

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO EN
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

TEMA: ANÁLISIS DEL CONDUCTOR: ESTIMACIÓN DE LA
DISTRACCIÓN Y SOMNOLENCIA MEDIANTE VISIÓN POR
COMPUTADOR E INTELIGENCIA ARTIFICIAL USANDO TECNOLOGÍA
TOF.

AUTORES:

FERNANDO ALEJANDRO GUEVARA CARRILLO
OSWALDO SEBASTIÁN VALENCIA BERNAL

SANGOLQUÍ – ECUADOR

2013

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

FERNANDO ALEJANDRO GUEVARA CARRILLO

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “ANÁLISIS DEL CONDUCTOR: ESTIMACIÓN DE LA DISTRACCIÓN Y SOMNOLENCIA MEDIANTE VISIÓN POR COMPUTADOR E INTELIGENCIA ARTIFICIAL USANDO TECNOLOGÍA TOF”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan con su referencia correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 23 de Abril del 2013

Fernando Alejandro Guevara Carrillo

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, Fernando Alejandro Guevara Carrillo

Yo, Fernando Alejandro Guevara Carrillo Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo: “ANÁLISIS DEL CONDUCTOR: ESTIMACIÓN DE LA DISTRACCIÓN Y SOMNOLENCIA MEDIANTE VISIÓN POR COMPUTADOR E INTELIGENCIA ARTIFICIAL USANDO TECNOLOGÍA TOF”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 23 de Abril del 2013

Fernando Alejandro Guevara Carrillo

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

OSWALDO SEBASTIÁN VALENCIA BERNAL

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “ANÁLISIS DEL CONDUCTOR: ESTIMACIÓN DE LA DISTRACCIÓN Y SOMNOLENCIA MEDIANTE VISIÓN POR COMPUTADOR E INTELIGENCIA ARTIFICIAL USANDO TECNOLOGÍA TOF”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan con su referencia correspondiente, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 23 de Abril del 2013

Oswaldo Sebastián Valencia Bernal

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, Oswaldo Sebastián Valencia Bernal

Yo, Oswaldo Sebastián Valencia Bernal Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo: "ANÁLISIS DEL CONDUCTOR: ESTIMACIÓN DE LA DISTRACCIÓN Y SOMNOLENCIA MEDIANTE VISIÓN POR COMPUTADOR E INTELIGENCIA ARTIFICIAL USANDO TECNOLOGÍA TOF", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 23 de Abril del 2013

Oswaldo Sebastián Valencia Bernal

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICADO

Dr. Marco Flores,
Ing. Víctor Proaño

CERTIFICAN

Que el Trabajo “ANÁLISIS DEL CONDUCTOR: ESTIMACIÓN DE LA DISTRACCIÓN Y SOMNOLENCIA MEDIANTE VISIÓN POR COMPUTADOR E INTELIGENCIA ARTIFICIAL USANDO TECNOLOGÍA TOF”, realizado por los señores Fernando Alejandro Guevara Carrillo y Oswaldo Sebastián Valencia Bernal, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple con normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a los señores Fernando Alejandro Guevara Carrillo y Oswaldo Sebastián Valencia Bernal que lo entreguen al Ingeniero Luis Orozco, en su calidad de Coordinador de la Carrera.

Dr. Marco Flores
DIRECTOR

Ing. Víctor Proaño
CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por la bendición de vivir, para aprender a salir adelante cada día y por el hecho de poner en mi vida a grandes personas que me han enseñado varios importantes valores como la humildad, el respeto y la responsabilidad.

Un agradecimiento especial a mi familia y amigos por compartir buenas y malas experiencias, ya que aquello me ha servido de inspiración para salir adelante y siempre luchar por mis metas.

Agradezco también a todos los profesores de mi carrera estudiantil, ya que gracias a ellos me desarrollé como un buen profesional; conservando los valores morales, éticos y espirituales.

Una vez un amigo, que en paz descansa, me dijo:

*“Vivir no es sólo existir,
sino existir y crear,
saber gozar y sufrir
y no dormir sin soñar.”*

Alejandro

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico con el mayor amor del mundo a mis padres Fernando y Geovanna por su inagotable esfuerzo y dedicación constante en formar dos hijos, dos hombres de bien, que siguiendo sus consejos, perseveramos en nuestras metas hasta alcanzarlas, manteniendo la frente en alto ante diferentes adversidades. A mi hermano Paúl por su cariño y admiración mutua en nuestras diferentes profesiones. A mis abuelos Luis, Teresa y Manuela por su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida.

A todos ellos infinitas bendiciones por enseñarme:

*“El éxito se alcanza convirtiendo cada paso en una meta
y cada meta en un paso”*

Alejandro

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado vida y salud, lo que me permitió seguir adelante día a día en este largo camino con las fuerzas necesaria para levantarme cada vez que tuve que caer.

Agradezco también a la institución que me vio formar como un profesional rescatando siempre los valores humanos, así como a los profesores que fueron un pilar fundamental para que ahora pueda convertirme en un profesional.

Agradeciendo de manera especial a mis padres que siempre estuvieron ahí para apoyarme en cualquier dificultad, a mí hermano que nunca dudo en extenderme una mano cuando la necesite.

Por ultimo pero el más importante de los agradecimientos a mi esposa Alinne y mi hija Amira quienes caminaron junto a mí mientras avanzaba en este proceso, ya que sin la paciencia y el apoyo de ellas yo no hubiese podido estar aquí en este momento escribiendo esto.

Sebastián

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis padres, María del Carmen y Oswaldo, quienes han sido mi ejemplo de vida sabiendo sacar adelante a su familia a base de esfuerzo y sacrificio, dándome la mejor visión de ser un gran padre para mi hija. A mi hermano que ha sido mi mejor amigo compartiendo junto a mi mis alegrías y tristezas.

A mi hija Amira que ha sido la motivación más grande en mi vida, el motor que me permite seguir hasta cuando no me queda aliento y levantarme con más fuerza de las caídas más duras.

Pero sobretodo este trabajo va dedicado a la persona que estuvo conmigo en las buenas y en las malas, la persona que nunca dejo de confiar en mí, la persona que se desveló a mi lado tantas noches sin mostrar rastros de cansancio, la persona que siempre estuvo orgullosa de mi, la persona que hizo que este momento sea posible, esto va dedicado a mi amada esposa Alinne.

PRÓLOGO

La alternativa tecnológica para detectar y prevenir accidentes de tránsito a causa de la distracción y/o somnolencia, constituyen el principal justificativo para la realización del proyecto.

Mediante el uso de la tecnología de tiempo de vuelo que nos permite determinar distancias de objetos con la emisión de una señal infrarroja; conjuntamente con la inteligencia artificial del modelo *CANDIDE*, se diseñó un algoritmo para seguimiento facial en tiempo real de un rostro parametrizado, que mediante una malla activada, formada por puntos vértices en el rostro

Existen tres tipos de movimientos de la cabeza que determinan la distracción: cabeceo, balanceo y giro; cuando exista un movimiento fuera del rango normal se activará una alerta sonora que prevendrá al conductor de posibles accidentes. El algoritmo toma puntos vértices específicos del modelo *CANDIDE* para trabajar valores de sus coordenadas en tres dimensiones.

En cambio para la determinación de somnolencia se usó las unidades de acción. Las mismas que controlan los rasgos faciales de modo que entregan valores de estado por cada expresión del rostro.

RESUMEN

En la conducción de un vehículo motorizado, el conductor debe dar una respuesta adecuada a las exigencias que le imponen las vías, las condiciones meteorológicas o ambientales, la circulación y las normas y señales que la regulan. Pero, para dar esa respuesta, necesita una buena información y una buena capacidad para actuar.

La falta de atención y/o fatiga al conducir pueden provocar graves accidentes, los mismos que pueden ser anticipados con un mecanismo de alerta en las acciones del conductor; dicho mecanismo inteligente puede optar por varias maneras para determinar los factores producentes que reflejan la errónea forma de maniobrar un automotor.

El proyecto se realizó como una alternativa a las tecnologías previstas para la detección de distracción y/o somnolencia, siendo una innovación mediante el uso de una cámara con tecnología de tiempo de vuelo, que proporciona parámetros exactos, en tres dimensiones, del rostro del conductor.

Conjuntamente con el uso de inteligencia artificial y utilizando el modelo *CANDIDE*, que es un modelo similar a una malla de alambre con una textura mapeada en su superficies que parametriza el rostro humano; se creó un algoritmo que alerta las condiciones anormales de conducción en tiempo real.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO I..... | 16 |
| DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO..... | 16 |
| 1.1 ANTECEDENTES..... | 16 |
| 1.2 DISTRACCIÓN Y SOMNOLENCIA | 21 |
| 1.2.1 Definición de Distracción | 22 |
| 1.2.2 Factores que producen la distracción..... | 23 |
| 1.2.3 Definición de Somnolencia..... | 24 |
| 1.2.4 Factores que producen la somnolencia y sus consecuencias | 25 |
| 1.2.5 La Fatiga al Conducir y la Seguridad Vial..... | 26 |
| 1.2.6 Concepto de Seguridad | 28 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA..... | 29 |
| 1.4 ALCANCE DEL PROYECTO | 33 |
| 1.5 OBJETIVOS | 34 |
| 1.5.1 General..... | 34 |
| 1.5.2 Específicos..... | 34 |
| CAPÍTULO II..... | 36 |
| DETECCIÓN DE LA SOMNOLENCIA Y LA DISTRACCIÓN: ESTADO DEL ARTE .. | 36 |
| 2.1 INTRODUCCIÓN | 36 |
| 2.1.1 Funcionamiento de los sistemas de detección de somnolencia | 37 |
| 2.2. TECNOLOGÍAS PARA LA DETECCIÓN DE DISTRACCIÓN Y/O SOMNOLENCIA EN LA CONDUCCIÓN. | 41 |
| 2.2.1 OptAlert®..... | 41 |
| 2.2.2 Detector de Fatiga de Bosch | 42 |
| 2.2.3 Sistema experimental de detección de somnolencia, basado en imágenes..... | 43 |
| 2.2.4 Aparato y método para detectar el nivel de alerta de un conductor de vehículos | 44 |
| 2.2.5 Guantes detectores de somnolencia | 45 |
| 2.2.6 Detector de somnolencia para operadores de máquinas o vehículos | 45 |
| 2.2.7 Dispositivo de Alarma Antisomnolencia..... | 47 |
| 2.2.8 Alarma para despertar a los operadores de vehículos | 48 |
| 2.2.9 Alarma de somnolencia del conductor | 49 |
| 2.2.10 Aparato y método para evaluar el nivel de alerta de un conductor con base a la frecuencia de cambios direccionales | 50 |

| | | |
|---|---|----|
| 2.2.11 | Aparato para determinar el grado de alerta del conductor..... | 50 |
| 2.2.12 | Monitor de Atención a la Conducción (S.A.M.: Steering Attention Monitor) 52 | |
| 2.2.13 | Sistema de Alerta del Conductor (DAS: Driver Alert System) | 52 |
| 2.2.14 | Conducción Guiada en el Carril (Lane Guidance) | 53 |
| 2.2.15 | Dispositivo Adaptado para “Revivir” a un Operador Fatigado | 54 |
| CAPÍTULO III..... | | 55 |
| INTERFACE DE PROGRAMACIÓN | | 55 |
| 3.1 | TECNOLOGÍA DE TIEMPO DE VUELO..... | 55 |
| 3.1.1 | Rango óptico de medición del TOF. | 58 |
| 3.1.2 | Principio de Procesamiento de Imágenes mediante TOF. | 59 |
| 3.1.3 | Visión por Computador con Cámaras TOF. | 61 |
| 3.2 | MODELO CANDIDE-3, UN ROSTRO ACTUALIZADO PARAMETRIZADO.. | 63 |
| 3.2.1 | Las versiones previas de CANDIDE..... | 64 |
| 3.2.2 | Plataformas de Software | 66 |
| 3.2.3 | Nuevas Características de CANDIDE-3..... | 67 |
| 3.2.4 | Controlando el Modelo..... | 70 |
| 3.2.5 | Las Unidades de Acción y Vectores de las Unidades de Acción. | 71 |
| 3.2.6 | Las Unidades de Forma | 74 |
| 3.2.7 | Relación con MPEG-4 Animación Facial | 75 |
| CAPÍTULO IV | | 85 |
| DISEÑO DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO FACIAL, RECONOCIMIENTO DE DISTRACCIÓN Y/O SOMNOLENCIA..... | | 85 |
| 4.1. | INTRODUCCIÓN | 85 |
| 4.1.1 | Técnicas para el seguimiento de rostros | 85 |
| 4.1.2 | Métodos para el seguimiento de rostros..... | 87 |
| 4.1.3 | Aplicaciones del seguimiento de rostros..... | 87 |
| 4.2 | SECUENCIA DE EJECUCIÓN DEL ALGORITMO | 88 |
| 4.2 | INICIALIZACIÓN Y CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA | 90 |
| 4.3 | FACE TRACKING..... | 91 |
| 4.3.1 | Configuración del Ambiente de Trabajo..... | 92 |
| 4.3.2 | Descripción del Proyecto MICROSOFT.KINECT.TOOLKIT.FACETRACKING..... | 96 |
| 4.3.3 | Proyecto Facetracking Basic | 97 |
| 4.3.4 | Ejecución del Proyecto Facetracking Basic..... | 99 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.4 | NUMERACIÓN FACIAL..... | 101 |
| 4.5 | DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO..... | 105 |
| 4.5.1 | MainWindow..... | 105 |
| 4.5.2 | FaceTrackingViewer..... | 106 |
| 4.5.3 | SkeletonTraker..... | 108 |
| 4.6 | DETECCIÓN DE LA DISTRACCIÓN..... | 110 |
| 4.6.1 | Sistema de coordenadas..... | 112 |
| 4.6.2 | Alarmas del sistema de detección de distracción..... | 113 |
| 4.7 | DETECCIÓN DE LA SOMNOLENCIA..... | 116 |
| | CAPÍTULO V..... | 119 |
| | PRUEBAS Y RESULTADOS..... | 119 |
| 5.1 | PRUEBAS EN LA PLATAFORMA DE SIMULACIÓN..... | 120 |
| 5.1.1 | Pruebas de distracción..... | 120 |
| 5.1.2 | Pruebas de somnolencia..... | 132 |
| 5.2 | PRUEBAS EN UN VEHÍCULO REAL..... | 136 |
| 5.2.1 | Corrección del Flujo de datos..... | 136 |
| 5.2.2 | Pruebas de distracción..... | 137 |
| 5.2.3 | Pruebas de somnolencia..... | 150 |
| | CAPÍTULO VI..... | 154 |
| | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 154 |
| 6.1 | CONCLUSIONES..... | 154 |
| 6.2 | RECOMENDACIONES..... | 157 |
| | ANEXOS..... | 159 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 160 |
| | LIBROS, REVISTAS Y ARTÍCULOS TÉCNICOS..... | 160 |
| | PÁGINAS WEB..... | 164 |
| | PATENTES..... | 167 |
| | ÍNDICE DE FIGURAS..... | 168 |
| | ÍNDICE DE TABLAS..... | 170 |
| | GLOSARIO..... | 171 |

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES

La distracción y/o somnolencia al conducir son fenómenos complejos, que implican disminuciones en los niveles de alerta y conciencia de parte del que maneja. Estas situaciones conllevan a accidentes eludibles ante la identificación de situaciones peligrosas. El cansancio mental, como el físico, provoca el adormecimiento del conductor, y representa un factor que contribuye a los accidentes al menos en el 24 % de ellos.

En el Ecuador existe un parque automotor compuesto por aproximadamente 1`500.000 de vehículos, Ecuador es el cuarto país en el mundo y el segundo en Latinoamérica en tener accidentes de tránsito, en la ciudad de Quito se registra el 34.3% de los accidentes de tránsito a nivel nacional. [[36]]

Un accidente de tránsito es aquel producido generalmente en la vía pública, en el que se encuentra implicado uno o más vehículos circulando por ella, pudiendo involucrar a peatones, vehículos en situación estacionaria u otros elementos.

La Agencia Nacional de Tránsito en un estudio realizado en Noviembre del 2011 determinó que el factor humano ocasiona el 89% de los accidentes de tránsito en el Ecuador. Los componentes del factor humano son:

- Negligencia de conductor 60% (uso del celular, mal rebasamiento, invasión de carril, mal estacionamiento y pasar semáforo en rojo).
- Exceso de velocidad 14%.
- Embriaguez del conductor 8%.
- Imprudencia del peatón 7%.

Un porcentaje menor equivalente al 11% se debe a factores externos tales como [[37]]:

- Mal estado de la vía 6%
- Casos fortuitos 2%.
- Factores climáticos 2%.
- Daños mecánicos 1%.

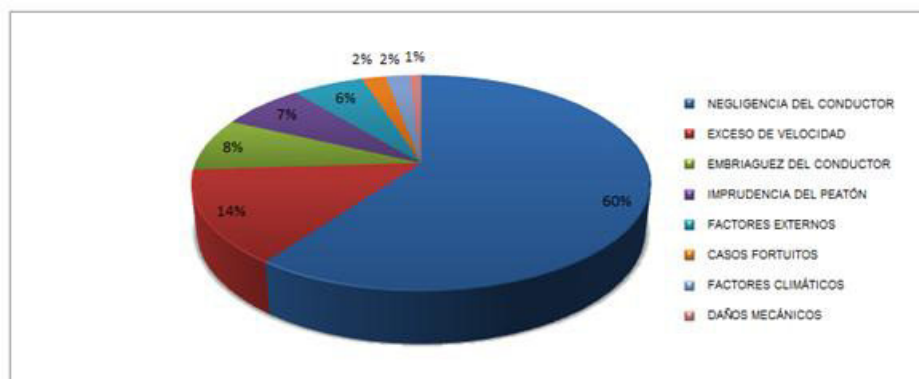


Figura 1.1. Causas de los Accidentes de Tránsito en el Ecuador

Podemos observar en la *Figura 1.1.*, que la mayor causa de accidentes de tránsito se debe a la Negligencia del Conductor en un 60%.

La Negligencia es la falta de cuidado o el descuido. Una conducta negligente, por lo general, implica un riesgo para uno mismo o para terceros y se produce por la omisión del cálculo de las consecuencias previsibles y posibles de la propia acción.

Por ejemplo: una persona que habla por celular mientras conduce un vehículo está cometiendo una negligencia. Se ha comprobado que hablar y conducir son dos actividades que no pueden realizarse a la vez ya que el sujeto se desconcentra y puede provocar un accidente de tránsito.

La negligencia está penada por la Justicia ecuatoriana, ya sea civil o penal según el caso. La culpa está dada en la omisión de la conducta debida para prever y evitar el daño causado. En el caso del ejemplo anterior, la persona que conduce mientras habla por teléfono está llevando a cabo una riesgosa; por eso, dicha conducta se encuentra castigada por la ley mediante infracciones.

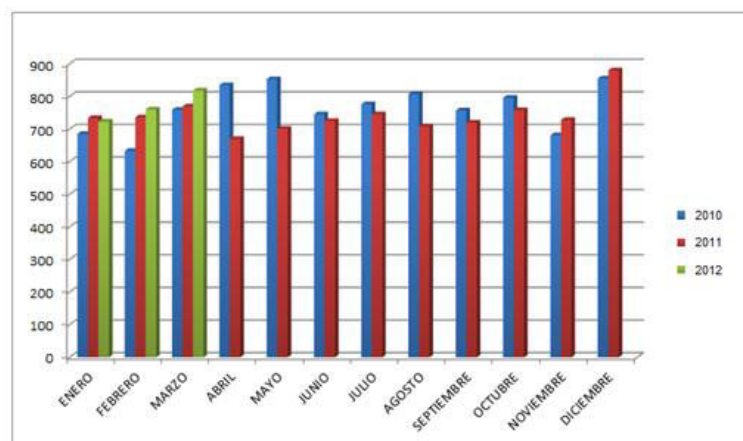


Figura 1.2. Accidentes de Tránsito ocurridos en 2010-2011-2012

El total de heridos en accidentes de tránsito en el Ecuador durante los dos últimos años se indica en la *Figura 1.3*, el cual fue el siguiente: En el 2010 un total de 6070 personas; mientras que en el 2011 se registró un total de 5798 personas. En lo que va del año se registraron un total de 475 y 463 personas heridas en los meses de Enero y Febrero respectivamente.

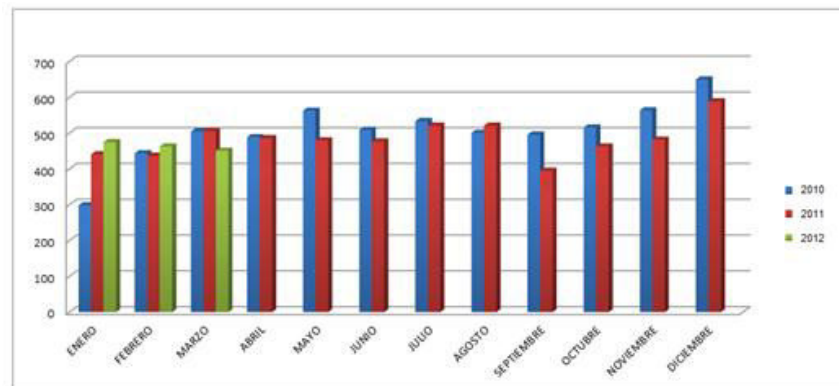


Figura 1.3. Comparativo de Heridos en Accidentes de Tránsito ocurridos en 2010-2011-2012

De manera similar el total de fallecidos en accidentes de tránsito en el Ecuador durante los dos últimos años se indica en la *Figura 1.4*, el cual fue el siguiente: En el 2010 un total de 630 personas; mientras que en el 2011 se registró un total de 526 personas. En lo que va del año se registraron un total de 63 y 41 personas fallecidas en los meses de Enero y Febrero respectivamente. [[38]]

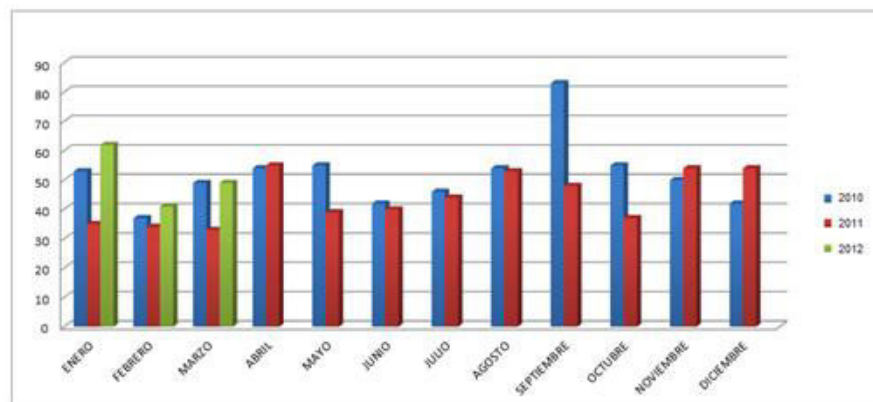


Figura 1.4. Comparativo de Fallecidos en Accidentes de Tránsito ocurridos en 2010-2011-2012

Marcar un número de teléfono, responder a una llamada, manipular el navegador del celular, encender un cigarrillo y ajustar la radio o el reproductor de CD, son acciones que a simple vista parecen sencillas de realizar, mientras se maneja un vehículo. Quienes realizan estos movimientos cuando el vehículo está en marcha, desconocen que al ejecutarlos ponen en riesgo sus vidas, porque se vuelven más propensos a sufrir accidentes en las carreteras.

Un reciente estudio realizado por la compañía *Transport Research Laboratory* [[62]] del Reino Unido demostró que circulando a 120 km/h, un automotor recorre en tres segundos una distancia de más de 100 metros, lo equivalente a la longitud de una cancha de fútbol. Si el conductor se distrae y aparta la vista de la vía tan solo un segundo, el vehículo circulará sin control una distancia de 34 metros, en la cual pueden surgir diversas circunstancias que provoquen un grave accidente [[39]].

Cuando sucede un caso así, la capacidad de reacción que tiene el conductor para efectuar una maniobra de seguridad es mínima, porque el elemento distractor disminuye el tiempo para reaccionar ante una eventualidad.

Por tal motivo realizando el proyecto se pretende analizar mediante Visión por Computador e Inteligencia Artificial, la identificación de patrones que estimen la distracción del conductor, creando un algoritmo que reconozca los movimientos de la cabeza e indicios de fatiga en el conductor para que nos alerte si se encuentra en estado de distracción y/o somnolencia.

La tecnología de tiempo de vuelo (ToF) permite obtener imágenes 3D en tiempo real a partir del envío y la recepción de luz infrarroja pulsada, así como determinar el

tiempo transcurrido entre ambos eventos, calculando la distancia entre la cámara y los objetos visualizados.

Para el cálculo del tiempo transcurrido, un escáner 3D de tiempo de vuelo determina la distancia a la escena cronometrando el tiempo del viaje de ida y vuelta de un pulso de luz. Un diodo láser emite un pulso de luz y se cronometra el tiempo que pasa hasta que la luz reflejada es vista por un detector.

Como la velocidad de la luz c es conocida, el tiempo del viaje de ida y vuelta determina la distancia del viaje de la luz, que es dos veces la distancia entre el escáner y la superficie.

Las mediciones basadas en la tecnología ToF tienen las ventajas de que las mediciones no son dependientes de puntos de referencia externos o la presencia de contraste en la superficie de los objetos medidos y el funcionamiento en tiempo real, sin limitaciones impuestas por la potencia de los ordenadores de procesamiento. [[1]]

La información enviada por el sensor de profundidad resulta muy interesante en los sistemas de Visión Artificial, cuya idea es poder aplicar este tipo de sensor en el problema de los conductores al momento de la distracción y/o somnolencia.

1.2 DISTRACCIÓN Y SOMNOLENCIA

Tanto la distracción como la somnolencia han recibido diversas acepciones y definiciones, que han evolucionado conforme el índice de conocimiento sobre las causas y síntomas de su existencia.

De esta manera, se ha manejado la idea de fatiga mental en la que no necesariamente se implica un estado de cansancio físico. La fatiga física también se ha identificado como resultado de aspectos biológicos, en tanto que la mental como una combinación con cuestiones físicas que ponen en riesgo la seguridad vial. Sin embargo, el efecto final de cualquier tipo de fatiga consiste en la disminución de los estados de alerta, que se manifiestan finalmente en somnolencia al manejar.

Con relación a lo mencionado, en éste subtema se escribirán las definiciones relativas a distracción y somnolencia, sus características y efectos.

1.2.1 Definición de Distracción

Según la Real Academia Española de la Lengua, [**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**]

“Distracción es la acción y efecto de distraer”

Definición que se le puede aplicar perfectamente a la condición anormal al momento de la conducción de un vehículo motorizado. El conductor ha de dar una respuesta adecuada a las exigencias que le imponen la vía, las condiciones meteorológicas o ambientales, la circulación y las normas y señales que la regulan. Pero, para dar esa respuesta, necesita una buena información y una buena capacidad para actuar.

El conductor recibe la información del entorno mediante estímulos que percibe a través de los sentidos (vista y oído, fundamentalmente). Una vez percibidos los valora y después los transforma en decisiones que, a su vez, dan lugar a acciones

con los pies y con las manos sobre los mandos del vehículo (frena, acelera, embraga, desembraga, gira el volante, enciende o apaga las luces, etc.) El conductor es una especie de transformador de los informes de entrada que percibe por los sentidos (estímulos) en acciones de salida, que se traducen en respuestas [[41]].

La capacidad de respuesta del conductor está influenciada no sólo por la información que recibe y cómo la recibe, sino por el tiempo empleado en recibirla, valorarla y transformarla en decisiones y acciones.

Cuando la información que recibe el conductor es excesiva o su capacidad de recepción está afectada por su estado psicofísico (fatiga, defectos físicos, medicamentos, alcohol, etc.), de tal forma que le es imposible no sólo recibirla, sino valorarla toda o valorarla adecuadamente, la capacidad de respuesta queda afectada negativamente y pueden surgir los fallos, los errores y sobrevenir el accidente.

1.2.2 Factores que producen la distracción

La distracción del conductor está presente en uno de cada tres accidentes de tráfico. Por su parte, el sueño es una de las cinco causas principales de los siniestros con víctimas y el cansancio o la fatiga está detrás, directa o indirectamente, del 40% de ellos.

La distracción causa, habitualmente, dos tipos de accidentes:

- Salida de la vía.
- Colisión por alcance.

Las distracciones que causan un accidente están motivadas por una acción puntual del conductor como [[41]]:

- Atender una llamada en el móvil o marcar un número en el teclado.
- Encender un cigarrillo es una auténtica maniobra de distracción.
- Quitarse de la ropa, la ceniza que se cae del cigarrillo.
- Contemplar un bello paisaje puede ser un elemento de distracción.
- Las carreteras largas, rectas y monótonas encierran el peligro de la distracción.
- Sintonizar una emisora, cambiar la cinta del CD de audio.
- Echar un vistazo a un mapa.
- Una conversación amena o acalorada con los acompañantes.
- Demasiados problemas y preocupaciones.
- Intentar echar fuera un insecto.
- Buscar algo en la guantera.
- Entretenerse en exceso en consultar el tablero de mandos.
- Mirar por el espejo retrovisor.
- Limpiar la humedad de los cristales.
- La señalización confusa y excesiva.
- Jugar con niños, con perros, etc.
- Ingerir alcohol, medicamentos o drogas, que alteran notablemente la capacidad de atención.

1.2.3 Definición de Somnolencia

Según la Real Academia Española de la Lengua, [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.]

“La somnolencia es la sensación de pesadez y torpeza de los sentidos motivadas por el sueño”

El cansancio y la somnolencia de los conductores durante la conducción han sido descritas como causa de accidentes de tránsito en la ciudad y las carreteras. La información está debidamente sustentada en publicaciones foráneas. [[8]], [[10]], [[11]], [[12]], [[13]].

1.2.4 Factores que producen la somnolencia y sus consecuencias

Un conductor fatigado o somnoliento disminuye progresivamente su capacidad de atención y concentración durante el manejo y pierde capacidad de respuesta ante condiciones específicas que exigen reacciones inmediatas cuando se circula por la ciudad o la carretera; pestañear y dormirar durante la conducción expresan un nivel extremo de fatiga y deuda de sueño [[14]].

Habitualmente, los accidentes producidos en estas circunstancias tienen altísima siniestralidad en términos de pasajeros muertos, heridos y pérdidas materiales. La información foránea del artículo de revisión señala que 4 - 30 % de los accidentes en carreteras son producidos por el cansancio o somnolencia durante la conducción de vehículos [[11]].

Las cifras son distintas ya que la metodología de estudio y calificación de los eventos difiere entre investigadores.

Según el NCSDR/NHTSA [[15]] de los EE.UU., las condiciones específicas que hacen sospechar si un accidente de tránsito en carretera fue provocado por somnolencia durante la conducción son: privación aguda del sueño, hábitos del conductor durante su trabajo, como manejar durante la noche y/o en horario

vespertino, o jornadas prolongadas sin el descanso requerido, uso de medicación como sedantes o hipnóticos o antidepresivos tricíclicos y antihistamínicos, consumo de alcohol, desórdenes del sueño no tratados o no identificados como el síndrome de apnea-hipopnea del sueño (SAHS) [[16]], [[17]] y la narcolepsia. De acuerdo a Brown [[14]] la población de alto riesgo está constituida por conductores jóvenes de sexo masculino, con trabajo a turnos y pacientes con SAHS.

1.2.5 La Fatiga al Conducir y la Seguridad Vial

Distintos estudios señalan la importancia que tiene la fatiga del conductor en los accidentes de tránsito. Entre ellos podemos destacar los realizados en Reino Unido, Alemania, Noruega, Estados Unidos y Australia. [[18]]

- **Reino Unido**

En este país, según un reciente estudio elaborado por la Loughborough University, se señala que la fatiga es la responsable del 20% de los accidentes ocurridos en autopistas y autovías. En este mismo sentido, la Royal Society for the Preventions of Accidents [[63]], establece en las conclusiones de un estudio que la fatiga es la responsable del 20% de los accidentes graves en carretera.

- **Alemania**

Un estudio llevado a cabo en los accidentes de las autopistas de la región de Bavaria de este país estimaba que el 35% de los accidentes mortales en estas autopistas se produjeron como consecuencia de la fatiga.

- **Noruega**

En una encuesta realizada en este país, a 9200 conductores implicados en un accidente de tránsito se encontró que el 3,9% de estos accidentes se habían

producido como consecuencia de la fatiga y que el 20% de los producidos por la noche se debían a esta causa.

- **Estados Unidos**

En diversos estudios llevados a cabo en este país se establecía que aproximadamente un 17% de los accidentes de tráfico estaban causados por la fatiga del conductor, mientras que este porcentaje se elevaba hasta entre un 30-40% en el caso de accidentes con vehículos pesados.

- **Australia**

La organización de seguridad vial australiana VicRoads concluía en un estudio que aproximadamente entre el 25% y el 35% de los accidentes de tránsito se producían por sueño o cansancio del conductor.

- **Ecuador**

Si los estudios llevados a cabo en diferentes países muestran la importancia de la fatiga en la producción de los accidentes de tránsito, en nuestro país la situación no es diferente, estimándose que aproximadamente el 45% de los accidentes de tránsito en Ecuador se producen como consecuencia de la fatiga y la somnolencia (según datos del INEC, año 2011), constituyéndose en la tercera causa de mortalidad en nuestro país [[43]]. La Figura 1.5 muestra las causas principales de muertes en el Ecuador en el año 2011, donde se puede apreciar que los accidentes de tránsito tienen un porcentaje elevado y constituyen la tercera causa de mortalidad en el país.

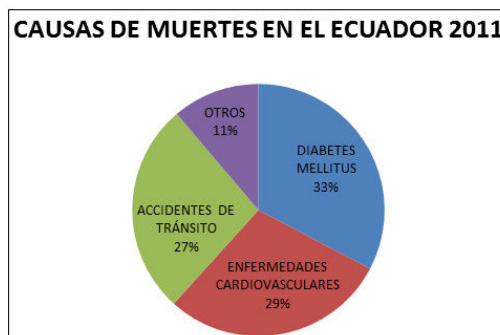


Figura 1.5. Principales Causas de Mortalidad en el Ecuador, año 2011

1.2.6 Concepto de Seguridad

En el más general de los conceptos, la seguridad ha sido definida como:

“Una condición que se alcanza a través del proceso sistemático de identificar posibles riesgos, y de desarrollar e implementar programas de seguridad y de regulación para minimizar esos riesgos, los cuales estén orientados a la prevención de la pérdida de vidas y daños a la propiedad o al ambiente, derivados de accidentes o incidentes.” [[19]]

Este carácter preventivo ha sido refinado y complementado al incorporar los conceptos de seguridad activa y seguridad pasiva. Mientras que la seguridad activa engloba todas aquellas acciones y consideraciones tendientes a prevenir o disminuir la ocurrencia de accidentes, la pasiva atiende el desarrollo de equipos y procedimientos que buscan minimizar las lesiones sufridas por las personas ante posibles accidentes [[20]].

