



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Mecánica y Automotriz



Detección de alcohol-etanol en el aire a través de medidas estadísticas y señales de pulsioximetría en conductores automovilísticos.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el título de Ingeniero Mecánico y Automotriz.

Presenta:

Luis Ramiro Chávez Valencia

Dirigida por:

Dr. Juan Pablo Amézquita Sánchez

San Juan del Río, Querétaro, Marzo 2023.



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Detección de alcohol-etanol en el aire a través de
medidas estadísticas y señales de pulsioximetría en
conductores automovilísticos.

por

Luis Ramiro Chávez Valencia

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](#).

Clave RI: IGLIN-265788-0323-323



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 CAMPUS SAN JUAN DEL RÍO



**DETECCIÓN DE ALCOHOL-ETANOL EN EL AIRE A TRAVÉS DE MEDIDAS
 ESTADÍSTICAS Y SEÑALES DE PULSIOXIMETRÍA EN CONDUCTORES
 AUTOMOVILÍSTICOS.**

T E S I S

Como parte de los requisitos para obtener el título de
INGENIERO MECÁNICO Y AUTOMOTRIZ

Presenta

LUIS RAMIRO CHÁVEZ VALENCIA

Dirigido por:

DR. JUAN PABLO AMÉZQUITA SÁNCHEZ

SINODALES:

DR. JUAN PABLO AMÉZQUITA SÁNCHEZ (11508)
 Presidente

DR. MARTÍN VALTIERRA RODRÍGUEZ (11869)
 Secretario

DR. JESÚS ROONEY RIVERA GUILLÉN (8943)
 Vocal

DR. JUAN JOSÉ SAUCEDO DORANTES (15647)
 Suplente

San Juan del Río, Qro., Marzo 2023

RESUMEN

Durante los últimos años la industria automotriz ha puesto mayor interés en el desarrollo de tecnología que simplifique y brinde herramientas de utilidad a sus usuarios, siendo el desempeño de los vehículos y la seguridad de los pasajeros las áreas en las que más se ha invertido. En particular, el área de seguridad, gracias al desarrollo de infinidad de sensores y técnicas de procesamiento de datos, hoy en día es muy común ver vehículos que a través de estos sistemas se facilite su manejo; sin embargo, como en todas las disciplinas la supervisión del funcionamiento de estos dispositivos, así como la mejora continua de los sistemas de seguridad resultan ser muy importantes para seguir brindando los mejores productos al consumidor.

De acuerdo con lo antes mencionado, este trabajo de tesis se enfoca en el desarrollo de un prototipo de seguridad que sea la base para el desarrollo a futuro de un dispositivo que tenga la capacidad de integrarse en vehículos comerciales, siendo el objetivo de este prototipo detectar si el conductor de un automóvil se encuentra bajo los efectos del alcohol o no, indicando si está apto para conducir o no. Para el desarrollo de este prototipo es importante destacar 2 etapas primordiales del proyecto, la primera es la investigación acerca de cómo se comporta el alcohol en el cuerpo humano después de ingerirlo, así como la integración de diversos dispositivos tal como Arduino, sensores (p.ej. pulsioximetría y gases) y técnicas de procesamiento (indicadores estadísticos y árboles de decisiones) con el fin de sentar las bases de investigación y desarrollo de un prototipo que permita el desarrollo de un dispositivo que sea de utilidad para identificar en un conductor si está bajo los efectos del alcohol de manera automática. Los resultados muestran que es posible identificar una persona que esta alcoholizada o no con una buena eficiencia.

Palabras clave: Arduino, Pulsioxímetro, Gas, Alcohol, Indicadores Estadísticos, Árbol de decisiones.

DEDICATORIA

Realizar este proyecto para mi titulación, puso a prueba muchos de los conocimientos y habilidades que he adquirido a lo largo de la vida, pero sobre todo que durante mi estancia en la facultad de ingeniería pude desarrollar, por esto dedico este trabajo a ese pequeño Ramiro de la infancia que acompañando a su padre mientras ajustaba algunos motores, soñó con algún día convertirse en ingeniero mecánico automotriz y poder seguir compartiendo pasiones con su padre.

Dedico este trabajo a mi padre y a mi madre que sin su esfuerzo día a día, esto jamás hubiera sido posible, gracias por hacerme más fácil este camino y apoyarme en todo lo que he necesitado, gracias por todos sus consejos y regaños, que hoy entiendo que siempre han sido para formar una mejor persona día con día, gracias por todo el amor y confianza que siempre me brindaron, pues gracias a todo esto estoy donde estoy.

También, dedico este trabajo a mi novia Tania, que ha estado conmigo desde antes de iniciar este sueño, y siempre estuvo ahí cuando más la necesite, dándome ánimo y consejos, aún en los momentos de mayor presión o dificultad, siempre tuvo palabras para alentarme y motivarme a seguir adelante, gracias por todo el amor y apoyo.

Por último, lo dedico a mis abuelos y hermanas, que siempre me han tenido presente y han formado parte de mi formación personal, pues desde pequeño siempre me han inculcado diferentes valores que me hacen ser la persona que soy el día de hoy, por lo cual estoy muy agradecido.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a todos los buenos docentes que tuve en cada una de las materias durante mi estancia en la facultad, quienes siempre dan lo mejor de sí por el aprendizaje de sus alumnos y siempre estuvieron abiertos a apoyarme en todo lo que necesité.

Agradezco en especial a mi director de tesis, Dr. Juan Pablo Amézquita Sánchez, por su asesoría, consejo y compromiso para realizar este proyecto, pues en gran parte él siempre me impulso a trabajar y terminar este trabajo, lo cual demuestra el compromiso y amor que tiene tanto por la investigación y la enseñanza, sin lugar a dudas uno de los mejores docentes que tiene la facultad de ingeniería.

Agradezco también a los sinodales designados para este proyecto, puesto que todos sus consejos y sus observaciones fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Por último, agradezco a todos mis amigos y compañeros tanto de la universidad como de fuera de ella, que, entre risas, bromas y muchas otras circunstancias, aligeraron este camino y lo volvieron más divertido, un abrazo grande para cada uno de ustedes.

ÍNDICE GENERAL.

RESUMEN.....	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
ÍNDICE GENERAL.	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
Capítulo I	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Antecedentes.	3
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivos.	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos particulares.	6
1.5 Planteamiento General.....	7
Capítulo II	9
2.1 Revisión de la literatura.....	10
2.2 Pulsioximetría.....	10
2.3 Etanol en el organismo.....	12
2.3.1 Límites de alcoholemia	12
2.3.2 La concentración de alcohol en sangre	13
2.3.3 Concentración de alcohol en aliento.....	14
2.3.4 Conocimientos sobre los efectos que provoca el alcohol en el cuerpo humano	15

2.4	Sistema de adquisición.	16
2.4.1	Software Arduino IDE.	16
2.4.2	Sensor.	17
2.4.3	Acondicionamiento, adquisición y envío de los datos.	19
2.5	Procesamiento de datos.	20
2.5.1	Software MATLAB.	21
2.5.2	Indicadores estadísticos.	22
2.5.3	Método de Kruskal-Wallis	26
Capítulo III	28
3.1	Metodología propuesta.....	29
3.2	Construcción del sistema de adquisición	30
3.2.1	Arduino Mega	30
3.2.2	Sensor de pulsioximetría	30
3.2.3	Sensor de Gas.....	31
3.2.4	Dispositivo de monitoreo.	32
3.3	Comité de bioética (Matriz de pruebas).....	35
Capítulo IV	39
4.1	Puesta de experimento	40
4.2	Toma de muestras	41
4.3	Resultados.	43
Capítulo V	52
5.1	Conclusiones.....	53
5.2	Prospectivas.....	54
6.	Anexos.	55
A.1	Aprobación del consejo de ética.....	55

A.2 Carta de consentimiento informado.....	56
A.2 Carta de confidencialidad.....	57
7. Referencias.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1.1 Planteamiento general.....	7
Figura 2.1 Esquemas de funcionamiento del pulsioxímetro mediante transmisión y reflexión.....	11
Figura 2.2 Elementos del software Arduino.....	17
Figura 2.3 Pantalla principal de MATLAB.....	21
Figura 2.4 Distribución de datos para conjuntos con características (a) similares y (b) no similares.....	27
Figura 3.1 Metodología propuesta.....	29
Figura 3.2 Arduino Mega 2560.....	30
Figura 3.3 Módulo Sensor de frecuencia cardiaca y Oxigeno Max30102.....	31
Figura 3.4 Sensor De Alcohol-Etanol MQ3.....	32
Figura 3.9 Armado del prototipo.....	34
Figura 4.1 Ubicación de los sensores (a) MQ3 (b) Max30102.....	40
Figura 4.2 Sistema de recolección de datos instalado completamente.....	41
Figura 4.3 Ejemplo de una toma de muestras.....	42
Figura 4.4 Guardado de diferentes pruebas.....	42
Figura 4.5 Guardado de datos en los archivos de prueba.....	43
Figura 4.6 Guardado de datos en los archivos CSV y renombrado.....	44
Figura 4.7 Generación de variables.....	45
Figura 4.8 Guardado de variables con el respectivo tiempo de ventaneo.....	45
Figura 4.9. Característica que no tiene capacidad de ser asociada al fenómeno evaluada a través del método de Kruskal-Wallis (a) valor de probabilidad y (b) distribución de los datos.....	46

Figura 4.10 Característica que no tiene capacidad de ser asociada al fenómeno evaluada a través del método de Kruskal-Wallis (a) valor de probabilidad y (b) distribución de los datos.	47
Figura 4.11 Distribución de los 17 indicadores estadísticos ordenados para los datos del sensor Max30102 para una ventana de tiempo de 10 segundos.	48
Figura 4.12 Distribución de los 17 indicadores estadísticos ordenados para los datos del sensor de Gas MQ3 para una ventana de tiempo de 10 segundos.	48
Figura 4.13 Probabilidad de repetición y diagrama de cajas y bigotes de la mediana del sensor de Gas MQ3.	49
Figura 4.14 Valor máximo del conjunto 1, valor mínimo del conjunto 2 y límite del clasificador.	50

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 2.1 Clasificación de los niveles de alcoholemia.	13
Tabla 2.2 Comparación de diferentes tipos de bebidas	14
Tabla 2.1 Efectos según el nivel de alcohol en la sangre	15
Tabla 2.4 Formulas de los indicadores estadísticos.	23
Tabla 3.1 Total de pruebas	36
Tabla 4.1 Comparación de los datos de las pruebas realizadas y eficacia del clasificador.	51

Capitulo I

1.1 Introducción.

Al día de hoy, la industria automotriz invierte grandes cantidades de tiempo y dinero en el desarrollo e investigación de nuevos sistemas que faciliten y mejoren la experiencia de los usuarios, entre estos sistemas se incluyen también los sistemas de seguridad, con el fin de evitar accidentes y con ello salvaguardar la integridad de los conductores y los usuarios de los vehículos (Forbes, 2015). Sin embargo, algunos conductores ignoran el uso correcto de estos sistemas y de la normatividad nacional, y cometen la imprudencia de conducir en condiciones no aceptables como a velocidades superiores a los límites establecidos, en estado de ebriedad, o entre muchas otras más, lo cual puede ser la causa de diferentes accidentes de tránsito (OPS, 2017).

De acuerdo con el reporte realizado por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), el 75.04% de los accidentes de tránsito en carreteras federales son responsabilidad del conductor, teniendo como causas principales conducir en estado etílico, bajo medicación o el consumo de drogas, incluyendo también descuido por sueño o cansancio (Cuevas, 2021); sin contar todos los accidentes de tránsito que ocurren fuera de las carreteras federales, carreteras que son monitoreadas por instancias estatales o municipales en las cuales también ocurren gran número de accidentes por las mismas causas (CONAPRA, 2013).

Por las razones antes mencionadas, este proyecto/trabajo de tesis se centrará en el desarrollo de un dispositivo capaz de identificar personas que se encuentran bajo los efectos del alcohol, el cual será controlado por una tarjeta Arduino para monitorear y evaluar el comportamiento de diferentes participantes, antes y después de ingerir bebidas alcohólicas. Para realizar esta tarea, se emplean las mediciones de un sensor de la calidad del aire para detectar alcohol en el aire denominado sensor MQ3 y el pulso cardíaco de estos mismos participantes por medio de la pulsioximetría mediante el sensor denominado MAX30102 con la finalidad de analizar los datos recabados y mediante análisis estadísticos determinar cuando una persona tenga una alteración en su estado de conciencia, la cual le impida o limite su capacidad para conducir, una vez que el sistema tome una decisión según

sea el caso, se pueda informar al usuario si se encuentra en condiciones óptimas para conducir o no.

1.2 Antecedentes.

En los últimos años, se ha propuesto diversos trabajos a nivel internacional enfocado al monitoreo de conductores con el fin de determinar si se encuentran bajo los efectos del consumo del alcohol. Por ejemplo, Ben-Nassi (2016) presentó un sistema de monitoreo basado en dispositivos comerciales tales como Google Glass, LG G-watch, y Microsoft Band para determinar el grado de alcohol en 30 participantes. Los resultados fueron comparados con un alcoholímetro comercial empleado por la policía, obteniendo niveles de alcohol en la sangre muy similares a los obtenidos por el alcoholímetro comercial. Brito et al. (2020) implementó un sistema basado en la Raspberry Pi3 en conjunto con el sensor MQ3 (detector de alcohol en el aire) para bloquear o desbloquear el sistema de encendido de un automóvil de acuerdo a un valor de umbral de acuerdo con las señales enviadas por el sensor. Los autores mencionan que el sistema presenta una eficacia del 90% para detectar la presencia de automovilistas bajo el efecto del alcohol. De manera similar, Muthukarpan (2020) desarrolló un sistema basado en la tarjeta arduino ATMEGA 256 que en conjunto con el sensor MQ2 limitaba el funcionamiento de motores de corriente directa alimentados por la misma tarjeta en caso de presencia de vapores de alcohol superiores a los límites establecidos. Así mismo, ejemplificaba un funcionamiento continuo en caso de que el “conductor” está consumiendo alguna bebida alcohólica y supera los valores de concentración permitidos, el vehículo disminuirá su velocidad y notificará a un contacto de emergencia. Los autores mencionan que el sistema presenta una eficacia del 80% para detectar la presencia de automovilistas bajo el efecto del alcohol según el número de copas ingeridas y la posición del conductor.

