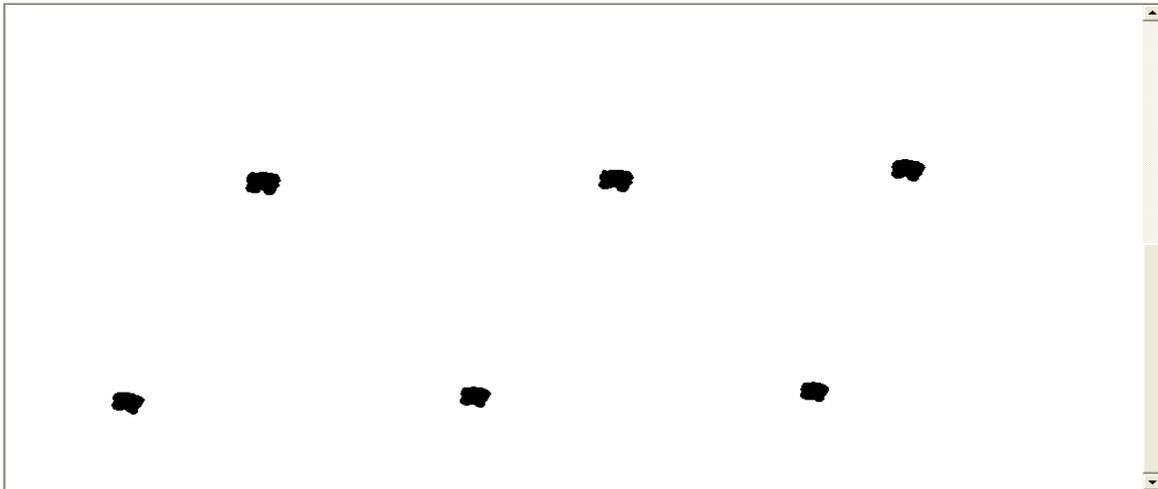
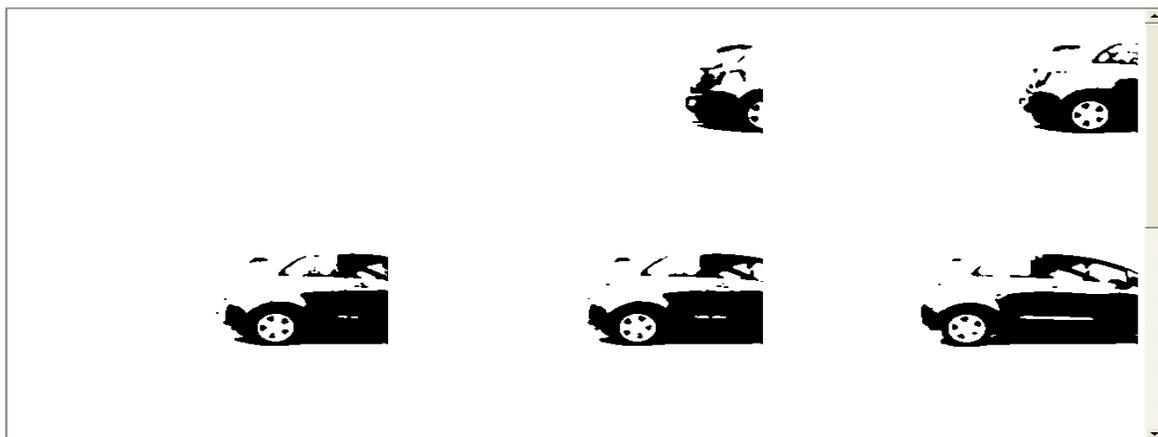


Figura D.2. Imágenes de salida binarizadas del caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris).

La figura D.2 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado la binarización a la secuencia de imágenes resultantes del método de la mediana del “Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris)”, en donde se visualiza un automóvil de color negro desplazándose de izquierda a derecha en cada una de las imágenes y con un fondo en color blanco.

D.3. Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris



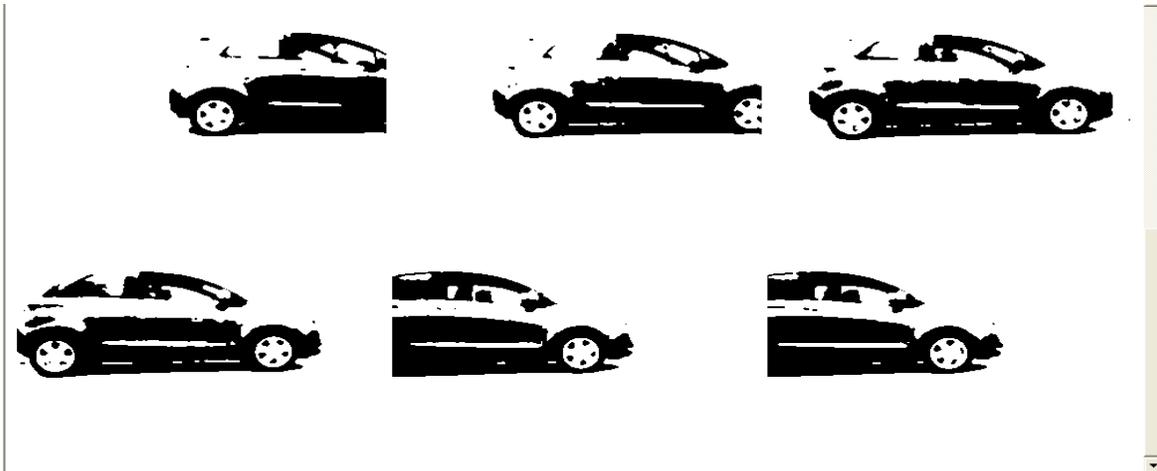
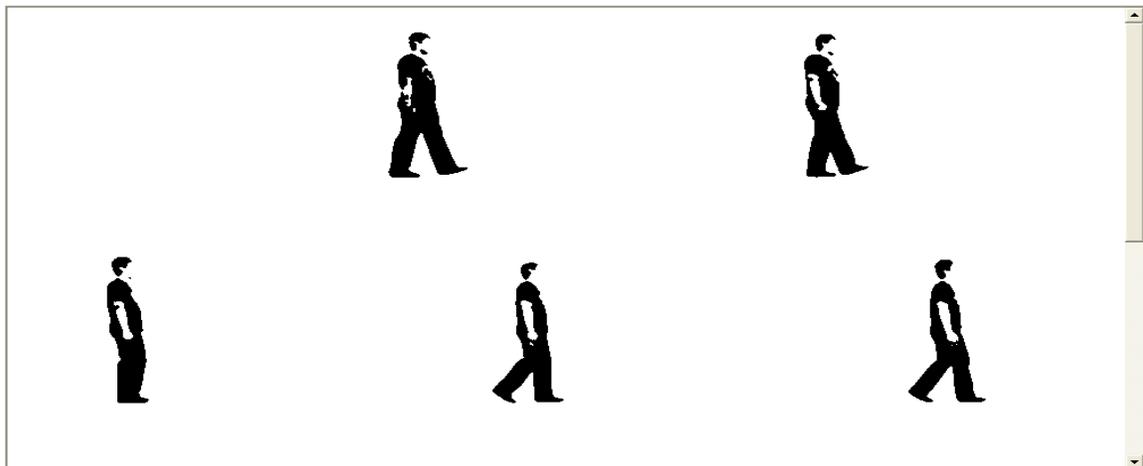


Figura D.3. Imágenes de salida binarizadas del caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris

La figura D.3 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado la binarización a la secuencia de imágenes resultantes del método de la mediana del “Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris”, en donde se visualiza un automóvil real ahora de color negro desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y con un fondo de color blanco.

D.4. Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris



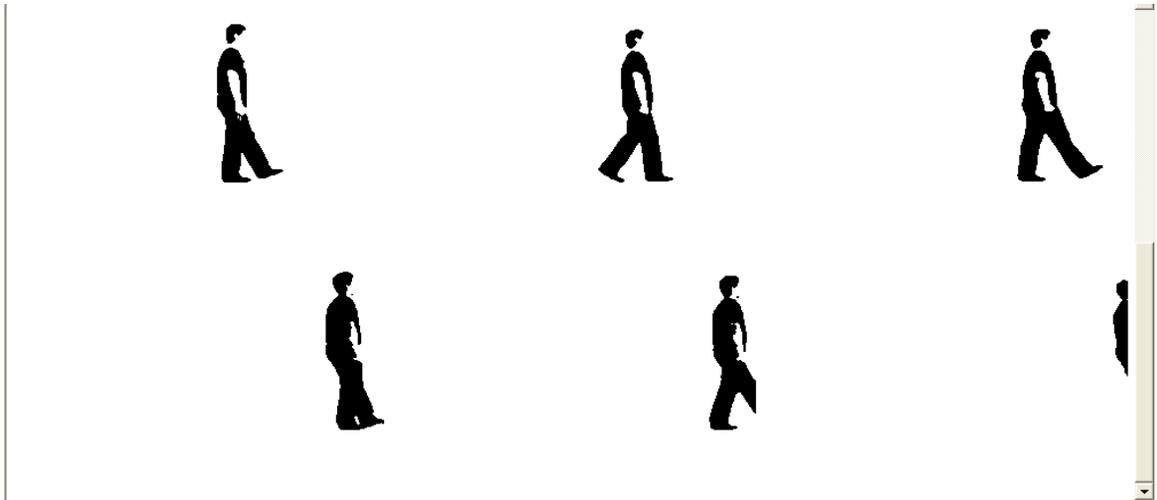
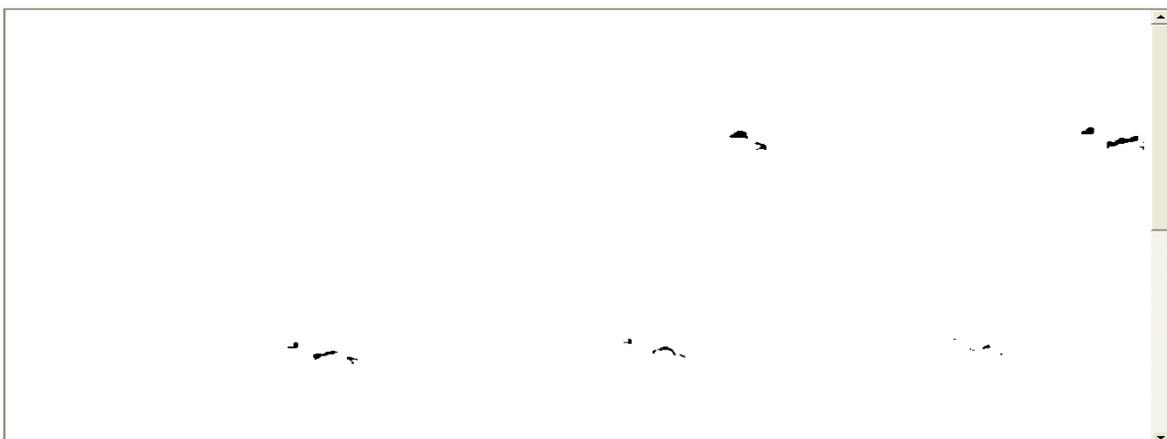


Figura D.4. Imágenes de salida binarizadas del caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris.

La figura D.4 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado la binarización a la secuencia de imágenes resultantes del método de la mediana del “Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris”, en donde se aprecia a una persona vestida de color negro desplazándose de izquierda a derecha en cada una de las imágenes y con un fondo de color blanco.

D.5. Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle



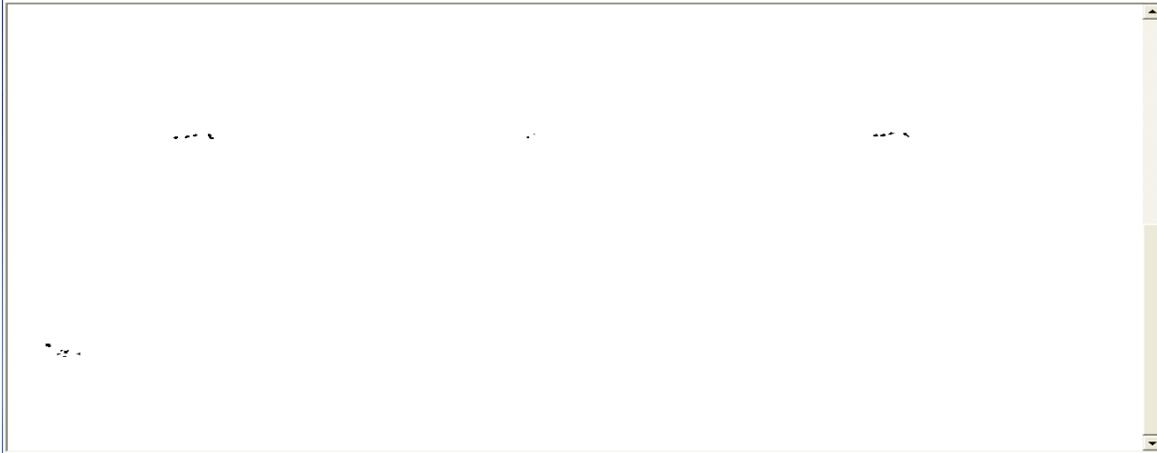


Figura D.5. Imágenes de salida binarizadas del caso 5. Perro de color café y como fondo una calle.

La figura D.5 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado la binarización a la secuencia de imágenes resultantes del método de la mediana del “Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle”, en donde se puede visualizar partes del perro en color negro desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y con un fondo de color blanco.

D.6. Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle



Figura D.6. Imágenes de salida binarizadas del caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle.