De esta forma, mientras que la seguridad activa busca eliminar la ocurrencia de accidentes, la pasiva procura disminuir los efectos en quienes sufrieron algún percance. Un sistema de frenos antibloqueo constituye entonces un ejemplo de desarrollo en la seguridad activa, mientras que las bolsas de aire representan un equipamiento de seguridad pasiva.

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La excesiva cantidad de accidentes de tránsito, a causa de la somnolencia y la distracción, constituye la principal importancia que da lugar al desarrollo de este proyecto de grado. En la actualidad, las necesidades impuestas por la sociedad son cada vez mayores y requieren para ello, de tecnologías y conocimientos más complejos, que den respuestas a dichas peticiones.

Conceptos hasta hace poco de ciencia-ficción son ahora realidades tangibles y computables que conforman empresas y acciones realizadas por máquinas para los humanos. Un ejemplo de ello, y cada vez más en auge, son las redes sociales, que no es más que una forma expansiva de comunicación actualizada entre seres humanos. El hecho de poder consumir fragmentos de información en cualquier momento es el eje que mueve, motiva y articula las redes sociales.

Este proyecto nace de la necesidad de obtener un dispositivo que indique y provenga de situaciones peligrosas al momento de manejar un vehículo motorizado, haciendo que el conductor tenga una señal de advertencia cuando su movimiento de cabeza sea inapropiado al momento de conducir, para ello utilizaremos una cámara con tecnología ToF (*Time-of-Flight*) para obtener una imagen 3D de la cabeza del conductor y mediante un algoritmo de control ejecutar la orden de precaución.

A nivel Internacional, un grupo de investigadores del Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores de la Universidad de Granada, dirigidos por el profesor Eduardo Ros Vidal, ha estado trabajando en un proyecto multidisciplinar que incluye a científicos de Alemania, Dinamarca, Lituania, Bélgica e Italia. La iniciativa está financiada con fondos de la Unión Europea. Este proyecto, llamado *DRIVSCO*, consiste en un sistema de inteligencia artificial capaz de analizar

la manera de un humano de controlar una máquina, para después ser capaz de supervisar el proceso y avisar de las anomalías, es capaz de aprender la manera de conducir propia de cada conductor, y avisar antes de que se produzca una situación de peligro. Esto se consigue equipando el vehículo con un GPS de precisión, un sistema de visión artificial, y sistemas de captación de los diferentes mecanismos del vehículo. [[2]], [[7]]

A nivel nacional, el diagnóstico de conducir en estado de ebriedad se lo está realizando en las terminales interprovinciales del país, mediante una máquina que mide el nivel de alcohol en la sangre en los conductores.

Otro proyecto es un análisis de somnolencia al momento de conducir, que se lo ha realizado en nuestro país en la Universidad Internacional del Ecuador, elaborando un prototipo de lentes que contiene un sensor que mide el parpadeo de los ojos; pero éste solo envía señales y en ningún momento realiza un algoritmo de control ni utiliza Inteligencia Artificial para analizar la manera en que el humano controla la máquina.

Este dispositivo puede tener muchas aplicaciones, pero en este caso el sistema se está aplicando a la conducción de automóviles. Si tenemos en cuenta las víctimas mortales que se registran en esta interacción hombre-máquina, la elección está más que justificada. Sin embargo no se pretende desarrollar un sistema que conduzca automáticamente, sino un sistema avanzado de ayuda a la conducción.

Lo importante es ofrecer una respuesta inteligente en base a dicho análisis. Este es el objetivo de la Inteligencia Artificial que se define como la ciencia que se encarga de realizar procesos bajo una infraestructura determinada que almacena alguna forma primitiva o compleja de conocimiento, y que provoca las acciones a

desempeñar. Este proyecto se nutre tanto de la Inteligencia Artificial como de una tecnología moderna que intenta suplantar o complementar la visión. Como todas las ciencias, la Inteligencia Artificial se encuentra fragmentada en áreas temáticas o de aplicabilidad conceptual o teórica diferenciadas del resto.

La Visión Artificial o Visión por Computador, intenta capturar y analizar el entorno por medio de cámaras de distinta naturaleza para ofrecer respuestas en base a estímulos acaecidos en dicho entorno. El proyecto consiste en un sistema de inteligencia artificial capaz de analizar la manera de un humano de controlar o conducir un vehículo, para después ser capaz de supervisar el proceso y avisar de las anomalías.

Esto tiene mucho sentido si tenemos en cuenta que en la mayoría de situaciones el error suele ser humano. El sistema permite alertar al humano ante la posibilidad de cometer un error en su proceso de control sobre el vehículo.

Una gran cantidad de accidentes de tránsito se producen por la noche, y eso que la densidad de tráfico se reduce de manera drástica. Todos sabemos que es debido entre otras cosas a la disminución de la visibilidad, al cansancio y a la somnolencia, o al consumo de alcohol. Estos factores provocan distracciones, exceso de velocidad o conducción inadecuada, y terminan provocando accidentes.

El dispositivo es capaz de aprender la manera de conducir del usuario, y avisar antes de que se produzca una situación de peligro. Esto se consigue mediante un sistema de visión artificial, usando una cámara con tecnología ToF (Time-of-Flight) que nos permite visualizar en tres dimensiones la posición del usuario y determinar la distancia para poder controlar los movimientos de la cabeza y ojos del conductor.

Con todo este equipamiento lo que se consigue es una gran cantidad de datos. Entonces el sistema debe “aprender” qué forma adquieren esos datos en situaciones normales de la conducción. Para ello utiliza un software que implementa un sistema de inteligencia artificial adaptativa, capaz de reconocer los patrones “normales” en la conducción.

Una vez que el sistema es capaz de recibir y procesar los datos, y es capaz de reconocer con detalle la manera de conducir particular del conductor, entonces está preparado para avisar de aquellas situaciones en las que el comportamiento del conductor sale de la norma.

Es entonces cuando una alarma puede evitar el error de un conductor al avisarle que su situación de conducir no es la adecuada, incluso podría avisarle de que sus ojos reaccionan de manera anómala ante los eventos de la conducción, ya sea por somnolencia o por conducir bajo la influencia del alcohol.

Y todo eso antes de que ocurra nada. Sólo analizando los gestos que normalmente pasan desapercibidos para nosotros, pero que conforman lo que el software reconoce como “nuestra forma de conducir”.

Por tanto, el marco donde se sitúa el estudio contempla la Inteligencia Artificial y más concretamente, la Visión Artificial. En cuanto a la tecnología empleada como elemento extensivo de la cualidad humana, se emplea una cámara que captura la estructura tridimensional del medio gracias a un conjunto de sensores infrarrojos.

Con estos dos elementos se pretende analizar la estructura tridimensional de la anatomía humana para posteriormente detectar los movimientos y enviar avisos pertinentes de distracción o somnolencia al conductor.

1.4 ALCANCE DEL PROYECTO

Con el estudio detallado de las técnicas desarrolladas para analizar la distracción del conductor, se elegirá una técnica para la obtención de los espectros de visión y alcance humano, mediante Inteligencia Artificial que ayudará a localizar la posición y vista del conductor al momento de la conducción de un vehículo.

Una vez elegida la técnica, se procederá al desarrollo del algoritmo que permitirá obtener patrones de comportamiento en tiempo real y en tres dimensiones. De ésta manera se medirá el comportamiento normal del conductor, y en caso de que los parámetros salgan de la normalidad de dicho conductor, se procederá con una alerta sonora y visual que servirá como advertencia.

Luego, se creará un prototipo instalado en un escritorio de trabajo, el cual poseerá un monitor simulando las autopistas o avenidas al momento de la conducción. Adicionalmente contará con una cámara en 3D que será la encargada de obtener los datos necesarios que ingresarán al algoritmo principal para analizar el comportamiento del usuario final.

El proyecto será la base para futuras investigaciones y proyectos de grado, lo cual servirá para crear nuevos estudios en diferentes plataformas de desarrollo que lleven a la implementación física del dispositivo en vehículos motorizados.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 General

- Desarrollar un algoritmo inteligente para estimar automáticamente la distracción del conductor, en tiempo real, durante el día, mediante técnicas de Visión por Computador e Inteligencia Artificial usando Tecnología TOF.

1.5.2 Específicos

- Realizar un estudio de las estadísticas actuales de los accidentes de tránsito en el Ecuador, específicamente considerando los casos en los que el conductor provoca el accidente por falta de atención, distracción o somnolencia al momento de conducir un vehículo motorizado.
- Analizar los diferentes Métodos de Visión Artificial basados en Aplicaciones del Control de la Conducción, investigando las tecnologías utilizadas y comparando con la Tecnología de Tiempo de Vuelo, estudiando las ventajas que dicha tecnología ofrece.
- Diseñar un algoritmo inteligente para estimar el comportamiento en tiempo real y en tres dimensiones, del movimiento de la cabeza e indicios de somnolencia, aprendiendo mediante inteligencia artificial si dichos movimientos están dentro del rango establecido, obteniendo patrones que nos indicarán ciertos índices de actuación, para examinar en qué punto se centra la atención del usuario.

- Desarrollar una interface en la cual se visualice el estado de conducción, indicando las distancias de movimiento facial y alarmas sonoras en caso de distracción o indicios de fatiga.
- Desarrollar una plataforma de simulación que represente el asiento del conductor, donde se ubicará la cámara en posición central para el seguimiento facial del piloto en prueba.

CAPÍTULO II

DETECCIÓN DE LA SOMNOLENCIA Y LA DISTRACCIÓN: ESTADO DEL ARTE

2.1 INTRODUCCIÓN

Cuando un conductor no circula lo suficientemente atento o cuando se está quedando adormilado, presenta una serie de indicios en su conducción y en sus rasgos faciales, los cuales son causa de posibles accidentes. Los sistemas de detección de la somnolencia y/o distracción reconocen estos indicios y advierten al conductor de la situación de riesgo con la suficiente antelación.

Aunque prácticamente puede darse en cualquier situación, el mayor riesgo de sufrir un accidente por la pérdida de concentración en la conducción o incluso por quedarse dormido como consecuencia de la fatiga se produce en trayectos normalmente largos. Dichas situaciones de riesgo no son exclusivas de la noche, también la monotonía de la tarea de dirigir el vehículo (especialmente en autopistas) conlleva un aumento de la probabilidad de sufrir un accidente como consecuencia de la fatiga del conductor.

En muchos casos el propio conductor aunque es consciente de su cansancio, infravalora el riesgo de quedarse dormido al volante, cuando tan solo un segundo de sueño puede derivar en un accidente de graves consecuencias.

Para evitar estos accidentes los sistemas de detección de la somnolencia del conductor reconocen los indicios que muestran la conducción bajo condiciones de cansancio o pérdida de concentración, alertando al conductor de que dicha situación se está produciendo e invitándole a que se tome el descanso necesario.

2.1.1 Funcionamiento de los sistemas de detección de somnolencia

Actualmente existen dos tipos de sistemas de detección de la fatiga del conductor, diferenciados según el tipo de datos que dichos sistemas utilizan para establecer que la conducción se está realizando sin la concentración adecuada o con el conductor bajo un estado de somnolencia. [[4]]

Por un lado se encuentran aquellos sistemas que monitorizan el entorno del vehículo y los parámetros de conducción y por otro lado aquellos sistemas que directamente monitorizan los rasgos faciales del conductor.



Figura 2.1. Estado de Alerta del Conductor ubicado en el Panel de Control del Vehículo

Los sistemas basados en el análisis de los parámetros de conducción analizan el comportamiento de conducción del conductor para crear un perfil específico de dicho comportamiento. Este perfil es comparado constantemente con los datos que se obtienen de distintos sensores para determinar si en un momento dado el conductor conduce sin prestar la atención adecuada o incluso somnoliento. Entre los parámetros que normalmente se comparan de forma constante con el perfil de conducción se encuentran la velocidad del vehículo, su aceleración longitudinal y transversal, los movimientos del volante, la utilización de intermitentes, el uso de los pedales de aceleración y freno, etc., analizándose además posibles influencias externas como pueden ser la existencia de viento lateral o el estado del firme. Algunos sistemas incluso utilizan cámaras de reconocimiento de las líneas del carril de circulación para reconocer la posición del vehículo dentro del carril. [[7]]

La monitorización de los parámetros de conducción se ha mostrado como una herramienta muy eficaz para la detección de conducción bajo los efectos de la fatiga dado que los conductores que circulan bajo estas condiciones realizan movimientos de corrección de la dirección muy característicos, capaces de ser interpretados por los distintos sensores del vehículo.

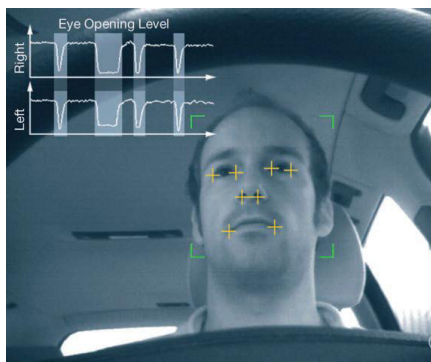


Figura 2.2. Control de Estado del Conductor mediante la ubicación de los Rasgos Faciales

Los datos recogidos por los distintos sensores permiten que la unidad de control cree el perfil de conducción del conductor durante los primeros minutos del viaje. Posteriormente los datos de los sensores son recogidos por esta unidad electrónica de control, que los compara con el perfil creado y establece de esta forma si la conducción se está desarrollando bajo los efectos de la fatiga para, en caso afirmativo, alertará al conductor de la situación mediante un aviso tanto visual como acústico. [[4]]

Al contrario de los sistemas que utilizan los parámetros de conducción para detectar la fatiga, los sistemas de monitorización de los rasgos faciales del conductor emplean principalmente el movimiento de sus ojos y su velocidad de parpadeo como datos para la detección de la fatiga. En estos sistemas se utilizan dos micro cámaras de infrarrojos instaladas en el interior del vehículo y dirigidas hacia los ojos del conductor. Las imágenes obtenidas de las cámaras son analizadas en la correspondiente unidad electrónica de control para determinar si el conductor muestra síntomas de fatiga o desatención a la conducción. [[7]]

La utilización de cámaras infrarrojas permite que el sistema funcione correctamente independientemente de las condiciones de iluminación del habitáculo (noche, día, etc.) e incluso aunque el conductor utilice gafas oscuras durante la conducción. Estos sistemas permiten distinguir entre la conducción bajo los efectos de la fatiga y la conducción con falta de atención. En el primer caso el dato fundamental a medir es la frecuencia del parpadeo del conductor, de forma que cuando se detecta que esta se corresponde con un patrón definido, asociado a la somnolencia, se produce la alerta al conductor. [[6]]

Normalmente el conductor recibe un primer mensaje de alerta a través de una señal visual en el panel de control. Si el parpadeo del conductor no retorna entonces

al patrón considerado como normal para un conductor que se encuentra atento, el sistema emite una señal acústica para alertar al conductor de su fatiga. Si a pesar de ello la situación no varía, el sistema emite una nueva señal de alerta acústica mucho más sonora, señal que no deja de aparecer hasta que el conductor la desactiva.

Para la detección de una conducción desatenta, el sistema utiliza principalmente como dato la dirección hacia la que se encuentran dirigidos los globos oculares. En el caso de que el conductor no dirija su mirada hacia la zona frontal del vehículo, el sistema detecta este hecho e inicia un contador para establecer el tiempo en que la mirada no se encuentra dirigida hacia la carretera.



Figura 2.3. El Proceso de distracción puede acarrear un grave accidente

Si el tiempo transcurrido es lo suficientemente elevado (normalmente un par de segundos), el sistema alerta al conductor de la desatención, normalmente mediante una señal visual en el panel de instrumentos y una vibración del asiento, señal que deja de emitirse cuando los ojos del conductor han retornado de nuevo a mirar a la carretera por delante del frontal del vehículo.

La precisión de las cámaras es lo suficientemente elevada como para permitir que el sistema distinga cuando el conductor se encuentra mirando a los espejos

retrovisores o gira la cabeza para ver mejor en una intersección, y en ese caso, el tiempo dado antes de emitir la señal es más elevado.

2.2. TECNOLOGÍAS PARA LA DETECCIÓN DE DISTRACCIÓN Y/O SOMNOLENCIA EN LA CONDUCCIÓN.

Las tecnologías relacionadas con la prevención y detección de somnolencia y/o distracción en conductores de vehículos motorizados, constituyen elementos de seguridad activa de los vehículos, las cuales buscan prevenir la ocurrencia de accidentes, debido a aquellos distintos artefactos se han desarrollado para identificar situaciones derivadas de la somnolencia y/o distracción del conductor. Comprenden diversos modelos comerciales y sistemas patentados. A continuación se describen estos equipos.

2.2.1 OptAlert®

La tecnología de OPTALERT [[42]] conforma el único sistema en tiempo real del mundo, validado de forma independiente, que detecta el surgimiento de la somnolencia del conductor en viaje, midiendo con precisión y en forma continua la atención y somnolencia de un conductor, mediante el uso de pulsos de luz invisibles que detectan el movimiento de los ojos y los párpados. En la *Figura 2.4* se puede apreciar el dispositivo físico, el cual contiene diminutos emisores y receptores de luz, están incorporados en los marcos de los lentes Optalert usados por el conductor. Los lentes están conectados al Optalert Vehicle System (OVS), que puede instalarse fácilmente dentro de todo tipo de vehículos y que procesa toda la información transmitida por los lentes.



Figura 2.4. Fotografía del dispositivo OPTALERT

2.2.2 Detector de Fatiga de Bosch

El detector de fatiga que incorpora Volkswagen de serie en modelos como el *Volkswagen Passat 2010* o recientemente, el *Volkswagen Passat Alltrack*, está fabricado por la compañía alemana Bosch y es capaz de detectar los primeros síntomas de fatiga o cansancio del conductor gracias a un algoritmo que alerta anomalías en la conducción [[45]].

Las informaciones necesarias para que éste detector funcione, provienen de una servo-dirección eléctrica o del sensor de ángulo de giro del volante que es parte del sistema ESP. El Detector de Fatiga de Bosch interpreta los movimientos del volante y recomienda al conductor que se tome un pequeño descanso si detecta anomalías en su conducción, ya que la analiza desde el momento en que éste inicia la marcha. Los típicos indicios de la falta de concentración son fases en las que el conductor apenas mueve el volante y que luego combina con pequeños, rápidos y bruscos movimientos del volante para mantener el vehículo en el carril. Basándose en la frecuencia de estas correcciones de conducción y en otros parámetros como son la duración del trayecto, el uso de los intermitentes y la hora del día, esta función calcula un índice de fatiga.

Si este índice supera un valor determinado una señal óptica y/o acústica en el salpicadero, representada por una taza de café intermitente, avisa al conductor y le indica que debería tomarse un descanso. En la *Figura 2.5* se puede apreciar el dispositivo físico, el cual se puede utilizar en distintos vehículos y se puede integrar en distintos módulos de control del automóvil.



Figura 2.5. Imagen representativa del Detector de Fatiga de Bosch

2.2.3 Sistema experimental de detección de somnolencia, basado en imágenes

A nivel experimental, los científicos Veeraraghavan y Papanikolopoulos de la Universidad de Minnesota [[21]], desarrollaron un sistema para monitorear la somnolencia del conductor, el cual emplea cámaras que “observan” el color de la piel y el estado de sus ojos en el sentido de estar abiertos o cerrados. Los investigadores probaron su equipo en un simulador diseñado ex profeso, habiendo logrado buenos resultados en cuanto a predecir el estado de fatiga del operador del vehículo automotor. En la *Figura 2.6* se puede apreciar la secuencia de imágenes que emite el dispositivo.

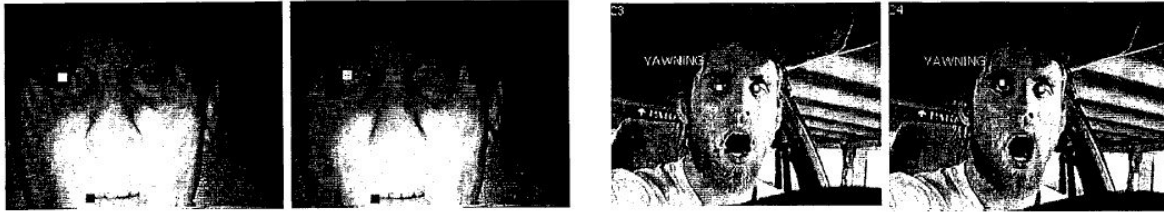


Figura 2.6. Sistema de Detección de Somnolencia de Veeraraghavan y Papanikolopoulos

2.2.4 Aparato y método para detectar el nivel de alerta de un conductor de vehículos

Kawakami y otros investigadores [[64]] propusieron un aparato de medición a distancia, de la frecuencia cardiaca de los conductores, el cual se basa en un sensor infrarrojo. Este sensor obtiene una frecuencia cardiaca representativa, a partir de mediciones en ambas manos y en el corazón. Estas mediciones representan la innovación al hacerlas más significativas de la fatiga del individuo que maneja. En la *Figura 2.7* se puede apreciar una imagen representativa del aparato.

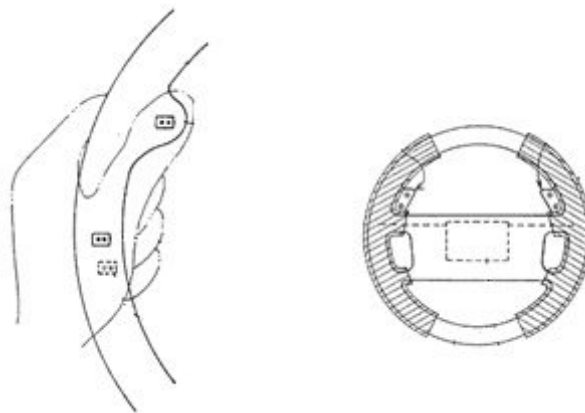


Figura 2.7. Imagen representativa del Aparato de Medición de Kawakami

2.2.5 Guantes detectores de somnolencia

Leavitt [[65]] inventó unos guantes, que usados por el conductor, permiten determinar el nivel de presión que éste ejerce sobre el volante. Al bajar la presión de contacto por debajo de ciertos niveles predeterminados, una alarma se activa. La patente considera la suma de presiones de ambas manos sobre el volante, a manera de evitar que la alarma se active al efectuar ciertas maniobras de operación normales. Asimismo, el diseño de los guantes es tal que no le resultan estorbosos al operador. En la *Figura 2.8* se puede apreciar una imagen representativa de los guantes detectores de somnolencia.

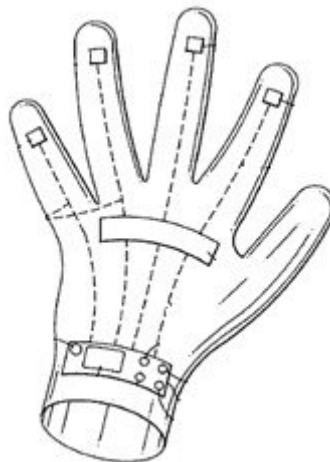


Figura 2.8. Imagen representativa de los Guantes Detectores de Somnolencia

2.2.6 Detector de somnolencia para operadores de máquinas o vehículos

Horne y Reyner [[66]] patentaron un complejo sistema de monitoreo del estado de somnolencia de un chofer u otro operador; comprende una memoria para almacenar un modelo operacional que incluye a su vez un modelo fisiológico de referencia, junto con un algoritmo de la operación del vehículo o máquina. En la

Figura 2.9 se puede apreciar una imagen representativa del Sistema Detector de Somnolencia.

Comprende medios computacionales para ponderar al modelo operacional de vehículo, de acuerdo con la hora del día para determinar, a partir del modelo ponderado, la condición de somnolencia del conductor. Como una función de los resultados de este proceso, puede llegar a ser activada una alarma.

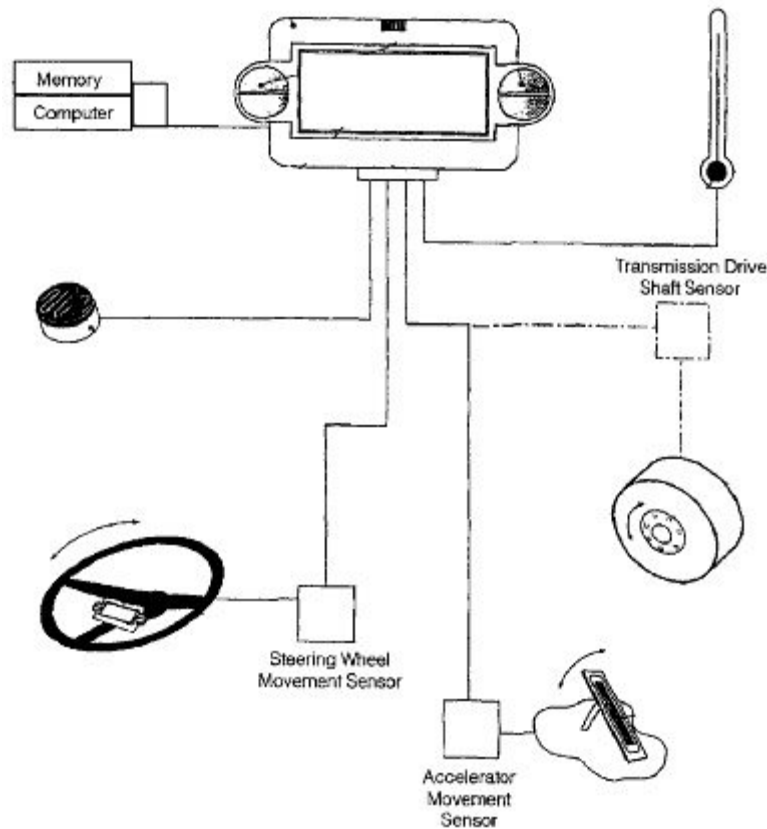


Figura 2.9. Imagen representativa del Sistema Detector de Somnolencia de Horne y Reyner

El sistema puede comprender distintos sensores, los cuales definan la condición de somnolencia del operador (posición del volante, por ejemplo), asociado

a la condición fisiológica del que maneja. Otros sensores se asocian a la temperatura de la cabina y al nivel de luminosidad. En la *Figura 2.10* se puede apreciar una imagen representativa del Dispositivo de Alarma Antisomnolencia.

2.2.7 Dispositivo de Alarma Antisomnolencia

Tschoi [[67]] diseñó un sistema de alarma para alertar al conductor acerca de situaciones de somnolencia o adormecimiento. Consiste en una funda flexible, instalada en el control de la dirección del vehículo, la cual es sensible a la presión de sujeción del volante. Como antecedente a esta invención se tiene otro dispositivo, patentado por Gwin [[68]], que también comprende una funda en el volante. Sin embargo, el primero de estos dispositivos representa menores complicaciones en cuanto a su instalación, ya sea como equipo original de fábrica o como equipo a ser instalado en vehículos usados. En la *Figura 2.11* y en la *Figura 2.12* se puede apreciar imágenes representativa del Dispositivo de Alarma Antisomnolencia.

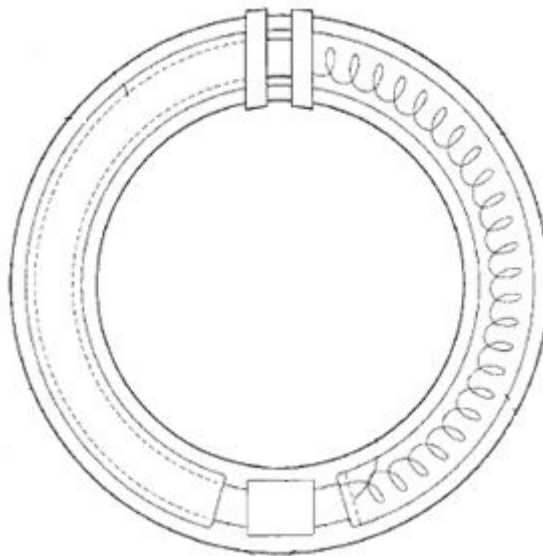


Figura 2.10. Imagen representativa del Dispositivo de Alarma Antisomnolencia de Tschoi

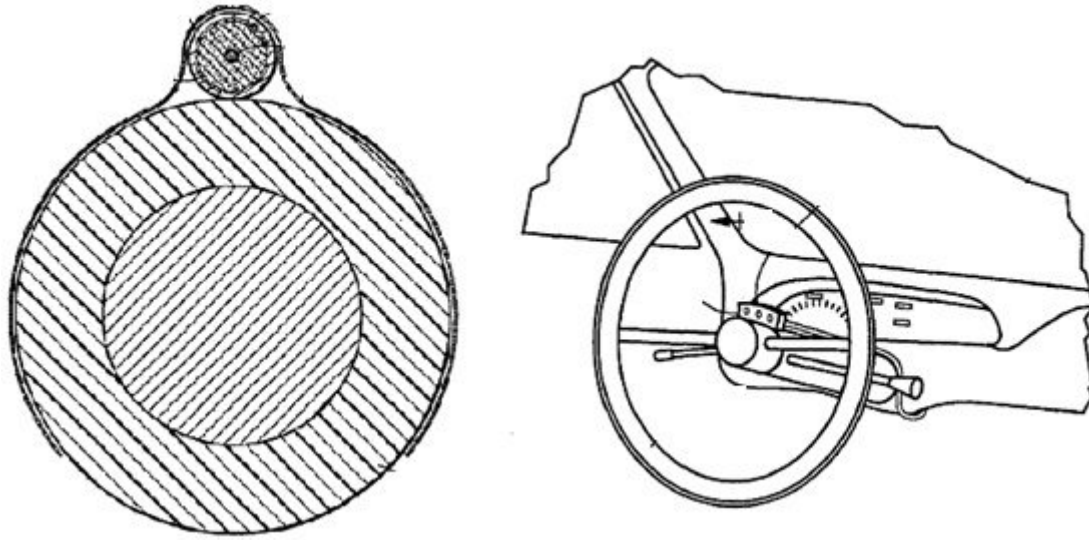


Figura 2.11. Imagen representativa del Dispositivo de Alarma Antisomnolencia de Gwin

2.2.8 Alarma para despertar a los operadores de vehículos

Vance [[69]] es el creador de unos lentes que captan la imagen de los ojos del conductor. El dispositivo monitorea el parpadeo y movimiento ocular, produciendo pulsos los cuales restablecen un circuito de reloj. Una alarma se activa si el artefacto detecta un movimiento nulo del ojo durante un tiempo predeterminado. Se señala que el fenómeno a que se refiere esta patente es el de la “hipnosis carretera”, caracterizado por poco parpadeo y una posición fija de los ojos. El autor considera que esta tecnología ayudaría a los operadores a mantener un nivel mínimo de atención en el camino, al menos mientras llega a un área de descanso sobre la carretera. En la *Figura 2.12* se puede apreciar una imagen representativa de los Lentes Antisomnolencia.



Figura 2.12. Imagen representativa de los Lentes Antisomnolencia de Vance

2.2.9 Alarma de somnolencia del conductor

Sutherland [[70]] patentó una alarma para vehículos, cuyo objetivo es detectar el inicio de periodos de somnolencia. Se basa en transductores de capacitancia, los cuales miden la fuerza con que el conductor sujeta el volante. Los distintos valores se comparan con objeto de detectar el estado de somnolencia del conductor. La alarma se activa al bajar el nivel de fuerza que el operador aplica para sujetar el volante. En la *Figura 2.13* se puede apreciar una imagen representativa de la Alarma Antisomnolencia.

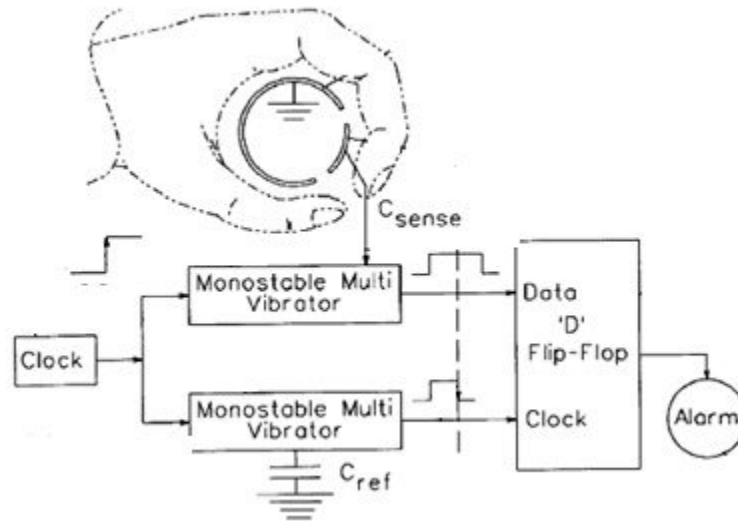


Figura 2.13. Imagen representativa de la Alarma Antisomnolencia de Sutherland

2.2.10 Aparato y método para evaluar el nivel de alerta de un conductor con base a la frecuencia de cambios direccionales

Hara y otros investigadores [[71]] han patentado un aparato que denominan “de precisión”, cuyo objetivo es determinar el grado de alerta o somnolencia del conductor. Basa sus evaluaciones en datos de la velocidad del vehículo y de la posición del volante. El sistema efectúa un análisis de las frecuencias de los movimientos del volante y sus respectivas posiciones. De acuerdo con esto, el contenido espectral de las maniobras de dirección, representaría una indicación del número de maniobras anormales realizadas por quien maneja.

2.2.11 Aparato para determinar el grado de alerta del conductor

Con base en estudios científicos acerca de la correlación entre el tamaño de la pupila de los ojos y el nivel de cansancio de las personas, Griesinger y otros investigadores [[72]] patentaron un dispositivo para medir el grado de somnolencia;

consiste de un equipo de procesamiento de imágenes, el cual detecta el tamaño de la pupila y el parpadeo de al menos uno de los ojos del conductor. En la *Figura 2.14* se puede apreciar una imagen representativa del Dispositivo de Medición de Somnolencia.