A pesar de los resultados prometedores en los antecedentes a nivel internacional, es importante seguir investigando otros métodos con el fin de diferenciar una persona bajo los efectos del alcohol de una persona que no está alcoholizada con una mayor certeza. Adicionalmente, con el proyecto de

investigación a realizar se pretende investigar la fusión de sensores, o implementos que faciliten el tener una mayor certeza en la detección de alcohol en conductores, puesto que por ejemplo el sensor MQ3 se puede ver limitada su eficiencia ya que depende del poder captar correctamente la concentración de alcohol en el aire, además que se investiguen sensores que no sean invasivos como los presentados en el trabajo de Ben-Nassi (2016).

Por otro lado, localmente, en la UAQ, se han presentado diversos trabajos de tesis relacionadas con el monitoreo y procesamiento de señales provenientes del cuerpo humano o fisiológicas con el fin de asociarlas a un fenómeno estudiado tal como enfermedades. En este sentido, Cruz (2018) integró el método de la descomposición empírica de modos, dimensión fractal (DF) y redes neuronales artificiales (RNA) para la clasificación del pensamiento humano imaginado de manera automática haciendo uso de señales electroencefalográficas (EEG). Por otro lado, Ruiz (2019) investigó los indicadores de Hjorth (IH) en conjunto con la transformada wavelet (TW) y una RNA para la clasificación del pensamiento humano imaginado de manera automática. Vargas (2019) investigó un nuevo método basado en la integración DF, entropías, y una RNA con el fin de poder predecir un infarto hasta 15 minutos antes del evento. Piña (2019) investigó la unión de la DF con lógica difusa para poder predecir un infarto hasta 60 minutos antes del evento. Últimamente, Romo (2020) combinó la TW, indicadores estadísticos y una RNA con el fin de identificar patrones en señales electromiográficas para asociarlas a los movimientos de un brazo. Bárcenas (2020) integró la DF con una RNA para la distinción de personas con y sin déficit cognitivo (DCL) empleando señales magnetoencefalográficas (MEG). La autora reporta que una eficacia del 73% es obtenida para poder diferenciar entre personas con y sin DCL. Por otro lado, Vargas (2020) integró la TW e IH con una RNA para diferenciar entre pacientes con y sin DCL utilizando señales MEG, donde una exactitud del 75% es obtenida. Es de suma importancia describir que las investigaciones realizadas en la UAQ se han centrado principalmente a la predicción de infartos, así como la clasificación de la imaginación motora y de personas sanas y con DCL; sin embargo, este trabajo centra la investigación y experimentación en lo referido a la identificación de patrones para la

clasificación/distinción entre personas alcoholizadas y personas que no han tomado alcohol, puesto que en esta universidad, aún no hay todavía trabajos de tesis que se enfoquen en este tema. Por lo tanto, esta tesis sentará las bases para la distinción de personas (conductores automovilísticos) en buen estado y estado de ebriedad.

1.3 Justificación.

A lo largo de los años, el número de accidentes de tránsito que ocurren en el país se ha incrementado, y según las estadísticas en un gran porcentaje está relacionado significativamente con la responsabilidad del conductor, las causas llegan a ser variadas pero una tasa muy alta de estas es el consumo de bebidas alcohólicas por parte de los conductores, lamentablemente no solo en el transporte privado, sino también en conductores de transporte público los cuales no muestran una responsabilidad con los usuarios del mismo (OPS, 2017). Debido a este problema se requiere del desarrollo de un sistema no invasivo que ayude a determinar si el conductor está en condiciones de conducir o no el vehículo, y así poder alertar al mismo o a un tercero, que el nivel de conciencia de la persona al volante no son óptimos para realizar esa actividad.

Por lo tanto, de acuerdo a lo antes mencionado, la principal justificación de este trabajo de tesis es el desarrollo de un sistema para la detección de personas en estado de ebriedad. En este sentido, este proyecto es de gran importancia puesto que puede mejorar la concientización de las personas sobre el estado en el cual conducen, ellos mismos o las personas responsables del volante en sus trayectos del día a día, para reducir el número de accidentes causados por el consumo de bebidas alcohólicas, de la misma manera aumentar la sensación de seguridad de los pasajeros en el transporte público, compartido o de aplicaciones de transporte, al saber que su conductor no se encuentra bajo la influencia del alcohol.

Adicionalmente, es importante destacar que este proyecto se basará en un sistema “no invasivo” para el usuario, puesto que al día de hoy existe gran cantidad de sistemas que permiten saber el grado de alcohol en una persona, tanto por el aliento (alcoholímetros) como por medio de la frecuencia cardiaca (parches, bandas,

etc.), sin embargo, es difícil que una persona alcoholizada coopere con estos procedimientos, y aún más si se va a restringir realizar una actividad como manejar su propio vehículo.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general.

Proponer y desarrollar una metodología basada en la integración de indicadores estadísticos (p. ej. moda, mediana, media cuadrática de las raíces, raíz media cuadrada, rango, media, varianza, desviación estándar, asimetría, kurtosis, 5th momento, 6th momento, factor de forma, factor de forma, factor de cresta, factor de impulso, factor de latitud) con un árbol de decisiones para detectar el alcohol-etanol en el aire a través de señales de pulsioximetría y el sensor MQ3 de manera automática.

1.4.2 Objetivos particulares.

1. Desarrollar e implementar un sistema de adquisición de datos basado en Arduino con la capacidad de monitorear y adquirir señales tales como pulsaciones, oxigenación y alcohol-etanol en el aire.
2. Programar los algoritmos de los diferentes indicadores estadísticos (moda, mediana, media cuadrática de las raíces, raíz media cuadrada, rango, media, varianza, desviación estándar, asimetría, kurtosis, 5th momento, 6th momento, factor de forma, factor de forma, factor de cresta, factor de impulso, factor de latitud) haciendo uso de la versión de prueba del software MATLAB con el fin de calcular o encontrar características de la señal monitoreada en el dominio del tiempo.
3. Analizar las señales adquiridas en los participantes mediante los algoritmos de procesamiento programados en el objetivo 2, con el fin de poder identificar características en las señales con el fin de asociarlas a la detección de alcohol-etanol en el aire.
4. Ejecutar un análisis estadístico haciendo uso del análisis de varianza para determinar las características con mayor capacidad estimadas en el objetivo 3.

5. Diseñar un clasificador, por ejemplo, un árbol de decisiones, utilizando las características con mayor capacidad calculadas en el objetivo 4 para poder determinar si existe o no alcohol-etanol en el aire de forma automática.
6. Llevar a cabo un análisis estadístico de las diversas pruebas adquiridas para validar la eficacia de la metodología propuesta en la distinción entre ambas condiciones.

1.5 Planteamiento General

La Figura 1.1 muestra el planteamiento general de este proyecto de tesis, el cual es dividido en 6 etapas descritas a continuación:

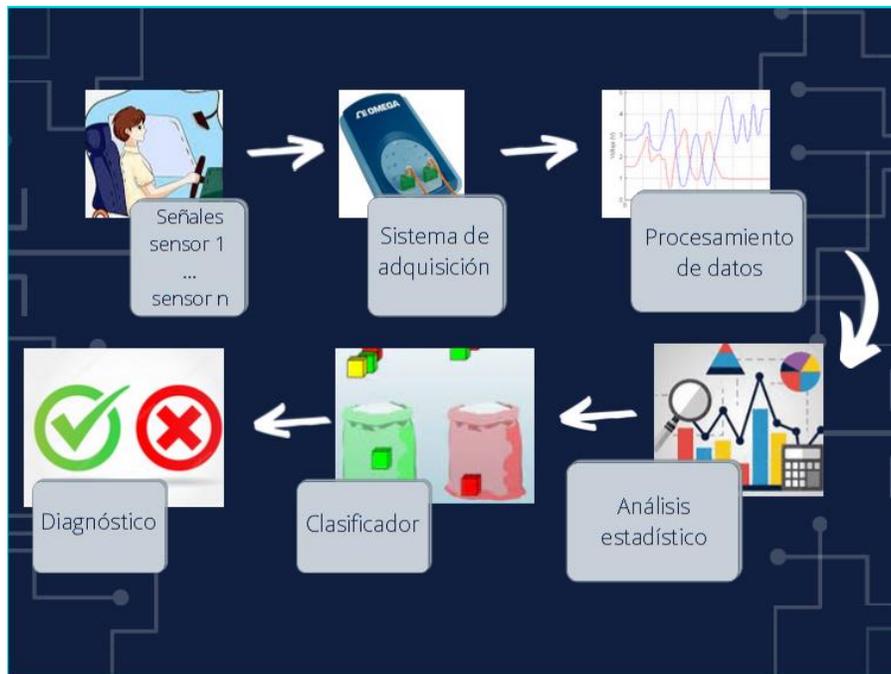


Figura 1.1 Planteamiento general.

1. **Señales.** La primera etapa del planteamiento general está enfocada en el entendimiento e identificación de las señales que se utilizarán para realizar este proyecto, en este caso se refiere al aire exhalado por un usuario y a su señal de ritmo cardiaco estimado por un pulsioxímetro.
2. **Sistema de adquisición de datos.** Se desarrollará un dispositivo controlado por Arduino, el cual a través de diferentes sensores será capaz de adquirir

las señales del aire, así como las pulsaciones por minuto del usuario, evitando ser invasivo para el mismo.

3. **Procesamiento.** Al obtener las señales en el estado anterior estas serán procesadas bajo diferentes técnicas en el dominio del tiempo, en específico por medio de indicadores estadísticos, con el fin de poder estimar características en estas señales con el fin de asociarlas al fenómeno estudiado.
4. **Análisis estadístico.** Una vez procesada la información de diversos participantes con los indicadores estadísticos, esta será analizada por medio de un análisis de varianza con el fin de determinar cuáles indicadores son los más aptos para detectar alcohol-etanol en el aire.
5. **Clasificación.** Una vez estimados los indicadores estadísticos más relevantes, estos son empleados para generar un clasificador basado en un umbral para determinar de manera automática si existe o no alcohol en el aire con el fin de mandar una advertencia al usuario con la cual se alertará al conductor que no está en condiciones de manejar.

Capitulo II

2.1 Revisión de la literatura

En este capítulo se enfoca en la descripción de los fundamentos teóricos que rigen el planteamiento general y la metodología propuesta. En este sentido, se abordan temas referentes a la pulsioximetría, etanol en el organismo, sistema de adquisición, así como las técnicas procesamiento para el tratamiento de las mismas señales.

2.2 Pulsioximetría

La pulsioximetría es un método utilizado para la estimar el porcentaje de oxígeno en la sangre, así como el ritmo cardiaco de una persona, este método se caracteriza por ser un método económico y en lo principal un método no invasivo. (Jubran, 1999). En particular, la pulsioximetría es un método de transiluminación, el cual científicamente basa su funcionamiento en dos principios físicos (Jubran, 1999):

- La presencia de una señal de pulso que se genera por la sangre arterial la cual se podría decir que es independiente a la sangre venosa y capilar, así como otros tejidos.
- La característica que presenta la hemoglobina de mostrar diferente espectro de absorción según se encuentre en un estado oxigenado o más reducido.

Generalmente, la pulsioximetría es aplicada sobre el dedo índice, pero debido a las características del cuerpo humano, también es posible tomar las muestras sobre dedos del pie, el caballete de la nariz, la frente e incluso en ocasiones del lóbulo de la oreja (Aoyagi, 1974; Cheng, 1988). El funcionamiento del dispositivo consiste en aislar el flujo de sangre pulsátil, la cual corresponde con los vasos arteriales. El dispositivo emite diferentes longitudes de onda de luz que pasan a través del dedo, los cuales funcionan a manera de transmisión y reflexión según sea el tipo del sensor (ver Figura 2.1).

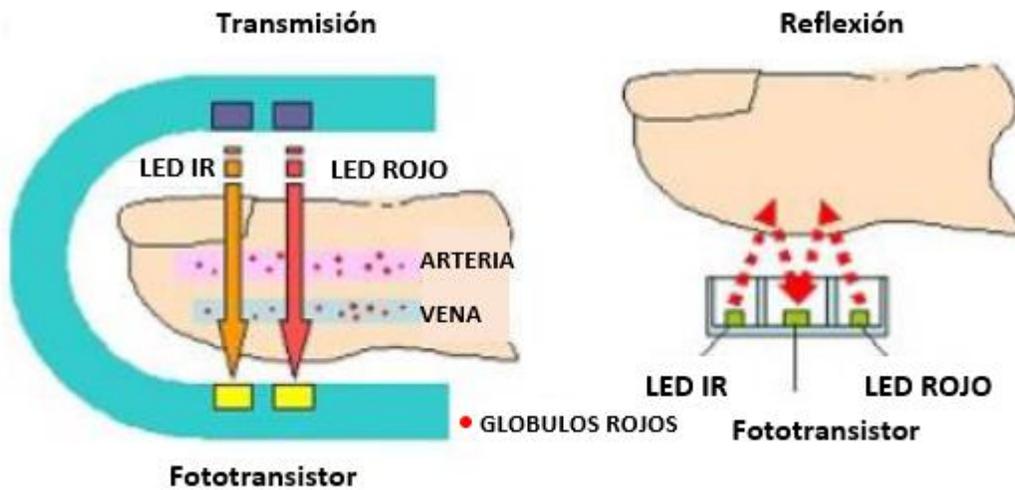


Figura 2.1 Esquemas de funcionamiento del pulsioxímetro mediante trasmisión y reflexión (Jubran, 1999).

Lo que trabaja sobre la luz es la hemoglobina, la cual es una molécula presente en la sangre cuya función es transportar el oxígeno. Esta molécula absorbe diferentes cantidades de luz según el nivel de oxígeno que posee en ese momento (Jubran, 1999).

Se tiene conocimiento que en la hemoglobina existe una diferencia espectrométrica en la absorción de luz cuando se encuentra oxigenada y cuando no lo está; siendo así, esta absorbe dos longitudes de onda distinta (660nm y 920nm, respectivamente). De este modo, el dispositivo puede distinguir si se trata de sangre arterial o venosa según la diferencia de presiones para, posteriormente, por medio de la medición de la absorción de un haz de luz roja o infrarroja estimar la proporción de hemoglobina oxigenada que posee la sangre, así como las pulsaciones por minuto que ejerce el corazón (Jubran, 1999).

