

**Generador y lector de señal PWM como simulador en excavadoras 320D**

**CATERPILLAR**

Edwin Fernando Rivera Trochez

Asesor

Fausto Miguel Castro Caicedo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

Ingeniería Electrónica

2025

### **Dedicatoria**

A mis padres, quienes con su amor incondicional, valores y constante apoyo hicieron posible que alcanzara esta meta. Su ejemplo de esfuerzo y dedicación siempre será mi mayor inspiración. A mi esposa, por su infinita paciencia, comprensión y apoyo inquebrantable en los momentos más difíciles. Gracias por ser mi pilar y motivación para seguir adelante.

A los profesores, por compartir su conocimiento y por fortalecer en mí el deseo de superación, guiándome con sus enseñanzas en el camino hacia la culminación de esta carrera en Ingeniería Electrónica. A mis compañeros de trabajo, por su ánimo y respaldo, quienes con su apoyo me permitieron mantenerme enfocado en mi objetivo y superar los retos en este proceso. Y a mis compañeros de estudio, por su colaboración y trabajo en equipo, cuyo esfuerzo conjunto permitió no perder el rumbo en cada actividad realizada.

Este logro no sería posible sin el respaldo de todos ustedes. Gracias por ser parte esencial de este sueño cumplido.

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la culminación de este proyecto y mi formación como Ingeniero Electrónico.

En primer lugar, agradezco a mi familia, especialmente a mis padres, quienes siempre me brindaron su apoyo incondicional y motivación durante este camino. A mi esposa, cuyo respaldo y atención constante fueron fundamentales para seguir adelante en esta carrera universitaria.

Gracias por creer en mí y estar a mi lado en cada paso de este proceso.

Agradezco también al profesor Fausto Miguel Castro, quien desempeñó un papel esencial como tutor de este proyecto. Su orientación, conocimientos y compromiso fueron indispensables para el desarrollo y culminación exitosa de este trabajo.

Asimismo, extendo mi gratitud a mis compañeros de estudio, cuyo esfuerzo grupal y disposición para trabajar en equipo ayudaron a superar los desafíos académicos. Gracias por ser parte de esta experiencia enriquecedora.

Este logro representa no solo el fruto del esfuerzo académico, sino también de la dedicación y sacrificio invertidos en alcanzar esta meta. A todos, mi más sincero agradecimiento por contribuir a este importante capítulo de mi vida.

## Resumen

Se identifica que en la empresa GECOLSA distribuidor de CATERPILLAR en Colombia, enfrenta dificultades en la evaluación del sistema electrónico en las excavadoras 320D. la ausencia de una herramienta practica de simulación para verificar el funcionamiento de la maquina genera errores de evaluación que alcanzan entre el 70% y el 80%. Esta información es tomada de manera visual, luego que los datos exactos son confidenciales, se encuentra que ocho de cada diez máquinas presentan errores en la evaluación del sistema electrónico. En la actualidad, los pruebas de evaluación de fallas en las excavadoras 320D presentan dificultades para identificar con precisión la causa raíz de los problemas, esto se debe principalmente a la complejidad del sistema electrónico de la máquina, que involucra diversos sensores y actuadores que operan mediante señales PWM, tales como, sensores de velocidad, tiempo, posición, aceleración, presión, temperatura, nivel de fluidos, solenoides etc., el dispositivo propuesto se basara en el uso de microcontroladores, potenciómetros y otros componentes electrónicos para generar señales PWM simuladas que se ajusten a los parámetros deseados para cada sensor o actuador. La operación del dispositivo se controlará mediante un lenguaje de programación, permitiendo al técnico configurar las señales simuladas y observar el comportamiento de la maquina en diferentes escenarios. Así se mejorará los procesos de diagnóstico y reparación de fallas en el sistema electrónico de la excavadora 320D.

***Palabras clave:*** Generador de señal, microcontrolador, osciloscopio, programación, simulador.

### **Abstract**

It is identified that the GECOLSA company, distributor of CATERPILLAR in Colombia, faces difficulties in the evaluation of the electronic system in the 320D excavators. The absence of a practical simulation tool to verify the operation of the machine generates evaluation errors that reach between 70% and 80%. This information is taken visually, after the exact data is confidential, it is found that eight out of ten machines present errors in the evaluation of the electronic system. Currently, failure assessment processes on 320D excavators present difficulties in accurately identifying the root cause of problems, this is mainly due to the complexity of the machine's electronic system, which involves various sensors and actuators that operate through PWM signals, such as speed sensors, time, position, acceleration, pressure, temperature, fluid level, solenoids, etc., the proposed device will be based on the use of microcontrollers, potentiometers and other electronic components to generate simulated PWM signals that adjust to the desired parameters for each sensor or actuator. The operation of the device will be controlled through a programming language, allowing the technician to configure the simulated signals and observe the behavior of the machine in different scenarios. This will improve the diagnostic and repair processes for faults in the electronic system of the 320D excavator.

**Keywords:** Signal generator, microcontroller, oscilloscope, programming, simulator.

## Tabla de Contenido

Introducción.....	13
Justificación.....	14
Objetivos .....	15
Objetivo General .....	15
Objetivos Específicos.....	15
Planteamiento del Problema.....	16
Marco Referencial.....	19
Marco Teórico .....	19
La Importancia de las Señales Simuladas.....	19
Conceptos Básicos del Estudio.....	22
¿Cuál es la Importancia de un Generador de Señal? .....	23
¿Qué es un Microcontrolador?.....	24
¿Cuál es la Función de un Osciloscopio?.....	25
¿Cuál es el Propósito de una Programación?.....	26
¿Para qué Sirve un Simulador? .....	26
Metodología .....	27
Importancia del Dispositivo Simulador.....	29
Señal de salida.....	37
Señal ON/OFF.....	37
Señal PWM.....	37
Adquisición de Datos.....	40
EMM (Modulo de Monitor Electrónico). .....	40
ECM (Modulo de control Electrónico). .....	41
Multímetro.....	42

Adaptador de comunicación.....	43
ET (Electronical Technician).....	44
Analizar la Dificultad que se Tiene al Momento de Realizar Evaluaciones Técnicas en el Sistema Electrónico de la Excavadora 320D CAT, ya que no se Cuenta con la Herramienta Adecuada para Tomar Lecturas y Generar Señales PWM .....	
	47
Representación de Códigos de Error Según Fabricante CAT.....	47
Ejemplo de Dos Códigos de Error Frecuentes en Excavadora 320D CAT .....	48
Ejemplo de Evaluación de Código de Error según Fabricante CAT .....	50
Utilizar Lenguaje C para Realizar las Configuraciones en los Microcontroladores PIC, con el fin de Tomar Lectura y Generar Señales PWM con su Respectiva Frecuencia y Amplitud, Integrando una Resistencia Variable, de esta Forma se Obtendrá la Señal Adecuada en el Dispositivo Simulador.....	
	54
Implementación de Lenguaje C para Generar Señal PWM.....	57
Configuración PIC18F2550 .....	57
Fuente de Alimentación del PIC18F2550 .....	59
Señales de Entrada del PIC18F2550 .....	60
Señal de Entrada para la Frecuencia .....	60
Señal Entrada de Ciclo Dúctil .....	60
Señal de Entrada Regulador de Voltaje .....	61
Señal de Salida PWM del PIC18F2550 .....	61
Señal de Salida Pantalla LCD .....	62
Implementación de Lenguaje C para Tomar Lectura de la Señal PWM .....	63
Configuración PIC18F2550 .....	64
Fuente de Alimentación del PIC18F2550 .....	66
Señal de Entrada PWM desde la Excavadora .....	66
Señal Salida Pantalla LCD .....	67
Integrando Variadores de Resistencia .....	67

Implementar el Diseño del Dispositivo Simulador Usando la Programación de Lenguaje C y

Realizar las Pruebas, con el fin de Aplicar la Funcionalidad e Importancia de las Señales

Simuladas, así se Optimizará las Evaluaciones Técnicas y se Evitará Solicitar Repuestos

Innecesarios .....	69
Análisis para Resultados en Modo Generador PWM.....	69
Análisis para Resultados en Modo Lectura PWM .....	76
Análisis para Resultados en Variadores de Resistencia.....	78
Plan de Mantenimiento Dispositivo Simulador .....	79
Mantenimiento Preventivo.....	79
Mantenimiento Predictivo.....	79
Mantenimiento Correctivo .....	82
Efectividad del Dispositivo Simulador.....	83
Nuevo Paso a Paso con el Dispositivo Simulador .....	83
Conclusiones .....	86
Recomendaciones.....	87
Referencias .....	88

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Interruptores</i> .....	31
<b>Tabla 2</b> <i>Sensores</i> .....	34
<b>Tabla 3</b> <i>Descripción de Código 190 – 8</i> .....	50

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Árbol Causa – Efecto</i> .....	18
<b>Figura 2</b> <i>La Importancia de la Señal PWM como Entrada</i> .....	21
<b>Figura 3</b> <i>La Importancia de la Señal PWM en Salida</i> .....	22
<b>Figura 4</b> <i>Ejemplo de Generador de Señales</i> .....	23
<b>Figura 5</b> <i>Ejemplo de Microcontrolador</i> .....	24
<b>Figura 6</b> <i>Ejemplo de Osciloscopio</i> .....	25
<b>Figura 7</b> <i>Ejemplo de Simulador</i> .....	27
<b>Figura 8</b> <i>Ejemplo de Tipos de Interruptores Encontrados en la Excavadora 320D</i> .....	31
<b>Figura 9</b> <i>Ejemplo de Tipos de Sensores Encontrados en la Excavadora 320D</i> .....	33
<b>Figura 10</b> <i>Señal Análoga</i> .....	36
<b>Figura 11</b> <i>Señal Digital</i> .....	37
<b>Figura 12</b> <i>Señal Digital PWM</i> .....	40
<b>Figura 13</b> <i>EMM Monitor 320D</i> .....	41
<b>Figura 14</b> <i>ECM Modulo de Control Electrónico</i> .....	42
<b>Figura 15</b> <i>Multímetro Digital</i> .....	43
<b>Figura 16</b> <i>Adaptador de Comunicación III</i> .....	44
<b>Figura 17</b> <i>Software ET en PC</i> .....	45
<b>Figura 18</b> <i>Identificación de Microcontrolador PIC18F2550</i> .....	56
<b>Figura 19</b> <i>Implementación de Lenguaje C para Generar Señal PWM</i> .....	57
<b>Figura 20</b> <i>Configuración PIC18F2550</i> .....	58
<b>Figura 21</b> <i>Señal de Entrada Regulador de Voltaje</i> .....	61
<b>Figura 22</b> <i>Señal PWM de Salida del PIC18F2550</i> .....	62

<b>Figura 23</b> <i>Señal de Salida Mostrada por Pantalla LCD</i> .....	63
<b>Figura 24</b> <i>Implementación de Lenguaje C para Tomar Lectura de la Señal PWM</i> .....	64
<b>Figura 25</b> <i>Configuración PIC18F2550 para Lectura Señal PWM</i> .....	65
<b>Figura 26</b> <i>Prueba de Relación de Frecuencia de Señal Generada PWM</i> .....	70
<b>Figura 27</b> <i>Prueba de Voltaje o Amplitud de Salida de la Frecuencia de 710Hz</i> .....	71
<b>Figura 28</b> <i>Prueba de Dispositivo con Osciloscopio</i> .....	72
<b>Figura 29</b> <i>Valores en el Dispositivo Simulador en Modo Generador PWM</i> .....	73
<b>Figura 30</b> <i>Comparando Valores del Generador PWM con el Osciloscopio</i> .....	74
<b>Figura 31</b> <i>Comparando Frecuencia del Generador PWM con el Multímetro</i> .....	75
<b>Figura 32</b> <i>Señal Cuadrada de Prueba de Dispositivo Generador de Onda</i> .....	76
<b>Figura 33</b> <i>Lectura de Señal PWM Mostrada en el Dispositivo Lector</i> .....	77
<b>Figura 34</b> <i>Prueba de Variador de Resistencias del Dispositivo Simulador</i> .....	78

## Lista de Apéndices

<b>Apéndice A</b> <i>Esquemático de Tarjeta de Adquisición de Datos</i> .....	92
<b>Apéndice B</b> <i>Diagrama PCB para Impresión, Capa Superior</i> .....	93
<b>Apéndice C</b> <i>Diagrama PCB para Impresión, Capa Inferior</i> .....	94
<b>Apéndice D</b> <i>Listado de Materiales</i> .....	95
<b>Apéndice E</b> <i>Ficha Técnica de PIC18F2550</i> .....	97
<b>Apéndice F</b> <i>Ficha Técnica Transistor 2N3904</i> .....	98
<b>Apéndice G</b> <i>Ficha Técnica LM2596</i> .....	99
<b>Apéndice H</b> <i>Ficha Técnica Transistor TIP122</i> .....	100
<b>Apéndice I</b> <i>Ficha Técnica Pantalla LCD16X2</i> .....	101
<b>Apéndice J</b> <i>Ficha de Valores 1</i> .....	102
<b>Apéndice K</b> <i>Ficha de Valores 2</i> .....	103
<b>Apéndice L</b> <i>Ficha de Valores 3</i> .....	104
<b>Apéndice M</b> <i>Ficha de Valores 4</i> .....	105
<b>Apéndice N</b> <i>Diagrama Código Generador Señal PWM</i> .....	106
<b>Apéndice O</b> <i>Diagrama Código Lector Señal PWM</i> .....	107

## **Introducción**

La incorporación de maquinaria de construcción de última generación, como las excavadoras Caterpillar 320D equipadas con Módulos de Control Electrónico (ECM), representa un avance significativo en la búsqueda de prácticas más sostenibles en la industria. Sin embargo, la sofisticación de sus sistemas electrónicos plantea desafíos considerables en su evaluación y mantenimiento. La complejidad de las señales PWM generadas por múltiples sensores, tanto del motor como del sistema hidráulico, dificulta la identificación precisa de fallas. Si bien los manuales de servicio proporcionados por el fabricante son una herramienta valiosa, no son suficientes para una evaluación exhaustiva.

Este proyecto propone el desarrollo de un generador de señales PWM capaz de simular el rango completo de operación de la excavadora Caterpillar 320D. Esta herramienta permitirá realizar pruebas y diagnósticos más precisos del ECM, el cableado y los sensores, facilitando la detección temprana de fallas y evitando costosas reparaciones. Al optimizar los procesos de evaluación y mantenimiento, se busca contribuir a la prolongación de la vida útil de la maquinaria, reduciendo así su impacto ambiental y promoviendo la adopción de tecnologías más sostenibles en el sector de la construcción. Esta investigación se alinea con la creciente demanda de soluciones tecnológicas que permitan avanzar hacia una industria de la construcción más eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

### **Justificación**

El desarrollo de un generador y lector de señales PWM para la excavadora 320D CAT es fundamental para la reducción de tiempo y costos, luego que se logrará que la maquina tenga menos tiempo de inactividad, se evitara la solicitud de repuestos innecesarios al momento de identificar la causa raíz de la falla con mayor precisión y se agilizaran las evaluaciones de diagnóstico, todo esto ayudara a la credibilidad del técnico y de la empresa hacia el cliente, se tendrá un menor margen de error y disminuirá las garantías de evaluaciones; sin dejar de lado que el dispositivo será fácil de comprender y usar para los técnicos, también será versátil, ya que será capaz de simular una amplia gama de frecuencias en cuanto a señal PWM, su facilidad de que el dispositivo sea portátil en campo ayudará a que todos los técnicos puedan tener esta herramienta, luego que el costo no será tan alto comparado a un osciloscopio.

Al desarrollar este dispositivo que cumpla con estos criterios, los usuarios podrán obtener un retorno significativo de su inversión, y los técnicos podrán agilizar las evaluaciones electrónicas encontrando la causa raíz de la falla en tiempos cortos, así obtendrán una mayor credibilidad ante los clientes y esto garantizará que la maquina sea más productiva.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Evaluar el sistema electrónico de la excavadora 320D CAT de manera adecuada, al tomar lectura y generar señales PWM con frecuencia y amplitud, integrando variadores de resistencias, con el fin de simular señales para encontrar la causa raíz de la falla.

### **Objetivos Específicos**

Analizar la dificultad que se tiene al momento de realizar evaluaciones técnicas en el sistema electrónico de la excavadora 320D CAT, ya que no se cuenta con la herramienta adecuada para tomar lecturas y generar señales PWM en campo.

Utilizar lenguaje C para realizar las configuraciones en los microcontroladores PIC, con el fin de tomar lectura y generar señales PWM con su respectiva frecuencia y amplitud, integrando una resistencia variable, de esta forma se obtendrá la señal adecuada en el dispositivo simulador.

Implementar el diseño del dispositivo simulador usando la programación de lenguaje C y realizar las pruebas, con el fin de aplicar la funcionalidad e importancia de las señales simuladas, así se optimizará las evaluaciones técnicas y se evitará solicitar repuestos innecesarios.

### **Planteamiento del Problema**

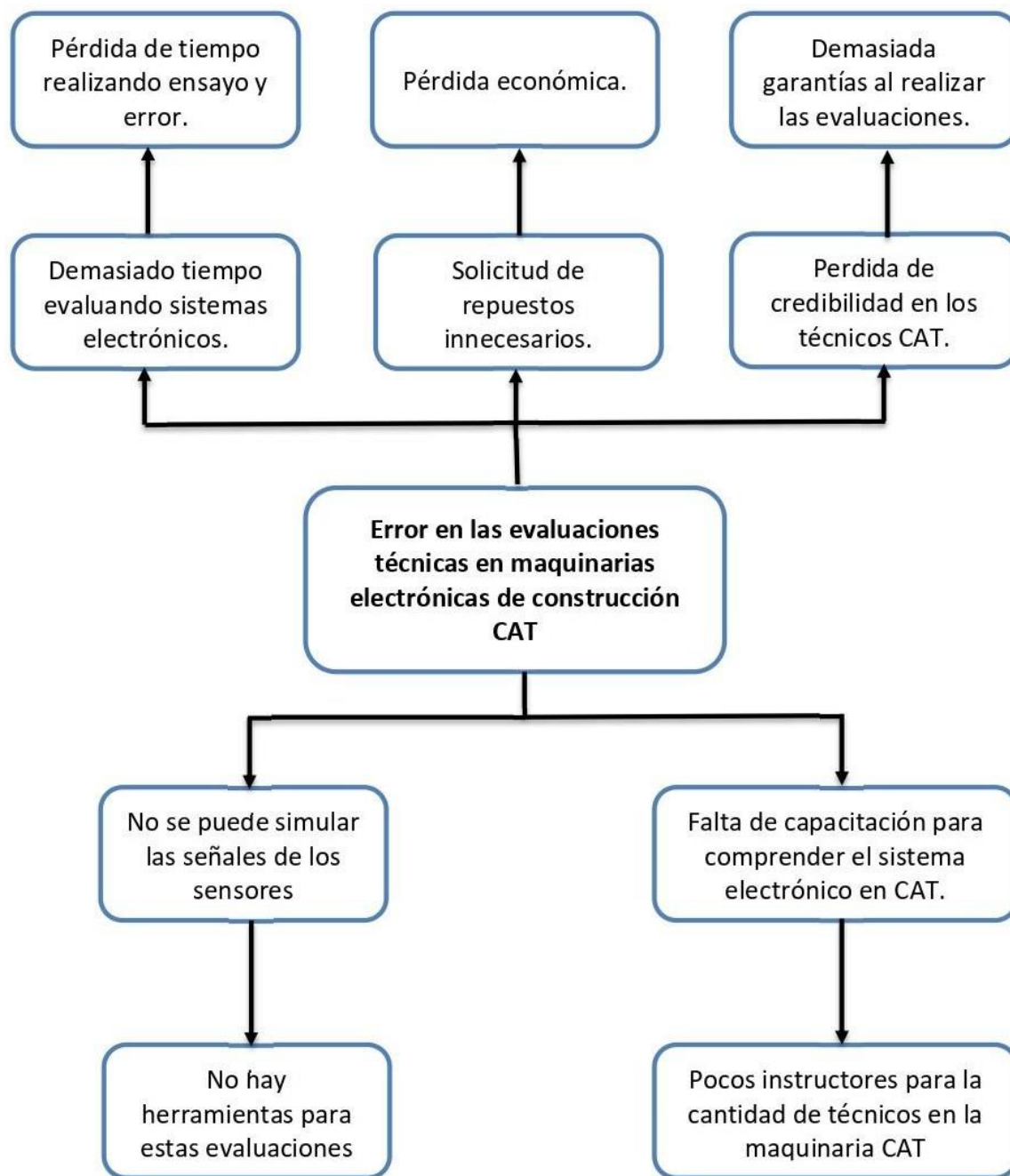
Se presentan dificultades en el proceso de evaluación técnica del sistema electrónico de las excavadoras 320D CATERPILLAR, especialmente al tratar con señales PWM, si bien el fabricante de CAT ofrece recomendaciones en el manual de servicio, estas se limitan solo a recomendaciones básicas, o en su defecto reemplazo de componentes, sin abordar la evaluación precisa de las señales PWM, el osciloscopio es quien realiza la evaluación precisa de estas señales, luego que captura la señal del sensor, pero no permite generarla, tampoco probar el cableado o el ECM, por otro lado utilizar este tipo de herramienta es complejo, luego que los osciloscopios son robusto y costoso y no se puede tener esta herramienta para cada técnico. Al no tener la manera de tomar lectura de la señal PWM y poder generarla no se tendría una evaluación adecuada del sistema electrónico, por lo cual se presenta diagnósticos erróneos al solicitar repuestos innecesarios y retrasando reparaciones, también se pierde credibilidad para diagnosticar correctamente las fallas, por lo que se obtiene la ineficiencia en el proceso de evaluación, esto reduce la productividad y aumenta los costos.

Es por esta razón que se propone implementar un dispositivo portátil y económico que permita generar y tomar lectura de señales PWM, así se podrá simular el funcionamiento de los sensores o actuadores, con el propósito de definir la causa raíz de la falla en sensor, cableado, ECM (Modulo de Control Electrónico) u otro componente sin la necesidad de llevar osciloscopios costosos, por lo cual se facilitara el diagnostico, se optimizara el proceso de evaluación y se fortalecerá la credibilidad de los técnicos y de la empresa ante los clientes.

También es necesario incluir variadores de resistencia en el dispositivo generador y lector de señal PWM, esto es un plus al dispositivo, luego que los sensores y actuadores tienen resistencia incluida con un valor específico proporcionado por el fabricante; en el caso particular

de las excavadoras 320D CAT, donde los valores de resistencia oscilan entre 17 y 5800 ohmios, la incorporación de estos variadores permitirá realizar simulaciones precisas y detalladas del comportamiento de los sensores y actuadores del sistema de control de la máquina.

En la figura 1 se ilustra un árbol de causa-efecto que nos ayuda a entender mejor las dificultades que enfrentan los técnicos al evaluar maquinarias electrónicas. En el centro de la imagen se muestra el problema principal, los errores comunes que ocurren al realizar estas evaluaciones. En la parte inferior, se puede ver las causas que generan esta situación, como la falta de herramientas adecuadas entre otros. En la parte superior, se exponen los efectos que esto trae consigo, por ejemplo, las fallas que ocurren cuando los técnicos no pueden hacer una evaluación precisa por no contar con las herramientas necesarias.

**Figura 1***Árbol Causa – Efecto*

*Nota.* Identificación de causa y efecto al evaluar sistema electrónico de excavadoras

CATERPILLAR 320D. Fuente. Autoría Propia.

## Marco Referencial

### Marco Teórico

#### *La Importancia de las Señales Simuladas*

El seguimiento de una señal es un procedimiento crucial para obtener lecturas precisas. Este proceso implica identificar la señal, ya sea análoga o digital, y requiere el uso de dispositivos como sensores, que pueden ser activos o pasivos.

Como señalan Jui Chang et al. (2017) los sensores desempeñan un papel fundamental en la simulación al proporcionar los datos necesarios para el proceso.

