

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
DIAGNOSTICAR FALLOS EN SENSORES VEHICULARES DE OXÍGENO (O<sub>2</sub>)**

**CARLOS JULIO LATTA CASTRO  
ERICK ENRIQUE RAMOS ARRIETA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BARRANQUILLA - COLOMBIA  
2021**

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA  
DIAGNOSTICAR FALLOS EN SENSORES VEHICULARES DE OXÍGENO (O<sub>2</sub>)**

**CARLOS JULIO LATTA CASTRO  
ERICK ENRIQUE RAMOS ARRIETA**

**Trabajo de grado presentado para optar al título de  
Ingeniero Mecatrónico**

**ASESORES DISCIPLINARES:  
ING. SAÚL PÉREZ PÉREZ, MSc.  
ING. CARLOS DÍAZ SÁENZ, MSc.**

**ASESOR METODOLÓGICO:  
ING. CARLOS DÍAZ SÁENZ, MSc.**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BARRANQUILLA - COLOMBIA**

**2021**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado 1

---

Firma del jurado 2

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo de grado a mi familia, a mis padres, mi madre Luz Marina Castro Castro por ser mi apoyo incondicional y mi ejemplo de vida, y a mi padre Carlos Julio Latta Arias por estar siempre para mí, a los dos les agradezco por su apoyo moral, comprensión y paciencia durante mis estudios, sin su ayuda no sería la persona que soy actualmente, además a la familia Noero Mogollón por su incondicional apoyo.*

*A todos mis profesores de la facultad de ingeniería mecánica, pero en especial al Ing. Saúl Pérez Pérez y al Ing. Carlos Díaz Sáenz quienes me impartieron grandes enseñanzas tanto en mi formación académica como en mi formación personal que me ayudaron a realizar este trabajo de grado.*

*Por último, a mi compañero Erick Ramos Arrieta porque sin el equipo de trabajo que conformamos, no habríamos logrado esta meta.*

*Carlos Latta*

*Inicialmente agradezco a Dios por hacer todo esto posible. Dedico este trabajo a mi madre Erica Arrieta Gómez porque ella ha sido mi apoyo en todo este proceso de formación y mi ejemplo a seguir por lo correcta he inteligente que es. A mi familia, porque sin toda la ayuda y comprensión el camino para llegar a este logro fuese sido mucho más difícil.*

*Por último, dedico este trabajo a mi compañero Carlos Julio Latta y los Ingenieros Saúl Pérez Pérez y Carlos Díaz Sáenz porque gracias a su apoyo, conocimientos, esfuerzos y el acompañamiento brindado en cada una de las etapas de estudio, es posible culminar esta meta de la mejor manera.*

*Erick Ramos*

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS .....	8
LISTA DE TABLAS .....	10
GLOSARIO .....	11
RESUMEN .....	12
ABSTRACT .....	12
INTRODUCCIÓN .....	14
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1 ANTECEDENTES .....	15
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	16
1.3 JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE .....	16
2 OBJETIVOS .....	18
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
3 MARCO DE REFERENCIA .....	19
3.1 ESTADO DEL ARTE .....	19
3.2 MARCO TEÓRICO .....	21
3.2.1 SENSORES.....	21
3.2.2 TIPOS DE SENSORES Y SU CLASIFICACIÓN.....	21
3.2.3 SENSOR DE OXÍGENO (O <sub>2</sub> ) .....	22
3.2.4 UBICACIÓN DEL SENSOR DE OXIGENO (O <sub>2</sub> ) .....	23
3.2.5 FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR DE OXÍGENO (O <sub>2</sub> ).....	24
3.2.6 TIPOS DE SENSOR DE OXIGENO (O <sub>2</sub> ) .....	25
3.2.7 MÉTODO DE PRUEBA DEL SENSOR DE OXIGENO (O <sub>2</sub> ).....	27
3.2.8 INSPECCIÓN VISUAL DE UN SENSOR DE OXIGENO .....	29



6.2	DISEÑO DISPOSITIVO FINAL.....	47
6.2.1	DIMENSIONES DEL DISPOSITIVO FINAL .....	48
6.3	MATERIALES .....	49
6.3.1	ARDUINO UNO .....	49
6.3.2	PANTALLA OLED .....	49
6.3.3	INTERRUPTOR.....	50
6.3.4	BORNERA.....	50
6.3.5	FUENTE DE ALIMENTACION.....	50
6.3.6	PLA .....	50
6.4	RECOLECCIÓN DE DATOS.....	51
6.4.1	MUESTRA POBLACIONAL .....	56
6.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	56
6.5.1	ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL PROTOTIPO	57
6.5.2	ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL DISPOSITIVO FINAL	57
6.6	MANUAL DE USUARIO.....	58
6.6.1	INTRODUCCIÓN.....	58
6.6.2	REQUERIMIENTOS DEL PROTOTIPO .....	59
6.6.3	COMO USAR EL PROTOTIPO .....	59
6.6.4	COMO INTERPRETAR LAS GRÁFICAS.....	60
6.6.5	LISTA DE PARTES .....	64
6.6.6	ADVERTENCIAS Y PRECAUCIONES .....	64
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
	BIBLIOGRAFÍA.....	67
	ANEXOS.....	69

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sensor de oxígeno (O <sub>2</sub> ) [9].	23
Figura 2. Ubicación del sensor de oxígeno (O <sub>2</sub> ) [5].	24
Figura 3. Sensor de tipo dedal, finger o convencional [10].	26
Figura 4. Sensor de tipo planar [11].	26
Figura 5. Sensor de tipo banda ancha [10].	27
Figura 6. Método de prueba del sensor de oxígeno (O <sub>2</sub> ) [13].	28
Figura 7. Onda arrojada por la señal del sensor [12].	29
Figura 8. Sensor en óptimas condiciones [Los autores].	30
Figura 9. Sensor deteriorado [Los autores].	30
Figura 10. Principios del calentamiento por inducción [14].	31
Figura 11. Módulo de calentamiento por inducción [14].	32
Figura 12. Pistola de calor [16].	33
Figura 13. Partes de un encendedor [17].	33
Figura 14. Pantalla OLED [18].	34
Figura 15. Cronograma primer objetivo [Los autores].	39
Figura 16. Cronograma segundo y tercer objetivo [Los autores].	39
Figura 17. Código en software de Arduino [Los autores].	44
Figura 18. Diseño de PCB final en Proteus [Los autores].	45
Figura 19. Esquema del circuito en Proteus [Los autores].	45
Figura 20. Diseño de parte inferior de la carcasa en SolidWorks [Los autores].	46
Figura 21. Diseño de parte superior de la carcasa en SolidWorks [Los autores].	46
Figura 22. Ensamble de la carcasa en SolidWorks [Los autores].	47
Figura 23. Vista superior del dispositivo final con un sensor a probar [Los autores].	48
Figura 24. Dimensiones del dispositivo [Los autores].	49
Figura 25. Prueba del sensor de 3 vías nuevo [Los autores].	52
Figura 26. Prueba del sensor de 3 vías usado [Los autores].	52

Figura 27. Prueba del sensor de 3 vías nuevo con problemas de cableado [Los autores].....	53
Figura 28. Prueba del sensor de 4 vías nuevo [Los autores].....	53
Figura 29. Prueba del sensor de 4 vías usado en buena condición [Los autores].	54
Figura 30. Prueba del sensor de 4 vías usado con desgaste [Los autores].....	54
Figura 31. Prueba del sensor de 4 vías usado en mala condición [Los autores]. .	55
Figura 32. Conexión para sensor de 4 vías [Los autores]. .....	60
Figura 33. Gráfica 1: Sensor en óptimas condiciones [Los autores]. .....	61
Figura 34. Gráfica 2: Sensor en óptimas condiciones [Los autores].....	61
Figura 35. Gráfica 1: Sensor desgastado [Los autores].....	62
Figura 36. Gráfica 2: Sensor desgastado [Los autores].....	62
Figura 37. Gráfica 1: Sensor en mal estado [Los autores].....	63
Figura 38. Gráfica 2: Sensor en mal estado [Los autores].....	63

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Presupuesto general. ....	40
Tabla 2. Costo personal científico. ....	41
Tabla 3. Costo personal de apoyo.....	41
Tabla 4. Costo materiales e insumos. ....	42
Tabla 5. Costo equipos usados. ....	42
Tabla 6. Dimensiones del dispositivo. ....	49
Tabla 7. Pruebas realizadas.....	56
Tabla 8. Lista de partes.....	64

## GLOSARIO

**Banco de pruebas:** Es una plataforma para el testeo de dispositivos.

**Sensor:** Es un dispositivo que permite medir magnitudes físicas y transformar esa medición en una señal.

**ECU:** Es un dispositivo electrónico conocido como computadora a bordo, se encuentra presente en los vehículos y está conectado a una serie de sensores que se encargan de medir o brindar información para que los actuadores ejecuten sus acciones predeterminadas.

**Relación estequiométrica:** Indican las proporciones relativas de las sustancias químicas que sirven para calcular una ecuación química balanceada entre los reactivos y sus productos de una solución química.

**Convertidor catalítico:** Es un componente del motor de combustión interna que sirve para el control y reducción de los gases nocivos expulsados por el motor.

## RESUMEN

El presente documento evidencia el desarrollo de un prototipo de un banco de pruebas de sensores de oxígeno con el fin de determinar el estado del sensor, y así ayudar a establecer fallas que se presentan en él o el momento del cambio de este sensor, para así mejorar el rendimiento del vehículo, pero también generar confianza en el usuario al momento de realizar el cambio de este sensor ya que puede ser probado fuera del vehículo y sin conocimientos en el área automotriz. El tipo de estudio para este trabajo fue el descriptivo debido a que se recolectaron datos para analizar y describir el comportamiento del sensor. Por lo tanto, el dispositivo final tiene la capacidad de probar sensores de 3 y 4 vías que son los más usados al momento de realizar este proyecto; con las pruebas realizadas se determinó el tipo de gráfica que corresponde al estado del sensor y así saber si representa un sensor nuevo, desgastado o dañado. Todo esto gracias a que el sensor nuevo tiene mejor respuesta, pero entre más lenta es la respuesta existe un desgaste que afecta el rendimiento del motor. Por último, si no gráfica nada es porque no está dentro de los parámetros de funcionamiento descartando el sensor.

**Palabras claves:** Banco de pruebas, sensores de oxígeno, fallas.

## ABSTRACT

This document evidences the development of a prototype of an oxygen sensor test bench to determine the status of the sensor, and thus help to establish faults that occur in it or the moment of change of this sensor, to improve vehicle performance, but also generate confidence in the user at the time of changing this sensor since it can be tested outside the vehicle and without knowledge in the automotive area. The type of study for this work was descriptive because data was collected to analyze and describe the behavior of the sensor. Thus, the final device can test 3 and 4-way sensors that are the most used at the time of this project; With the tests carried out, the type of graph corresponding to the status of the sensor was determined and thus

to know if it represents a new, worn, or damaged sensor. All this thanks to the fact that the new sensor has a better response, but the slower the response there is wear that affects the performance of the engine. Finally, if it does not graph anything, it is because it is not within the operating parameters, ruling out the operation of the sensor.

**Keyword:** Test bench, oxygen sensors, faults.

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, los automotores presentan diversas fallas, algunas de las que se presentan en los vehículos actuales son: aumento en el consumo de combustible, deficiencias en el desempeño del motor, mayores emisiones de gases contaminantes e incluso daño al convertidor catalítico. Las fallas anteriormente mencionadas se derivan del mal funcionamiento de un componente eléctrico denominado "Sensor de oxígeno (O<sub>2</sub>)".

Este sensor es el encargado de medir e informar a la ECU (computadora del vehículo) la concentración de oxígeno en el humo que sale por el múltiple de escape.

Las fallas que presenta este sensor son coloraciones en la cubierta que afecta la lectura o daño inmediato de este, debido a: fugas de anticongelante, excesivo consumo de aceite, mezclas de aire-combustible incorrectas, aditivos en la gasolina, excesiva tensión en el cable y además de golpes en caminos rocosos [1].

Actualmente las herramientas que usan los mecánicos para determinar estas fallas son: el sensor y el multímetro de manera simultánea para poder obtener una señal de voltaje en respuesta al funcionamiento. Cabe destacar que esa medición realizada, no garantiza un correcto diagnóstico que determine si el sensor está fallando o no y el Scanner que solo determina si funciona o no sin destacar la falla.

En este proyecto se realizó un dispositivo mecatrónico capaz de determinar las fallas en los sensores de oxígeno de 3 y 4 vías, además de tener la posibilidad que estos sensores se puedan probar fuera del vehículo lo cual es una ventaja de este prototipo ya que cualquier persona sin necesidad de conocimientos técnicos pueda hacer este testeo y así determinar el funcionamiento de este sensor.

## **1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Este capítulo contiene los antecedentes en los que nos basamos para este trabajo de grado, formulación del problema encontrado y por último justificación y alcance de este. Estos puntos dan una perspectiva más amplia de porque llevamos a cabo este trabajo de grado.

### **1.1 ANTECEDENTES**

Calle, diseñó un módulo de evaluación que tuvo como objetivo elaborar un banco de pruebas para determinar el funcionamiento de los sensores que permiten verificar el desempeño del motor, esta investigación no era experimental debido a que no se manipularon las variables, pero si era descriptiva ya que se manifiesta la realidad tal y como esta, la población y muestra fueron los vehículos del taller donde se efectuó la investigación. Como resultados principales obtuvo que todos los sensores trabajaban con salidas de voltaje entre 0 a 5V, independiente de la variable medida, no todas incrementan su salida; dependiendo su entrada algunas son inversamente proporcionales a ella [2].

Mejía y su equipo, para el diseño y construcción del banco de pruebas de motores a combustión interna, utilizaron un motor D7F B700 de Renault Twingo, el cual estaba inoperante e incompleto. Realizaron la búsqueda de las piezas y elementos faltantes para su funcionamiento. Posteriormente se realizó el ensamble del motor y las piezas faltantes y se puso en óptimas condiciones. Después de diseñar el banco de pruebas y definir los parámetros de construcción, éste se materializó. Como resultados principales obtuvieron que se logró la implementación final del banco de pruebas y analizando la estructura de este con todo el equipo montado, se determinó que los cálculos de esfuerzos y deformaciones fueron correctos debido a que no se presentan fallas en él [3].

Díaz y su equipo, implementaron un banco de pruebas para un motor de combustión interna de inyección, el cual requirió el montaje y la caracterización de los sensores del motor, el acondicionamiento de señales y una aplicación de software encargada de la excitación controlada del sistema y procesamiento de los datos de respuesta del motor. Para ello se utilizó la plataforma de LabVIEW para el sistema de adquisición de datos. Como resultados principales obtuvieron que se logró la implementación del banco de pruebas del motor de combustión interna a gasolina, lo que permitió avanzar hacia la obtención del modelo matemático de la máquina, debido a que se contaba con una plataforma donde se pudo simular las condiciones de operación que incluyen aceleración y perturbaciones de carga controlada en el motor [4].

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

En los antecedentes nos damos cuenta de que los proyectos planteados han experimentado con bancos de prueba para diversas partes del vehículo, pero ninguno ha llevado a cabo un dispositivo para el sensor de oxígeno ( $O_2$ ) en particular y además que sea capaz de simplificar acciones y obtener resultados a corto tiempo probando este sensor, teniendo en cuenta lo anterior se planteó el siguiente interrogante.

¿Se podría optimizar el proceso de la prueba de sensores de oxígeno ( $O_2$ ), para disminuir los tiempos y los costos en mano de obra, además de la contratación de personal especialista y equipos tecnológicos?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE**

Actualmente no hay dispositivos de prueba en concreto para este sensor y además que esta tarea siempre se designa a profesionales del área de conocimiento, este proyecto se centró en la creación de un dispositivo mecatrónico como una

alternativa a disposición de los mecánicos, usuarios y a quien le pueda interesar, que puede ser usado fácilmente sin tener conocimientos en el área automotriz y electrónica, para así mismo generar ayudas en diferentes ámbitos, en el aspecto económico este dispositivo va a ayudar a el ahorro de tiempo en determinar una falla de manera puntual, a su vez establece un ahorro económico involucrado en tiempo y personal que se requiere para el mismo trabajo, como también generar confianza en los usuarios al tener validez en las pruebas realizadas por este dispositivo.