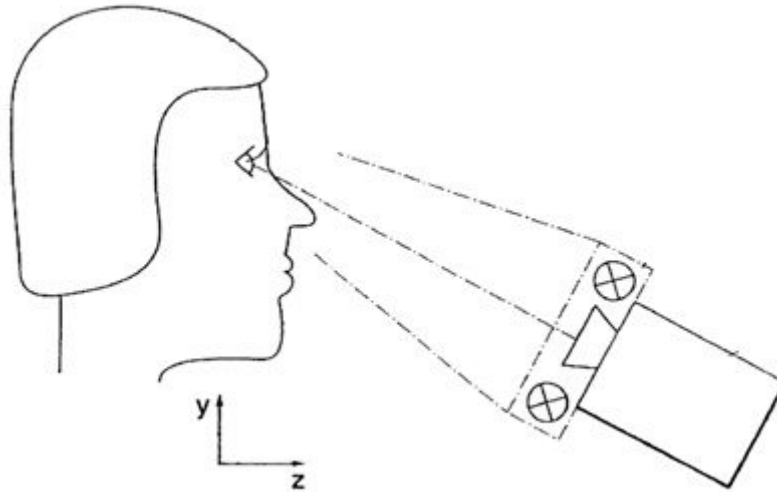


Figura 2.14. Imagen representativa del Dispositivo de Medición de Somnolencia de Griesinger

De acuerdo con el estado abierto/cerrado del ojo y del tamaño de la pupila, el sistema ubica el nivel de cansancio del conductor de entre tres etapas. La supuesta mayor de las ventajas de este sistema, con respecto a otros semejantes de pupilografía, consiste en una mayor confiabilidad, derivada de datos de cansancio más exactos.

2.2.12 Monitor de Atención a la Conducción (S.A.M.: Steering Attention Monitor)

Es un dispositivo disponible comercialmente [[47]] el cual es un pequeño aparato computarizado que monitorea las acciones de corrección de dirección del volante, empleando para ello un sensor magnético. Cuando los movimientos normales de corrección de la dirección no son efectuados, una alarma alerta al conductor acerca de esta situación; su volumen es superior al nivel de ruido asociado al radio o al camión mismo. La alarma se detiene una vez que se restablece el movimiento normal de corrección de la dirección. Una versión de este equipo puede incorporar un control automático de velocidad, el cual cesa de operar al activarse la alarma. En la *Figura 2.15* se puede apreciar una imagen representativa del Monitor de Atención a la Conducción.

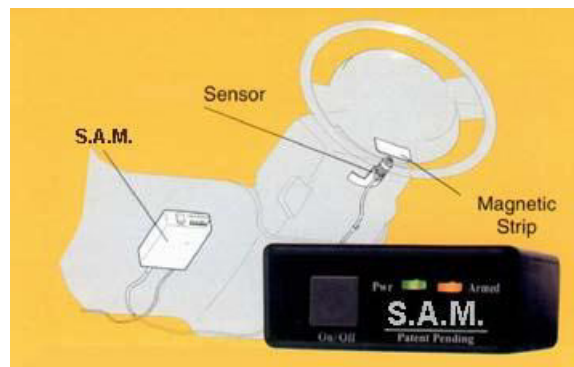


Figura 2.15. Imagen representativa del Monitor de Atención a la Conducción

2.2.13 Sistema de Alerta del Conductor (DAS: Driver Alert System)

Está disponible comercialmente [[48]], y su operación se basa en el monitoreo de la posición del vehículo en el carril. El sistema activa una alarma en caso de sospechas de movimientos inadvertidos del vehículo. En la *Figura 2.16* se puede apreciar una imagen representativa del Sistema de Alerta del Conductor.



Figura 2.16. Imagen representativa del Sistema de Alerta del Conductor

2.2.14 Conducción Guiada en el Carril (Lane Guidance)

La empresa Freighliner Corp, ha introducido en algunos de sus modelos, un dispositivo que detecta la posición del camión en el carril donde transita [[22]]. Se basa en una videocámara que opera una alarma audible en caso de que el vehículo invada el espacio fuera de su carril. En la *Figura 2.17* se puede apreciar una imagen representativa de la Conducción Guiada en el Carril.

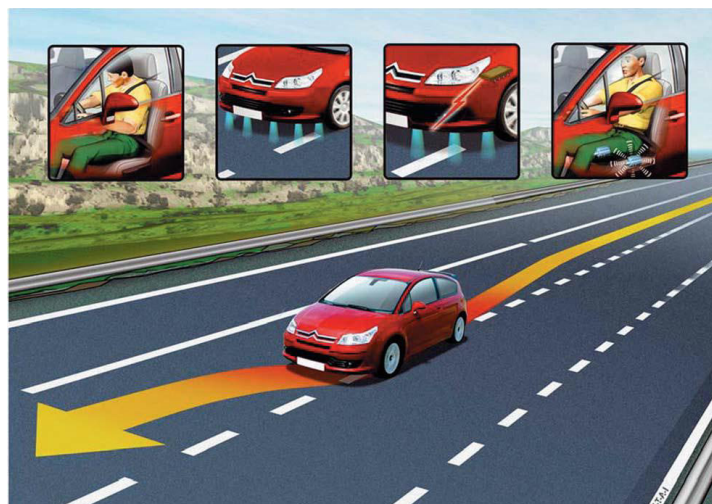


Figura 2.17. Imagen representativa de la Conducción Guiada en el Carril

Este sistema usa una visión basada en sensores para determinar, entre otras cosas, la posición de la unidad en el carril. Como resultado de la investigación se señala que ha sido mejorada la tecnología para proveer al operador una alarma ante situaciones de cansancio extremo.

2.2.15 Dispositivo Adaptado para “Revivir” a un Operador Fatigado

Monte [[73]] patentó un equipo para “despertar” a un conductor adormecido, mediante el rocío de una sustancia refrescante, dirigido directamente a la cara del operador. Contiene una alarma que periódicamente se activa y rocía al conductor. Mientras que en el documento de patente se describe el concepto del equipo patentado, se dejan abiertas las posibilidades en cuanto a los principios de operación que tales equipos pudieran tener. En la *Figura 2.18* se puede apreciar una imagen representativa del Expulsor de Rocío al Conductor.

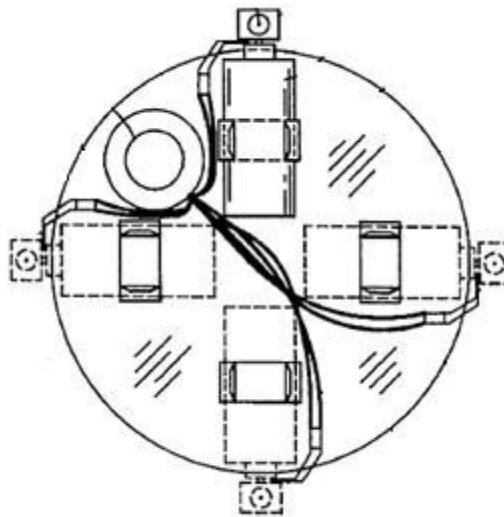


Figura 2.18. Imagen representativa del Expulsor de Rocío al Conductor

CAPÍTULO III

INTERFACE DE PROGRAMACIÓN

3.1 TECNOLOGÍA DE TIEMPO DE VUELO

Podemos encontrar la tecnología de Tiempo de Vuelo (Time-of-Flight) en diferentes métodos y soluciones de medición encontrados en la naturaleza, como por ejemplo en los sistemas de navegación para delfines y los murciélagos, que utilizan un mecanismo de sensores para el seguimiento de objetos. Por otra parte, los seres humanos han utilizado técnicas TOF desde hace mucho tiempo, por ejemplo, dejando caer rocas por agujeros profundos y esperando el eco o al tratar de estimar la distancia de una descarga de rayo mediante la evaluación de la demora de tiempo entre el relámpago y el trueno asociado.

Estos métodos de TOF se basan en el tiempo de propagación del sonido (STR) [[23]].

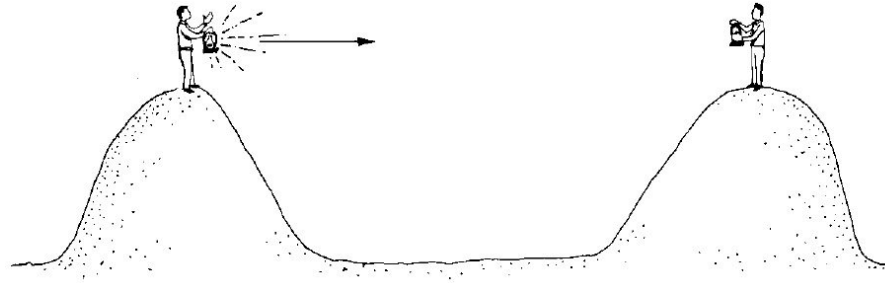


Figura 3.1. Experimento de Galileo Galilei de principios del siglo 17

El pionero en óptica con respecto a la medición de tiempo de vuelo fue Galileo Galilei, quien probablemente fue el primero en imaginar la luz como una especie de evento activo, algo que viaja por el espacio libre en lugar de existir instantáneamente. También trató de probar su idea con un simple experimento, descrito en uno de sus "discursos" que él escribió bajo arresto domiciliario en el siglo 17. En la oscuridad de la noche colocó a dos hombres (A y B) en dos colinas vecinas, a 1 kilómetro de distancia el uno del otro. Cada uno de ellos llevaba una linterna, cubierta por sus manos, por lo que no se podía ver la otra luz de la linterna inicialmente. El experimento comenzó con una persona A descubriendo su linterna y esperando al individuo B que descubra la suya tan pronto viese la luz de la linterna del primer sujeto A (Figura 3.1). De esta manera Galilei esperaba medir el tiempo de propagación que la luz que se necesita para viajar desde la persona A hacia la persona B y regresar a la persona A.

Un poco más tarde, en 1676 fue Roemer¹ quien sucedió en la medición de la velocidad de la luz mediante el uso de las salidas previstas desde los tiempos de eclipse de la luna de Júpiter, en rigor también un experimento TOF.

¹ Roemer, Olaus (1644 - 1710). Astrónomo danés, cuyas técnicas de observación e invenciones constituyeron un gran avance para la astronomía.

No fue hasta 200 años más tarde, en 1849, que Fizeau² tuvo más éxito en la medición del tiempo de vuelo en la tierra. Él construyó una más precisa, más madura y compleja máquina (Figura 3.2). El experimento consistió en enviar un rayo de luz sobre un espejo rotativo, que desvía el haz hacia otro espejo secundario fijo; la rueda era colocada a una distancia L del espejo a la rueda dentada, para el experimento Fizeau utilizó una distancia $L = 8630 \text{ m}$; analizó que el tiempo que tarda en recorrer la luz de la rueda al espejo es $2L/c$, en el caso en que la rueda no interrumpa la pulsación de luz, pero además analizó que este era el tiempo en que la rueda interrumpe el rayo de luz en θ/ω que le toma la rueda en girar a una velocidad angular ω en ángulo θ entre el centro de un diente y el centro de un espacio. Dado que los tiempos considerados son los mismos podemos entonces igualarlos para tener:

$$\frac{2L}{c} = \frac{\theta}{\omega} \rightarrow c = \frac{2L\omega}{\theta}$$

Con este experimento de tiempo de vuelo se obtuvo un resultado sorprendentemente preciso de $3,153 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

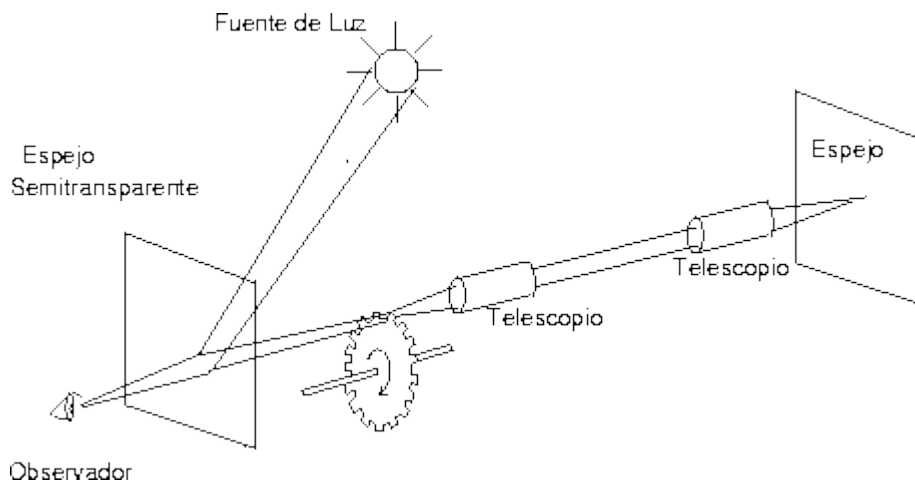


Figura 3.2. Montaje experimental de Fizeau

² Fizeau, Hippolyte (1819 - 1896). Físico francés, el primero en medir la velocidad de la luz.

3.1.1 Rango óptico de medición del TOF.

Existen cuatro principios básicos del rango óptico de medición:

- La triangulación
- El tiempo de vuelo
- La luz estructurada
- El escaneo láser.

Todas estas técnicas trabajan principalmente con la luz, como por ejemplo, los campos de radiación electromagnética en el rango de longitud de onda de 400-1000nm (espectro visible e infrarrojo cercano) [[23]]. La figura 3.3 muestra la clasificación de las técnicas de medición de la profundidad.

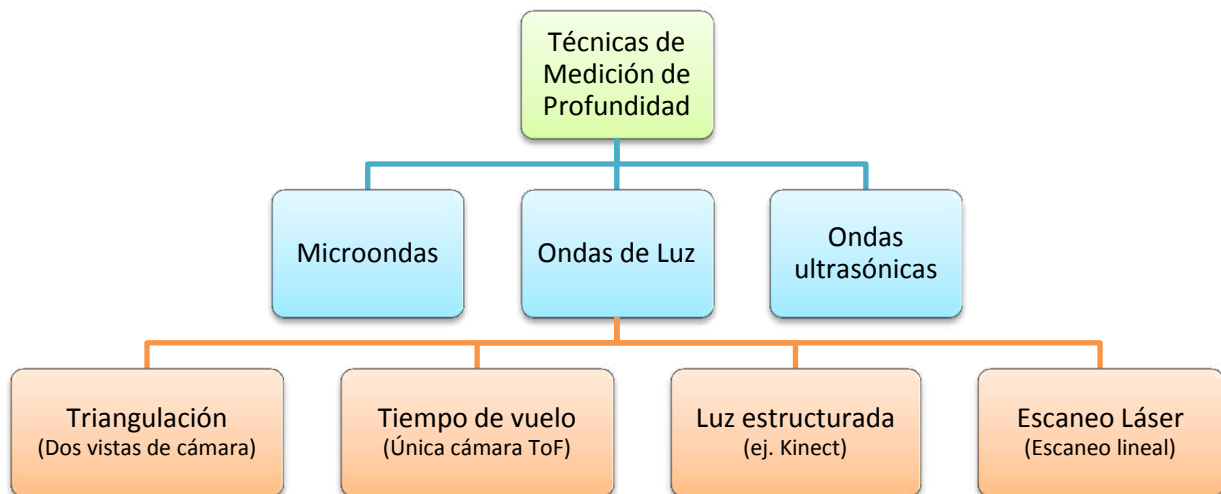


Figura 3.3. Clasificación de las Técnicas de Medición de Profundidad

El principio básico del alcance de un sistema TOF se ilustra en la Figura 3.4., dicha tecnología emite haces de luz pulsada hacia un objeto y mide el tiempo que

tardan en regresar, para deducir la distancia al objeto. Una propiedad esencial de esta configuración es el hecho de que el emisor y el detector se accionan de forma sincrónica.

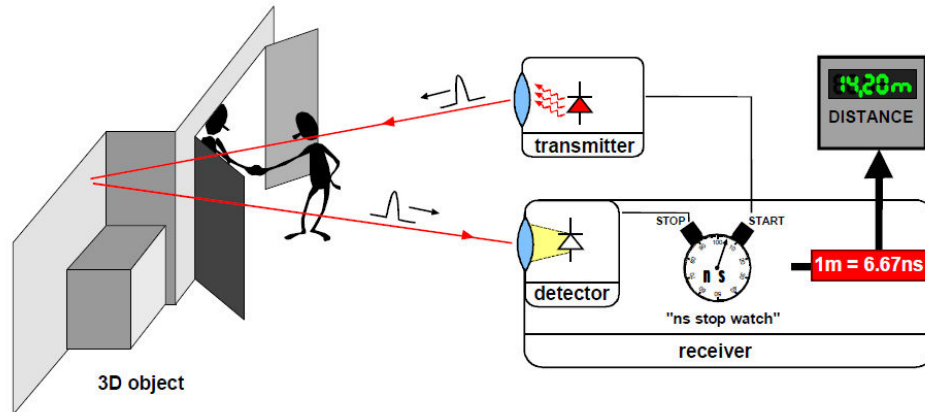


Figura 3.4. Funcionamiento de un Sistema Óptico ToF

3.1.2 Principio de Procesamiento de Imágenes mediante TOF.

El tiempo de vuelo (TOF) de imágenes se refiere al proceso de medición de la profundidad de una escena mediante la cuantificación de los cambios que una señal de luz emitida encuentra cuando rebota de objetos en una escena.

Un escáner 3D de tiempo de vuelo determina la distancia a la escena cronometrando el tiempo del viaje de ida y vuelta de un pulso de luz. Un diodo láser emite un pulso de luz y se cronometra el tiempo que pasa hasta que la luz reflejada es vista por un detector. Como la velocidad de la luz c es conocida, el tiempo del viaje de ida y vuelta determina la distancia del viaje de la luz, que es dos veces la distancia entre el escáner y la superficie. Si T es el tiempo del viaje completo,

entonces la distancia es igual a $\frac{(c \cdot T)}{2}$.

Claramente la certeza de un escáner láser de tiempo de vuelo 3D depende de la precisión con la que se puede medir el tiempo T : 3,3 picosegundos (aprox.) es el tiempo requerido para que la luz viaje 1 milímetro. Se utilizan láseres visibles (verdes) o invisibles (infrarrojo cercano).

El distanciómetro láser sólo mide la distancia de un punto en su dirección de la escena. Para llevar a cabo la medida completa, el escáner va variando la dirección del distanciómetro tras cada medida, bien moviendo el distanciómetro o deflectando el haz mediante un sistema óptico. Este último método se usa comúnmente porque los pequeños elementos que lo componen pueden ser girados mucho más rápido y con una precisión mayor. Los escáneres láser de tiempo de vuelo típicos pueden medir la distancia de 10.000 ~ 100.000 puntos cada segundo [[23]]. En la *Figura 3.5* se observa la comparación de una cámara regular con una cámara de profundidad.

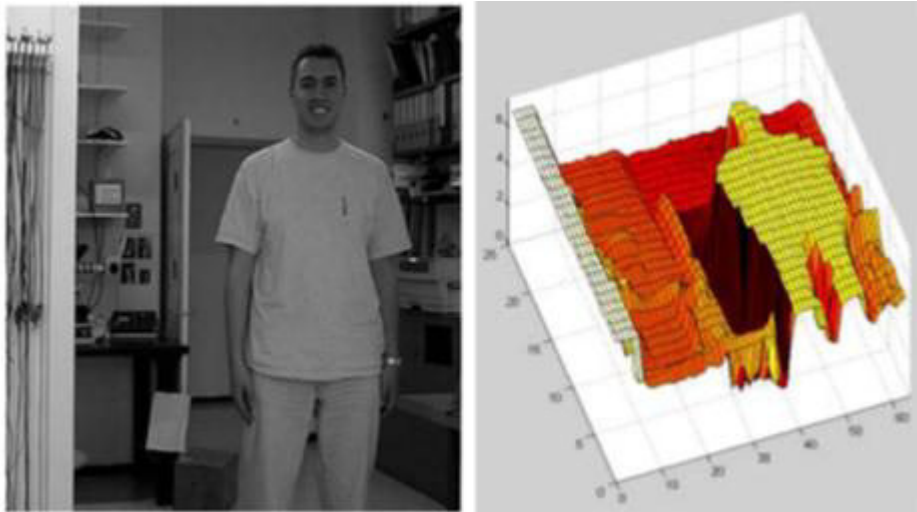


Figura 3.5. Imagen de una Cámara Regular e Imagen de una Cámara de Profundidad ToF

Con la medición de la profundidad usando la tecnología ToF disponemos entre otras las siguientes ventajas:

- Sólo se requiere de una cámara específica.
- No se requiere de un cálculo manual para la profundidad.
- Adquisición de la geometría de la escena 3D en tiempo real.
- Menor dependencia de iluminación de la escena.
- Casi sin depender de textura de la superficie.

La siguiente imagen muestra el proceso de reconstrucción, amplitud y profundidad de la imagen con la tecnología ToF.

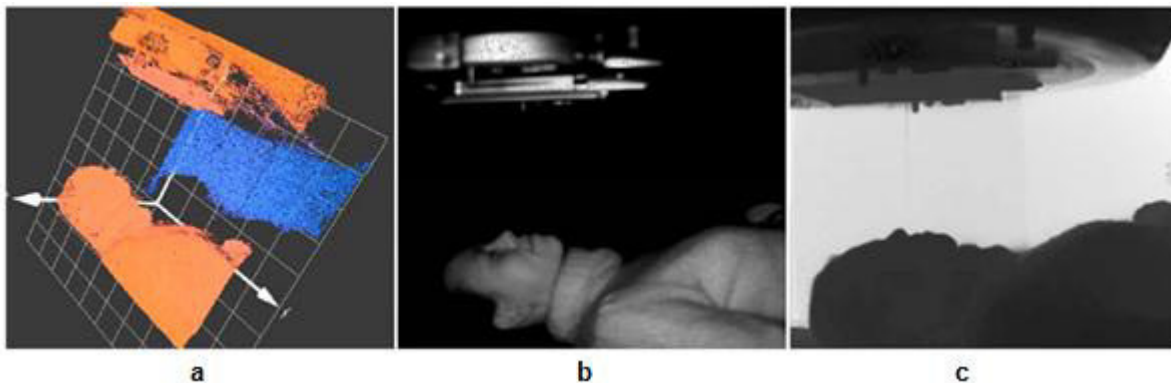


Figura 3.6. a) Reconstrucción 3D, b) Amplitud de la Imagen ToF, c) Profundidad de la Imagen ToF

3.1.3 Visión por Computador con Cámaras TOF.

Los sensores proporcionan a la máquina información sobre su entorno, esta información puede usarse para guiar sus acciones o procesos. La visión es un sentido muy importante porque puede dar información con una resolución relativamente alta a distancias relativamente grandes. Se han desarrollado muchos tipos de sistemas de visión los cuales entran en uso práctico cada vez con más frecuencia. El objetivo general de una máquina vidente es describir una escena, analizando una o más imágenes de la misma. En algunas situaciones la escena es básicamente bidimensional.

Para que una máquina reconozca partes, perforaciones, etc. en una superficie, y en general objetos, debe distinguir primero las zonas de interés del resto de la superficie. En otras palabras, debe ser capaz de "destacar" partes de la imagen que corresponden a esas zonas. Este proceso de extraer partes de una imagen que corresponden a lo más relevantes de una escena se denomina *Segmentación* [[24]].

Cuando se ha extraído una parte de una imagen, generalmente es necesario medir varias propiedades geométricas de tal segmento (tamaño, forma, etc.) tales medidas pueden ser la base para reconocer si el subconjunto representa o no un objeto dado, así como para determinar la posición y orientación del mismo. También pueden servir de base para una posterior segmentación dentro del segmento; por ejemplo, si dos objetos se tocan o superponen, puede ocurrir que hayan sido extraídos como un solo segmento, y puede ser necesario dividir este subconjunto en dos partes basándose en criterios geométricos, por ejemplo descomponiéndolo en partes convexas. Esta etapa del proceso de visión se denomina *Análisis Geométrico* [[25]].

Se pueden diseñar diferentes algoritmos para realizar análisis geométricos, dependiendo de la manera como estén representados los segmentos de la imagen dentro del computador, por esto el tema de la *Representación Geométrica* de subconjuntos de la imagen está estrechamente relacionado con el análisis geométrico.

El reconocer objetos por medio del análisis de segmentos de una imagen puede variar su dificultad, dependiendo de la complejidad de los objetos. Si los objetos que pueden estar presentes en la escena difieren mucho entre sí, se puede usar una comparación relativamente sencilla con patrones o plantillas; en esta situación, puede incluso ser innecesario extraer explícitamente los objetos del resto de la

Imagen. A menudo, los objetos pueden reconocerse porque cumplen un conjunto característico de valores de sus parámetros geométricos.

3.2 MODELO CANDIDE-3, UN ROSTRO ACTUALIZADO PARAMETRIZADO

CANDIDE es un algoritmo inteligente que crea una máscara parametrizada específicamente desarrollada para la codificación de rostros humanos, basados en su modelo y constitución. Su bajo número de polígonos (aproximadamente 100) permite la reconstrucción facial rápida con una potencia de cálculo moderada.

CANDIDE es controlado por unidades de acción globales y locales (UA). Las globales corresponden a rotaciones alrededor de los tres ejes. Las unidades de acción locales controlan los rasgos faciales de modo que se pueden obtener diferentes expresiones.

El concepto de unidades de acción fue descrito por primera vez hace unos 40 años por Carl-Herman Hjortsjö en su libro *El rostro humano y el Lenguaje Mímico*. Este trabajo fue ampliado más tarde por Paul Ekman y Wallace Friesen del Departamento de Psiquiatría de la Universidad del Centro Médico de California lo cual recibió el nombre de Sistema de Codificación de Acción Facial (Facial Action Coding System FACS) [[29]].

El modelo *CANDIDE* fue creado por Mikael Rydfalk del Grupo de Codificación de Imágenes de la Universidad de Linköping en 1987 [[30]]. Este trabajo fue motivado por los primeros intentos para realizar una compresión de imágenes a través de la animación [[32]].

El modelo *CANDIDE* fue conocido por un público más amplio a través de varios artículos en revistas científicas. Ahora se encuentra a disposición del público y es utilizado por los grupos de investigación de todo el mundo.

3.2.1 Las versiones previas de CANDIDE

El modelo original de *CANDIDE*, fue descrito por primera vez en el informe de M. Rydfalk, el mismo que contenía 75 vértices y 100 triángulos, acoplado sobre una plataforma en versión demo de Java; hoy en día esta plataforma es obsoleta y muy poco utilizada.

La primera versión difundida, por muchos años fue modelo estándar de *CANDIDE*, el cual fue un modelo ligeramente modificado con 79 vértices, 108 triángulos y 11 unidades de acción; este modelo fue creado por Mårten Strömberg, mientras implementaba la plataforma de software llamada xproject [[52]], conocida como *CANDIDE-1*.

Más tarde, Bill Welsh de British Telecom [[33]], creó otra versión con 160 vértices, 238 triángulos y 6 unidades de acción que cubren toda la cabeza frontal incluyendo el cabello, los dientes y los hombros. Esta versión es conocida como *CANDIDE-2*, que también se incluye en la plataforma xproject.

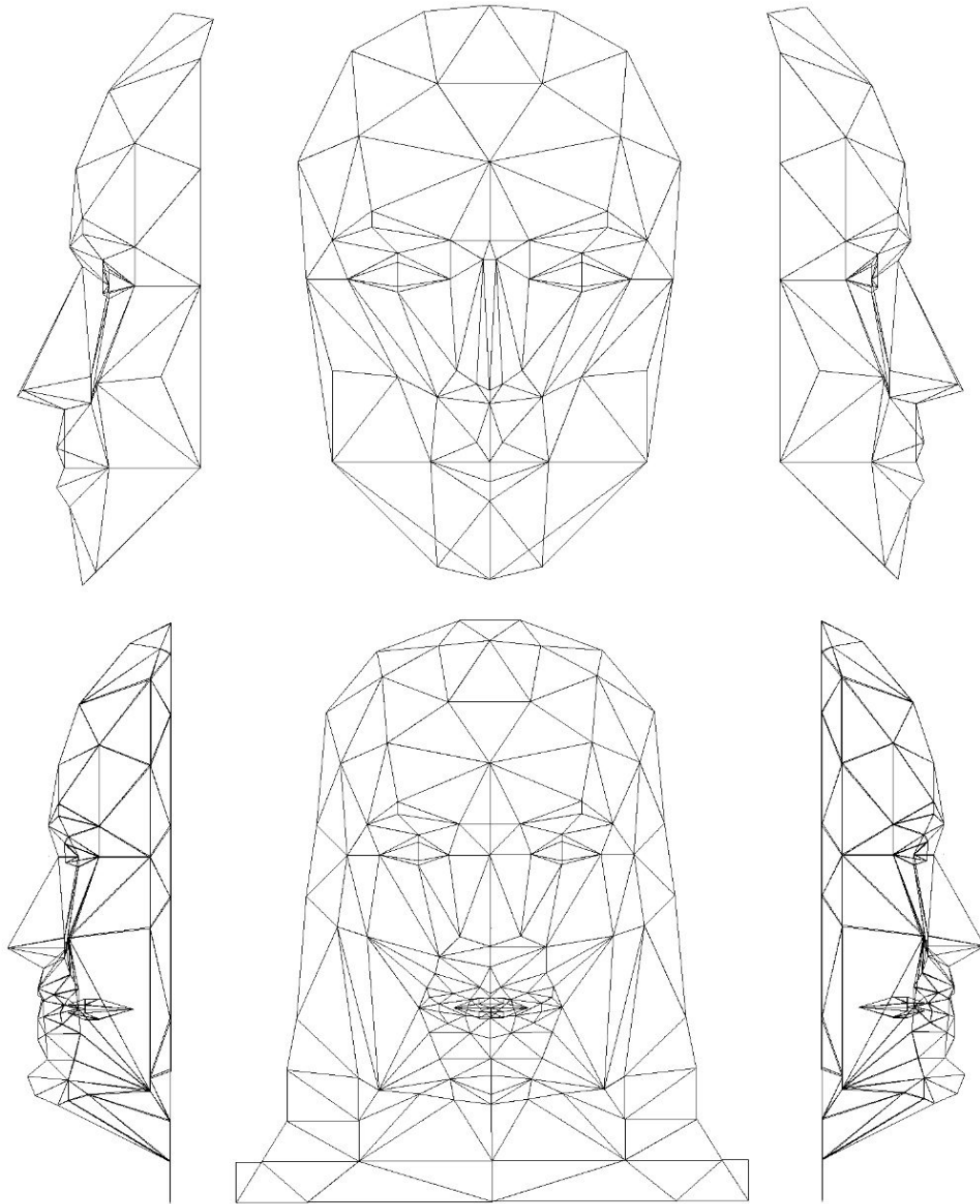


Figura 3.7. Arriba: CANDIDE-1 con 79 vértices y 108 triángulos 238 triángulos. Abajo: CANDIDE-2 con 160 vértices y 238 triángulos

3.2.2 Plataformas de Software

El primer paquete de software incluye la definición *wfm* (wireframe)³, archivos para *CANDIDE-1* y *CANDIDE-2*, que junto con el código fuente en C para una plataforma en UNIX se crea el software llamado *xproject*, como lo indica la Figura 3.8. También hay un paquete de software que maneja *CANDIDE-3* llamado *WinCandide*⁴ [[50]] para el sistema operativo Windows, mostrado en la Figura 3.9. Ambos paquetes de software están disponibles en el sitio web del Grupo de Codificación de Imágenes de la Universidad de Linköping [[51]].

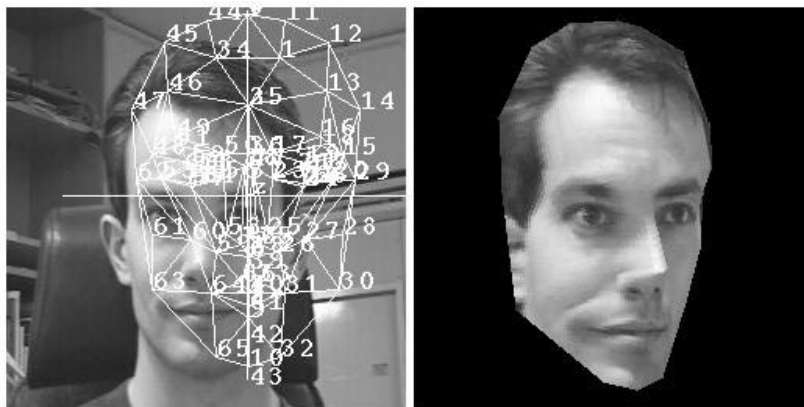


Figura 3.8. Imágenes del Software *xproject*



Figura 3.9. Imágenes del software *WinCandide*

³ Gráfico de una malla de alambre parametrizada, que contiene las Unidades de Acción y Modificación de los rasgos faciales

⁴ *WinCandide* es una pieza de software para el manejo de modelos faciales como *CANDIDE* ejecutada en entornos WINDOWS.

3.2.3 Nuevas Características de CANDIDE-3

Durante la década de los 90, varios modelos faciales avanzados fueron creados por diferentes grupos de investigación y empresas, utilizando a veces miles de polígonos para describir un rostro, en ocasiones con mucha complejidad y una gran capacidad de modelos anatómicos. A pesar de ello, el modelo *CANDIDE* sigue siendo ampliamente utilizado, ya que su simplicidad lo hace una buena herramienta para las tareas de análisis de imágenes y animaciones con baja complejidad. Sin embargo, con el transcurso del tiempo se ha visto en la necesidad de una actualización del modelo, debido a las siguientes razones:

- La simplicidad en el diseño de los ojos y boca, hace que el modelo *CANDIDE* sea muy poco realista; lo cual con la adición de unos pocos vértices mejoraríamos la calidad de manera significativa.
- Una norma para cada punto característico facial que se debe utilizar en la animación está en formato MPEG-4. Varios de los puntos característicos faciales (Facial Feature Points FFPs) no están incluidos en los vértices del modelo *CANDIDE*.

Por lo tanto se han realizado las siguientes modificaciones:

- La estructura de la boca ha sido modificada para obtener vértices correspondientes a los puntos característicos externos e internos del labio, y se han añadido también vértices entre las esquinas de la boca y el centro de los labios (vértices 79-89, MPEG-4 FFPs en el grupo 2 y 8).
- Los vértices correspondientes a cada mejilla (vértices 27 y 60) han sido reemplazados por dos vértices correspondientes a los puntos faciales

característicos 5.2 y 5.4 (lado derecho) y 5.1 y 5.3 (lado izquierdo). Los nuevos vértices tienen los números 90 y 91, correspondientemente.

