

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE ANÁLISIS POR
ACÚSTICA PARA MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA**

Tesis presentada por la Bachiller:

Pacsi Gamboa, Francesca Carolina

para optar el Título Profesional de

Ingeniero Electrónico

Con Especialidad en:

Automatización y Control

Asesor:

Ing. Málaga Chávez, Cesar Eduardo

Arequipa – Perú

2021

DICTAMEN APROBATORIO

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA ELECTRONICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 21 de Junio del 2021

Dictamen: 000796-C-EPIE-2021

Visto el borrador del expediente 000796, presentado por:

2014100842 - PACSI GAMBOA FRANCESCA CAROLINA

Titulado:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE ANÁLISIS POR ACÚSTICA PARA MOTORES DE
CORRIENTE ALTERNA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1264 - ESQUIVEL ZENTENO EDUARDO JESUS
DICTAMINADOR**



**1475 - MALAGA CHAVEZ CESAR EDUARDO
DICTAMINADOR**

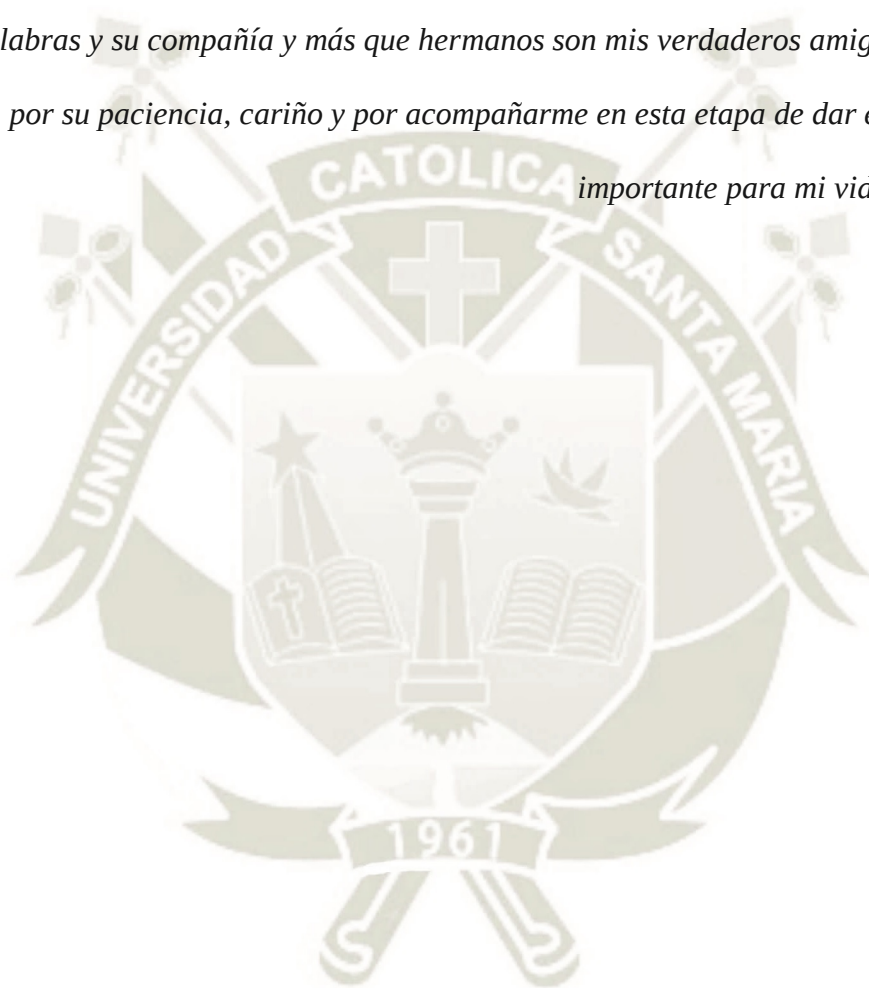


**1531 - RIVERA CHAVEZ VICTOR HUGO
DICTAMINADOR**

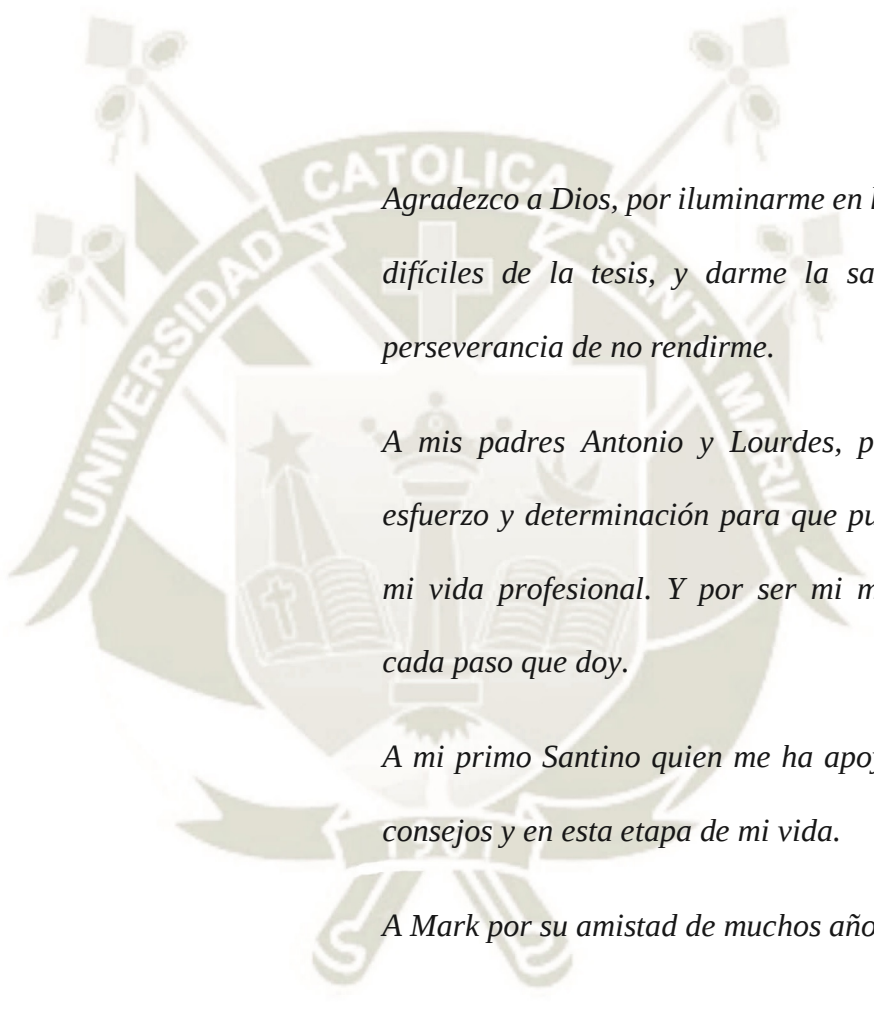


DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios quien me dio la oportunidad de escoger esta grandiosa profesión de Ingeniería Electrónica, a mis padres Antonio y Lourdes, por su gran apoyo y sus consejos en cada etapa de mi vida, mis hermanos Priscila y Liam, por sus palabras y su compañía y más que hermanos son mis verdaderos amigos, a Gonzalo por su paciencia, cariño y por acompañarme en esta etapa de dar este gran paso importante para mi vida profesional.



AGRADECIMIENTO



Agradezco a Dios, por iluminarme en los momentos difíciles de la tesis, y darme la sabiduría y la perseverancia de no rendirme.

A mis padres Antonio y Lourdes, por su lucha, esfuerzo y determinación para que pueda concluir mi vida profesional. Y por ser mi motivación en cada paso que doy.

A mi primo Santino quien me ha apoyado con sus consejos y en esta etapa de mi vida.

A Mark por su amistad de muchos años y su apoyo.

RESUMEN

En este trabajo presento el diseño e implementación de un analizador de motores por acústica con un ancho de banda de 20Hz a 5KHz para la medición acústica.

Este diseño cuenta con dos canales izquierdo y derecho ambos canales cuentan con un micrófono independiente para cada canal.

También cuenta con 3 tipos de memorias para su almacenamiento, debido a la gran cantidad de datos que se generan al muestrear dos canales de audio, toda la data adquirida se almacena de forma temporal en las memorias RAM externas, para luego pasar por el procesador principal el cual ejecuta un motor de cálculo matemático programado que da como resultados máximos, mínimos, RMS, promedios del mismos, FFT, análisis en tiempo, desviación estándar y varianza de muestras obtenidas.

A continuación, se envía el data a la memoria EEPROM, se crea un archivo de tipo WAV, donde está grabada el sonido del motor, toda la información obtenida y el formato de audio se guardan en la memoria SD. Al finalizar el análisis se entrega un informe Excel con un resumen de los resultados obtenidos y con la forma de los espectros.

El equipo cuenta con dos tipos de análisis, uno es el análisis en tiempo real y el análisis profundo. El análisis en tiempo real solo toma muestras de 1 segundo de duración, de forma independiente por canal, es decir si analizamos el canal derecho toda la potencia matemática se centra en ese canal, y lo mismo seria para el canal izquierdo. En análisis profundo toma una muestra de 3 segundos de audio izquierdo y derecho de forma paralela y luego realiza el procesamiento matemático de ambos canales al mismo tiempo.

PALABRAS CLAVE:

Motores, Acústica, Microcontrolador, Espectro, Interfaz maquina humano

ABSTRACT

In this work I present the design and implementation of an acoustic motor analyzer with a bandwidth of 20Hz to 5KHz for acoustic measurement.

This design has two channels (left and right), both channels have an independent microphone.

It also has 3 types of memories for storage, due to the large amount of data generated by sampling two audio channels, all the acquired data is stored temporarily in external RAM memories, and then pass through the main processor which runs a programmed mathematical calculation motor that gives as results maximum, minimum, RMS, averages of the same, FFT, time analysis, standard deviation and variance of samples obtained.

Then, the data is sent to the EEPROM memory, a WAV file is created, where the sound of the engine is recorded, all the information obtained and the audio format are saved in the SD memory. At the end of the analysis an Excel report is delivered with a summary of the results obtained and with the shape of the spectra.

The equipment has two types of analysis, one is the real time analysis and the deep analysis. The real-time analysis only takes samples of 1 second duration, independently per channel, i.e. if we analyze the right channel all the mathematical power is focused on that channel, and the same would be for the left channel. In deep analysis it takes a 3-second sample of left and right audio in parallel and then performs the mathematical processing of both channels at the same time.

KEYWORDS: Motors, Acoustics, Microcontroller, Spectrum, Human machine interface

INTRODUCCION

Los motores en una empresa están funcionando todos los días de la semana, y por no hacer paradas para realizar el mantenimiento de dichos motores y la poca información que se tiene de un motor en funcionamiento, trae grandes pérdidas a la empresa a lo largo de los años, lo cual se vuelve nocivo, porque no se hace el mantenimiento respectivo en el momento adecuado.