En lo anterior se puede ver claramente la necesidad de establecer esta herramienta que pueda ser usada fácilmente en este sensor en particular que se encarga de regular la mezcla en el motor y así garantizar el buen funcionamiento de este último, además se pueden realizar pruebas y testeos sin la necesidad de montarlo en el vehículo.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un prototipo de un banco de pruebas para sensores de oxígeno (O<sub>2</sub>) vehiculares.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar las señales emitidas como respuesta a la salida de los sensores de oxígeno (O<sub>2</sub>) para la caracterización de las variables que intervienen en su funcionamiento.
- Implementar un diseño del prototipo de un banco de pruebas de sensores de oxígeno (O<sub>2</sub>) para el diagnóstico de los fallos en estos.
- Validar el funcionamiento del prototipo realizando pruebas a los sensores de oxígeno (O<sub>2</sub>) para garantizar un correcto funcionamiento del prototipo.

### 3 MARCO DE REFERENCIA

#### 3.1 ESTADO DEL ARTE

En este punto damos a conocer algunos proyectos que han desarrollado dispositivos donde ponen a prueba directa sensores que encontramos en los vehículos, además de catálogos donde se encuentra información importante acerca de los sensores de oxígeno (O<sub>2</sub>).

- **Diseño y construcción de un banco de pruebas para el análisis de señales de los sensores y actuadores del automóvil por medio de un osciloscopio:** Chávez, diseñó y construyó un banco de pruebas que tuvo como finalidad conocer las señales generadas por el sistema de inyección electrónica. Para esto fue fundamental contar con un simulador de dichas señales y obtener las mismas con la ayuda de un instrumento de medida llamado osciloscopio. La investigación parte del diseño del banco de pruebas, estructurado con la unidad de control y los sensores y actuadores, equipo que permitió obtener las gráficas a través de un osciloscopio automotriz. Para que luego pudieran analizarlas y aprender a diagnosticar el sistema electrónico del automóvil. Como resultados principales obtuvo que se implementó el banco de pruebas con la satisfacción de que su uso será de mucha funcionalidad para el manejo de un instrumento muy importante como es el osciloscopio. Además, logró configurar cada uno de los sistemas implementados en el banco, para que éstos funcionen de forma similar a los de un caso real. Este proyecto nos ayudó a recopilar información relevante e importante en cuanto a los tipos de sensores y actuadores que posee un vehículo, dentro de ellos se encuentra el sensor de oxígeno. Además, gracias a ello ampliamos nuestro conocimiento acerca de las señales emitidas por los sensores puestos a prueba [5].

- **Método de determinación de fallas para el sensor de (O<sub>2</sub>):** Namiki y su equipo, desarrollaron un método para determinar fallas en el sensor de oxígeno. El sensor detecta cuando la amplitud de voltaje de la salida se vuelve menor que un valor preestablecido durante el control de la relación aire-combustible o cuando el período de control de la relación aire-combustible es mayor que un valor preestablecido. Además, detecta la degradación de la respuesta del sensor en la relación aire-combustible según el resultado de la comparación entre el tiempo medido y un valor de referencia. Esta invención tuvo por objeto detectar con precisión la degradación del rendimiento, la desconexión y las fallas de este sensor, para evitar un control inadecuado de la relación aire-combustible atribuible a la falla del sensor de (O<sub>2</sub>) para poder aprovechar al máximo las capacidades de purificación de gases de escape de un convertidor catalítico. Este proyecto nos ayudó a identificar métodos para determinar fallas en el sensor, también adquirimos información en cuanto a la señal de la amplitud de voltaje que arroja como respuesta de su funcionamiento pudiendo verificar y comparar valores teniendo en cuenta la relación estequiométrica [6].
- **Sensores de oxígeno:** La reconocida marca Bosch lleva más de 40 años produciendo sensores de oxígeno de dos, tres y cuatro vías. Diseñaron un catálogo en el cual se incluyen todos los sensores que producen y que están disponibles en el mercado. Además, explican el funcionamiento detallado de estos y diseñaron una tabla en donde distribuyen por marca, modelo, cilindraje y demás, los vehículos para identificar el número de sensores que posee y en que ubicación del vehículo se encuentran instalados. El desarrollo de este catálogo por parte de la marca nos sirvió para identificar las especificaciones técnicas de los sensores de oxígeno más utilizados y también para identificar los tipos de sensores existentes para cada vehículo [1].

- **Sensores de oxígeno y de aire:** El catálogo de sensores de oxígeno y aire de la marca Denso es uno de los más vistos y usados por una gran variedad de autos en el mundo. Tiene información detallada de cada uno de los sensores y su uso; Denso realizó algo similar al catálogo de Bosch, pero con sus productos y agregaron los sensores de aires para los vehículos. Este documento nos fue de ayuda para complementar la información adquirida con el catálogo de la marca Bosch [7].

## **3.2 MARCO TEÓRICO**

### **3.2.1 SENSORES**

Un sensor es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, movimiento, etc.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo [5].

### **3.2.2 TIPOS DE SENSORES Y SU CLASIFICACIÓN**

Existen diferentes tipos de sensores en el campo automotriz, estos pueden ser según el tipo de señal de salida o según la magnitud física a detectar. Dentro de estos campos de clasificación, se encuentran los siguientes:

- **Según el tipo de señal de salida:**

- ✓ **Analógicos:** Un sensor analógico es aquel que, como salida, emite una señal comprendida por un campo de valores instantáneos que varían en el tiempo, y son proporcionales a los efectos que se están midiendo.
  - ✓ **Digitales:** Un sensor digital es un dispositivo que puede adoptar únicamente dos valores de salida; encendido o apagado (1 o 0). Los estados de un sensor digital son absolutos y únicos, y se usan donde se desea verificar estados de "verdad" o "negación" en un sistema automatizado.
- **Según la magnitud física a detectar:**
    - ✓ **Posición:** Es aquel que determina la posición de un objeto en relación con un punto de referencia.
    - ✓ **Velocidad:** Es un captador magnético que proporciona una señal de corriente alterna.

### 3.2.3 SENSOR DE OXÍGENO (O<sub>2</sub>)

El sensor de oxígeno (O<sub>2</sub>) es el encargado de medir e informar a la computadora del vehículo la concentración de oxígeno en el humo que sale por el múltiple de escape. Es también conocido con el nombre de sensor Lambda. Los motores del área automotriz deben quemar combustible para funcionar y esto sucede en presencia de oxígeno.

El sensor determina la composición de los gases de escape, enviando una señal a la computadora para que realice los ajustes necesarios y se obtenga la relación

óptima de aire-combustible, permitiendo detectar si la mezcla carburante es rica o pobre [5][8].

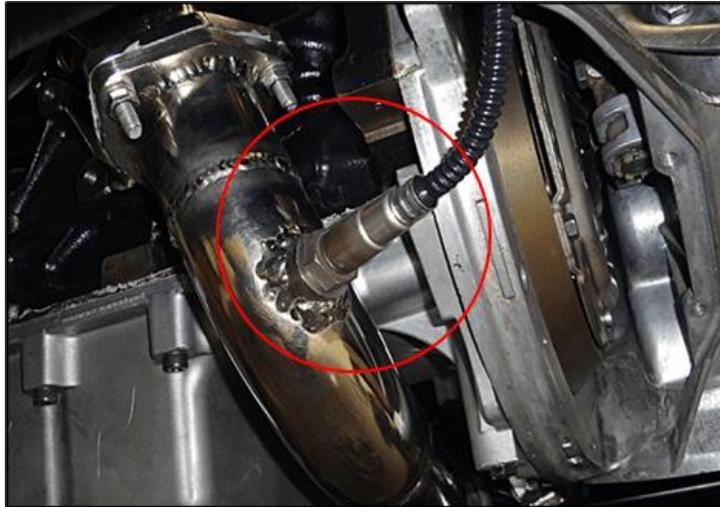
El sensor de oxígeno es uno de los componentes más importantes y sensibles de los vehículos. Se trata de una especie de tubo de circonio cerámico que se encuentra recubierto por una capa de platino. En la figura 1 podemos observar un sensor nuevo con su conexión:



*Figura 1. Sensor de oxígeno (O<sub>2</sub>) [9].*

### **3.2.4 UBICACIÓN DEL SENSOR DE OXIGENO (O<sub>2</sub>)**

El sensor de oxígeno es un componente sensible, se ubica en la salida del múltiple de escape o tubo de escape. En varios casos, pero más exactamente en los vehículos modernos, existen dos sensores de oxígeno; uno que va antes del catalizador y el otro después del catalizador, esto con el fin de mejorar la lectura de la cantidad de oxígeno presente en el humo para determinar si la mezcla presenta exceso de combustible o escasez de este y también evalúa la función del otro. Las distintas marcas de automóviles emplean la misma clase de sensor de oxígeno, de manera que su apariencia es semejante en todos los casos.



*Figura 2. Ubicación del sensor de oxígeno (O<sub>2</sub>) [5].*

### **3.2.5 FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR DE OXÍGENO (O<sub>2</sub>)**

El mecanismo de funcionamiento empleado por el sensor es generar una reacción química la cual produce un voltaje que es enviado a la unidad de control del motor o computadora del vehículo. De esa forma se determina qué clase de mezcla existe para así regular la cantidad de combustible que ingresa al motor.

El sensor mide y convierte la concentración de oxígeno que tienen los gases de escape en una señal eléctrica que es recibida por la computadora, la cual analiza y verifica si la mezcla de aire – combustible es la más adecuada, de no serlo la computadora ajusta la mezcla al nivel óptimo; la señal eléctrica enviada por el sensor se establece en el rango de (0.1V a 0.9V).

Cuando se habla de tipo de mezcla ya sea rica o pobre, es en referencia a la cantidad de combustible presente, es decir, una mezcla es rica por tener un alto nivel de combustible y pobre por tener un bajo nivel de combustible.

Con el contenido de oxígeno, la computadora puede determinar si la relación aire – combustible es rica o pobre y ajusta la mezcla de combustible de acuerdo con ello.

Si existe demasiado oxígeno en los gases de escape, significa una mezcla pobre (de 0.1 a 0.45V). Si existe poco oxígeno en la salida de los gases de escape, significa una mezcla rica debido a que esta consume casi todo el oxígeno (de 0.65 a 0.9V) [5].

El objetivo es lograr la relación estequiometría de 14.7 partes de aire por cada parte de combustible. Por ejemplo, si entran 14,7 gramos de aire, la computadora inyectará 1,0 gramos de combustible a las cámaras de ignición, de esta forma se logra una relación eficiente de aire y combustible. Si el sensor detecta que la concentración de oxígeno es baja, entonces ajusta la cantidad de combustible a entregar [8].

En la mezcla estequiométrica, el voltaje del sensor de oxígeno es de aproximadamente 0.45V.

Los cambios generados en la relación de aire – combustible desde el punto estequiométrico, hace que cambie la señal de tensión convirtiéndolo en un sensor de rango estrecho, es decir, que no puede detectar pequeños cambios en el contenido del flujo de oxígeno en los gases de escape, por lo que la unidad de control continuamente agrega o quita combustible produciendo ciclos ricos y pobres [13].

### **3.2.6 TIPOS DE SENSOR DE OXIGENO (O<sub>2</sub>)**

Existen varios tipos de sensores de oxígeno, estos dependen de la cantidad de vías o cables que se conectan a la unidad de control del motor. Hay sensores de oxígeno (O<sub>2</sub>) con una terminal, con dos terminales, con tres terminales y cuatro terminales. Cabe resaltar, que, en cualquiera de los casos todos cumplen la misma función. Además, se pueden clasificar los sensores en aquellos que no poseen calefacción y los que se les denomina calientes.

Los sensores también poseen distintos tipos de conectores los cuales varían de acuerdo con la marca del vehículo en el cual se encuentra montado, además existen varios tipos según la forma de su carcasa metálica, por ejemplo, tipo dedal o convencional, tipo planar y tipo banda ancha.



*Figura 3. Sensor de tipo dedal, finger o convencional [10].*



*Figura 4. Sensor de tipo planar [11].*



Figura 5. Sensor de tipo banda ancha [10].

- **Sensores sin calefacción:** Este tipo de sensores son los más antiguos y dependen del calor que poseen los gases de escape para calentarse. Los sensores sin calefacción son fáciles de identificar debido a que solo tienen una o dos vías de conexión; los sensores con un solo cable, alcanzan su temperatura de trabajo aproximadamente a los cinco minutos después de haber encendido el vehículo.
- **Sensores con calefacción:** Estos sensores fueron implementados en los años 90, poseen un elemento eléctrico que les permite calentarse y tienen la ventaja de operar a una mayor velocidad comparados con los sensores sin calefacción. Este tipo tiene tres y cuatro vías de conexión, las cuales se encargan de controlar el elemento eléctrico de calentamiento; La temperatura de trabajo oscila entre los 20 y 60 segundos después de haber encendido el vehículo.

### 3.2.7 MÉTODO DE PRUEBA DEL SENSOR DE OXIGENO (O<sub>2</sub>)

Existen varios métodos para comprobar que el sensor de oxígeno funcione, una de ellas es comprobar que la resistencia o calentador este dentro de los rangos de 4 a

6 ohm, debido a que dentro de este rango se logra la temperatura de funcionamiento para una correcta lectura. La temperatura oscila entre los 300 y 550 °C. Esto se logra usando el multímetro en la escala de ohm y cuando el vehículo este en reposo (motor frio) se conectan las terminales del multímetro a los cables pertenecientes al calentador del sensor para verificar el estado.

Otra forma es verificar que el calentador está siendo alimentado de manera correcta, y esto se logra colocando el multímetro en la escala de voltaje y se conecta un extremo al chasis del vehículo siendo este el negativo y el positivo a un extremo del calentador y se procede a encender el vehículo y verificar si está siendo alimentado con 12 V.

Por último se puede usar un scanner u osciloscopio para medir la señal del sensor, esta debe arrojar una onda senoidal que oscila en un rango de 0,1 y 0,9 voltios [12].

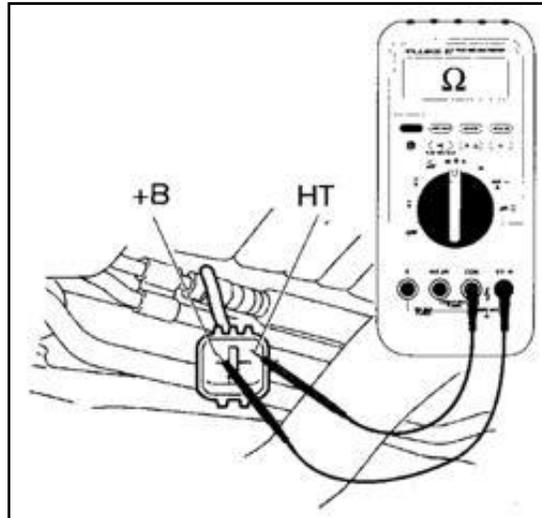
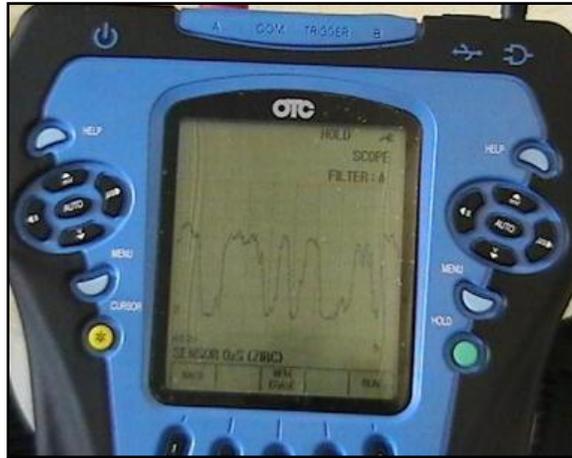


Figura 6. Método de prueba del sensor de oxígeno (O<sub>2</sub>) [13].