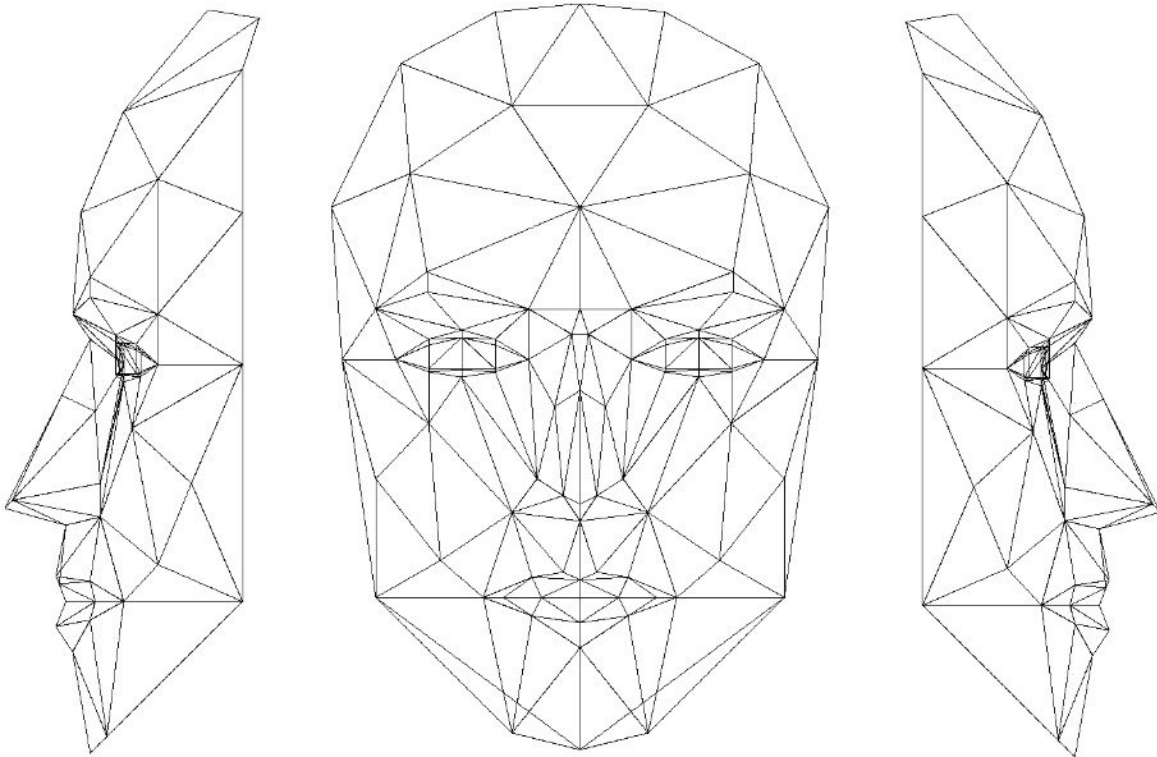


Figura 3.10. CANDIDE-3 con 113 vértices y 168 triángulos

- Existen tres vértices (92 - 94) en la parte media de la nariz, que corresponden a los nuevos FFPs agregados: 9.12, 9.13, y 9.14, y dos vértices (111.112) correspondientes a los nuevos FFPs agregados: 9.4 y 9.5.
- Se han añadido vértices al contorno de los ojos, haciendo que el diseño sea más realista (vértices 95-110).

- Las unidades de acción definidas en CANDIDE-1 se amplían para incluir nuevos vértices.
- La animación puede ser realizada por MPEG-4 FAPs (Facial Animation Parameters), así como por unidades de acción.

El resultado de la malla facial se ilustra en la Figura 3.10.

Existe una distinción entre las Unidades de Acción y las Unidades de Animación. Las Unidades de Acción (AU) son definidas mediante las FACS (Facial Action Coding System), mientras que las Unidades de Animación tienen un significado más general. Las Unidades de Acción y los MPEG-4 FAPs (Parámetros de Animación Facial) son ejemplos de Unidades de Animación. Los parámetros correspondientes se denominan Parámetros de Animación, que pueden ser valores FAP o Niveles de Activación de las Unidades de Acción.

Además, la funcionalidad se ha ampliado también, al incluirse las Unidades de Forma. Una Unidad de Forma define una deformación de un rostro estándar hacia un rostro específico. Los Parámetros de Forma describen la forma estática de un rostro, mientras que los Parámetros de Animación describen la forma dinámica. Los Parámetros de Forma son invariantes en el tiempo, pero específicos para cada individuo; en cambio los Parámetros de Animación, naturalmente, varían con el tiempo, pero pueden ser utilizados para la animación de rostros distintos.

Otro ejemplo de los Parámetros de Forma son los Parámetros Faciales (Facial Definition Parameters FDP) en formato MPEG-4 y los Modos de Forma Activa y Modelos de Apariencia [[34]].

Además, el formato de archivo ha sido extendido, permitiendo que los parámetros como la información de la textura, unidades de forma, unidades de acción y movimiento globales puedan ser almacenados en un archivo con extensión .wfm; manteniendo una total compatibilidad con los archivos anteriores.

3.2.4 Controlando el Modelo.

Las coordenadas de los vértices se almacenan en un archivo *wfm*, y puede ser visto como un vector \bar{g} 3-N dimensional (donde N es el número de vértices) que contiene las coordenadas (x, y, z) respectiva de cada vértice.

Existen las unidades de forma y las unidades de acción con sus respectivos parámetros que, sumadas al vector \bar{g} , nos entrega un vector resultante g que contiene los parámetros de forma y acción con los nuevos vértices de coordenadas.

Como también queremos realizar un movimiento global, necesitamos algunos parámetros más para la rotación, el escalamiento, y la traslación; por ende al vector resultante g debemos sumar una matriz de rotación con su escalamiento y un vector de traslación.

El escalamiento es en tres dimensiones dando como resultando un vector que contiene parámetros de forma, acción, rotación, escalamiento y traslación; que por cada movimiento facial dichos parámetros cambian de valor.

3.2.5 Las Unidades de Acción y Vectores de las Unidades de Acción.

En versiones anteriores de *CANDIDE* hay una ligera confusión acerca de las Unidades de Acción (AUs) y los Vectores de las Unidades de Acción (AUVs). En el informe original [[31]], la distinción es bastante clara; una Unidad de Acción es algo que se hace en el rostro con una simple activación muscular facial, mientras que un Vector de Unidad de Acción es la correspondiente implementación de una o más Unidades de Acción en el modelo *CANDIDE*; por ejemplo, la Unidad de Acción 42 (abertura), 43 (ojos cerrados), 44 (torcer la vista), y 45 (parpadeo) están todas implementadas por el Vector de Unidad de Acción 6; por lo que es bastante obvio que un parpadeo rápido de los ojos es una acción distinta de cerrar los ojos, pero también es evidente que deben ser implementadas por el mismo Vector de Unidad de Acción.

En el primer paquete de software *CANDIDE* (incluyendo los archivos *wfm* para *CANDIDE-1* y *CANDIDE-2*, y el programa *xproject*), los AUVs son llamados Unidades de Acción, pero usan la numeración de los AUVs. Además, en algunos casos esta numeración ha sido utilizada como la numeración de las AU. Así mismo, la numeración AUV en *CANDIDE-1* no es idéntica a la numeración en propuesta por Rydfalk [[31]], mientras que en *CANDIDE-2* contiene todavía la numeración un poco distinta. En cambio en *CANDIDE-3*, la numeración propuesta por Rydfalk se mantiene. Un listado de las Unidades de Acción y los Vectores de las Unidades de Acción se aprecian a continuación en la siguiente Tabla:

| Las Unidades de Acción son enumeradas y nombradas desde FACS [[30]]. Los Vectores de Unidades de Acción son enumerados desde el CANDIDE original | | |
|---|---------------------------------|------------|
| Unidad de Acción | Nombre | AUV |
| Unidades de Acción del Rostro Superior | | |
| 1 | Inner brow raiser | 12 |
| 2 | Outer brow raiser | 5 |
| 4 | Brow lowerer | 3 |
| 5 | Upper lid raiser | 10 |
| 6 | Cheek raiser and lid compressor | |
| 7 | Lid tightener | 7 |
| 41 | Lid drop | 14 |
| 42 | Slit | 6 |
| 43 | Eyes closed | 6 |
| 44 | Squint | 6 |
| 45 | Blink | 6 |
| 46R | Wink (Right) | 17 |
| 46L | Wink (Left) | 19 |
| Unidades de Acción del Rostro Inferior abajo/arriba | | |
| 9 | Nose wrinkler | 8 |
| 10 | Upper lip raiser | 0 |
| 15 | Lip corner depressor | 14 |
| 17 | Chin raiser | 20 |
| 25 | Lips part | |
| 26 | Jaw drop | 11 |
| 27 | Mouth stretch | 11 |
| 16+25 | Lower lip depressor | 1 |
| Unidades de Acción del Rostro Inferior horizontal y oblicuo | | |
| 11 | Nasolobial furrow deepener | |
| 12 | Lip corner pull | 4 |

| | | |
|---|------------------|----|
| 13 | Sharp lip puller | 14 |
| 14 | Dimpler | |
| 20 | Lip stretcher | 2 |
| Unidades de Acción del Rostro Inferior orbital | | |
| 18 | Lip pucker | 16 |
| 22+25 | Lip funnler | |
| 23 | Lip tightener | 9 |
| 24 | Lip presser | 9 |
| 28 | Lip suck | |

Tabla 3.1. Las Unidades de Acción y los Vectores de Unidades de Acción

| Las columnas C1, C2 y C3 indican la numeración respectiva de las AU/AUVs que posee CANDIDE-1/2/3 respectivamente | | | | | |
|---|-----------|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| AUV | AU | Nombre | C1 | C2 | C3 |
| 0 | 10 | Upper lip raiser | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 16+25 | Lower lip depressor | | | |
| 2 | 20 | Lip stretcher | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 4 | Brow lowerer | 3 | 3 | 3 |
| 4 | 12 | Lip corner pull | | | |
| 5 | 2 | Outer brow raiser | 5 | | 5 |
| 6 | 42 | Slit | | | |
| 6 | 43 | Eyes closed | 6 | 3 | 6 |
| 6 | 44 | Squint | | | |
| 6 | 45 | Blink | | | |
| 7 | 7 | Lid tightener | 7 | | 7 |
| 8 | 9 | Nose wrinkler | 8 | | 8 |
| 9 | 23 | Lip tightener | | | |
| 9 | 24 | Lip presser | 9 | | 9 |
| 10 | 5 | Upper lid raiser | 10 | | 10 |
| 11 | 26 | Jaw drop | 1 | 1 | 11 |

| | | | | | |
|----|-----|----------------------|---|---|----|
| | 27 | Mouth stretch | | | |
| 12 | 1 | Inner brow raiser | | 5 | |
| 13 | 41 | Lid drop | | | |
| 14 | 13 | Sharp lip puller | | | |
| 14 | 15 | Lip corner depressor | 4 | 4 | 14 |
| 15 | | | | | |
| 16 | 18 | Lip pucker | | | |
| 17 | 46R | Wink (right) | | | |
| 19 | 46L | Wink (left) | | | |
| 20 | 17 | Chin raiser | | | |

Tabla 3.2. Las Unidades de Acción y los Vectores de Unidades de Acción

Los Vectores de las Unidad de Acción son luego generalizados a las Unidades de Animación, ya que también representan los FAPs (Parámetros de Animación Facial). Las Unidades de Animación implementan la mayoría de los MPEG-4 FAPs que se incluyen en la definición del archivo de *CANDIDE-3*.

3.2.6 Las Unidades de Forma

CANDIDE-3 contiene 12 Unidades de Forma (Shape Units SUs), por lo que es posible remodelar *CANDIDE* al menos a las formas de la cabeza más comunes. Para permitir una variación más amplia de formas de la cabeza, el usuario tiene que agregar más SUs, o mover vértices individualmente. Las Unidades de Forma incluidas, son enumeradas en la siguiente Tabla:

| Unidades de Forma | | Comentarios |
|-------------------|-------------------------------------|---|
| 0 | Altura de la cabeza | No tiene influencia sobre los ojos, la boca, .. |
| 1 | Cejas, posición vertical | |
| 2 | Ojos, posición vertical | |
| 3 | Ojos, ancho | |
| 4 | Ojos, altura | |
| 5 | Distancia de separación de los ojos | |
| 6 | Mejillas z | z-extensión del pómulo |
| 7 | Extensión z de la nariz | z-extensión de la nariz |
| 8 | Posición vertical de la nariz | |
| 9 | Nariz, apuntando hacia arriba | La posición vertical de la punta de la nariz. |
| 10 | Posición vertical de la boca | |
| 11 | Ancho de la boca | |

Tabla 3.3. Las Unidades de Forma

3.2.7 Relación con MPEG-4 Animación Facial

Para hacer frente a un modelo compatible con MPEG-4 Animación facial, dos cosas se deben determinar: Cual punto característicos facial (FFPs) corresponde a qué vértices, y las Unidades los Parámetros de Animación Facial (FAPUs).

- **Vértices y FFPs**

La mayoría de los FFPs tienen su correspondencia directa incluso en *CANDIDE-1*, y con la adición de los vértices 89-112 casi todos los FFPs están representados. Hay algunas excepciones, sin embargo:

- *CANDIDE* no tiene lengua, por lo que las FFPs en el grupo 6 no tienen vértices correspondientes.
- La cabeza entera no está representada por *CANDIDE*, y por lo tanto la parte superior de la columna (FFP 7.1) y la parte posterior del cráneo (FFP 11.6) no corresponde con ningún vértice.
- *CANDIDE-3* no tiene dientes a diferencia que *CANDIDE-2* (FFP 9.9 - 9.11).
- *CANDIDE* no tiene oídos (FFP 10.1 - 10.6).
- *CANDIDE-3* no tiene cabello, y por lo tanto no existe grosor del mismo (FFP 11.5).

Todos los Puntos Característicos Faciales (FFPs) y todos los vértices son listados en la siguiente Tabla:

| Vértice | Descripción | MPEG-4 FFP | |
|---------|---|------------|----|
| | | | |
| 0 | Top of skull | 11 | 4 |
| 1 | (Middle border between hair and forehead) | 11 | 1 |
| 2 | Middle of forehead | | |
| 3 | Midpoint between eyebrows | | |
| 4 | Not used (replaced by and in CANDIDE-) | | |
| 5 | Nose tip | 9 | 3 |
| 6 | Bottom middle edge of nose | 9 | 15 |
| 7 | Middle point of outer upper lip contour | 8 | 1 |
| 8 | Middle point of outer lower lip contour | 8 | 2 |
| 9 | Chin boss | 2 | 10 |

| | | | |
|----|---|----|----|
| 10 | Bottom of the chin | 2 | 1 |
| 11 | Left of top of skull | | |
| 12 | Left of top of skull | | |
| 13 | (Left border between hair and forehead) | 11 | 3 |
| 14 | Left side of skull | | |
| 15 | Outer corner of left eyebrow | 4 | 5 |
| 16 | Uppermost point of the left eyebrow | 4 | 3 |
| 17 | Inner corner of left eyebrow | 4 | 1 |
| 18 | Lower contour of the left eyebrow, straight under | | |
| 19 | Center of upper outer left eyelid | 3 | 13 |
| 20 | Outer corner of left eye | 3 | 7 |
| 21 | Center of upper inner left eyelid | 3 | 1 |
| 22 | Center of lower inner left eyelid | 3 | 3 |
| 23 | Inner corner of left eye | 3 | 11 |
| 24 | Center of lower outer left eyelid | 3 | 9 |
| 25 | Left nose border | | |
| 26 | Left nostril outer border | 9 | 1 |
| 27 | Left cheek bone | 5 | 3 |
| 28 | Inner contact point between left ear and face | 10 | 8 |
| 29 | Upper contact point between left ear and face | 10 | 9 |
| 30 | Left corner of jaw bone | 2 | 13 |
| 31 | Left corner of outer lip contour | 8 | 3 |
| 32 | Chin left corner | 2 | 11 |
| 33 | Uppermost point of left outer lip contour | 8 | 10 |
| 34 | (Middle border between hair and forehead) | 11 | 1 |
| 35 | Not used (identical to 2) | | |
| 36 | Not used (identical to 3) | | |
| 37 | Not used (identical to 4) | | |
| 38 | Not used (identical to 5) | | |
| 39 | Not used (identical to 6) | | |

| | | | |
|----|--|----|----|
| 40 | Middle point of inner lower lip contour | 2 | 3 |
| 41 | Not used (identical to 8) | | |
| 42 | Not used (identical to 9) | | |
| 43 | Not used (identical to 10) | | |
| 44 | Right of top of skull | | |
| 45 | Right of top of skull | | |
| 46 | (Right border between hair and forehead) | 11 | 2 |
| 47 | Right side of skull | | |
| 48 | Outer corner of right eyebrow | 4 | 6 |
| 49 | Uppermost point of the right eyebrow | 4 | 4 |
| 50 | Inner corner of right eyebrow | 4 | 2 |
| 51 | Lower contour of the right eyebrow, straight under | | |
| 52 | Center of upper outer right eyelid | 3 | 14 |
| 53 | Outer corner of right eye | 3 | 12 |
| 54 | Center of upper inner right eyelid | 3 | 2 |
| 55 | Center of lower inner right eyelid | 3 | 4 |
| 56 | Inner corner of right eye | 3 | 8 |
| 57 | Center of lower outer right eyelid | 3 | 10 |
| 58 | Right nose border | | |
| 59 | Right nostril border | 9 | 2 |
| 60 | Right cheek bone | 5 | 4 |
| 61 | Lower contact point between right ear and face | 10 | 7 |
| 62 | Upper contact point between right ear and face | 2 | 14 |
| 63 | Right corner of jaw bone | 8 | 4 |
| 64 | Right corner of outer lip contour | 2 | 12 |
| 65 | Chin right corner | 8 | 9 |
| 66 | Uppermost point of right outer lip contour | | |
| 67 | Left iris, outer upper corner of bounding (square) box | | |
| 68 | Left iris, outer lower corner of bounding (square) box | | |
| 69 | Right iris, outer upper corner of bounding (square) | | |

| | | | |
|----|---|---|---|
| | box | | |
| 70 | Right iris, outer lower corner of bounding (square) box | | |
| 71 | Left iris, inner upper corner of bounding (square) box | | |
| 72 | Left iris, inner lower corner of bounding (square) box | | |
| 73 | Right iris, inner upper corner of bounding (square) box | | |
| 74 | Right iris, inner lower corner of bounding (square) box | | |
| 75 | Left side of nose tip | | |
| 76 | Right side of nose tip | | |
| 77 | Left upper edge of nose bone | 9 | 7 |
| 78 | Right upper edge of nose bone | 9 | 6 |
| 79 | Midpoint between FFP 8.4 and 8.1 on outer upper lip contour | 8 | 5 |
| 80 | Midpoint between FFP 8.3 and 2.5 on outer upper lip contour | 8 | 6 |
| 81 | Midpoint between FFP 2.2 and 2.5 on the inner upper lip contour | 2 | 6 |
| 82 | Midpoint between FFP 2.2 and 2.4 on the inner upper lip contour | 2 | 7 |
| 83 | Midpoint between FFP 2.3 and 2.5 on the inner lower lip contour | 2 | 8 |
| 84 | Midpoint between FFP 2.3 and 2.5 on the inner lower lip contour | 2 | 9 |
| 85 | Midpoint between FFP 8.4 and 8.2 on outer lower lip contour | 8 | 7 |
| 86 | Midpoint between FFP 8.3 and 8.2 on outer lower lip contour | 8 | 8 |
| 87 | Middle point of inner upper lip contour | 2 | 2 |

| | | | |
|-----|---|---|----|
| 88 | Left corner of inner lip contour | 2 | 4 |
| 89 | Right corner of inner lip contour | 2 | 5 |
| 90 | Center of the left cheek | 5 | 1 |
| 91 | Center of the right cheek | 5 | 2 |
| 92 | Left lower edge of nose bone | 9 | 13 |
| 93 | Right lower edge of nose bone | 9 | 14 |
| 94 | Middle lower edge of nose bone (or nose bump) | 9 | 12 |
| 95 | Outer upper edge of left upper eyelid | | |
| 96 | Outer upper edge of right upper eyelid | | |
| 97 | Outer lower edge of left upper eyelid | | |
| 98 | Outer lower edge of right upper eyelid | | |
| 99 | Outer upper edge of left lower eyelid | | |
| 100 | Outer upper edge of right lower eyelid | | |
| 101 | Outer lower edge of left lower eyelid | | |
| 102 | Outer lower edge of right lower eyelid | | |
| 103 | Inner upper edge of left upper eyelid | | |
| 104 | Inner upper edge of right upper eyelid | | |
| 105 | Inner lower edge of left upper eyelid | | |
| 106 | Inner lower edge of right upper eyelid | | |
| 107 | Inner upper edge of left lower eyelid | | |
| 108 | Inner upper edge of right lower eyelid | | |
| 109 | Inner lower edge of left lower eyelid | | |
| 110 | Inner lower edge of right lower eyelid | | |
| 111 | Bottom left edge of nose | 9 | 5 |
| 112 | Bottom right edge of nose | 9 | 4 |

Tabla 3.4. Los vértices de CANDIDE-3 y los correspondientes MPEG-4 Puntos de Características Faciales

| MPEG-4 FFP | | Descripción | Vértice |
|------------|----|---|-------------|
| 2 | 1 | Bottom of the chin | 10 |
| 2 | 2 | Middle point of inner upper lip contour | 87 |
| 2 | 3 | Middle point of inner lower lip contour | 40 |
| 2 | 4 | Left corner of inner lip contour | 88 |
| 2 | 5 | Right corner of inner lip contour | 89 |
| 2 | 6 | Midpoint between FFP 2.2 and 2.5 on the inner upper lip contour | 81 |
| 2 | 7 | Midpoint between FFP 2.2 and 2.4 on the inner upper lip contour | 82 |
| 2 | 8 | Midpoint between FFP 2.3 and 2.5 on the inner lower lip contour | 83 |
| 2 | 9 | Midpoint between FFP 2.3 and 2.4 on the inner lower lip contour | 84 |
| 2 | 10 | Chin boss | 9 |
| 2 | 11 | Chin left corner | 32 |
| 2 | 12 | Chin right corner | 65 |
| 2 | 13 | Left corner of jaw bone | 30 |
| 2 | 14 | Right corner of jaw bone | 63 |
| 3 | 1 | Center of upper inner left eyelid | 21 |
| 3 | 2 | Center of upper inner right eyelid | 54 |
| 3 | 3 | Center of lower inner left eyelid | 22 |
| 3 | 4 | Center of lower inner right eyelid | 55 |
| 3 | 5 | Center of the pupil of left eye | 67/68/71/72 |
| 3 | 6 | Center of the pupil of right eye | 69/70/73/74 |
| 3 | 7 | Outer corner of left eye | 20 |
| 3 | 8 | Inner corner of right eye | 56 |
| 3 | 9 | Center of lower outer left eyelid | 24 |
| 3 | 10 | Center of lower outer right eyelid | 57 |
| 3 | 11 | Inner corner of left eye | 23 |
| 3 | 12 | Outer corner of right eye | 53 |
| 3 | 13 | Center of upper outer left eyelid | 19 |
| 3 | 14 | Center of upper outer right eyelid | 52 |

| | | | |
|---|-------|---|-----|
| 4 | 1 | Inner corner of left eyebrow | 17 |
| 4 | 2 | Inner corner of right eyebrow | 50 |
| 4 | 3 | Uppermost point of the left eyebrow | 16 |
| 4 | 4 | Uppermost point of the right eyebrow | 49 |
| 4 | 5 | Outer corner of left eyebrow | 15 |
| 4 | 6 | Outer corner of right eyebrow | 48 |
| 5 | 1 | Center of the left cheek | 90 |
| 5 | 2 | Center of the right cheek | 91 |
| 5 | 3 | Left cheek bone | 27 |
| 5 | 4 | Right cheek bone | 60 |
| 6 | 1 - 4 | Tongue | n/a |
| 7 | 1 | Top of spine (center of rotation) | n/a |
| 8 | 1 | Middle point of outer upper lip contour | 7 |
| 8 | 2 | Middle point of outer lower lip contour | 8 |
| 8 | 3 | Left corner of outer lip contour | 31 |
| 8 | 4 | Right corner of outer lip contour | 64 |
| 8 | 5 | Midpoint between FFP 8.4 and 8.1 on outer upper lip contour | 79 |
| 8 | 6 | Midpoint between FFP 8.3 and 8.1 on outer upper lip contour | 80 |
| 8 | 7 | Midpoint between FFP 8.4 and 8.2 on outer lower lip contour | 85 |
| 8 | 8 | Midpoint between FFP 8.3 and 8.2 on outer lower lip contour | 86 |
| 8 | 9 | Uppermost point of right outer lip contour | 66 |
| 8 | 10 | Uppermost point of left outer lip contour | 33 |
| 9 | 1 | Left nostril outer border | 26 |
| 9 | 2 | Right nostril border | 59 |
| 9 | 3 | Nose tip | 5 |
| 9 | 4 | Bottom right edge of nose | 112 |
| 9 | 5 | Bottom left edge of nose | 111 |
| 9 | 6 | Right upper edge of nose bone | 78 |

| | | | |
|----|--------|--|------|
| 9 | 7 | Left upper edge of nose bone | 77 |
| 9 | 9 - 11 | Teeth | n/a |
| 9 | 12 | Middle lower edge of nose bone (or nose bump) | 94 |
| 9 | 13 | Left lower edge of nose bone | 92 |
| 9 | 14 | Right lower edge of nose bone | 93 |
| 9 | 15 | Bottom middle edge of nose | 6 |
| 10 | 1 - 6 | Ears | n/a |
| 10 | 7 | Lower contact point between right ear and face | 61 |
| 10 | 8 | Inner contact point between left ear and face | 28 |
| 10 | 9 | Upper contact point between left ear and face | 29 |
| 10 | 10 | Upper contact point between right ear and face | 62 |
| 11 | 1 | (Border between hair and forehead) | 1/34 |
| 11 | 2 | (Right border between hair and forehead) | 46 |
| 11 | 3 | (Left border between hair and forehead) | 13 |
| 11 | 4 | Top of skull | 0 |
| 11 | 5 | Hair thickness over FFP 11.4 | n/a |
| 11 | 6 | Back of skull | n/a |

Tabla 3.5. Los MPEG-4 Puntos de Características Faciales y los correspondientes vértices de CANDIDE-3

- **Las Unidades FAP**

Las Unidades los Parámetros de Animación Facial (FAPUs) son las unidades en las que se mide el movimiento de los puntos característicos debido a las FAPs, a excepción de la unidad angular (AU), que están representada por 1024: ths de las FAPUs. Por ejemplo, FAP 53 (*stretch_l_cornerlip_o*), se mueve FFP 8.3 a la izquierda, y el correspondiente FAP es MW (Mouth Width) [[35]]. Por lo tanto, el establecimiento de FAP 53 a 256 se movería $FFP\ 8.3\ 256/1024 = 0.25\ MW$ a la izquierda.

En *CANDIDE-3*, significaría moverse del vértice 31 a la izquierda. La FAPU MW se calcula como la diferencia de las coordenadas x de vértice 31 y el vértice 64, como lo indica la Tabla 3.7, cuando el rostro está en posición neutra.

Los FAPUs, y su definición en *CANDIDE-3*, se enumeran en la Tabla 3.5, *rpupil* es el punto medio de los vértices 69, 70, 73, y 74, *lpupil* es el punto medio de los vértices 68, 69, 71, y 72, *pupil.y* es la media de *lpupil.y* y *rpupil.y*.

| FAPU | | CANDIDE |
|-------|-----------------------|-----------------------------------|
| AU | Angular unit | 1e-5 radians |
| MW | Mouth width | 31.x - 64.x |
| MNS | Mouth-nose separation | 6.y - 87.y |
| ENS | Eye-nose separation | <i>pupil.y</i> - 6.y |
| ES | Eye separation | <i>rpupil.x</i> - <i>lpupil.x</i> |
| IRISD | Iris diameter | 73.y - 74.y |

Tabla 3.6. Las Unidades FAP y CANDIDE

- **Los FAPs**

La mayoría de los FAPs pueden ser implementados en *CANDIDE-3*, pero no todos, ya que no todos los FAPs tienen correspondencia en *CANDIDE-3*. Las FAPs que no son posibles implementarlas son las FAPs 43 - 47 (lengua) y las FAPs 65 - 68 (orejas). Además, las FAPs 48 - 50 no se implementan como Unidades de Animación, pero si como parámetros globales.

En la versión *CANDIDE-3* (v3.1.3, como se muestra en la Figura 3.10), Los FAPs 23 - 30 (globos oculares y pupilas) no están disponibles, desde los vértices de iris que no poseen superficie. Con una triangulación ligeramente diferente (disponible en *CANDIDE 3.1.4*), dichos FAP tienen significado. Esto aumenta el número de superficies de 168 a 184.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO FACIAL, RECONOCIMIENTO DE DISTRACCIÓN Y/O SOMNOLENCIA

4.1. INTRODUCCIÓN

El Face Tracking o seguimiento de rostros es un proceso que consiste en dos pasos, en el primero lo que se realiza es la localización del rostro, por medio de un sistema de reconocimiento y detección de rostros; y el segundo, es el seguimiento de estos a través de una secuencia de imágenes o video.

4.1.1 Técnicas para el seguimiento de rostros

Existen algunas técnicas destinadas al seguimiento de rostros, entre otras encontramos [[60]]:

- **Búsqueda de patrones:**

Es una técnica de análisis que consiste en, dado un patrón encontrar su aparición dentro de otra imagen mayor. Se puede aplicar también para la detección de objetos, reconocimiento y correspondencia. El método más sencillo de búsqueda de patrones es el Template Matching.

- **Flujo óptico:**

El flujo óptico define los vectores de movimiento de diferentes partes de la imagen. Se aplica en secuencias de vídeo. Sirve para la detección de movimiento, seguimiento de objetos por partes, compresión de vídeo, composición, etc.

- **Integrales Proyectivas:**

Las integrales proyectivas se pueden usar en detección, seguimiento y segmentación.

- **Análisis del color:**

Las técnicas anteriores se pueden aplicar tanto en imágenes en color como en escala de grises. Pero hay otras técnicas que hacen específicamente uso del color, entre otras:

- Re proyección del histograma.
- Comparación de histogramas.

4.1.2 Métodos para el seguimiento de rostros

El seguimiento de rostros puede llevarse a cabo mediante los siguientes métodos [[60]]:

- **Template Matching:** Este método a grandes rasgos es una comparación de plantillas.
- **Filtros de partículas:** Útil para el muestreo de la distribución subyacente de espacio de estado de los procesos no-lineales y no-gaussiano.
- **Método de rejilla:** Su uso permite llevar a cabo una reducción logarítmica del espacio de búsqueda de los objetos de interés, posibilitando una ejecución en tiempo real de los procesos de localización y seguimiento de caras humanas y componentes faciales.

4.1.3 Aplicaciones del seguimiento de rostros

Los sistemas de seguimiento de rostros son una técnica nueva y hasta hace poco sus posibles aplicaciones se limitaban al campo de la video vigilancia, por ejemplo para la monitorización de escenas. Esta tecnología, poco a poco, se están abriendo paso en diversos campos y ya podemos verla implementada en aparatos comunes que utilizamos en el día a día como las cámaras de fotos digitales o las videocámaras [[60]].

En la actualidad el campo donde más se trabaja con el seguimiento de rostros es el de los videojuegos. Hasta ahora se ha logrado mejorar la calidad de los gráficos para hacer que los juegos luzcan lo más reales posible, en donde el usuario controla los movimientos de su personaje casi en tiempo real, por ejemplo, si el jugador gira la cabeza el personaje también lo hace.

Además, el seguimiento de rostros ha incursionado en el campo de la robótica, permitiendo controlar el movimiento de ciertos robots con movimientos del rostro y cabeza.

4.2 SECUENCIA DE EJECUCIÓN DEL ALGORITMO

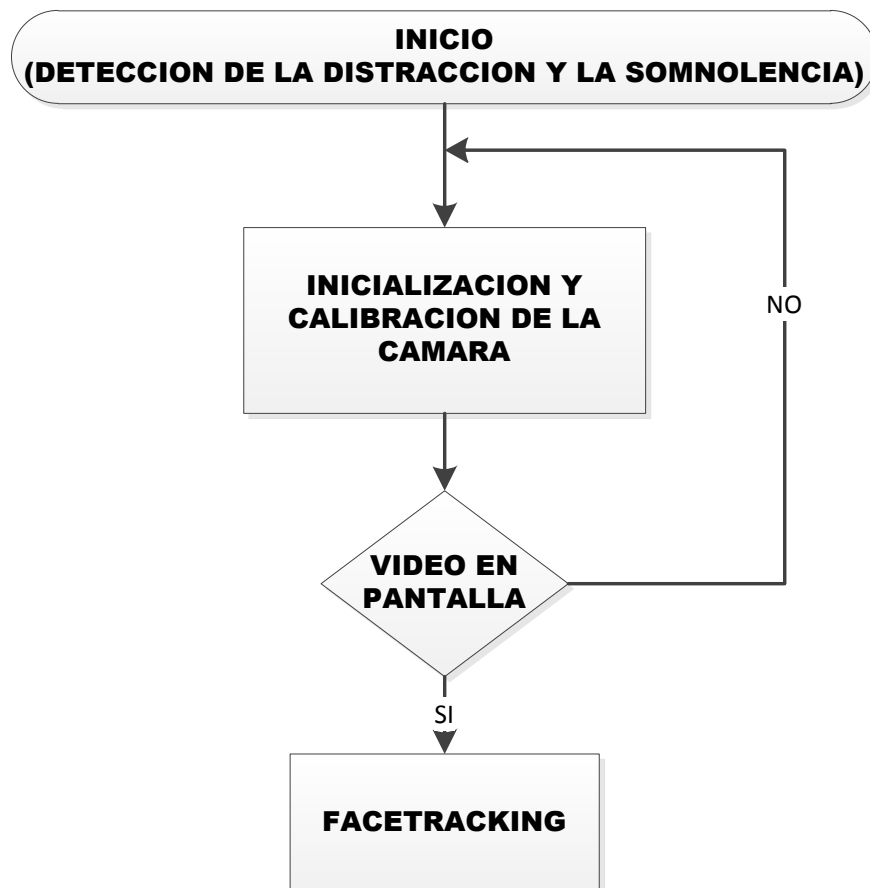


Figura 4.1 Secuencia de Ejecución del Algoritmo

Para el inicio del algoritmo de detección de la distracción y/o somnolencia existe una secuencia de arranque, la misma que es detallada en la *Figura 4.1*.