2.3 Etanol en el organismo.

Los alcoholes son un grupo de compuestos orgánicos que se derivan de los hidrocarburos y están compuestos por grupos de hidroxilos (-OH), según la terminología química. El etanol o alcohol etílico (C₂H₅OH) es uno de los principales componentes psicoactivos de las bebidas alcohólicas (Salud, 1994), y se caracteriza por ser un líquido claro, incoloro, inflamable, volátil, miscible en cloroformo y éter, y de infinita solubilidad en agua. Aporta 7,1 kilocalorías por gramo, pero no aporta nutrientes como proteínas, minerales o vitaminas (Álvarez, 2001). Es absorbido rápidamente por el sistema digestivo y distribuido por el cuerpo a través del torrente sanguíneo, y se considera un depresor del sistema nervioso central. Una bebida alcohólica estándar, como una lata de cerveza de 330 ml al 5%, un vaso de destilados de 40 ml al 40% o una copa de vino de 140 ml al 12%, contiene cerca de 10 g de alcohol, según la Organización Mundial de la Salud (Salud, 1994).

El consumo de bebidas alcohólicas se clasifica según el proceso de preparación al que se someten, y su efecto en el organismo se mide en términos de bebidas estándar consumidas o en gramos de alcohol consumidos. El etanol es la droga más consumida en los países occidentales y se obtiene a través de la fermentación de sustancias azucaradas, celulosa y almidón que forman parte de las bebidas alcohólicas. Su consumo puede generar disminución de los reflejos, alteraciones de la conducta y una alta morbi-mortalidad (Jiménez, 1995). La concentración de etanol en el aire exhalado es utilizada para medir su efecto en la capacidad de manejar de una persona, ya que la concentración en el aire exhalado está equilibrada con la que se presenta en la sangre y, a su vez, en el cerebro (Azpeitia & Ponza, 2003).

2.3.1 Límites de alcoholemia

Para estandarizar el trabajo de municipios y estados, donde es tomado en cuenta: (1) las poblaciones de mayor riesgo, (2) el trabajo de más de 15 expertos en la materia y (3) las estadísticas de accidentes y/o fatalidades donde hubo alcohol involucrado; en este sentido, el CONAPRA (2013) efectuó clasificaciones de la

alcoholemia como se observa en la Tabla 2.1, donde diversos límites son recomendados:

- Los conductores del transporte público, 0.00 mg/L para:
 - Todo transportista (microbuses, peseros, taxis, combis, etcétera).
 - Conductores relacionados con el transporte público federal.
- Conductores particulares 0.00 mg/L para:
 - Jóvenes conductores con una edad menor de 21 años.
 - Adolescentes con una edad de entre 16 y 18 años con permisos de conducir (no licencias).
- 0.40 mg/L para:
 - Conductores con una edad mínima o mayor de 21 años.

Tabla 2.1 Clasificación de los niveles de alcoholemia (CONAPRA, 2013).

Grado de alcoholemia dado en mg/L	Clasificación
0.40 mg/L en adelante	No apto para conducir
0.20 a 0.39	Ebrio incompleto
0.08 a 0.19	Aliento alcohólico
0.01 a 0.07	Tolerancia

2.3.2 La concentración de alcohol en sangre

Existen diversas concentraciones y tipos de alcohol. En particular, , los licores con una concentración alta son consumidos en menores cantidades, a diferencia de los que presentan una menor concentración. La Tabla 2.2 muestra de manera resumida una comparativa entre los diversos tipos de bebidas (CONAPRA, 2013).

Tabla 2.2 Comparación de diferentes tipos de bebidas (CONAPRA, 2013).

Bebida	ml de alcohol	Tamaño de porción	% de alcohol
Cerveza light	12.43	355 ml	3.5%
Cerveza (lata)	17.75	355 ml	5%
Licores 1 medida	17.75	44 ml	40%
Vino copa	17.75	148 ml	12%

Cada individuo que consume bebidas alcohólicas experimenta efectos distintos que dependen de la velocidad y cantidad de ingesta. A diferencia de los alimentos, el alcohol no necesita ser digerido, ya que aproximadamente el 80% del alcohol ingerido es absorbido directamente por el torrente sanguíneo a través del intestino delgado, mientras que el 20% restante es absorbido por el estómago (Azpeitia & Ponza, 2003). Luego, el alcohol se distribuye por todo el cuerpo a través de la sangre. La sangre transporta las moléculas de alcohol al corazón, los pulmones, el hígado y al resto del cuerpo, incluyendo el cerebro. Por lo tanto, la concentración de alcohol está directamente relacionada con el contenido de agua de cada individuo. En consecuencia, la concentración de alcohol en cada ser humano puede variar según su masa corporal, peso y cantidad de agua corporal (CONAPRA, 2013).

2.3.3 Concentración de alcohol en aliento

La transformación del alcohol presente en la sangre en alcohol en el aliento ocurre en los alvéolos, que son sacos de tejido sanguíneo derivado del corazón. Las paredes de estos tejidos son permeables a varias moléculas, incluyendo el alcohol (Hernández, 2015). Las moléculas de alcohol que se encuentran en los vasos capilares de los alvéolos se evaporan en el pulmón a través de la difusión, lo que

permite que se detecten en el aliento. De esta manera, una determinada cantidad de alcohol, proporcional a la concentración en la sangre, se transporta de la sangre hacia los sacos de aire alveolar en los pulmones. Por lo tanto, es posible establecer la concentración alcohólica en el aliento y, en base a ello, determinar con precisión la concentración o cantidad en la sangre mediante el análisis de una muestra de aire alveolar.

En particular, los controles de tráfico para detectar conductores que han consumido alcohol o están ebrios utilizan instrumentos que se basan en el aliento del conductor para estimar el nivel de concentración de alcohol en el aliento y, a partir de esto, establecer el nivel de alcoholemia del conductor. La medición de alcohol en la sangre se determina mediante pruebas de laboratorio y se expresa en porcentaje de la concentración de alcohol en la sangre o g/L (CONAPRA, 2013).

2.3.4 Conocimientos sobre los efectos que provoca el alcohol en el cuerpo humano

La ingesta o toma de alcohol (la cual es dependiente de la cantidad ingerida, la vulnerabilidad individual y el metabolismo) puede llegar a convertir a una persona en alguien totalmente diferente de cómo es habitualmente, lo cual es descrito en la Tabla 2.3. Por ejemplo, cuando una persona tiene más de 2mg/L de alcohol en la sangre se encuentra en peligro de perder la vida.

Tabla 2.1 Efectos según el nivel de alcohol en la sangre (CONAPRA, 2013).

mg/L	Efecto
0.05 - 0.25	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Incrementa la excitabilidad neuronal y las frecuencias respiratoria y cardiaca. ▪ Euforia leve, relajamiento y placer. ▪ Afecta la conducta. ▪ Disminuyen las funciones cerebrales en general.
0.30 - 0.50	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disminución de la paciencia. ▪ Ansiedad y depresión. ▪ Disminución en la habilidad para tomar decisiones racionales y de buen juicio. ▪ Sedación generalizada.

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disminución de la atención y nivel de alerta, reacción lenta, pérdida de la coordinación y fuerza muscular disminuida.
0.50 - 0.80	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Si el nivel de alcoholemia se alcanza muy rápido se puede presentar vómito. ▪ Voz arrastrada. ▪ Alteración del equilibrio y del movimiento. ▪ Incremento dramático en el tiempo de reacción.
0.80 - 1.50	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impedimento severo de la movilidad. ▪ Impedimento severo de los sentidos, incluyendo la conciencia a estímulos externos.
1.50 - 2.00	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Muerte en algunos casos. ▪ Pérdida de la conciencia. ▪ Estupor.
2.00 o más	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Muerte. ▪ Inconciencia. ▪ Paro respiratorio.

2.4 Sistema de adquisición.

Como ya es conocido, la adquisición de datos o DAQ es el proceso de digitalización de datos provenientes de fenómenos encontrados en el mundo para que estos puedan ser visualizados, analizados y almacenados en un sistema hardware tal como una computadora. Un sistema de adquisición de datos consta de tres componentes básicos: sensores, acondicionamiento de señales y convertidores de analógico a digital (ADC) (Nakayoshi, y otros, 2009).

2.4.1 Software Arduino IDE.

Arduino es considerada como una plataforma electrónica de código abierto, la cual se basa en hardware y software de fácil uso. Las placas Arduino tienen la capacidad de leer entradas (luces en sensores, dedos en botones, etc.) y convertirlas en salidas: activar motores, encender LED, publicar contenido en línea. Para ello se emplea el lenguaje de programación propio de Arduino (basado en Wiring) y el software Arduino basado en Processing (IDE) (Arduino, 2021).

Arduino IDE se caracteriza por ser un software de código abierto, el cual se emplea de manera principal para escribir y compilar código en módulos Arduino.

Este también se conoce como el software oficial de Arduino, el cual puede ser instalado en Windows, Linux, MAC, así como otros sistemas operativos. Este se ejecuta en la plataforma Java y tiene comandos y funciones integradas, las cuales tienen un papel vital en la edición, depuración y compilación de código. Incluye principalmente dos partes básicas: Editor y Compilador, el primero se usa para escribir el código requerido, el segundo se usa para compilar y cargar el código en la tarjeta, el entorno admite lenguajes C y C ++ (ver Figura 2.2) (Arduino, 2021).

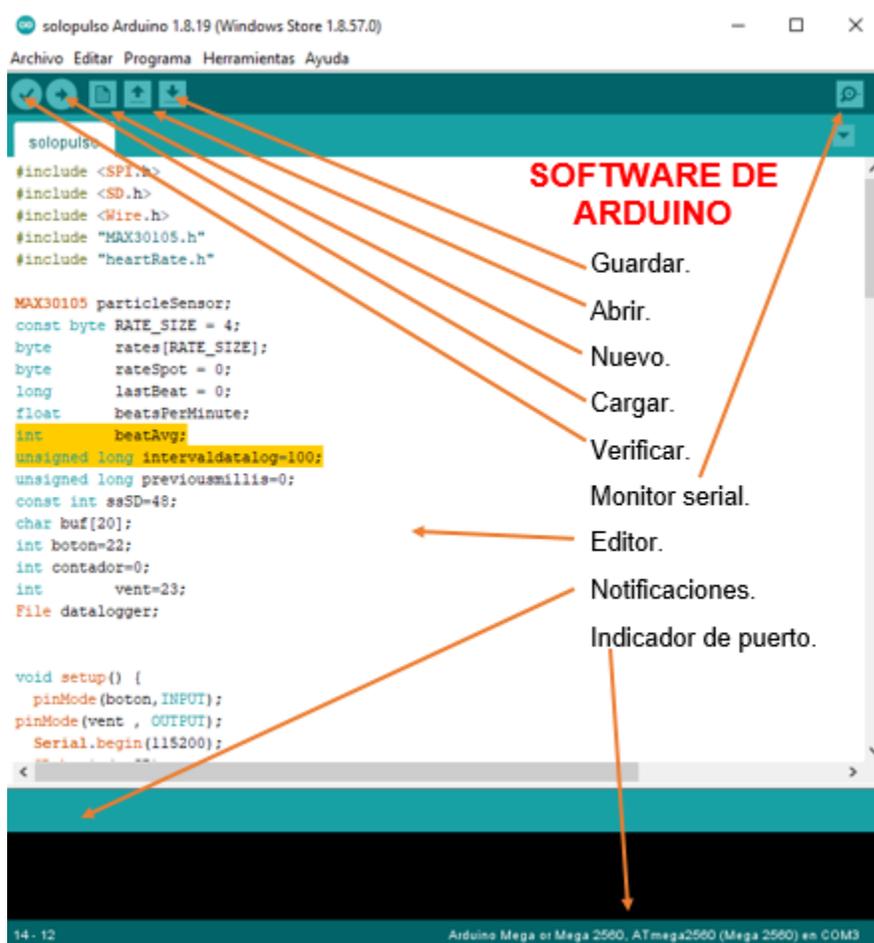


Figura 2.2 Elementos del software Arduino.

2.4.2 Sensor.

Un sensor es conocido como un elemento de medición que detecta la magnitud de un parámetro físico y lo convierte en una señal que puede ser

procesada por un sistema de adquisición de datos. El elemento activo del sensor se llama transductor (LATAM, 2021).

Los sistemas de monitoreo se basan en sensores con la capacidad medir cantidades físicas como la posición lineal, la posición angular, el desplazamiento, la tensión, la aceleración, la presión, el flujo, la fuerza, la velocidad lineal y angular, la temperatura, la intensidad de la luz, la distancia y la vibración. Por lo cual, los sensores son dinámicos y muestra el comportamiento entre los cambios en el valor de entrada y el valor proporcionado por el convertidor cuando alcanza el valor de estado estable. A continuación, se describen algunas características importantes a considerar en los sensores (LATAM, 2021):

- **Tiempo de respuesta:** Se refiere al tiempo que pasa desde que aplicamos una entrada constante al sensor, hasta que su transductor nos muestra una respuesta en consecuencia a la salida correspondiente en específico cuándo es cercano al 96% del valor asignado a la entrada.
- **Constante de tiempo:** Se llama así a la inercia del sensor y refiere al tiempo que tarda en modificarse las variaciones de las señales de entrada. Es importante mencionar que, si la constante de tiempo es mayor, va a ser más lenta la respuesta del sensor ante las variables de la entrada.
- **Tiempo de levantamiento:** Es el tiempo que necesita la señal de salida para alcanzar un porcentaje especificado en un estado estable.
- **Tiempo de asentamiento:** Indica el tiempo que necesita la salida para alcanzar un porcentaje de un valor determinado.