La relevancia de estos dispositivos al realizar evaluaciones es innegable, ya que su implementación en un dispositivo simulador puede reducir significativamente los errores asociados con la identificación de fallas. Sin embargo, es importante aclarar el proceso exacto que debe seguirse para realizar el seguimiento de la señal de manera efectiva. Las señales simuladas son cruciales para resolver problemas técnicos en excavadoras como las 320D de CATERPILLAR.

Gonzales et al. (2011) destacan la necesidad de implementar un sensor virtual para la adquisición de datos, lo cual es fundamental en prototipos o diseños virtuales.

Asimismo, Castro y Rojas (2015) subrayan la importancia de los sensores en la toma de lecturas, resaltando la necesidad de dispositivos precisos de adquisición y generación de señales.

En el contexto específico de las excavadoras 320D CATERPILLAR, los errores en el sistema electrónico son comunes y pueden involucrar señales de entrada y salida con sensores o actuadores, tanto digitales como análogos. La detección y diagnóstico de fallas, especialmente en señales PWM, presentan desafíos adicionales debido a la necesidad de generar y leer estas señales con precisión.

Según Santos Peñas y Farias Castro (2010), es fundamental poder implementar los patrones adquiridos en la problemática planteada, lo que lleva a una solución final.

Es evidente la necesidad de diseñar un dispositivo que pueda generar y leer señales PWM de manera efectiva. Esto permitiría una identificación rápida y precisa de la causa raíz de las fallas, como lo señalan Medrano Hurtado et al. (2016).

Además, la inclusión de generadores o variadores de resistencia en el dispositivo proporcionaría una herramienta valiosa para simular condiciones de circuito realistas, mejorando aún más la eficacia de las evaluaciones técnicas.

Con lo expuesto, las señales simuladas desempeñan un papel crucial en el diagnóstico y resolución de problemas técnicos en las excavadoras 320D CATERPILLAR, lo que conduce a una reducción significativa del tiempo de inactividad de la maquinaria y una mejora en la eficiencia operativa. A continuación, se presenta la importancia de tomar la lectura de una señal PWM, tanto de entrada como se muestra en la figura 2 y como de salida mostrada en la figura 3, estas señales están presentes en el ECM (Modulo de Control Electrónico). Es aquí donde se genera la pregunta ¿en dónde está la falla?

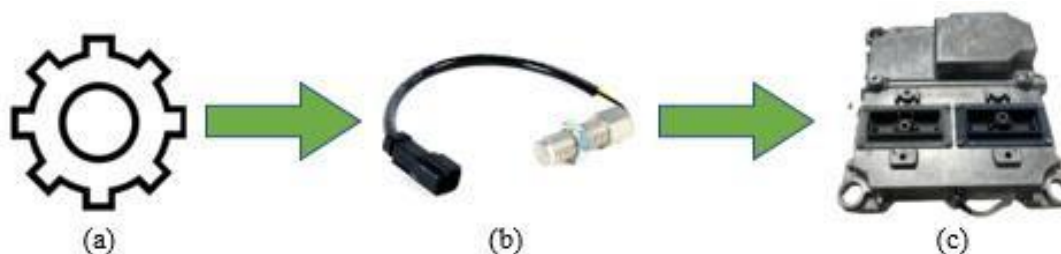
En el contexto del desarrollo del proyecto, las Figuras 2 y 3 son fundamentales para comprender la importancia de tomar lecturas de señales PWM tanto en la entrada como en la salida del ECM (Módulo de Control Electrónico) de la excavadora 320D CATERPILLAR.

En la Figura 2, muestra la importancia de la señal PWM como entrada, es una comunicación clave entre los componentes y el ECM. El icono de una rueda dentada (a) es el componente que genera la señal PWM, luego por medio del sensor de velocidad (b) instalado cerca de la rueda dentada proporciona datos vitales al ECM (c), el cual por medio de algoritmo toma la señal PWM y la emite al usuario como revoluciones por minuto (RPM); luego de tener

estos datos junto con otros parámetros, este puede ajustar la inyección de combustible o el tiempo de encendido para modificar la velocidad del motor, optimizando el rendimiento y la eficiencia de la excavadora.

## Figura 2

### *La Importancia de la Señal PWM como Entrada*

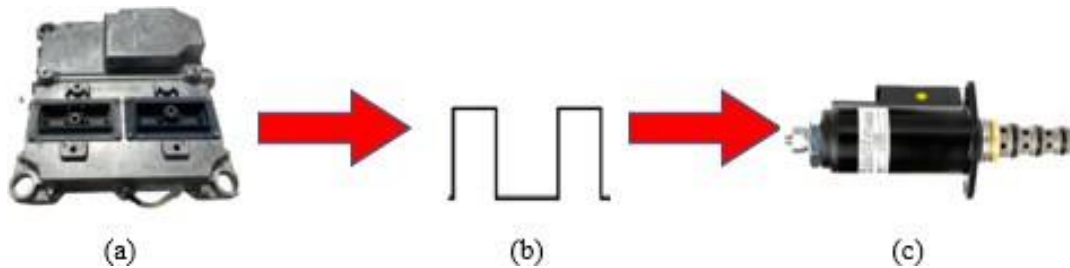


*Nota.* Implementación de la señal de entrada desde el sensor hasta un ECM. (a) Adaptado de Rueda dentada icono gratis [Icono], por Vectors Market, s.f., Flaticon. (b) Adaptado de 3244131 Caterpillar C6.4 Sensor de velocidad para piezas de repuesto del motor 320D [Fotografía], por Zou, A., s.f., Made-in-China ([https://es.made-in-china.com/co\\_ahjicheng/product\\_3244131-Speed-Sensor-for-Caterpillar-C6-4-320d-Engine-Spare-Parts\\_onshessrg.html](https://es.made-in-china.com/co_ahjicheng/product_3244131-Speed-Sensor-for-Caterpillar-C6-4-320d-Engine-Spare-Parts_onshessrg.html)). (c) Adaptado de Controlador de motor ECU para excavadora CAT320D, el mejor precio, 331-7539, 3317539 [Fotografía], por Jining Digging Commerce Co., Ltd, s.f., Alibaba.com ([https://www.alibaba.com/product-detail/Original-new-For-CAT-320D-E320D\\_62439677231.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Original-new-For-CAT-320D-E320D_62439677231.html)).

Por otro lado, en la Figura 3 se presenta la importancia de la señal PWM como salida del ECM. Aquí, se muestra que el ECM (a) envía una señal PWM (b), que es esencial para regular la válvula solenoide (c). Esta válvula, utilizada en excavadoras como la 320D CATERPILLAR, controlan el flujo de fluidos hidráulicos en el sistema, lo que afecta la operación de los mecanismos de la excavadora, como el brazo, la pala y otros accesorios.

### Figura 3

#### *La Importancia de la Señal PWM en Salida*



*Nota.* Implementación de la señal de salida desde un ECM hasta un actuador. (a) Adaptado de Controlador de motor ECU para excavadora CAT320D, el mejor precio, 331-7539, 3317539 [Fotografía], por Jining Digging Commerce Co., Ltd, s.f., Alibaba.com ([https://www.alibaba.com/product-detail/Original-new-For-CAT-320D-E320D\\_62439677231.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Original-new-For-CAT-320D-E320D_62439677231.html)). (b) Adaptado de PWM PIC – Modulación de Ancho de Pulso [Imagen], por TECmikro, s.f., TECmikro (<https://tecmikro.com/content/69-pwm-pic-modulacion-de-ancho-de-pulso>). (c) Adaptado de Válvula solenoide equipos Caterpillar 111-9916 [Fotografía], por EXCAVATORS.MX, s.f., EXCAVATORS.MX (<https://www.excavators.mx/product/valvula-solenoide-equipos-caterpillar-111-9916/>).

De esta manera se busca resaltar la importancia de las señales PWM tanto en la entrada como en la salida del ECM en las excavadoras 320D CATERPILLAR. Estas señales son vitales para el monitoreo, control y operación eficiente de la maquinaria, lo que destaca la necesidad de un adecuado seguimiento y diagnóstico de estas para garantizar el funcionamiento óptimo de la excavadora.

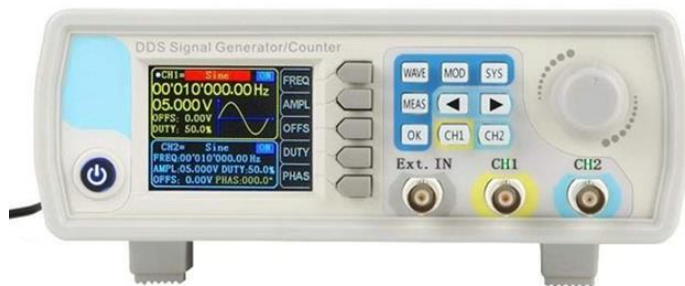
#### ***Conceptos Básicos del Estudio***

A continuación, se presentan respuestas a una serie de preguntas relacionadas con la implementación de señales simuladas y su respectivo enfoque:

**¿Cuál es la Importancia de un Generador de Señal?** En la figura 4 se presenta un ejemplo de generador de señales de laboratorio, el cual es necesario para realizar ciertas calibraciones o revisiones específicas a herramientas de medición.

**Figura 4**

*Ejemplo de Generador de Señales*



*Nota.* Breve ejemplo de un generador de señal que puede variar dependiendo de la marca y tipo. Tomado de Generador de funciones [Fotografía], por Generador de Señales, s.f. (<https://xn--generordeseales-rxb.com/generador-de-funciones/>).

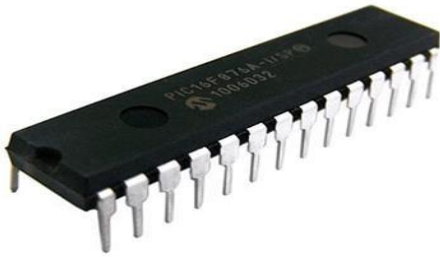
Según la reseña de (Ruiz, 2001), en el cual afirma que la función de un generador de señal es producir una señal dependiente del tiempo con unas características determinadas de frecuencia, amplitud y forma.

Por lo que se puede inferir que un generador de señal es un dispositivo en el cual produce señales eléctricas en función del tiempo, se puede implementar señales sinusoidales, triangulares, cuadradas, etc. Dependiendo del dispositivo este podría ampliar su rango de lectura, puede dar al operador una amplia gama de opciones, como señales analógicas o digitales, también pueden ser periódicas y no periódicas, puede cambiar su amplitud y frecuencia, todo es basado a lo solicitado por el operador, normalmente este dispositivo está ubicado en los laboratorios para realizar pruebas y simulaciones con el fin de implementar reparaciones o estados electrónicos.

¿Qué es un Microcontrolador? En la figura 5 se presenta un ejemplo básico de un microcontrolador, estos pueden variar según su aplicación y fabricante.

### **Figura 5**

#### *Ejemplo de Microcontrolador*



*Nota.* Ejemplo básico de un microcontrolador. Tomado de El microcontrolador “cerebro” del robot programable (básico) [Fotografía], por Robots Didácticos, 2014, Robots Argentina (<https://robots-argentina.com.ar/didactica/el-microcontrolador-cerebro-del-robot-programable-basico/>).

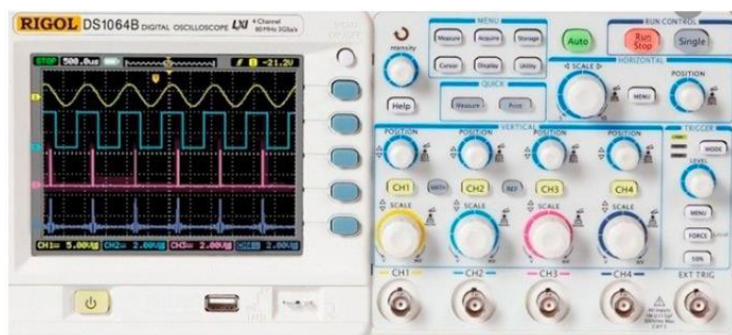
Según (Villamil & Pinto, 2009) El microcontrolador es un dispositivo programable y tiene la capacidad de ejecutar tareas y procesos a gran velocidad, llevando su aplicación a tiempo real.

De esta manera se comprende que es un circuito integrado al cual se le puede realizar diversas programaciones, dependiendo del microcontrolador este puede tener diferente capacidad de memoria, al igual que su funcionamiento, puesto que vienen diseñados para operaciones o programaciones de baja, media y alta complejidad, y en cada rango aplican diversas funciones, memoria RAM, ROM, comunicación serial, UART, I2C, etc. La función básica del microcontrolador depende de las señales de entrada y salida, al obtener estos datos realizan una función específica; la operación varía dependiendo del modelo del microcontrolador, y su calidad y diseño depende del fabricante.

¿Cuál es la Función de un Osciloscopio? Es básicamente un dispositivo de visualización gráfica que muestra señales eléctricas variables en el tiempo (Borrego, s.f.); por lo cual se infiere que el osciloscopio representa las señales eléctricas tomadas de un circuito, su propósito es el análisis de los espectros de onda que pueden generar algunos dispositivos electrónicos, también sirve para realizar revisiones del funcionamiento de los mismos, todo depende de la capacidad del osciloscopio, luego que puede tomar lecturas de un límite de rango, la mayoría de estos dispositivos son utilizados para evaluaciones y se encuentran ubicados en laboratorios de electrónica, puesto que son dispositivos de gran tamaño y delicados, los cuales no son muy vistos en la evaluación en campo, los pocos dispositivos que se encuentran en campo están diseñados con un límite rango de lectura y son pequeños puesto que se implementan para una sola función. En la figura 6 se presenta un ejemplo de osciloscopio que puede haber en el mercado.

### Figura 6

#### *Ejemplo de Osciloscopio*



**Nota.** Ejemplo de osciloscopio. Tomado de Aprende a Usar el Osciloscopio Automotriz

[Análisis Técnico] [Fotografía], por Donado, A., 2023, Autosoporte

(<https://autosoporte.com/analisis-tecnico-del-uso-del-osciloscopio-automotriz/>).

¿Cuál es el Propósito de una Programación? Es un proceso mediante el cual se seleccionan y organizan un conjunto de instrucciones en un determinado lenguaje, para luego ejecutarlo en un sistema computacional (Cáceres Espinoza, 2019).

Por lo cual se concluye que la programación es aplicada en la electrónica para realizar diversas acciones, es decir, se implementa un lenguaje de programación para que ejecute una función, hay diversos tipos de lenguaje de programación como, C, C++, Python, Visual Basic, SQL, etc. Cada lenguaje es aplicado a ciertas funciones, estos tipos de lenguaje son implementados en unos dispositivos como microcontroladores en los cuales siguen unos lineamientos para desempeñar diferentes funciones, la programación es importante luego que, es un paso a paso diseñado para que el circuito pueda tener un objetivo y finalidad, implementando los comandos aplicados.

¿Para qué Sirve un Simulador? Según (Montijano Moreno, 2009), un simulador permite ilustrar y visualizar el comportamiento de componentes electrónicos de forma rápida y fácil de entender.

De esta manera se infiere que el simulador es un dispositivo electrónico diseñado para ejecutar una acción a la cual está programado, realizando trabajos reales, se obtienen estos dispositivos con el fin de crear una pequeña realidad con diferentes programaciones, ya que al realizar la comparación de llevar un osciloscopio al área de trabajo puede tener dificultades por costo, tamaño, etc. De esta manera se utilizan diversos mecanismos, tanto software como hardware, en el cual el operador tendrá un mejor manejo interpretando, diseñando, evaluando la acción a la cual este programado, se tienen como ejemplos simuladores de autos para conducción, educativos, en medicina, etc. En la figura 8 se presenta un ejemplo de simulador aplicado al manejo de vehículos.

## Figura 7

### *Ejemplo de Simulador*



*Nota.* Simulador de conducción de realidad virtual. Tomado de Así es el avanzado simulador de conducción de realidad virtual que utiliza Volvo para hacer sus coches más seguros [Fotografía], por Otero, A., 2020, Motorpasión (<https://www.motorpasion.com/tecnologia/asi-avanzado-simulador-conduccion-realidad-virtual-que-utiliza-volvo-para-hacer-sus-coches-seguros>).

## Metodología

La metodología para llevar a cabo este proyecto se divide en varias fases, cada una de ellas está diseñada para cumplir con los objetivos específicos propuestos. Estas fases se detallan a continuación:

En la fase 1 se procederá de manera analítica abarcar una problemática de evaluación técnica por falta de herramientas.

- Análisis de la problemática técnica en el sistema electrónico de la excavadora

320D CAT:

En esta fase inicial, se realizará un análisis exhaustivo de las dificultades encontradas al evaluar el sistema electrónico de la excavadora 320D CAT. Se identificarán los principales

desafíos y limitaciones que impiden una evaluación adecuada, especialmente en lo que respecta a la falta de herramientas para la toma de lecturas y generación de señales PWM.

En la fase 2 se planteará la importancia del lenguaje C, para ser aplicado a un microcontrolador PIC18F2550 para ejecutar las acciones deseadas y la importancia de un variador de resistencias.

- Configuración de microcontroladores PIC utilizando lenguaje C:

En esta etapa, se utilizará el lenguaje de programación C para realizar las configuraciones necesarias en los microcontroladores PIC. Estas configuraciones estarán dirigidas a la toma de lecturas y generación de señales PWM con la frecuencia y amplitud requeridas. Además, se integrará una resistencia variable para ajustar las señales según las especificaciones del dispositivo simulador.

- Diseño e implementación del dispositivo simulador:

En esta etapa, se llevará a cabo el diseño y la implementación del dispositivo simulador, utilizando como base las configuraciones realizadas en los microcontroladores PIC. Se aplicará la programación en lenguaje C para garantizar el funcionamiento adecuado del dispositivo, asegurando la generación y lectura precisa de señales PWM., posteriormente, se realizarán pruebas para verificar la funcionalidad del dispositivo y su capacidad para simular señales y optimizar las evaluaciones técnicas.

En la fase 3 se analizará la importancia del dispositivo simulador, aplicando las pruebas necesarias para comprobar la utilidad de este, definiendo algunas pautas que mejoraran la evaluación del paso a paso que otorga el fabricante CAT, obteniendo como resultado un nuevo paso a paso adecuado para realizar una evaluación al sistema electrónico más rápida y eficaz.

- Evaluación de la efectividad del dispositivo simulador:

Una vez implementado el dispositivo simulador, se llevará a cabo una evaluación cualitativa de su efectividad. Se analizará cómo el uso del dispositivo ha contribuido a superar las dificultades identificadas en la fase inicial y a cumplir con los objetivos específicos del proyecto. Se implementará un nuevo paso a paso para optimizar las evaluaciones técnicas, evitar la solicitud de repuestos innecesarios y mejorar la eficiencia en la identificación de la causa raíz de las fallas en el sistema electrónico de la excavadora 320D CAT.

- Análisis de resultados y conclusiones:

Finalmente, se realizará un análisis de los resultados obtenidos durante todo el proceso y se elaborarán conclusiones relevantes. Se contribuirá a la mejora de las evaluaciones técnicas en el sistema electrónico de la excavadora 320D CAT y se identificarán posibles áreas de mejora o investigación futura.

### ***Importancia del Dispositivo Simulador***

Para dar solución a la problemática de minimizar los errores de evaluaciones en maquinaria 320D CAT en el sistema electrónico, se diseñará un dispositivo que permita generar y tomar lectura de la señal PWM, así como variar el valor de una resistencia, con el fin de minimizar los errores en las evaluaciones del sistema electrónico de la excavadora 320D CAT. Este dispositivo facilitará el proceso de evaluación al técnico, optimizando la precisión y eficiencia de este.

El dispositivo estará compuesto por dos microcontroladores PIC18F2550 configurados y programados en lenguaje C utilizando el software CCS Compiler; cada microcontrolador tendrá una función específica.

En el microcontrolador 1, generará una señal PWM con un rango de frecuencia ajustable según la tarea a realizar, del mismo modo se podrá modificar el ciclo de trabajo de la frecuencia, esto ayudará a simular la señal del sensor o del actuador y optimizará la evaluación.

En el microcontrolador 2, tomará lectura de la señal PWM proveniente de los sensores de la excavadora 320D CAT, procesará las lecturas obtenidas para determinar el estado del sistema electrónico.

Se implementará una pantalla LCD para poder visualizar las señales de lectura o las generadas; como complemento se tendrá unos variadores de resistencia para poder simular los diferentes valores en ohmios, aquí el técnico podrá seleccionar la tarea a desarrollar, con esto se disminuirá los errores de evaluación en el sistema electrónico, se optimizará el tiempo de trabajo al momento de evaluar, luego que la facilidad de uso del dispositivo será muy interactiva e intuitiva con el usuario y por último, será muy versátil al momento de transportarlo, lo que ayudará en gran manera en ubicar la causa raíz de la falla.

Al momento de analizar las dificultades que se tienen al evaluar el sistema electrónico de la excavadora 320D, primero se debe conocer su funcionamiento, el cual se puede describir con base en las señales de entrada, las señales de salida y los módulos de adquisición de datos.

En la figura 9 se puede encontrar un ejemplo de los diferentes tipos de interruptores que aplican en la excavadora 320D CATERPILLAR, estos dependen de su parámetro a monitorear y el tipo de composición del interruptor, es muy importante conocer estos aspectos, luego que sus aplicaciones varían con referencia a lo que se desea obtener.

## Figura 8

*Ejemplo de Tipos de Interruptores Encontrados en la Excavadora 320D*



*Nota.* Diferentes tipos de interruptores, sensores y solenoides que se pueden encontrar en la Excavadora 320D. Tomado de Electronics Troubleshooting ILT Switches/Sensors/Solenoids [Fotografía], por Caterpillar, 2010 (SERV1877, Global Manpower Development).

En la Tabla 1, se describen los parámetros de monitoreo y los interruptores o dispositivos utilizados para detectar y controlar dichos parámetros en una excavadora modelo 320D de la marca Caterpillar en los cuales se representan de la siguiente manera.

**Tabla 1**

### *Interruptores*

Parámetro Monitoreado	Composición del Interruptor
Temperatura	Entrada de variable con termistor o termocupla
Presión	Medidor de tensión con resistor variable e interruptor
Flujo Fluido	Fuelle inducción o Capacitor e interruptor
Operador Activado	Palanca

Parámetro Monitoreado	Composición del Interruptor
	Empujar/jalar
	Sostenido
	Empujar para establecer/Empujar para aliviar

*Nota.* Tabla de la composición de los diferentes tipos de interruptore, sensores y solenoides en la maquinaria CAT. Adaptado de Electronics Troubleshooting ILT Switches/Sensors/Solenoids, por Caterpillar, 2010, SERV1877 Global Manpower Development.

**Parámetro Monitoreado:** enumera los diferentes aspectos o condiciones que se están monitoreando en la excavadora. Cada uno de estos aspectos corresponde a una variable que afecta el funcionamiento de la máquina.

**Composición del Interruptor:** describe el tipo de interruptor o dispositivo utilizado para detectar y controlar cada uno de los parámetros mencionados en la tabla 1. Los interruptores son componentes que permiten abrir o cerrar un circuito eléctrico en respuesta a un cambio en la condición que están monitoreando.

**Temperatura:** se menciona el uso de un termistor o termocupla como entrada de variable para monitorear la temperatura. Estos son sensores de temperatura que cambian su resistencia eléctrica en función de la temperatura.

**Presión:** expresa la utilización de medidores de tensión junto con un resistor variable e interruptor para medir la presión. Esto podría implicar la medición de la deformación de un material sensible a la presión o la detección de cambios en la resistencia eléctrica causados por la presión.

**Flujo Fluido:** el uso de una paleta con interruptor para medir el flujo de fluido. Esto podría implicar una paleta que gira en función del flujo de fluido y activa el interruptor en ciertos niveles de flujo.

Operador Activado: se utiliza una palanca como interruptor para detectar si el operador ha activado alguna función en la excavadora. Esto podría referirse a una palanca de control manual que el operador manipula como empujar/jalar, sostenido, empujar para establecer/empujar para aliviar lo que implica diferentes modos de operación o acciones que el operador puede realizar en la excavadora. Los interruptores relacionados con estos parámetros podrían detectar cuándo se realiza una acción específica, como empujar o jalar una palanca, mantenerla en una posición determinada o cambiarla de posición.