La figura D.6 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado la binarización a la secuencia de imágenes resultantes del método de la mediana del “Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle”, en donde se visualiza una camioneta real ahora de color negro desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y con un fondo de color blanco.

D.7. Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle

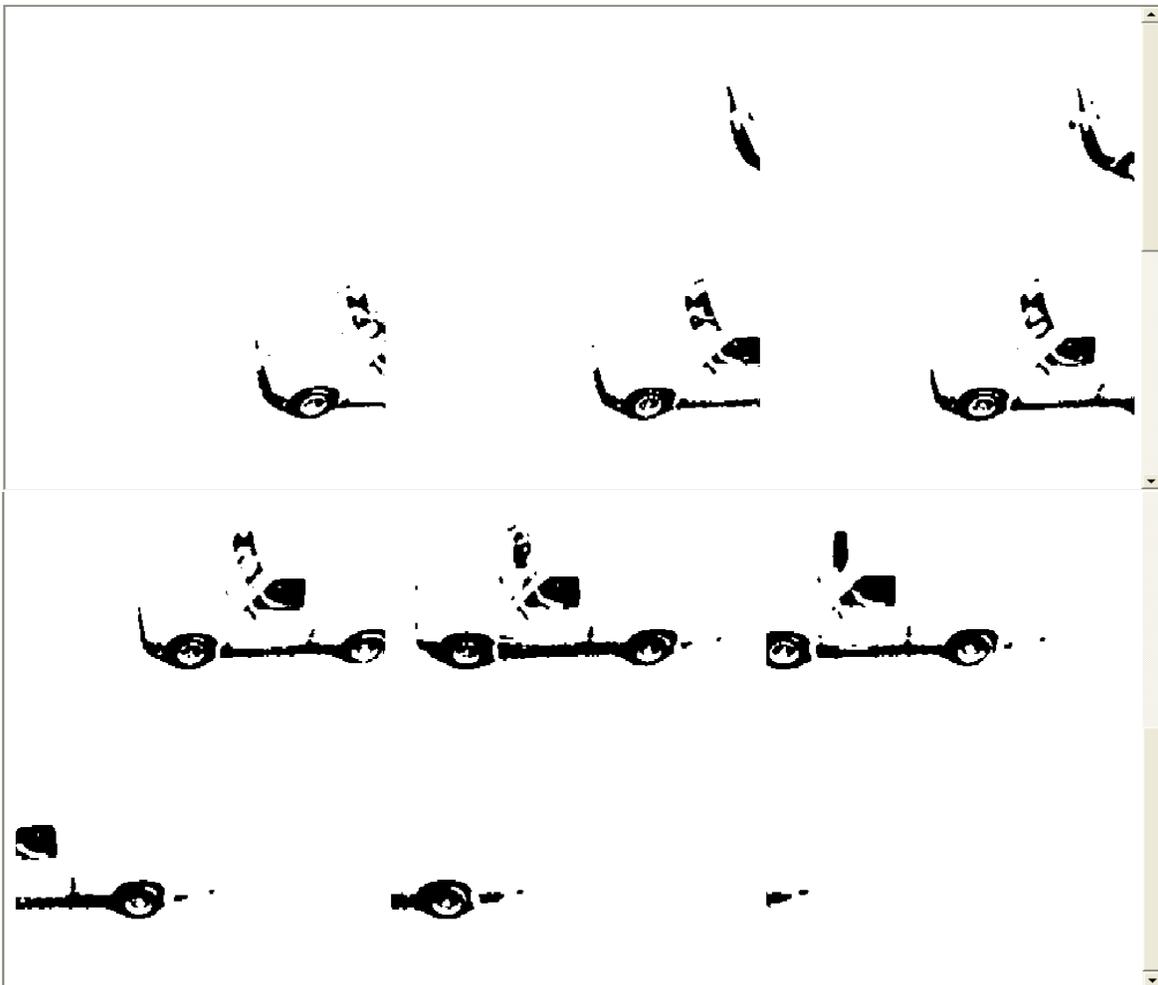


Figura D.7. Imágenes de salida binarizadas del caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle.

La figura D.7 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado la binarización a la secuencia de imágenes resultantes del método de la mediana del “Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle”, en donde se visualiza una camioneta real ahora de color desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y con un fondo de color blanco.

D.8. Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle



Figura D.8. Imágenes de salida binarizadas del caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle.

La figura D.8 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado la binarización a la secuencia de imágenes resultantes del método de la mediana del “Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle”, en donde se visualiza un automóvil real ahora de color negro desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y con un fondo de color blanco.

ANEXO E. IMÁGENES DE SALIDA CON DETECCIÓN DE BORDES

E.1. Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)

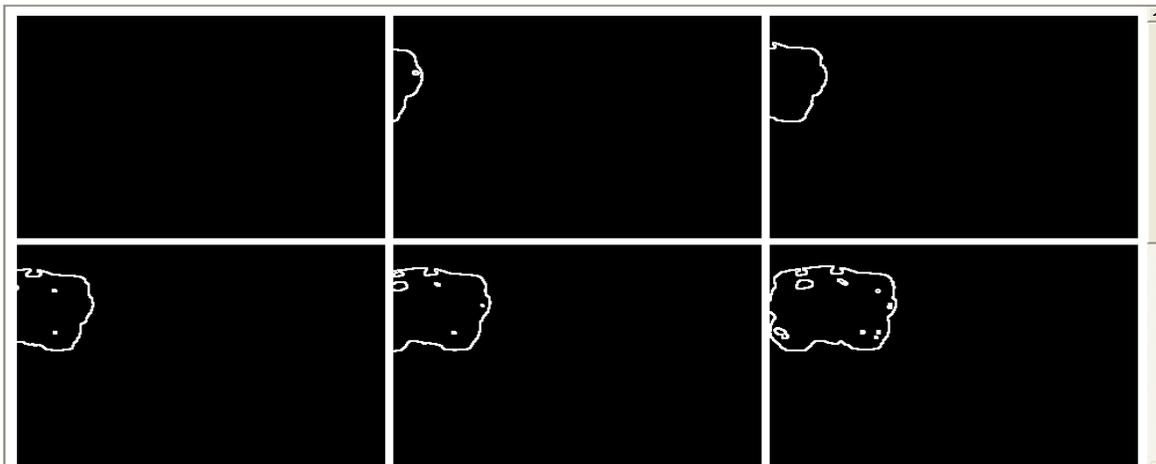
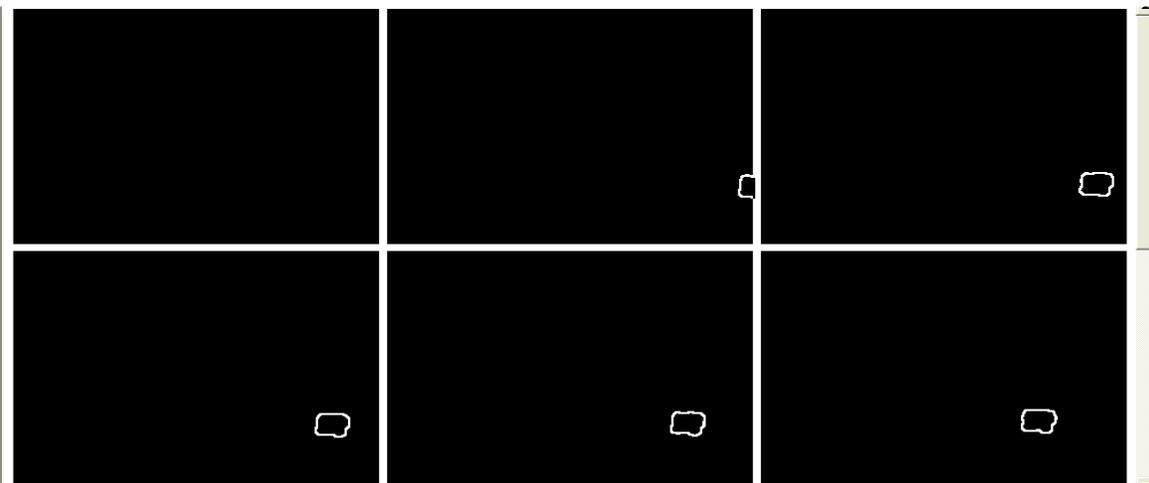




Figura E.1. Imágenes de salida con detección de bordes del caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco).

La figura E.1 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado los operadores de Sobel a la secuencia de imágenes resultantes de la binarización del “Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)”, en donde se visualizan los bordes en color blanco del automóvil desplazándose de izquierda a derecha en cada una de las imágenes y con un fondo en color negro.

E.2. Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris)



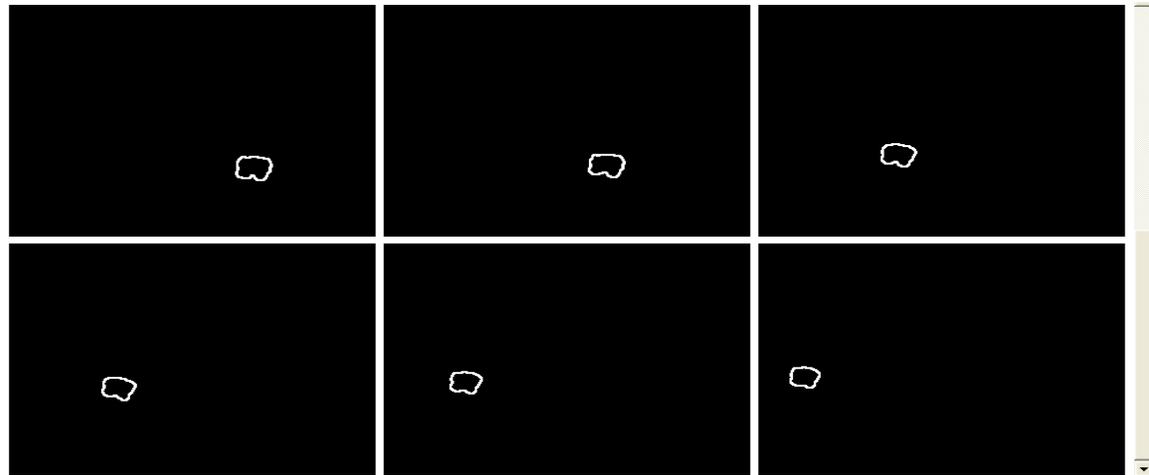
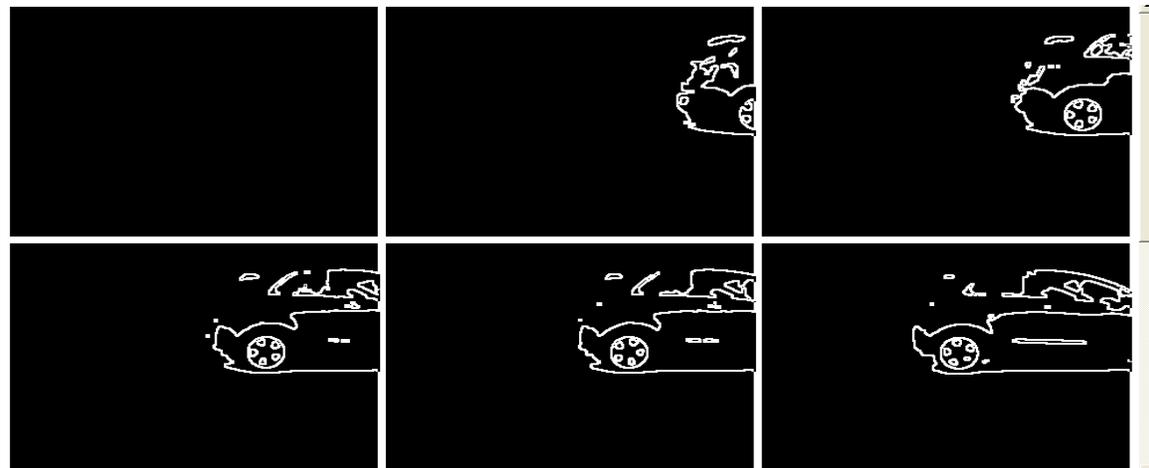


Figura E.2. Imágenes de salida con detección de bordes del caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris).

La figura E.2 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado los operadores de Sobel a la secuencia de imágenes resultantes de la binarización del “Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris)”, en donde se visualiza los bordes en color blanco del automóvil desplazándose de izquierda a derecha en cada una de las imágenes y con un fondo en color negro.