Existen diferentes sensores incluso para medir las mismas magnitudes físicas, para elegirlos adecuadamente se debe conocer las magnitudes físicas que se van a medir, así como las especificaciones y características de los sensores, las cuales pueden facilitar las tareas a realizar en especial si son tareas específicas, de

esta manera hay factores que debemos considerar como los siguientes (LATAM, 2021):

- **Intervalo:** refiere a los límites en los cuales puede operar la entrada de un sensor transductor.
- **Error:** se llama así a la diferencia que existe entre el resultado mostrado por el sensor y el valor verdadero. La mayoría de los errores se pueden prevenir o corregir con calibraciones o compensaciones con el equipo óptimo.
- **Exactitud:** indica que tan cerca se encuentra el valor real del valor medido.
- **Precisión:** indica la capacidad del sensor de dar el mismo resultado, en pruebas bajo condiciones iguales.
- **Sensibilidad:** refiere a la capacidad de cambio del sensor, que tanto puede percibir la variación en los estímulos de la variable a medir.
- **Repetitividad:** es la capacidad del sensor para efectuar el mismo resultado de salida habiendo aplicado repetidas ocasiones el mismo valor de entrada.
- **Estabilidad:** es la capacidad de indicar la misma salida cuando se mide una entrada constante en cierto período de tiempo.
- **Tiempo muerto:** es el intervalo de tiempo donde los valores de entrada no tienen respuesta de salida.
- **Resolución:** indica el valor de entrada mínimo que es capaz de reflejar un cambio perceptible en los valores de salida.

2.4.3 Acondicionamiento, adquisición y envío de los datos.

a) Acondicionamiento

Las señales de salida del sensor a menudo son incompatibles con el hardware de adquisición de datos. Para superar esta incompatibilidad, la señal resultante debe acondicionarse de alguna manera para que sea compatible con el hardware (Pallas-areny & Webster, 2001). El tipo de acondicionamiento depende

del sensor que se utilice, así como de los acondicionadores de señal, estos son elementos del sistema de medición que comienzan con una señal de salida de sensor eléctrico y luego producen una señal adecuada para transmisión, visualización o grabación, o que cumple con los requisitos de un equipo o dispositivo estándar posterior. Por lo tanto, el acondicionamiento consta de circuitos electrónicos que realizan generalmente las siguientes funciones: amplificación, cambio de nivel, filtrado, adaptación de impedancia, modulación y demodulación (Pallas-Areny & Webster, 2001)

b) Adquisición y envío de datos.

La adquisición de datos o señales se basa en la toma de muestras de fenómenos tales como vibraciones, desplazamientos, corrientes, voltajes, etc., para generar una base de datos que puedan ser manipulados por un sistema hardware tal como una computadora (MONCADA, 2012). En este sentido, la señal medida debe ser digitalizada por medio de un convertidor analógico-digital para su posterior envío a un sistema hardware a través de un protocolo de comunicación tal como USB, RS-232, etc., por lo que el objetivo principal de un sistema de adquisición de datos es proporcionar las herramientas y recursos necesarios para tomar/monitorear señales físicas y convertirlas en datos que posteriormente puedan procesados y visualizados por un sistema hardware (Pallas-areny & Webster, 2001).

2.5 Procesamiento de datos.

El procesamiento de datos ocurre cuando los datos recolectados son transformados en información de utilidad. Es decir, el procesamiento comienza con los datos en su forma original y los transforma en un formato más legible (gráficos, características, etc.), dándoles forma y contexto para que sean más fáciles de interpretar y usar (Bourque & Clark, 1992).

2.5.1 Software MATLAB.

MATLAB es software de alto desempeño con un entorno de cálculo técnico que integra análisis numérico, cálculo matricial, procesamiento de señales y gráficos en un entorno amigable y fácil de usar, el cual cuenta con diferentes secciones en la pantalla las cuales nos facilitan la localización de las herramientas, así como de las funciones y variables (ver Figura 2.3), donde los problemas y las soluciones son expresados como se escriben matemáticamente (BALLÉN & SÁNCHEZ, 2001).

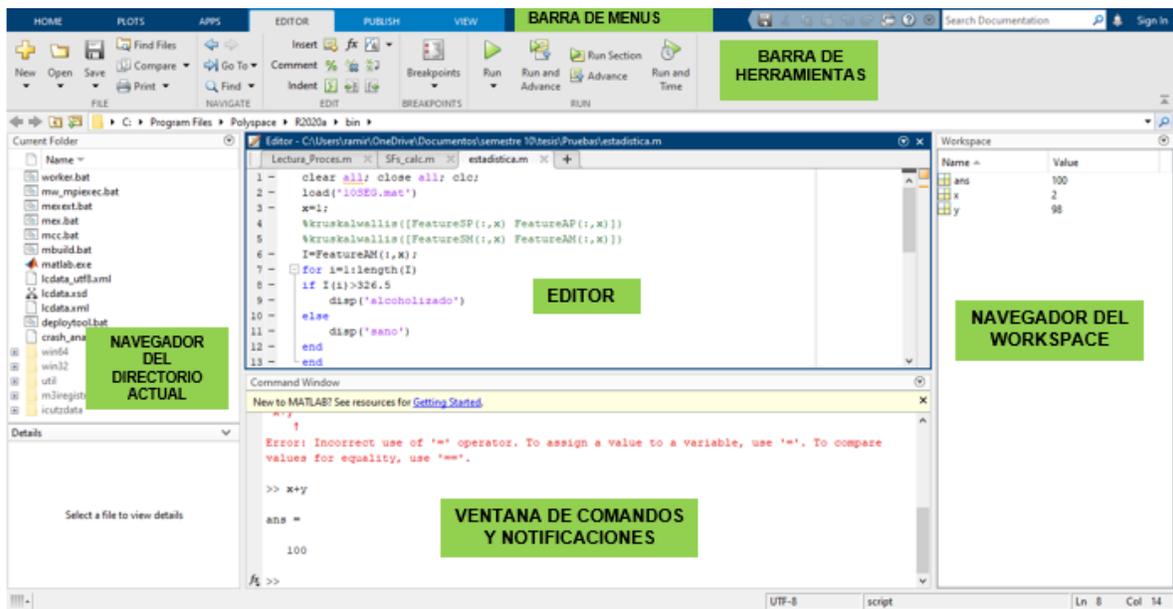


Figura 2.3 Pantalla principal de MATLAB.

MATLAB toma su nombre de "MAtrix LABoratory". Originalmente, MATLAB fue diseñado para proveer un fácil acceso al software de matriz desarrollado por los proyectos EISPACK y LINPACK, que de manera conjunta representan lo más avanzado en programas de computación matricial. MATLAB se caracteriza por ser un sistema interactivo, el cual se basa en datos matriciales que no requiere etiquetado, permitiendo resolver diversos problemas numéricos en menos tiempo que lenguajes tales como BASIC, C, o FORTRAN. Como caso especial, MATLAB también es capaz de manejar números escalares (reales y complejos), cadenas y

otras estructuras de información más complejas. Una de las características más atractivas es la producción de varios gráficos en 2D y 3D. Además, tiene su propio lenguaje de programación, que contiene el código básico y varias bibliotecas especializadas (cajas de herramientas) (BALLÉN & SÁNCHEZ, 2001).

Debido a que MATLAB es un software que emplea licenciamiento, en este trabajo de tesis se optó por utilizar su versión de prueba (enlace <https://www.mathworks.com/campaigns/products/trials.html>) con el fin de programar los distintos indicadores estadísticos para el análisis de las señales.

2.5.2 Indicadores estadísticos.

Para realizar el procesamiento de señales es de suma importancia la estimación de patrones o características con capacidad de asociarse a un fenómeno estudiado. En los últimos años, características como la fractalidad, la entropía, la distancia de Mahalanobis, los exponentes de Lyapunov, la dimensión de correlación, entre otras, han sido propuestas en la literatura para medir ciertas características o patrones en señales en el dominio del tiempo, pero su estimación requiere de complejas operaciones matemáticas y en ocasiones un alto costo computacional (Giannakopoulos & Pikrakis, 2014). En particular, los indicadores estadísticos han demostrado ser eficientes para la estimación de características o patrones a partir de señales no estacionarias como vibraciones, emisiones acústicas, electrocardiogramas, electroencefalogramas, entre otros, para evaluar el comportamiento del diagnóstico de maquinaria rotativa y el control de vigas o pocos elementos estructurales, aplicaciones médicas, entre otras (Figueiredo et al., 2009; Hossein et al., 2014; Abu-Mahfouz & Banerjee, 2017). Por lo tanto, los indicadores estadísticos son considerados como características poderosas con la ventaja de requerir menos operaciones matemáticas que otras características, ya que no se requiere una transformación de la señal, permitiendo generar resultados casi instantáneamente o en tiempo real, lo cual es esencial en el análisis del sistema de detección de conductores alcoholizados. Siendo así, en este trabajo de tesis se investigan las capacidades de 17 indicadores estadísticos para evaluar el estado de los conductores antes de iniciar el manejo.

En los últimos 20 años, diversos indicadores estadísticos como la mediana, la media, la varianza, entre otros, han sido propuestos en la literatura para medir cambios o patrones (por ejemplo, rango de valores, dispersión, asimetría, convergencia, entre otros) en las señales de tiempo. Por lo tanto, en este trabajo, los indicadores estadísticos más representativos como la moda, la mediana, la raíz media cuadrada (RMS), la raíz media cuadrada (SMR), el máximo, el rango, la media, la varianza, la desviación estándar la asimetría, la Kurtosis, los momentos estadísticos 5^o y 6^o, el factor de forma con RMS y SMR, la cresta y los factores de impulso y latitud se investigarán con el objetivo de determinar cuáles son los más capaces de evaluar el estado los conductores. La Tabla 2.1 presenta las formulaciones matemáticas de 17 indicadores estadísticos, donde x_i representa la señal de tiempo para $i = 1, 2, \dots, N$, donde N es el número de puntos de datos.

Tabla 2.4 Formulas de los indicadores estadísticos.

Eq.	Indicador	Definición	Formula
(1)	Moda (MO)	Valor que aparece con mayor frecuencia en un conjunto de datos.	$X_{mo} = f(x_i)$
(2)	Mediana (ME)	Valor central en un conjunto de datos.	Para numeros impares $x \left(\frac{N+1}{2} \right)$ Para números pares $\frac{1}{2} \left(x \left(\frac{N}{2} \right) + x \left(\frac{N}{2} + 1 \right) \right)$
(3)	Media cuadrática de las raíces (RMS)	Valor de energía de un conjunto de datos y se estima como la raíz cuadrada del promedio	$X_{rms} = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}$

		de los elementos al cuadrado.	
(4)	Raíz media cuadrada(SMR)	Valor inverso del RMS	$X_{smr} = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{x}_i ^{\frac{1}{2}} \right)^2$
(5)	Rango(RG)	Valor definido entre el valor máximo y el mínimo de un conjunto de datos.	$X_{rg} = \max(\mathbf{x}_i) - \min(\mathbf{x}_i)$
(6)	Media(M)	Valor promedio de un conjunto de datos.	$X_{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{x}_i$
(7)	Varianza (VAR)	Valor que mide la dispersión de un conjunto de datos respecto a su media.	$X_{\sigma^2} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \mathbf{x}_i - X_{\mu} ^2$
(8)	Desviación estándar (SD)	Valor de dispersión de una distribución de datos.	$X_{\sigma} = \sqrt{X_{\sigma^2}}$
(9)	Asimetría (SK)	Valor de simetría que presenta una distribución de datos.	$X_{sk} = \frac{\sum_{i=1}^N (\mathbf{x}_i - X_{\mu})^3}{(N-1)X_{\sigma}^3}$
(10)	Kurtosis (KU)	Valor del grado de concentración que presentan los valores de una variable alrededor de la zona central de la distribución.	$X_{ku} = \frac{\sum_{i=1}^N (\mathbf{x}_i - X_{\mu})^4}{(N-1)X_{\sigma}^4}$

(11)	5th Momento (5th M)	Valor de asimetría de un conjunto de datos.	$X_{5^{th}m} = \frac{\sum_{i=1}^N (\mathbf{x}_i - X_{\mu})^5}{(N-1)X_{\sigma}^5}$
(12)	6th Momento (6th M)	Valor de asimetría de un conjunto de datos.	$X_{6^{th}m} = \frac{\sum_{i=1}^N (\mathbf{x}_i - X_{\mu})^6}{(N-1)X_{\sigma}^6}$
(13)	factor de forma (con rms) (SFrms)	Valor de normalización del RMS debido a su división entre la media del conjunto de datos.	$X_{sfrms} = \frac{X_{rms}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{x}_i }$
(14)	factor de forma (con smr) (SFsmr)	Valor de normalización del SMR debido a su división entre la media del conjunto de datos.	$X_{sfsmr} = \frac{X_{smr}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{x}_i }$
(15)	Factor de cresta (CF)	Valor normalizado de el valor pico y el valor eficaz.	$X_{cf} = \frac{\max(\mathbf{x}_i)}{X_{rms}}$
(16)	Factor de impulso (IF)	Valor que estima la altura de un pico con respecto el nivel medio de un conjunto de datos.	$X_{if} = \frac{\max(\mathbf{x}_i)}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{x}_i }$
(17)	Factor de latitud (LF)	Valor máximo absoluto dividido entre SMR	$X_{lf} = \frac{\max(\mathbf{x}_i)}{X_{smr}}$

Dado que existen muchos indicadores estadísticos y todos ellos miden diferentes características de una señal, es evidente que no todos pueden proporcionar información adecuada para permitir un diagnóstico correcto; en este

sentido, es necesario evaluar la capacidad de las diferentes variables para discriminado entre 2 o más clases. (Yanez-Borjas, et al., 2020).

2.5.3 Método de Kruskal-Wallis

El método de Kruskal-Wallis (o KWM por sus siglas en inglés) es considerado un análisis de la varianza no paramétrico, el cual tiene como función el comparar e identificar las diferencias entre dos o una cantidad mayor de conjuntos de datos (Kruskal & Wallis, 1952). Para realizar esta tarea, el KWM toma en cuenta las variaciones dentro de cada grupo, así como las variaciones entre grupos de datos, primariamente cuando la distribución de los datos analizados es desconocida o no normal. De manera particular, se estima un valor de probabilidad, conocido como valor p , el cual tiene la tarea de indicar la probabilidad de rechazar la hipótesis (hipótesis nula) de que los valores medios de los conjuntos de datos analizados son iguales. Por lo tanto, si el valor p es menor que un nivel significativo, valor entre 0.01 y 0.05 (Kutner, 2005), se descarta la hipótesis nula y es concluido que al menos una de las medias de los conjuntos de datos analizado es diferente de las demás. Consecuentemente, los valores de probabilidad que tienden a 0 indican que las características de datos analizados tienen una mayor capacidad para ser asociadas al fenómeno estudiado. Por ende, el valor p es empleado en este trabajo de tesis para determinar los indicadores estadísticos más discriminantes. Una vez elegidas las características con mayor capacidad para ser asociadas al fenómeno estudiado, y con el fin de automatizar el proceso, estas pueden ser empleadas para entrenar y validar diferentes algoritmos de aprendizaje automático como árboles de decisión, entre otros para dar un resultado automático (Yanez-Borjas et al., 2020).