### Figura 9

*Ejemplo de Tipos de Sensores Encontrados en la Excavadora 320D*



*Nota.* Diferentes tipos de sensores que se pueden encontrar en la Excavadora 320D. Tomado de Electronics Troubleshooting ILT Switches/Sensors/Solenoids [Fotografía], por Caterpillar, 2010 (SERV1877, Global Manpower Development).

Los sensores son otro tipo de componentes que se toman como señales de entrada, estos pueden tomar diferentes parámetros como, presión, temperatura, velocidad, flujo, etc., en la tabla

2 muestra los datos de los parámetros que la excavadora 320D CAT monitorea por medio de los sensores y que son enviados al ECM, para así realizar las respectivas ejecuciones pertinentes.

**Tabla 2**

*Sensores*

Parámetro Monitoreado	Composición del Sensor	Activo o Pasivo	Tipos de Mediciones
Velocidad	Magnético	Pasivo (2 cables)	Volt, Hz, Ohm
	Efecto Hall	Activo (3,4 cables)	Volt, Hz, Ciclo Dúctil
Temperatura	Resistencia variable	Pasivo (2 cables)	Volt, Ohm
	Resistencia Variable	Activo (3 cables)	Volt, Ohm, Hz, Ciclo Dúctil
Presión	Medidor de Tensión con Resistencia Variable	Activo (3 cables)	Volt, Hz, Ciclo Dúctil
	Resistencia Variable		
Posición	Efecto Hall	Activo (3 cables)	Volt, Ohm, Hz, Ciclo Dúctil
	Magnéticos		
Nivel	Resistencia Variable	Pasivo (2 cables)	Volt, Ohm

*Nota.* Aplicación de los sensores en la maquinaria Caterpillar. Adaptado de Electronics

Troubleshooting ILT Switches/Sensors/Solenoids, por Caterpillar, 2010, SERV1877 Global Manpower Development.

Parámetro Monitoreado: Aquí se puede encontrar los parámetros que maneja la excavadora 320D Caterpillar, según su aplicación el dispositivo de adquisición de datos tomará la lectura y podrá realizar acciones de ejecución en alarmas, actuadores (solenoides), registros, etc., de los cuales pueden ser velocidad, temperatura, presión, posición y nivel.

Composición del sensor: En este se encontrará el tipo de sensor que se tiene, es decir, los sensores pueden tomar los valores por medio de Efecto Hall, variadores de resistencia y magnéticos para la excavadora 320D, hay más sensores de diferente composición pero que no se manejan en esta máquina.

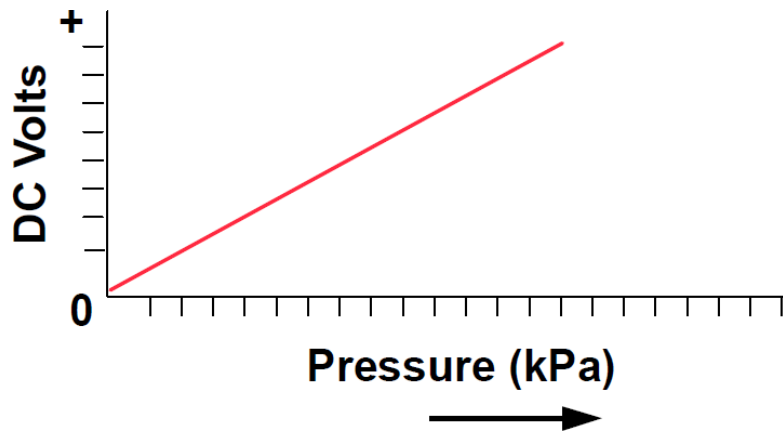
Sensor Activo: Se identifica fácilmente en la excavadora porque tiene 3 cables (positivo, tierra, señal) normalmente los sensores activos deben ser alimentados con un voltaje en específico para poder que funcionen adecuadamente, para la excavadora 320D la alimentación de los sensores esta de 5 a 24V dependiendo de su funcionamiento; también hay sensores activos de 2 cables, pero en esta máquina no aplica.

Sensor Pasivo: Se identifica porque tiene 2 cables, este tipo de sensor no necesita de una alimentación de voltaje para que pueda tomar lecturas, ya que algunos tienen una resistencia interna que puede variar dependiendo de su funcionamiento, esta resistencia cambia por medio de presión, temperatura, nivel, etc.

Tipos de Mediciones: Para la excavadora 320D solo se tomarán mediciones de Voltaje (V), Ohmios ( $\Omega$ ), Frecuencia (Hz) y Ciclo Dúctil (%); la frecuencia para la excavadora será de 250Hz a 1800Hz máximo, y el ciclo dúctil o ciclo de trabajo es el valor en el cual la señal de tipo PWM está en estado activo y se reflejara en porcentaje (%).

Las señales de entrada pueden ser tomadas de dos tipos para el dispositivo de adquisición de datos de la excavadora 320D, señal análoga o señal digital.

Señal Análoga: La señal análoga es la señal que varía en el tiempo puede ser constante o variable, aquí se puede tomar la medición de un voltaje DC/AC o frecuencia, dependiendo de la aplicación del sensor. En la figura 11 se puede identificar una pequeña representación de señal análoga, en este caso se verifica el comportamiento del voltaje contra el valor de la presión.

**Figura 10***Señal Análoga*

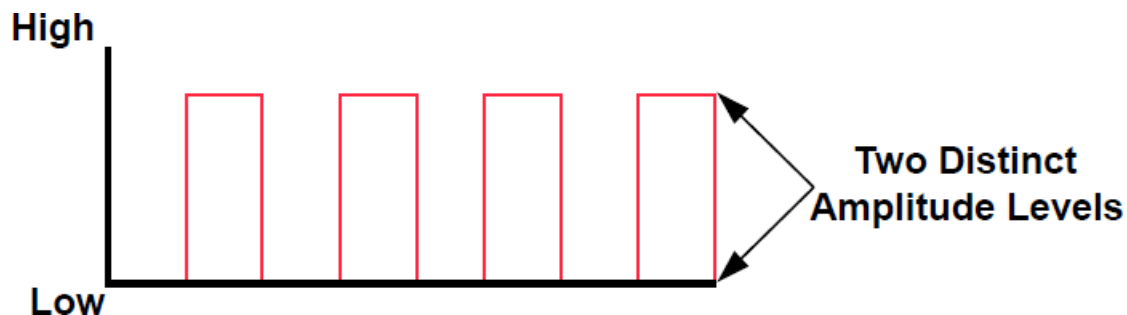
*Nota.* Señal análoga DC. Tomado de Electronics Troubleshooting ILT

Switches/Sensors/Solenoids [Imagen], por Caterpillar, 2010 (SERV1877, Global Manpower Development).

Señal Digital: Esta señal es basada en estado ON/OFF, es decir, encendido o apagado, valores ceros (0) o unos (1), es aquí donde entra la señal PWM (Modulación de Ancho de Pulso), puesto que el dispositivo de adquisición de datos tomará esta lectura y podrá ejecutar diferentes acciones. En la figura 12 se puede identificar como se presenta una señal digital, esto puede variar según su aplicación, pero siempre serán dos estados ON/OFF.

## Figura 11

### Señal Digital



*Nota.* Señal digital ON/OFF. Tomado de *Electronics Troubleshooting ILT*

*Switches/Sensors/Solenoids* [Imagen], por Caterpillar, 2010 (SERV1877, Global Manpower Development).

### Señal de salida

Es la señal que envía el ECM a los relés o actuadores, los cuales ejecutarán una acción, dependiendo de la señal que envíe el dispositivo de adquisición de datos; en el caso de los relés solo tomarán una acción en estado ON/OFF, pero en los solenoides pueden variar, ya que para la excavadora solo tendrán dos tipos, solenoide ON/OFF o solenoide PWM.

#### *Señal ON/OFF*

Esta señal tomara solo dos estados, un estado alto y un estado bajo, para el caso de los relés, o incluso motores fijos, tendrán una sola velocidad y no variara, su condición será abierta o cerrada, es comparado como interruptor.

#### *Señal PWM*

Esta señal de salida solo la manejará el solenoide, puesto que es una señal variable en el tiempo y la envía el ECM dispositivo de adquisición de datos para que ejecute una acción, bien sea en solenoides de servotransmisión, bomba hidráulica, inyectores, etc.

La señal PWM, o Modulación de Ancho de Pulso, constituye un elemento crítico en el funcionamiento de sistemas electrónicos, particularmente en el ámbito de maquinaria pesada como las excavadoras 320D de CATERPILLAR. Su importancia radica en su capacidad para transmitir información vital de manera eficiente y precisa, actuando como el lenguaje codificado que guía el desempeño de diversos componentes, entre ellos el solenoide o sensores.

En esencia, la señal PWM es una representación temporal de datos que utiliza la variación en el ancho de los pulsos de una onda para transmitir una información. Este tipo de señal se distingue por su capacidad para modular la cantidad de tiempo durante el cual la señal está en un estado alto (encendido) en comparación con el estado bajo (apagado). En el contexto de las excavadoras, esta señal se convierte en la voz electrónica que comunica con precisión las acciones requeridas para el adecuado funcionamiento del equipo.

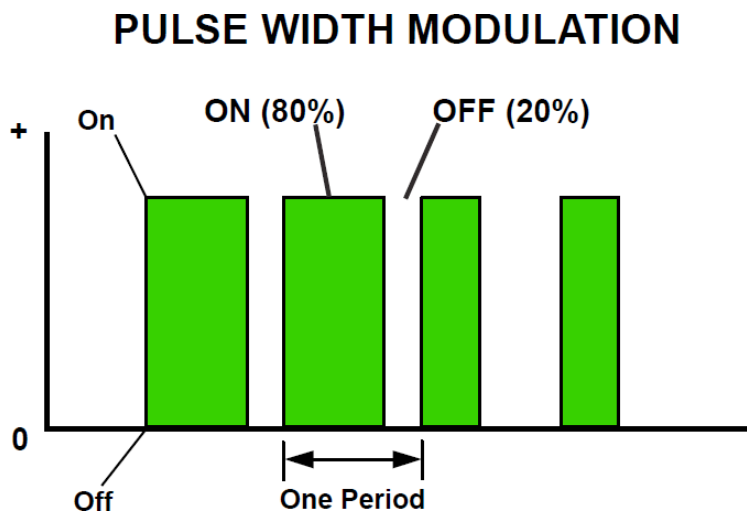
Cuando nos sumergimos en la aplicación específica de esta señal en el ámbito de las excavadoras 320D, surge una distinción crucial; la señal PWM se convierte en un mensajero exclusivo del solenoide. Este componente, esencial en el control de diversos sistemas, es el encargado de traducir la información contenida en la señal PWM en acciones concretas. Este proceso se lleva a cabo gracias a la capacidad del solenoide para interpretar la variación en el ancho de los pulsos y ejecutar acciones correspondientes en componentes específicos, ya sean solenoides de servotransmisión, bombas hidráulicas, inyectores u otros dispositivos cruciales para el funcionamiento óptimo de la excavadora.

Es necesario comprender que la naturaleza variable en el tiempo de la señal PWM no solo la hace idónea para la transmisión eficiente de información, sino que también permite una adaptabilidad fundamental. Esta característica se vuelve esencial en un entorno dinámico como el de una excavadora, donde las demandas operativas cambian constantemente. La capacidad de

ajustar el ancho de los pulsos en respuesta a las condiciones cambiantes permite una precisión y eficiencia en la operación que serían difíciles de lograr con métodos de control convencionales.

En términos prácticos, la señal PWM se convierte en el maestro conductor que coordina las operaciones dentro de la excavadora. Su capacidad para transmitir información de manera instantánea y su adaptabilidad a las necesidades del momento, la posicionan como un elemento crucial en la optimización del rendimiento de la maquinaria. Así, el solenoide, como intérprete hábil, transforma estos mensajes en movimientos precisos, proporcionando la fuerza y la velocidad necesarias para ejecutar tareas específicas, desde el desplazamiento hasta el control de implementos.

Desde lo anterior, la señal PWM no solo es un componente técnico en el sistema de control de una excavadora, sino que se rige como el vehículo que transporta la esencia de las instrucciones electrónicas a la acción física. Su capacidad para modularse en respuesta a las demandas operativas, junto con la habilidad del solenoide para interpretar y ejecutar estas variaciones, constituye un elemento clave en la optimización y precisión de las operaciones en el terreno, como se puede evidenciar en la figura 13 se observa una pequeña variación en la modulación del ancho de pulso (PWM), el tiempo en modo activado puede variar en su frecuencia.

**Figura 12***Señal Digital PWM*

*Nota.* Señal PWM en % de estado ON y OFF. Tomado de Electronics Troubleshooting ILT Switches/Sensors/Solenoids [Imagen], por Caterpillar, 2010, SERV1877 Global Manpower Development.

### ***Adquisición de Datos***

La excavadora 320D tiene 3 dispositivos de adquisición de datos, dos de ellos son ECM (Modulo de Control Electrónico) y uno es un EMM (Modulo de Monitor Electrónico), estos tres dispositivos se comunican entre sí por medio de la comunicación CAN (Controller Area Network) o controlador de red de zona, este tipo de comunicación lo deben realizar los dispositivos de adquisición de datos, puesto que continuamente las señales de entrada y salida deben de ir de un dispositivo a otro, con el fin de ejecutar una acción pertinente para que la maquina opere en óptimas condiciones.

**EMM (Modulo de Monitor Electrónico).** Este dispositivo recibe los datos de los otros ECM por medio del protocolo de comunicación CAN y los refleja por medio de pantalla,

mostrando nivel de combustible, temperatura de motor, hidráulico, etc. En la figura 14 se presenta uno de los posibles componentes que se pueden encontrar en el mercado, estos varían dependiendo del tipo de aplicación de la máquina.

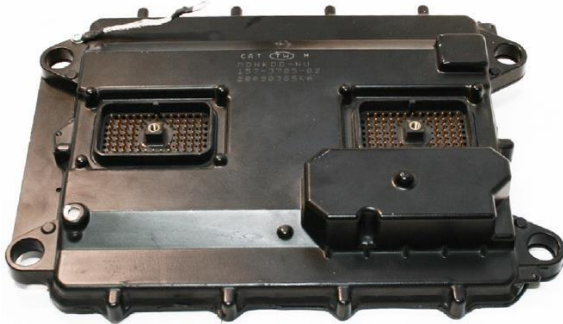
### Figura 13

#### *EMM Monitor 320D*



*Nota.* Monitor de excavadora 320D, dispositivo donde se muestran los parámetros al operador de la maquina [Fotografía], 2006. Fuente. Autoría Propia.

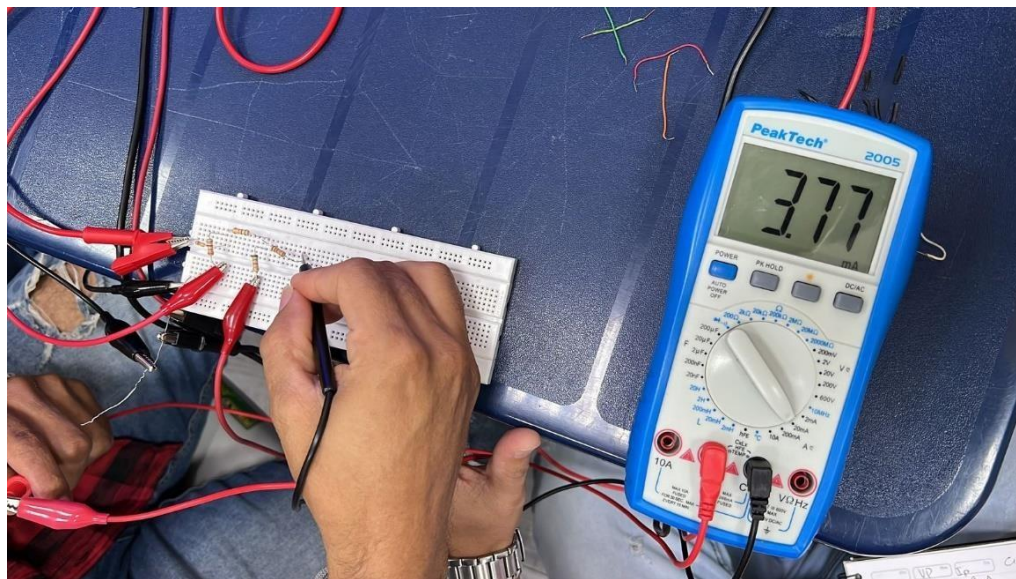
**ECM (Modulo de control Electrónico).** Estos dispositivos reciben las señales de los sensores e interruptores y los toma como señales de entrada y luego el ECM envía señales de salida a los relés y actuadores como solenoides, para que realicen una acción determinada. En la figura 15 se presenta el componente de adquisición de datos, aquí se almacena todas las señales de entradas enviadas por medio de sensores o interruptores y por medio de algoritmo envía señales de salida para los demás componentes como motores, solenoide, relés, etc.

**Figura 14***ECM Modulo de Control Electrónico*

*Nota.* Módulo de control electrónico de motor. Tomado de Electronics Troubleshooting ILT Electronic Control Unit (ECU) [Fotografía], por Caterpillar, 2010, SERV1877 Global Manpower Development.

Luego de tener la introducción del funcionamiento electrónico de la excavadora 320D y sus componentes, se debe tener en cuenta las herramientas que se cuentan para hacer las evaluaciones electrónicas, es así como cada técnico está equipado de un multímetro, adaptador de comunicación y software de comunicación ET (Electronic Technician), es necesario conocer estas herramientas para poder analizar las dificultades que se presentan al momento de realizar evaluaciones electrónicas.

**Multímetro.** Herramienta que se utiliza para realizar mediciones de voltaje AC/DC, resistencia y corriente, algunos multímetros son un poco más sofisticados, pueden tomar mediciones como frecuencia, ciclo dúctil, verificar estado de diodos, transistores, y los multímetros que tienen mayor capacidad pueden dar datos como lo realiza un osciloscopio, es claro que no es un rango amplio y su valor podría ser muy alto. En la figura 16 se observa un multímetro con funciones básicas, y la manera de cómo es aplicado al momento de realizar evaluaciones.

**Figura 15***Multímetro Digital*

*Nota.* Ejemplo de multímetro digital, [Fotografía], 2022, Mediciones en laboratorio de la UNAD.

Fuente. Autoría Propia.

**Adaptador de comunicación.** Esta herramienta es un dispositivo que sirve como hardware para tener una comunicación entre la excavadora 320D y el software ET (Electronical Technician), el adaptador recibe todos los datos de entrada y salida de cada ECM y lo envía al ET, para que el técnico pueda verificar datos y realizar los respectivos diagnósticos. En la figura 17 se presenta uno de los tipos de adaptador de comunicación que existen por parte del fabricante, ya que se han actualizado y algunos adaptadores se pueden conectar por medio de wifi o bluetooth.

**Figura 16***Adaptador de Comunicación III*

(1) Adaptador de Comunicaciones 3 (CA3) 317-7485.  
(2) Conjunto de Cable 317-8981. (3) Conjunto de Cable 317-7487. (4) Caja 6V-7145. (4a) Insertos de Espuma 317-7513.

*Nota.* Adaptador de comunicación III. Tomado del Manual de operación de la herramienta [Imagen], por Caterpillar, 2011 (Publicación No. NSHS1032-04).

**ET (Electronical Technician).** Esta herramienta es un software de comunicación instalada en un PC para poder realizar evaluaciones del sistema electrónico y rendimiento de la excavadora 320D, con esta herramienta se pueden tomar datos de presión de combustible, presión de aceite, temperatura de motor, presión de sistema hidráulico, etc. En la figura 18 se presenta una de las versiones del software, luego que el fabricante está actualizando constantemente su plataforma.

Figura 17

## Software ET en PC

Descripción	Valor	Unidad	Min	Máx	ECM
320D					
Factor de carga del motor	15	%	15	15	C7 325D (KH000001)
Presión atmosférica	100,5	kPa	100,5	100,5	C7 325D (KH000001)
Presión de aceite del motor	366	kPa	366	366	C7 325D (KH000001)
Presión de refuerzo	6	kPa	6	6	C7 325D (KH000001)
Presión del combustible (absoluta)	601	kPa	601	601	C7 325D (KH000001)
Velocidad del motor	953	rpm	953	953	C7 325D (KH000001)
Velocidad deseada del motor	953	rpm	953	953	C7 325D (KH000001)
Temperatura del aire de admisión	4	°C	4	4	C7 325D (KH000001)
Temperatura del refrigerante del motor	61	°C	61	61	C7 325D (KH000001)
Voltaje de la batería	27,5	V	27,5	27,5	C7 325D (KH000001)
Presión de salida de bomba hidráulica N.º 1	4142	kPa	4142	4142	Control de máquina 324D (JJG000001)
Presión de salida de bomba hidráulica N.º 2	4204	kPa	4204	4204	Control de máquina 324D (JJG000001)

*Nota.* Datos tomados desde el software ET instalado en el computador, [imagen] 2023. Fuente.

Autoría Propia.

La evaluación exhaustiva del sistema electrónico de la excavadora 320D presenta desafíos, debido a la complejidad del sistema y las limitaciones de las herramientas disponibles; por ejemplo, la evaluación de un sensor de velocidad requiere herramientas especializadas para detectar y analizar adecuadamente la señal PWM que envía al dispositivo de adquisición de datos ECM, un multímetro básico no sería suficiente para este propósito. Incluso con el hardware y software adecuados como el ET (Electronic Technician) para escanear la máquina, la información obtenida no puede ser concluyente, luego que muestra valores específicos como las revoluciones por minuto (rpm) en el caso de los sensores de velocidad, pero no indica la precisión o confiabilidad de la señal, esto dificulta determinar la causa raíz de un problema, ya que la falla podría estar en el sensor, cableado o incluso ECM.

En esta parte el técnico tendría que llegar a pruebas de ensayo y error; tener a la mano un sensor para reemplazo, si el problema persiste deberá cambiar el cableado y podría llegar hasta

cambiar el ECM para verificar su funcionamiento, esto llevaría una pérdida de tiempo, sin contar los costos de estar cambiando componentes electrónicos; teniendo en cuenta que los valores de estos componentes son elevados.

Es aquí donde se pone en duda el tipo de evaluación realizada, empiezan las preguntas, ¿el técnico es competente para la evaluación?, ¿se tienen las herramientas adecuadas para la evaluación?, ¿el cliente tiene el presupuesto para entrar en las pruebas de ensayo y error al comprar componentes? Y las demás preguntas que se puedan generar en el momento.

## **Analizar la Dificultad que se Tiene al Momento de Realizar Evaluaciones Técnicas en el Sistema Electrónico de la Excavadora 320D CAT, ya que no se Cuenta con la Herramienta Adecuada para Tomar Lecturas y Generar Señales PWM**

En este capítulo, se abordará exhaustivamente la complejidad inherente a las evaluaciones técnicas del sistema electrónico de las excavadoras 320D CAT, centrándose en la falta de herramientas adecuadas para la toma de lecturas y la generación de señales PWM.

La ausencia de herramientas adecuadas tiene repercusiones en la satisfacción del cliente, ya que las demoras en la reparación de las excavadoras pueden afectar los plazos de entrega de los proyectos y generar costos adicionales. Además, la falta de capacidad para realizar evaluaciones técnicas precisas puede resultar en la solicitud de repuestos innecesarios, lo que incrementa los gastos y afecta la rentabilidad del proyecto.

### **Representación de Códigos de Error Según Fabricante CAT**

El fabricante CAT mediante números representa las fallas de la máquina, por lo cual realiza un caza fallas, es decir, por medio de listado de números identifica el módulo (ECM) que presenta el problema (módulo de motor, módulo de maquina etc.), seguido de otro número que identifica el componente que está presentando el error (switch, solenoide, sensor, etc.), y por último se define un numero para identificar el tipo de falla del componente.

Los códigos de falla CAT, también conocidos como códigos de diagnóstico (DTC), son un conjunto de números estandarizados que utiliza el fabricante Caterpillar para identificar problemas específicos en sus máquinas. Estos códigos funcionan como un lenguaje que la máquina utiliza para comunicarse con los técnicos, proporcionándoles información crucial para la resolución de averías.