Generalmente se identifica que un motor presenta problemas por sus partes mecánicas internas que transmiten un sonido diferente a lo habitual lo cual pone en aviso para luego poder hacer su respectivo mantenimiento o cambio según corresponda.

Un problema común está en los rodamientos cuando están muy desgastados, el sonido de estos rodamientos generalmente se acompaña de vibración de alta frecuencia y/o aumento de temperatura.

Se propone una solución es el diseño e implementación del equipo “Analizador por acústica para motores”. Con este equipo podremos analizar el sonido que transmite el motor usando un estetoscopio mecánico, los circuitos de parte análoga y digital, el microcontrolador y una pantalla de Touch LCD para la interfaz de maquina y usuario.

Para analizar un motor, y poder obtener sus datos es necesario que este en pleno funcionamiento y sin necesidad de parar la producción para que los datos sean más precisos. Y así ver en qué estado se encuentra el motor. Esta tesis propone un equipo de bajo costo que podrá ser adquirido por la pequeña y mediana empresa.

Finalmente se podrá visualizar las pruebas que se realizó con el equipo, conclusiones y recomendaciones para este tema de tesis, también se podrá visualizar en la parte de anexos la programación y los planos.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCION	vii
ÍNDICE	viii

CAPITULO I

INTRODUCCION	1
I. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA	2
II. DESCRIPCION DEL PROBLEMA	2
III. OBJETIVOS	3
A. GENERAL	3
B. ESPECIFICOS	3
IV. HIPOTESIS	3
V. JUSTIFICACION	3
VI. ALCANCES Y LIMINITACIONES	4
A. ALCANCE	4
B. LIMITACIONES	4
VII. APORTE	4
VIII. PROCEDIMIENTO PARA CONTRASTAR MEDICIONES	4
IX. ESTRUCTURA DE TESIS	5

CAPITULO II

MARCO TEORICO	7
I. EQUIPO ANALIZADOR ACUSTICO PARA MOTORES	8
II. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO	9
A. CARACTERISTICA DEL EQUIPO	9
B. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO	9
C. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE MEDICION Y PROCESAMIENTO	10

D. ESPECIFICACIONES DEL MODULO DE VISUALIZACION.....	10
--	----

CAPITULO III

DISEÑO DE HARDWARE	11
--------------------------	----

I. ACUSTICA.....	12
------------------	----

1.1. SONIDO.....	12
------------------	----

1.2. MEDICION DEL SONIDO	13
--------------------------------	----

1.2.1. ALTURA.....	13
--------------------	----

1.2.2. TIMBRE.....	13
--------------------	----

1.2.3. INTENSIDAD.....	13
------------------------	----

A. PASCALES	13
-------------------	----

B. DECIBELIOS	14
---------------------	----

1.2.4. DURACION.....	14
----------------------	----

1.3. RUIDO	14
------------------	----

1.4. VIBRACION.....	15
---------------------	----

II. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	16
---------------------------------------	----

III. DIAGRAMA DE BLOQUES.....	17
-------------------------------	----

IV. DISEÑO DE ETAPA ANALOGA.....	19
----------------------------------	----

1. ETAPA DE CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DEL MICROFONO	19
---	----

1.1. ETAPA DEL MICROFONO	19
--------------------------------	----

A. PRIMERA ETAPA.....	20
-----------------------	----

B. SEGUNDA ETAPA	21
------------------------	----

C. TERCERA ETAPA	23
------------------------	----

1.2. CIRCUITO DE TIERRA VIRTUAL (V Offset).....	25
---	----

1.3. ESQUEMATICO CIRCUITO ANALOGO Y DE TIERRA VIRTUAL	31
---	----

1.4.	CARACTERISTICAS DE LOS COMPONENTES UTILIZADOS	32
		
A.	MICROCHIP MCP6022.....	32
B.	MICROFONO ELECTRET	32
2.	ESTETOSCOPIO MECANICO (SONDA)	33
2.1.	CARACTERISTICAS DEL ESTETOSCOPIO	34
3.	FUNCIONAMIENTO DE ETAPA ANALOGA.....	35
3.1.	SONDA A MOTOR.....	35
3.2.	MICROFONO ELECTRET	35
3.3.	PRE AMPLIFICADOR	36
3.4.	MICROCONTROLADOR	36
4.	ETAPA DE CIRCUITO MEDICION DE BATERIA	36
4.1.	ESQUEMATICO DE MEDIDOR DE BATERIA	36
4.2.	CARACTERISTICAS DE LA BATERIA PORTATIL	39
V.	DISEÑO DE ETAPA DIGITAL.....	40
1.	BUFFER.....	40
1.1.	CARACTERISTICAS DEL BUFFER CD4050	40
1.2.	ESQUEMATICO DE BUFFER.....	40
2.	RAM Y EEPROM.....	41
2.1.	MEMORIAS RAM	41
2.2.	MEMORIA EEPROM	41
2.3.	CARACTERISTICAS DE MEMORIAS RAM Y EEPROM	41
	A. MEMORIA RAM 23LC1024.....	41
	B. MEMORIA EEPROM 25LC256.....	42
2.4.	ESQUEMA DE MEMORIAS RAM Y EPROM.....	43
3.	ETAPA RTC	44

3.1.	ESQUEMATICO DEL RELOJ	44
3.2.	CARACTERISTICAS DEL RELOJ.....	44
A.	RELOJ DS1307	44
B.	CRISTAL 32KHZ.....	45
C.	BATERIA CR2032.....	46
VI.	ETAPA DE INTERFAZ HUMANO MAQUINA	47
1.	PANTALLA TOUCH SCREEN.....	47
1.1.	FUNCIONAMIENTO.....	49
1.2.	CHIP TRANSDUCTOR DE RESISTENCIA A COORDENADAS TSC 2046	49
1.3.	LAMINA TOUCH RESISTIVA.....	50
1.4.	CONVERTIDORES DE SERIE A PARALELO 74HC595.....	51
1.5.	CONTROLADOR DE PANTALLA DE 16 BITS SSD1963.....	52
1.6.	CARACTERISTICAS DE LA PANTALLA LCD.....	52
1.7.	ESQUEMATICO DE CIRCUITO DE VISUALIZACION	54
2.	MEMORIA SD	55
2.1.	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE DATOS QUE TIENE LA SD	56
2.2.	LA VERSIÓN UTILIZADA ES FATFS SYSTEM MODULE R0.11	57
A.	INTERFAZ DE APLICACIÓN	58
B.	INTERFAZ DE ACCESO A MEDIOS.....	59
2.3.	CARACTERISTICAS DE MEMORIA SD KINGSTON	60

CAPITULO IV

DISEÑO DE SOFTWARE	61
I. INTERFAZ GRAFICA	62
A. HALCOGEN	62

B. CODE COMPOSER STUDIO	64
II. MODULOS DEL MICROCONTROLADOR.....	64
1. MODULO CONVERSOR ANALOGO DIGITAL – ADC.....	64
2. MODULO TEMPORIZADOR DE ALTA PRECISION HET Y GIO	67
2.1. HET	67
A. HET – PWM.....	67
2.2. GIO	69
3. MODULO TEMPORIZADOR DE ALTA PRECISION ETPWM....	69
A. RADIX 4.....	69
4. MODULO DE INTERRUPCION EN TIEMPO REAL (RTI).....	73
A. CONTADOR	74
B. COMPARADORES.....	75
5. MODULO INTERFAZ SERIAL PERIFERICOS (SPI)	76
6. ENTRADAS Y SALIDAS DEL MICROCONTROLADOR.....	77
III. APLICACIÓN MATEMATICA PARA EL ANALISIS	78
A. FOURIER	78
B. NYQUIST.....	79
C. MEMORIAS RAM EXTERNA	80
D. TIEMPO DE GRABACION POR CADA LADO	82
E. CANTIDAD DE MUESTRAS DE AUDIO	83
IV. BATERIA	84
V. METODOS DE ANALISIS DEL EQUIPO ANALISIS EN TIEMPO REAL	87
1. MOTOR DE CALCULO	87
2. ANALISIS EN TIEMPO REAL	88
3. ANALISIS PROFUNDO	88

A.	ANALISIS EN TIEMPO	88
B.	ANALISIS EN FRECUENCIA	88
4.	MOVIMIENTO DE DATOS DE LA MEMORIAS	89
A.	ARCHIVOS WAV	89
B.	ARCHIVOS EXCEL	90
VI.	SISTEMA OPERATIVO DE ANALISIS ACUSTICO DE MOTORES.....	92
1.	DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA PRINCIPAL	92
2.	DIAGRAMA DE FLUJO DE MEMORIA SD.....	95
3.	DIAGRAMA DE FLUJO DE CONFIGURACION DE EQUIPO	97
A.	FECHA Y HORA	98
B.	LUZ DE LCD	103
C.	AHORRO DE BATERIA	104
4.	DIAGRAMA DE FLUJO DE MOTOR DE CALCULO ANALISIS EN TIEMPO REAL DE LADO DERECHO E IZQUIERDO	105
5.	DIAGRAMA DE FLUJO EN TIEMPO REAL LADO DERECHO	106
6.	DIAGRAMA DE FLUJO EN TIEMPO REAL LADO IZQUIERDO	107
A.	LADO DERECHO	108
B.	LADO IZQUIERDO.....	110
C.	GUARDADO.....	112
7.	DIAGRAMA DE FLUJO DE ANALISIS PROFUNDO	113
8.	DIAGRAMA DE FLUJO DE MOTOR DE CALCULO EN ANALISIS PROFUNDO.....	116
9.	DIAGRAMA DE FLUJO DE INICIAR ANALISIS	119
10.	DIAGRAMA DE FLUJO DE VISUALIZACION DE RESULTADOS	121

A. XY TIEMPO.....	122
B. ESPECTRO	124
C. TABLA RESUMEN	126
11. DIAGRAMA DE FLUJO DE GUARDADO GENERAL DE TODOS LOS DATOS	127

CAPITULO V

IMPLEMENTACION DEL EQUIPO..... 130

I. ETAPA ANALOGA.....	131
1. CIRCUITO ANALOGO	131
2. CIRCUITO MEDIDOR DE BATERIA.....	137
II. ETAPA DIGITAL.....	137
1. CIRCUITO DE MEMORIAS RAM Y BUFFER.....	137
2. CIRCUITO DE RELOJ.....	142
3. CIRCUITO BUZZER	143
III. CIRCUITO DE VISUALIZACION E INTERFAZ DE PANTALLA	144
IV. MEMORIA SD.....	146
V. EQUIPO ANALIZADOR ACUTISCO PARA MOTORES.....	147

CAPITULO VI

PRUEBAS Y RESULTADOS..... 151

I. VARIACIONES DE LA FIRMA DE AUDIO POR MANTENIMIENTO	152
1. MOTOR ELCO	152
1.1. DATOS DEL MOTOR	152
1.2. FIRMA DE AUDIO DE RODAMIENTO DELANTERO DEL MOTOR	153