De acuerdo con la Figura 2.4, se puede observar dos conjuntos de datos con valores similares (a) (valor de p tiende a 1), indicando que esta característica no es útil para diferenciar entre una persona no y si alcoholizada. Por otro lado, en (b) los valores en los conjuntos de datos son distintitos (valor de p tiende a 0), lo que indica que este indicador es adecuado para poder distinguir entre una persona alcoholizada y una que no ha tomado alcohol.

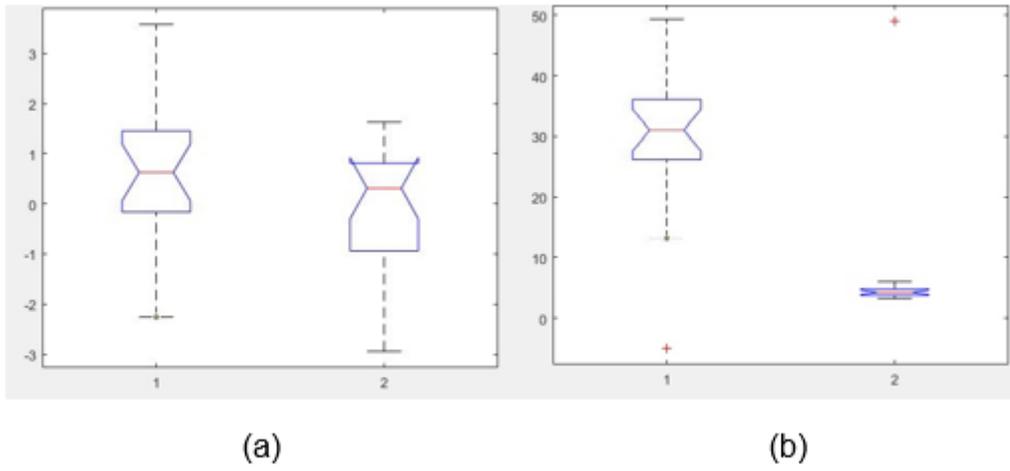


Figura 2.4 Distribución de datos para conjuntos con características (a) similares y (b) no similares.

Capitulo III

3.1 Metodología propuesta.

En este proyecto de tesis se pretende desarrollar un dispositivo basado en Arduino con la capacidad de determinar de manera automática la existencia de alcohol-etano en el aire con el fin de advertir al conductor con el fin de que este tome precauciones, ya que ha excedido los límites permisibles de alcohol para conducir o no, empleando diferentes señales tales como el pulso cardiaco (característica medida a través de un pulsioxímetro) y la concentración de alcohol en el aliento (característica medida a través de un sensor de gas llamado MQ3), siendo así considerados como sensores no invasivos para el usuario como se muestra en la Figura 3.1.

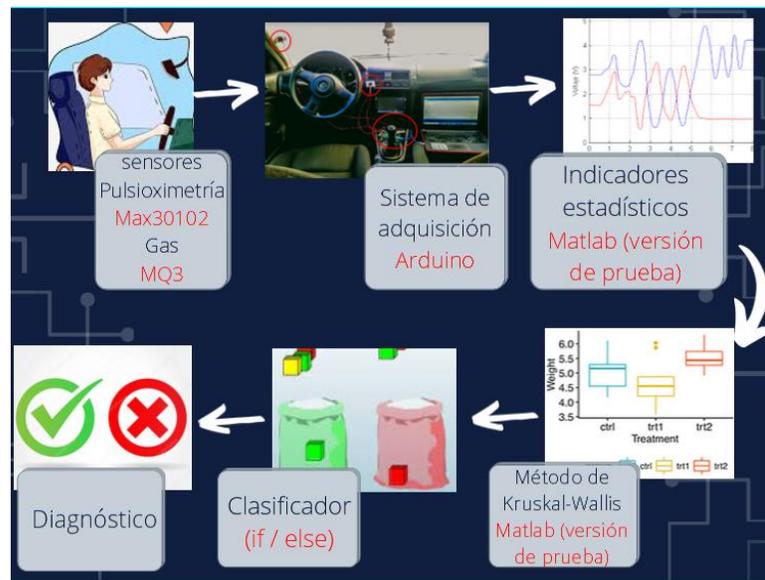


Figura 3.1 Metodología propuesta.

Una vez que los sensores se encuentran adquiriendo las señales, los datos son almacenado en una tarjeta SD para su posterior procesamiento en el software MATLAB, donde estas misma serán procesadas por medio de 17 indicadores estadísticos con el fin de identificar características en las señales que permitan ser asociadas al fenómeno estudiado con el fin de poder detectar la presencia de

alcohol-etanol y base a esto distinguir entre una persona sana y una que presenta ingesta de alcohol. Al haber aplicado los indicadores estadísticos, por medio de un análisis estadístico basado en el método de Kruskal-Wallis o análisis de varianza, se determina cual o cuales son los indicadores más capaces para determinar características que se puedan asociar al estudio realizado. Finalmente, ya seleccionados los indicadores más discriminantes, se propone un clasificador basado en reglas if-else con el fin de determinar la condición del conductor de manera automática.

3.2 Construcción del sistema de adquisición

3.2.1 Arduino Mega

Como se describe en la sección 3.1, el dispositivo estará basado en un controlador conocido como Arduino, de manera específica la tarjeta Arduino modelo mega 2560 (ver Figura 3.2). Esta es una placa de desarrollo se caracteriza por estar basada en un microcontrolador modelo ATmega2560, la cual presenta diversas características tales como. 16 entradas analógicas, 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 15 pueden ser usadas como salidas PWM), un cristal de 16Mhz, 4 UARTs, jack para alimentación DC, conector ICSP, conexión USB, y un botón de reseteo.



Figura 3.2 Arduino Mega 2560.

3.2.2 Sensor de pulsioximetría

El sensor MAX30102 (ver Figura 3.3) es un módulo pequeño de 14mm x 17mm que trabaja bajo el protocolo de comunicación conocido como I2C, el cual por el método de la pulsioximetría (descrito en la sección 2.2) toma lectura del pulso cardíaco desde el dedo índice del usuario. El dispositivo integra un pulsioxímetro y un pulsómetro. El sensor contiene dos LEDs: un LED rojo y un LED infrarrojo con longitudes de onda de 660nm y 920nm, así como un fotodetector, óptica dedicada, un filtro de luz ambiental entre 50 y 60Hz y un dispositivo de conversión ADC delta sigma de 16 bits, donde se puede obtener como máximo hasta 1000 muestras por segundo. Además, el encapsulado MAX30102 contiene un sensor de temperatura interno con el fin de compensar los efectos de la temperatura en la medición, ya que puede trabajar correctamente desde -40°C hasta +85°C.

El módulo MAX30102 requiere dos voltajes para funcionar: 1,8 V y 3,3 V, por lo que el módulo incluye dos reguladores de voltaje incorporados, por lo que solo se requiere una fuente de alimentación de 5 V. Su bajísimo consumo de corriente lo hace ideal para aplicaciones portátiles. En general, se puede usar para equipos de monitoreo médico, asistentes de acondicionamiento físico, etc.



Figura 3.3 Módulo Sensor de frecuencia cardíaca y Oxígeno Max30102.

3.2.3 Sensor de Gas

El módulo del sensor de alcohol MQ3 (ver Figura 3.4) se caracteriza por detectar la concentración de alcohol en el aliento, al igual que el común alcoholímetro (S.A.S, 2020). El MQ3 posee una alta sensibilidad y un tiempo de respuesta casi instantáneo. Cuenta con el amplificador integrado LM393. La sensibilidad se puede ajustar con un potenciómetro integrado para proporcionar la lectura adecuada para un sistema específico. Con unas medidas de 32 mm x 20 mm, el sensor es práctico y fácil de usar. El módulo dispone de salidas digitales vía

comparadores con umbrales ajustables y salidas analógicas que se pueden medir con cualquier microcontrolador o tarjeta de desarrollo. Tiene un orificio para tornillo para cambiar de modo digital a modo analógico. Es compatible con placas Arduino. Utiliza un circuito simple y tiene un LED indicador de funcionamiento. Este sensor responde mejor al vapor de etanol. Su funcionamiento es estable y su voltaje de trabajo es de 5V.



Figura 3.4 Sensor De Alcohol-Etanol MQ3.

3.2.4 Dispositivo de monitoreo.

Para el desarrollo del dispositivo de monitoreo aparte de los elementos descritos es necesario implementar algunos otros elementos, los cuales permitan la recolección de los datos, así como la instalación de los sensores y el dispositivo en el vehículo. En particular, la recolección de datos se emplea el módulo lector de tarjeta micro SD (ver Figura 3.5), así como un botón pulsador con una conexión en configuración pull down (ver Figura 3.6), el cual se encarga de realizar la tarea de incrementar un contador, que a su vez por medio de una cadena de caracteres previamente definida podrá cambiar el nombre de las pruebas y de esta manera guardar n número de las mismas. Para la instalación de los elementos se emplean protoboard de diferentes tamaños, así como un pequeño ventilador (ver Figura 3.7), el cual está instalado frente al sensor MQ3 (ver Figura 3.8) con la finalidad de hacer circular el aire y ayudar al sensor a detectar más rápidamente si existe gas de alcohol en el ambiente.

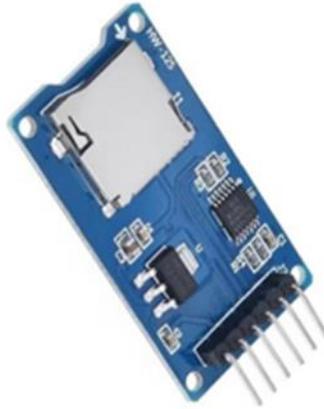


Figura 3.5 Módulo lector de micro SD.

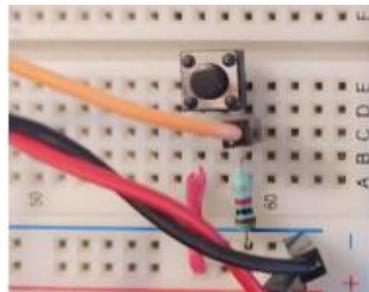


Figura 3.6 Botón pulsador con conexión Pull Down.



Figura 3.7 Mini ventilador 5v.



Figura 3.8 Instalación mini ventilador y Módulo MQ3.

Una vez que todos los elementos requeridos para generar el sistema de monitoreo son considerados, se procede con la etapa del armado del prototipo, la cual se realiza en una sola protoboard (ver Figura 3.9) para poder tener mayor maniobrabilidad de los sensores y módulos utilizados, y así poder generar su manipulación a conveniencia, mientras es programada en la interfaz las tareas que realizaría cada elemento del dispositivo. Ya terminada la etapa de programación para la lectura de las señales, se procede a separar los sensores de la protoboard principal con la finalidad de instalarlos en el vehículo en posiciones que favorezcan su funcionamiento.

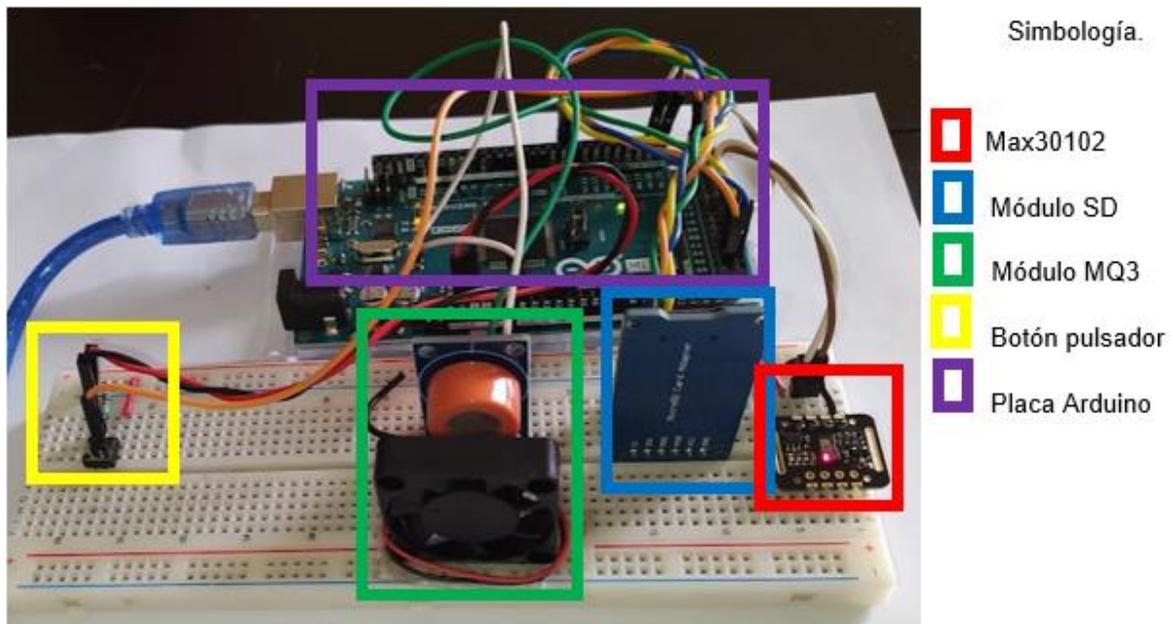


Figura 3.9 Armado del prototipo.