Un código de falla CAT típico se compone de tres partes:

1. Identificador del módulo (MID): Este número identifica el módulo de control electrónico (ECM) específico que ha detectado la falla, como motor, maquina, transmisión, etc.

Cada módulo en la máquina tiene un MID único.

2. Identificador del componente (CID): Este número identifica el componente específico dentro del módulo que está presentando el problema. Puede ser un sensor, un interruptor, un solenoide, entre otros.

3. Identificador del modo de falla (FMI): Este número proporciona información adicional sobre la naturaleza de la falla. Indica cómo se ha detectado el problema y si está relacionado con un cortocircuito, un problema de voltaje o algún otro tipo de anomalía.

Ejemplo de un código de falla CAT:

36: 03 – 02

En este ejemplo:

- 36 es el MID, lo que indica que la falla proviene del módulo de control del motor.
- 03 es el CID, identifica a un inyector como el componente defectuoso.
- 02 es el FMI, que indica el tipo de falla, cortocircuito a tierra.

### **Ejemplo de Dos Códigos de Error Frecuentes en Excavadora 320D CAT**

A continuación, se presentan ejemplos de dos códigos de error frecuentes en la excavadora 320D; los dos códigos están en el módulo de motor y se representan de la siguiente manera:

Primer código de error:

- 36: 91 - 08 = Falla en motor. Sensor de posición de acelerador: frecuencia duración de impulso o periodos anormales.

Segundo código de error:

- 36: 190 – 08 = Falla en motor. Sensor de velocidad del motor: frecuencia duración de impulso o periodos anormales.

Los códigos anteriormente mencionados se pueden comprender de la siguiente manera:

- 36 = Sistema de máquina o modulo que identifica la falla, en este caso es del motor, también puede ser (89 = transmisión, 39 = sistema hidráulico, etc.)
- 190 = Componente que tiene la falla, en este caso es de sensor de velocidad, también pueden variar como (sensor de temperatura, aceite, presión, etc. Y cada componente tiene un número diferente)
- 08 = tipo de falla, en este caso es frecuencia, duración de impulso o periodos anormales, también pueden estar (corto circuito a tierra, circuito abierto, voltaje sobre lo normal, voltaje bajo lo normal, etc. Y cada uno se representa con un número diferente)

Con algunos multímetros sofisticados se puede realizar la lectura de la señal PWM, pero no la podrán generar, para el caso de la falla donde la frecuencia es anormal, no solo se debe tener la lectura de la frecuencia, también se debe conocer el ancho de pulso de la señal, verificar si el problema está en el sensor o solenoide, o en su defecto la falla se presenta en el cableado o el ECM, la manera de identificar la causa raíz de esta falla sin tener el simulador seria realizando cambio de componentes y volver a realizar la evaluación.

Este tipo de fallas es muy común, el código de error habla de frecuencia anormal, luego que puede estar por encima o por debajo de lo especificado, y es aquí donde el técnico tiene dificultades al realizar la evaluación y definir si la falla es el sensor, el cableado, o el dispositivo que genera la frecuencia, y la herramienta adecuada para la lectura de señal PWM es un osciloscopio, el cual es una herramienta delicada, dependiendo del tipo de osciloscopio el volumen varia, y se debe tener en cuenta que es una herramienta costosa, por otro lado, no se

tendría la oportunidad de generar una señal PWM, ya que los osciloscopios que pueden realizar esta labor están en bancos de prueba o laboratorios; por estas razones es muy importante realizar el dispositivo simulador, luego que se podrán realizar las dos opciones, generar la señal PWM y tomar lectura de la misma.

### ***Ejemplo de Evaluación de Código de Error según Fabricante CAT***

Tomando como ejemplo el código 36: 190 – 08, se plantea a detalle la descripción de la falla que registra CATERPILLAR para solucionar el problema:

**Tabla 3**

#### *Descripción de Código 190 – 8*

Descripción	Condiciones que generan este código	Respuesta del sistema
190 – 8 sensor de velocidad del motor: frecuencia, duración de impulso o periodo anormales	El Módulo de Control Electrónico (ECM detecta una pérdida de señal del sensor principal de velocidad/sincronización durante dos segundos.	Se registra el código. Si está equipado, la lámpara de emergencia se encenderá. El ECM utilizará la señal del sensor secundario de velocidad y sincronización. Se reducirá la potencia del motor.
	El ECM ha recibido corriente durante tres segundos.	El motor se apagará si se pierde la señal de ambos sensores de velocidad/sincronización.

*Nota.* Adaptado de Velocidad/sincronización – Probar (Publicación No. KNSR5342-21), por Caterpillar, 2012, Service Information System.

Teniendo en cuenta la descripción anterior se evidencia que este código de falla es perjudicial para la excavadora 320D CAT, luego que el motor perderá potencia y la eficiencia de la maquina disminuirá, así que el fabricante realiza el siguiente paso a paso.

Paso de prueba 1: inspeccionar los conectores electrónicos y el mazo de cables, que no estén flojos, rotos, obstruidos, etc. Desde el sensor hasta el ECM. En este primer paso lo que el fabricante busca es verificar que los conectores estén bien físicamente.

Paso de prueba 2: revisar si hay códigos de diagnóstico activos o códigos de diagnóstico registrados recientemente. En este paso lo que el fabricante busca que el técnico verifique con la herramienta de escaneo (ET) si el código sigue presente, es decir, si está activo, y para verificar esto se debe encender el motor, puesto que se trata de un sensor que envía lectura de la frecuencia, por lo cual se debe tomar los datos que está registrando el software, en este caso, si el ET muestra una frecuencia (X) y el código de error sigue activo, el técnico no podría concluir cuál sería la causa raíz de la falla hasta el momento.

Paso de prueba 3: revisar el mazo de cable entre los sensores de velocidad/sincronización y el ECM para verificar si hay un circuito abierto, en esta prueba el fabricante solicita realizar una medición, mediante el multímetro, ya que para verificar si hay circuito abierto se debe realizar con la medición de continuidad en el multímetro desde el sensor hasta el ECM.

Paso de prueba 4: revisar el mazo de cable entre los sensores de velocidad/sincronización y el ECM para verificar si hay un corto circuito, en esta prueba el fabricante busca que el técnico realice la medición para que no haya un corto circuito a tierra y la señal este llegando al ECM.

Paso de prueba 5: revisar el sensor, en esta prueba el fabricante recomienda realizar un intercambio de sensor, es decir, intercambiar el sensor primario por el sensor secundario y encender nuevamente el motor y verificar mediante el software (ET), si el código de error ahora

lo presenta el otro componente; aunque esta prueba es por ensayo y error, no es nada técnico realizarla, ya que no se tienen los fundamentos necesarios para definir la causa raíz de la falla.

Paso de prueba 6: revisar el ECM, si el código de error persiste el fabricante solicita realizar un cambio de ECM, para verificar si el código de error sigue activo, esta es otra prueba que es de ensayo y error, y que presenta pérdida de tiempo, puesto que para realizar un cambio de ECM por otro, primero se debe configurar en su totalidad el ECM que se va a reemplazar, porque este debe estar correctamente programado para que pueda ejercer las labores adecuadas para la excavadora 320D y se debe tener en cuenta el costo del ECM.

Estos son todos los pasos que recomienda el fabricante, y que en ningún momento menciona tomar lectura de la frecuencia del sensor. Por conocimiento práctico, los técnicos que conocen de la excavadora 320D CAT deben saber que el sensor primario debe tener la misma frecuencia que el sensor secundario de velocidad/sincronización, y que la lectura de esta frecuencia varía con respecto a las revoluciones del motor, ahora se realiza la siguiente pregunta; ¿qué pasa si el código de error sigue activo y ya se ha realizado todo el paso a paso que menciona el fabricante?, ya se ha cambiado el sensor, ya se ha verificado que el cableado está en buen estado, y ya se ha cambiado el ECM con su respectiva configuración y el código de error sigue activo, por descarte se presumiría que el problema o causa raíz está en el componente que genera la señal PWM, es decir, sería la rueda dentada la que tendría la falla, como ejemplo práctico se puede identificar en la figura 2 “la importancia de la señal PWM como entrada”, donde se muestra que es una rueda dentada que genera la señal PWM y el sensor es quien toma esta lectura y la envía al ECM por medio del cableado.

Como se refleja en el paso a paso anterior se ha realizado diversas evaluaciones, se han cambiado varios componentes y no se encontró la causa raíz de la falla, por lo que se ha perdido

tiempo de evaluación del técnico, se perdió productividad de la maquina mientras se realizaba la evaluación y los respectivos cambios de componentes, se perdió dinero tanto para el dueño de la maquina como para la empresa y por último se perdió credibilidad del técnico, por la demora en la evaluación.

Para evitar todos estos inconvenientes se propone realizar el dispositivo lector y generador de señal PWM, así en pasos más cortos se llegaría rápidamente a la conclusión de la causa raíz, informando con fundamentos el componente que presenta la falla y que debe ser cambiado, con esto se ganaría credibilidad, tiempo y se disminuiría costos.

**Utilizar Lenguaje C para Realizar las Configuraciones en los Microcontroladores PIC, con el fin de Tomar Lectura y Generar Señales PWM con su Respectiva Frecuencia y Amplitud, Integrando una Resistencia Variable, de esta Forma se Obtendrá la Señal Adecuada en el Dispositivo Simulador**

Lo primero que debemos saber es que, la programación es realizar un algoritmo para efectuar un paso a paso, es decir, va ejecutando un listado de ordenes que se escribe en un software hasta el momento de llegar a un propósito; esta programación se debe realizar mediante un tipo de lenguaje; en la actualidad existen tres tipos de lenguajes más utilizados que son (lenguaje máquina, lenguaje de bajo nivel y lenguaje de alto nivel), en cada tipo de lenguaje se implementan ciertas reglas que se deben respetar para que se pueda realizar las directrices planteadas, a continuación se presenta una breve explicación de cada tipo de lenguaje.

Lenguaje de maquina: se entiende que este tipo de lenguaje de comunicación es directo con la computadora, luego que este solo entiende el sistema binario, en otras palabras, el lenguaje de maquina se escribe con instrucciones de cadenas binarias (0 – 1) y es el único lenguaje que conoce la computadora, por lo cual su codificación es directa a la máquina.

Lenguaje de bajo nivel: comúnmente este tipo de lenguaje se asocia al lenguaje ensamblador, el cual implementa la particularidad de instrucciones nemotécnicas, es decir, implementa reglas de tener comandos constantes, como operaciones aritméticas (ADD, SUB, DIV, etc.), funciones de órdenes para mover contenidos (MOV) y muchas más, este tipo de constantes se agrupan a las ordenes en formatos hexadecimal y al unir este tipo de instrucciones se generan registros, de esta manera es más simple realizar este lenguaje que un sistema binario (maquina).

Lenguaje de alto nivel: Este tipo de lenguaje es más práctico con el programador, luego que se puede realizar una instrucción tan fácil como decir “encender lámpara”, este tipo de lenguaje es el más utilizado en la actualidad, hay varios tipos de lenguaje de alto nivel, los cuales se encuentran (C, C+, Python, Java, etc.), lo que hace que su codificación sea más ágil. (Joyanes- Aguilar, & Zahonero, 2001, p. 23,24 y 25).

Para la construcción del dispositivo simulador se utiliza el lenguaje C, el cual es uno de los más utilizados, puesto que implementa una biblioteca amplia de sintaxis, la cual varía un poco en cuanto al microcontrolador que se quiera programar. (Marzal & Gracia, 2009, p. 8, 9, 10 y 11).

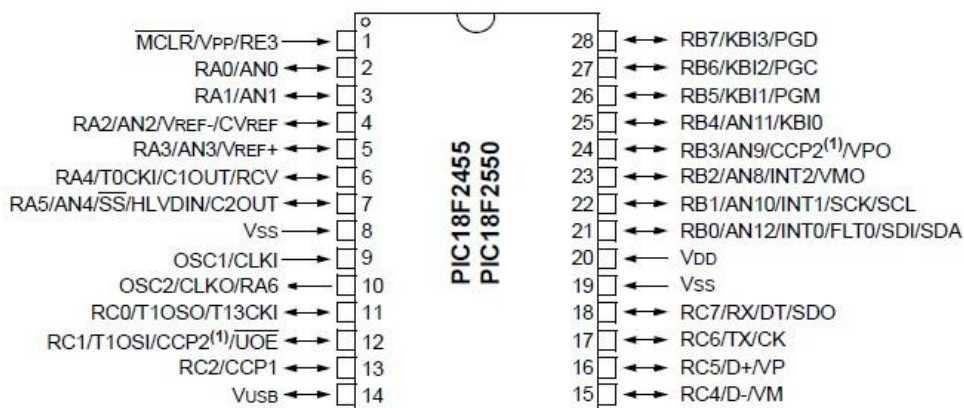
A continuación, se presenta un ejemplo en el cual se refleja la estructura del algoritmo y la manera de escribirlo, para después compilarlo y que el software lo pueda traducir al lenguaje de máquina, para que el microcontrolador lo pueda ejecutar sin ningún inconveniente.

Para poder iniciar la respectiva programación, primero se debe conocer el microcontrolador que se va a utilizar, en este caso es el PIC18F2550, las respectivas características se encuentran en la hoja de datos de este, para una introducción rápida al microcontrolador, en la figura 19 se muestra las respectivas entradas y salidas del PIC18F2550

## Figura 18

### Identificación de Microcontrolador PIC18F2550

#### 28-Pin PDIP, SOIC



*Nota.* Diagrama de identificación de pines del microcontrolador PIC18F2550. Tomado de PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet [Imagen], por Microchip Technology Inc., 2007, AllDataSheet.com (<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/195394/MICROCHIP/PIC18F2550.html>).

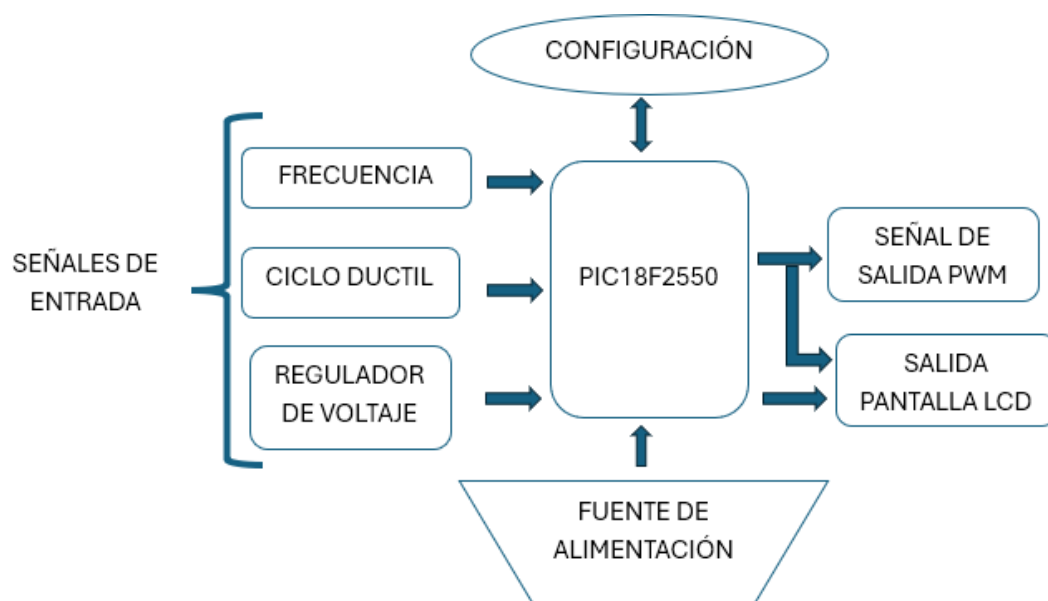
Con la identificación de cada uno de los pines del microcontrolador en la hoja de datos, se procede a realizar la configuración en lenguaje C en el software CCS Compiler; para obtener una mejor comprensión del dispositivo, se tendrán dos microcontroladores en el cual, en el primer PIC se realizará la programación del lenguaje C con su respectiva configuración para que el dispositivo pueda generar la señal PWM; y en el segundo PIC se realizará la configuración del lenguaje C para que el dispositivo pueda obtener lectura de la señal PWM, y como ayuda se tendrá de manera independiente unos potenciómetros, con el propósito de poder variar las resistencias en case ser necesario, estos potenciómetros no estarán incluidos en la programación del PIC, pero serán de ayuda para el técnico al momento de realizar la evaluación.

## Implementación de Lenguaje C para Generar Señal PWM

En la figura 20 se identifica el microcontrolador PIC18F2550, en el cual se presentan cuatro fases para el estado de generar la señal PWM, de esta manera es importante entender primero la configuración del PIC, seguido de esto, se debe conocer la fuente de alimentación con la cual se energizará el microcontrolador, es importante tener en cuenta los tipos de señales de entrada, y por último la manera en la que el PIC realizará la función deseada en las señales de salida.

### Figura 19

*Implementación de Lenguaje C para Generar Señal PWM*



*Nota.* Estructura de la implementación del microcontrolador PIC18F2550 configurado para generar señal PWM con la respectiva programación en lenguaje C. Fuente. Autoría Propia.

### **Configuración PIC18F2550**

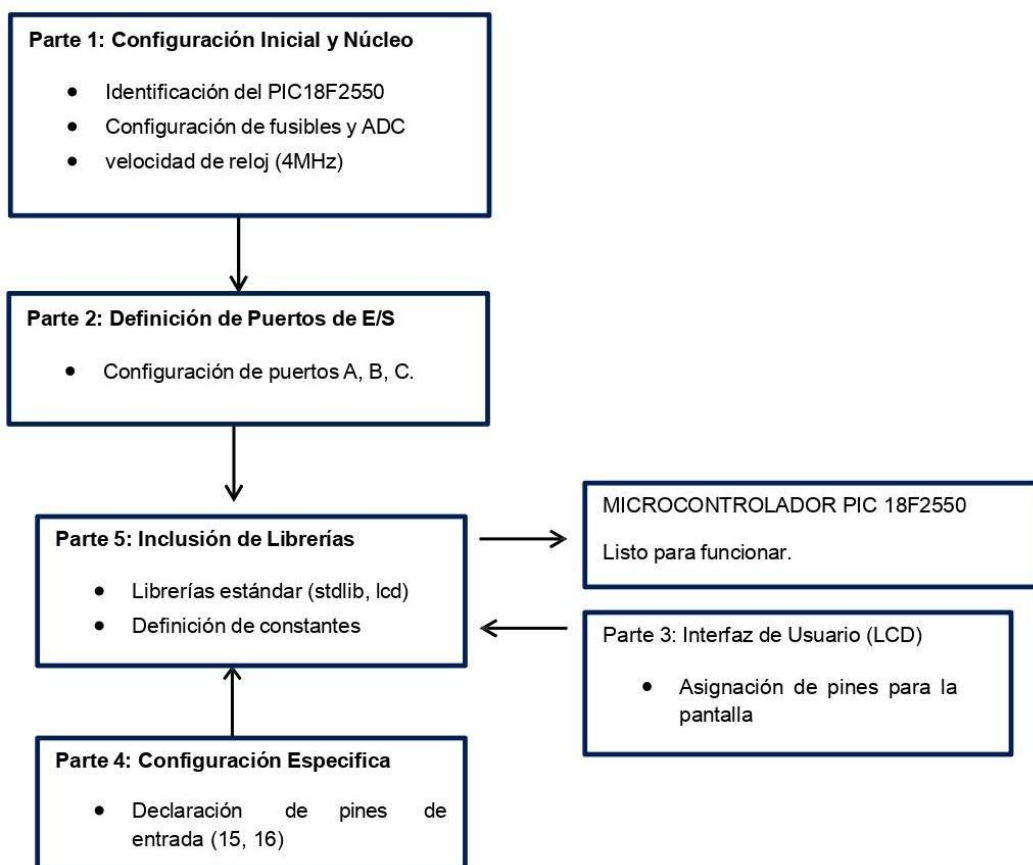
Es necesario que el microcontrolador tenga una debida configuración para que pueda realizar las funciones que el usuario necesita, en la figura 21 se expone la debida configuración

previa, con el propósito que el microcontrolador identifique cuáles serán las señales de entrada, salida, la velocidad con la que se desea trabajar y sus respectivas librerías.

En la línea 1 hasta la línea 26, se presenta la manera que el PIC estará configurado por medio del software de CCS Compiler, para una mejor comprensión se divide en 5 partes (números indicados del 1 – 5).

## Figura 20

### Configuración PIC18F2550



*Nota.* Esquema de configuración realizada al PIC18F2550, definiendo sus respectivos parámetros divididos en grupos. Adaptado de CCS Compiler Software, por Software.com.co, s.f.

(<https://software.com.co/p/ccs-compiler#product-description>).

Numero 1: están en las líneas 1 a la 4, en el cual se identifica el PIC18F2550, y se configura con un convertidor de señal analógica a digital (ADC), con el propósito de utilizar la señal PWM, también se configura los fusibles necesarios para el PIC y la velocidad con la que se va a trabajar, en este caso será de 4MHz.

Numero 2: están en las líneas 6 a la 8, configurando los puertos de entrada A, B, y C del microcontrolador, se puede programar de cualquiera de estas formas, todo depende para la aplicación a utilizar.

Numero 3: están en las líneas 10 a la 17, las cuales se refieren a la configuración del LCD, es decir, la pantalla en la que se reflejarán los datos, por lo cual es necesario realizar la respectiva configuración para que el PIC pueda emitir los datos y mostrarlos por pantalla al usuario, pueden existir otros tipos de configuración, todo depende del LCD con que se va a trabajar.

Numero 4: esta es una configuración específica, se realizó de esta manera para comprender e identificar que los pines 15 y 16 del microcontrolador PIC18F2550 trabajaran como señales de entrada, en caso de que esta configuración no se realice, el PIC definirá de manera automática que los pines 15 y 16 serán salidas.

Numero 5: se adiciona una librería para que el PIC pueda tomar los datos previamente configurados y ejercer de manera rápida su ejecución, también se define una variable fija con un valor específico, para que el PIC tome este valor de manera general.

#### ***Fuente de Alimentación del PIC18F2550***

Para que el microcontrolador pueda funcionar adecuadamente se debe tener una fuente de alimentación, es necesario comprender que los microcontroladores trabajan con una fuente de alimentación fija de 5V DC, independientemente de la fuente externa que se utilice, al PIC deben

llegar 5V DC, ya que si este voltaje es mayor el microcontrolador se dañara, por lo cual se debe realizar el cálculo adecuado para que los 5V DC sean fijos; para este caso se realiza un divisor de voltaje que soporta hasta 33V DC, con esto se puede utilizar el dispositivo generador de señal con la excavadora 320D CAT encendida, ya que esta máquina genera por medio del alternador hasta 28V DC.

Se instala un interruptor con el propósito que el técnico pueda realizar un cambio de fuente de alimentación, se tendrá una fuente fija de 9V DC solo para lecturas de señal PWM y la otra elección se podrá tomar la fuente de las baterías de la máquina, sea de 12V o 24V solo para generar la señal PWM; en este caso en particular se tendrá la fuente de alimentación entre 12V o 24V.

### ***Señales de Entrada del PIC18F2550***

El microcontrolador debe recibir unos comandos para que el código pueda funcionar adecuadamente, para que genere la señal PWM, el PIC debe identificar cuando debe variar la señal de frecuencia, la señal de ciclo dúctil y la señal de regulación de voltaje con el propósito de aumentar o disminuir la amplitud, estos datos son importantes para poder obtener una salida optima.

**Señal de Entrada para la Frecuencia.** Esta señal está configurada por medio de dos pulsadores, el cual enviara un estado digital de cero (0, bajo) o uno (1, alto), así el PIC podrá identificar si el usuario quiere aumentar o disminuir la frecuencia, por lo que se debe programar el microcontrolador para que reciba la señal de entrada deseada, esto se puede evidenciar en el código completo (ver en apéndice M).