*Figura 7. Onda arrojada por la señal del sensor [12].*

### **3.2.8 INSPECCIÓN VISUAL DE UN SENSOR DE OXIGENO**

El desgaste físico de un sensor de oxígeno afecta en gran parte su funcionamiento debido a que acumula suciedades que lo deterioran y hace que no realice bien su trabajo. También, debido a las altas temperaturas, se genera un recalentamiento que con el tiempo corroe el material por el cual está compuesto.

En las figuras 8 y 9 se pueden observar dos sensores, uno que se encuentra totalmente nuevo y en óptimas condiciones de operación y otro, el cual por el tiempo y falta de mantenimiento no funciona y esta físicamente deteriorado.



*Figura 8. Sensor en óptimas condiciones [Los autores].*



*Figura 9. Sensor deteriorado [Los autores].*

### **3.2.9 FORMAS Y DISPOSITIVOS PARA SUMINISTRAR CALOR**

- **Calentamiento por inducción:** El calentamiento por inducción es un proceso que se utiliza para calentar, endurecer, unir o ablandar metales u otros materiales conductivos. En procesos modernos de fabricación, el calentamiento por inducción ofrece una atractiva combinación de velocidad, consistencia, control y eficiencia energética. Cabe resaltar que este método

solo funciona para materiales ferromagnéticos, es decir, que son atraídos por imanes [14].

- ✓ **Principio de funcionamiento:** Cuando una corriente alterna se aplica al primario de un transformador, se genera un campo electromagnético. Según la Ley de Faraday, si el secundario del transformador se coloca dentro del campo magnético, se induce una corriente eléctrica. En otras palabras, La potencia es aplicada a la pieza de trabajo por una bobina de inducción. Una corriente alterna que fluye por una bobina (A) genera un campo magnético (B). Colocando una pieza de trabajo (C) dentro del campo, se inducen corrientes parásitas. El calor se produce, única y exclusivamente, donde fluyen estas corrientes parásitas [14].

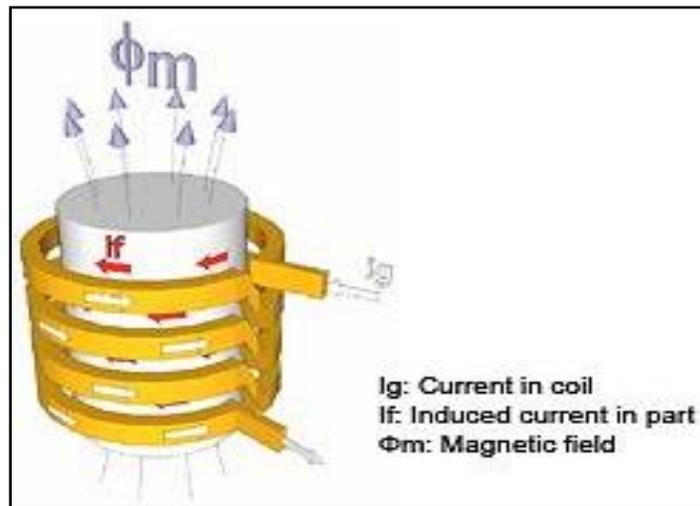


Figura 10. Principios del calentamiento por inducción [14]

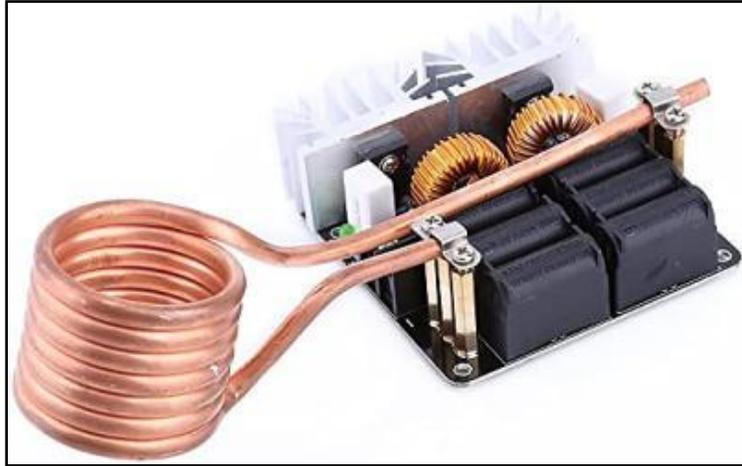


Figura 11. Módulo de calentamiento por inducción [14].

- **Pistola de calor:** Es una herramienta eléctrica utilizada para emitir una corriente de aire caliente. Superficialmente (tanto en forma como en construcción) es similar a un secador de pelo, pero una pistola de calor opera con una temperatura muy superior. Se maneja a menudo dentro de los campos de la física, ciencia de material, química, ingeniería, y otro tipo de entornos como laboratorios o talleres. La pistola de calor se puede emplear para pelar y para resecar pintura, aplicar en tuberías de encogimiento de calor, secar la humedad de la madera, curvar plástico y suavizar. También se utilizan en electrónica para desoldar los componentes de un tablero de circuito. Normalmente la salida de aire se realiza a temperaturas que van desde 100 hasta 550 °C (200 a 1000 °F), y en algunos modelos, más caliente aun llegando a los 760 °C (1400 °F) [15].



Figura 12. Pistola de calor [16].

- **Encendedor:** El encendedor es un reactor químico portátil que se utiliza para generar llamas, consta de una caja o depósito y un sistema piezoeléctrico que genera la chispa, un carburante y un agente oxidante que logran la reacción química. Generalmente el carburante necesario para la mecha del encendedor, suele ser gasolina o butano a presión, y el tanque de combustible se llena con un agente oxidante, que es oxígeno en el aire y la chispa se genera debido al impacto de este sobre un cuarzo al momento de activar el encendedor.

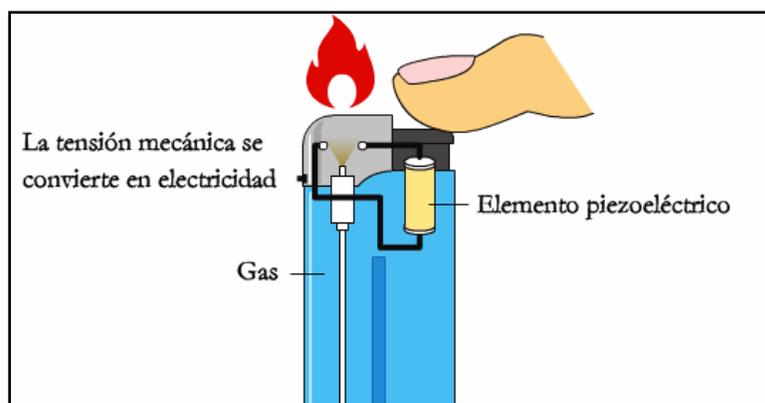


Figura 13. Partes de un encendedor [17].

### 3.2.10 DISPLAY OLED ARDUINO

Las pantallas OLED (*Organic Light-Emitting Diode*) diodo orgánico de emisión de luz. Están compuestas por láminas de materiales orgánicos como el carbón. Estas láminas emiten luz cuando se les aplica electricidad entre ellos. En realidad, las láminas están colocadas entre dos conductores. Una de las ventajas de las pantallas OLED con respecto a pantalla LCD es que no requieren de una luz de fondo ni de filtros. Esto hace que las pantallas OLED sean más eficientes en términos de energía, más fáciles de fabricar y mucho más finas. A parte pueden ser flexibles y transparentes. En la actualidad se utilizan en multitud de dispositivos como televisores, teléfonos y, como no, para utilizar pantallas OLED con Arduino o ESP8266. Sin duda alguna OLED es una tecnología puntera que en la actualidad está cambiando la forma en la que los dispositivos muestran información. Sin embargo, todavía quedan muchos retos que superar.

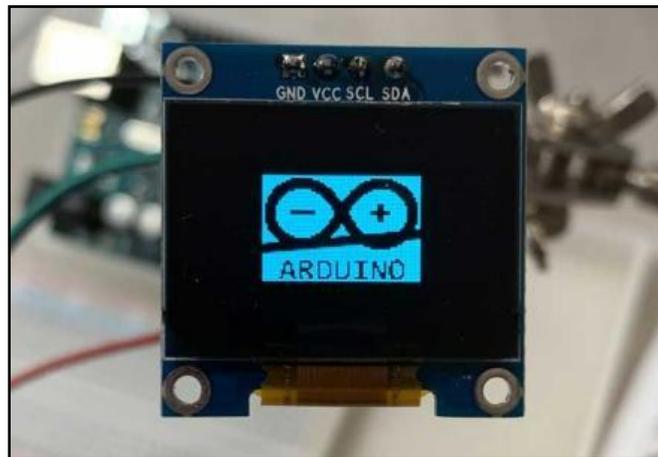


Figura 14. Pantalla OLED [18].

## **4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

### **4.1 TIPO DE ESTUDIO**

El tipo de estudio implementado fue de tipo descriptivo debido a que se recolectaron datos para analizar y describir el comportamiento del sensor cuando este reflejaba la cantidad de oxígeno presente en el humo del vehículo. Además, se interpretaron los datos obtenidos mediante las mediciones hechas por el banco de pruebas. Para ello, se siguieron ciertas etapas que permitieron alcanzar los objetivos propuestos en este proyecto.

### **4.2 PARADIGMA DE INVESTIGACIÓN**

El paradigma de esta investigación se basó en un enfoque cuantitativo, debido a que se estudiaron las conductas observables del sensor tales como el voltaje, el cual se almacenó e interpretó para la debida caracterización e identificación de las salidas del sensor.

### **4.3 POBLACIÓN**

Para este caso la población está compuesta por todos los sensores de oxígeno, los cuales fueron fundamentales para poder llevar a cabo el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

### **4.4 MUESTRA**

Como muestra se seleccionaron los dos tipos de sensores más usados actualmente que son los sensores de tres y cuatro vías, que sirvieron para la validación de funcionamiento del dispositivo.

## 4.5 FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la realización de las etapas del proyecto se realizó una recopilación de los datos suministrados por el sensor. Para ello, se hizo uso de instrumentos tales como Arduino para la adquisición de datos, además de herramientas de diseño mecánico como SolidWorks y electrónico como Proteus.

También fue necesario contar con teorías relacionadas con la temática de la adquisición de señales, especificaciones de funcionamiento y clasificación de los sensores, las cuales nos posibilitaron encontrar en distintas fuentes tales como: manuales y catálogos de fabricantes de los sensores de oxígeno, así también como en fuentes secundarias como el internet y artículos científicos de proyectos afines que ayudaron en el cumplimiento de los objetivos. Todas estas fuentes pueden ser vistas de manera detallada en la bibliografía de este documento.

## 4.6 PROCEDIMIENTOS

Se realizó una revisión en las bases de datos, IEEE, Scopus y ScienceDirect, en donde se revisaron artículos científicos relacionados con el uso de sensores de oxígeno ( $O_2$ ) para identificar los antecedentes y que tan desarrollado estaba el tema durante los últimos once años (2008 -2019). Así mismo, se revisaron los trabajos de pregrado o tesis relacionadas con la temática.

Los procedimientos implementados para la adquisición y procesamiento de información se detallan a continuación:

- **Bases de datos:** En este caso se recurrió a las bases de datos especializadas brindadas por la Biblioteca de la Universidad Autónoma Del Caribe, teniendo en cuentas las pautas e indicaciones brindadas por el

personal encargado, acerca del buen uso y búsqueda exhaustiva de artículos y documentos clave que se relacionaban con el proyecto.

- **Herramientas informáticas:** Como herramientas informáticas se hizo uso de Mendeley como gestor de referencias para el procesamiento de la información bibliográfica adquirida en las bases de datos especializadas y las herramientas ofimáticas de Microsoft Office.

## **4.7 METODOLOGÍA**

Inicialmente se identificaron cuáles son los sensores que más usan los vehículos actuales, los cuales son de tres y cuatro cables o vías. Esto se logró gracias a los catálogos brindados por las marcas fabricantes de estos en donde especifican el tipo y la ubicación del sensor para cada marca de carro. Posteriormente, se realizó la compra de los sensores y procedimos al desarrollo metodológico el cual se dividió en una serie de ítems de la siguiente manera:

### **4.7.1 ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL SENSOR DE OXÍGENO (O<sub>2</sub>)**

Para el análisis de funcionamiento, se usó la hoja de especificaciones que trajo el sensor al momento de la compra en donde se especifica el funcionamiento básico, el número de terminales, los pines de suministro y los de salida de datos, además de el voltaje de funcionamiento, rango de valores de respuesta en los pines de salida y el modo de uso, como lo es el montaje y desmontaje de este.

### **4.7.2 REGISTRO Y ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL DE SALIDA DEL SENSOR DE OXÍGENO (O<sub>2</sub>)**

Sabiendo como es el funcionamiento del sensor, se pasó al registro y acondicionamiento de la señal. Aquí se diseñó un circuito mediante el software

Proteus en donde se preestablecen las conexiones con el Arduino y todos los componentes que se deben usar para a montarlo en una protoboard. Se trasladó el esquema hecho en Proteus y se obtuvieron los primeros registros de las señales emitidas por el sensor de oxígeno (O<sub>2</sub>).

#### **4.7.3 IMPLEMENTACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS**

Para ello se hizo uso de SolidWorks como herramienta CAD para diseñar un sistema portable en donde irán todos los componentes del sistema teniendo en cuenta la correcta distribución de estos.

Todas las piezas son impresas en 3D para una buena y adecuada presentación del dispositivo, las piezas se ensamblaron y verificaron para que cada componente encaje y funcione como se debe.

#### **4.7.4 VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO**

Finalmente, se validó el funcionamiento del prototipo con pruebas realizadas a los sensores. Se realizó una lista de comprobaciones donde se especificó el correcto funcionamiento de cada componente. La validación del dispositivo se comprobó con una tabla en donde se estipularon las mediciones realizadas por el banco de pruebas y también mediciones realizadas de la manera convencional las cuales comparadas pudieron avalar el óptimo funcionamiento de todo el prototipo.

#### **4.8 CRONOGRAMA – PLAN DE TRABAJO**

En esta sección se muestra el cronograma y plan de trabajo que se llevó a cabo para poder cumplir los objetivos propuesto para este trabajo de grado, además de la duración en días de cada objetivo, llevando un seguimiento de estos a través de

actividades y entregables que garantizaron el cumplimiento de estos en los tiempos estipulados.

 <b>Universidad Autónoma del Caribe</b> <b>Proyecto de Grado - Ingeniería Mecatrónica</b> <b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES</b> 				
Componentes	Descripción	Fecha Inicio	Fecha Final	Duración (Días)
Planeación del Proyecto	Desarrollar un prototipo de un banco de pruebas para sensores de oxígeno (O2) vehiculares.	1/11/2020	30/06/2021	238
Ingresar las fases de Opción de grado I	Se realizó hasta el entregable # 1.	1/11/2020	30/11/2020	
<b>OBJETIVO 1</b>	<b>Analizar las señales emitidas como respuesta a la salida de los sensores de oxígeno (O2) para la caracterización de las variables que intervienen en su funcionamiento.</b>	<b>1/11/2020</b>	<b>25/02/2020</b>	<b>116</b>
<b>Entregable # 1</b>	<b>Ficha técnica de los sensores de oxígeno más utilizados por fabricantes de vehículos.</b>	<b>1/11/2020</b>	<b>30/11/2020</b>	<b>29</b>
Actividad 1	Selección de los sensores de oxígeno.	1/11/2020	18/11/2020	
Tarea1	Clasificar por los tipos de sensores más utilizados.	1/11/2020	10/11/2020	
Tarea2	Seleccionar sensores de oxígeno en común entre los grandes fabricantes de vehículos.	10/11/2020	18/11/2020	
Actividad 2	Selección de dos catálogo de sensores de oxígeno como base de prototipo a desarrollar.	18/11/2020	30/11/2020	
Tarea1	Cuadro comparativo con los catálogos más importantes.	19/11/2020	29/11/2020	
<b>Entregable # 2:</b>	<b>Informe de los tipos de sensor de oxígeno seleccionado para el prototipo.</b>	<b>1/12/2020</b>	<b>25/02/2021</b>	<b>86</b>
Actividad 3	Medir las señales de los tipos sensor de oxígeno a utilizar.	1/12/2020	12/01/2021	
Tarea1	Comprar los sensores.	2/12/2020	26/12/2020	
Tarea2	Identificar las terminales en el sensor para su correcta medición.	26/12/2020	8/01/2021	
Tarea3	Realizar un cuadro comparativo con las mediciones de los sensores a utilizar.	8/12/2020	12/01/2021	
Actividad 4	Caracterizar los tipos de sensor de oxígeno seleccionados.	12/01/2021	25/02/2021	
Tarea1	Realizar un documento con las características de los tipos de sensor de oxígeno seleccionados para el prototipo.	13/01/2021	24/02/2021	

Figura 15. Cronograma primer objetivo [Los autores].