3.3 Comité de bioética (Matriz de pruebas)

Para realizar este trabajo de tesis se analizarán las señales de 2 participantes, asesor de tesis y el desarrollador de la tesis (recomendación hecha por el consejo de ética con numero de aprobación: CEAFI-176-2022-TL, véase el anexo A.3.), a los cuales se les realizará el muestreo de señales antes y después de ingerir bebidas con cierto grado de alcohol. El límite de alcohol permitido en conductores automovilísticos mayores de 21 años es de 0.40 mg/L, lo cual es alcanzado cuando una persona ingiere 4 cervezas de 355ml con 4.5° de alcohol. Es muy importante mencionar que la cantidad de ingesta antes mencionada no altera la conducta de la persona ni pone en riesgo su salud, ya que el valor descrito y propuesto por la CONAPRA, corresponde con el valor mínimo de alcohol en la sangre con el que se recomienda que la persona ya no conduzca (CONAPRA, 2013).

En particular, se realizarán 50 pruebas por participante, con una duración de 60 segundos y una frecuencia de muestreo de 10 datos por segundo, resultado en 600 datos por muestreo o prueba. La toma de muestras consiste en 25 pruebas antes y 25 después de haber ingerido las bebidas alcohólicas; por lo tanto, un total de 50 pruebas sin haber ingerido bebidas y 50 habiéndolas ingerido tomando en cuenta que son dos participantes se obtendrán con la finalidad de recabar datos útiles para determinar las variaciones en las lecturas que permitan detectar alcohol-etanol en el aire y que permita la diferenciación entre una persona con y sin ingesta de bebidas alcohólicas (ver Tabla 3.1). Es de suma importancia mencionar que la pruebas se realizan con sensores no invasivos que permiten la medición del ritmo cardiaco (sensor Max 30102) y la medición de gases en el aire relacionados con etanol (sensor MQ3), los cuales han demostrado ser instrumentos seguros, por lo que no perjudicaran la integridad mental o física del ser humano.

Tabla 3.1 Total de pruebas

No de Participante	Pruebas	
	Con Alcohol	Sin Alcohol
1	25	25
2	25	25
Total	50	50

Finalmente, es de suma importancia mencionar que las pruebas se realizan en un espacio controlado y con estrictas precauciones y cuidados bajo las siguientes características:

- La toma de muestras se realiza a cada participante por día. Los participantes serán informados con anticipación del tipo de prueba a la cual serán sometidos y las condiciones que deben cumplir antes, durante y después de la prueba, así mismo se pedirá lean y si están de acuerdo firmen las cartas de consentimiento y confidencialidad descritos en el anexo A.2 y anexo A.3. Cabe mencionar que los participantes, son personas que consumen bebidas alcohólicas al menos 1 vez por quincena, lo cual indica que las cantidades a suministrar en este experimento no perjudicará la conducta de los participantes, puesto que no es lo que se busca, sino simplemente alcanzar el grado de alcohol en la sangre con el cual según la CONAPRA no se debe conducir (CONAPRA, 2013).
- Las pruebas se realizan en el domicilio de los participantes en un horario de 6 pm a 9 pm, esto con el fin de que no interfiera con su horario laboral, además que sea en el domicilio del participante evitar poner en riesgo la integridad del participante.
- Los muestreos se realizan en el interior de un vehículo tipo sedán de la marca Volkswagen (Jetta), con la intención de obtener lecturas más reales de la situación que se pretende ejemplificar con la experimentación Es de importancia señalar que el vehículo se encontrara estacionado dentro del

domicilio y apagado en todo momento, así mismo con los cristales cerrados, de manera que solo se utilice el espacio cerrado de la cabina, para obtener resultados más cercanos a lo que sucede en una situación de la vida cotidiana real.

- Cada prueba se realiza por la tarde un par de horas después de haber ingerido los últimos alimentos de la comida y donde cada participante no ha consumido ningún gramo de alcohol por lo menos en 36 horas antes de la prueba, con el fin de considerar limpia la sangre de cualquier compuesto referente al alcohol; por lo tanto, estas pruebas son consideradas como pruebas de referencia donde no hubo algún consumo de alcohol. Por otro lado, una vez realizadas las pruebas sin alcohol, el participante consumirá 4 cervezas de 355ml de 4.5° de alcohol con un intervalo de 10 minutos entre cada cerveza puesto que según el consejo nacional para la prevención de accidentes (CONAPRA, 2013) el límite de alcohol permitido para los conductores mayores de 21 años es de 0.40 mg/L, lo cual se alcanza después de consumir lo indicado anteriormente.
- Durante cada muestreo se toma un intervalo de 2 minutos, los cuales permiten ventilar el vehículo, así como estabilizar los sensores, para que la prueba anterior no altere el resultado en la prueba siguiente. Adicionalmente, se deberá mantener el área de trabajo limpia y libre de objetos que no sean útiles a las pruebas y mantener la zona de trabajo únicamente con el personal necesario.

La realización de estas pruebas es de suma importancia para este trabajo de tesis, ya que el desarrollo de nuevos sistemas que se puedan aplicar en la vida real permitirá brindar sistemas más seguros y funcionales para la detección del alcohol-etanol en conductores automovilísticos. Es importante destacar que el principal beneficio que se busca al desarrollar un sistema de detección alcohol-etanol en conductores automovilísticos, es que ayude a disminuir el número de accidentes relacionados con el consumo de bebidas con alcohol, los cuales de acuerdo con

(Cuevas A., 2021) son cercanos al 75% del total de accidentes anuales; por lo que, es un tema de suma importancia para la sociedad y satisface lo mencionado/descrito en el documento de bioética (BÍOETICA, 2018), donde se menciona que son aceptables las investigaciones que dejen un beneficio social.

Capitulo IV

4.1 Puesta de experimento

Para realizar la implementación del dispositivo se consideró hacer solo pruebas de laboratorio; sin embargo, es de mayor utilidad que las pruebas sean realizadas en un entorno realista, es decir, el sistema implementado en un vehículo. Para esto, se colocaron los sensores a manera que no fueran incómodos o estorbosos para el usuario como se muestra en la Figura 4.1 (García, 2021). En particular, se seleccionó un vehículo comercial de tipo sedán de la marca Volkswagen mejor conocido como “Jetta” para la instalación de los sensores, donde el sensor MQ3, identificado por el círculo rojo con letra b, fue puesto en el poste del parabrisas, lo más cercano a la cara del conductor sin estorbar la visibilidad o afectar el movimiento del usuario. Por otro lado, el sensor de pulso cardíaco Max30102, identificado por el círculo rojo con letra a, se consideró instalar en el tablero a la altura del volante del vehículo como hacen algunas marcas con sus modelos más recientes con su botón de encendido.

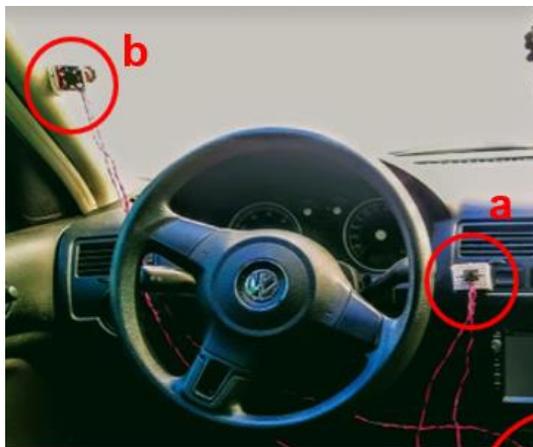


Figura 4.1 Ubicación de los sensores (a) MQ3 (b) Max30102.

Es importante mencionar que ambos sensores se encuentran conectados por medio de cables especiales para protoboard y circuitos electrónicos al controlador principal, el cual a su vez se encuentra conectado a los complementos donde se guardarán los datos monitoreados como se muestra en la Figura 4.2.



Figura 4.2 Sistema de recolección de datos instalado completamente.

4.2 Toma de muestras

Para realizar la toma de muestras se requiere que el participante se encuentre sentado en el asiento del conductor con el vehículo completamente cerrado y apagado. Por un lado, durante 1 minuto el participante coloca su dedo índice derecho sobre el sensor Max30102 lo más firme posible y sin ejercer presión exagerada con la finalidad de obtener su pulso cardiaco (ver Figura 4.3), al detectar que el sensor comienza a trabajar automáticamente se enciende el ventilador integrado al sensor MQ3 con la finalidad de circular más rápido el aire exhalado por el participante, simultáneamente el programa del controlador crea un archivo de texto con formato “.txt” en la tarjeta SD, el cual es de nombre variable dependiendo el contador integrado para determinar el número de prueba (ver Figura 4.4), donde se guardan los datos adquiridos de ambos sensores en 2 columnas, en la primera los datos del sensor Max30102 (valores del ritmo cardiaco) y en la segunda columna

los datos monitoreados por el sensor MQ3 como se muestra en la Figura 4.5. Es muy importante mencionar que este proceso se realiza primero cuando la persona no ha ingerido bebidas alcohólicas y posteriormente cuando estas han sido ingeridas como se describe en la sección 3.3



Figura 4.3 Ejemplo de una toma de muestras.

Nombre	Estado	Tipo	Tamaño
PRUEBA1		Documento de texto	10 KB
PRUEBA2		Documento de texto	11 KB
PRUEBA3		Documento de texto	11 KB
PRUEBA4		Documento de texto	11 KB
PRUEBA5		Documento de texto	11 KB
PRUEBA6		Documento de texto	11 KB
PRUEBA7		Documento de texto	10 KB
PRUEBA8		Documento de texto	10 KB
PRUEBA9		Documento de texto	12 KB

Figura 4.4 Guardado de diferentes pruebas.

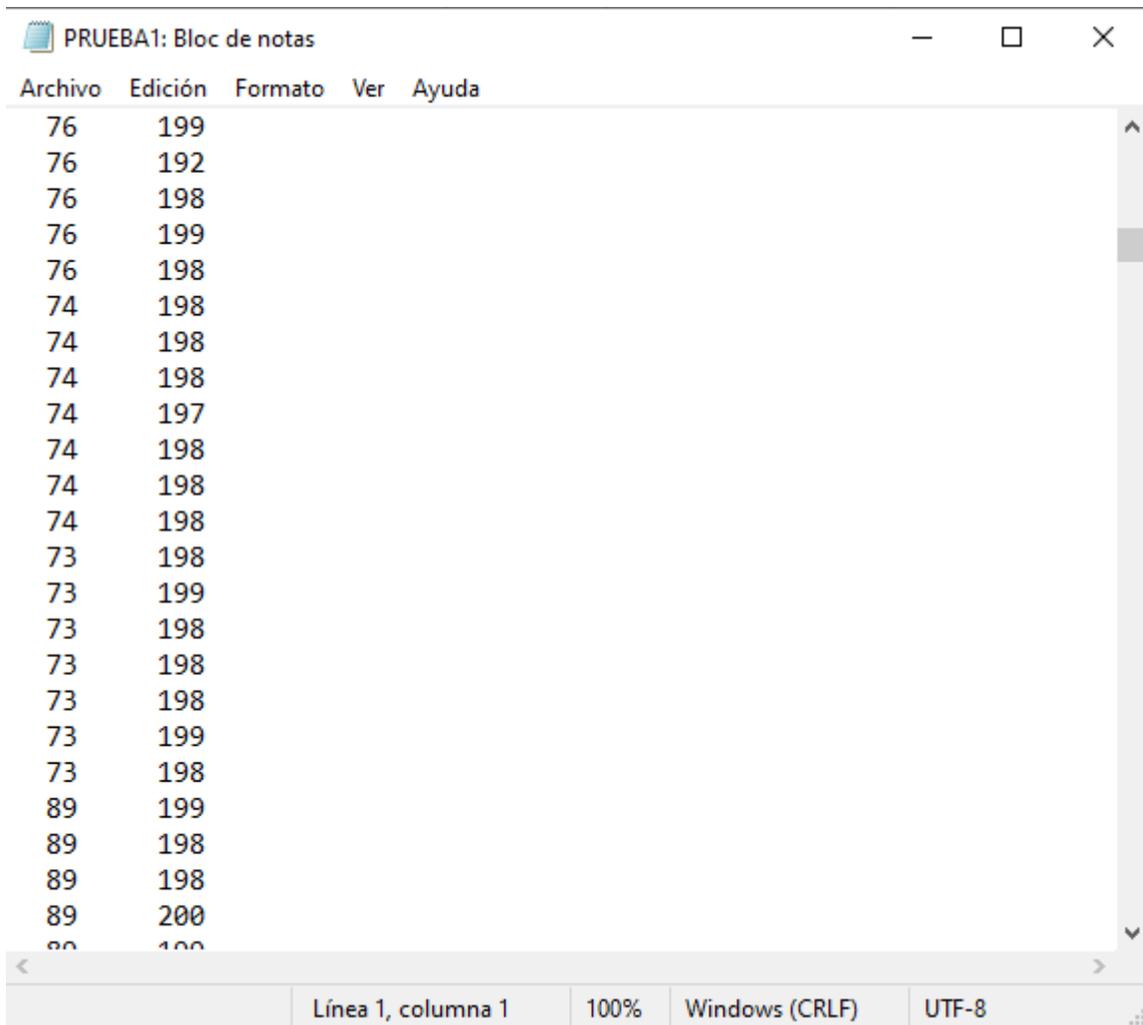


Figura 4.5 Guardado de datos en los archivos de prueba.

4.3 Resultados.

Una vez ya con los datos obtenidos, estos son procesados de acuerdo a la metodología propuesta en la sección 3.1. En este sentido los datos primeramente son renombrados con una extensión CSV con el objeto de que estos puedan ser leídos por el software MATLAB como se muestra en la Figura 4.6.

Nombre	Estado	Tipo
Prueba_1_Alco	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_1_Sano	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_2_Alco	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_2_Sano	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_3_Alco	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_3_Sano	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_4_Alco	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_4_Sano	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_5_Alco	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_5_Sano	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_6_Alco	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_6_Sano	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_7_Alco	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_7_Sano	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_8_Alco	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_8_Sano	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_9_Alco	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_9_Sano	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_10_Alco	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel
Prueba_10_Sano	✘	Archivo de valores separados por comas de Microsoft Excel

Figura 4.6 Guardado de datos en los archivos CSV y renombrado.