A. ANTES DEL MANTIMIENTO	154
B. DESPUES DEL MANTENIMIENTO	157
C. RESULTADOS	161
1.3. FIRMA DE AUDIO DE RODAMIENTO TRASERO DEL MOTOR	166
A. ANTES DEL MANTENIMIENTO.....	167
B. DESPUES DEL MANTENIMIENTO	171
C. RESULTADOS	175
1.4. DIAGNOSTICO FINAL DEL MOTOR	179
II. VARIACIONES DE FIRMA DE AUDIO POR CARGA	180
2. MOTOR DEREK	180
2.1. DATOS DEL MOTOR	181
2.2. FIRMA DE AUDIO DEL MOTOR SIN CARGA	182
A. ARCHIVO EXCEL	186
2.3. FIRMA DE AUDIO DEL MOTOR CON CARGA	189
A. ARCHIVO EXCEL	190
2.4. RESULTADOS.....	193
A. SIN CARGA.....	193
B. CON CARGA	194
2.5. DIAGNOSTICO FINAL DEL MOTOR	196
III. ANALISIS ECONOMICO	197

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	200
CONCLUSIONES.....	201
RECOMENDACIONES	203
REFERENCIAS.....	204

ANEXOS.....	209
ANEXO A - HERCULES RM46X	210
ANEXO B - PANTALLA TOUCH 7 PULGADAS.....	223
ANEXO C - CIRCUITO DEL EQUIPO	225



INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Vibración de un motor	15
Figura 3.2 Estetoscopio mecánico midiendo el sonido del motor	16
Figura 3.3 Circuito interno del micrófono y su acoplamiento.....	19
Figura 3.4 Circuito de Primera etapa del acondicionamiento del micrófono	21
Figura 3.5 Segunda etapa, parte del condensador	21
Figura 3.6 Segunda etapa, parte de la resistencia	22
Figura 3.7 Hallando la ganancia	24
Figura 3.8 Circuito de Tercera etapa de Tierra Virtual	25
Figura 3.9 Opamp MPC6022.....	32
Figura 3.10 Micrófono Electret	33
Figura 3.11 Estetoscopio Mecánico.....	34
Figura 3.12 Partes del estetoscopio mecánico	34
Figura 3.13 Sonda a motor	35
Figura 3.14 Micrófono Electret dentro de tubo PVC	35
Figura 3.15 Batería Energizer de 5V y 4000mAh	39
Figura 3.16 Buffer CD4050.....	40
Figura 3.17 Memoria RAM 23LC1024.....	42
Figura 3.18 Memoria EEPROM 25LC256.....	43
Figura 3.19 Reloj DS 1307	45
Figura 3.20 Cristal 32KHz.....	46
Figura 3.21 Batería CR2032	46
Figura 3.22 Pantalla Touch Screen prendida.....	48
Figura 3.23 Lamina Touch Resistiva.....	50
Figura 3.24 Partes de la lámina Touch Resistiva.....	50

Figura 3.25 Controlador SSD1963	52
Figura 3.26 Pantalla LCD	53
Figura 3.27 Touch de la pantalla LCD	53
Figura 3.28 Disposición de pines de cada tamaño de tarjetas SD	55
Figura 3.29 Posición de la SD en la Pantalla Touch	55
Figura 3.30 Modulo FatFs	57
Figura 3.31 Memoria SD Kingston	60
Figura 4.32 Pantalla principal de Code Composer Studio.....	64
Figura 4.33 Configuración del ADC1 y ADC2, son similares.....	66
Figura 4.34 Radix 4 Transformada de Fourier	72
Figura 4.35 Entradas y salidas del microcontrolador	77
Figura 4.36 Archivos WAV.....	90
Figura 4.37 Reproducción del archivo WAV	90
Figura 4.38 Archivos Excel.....	91
Figura 4.39 Visualización del archivo Excel generado	91
Figura 4.40 Interfaz principal del equipo	94
Figura 4.41 Visualización de archivos en la memoria SD	96
Figura 4.42 Mensaje de alerta de la memoria SD.....	96
Figura 4.43 Interfaz de configuración del equipo.....	98
Figura 4.44 Configuración de hora y fecha	98
Figura 4.45 Día, ingresando en el Teclado numérico.....	99
Figura 4.46 Meses, ingresando el mes actual	99
Figura 4.47 Año, ingresando año actual	100
Figura 4.48 Hora, ingresando la hora actual en formato de 24h.	100
Figura 4.49 Minutos, ingresando los minutos actuales	101

Figura 4.50 Botón días de la semana.....	101
Figura 4.51 Dia de la semana, selección	102
Figura 4.52 Selección guardada de Fecha y Hora	102
Figura 4.53 Configuración de luz de LCD	103
Figura 4.54 Selección guardada de luz de LCD	103
Figura 4.55 Configuración de Ahorro batería	104
Figura 4.56 Selección guardada de Ahorro Batería.....	104
Figura 4.57 Opción de MEDICION EN TIEMPO REAL.....	108
Figura 4.58 Estetoscopio NO está cerca al motor	108
Figura 4.59 Análisis en T Real lado derecho.....	109
Figura 4.60 PAUSA al espectro del análisis T Real lado derecho	109
Figura 4.61 Botón izquierda para pasar al lado Izquierdo.....	110
Figura 4.62 Análisis T Real lado Izquierdo.....	110
Figura 4.63 PLAY al espectro del análisis T Real lado Izquierdo	111
Figura 4.64 PAUSA al espectro del análisis T Real lado Izquierdo.....	111
Figura 4.65 Botón GUARDAR	112
Figura 4.66 Mensaje de GUARDADO EXITOSO	112
Figura 4.67 Opción de ANALISIS PROFUNDO	114
Figura 4.68 Interfaz de INGRESAR DATOS DEL MOTOR	114
Figura 4.69 Teclado para ingresar el nombre del motor.....	115
Figura 4.70 Teclado numérico para ingresar datos de V, I, Hz, HP, Rpm y °C.....	115
Figura 4.71 Botón de INICIAR ANALISIS.....	117
Figura 4.72 Midiendo los datos del motor prendido	118
Figura 4.73 Medición finalizada.....	118
Figura 4.74 Botones de Resultados, Ver datos, SD y Salir	120

Figura 4.75 Botón VER DATOS.....	120
Figura 4.76 Interfaz de RESULTADOS.....	122
Figura 4.77 Botón XY TIEMPO	122
Figura 4.78 Grafica en el Tiempo lado Derecho	123
Figura 4.79 Grafica en el tiempo lado Izquierdo.....	123
Figura 4.80 Botón del ESPECTRO	124
Figura 4.81 Espectro FFT del lado derecho	125
Figura 4.82 Espectro FFT del lado izquierdo	125
Figura 4.83 Botón TABLA RESUMEN.....	126
Figura 4.84 Tabla Resumen.....	126
Figura 4.85 Botón de GUARDAR	128
Figura 4.86 Error de Guardado general.....	129
Figura 4.87 Correcto Guardado general	129
Figura 5.88 Circuito análogo armado en protoboard.....	131
Figura 5.89 Circuito análogo ubicado en la parte posterior de la placa	132
Figura 5.90 Salida de Circuito análogo en placa parte superior.....	132
Figura 5.91 Lado Izquierdo prueba del osciloscopio	133
Figura 5.92 Lado Derecho prueba por el osciloscopio.....	133
Figura 5.93 Medición de señales lado izquierdo y derecho por separado	134
Figura 5.94 Medición de ambas señales juntas del lado izquierdo y derecho.....	135
Figura 5.95 Señales muestreadas por el microcontrolador.....	136
Figura 5.96 Circuito medidor de batería.....	137
Figura 5.97 Circuito de memorias RAM en protoboard junto con el buffer	138
Figura 5.98 Circuito de memorias RAM, EEPROM y BUFFER en placa	138
Figura 5.99 Programa de MATLAB lado derecho	139

Figura 5.100 Programa de MATLAB lado izquierdo.....	140
Figura 5.101 Matlab graficas del funcionamiento de la memoria RAM.....	141
Figura 5.102 Circuito de Reloj en protoboard.....	142
Figura 5.103 Circuito de Reloj en placa.....	142
Figura 5.104 Circuito Buzzer para la pantalla en protoboard.....	143
Figura 5.105 Circuito Buzzer en placa.....	144
Figura 5.106 Circuito de visualización e interfaz de pantalla LCD.....	144
Figura 5.107 Pantalla Touch LCD prendida.....	145
Figura 5.108 Parte de atrás de la pantalla con la placa LCD.....	145
Figura 5.109 Montaje de la memoria SD.....	146
Figura 5.110 Equipo Analizador acústico para motores.....	147
Figura 5.111 Salida del equipo - Estetoscopio.....	147
Figura 5.112 Parte lateral del equipo.....	148
Figura 5.113 Detrás de la pantalla LCD.....	148
Figura 5.114 Circuito de la pantalla LCD – Parte de arriba.....	149
Figura 5.115 Circuito de la pantalla LCD – Parte de abajo.....	149
Figura 5.116 Circuito Analizador de audio – Parte de arriba.....	150
Figura 5.117 Circuito Analizador de audio – Parte de abajo.....	150
Figura 6.118 Motor ELCO.....	153
Figura 6.119 Estetoscopio en la parte delantera del Motor.....	153
Figura 6.120 Reporte Excel del rodamiento delantero antes del mantenimiento.....	154
Figura 6.121 Gráfica de Tiempo y Frecuencia – Rodamiento delantero antes del mantenimiento.....	155
Figura 6.122 Zum al espectro de Frecuencia en MATLAB.....	156
Figura 6.123 Abriendo el motor para hacer el mantenimiento.....	157

Figura 6.124 Productos utilizados para el mantenimiento	157
Figura 6.125 Reporte Excel después del mantenimiento	158
Figura 6.126 Grafica de Tiempo y Frecuencia – Rodamiento delantero después del mantenimiento	159
Figura 6.127 Zum al espectro de Frecuencia en MATLAB	160
Figura 6.128 Estetoscopio en la parte trasera del motor.....	166
Figura 6.129 Tomando la temperatura de la parte trasera del motor.....	166
Figura 6.130 Reporte Excel rodamiento trasero antes del mantenimiento.....	167
Figura 6.131 Grafica de Tiempo y Frecuencia – Rodamiento detrás antes del mantenimiento	168
Figura 6.132 Zum a las gráficas de detrás del motor de ambos lados.	169
Figura 6.133 Zum al espectro de Frecuencia en MATLAB	170
Figura 6.134 Realizando el mantenimiento a la parte trasera del motor	171
Figura 6.135 Productos utilizados para el mantenimiento	171
Figura 6.136 Reporte Excel del rodamiento trasero del motor después del mantenimiento	172
Figura 6.137 Grafica de Tiempo y Frecuencia – Rodamiento detrás después del mantenimiento	173
Figura 6.138 Zum al espectro de Frecuencia en MATLAB	174
Figura 6.139 Motor Derek.....	180
Figura 6.140 Placa del motor.....	181
Figura 6.141 Colocando el estetoscopio en los rodamientos del motor	182
Figura 6.142 Medición en tiempo real.....	182
Figura 6.143 Ingresando los datos de la placa del motor	183
Figura 6.144 Termómetro industrial.....	183