<b>OBJETIVO 2</b>	<b>Implementar un diseño del prototipo de un banco de pruebas de sensores de oxígeno (O2) para el diagnóstico de los fallos en estos.</b>	<b>26/02/2021</b>	<b>14/05/2021</b>	<b>77</b>
<b>Entregable # 3</b>	<b>Diseño en herramienta CAD y Proteus del prototipo y programación en Arduino.</b>	<b>26/02/2021</b>	<b>30/04/2021</b>	<b>63</b>
Actividad 5	Elegir una herramienta de diseño para el prototipo.	26/02/2021	5/03/2021	
Tarea1	Realizar un cuadro comparativo con las diferentes herramientas de diseño.	26/02/2021	28/02/2021	
Tarea2	Comprar la herramienta de diseño seleccionada.	1/03/2021	4/03/2021	
Actividad 6	Realizar el diseño y simulaciones en el software de diseño.	5/03/2021	16/04/2021	
Tarea1	Diseño en la herramienta Proteus del circuito para el prototipo.	5/03/2021	30/03/2021	
Tarea 2	Diseño en herramienta CAD con la correcta medición los componentes para que encajen en la carcasa.	31/03/2021	13/04/2021	
Tarea2	Simulaciones.	13/04/2021	19/04/2021	
Actividad 7	Realizar programación para el correcto funcionamiento del sensor en el prototipo.	16/04/2021	30/04/2021	
Tarea1	Diseño del programa en el software Arduino y conexiones en Proteus.	16/04/2021	23/04/2021	
Tarea2	Pruebas del programa con los sensores.	23/04/2021	30/04/2021	
<b>Entregable # 4</b>	<b>Impresión 3D y puesta del prototipo en funcionamiento con acabados finales.</b>	<b>1/05/2021</b>	<b>14/05/2021</b>	<b>17</b>
Actividad 8	Impresión 3D de la carcasa del prototipo.	1/05/2021	14/05/2021	
Tarea1	Imprimir las partes requerida para el prototipo.	1/05/2021	10/05/2021	
Tarea2	Probar la funcionalidad de todas las partes.	10/05/2021	14/05/2021	
<b>OBJETIVO 3</b>	<b>Validar el funcionamiento del prototipo realizando pruebas a los sensores de oxígeno (O2) para garantizar un correcto funcionamiento del prototipo.</b>	<b>15/05/2021</b>	<b>30/06/2021</b>	<b>45</b>
<b>Entregable # 5</b>	<b>Pruebas en el prototipo con sensores de oxígeno.</b>	<b>15/05/2021</b>	<b>15/06/2021</b>	<b>31</b>
Actividad 9	Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo con los sensor de 3 y 4 vías.	15/05/2021	15/06/2021	
Tarea1	Probar los sensores de oxígeno en el prototipo.	15/05/2021	5/06/2021	
Tarea2	Lista de comprobación del prototipo en términos de funcionamiento.	5/06/2021	15/06/2021	
<b>Entregable # 6</b>	<b>Manual de usuario del prototipo.</b>	<b>16/06/2021</b>	<b>30/06/2021</b>	<b>14</b>
Actividad 10	Realizar documentos con las ventajas de este prototipo y forma de uso.	16/06/2021	30/06/2021	
Tarea1	Realizar un documento con especificaciones del prototipo.	16/06/2021	22/06/2021	
Tarea2	Realizar un documento con la correcta forma de uso del prototipo.	22/06/2021	30/06/2021	

Figura 16. Cronograma segundo y tercer objetivo [Los autores].

## 5 PRESUPUESTO

El presupuesto de este trabajo de grado contiene rubros que van desde el personal científico, personal de apoyo y además de los materiales y equipos que fueron necesarios para la consecución de este trabajo.

### 5.1 PRESUPUESTO GENERAL

Tabla 1. Presupuesto general.

	<b>PRESUPUESTO PARA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>GC-IV-PR-05-03</b>			
		<b>Versión 4</b>			
		<b>16/10/2018</b>			
<b>PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO</b>					
<b>RUBROS</b>	<b>Fuentes de Financiamiento</b>				<b>Total</b>
	<b>Vicerrectoría de Investigación y Transferencia UAC</b>	<b>Facultad / Programa</b>	<b>Otras fuentes Externas</b>	<b>Contrapartida UAC</b>	
1. Personal Científico	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 11.340.928	\$ 11.340.928
2. Personal de Apoyo	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 1.142.272	\$ 1.142.272
3. Consultoría Especializada y Servicios Técnicos	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
4. Materiales e Insumos	\$ 0	\$ 0	\$ 597.000	\$ 0	\$ 597.000
5. Salidas de Campo	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
6. Equipos	\$ 0	\$ 0	\$ 633.780	\$ 0	\$ 633.780
7. Bibliografía	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
8. Difusión de Resultados	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
9. Viajes	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
<b>TOTAL, PRESUPUESTO DEL PROYECTO</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 1.230.780</b>	<b>\$ 12.483.200</b>	<b>\$ 13.713.980</b>

### 5.2 PERSONAL CIENTÍFICO Y DE APOYO

El presupuesto invertido en este rubro consiste en el costo del tiempo empleado por el personal de investigación vinculados a este proyecto, que incluye a los directores y a los auxiliares de investigación.

Tabla 2. Costo personal científico.

1. PERSONAL CIENTIFICO										
Nombres y Apellidos	Función dentro del Proyecto	Tipo de Contrato	Valor Hora (\$)	Dedicación Horas/semana	No. de Semanas	Fuentes de Financiamiento				
						Vicerrectoría de Investigación y Transferencia	Facultad / Programa	Otras Fuentes Externas	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1.Saul Antonio Pérez Pérez	Investigador principal	Titular	\$ 46.666	4	32		Ingeniería		\$ 5.973.248	\$ 5.973.248
2.Carlos Díaz Sáenz	Co-Investigador	Asociado	\$ 41.935	4	32		Ingeniería		\$ 5.367.680	\$ 5.367.680
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 11.340.928</b>	<b>\$ 11.340.928</b>

Tabla 3. Costo personal de apoyo.

2. PERSONAL DE APOYO										
Nombres y Apellidos	Función dentro del Proyecto	Tipo de Vinculación	Valor Hora (\$)	Dedicación Horas/semana	No. de Semanas	Fuentes de Financiamiento				
						Vicerrectoría de Investigación y Transferencia	Facultad / Programa	Otras Fuentes Externas	Contrapartida UAC	SUB-TOTAL
1. Carlos Julio Latta Castro	Aux. Investigación	Practicante	\$ 2.231	8	32		Ingeniería		\$ 571.136	\$ 571.136
2. Erick Enrique Ramos Arrieta	Aux. Investigación	Practicante	\$ 2.231	8	32		Ingeniería		\$ 571.136	\$ 571.136
<b>SUB-TOTAL</b>						<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 1.142.272</b>	<b>\$ 1.142.272</b>

### 5.3 MATERIALES, INSUMOS Y EQUIPOS

El presupuesto dedicado a esta sección incluye los materiales necesarios como los sensores para las pruebas y aquellos insumos como la impresión 3D de la carcasa y los sockets donde se conectan los sensores al prototipo, además de los equipos necesarios para armar todo el prototipo.

Tabla 4. Costo materiales e insumos.

4. MATERIALES E INSUMOS						
Descripción	Justificación	Fuentes de Financiamiento				SUB-TOTAL
		Vicerrectoría de Investigación y Transferencia	Facultad / Programa	Otras Fuentes Externas	Contrapartida UAC	
1.Sensor de oxígeno 4 vías nuevo y usado.	Pruebas		Ingeniería	\$ 137.000		\$ 137.000
2.Sensor de oxígeno 3 vías nuevo y usado.	Pruebas		Ingeniería	\$ 130.000		\$ 130.000
3.Impresion 3D	Prototipo		Ingeniería	\$ 210.000		\$ 210.000
4.Sensor de oxígeno 4 vías usado (2 unidades).	Pruebas		Ingeniería	\$ 80.000		\$ 80.000
<b>SUB-TOTAL</b>		<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 597.000</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 597.000</b>

Tabla 5. Costo equipos usados.

6. EQUIPOS							
Descripción	Justificación	Cantidad	Fuentes de Financiamiento				SUB-TOTAL
			Vicerrectoría de Investigación y Transferencia	Facultad / Programa	Otras Fuentes Externas	Contrapartida UAC	
1.Multímetro y herramientas	Pruebas	1		Ingeniería	\$ 163.840		\$ 163.840
2.Herramienta de diseño CAD	Diseño del prototipo	1		Ingeniería	\$ 361.940		\$ 361.940
3.Arduino Uno	Prototipo	1		Ingeniería	\$ 25.000		\$ 24.000
4.Shield Arduino Uno	Prototipo	1		Ingeniería	\$ 15.000		\$ 15.000
5.Pantalla Oled I2c Arduino	Prototipo	1		Ingeniería	\$ 16.000		\$ 16.000
6.Fuente 12 V	Prototipo	1		Ingeniería	\$ 18.000		\$ 18.000
7.PCB, borneras e interruptores.	Prototipo	1		Ingeniería	\$ 35.000		\$ 35.000
<b>SUB-TOTAL</b>			<b>\$ 0</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 633.780</b>	<b>\$ 0</b>	<b>\$ 633.780</b>

## **6 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **6.1 DISEÑO DEL PROTOTIPO**

En esta sección tenemos las fases de diseño que llevamos a cabo para tener el prototipo funcional, empezando desde el diseño de la programación en Arduino donde preestablecimos la cantidad de entradas y salidas y así sus funciones, luego el diseño electrónico en Proteus donde se realizó un modelo del circuito (PCB) con todas sus conexiones para implementarlo, y por último el diseño de la carcasa del prototipo en SolidWorks para que los componentes estuvieran bien repartidos para un mejor uso y funcionalidad.

#### **6.1.1 DISEÑO DE PROGRAMACION EN ARDUINO**

Se utilizó el software de acceso libre Arduino para la programación del Arduino Uno, sus entradas (alimentación y señales) y salida (pantalla con voltaje y la gráfica) que nos ayudó a interpretar el estado del sensor, a continuación, tenemos la declaración de variables y el principio del código en el software de Arduino.

```

//INCLUSION DE IMAGENES
#include "uac.h"
#include "sensor.h"

//LIBRERIAS
#include <Adafruit_SSD1306.h> //LIBRERIA PARA EL DRIVER DEL DISPLAY OLED
#include <Adafruit_GFX.h> //LIBRERIA PARA GESTIONAR LOS EFECTOS GRAFICOS
Adafruit_SSD1306 display(128, 64); //DECLARA LA RESOLUCION DEL DISPLAY

//VARIABLES
float valorAnalogico = 0;
float voltaje = 0;
float graficaVoltaje = 0;
int x[128];
int y[128];
int s3v = 0;
int s4v = 0;
int l3v = 2;
int l4v = 3;
int s3 = A0;
int s4 = A1;

void setup() {
  delay(100);
  //INICIALIZACION PANTALLA OLED
  display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C); //INICIA LA COMUNICACION I2C CON EL DISPLAY
  display.setRotation(0); //DETERMINA LA ORIENTACION DEL DISPLAY (0 - 2)
  display.dim(true); //ESTIPULA EL BRILLO EN MAXIMO
  display.setTextColor(WHITE);

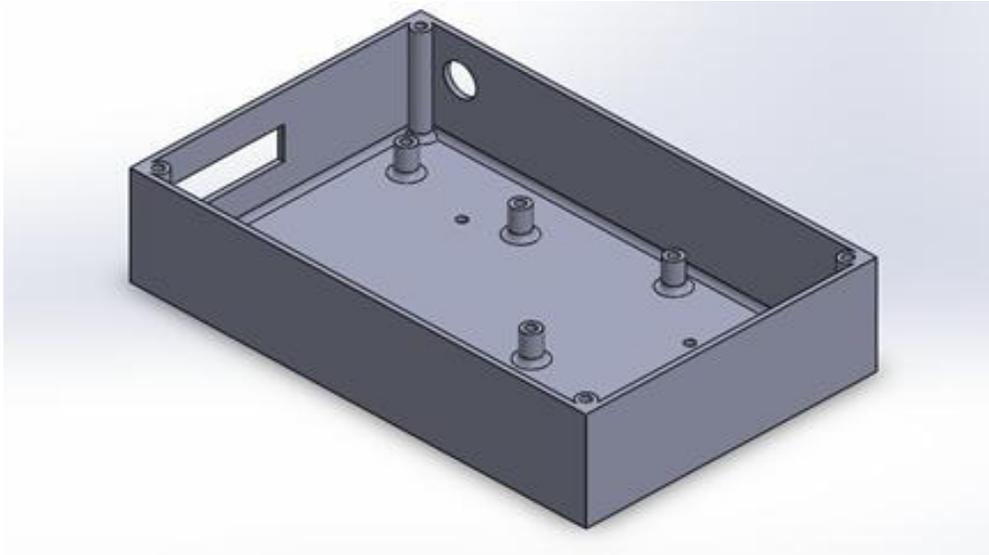
```

*Figura 17. Código en software de Arduino [Los autores].*

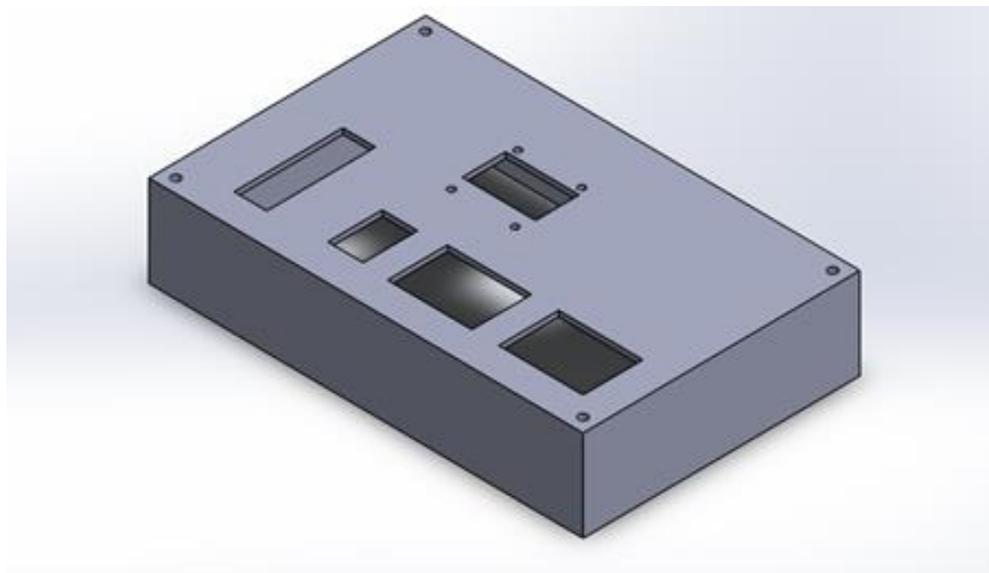
## 6.1.2 DISEÑO DE PCB EN PROTEUS

En el software Proteus se realizaron las conexiones desde la tarjeta de circuito impreso hacia el Arduino, así como también las conexiones de alimentación, igualmente las necesarias para los interruptores que funcionan uno como botón On/Off y los otros dos como selectores para el sensor a probar, además de borneras para los sensores a probar, y por ultimo las conexiones hacia la pantalla del prototipo.