**Señal Entrada de Ciclo Dúctil.** Esta señal se envía por medio de pulsadores hacia el PIC, la cual podrá modificar en que porcentaje de ciclo dúctil estará, es decir, si se requiere un

ciclo dúctil del 30% se podrá variar por este medio, o el valor que el técnico desee trabajar, esto se puede evidenciar en el código completo (ver en apéndice M).

**Señal de Entrada Regulador de Voltaje.** Se realiza la configuración al PIC para que pueda variar la amplitud de la señal PWM de salida, esta amplitud estará sujeta al voltaje máximo de la fuente de alimentación, es decir, si el dispositivo generador de señal esta con una fuente de alimentación de 12C DV, la amplitud pico no pasará este valor. En la figura 24 se puede verificar la programación realizada para que el PIC pueda utilizar la función de ADC (Análoga a digital), por medio del canal 1 (pin 3 del PIC18F2550), con esta configuración se puede tener la señal análoga del potenciómetro instalado en el dispositivo y generar como salida un estado digital, es decir, a un estado alto (1) o bajo (0).

### Figura 21

*Señal de Entrada Regulador de Voltaje*

```

85     set_adc_channel(1);
86     delay_us(20);
87     val=read_adc();
88     delay_us(10);
89     volt=(33.0*val)/1024.0;
90     voltsalida=((volt*z)/100.0)+0.6;
91     lcd_gotoxy(10,1);
92     printf(lcd_putc, "Vs:%1.1f",voltsalida);

```

*Nota.* Algoritmo que identifica la señal de entrada como comando para ejecutar aumento o disminución en la amplitud de la frecuencia de salida. Realizado y adaptado de CCS Compiler Software, s.f. Software.com.co. <https://software.com.co/p/ccs-compiler#product-description>

### ***Señal de Salida PWM del PIC18F2550***

Después que el microcontrolador reciba las señales de comando de entrada podrá generar la señal de salida, esta cambiará respecto a lo deseado por el técnico. En la figura 25 se identifica la configuración del PIC, realizando la respectiva identificación de los puertos (C) para que sean

entradas y/o salidas, y que se pueda utilizar la declaración de opciones CCP (Captura, Comparación, PWM), en este caso en particular se utilizará este comando para generar la señal PWM, esta es una parte fundamental que se debe conocer previo a la configuración, este tipo de declaraciones varía dependiendo del PIC, para este caso en específico, implica que la señal saldrá por el pin 13 del microcontrolador.

## Figura 22

### *Señal PWM de Salida del PIC18F2550*

```

46   set_tris_c(0b11111011);
47   output_low(pin_c2);
48   setup_timer_2(t2_div_by_16,Timer2,Poscaler);
49   setup_ccp1(ccp_pwm);
--

```

*Nota.* Algoritmo configurado para que el PIC tome la respectiva señal digital de alto y bajo del comando CCP, para poder generar la señal PWM. Realizado y adaptado de CCS Compiler Software, s.f. Software.com.co. <https://software.com.co/p/ccs-compiler#product-description>

Se adjunta el diagrama esquemático del circuito como anexo a este documento, para verificar todo el código configurado por medio del lenguaje C y corroborar los pines de entrada y salida del microcontrolador.

### *Señal de Salida Pantalla LCD*

Cuando el microcontrolador haya tomado todas las variables de entrada y haya generado la señal PWM, este valor debe conocerlo el técnico, por lo cual se implementa una pantalla LCD 16X2 donde se mostrará la frecuencia y ciclo dúctil de la señal PWM previamente requerida por el usuario. En la figura 26 se identifica que con dos líneas de comando de la 143 a la 144, se puede tener una declaración respectiva para que se muestre por pantalla LCD el valor de frecuencia y ciclo dúctil que el técnico está configurando, así se podrá verificar los valores que se requieren para realizar las respectivas pruebas.

### Figura 23

#### *Señal de Salida Mostrada por Pantalla LCD*

```
143 | lcd_gotoxy(1,2);
144 | printf(lcd_putc,"F:%5LuHz " "D:%3u" "%c",Frecuencia,z,'%');
```

*Nota.* Declaración definida internamente del PIC utilizando las respectivas librerías, para mostrar valores obtenidos desde el microcontrolador. Realizado y adaptado de CCS Compiler Software, s.f. Software.com.co. <https://software.com.co/p/ccs-compiler#product-description>

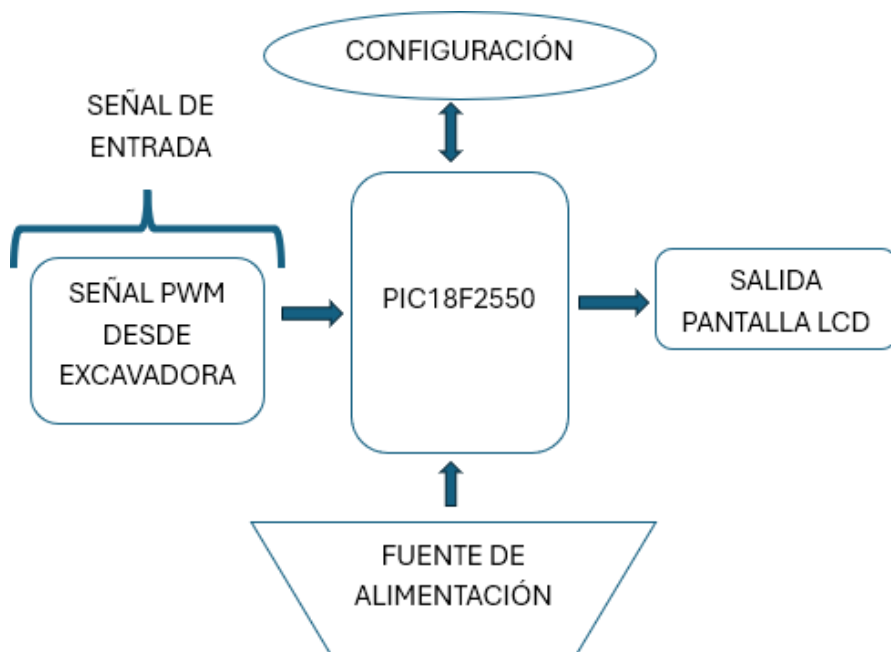
### **Implementación de Lenguaje C para Tomar Lectura de la Señal PWM**

La otra opción del dispositivo simulador es tomar lectura de la señal PWM que emite la excavadora 320D CAT, es decir, cuando el sensor toma la lectura de esta señal, la envía al ECM de la máquina, en este caso la señal llegará al dispositivo lector y se verificará si presenta una falla en la toma de la lectura; con esto se comprueba si la causa raíz es el componente que genera esta señal, el sensor o si el cableado está en buenas condiciones, por lo cual es necesario tomar la lectura de manera directa.

En la figura 27 se puede identificar como el PIC18F2550 toma la señal de entrada emitida por el sensor y envía la lectura por pantalla LCD, para que el técnico pueda verificar el valor y tomar decisiones en su evaluación, aunque son dos microcontroladores de la misma referencia su configuración es diferente, con el propósito que pueda realizar dos tareas específicas.

**Figura 24**

*Implementación de Lenguaje C para Tomar Lectura de la Señal PWM*



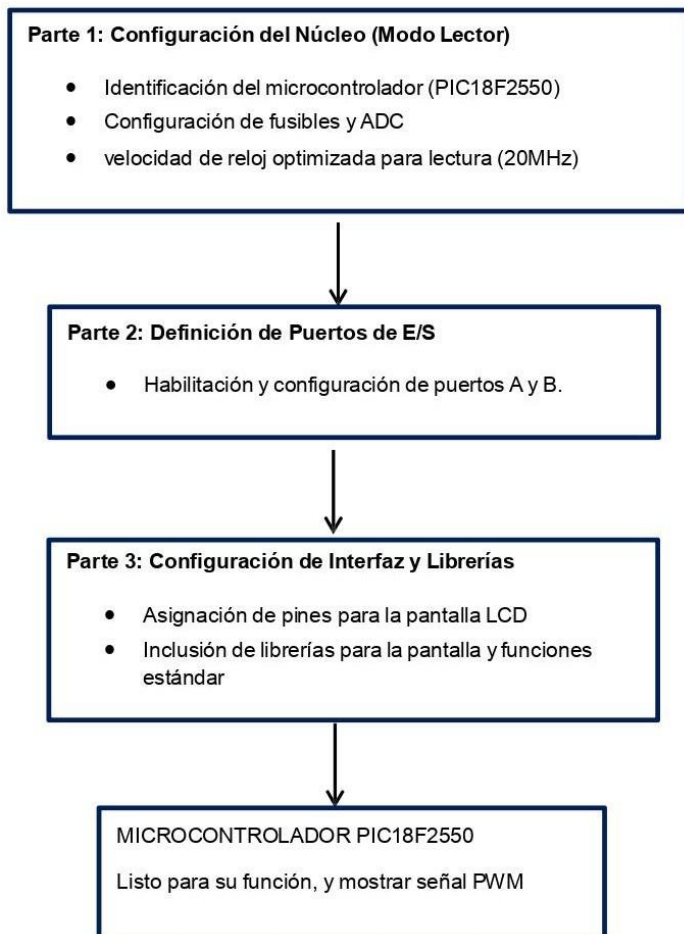
*Nota.* Estructura de la implementación del microcontrolador PIC18F2550 adaptado para tomar lectura señal PWM con la respectiva programación con lenguaje C. Fuente Autoría Propia.

### ***Configuración PIC18F2550***

La configuración en el microcontrolador para tomar lectura de la señal PWM debe ser precisa, por lo cual la velocidad de registro debe variar luego que, solo se necesita para ejercer la acción de valor de la frecuencia, ciclo dúctil y amplitud de la señal, para este caso la configuración es corta, comparada a la del dispositivo generador, como se muestra en la figura 28 que solo van de la línea 1 hasta la línea 17, divididos en grupo de los números (1 – 3), con el propósito de identificar cada acción de la configuración del PIC.

**Figura 25**

*Configuración PIC18F2550 para Lectura Señal PWM*



*Nota.* Esquema de configuración realizada al PIC18F2550, definiendo sus respectivos parámetros divididos en grupos. Realizado y adaptado de CCS Compiler Software, s.f. Software.com.co. <https://software.com.co/p/ccs-compiler#product-description>

Numero 1: en este grupo, se refleja de la línea 1 hasta la línea 4, en estas declaraciones se identifica el microcontrolador a utilizar, se configura el ADC (Convertidor Análogo a Digital) y sus respectivos fusibles; para que el PIC pueda tomar una lectura amplia de frecuencia es necesario utilizar una configuración diferente en cuanto al oscilador, en este caso debe ser de 20MHz.

Numero 2: de las líneas 6 a la 7, se configuran los puertos de entradas A y B, se puede programar de cualquiera de estas formas, todo depende la aplicación a la que se vaya a utilizar.

Numero 3: de las líneas 9 a la 17, las cuales se refieren a la configuración del LCD, es decir, por medio de la pantalla se mostrarán los datos que envía el microcontrolador, pueden existir otros tipos de configuración, todo depende del LCD con que se va a trabajar y adicional se muestra la configuración de una de las librerías del PIC.

### ***Fuente de Alimentación del PIC18F2550***

Así como se realizó el cálculo para la fuente de alimentación del PIC del dispositivo generador, así mismo se realiza la configuración para tomar lectura de la señal PWM, al microcontrolador le deben llegar solo 5V DC, independientemente de la fuente de alimentación que se obtenga, solo se debe tener presente que la fuente de alimentación no debe superar los 33V DC para este caso de lectura, ya que esto podría dañar el microcontrolador.

Se tiene el mismo interruptor de fuente de alimentación del dispositivo generador con el propósito que el técnico pueda realizar la elección de 9V DC y la otra elección se podrá tomar de la fuente de las baterías de la maquina sea de 12V o 24V.

### ***Señal de Entrada PWM desde la Excavadora***

El dispositivo lector de señal PWM, tomará la señal desde el sensor de la máquina, con el propósito de verificar el funcionamiento del sensor o el componente que genera la señal PWM.

El lenguaje C es un tipo de programación muy útil, puesto que utiliza diferentes funciones para que la respuesta en los microcontroladores sea más rápida, como la función de interrupción, lo que quiere decir que, cuando el PIC reciba una señal en un estado alto o bajo realizará la ejecución implementada en la función de interrupción, lo que se debe tener en cuenta

es el tipo de PIC a utilizar debido a su estructura y la función de interrupción debe coincidir con los parámetros deseados a la configuración.

En la función principal del programa de lectura de señal PWM es necesario identificar cuando entra la función de interrupción, el PIC toma y ejecuta esta función previamente programada y realiza el respectivo calculo para tener los valores recibidos y definirlos como frecuencia y ciclo dúctil, esta acción la realiza internamente el PIC, debido a la velocidad en que se va a trabajar, que es de 20MHz, lo que implica que los cálculos son tan rápidos y precisos que el rango de error sería muy pequeño, esto se puede observar en el código completo (apéndice N)

### ***Señal Salida Pantalla LCD***

Es necesario que el usuario tenga visibilidad del valor que se está obteniendo desde la señal de entrada, por lo cual se implementa en la pantalla LCD 16X2 los datos obtenidos, es claro que la pantalla debe estar previamente configurada por medio de las declaraciones, lo cual serán datos necesarios para el técnico al momento de tomar decisiones en su evaluación.

### **Integrando Variadores de Resistencia**

Como adición al dispositivo simulador o generador y lector de señal PWM es necesario integrar un grupo de potenciómetros como variadores de resistencia, con el propósito de simular el valor de resistencia (ohmios) establecido por el fabricante, cuando se trata de sensores o solenoides.

El fabricante CAT otorga la información del valor de la resistencia de estos componentes, estos valores pueden ser de 17 a 5100 ohmios respectivamente, por lo cual se implementan tres potenciómetros de valores de  $1k\Omega$ ,  $5k\Omega$  y  $10k\Omega$ , con esto se tiene el rango amplio de los valores ofrecidos por el fabricante.

Estos variadores de resistencia no están configurados en ninguno de los microcontroladores, ya que al ser potenciómetros sus valores se pueden obtener directamente con el multímetro, aunque no estén configurados en los PIC, son una fuente fundamental, luego que si se realiza la pruebas con el dispositivo simulador y este no obtiene la lectura de la señal PWM; surge la pregunta, ¿es problema del sensor o del componente que genera la señal?, así que se procederá a medir la resistencia del sensor y en caso que este por fuera de especificaciones, esta puede ser simulada por el dispositivo con los variadores de resistencia, con esto se podrá encontrar la falla de la causa raíz y realizar las respectivas evaluaciones para definir si es problema del sensor o el componente generador de la señal PWM.

**Implementar el Diseño del Dispositivo Simulador Usando la Programación de Lenguaje C y Realizar las Pruebas, con el fin de Aplicar la Funcionalidad e Importancia de las Señales Simuladas, así se Optimizará las Evaluaciones Técnicas y se Evitará Solicitar Repuestos Innecesarios**

Se realiza pruebas al dispositivo generador y lector de señal PWM empleando el código 36: 190 – 08, se entiende que la falla se desglosa de la siguiente manera (**36**: falla en el motor), (190: sensor de velocidad) y (08: frecuencia o periodo anormal); según el fabricante refiere realizar algunas pruebas; se debe tener en cuenta que la señal es generada por un componente mecánico, es decir, el cigüeñal tiene una rueda dentada la cual al girar produce una señal y el sensor toma la respectiva señal, la cual es enviada al ECM, con el motivo de determinar la velocidad del motor, cuya frecuencia debería estar entre 250 Hz a 1200 Hz, por medio de algoritmo del ECM esta frecuencia pasa a ser reflejada en RPM (revoluciones por minuto) al usuario, en este caso se debe realizar la simulación del sensor de velocidad el cual debe estar dentro de la frecuencia específica mencionada anteriormente, con el fin de comprobar la causa raíz de la falla, si es el sensor, el cableado, incluso se podría comprobar si el problema está en el ECM.

Por lo anterior se utilizará un osciloscopio, multímetro y generador de señal, con el propósito de implementar estas herramientas para verificar el funcionamiento del dispositivo generador y lector de señal PWM.

**Análisis para Resultados en Modo Generador PWM**

Teniendo en cuenta el código de error y las especificaciones del fabricante, el rango de frecuencia debe estar entre 250Hz y 1200Hz y el ciclo dúctil debe estar entre el 10% al 90%, con estos parámetros se ajusta el dispositivo generador a una frecuencia de 710Hz con ciclo dúctil

del 60% con una amplitud de 5.3V, como lo muestra en la figura 32, parámetros que fueron ajustados por el usuario en el dispositivo simulador.

### Figura 26

#### *Prueba de Relación de Frecuencia de Señal Generada PWM*



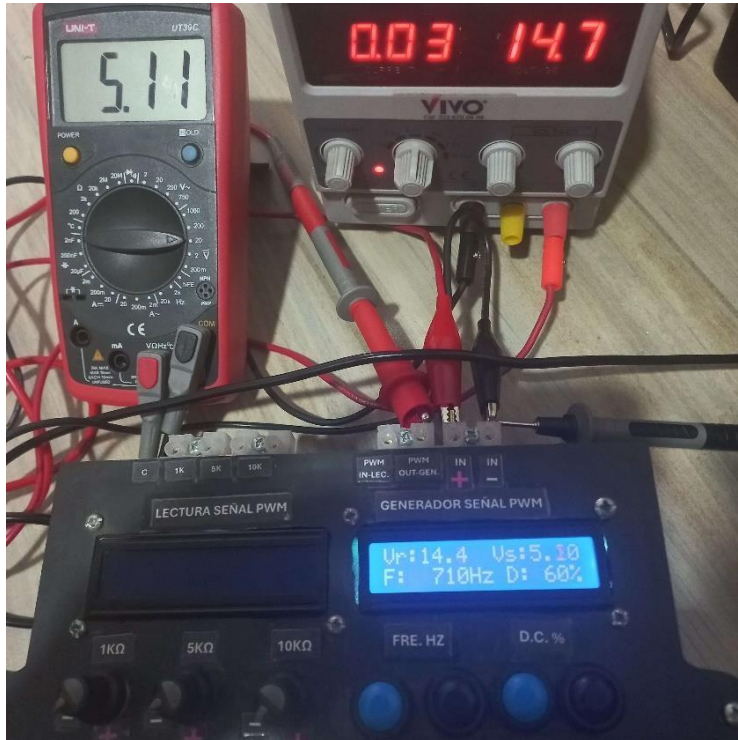
*Nota.* Parámetros ajustados por el usuario, con una frecuencia de 710Hz, ciclo dúctil de 60% y una amplitud de 5.3V. con fuente de alimentación de entrada de 14.7V. Fuente Autoría Propia.

Se realiza la medición con el multímetro y se encuentra que la frecuencia es de 713Hz como se muestra en el multímetro de la figura 32, en este caso en particular no se puede medir al mismo tiempo el voltaje o amplitud de la señal generada, tampoco se puede medir el ciclo dúctil de trabajo, debido a la limitación del multímetro, estas pruebas normalmente son realizadas en campo y es muy difícil tener un osciloscopio debido para dichas pruebas.

Ahora se debe realizar la prueba para medir el voltaje o amplitud de salida, en la figura 33 se puede verificar el voltaje de salida, con el propósito de establecer que el dispositivo simulador está otorgando los valores adecuados.

### Figura 27

*Prueba de Voltaje o Amplitud de Salida de la Frecuencia de 710Hz*



*Nota.* Verificación de voltaje o amplitud de salida de la frecuencia de 710Hz. Fuente. Autoría Propia.

Dando como resultado 5.1V en el multímetro y en el dispositivo simulador un valor de 5.1V, lo que estaría conforme a lo programado, pero haría falta revisar el ciclo dúctil de la señal. Ahora se debe utilizar el osciloscopio para comprobar la señal del dispositivo simulador que muestra por pantalla LCD y si estas lecturas concuerdan con el multímetro.

En la figura 34 se puede identificar que el dispositivo está conectado a una fuente de alimentación y un osciloscopio para comprobar que la señal de salida este dentro de lo especificado en la pantalla LCD.

### Figura 28

#### *Prueba de Dispositivo con Osciloscopio*

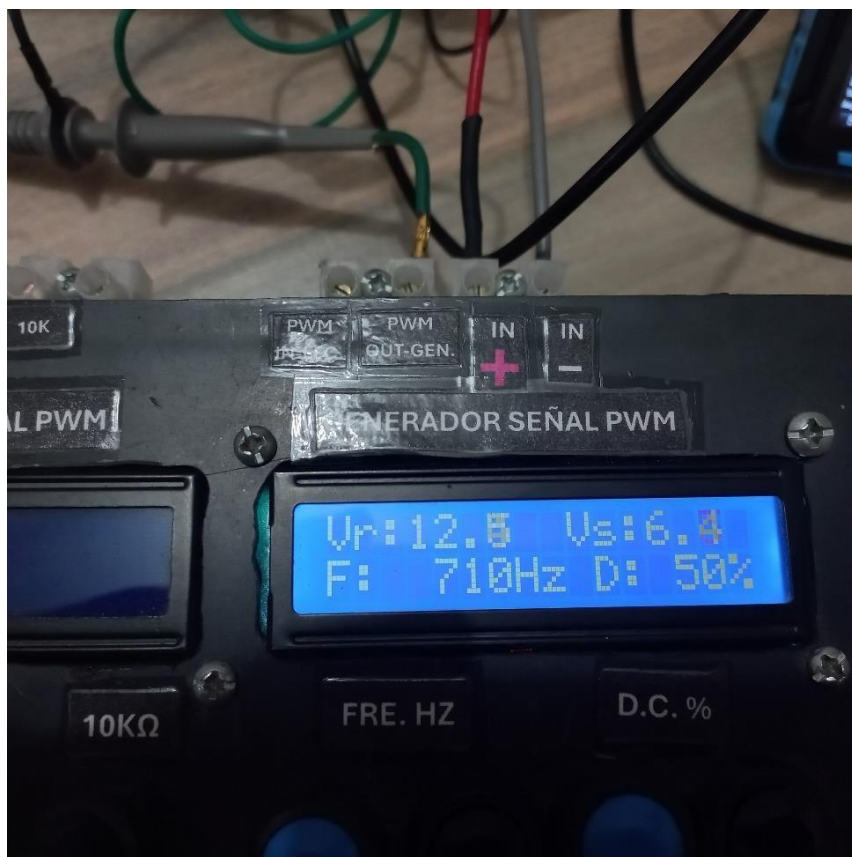


*Nota.* Dispositivo simulador conectado a una fuente de alimentación y osciloscopio, para comprobar datos. Fuente. Autoría propia.

Al tener el dispositivo simulador debidamente conectado al osciloscopio, se tomarán los datos como lo muestra la figura 35, en la cual se presentan los valores de voltaje de referencia  $V_r = 12.5$ ; el cual es tomado de la fuente de alimentación, el voltaje o amplitud de salida de la señal del dispositivo simulador es  $V_s = 6.4$ ; en cuanto a la frecuencia es de 710Hz y ciclo dúctil de 50%, estos valores se deben reflejar en el osciloscopio.