E.3. Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris



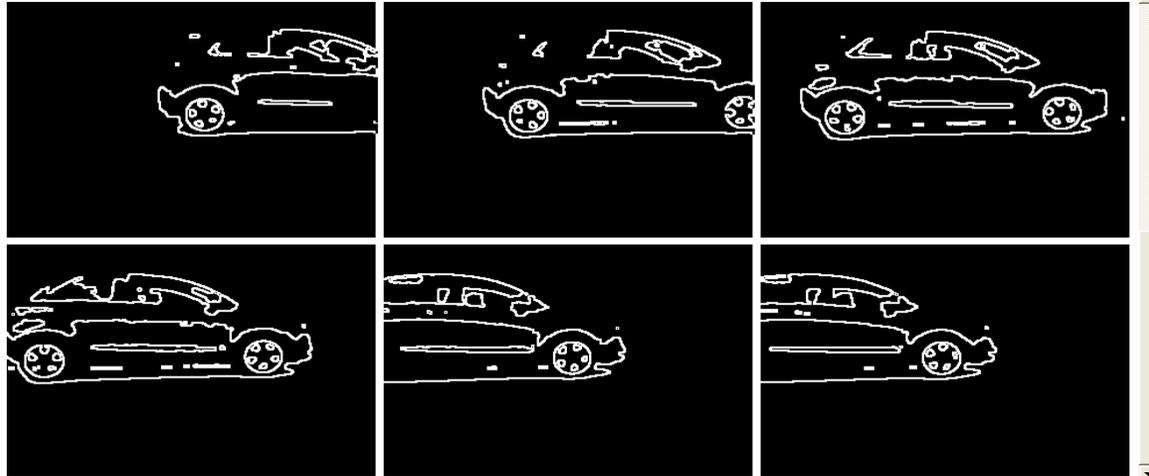
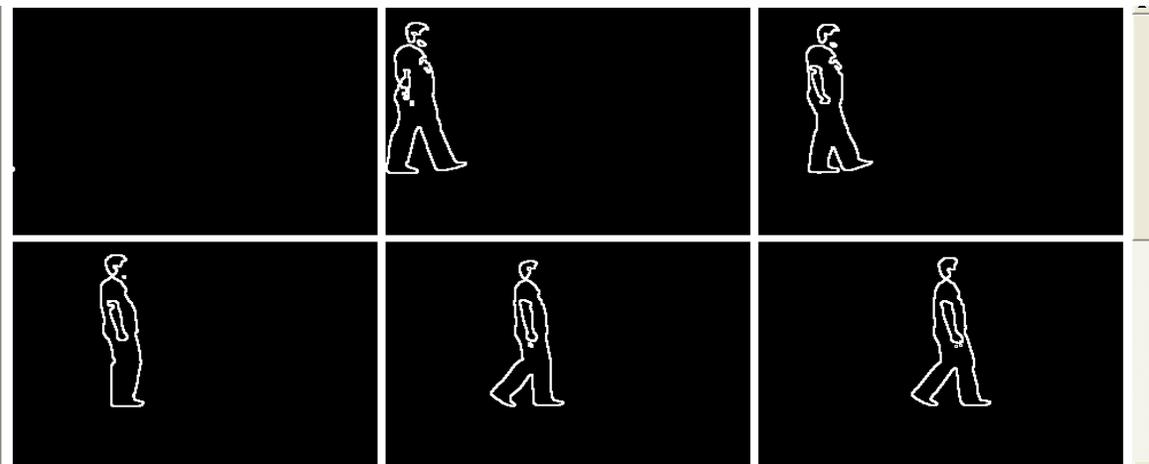


Figura E.3. Imágenes de salida con detección de bordes del Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris.

La figura E.3 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado los operadores de Sobel a la secuencia de imágenes resultantes de la binarización del “Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris”, en donde se visualiza los bordes en color blanco del automóvil desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y con un fondo en color negro.

E.4. Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris



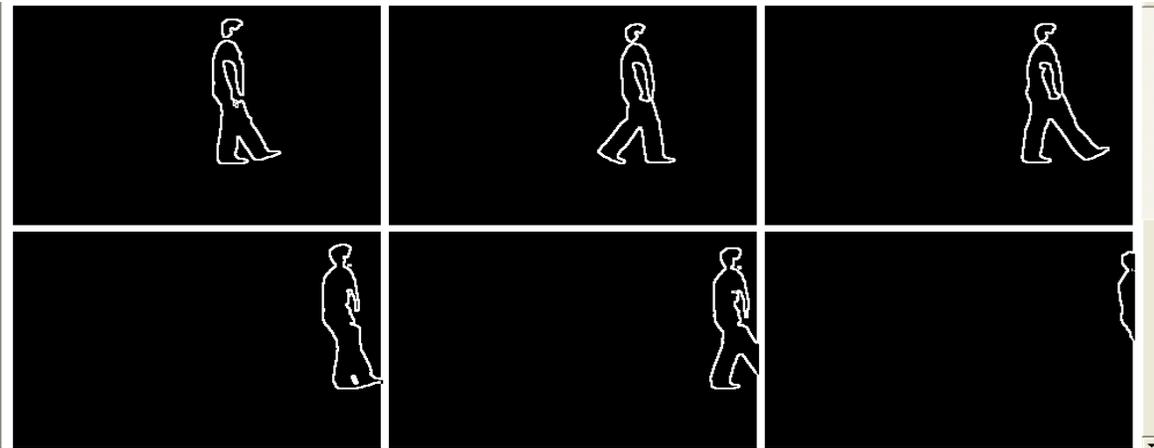
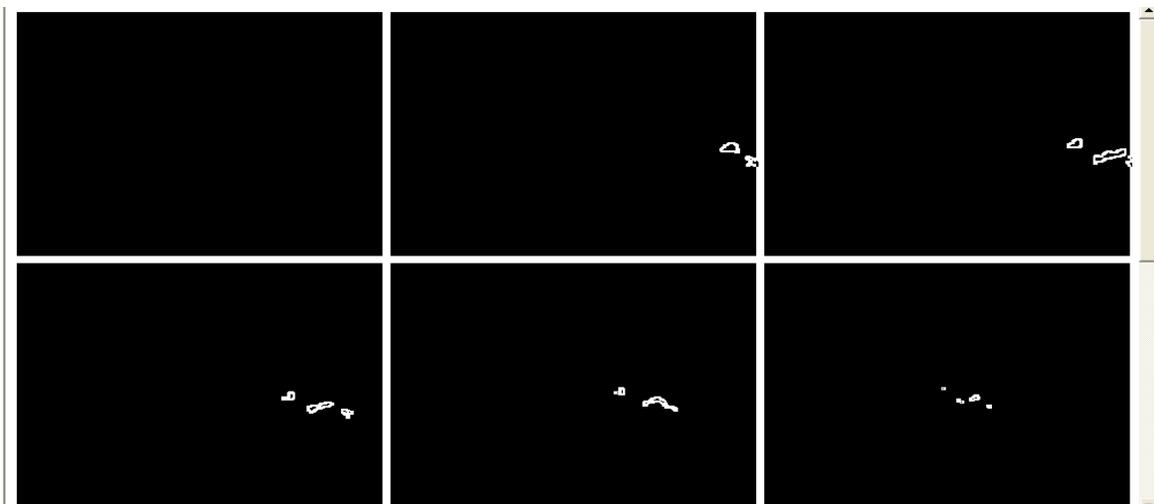


Figura E.4. Imágenes de salida con detección de bordes del caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris.

La figura E.4 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado los operadores de Sobel a la secuencia de imágenes resultantes de la binarización del “Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris”, en donde se aprecia los bordes en color blanco de la persona desplazándose de izquierda a derecha en cada una de las imágenes y con un fondo en color negro.

E.5. Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle



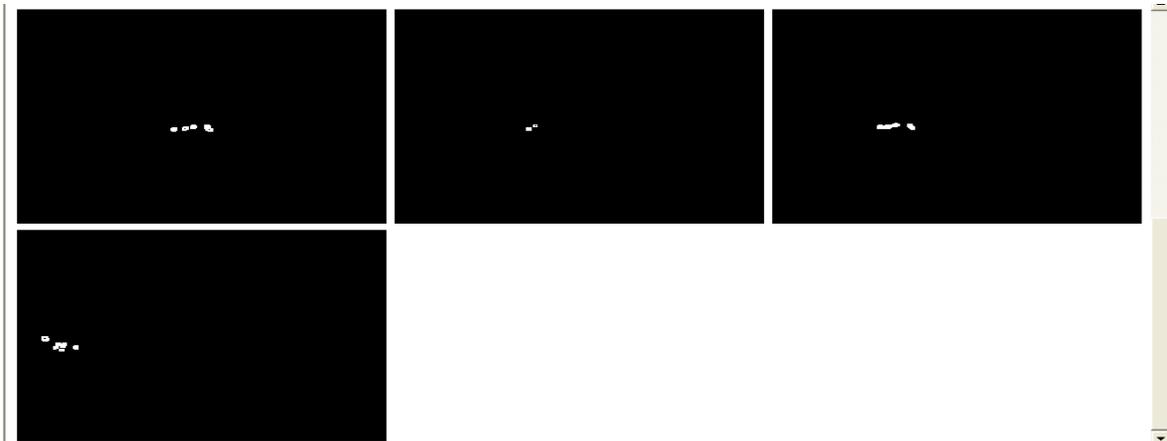


Figura E.5. Imágenes de salida con detección de bordes del caso 5. Perro de color café y como fondo una calle.

La figura E.5 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado los operadores de Sobel a la secuencia de imágenes resultantes de la binarización del “Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle”, en donde se puede visualizar los bordes en color blanco de partes del perro desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y con un fondo en color negro.

E.6. Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle

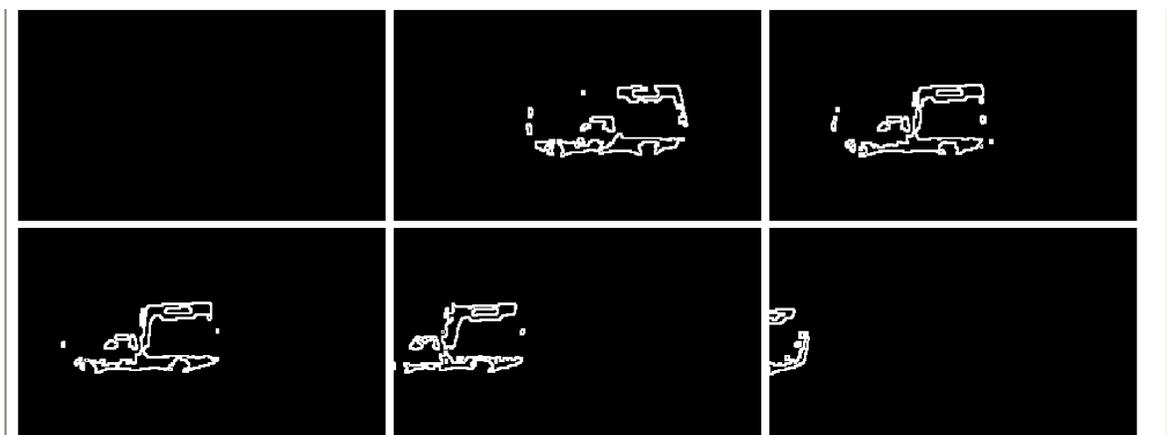


Figura E.6. Imágenes de salida con detección de bordes del caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle.

La figura E.6 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado los operadores de Sobel a la secuencia de imágenes resultantes de la binarización del “Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle”, en donde se visualiza los bordes en color blanco de la camioneta desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y con un fondo en color negro.

E.7. Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle

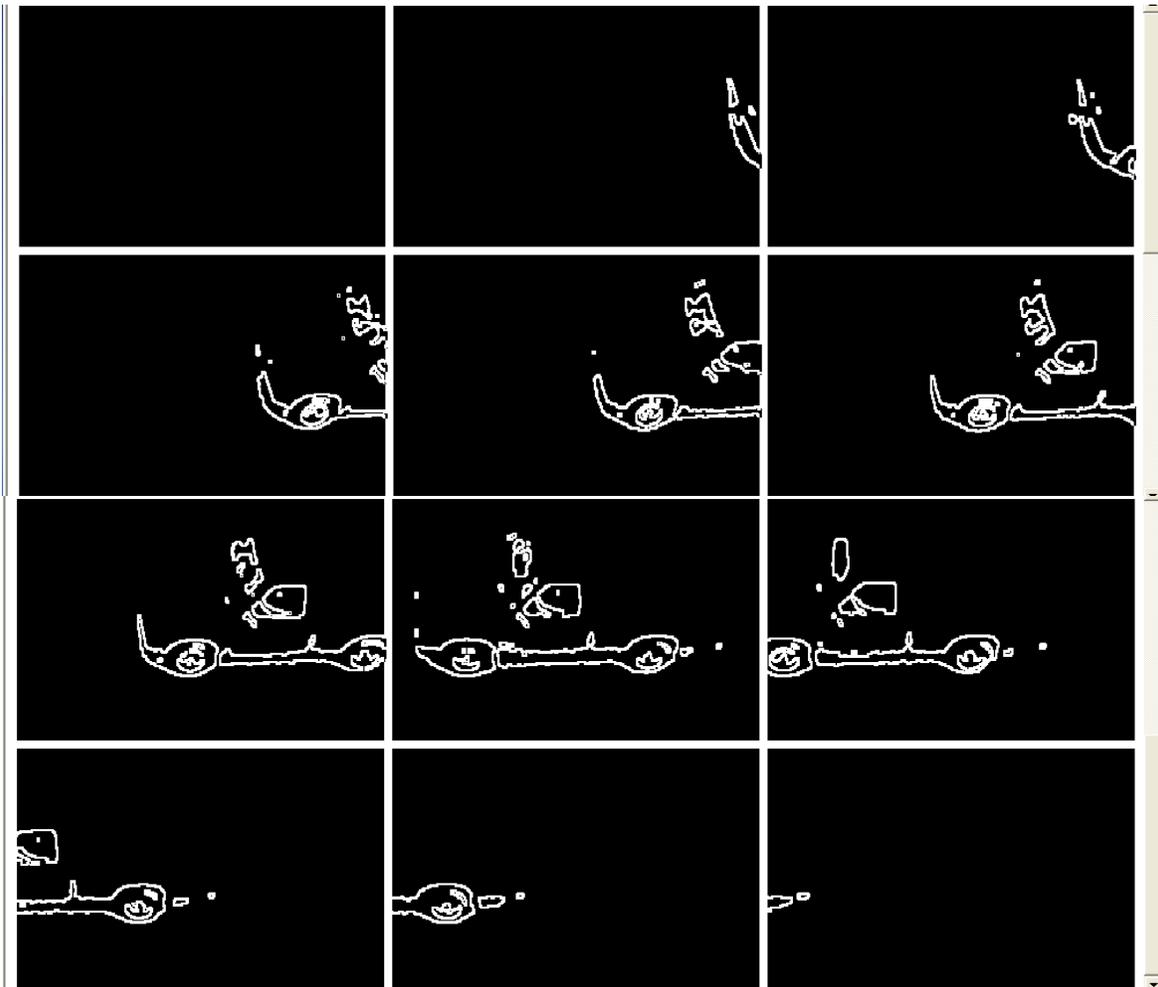


Figura E.7. Imágenes de salida con detección de bordes del caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle.