*Figura 20. Diseño de parte inferior de la carcasa en SolidWorks [Los autores].*



*Figura 21. Diseño de parte superior de la carcasa en SolidWorks [Los autores].*

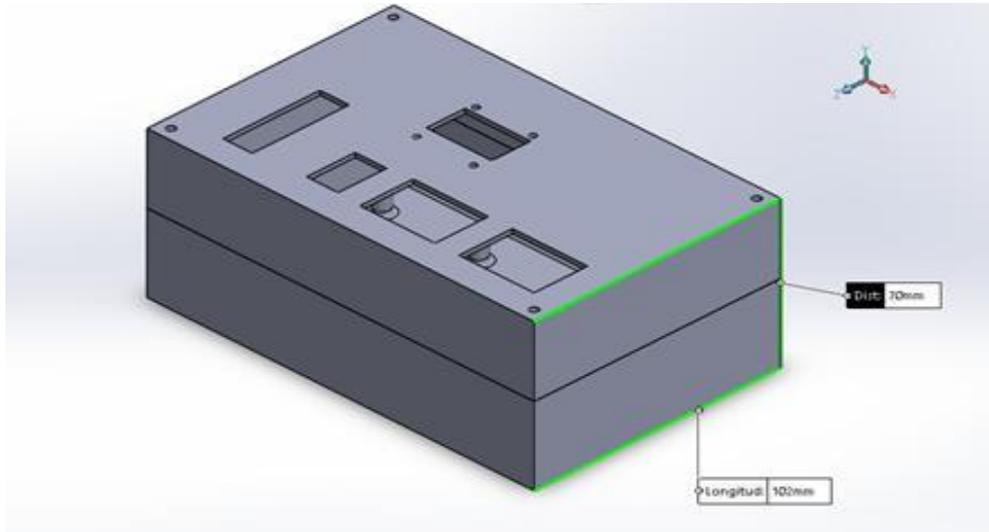


Figura 22. Ensamble de la carcasa en SolidWorks [Los autores].

## 6.2 DISEÑO DISPOSITIVO FINAL

El dispositivo final cuenta con un diseño pensado para el uso diario, con una carcasa hecha en impresión 3D y un diseño de la PCB capaz de tener todos los elementos en ella y su fácil montaje y desmontaje de elementos para el correcto funcionamiento del dispositivo, además de contar con una base para el sensor durante su prueba.



Figura 23. Vista superior del dispositivo final con un sensor a probar [Los autores].

### 6.2.1 DIMENSIONES DEL DISPOSITIVO FINAL

El dispositivo consta de dos partes, una que es la base la cual está compuesta de madera, y la otra que es el dispositivo como tal, que está compuesto por impresión 3D. Las medidas mostradas a continuación, hacen referencia al dispositivo final el cual incluye base y la carcasa impresa en 3D que contiene el circuito interno, las dimensiones de la carcasa impresa en 3D tiene las siguientes dimensiones acorde a un eje coordenado X, Y, Z:

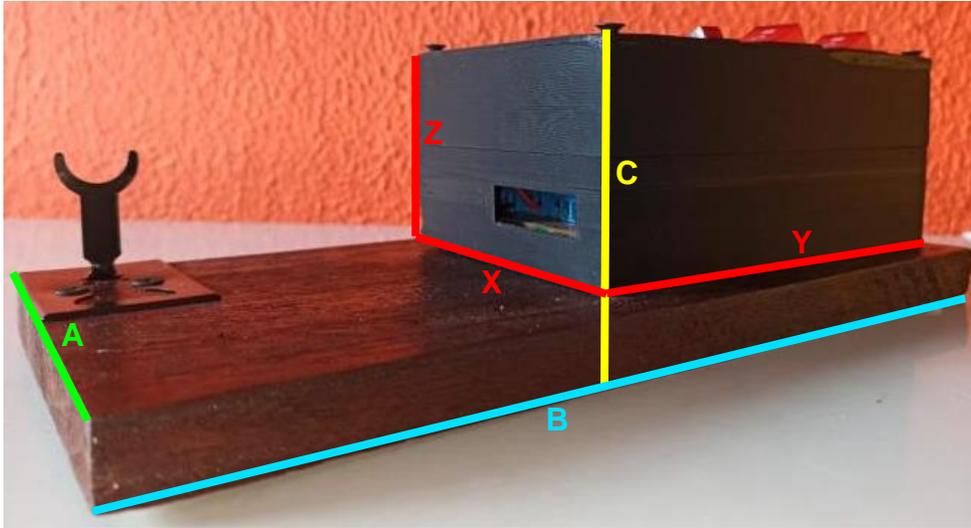


Figura 24. Dimensiones del dispositivo [Los autores].

Tabla 6. Dimensiones del dispositivo.

A	130 mm
B	290 mm
C	85 mm
X	160 mm
Y	102 mm
Z	70 mm

## 6.3 MATERIALES

### 6.3.1 ARDUINO UNO

La placa de Arduino Uno fue seleccionada entre los diferentes modelos con los que esta cuenta debido a la cantidad de entradas, salidas y alimentación que se necesitó para el prototipo.

### 6.3.2 PANTALLA OLED

La pantalla OLED seleccionada fue la ideal para mostrar el voltaje de salida del sensor en la parte superior, pero además para graficarlo en tiempo real, adicional a esto, este dispositivo cuenta con un selector para los tipos de sensores de 3 y 4 vías que puede verse gracias a esta pantalla.

### **6.3.3 INTERRUPTOR**

El prototipo cuenta con 3 interruptores, estos fueron necesarios para hacer el selector de uso de que sensor se va a probar en el prototipo ya sea de 3 o de 4 vías, pero también tiene uno adicional el cual se encarga de encender este banco de pruebas.

### **6.3.4 BORNERA**

El prototipo cuenta con 7 borneras con las cuales garantizamos que se puedan cambiar elementos de la placa si se dañan debido a que no están conectados directos a la placa.

### **6.3.5 FUENTE DE ALIMENTACION**

El sensor de oxígeno debe ser alimentado con 12V para su correcto funcionamiento, el Arduino Uno también puede trabajar a este voltaje por lo cual escogimos una fuente de 12V a 1.5A para el prototipo.

### **6.3.6 PLA**

La carcasa del prototipo final fue hecha en una impresora 3D con el material PLA el cual escogimos por ergonomía y facilidad, además que da un buen aspecto al prototipo.

## 6.4 RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de datos se comprobó el comportamiento del sensor con una medición en el ambiente, luego durante la prueba se le aplicaba el calor y se le quitaba para ver la reacción del sensor a la mezcla producida por el encendedor, por último, se compararon las pruebas entre los sensores nuevos y usados para comparar los funcionamientos y las reacciones de estos a la presencia de la mezcla.

Para las pruebas utilizamos un total de 6 sensores de oxígeno, 2 sensores de 3 vías y 4 sensores de 4 vías en diferentes condiciones para observar su reacción a las pruebas realizadas.

En la figura 25 vemos la evidencia de la prueba de un sensor de 3 vías nuevo en donde su gráfica y el voltaje se mantiene en los rangos adecuados, y en la figura 26 tenemos la evidencia de la prueba de un sensor de 3 vías usado y en condiciones deterioradas en el cual no se logra apreciar la gráfica debido a que no es capaz de detectar el rango de voltaje para su funcionamiento.

Por último, podemos observar en la figura 27 la evidencia de la prueba de un sensor de 3 vías nuevo con un problema de cableado en donde no se registra ningún tipo de voltaje.

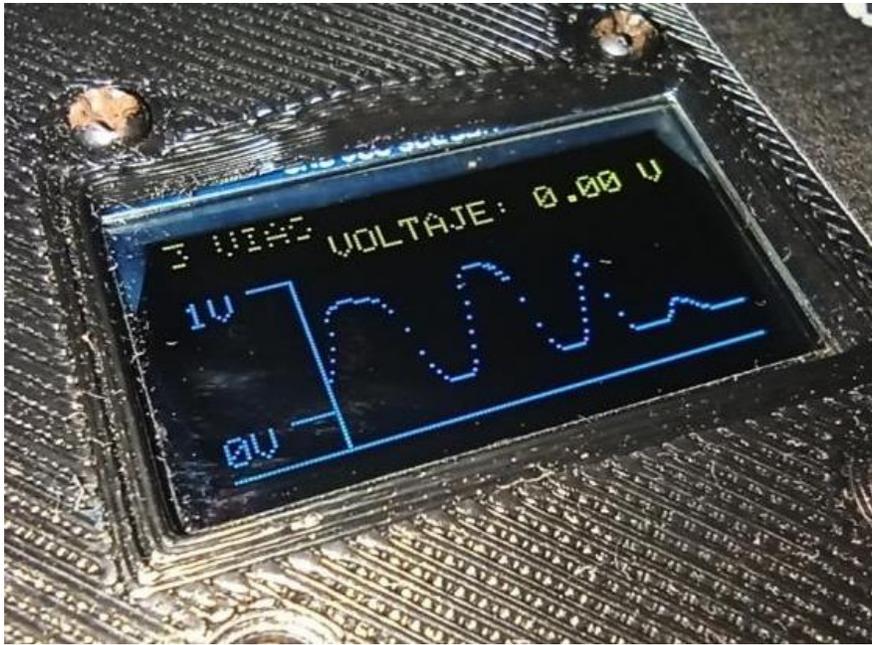


Figura 25. Prueba del sensor de 3 vías nuevo [Los autores].

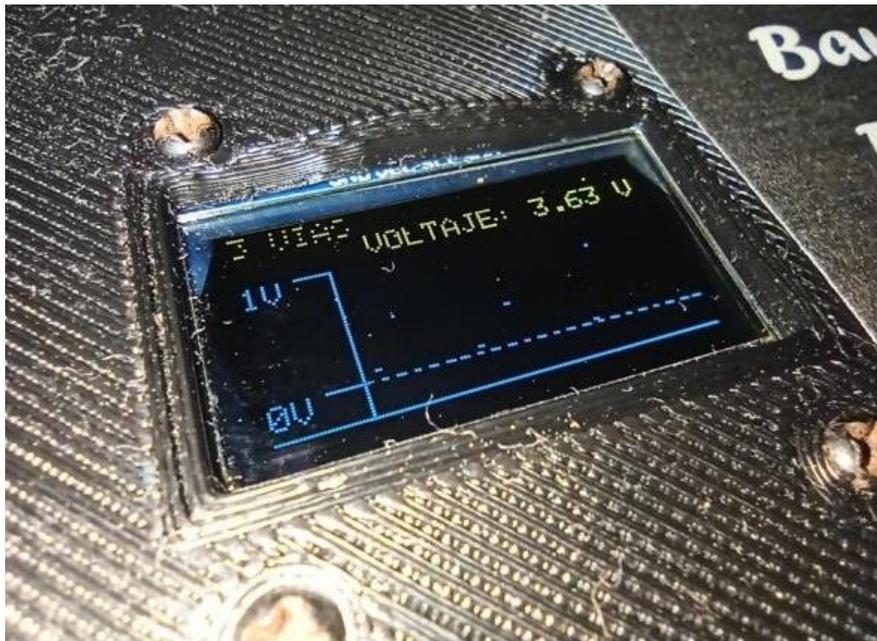


Figura 26. Prueba del sensor de 3 vías usado [Los autores].

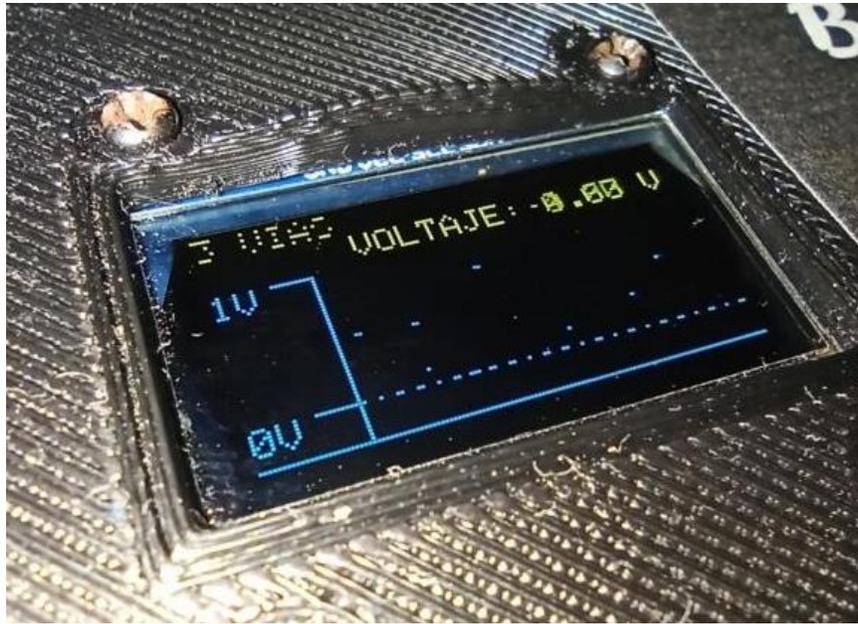


Figura 27. Prueba del sensor de 3 vías nuevo con problemas de cableado [Los autores].

En la figura 28 encontraremos la evidencia de la prueba de un sensor de 4 vías nuevo y su comportamiento, en las figuras 29 y 30 estarán las evidencias de las pruebas realizadas a 2 sensores usados en diferentes condiciones.

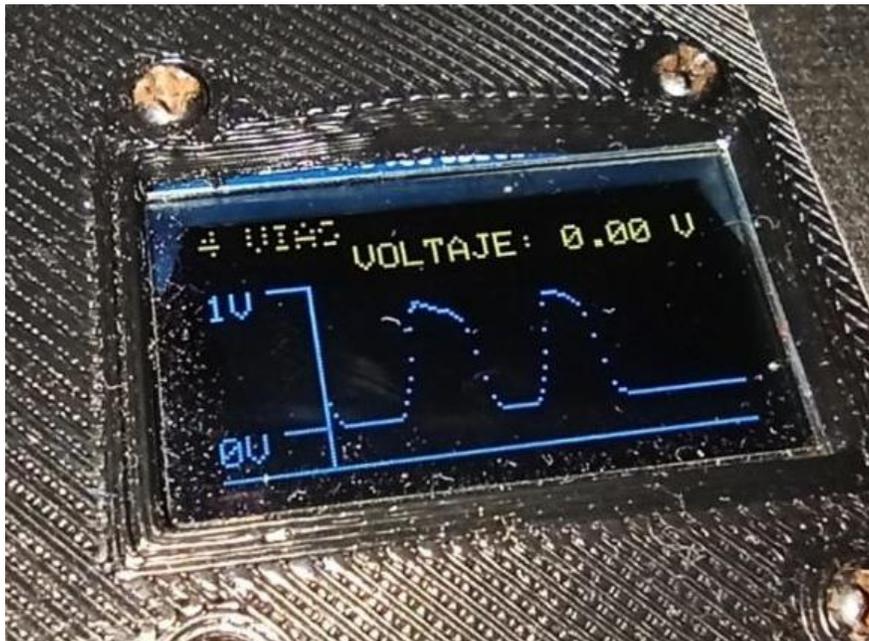


Figura 28. Prueba del sensor de 4 vías nuevo [Los autores].