## Figura 29

*Valores en el Dispositivo Simulador en Modo Generador PWM*

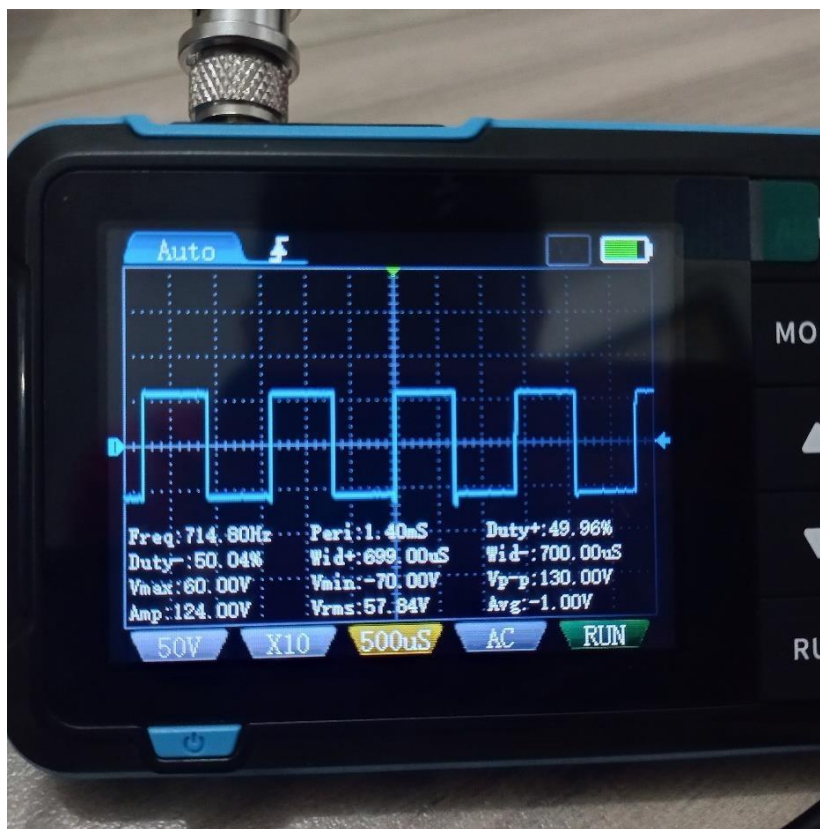


*Nota.* Valores por el dispositivo simulador en el estado de generador de señal PWM, para compararlas con el osciloscopio. Fuente. Autoría Propia.

Con estos datos se identifica que en la figura 36 el osciloscopio muestra la frecuencia de  $\pm 714.8\text{Hz}$ , con un ciclo dúctil de  $\pm 50\%$ , en cuanto a los valores se debe tener en cuenta que para verificar la lectura está en X10, lo que significa que el valor tomado por el osciloscopio lo multiplicará 10 veces, de esta manera se tiene el voltaje de salida  $V_{rms} = 57.84$  lo que es lo mismo que  $V_{rms} = 5.78$  y la amplitud es de  $\text{Amp} = 124\text{V}$ , lo que es lo mismo que  $\text{Amp} = 12.4\text{V}$ ; ahora realizamos la comparación nuevamente con el multímetro para tener un dato referente de la frecuencia.

**Figura 30**

*Comparando Valores del Generador PWM con el Osciloscopio*



*Nota.* Datos del osciloscopio tomados del dispositivo generador PWM. Fuente Autoría propia.

Realizando la respectiva comparación tenemos que en la figura 37, se refleja el valor de la señal de frecuencia del dispositivo simulador con la lectura del multímetro está en el mismo valor que el osciloscopio de 714Hz.

**Figura 31**

*Comparando Frecuencia del Generador PWM con el Multímetro*



*Nota.* Valor de la frecuencia tomado del dispositivo generador PWM con el multímetro, con valor de 714Hz. Fuente. Autoría Propia.

Con los resultados anteriores se puede verificar que la configuración realizada al dispositivo funciona adecuadamente, por lo que se concluye que la señal emitida por el dispositivo simulador está dentro de lo especificado del fabricante y por tanto es eficiente al momento de generar la señal PWM, aunque el dispositivo posee un margen de error muy pequeño no afectaría el trabajo realizado, luego que la señal PWM varía conforme a las revoluciones del motor, por lo que estaría dentro de lo especificado del fabricante de la excavadora 320D CAT.

### Análisis para Resultados en Modo Lectura PWM

Teniendo en cuenta el mismo código de error anteriormente mencionado como ejemplo, se procede a realizar con un generador de señal la frecuencia de 710Hz, ciclo dúctil de 50% y amplitud de 3.3V, para que el dispositivo simulador pueda tomar la lectura del generador de señal. En la figura 38 se puede identificar un dispositivo generador de onda, en este caso en particular solo se usará la señal cuadrada, para emitir una frecuencia de 710Hz y dicha amplitud será de 3.3V; por tal motivo el dispositivo lector de señal deberá tomar lectura de la señal y se mostrará por pantalla LCD los valores obtenidos.

#### Figura 32

*Señal Cuadrada de Prueba de Dispositivo Generador de Onda*



*Nota.* Valor que envía el dispositivo generador de onda con frecuencia de 710Hz, ciclo dúctil del 50% y voltaje de 3.3V, para comprobar el funcionamiento del dispositivo simulador. Fuente.

Autoría Propia.

En la figura 39 se presenta los valores obtenidos por el dispositivo simulador, con un voltaje en la señal de  $V_s = 3.48$ ; con frecuencia de  $F = 709\text{Hz}$  y un ciclo dúctil de  $D = 49\%$ ; de esta manera los datos reflejados en el dispositivo simulador y lector de señal PWM concuerdan con el generador de onda.

### Figura 33

*Lectura de Señal PWM Mostrada en el Dispositivo Lector*



*Nota.* Valores mostrados por pantalla LCD del dispositivo generador y lector de señal PWM, enviados por el generador de onda externo. Fuente. Autoría Propia.

Realizando la comparación de los datos del generador de onda externo con el dispositivo simulador se encuentran que, los datos coinciden, concluyendo que el dispositivo puede abarcar las especificaciones del fabricante, con un pequeño margen de error, aun así, se puede identificar si la falla se encuentra en el componente que genera la señal PWM, sensor, cableado o posible

falla en el ECM, lo que reduce las posibles causas de manera rápida al momento de la evaluación.

### **Análisis para Resultados en Variadores de Resistencia**

Aunque este parámetro no sea registrado por un PIC18F2550, son de vital importancia, porque se puede simular la resistencia para verificar estado de los sensores o solenoides de la excavadora 320D CAT, según el fabricante el límite de resistencia para sensores o solenoides en toda la maquina pueden variar de 17 hasta 5100 ohmios.

Por lo cual se debe comprobar que al variar los potenciómetros la lectura se debe mostrar por el multímetro, en la figura 40 se puede identificar que al momento de seleccionar y variar la resistencia del potenciómetro de  $5k\Omega$  en el dispositivo generador y lector de señal PWM, el resultado será de  $1.54k\Omega$ .

### **Figura 34**

*Prueba de Variador de Resistencias del Dispositivo Simulador*



*Nota.* Valor de la resistencia variando uno de los potenciómetros del dispositivo generador y lector de señal PWM. Fuente. Autoría Propia.

De esta manera se concluye que, al no estar incluido en la configuración de uno de los microcontroladores, su función es indispensable, luego que puede simular la resistencia deseada para que sea enviada al ECM de la excavadora 320D CAT, solo se debe tener en cuenta el valor en ohmios del componente que se desea simular.

### **Plan de Mantenimiento Dispositivo Simulador**

Para garantizar el correcto funcionamiento y la precisión de las mediciones del dispositivo simulador o generador y lector de señal PWM para la excavadora 320D CAT, es fundamental implementar un plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.

#### ***Mantenimiento Preventivo***

Se debe realizar un mantenimiento al dispositivo con las siguientes inspecciones de manera diaria:

- Verificar la limpieza general del dispositivo y sus componentes.
- Inspeccionar los cables y los conectores en busca de daños o desgaste.
- Hay que asegurar que todas las conexiones estén bien ajustadas.

#### ***Mantenimiento Predictivo***

Se debe realizar monitoreo de funcionamiento, con el propósito de registrar y analizar datos de rendimiento del simulador, como la precisión de las mediciones, la respuesta de los controles y el consumo de energía, por lo cual es muy importante verificar que los datos emitidos por el dispositivo generador y lector de señal PWM están dentro de lo especificado, es así como se debe tener en cuenta la siguiente ecuación.

$$Ducty\ Cicle = [(PR2) + 1] * Prescaler\ Timmer2$$

Esta ecuación servirá para encontrar el valor de la resolución total (100%) de la amplitud de la señal, para poder comprender la necesidad de tener este valor, es importante conocer cada variable establecida en la ecuación.

Cuando se habla de (*Prescaler Timmer2*) se toma un valor fijo para este microcontrolador, dependiendo de la necesidad del microcontrolador y la función a la que se le vaya a aplicar; esta variable puede tener los siguientes valores establecidos por el fabricante del PIC (1, 4 o 16), para este caso en particular el valor establecido del prescaler timmer2 será de 16, por tanto.

$$Ducty Cicle = [(PR2) + 1] * 16$$

Ahora es necesario saber ¿qué es el PR2? Dando respuesta a esta pregunta se tiene que, el PR2 es un registro el cual determina la resolución del valor del periodo de la señal, es decir, es el tiempo estimado en que la señal se repite. Para este caso en particular el PR2 puede tener valores de 0 hasta 255, debido a los bits establecidos por el microcontrolador, pero para el caso en concreto se estableció los valores límites de 35 hasta 249.

Tomamos un ejemplo de un valor de PR2, el cual será de 87, con esto tenemos que:

$$Ducty Cicle = [87 + 1] * 16$$

$$Ducty Cicle = 1408uS$$

Con esto se ha encontrado el ciclo dúctil (número de ciclos de trabajo) total, es decir, la resolución de la señal al 100%, si queremos tomar el valor del periodo al 50%, realizamos una regla de tres simple:

$$1408us = 100\%$$

$$x = 50\%$$

Por lo tanto:

$$x = \frac{1408\mu S * 50\%}{100\%}$$

$$x = 704\mu S$$

Este sería el valor de la resolución o ancho de la señal al 50%, con esto podríamos determinar cualquier porcentaje que se necesite al tener el valor de la resolución total y se definiría el tiempo establecido de la señal en estado alto o activo.

Luego de haber encontrado el ciclo dúctil total, se debe encontrar la frecuencia en la que aplica dicho periodo, por lo cual se debe tener en cuenta la siguiente ecuación:

$$f = \frac{1}{T} \quad ; \quad T = \frac{1}{f}$$

Donde:

$$f = \text{frecuencia}$$

$$T = \text{periodo (ciclo ductil total)}$$

$$f = \frac{1}{1408\mu S} = 7102272 * 10^{-4}$$

$$f = 710Hz$$

Esta es una manera de realizar los respectivos cálculos al momento de implementar el mantenimiento predictivo, es necesario recordar que los microcontroladores manejan resoluciones en bits, por tanto, los valores calculados serán una aproximación al valor real, esto debido a lo limitado que es un PIC, pero para encontrar los errores o fallas en la excavadora 320D CAT es una herramienta ideal, debido a su costo y funcionalidad. Con el propósito que el usuario o técnico no pierda tiempo al momento de verificar la funcionalidad del dispositivo, se ha implementado una ficha de valores con los respectivos estados que pueda tomar el PR2, dicha información se tiene como anexo al documento, el cual servirá al momento de realizar el mantenimiento predictivo y evitar pérdidas de tiempo.

Los valores calculados o encontrados en la información anexa se podrá comparar con la lectura de un osciloscopio y verificar si el dispositivo está dentro de lo especificado o por el contrario si debe ser reparado. Este tipo de mantenimiento predictivo debe realizarse cada 6 meses, debido a las condiciones de trabajo.

### ***Mantenimiento Correctivo***

El mantenimiento correctivo se debe realizar cada 12 meses, en este mantenimiento se tendrá en cuenta la temperatura de trabajo en los que haya operado el dispositivo simulador.

- Cuando el dispositivo haya trabajado por 12 meses en temperaturas extremas superiores a 40°C contando con temperatura de operación y ambiente, se realizará lo siguiente:
  - Revisión de resistencias, potenciómetros y/o posibles cambios.
  - Cambio de transistores.
  - Cambio de microcontrolador si el dispositivo ha trabajado en temperatura extrema por 4 meses seguidos.
  - Cambio de pantalla LCD si el dispositivo ha trabajado en temperatura extrema por 4 meses seguidos.
- Cuando el dispositivo haya trabajado por 12 meses en temperaturas normales de operación menores a 40°C, se hará lo siguiente:
  - Revisión de resistencias y potenciómetros con posibles cambios si es necesario.
  - Revisión de transistores con posibles cambios si es necesario.
  - Revisión de pruebas al microcontrolador con posibles cambios si es necesario.
  - Revisión pantalla LCD con posibles cambios si es necesario.

Al implementar un plan de mantenimiento adecuado, se puede garantizar que el dispositivo simulador para la excavadora 320D funcione correctamente y proporcione resultados precisos para la evaluación de los técnicos.

### **Efectividad del Dispositivo Simulador**

Cuando se presentan las fallas en el sistema electrónico con códigos, el fabricante propone un paso a paso a seguir, para que el técnico pueda definir la causa raíz, para el ejemplo práctico del código de error 36: 190 – 08 que presentan 6 pasos para encontrar la causa raíz de la falla, (paso 1: inspeccionar los conectores, paso 2: revisar si hay códigos activos, paso 3: revisar el mazo de cables entre sensores y ECM posible circuito abierto, paso 4: revisar el mazo de cables entre sensores y ECM posible cortocircuito, paso 5: revisar el sensor, paso 6: revisar el ECM.), no hay información suficiente por el fabricante y no abarca todas las posibles causas del problema, esto se debe a que las fallas pueden tener diversos orígenes, desde problemas en los componentes físicos hasta errores de comunicación entre ellos. Para superar estas limitaciones y obtener un diagnóstico preciso, es necesario realizar evaluaciones técnicas más detalladas al sensor, modulo y cableado.

Ahora bien, con el dispositivo simulador se logra minimizar el paso a paso para realizar la evaluación del sistema eléctrico para este tipo de errores que son muy comunes en la excavadora 320D CAT.

### ***Nuevo Paso a Paso con el Dispositivo Simulador***

Teniendo en cuenta las pruebas realizadas y los resultados obtenidos se implementa el nuevo paso a paso en la evaluación del sistema eléctrico para fallas con códigos de error, como ejemplo de este tipo de códigos 36: 190 – 08 que son constantes se diseña la nueva guía de evaluación,

Paso de prueba 1: inspeccione si el código de error este activo o registrado recientemente por medio del monitor de la maquina o por el software ET.

Paso de prueba 2: instale el dispositivo generador y lector de señales en el sensor de velocidad, para tomar la lectura de la señal PWM, en caso que el dispositivo simulador tome lectura y muestre la frecuencia con el ciclo dúctil por la pantalla LCD, se puede evidenciar que el componente generador de la señal y el sensor están trabajando de manera adecuada, el problema se encuentra en el cableado o ECM, por favor proseguir al paso de prueba 3; si la señal es intermitente o fuera de rango el problema puede estar en el sensor o componente generador por favor proseguir al paso de prueba 4.

Paso de prueba 3: por medio del dispositivo generador se debe configurar a una frecuencia especifica entre 400 Hz a 1100 Hz, y conectarlo directamente al ECM, en caso de que el código desaparezca, el problema se encuentra en el cableado, por lo cual se debe revisar y reparar el cableado. Si el código de error sigue presente en el ECM, la falla la presenta el módulo, se debe instalar el software actualizado y realizar nuevamente el paso de prueba 3, si el problema persiste la causa raíz es el módulo que presenta fallas.

Paso de prueba 4: en caso de que la señal de lectura sea intermitente se debe revisar la resistencia del sensor según la especificación del fabricante, si la resistencia es la adecuada se debe revisar el componente que genera la señal, en caso de que la resistencia no esté dentro de las especificaciones se debe cambiar el sensor.

Como se refleja en el paso a paso anterior se puede evidenciar que la evaluación a este tipo de códigos de error es más técnica y no es una evaluación intuitiva, por otro lado, también se ha minimizado la cantidad de pasos para definir la causa raíz, así se puede ganar tiempo y evitar

inactividad de la maquina y perdida de dinero al momento de solicitar repuestos innecesarios, y como adición se estaría obteniendo mayor credibilidad del técnico ante los clientes.

## Conclusiones

En este proyecto se analizó e identificó el problema principal en errores de evaluaciones electrónicas en la excavadora 320D CAT, ya que al no tener herramientas adecuadas es difícil identificar estas fallas, por lo cual se planteó las causas y efectos para dar solución a los errores encontrando la causa raíz del problema.

Se analizó en el área de la construcción de la maquinaria pesada en la excavadora 320D, con el fin de implementar una idea de diseño de simulador de sensores o generador de señales, las cuales pueden ayudar a realizar mejores evaluaciones a la excavadora, lo cual llevará a un ahorro de dinero y evitará evaluaciones técnicas fallidas.

Se realizó las configuraciones a los microcontroladores PIC18F2550 por medio de programación de lenguaje C, con el fin de tomar datos de lectura y generar señales PWM para implementarlos a evaluaciones electrónicas de la excavadora 320D CAT; adjudicando un PIC para cada módulo con diferente cristal de oscilación para que tenga un mejor desempeño al momento de obtener los datos.

Se diseñó un dispositivo simulador que puede tomar lectura de señales PWM, y que también las puede generar, compilando la programación del lenguaje C se logró generar y tener lectura entre frecuencias de 250Hz a 1700Hz, al dispositivo se le añadió variadores de resistencia, con el propósito de simular los valores de resistencias para no cometer errores al momento de realizar las evaluaciones, así se evitara la solicitud de repuestos innecesarios.

### **Recomendaciones**

La funcionalidad de este dispositivo va más allá de la excavadora 320D, ya que se puede utilizar con otros modelos y marcas de maquinaria pesada. Ampliar el estudio para adaptarlo a diferentes tipos de equipos aumentaría su versatilidad y su aplicación en varios sectores de la construcción y el mantenimiento de maquinaria. Esto permitiría validar su rendimiento en distintos entornos y optimizar los procedimientos de diagnóstico y reparación en equipos con configuraciones electrónicas similares.

Dado que el dispositivo puede generar y leer señales PWM, su alcance podría ampliarse para evaluar directamente los módulos de control electrónico de diversas máquinas. Implementar esta funcionalidad permitiría realizar diagnósticos más avanzados sin necesidad de desmontar componentes, lo que reduciría los tiempos de inactividad y los costos asociados a mantenimientos innecesarios. Para lograrlo, se podría investigar la compatibilidad con diferentes unidades de control y desarrollar protocolos de prueba específicos.

Mejorar la estabilidad y precisión de las señales generadas podría potenciar la efectividad del simulador en evaluaciones electrónicas. Se podría considerar el uso de microcontroladores con mayor capacidad de procesamiento o la implementación de algoritmos de calibración automática para minimizar errores en la simulación de señales. Además, integrar una interfaz más intuitiva facilitaría su uso por parte de técnicos y operarios, agilizando así los procesos de diagnóstico y reparación.

## Referencias

Borrego, A. (s.f.). Osciloscopio (Por Agustín Borrego Colomer). Docplayer.es:

<https://docplayer.es/18971898-Osciloscopio-por-agustin-borrego-colomer.html>

Cáceres Espinoza, L. (2019). Fundamentos de la programación. En L. Cáceres Espinoza, Introducción a la Programación (págs. 9-10). Universidad Nacional de Educación.

Castro, A., & Rojas, O. (2015). Construcción de un sistema de bajo costo para el uso y evaluación de sensores semiconductores para gases. *Educación Química*, 26(4), 299-306.

<https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.07.001>

Caterpillar. (2010). Electronics Troubleshooting ILT Electronic Control Unit (ECU)

[Fotografía]. En *Libro estudiante SERV1877 PDF*. Global Manpower Development.

Caterpillar. (2010). Electronics Troubleshooting ILT Switches/Sensors/Solenoids [Fontography].

En *Libro estudiante SERV1877 PDF*. Global Manpower Development.

Caterpillar. (2011). Manual de Operación de la Herramienta [Imagen]. En (Publicación No. *NSHS1032-04*.)

Caterpillar. (2012). Localización y Solución de Problemas, Velocidad/Sincronización – Probar, *KNSR5342-21 service information system* Finning CAT.

Donado, A. (2023). Aprende a Usar el Osciloscopio Automotriz [Análisis Técnico] [Fotografía].

Por *Autosoporte*. <https://autosoporte.com/analisis-tecnico-del-uso-del-osciloscopio-automotriz/>

EXCAVATORS.MX. (s.f.). válvula solenoide equipos Caterpillar 111-9916 [Imagen Online]. En

*EXCAVATORS.MX*. <https://www.excavators.mx/product/valvula-solenoide-equipos-caterpillar-111-9916/>

- Generador de Señales. (s.f.). Generador de Funciones [Fotografía online]. En *generadordeseñales.com*. <https://xn--generadordeseñales-rxb.com/generador-de-funciones/>
- Gonzales, A., Cano, H., & Castro, O. (2011, April). Adaptación de sensores virtuales para distancia en un simulador de escenarios para la búsqueda de rutas en robótica móvil. *Scientia Et Technica, Vol XVII, Num 47*, pp. 324 - 328.
- Jining Digging Commerce Co., Ltd. (s.f.). Controlador de motor ECU para excavadora CAT320D, el mejor precio, 331-7539, 3317539 [Fotografía online]. En *Alibaba.com*. [https://www.alibaba.com/product-detail/Original-new-For-CAT-320D-E320D\\_62439677231.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Original-new-For-CAT-320D-E320D_62439677231.html)
- Joyanes-Aguilar, L., & Zahonero Martínez, I. (2001). Programación en C: metodología, algoritmos, estructura de datos.
- Jui Chang, L., Cheng Jen, L., & Shang Hsuan, Y. (2017). Development of Driving Simulator for Large Automobiles. International Conference on Information, Communication and Engineering (18147270), 75-78. <https://doi.org/10.1109/ICECI.2017.8479148>
- Lichuang, S. (s.f.) EasyEDA (Version 1.7.31) [Software]. Shenzhen Lichuang E-commerce Co., Ltd. <https://easyeda.com/>
- Market, V., & Flaticon.com. (s.f.). Rueda Dentada Icono Gratis [Imagen Online]. En Flaticon by Freepik. [https://www.flaticon.es/icono-gratis/rueda-dentada\\_116334](https://www.flaticon.es/icono-gratis/rueda-dentada_116334)
- Marzal Varó, A., & Gracia Luengo, I. (2009). Introducción a la programación con Python. Universitat Jaume I.
- Medrano Hurtado, Z. Y., Gómez Zarduy, J., Pérez Tello, C., & Vera Pérez, M. (2016). Nueva metodología de diagnóstico de fallas en rodamientos en una maquina síncrona mediante el procesamiento de señales vibro acústicas empleando análisis de densidad de potencia.

Ingeniería Investigación y Tecnología, XVII (1), 73-85.

<https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.01.007>

*Microchip Technology*. (2000). 2N3903, 2N3904 General Purpose Transistors. En

AllDataSheet.com. [https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-](https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/11470/ONSEMI/2N3904.html)

[pdf/view/11470/ONSEMI/2N3904.html](https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/11470/ONSEMI/2N3904.html)

*Microchip Technology*. (2002). 160 x 32 Dots Graphic LCD. En AllDataSheep.com,

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/123205/VISHAY/LCD160G032A.html>

*Microchip Technology*. (2004). LM2596. En AllDataSheet.com.

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/134372/ETC1/LM2596.html>

*Microchip Technology*. (2007). PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet. En *AllDataSheet.com*.

[https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-](https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/195394/MICROCHIP/PIC18F2550.html)

[pdf/view/195394/MICROCHIP/PIC18F2550.html](https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/195394/MICROCHIP/PIC18F2550.html)

*Microchip Technology*. (s.f.). Plastic Medium-Power Complementary Silicon Transistors

TIP122. En AllDataSheet.com, [https://www.alldatasheet.com/datasheet-](https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/2770/MOSPEC/TIP122.html)

[pdf/pdf/2770/MOSPEC/TIP122.html](https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/2770/MOSPEC/TIP122.html)

Montijano Moreno, M. (septiembre de 2009). La simulación de circuitos en el aula de

electrónica: <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd5442.pdf>

Otero, A. (2020). Así es el avanzado simulador de conducción de realidad virtual que utiliza

Volvo para hacer sus coches más seguros [Imagen Online]. En *Motorpasion*.