Al momento de la conexión del sensor al computador, el algoritmo inicia con la calibración de sus parámetros utilizar la cámara de video y la cámara de profundidad; existe ocasiones en las cuales al momento de la ejecución del algoritmo, el sensor demora su ejecución o no sale el video en pantalla, esto se debe a que el sensor no logró realizar la calibración respectiva de las cámaras o el entorno desarrollado de programación no responde.

La solución está en esperar la respuesta del sensor, o en la desconexión y conexión del dispositivo del computador para dar una nueva secuencia de arranque. Una vez realizada la secuencia de encendido, la imagen de video se mostrará en la pantalla, seguido de ella el algoritmo programado de detección de somnolencia y distracción.

Existen ocasiones en las cuales solamente muestra en pantalla la imagen de video, más no el algoritmo programado; esto se debe a que el sensor de profundidad no logra obtener resultados debido a limitaciones que el dispositivo posee, las limitantes más comunes son:

- **Distancia:** Kinect for Windows tiene establecido parámetros de distancias mínimas y máximas para el reconocimiento de objetos frente a sus sensores (*Anexo C*).
- **Luminosidad:** Kinect for Windows trabaja eficientemente en ambientes cuyas características de iluminación no sean lo suficientemente oscuras ni muy claras (*Anexo C*).

4.2 INICIALIZACIÓN Y CALIBRACIÓN DE LA CÁMARA

INICIALIZACION Y CALIBRACION DE
LA CAMARA

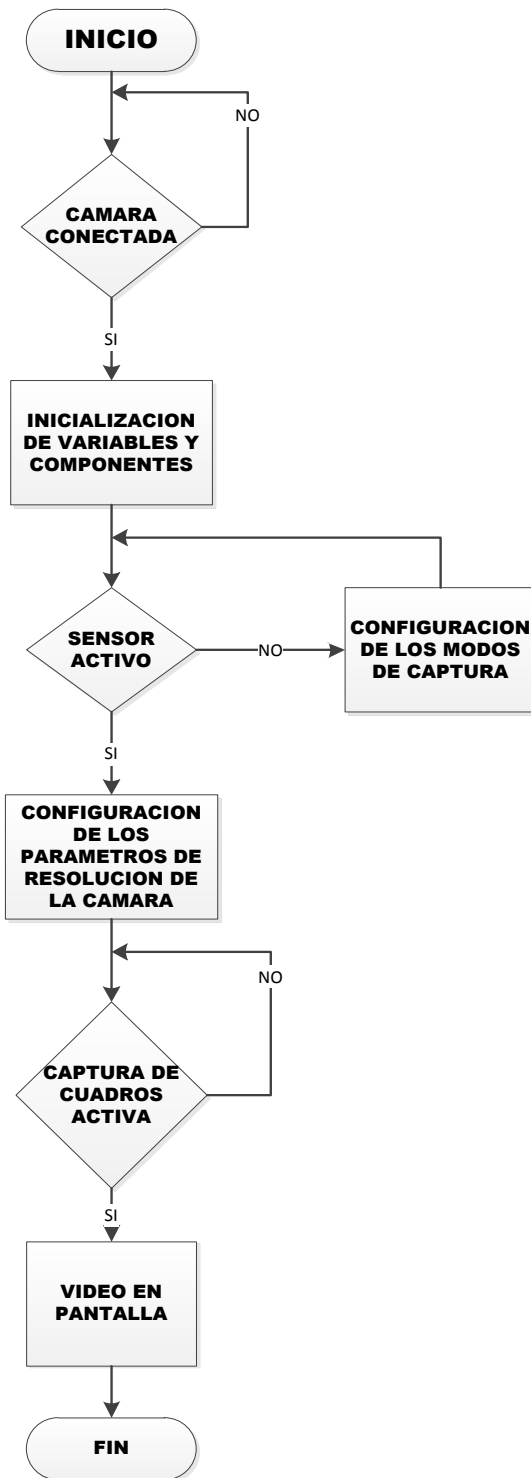


Figura 4.2 Inicialización y calibración de la cámara

Para la inicialización y calibración de la cámara comenzamos con la conexión del sensor al computador por medio del cable USB, verificando que los controladores estén previamente instalados.

Una vez correctamente conectado el sensor, se realiza la inicialización de las variables y componentes a utilizarse en la programación. Seguido de ello se verifica el estado de sensor de profundidad, si dicho sensor no está activo se ejecuta la configuración de los modos de captura para la activación del mismo.

Cuando el sensor esté activo, se ejecuta la configuración de los parámetros de la resolución de la cámara; estos parámetros modifican la información a ser utilizada del flujo de datos en el sensor, variando la resolución y los bits de profundidad de la cámara según los requerimientos necesarios.

Una vez configurado los parámetros de resolución del sensor, se realiza la captura de cuadros de imágenes para finalmente mostrar el video en pantalla.

4.3 FACE TRACKING

El FaceTracking SDK de Microsoft conjuntamente con el SDK de Windows para la cámara Kinect (versión Windows) permite crear aplicaciones que puedan hacer seguimiento del rostro humano en tiempo real.

El motor de rastreo de rostros del FaceTracking SDK analiza la entrada de la cámara Kinect, para luego deducir la posición de la cabeza y las expresiones

faciales, y hace que esa información esté disponible para realizar una aplicación en tiempo real. Por ejemplo, esta información puede ser usada para representar el seguimiento de la posición de la cabeza de una persona y sus expresiones faciales dentro de un avatar en un juego de video, o una aplicación de comunicación, o para manejar una interface natural de usuario.

4.3.1 Configuración del Ambiente de Trabajo

A continuación se indicara como configurar un ambiente de trabajo para poder crear una aplicación en C# utilizando la herramienta FaceTracking SDK.

- **Paso 1.** Creamos un nuevo proyecto WPF en Visual Studio con el nombre de la aplicación deseada.

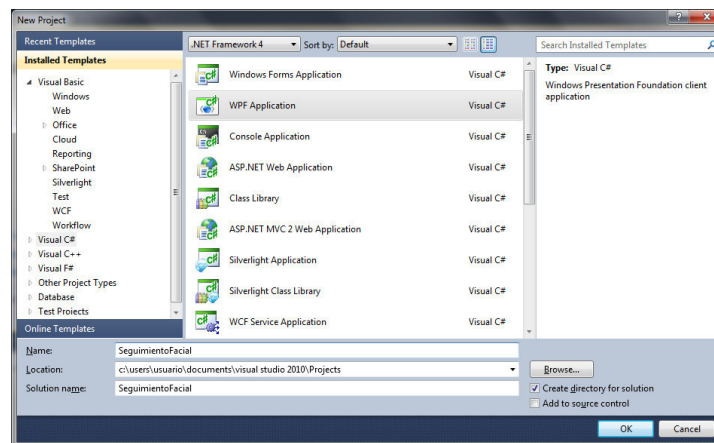


Figura 4.3 Creación de un proyecto WPF

- **Paso 2.** Añadimos como referencia una librería dinámica de conexión (DLL) de nombre Microsoft.Kinect.dll, la misma que obtendremos después de instalar el SDK de Windows. Siguiendo los pasos a continuación.

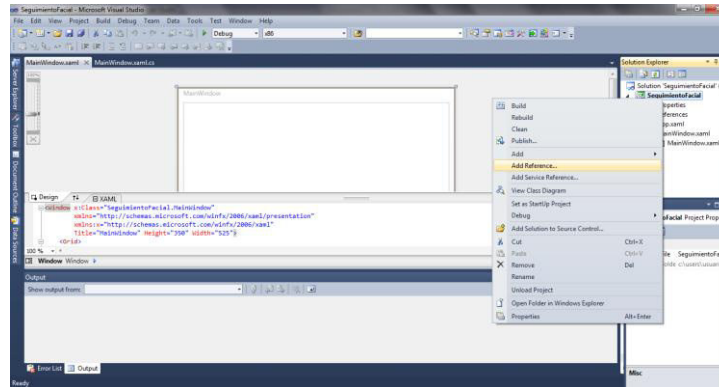


Figura 4.4 Añadir referencia paso 1

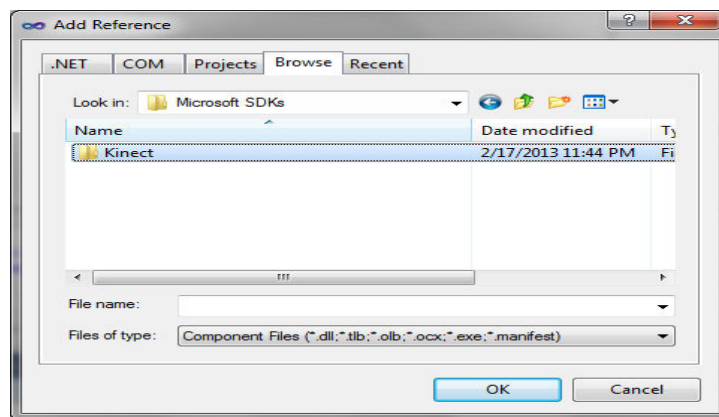


Figura 4.5 Añadir referencia paso 2

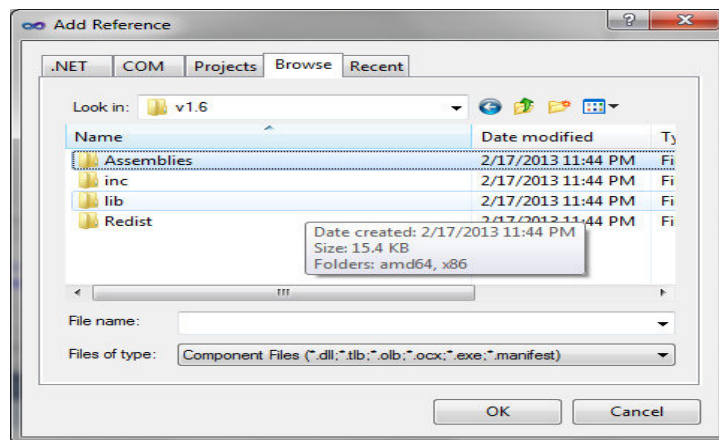


Figura 4.6 Añadir referencia paso 3

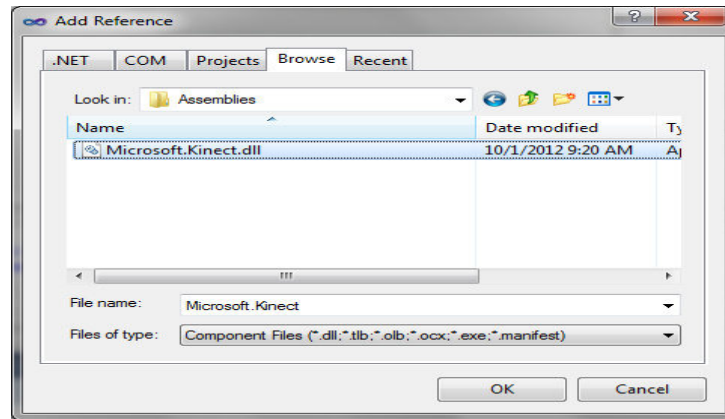


Figura 4.7 Añadir referencia paso 4

- Paso 3.** A continuación se añadirán dos proyectos existentes, Microsoft.Kinect.Toolkit y Microsoft.Kinect.Toolkit.FaceTracking, los mismos que nos brindaran las librerías necesarias para la realización del proyecto. Estos dos proyectos los obtendremos después de haber instalado todos los prerequisites mencionados anteriormente.

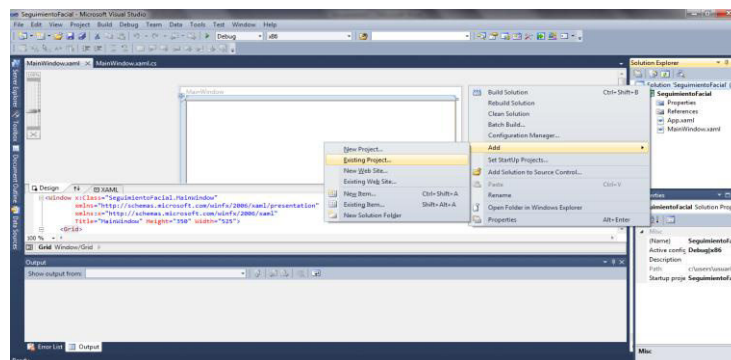


Figura 4.8 Adición de proyectos existentes

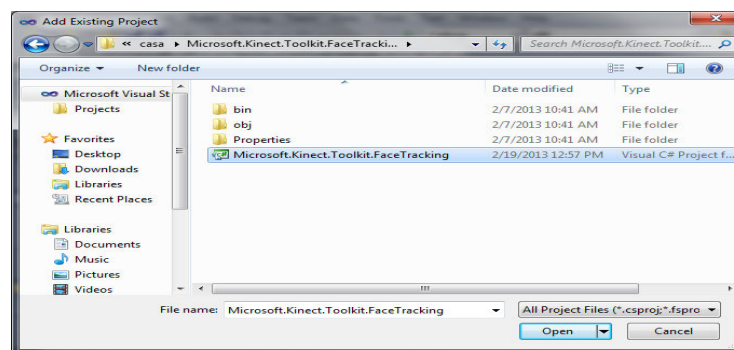


Figura 4.9 Microsoft.Kinect.Toolkit.FaceTracking

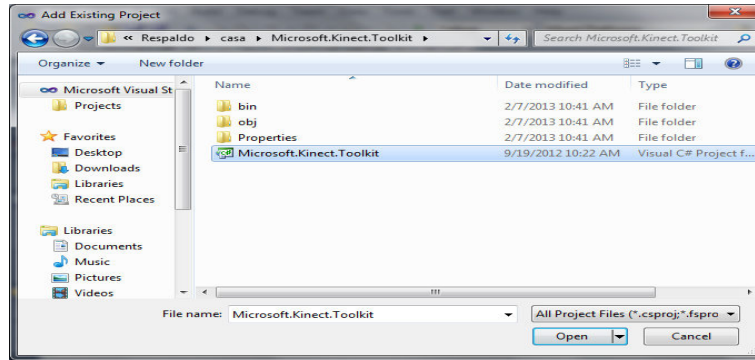


Figura 4.10 Microsoft.Kinect.Toolkit

- **Paso 4.** Para finalizar con la configuración del ambiente de trabajo, para un proyecto aplicativo de FaceTracking, añadiremos dos ítems existentes, los mismos que nos permitirán manipular los datos acorde a nuestra aplicación.

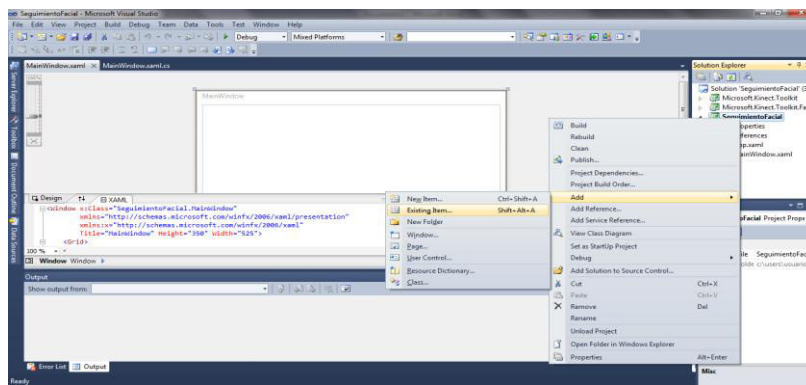


Figura 4.11 Añadir ítems existentes paso 1

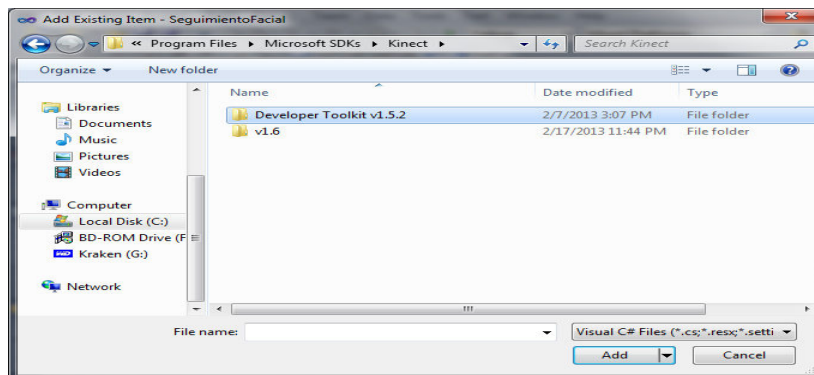


Figura 4.12 Añadir ítems existentes paso 2

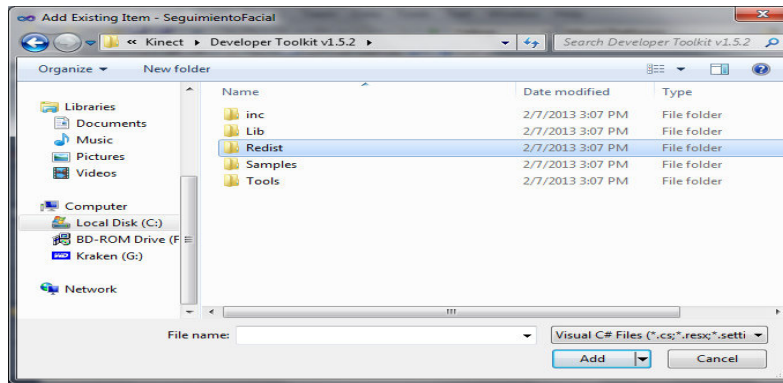


Figura 4.13 Añadir ítems existentes paso 3

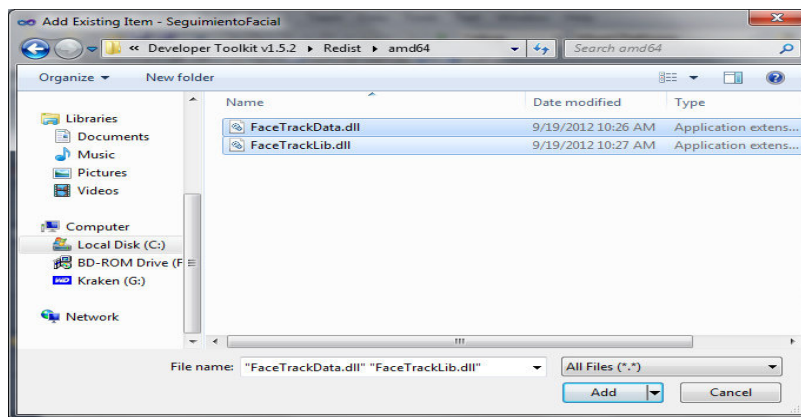


Figura 4.14 Añadir FaceTrackData.dll y FaceTrackLib.dll

4.3.2 Descripción del Proyecto MICROSOFT.KINECT.TOOLKIT.FACETRACKING

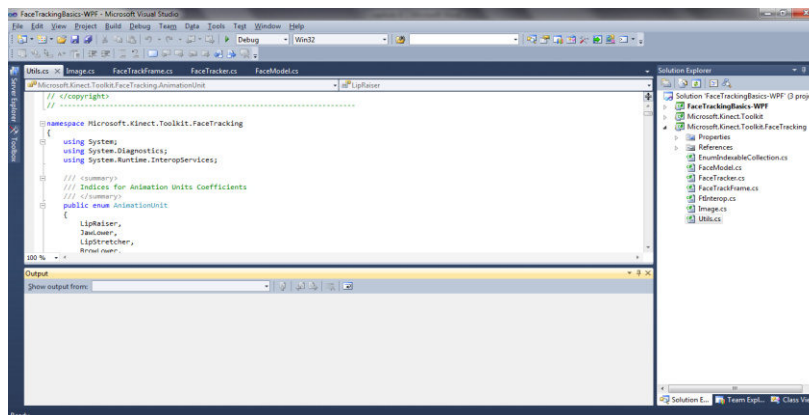


Figura 4.15 Clases proyecto MICROSOFT.KINECT.TOOLKIT.FACETRACKING

Proyecto desarrollado por Microsoft liberado conjuntamente con el SDK de Windows, dentro de este proyecto encontraremos algunas clases que serán de utilidad para realizar proyectos relacionados con el seguimiento de rostros. A continuación detallaremos la función de cada clase.

- **FaceModel.cs.** La interfaz FaceModel proporciona una manera para leer parámetros 2D y 3D, los mismos que pueden ser manipulados para realización de aplicaciones según la intención del usuario.
- **FaceTrack.cs.** La interfaz FaceTrack al ser instanciada arranca el motor de seguimiento de rostros y sigue el rostro de una persona devolviendo varios valores como unidades de animación o de acción, puntos 3D y triángulos en el rostro.
- **FaceTrackFrame.cs.** Representa los resultados del seguimiento de rostros en un cuadro (frame).
- **Image.cs.** Representa una imagen usada por el seguidor de rostros. Los usuarios pueden fijar esta clase a su buffer de imágenes o pueden llenar esta referencia con datos de la imagen.
- **Utils.cs.** Esta interfaz proporciona los valores correspondientes de cada uno de los vértices del modelo.

4.3.3 Proyecto Facetracking Basic

Dentro del SDK de Windows encontramos una aplicación básica del seguimiento de rostros, la misma que usa las clases anteriormente mencionadas del

proyecto *MICROSOFT.KINECT.TOOLKIT.FACETRACKING*. La aplicación consiste en formar una malla de triángulos en el rostro permitiendo el reconocimiento de algunas expresiones faciales como apertura y cierre de la boca o movimientos de la cabeza.

A continuación presentamos una tabla de las diferentes APIs usadas en este proyecto, así como una breve descripción de lo que hace cada una.

| APIs usadas en el proyecto | Descripción |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • KinectSensor.Start • KinectSensor.Stop | Inicio o parada de la transmisión de datos. |
| <ul style="list-style-type: none"> • ColorImageStream.Enable • ColorImageFormat.RgbResolution640x480 Fps30 | Elige el formato color y habilita al sensor para enviar datos a color. |
| <ul style="list-style-type: none"> • DepthImageStream.Enable • DepthImageFormat.Resolution320x240Fps30 | Elige el formato profundidad y habilita al sensor para enviar datos de profundidad. |
| <ul style="list-style-type: none"> • DepthImageStream.Range | Establece la profundidad del sensor en modo cercano. |
| <ul style="list-style-type: none"> • SkeletonStream.EnableTrackingInRange | Habilita al seguimiento del esqueleto mientras la transmisión de profundidad este en modo cercano. |
| <ul style="list-style-type: none"> • SkeletonStream.TrackingMode • SkeletonTrackingMode.Seated | Habilita el seguimiento del esqueleto en modo sentado. |
| <ul style="list-style-type: none"> • SkeletonStream.Enable | Habilita al sensor a transmitir datos del esqueleto. |
| <ul style="list-style-type: none"> • KinectSensor.AllFramesReady | Agrega un controlador de eventos a todas las transmisiones. El sensor enviara una señal al controlador de eventos cuando cada nuevo cuadro de datos de color, profundidad o esqueleto esté listo. |
| <ul style="list-style-type: none"> • ColorImageFrameReadyEventArgs.OpenColorImageFrame | Toma un cuadro de datos de color en un evento controlado. |
| <ul style="list-style-type: none"> • ColorImageFrame.CopyPixelDataTo | Copia un cuadro de dato de color para pre colocarlo en un arreglo, entonces este puede ser luego escrito a un mapa de bit re escribible opcional. |

| | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Skeleton class | <p>Usa la colección de esqueletos para conseguir datos para un esqueleto en particular.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Skeleton.TrackingState • SkeletonTrackingState.Tracked • SkeletonTrackingState.PositionOnly • Skeleton.TrackingId | <p>Determina si un esqueleto es seguido, y toma su identificación de seguimiento.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • SkeletonFaceTracker class | <p>Una clase personalizada para el almacenamiento de datos del esqueleto y la elaboración de una rejilla para el rostro posicionada sobre el esqueleto de la cabeza.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • FaceTrackFrame class | <p>Una clase personalizada que detecta un rostro base en la entrada de datos del Kinect, identifica los puntos característicos y sigue al rostro mientras este se mueve.</p> |

Tabla 4.1 APIs y su descripción respectiva

4.3.4 Ejecución del Proyecto Facetracking Basic

Una vez que se ha analizado brevemente el proyecto en mención, a continuación se presentara cuadros de la ejecución del mismo, donde podremos visualizar la malla cubriendo el rostro y a su vez captando algunas expresiones faciales así como el movimiento de la cabeza.

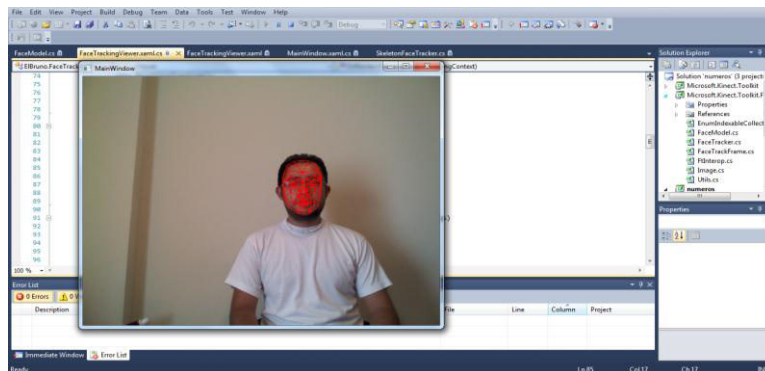


Figura 4.16 FaceTracking Basic

SEGUIDOR DE ROSTROS
(FACETRACKING)

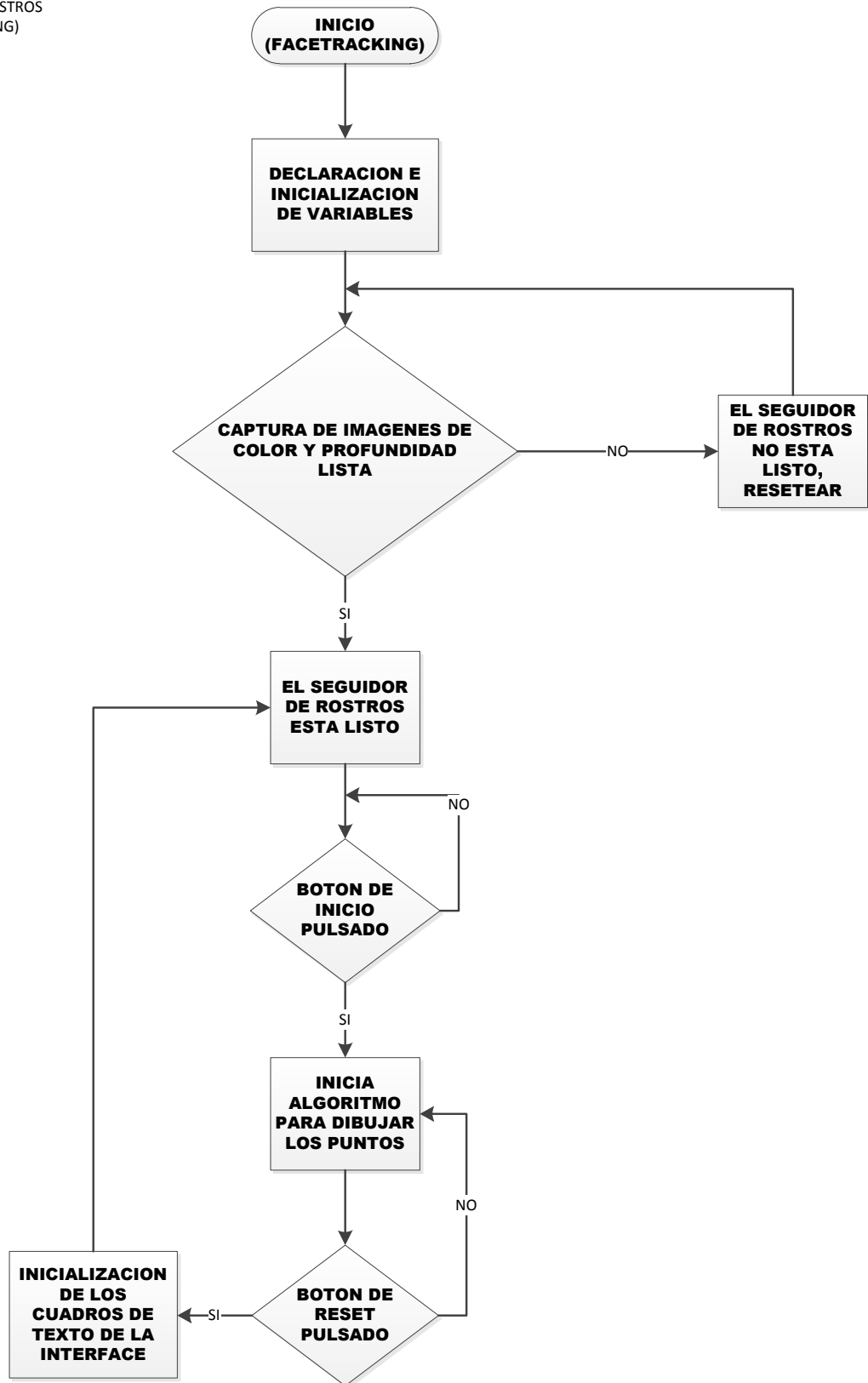


Figura 4.17 Algoritmo Face Tracking



Figura 4.18 FaceTracking Basic Expresiones Faciales



Figura 4.19 FaceTracking Basic Movimiento de la Cabeza

4.4 NUMERACIÓN FACIAL

Una vez que se obtuvo la malla el siguiente paso es la obtención de puntos vértices del modelo CANDIDE-3 ya mencionado en el Capítulo 3. Para ello desarrollamos un algoritmo dentro del cual creamos una variable la misma que contendrá una lista de los puntos faciales, cada uno con su respectiva coordenada, mismos que nos son entregados por la clase SkeletonFaceTraker.

El paso siguiente es crear un lazo en el cual se tomaran uno a uno los puntos de la lista para luego ser graficados sobre el rostro. De tal forma que sin importar que el sujeto mueva su cabeza los puntos seguirán el movimiento del mismo. A continuación se puede observar todos los puntos graficados sobre el rostro del sujeto de prueba.



Figura 4.20 Puntos Faciales y Vértices del CANDIDE-3

Como se habló en capítulos anteriores en el modelo CANDIDE-3 a cada punto facial le corresponde un vértice, para poder visualizarlas sobre el rostro del sujeto de pruebas, de igual forma que en párrafo anterior creamos un lazo en el cual cada vez que se tome un punto de la lista para graficarlo, se graficará a su vez la unidad correspondiente.

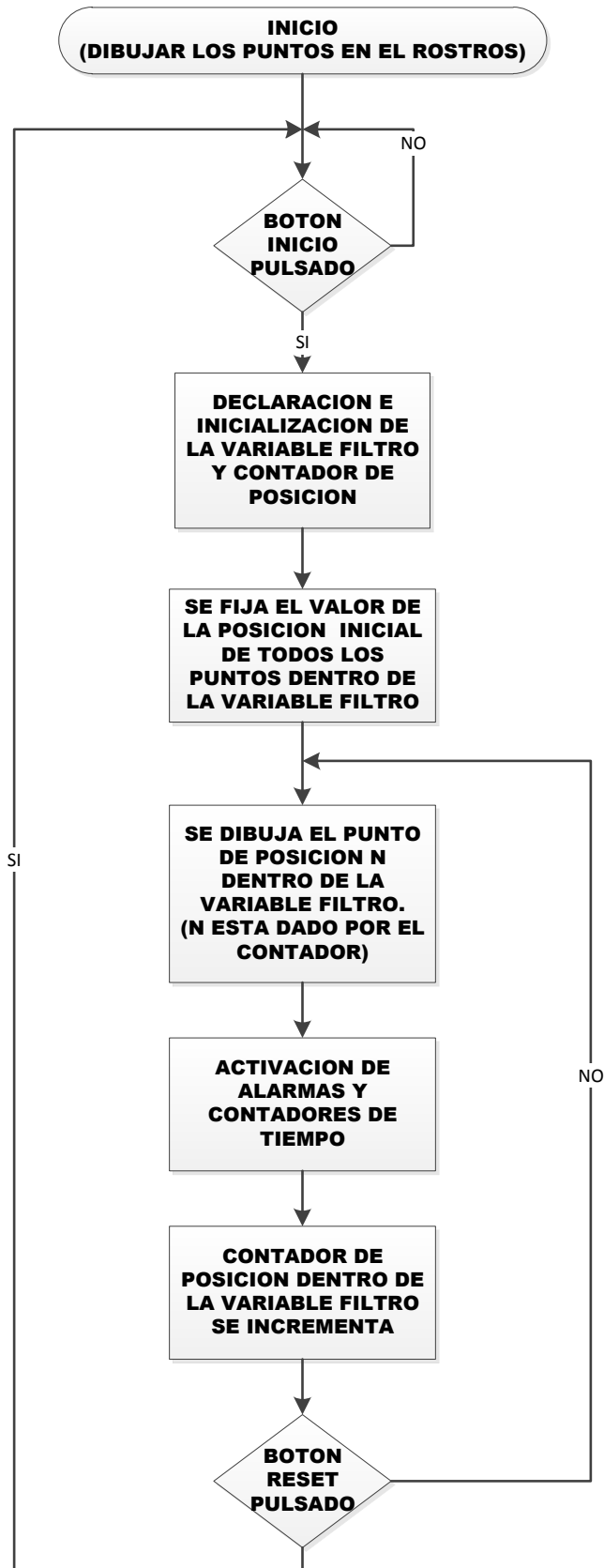


Figura 4.21 Numeración Facial

Para la aplicación que se desarrolló no se necesitó todos los puntos del modelo CANDIDE 3, sino un grupo mínimo que permita conocer la posición actual del conductor. Para esto lo que se hizo fue dentro del algoritmo crear una variable que haga de filtro, dicho filtro contendrá vértices a ser utilizados. Como paso siguiente se creó un lazo y de igual forma fue tomando los puntos de la variable filtro para ser graficados sobre el rostro del sujeto de prueba.



Figura 4.22 Puntos y vértices filtrados

Para poder observar el vértice correspondiente a cada punto realizamos el proceso antes mencionado pero ahora utilizando la variable filtro en lugar de la lista entera.

Los vértices del modelo CANDIDE-3 utilizados son:

- 0 Parte alta del cráneo.
- 2 Parte media de la frente.
- 94 Mitad baja en el borde del hueso de la nariz.
- 10 Parte inferior de la barbilla.

