

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Electrónica

Tesis

**Diseño e implementación de un generador analógico de  
señales de audiofrecuencia con frecuencímetro digital  
basado en *hardware* libre**

Christian Edwin Cunyas Alcántara

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Electrónico

Huancayo, 2021

# ÍNDICE

Agradecimiento .....	ii
Dedicatoria .....	iii
Índice.....	iv
Lista de tablas .....	vii
Lista de figuras.....	viii
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
Introducción.....	xii
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>14</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....</b>	<b>14</b>
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	14
1.1.1 Problema general.....	16
1.1.2 Problemas específicos:.....	16
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivo general.....	16
1.2.2 Objetivos específicos:.....	17
1.3 Justificación e importancia .....	17
1.3.1 Justificación económica .....	17
1.3.2 Justificación tecnológica: .....	17
1.3.3 Justificación social .....	17
1.3.4 Importancia .....	18
1.3.5 Limitaciones.....	18
1.4 Hipótesis y descripción de variables .....	18
1.4.1 Hipótesis general .....	18
1.4.2 Hipótesis específicas .....	18
1.4.3 Descripción de variables.....	19
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>21</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>21</b>
2.1 Antecedentes del problema .....	21
2.1.1 Antecedentes nacionales.....	21
2.1.2 Antecedentes internacionales.....	21
2.2 Bases teóricas.....	27

2.2.1 El enfoque de ingeniería: concebir – diseñar – implementar – operar (CDIO) .....	27
2.2.2 Generadores analógicos de señales.....	28
2.2.3 Frecuencímetros o contadores de frecuencia .....	33
2.2.4 Mantenimiento basado en condición.....	38
2.2.5 Aplicación del enfoque concepción, diseño, implementación y operación a nivel de despliegue (CDIO):.....	45
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>74</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>74</b>
3.1 Método de investigación .....	74
3.2 Tipo de investigación .....	75
3.2.1 Investigación aplicada.....	75
3.3 Alcance de la investigación.....	75
3.3.1 Nivel exploratorio .....	75
3.4 Diseño de la investigación .....	76
3.4.1 Diseño Preexperimental.....	76
3.5 Población y muestra .....	76
3.5.1 Población .....	76
3.5.2 Muestra.....	77
3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	78
3.6.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos .....	78
3.6.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	79
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>84</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>84</b>
4.1 Resultados y tratamiento de la información .....	84
4.1.1 Procesamiento de información .....	84
4.1.2 Resultados del tratamiento y de la información .....	90
4.1.3 Estudio económico.....	95
4.1.4 Descripción de las variables .....	96
4.1.5 Recopilación de datos del sistema:.....	97
4.1.7 Contrastación de las Hipótesis.....	102
4.1.8.1 Prueba de hipótesis:.....	102
4.2 Discusión de resultados .....	104
Conclusiones.....	106

Recomendaciones.....	107
Lista de referencias .....	108
Anexos .....	111

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	20
Tabla 2. Cálculo de tamaño de muestra finita .....	78
Tabla 3. Formulario del instrumento de recopilación de datos 1 .....	81
Tabla 4. Formulario del instrumento de recopilación de datos 2 .....	83
Tabla 5. Resultados de la recopilación de datos cuestionario 1 .....	91
Tabla 6. Resultados de la recopilación de datos cuestionario 2.....	93
Tabla 7. Resultados de la recopilación de datos cuestionario 2.....	94
Tabla 8. Análisis económico de la investigación .....	95
Tabla 9. Descripción de la variable dependiente.....	96
Tabla 10. Cuantificación de los resultados del cuestionario 1 .....	97
Tabla 11. Cuantificación de los resultados del cuestionario 2 primera parte....	99
Tabla 12. Cuantificación de los resultados del cuestionario 2 segunda parte	101