La figura E.7 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado los operadores de Sobel a la secuencia de imágenes resultantes de la binarización del “Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle”, en donde se visualiza los bordes en color blanco de la camioneta desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y con un fondo en color negro.

E.8. Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle

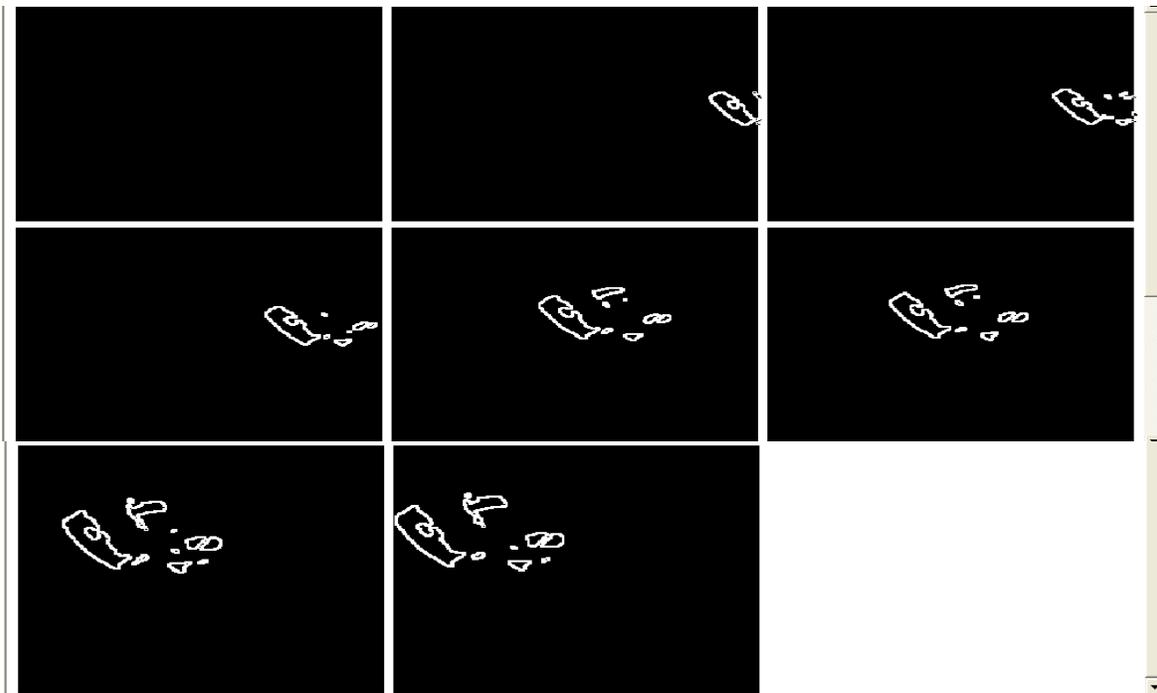


Figura E.8. Imágenes de salida con detección de bordes del caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle.

La figura E.8 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado los operadores de Sobel a la secuencia de imágenes resultantes de la binarización del “Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle”, en donde se visualiza los bordes en color blanco de la camioneta desplazándose de derecha a izquierda en cada una de las imágenes y con un fondo en color negro.

ANEXO F. IMÁGENES DE SALIDA CON DETECCIÓN Y SEGUIMIENTO

F.1. Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)



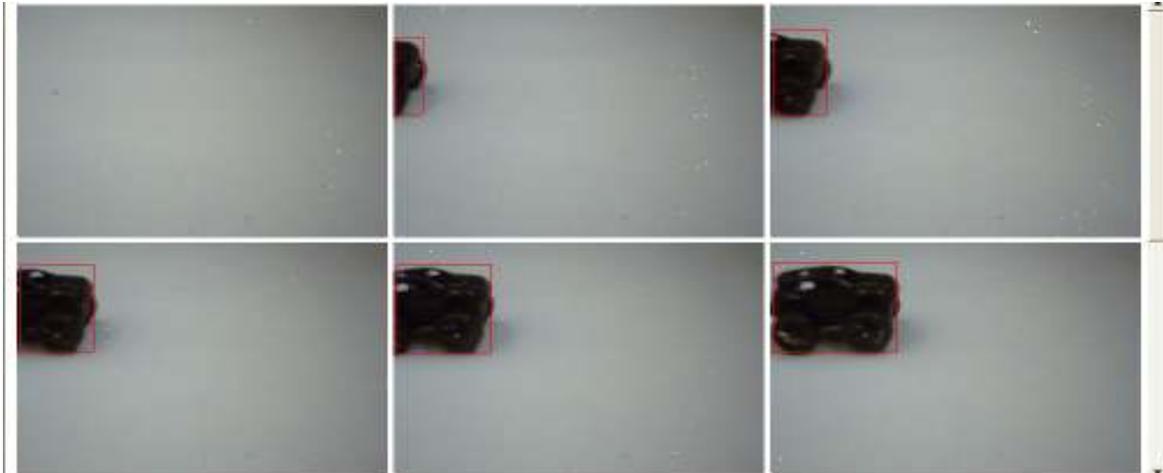
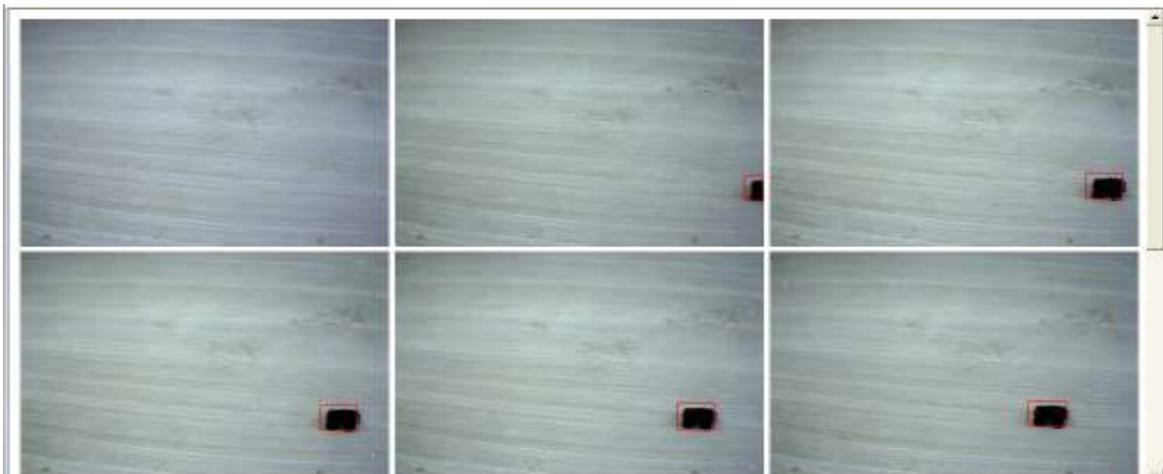


Figura F.1. Imágenes de salida con detección y seguimiento del caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco).

La figura F.1 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado la detección y seguimiento del objeto a la secuencia de imágenes resultantes de aplicar los operadores de Sobel del “Caso 1. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (blanco)”, en donde se visualiza con un polígono rojo la detección y seguimiento del automóvil de juguete de color negro en la secuencia de imágenes.

F.2. Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris)



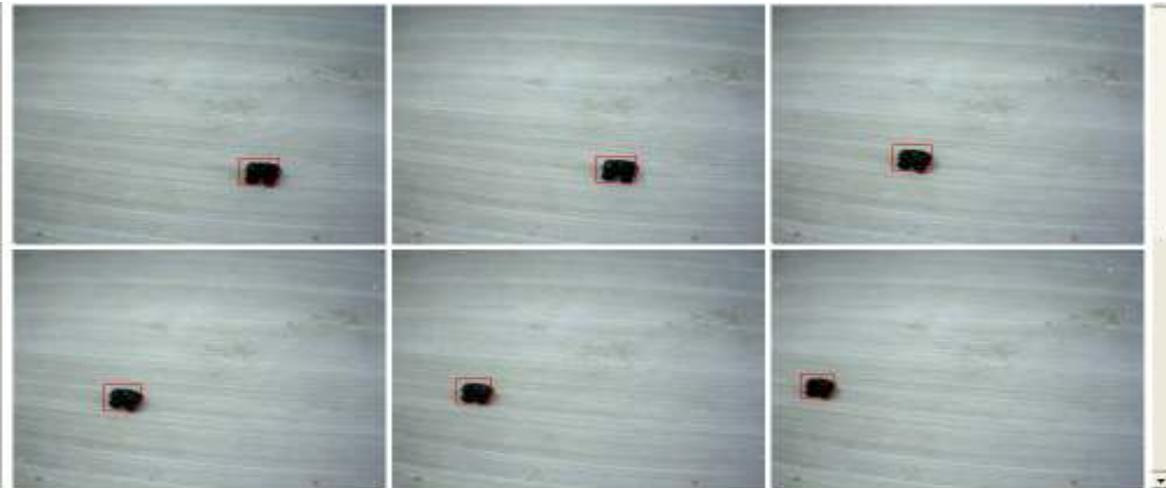


Figura F.2. Imágenes de salida con detección y seguimiento del caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris).

La figura F.2 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado la detección y seguimiento del objeto a la secuencia de imágenes resultantes de aplicar los operadores de Sobel del “Caso Caso 2. Auto de un solo color (negro) y fondo liso (gris)”, en donde se visualiza con un polígono rojo la detección y seguimiento del automóvil de juguete de color negro en la secuencia de imágenes.

F.3. Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris

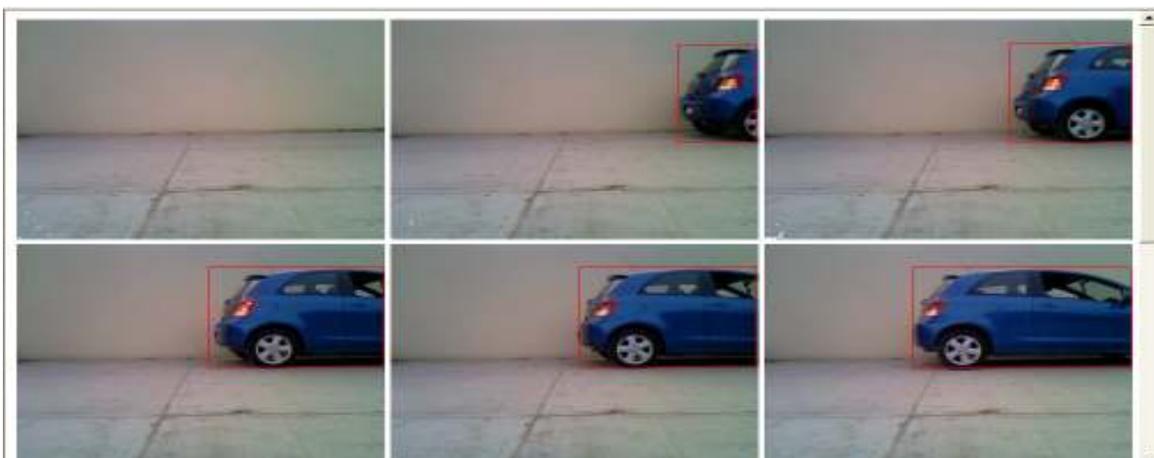
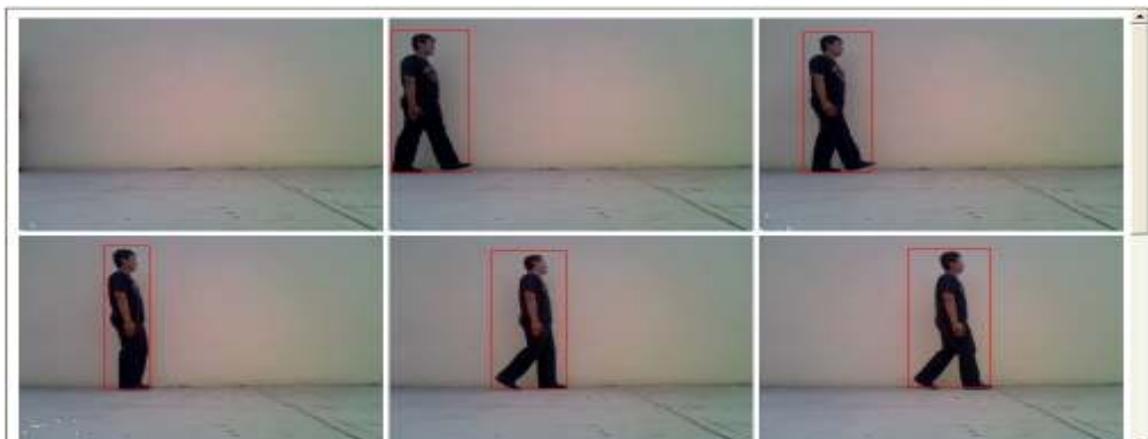




Figura F.3. Imágenes de salida con detección y seguimiento del caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris.

La figura F.3 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado la detección y seguimiento del objeto a la secuencia de imágenes resultantes de aplicar los operadores de Sobel del “Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo y gris”, en donde se visualiza con un polígono rojo la detección y seguimiento del automóvil real de color azul en la secuencia de imágenes.