Figura 6.145 Datos del motor ingresados.....	184
Figura 6.146 Forma de onda en XY tiempo lado derecho.....	184
Figura 6.147 Forma de la onda en el espectro del lado Derecho.....	185
Figura 6.148 Guardado general del motor.....	185
Figura 6.149 Archivo Excel.....	186
Figura 6.150 Graficas de Tiempo y Frecuencia del motor sin carga.....	187
Figura 6.151 Zum al espectro de Frecuencia en MATLAB.....	188
Figura 6.152 Haciendo mediciones al motor con carga.	189
Figura 6.153 Archivos Excel y WAV en la memoria SD	189
Figura 6.154 Archivo Excel del motor con carga.....	190
Figura 6.155 Graficas de Tiempo y Frecuencia del motor con carga.....	191
Figura 6.156 Zum al espectro de Frecuencia en MATLAB.....	192

INDICE DE DIAGRAMAS DE BLOQUES

Diagrama 3.1 Diagrama de bloques general del Equipo Analizador por Acústica para Motores.....	18
Diagrama 3.2 Diagrama de bloques de la pantalla Touch SSD 1963.....	48
Diagrama 3.3 Diagrama de FatFs de interfaz de aplicaciones	58
Diagrama 3.4 Diagrama de FatFs de acceso a medios	59
Diagrama 4.5 Diagrama de bloques de RM46L852	63
Diagrama 4.6 Diagrama de configuración PWM	68
Diagrama 4.7 Diagrama de RTI	73
Diagrama 4.8 Diagrama de bloques de Contador 0.....	74
Diagrama 4.9 Diagrama de bloques de Contador 1.....	74
Diagrama 4.10 Diagrama de bloques del Comparador.....	75
Diagrama 4.11 Diagrama de configuración de Entradas y Salidas	77
Diagrama 4.12 Diagrama de configuración capturado temporal.....	80

INDICE DE ESQUEMATICOS

Esquemático 3.1 Circuito de tierra virtual.....	26
Esquemático 3.2 Circuito Análogo.....	27
Esquemático 3.3 Circuito de tierra virtual y Circuito análogo juntos	31
Esquemático 3.4 Circuito medidor de Batería.....	37
Esquemático 3.5 Circuito de Buffer	40
Esquemático 3.6 Circuito de memorias RAM y EEPROM.....	43
Esquemático 3.7 Circuito de Reloj.....	44
Esquemático 3.8 Circuito TSC2046	49
Esquemático 3.9 Convertidores de serie a paralelo 75HC595N	51
Esquemático 3.10 Circuito de visualización de Pantalla.....	54
Esquemático 3.11 Interfaz de memoria SD y Microcontrolador.....	56
Esquemático 4.12 Distribuciones de los canales ADC del RM46L852	65
Esquemático 5.13 Circuito Buzzer	143

INDICE DE FLUJOGRAMAS

Flujograma 4.1 Sistema de control General	93
Flujograma 4.2 Memoria SD	95
Flujograma 4.3 Configuración del equipo	97
Flujograma 4.4 Motor de cálculo de análisis en tiempo Real de lado Derecho e Izquierdo	105
Flujograma 4.5 Tiempo real de lado Derecho	106
Flujograma 4.6 Tiempo real lado Izquierdo	107
Flujograma 4.7 Análisis profundo	113
Flujograma 4.8 Motor de cálculo en análisis profundo	116
Flujograma 4.9 Inicio de Análisis.....	119
Flujograma 4.10 Visualización de resultados.....	121
Flujograma 4.11 Guardado general de todos los datos.....	127

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Ondas del sonido en Hz.....	12
Tabla 3.2 Velocidad de las memorias SD según su clase.....	56
Tabla 4.3 Resumen de las características de una Transformada de Fourier de N puntos Radix 4.....	73
Tabla 4.4 Configuración de comparadores con sus funciones	75
Tabla 4.5 Función de cada módulo SPI.....	76
Tabla 4.6 Porcentaje de carga del voltaje	85
Tabla 4.7 Tabla de voltaje de batería y margen de error	86
Tabla 6.8 Datos de la placa del MOTOR ELCO	152
Tabla 6.9 Armónicos y puntos obtenidos del antes y después del mantenimiento	161
Tabla 6.10 Resultados antes del mantenimiento	162
Tabla 6.11 Resultados después del mantenimiento	163
Tabla 6.12 Resultado final de la parte delantera Motor ELCO	165
Tabla 6.13 Armónicos y puntos obtenidos del antes y después del mantenimiento parte trasera del motor	175
Tabla 6.14 Resultados antes del mantenimiento	176
Tabla 6.15 Resultados después del mantenimiento	177
Tabla 6.16 Resultado final de la parte trasera Motor ELCO	178
Tabla 6.17 Tabla del resultado delantero y trasero de los rodamientos	179
Tabla 6.18 Datos del Motor Derek	181
Tabla 6.19 Tabla de armónicos sin carga	193
Tabla 6.20 Tabla de armónicos con carga	194
Tabla 6.21 Resultado final del motor	196
Tabla 6.22 Análisis económico del Equipo	197

Tabla 6.23 Análisis económico de los componentes adquiridos..... 198

Tabla 6.24 Análisis del costo total del equipo Analizador acústico de motores 199

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3.1 Ecuación representativa de la salida de audio del micrófono electret 20

Ecuación 3.2 Ecuación referencial de audio en alterna 22

Ecuación 3.3 Ecuación de la ganancia..... 24

Ecuación 3.4 Ecuación referencial de salida de audio..... 25

Ecuación 3.5 Ecuación de divisor de tensión 25

Ecuación 3.6 Ecuación del voltaje del ADC 28

Ecuación 3.7 Señal de audio en formato ADC lado izquierdo 29

Ecuación 3.8 Señal de audio en formato ADC lado derecho 29

Ecuación 3.9 Ecuación de AD1IN19..... 37

Ecuación 3.10 Ecuación de AD1IN20..... 37

Ecuación 3.11 Ecuación de nivel de Batería 38

Ecuación 3.12 Porcentaje de Batería 39

Ecuación 4.13 Hallar la frecuencia máxima de los 4 canales del ADC 67

Ecuación 4.14 La décima de radix 4 en frecuencia 70

Ecuación 4.15 Descomposición de Fourier de cuatro puntos..... 71

Ecuación 4.16 Valores de salida reales e imaginarios para la mariposa radix4 72

Ecuación 4.17 Ecuación de la resolución de conversión..... 84

CAPITULO I

INTRODUCCION



Este capítulo se presenta la identificación del problema, descripción del problema, justificación, objetivos, aportaciones y la estructura del proyecto de tesis; se expone los elementos utilizados para analizar el problema, como también métodos aplicados, se indica los aportes de tesis y la estructura de trabajo.

I. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

La poca información que se tiene de un motor en funcionamiento trae grandes pérdidas a la empresa a lo largo de los años, porque no se hace el mantenimiento respectivo en el momento adecuado. Generalmente se identifica que un motor presenta problemas por sus partes mecánicas internas que transmiten un sonido diferente a lo habitual lo cual pone en aviso para luego poder hacer su respectivo mantenimiento o cambio según corresponda.

Un problema común está en los rodamientos cuando están muy desgastados, el sonido de estos rodamientos generalmente se acompaña de vibración de alta frecuencia y/o aumento de temperatura.

Otra causa es por el ruido eléctrico, la mayoría de los motores presenta este ruido durante el arranque. Este ruido disminuirá conforme alcance su velocidad plena.

II. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Los motores en mal estado o que presenten fallas de sus partes mecánicas internas serán diagnosticados por un equipo electrónico, el cual analizará su acústica para poder realizar su diagnóstico de estado y poder programar su cambio o mantenimiento.

III. OBJETIVOS

A. GENERAL

Diseñar e implementar un equipo analizador de motores que funcione a través de la acústica del motor.

B. ESPECIFICOS

- Poder analizar el estado mecánico de un motor a través de su espectro de audio.
- Analizar el audio con un microcontrolador Cortex – ARM.
- Aplicar los conceptos de Fourier a los espectros de audio.
- Visualizar el espectro de audio del motor en tiempo real.
- Generar archivos de reportes donde se verá el análisis del audio.

IV. HIPOTESIS

Dado que existen pérdidas económicas por la falta de mantenimiento a los motores de corriente alterna, lo que genera paradas y retrasos inesperados en la producción, es probable que las empresas al adquirir este equipo puedan desarrollar planes eficientes a los motores, con lo que evitara perdidas de producción.

V. JUSTIFICACION

Los equipos de análisis existen en la actualidad en el mercado, pero su precio es muy elevado, debido a su precio es de difícil acceso para la industria de

mediana y pequeña producción. Por lo cual se busca un equipo de análisis para motores de bajo costo para las aplicaciones descritas anteriormente.

Este equipo será de mucha utilidad a todas las personas que se relacionen a los motores, para que puedan identificar si funciona correctamente.

VI. ALCANCES Y LIMITACIONES

A. ALCANCE

El estudio presente se realizará sobre motores de corriente alterna y poder diagnosticar si presenta problemas mecánicos internos.

B. LIMITACIONES

El equipo es exclusivamente para el análisis acústico del motor eléctrico, no para vibración, análisis de corriente ni temperatura de un motor.

VII. APORTE

Este equipo de análisis por el espectro de audio para motor está en el mercado y a un alto precio, por lo cual se diseñará e implementará este equipo y aun bajo costo.

VIII. PROCEDIMIENTO PARA CONTRASTAR MEDICIONES

A. Buscaremos motores con fallas conocidas para poder verificar si los resultados son correctos y verdaderos, se realizarán pruebas en diferentes motores.

- B. Realizaremos capturas y almacenamiento de audio de los motores.
- C. Se realizará el procesamiento matemático como cálculo del máximo, mínimo, RMS, varianza, desviación estándar, Fourier, el máximo dentro del espectro y logaritmo al espectro del motor obtenido.
- D. Para luego visualizar los resultados en una pantalla HMI.
- E. Se tendrá un informe de los datos obtenidos con la información del motor analizado y se almacenaran en formato Excel y WAV en una memoria SD.

IX. ESTRUCTURA DE TESIS

La tesis está conformada por 7 capítulos organizados de la siguiente forma:

CAPITULO 1

En este primer capítulo se da una introducción al problema a tratar, en los motores, dando a conocer la identificación del problema descripción, justificación, objetivos, hipótesis, justificación, alcances y limitaciones, aportaciones y la estructura de la tesis.

CAPITULO 2

En este capítulo se da a conocer sobre lo que es un equipo de análisis por acústica para motores y su funcionamiento, también están las diferentes características técnicas del equipo.

CAPITULO 3

En este capítulo se presenta el esquema circuital, viendo cada parte de los dispositivos, sus especificaciones, funcionamiento, la selección y calculo para el respectivo diseño.