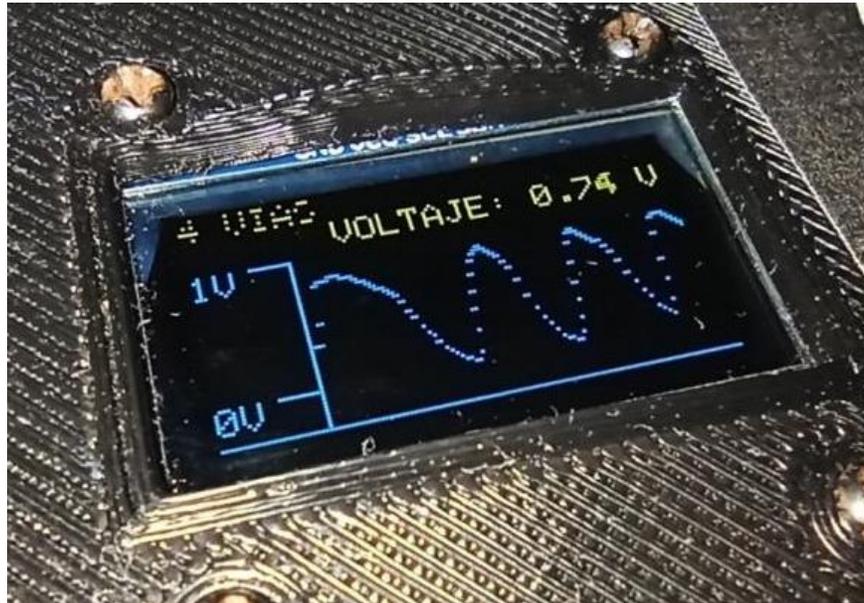


Figura 29. Prueba del sensor de 4 vías usado en buena condición [Los autores].

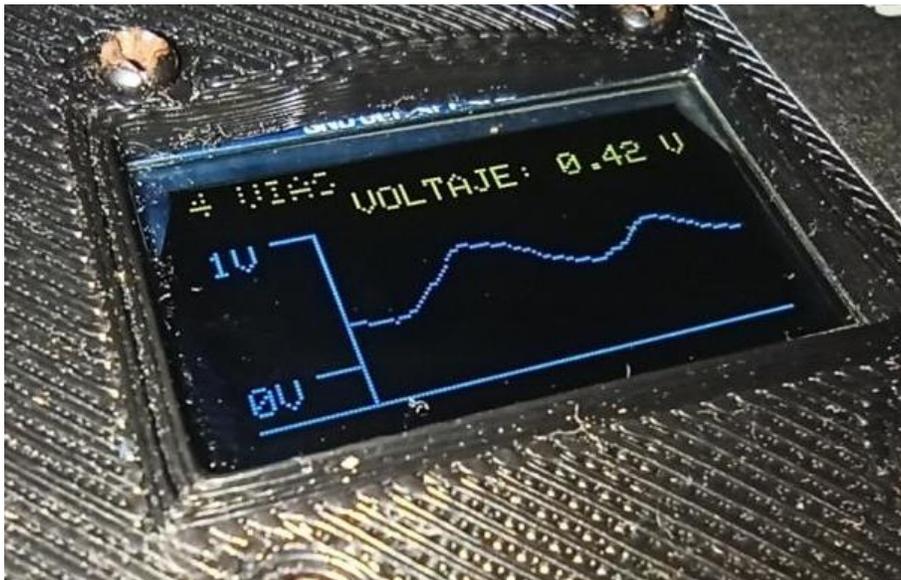


Figura 30. Prueba del sensor de 4 vías usado con desgaste [Los autores].

Por último, en la figura 31 tenemos la evidencia de la prueba realizada a un sensor de 4 vías usado en donde el rango de voltaje no es detectado por la gráfica ya que su comportamiento no es el adecuado debido al desgaste sufrido por el uso.



*Figura 31. Prueba del sensor de 4 vías usado en mala condición [Los autores].*

En la tabla 7 se muestran las mediciones realizadas para la validación del dispositivo. Se recopilieron los datos de los sensores de una forma convencional realizada con el multímetro y también con el banco de pruebas para comparar los valores y determinar el correcto funcionamiento. Como consecuencia de lo anterior, se puede analizar que no varían las medidas de forma significativa de uno con respecto al otro.

Tabla 7. Pruebas realizadas.

MEDICIONES BANCO DE PRUEBAS							
TIPO DE SENSOR:		SENSOR 4 VIAS				SENSOR 3 VIAS	
		NUEVO	USADO	CON DESGASTE	DAÑADO	NUEVO	DAÑADO
TIPO DE PRUEBA	SIN APLICAR CALOR	0,00	0,00	0,05	2,50	0,00	FUERA DE RANGO
	8 SEG APLICANDO CALOR	0,83	0,82	0,87	2,60	0,76	FUERA DE RANGO
	3 SEG DESPUES DE QUITAR EL CALOR	0,00	0,00	0,45	2,50	0,00	FUERA DE RANGO
MEDICIONES MULTIMETRO							
TIPO DE SENSOR:		SENSOR 4 VIAS				SENSOR 3 VIAS	
		NUEVO	USADO	CON DESGASTE	DAÑADO	NUEVO	DAÑADO
TIPO DE PRUEBA	SIN APLICAR CALOR	0,00	0,00	0,00	2,20	0,00	FUERA DE RANGO
	8 SEG APLICANDO CALOR	0,80	0,8	0,85	2,30	0,73	FUERA DE RANGO
	3 SEG DESPUES DE QUITAR EL CALOR	0,00	0,00	0,47	2,30	0,00	FUERA DE RANGO

#### 6.4.1 MUESTRA POBLACIONAL

La muestra poblacional fueron los sensores de 3 y 4 vías o cables nuevos y usados los cuales son los más usados por la industria automotriz en el momento de la realización de este trabajo para validar las pruebas en estos sensores y sus respuestas.

#### 6.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos por las pruebas realizadas fueron satisfactorios debido a que analizando la señal de voltaje como respuesta a la salida del sensor comprobamos el estado del sensor de oxígeno analizando su gráfica como respuesta a la prueba que simula la mezcla que inyecta el vehículo al acelerar.

En la figura 28 podemos evidenciar la prueba un sensor de 4 vías nuevo y en la figura 30 evidenciamos la prueba a un sensor de 4 vías con desgaste, la curva que realiza el sensor desgastado en comparación con uno nuevo presenta un retardo en la lectura de la mezcla que le inducimos en la prueba, en términos de rendimiento del motor el vehículo ira con un retardo en la inyección que causa problemas de

sobrecalentamiento debido al estado del sensor, por otro caso si tenemos en cuenta la figura 31 con la prueba de un sensor en mala condición que no es capaz de detectar la mezcla nos encontramos con un problema mayor que afecta a la combustión del vehículo ya que este no es capaz de detectar la mezcla en los valores correspondientes.

Pudimos observar que los resultados en los sensores de 3 y 4 vías no varían, siendo el cableado la única diferencia en estos. Además, se cumplió con un prototipo capaz de probar estos sensores, todo esto sin necesidad de montarlo al vehículo para así determinar el estado de este.

#### **6.5.1 ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL PROTOTIPO**

Las pruebas realizadas en el prototipo fueron cruciales debido al análisis de las señales del sensor y como hacer esta prueba fuera del vehículo. Se realizaron diferentes pruebas para encontrar la mejor forma de suministrar el calor para llegar a calentar el sensor y así registrar en el prototipo las señales de respuesta que nos ayudaron a interpretar el estado del sensor debido a que el sensor en temperatura ambiente no registra ningún dato, desde una pistola de calor hasta encontrar la mechera que nos ayudó a simular la mezcla de combustible y aire para las pruebas que es la respuesta de voltaje que nos da el sensor al acercarla.

Por otro lado, se realizaron pruebas con el selector realizado con interruptores para así garantizar que no se puedan probar dos sensores diferentes al mismo tiempo.

#### **6.5.2 ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS POR EL DISPOSITIVO FINAL**

Los resultados obtenidos por las pruebas realizadas por el dispositivo final nos llevó a que el sensor en buen estado tiende hacer una onda muy pareja al aplicar la

mechera y retirarla al mismo tiempo, se puede apreciar en la figura 29 y por el contrario cuando el sensor no está en un buen estado tiende a hacer la misma onda, pero esta se ve afectada por el tiempo de respuesta haciendo que la onda cambie en gran consideración se puede observar en la figura 30 y es cuando el sensor afectaría el rendimiento del vehículo.

Por último, cuando el sensor está en un muy mal estado no registra los valores de voltaje en el rango habitual (0.1 a 0.9V) en el dispositivo no nos muestra gráfica, y son dos opciones las cuales nos llevan a esto, primero el voltaje está por encima como se puede ver en la figura 31 lo que quiere decir que el sensor ya no detecta las variaciones de la mezcla lo cual es debido al desgaste causado por el uso, en donde lo recomendable es un cambio para que el vehículo no se vea afectado o segundo cuando el voltaje está en 0 debido a que el sensor no está enviando señal se puede observar en la figura 27, lo cual es un problema de cableado.

## **6.6 MANUAL DE USUARIO**

### **6.6.1 INTRODUCCIÓN**

Este manual contiene información relacionada con los requerimientos del prototipo del banco de pruebas para sensores de oxígeno, así también la forma correcta en cómo usarlo y a su vez interpretar los datos que este nos muestra para identificar el estado del sensor de oxígeno.

El sensor de oxígeno es el encargado de medir y avisar a la computadora a bordo del vehículo la cantidad de aire y oxígeno que entra a este y así controlar estas cantidades para evitar consumos excesivos de combustible y mal rendimiento del motor, estos sensores se clasifican según la cantidad de cables que tienen.

Este banco de pruebas está diseñado para sensores de 3 y 4 vías o cables, viene con un botón ON/OFF, selectores de uso, soporte para el sensor mientras se prueba debido a su temperatura y además es capaz de mostrar voltaje y nos muestra una gráfica de voltaje vs tiempo la cual nos ayuda a interpretar el estado del sensor.

### **6.6.2 REQUERIMIENTOS DEL PROTOTIPO**

Este prototipo de banco de pruebas para sensores de oxígeno tiene como requerimiento una fuente de 12V a 1.5A para la alimentación del dispositivo y una mechera a gas para las pruebas en los sensores.

### **6.6.3 COMO USAR EL PROTOTIPO**

Este prototipo está hecho en impresión 3D y cuenta con un diseño ergonómico, para usar este dispositivo hay que seguir los siguientes pasos:

- Conectar la fuente de alimentación al prototipo.
- Poner el botón de ON/OFF en ON.
- Conectar el sensor de oxígeno a usar, respetando la polaridad de sus cables y el lugar señalado en el dispositivo que se puede ver en la figura 30.
- Colocar el sensor en su respaldo.
- Seleccionar en el prototipo el tipo de sensor.
- Esperar aproximadamente 40 segundos a que el sensor se caliente.
- Usar la mechera a gas acercándola 3 segundos y alejándola 3 segundos a la punta del sensor.
- Ver los resultados de voltaje y su gráfica de voltaje vs tiempo.
- Pasar a la parte de “cómo interpretar las gráficas” en este manual.



Figura 32. Conexión para sensor de 4 vías [Los autores].

En la figura 32 se puede observar las conexiones para el sensor de 4 vías donde están demarcados sus puertos de la siguiente manera (+) Positivo, (s) Señal, (-) Negativo.

#### 6.6.4 COMO INTERPRETAR LAS GRÁFICAS

Para la interpretación de gráficas, se deben tener tres puntos importantes:

- La respuesta de la señal del sensor debe oscilar constantemente entre 0.1V y 0.9V
- La gráfica arrojada por el banco de pruebas para un sensor en óptimas condiciones debe ser similar a una onda de tipo senoidal.
- Si un sensor no arroja gráfica y el valor del voltaje está por encima del rango especificado de funcionamiento, ese sensor queda automáticamente

descartado por mala condición y se tiene que realizar el cambio inmediato del mismo, por otro lado, si tiene un valor constante de 0V ese sensor tiene problemas de cableado y del mismo modo se tiene que realizar el cambio inmediato.

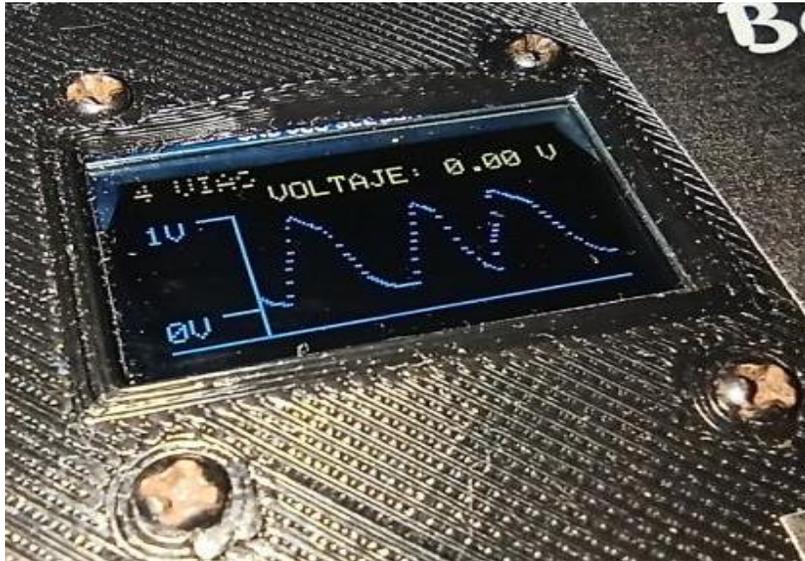


Figura 33. Gráfica 1: Sensor en óptimas condiciones [Los autores].

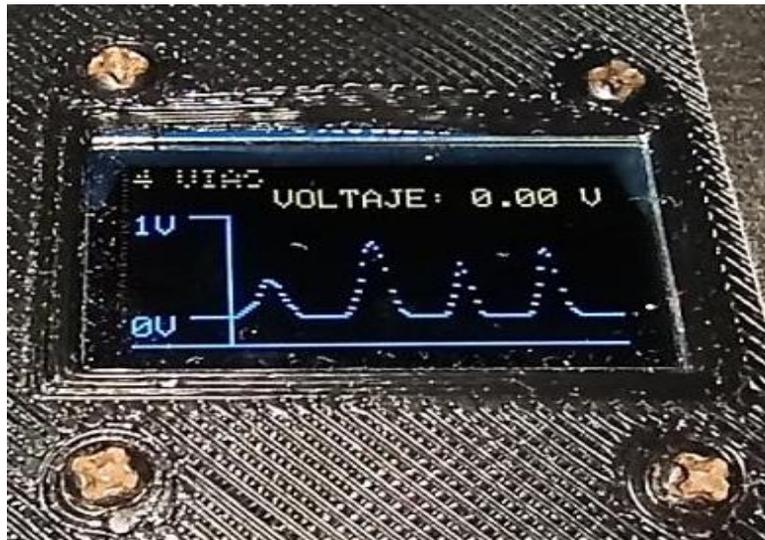


Figura 34. Gráfica 2: Sensor en óptimas condiciones [Los autores].

En las figuras 33 y 34, se pueden observar dos diferentes gráficas tomadas de sensores que funcionan de manera óptima. La respuesta del sensor oscila de manera correcta en el rango de 0.1V y 0.9V y se nota que la gráfica es similar a la de una onda senoidal.

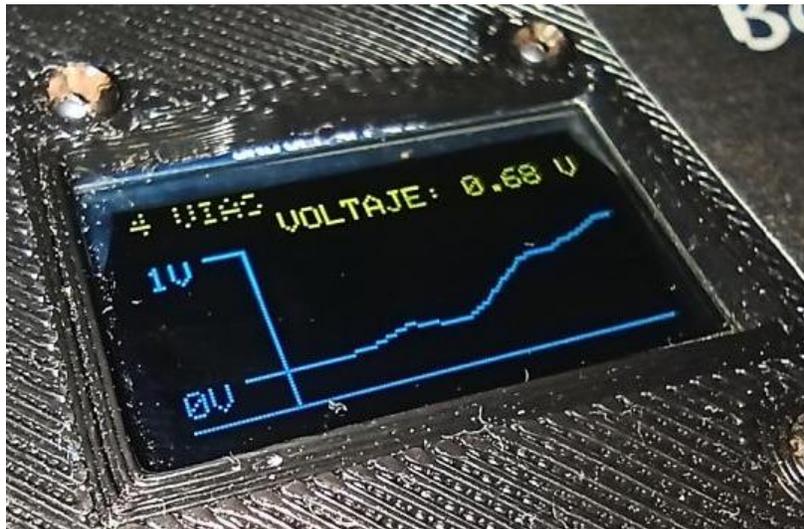


Figura 35. Gráfica 1: Sensor desgastado [Los autores].