F.4. Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris



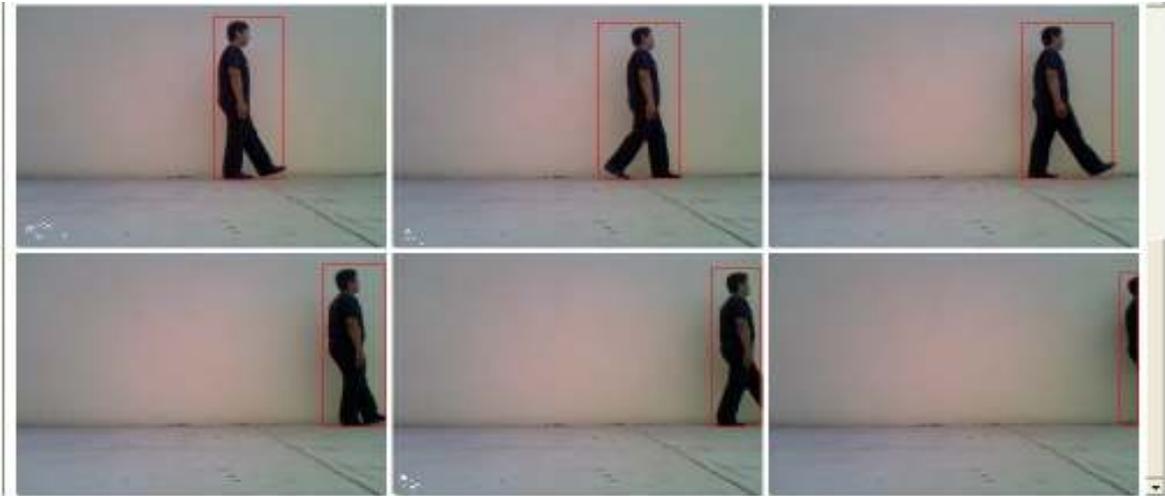
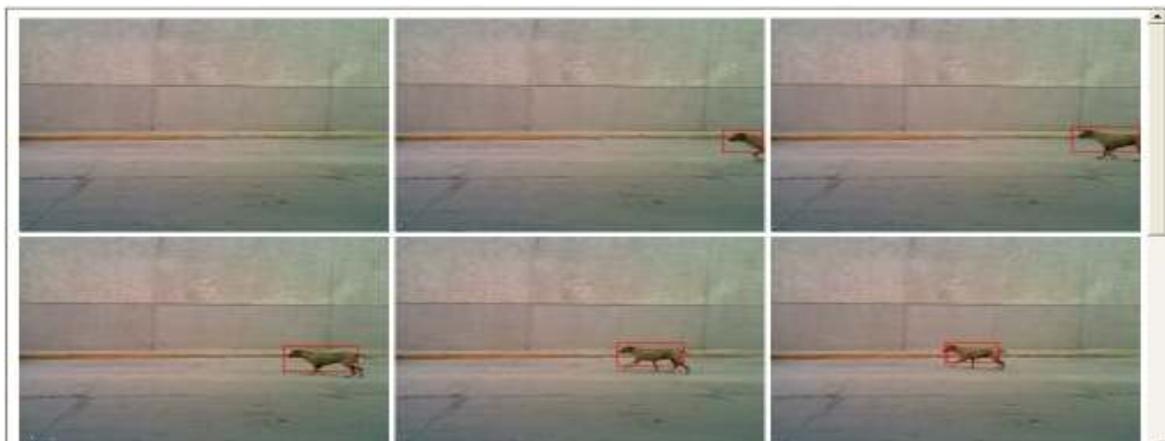


Figura F.4. Imágenes de salida con detección y seguimiento del caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris.

La figura F.4 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado la detección y seguimiento del objeto a la secuencia de imágenes resultantes de aplicar los operadores de Sobel del “Caso 4. Persona vestida de color negro con fondo amarillo y gris”, en donde se visualiza con un polígono rojo la detección y seguimiento de la persona vestida de color negro en la secuencia de imágenes.

F.5. Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle



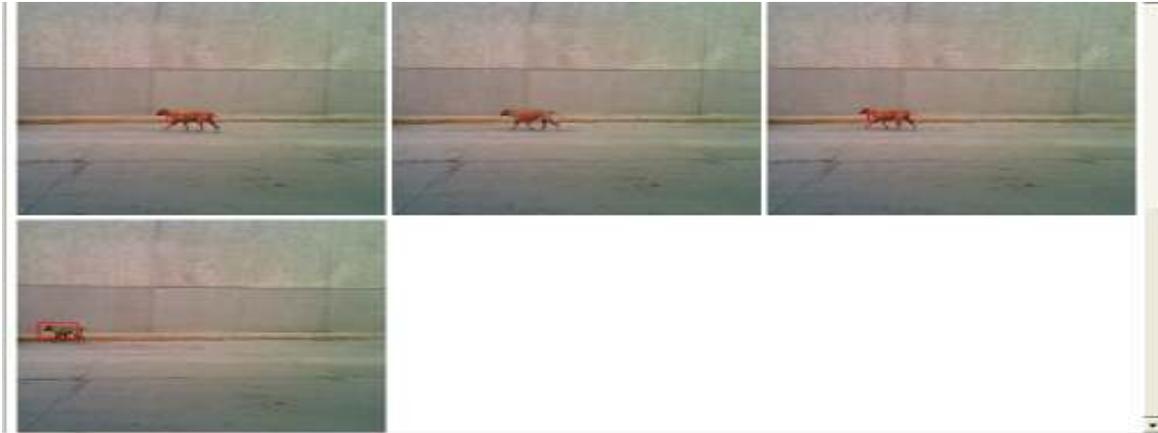


Figura F.5. Imágenes de salida con detección y seguimiento del caso 5. Perro de color café y como fondo una calle.

La figura F.5 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado la detección y seguimiento del objeto a la secuencia de imágenes resultantes de aplicar los operadores de Sobel del “Caso 5. Perro de color café y como fondo una calle”, en donde se visualiza con un polígono rojo la detección y seguimiento del perro de color café en la secuencia de imágenes.

F.6. Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle



Figura F.6. Imágenes de salida con detección y seguimiento del caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle.

La figura F.6 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado la detección y seguimiento del objeto a la secuencia de imágenes resultantes de aplicar los operadores de Sobel del “Caso 6. Camioneta de color rojo y como fondo una calle”, en donde se visualiza con un polígono rojo la detección y seguimiento de la camioneta de color rojo en la secuencia de imágenes.

F.7. Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle

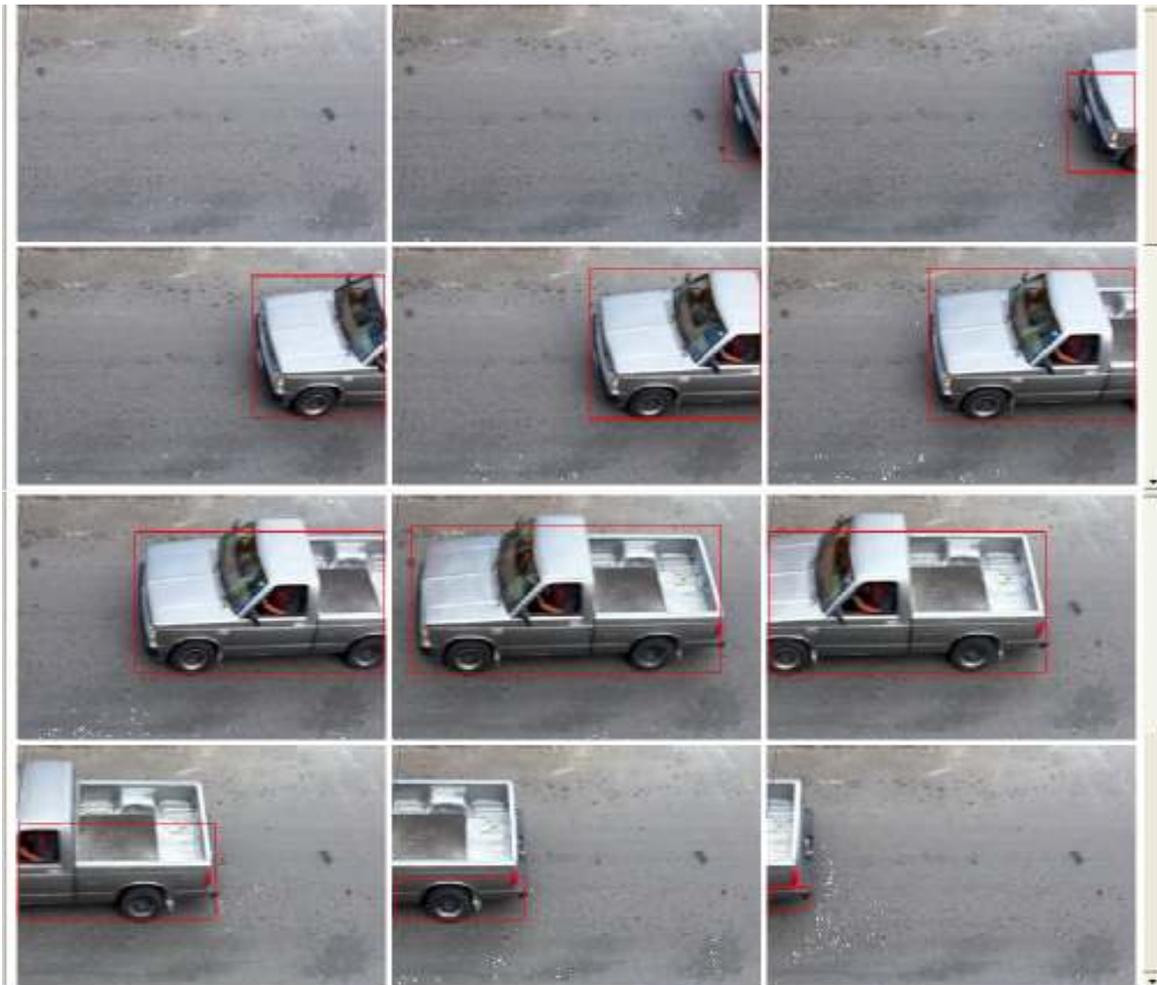


Figura F.7. Imágenes de salida con detección y seguimiento del caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle.

La figura F.7 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado la detección y seguimiento del objeto a la secuencia de imágenes resultantes de aplicar los operadores de Sobel del “Caso 7. Camioneta de color gris y como fondo una calle”, en donde se visualiza con un polígono rojo la detección y seguimiento de la camioneta de color gris en la secuencia de imágenes.

F.8. Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle

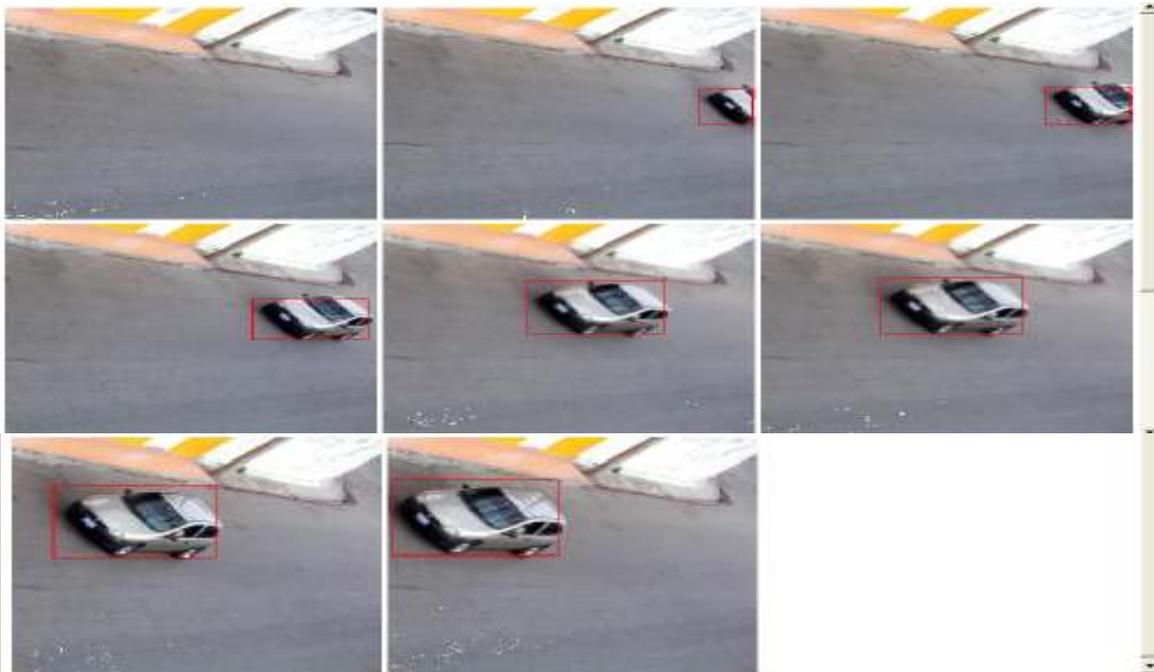


Figura F.8. Imágenes de salida con detección y seguimiento del caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo la calle.

La figura F.8 muestra una secuencia de imágenes como resultado de haber aplicado la detección y seguimiento del objeto a la secuencia de imágenes resultantes de aplicar los operadores de Sobel del “Caso 8. Automóvil de color blanco y como fondo una calle”, en donde se visualiza con un polígono rojo la detección y seguimiento del automóvil de color gris en la secuencia de imágenes.

ANEXO G. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

A continuación se da una breve descripción del funcionamiento del sistema obtenido como producto en el desarrollo en este trabajo de tesis. Y al cual se referirá en lo sucesivo como *Detection and linear monitoring of objects* (DELIMO).

Nota: Las imágenes utilizadas en el presente trabajo de tesis son para fines estrictamente educativos.