CAPITULO 4

En este capítulo se presenta los diagramas de flujo del software a implementar. Se vera detalladamente cada parte del diagrama de flujo con sus respectivas explicaciones.

CAPITULO 5

En este capítulo se presenta la implementación y pruebas realizadas a cada parte del esquema circuital, que conforma el equipo de análisis por acústica para motores. Para finalmente tener el equipo terminado.

CAPITULO 6

En este capítulo se muestra las pruebas realizadas a diferentes motores, donde se verá los reportes obtenidos, su análisis detallado, graficas de los espectros para llegar a un diagnóstico correcto.

CAPITULO 7

En este capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO II

MARCO TEORICO



En el este capítulo se dará a conocer las características del analizador acústico de motores, su funcionamiento y también se presentan las especificaciones técnicas del equipo.

I. EQUIPO ANALIZADOR ACUSTICO PARA MOTORES

El análisis por acústica para motores de corriente alterna, reconocerá fallas de los motores, por medio de la medición de audio por contacto con un estetoscopio mecánico que está conectado a dos micrófonos electret para el lado derecho e izquierdo y un microcontrolador que muestreara las señales de audio, se realizaran muestras para identificar la falla de dicho motor y se visualizara en una pantalla.

El análisis de la acústica se hará a través de un conjunto de algoritmos que es programado por un microcontrolador, quien realizara el cálculo del máximo y mínimo, RMS, varianza, desviación estándar, Fourier, hallando el punto máximo dentro del espectro y el logaritmo de las muestras del audio obtenido.

El equipo cuenta con dos tipos de análisis, el análisis en tiempo real y el análisis profundo.

El análisis en tiempo real solo toma muestras de 1 segundo de duración, de forma independiente por canal, es decir si analizamos el canal derecho toda la potencia matemática se centra en ese canal, y lo mismo sería para el canal izquierdo.

En análisis profundo toma una muestra de 3 segundos de audio izquierdo y derecho de forma paralela y luego realiza el procesamiento matemático de ambos canales al mismo tiempo.

II. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO

A. CARACTERISTICA DEL EQUIPO

- Rango de frecuencia audible: 20 Hz a 5 KHz.
- Sensibilidad -38 dB.
- Longitud de la sonda del contacto con el motor 30 cm.
- Visualiza el espectro de audio del motor.
- Visualizar la forma de onda en el tiempo del motor de lado izquierdo y derecho.
- FFT 512 muestras para cada lado izquierdo y derecho.
- Almacenamiento de la señal de audio de 32GB.
- Frecuencia de muestreo de 20 KHz y a 12 bits por canal.
- Ancho de banda de 5 KHz.
- Pantalla LCD de 7 pulgadas.

B. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO

Entrada:	Estéreo de audio
Medición y registro:	Formas de onda y espectros de audio
Capacidad de Almacenamiento:	32GB
Funcionamiento a Batería:	5V / 4000 mAh
Display:	TFT Touch LCD
Grado de Protección:	IP20
Temperatura Operación:	0-50°C

Humedad Relativa: 95% sin condensación.

C. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE MEDICION Y PROCESAMIENTO

Procesador: ARM CORTEX - R4F – DUAL CORE

Numero de Bits: 32 bits

Velocidad del procesador: 365 DIPS/ MHz

Conversor ADC: 12 bits / 3.3 v

Memoria Flash 1.25 MB

Memoria RAM 192 KB

Memoria EEPROM 64 KB

D. ESPECIFICACIONES DEL MODULO DE VISUALIZACION

El módulo de interfaz para el usuario es una pantalla LCD táctil que se utiliza para:

- Configuraciones
- Navegación entre programas
- Visualizar e ingresar datos del motor
- Visualizador: Pantalla LCD a colores de 7“
- Resolución: 800 X RGB X 480 Píxel
- Entrada: Panel Táctil Resistivo



CAPITULO III

DISEÑO DE HARDWARE

En este capítulo se observará cada parte del diseño con sus diferentes circuitos que lo conforman con sus conexiones del Analizador por Acústica para Motores, también se muestra un diagrama de bloques general del diseño.

I. ACUSTICA

1.1. SONIDO

El sonido es algo que no se ve, es una sensación que se genera en el oído a partir de las vibraciones de las cosas.

En la física, el sonido implica un fenómeno vinculado a la difusión de una onda de características elásticas las cuales producen una vibración en un cuerpo, y aun cuando estas ondas no se escuchan.

Para una persona el sonido audible está formado por variaciones que se producen en la presión del aire, y el oído las convierte en ondas mecánicas para el cerebro, se pueda percibir las y procesarlas.

El oído humano es capaz de captar ondas comprendidas entre los 20 Hz a los 20K Hz. (Soporte Multimedia, 2018)

< 20 Hz	Son sonidos tan graves que nuestro oído no es capaz de captarlas y es conocido como Infrasonido.
> 20K Hz	Los sonidos con ondas más cortas, más agudas son conocidos como Ultrasonido

(Griffin, 2015)

Tabla 3.1 Ondas del sonido en Hz

Fuente: Soporte Multimedia – Medición del sonido

1.2. MEDICION DEL SONIDO

Para poder medir el sonido hay que tener en cuenta que tiene estas cualidades:

1.2.1. ALTURA

Es la cualidad del sonido que nos permite identificar los sonidos graves o agudos, esto depende de la frecuencia y se mide en hercios (Hz). A mayor frecuencia, más agudo suena el sonido. (Curso de acústica de Bachillerato creado por GA, 2003)

1.2.2. TIMBRE

Nos permite diferenciar las voces e instrumentos, ya que cada sonido es característico, único y es distinto a los demás y es dependiendo de la procedencia. (Curso de acústica de Bachillerato creado por GA, 2003)

1.2.3. INTENSIDAD

Es la cualidad que nos permite identificar los sonidos fuertes o suaves, pues un rasgo característico es el volumen del sonido, y esto depende de la amplitud de la onda, a mayor amplitud más fuerte es el sonido. (Curso de acústica de Bachillerato creado por GA, 2003)

A. PASCALES

La primera medida es uPa o Pa , el nivel de presión de la onda. El rango audible en las personas es de $20 uPa$ a $20 Pa$. Pero como es una escala muy grande, se comenzó a utilizar los decibelios

B. DECIBELIOS

Los decibelios Db son una unidad de presión acústica, una medida de fuerza y más concretamente una medida de fuerza por unidad área.

Para una persona iría desde 0 dB a 120 o 140 dB, después notamos dolor en los oídos.

1.2.4. DURACION

La duración del sonido nos permite identificar los sonidos como largos o breves. El sonido será tan largo como sea la onda. Y la duración del sonido se mide en segundos. (Curso de acústica de Bachillerato creado por GA, 2003)

1.3. RUIDO

Las características que permiten cuantificar el ruido son la presión sonora y la frecuencia. La presión sonora está relacionada con la intensidad del sonido y la frecuencia está relacionada con el tono.

El valor de presión sonora se indica en términos de nivel de presión sonora, cuya unidad son los decibelios (dB). Un decibelio es una unidad resultante de dividir la presión sonora en pascales entre la presión sonora de referencia, la cual es perceptible para el oído humano, utilizando una escala logarítmica (Significado de Ruido, 1971-2021).

1.4. VIBRACION

El sonido es una sensación en el órgano del oído humano, producida por el movimiento ondulatorio en un medio el cual normalmente es en el aire. La función del medio transmisor del sonido es fundamental, porque no se propaga en el vacío. (Griffin, 2015)

Por ello, para que exista el sonido, es necesario una fuente de vibración mecánica y un medio en el cual se pueda propagar la perturbación. Mencionado anteriormente el aire es el medio más común para que el sonido se pueda propagar.

Cuando un objeto (emisor) vibra, hace vibrar también al aire que se encuentra alrededor de él. Esa vibración se transmite a la distancia y hace vibrar una membrana en este tema seria la membrana del estetoscopio mecánico y posteriormente se dirige a los micrófonos para que luego pase por el microcontrolador y pueda analizar. (Seidel, 2013)

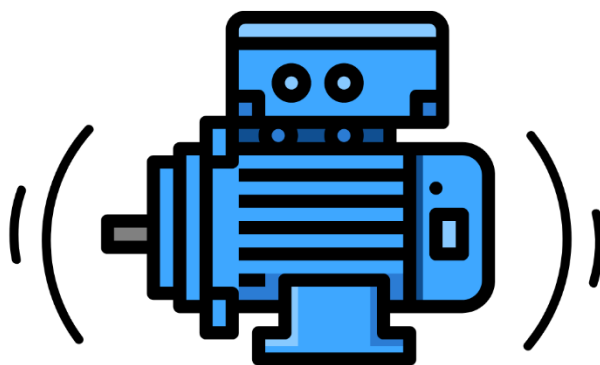


Figura 3.1 Vibración de un motor

Fuente: Elaboración propia

II. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Teniendo conocimientos previos del sonido, para nuestro equipo usamos un estetoscopio mecánico, el cual tiene una sonda y se acerca al motor, cuando este prendido y en pleno funcionamiento.

El motor al estar prendido y funcionando transmite vibraciones, las cuales entraran a la membrana del estetoscopio conocida como diafragma esférico, luego pasara por el tubo de acero inoxidable, por las mangueras de acetileno hacia el micrófono electret. Se puede ver más detallado en el apartado Diseño de etapa analógica. 1.7.C

Se hicieron modificaciones en el estetoscopio para poner los micrófonos electret así definimos que nuestro equipo es estéreo por los dos canales, izquierdo y derecho. El sonido recibido por el motor pasará por los micrófonos electret y posteriormente hacia el microcontrolador, donde el sonido será analizado.