[https://www.motorpasion.com/tecnologia/asi-avanzado-simulador-conduccion-realidad-](https://www.motorpasion.com/tecnologia/asi-avanzado-simulador-conduccion-realidad-virtual-que-utiliza-volvo-para-hacer-sus-coches-seguros)

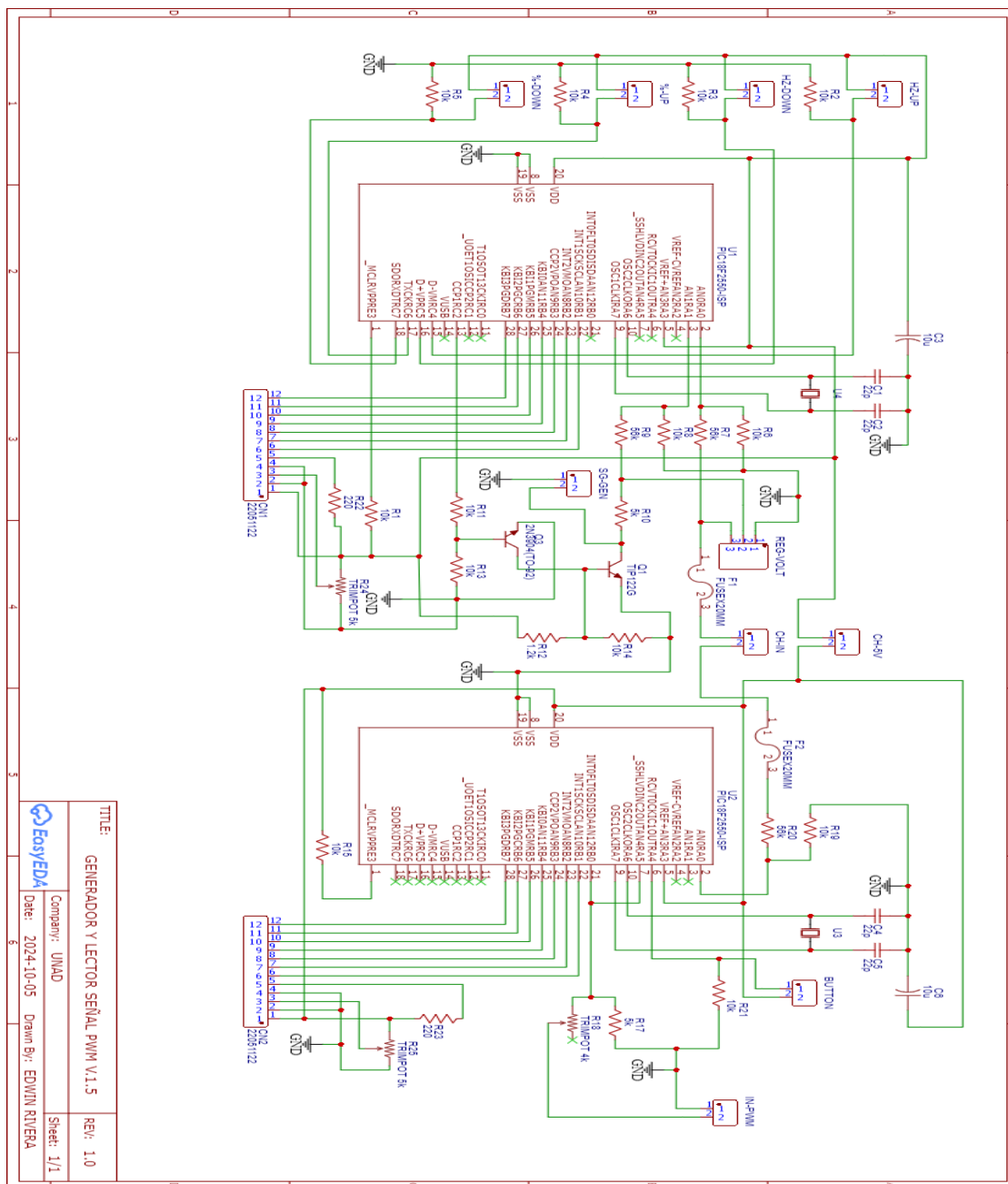
[virtual-que-utiliza-volvo-para-hacer-sus-coches-seguros](https://www.motorpasion.com/tecnologia/asi-avanzado-simulador-conduccion-realidad-virtual-que-utiliza-volvo-para-hacer-sus-coches-seguros)

- Robots Argentina. (2014). El microcontrolador “cerebro” del robot programable (básico) [Fotografía online]. En *Robots Didácticos*. <https://robots-argentina.com.ar/didactica/el-microcontrolador-cerebro-del-robot-programable-basico/>
- Ruiz, G. (2001). Generadores de Señal. En G. Ruiz, *Electrónica Básica para Ingenieros* (págs. 169-170). Servicio de Reprografía Facultad de Ciencias Universidad de Cantabria.
- Santos Peñas, M., & Farias Castro, G. (2010). Laboratorios Virtuales de Procesamiento de Señales. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 7(1), 91-100. [https://doi.org/10.1016/S1697-7912\(10\)70012-1](https://doi.org/10.1016/S1697-7912(10)70012-1)
- Software.com. (s.f.). CCS Compiler. Software.com.co. <https://software.com.co/p/ccs-compiler#product-description>
- Tecmikro. (s.f.). PWM PIC - Modulación de Ancho de Pulso [Imagen Online]. En *Tecmikro.com*. <https://tecmikro.com/content/69-pwm-pic-modulacion-de-ancho-de-pulso>
- Villamil, H. U., & Pinto, M. (2009). Microcontroladores. En H. U. Villamil, & M. Pinto, 309696 - Modulo de Microprocesadores & Microcontroladores (págs. 128-131). Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Zou, A. (s.f.). 3244131 Caterpillar C6.4 Sensor de velocidad para piezas de repuesto del motor 320D [Imagen Online]. En *Made-in-China*. [https://es.made-in-china.com/co\\_ahjicheng/product\\_3244131-Speed-Sensor-for-Caterpillar-C6-4-320d-Engine-Spare-Parts\\_onshestrg.html](https://es.made-in-china.com/co_ahjicheng/product_3244131-Speed-Sensor-for-Caterpillar-C6-4-320d-Engine-Spare-Parts_onshestrg.html)

## Apéndices

### Apéndice A

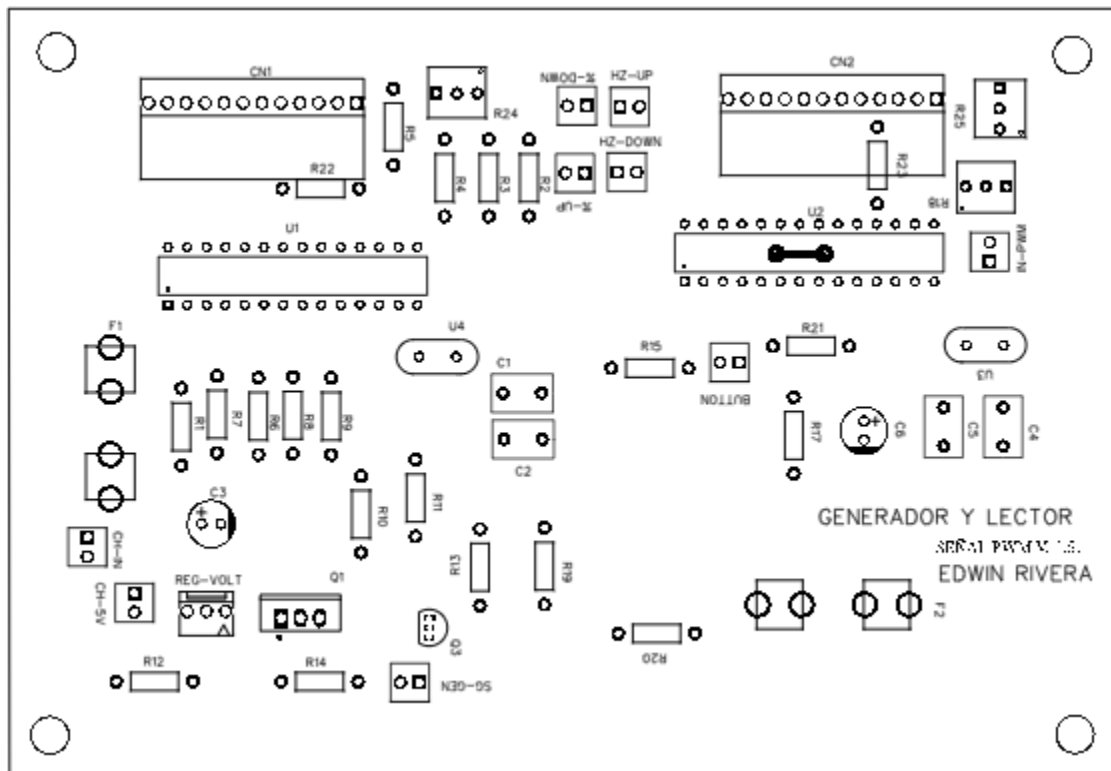
#### Esquemático de Tarjeta de Adquisición de Datos



Nota. Diagrama esquemático de la tarjeta de control y adquisición de datos, diseñada y adaptado de EasyEDA (Versión 1.7.31) [Software]. Shenzhen Lichuang (s.f.) <https://easyeda.com/>

## Apéndice B

### Diagrama PCB para Impresión, Capa Superior

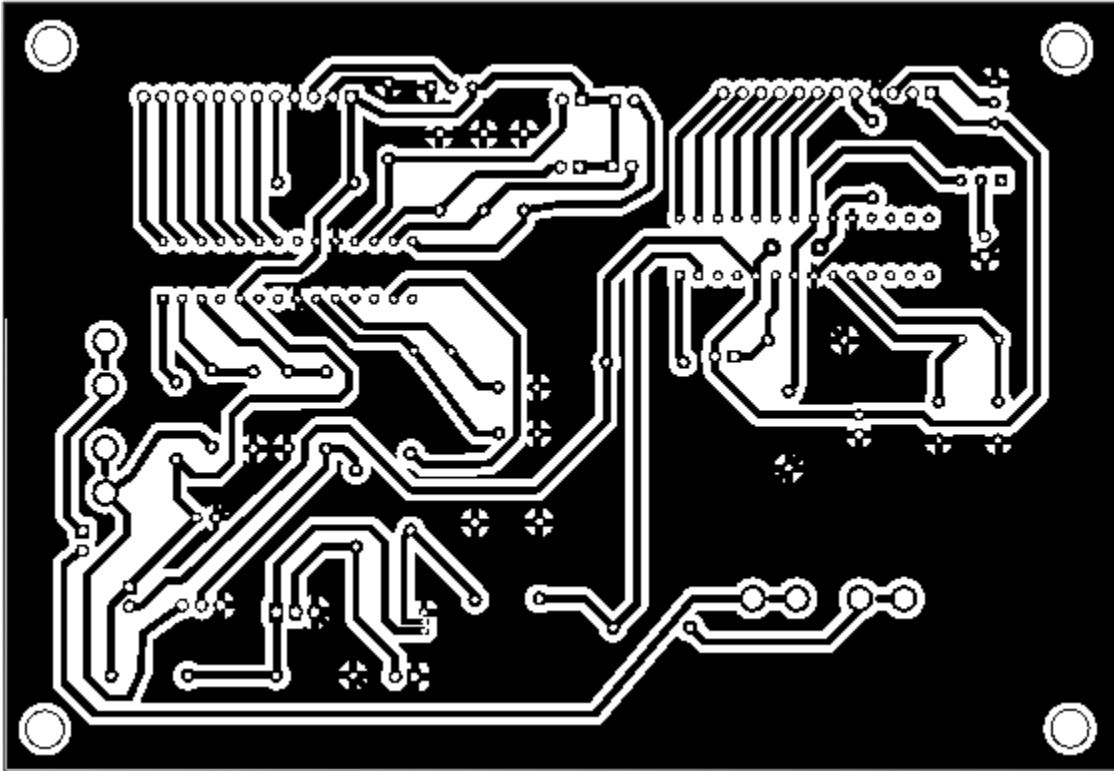


(a)

*Nota.* (a) impresión del circuito capa superior con serigrafía. Adaptado de EasyEDA (Versión 1.7.31) [Software]. Shenzhen Lichuang (s.f.) <https://easyeda.com/>

## Apéndice C

### Diagrama PCB para Impresión, Capa Inferior



(b)

*Nota.* (b) impresión del circuito capa inferior. Adaptado de EasyEDA (Versión 1.7.31)

[Software]. Shenzhen Lichuang (s.f.) <https://easyeda.com/>

## Apéndice D

### *Listado de Materiales*

A continuación, se presentan los materiales utilizados para realizar el circuito:

- Resistencias de  $56k\Omega$  (3 unidades)
- Resistencias de  $10k\Omega$  (14 unidades)
- Resistencias de  $5k\Omega$  (2 unidades)
- Resistencia de  $1,2k\Omega$  (1 unidad)
- Resistencia de  $1k\Omega$  (1 unidad)
- Resistencias de  $220\Omega$  (2 unidades)
- Capacitor electrolítico 10uF (2 unidades)
- Capacitor cerámico 22pF (4 unidades)
- Oscilador de cristal de 4MHz (1 unidad)
- Oscilador de cristal de 20MHz (1 unidad)
- Fusibles de 3A (2 unidades)
- Trimpot de  $5k\Omega$  (3 unidades)
- Potenciómetro de  $1k\Omega$  (1 unidad)
- Transistor 2N3904 (1 unidad)
- Transistor TIP122 (1 unidad)
- Microcontrolador PIC18F2550 (2 unidades)
- Conector molex 12 pines hembra y macho “Pareja” (2 unidades)
- Conector molex 2 pines hembra y macho “Pareja” (9 unidades)
- Conector molex 3 pines hembra y macho “Pareja” (1 unidad)
- Pulsador normalmente abierto (5 unidades)

- Pantalla LCD16X2 (1 unidad)
- Interruptor 2 posiciones (2 unidades)
- Cables para conexión
- Caja plástica de 16cm X 19cm

## Apéndice E

### Ficha Técnica de PIC18F2550

**TABLE 1-1: DEVICE FEATURES**

Features	PIC18F2455	PIC18F2550	PIC18F4455	PIC18F4550
Operating Frequency	DC – 48 MHz	DC – 48 MHz	DC – 48 MHz	DC – 48 MHz
Program Memory (Bytes)	24576	32768	24576	32768
Program Memory (Instructions)	12288	16384	12288	16384
Data Memory (Bytes)	2048	2048	2048	2048
Data EEPROM Memory (Bytes)	256	256	256	256
Interrupt Sources	19	19	20	20
I/O Ports	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C, D, E
Timers	4	4	4	4
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	1	1
Enhanced Capture/ Compare/PWM Modules	0	0	1	1
Serial Communications	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART
Universal Serial Bus (USB) Module	1	1	1	1
Streaming Parallel Port (SPP)	No	No	Yes	Yes
10-Bit Analog-to-Digital Module	10 Input Channels	10 Input Channels	13 Input Channels	13 Input Channels
Comparators	2	2	2	2
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT
Programmable Low-Voltage Detect	Yes	Yes	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes	Yes	Yes	Yes
Instruction Set	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC	28-pin PDIP 28-pin SOIC	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP

*Nota.* Tomado de PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet [Imagen], por AllDataSheet.com,

2007. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/195394/MICROCHIP/PIC18F2550.html>

## Apéndice F

### Ficha Técnica Transistor 2N3904

#### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector–Emitter Voltage	$V_{CEO}$	40	Vdc
Collector–Base Voltage	$V_{CBO}$	60	Vdc
Emitter–Base Voltage	$V_{EBO}$	6.0	Vdc
Collector Current – Continuous	$I_C$	200	mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	625 5.0	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	1.5 12	Watts mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	–55 to +150	$^\circ\text{C}$

#### THERMAL CHARACTERISTICS (Note 1.)

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	$^\circ\text{C/W}$

1. Indicates Data in addition to JEDEC Requirements.

*Nota.* Ficha técnica de transistor. Tomado de 2N3903, 2N3904 General Purpose Transistors

[Imagen], por AllDataSheet.com, 2000, <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/11470/ONSEMI/2N3904.html>

## Apéndice G

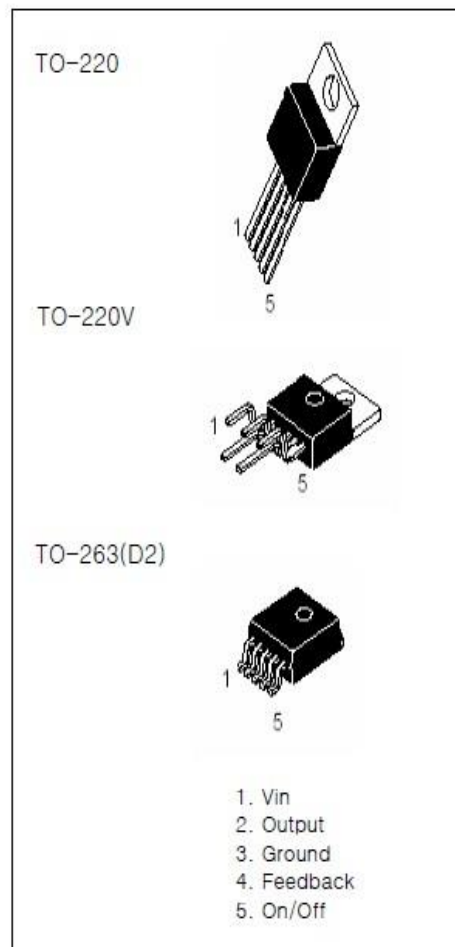
### Ficha Técnica LM2596

#### FEATURES

- 3.3V, 5.0V, 12V, 15V, and Adjustable Output Versions
- Adjustable Version Output Voltage Range, 1.23 to 37V  
+/- 4%. Maximum Over Line and Load Conditions
- Guaranteed 3.0A Output Current
- Wide Input Voltage Range
- Requires Only 4 External Components
- 150Khz Fixed Frequency Internal Oscillator
- TTL Shutdown Capability, Low Power Standby Mode
- High Efficiency
- Uses Readily Available Standard Inductors
- Thermal Shutdown and Current Limit Protection
- Moisture Sensitivity Level(MSL) Equals1

#### Applications

- Simple High-Efficiency Step-Down(Buck) Regulator
- Efficient Pre-Regulator for Linear Regulators
- On-Card Switching Regulators
- Positive to Negative Converter(Buck-Boost)
- Negative Step-Up Converters
- Power Supply for Battery Chargers



*Nota.* Ficha técnica de transistor. Tomada de LM2596 [Imagen], por AllDataSheet.com, 2004

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/134372/ETC1/LM2596.html>

## Apéndice H

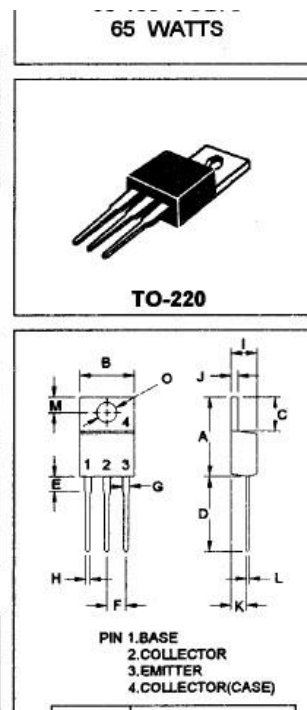
### Ficha Técnica Transistor TIP122

#### MAXIMUM RATINGS

Characteristic	Symbol	TIP120 TIP125	TIP121 TIP126	TIP122 TIP127	Unit
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	60	80	100	V
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	60	80	100	V
Emitter-Base Voltage	$V_{EBO}$	5.0			V
Collector Current-Continuous -Peak	$I_C$ $I_{CM}$	5.0 8.0			A
Base Current	$I_B$	120			mA
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	65 0.52			W W/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{STG}$	- 65 to +150			$^\circ\text{C}$

#### THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta jc}$	1.92	$^\circ\text{C/W}$



*Nota.* Ficha técnica de transistor. Tomado de Plastic Medium-Power Complementary Silicon Transistors TIP122 [Imagen], por AllDataSheet.com, (s.f.).

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/2770/MOSPEC/TIP122.html>

## Apéndice I

### Ficha Técnica Pantalla LCD16X2

<b>ELECTRICAL SPECIFICATIONS</b>						
ITEM	SYMBOL	CONDITION	STANDARD VALUE			UNIT
			MIN.	TYP.	MAX.	
Input Voltage	VDD	VDD = + 5V	4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	IDD	VDD = 5V	–	1.0	1.4	mA
Recommended LC Driving Voltage for Normal Temp.	VDD-V0	- 2	5.8	6.0	6.2	V
Version Module		25°C	5.3	5.5	5.7	
		+ 7	4.8	5.0	5.2	
LED Forward Voltage	VF	25°C	–	4.2	4.6	V
LED Forward Current	IF	25°C	–	180	360	mA
EL Power Supply Current	IEL	Vel = 110VAC; 400Hz	–	–	5.0	mA

*Nota.* Ficha técnica de pantalla LCD16X2. Tomado de 160 x 32 Dots Graphic LCD [Imagen], por AllDataSheet.com, 2002, <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/123205/VISHAY/LCD160G032A.html>

## Apéndice J

### Ficha de Valores I

4000000		16	14,4	12,8	11,2	9,6	8	6,4	4,8	3,2	1,6	1,28	0,96	0,64	0,32	
PR2	TIMER 16	Frecuencia Hz	Resolucion 100%	Resolucion 90%	Resolucion 80%	Resolucion 70%	Resolucion 60%	Resolucion 50%	Resolucion 40%	Resolucion 30%	Resolucion 20%	Resolucion 10%	Resolucion 8%	Resolucion 6%	Resolucion 4%	Resolucion 2%
35	1736	1736	576	518	461	403	346	288	230	173	115	58	46	35	23	12
36	1689	1689	592	533	474	414	355	296	237	178	118	59	47	36	24	12
37	1645	1645	608	547	486	426	365	304	243	182	122	61	49	36	24	12
38	1603	1603	624	562	499	437	374	312	250	187	125	62	50	37	25	12
39	1563	1563	640	576	512	448	384	320	256	192	128	64	51	38	26	13
40	1524	1524	656	590	525	459	394	328	262	197	131	66	52	39	26	13
41	1488	1488	672	605	538	470	403	336	269	202	134	67	54	40	27	13
42	1453	1453	688	619	550	482	413	344	275	206	138	69	55	41	28	14
43	1420	1420	704	634	563	493	422	352	282	211	141	70	56	42	28	14
44	1389	1389	720	648	576	504	432	360	288	216	144	72	58	43	29	14
45	1359	1359	736	662	589	515	442	368	294	221	147	74	59	44	29	15
46	1330	1330	752	677	602	526	451	376	301	226	150	75	60	45	30	15
47	1302	1302	768	691	614	538	461	384	307	230	154	77	61	46	31	15
48	1276	1276	784	706	627	549	470	392	314	235	157	78	63	47	31	16
49	1250	1250	800	720	640	560	480	400	320	240	160	80	64	48	32	16
50	1225	1225	816	734	653	571	490	408	326	245	163	82	65	49	33	16
51	1202	1202	832	749	666	582	499	416	333	250	166	83	67	50	33	17
52	1179	1179	848	763	678	594	509	424	339	254	170	85	68	51	34	17
53	1157	1157	864	778	691	605	518	432	346	259	173	86	69	52	35	17
54	1136	1136	880	792	704	616	528	440	352	264	176	88	70	53	35	18
55	1116	1116	896	806	717	627	538	448	358	269	179	90	72	54	36	18
56	1096	1096	912	821	730	638	547	456	365	274	182	91	73	55	36	18
57	1078	1078	928	835	742	650	557	464	371	278	186	93	74	56	37	19
58	1059	1059	944	850	755	661	566	472	378	283	189	94	76	57	38	19
59	1042	1042	960	864	768	672	576	480	384	288	192	96	77	58	38	19
60	1025	1025	976	878	781	683	586	488	390	293	195	98	78	59	39	20
61	1008	1008	992	893	794	694	595	496	397	298	198	99	79	60	40	20
62	992	992	1008	907	806	706	605	504	403	302	202	101	81	60	40	20
63	977	977	1024	922	819	717	614	512	410	307	205	102	82	61	41	20
64	962	962	1040	936	832	728	624	520	416	312	208	104	83	62	42	21
65	947	947	1056	950	845	739	634	528	422	317	211	106	84	63	42	21
66	933	933	1072	965	858	750	643	536	429	322	214	107	86	64	43	21
67	919	919	1088	979	870	762	653	544	435	326	218	109	87	65	44	22
68	906	906	1104	994	883	773	662	552	442	331	221	110	88	66	44	22
69	893	893	1120	1008	896	784	672	560	448	336	224	112	90	67	45	22
70	880	880	1136	1022	909	795	682	568	454	341	227	114	91	68	45	23
71	868	868	1152	1037	922	806	691	576	461	346	230	115	92	69	46	23
72	856	856	1168	1051	934	818	701	584	467	350	234	117	93	70	47	23
73	845	845	1184	1066	947	829	710	592	474	355	237	118	95	71	47	24
74	833	833	1200	1080	960	840	720	600	480	360	240	120	96	72	48	24
75	822	822	1216	1094	973	851	730	608	486	365	243	122	97	73	49	24
76	812	812	1232	1109	986	862	739	616	493	370	246	123	99	74	49	25
77	801	801	1248	1123	998	874	749	624	499	374	250	125	100	75	50	25
78	791	791	1264	1138	1011	885	758	632	506	379	253	126	101	76	51	25
79	781	781	1280	1152	1024	896	768	640	512	384	256	128	102	77	51	26
80	772	772	1296	1166	1037	907	778	648	518	389	259	130	104	78	52	26
81	762	762	1312	1181	1050	918	787	656	525	394	262	131	105	79	52	26
82	753	753	1328	1195	1062	930	797	664	531	398	266	133	106	80	53	27
83	744	744	1344	1210	1075	941	806	672	538	403	269	134	108	81	54	27
84	735	735	1360	1224	1088	952	816	680	544	408	272	136	109	82	54	27
85	727	727	1376	1238	1101	963	826	688	550	413	275	138	110	83	55	28
86	718	718	1392	1253	1114	974	835	696	557	418	278	139	111	84	56	28

*Nota.* Ficha de valores para realizar y comparar al realizar el mantenimiento predictivo. Fuente.