G.1. Sección de bienvenida

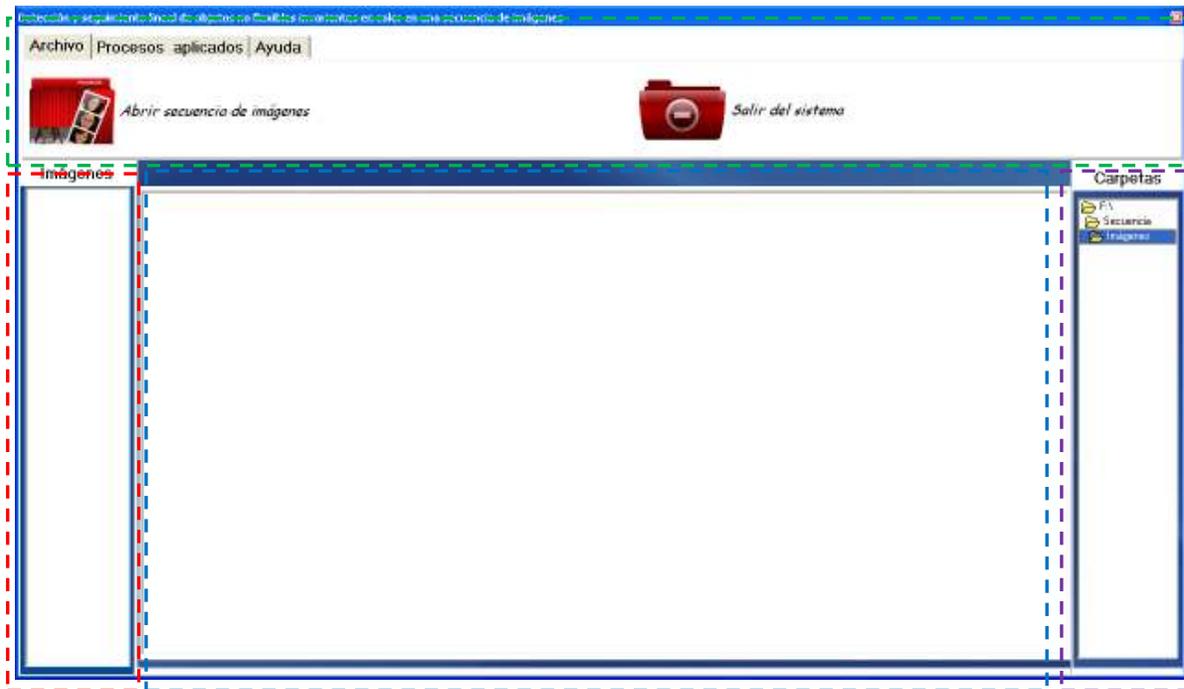
La sección de bienvenida es la primera ventana que se visualiza al momento de ejecutar el sistema, en ella se encuentran los siguientes elementos: nombre de la institución, logotipo de la institución y nombre del trabajo de tesis, como se muestra en la figura G.1.



Figura G.1. Ventana de bienvenida del sistema DELIMO

G.2. Pantalla principal de sistema desarrollado

La pantalla principal del sistema desarrollado se compone de los siguientes elementos: sección de árbol de secuencia de imágenes, sección de procesos aplicados a la secuencia de imágenes, sección de secuencia de imágenes y sección de menú de herramientas (Fig. G.2).



-  Sección de árbol de ubicación de secuencia de imágenes.
-  Sección de procesos aplicados a la secuencia de imágenes.
-  Sección de secuencia de imágenes.
-  Sección de menú de herramientas.

Figura G.2. Pantalla principal de sistema DELIMO.

G.3. Sección de procesos aplicados a la secuencia de imágenes

La sección de procesos aplicados a la secuencia de imágenes se localiza en la parte central inferior del sistema y tiene la finalidad de presentar los diferentes resultados de los procesos que desea aplicar el usuario a las imágenes de la secuencia como por ejemplo escala de grises (Fig. G.3d), filtro de la mediana (Fig. G.3b), binarización (Fig. G.3c), operadores de Sobel (Fig. G.3a), detección y seguimiento (Fig. G.3e).

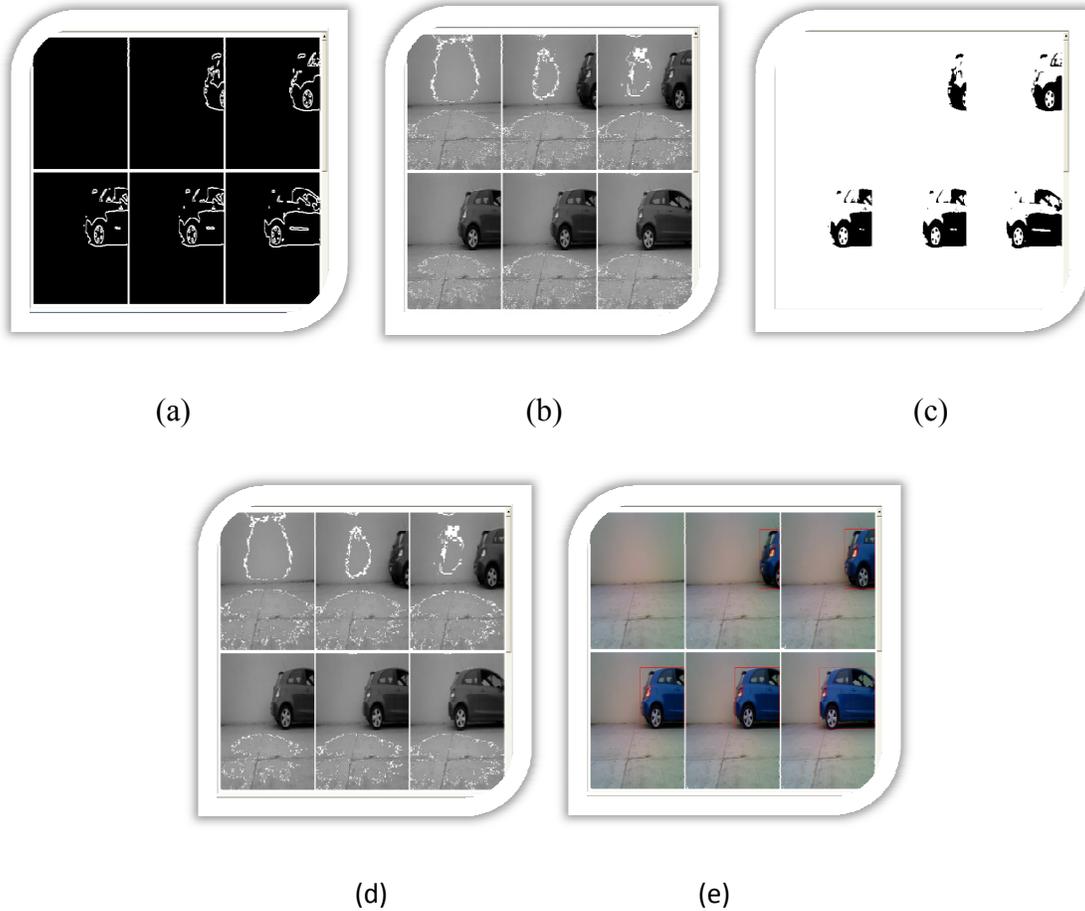


Figura G.3. Presentación de diferentes procesos aplicados a la secuencia de imágenes en la sección procesos aplicados.

G.4. Sección de árbol de ubicación de secuencia de imágenes

La sección de árbol de secuencia de imágenes, se localiza en la parte lateral derecha de la pantalla principal del sistema y tiene por objetivo mostrar todas las carpetas disponibles de la unidad para la localización exacta de la carpeta fuente que tiene contenida la secuencia de imágenes a la que desea el usuario realizar la detección y seguimiento de los objetos (Fig. G.4).

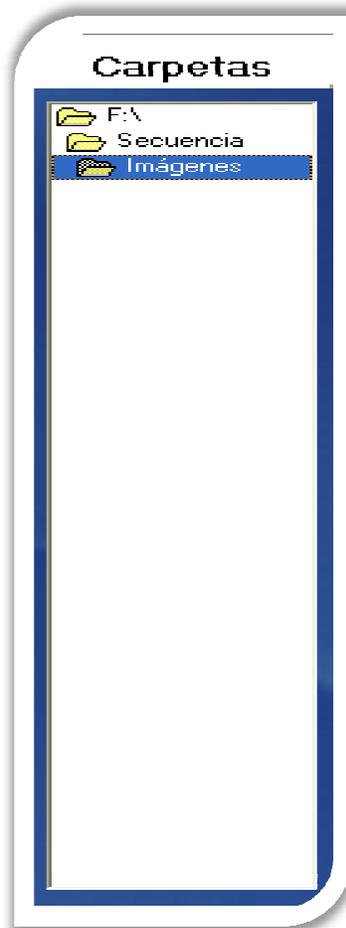


Figura G.4. Árbol de ubicación de secuencia de imágenes.

G.5. Sección de secuencia de imágenes

La sección de secuencia de imágenes se ubica en la parte lateral izquierda de la pantalla principal del sistema. Esta sección tiene la finalidad de mostrar todas las imágenes originales de la secuencia de imágenes escogidas por el usuario para la realización de la detección y seguimiento de los objetos (Fig. G.5).



Figura G.5.Sección de la secuencia de imágenes actual.

G.6. Sección de menú de herramientas

Esta sección está compuesta por las principales herramientas utilizadas en el sistema, está estructurado de la siguiente forma; tres menús que son el menú Archivo, menú procesos aplicados y el menú ayuda, cada uno de los menús tiene herramientas especiales que se pueden utilizar en el sistema, a continuación se mostrará la estructura de cada uno de los menús.

Menú archivo

En el menú `archivo` se localizan tres herramientas (Fig. G.6), se da una breve explicación de su funcionalidad.



Figura G.6. Herramienta del menú `archivo` de la sección de herramientas.

Herramienta abrir secuencia de imágenes

La herramienta `abrir secuencia de imágenes`  tiene el objetivo de cargar cada una de las imágenes de la secuencia desde la ubicación origen de la secuencia a las zonas de la sección de procesos aplicados, y sección de secuencia de imágenes.

Herramienta guardar secuencia de imágenes

La herramienta de `guardar secuencia de imágenes`  tiene la finalidad como su nombre lo dice de guardar cada una de las imágenes de la secuencia que se encuentra en la Sección de procesos aplicados a la secuencia de imágenes con destino a la ubicación deseada por el usuario en el sistema.

Herramienta salir del sistema



La herramienta de salir del sistema tiene como principal función la de dar término al sistema, en pocas palabras, cerrar toda la aplicación.

Menú procesos aplicados

En el menú procesos aplicados se localizan cinco herramientas (Fig. G.7), de las cuales se da una breve explicación de su funcionalidad.



Figura G.7. Herramienta del menú procesos aplicados de la sección de herramientas.

Herramienta Escala de grises



La herramienta de escala de grises tiene la finalidad de aplicar el método de la escala de grises a cada una de las imágenes de la secuencia siempre y cuando el usuario quiera hacer uso de este método.

Herramienta Mediana

La herramienta de la mediana  tiene la finalidad de aplicar el método del filtro de la mediana a cada una de las imágenes de la secuencia siempre y cuando el usuario quiera hacer uso de este método.

Herramienta Binarización

La herramienta de binarización  tiene la finalidad de aplicar el método de la binarización a cada una de las imágenes de la secuencia siempre y cuando el usuario quiera hacer uso de este método.

Herramienta Sobel

La herramienta de Sobel  tiene la finalidad de aplicar el método de los operadores de Sobel a cada una de las imágenes de la secuencia siempre y cuando el usuario quiera hacer uso de este método.

Herramienta Detección y seguimiento de objetos

La herramienta de detección y seguimiento de objetos  tiene la finalidad de aplicar el correspondiente análisis cuadro a cuadro entre la imagen fondo original de la secuencia contra cada una de las imágenes restantes de la secuencia, siempre y cuando el usuario quiera hacer uso de este método.

Menú Ayuda

En el menú ayuda se localiza solamente la herramienta siguiente (Fig. G.8):

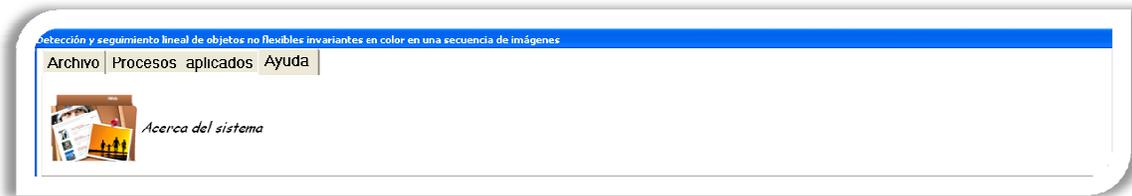


Figura G.8. Herramienta del menú ayuda de la sección de herramientas.

Herramienta de Acerca del sistema



La herramienta de acerca del sistema  tiene la finalidad de brindar información básica del sistema por ejemplo nombre del sistema, año de creación, logotipo de la universidad, nombre del desarrollador, nombre del director de tesis, entre otros elementos.

G.7. Realizar transportación de secuencia de imágenes de la carpeta origen al sistema

Para realizar la transportación de la carpeta origen de la secuencia de imágenes con destino al sistema se tiene que dirigir a la sección de árbol de ubicación de secuencia de imágenes y comenzar a realizar la búsqueda de la carpeta origen de la secuencia, una vez realizada la localización de la carpeta origen dar doble clic sobre la carpeta elegida (Fig. G.9).



Figura G.9. Localización de carpeta origen en la sección de árbol de ubicación de secuencia de imágenes.