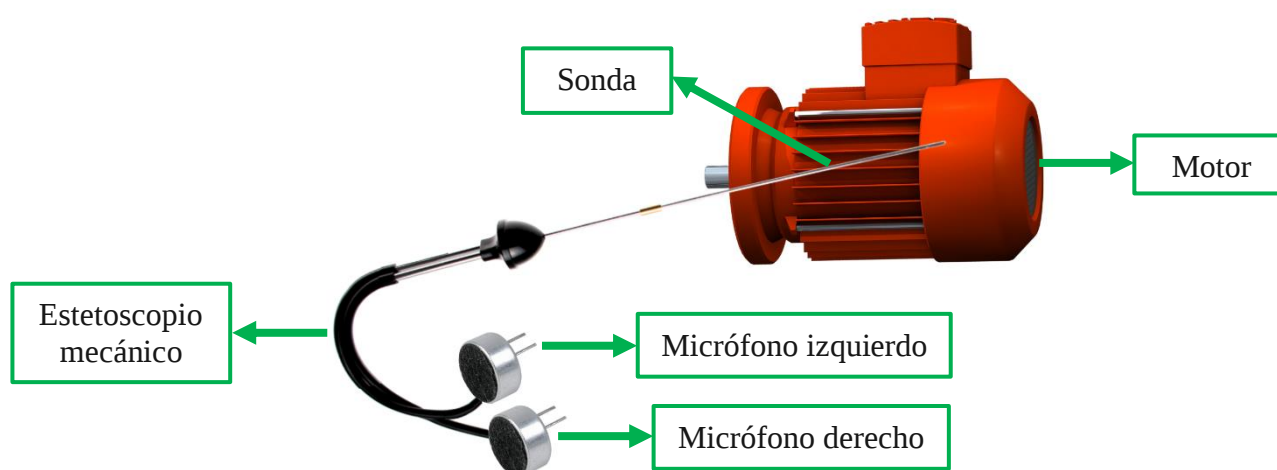


Figura 3.2 Estetoscopio mecánico midiendo el sonido del motor

Fuente: Elaboración propia

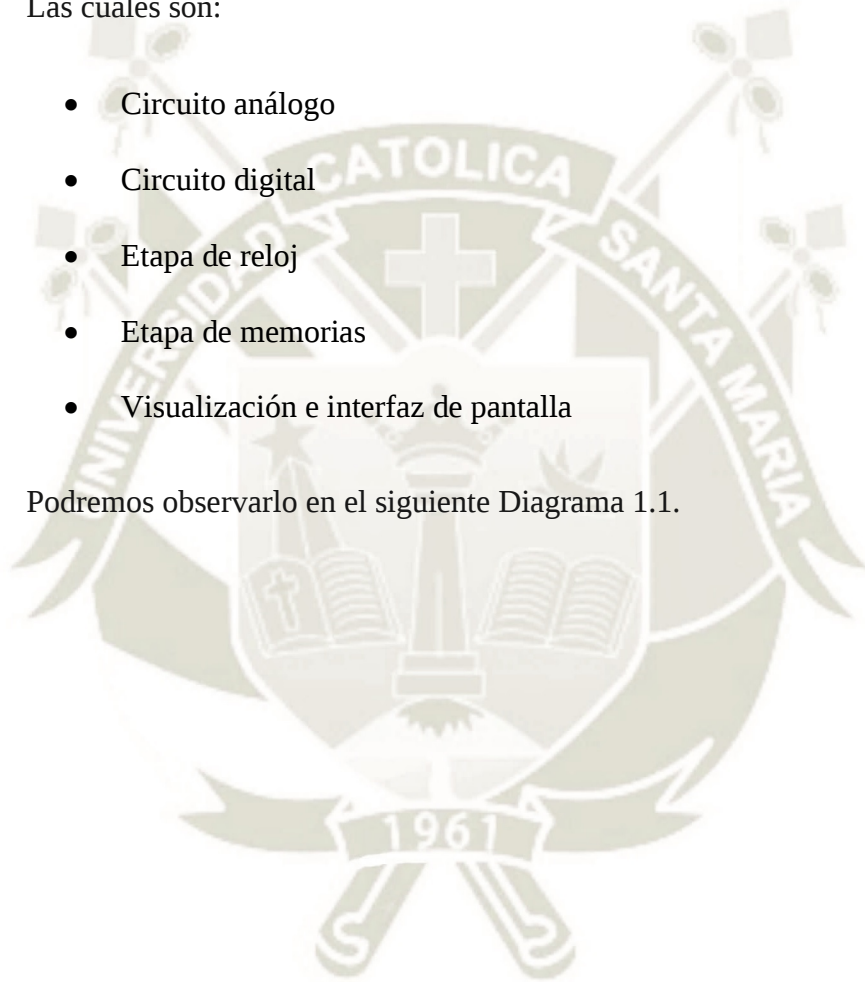
III. DIAGRAMA DE BLOQUES

En el siguiente diagrama especificamos cada etapa del equipo, se podrá ver cada etapa del circuito y su relación con los otros, este equipo cuenta con 4 etapas.

Las cuales son:

- Circuito análogo
- Circuito digital
- Etapa de reloj
- Etapa de memorias
- Visualización e interfaz de pantalla

Podremos observarlo en el siguiente Diagrama 1.1.



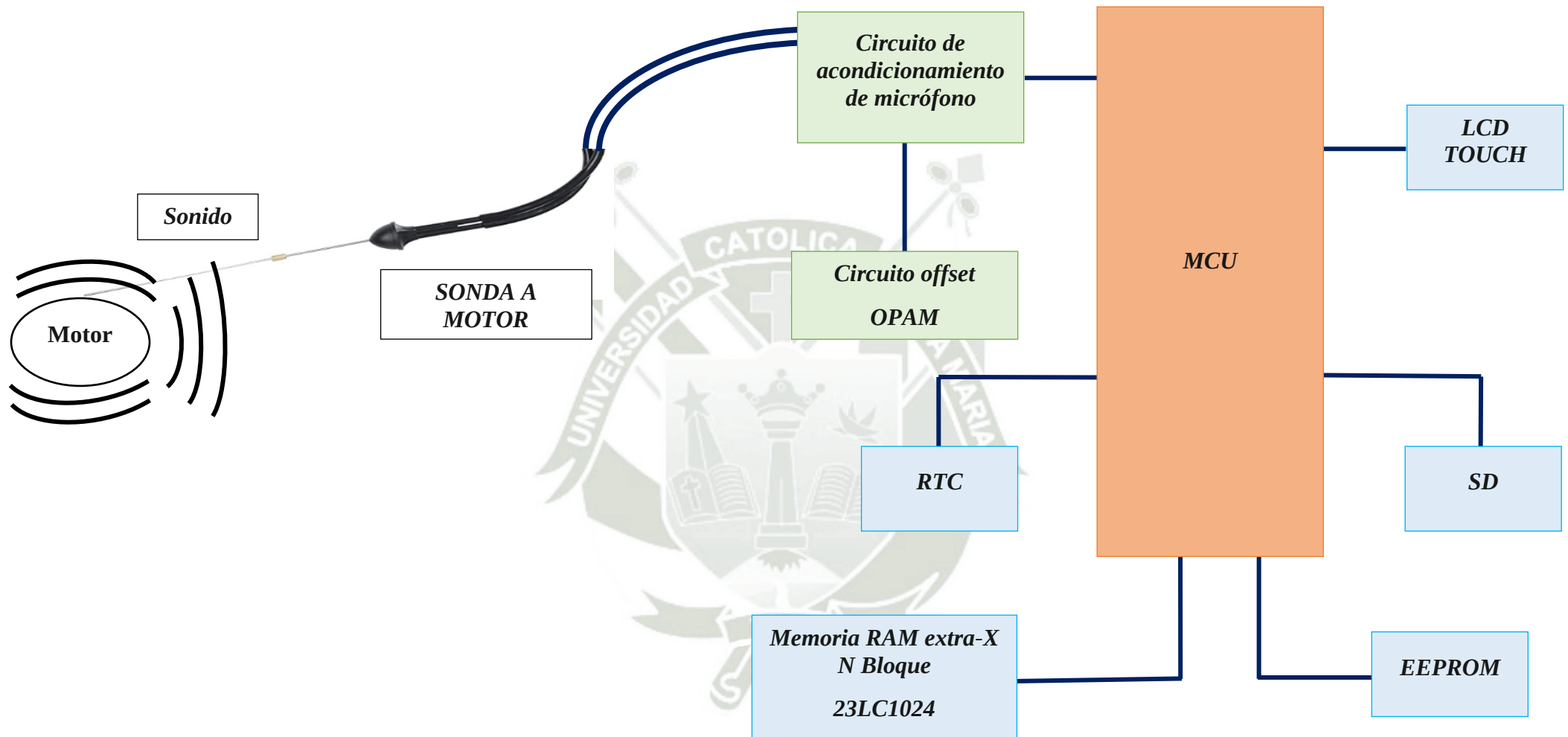


Diagrama 3.1 Diagrama de bloques general del Equipo Analizador por Acústica para Motores

Fuente: Elaboración propia

IV. DISEÑO DE ETAPA ANALOGA

1. ETAPA DE CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DEL MICROFONO

1.1. ETAPA DEL MICROFONO

El micrófono electret cuenta internamente con dos placas separadas a cierta distancia y un mosfet que amplifica la señal de voltaje de dicho capacitor. Con el sonido las dos placas vibran y varía el voltaje de salida.

Cuando se escucha el sonido del motor el mosfet se satura y cae repentinamente el voltaje, se aprovecha esto para conectarlo a un transistor en voltaje base el cual nos genera un pico en el colector y poder registrar el cambio con el microcontrolador.

El micrófono se conecta al microcontrolador. Pero para la configuración del OPAMP utilizamos una resistencia de 2.2K ohm y un capacitor de 1uF. (Electronica estudio, 2018)

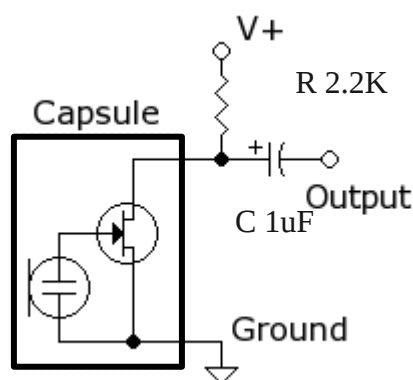


Figura 3.3 Circuito interno del micrófono y su acoplamiento

Fuente: Electrónica y ciencia – Micrófono Electret

A. PRIMERA ETAPA

La primera etapa es la excitación del micrófono, el cual tiene una resistencia interna que varía por las ondas del sonido que alteran la composición del piezoeléctrico. (Wikipedia, Wikipedia, 2020)

Tendremos la siguiente ecuación representativa del audio de salida de un micrófono, dado que la expresión del sonido de un micrófono está compuesta por varios armónicos y se tendría una ecuación bastante compleja, tenemos las siguientes explicaciones:

V_{uf} = Voltaje de salida del micrófono en función al tiempo

S = Sonido

$Offset_{uf}$ = Offset del micrófono

Wt = Es la frecuencia de la señal de audio

Tenemos esta ecuación del micrófono es:

$$V_{uf}(t) = S \times \sin(wt) + offset_{uf}$$

Ecuación 3.1 Ecuación representativa de la salida de audio del micrófono electret

Fuente: Transparencias de micrófonos – Tema 5 Micrófonos

Al pasar esta etapa del micrófono. El punto de la resistencia. Lo observamos en la figura 3.2.

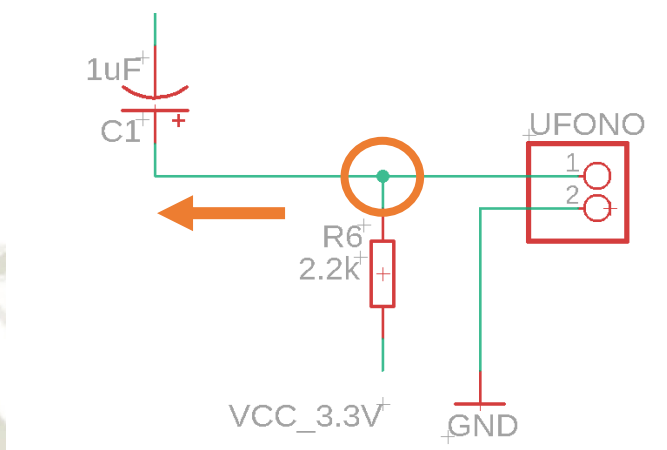


Figura 3.4 Circuito de Primera etapa del acondicionamiento del micrófono

Fuente: Elaboración propia

B. SEGUNDA ETAPA

La segunda etapa tenemos un condensador, un filtro que actúa bloqueando la señal en continua y deja pasar la señal alterna.