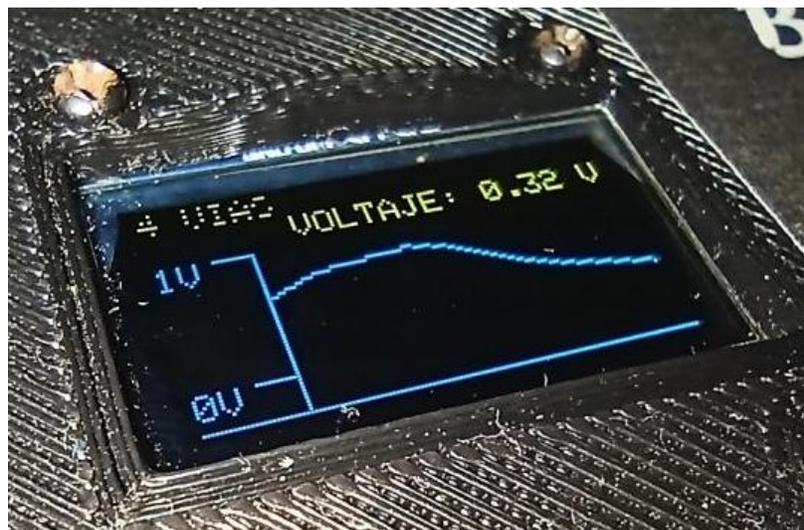


Figura 36. Gráfica 2: Sensor desgastado [Los autores].

En las figuras 35 y 36, se notan las gráficas de un sensor desgastado por el uso excesivo. Si bien la señal se encuentra dentro de los rangos de funcionamiento, pero

la velocidad de respuesta no es la recomendada debido a que el diagnostico de los niveles de oxígeno es lento y esto podría conllevar a fallas mayores y generar consumos de combustible en el vehículo. Por lo tanto, se recomienda cambiarlo.

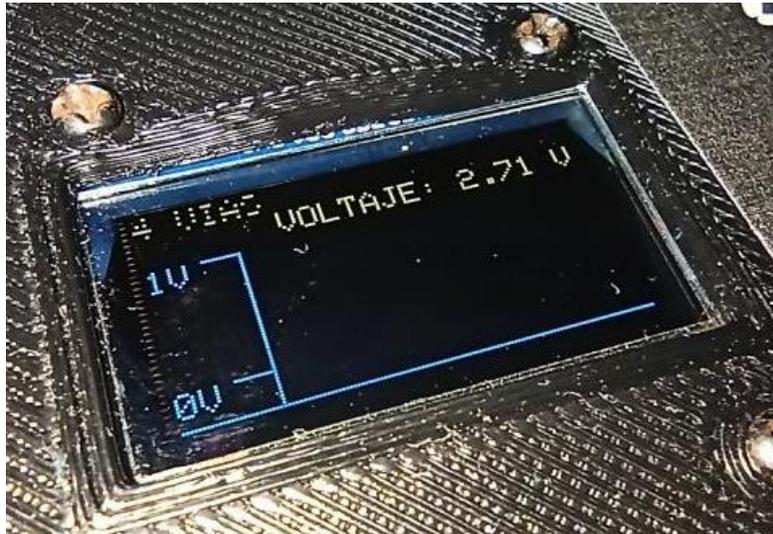


Figura 37. Gráfica 1: Sensor en mal estado [Los autores].

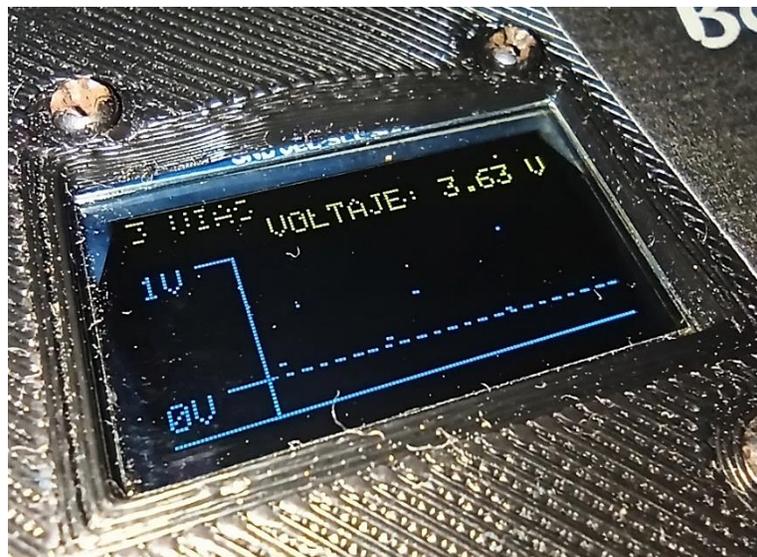


Figura 38. Gráfica 2: Sensor en mal estado [Los autores].

En las ilustraciones 37 y 38 se aprecia que no existe ningún tipo de respuesta gráfica arrojada por los sensores y además de eso, el voltaje que mide en la salida de la

señal de los sensores sobrepasa el rango de funcionamiento estipulado por lo cual se recomienda cambio inmediato del sensor.

### 6.6.5 LISTA DE PARTES

En esta sección del manual explicaremos listado de partes del prototipo.

Este prototipo cuenta con lo siguiente:

Tabla 8. Lista de partes.

ITEM	DISPOSITIVO	INCLUIDO	NO INCLUIDO
1	Pantalla OLED 0.96 pulgadas	X	
2	Fuente 12V 1.5A	X	
3	Botón On/off	X	
4	Botón selector sensor de 3 vías	X	
5	Bornera para conectar sensor de 3 vías	X	
6	Botón selector sensor de 4 vías	X	
7	Bornera para conectar sensor de 4 vías	X	
8	Respaldo para el sensor cuando está en prueba	X	
9	Mechera de gas		X

### 6.6.6 ADVERTENCIAS Y PRECAUCIONES

- La manipulación incorrecta o el reemplazo de algún componente llevado a cabo por personal no calificado pueden ocasionar peligro de corto circuito, fuego o explosión.
- Evitar el ingreso de partículas o líquidos a los componentes del dispositivo, así como también la exposición a vapores, vibraciones mecánicas o golpes y fuentes de calor elevado.
- El mantenimiento, reparación y actualizaciones solo deben ser realizadas por personal calificado.

- Los componentes mecánicos y electrónicos del dispositivo pueden presentar desgaste con el pasar del tiempo. Se recomienda que ante cualquier inconveniente en el funcionamiento se dirija a un servicio técnico de personal especializado.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se detallaron los pasos metodológicos para desarrollar el prototipo del banco de pruebas para sensores de oxígeno con el fin de determinar fallas en él, logrando que el prototipo sea capaz de mostrarnos a través de una pantalla el estado del sensor por medio de la lectura de voltaje y una gráfica de respuesta de voltaje vs tiempo, y con la ventaja de poder probarlo por fuera del vehículo gracias a la simulación de la mezcla que se hace con la mechera.

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que el banco de pruebas para sensores de oxígeno propuesto cumple con su intención y es capaz de mostrarnos por medio de una gráfica el estado del sensor de oxígeno en la prueba y así ayudarnos a determinar si el sensor está en un estado óptimo, sufre desgaste o está dañado, sin embargo, debido al coste y obtención de estos no se pudo obtener más sensores para realizar más pruebas en el prototipo.

Como recomendaciones se propone conseguir más sensores para las pruebas y así obtener una mayor cantidad de datos para ampliar el rango de validación del prototipo y crear confiabilidad en el mismo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bosch, *Sensores de Oxígeno Catálogo De Producto*. 2018.
- [2] I. Calle García, "Diseño De Un Módulo De Evaluación Para Identificar El Correcto Funcionamiento De Sensores Y Actuadores De Vehículos Menores," Universidad César Vallejo, 2019.
- [3] N. Mejía Lotero and S. García Ceballos, "Diseño Y Construcción De Un Banco De Pruebas Para Un Motor De Combustión Interna De Renault Twingo," Universidad EAFIT, 2008.
- [4] G. A. Díaz Torres and M. P. Hernández Lordui, "Banco de Pruebas Automatizado para Uso en Modelación y Control de un Motor de Combustión Interna," Medellín, 2011.
- [5] Á. R. Chávez Carrillo, "Diseño Y Construcción De Un Banco De Pruebas Para El Análisis De Señales De Los Sensores Y Actuadores Del Automóvil Por Medio De Un Osciloscopio," Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, 2014.
- [6] M. Nakamichi, "O<sub>2</sub> - Sensor Fault Diagnosis Method And Apparatus," 5,685,284, 1997.
- [7] Denso, *Sensores De Oxígeno Y De Aire / Combustible Catálogo Automotriz*. 2018.
- [8] Sensor Automotriz, "Sensor De Oxígeno - Sensor O<sub>2</sub>," *Funcionamiento y fallas*, 2020. <https://sensorautomotriz.com/sensor-de-oxigeno/>.
- [9] Isma, "Como funciona un sensor de oxígeno," *Como Funciona*, 2016. <https://comofunciona.co.com/sensor-de-movimiento/>.
- [10] Bosch Auto Partes, "Sensores de Oxígeno Premium," 2020. <https://www.boschautopartes.mx/es/auto/sensores-de-oxigeno/sensores-de-oxigeno-premium>.
- [11] Bosch Auto Parts, "Sensores de oxígeno (O<sub>2</sub>) premium," 2020. <https://www.boschautoparts.com/es/auto/oxygen-sensors/premium-oxygen-sensors?partID=12009>.

- [12] F. Increased, "Prueba del sensor de oxígeno," *CICE electrónica*, 2011. <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/317-prueba-del-sensor-de-oxigeno.html#:~:text=Estando la sonda fria%2C la,por distitas marcas y modelos>).
- [13] e-auto, "Calentador del Sensor de Oxígeno," *Para Mecanicos y Refacciones*. <https://e-auto.com.mx/enew/index.php/91-boletines-tecnicos/electronica-vehicular/3426-4-5-calentador-del-sensor-de-oxigeno>.
- [14] GH-Electrotermia, "Calentamiento por inducción," *GH Group*, 2011. <https://www.ghinduction.com/sobre-calentamiento-por-induccion/?lang=es>.
- [15] De maquinas y herramientas, "¿ Cómo funcionan las Pistolas de Calor ?," *Herramientas y Accesorios*, 2011. <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/pistolas-calor>.
- [16] Manoirankiai.lt, "Techninis fenas Bosch GHG 23-66 Professional." [http://www.manoirankiai.lt/elektriniai\\_irankiai/techniniai-fenai/techninis-fenas-bosch-ghg-23-66-professional.html?limit=75](http://www.manoirankiai.lt/elektriniai_irankiai/techniniai-fenai/techninis-fenas-bosch-ghg-23-66-professional.html?limit=75).
- [17] B. Bogotá Mora and J. L. Pardo Reyes, "ENERGÍA PIEZOELÉCTRICA," 2016. <https://sites.google.com/site/bloguniversitariofisica/>.
- [18] L. Hernández, "SSD1306 pantalla OLED con Arduino y ESP8266 I2C." <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ssd1306-pantalla-oled-con-arduino/>.

## ANEXOS

### CODIGO DEL PROTOTIPO

```
//INCLUSION DE IMAGENES
```

```
#include "uac.h"
```

```
#include "sensor.h"
```

```
//LIBRERIAS
```

```
#include <Adafruit_SSD1306.h> //LIBRERIA PARA EL DRIVER DEL DISPLAY  
OLED
```

```
#include <Adafruit_GFX.h> //LIBRERIA PARA GESTIONAR LOS EFECTOS  
GRAFICOS
```

```
Adafruit_SSD1306 display(128, 64); //DECLARA LA RESOLUCION DEL DISPLAY
```

```
//VARIABLES
```

```
float valorAnalogico = 0;
```

```
float voltaje = 0;
```

```
float graficaVoltaje = 0;
```

```
int x[128];
```

```
int y[128];
```

```
int s3v = 0;
```

```
int s4v = 0;
```

```
int l3v = 2;
```

```
int l4v = 3;
```

```
int s3 = A0;
```

```
int s4 = A1;
```

```
void setup() {
```

```
    delay(100);
```

```

//INICIALIZACION PANTALLA OLED
display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C); //INICIA LA COMUNICACION
I2C CON EL DISPLAY
display.setRotation(0); //DETERMINA LA ORIENTACION DEL DISPLAY (0 - 2)
display.dim(true); //ESTIPULA EL BRILLO EN MAXIMO
display.setTextColor(WHITE);

//PINES
pinMode(I3v, INPUT);
pinMode(I4v, INPUT);
pinMode(s3, INPUT);
pinMode(s4, INPUT);

//ANIMACION INICIAL OLED
for (int i = 0; i < 1; i++) {
    display.clearDisplay(); //LIMPIA LA MEMORIA DEL DISPLAY
    display.drawBitmap(0, 0, uac, 128, 64, 1); // DESPLIEGA LA IMAGEN
    display.display(); //MUESTRA LA INFORMACION DE LA MEMORIA EN LA
PANTALLA
    delay(2000);
    display.clearDisplay();
    display.display();
    delay(50);
    display.drawBitmap(0, 0, sensor, 128, 64, 1);
    display.display();
    delay(2000);
    display.clearDisplay();
    display.display();
}

```

```
//SE LLENAN LAS MATRICES CON VALORES FUERA DEL RANGO DE  
MEDICION >1023
```

```
for (int i = 127; i >= 0; i--) {  
    x[i] = 9999;  
}  
for (int i = 127; i >= 0; i--) {  
    y[i] = 9999;  
}  
}
```

```
void loop() {  
    digitalWrite(13, HIGH);  
  
    s3v = digitalRead(I3v);  
    s4v = digitalRead(I4v);  
  
    display.clearDisplay();  
  
    if (s3v == LOW & s4v == LOW){  
        display.clearDisplay();  
        display.setTextSize(2);  
        display.setCursor(5, 0);  
        display.print(F("SELECCIONE"));  
        display.setCursor(6, 16);  
        display.print(F(" SENSOR"));  
        display.setCursor(6, 32);  
        display.print(F(" DE"));  
        display.setCursor(5, 48);
```

```

display.print(F("3-V 4-V"));
display.display();
}

//SELECCION DEL SENSOR DE 3 VIAS
if (s3v == HIGH & s4v == LOW){
display.clearDisplay();
display.setTextSize(1); //AJUSTA EL TAMAÑO DEL TEXTO EN MINIMO
//ESCALA
display.setCursor(0, 16);
display.print(F("1V"));
display.setCursor(0, 53);
display.print(F("0V"));

display.drawLine(15, 16, 25, 16, WHITE);
display.drawLine(15, 53, 25, 53, WHITE);

//EJES (X - Y)
display.drawLine(0, 63, 127, 63, WHITE); //X
display.drawLine(25, 63, 25, 16, WHITE); //Y

//LECTURA DE VOLTAJE
valorAnalogico = analogRead(s3); //LEE EL VALOR ANALOGICO DEL PIN A0
voltaje = valorAnalogico / 204.6 * 1.0; //CALCULA EL VALOR DEL VOLTAJE
graficaVoltaje = map(valorAnalogico, 0, 204.6, 53, 16); //ESCALA EL DATO
ANALOG A UN PIXEL IMPRIMIBLE EN PANTALLA

x[127] = graficaVoltaje; //ASIGNA EL VALOR ESCALADO AL ULTIMO DATO DE
LA MATRIZ