Ya con los datos en el formato correcto, estos son analizados en el software MATLAB haciendo uso de los 17 algoritmos de indicadores estadísticos descritos en la sección 2.5.2. Es muy importante mencionar que se investigaron diferentes ventanas de tiempo de las señales capturas; en este sentido, se investigaron ventanas de 10, 20, 30, 40, 50 y 60 segundos. Una vez procesado cada ventana de tiempo con los 17 indicadores estadísticos, el código propuesto entrega cuatro variables para cada ventana: dos, sensor de pulsaciones y sensor detector de gas, correspondientes a personas que han ingerido alcohol y dos correspondientes a personas que no han ingerido alcohol, como se muestra en la Figura 4.7. Estas variables son guardadas de acuerdo a el tamaño de la ventana seleccionada como se muestra en la Figura 4.8, esto con el fin de proceder a su próximo análisis.

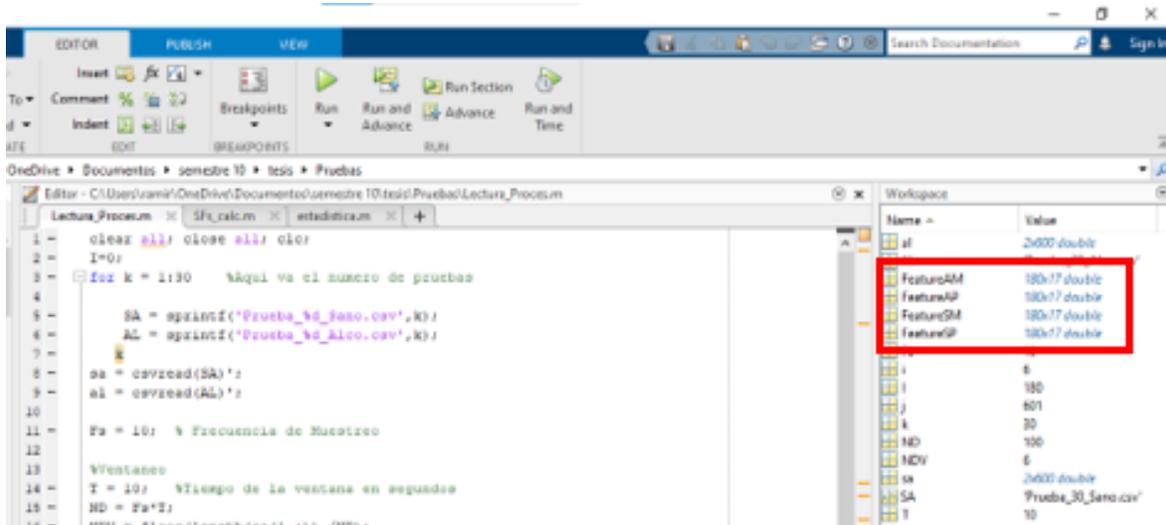


Figura 4.7 Generación de variables.

Nombre	Estado	Tipo	Tamaño
10SEG	✖	Microsoft Access Table Shortcut	50 KB
20SEG	✖	Microsoft Access Table Shortcut	26 KB
30SEG	✖	Microsoft Access Table Shortcut	18 KB
40SEG	✖	Microsoft Access Table Shortcut	10 KB
50SEG	✖	Microsoft Access Table Shortcut	10 KB
60SEG	✖	Microsoft Access Table Shortcut	10 KB

Figura 4.8 Guardado de variables con el respectivo tiempo de ventaneo.

Al tener ya guardadas las variables con la información de los 17 indicadores para cada tamaño de ventana y sensor, se procedió a generar otro código basado en el algoritmo o método de Kruskal-Wallis, el cual permita evaluar las capacidades de las características obtenidas con el fin de asociarlas al fenómeno estudiado, es decir, para distinguir entre una persona que está alcoholizada o no. Es importante mencionar que este método además de brindar una distribución de los datos de manera gráfica, permite obtener también un valor de probabilidad, el cual indica que tanta capacidad tiene la característica analizada para ser asociada al fenómeno estudiado.

Las Figuras 4.9 y 4.10 muestran en ejemplo de los resultados entregados por el método de Kruskal-Wallis para una característica que no tiene la capacidad para

diferenciar entre una persona alcoholizada y una que no y una característica que si tiene la capacidad de diferenciar entre ambos grupos, respectivamente. En particular se muestra el valor de probabilidad (denotada por el cuadro de color rojo en el inciso (a) de las figuras) y la distribución de las características evaluada para una persona sin (denotada por el valor 1, eje horizontal, en el inciso (b) de las figuras) y con los efectos del alcohol (denotada por el valor 2, eje horizontal, en el inciso (b) de las figuras), respectivamente.

Por lo tanto, el valor de probabilidad, así como la distribución de los datos se emplean para seleccionar las características o indicadores estadísticos con las características más adecuadas para diferenciar entre una persona que ha consumido bebidas alcohólicas y una que no.

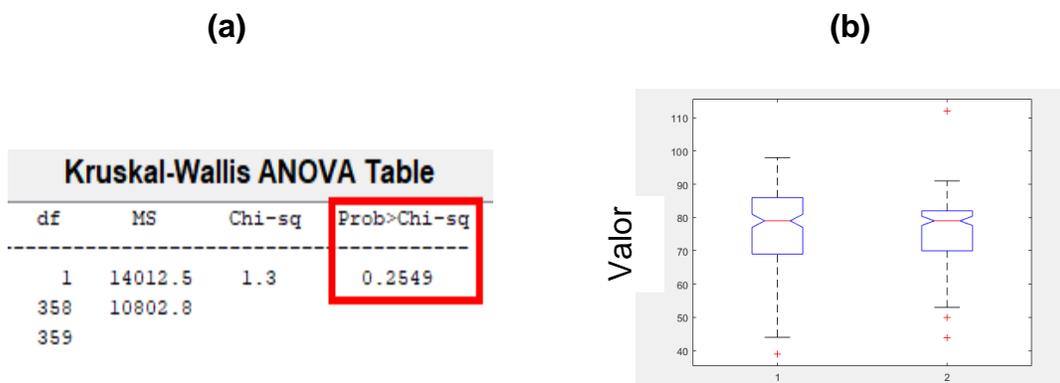


Figura 4.9. Característica que no tiene capacidad de ser asociada al fenómeno evaluada a través del método de Kruskal-Wallis (a) valor de probabilidad y (b) distribución de los datos.

(a)

Kruskal-Wallis ANOVA Table			
df	MS	Chi-sq	Prob>Chi-sq
1	2916000	269.31	1.60632e-60
358	2712.76		
359			

(b)

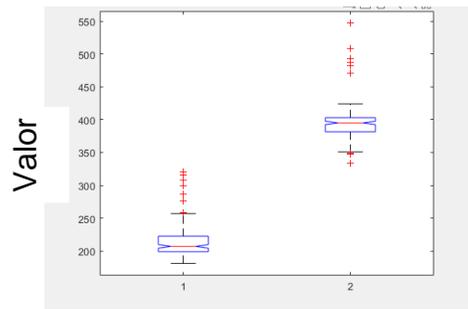


Figura 4.10 Característica que no tiene capacidad de ser asociada al fenómeno evaluada a través del método de Kruskal-Wallis (a) valor de probabilidad y (b) distribución de los datos.

Una vez ejemplificado el uso del método de Kruskal-Wallis para identificar las características con mayor aptitud para ser asociadas al fenómeno estudiado, se procede a hacer el análisis en orden de los 17 indicadores estadísticos mencionados en la sección 2.5.2 para todas las ventanas analizadas y sensores. Solamente para ejemplificar, las Figuras 4.11 y 4.12 muestran la distribución de las 17 características estimadas para una ventana de tiempo de 10 segundos y para cada sensor empleado, respectivamente.



Figura 4.11 Distribución de los 17 indicadores estadísticos ordenados para los datos del sensor Max30102 para una ventana de tiempo de 10 segundos.

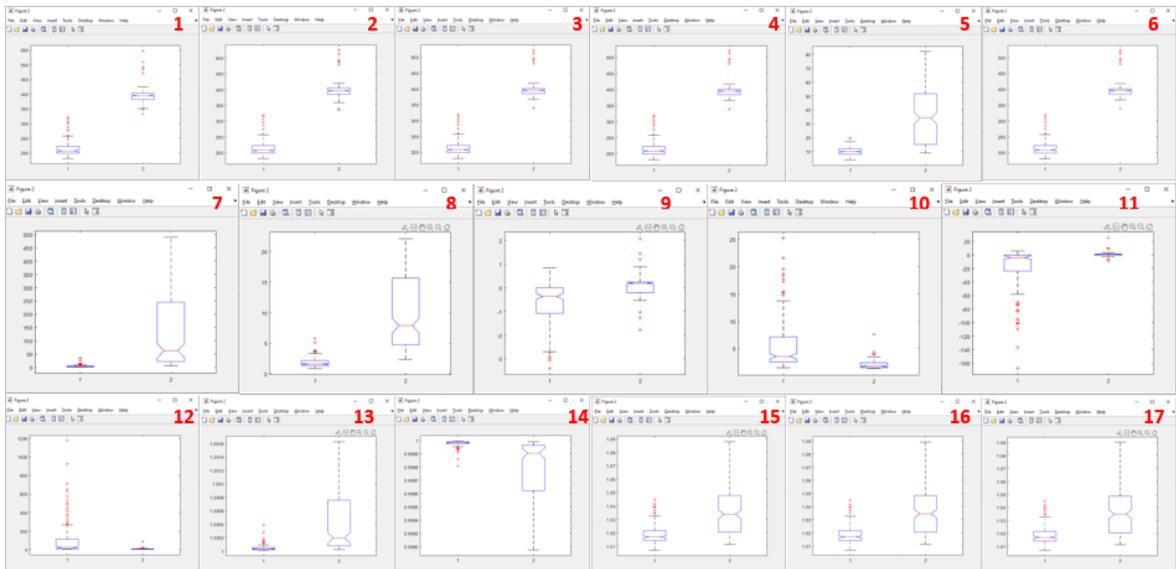


Figura 4.12 Distribución de los 17 indicadores estadísticos ordenados para los datos del sensor de Gas MQ3 para una ventana de tiempo de 10 segundos.

Después de realizar un análisis exhaustivo de todas las distribución de datos de todas las características obtenidas para todas las ventanas analizadas, se obtuvo que para el sensor de pulsioximetría ningún indicador estadístico muestra

separabilidad suficiente que permita diferenciar entre ambos grupos, por el contrario el sensor de gas MQ3 en conjunto con varios indicadores estadísticos permite cumplir con el objetivo planteado en esta tesis, es decir, diferencias entre una persona alcoholizada y una que no. Sin embargo, el indicador denominado como mediana presenta la mayor separabilidad de ambas distribuciones, así como el valor de probabilidad más bajo, por ende, este es seleccionado para diferencias entre ambos grupos. La Figura 4.13 muestra el valor de probabilidad del indicador “mediana” y el diagrama de cajas y bigotes que representa este indicador.

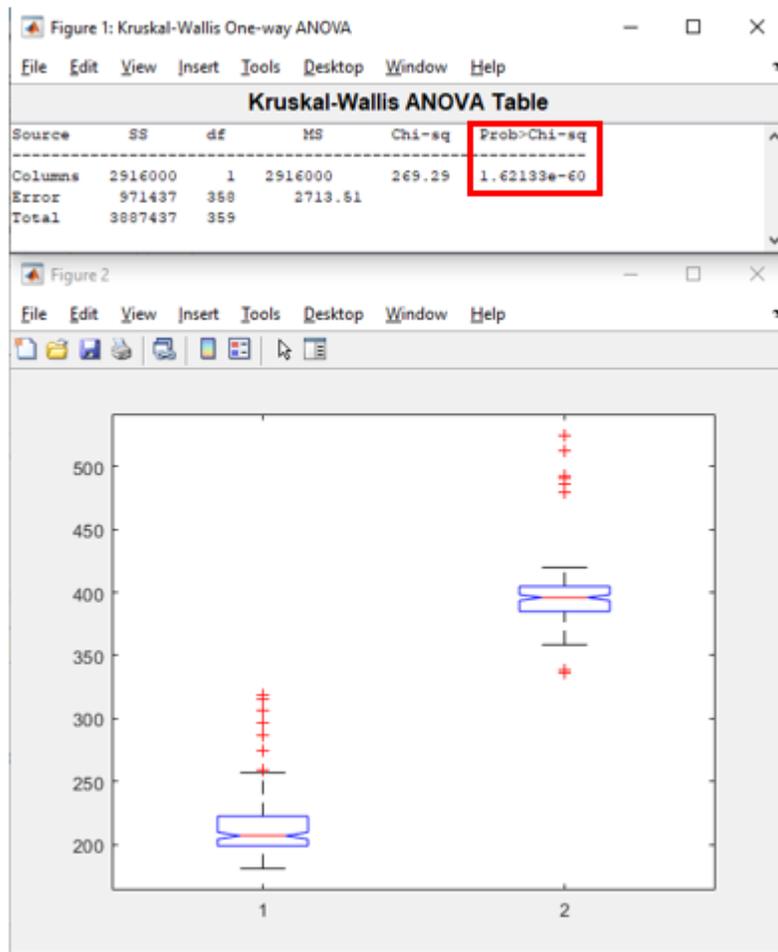


Figura 4.13 Probabilidad de repetición y diagrama de cajas y bigotes de la mediana del sensor de Gas MQ3.

Debido a la separabilidad de ambos conjuntos y para poder automatizar el proceso se diseñó un clasificador basado en las reglas if/else, el cual presenta un límite o threshold de valor 327.5 (valor por debajo y por encima del límite indica que la persona no está o está alcoholizada, respectivamente) estimado de acuerdo con el promedio del valor máximo de las medianas del grupo 1 (personas que no han ingerido bebidas alcohólicas) y el valor mínimo del grupo 2 (personas que han ingerido bebidas alcohólicas) como se muestra en la Figura 4.14.