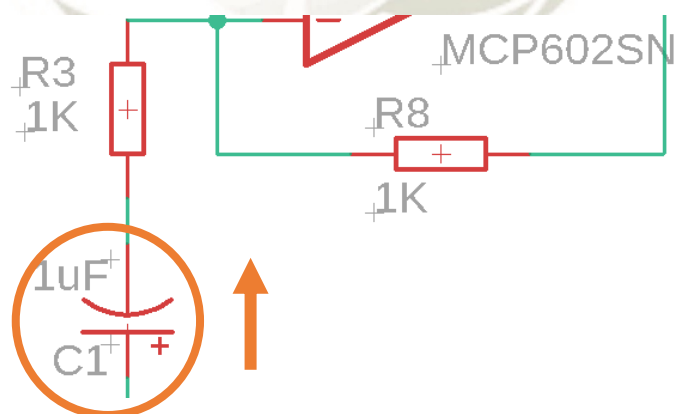


Figura 3.5 Segunda etapa, parte del condensador

Fuente: Elaboración propia

A la salida del condensador se obtiene una señal totalmente alterna, lo cual significa que tiene parte positiva y negativa.

El ADC (convertidor análogo digital) del microcontrolador no reconoce señales negativas, por lo que es necesario agregarle un voltaje offset a la señal del micrófono.

Por lo tanto, la resistencia R3 recibe una señal alterna por parte del condensador.

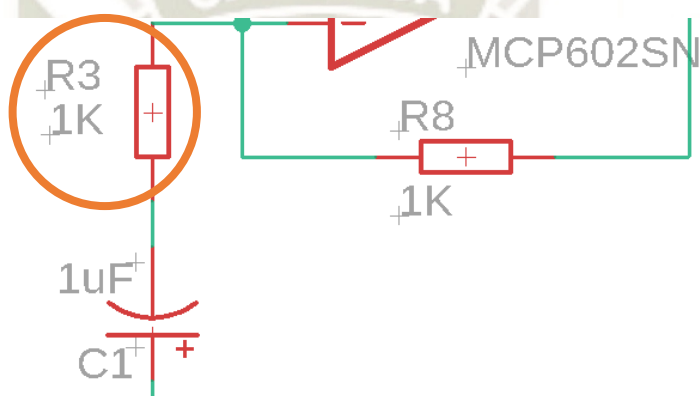


Figura 3.6 Segunda etapa, parte de la resistencia

Fuente: Elaboración propia

Donde tenemos la siguiente de una señal alterna en el tiempo:

$V(t)$ = Voltaje de la señal de audio

$$V(t) = S \times \sin(\omega t)$$

Ecuación 3.2 Ecuación referencial de audio en alterna

Fuente: Texas Instruments – Amplificadores Operacionales

El condensador C1 elimina el Voffset que da el mismo micrófono, obtenida en la ecuación 3.1. Donde se puede observar que la señal de audio está totalmente compuesta por una amplitud y una señal senoidal que aporta parte negativa y positiva de la señal de audio. Resaltando que esto se aplica en el lado derecho e izquierdo de audio.

C. TERCERA ETAPA

En la tercera etapa, se seleccionó un circuito amplificador inversor que tendrá una ganancia unitaria.

Anteriormente por consideraciones de diseño se utilizó una ganancia de 47 lo que funcionó bien para motores pequeños de corriente continua de 12V.

Luego de las pruebas de campo se encontró que los motores de mayor potencia generan más vibración y por ende una señal de audio mucho más grande, lo cual nos llevó a reducir la ganancia a la unidad e incluso para motores mayores de 5 HP, se hablaría de un atenuador, por la presión de audio que este generaría.

Como se tiene una señal alterna que viene del condensador C1, a este se debe agregar un voltaje positivo para poder desplazar la señal dentro de la ventana de medición del convertidor análogo digital que es de 3.3V.

Eso se verá con más detalle en el apartado de Tierra Virtual 1.2

Hallamos la ganancia:

$$K = \frac{R3}{R8}$$

Ecuación 3.3 Ecuación de la ganancia

Fuente: FDC – Amplificador operacional

$$K = \frac{1K}{1K}$$

$$K = 1K$$

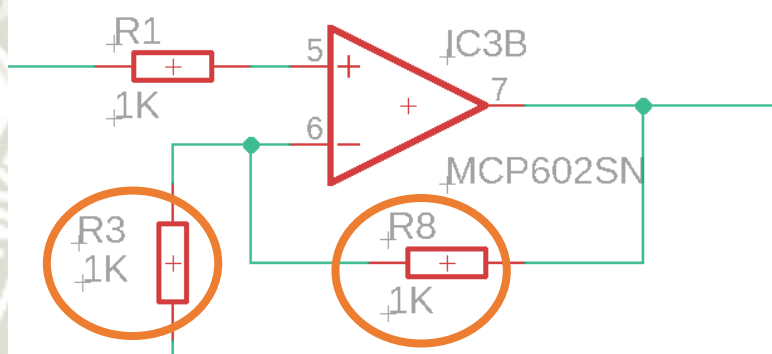


Figura 3.7 Hallando la ganancia

Fuente: Elaboración propia

Tendríamos la siguiente señal matemática:

K = ganancia

S = sonido

Voffset = Voltaje conocido por el circuito de tierra virtual es 1.65V,

detallado en el apartado 1.2.

$$V(t) = K \times S \times \sin(\omega t) + V_{offset}$$

Ecuación 3.4 Ecuación referencial de salida de audio

Fuente: Texas Instruments – Single – Supply Op- Amp Circuit collection

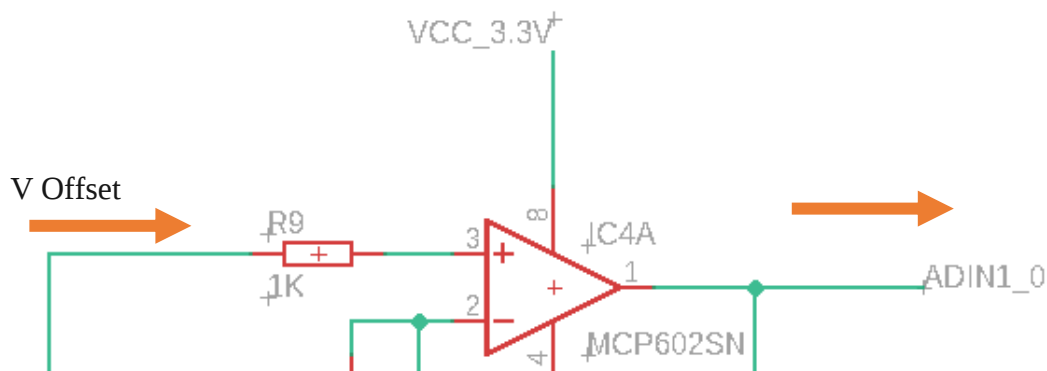


Figura 3.8 Circuito de Tercera etapa de Tierra Virtual

Fuente: Elaboración propia

1.2. CIRCUITO DE TIERRA VIRTUAL (V Offset)

Este circuito análogo de tierra virtual está conformado por un OPAMP, capacitores y resistencias. El circuito genera una tierra virtual para el amplificador generalmente a un voltaje igual a $V_{cc}/2$. (Texas Instruments, 2000)

Tenemos un voltaje de 3.3V y ambas resistencias del mismo valor, nos quiere decir que el voltaje del medio es la mitad.

$$V = \frac{V_{cc}}{2}$$

Ecuación 3.5 Ecuación de divisor de tensión

Fuente: Texas Instruments – Single – Supply Op- Amp Circuit collection

$$V = \frac{3.3 V}{2}$$

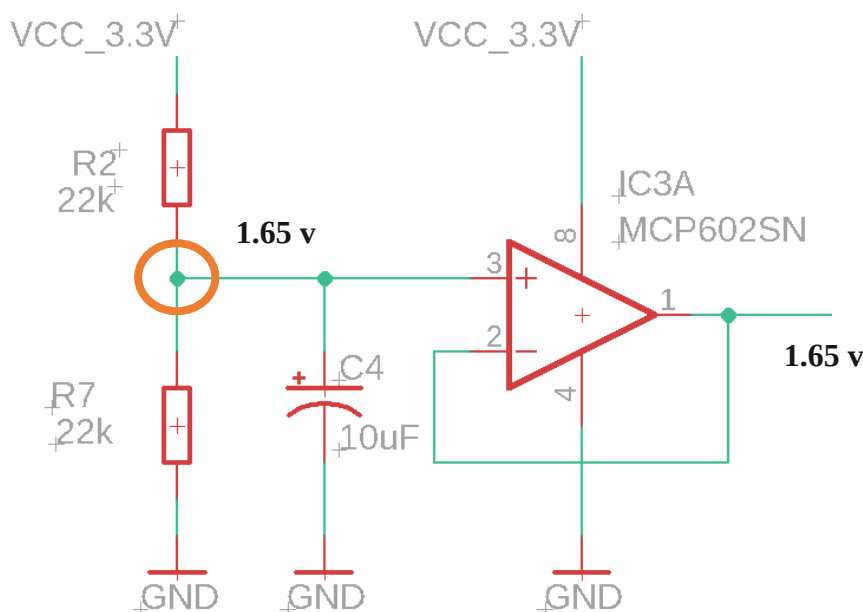
$$V = 1.65 \text{ V}$$

El Opamp es configuración como seguidor de voltaje.

Esto quiere decir que el voltaje 1.65V se refleja en la salida del opamp.

Porque el opamp aísla las resistencias del circuito amplificador del micrófono con el circuito las resistencias del circuito de tierra virtual y solo da el voltaje que se necesita.