Después de haber dado doble clic en la carpeta origen de la secuencia, se tiene que dirigir a la sección de menú de herramientas para seleccionar la pestaña de *archivo* y hacer doble clic en el botón *abrir secuencia de imágenes* (Fig. G.10).



Figura G.10. Selección del botón *abrir secuencia de imágenes* en la sección de menú de herramientas.

Después de dar clic en el botón *abrir secuencia de imágenes* se comenzarán a visualizar cada una de las imágenes de la secuencia en la sección de procesos aplicados a la secuencia de imágenes y sección de secuencia de imágenes, como se muestra en la figura G.11.

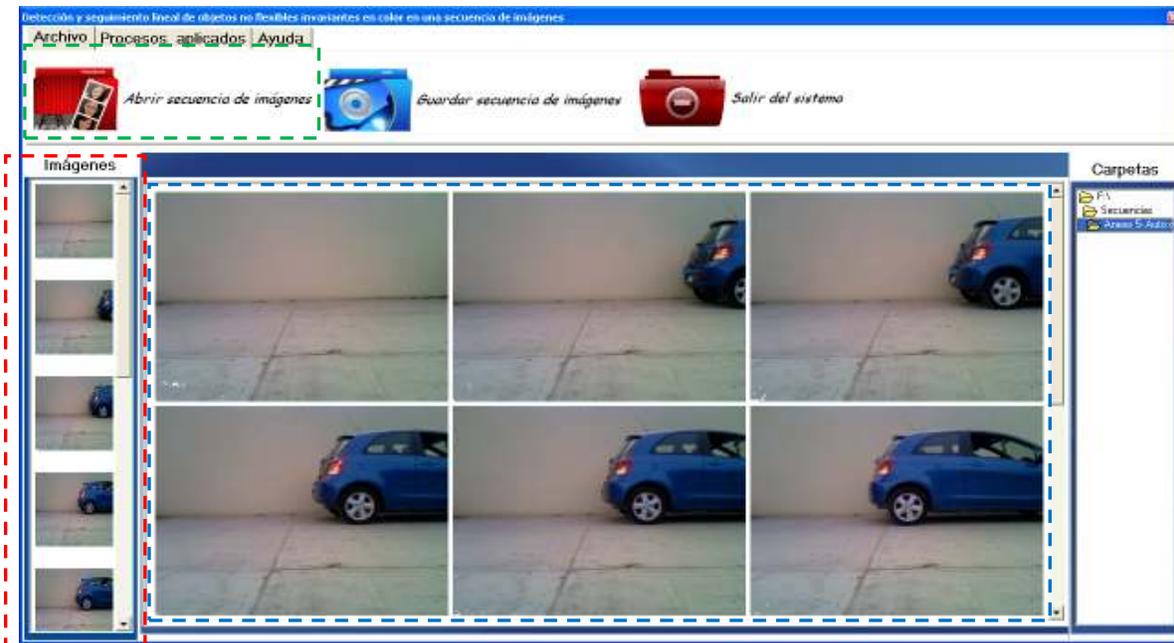


Figura G.11. Visualización de las imágenes en la sección de procesos aplicados a la secuencia de imágenes y sección de secuencia de imágenes.

G.8. Aplicación del método de la escala de grises a la secuencia de imágenes

Nota: Antes de iniciar este proceso se debe de tener la secuencia de imágenes cargadas en la sección de procesos aplicados a la secuencia de imágenes.

A continuación se dirigirá a la sección de menú de herramientas en donde se seleccionará el menú de procesos aplicados y después dar clic en el botón de la escala de grises como se muestra en la figura G.12.



Figura G.12. Realización de dar clic en el botón escala de grises en la sección de menú de herramientas.

Después de dar clic en el botón *escala de grises* se comenzará a visualizar el resultado de haber aplicado la escala de grises a cada una de las imágenes de la secuencia (Fig. G.13).

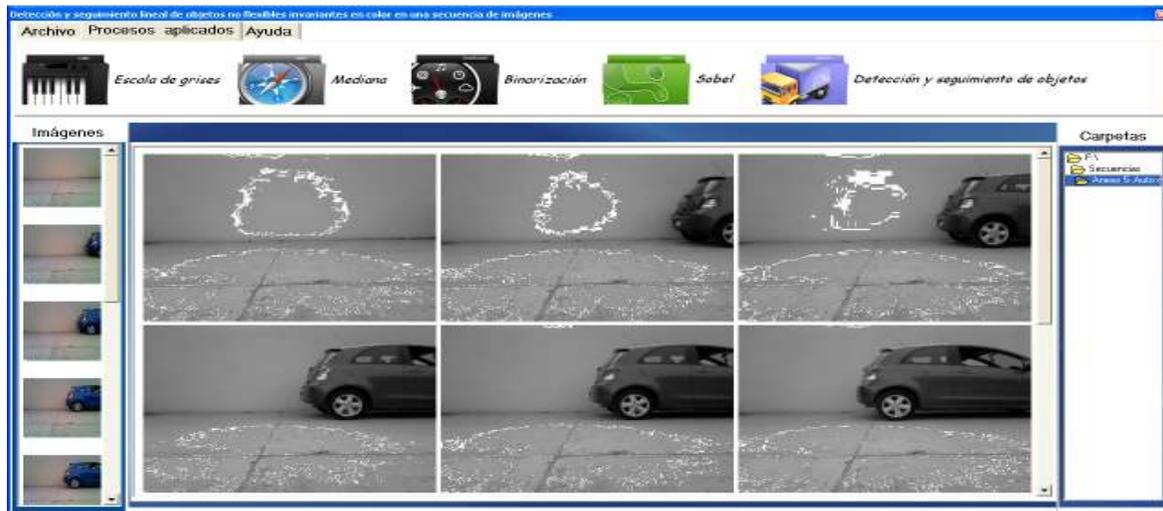


Figura G.13. Resultado de la aplicación de la escala de grises a la secuencia de imágenes.

G.9. Aplicación del método de la mediana a la secuencia de imágenes

Nota: Antes de iniciar este proceso se debe de tener la secuencia de imágenes cargadas en la sección de procesos aplicados a la secuencia de imágenes.

A continuación se dirigirá a la sección de menú de herramientas en donde se seleccionará el menú de *procesos aplicados* y después dar clic en el botón de la *mediana* como se muestra en la figura G.14.



Figura G.14. Realización de dar clic en el botón *mediana* en la sección de menú de herramientas.

Después de haber realizado clic en el botón *mediana* se comenzará a visualizar el resultado de a ver aplicado la método de la mediana a cada una de las imágenes de la secuencia (Fig. G.15).



Figura G.15. Resultado de la aplicación del método de la mediana a la secuencia de imágenes.

G.10. Aplicación del método de la binarización a la secuencia de imágenes

Nota: Antes de iniciar este proceso se debe de tener la secuencia de imágenes cargadas en la sección de procesos aplicados a la secuencia de imágenes.

A continuación se dirigirá a la sección de menú de herramientas en donde se seleccionará el menú de *procesos aplicados* y después hacer clic en el botón de la *binarización* como se muestra en la figura G.16.



Figura G.16. Realización de dar clic en el botón binarización en la sección de menú de herramientas.

Después de haber realizado clic en el botón binarización se comenzará a visualizar el resultado de haber aplicado el método de la binarización a cada una de las imágenes de la secuencia (Fig. G.17).



Figura G.17. Resultado de la aplicación del método de la binarización a la secuencia de imágenes.

G.11. Aplicación del método de Sobel a la secuencia de imágenes

Nota: Antes de iniciar este proceso se debe de tener la secuencia de imágenes cargadas en la sección de procesos aplicados a la secuencia de imágenes.

A continuación se dirigirá a la sección de menú de herramientas en donde se seleccionará el menú de procesos aplicados y después hacer clic en el botón de la Sobel como se muestra en la figura G.18.



Figura G.18. Realización de dar clic en el botón *Sobel* en la sección de menú de herramientas.

Después de haber realizado clic en el botón *Sobel* se comenzará a visualizar el resultado de a ver aplicado la método de Sobel a cada una de las imágenes de la secuencia (Fig. G.19).

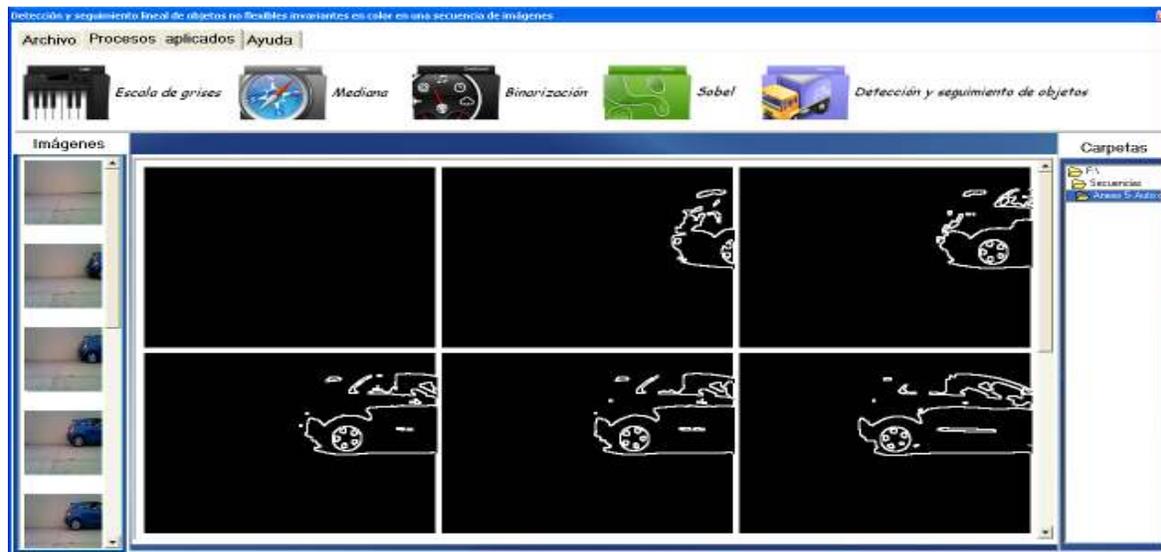


Figura G.19. Resultado de la aplicación del método de Sobel a la secuencia de imágenes.

G.12. Aplicación de la detección y seguimiento de los objetos en la secuencia de imágenes

Nota: Antes de iniciar este proceso se debe de tener la secuencia de imágenes cargadas en la sección de procesos aplicados a la secuencia de imágenes.

A continuación se dirigirá a la sección de menú de herramientas en donde se seleccionará el menú de procesos aplicados y después realizar clic en el botón de la detección y seguimiento de objetos como se muestra en la figura G.20.



Figura G.20. Realización de dar clic en el botón detección y seguimiento de objetos en la sección de menú de herramientas.

Después de haber realizado clic en el botón detección y seguimiento de objetos se comenzará a visualizar el resultado de haber aplicado la resta de las imágenes a cada una de las imágenes de la secuencia (Fig. G.21).

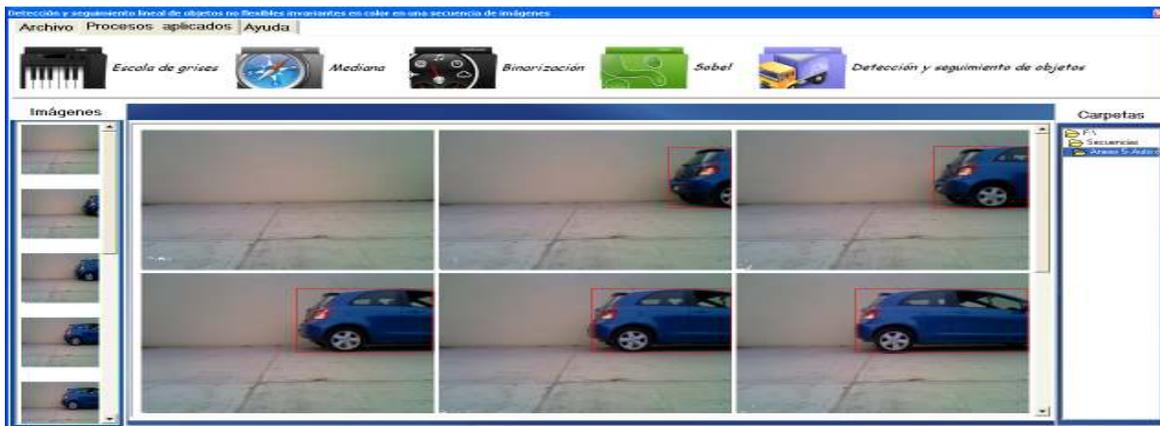


Figura G.21. Resultado de la detección y seguimiento de los objetos a la secuencia de imágenes.

Como se puede apreciar en la figura 4.22 la detección se indica por medio de un recuadro en color rojo y el seguimiento, en la secuencia de imágenes.

G.13. Solicitar ayuda acerca del sistema

A continuación se dirigirá a la sección de menú de herramientas en donde se seleccionara el menú de ayuda y después realizar clic en el botón de acerca del sistema como se muestra en la figura G.22.



Figura G.22. Realización de dar clic en el botón acerca del sistema en la sección de menú de herramientas.

Después de haber realizado clic en el botón acerca del sistema se visualizará la venta de información acerca del proyecto (Fig. G23).