4.5 DESCRIPCIÓN DEL ALGORITMO

El algoritmo del proyecto lleva el nombre de *DISTRACCION-SOMNOLENCIA*, el mismo ha sido desarrollado en C# y consta de tres clases:

- MainWindow
- FaceTrackingViewer
- SkeletonTraker

4.5.1 MainWindow

Esta es la clase principal, en la misma se inicializa los parámetros de la cámara para la captura de video. Para esto se procedió de la siguiente manera:

- Se creó una variable denominada `newSensor`, la que guarda una relación directa con la cámara, esto quiere decir, que con esta variable se mantiene una conexión con la cámara que nos permite activarla, desactivarla, determinar los parámetros de captura, etc.
- Se determina los valores de resolución para la captura de imágenes a color así como de profundidad:
 - `newSensor.ColorStream.Enable(ColorImageFormat.RgbResolution1280x960Fps1)`
 - `newSensor.DepthStream.Enable(DepthImageFormat.Resolution640x480Fps30)`
- Así también se estableció el rango de trabajo para captura de profundidad. Para este proyecto la opción más conveniente era la de trabajo en modo cercano.
 - `newSensor.DepthStream.Range = DepthRange.Near;`

- El siguiente paso fue habilitar el seguimiento de Skeleton, el mismo que activa la función de la cámara de seguir los movimientos de la cabeza.

- `newSensor.SkeletonStream.TrackingMode = SkeletonTrackingMode.Seated;`
- `newSensor.SkeletonStream.Enable();`

- El último paso fue empezar la captura de imágenes en forma de video mediante la variable `colorImageFrame`.

- `var colorImageFrame = allFramesReadyEventArgs.OpenColorImageFrame();`

Además de este algoritmo la clase principal posee una ventana que contendrá los botones, cuadros de texto, y lo más importante de todo el cuadro de imagen donde se proyectara el video capturado por la cámara permitiendo al observador ver qué sucede con el conductor así como los datos de movimiento del mismo.

4.5.2 FaceTrackingViewer

Esta clase es la más importante ya que será la encargada de realizar el seguimiento del rostro del conductor, esto implica que inicializara las variables de todo el algoritmo, ejecutara el seguimiento del rostro cuando el sensor esté listo, dará inicio a la presentación de los puntos en el rostro.

Para realizar todo lo mencionado se siguieron los siguientes pasos:

- Se inicializan las tres variables ligadas a las capturas de color, profundidad y movimiento.

- `ColorImageFrame colorImageFrame = null;`
- `DepthImageFrame depthImageFrame = null;`
- `SkeletonFrame skeletonFrame = null;`

- Una vez inicializadas las variables comienza la captura de cuadros, de igual forma, de color, profundidad y movimiento con el siguiente código:

- `colorImageFrame = allFramesReadyEventArgs.OpenColorImageFrame();`
- `depthImageFrame = allFramesReadyEventArgs.OpenDepthImageFrame();`
- `skeletonFrame = allFramesReadyEventArgs.OpenSkeletonFrame();`

- El momento que la captura de cuadros esta lista el seguidor de rostros se activa de la siguiente manera:

- `skeletonFaceTracker.OnFrameReady(this.Kinect, colorImageFormat, colorImage, depthImageFormat, depthImage, skeleton);`
- `skeletonFaceTracker.LastTrackedFrame = skeletonFrame.FrameNumber;`

- En el caso de que el seguidor de rostros no esté listo, o haya ocurrido un error se reinicia de forma automática por medio de las siguientes líneas de código. Si falla la captura de profundidad:

- `this.ResetFaceTracking();`
- `this.depthImage = null;`
- `this.depthImageFormat = depthImageFrame.Format;`

Si el error es en la captura de color:

- `this.ResetFaceTracking();`
- `this.colorImage = null;`
- `this.colorImageFormat = colorImageFrame.Format;`

- Además se tiene un botón denominado inicio, el mismo dará arranque para que los puntos se grafiquen en el rostro del conductor. Cuando se presione el botón la línea de código que dará comienzo a lo mencionado es la siguiente:

- `faceInformation.DrawFaceFlat(drawingContext);`

4.5.3 SkeletonTraker

La clase SkeletonTraker posee el algoritmo destinado al filtro de puntos que se desea que se grafiquen sobre el rostro, así como la forma en la que se envía la información de estos hacia la clase FaceTrackingViewer, además también se encuentra el algoritmo perteneciente a las alarmas y contadores de los tiempos en que las mismas son accionadas.

El algoritmo de esta clase procede de la siguiente manera:

- Primero se inicializan las variables destinadas a ser los contadores del tiempo que los puntos estén fuera de rango. Además se fijaran las posiciones iniciales de los puntos que se marcan en el rostro una vez presionado el botón de inicio.
- A continuación se crea la variable filtro, la misma que contiene los puntos que se desea que se grafiquen en el rostro.

- `var pointFilter = new List<int> {41,2,94,8,0};`

- Con un lazo y un contador se recorrerá punto por punto dentro de la variable filtro para que se vayan graficando sobre el rostro. Esto se realizara de forma permanente, así los puntos se graficaran en la secuencia de video, esto se realizó como se muestra a continuación:

```
for (var i = 0; i < pointFilter.Count; i++)
{
    int x = pointFilter[i];
    var geometryGroup = new GeometryGroup();
    var ellipseGeometry = new EllipseGeometry(faceModelPts[x], 1, 1);
    var formattedText = new FormattedText(x.ToString(),
    CultureInfo.InvariantCulture, FlowDirection.LeftToRight,
    new Typeface("Verdana"), 12, Brushes.White);
    geometryGroup.Children.Add(ellipseGeometry);
    faceModelGroup.Children.Add(geometryGroup);
}
```

```
}  
drawingContext.DrawGeometry(Brushes.Yellow, new Pen(Brushes.Yellow, 1.0),  
faceModelGroup);
```

A partir de las posiciones iniciales que se fijaron anteriormente se establecerán los rangos normales de conducción. A las posiciones iniciales se les suma y se le resta una cantidad determinada por las pruebas realizadas, de esta forma se obtienen los límites superiores e inferiores de los rangos normales de conducción. Las alarmas se activarán una vez que la posición de los puntos salga del rango y transcurra un tiempo determinado. La posición de los puntos se toma con la siguiente línea de código: `faceModelPts[i].X`.

Cuando la posición de un punto sale del rango establecido como normal un contador se incrementa y no se detiene mientras la posición del punto siga fuera de rango. Si el contador rebasa el límite de tiempo determinado por las pruebas realizadas se accionarán las alarmas tanto visual como sonora. Todo esto para el caso de las alarmas de distracción.

Para el caso de somnolencia se utilizó la unidad de acción que es determinada por el movimiento de la mandíbula, la misma que nos proporciona un dato entre 0 y 1, siendo 0 la boca cerrada y 1 la máxima apertura. Para acceder a este dato se usó la siguiente secuencia:

```
var aucof = faceFrame.GetAnimationUnitCoefficients();  
var jawLowerer = aucof[AnimationUnit.JawLower];  
jawLowerer = jawLowerer < 0 ? 0 : jawLowerer;
```

De igual forma si la apertura de la boca se mantiene sobre el límite establecido por cierta cantidad de tiempo se lo tomará como un bostezo accionando la alarma visual de somnolencia.

4.6 DETECCIÓN DE LA DISTRACCIÓN

Uno de los objetivos primordiales de este proyecto es la detección de la distracción. Para esto se realizó un algoritmo dentro de la secuencia de toma de imágenes mencionada en el subcapítulo de Numeración Facial.

El algoritmo para detección de la distracción consta de variables para la inicialización de alarmas, contadores para la activación de alarmas y la secuencia para la alarma sonora. Cuando el programa principal se ejecuta se marcarán en el rostro del conductor los puntos principales, tomados del subcapítulo anterior con la variable filtro. A su vez las posiciones iniciales de dichos puntos se guardaran en distintas variables. La posición actual de cada punto será tomada como referencia para determinar las alarmas. Debido a que no todos los conductores poseen las mismas características físicas a partir de la posición inicial en la que los puntos se marquen en sus rostros se determinaran las alarmas para cada uno.

Las alarmas serán accionadas cuando el punto o los puntos de referencia se desplacen de su posición inicial hacia fuera del rango normal de conducción y haya transcurrido un tiempo considerable de distracción. Para determinar el rango de normal de conducción se tomaron las posiciones de los puntos, cada cinco segundos, de varios conductores mientras se encontraban en el simulador y luego en un auto real. Después de esto se obtuvieron graficas de la posición de cada punto en función del tiempo. Obteniendo como resultado un rango aceptable de conducción normal.

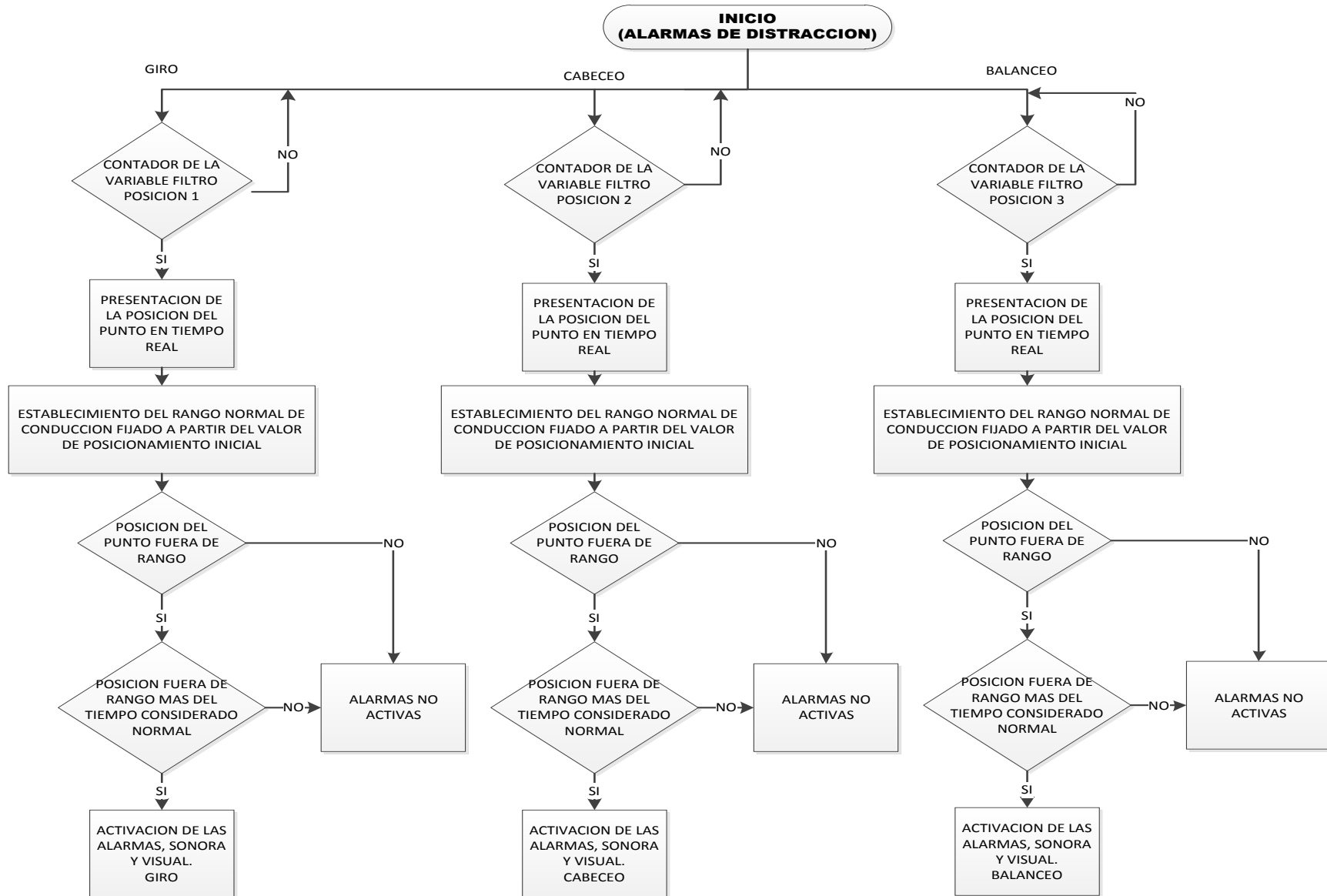


Figura 4.23 Detección de la distracción

Es complejo determinar cuánto sería un tiempo de distracción considerable, debido a que este dependería de la velocidad a la que se encuentra conduciendo el conductor, por lo tanto para poder realizar las pruebas se tomó un tiempo de dos segundos.

4.6.1 Sistema de coordenadas

La cámara Kinect proporciona un sistema de coordenadas el mismo que es usado para el seguimiento facial obteniendo como resultado seguimiento en 3D.

En la siguiente figura podemos observar como está establecido el sistema de coordenadas teniendo como origen el centro óptico de la cámara.

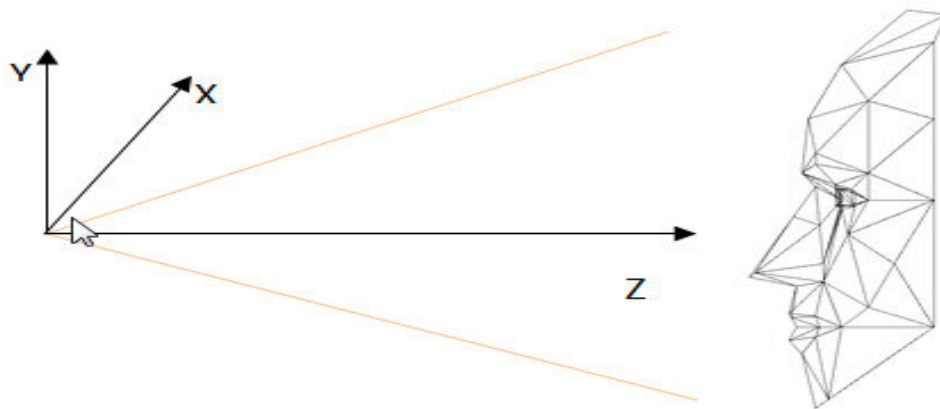


Figura 4.24 Sistema de coordenadas con origen en el centro óptico del Kinect

Las posiciones de los ejes X, Y, y Z de la cabeza del conductor se determinan mediante un sistema de coordenadas utilizando la regla de la mano derecha. Las traslaciones se miden en metros. Es así que la posición de la cabeza del conductor es tomada por tres ángulos: giro, balanceo y cabeceo.

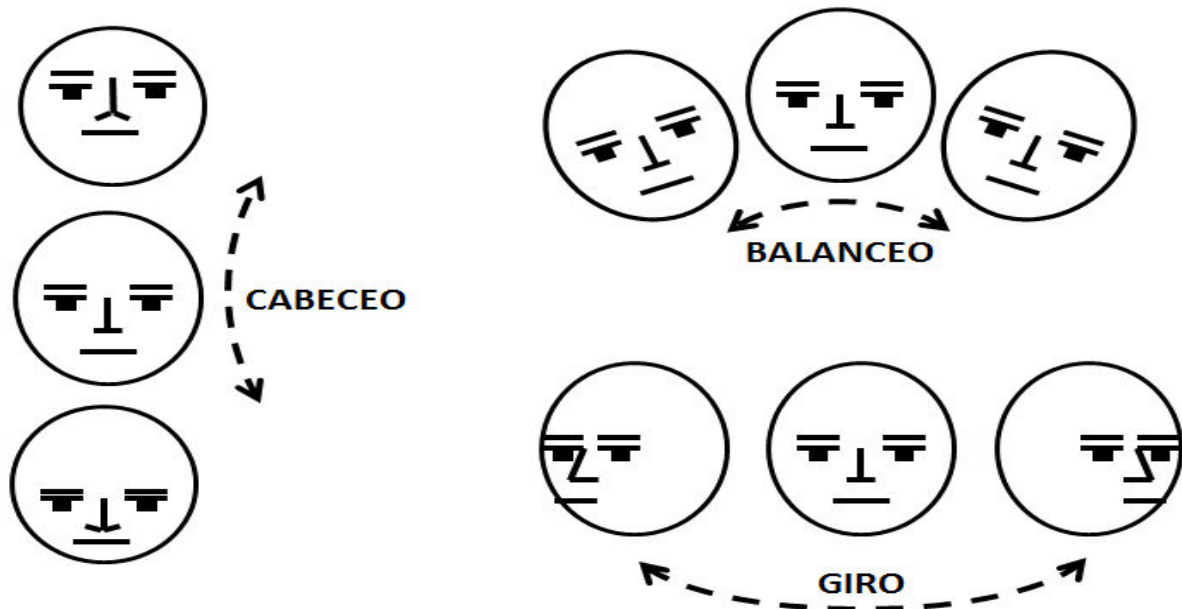


Figura 4.25 Posicionamiento de la cabeza

4.6.2 Alarmas del sistema de detección de distracción

Para el sistema de detección de distracción se creó tres alarmas denominadas de la siguiente manera:

- **Alarma de giro.** Teniendo como vértice referencial al que se encuentra en la mitad baja del borde del hueso de la nariz (94).



Figura 4.26 Alarma de giro encendida, giro derecha



Figura 4.27 Alarma de giro encendida, giro izquierda

- **Alarma de balanceo.** El vértice utilizado como referencia para esta alarma es el que está posicionado en lo más alto del cráneo (0).

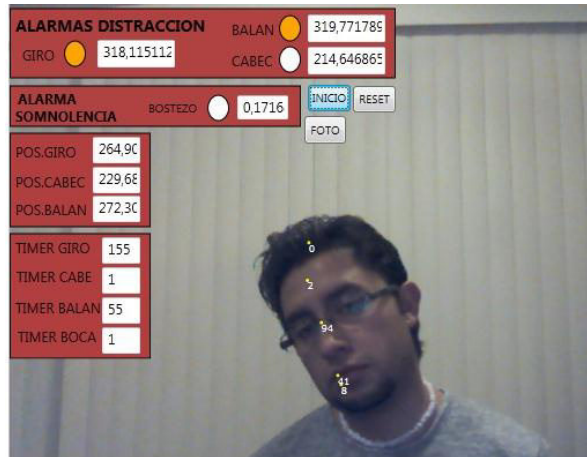


Figura 4.28 Alarma de balanceo encendida, balanceo a la derecha

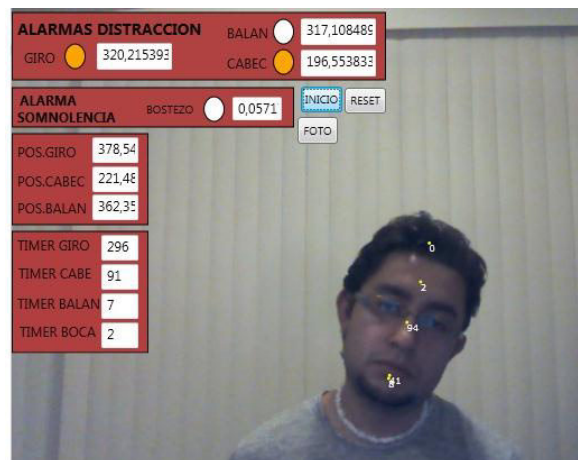


Figura 4.29 Alarma de balanceo encendida, balanceo a la izquierda

- **Alarma de cabeceo.** Para esta alarma se tomó como vértice referencial al que está ubicado en la parte media de la frente (2).

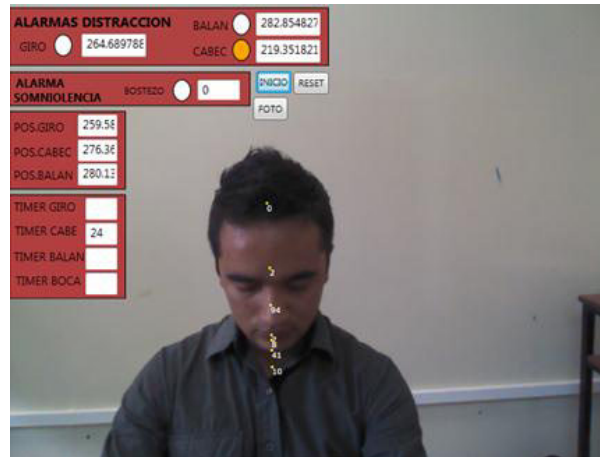


Figura 4.30 Alarma de cabeceo encendida, abajo



Figura 4.31 Alarma de cabeceo encendida, arriba

4.7 DETECCIÓN DE LA SOMNOLENCIA

El primer síntoma de la somnolencia es el bostezo, el mismo que fue tomado como detonante de la alarma en el programa.

Para detectar el bostezo del usuario, se tomó en cuenta la unidad de acción que interviene en la abertura de la boca y el tiempo en que la misma permanecía abierta.

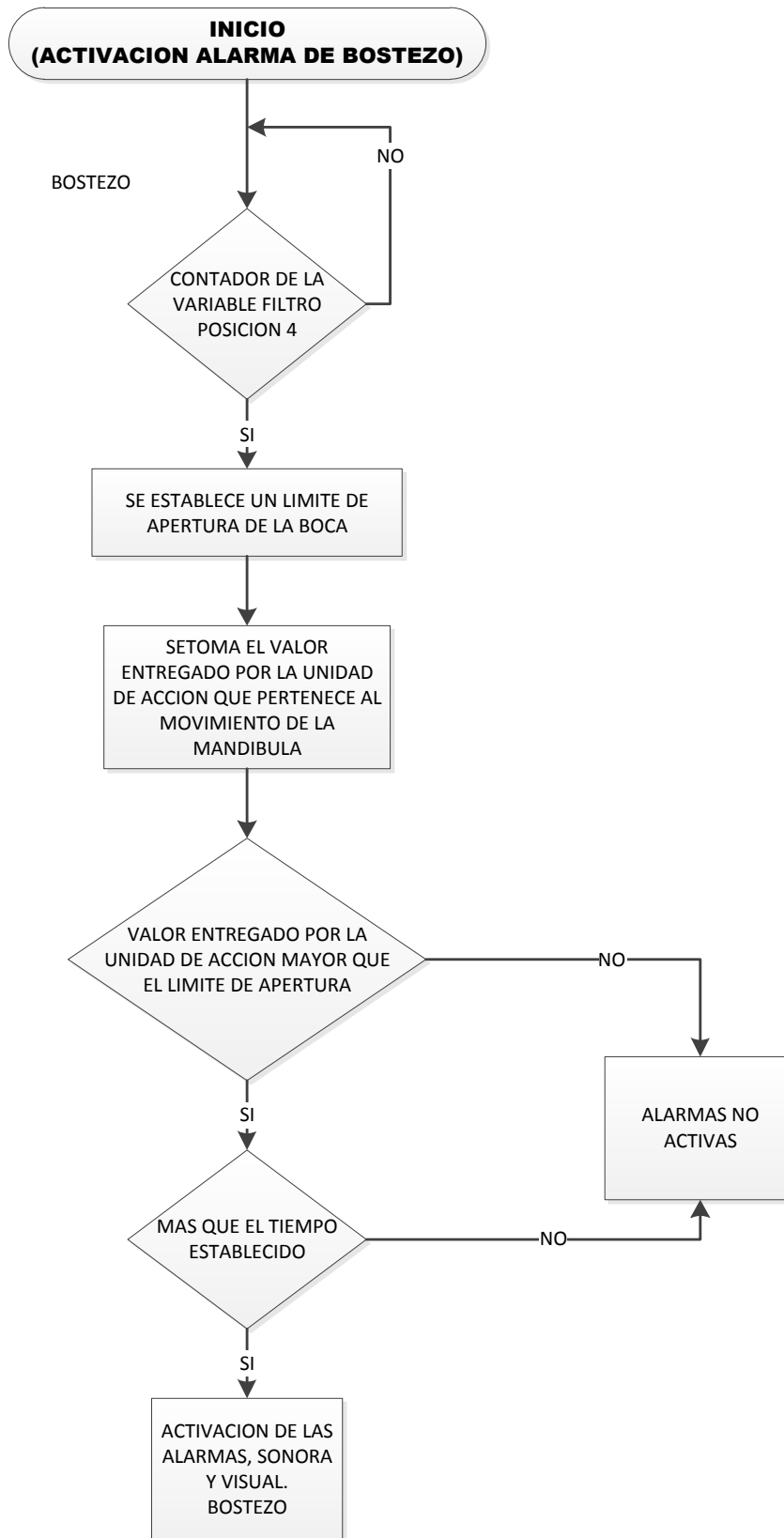


Figura 4.32 Detección de la somnolencia

Para calcular la apertura de la boca, a diferencia de la detección de la distracción en la que se ocuparon los vértices del modelo *CANDIDE-3*, se trabajó directamente con el algoritmo que proporciona la unidad de acción correspondiente al movimiento de la mandíbula inferior. Al abrir y cerrar la boca el algoritmo nos entrega un valor entre cero, correspondiente a cuando la boca se encuentra cerrada y mayor a cero dependiendo la magnitud de apertura. Si la magnitud de apertura de la boca es mayor o igual a la magnitud de un bostezo promedio se tendría la primera condición para detonar la alarma.

La segunda condición sería el tiempo que el usuario permanecería con la boca abierta. Si este rebasase los tres segundos se consideraría un bostezo, dando paso a que la alarma de somnolencia se active.

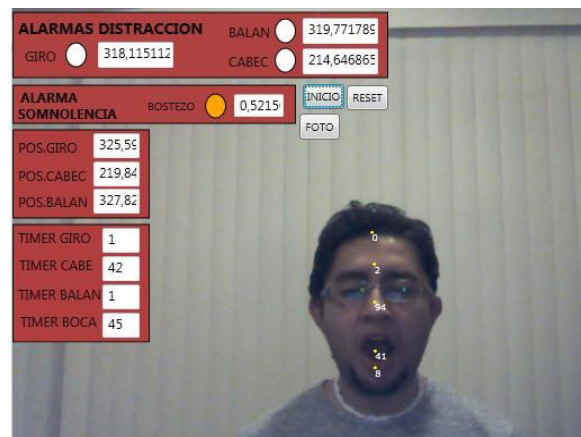


Figura 4.33 Alarma de somnolencia encendida

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez realizado el algoritmo de seguimiento y detección de somnolencia y/o distracción, se procederá con la realización de pruebas en la plataforma de escritorio, simulando una conducción real con un monitor instalado, el mismo que emitirá una secuencia de video de una autopista para verificar el estado de conducción.

Para la comprobación del sistema en una conducción real, se realizará pruebas en un vehículo a tiempo real, estableciendo parámetros y situaciones normales de manejo, mediante gráficas obtenidas de los diferentes posicionamientos de la cabeza del conductor en el trayecto.

5.1 PRUEBAS EN LA PLATAFORMA DE SIMULACIÓN

Para simular una conducción se realizó una plataforma de simulación de conducción (*Anexo B*), la misma que servirá para determinar niveles de distracción en los tres diferentes tipos: giro, balanceo y cabeceo del conductor.

La plataforma también servirá para determinar el nivel de somnolencia, mediante la apertura de la boca por más de tres segundos, estado que representa el bostezo, indicio de fatiga en el conductor.



Tabla 5.1 Sujeto uno y dos en plataforma de simulación de conducción

5.1.1 Pruebas de distracción

Como se estudió en capítulos anteriores, la distracción en la conducción es un fenómeno muy complejo que conlleva a diversas situaciones dando como resultado pérdida de la concentración y atención al volante; siendo este fenómeno la pauta para ocasionar graves accidentes de tránsito.

La distracción del conductor se medirá por tres aspectos de acuerdo al movimiento de la cabeza:

- Giro
- Balanceo
- Cabeceo

- **Pruebas de Giro**

En la anatomía humana, una persona tiene los siguientes grados de giro de su cabeza sin mover el tórax [[61]]:

| | Sin realizar ningún esfuerzo | Realizando gran esfuerzo |
|--|------------------------------|--------------------------|
| Giro de la cabeza | 70° | 100° |
| Giro de los ojos | 30° | 30° |
| Campo de vision aguda | 30° | 30° |
| Zona visible | 130° | 160° |
| Zona no visible (lo que falta para llegar a 180°) | 50° | 20° |

Tabla 5.2 Límites del campo de giro y visual del ser humano

Los límites en grados del campo de visión y giro del ser humano nos ayudan en la conducción, ya que no hace falta mayor esfuerzo físico para observar el panorama que rodea al vehículo, pero si mantiene fija la ubicación de la cabeza fuera del rango normal de conducción por un tiempo considerable, las alarmas se encenderán.

○ **Resultados de la prueba de giro**

La prueba de giro de la cabeza del conductor dio como resultado los siguientes datos de coordenadas en condiciones normales de conducción.

a) Conducción Normal Sujeto Uno

Los resultados de una conducción del sujeto uno en situaciones normales en el simulador fueron los siguientes:

| POSICIÓN GIRO | TIEMPO (SEG) |
|---------------|--------------|
| 330,937 | 5 |
| 336,617 | 10 |
| 332,799 | 15 |
| 329,676 | 20 |
| 337,145 | 25 |
| 333,569 | 30 |
| 335,372 | 35 |
| 330,65 | 40 |
| 336,66 | 45 |
| 333,431 | 50 |
| 332,78 | 55 |
| 332,94 | 60 |
| 330,864 | 65 |
| 328,967 | 70 |
| 335,3 | 75 |
| 342,971 | 80 |
| 336,672 | 85 |
| 342,218 | 90 |
| 331,273 | 95 |
| 332,6 | 100 |
| 334,235 | 105 |
| 334,445 | 110 |
| 335,195 | 115 |
| 328,773 | 120 |
| 345,262 | 125 |
| 333,334 | 130 |

| | |
|---------|-----|
| 333,03 | 135 |
| 336,157 | 140 |
| 337,091 | 145 |
| 332,763 | 150 |
| 340,376 | 155 |
| 336,551 | 160 |
| 340,853 | 165 |
| 333,34 | 170 |
| 335,422 | 175 |
| 338,292 | 180 |
| 347,64 | 185 |
| 326,27 | 190 |
| 340,141 | 195 |
| 338,572 | 200 |
| 335,727 | 205 |
| 343,026 | 210 |
| 341,658 | 215 |
| 332,483 | 220 |
| 339,658 | 225 |

Tabla 5.3 Resultados posición giro sujeto uno

Una vez obtenidos los resultados, se determinó que la diferencia máxima entre los valores de las coordenadas es de 21,37; dando lugar a un valor máximo de 10,685 que nos servirá como límite de giro en la programación. La gráfica representativa del resultado está anexada en *Anexo A*, en la Figura A1.

b) Conducción Normal Sujeto Dos

Los resultados de una conducción del sujeto dos en situaciones normales en el simulador fueron los siguientes:

| POSICIÓN GIRO | TIEMPO (SEG) |
|---------------|--------------|
| 292,865 | 5 |
| 308,016 | 10 |
| 369,961 | 15 |
| 294,501 | 20 |
| 322,171 | 25 |
| 312,548 | 30 |
| 310,45 | 35 |
| 312,121 | 40 |
| 305,177 | 45 |
| 310,28 | 50 |
| 316,51 | 55 |
| 312,34 | 60 |
| 316,634 | 65 |
| 311,617 | 70 |
| 309,606 | 75 |
| 279,203 | 80 |
| 350,156 | 85 |
| 305,208 | 90 |
| 307,472 | 95 |
| 312,197 | 100 |
| 320,123 | 105 |
| 312,147 | 110 |
| 273,412 | 115 |
| 309,582 | 120 |
| 351,841 | 125 |
| 303,351 | 130 |
| 300,562 | 135 |
| 256,631 | 140 |
| 321,097 | 145 |
| 316,384 | 150 |
| 306,301 | 155 |
| 292,971 | 160 |
| 320,592 | 165 |
| 321,379 | 170 |
| 294,257 | 175 |
| 314,063 | 180 |
| 303,875 | 185 |
| 313,188 | 190 |
| 315,615 | 195 |
| 310,634 | 200 |

| | |
|---------|-----|
| 322,454 | 205 |
| 323,433 | 210 |
| 313,888 | 215 |
| 322,248 | 220 |
| 319,039 | 225 |

Tabla 5.4 Resultados posición giro sujeto dos

Una vez obtenidos los resultados, se determinó que la diferencia máxima entre los valores de las coordenadas es de 113,33; dando lugar a un valor máximo de 56,665 que nos servirá como límite de giro en la programación. La gráfica representativa del resultado está anexada en *Anexo A*, en la Figura A2.

- **Pruebas de cabeceo**

El conductor en situaciones normales de conducción ejerce un movimiento de su cabeza de arriba hacia abajo para diversas circunstancias; como por ejemplo mirar al techo del vehículo, cambiar de emisora de radio, etc.

Pero si mantiene fija su cabeza arriba o abajo por un determinado tiempo es un indicio de distracción, por ende las alertas se encenderán.