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráfica de una señal analógica y una señal digital. ....	29
Figura 2. Diagrama de bloques del circuito integrado. ....	32
Figura 3. Circuito de prueba generalizado. ....	33
Figura 4. Diagrama de bloques genérico de un contador convencional en su modo de medición de frecuencia. ....	34
Figura 5. Diagrama de bloques de un contador de frecuencia. ....	36
Figura 6. Diagrama de bloques de la MCU Silan SC9711. ....	37
Figura 7. Circuito de aplicación de la MCU Silan SC9711. ....	38
Figura 8. Fotografía de los bancos de trabajo y el equipamiento utilizado para el diseño. ....	47
Figura 9. Fotografía de los resultados logrados con el software Sprint Layout para el diseño de los PCB. ....	48
Figura 10. Oferta internacional del ICL8038 juntamente con enlaces hacia los respectivos sitios web y los datasheet. ....	52
Figura 11. Diagrama de bloques del ICL8038 que muestra los principales subsistemas. ....	52
Figura 12. Pictograma de terminales del ICL8038. ....	53
Figura 13. Esquema de aplicación básica del ICL8038. ....	53
Figura 14. Esquema de aplicación del ICL8038 como generador de funciones con salida por amplificador operacional. ....	54
Figura 15. Esquema de aplicación del ICL8038 como generador de funciones con control de frecuencia por tensión y salida por amplificador operacional. ....	55
Figura 16. Diagrama de bloques de un frecuencímetro digital. ....	57
Figura 17. Diagrama de bloques de la MCU Silan SC9711. ....	59
Figura 18. Diagrama de pines de la MCU Silan SC9711. ....	59
Figura 19. Esquema de aplicación de la MCU Silan SC9711. ....	60
Figura 20. Diagrama esquemático de la fuente de alimentación. ....	63
Figura 21. Características básicas del TDA 2030. ....	66
Figura 22. Esquema de circuito de aplicación del TDA2030. ....	67
Figura 23. Prototipo de generador semiacabado. ....	68
Figura 24. Ajustes electromecánicos del generador. ....	69

Figura 25. Ajustes de distorsión mínima del generador con osciloscopio especializado calibrado para FFT.....	72
Figura 26. Prototipo terminado del generador analógico de señales de audiofrecuencia con frecuencímetro digital .....	73
Figura 27. Fotografía detallada del display del frecuencímetro .....	73
Figura 28. Determinación del tamaño de la muestra.....	77
Figura 29. Gráficos de resultados cuestionario 1 .....	98
Figura 30. Gráficos de resultados cuestionario 2 .....	100
Figura 31. Histograma con curva normal de la variable reducción de la incertidumbre.....	101
Figura 32. Informe estadístico resumen del comportamiento de la variable reducción de la incertidumbre .....	103
Figura 33. Gráfica de probabilidad de reducción de la incertidumbre .....	103

## RESUMEN

La investigación se origina con la identificación de una situación problemática no resuelta adecuadamente en el Perú en el sector de electrónica de consumo, subsector equipos de audio, donde se pudo comprobar la limitada disponibilidad, a un precio razonable, de generadores de señales de audiofrecuencia que suministren ondas senoidales, triangulares y cuadradas con niveles de potencia adecuados para probar directamente altavoces y las diversas etapas de amplificación de audio. Los referidos equipos son necesarios para la reducción de la incertidumbre en la inspección de condición e identificación de fallas en los equipos de audio.

Formulado el problema, se plantean los objetivos, se desarrolla el marco teórico, se estructura la metodología, se identifican los requerimientos del generador analógico de señales de audiofrecuencia con frecuencímetro digital, se desarrolla la concepción de ingeniería, el diseño, se implementa y construye el prototipo, culminando con la puesta en operación y la evaluación del desempeño del equipo por parte de usuarios profesionales que comprueban la influencia del prototipo sobre la reducción de la incertidumbre en la inspección de condición de artefactos de audiofrecuencia, confirmándose el logro de los objetivos propuestos en la presente tesis.

**Palabras clave:** generador analógico, frecuencímetro digital, señales de audiofrecuencia



## ABSTRACT

The research originates with the identification of a problematic situation not adequately resolved in Peru in the consumer electronics sector, audio equipment subsector, where it was possible to verify the limited availability, at a reasonable price, of audio-frequency signal generators that supply sine, triangle, and square waves with adequate power levels for directly testing speakers and the various stages of audio amplification. The referred equipment is necessary to reduce the uncertainty in the inspection of condition and identification of faults in the audio equipment.

Once the problem is formulated, the objectives are set, the theoretical framework is developed, the methodology is structured, the requirements of the analogue generator of audio signals with a digital frequency meter are identified, the engineering concept is developed, the design is implemented, and the prototype is constructed, culminating in the commissioning and evaluation of the performance of the equipment by professional users who verify the influence of the prototype on the reduction of uncertainty in the inspection of the condition of audio-frequency artifacts, confirming the achievement of the objectives proposed in the present thesis.

**Keywords:** analog generator, audio frequency signals, digital frequency meter