```

```

//GRAFICA
for (int i = 127; i >= 25; i--) {
    display.drawPixel(i, x[i], WHITE); //DIBUJA PUNTO A PUNTO EL CONTENIDO
DE X
    y[i - 1] = x[i]; //GUARDA LA INFORMACION DESPLAZADA UNA POSICION
YEMPORALMENTE EN Y
}

//IMPRESION DE VOLTAJE
display.setCursor(0, 0);
display.print(F("3-VIAS"));
display.setCursor(38, 8);
display.print(F("VOLTAJE: "));
display.print(voltaje);
display.print(F(" V"));

display.display();

for (int i = 127; i >= 0; i--) {
    x[i] = y[i]; //ENVIA LOS DATOS DESPLAZADOS DE VUELTA A X
}
}

//SELECCION DEL SENSOR DE 4 VIAS
if (s3v == LOW & s4v == HIGH){
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(1); //AJUSTA EL TAMAÑO DEL TEXTO EN MINIMO
//ESCALA

```

```

display.setCursor(0, 16);
display.print(F("1V"));
display.setCursor(0, 53);
display.print(F("0V"));

display.drawLine(15, 16, 25, 16, WHITE);
display.drawLine(15, 53, 25, 53, WHITE);

//EJES (X - Y)
display.drawLine(0, 63, 127, 63, WHITE); //X
display.drawLine(25, 63, 25, 16, WHITE); //Y

//LECTURA DE VOLTAJE
valorAnalogico = analogRead(s4); //LEE EL VALOR ANALOGICO DEL PIN A1
voltaje = valorAnalogico / 204.6 * 1.0; //CALCULA EL VALOR DEL VOLTAJE
graficaVoltaje = map(valorAnalogico, 0, 204.6, 53, 16); //ESCALA EL DATO
ANALOG A UN PIXEL IMPRIMIBLE EN PANTALLA

x[127] = graficaVoltaje; //ASIGNA EL VALOR ESCALADO AL ULTIMO DATO DE
LA MATRIZ

//GRAFICA
for (int i = 127; i >= 25; i--) {
    display.drawPixel(i, x[i], WHITE); //DIBUJA PUNTO A PUNTO EL CONTENIDO
DE X
    y[i - 1] = x[i]; //GUARDA LA INFORMACION DESPLAZADA UNA POSICION
YEMPORALMENTE EN Y
}

```

```

//IMPRESION DE VOLTAJE
display.setCursor(0, 0);
display.print(F("4-VIAS"));
display.setCursor(38, 8);
display.print(F("VOLTAJE: "));
display.print(voltaje);
display.print(F(" V"));

display.display();

for (int i = 127; i >= 0; i--) {
    x[i] = y[i]; //ENVIA LOS DATOS DESPLAZADOS DE VUELTA A X
}
}

if (s3v == HIGH & s4v == HIGH){
    display.clearDisplay(); //LIMPIA LA MEMORIA DEL DISPLAY
    display.setTextSize(2);
    display.setCursor(0, 0);
    display.print(F(" FUNCION"));
    display.setCursor(5, 16);
    display.print(F(" INVALIDA"));
    display.display(); //MUESTRA LA INFORMACION DE LA MEMORIA EN LA
PANTALLA
    display.clearDisplay();
    delay(200);
    display.display();
}
}

```



0xff, 0xff, 0xf3, 0xff, 0xff, 0x70, 0x00, 0x00, 0x0c, 0x7c, 0x04, 0x7f, 0xff, 0xf3, 0xff,  
0xff,

0xff, 0xff, 0xd3, 0xff, 0xff, 0x30, 0x3f, 0xff, 0xfc, 0xfc, 0x04, 0x7f, 0xff, 0xf1, 0xff,  
0xff,

0xff, 0xc0, 0x13, 0x7f, 0xff, 0x00, 0x00, 0x00, 0x0c, 0x00, 0x04, 0x7f, 0xff, 0xe1,  
0xff, 0xff,

0xff, 0x00, 0x13, 0x80, 0x00, 0x30, 0x7f, 0xff, 0xfc, 0x00, 0x00, 0x7f, 0xef, 0xe1,  
0xff, 0xff,

0xfc, 0x00, 0x13, 0xff, 0xff, 0x00, 0x3f, 0xff, 0xec, 0x00, 0x00, 0x00, 0x0f, 0xe1,  
0xff, 0xff,

0xfc, 0x3f, 0xd3, 0xff, 0xff, 0x70, 0x00, 0x00, 0x0c, 0x00, 0x20, 0x00, 0x07, 0xc1,  
0xff, 0xff,

0xf8, 0xff, 0xd3, 0x00, 0x00, 0x7f, 0x80, 0x00, 0x0c, 0x00, 0x20, 0x00, 0x00, 0x07,  
0xff, 0xff,

0xf8, 0xff, 0xf3, 0x80, 0x00, 0x7f, 0x80, 0x00, 0x0c, 0x00, 0x20, 0x00, 0x00, 0x07,  
0xff, 0xff,

0xf9, 0xff, 0xe3, 0x80, 0x00, 0x7f, 0x80, 0x00, 0x0c, 0x00, 0x00, 0x00, 0x07, 0xc7,  
0xff, 0xff,

0xf1, 0xff, 0xe1, 0x80, 0x00, 0x7f, 0x80, 0x00, 0x0c, 0x00, 0x00, 0x00, 0x07, 0xc7,  
0xff, 0xff,

0xf1, 0xff, 0xe3, 0x80, 0x00, 0x3f, 0x80, 0x00, 0x0c, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x07,  
0xff, 0xff,

0xf1, 0xff, 0xff, 0xc0, 0x00, 0x7b, 0x80, 0x00, 0x0c, 0x00, 0x00, 0x7f, 0xff, 0xff,  
0xff, 0xff,

0xf1, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x80, 0x00, 0x0c, 0x00, 0x00, 0x7f, 0xff, 0xff, 0xff,  
0xff,

0xf1, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x80, 0x00, 0x0c, 0x00, 0x3f, 0xff, 0xff, 0xff,  
0xff,

0xf1, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x00, 0x3f, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,

0xf1, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0x7c, 0x3f, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,

0xf1, 0xff,  
0xf1, 0xff,  
0xf9, 0xff,  
0xf9, 0xff,  
0xf8, 0xff,  
0xf8, 0x0f, 0xff,  
0xfc, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x3f, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,  
0xff,  
0xff, 0x00, 0x01, 0xff,  
0xff, 0xff,  
0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xdf, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,  
0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,  
0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,  
0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,  
0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xe3, 0x25, 0xb1, 0x87, 0xff, 0xdf, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff,  
0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xc1, 0x00, 0x00, 0x00, 0x4f, 0x04, 0x12, 0x41, 0x04,  
0x1f,  
0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xc9, 0x0c, 0x24, 0x82, 0x0f, 0x24, 0x90, 0x49, 0x24,  
0x1f,  
0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xc9, 0x8c, 0x23, 0x86, 0x0f, 0x0c, 0x70, 0x43, 0x24,  
0x1f,  
0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xc9, 0x0e, 0x60, 0x86, 0x0f, 0x84, 0x30, 0x61, 0x24,  
0x1f,  
0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xc1, 0x06, 0x64, 0x82, 0x0f, 0x24, 0x90, 0x49, 0x24,  
0x1f,  
0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xc0, 0x04, 0x60, 0x00, 0x0f, 0x04, 0x10, 0x41, 0x04,  
0x0f,  
0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xf1, 0xc6, 0xdf, 0x8c, 0x16, 0x63, 0x8c,  
0x1f,



0x00, 0x00, 0x00, 0x02, 0x00, 0x00, 0x03, 0x83, 0x81, 0x80, 0x0c, 0x01, 0x03,  
0x80, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x0c, 0x47, 0x31, 0x88, 0xc7, 0xc7, 0xe3, 0xe3, 0x1f, 0x03, 0x03,  
0xe0, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x0c, 0x47, 0x31, 0x8c, 0xc4, 0x06, 0x63, 0x03, 0x11, 0x83, 0x82,  
0x30, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x0c, 0x47, 0xb1, 0x8c, 0x87, 0x86, 0x63, 0x83, 0x10, 0x86, 0x82,  
0x30, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x0c, 0x46, 0xf1, 0x87, 0x87, 0x87, 0xc1, 0xe3, 0x10, 0x86, 0xc2,  
0x30, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x0c, 0xc6, 0x71, 0x87, 0x04, 0x06, 0xc0, 0x63, 0x19, 0x8f, 0xc2,  
0x30, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x07, 0xc6, 0x31, 0x83, 0x07, 0xc6, 0x63, 0xe3, 0x1f, 0x08, 0x63,  
0xe0, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x03, 0x00, 0x00, 0x00, 0x03, 0xc0, 0x21, 0xc0, 0x0e, 0x00, 0x03,  
0x80, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,  
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x06, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,  
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x0e, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,  
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x1c, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,  
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,  
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,  
0x00, 0x00, 0x00,

0x03, 0x80, 0x60, 0x19, 0xff, 0xe0, 0xff, 0x01, 0xc0, 0x60, 0x3f, 0x80, 0xe0, 0x0e,  
0x01, 0xc0,

0x03, 0xc0, 0xf0, 0x39, 0xff, 0xf1, 0xff, 0x83, 0xc0, 0x70, 0x7f, 0xe0, 0xf0, 0x1e,  
0x03, 0xe0,  
0x07, 0xc0, 0xf0, 0x3d, 0xff, 0xe3, 0xff, 0xc3, 0xe0, 0xf0, 0xff, 0xf0, 0xf8, 0x1e,  
0x03, 0xe0,  
0x07, 0xe0, 0xf0, 0x3c, 0x0e, 0x07, 0xc3, 0xe3, 0xf0, 0xf1, 0xe0, 0xf8, 0xf8, 0x3e,  
0x07, 0xe0,  
0x0f, 0xe0, 0xf0, 0x3c, 0x0e, 0x07, 0x01, 0xe3, 0xf8, 0xf3, 0xc0, 0x78, 0xfc, 0x3e,  
0x07, 0xf0,  
0x0e, 0xf0, 0xf0, 0x3c, 0x0e, 0x0f, 0x00, 0xf3, 0xf8, 0xf3, 0xc0, 0x3c, 0xfc, 0x7e,  
0x0f, 0x70,  
0x1e, 0x70, 0xf0, 0x3c, 0x0e, 0x0f, 0x00, 0xf3, 0xfc, 0xf3, 0x80, 0x3c, 0xfe, 0xfe,  
0x0e, 0x78,  
0x1c, 0x78, 0xf0, 0x3c, 0x0e, 0x0e, 0x00, 0xf3, 0x9e, 0xf3, 0x80, 0x3c, 0xef, 0xee,  
0x0e, 0x38,  
0x3c, 0x38, 0xf0, 0x3c, 0x0e, 0x0f, 0x00, 0xf3, 0x8f, 0xf3, 0x80, 0x3c, 0xe7, 0xce,  
0x1c, 0x3c,  
0x3f, 0xf8, 0xf0, 0x3c, 0x0e, 0x0f, 0x00, 0xf3, 0x8f, 0xf3, 0xc0, 0x3c, 0xe7, 0xce,  
0x1f, 0xfc,  
0x7f, 0xfc, 0xf0, 0x38, 0x0e, 0x0f, 0x00, 0xf3, 0x87, 0xf3, 0xc0, 0x38, 0xe3, 0x8e,  
0x3f, 0xfe,  
0x7f, 0xfc, 0x70, 0x78, 0x0e, 0x07, 0x81, 0xe3, 0x83, 0xf1, 0xe0, 0x78, 0xe1, 0x0e,  
0x3f, 0xfe,  
0x70, 0x1e, 0x7c, 0xf8, 0x0e, 0x03, 0xe7, 0xc3, 0x81, 0xf1, 0xf9, 0xf0, 0xe0, 0x0e,  
0x78, 0x0e,  
0xf0, 0x0e, 0x3f, 0xf0, 0x0e, 0x03, 0xff, 0xc3, 0x80, 0xf0, 0xff, 0xe0, 0xe0, 0x0e,  
0x70, 0x0f,  
0xe0, 0x0e, 0x1f, 0xe0, 0x0e, 0x00, 0xff, 0x03, 0x80, 0xf0, 0x3f, 0xc0, 0xe0, 0x0e,  
0x70, 0x07,  
0x40, 0x00, 0x07, 0x80, 0x00, 0x00, 0x3c, 0x00, 0x00, 0x00, 0x0f, 0x00, 0x40,  
0x00, 0x00, 0x02,

0x00,  
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,  
0x00, 0x00, 0x00,

0x0c, 0x00, 0x04, 0x00, 0x00, 0x00, 0x1f, 0x00, 0x30, 0x03, 0xf8, 0x04, 0x1f, 0xc0,  
0x3f, 0xe0,

0x08, 0x18, 0x0c, 0x00, 0x20, 0x00, 0xff, 0xc0, 0x78, 0x07, 0xfe, 0x0e, 0x3f, 0xf0,  
0x7f, 0xf0,

0x08, 0x06, 0x08, 0x00, 0x20, 0x01, 0xff, 0xc0, 0x7c, 0x07, 0xff, 0x1e, 0x3f, 0xf8,  
0xff, 0xf0,

0x08, 0x03, 0x08, 0x00, 0x20, 0x03, 0xe1, 0xc0, 0xfc, 0x07, 0x0f, 0x9e, 0x38, 0x3c,  
0xf0, 0x00,

0x08, 0x01, 0x08, 0x00, 0x20, 0x03, 0xc0, 0x00, 0xfe, 0x07, 0x07, 0x9e, 0x38,  
0x3c, 0xf0, 0x00,

0x08, 0x01, 0x88, 0x00, 0x20, 0x07, 0x80, 0x01, 0xee, 0x07, 0x03, 0x9e, 0x38,  
0x3c, 0xf0, 0x00,

0x08, 0x00, 0x88, 0x00, 0x20, 0x07, 0x80, 0x01, 0xcf, 0x07, 0x03, 0x9e, 0x3f, 0xf8,  
0xff, 0xc0,

0x08, 0x00, 0x8f, 0xf8, 0x20, 0x07, 0x80, 0x01, 0xc7, 0x07, 0x0f, 0x9e, 0x3f, 0xf0,  
0xff, 0xe0,

0x08, 0x00, 0x8c, 0x00, 0x20, 0x07, 0x00, 0x03, 0x87, 0x87, 0xff, 0x1e, 0x3f, 0xf8,  
0xff, 0xe0,

0x08, 0x00, 0x88, 0x00, 0x20, 0x07, 0x80, 0x03, 0xff, 0x87, 0xfe, 0x1e, 0x38, 0x3c,  
0xf0, 0x00,

0x08, 0x00, 0x88, 0x00, 0x20, 0x07, 0x80, 0x07, 0xff, 0x87, 0xfc, 0x1e, 0x38, 0x1e,  
0xf0, 0x00,

0x08, 0x01, 0x08, 0x00, 0x20, 0x03, 0xc0, 0x47, 0xff, 0xc7, 0x1e, 0x1e, 0x38,  
0x1e, 0xf0, 0x00,

0x08, 0x03, 0x08, 0x00, 0x20, 0x03, 0xe1, 0xef, 0x01, 0xc7, 0x0f, 0x1e, 0x38,  
0x3e, 0xf0, 0x00,

0x08, 0x06, 0x08, 0x00, 0x20, 0x01, 0xff, 0xee, 0x01, 0xe7, 0x07, 0x9e, 0x3f, 0xfc,  
0xff, 0xf0,

0x08, 0x18, 0x08, 0x00, 0x20, 0x00, 0xff, 0xce, 0x00, 0xe7, 0x07, 0x8e, 0x3f, 0xf8,  
0x7f, 0xf0,

0x0f, 0xe0, 0x0f, 0xfe, 0x3f, 0xe0, 0x3f, 0x0c, 0x00, 0xc6, 0x03, 0x0c, 0x1f, 0xe0,  
0x7f, 0xe0,

0x00,  
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,  
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,  
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,  
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,  
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,  
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,  
0x00, 0x00, 0x00,

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00,  
0x00, 0x00, 0x00

};