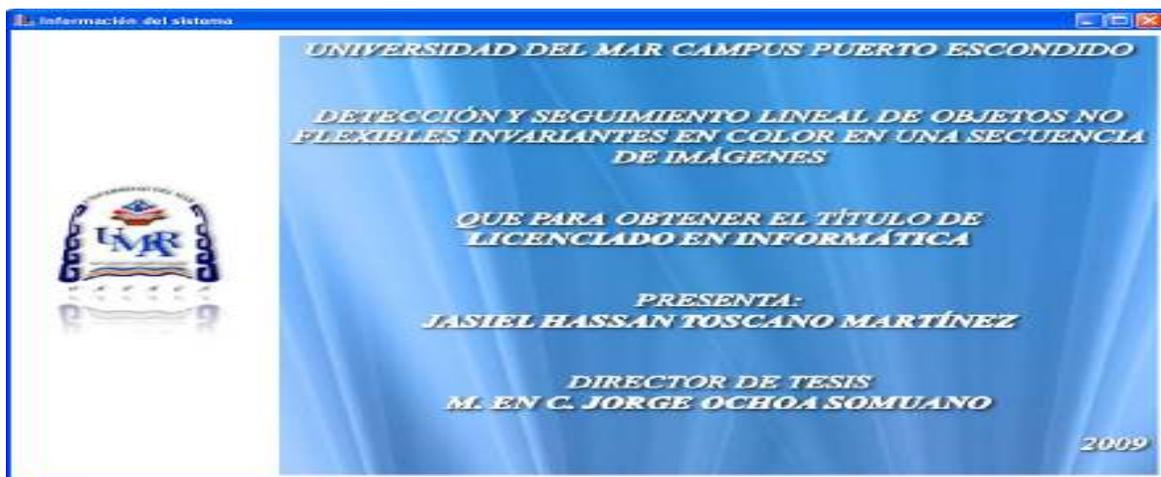


Figura G.23. Visualización de la información acerca del sistema.

G.14. Método de guardado de cada una de las imágenes de la secuencia

Para poder guardar cada una de las imágenes de la secuencia que se encuentran en la sección de procesos aplicados a la secuencia de imágenes seleccione el menú Archivo y

después realizar clic en el botón guardar secuencia de imágenes como se muestra en la figura G.24.



Figura G.24. Realización de dar clic en el botón de guardar secuencia de imágenes en la sección de menú de herramientas.

Después de haber realizado clic en el botón guardar secuencia de imágenes se visualizará el cuadro de diálogo de guardar como, con la finalidad de guardar cada una de las imágenes de la secuencia que se encuentran en la sección de procesos aplicados a la secuencia de imágenes, cabe aclarar que es importante indicar después de haber puesto el nombre con el que queremos guardar la imagen la extensión .bmp que es el formato que se maneja en el sistema desarrollado (Fig. G.25).

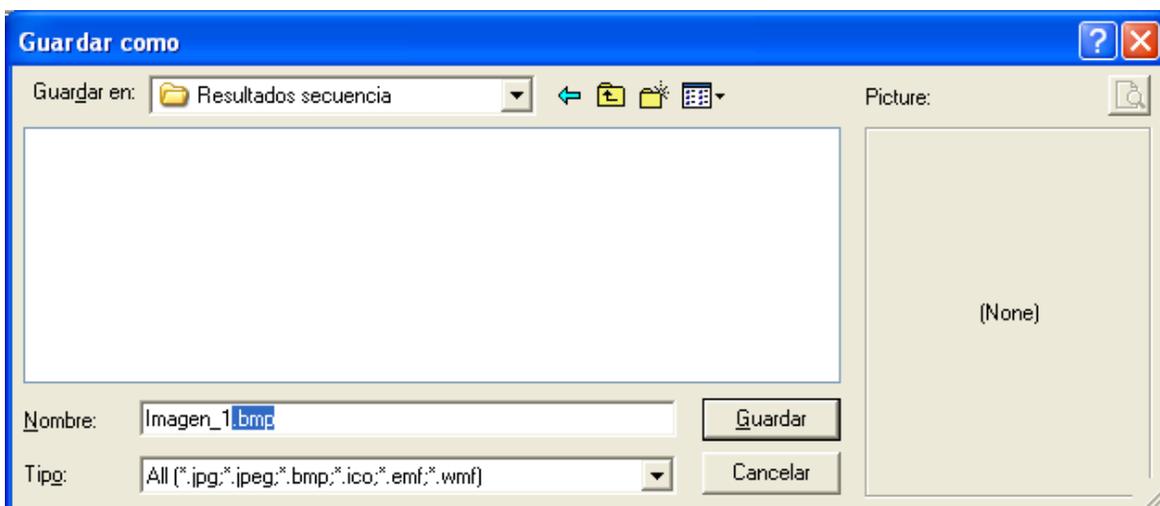


Figura G.25. Cuadro de diálogo para guardar cada una de las imágenes de la secuencia que se encuentran en el sección de procesos aplicados a la secuencia de imágenes.

G.15. Método para salir del sistema

Para salir del sistema ir a la sección de menú de herramientas en donde se seleccionará el menú archivo y después realizar clic en el botón de salir del sistema como se muestra en la figura G.26.



Figura G.26. Realización de dar clic en el botón de salir del sistema en la sección de menú de herramientas.

ANEXO H. CONTENIDO DEL CD

El contenido del CD de este trabajo de tesis está compuesto por cuatro diferentes carpetas (Fig. H.1). A continuación se da una breve descripción de cada una de ellas.



Figura H.1. Estructura del contenido del CD de este trabajo de tesis.

Carpeta Documento de tesis

La carpeta denominada documento de tesis tiene en su interior un documento en formato portátil cuyo nombre es “Tesis detección y seguimiento de objetos”, y en él se encuentra guardado el presente trabajo de tesis (Fig. H.2).



Figura H.2. Documento de tesis en formato portátil.

Carpeta Código fuente del proyecto

La carpeta cuyo nombre es “Código fuente del proyecto” está compuesta en su interior por diferentes archivos que componen al proyecto DELIMO realizado en este trabajo de tesis, cabe aclarar que el proyecto fue realizado en Borland C++ Builder 5.0 por tal motivo existen archivos en esta carpeta que se manejan en esta plataforma de desarrollo (Fig. H.3).

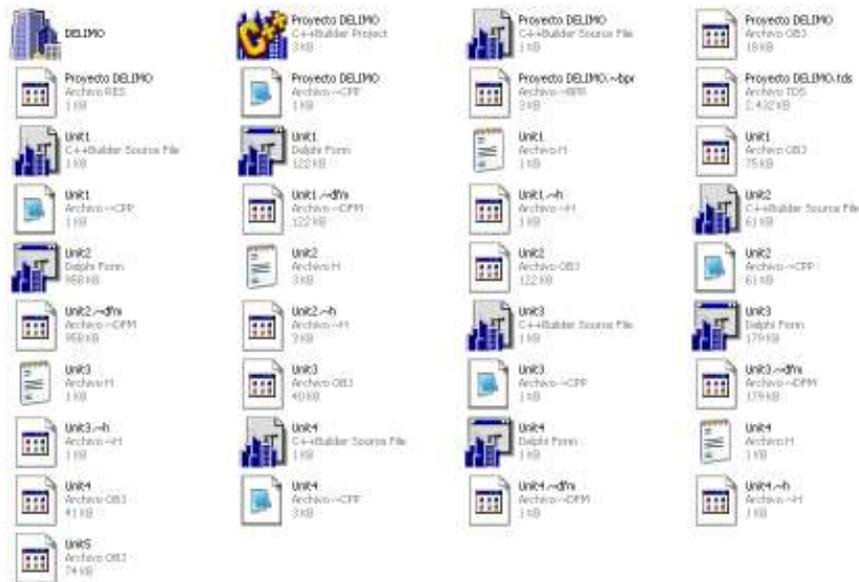


Figura H.3. Archivos fuente del trabajo de tesis.

Carpeta Ejecutable del proyecto

La carpeta nombrada “Ejecutable del proyecto”, está compuesta únicamente por el archivo ejecutable del sistema DELIMO desarrollado en este trabajo de tesis (Fig. H.4).



Figura H.4. Archivo ejecutable del sistema desarrollado DELIMO.

Carpeta Anexos del proyecto

La carpeta llamada “Anexos del proyecto”, está compuesta por subcarpetas en las cuales se visualizan los diferentes anexos agregados en este trabajo de tesis como se muestra en la figura H.5.

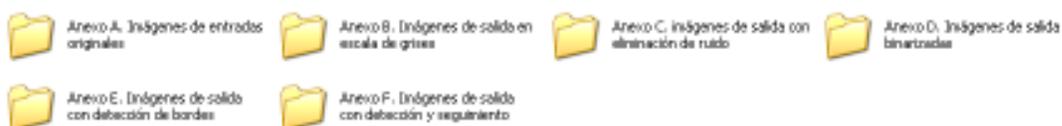


Figura H.5. Carpeta de anexos integrada al CD del trabajo de tesis.

Cada carpeta de cada anexo de este CD está compuesta por diferentes subcarpetas donde se visualizan cada uno de los casos de prueba planteados en este trabajo de tesis como se muestran en la figura H.6.

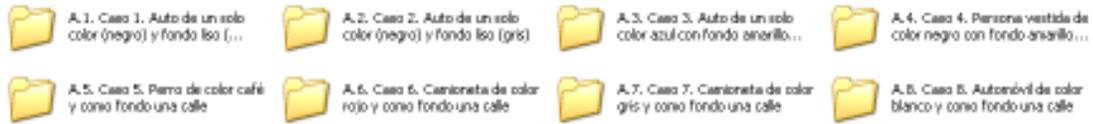


Figura H.6. Carpetas de imágenes de entrada de cada caso de prueba.

La carpeta de cada uno de los casos de prueba, está integrada por sus correspondientes imágenes que componen al caso de prueba seleccionado y van relacionados según al anexo elegido anteriormente por el usuario como se muestra en la figura H.7.

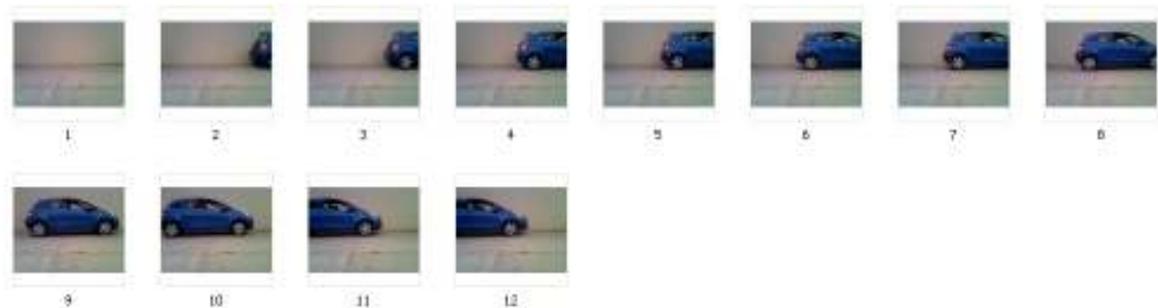


Figura H.7. Imágenes de entrada del caso de prueba A.3. Caso 3. Auto de color azul con fondo amarillo.

Carpeta Instalador del proyecto

La carpeta nombrada “instalador de proyecto”, está compuesta por diferentes archivos entre los cuales únicamente seleccionará y dará doble clic sobre el icono del Setup del sistema DELIMO, con la finalidad de comenzar la instalación del sistema (Fig. H.8).



Figura H.8. Setup del sistema DELIMO.

Nota: Para instalar de manera correcta el sistema desarrollado DELIMO se seguirán las instrucciones que se indican en el mismo instalador.

Referencias

Alarcón Ríos, E 2004, 'Seguimiento y predicción del movimiento de objetos rígidos en un ambiente complejo', Thesis, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, México.

Diccionario de la lengua española 1997, Océano, España.

Diccionario didáctico de español 1995, Ediciones SM, México.

Esqueda Elizondo, JJ & Palafox Maetre, LE 2005, *Fundamentos de procesamiento de imágenes*, Selección Anual para el libro universitario, Universidad Autónoma de Baja California, México.

González, RC & Woods, RE 1992, *Tratamiento digital de imágenes*, Addison-Wesley/Diaz de Santos, Estados Unidos de América.

Hecht, E 1986, *Óptica*, Addison Wesley Iberoamericana, México.

Lira, J 1987, *La percepción Remota: Nuestros ojos desde el espacio*, Fondo de Cultura Económica, México.

Malacara, D 1989, *Óptica Tradicional y moderna*, Fondo de Cultura Económica, México.

Mei, X, Chong-Zhao, H & Lei, Z 2007, 'Moving Shadow Detection and Removal for Traffic Sequences', *International Journal of Automation and Computing*, vol. 4, no. 1, pp. 38-46.

Messelodi, S, Modena, CM & Zanin, M 2005, 'A computer vision system for the detection and classification of vehicles at urban road intersections', *Springer-Verlag London Limited 2005*, no. 8, pp. 17-31.

Pajares Martinsanz, G & de la Cruz García, J 2008, *Visión por computador imágenes digitales y aplicaciones*, 2nd edn, Alfaomega Grupo Editor, México.

Pajares Martinsanz, G & Santos Peñas, M 2006, *Inteligencia artificial e ingeniería del conocimiento*, Alfaomega Grupo Editor, México.

Sánchez Maza, MA 2001, *Photoshop*, Innovación y cualificación, España.

Sarukhán, J 1988, *Las musas de Darwin*, Fondo de Cultura Económica, México.

Villamil Brito, JM 2002, 'Seguimiento de objetos rígidos en secuencias de imágenes', Thesis, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, México.

Weitzenfeld, A 2004, *Ingeniería de Software Orientada a Objetos con Uml, Java e Internet*, Thomson, México.

Winckler, G s.f., *Diccionario de uso L*, Universidad de Buenos Aires, Fecha de consulta 12 de agosto de 2009, <<http://www.winckler.com.ar/LI.htm>>.