- **Resultados de la prueba de cabeceo**

La prueba de cabeceo del conductor dio como resultado los siguientes datos de coordenadas en condiciones normales de conducción.

a) Conducción Normal Sujeto Uno

Los resultados de una conducción del sujeto uno en situaciones normales en el simulador fueron los siguientes:

| POSICIÓN CABECEO | TIEMPO (SEG) |
|------------------|--------------|
| 217,219 | 5 |
| 222,002 | 10 |
| 220,163 | 15 |
| 216,916 | 20 |
| 218,28 | 25 |
| 221,682 | 30 |
| 216,217 | 35 |
| 225,258 | 40 |
| 220,196 | 45 |
| 219,195 | 50 |
| 222,45 | 55 |
| 219,742 | 60 |
| 221,145 | 65 |
| 218,827 | 70 |
| 219,631 | 75 |
| 222,637 | 80 |
| 229,644 | 85 |
| 220,539 | 90 |
| 223,871 | 95 |
| 222,556 | 100 |
| 221,907 | 105 |
| 219,82 | 110 |
| 220,157 | 115 |
| 221,953 | 120 |
| 229,813 | 125 |
| 223,306 | 130 |
| 227,167 | 135 |
| 223,735 | 140 |
| 222,604 | 145 |
| 227,797 | 150 |
| 235,6 | 155 |
| 235,12 | 160 |
| 230,78 | 165 |
| 229,176 | 170 |

| | |
|---------|-----|
| 227,727 | 175 |
| 227,328 | 180 |
| 228,302 | 185 |
| 232,441 | 190 |
| 229,235 | 195 |
| 228,644 | 200 |
| 230,565 | 205 |
| 223,26 | 210 |
| 227,765 | 215 |
| 229,206 | 220 |
| 227,414 | 225 |

Tabla 5.5 Resultado posición cabeceo sujeto uno

Una vez obtenidos los resultados, se determinó que la diferencia máxima entre los valores de las coordenadas es de 19,383; dando lugar a un valor máximo de 9,6915 que nos servirá como límite de cabeceo en la programación. La gráfica representativa del resultado está anexada en *Anexo A*, en la Figura A3.

b) Conducción Normal Sujeto Dos

Los resultados de una conducción del sujeto dos en situaciones normales en el simulador fueron los siguientes:

| POSICIÓN CABECEO | TIEMPO (SEG) |
|-------------------------|---------------------|
| 199,935 | 5 |
| 186,604 | 10 |
| 216,912 | 15 |
| 199,674 | 20 |
| 195,938 | 25 |
| 194,044 | 30 |
| 188,71 | 35 |
| 214,825 | 40 |
| 194,634 | 45 |
| 189,06 | 50 |
| 190,867 | 55 |
| 192,583 | 60 |

| | |
|---------|-----|
| 190,893 | 65 |
| 190,774 | 70 |
| 193,445 | 75 |
| 198,14 | 80 |
| 201,018 | 85 |
| 194,514 | 90 |
| 196,669 | 95 |
| 191,841 | 100 |
| 194,174 | 105 |
| 194,35 | 110 |
| 213,481 | 115 |
| 204,853 | 120 |
| 213,009 | 125 |
| 194,526 | 130 |
| 195,731 | 135 |
| 205,906 | 140 |
| 194,628 | 145 |
| 196,175 | 150 |
| 194,319 | 155 |
| 188,546 | 160 |
| 191,906 | 165 |
| 194,082 | 170 |
| 194,219 | 175 |
| 191,493 | 180 |
| 198,022 | 185 |
| 199,047 | 190 |
| 192,292 | 195 |
| 196,297 | 200 |
| 195,227 | 205 |
| 193,968 | 210 |
| 202,377 | 215 |
| 192,493 | 220 |
| 189,922 | 225 |

Tabla 5.6 Resultado posición cabeceo sujeto dos

Una vez obtenidos los resultados, se determinó que la diferencia máxima entre los valores de las coordenadas es de 30,308; dando lugar a un valor máximo de

15,154 que nos servirá como límite de cabeceo en la programación. La gráfica representativa del resultado está anexada en *Anexo A*, en la Figura A4.

- **Pruebas de balanceo**

El conductor en situaciones normales de conducción ejerce un movimiento de su cabeza balanceándose para diversas circunstancias; como por ejemplo mirar al el punto ciego del retrovisor, por estrés, etc.

Pero si mantiene fija su cabeza balanceada por un determinado tiempo es un indicio de distracción, por ende las alertas se encenderán.

- **Resultados de la prueba de balanceo**

La prueba de balanceo del conductor dio como resultado los siguientes datos de coordenadas en condiciones normales de conducción.

a) Conducción Normal Sujeto Uno

Los resultados de una conducción del sujeto uno en situaciones normales en el simulador fueron los siguientes:

| POSICIÓN BALANCEO | TIEMPO (SEG) |
|-------------------|--------------|
| 351,332 | 5 |
| 356,15 | 10 |
| 355,876 | 15 |
| 351,364 | 20 |
| 356,68 | 25 |
| 355,028 | 30 |
| 353,566 | 35 |
| 351,69 | 40 |

| | |
|---------|-----|
| 357,468 | 45 |
| 353,776 | 50 |
| 351,679 | 55 |
| 352,219 | 60 |
| 350,378 | 65 |
| 348,748 | 70 |
| 356,513 | 75 |
| 360,924 | 80 |
| 355,647 | 85 |
| 363,014 | 90 |
| 351,649 | 95 |
| 352,906 | 100 |
| 345,2 | 105 |
| 345,892 | 110 |
| 356,154 | 115 |
| 347,668 | 120 |
| 363,94 | 125 |
| 345,719 | 130 |
| 354,419 | 135 |
| 354,423 | 140 |
| 356,451 | 145 |
| 351,882 | 150 |
| 358,853 | 155 |
| 354,268 | 160 |
| 357,327 | 165 |
| 353,641 | 170 |
| 345,397 | 175 |
| 359,008 | 180 |
| 366,355 | 185 |
| 346,234 | 190 |
| 360,112 | 195 |
| 358,168 | 200 |
| 352,016 | 205 |
| 361,126 | 210 |
| 360,794 | 215 |
| 351,96 | 220 |
| 357,764 | 225 |

Tabla 5.7 Resultado posición balanceo sujeto uno

Una vez obtenidos los resultados, se determinó que la diferencia máxima entre los valores de las coordenadas es de 21,155; dando lugar a un valor máximo de 10,5775 que nos servirá como límite de balanceo en la programación. La gráfica representativa del resultado está anexada en *Anexo A*, en la Figura A5.

b) Conducción Normal Sujeto Dos

Los resultados de una conducción del sujeto dos en situaciones normales en el simulador fueron los siguientes:

| POSICIÓN BALANCEO | TIEMPO (SEG) |
|-------------------|--------------|
| 310,668 | 5 |
| 325,824 | 10 |
| 361,02 | 15 |
| 311,642 | 20 |
| 329,827 | 25 |
| 329,788 | 30 |
| 326,468 | 35 |
| 314,244 | 40 |
| 325,212 | 45 |
| 324,324 | 50 |
| 330,918 | 55 |
| 327,073 | 60 |
| 329,405 | 65 |
| 325,716 | 70 |
| 322,955 | 75 |
| 293,552 | 80 |
| 351,945 | 85 |
| 318,016 | 90 |
| 324 | 95 |
| 324,202 | 100 |
| 330,728 | 105 |
| 324,051 | 110 |
| 301,098 | 115 |
| 325,233 | 120 |
| 348,495 | 125 |
| 316,873 | 130 |

| | |
|---------|-----|
| 315,667 | 135 |
| 285,72 | 140 |
| 333,487 | 145 |
| 329,895 | 150 |
| 321,007 | 155 |
| 304,947 | 160 |
| 336,23 | 165 |
| 335,18 | 170 |
| 310,161 | 175 |
| 327,95 | 180 |
| 318,435 | 185 |
| 325,506 | 190 |
| 327,654 | 195 |
| 324,555 | 200 |
| 332,726 | 205 |
| 333,266 | 210 |
| 325,974 | 215 |
| 335,349 | 220 |
| 336,119 | 225 |

Tabla 5.8 Resultado posición balanceo sujeto dos

Una vez obtenidos los resultados, se determinó que la diferencia máxima entre los valores de las coordenadas es de 75,3; dando lugar a un valor máximo de 37,65 que nos servirá como límite de balanceo en la programación. La gráfica representativa del resultado está anexada en *Anexo A*, en la Figura A6.

5.1.2 Pruebas de somnolencia

Se realizó el algoritmo de detección de somnolencia en base al bostezo del conductor, que es un aviso previo de fatiga.

Si mantiene abierta la boca más de lo normal, indica que un bostezo se está realizando y si lo mantiene así por un determinado tiempo es un indicio de somnolencia, por ende las alertas se encenderán.

- **Resultados de la prueba de somnolencia**

La prueba de somnolencia dio como resultado los siguientes datos de unidades de acción de la mandíbula del conductor, en condiciones normales de conducción.

a) Conducción Normal Sujeto Uno

Los resultados de una conducción del sujeto uno en situaciones normales en el simulador fueron los siguientes:

| POSICIÓN SOMNOLENCIA | TIEMPO (SEG) |
|----------------------|--------------|
| 0,07 | 5 |
| 0,049 | 10 |
| 0,122 | 15 |
| 0,123 | 20 |
| 0,03 | 25 |
| 0,1 | 30 |
| 0,045 | 35 |
| 0,051 | 40 |
| 0,061 | 45 |
| 0,039 | 50 |
| 0,034 | 55 |
| 0,2 | 60 |
| 0,194 | 65 |
| 0,012 | 70 |
| 0,141 | 75 |
| 0,094 | 80 |
| 0,143 | 85 |
| 0,116 | 90 |
| 0,078 | 95 |
| 0,056 | 100 |
| 0,198 | 105 |
| 0,115 | 110 |
| 0,048 | 115 |
| 0,173 | 120 |
| 0,107 | 125 |
| 0,091 | 130 |

| | |
|-------|-----|
| 0,184 | 135 |
| 0,128 | 140 |
| 0,198 | 145 |
| 0,039 | 150 |
| 0,026 | 155 |
| 0,146 | 160 |
| 0,095 | 165 |
| 0,061 | 170 |
| 0,061 | 175 |
| 0,133 | 180 |
| 0,099 | 185 |
| 0,022 | 190 |
| 0,084 | 195 |
| 0,014 | 200 |
| 0,059 | 205 |
| 0,041 | 210 |
| 0,151 | 215 |
| 0,198 | 220 |
| 0,076 | 225 |

Tabla 5.9 Resultado posición somnolencia sujeto uno

Una vez obtenidos los resultados, se determinó que el valor máximo de apertura de boca en unidades de acción es de 0,198 que nos servirá como límite de somnolencia en la programación. La gráfica representativa del resultado está anexada en *Anexo A*, en la Figura A7.

b) Conducción Normal Sujeto Dos

Los resultados de una conducción del sujeto dos en situaciones normales en el simulador fueron los siguientes:

| POSICIÓN SOMNOLENCIA | TIEMPO (SEG) |
|-----------------------------|---------------------|
| 0,133 | 5 |
| 0,184 | 10 |
| 0,099 | 15 |
| 0,095 | 20 |

| | |
|-------|-----|
| 0,174 | 25 |
| 0,043 | 30 |
| 0,013 | 35 |
| 0,058 | 40 |
| 0,105 | 45 |
| 0,172 | 50 |
| 0,033 | 55 |
| 0,09 | 60 |
| 0,064 | 65 |
| 0,189 | 70 |
| 0,139 | 75 |
| 0,125 | 80 |
| 0,032 | 85 |
| 0,103 | 90 |
| 0,081 | 95 |
| 0,175 | 100 |
| 0,066 | 105 |
| 0,031 | 110 |
| 0,121 | 115 |
| 0,137 | 120 |
| 0,197 | 125 |
| 0,14 | 130 |
| 0,035 | 135 |
| 0,165 | 140 |
| 0,192 | 145 |
| 0,036 | 150 |
| 0,143 | 155 |
| 0,153 | 160 |
| 0,186 | 165 |
| 0,063 | 170 |
| 0,127 | 175 |
| 0,16 | 180 |
| 0,11 | 185 |
| 0,162 | 190 |
| 0,014 | 195 |
| 0,186 | 200 |
| 0,2 | 205 |
| 0,078 | 210 |
| 0,13 | 215 |
| 0,016 | 220 |
| 0,112 | 225 |

Tabla 5.10 Resultado posición somnolencia sujeto dos

Una vez obtenidos los resultados, se determinó que el valor máximo de apertura de boca en unidades de acción es de 0,200 que nos servirá como límite de somnolencia en la programación. La gráfica representativa del resultado está anexada en *Anexo A*, en la Figura A8.

5.2 PRUEBAS EN UN VEHÍCULO REAL

El alcance de éste proyecto va dirigido a la realización en pruebas de escritorio, pero para la demostración del algoritmo se optó por instalarlo en un vehículo con conducción real, para demostrar que es factible usarlo para posteriores investigaciones relacionadas con el campo en estudio.

Al momento de la puesta en marcha en el vehículo se produjo un evento no esperado que nos daba como resultado el no reconocimiento facial por el sensor infrarrojo, puesto que existía mucha luz de fondo (luz solar) y no permitía al algoritmo el inicio del programa, por lo que se procedió a realizar una corrección del flujo de datos en el sensor Kinect.

5.2.1 Corrección del Flujo de datos

Al ajustar el flujo de datos, se ajustará el brillo de la pantalla para modificar el contraste entre las zonas oscuras y luminosas de la pantalla. Para ello en el código de seguimiento facial se procedió a cambiar los parámetros de visualización que nos proporciona el sensor Kinect, el cambio fue basado en la *Tabla A1 Flujo de datos del sensor Kinect*, el cambio que se realizó en el código fue el siguiente:

| | Bits de profundidad | Resolución |
|------------------------|---------------------|------------|
| Flujo de datos antiguo | 1280 x 960 | 12fps |
| Flujo de datos nuevo | 640 x 480 | 30fps |

Tabla 5.11 Corrección del Flujo de datos de la imagen

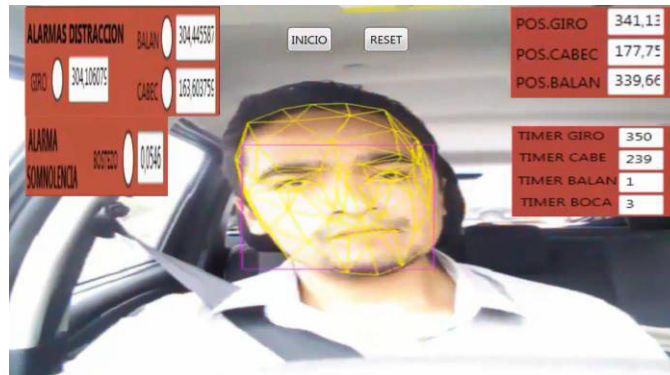


Figura 5.1 Prueba en conducción real

5.2.2 Pruebas de distracción

Como se estudió en capítulos anteriores, la distracción en la conducción es un fenómeno muy complejo que conlleva a diversas situaciones dando como resultado pérdida de la concentración y atención al volante; siendo este fenómeno la pauta para ocasionar graves accidentes de tránsito.

La distracción del conductor se medirá por tres aspectos de acuerdo al movimiento de la cabeza:

- Giro
- Balanceo
- Cabeceo

- **Pruebas de Giro**

El conductor en situaciones normales de conducción ejerce un movimiento de su cabeza de izquierda a derecha o viceversa para diversas circunstancias; como por ejemplo mirar al retrovisor, al ambiente externo e interno, etc.

Pero si mantiene fija su cabeza al lado derecho o izquierdo por un determinado tiempo es un indicio de distracción, por ende las alertas se encenderán.

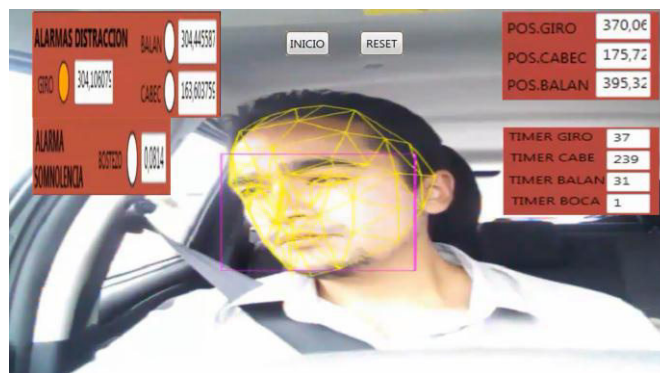


Figura 5.2 Alarma encendida giro sujeto uno, conducción real

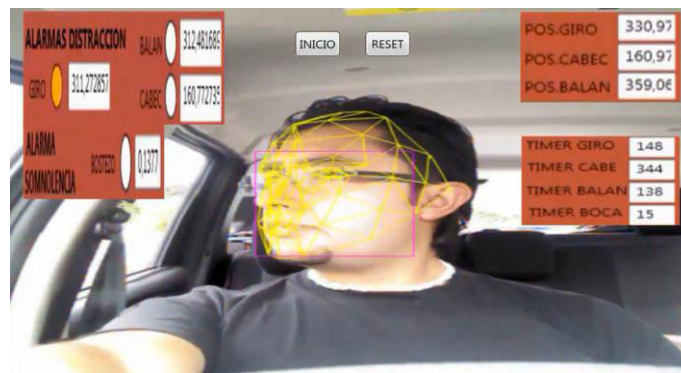


Figura 5.3 Alarma encendida giro sujeto dos, conducción real

- **Resultados de la prueba de giro**

La prueba de giro de la cabeza del conductor dio como resultado los siguientes datos de coordenadas en condiciones normales de conducción.

a) Conducción Normal Sujeto Uno

Los resultados de una conducción del sujeto uno en situaciones normales en el simulador fueron los siguientes:

| POSICIÓN GIRO | TIEMPO (SEG) |
|---------------|--------------|
| 301.17 | 5 |
| 307.35 | 10 |
| 321.83 | 15 |
| 326.86 | 20 |
| 326.81 | 25 |
| 326.34 | 30 |
| 324.27 | 35 |
| 317.91 | 40 |
| 302.72 | 45 |
| 303.51 | 50 |
| 305.79 | 55 |
| 309.23 | 60 |
| 323.05 | 65 |
| 317.92 | 70 |
| 299.74 | 75 |
| 327.28 | 80 |
| 327.72 | 85 |
| 312.42 | 90 |
| 308.51 | 95 |
| 326.64 | 100 |
| 311.73 | 105 |
| 328.48 | 110 |
| 326.14 | 115 |
| 305.66 | 120 |
| 325.17 | 125 |
| 314.56 | 130 |
| 304.87 | 135 |
| 315.32 | 140 |
| 319.26 | 145 |
| 300.86 | 150 |
| 305.94 | 155 |
| 327.55 | 160 |
| 329.80 | 165 |
| 314.37 | 170 |

| | |
|--------|-----|
| 320.52 | 175 |
| 327.47 | 180 |
| 325.98 | 185 |
| 316.32 | 190 |
| 310.65 | 195 |
| 315.22 | 200 |
| 312.79 | 205 |
| 322.53 | 210 |
| 324.94 | 215 |
| 312.01 | 220 |
| 310.10 | 225 |

Tabla 5.12 Resultados posición giro sujeto uno

Una vez obtenidos los resultados, se determinó que la diferencia máxima entre los valores de las coordenadas es de 30,06; dando lugar a un valor máximo de 15,03 que nos servirá como límite de giro en la programación. La gráfica representativa del resultado está anexada en *Anexo A*, en la Figura A9.

b) Conducción Normal Sujeto Dos

Los resultados de una conducción del sujeto dos en situaciones normales en el simulador fueron los siguientes:

| POSICIÓN GIRO | TIEMPO (SEG) |
|----------------------|---------------------|
| 309.44 | 5 |
| 324.09 | 10 |
| 303.08 | 15 |
| 298.18 | 20 |
| 306.25 | 25 |
| 325.35 | 30 |
| 319.95 | 35 |
| 312.2 | 40 |
| 325.22 | 45 |
| 315.03 | 50 |

| | |
|--------|-----|
| 303.05 | 55 |
| 296.04 | 60 |
| 323.23 | 65 |
| 326.1 | 70 |
| 309.35 | 75 |
| 307.78 | 80 |
| 321.68 | 85 |
| 323.2 | 90 |
| 312.82 | 95 |
| 298.44 | 100 |
| 301.91 | 105 |
| 313.68 | 110 |
| 308.32 | 115 |
| 298.93 | 120 |
| 304.72 | 125 |
| 312.86 | 130 |
| 326.05 | 135 |
| 321.75 | 140 |
| 303.48 | 145 |
| 299.62 | 150 |
| 306.64 | 155 |
| 314.16 | 160 |
| 296.96 | 165 |
| 325.21 | 170 |
| 322.78 | 175 |
| 297.47 | 180 |
| 307.12 | 185 |
| 323.29 | 190 |
| 319.64 | 195 |
| 324.69 | 200 |
| 306.03 | 205 |
| 319.89 | 210 |
| 322.1 | 215 |
| 296.95 | 220 |
| 311.54 | 225 |

Tabla 5.13 Resultados posición giro sujeto dos

Una vez obtenidos los resultados, se determinó que la diferencia máxima entre los valores de las coordenadas es de 30,06; dando lugar a un valor máximo de 15,03

que nos servirá como límite de giro en la programación. La gráfica representativa del resultado está anexada en *Anexo A*, en la Figura A10.

- **Pruebas de cabeceo**

El conductor en situaciones normales de conducción ejerce un movimiento de su cabeza de arriba hacia abajo para diversas circunstancias; como por ejemplo mirar al techo del vehículo, cambiar de emisora de radio, etc.

Pero si mantiene fija su cabeza arriba o abajo por un determinado tiempo es un indicio de distracción, por ende las alertas se encenderán.

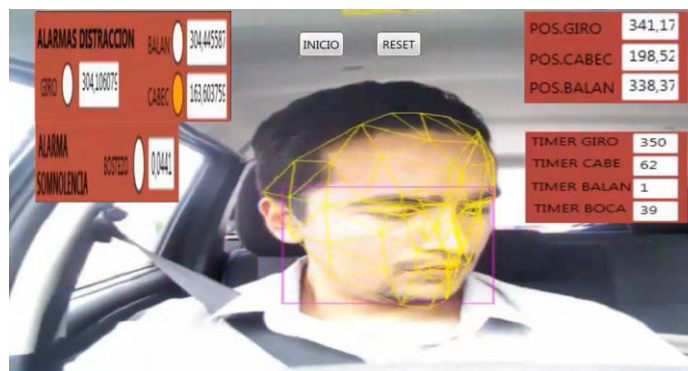


Figura 5.4 Alarma encendida cabeceo sujeto uno, conducción real

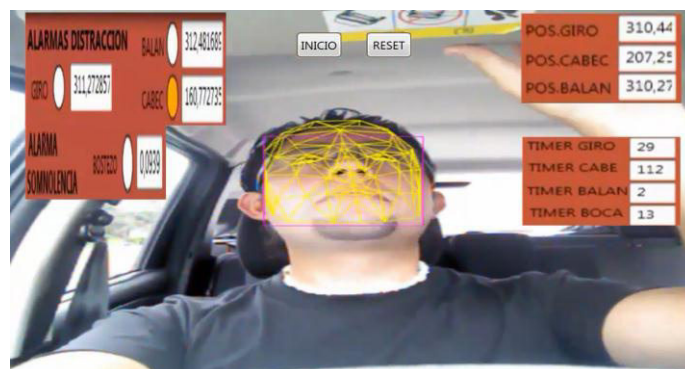


Figura 5.5 Alarma encendida cabeceo sujeto dos, conducción real

○ **Resultados de la prueba de cabeceo**

La prueba de cabeceo del conductor dio como resultado los siguientes datos de coordenadas en condiciones normales de conducción.

a) Conducción Normal Sujeto Uno

Los resultados de una conducción del sujeto uno en situaciones normales en el simulador fueron los siguientes:

| POSICIÓN CABECEO | TIEMPO (SEG) |
|------------------|--------------|
| 153.09 | 5 |
| 149.44 | 10 |
| 164.15 | 15 |
| 151.08 | 20 |
| 161.92 | 25 |
| 160.35 | 30 |
| 158.75 | 35 |
| 160.95 | 40 |
| 160.1 | 45 |
| 163.28 | 50 |
| 164.32 | 55 |
| 159.91 | 60 |
| 177.62 | 65 |
| 171.49 | 70 |
| 159.65 | 75 |
| 163.08 | 80 |
| 157.63 | 85 |
| 159.21 | 90 |
| 152.31 | 95 |
| 153.87 | 100 |
| 157.64 | 105 |
| 166.47 | 110 |
| 176.66 | 115 |
| 158.88 | 120 |
| 168.7 | 125 |
| 155.15 | 130 |

| | |
|--------|-----|
| 152.86 | 135 |
| 176.44 | 140 |
| 153.8 | 145 |
| 151.85 | 150 |
| 157.84 | 155 |
| 150.28 | 160 |
| 154.38 | 165 |
| 150.11 | 170 |
| 167.79 | 175 |
| 158.36 | 180 |
| 151.95 | 185 |
| 155.3 | 190 |
| 178.62 | 195 |
| 158.19 | 200 |
| 178.97 | 205 |
| 166.66 | 210 |
| 175.84 | 215 |
| 156.81 | 220 |
| 175.86 | 225 |

Tabla 5.14 Resultado posición cabeceo sujeto uno

Una vez obtenidos los resultados, se determinó que la diferencia máxima entre los valores de las coordenadas es de 29,53; dando lugar a un valor máximo de 14,765 que nos servirá como límite de cabeceo en la programación. La gráfica representativa del resultado está anexada en *Anexo A*, en la Figura A11.

b) Conducción Normal Sujeto Dos

Los resultados de una conducción del sujeto dos en situaciones normales en el simulador fueron los siguientes:

| POSICIÓN CABECEO | TIEMPO (SEG) |
|-------------------------|---------------------|
| 150.64 | 5 |
| 173.22 | 10 |
| 175.54 | 15 |
| 166.08 | 20 |

| | |
|--------|-----|
| 165.26 | 25 |
| 162.01 | 30 |
| 149.69 | 35 |
| 175.69 | 40 |
| 159.63 | 45 |
| 158.41 | 50 |
| 160.82 | 55 |
| 147.99 | 60 |
| 161.77 | 65 |
| 151.87 | 70 |
| 159.86 | 75 |
| 158.87 | 80 |
| 176.25 | 85 |
| 167.83 | 90 |
| 176.53 | 95 |
| 156.89 | 100 |
| 173.78 | 105 |
| 150.36 | 110 |
| 170.69 | 115 |
| 146.15 | 120 |
| 159.51 | 125 |
| 153.03 | 130 |
| 146.25 | 135 |
| 146.11 | 140 |
| 162.99 | 145 |
| 156.33 | 150 |
| 176.38 | 155 |
| 162.62 | 160 |
| 158.42 | 165 |
| 157.24 | 170 |
| 170.55 | 175 |
| 173.97 | 180 |
| 164.63 | 185 |
| 150.62 | 190 |
| 156.05 | 195 |
| 160.87 | 200 |
| 165.05 | 205 |
| 159.49 | 210 |
| 175.94 | 215 |
| 147.08 | 220 |
| 159.12 | 225 |

Tabla 5.15 Resultado posición cabeceo sujeto dos

Una vez obtenidos los resultados, se determinó que la diferencia máxima entre los valores de las coordenadas es de 30,42; dando lugar a un valor máximo de 15,21 que nos servirá como límite de cabeceo en la programación. La gráfica representativa del resultado está anexada en *Anexo A*, en la Figura A12.

- **Pruebas de balanceo**

El conductor en situaciones normales de conducción ejerce un movimiento de su cabeza balanceándose para diversas circunstancias; como por ejemplo mirar al el punto ciego del retrovisor, por estrés, etc.

Pero si mantiene fija su cabeza balanceada por un determinado tiempo es un indicio de distracción, por ende las alertas se encenderán.

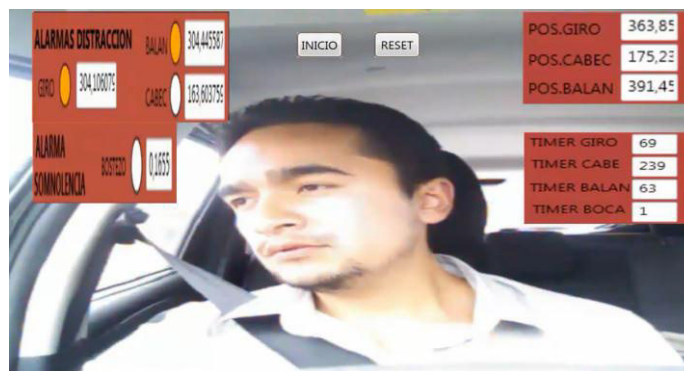


Figura 5.6 Alarma encendida balanceo sujeto uno, conducción real

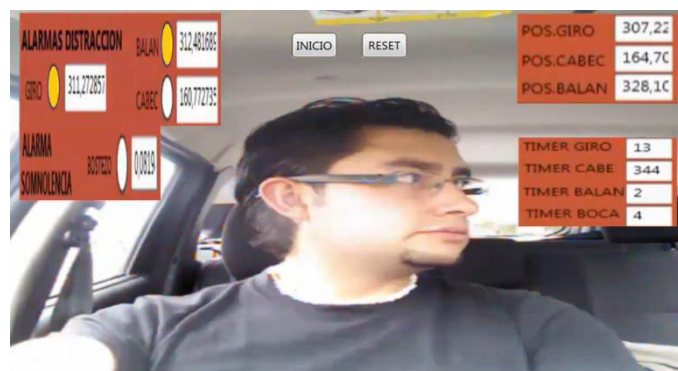


Figura 5 7 Alarma encendida balanceo sujeto dos, conducción real

○ **Resultados de la prueba de balanceo**

La prueba de balanceo del conductor dio como resultado los siguientes datos de coordenadas en condiciones normales de conducción.

a) Conducción Normal Sujeto Uno

Los resultados de una conducción del sujeto uno en situaciones normales en el simulador fueron los siguientes:

| POSICIÓN BALANCEO | TIEMPO (SEG) |
|--------------------------|---------------------|
| 306.8 | 5 |
| 316.78 | 10 |
| 312.79 | 15 |
| 307.78 | 20 |
| 318.88 | 25 |
| 296.11 | 30 |
| 291.87 | 35 |
| 303.04 | 40 |
| 310.36 | 45 |
| 295.12 | 50 |
| 309.23 | 55 |
| 313.37 | 60 |
| 314.47 | 65 |
| 308.22 | 70 |
| 294.53 | 75 |
| 306.7 | 80 |
| 292.8 | 85 |
| 309.96 | 90 |
| 313.2 | 95 |
| 295.63 | 100 |
| 312.48 | 105 |
| 317.54 | 110 |
| 293.82 | 115 |
| 295.71 | 120 |
| 290.55 | 125 |
| 306.01 | 130 |

| | |
|--------|-----|
| 310.87 | 135 |
| 309.21 | 140 |
| 305.93 | 145 |
| 301.85 | 150 |
| 295.4 | 155 |
| 313.5 | 160 |
| 311.63 | 165 |
| 291.56 | 170 |
| 315.62 | 175 |
| 294.97 | 180 |
| 304.05 | 185 |
| 290.98 | 190 |
| 304.2 | 195 |
| 315.49 | 200 |
| 311.84 | 205 |
| 318.03 | 210 |
| 316.14 | 215 |
| 291.08 | 220 |
| 310.47 | 225 |

Tabla 5.16 Resultado posición balanceo sujeto uno

Una vez obtenidos los resultados, se determinó que la diferencia máxima entre los valores de las coordenadas es de 28,33; dando lugar a un valor máximo de 14,165 que nos servirá como límite de balanceo en la programación. La gráfica representativa del resultado está anexada en *Anexo A*, en la Figura A13.

b) Conducción Normal Sujeto Dos

Los resultados de una conducción del sujeto dos en situaciones normales en el simulador fueron los siguientes:

| POSICIÓN BALANCEO | TIEMPO (SEG) |
|--------------------------|---------------------|
| 312.22 | 5 |
| 321.74 | 10 |
| 304.66 | 15 |
| 301.58 | 20 |

| | |
|--------|-----|
| 309.86 | 25 |
| 320.72 | 30 |
| 305.15 | 35 |
| 309.07 | 40 |
| 327.25 | 45 |
| 322.03 | 50 |
| 316.17 | 55 |
| 324.54 | 60 |
| 314.39 | 65 |
| 308.06 | 70 |
| 305.81 | 75 |
| 303.3 | 80 |
| 322.99 | 85 |
| 321.86 | 90 |
| 312.86 | 95 |
| 317.1 | 100 |
| 326.01 | 105 |
| 310.1 | 110 |
| 318.24 | 115 |
| 317.58 | 120 |
| 305.33 | 125 |
| 310.01 | 130 |
| 315.9 | 135 |
| 315.93 | 140 |
| 317.95 | 145 |
| 303.85 | 150 |
| 312.21 | 155 |
| 315.85 | 160 |
| 325.26 | 165 |
| 323.15 | 170 |
| 324.12 | 175 |
| 310.77 | 180 |
| 306.16 | 185 |
| 308.53 | 190 |
| 298.11 | 195 |
| 318.26 | 200 |
| 316.32 | 205 |
| 313.83 | 210 |
| 326.95 | 215 |
| 317.17 | 220 |
| 305.23 | 225 |

Tabla 5.17 Resultado posición balanceo sujeto dos

Una vez obtenidos los resultados, se determinó que la diferencia máxima entre los valores de las coordenadas es de 29,14; dando lugar a un valor máximo de 14,57 que nos servirá como límite de balanceo en la programación. La gráfica representativa del resultado está anexada en *Anexo A*, en la Figura A14.

5.2.3 Pruebas de somnolencia

Se realizó el algoritmo de detección de somnolencia en base al bostezo del conductor, que es un aviso previo de fatiga.

Si mantiene abierta la boca más de lo normal, indica que un bostezo se está realizando y si lo mantiene así por un determinado tiempo es un indicio de somnolencia, por ende las alertas se encenderán.