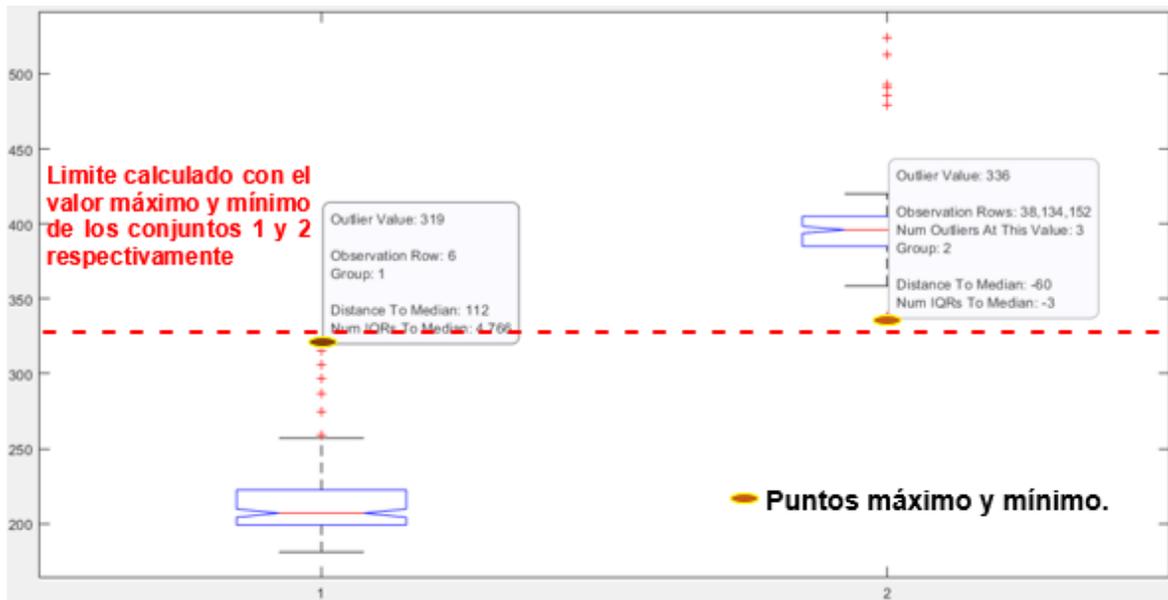


Figura 4.14 Valor máximo del conjunto 1, valor mínimo del conjunto 2 y límite del clasificador.

Finalmente, ya con el clasificador diseñado, se procede a evaluar los valores de la característica seleccionada, donde un 100% de eficiencia es obtenida para diferenciar entre ambos conjuntos como se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Comparación de los datos de las pruebas realizadas y eficacia del clasificador.

Entradas/Salidas	Sano	Alcoholizados	Eficacia
Sano	50	50	100%
Alcoholizado	50	50	100%
		Eficacia total	100%

Capitulo V

5.1 Conclusiones

Actualmente, el 75.04% de los accidentes de tránsito en carreteras son responsabilidad del conductor, como causa principal el conducir bajo los efectos del alcohol en estado etílico. Por esta razón, es de suma importancia desarrollar sistemas con la capacidad de detectar conductores en estado de alcoholismo.

De acuerdo con lo antes mencionado, este proyecto de tesis se centró en el desarrollo de un sistema basado en la evaluación del ritmo cardiaco empleando un pulsioxímetro modelo MAX30102 y un sensor de gas MQ3 a través de diversos indicadores estadísticos y arboles de decisión con el fin de identificar una persona bajo los efectos del alcohol de manera automática. Es importante mencionar que después de un análisis exhaustivo, el sensor de pulsioximetría MAX30102 no permite la identificación de patrones adecuados para diferencias entre conductores bajo los efectos del alcohol y los que no. Por el contrario, el sensor MQ3 en conjunto con el indicador denominado mediana y un árbol de decisiones basado en reglas if-else permite con una efectividad del 100%, la distinción entre una persona alcoholizadas y una que no de manera automática.

De acuerdo con los resultados obtenidos, estos se consideran preliminares ya que se necesita el investigar/evaluar una base de datos más amplia, así como la consideración de algunas otras consideraciones tal como un mayor rango de edad, mayor cantidad de participantes, así como ubicación de los sensores, etc.

5.2 Prospectivas

Como prospectivas de este trabajo de tesis se plantea el desarrollo de un dispositivo que se capaz de captar los gases en el interior del vehículo sin importar si las ventanas están o no abiertas, así como la posición del conductor ya que para este proyecto de tesis se limitaron estas características en las pruebas realizadas.

Adicionalmente, es de suma importancia, el explorar otros dispositivos de almacenamiento con el fin de que permitan el incremento de sensores, los cuales a su vez permitan el monitoreo de diversas zonas del automóvil, permitiendo tener un resultado mucho más certero.

Finalmente, es importante considera mejorar el diseño y la funcionalidad del dispositivo, contemplando no solo advertir a los conductores, sino incluso que pueda limitar el encendido del automóvil, evitando que el usuario corra peligro al manejar en un estado inconveniente.

6. Anexos.

A.1 Aprobación del consejo de ética.



C. U., 9 de septiembre de 2022

Luis Ramiro Chávez Valencia
Estudiante de Ingeniería en Mecánica Automotriz
Expediente 265788

Presente

El Comité de Ética Aplicada a la Investigación de la Facultad de Ingeniería ha revisado el protocolo del trabajo de tesis:

CEAIFI-176-2022-TL

**Detección de alcohol-etanol en el aire a través
de medidas estadísticas y señales de pulsioximetría
en conductores automovilísticos**

Con apego a los lineamientos éticos de beneficencia, no maleficencia, justicia y autonomía, este comité ha dado el siguiente dictamen:

Aprobado éticamente

El presente dictamen tiene vigencia de un año a partir de su fecha de emisión.

Sirva esta carta para los fines académicos que al interesado convengan.

Atentamente
"El ingenio para crear, no para destruir"


Dra. Aurora Fermat Díaz
Presidente del CEAIFI
afemat@uaq.mx

A.2 Carta de consentimiento informado

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Lugar y fecha: _____

Por medio del presente acepto participar en el protocolo de investigación titulado: **“Detección de alcohol-etanol en el aire a través de medidas estadísticas y señales de pulsioximetría en conductores automovilísticos”**, cuyo objetivo es: determinar y encontrar indicadores propios para la detección de alcohol-etano en conductores automovilísticos mediante el estudio de señales de pulsioximetría y gases exhalados. Se me ha explicado que mi participación consistirá en: la medición de señales mediante sensores no invasivos. Posteriormente, se llevará a cabo el muestreo de la señal en un carro tipo sedán con las ventanas cerradas durante 1 minuto aproximadamente con el fin de medir mi ritmo cardiaco y gases exhalados ante bebidas con cierto grado de alcohol. Entiendo que se conserva el derecho de retirarse del estudio en cualquier momento que lo considere conveniente. También se han comprometido a proporcionarme la información actualizada que se obtenga durante el estudio, aunque esta pudiera cambiar de parecer respecto a la permanencia en el mismo. El número telefónico al cual puedo comunicarme en caso de emergencia, dudas o preguntas relacionadas con el estudio es _____.

El Investigador Responsable se ha comprometido a darme información oportuna sobre cualquier procedimiento alternativo, así como a responder cualquier pregunta y aclarar cualquier duda que le plantee.

Nombre y firma del participante

A.2 Carta de confidencialidad

CARTA CONFIDENCIALIDAD

Lugar y fecha: _____

Por medio de la presente yo, **Luis Ramiro Chávez Valencia**, en calidad de investigador del proyecto titulado “**Detección de alcohol-etanol en el aire a través de medidas estadísticas y señales de pulsioximetría en conductores automovilísticos**”, entiendo que toda aquella información brindada por el paciente es de carácter confidencial y queda prohibido cualquier tipo de revelación o divulgamiento por cualquiera de las partes por medios escritos, orales o de cualquier otra forma.

Me comprometo a restringir el acceso a la información confidencial solo a aquellas personas vinculadas al proyecto de investigación en calidad de investigadores o auxiliares de investigación que tengan necesidad de conocerla para el desarrollo de este y por tanto mantener la más estricta confidencialidad y no revelar a otras personas físicas o morales cualquier información confidencial con otros fines distintos a los del proyecto.

De la misma manera confirmo que los datos personales y cualquier identificación del paciente serán manejados de forma confidencial en las presentaciones o publicaciones que deriven de este estudio.

C. Luis Ramiro Chávez Valencia
Investigador responsable del proyecto.

7. Referencias.

- Abu-Mahfouz, I., & Banerjee, A. (2017). Crack Detection and Identification Using Vibration Signals and Fuzzy Clustering. *Procedia Computer Science*, Volume 114, 266-274.
- Abuse, N. I. (2013). National Institute on Drug Abuse. Pagina web http://www.nida.nih.gov/PDF/Infofacts/Alcohol10_Sp.pdf.
- Álvarez, F. (2001). *Farmacología del alcohol*. Madrid.
- Ana Cecilia Cuevas Colunga, M. E. (2021). *Estadística de accidentes de tránsito, año 2019*. Sanfandila, Qro.
- Aoyagi, T. K. (1974). *Improvement of an ear piece oximeter*. Tokio: JSMBE.
- Arduino. (2021). *Arduino*. Obtenido de *Arduino*: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Azpeitia, F. I., & Ponza, J. A. (2003). Alcohol y alcoholímetros. *anales de la real sociedad española de química*, 53-61.
- BALLÉN, O. L., & SÁNCHEZ, F. Q. (2001). *MATLAB 6.1*. Colombia.
- Ben Nassi, L. R. (2016). *Human-Computer Interaction*. Israel: Computers and Society.
- Bourque, L. B., & Clark, V. A. (1992). *Processing Data: The Survey Example*, Número 85. SAGE.
- Brito, G., Salazar, F. W., Lema, E. O., Sánchez, A. P., Pérez, H. V., & Buele, J. (2020). Vehicle Locking System Using an Electronic Breathalyzer and Notification by Mobile Communication. En A. S. Publishers, *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience* (págs. 206-215). Ambato.
- CONAPRA. (2013). *Perfil estatal Queretaro*. Queretaro.

- Theodorsson-Norheim, E. (1986). Kruskal-Wallis test: BASIC computer program to perform nonparametric one-way analysis of variance and multiple comparisons on ranks of several independent samples. *Computer methods and programs in biomedicine*, 23, 57-62.
- Figueiredo, E., Park, G., Figueiras, J., Farrar, C., & Worden, K. (2009). Structural health monitoring algorithm comparisons using standard data sets. United States.
- Forbes. (2015). Industria automotriz global debe invertir 110,000 mdd. Forbes.
- Garcia, G. (08 de Enero de 2021). Motor Pasión México. Obtenido de <https://www.motorpasion.com.mx/industria/autos-vendidos-mexico-2020>
- Giannakopoulos, T., & Pikrakis, A. (2014). Chapter 4 - Audio Features. En *Introduction to Audio Analysis* (págs. 59-103). ISBN.
- Hernández, E. N. (2015). "El Trago Estándar en México: Una herramienta para la prevención . México, D.F.: Fundación de Investigaciones Sociales, A.C.
- HosseinAbadi, H. Z., Amirfattahi, R., Nazari, B., Mirdamadi, H. R., & Atashipour, S. A. (2014). GUW-based structural damage detection using WPT statistical features and multiclass SVM. *Applied Acoustics* volume 86, 59-70.
- Jiménez, M. R. (1995). *Toxicología avanzada*. Madrid, España: Editorial Díaz de Santos, S.A.
- Jubran, A. (13 de 05 de 1999). *Pulse oximetry*. Illinois: springer. Obtenido de <http://ccforum.com>
- Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *Journal of the American Statistical Association*.
- Kutner, M. (Boston, Mass.). *Applied Linear Statistical Models*, fifth ed. 2005: McGraw-Hill Irwin.

- LATAM, M. (04 de Mayo de 2021). Mecatrónica LATAM. Obtenido de Mecatrónica LATAM: <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/sensores/>
- MONCADA, J. A. (2012). Sistema de adquisición de datos y control de la práctica de laboratorio movimiento uniforme y uniformemente acelerado del laboratorio physilab. Pereira.
- Muthukarpan, S. L. (2020). Drunken drive detection with smart ignition lock. Malaysia.
- Nakayoshi, K., Yasu, Y., Inoue, E., Sendai, H., Tanaka, M., Satoh, S., . . . Uchida, T. (2009). Development of a data acquisition sub-system using DAQ-Middleware. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 600, Issue 1, 173-175.
- OPS. (2017). BEBER Y CONDUCIR. Washington, D.C. .:
- Pallas-areny, R., & Webster, J. G. (2001). sensors & signal conditioning second edition. New York: John Wiley & sons, Inc.
- Salud, O. M. (1994). Glosario de términos de alcohol y drogas. Madrid.
- Yanez-Borjas, J. J., Valtierra-Rodriguez, M., Camarena-Martinez, D., & Amezquita-Sanchez, J. P. (2020). Statistical time features for global corrosion assessment in a truss bridge from vibration signals. Mesurament.
- Cruz Ramírez H. (2018) Metodología basada en la descomposición empírica de modos completa y fractales para la clasificación de la imaginación motora usando señales electroencefalográficas. Tesis Licenciatura, UAQ.
- Vargas López O. (2019) Metodología basada en la EMD y medidas no lineales prevalentes en muerte súbita cardíaca. Tesis Licenciatura, UAQ.
- Piña Vega R. (2019) Metodología basada en dimensión fractal y lógica difusa para la predicción de infartos empleando señales ECG. Tesis Licenciatura, UAQ.

- Ruiz Vázquez C. (2019) Metodología basada en la transformada wavelet y los parámetros de Hjorth para la clasificación de imaginación motora usando señales electroencefalografías. Tesis Licenciatura, UAQ.
- Romo Avilés M. (2020) Metodología basada en la transformada wavelet e indicadores estadísticos para la clasificación de señales electromiografías aplicadas a un brazo robótico. Tesis Licenciatura, UAQ.
- Bárcenas Uresti L. (2020) Diagnostico automático del deterioro cognitivo leve empleando magneto-encefalogramas. Tesis Licenciatura, UAQ.
- Vargas Parra R. (2020) Metodología Basada en los Parámetros de Hjorths Para la Detección del Deterioro Cognitivo Leve. Tesis Licenciatura, UAQ.
- Cheng, E. Y., Hopwood, M. B., & Kay, J. (1988). Forehead pulse oximetry compared with finger pulse oximetry and arterial blood gas measurement. *Journal of clinical monitoring*, 4(3), 223–226.