Autoría Propia.

## Apéndice K

### Ficha de Valores 21

87	710	710	1408	1267	1126	986	845	704	563	422	282	141	113	84	56	28
88	702	702	1424	1282	1139	997	854	712	570	427	285	142	114	85	57	28
89	694	694	1440	1296	1152	1008	864	720	576	432	288	144	115	86	58	29
90	687	687	1456	1310	1165	1019	874	728	582	437	291	146	116	87	58	29
91	679	679	1472	1325	1178	1030	883	736	589	442	294	147	118	88	59	29
92	672	672	1488	1339	1190	1042	893	744	595	446	298	149	119	89	60	30
93	665	665	1504	1354	1203	1053	902	752	602	451	301	150	120	90	60	30
94	658	658	1520	1368	1216	1064	912	760	608	456	304	152	122	91	61	30
95	651	651	1536	1382	1229	1075	922	768	614	461	307	154	123	92	61	31
96	644	644	1552	1397	1242	1086	931	776	621	466	310	155	124	93	62	31
97	638	638	1568	1411	1254	1098	941	784	627	470	314	157	125	94	63	31
98	631	631	1584	1426	1267	1109	950	792	634	475	317	158	127	95	63	32
99	625	625	1600	1440	1280	1120	960	800	640	480	320	160	128	96	64	32
100	619	619	1616	1454	1293	1131	970	808	646	485	323	162	129	97	65	32
101	613	613	1632	1469	1306	1142	979	816	653	490	326	163	131	98	65	33
102	607	607	1648	1483	1318	1154	989	824	659	494	330	165	132	99	66	33
103	601	601	1664	1498	1331	1165	998	832	666	499	333	166	133	100	67	33
104	595	595	1680	1512	1344	1176	1008	840	672	504	336	168	134	101	67	34
105	590	590	1696	1526	1357	1187	1018	848	678	509	339	170	136	102	68	34
106	584	584	1712	1541	1370	1198	1027	856	685	514	342	171	137	103	68	34
107	579	579	1728	1555	1382	1210	1037	864	691	518	346	173	138	104	69	35
108	573	573	1744	1570	1395	1221	1046	872	698	523	349	174	140	105	70	35
109	568	568	1760	1584	1408	1232	1056	880	704	528	352	176	141	106	70	35
110	563	563	1776	1598	1421	1243	1066	888	710	533	355	178	142	107	71	36
111	558	558	1792	1613	1434	1254	1075	896	717	538	358	179	143	108	72	36
112	553	553	1808	1627	1446	1266	1085	904	723	542	362	181	145	108	72	36
113	548	548	1824	1642	1459	1277	1094	912	730	547	365	182	146	109	73	36
114	543	543	1840	1656	1472	1288	1104	920	736	552	368	184	147	110	74	37
115	539	539	1856	1670	1485	1299	1114	928	742	557	371	186	148	111	74	37
116	534	534	1872	1685	1498	1310	1123	936	749	562	374	187	150	112	75	37
117	530	530	1888	1699	1510	1322	1133	944	755	566	378	189	151	113	76	38
118	525	525	1904	1714	1523	1333	1142	952	762	571	381	190	152	114	76	38
119	521	521	1920	1728	1536	1344	1152	960	768	576	384	192	154	115	77	38
120	517	517	1936	1742	1549	1355	1162	968	774	581	387	194	155	116	77	39
121	512	512	1952	1757	1562	1366	1171	976	781	586	390	195	156	117	78	39
122	508	508	1968	1771	1574	1378	1181	984	787	590	394	197	157	118	79	39
123	504	504	1984	1786	1587	1389	1190	992	794	595	397	198	159	119	79	40
124	500	500	2000	1800	1600	1400	1200	1000	800	600	400	200	160	120	80	40
125	496	496	2016	1814	1613	1411	1210	1008	806	605	403	202	161	121	81	40
126	492	492	2032	1829	1626	1422	1219	1016	813	610	406	203	163	122	81	41
127	488	488	2048	1843	1638	1434	1229	1024	819	614	410	205	164	123	82	41
128	484	484	2064	1858	1651	1445	1238	1032	826	619	413	206	165	124	83	41
129	481	481	2080	1872	1664	1456	1248	1040	832	624	416	208	166	125	83	42
130	477	477	2096	1886	1677	1467	1258	1048	838	629	419	210	168	126	84	42
131	473	473	2112	1901	1690	1478	1267	1056	845	634	422	211	169	127	84	42
132	470	470	2128	1915	1702	1490	1277	1064	851	638	426	213	170	128	85	43
133	466	466	2144	1930	1715	1501	1286	1072	858	643	429	214	172	129	86	43
134	463	463	2160	1944	1728	1512	1296	1080	864	648	432	216	173	130	86	43
135	460	460	2176	1958	1741	1523	1306	1088	870	653	435	218	174	131	87	44
136	456	456	2192	1973	1754	1534	1315	1096	877	658	438	219	175	132	88	44
137	453	453	2208	1987	1766	1546	1325	1104	883	662	442	221	177	132	88	44
138	450	450	2224	2002	1779	1557	1334	1112	890	667	445	222	178	133	89	44
139	446	446	2240	2016	1792	1568	1344	1120	896	672	448	224	179	134	90	45
140	443	443	2256	2030	1805	1579	1354	1128	902	677	451	226	180	135	90	45
141	440	440	2272	2045	1818	1590	1363	1136	909	682	454	227	182	136	91	45

*Nota.* Ficha de valores para realizar y comparar al realizar el mantenimiento predictivo. Fuente.

Autoría Propia.

## Apéndice L

### Ficha de Valores 3

142	437	437	2288	2059	1830	1602	1373	1144	915	686	458	229	183	137	92	46
143	434	434	2304	2074	1843	1613	1382	1152	922	691	461	230	184	138	92	46
144	431	431	2320	2088	1856	1624	1392	1160	928	696	464	232	186	139	93	46
145	428	428	2336	2102	1869	1635	1402	1168	934	701	467	234	187	140	93	47
146	425	425	2352	2117	1882	1646	1411	1176	941	706	470	235	188	141	94	47
147	422	422	2368	2131	1894	1658	1421	1184	947	710	474	237	189	142	95	47
148	419	419	2384	2146	1907	1669	1430	1192	954	715	477	238	191	143	95	48
149	417	417	2400	2160	1920	1680	1440	1200	960	720	480	240	192	144	96	48
150	414	414	2416	2174	1933	1691	1450	1208	966	725	483	242	193	145	97	48
151	411	411	2432	2189	1946	1702	1459	1216	973	730	486	243	195	146	97	49
152	408	408	2448	2203	1958	1714	1469	1224	979	734	490	245	196	147	98	49
153	406	406	2464	2218	1971	1725	1478	1232	986	739	493	246	197	148	99	49
154	403	403	2480	2232	1984	1736	1488	1240	992	744	496	248	198	149	99	50
155	401	401	2496	2246	1997	1747	1498	1248	998	749	499	250	200	150	100	50
156	398	398	2512	2261	2010	1758	1507	1256	1005	754	502	251	201	151	100	50
157	396	396	2528	2275	2022	1770	1517	1264	1011	758	506	253	202	152	101	51
158	393	393	2544	2290	2035	1781	1526	1272	1018	763	509	254	204	153	102	51
159	391	391	2560	2304	2048	1792	1536	1280	1024	768	512	256	205	154	102	51
160	388	388	2576	2318	2061	1803	1546	1288	1030	773	515	258	206	155	103	52
161	386	386	2592	2333	2074	1814	1555	1296	1037	778	518	259	207	156	104	52
162	383	383	2608	2347	2086	1826	1565	1304	1043	782	522	261	209	156	104	52
163	381	381	2624	2362	2099	1837	1574	1312	1050	787	525	262	210	157	105	52
164	379	379	2640	2376	2112	1848	1584	1320	1056	792	528	264	211	158	106	53
165	377	377	2656	2390	2125	1859	1594	1328	1062	797	531	266	212	159	106	53
166	374	374	2672	2405	2138	1870	1603	1336	1069	802	534	267	214	160	107	53
167	372	372	2688	2419	2150	1882	1613	1344	1075	806	538	269	215	161	108	54
168	370	370	2704	2434	2163	1893	1622	1352	1082	811	541	270	216	162	108	54
169	368	368	2720	2448	2176	1904	1632	1360	1088	816	544	272	218	163	109	54
170	365	365	2736	2462	2189	1915	1642	1368	1094	821	547	274	219	164	109	55
171	363	363	2752	2477	2202	1926	1651	1376	1101	826	550	275	220	165	110	55
172	361	361	2768	2491	2214	1938	1661	1384	1107	830	554	277	221	166	111	55
173	359	359	2784	2506	2227	1949	1670	1392	1114	835	557	278	223	167	111	56
174	357	357	2800	2520	2240	1960	1680	1400	1120	840	560	280	224	168	112	56
175	355	355	2816	2534	2253	1971	1690	1408	1126	845	563	282	225	169	113	56
176	353	353	2832	2549	2266	1982	1699	1416	1133	850	566	283	227	170	113	57
177	351	351	2848	2563	2278	1994	1709	1424	1139	854	570	285	228	171	114	57
178	349	349	2864	2578	2291	2005	1718	1432	1146	859	573	286	229	172	115	57
179	347	347	2880	2592	2304	2016	1728	1440	1152	864	576	288	230	173	115	58
180	345	345	2896	2606	2317	2027	1738	1448	1158	869	579	290	232	174	116	58
181	343	343	2912	2621	2330	2038	1747	1456	1165	874	582	291	233	175	116	58
182	342	342	2928	2635	2342	2050	1757	1464	1171	878	586	293	234	176	117	59
183	340	340	2944	2650	2355	2061	1766	1472	1178	883	589	294	236	177	118	59
184	338	338	2960	2664	2368	2072	1776	1480	1184	888	592	296	237	178	118	59
185	336	336	2976	2678	2381	2083	1786	1488	1190	893	595	298	238	179	119	60
186	334	334	2992	2693	2394	2094	1795	1496	1197	898	598	299	239	180	120	60
187	332	332	3008	2707	2406	2106	1805	1504	1203	902	602	301	241	180	120	60
188	331	331	3024	2722	2419	2117	1814	1512	1210	907	605	302	242	181	121	60
189	329	329	3040	2736	2432	2128	1824	1520	1216	912	608	304	243	182	122	61
190	327	327	3056	2750	2445	2139	1834	1528	1222	917	611	306	244	183	122	61
191	326	326	3072	2765	2458	2150	1843	1536	1229	922	614	307	246	184	123	61
192	324	324	3088	2779	2470	2162	1853	1544	1235	926	618	309	247	185	124	62
193	322	322	3104	2794	2483	2173	1862	1552	1242	931	621	310	248	186	124	62
194	321	321	3120	2808	2496	2184	1872	1560	1248	936	624	312	250	187	125	62
195	319	319	3136	2822	2509	2195	1882	1568	1254	941	627	314	251	188	125	63
196	317	317	3152	2837	2522	2206	1891	1576	1261	946	630	315	252	189	126	63

*Nota.* Ficha de valores para realizar y comparar al realizar el mantenimiento predictivo. Fuente

Autoría Propia.

## Apéndice M

### Ficha de Valores 42

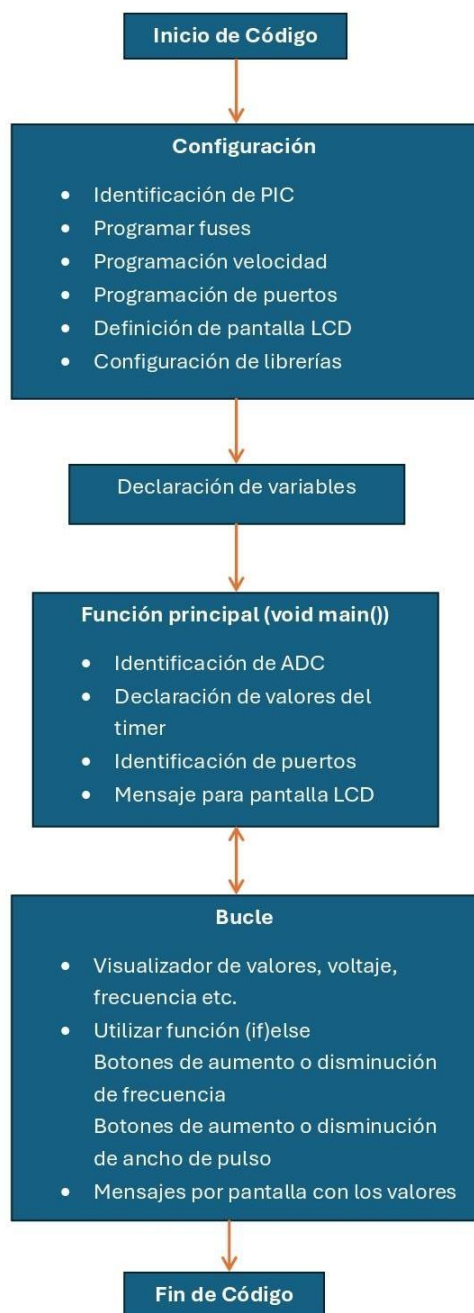
197	316	316	3168	2851	2534	2218	1901	1584	1267	950	634	317	253	190	127	63
198	314	314	3184	2866	2547	2229	1910	1592	1274	955	637	318	255	191	127	64
199	313	313	3200	2880	2560	2240	1920	1600	1280	960	640	320	256	192	128	64
200	311	311	3216	2894	2573	2251	1930	1608	1286	965	643	322	257	193	129	64
201	309	309	3232	2909	2586	2262	1939	1616	1293	970	646	323	259	194	129	65
202	308	308	3248	2923	2598	2274	1949	1624	1299	974	650	325	260	195	130	65
203	306	306	3264	2938	2611	2285	1958	1632	1306	979	653	326	261	196	131	65
204	305	305	3280	2952	2624	2296	1968	1640	1312	984	656	328	262	197	131	66
205	303	303	3296	2966	2637	2307	1978	1648	1318	989	659	330	264	198	132	66
206	302	302	3312	2981	2650	2318	1987	1656	1325	994	662	331	265	199	132	66
207	300	300	3328	2995	2662	2330	1997	1664	1331	998	666	333	266	200	133	67
208	299	299	3344	3010	2675	2341	2006	1672	1338	1003	669	334	268	201	134	67
209	298	298	3360	3024	2688	2352	2016	1680	1344	1008	672	336	269	202	134	67
210	296	296	3376	3038	2701	2363	2026	1688	1350	1013	675	338	270	203	135	68
211	295	295	3392	3053	2714	2374	2035	1696	1357	1018	678	339	271	204	136	68
212	293	293	3408	3067	2726	2386	2045	1704	1363	1022	682	341	273	204	136	68
213	292	292	3424	3082	2739	2397	2054	1712	1370	1027	685	342	274	205	137	68
214	291	291	3440	3096	2752	2408	2064	1720	1376	1032	688	344	275	206	138	69
215	289	289	3456	3110	2765	2419	2074	1728	1382	1037	691	346	276	207	138	69
216	288	288	3472	3125	2778	2430	2083	1736	1389	1042	694	347	278	208	139	69
217	287	287	3488	3139	2790	2442	2093	1744	1395	1046	698	349	279	209	140	70
218	285	285	3504	3154	2803	2453	2102	1752	1402	1051	701	350	280	210	140	70
219	284	284	3520	3168	2816	2464	2112	1760	1408	1056	704	352	282	211	141	70
220	283	283	3536	3182	2829	2475	2122	1768	1414	1061	707	354	283	212	141	71
221	282	282	3552	3197	2842	2486	2131	1776	1421	1066	710	355	284	213	142	71
222	280	280	3568	3211	2854	2498	2141	1784	1427	1070	714	357	285	214	143	71
223	279	279	3584	3226	2867	2509	2150	1792	1434	1075	717	358	287	215	143	72
224	278	278	3600	3240	2880	2520	2160	1800	1440	1080	720	360	288	216	144	72
225	277	277	3616	3254	2893	2531	2170	1808	1446	1085	723	362	289	217	145	72
226	275	275	3632	3269	2906	2542	2179	1816	1453	1090	726	363	291	218	145	73
227	274	274	3648	3283	2918	2554	2189	1824	1459	1094	730	365	292	219	146	73
228	273	273	3664	3298	2931	2565	2198	1832	1466	1099	733	366	293	220	147	73
229	272	272	3680	3312	2944	2576	2208	1840	1472	1104	736	368	294	221	147	74
230	271	271	3696	3326	2957	2587	2218	1848	1478	1109	739	370	296	222	148	74
231	269	269	3712	3341	2970	2598	2227	1856	1485	1114	742	371	297	223	148	74
232	268	268	3728	3355	2982	2610	2237	1864	1491	1118	746	373	298	224	149	75
233	267	267	3744	3370	2995	2621	2246	1872	1498	1123	749	374	300	225	150	75
234	266	266	3760	3384	3008	2632	2256	1880	1504	1128	752	376	301	226	150	75
235	265	265	3776	3398	3021	2643	2266	1888	1510	1133	755	378	302	227	151	76
236	264	264	3792	3413	3034	2654	2275	1896	1517	1138	758	379	303	228	152	76
237	263	263	3808	3427	3046	2666	2285	1904	1523	1142	762	381	305	228	152	76
238	262	262	3824	3442	3059	2677	2294	1912	1530	1147	765	382	306	229	153	76
239	260	260	3840	3456	3072	2688	2304	1920	1536	1152	768	384	307	230	154	77
240	259	259	3856	3470	3085	2699	2314	1928	1542	1157	771	386	308	231	154	77
241	258	258	3872	3485	3098	2710	2323	1936	1549	1162	774	387	310	232	155	77
242	257	257	3888	3499	3110	2722	2333	1944	1555	1166	778	389	311	233	156	78
243	256	256	3904	3514	3123	2733	2342	1952	1562	1171	781	390	312	234	156	78
244	255	255	3920	3528	3136	2744	2352	1960	1568	1176	784	392	314	235	157	78
245	254	254	3936	3542	3149	2755	2362	1968	1574	1181	787	394	315	236	157	79
246	253	253	3952	3557	3162	2766	2371	1976	1581	1186	790	395	316	237	158	79
247	252	252	3968	3571	3174	2778	2381	1984	1587	1190	794	397	317	238	159	79
248	251	251	3984	3586	3187	2789	2390	1992	1594	1195	797	398	319	239	159	80
249	250	250	4000	3600	3200	2800	2400	2000	1600	1200	800	400	320	240	160	80

Nota. Ficha de valores para realizar y comparar al realizar el mantenimiento predictivo. Fuente.

Autoría Propia.

## Apéndice N

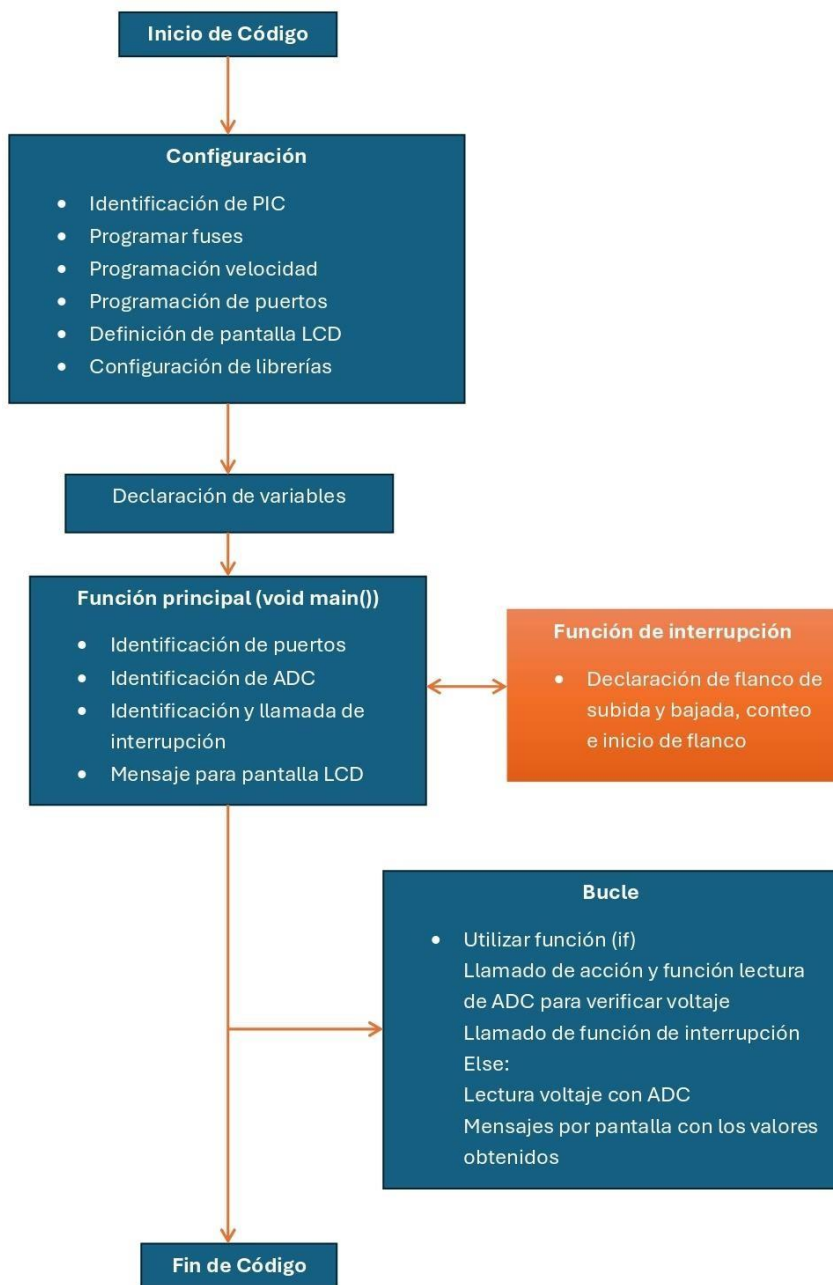
### Diagrama Código Generador Señal PWM3



*Nota.* Diagrama de bloques del código generador de señales PWM desde inicio hasta fin de código. Fuente. Autoría Propia.

## Apéndice O

### Diagrama Código Lector Señal PWM 4



*Nota.* Diagrama de bloques del código lector de señales PWM desde inicio hasta fin de código.

Fuente. Autoría Propia.