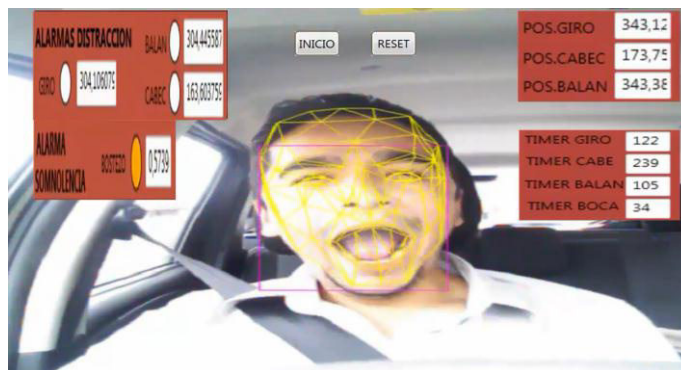


Figura 5.8 Alarma encendida somnolencia sujeto uno, conducción real

- **Resultados de la prueba de somnolencia**

La prueba de somnolencia dio como resultado los siguientes datos de unidades de acción de la mandíbula del conductor, en condiciones normales de conducción.

a) Conducción Normal Sujeto Uno

Los resultados de una conducción del sujeto uno en situaciones normales en el simulador fueron los siguientes:

| POSICIÓN SOMNOLENCIA | TIEMPO (SEG) |
|----------------------|--------------|
| 0.108 | 5 |
| 0.181 | 10 |
| 0.013 | 15 |
| 0.115 | 20 |
| 0.2 | 25 |
| 0.135 | 30 |
| 0.055 | 35 |
| 0.129 | 40 |
| 0.152 | 45 |
| 0.11 | 50 |
| 0.076 | 55 |
| 0.18 | 60 |
| 0.159 | 65 |
| 0.104 | 70 |
| 0.133 | 75 |
| 0.119 | 80 |
| 0.142 | 85 |
| 0.035 | 90 |
| 0.173 | 95 |
| 0.014 | 100 |
| 0.184 | 105 |
| 0.026 | 110 |
| 0.195 | 115 |
| 0.052 | 120 |
| 0.138 | 125 |
| 0.162 | 130 |
| 0.122 | 135 |
| 0.15 | 140 |
| 0.01 | 145 |
| 0.087 | 150 |
| 0.121 | 155 |
| 0.132 | 160 |
| 0.096 | 165 |
| 0.071 | 170 |

| | |
|-------|-----|
| 0.054 | 175 |
| 0.102 | 180 |
| 0.101 | 185 |
| 0.047 | 190 |
| 0.093 | 195 |
| 0.139 | 200 |
| 0.139 | 205 |
| 0.042 | 210 |
| 0.066 | 215 |
| 0.018 | 220 |
| 0.192 | 225 |

Tabla 5.18 Resultado posición somnolencia sujeto uno

Una vez obtenidos los resultados, se determinó que el valor máximo de apertura de boca en unidades de acción es de 0,2 que nos servirá como límite de somnolencia en la programación. La gráfica representativa del resultado está anexada en *Anexo A*, en la Figura A15.

b) Conducción Normal Sujeto Dos

Los resultados de una conducción del sujeto dos en situaciones normales en el simulador fueron los siguientes:

| POSICIÓN SOMNOLENCIA | TIEMPO (SEG) |
|-----------------------------|---------------------|
| 0.095 | 5 |
| 0.039 | 10 |
| 0.109 | 15 |
| 0.12 | 20 |
| 0.068 | 25 |
| 0.014 | 30 |
| 0.156 | 35 |
| 0.072 | 40 |
| 0.195 | 45 |
| 0.017 | 50 |
| 0.104 | 55 |
| 0.096 | 60 |

| | |
|-------|-----|
| 0.146 | 65 |
| 0.086 | 70 |
| 0.065 | 75 |
| 0.093 | 80 |
| 0.168 | 85 |
| 0.097 | 90 |
| 0.089 | 95 |
| 0.183 | 100 |
| 0.114 | 105 |
| 0.176 | 110 |
| 0.179 | 115 |
| 0.126 | 120 |
| 0.061 | 125 |
| 0.181 | 130 |
| 0.149 | 135 |
| 0.166 | 140 |
| 0.044 | 145 |
| 0.138 | 150 |
| 0.017 | 155 |
| 0.028 | 160 |
| 0.114 | 165 |
| 0.027 | 170 |
| 0.146 | 175 |
| 0.146 | 180 |
| 0.079 | 185 |
| 0.167 | 190 |
| 0.095 | 195 |
| 0.189 | 200 |
| 0.081 | 205 |
| 0.042 | 210 |
| 0.163 | 215 |
| 0.145 | 220 |
| 0,112 | 225 |

Tabla 5.19 Resultado posición somnolencia sujeto dos

Una vez obtenidos los resultados, se determinó que el valor máximo de apertura de boca en unidades de acción es de 0,195 que nos servirá como límite de somnolencia en la programación. La gráfica representativa del resultado está anexada en *Anexo A*, en la Figura A16.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la culminación del proyecto, se desarrolló un algoritmo inteligente que ayudará a la detección de anomalías en la conducción de un vehículo motorizado y así prevenir accidentes de tránsito debido a la distracción y/o somnolencia. Este trabajo servirá de base para futuras investigaciones acorde al tema, o para utilizar la tecnología de tiempo de vuelo en determinación de aspectos científicos de innovación tecnológica.

6.1 CONCLUSIONES

- Se desarrolló una alternativa tecnológica para detectar y prevenir accidentes de tránsito relacionados con la fatiga y/o distracción del conductor; creando un algoritmo inteligente para estimar automáticamente la distracción del conductor, en tiempo real, durante el día, mediante técnicas de Visión por Computador e Inteligencia Artificial usando Tecnología TOF.

- Se realizó un estudio de las estadísticas actuales de los accidentes de tránsito en el Ecuador, determinando que en el país existe un parque automotor compuesto por aproximadamente 1`500.000 vehículos, siendo Ecuador es el cuarto país en el mundo y el segundo en Latinoamérica en tener accidentes de tránsito, de los cuales solamente en la ciudad de Quito se registra el 34.3% de los accidentes de tránsito a nivel nacional.
- Se efectuó una investigación detallada de varios índices de accidentes de tránsito en diferentes países, determinando que al menos el 40% de los accidentes son producto de fatiga y distracción del conductor; datos similares a nuestro país provienen de la Agencia Nacional de Tránsito mediante un estudio realizado en Noviembre del 2011 que determinó que el factor humano ocasiona el 89% de los accidentes de tránsito en el Ecuador, entre dicho porcentaje se estima que aproximadamente el 45% de los accidentes de tránsito en Ecuador se producen como consecuencia de la fatiga y la somnolencia, según datos del INEC año 2011, constituyéndose en la tercera causa de mortalidad en nuestro país.
- Se generó un algoritmo inteligente para estimar el comportamiento en tiempo real y en tres dimensiones, utilizando el modelo Candide en su tercera versión, con 113 vértices y 68 triángulos, el cual es controlado por unidades de acción globales y locales que corresponden a rotaciones alrededor de los tres ejes y controlan los rasgos faciales de modo que se pueden obtener diferentes expresiones, las mismas que fueron convertidas en valores de coordenadas para la determinación de movimientos de la cabeza del conductor y detectar distracción y/o somnolencia.
- Se aplicó la Tecnología de tiempo de Vuelo de imágenes, la misma que mide la profundidad de una escena mediante la cuantificación de los cambios que una señal de luz emitida encuentra cuando rebota de objetos en una escena,

dicha tecnología la utilizamos conjuntamente con el sensor Kinect, el cual nos ofrece una cámara de infrarrojos que servirá para emplear el TOF y determinar distancias de las coordenadas en tres dimensiones de cada movimiento facial para generar el algoritmo correspondiente, detectando anomalías en la conducción.

- Se empleó una interfaz natural de usuario para reutilizar las habilidades existentes en los seres humanos de interactuar con el ambiente y enfocarlas a la interacción directa con el contenido del software, para ejecutar sin necesidad de un dispositivo físico, una ejecución constante del algoritmo inteligente, creando alertas de distracción y/o somnolencia cuando el conductor maneje fuera del rango normal.
- Se creó una interface de visualización del estado del conductor en tiempo real, indicando las distancias de las coordenadas faciales y los valores de las unidades de acción, visualizando alertas en caso de distracción o indicios de somnolencia.
- Se desarrolló una plataforma de simulación de conducción, compuesto por un escritorio con una superficie diseñada para el sensor Kinect, montado un monitor que muestra una secuencia de imágenes de una conducción real.
- Se verificó el algoritmo en un vehículo con una conducción real, corrigiendo el factor gamma para obtener menos brillo proveniente del ambiente externo, realizando una disminución de la resolución en la programación para que el sensor pueda detectar y hacer el seguimiento del rostro a tiempo real, parametrizando los valores de coordenadas y unidades de acción a ser utilizadas.

- Se cumplió con el fin de la automatización, el cual es lograr una confiabilidad y eficiencia en el proceso; confiabilidad por el periodo de tiempo que transcurre entre dos funcionamientos fuera de régimen normal, haciendo una relación con el algoritmo, funciona en tiempo real manteniendo una respuesta adecuada del sistema ante perturbaciones; eficiencia porque el algoritmo va fijado a conseguir un funcionamiento óptimo con un mínimo de esfuerzo, que usando la inteligencia artificial, se vuelve un mecanismo autónomo adaptable para el análisis del conductor y determinación de la distracción y/o somnolencia.

6.2 RECOMENDACIONES

- El algoritmo inteligente fue creado específicamente para pruebas de escritorio, pero se verificó que cambiando la resolución se puede corregir el factor gamma, haciendo de la imagen más acorde a parámetros reales para la instalación en un vehículo; por ende se recomienda el desarrollo enfocado en condiciones reales para así lograr mantener un equilibrio constante en el brillo y saturación de la imagen.
- El modelo Candide entrega un rostro actualizado parametrizado en tiempo real, lo que facilita el uso de varios elementos acorde al movimiento y expresiones faciales; por ello se recomienda el uso de los parámetros de dicho modelo para un sin número de trabajos futuros como pueden ser: Reconocimiento de expresiones faciales, Adaptación de movimientos a personas discapacitadas, entre otras aplicaciones.
- El uso de la tecnología de tiempo de vuelo ayudó a la determinación de distancias entre objetos en una escena en tres dimensiones, usando una cámara en infrarrojo, que a diferencia de las cámaras de video que envían

señales de píxeles de una imagen, la cámara infrarroja envía señales de distancias de la misma imagen; por lo cual para futuras investigaciones se recomienda una cámara que contenga un sensor infrarrojo y dicha cámara no sea dedicada a la creación de videojuegos, ya que usa una interfaz natural de usuario y las distancias de ejecución son grandes y ocasiona problemas a distancias cercanas.

ANEXOS

A. GRÁFICAS DE RESULTADOS

B. PLATAFORMA DE SIMULACIÓN

C. SENSOR KINECT

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS, REVISTAS Y ARTÍCULOS TÉCNICOS

- [1] Oggier, T., Büttgen, B., Lustenberger, F., Becker, G., Rüegg, B., Hodac, A., “SwissRanger SR3000 and First Experiences based on Miniaturized 3D-TOF Cameras”, pág. 3-4, 2005.
- [2] Jiménez, P., Bergasa, L., Nuevo, J., Hernández, N., Daza, I., “Gaze Fixation System for the Evaluation of Driver Distractions Induced by IVIS”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 8, No. 2, pág. 2-3, 2007.
- [3] Son, J., Park, M., “Estimating Cognitive Load Complexity Using Performance and Physiological Data in a Driving Simulator”, *AutomotiveUI'11*, pág. 3, 2011.
- [4] Kutila, M., *Methods for Machine Vision Based Driver Monitoring Application. Distraction*, VTT Publications 621, Prima Oy, Helsinki 2006.
- [5] Azman, A., Meng, Q., Edirisinghe, E., “Non-Intrusive Physiological Measurement for Driver Cognitive Distraction Detection: Eye and Mouth Movements”, *IEEE Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*, Vol. 3, pág. 595-599, 2010.
- [6] Liang, Y., Reyes, M., Lee, J., “Real-Time Detection of Driver Cognitive Distraction Using Support Vector Machine”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 8, No. 2, pág. 340-341.
- [7] Zhiqiang, L., Peng, W., Jingjing, Z., “The Study of Driver Distraction Characteristic Detection Technology”, *International Forum on Information Technology and Applications*, China 2010.

- [8] Real Academia Española, *Diccionario de la lengua española*, 22.^aed, Madrid, España 2001.
- [9] Lyznicki, J., Doege, T., Davis, R., Williams, M., "Sleepiness, driving and motor vehicle crashes", *The Journal of American Medical Association (JAMA)*, Vol. 279, No. 23, pág. 13-14, 1998.
- [10] Dement, M., Mitler, M., "It's time to wake up to the importance of sleep disorders", *The Journal of American Medical Association (JAMA)*, Vol. 269, No. 12, pág. 21-23, 1993.
- [11] Mitler, M., Miller, J., Lipsitz, J., Walsh, J., Wylie, C., "The sleep of long-haul truck drivers", *The New England Journal of Medicine (NEJM)*, pág. 755- 761, 1997.
- [12] Sagberg, F., "Road accidents caused by drivers falling asleep", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 31, pág. 639-649, 1999.
- [13] Horne, J., Reyner, L., "Sleep-related vehicle accidents", *BMJ*, Vol. 42, pág. 565-567, 1995.
- [14] Brown, I., "Driver fatigue. Human Factors". *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, Vol. 36, No. 2, pág. 298-314, 1994.
- [15] National Center for Sleep Disorders Research, National Traffic Safety Administration NCSDR/NHTSA Expert Panel. *Drowsy Driving and Automobile Crashes*, Dot HS, National Highway Safety Association Washington DC 1998.
- [16] Lertzman, M., Wali, S., Kryger, M., "Sleep apnea a risk factor for poor driving", *CMAJ*. Vol. 153, pág. 63-68, 1995.

- [17] Young, T., Blustein, J., Finn, L., Palta, M., "Sleep Apnea, sleepiness and driving risk", *Official statement of the American Thoracic Society*, Vol. 150, pág. 63-73, 1992.
- [18] Findley, L., Unverzagt, M., Suratt, P., "Automobile accidents in patients with obstructive sleep apnea", *Official statement of the American Thoracic Society*, Vol. 138, pág. 37-40, 1988.
- [19] Sweet, D., "Safety harmonization and competitiveness", *Truck Safety: Perceptions and reality*, Vol. 21, No. 12, pág. 121-128, 1996.
- [20] Mayenburg, M., Patterson, C., Rossow, G., "Truck safety technology for the 21st century", *Truck Safety: Perceptions and reality*, Vol. 31, pág. 83-114, 1996.
- [21] Veeraraghavan, H., Papanikolopoulos, N., "Detecting driver fatigue through the use of advanced face monitoring techniques", *Report CTS 01-05, University of Minnesota, Center for Transportation Studies*, pág. 45-47, 2001.
- [22] Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil, "Descripción del Sistema de Alerta de Cambio Involuntario de Carril y evidencias científicas de su efectividad", *FITSA*, Vol. 12, pág. 21-23, 2005.
- [23] Lange, R., *3D Time-of-flight distance measurement with custom solid-state image sensors in CMOS/CCD-technology*. PhD Tesis, Universidad de Siegen, 2000.
- [24] Kollorz, E., Penne, J., Hornegger, A., Barke, A., "Gesture recognition with a Time-of-Flight camera", *International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications*, Nuremberg Alemania, 2008.
- [25] Ortiz, U., "Visión Artificial Aplicada a la Orientación Sistemática de Objetos", *Universidad Politécnica de Madrid, Facultad de Informática*, pág. 1-2; 2003.

- [26] Miles, R., "Using Kinect for Windows with XNA, Kinect for Windows SDK", Edición 1.1, pág. 4-8, 2012.
- [27] Webb, J., Ashley, J., *Beginning Kinect Programming with the Microsoft Kinect SDK*, Edición 1.1, Editorial Apress, New York, 2012.
- [28] Miles, R., *Learn Microsoft® Kinect API*, Edición 1.1, Editorial S4Carlisle Publishing Services, California, 2012.
- [29] Hjortsjö, C., "Man's Face and the Mimic Language", Studentlittertur, Lund, Sweden, 1969.
- [30] Ekman, P., Friesen, W., "Facial Action Coding System", *Consulting Psychologist Press*, pág. 4-6, 1977.
- [31] Rydfalk, M., "CANDIDE, a parameterized face", *Dept. of Electrical Engineering, Linköping University*, Report No. LiTH-ISY-I-866, Sweden, 1987.
- [32] Forchheimer, R., Fahlander, O., "Low bit-rate coding through animation", *Proc. Picture Coding Symposium*, Davis, CA, USA, 1983.
- [33] Welsh, B., "Model-Based Coding of Images", *British Telecom Research Lab*, pág. 12-15, 1991.
- [34] Cootes, T., Taylor, C., "Statistical Models of Appearance for Computer Vision", *Wolfson Image Analysis Unit, University of Manchester*, Vol. 34, pág. 23-26, 2007.
- [35] MPEG Working Group on Visual, "International Standard on Coding of Audio-Visual Objects", Part 2 (Visual), ISO-14496-2, 1999.

PÁGINAS WEB

- [36] Estadísticas del parque automotriz en Ecuador. [Online]. Habilitado: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/1408/2/T-ESPE-017056-1.pdf>, 2012.
- [37] Inicia campaña para reducir accidentes de tránsito. [Online]. Habilitado: http://www.noticiasquito.gob.ec/Noticias/news_user_view/inicia_campana_para_reducir_accidentes_de_transito--4613, 2011-10-04, 2012.
- [38] Informe Accidentes de Tránsito Febrero 2012. [Online]. Habilitado: <http://www.cte.gob.ec/wp-content/uploads/2012/03/Informe-de-Accidentes-Febrero-2012.pdf>, 2012
- [39] Distracción primera causa de accidentes. [Online]. Habilitado: http://expreso.ec/expreso/plantillas/nota_print.aspx?idArt=2410099&tipo=2, 2012.
- [40] Real Academia Española. *Diccionario de la lengua española* (22.^aed.). [Online]. Habilitado: <http://www.rae.es/rae.html>, 2012.
- [41] Un viaje seguro empieza antes de arrancar. [Online]. Habilitado: <http://www.testvial.com>, 2012.
- [42] Fatigue management has never been this advanced, effective, or necessary. [Online]. Habilitado: <http://www.optalert.com>, 2012.
- [43] Instituto Nacional de estadísticas y Censos: [Online]. Habilitado: <http://www.inec.gob.ec>, 2012.
- [44] Testvial, Seguridad al volante. [Online]. Habilitado: <http://test.trucknews.com/truckspec/features/trucks.htm>, 2012

[45] Página web de Bosch. [Online]. Habilitado: <http://www.bosch-prensa.com>, 2012

[46] Página web de Truck news. [Online]. Habilitado: <http://www.trucknews.com/news/cover-story-the-advantage-of-being-single/1000112184/>, 2012.

[47] Steering Attention Monitor, [Online]. Habilitado: <http://www.carkits.com.au/sam.htm>, 2013.

[48] Sistemas de alerta para conductores cansados o distraídos [Online]. Habilitado: <http://www.autoreporte.com.ar/tecnoalertacondutor.htm>, 2013.

[49] Low bit-rate coding through animation. [Online]. Habilitado: <http://libra.msra.cn/Publication/2056823/low-bit-rate-coding-through-animation>, 2013.

[50] WinCandide. [Online]. Habilitado: <http://www.icg.isy.liu.se/candide/wincandide.html>, 2013.

[51] CANDIDE - a parameterized face. [Online]. Habilitado: <http://www.icg.isy.liu.se/candide/>, 2013.

[52] Xproject. [Online]. Habilitado: <http://www.icg.isy.liu.se/candide/xproject.html>, 2013.

[53] Centre for Imaging Sciences [Online]. Habilitado: <http://www.wiau.man.ac.uk>, 2013.

[54] Kinect for Windows. [Online]. Habilitado: <http://research.microsoft.com/kinectsdk/>, 2013.

- [55] Visual Studio 2010. [Online]. Habilitado: <http://www.microsoft.com/visualstudio/en-us/products/2010editions/express>, 2013.
- [56] Kinect for Windows. [Online]. Habilitado: <http://www.kinectforwindows.com>, 2013.
- [57] Software Development Kit. [Online]. Habilitado: <http://www.microsoft.com/download/en/details.aspx?displaylang=en&id=6812>, 2013.
- [58] DirectX End-User Runtime Web Installer. [Online]. Habilitado: <http://www.microsoft.com/download/en/details.aspx?displaylang=en&id=35>, 2013.
- [59] Develop the future with Kinect. [Online]. Habilitado: <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/develop>, 2013.
- [60] Seguimiento de caras[Online]. Habilitado: http://es.wikipedia.org/wiki/Seguimiento_de_caras, 2013.
- [61] Principios de observación en la Aviación. [Online]. Habilitado: <http://www.rkka.es>, 2013.
- [62] Creating the future of transport. [Online]. Habilitado: <http://www.trl.co.uk/>, 2013.
- [63] The Royal Society for the Prevention of Accidents. [Online]. Habilitado: <http://www.rosipa.com>, 2013.

PATENTES

[64] Kawakami, et al., "Apparatus for detecting awareness of a vehicle driver and method thereof", Patente EUA 5,769,085 (1998).

[65] Leavitt, "Sleep-detecting driving gloves", Patente EUA 6,016,103 (2000).

[66] Horne, J.A. y Reyner, L.A. "Sleepiness detection for vehicle driver or machine operator" App. 341093 (1999).

[67] Tschoi, "Anti-drowsing/anti-dozing alarm device", Patente EUA 5,969,616 (1999).

[68] Gwin, et al., "Driver alarm", Patente EUA 5,585,785 (1996).

[69] Vance, "Awakening alarm for motor vehicle operators", Patente EUA 5,745,038 (1998).

[70] Sutherland, "Driver sleep alarm", Patente EUA 6,218,947 (2001).

[71] Hara, et al., "Apparatus for judging driving attentiveness with respect to a ratio of steering frequency components and a method therefor", Patente EUA 5,717,606 (1998).

[72] Griesinger, et al., "Apparatus for determining the alertness of a driver", Patente EUA 6,097,295 (2000).

[73] Monte, Jr., "Vehicle and device adapted to revive a fatigued driver", Patente EUA 5,508,685 (1996).

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo I

| | |
|---|----|
| Figura 1.1. Causas de los Accidentes de Tránsito en el Ecuador | 17 |
| Figura 1.2. Accidentes de Tránsito ocurridos en 2010-2011-2012 | 18 |
| Figura 1.3. Comparativo de Heridos en Accidentes de Tránsito ocurridos en 2010-2011-2012 | 19 |
| Figura 1.4. Comparativo de Fallecidos en Accidentes de Tránsito ocurridos en 2010-2011-2012 | 19 |
| Figura 1.5. Principales Causas de Mortalidad en el Ecuador, año 2011 | 27 |

Capítulo II

| | |
|--|----|
| Figura 2.1. Estado de Alerta del Conductor ubicado en el Panel de Control del Vehículo..... | 37 |
| Figura 2.2. Control de Estado del Conductor mediante la ubicación de los Rasgos Faciales | 38 |
| Figura 2.3. El Proceso de distracción puede acarrear un grave accidente | 40 |
| Figura 2.4. Fotografía del dispositivo OPTALERT | 42 |
| Figura 2.5. Imagen representativa del Detector de Fatiga de Bosch..... | 43 |
| Figura 2.6. Sistema de Detección de Somnolencia de Veeraraghavan y Papanikolopoulos | 44 |
| Figura 2.7. Imagen representativa del Aparato de Medición de Kawakami | 44 |
| Figura 2.8. Imagen representativa de los Guantes Detectores de Somnolencia | 45 |
| Figura 2.9. Imagen representativa del Sistema Detector de Somnolencia de Horne y Reyner | 46 |
| Figura 2.10. Imagen representativa del Dispositivo de Alarma Antisomnolencia de Tschoi | 47 |
| Figura 2.11. Imagen representativa del Dispositivo de Alarma Antisomnolencia de Gwin..... | 48 |
| Figura 2.12. Imagen representativa de los Lentes Antisomnolencia de Vance | 49 |
| Figura 2.13. Imagen representativa de la Alarma Antisomnolencia de Sutherland..... | 50 |
| Figura 2.14. Imagen representativa del Dispositivo de Medición de Somnolencia de Griesinger..... | 51 |
| Figura 2.15. Imagen representativa del Monitor de Atención a la Conducción | 52 |
| Figura 2.16. Imagen representativa del Sistema de Alerta del Conductor | 53 |
| Figura 2.17. Imagen representativa de la Conducción Guiada en el Carril | 53 |
| Figura 2.18. Imagen representativa del Expulsor de Rocío al Conductor | 54 |

Capítulo III

| | |
|--|----|
| Figura 3.1. Experimento de Galileo Galilei de principios del siglo 17 | 56 |
| Figura 3.2. Montaje experimental de Fizeau | 57 |
| Figura 3.3. Clasificación de las Técnicas de Medición de Profundidad | 58 |
| Figura 3.4. Funcionamiento de un Sistema Óptico ToF | 59 |
| Figura 3.5. Imagen de una Cámara Regular e Imagen de una Cámara de Profundidad ToF | 60 |
| Figura 3.6. a) Reconstrucción 3D, b) Amplitud de la Imagen ToF, c) Profundidad de la Imagen ToF.. | 61 |
| Figura 3.7. Arriba: CANDIDE-1 con 79 vértices y 108 triángulos 238 triángulos. Abajo: CANDIDE-2 con 160 vértices y 238 triángulos..... | 65 |
| Figura 3.8. Imágenes del Software xproject..... | 66 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.9. Imágenes del software WinCandide | 66 |
| Figura 3.10. CANDIDE-3 con 113 vértices y 168 triángulos | 68 |

Capítulo IV

| | |
|--|-----|
| Figura 4.1 Secuencia de Ejecución del Algoritmo..... | 88 |
| Figura 4.2 Inicialización y calibración de la cámara..... | 90 |
| Figura 4.3 Creación de un proyecto WPF..... | 92 |
| Figura 4.4 Añadir referencia paso 1 | 93 |
| Figura 4.5 Añadir referencia paso 2..... | 93 |
| Figura 4.6 Añadir referencia paso 3..... | 93 |
| Figura 4.7 Añadir referencia paso 4..... | 94 |
| Figura 4.8 Adición de proyectos existentes | 94 |
| Figura 4.9 Microsoft.Kinect.Toolkit.FaceTracking | 94 |
| Figura 4.10 Microsoft.Kinect.Toolkit..... | 95 |
| Figura 4.11 Añadir ítems existentes paso 1 | 95 |
| Figura 4.12 Añadir ítems existentes paso 2..... | 95 |
| Figura 4.13 Añadir ítems existentes paso 3..... | 96 |
| Figura 4.14 Añadir FaceTrackData.dll y FaceTrackLib.dll | 96 |
| Figura 4.15 Clases proyecto MICROSOFT.KINECT.TOOLKIT.FACETRACKING | 96 |
| Figura 4.16 FaceTracking Basic..... | 99 |
| Figura 4.17 Algoritmo Face Tracking | 100 |
| Figura 4.18 FaceTracking Basic Expresiones Faciales | 101 |
| Figura 4.19 FaceTracking Basic Movimiento de la Cabeza..... | 101 |
| Figura 4.20 Puntos Faciales y Vértices del CANDIDE-3 | 102 |
| Figura 4.21 Numeración Facial | 103 |
| Figura 4.22 Puntos y vértices filtrados | 104 |
| Figura 4.23 Detección de la distracción | 111 |
| Figura 4.24 Sistema de coordenadas con origen en el centro óptico del Kinect | 112 |
| Figura 4.25 Posicionamiento de la cabeza | 113 |
| Figura 4.26 Alarma de giro encendida, giro derecha | 114 |
| Figura 4.27 Alarma de giro encendida, giro izquierda | 114 |
| Figura 4.28 Alarma de balanceo encendida, balanceo a la derecha..... | 115 |
| Figura 4.29 Alarma de balanceo encendida, balanceo a la izquierda | 115 |
| Figura 4.30 Alarma de cabeceo encendida, abajo..... | 116 |
| Figura 4.31 Alarma de cabeceo encendida, arriba | 116 |
| Figura 4.32 Detección de la somnolencia | 117 |
| Figura 4.33 Alarma de somnolencia encendida..... | 118 |

Capítulo V

| | |
|--|-----|
| Figura 5.1 Prueba en conducción real | 137 |
| Figura 5.2 Alarma encendida giro sujeto uno, conducción real | 138 |
| Figura 5.3 Alarma encendida giro sujeto dos, conducción real | 138 |
| Figura 5.4 Alarma encendida cabeceo sujeto uno, conducción real | 142 |
| Figura 5.5 Alarma encendida cabeceo sujeto dos, conducción real..... | 142 |
| Figura 5.6 Alarma encendida balanceo sujeto uno, conducción real | 146 |
| Figura 5.7 Alarma encendida balanceo sujeto dos, conducción real..... | 146 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5.8 Alarma encendida somnolencia sujeto uno, conducción real | 150 |
|---|-----|

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo III

| | |
|--|----|
| Tabla 3.1. Las Unidades de Acción y los Vectores de Unidades de Acción | 73 |
| Tabla 3.2. Las Unidades de Acción y los Vectores de Unidades de Acción | 74 |
| Tabla 3.3. Las Unidades de Forma | 75 |
| Tabla 3.4. Los vértices de CANDIDE-3 y los correspondientes MPEG-4 Puntos de Características Faciales | 80 |
| Tabla 3.5. Los MPEG-4 Puntos de Características Faciales y los correspondientes vértices de CANDIDE-3 | 83 |
| Tabla 3.6. Las Unidades FAP y CANDIDE | 84 |

Capítulo IV

| | |
|--|----|
| Tabla 4.1 APIs y su descripción respectiva | 99 |
|--|----|

Capítulo V

| | |
|--|-----|
| Tabla 5.1 Sujeto uno y dos en plataforma de simulación de conducción | 120 |
| Tabla 5.2 Límites del campo de giro y visual del ser humano | 121 |
| Tabla 5.3 Resultados posición giro sujeto uno | 123 |
| Tabla 5.4 Resultados posición giro sujeto dos | 125 |
| Tabla 5.5 Resultado posición cabeceo sujeto uno | 127 |
| Tabla 5.6 Resultado posición cabeceo sujeto dos | 128 |
| Tabla 5.7 Resultado posición balanceo sujeto uno | 130 |
| Tabla 5.8 Resultado posición balanceo sujeto dos | 132 |
| Tabla 5.9 Resultado posición somnolencia sujeto uno | 134 |
| Tabla 5.10 Resultado posición somnolencia sujeto dos | 135 |
| Tabla 5.11 Corrección del Flujo de datos de la imagen | 137 |
| Tabla 5.12 Resultados posición giro sujeto uno | 140 |
| Tabla 5.13 Resultados posición giro sujeto dos | 141 |
| Tabla 5.14 Resultado posición cabeceo sujeto uno | 144 |
| Tabla 5.15 Resultado posición cabeceo sujeto dos | 145 |
| Tabla 5.16 Resultado posición balanceo sujeto uno | 148 |
| Tabla 5.17 Resultado posición balanceo sujeto dos | 149 |
| Tabla 5.18 Resultado posición somnolencia sujeto uno | 152 |
| Tabla 5.19 Resultado posición somnolencia sujeto dos | 153 |

GLOSARIO

A

Análisis Geométrico: En el procesamiento de imágenes, dividir este subconjunto en dos partes basándose en criterios geométricos, por ejemplo descomponiéndolo en partes convexas.

API: Interfaz de programación de aplicaciones, es el conjunto de funciones y procedimientos que ofrece cierta biblioteca para ser utilizado por otro software como una capa de abstracción.

AUVs: Vectores de las Unidades de Acción.

C

Cámara RGB: Cámara que entrega los tres componentes de colores básicos (rojo, verde, y azul) en tres cables diferentes. Este tipo de cámara a menudo utiliza tres sensores CCD independientes para adquirir las tres señales de color.

D

Distanciómetro: También conocido como medidor láser, es un instrumento de medición con rayo láser que calcula la distancia desde el aparato hasta el siguiente punto opaco al que apuntemos con el mismo.

E

Espectro visible: Región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir. A la radiación electromagnética en este rango de longitudes de onda se le llama luz visible o simplemente luz.

F

FACS: Facial Action Coding System.

FAPs: Facial Animation Parameters.

FAPUs: Unidades los Parámetros de Animación Facial.

FDP: Facial Definition Parameters.

FFPs: Facial Feature Points.

FMCSA: Federal Motor Carrier Safety Administration.

Fotocatálisis: Hace referencia a una reacción catalítica que involucra la absorción de luz por parte de un catalizador o sustrato.

Frecuencia: Magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.

G

Gadget: Dispositivo electrónico que tiene un propósito y una función específica, generalmente de pequeñas proporciones, práctico y a la vez novedoso. Los gadgets suelen tener un diseño más ingenioso que el de la tecnología corriente.

GPS: Global Positioning System.

GUI: Graphical User Interface.

H

Hardware: Se refiere a todas las partes tangibles de un sistema informático; sus componentes son: eléctricos, electrónicos, electromecánicos y mecánicos.

I

Infrarrojo: Es un tipo de luz que no podemos ver con nuestros ojos. Nuestros ojos pueden solamente ver lo que llamamos luz visible.

Inteligencia Artificial: Ciencia que se encarga de realizar procesos bajo una infraestructura determinada que almacena alguna forma primitiva o compleja de conocimiento, y que provoca las acciones a desempeñar.

L

Luz estructurada: Sistema basado en estudiar la deformación que sufre un patrón de luz al ser interseccionado por cualquier objeto.

M

Monitorización: Hace referencia a la supervisión necesaria para la ejecución del plan de acción establecido en la planificación de las acciones, conductas o pensamientos encaminados al logro de una meta.

MPEG-4: Moving Picture Experts Group – 4, es un método para la compresión digital de audio y vídeo, designado y conocido formalmente como estándar ISO/IEC 14496.

N

NCSDR/NHTSA: National Center for Sleep Disorders Research.

O

Optometría: Ciencia y el arte dedicada al estudio y a la corrección de los defectos refractivos del ojo; es decir de todas las alteraciones de la forma, diámetro o curvatura de los diferentes lentes o sistemas ópticos del globo ocular.

Oscilación: Variación, perturbación o fluctuación en el tiempo de un medio o sistema.

P

Píxel: Es la menor unidad homogénea en color que forma parte de una imagen digital, ya sea esta una fotografía, un fotograma de vídeo o un gráfico.

Prismático: Instrumento óptico usado para ampliar la imagen de los objetos distantes observados, al igual que el monocular y el telescopio, pero a diferencia de éstos, provoca el efecto de estereoscopia en la imagen y por eso es más cómodo apreciar la distancia entre objetos distantes, también juzgar y seguir objetos en movimiento.

R

Radiación electromagnética: Combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro.

S

SAE: Society of Automotive Engineers.

SAHS: Síndrome de apnea-hipopnea del sueño.

Segmentación: En el procesamiento de imágenes, la división de una imagen digital en dos o más regiones.

Sensor: Dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

Sincronismo: Disposición especial por medio de la cual todos los movimientos de una máquina cualquiera se transmiten con completa exactitud y se verifican en el mismo momento en otras máquinas semejantes a la primera.

Software: Equipamiento lógico o soporte lógico de un sistema informático, el que comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas, en contraposición a los componentes físicos que son llamados hardware.

SUs: Shape Units.

T

ToF: Time of Flight.

Transductor: Dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra diferente a la salida

Triangulación: En geometría, es el uso de la trigonometría de triángulos para determinar posiciones de puntos, medidas de distancias o áreas de figuras.

U

UA: Unidades de acción.

Unix: Sistema operativo portable, multitarea y multiusuario.

ELABORADO POR:

Fernando Alejandro Guevara Carrillo

Oswaldo Sebastián Valencia Bernal

APROBADO POR:

Dr. Marco Flores
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Víctor Proaño
CODIRECTOR DEL PROYECTO

HOJA DE ENTREGA

El presente proyecto de grado fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Escuela Politécnica del Ejército, desde:

Sangolquí,.....de..... del 2013.

Fernando Alejandro Guevara Carrillo

Oswaldo Sebastián Valencia Bernal

AUTORES

Ing. Luis Orozco

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA
EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**