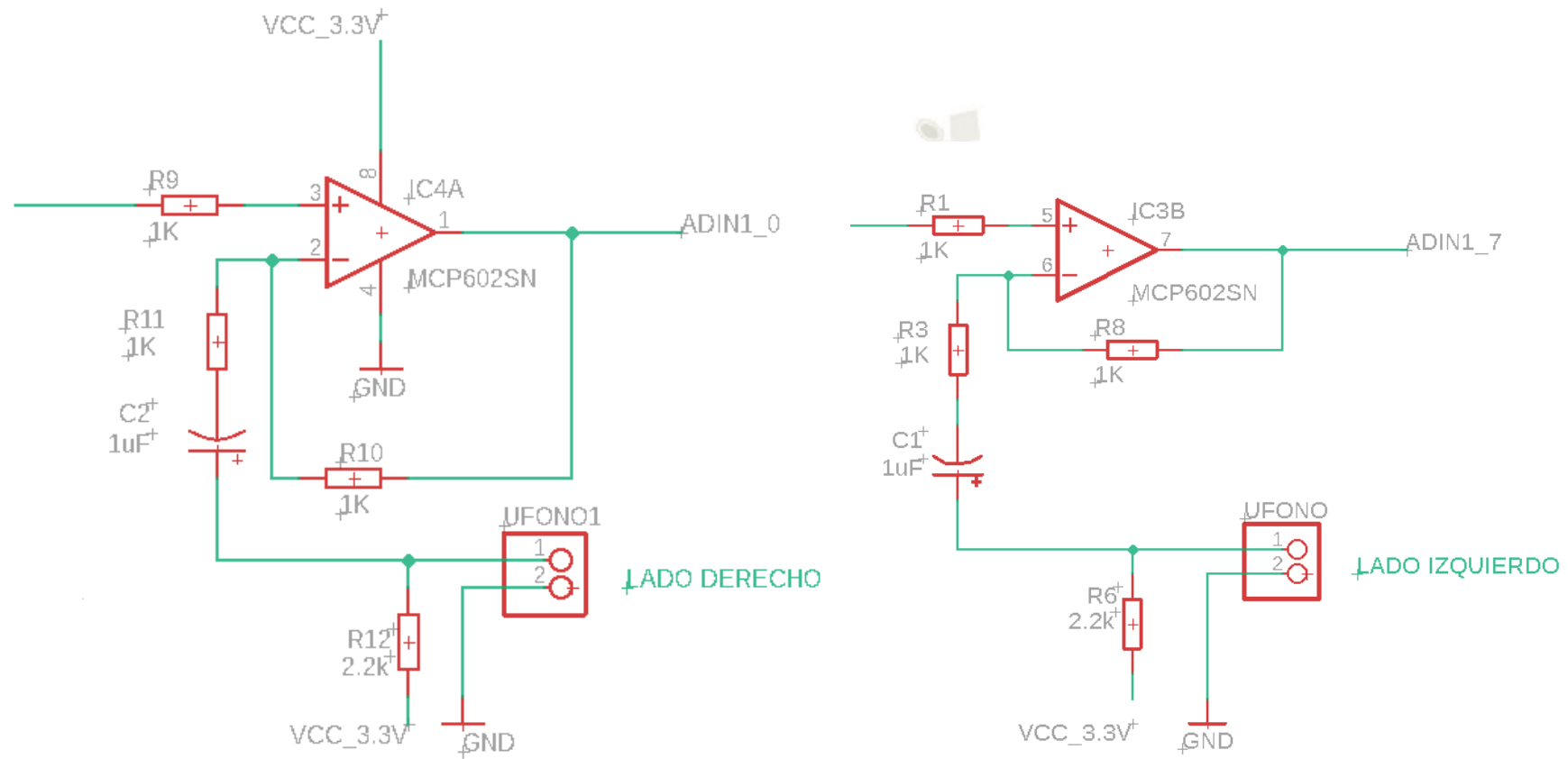
El condensador C3 visto en la figura anterior forma un filtro pasa bajo para eliminar el ruido que ingresa por el ambiente.



Esquemático 3.1 Circuito de tierra virtual

Fuente: Elaboración propia

Estos valores de resistencias deben ser mayores de 1K, valores menores a 1K no se podrían utilizar ya que estaríamos usando potencia, habría más consumo de corriente y se dañaría la batería.



Esquemático 3.2 Circuito Análogo

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente esquemático se tiene la configuración completa de los preamplificadores y el circuito de tierra virtual. Se envían 3 señales análogas al convertidor análogo digital al microcontrolador, entre ellas tenemos: (Texas Instrument - Halcogen, 2021)

- Señal de audio lado Izquierdo.
- Señal de audio lado Derecho.
- Voltaje de tierra virtual.
- Conversiones de ADC a la señal análoga de audio.

El microcontrolador mide las 3 señales y realiza el siguiente procedimiento matemático:

V_{bin} = Voltaje en la escala del ADC 12 bits (0 y 4095)

K_{adc} = resolución del convertidor ADC

$$K_{adc} = \frac{3.3}{4095}$$

K = Es el número de muestras en el espacio discreto

$$V_{adc} = V_{bin} \times K_{adc}$$

Ecuación 3.6 Ecuación del voltaje del ADC

Fuente: HALCoGen – Hércules RM46L852

Ahora si el microcontrolador capturo muestras de la señal de audio izquierdo la ecuación se representa de la siguiente manera:

$$Vbin(K)_{izq} = V(t)_{izq}$$

$$Vbin(K)_{AD1IN_7} = \frac{(S \times K \times \sin(wt \times K) + offset)}{K_{adc}}$$

Ecuación 3.7 Señal de audio en formato ADC lado izquierdo

Fuente: HALCoGen – Hércules RM46L852

Recuperando la señal de audio en la Ecuación 3.7 tiene lo siguiente:

S = Amplitud de audio.

K = ganancia del opamp.

$Offset$ = Voltaje offset de la tierra virtual que es censado por el canal AD2_IN.

Donde se debe recuperar la señal de audio original de los micrófonos para poder analizarlo lo genera la siguiente ecuación:

$$Vbin(K)_{AD1IN_7} \times K_{adc} = (S \times K \times \sin(wt \times K) + offset_{AD1IN_7})$$

Ahora si el microcontrolador capturo muestras de la señal de audio derecho la ecuación se representa de la siguiente manera:

$$Vbin(K)_{der} = V(t)_{der}$$

$$Vbin(K)_{AD1IN_0} = \frac{(S \times K \times \sin(wt \times K) + offset)}{K_{adc}}$$

Ecuación 3.8 Señal de audio en formato ADC lado derecho

Fuente: HALCoGen – Hércules RM46L852

Recuperando la señal de audio en la Ecuación 3.8 tiene lo siguiente:

S = Amplitud de audio.

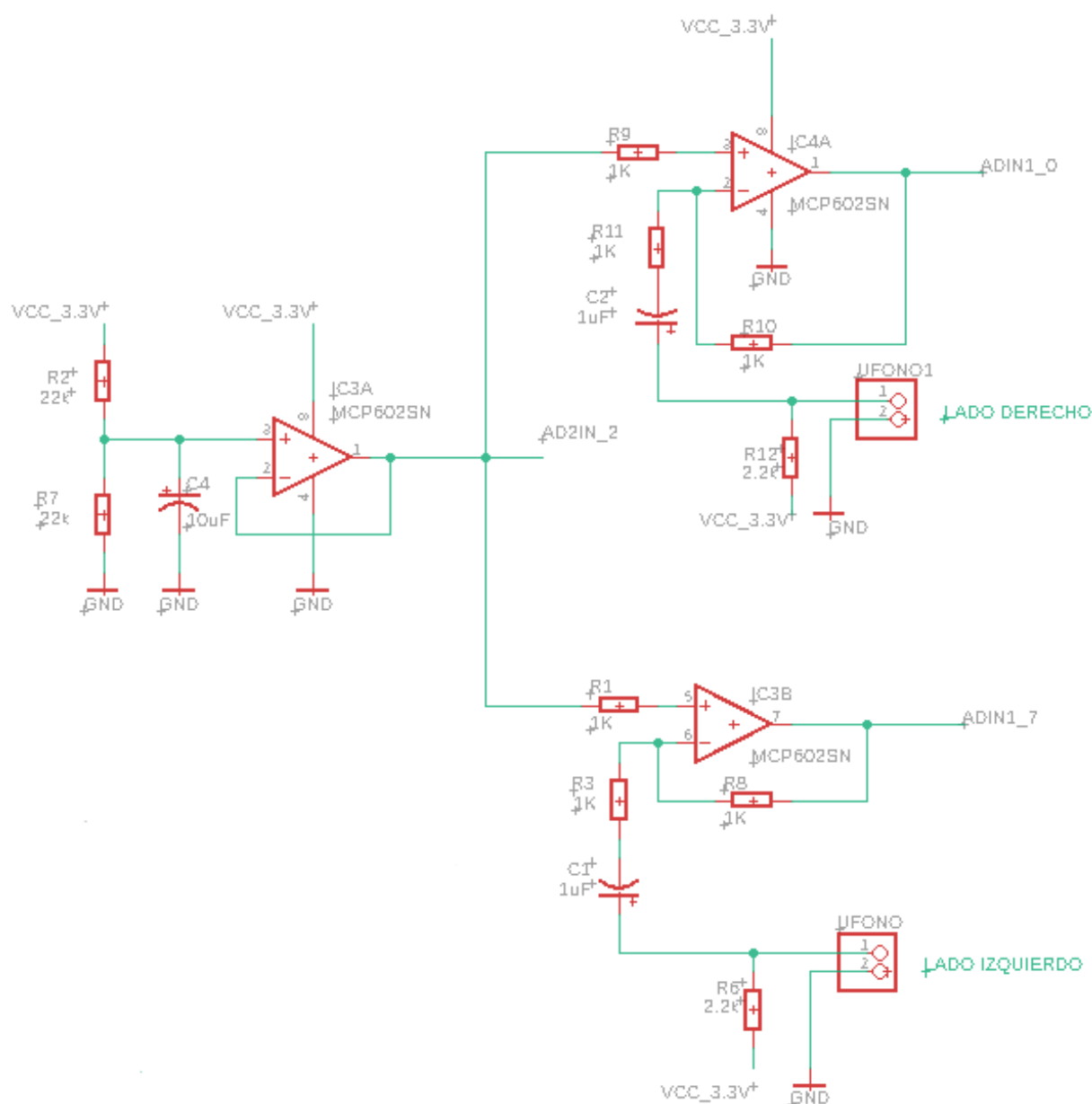
K = ganancia del opamp.

$Offset$ = Voltaje offset de la tierra virtual que es censado por el canal
AD2_IN.

Donde se debe recuperar la señal de audio original de los micrófonos para poder analizarlo lo genera la siguiente ecuación:

$$V_{bin}(K)_{AD1IN_0} \times K_{adc} = (S \times K \times \sin(\omega t \times K) + offset_{AD1IN_0})$$

1.3. ESQUEMATICO CIRCUITO ANALOGO Y DE TIERRA VIRTUAL



Esquemático 3.3 Circuito de tierra virtual y Circuito análogo juntos

Fuente: Elaboración propia

1.4. CARACTERISTICAS DE LOS COMPONENTES UTILIZADOS

A. MICROCHIP MCP6022

- Input/Output
- Ancho de banda: 10MHz (típico)
- Voltaje Offset:
 - Temperatura Industrial: $\pm 500 \mu\text{V}$ (Máximo)
 - Temperatura Extendida: $\pm 250 \mu\text{V}$ (Máximo)
- Corriente: 1 mA (típico)
- Rango de voltaje: 2.5V a 5.5V
- Rango de temperatura:
 - Industrial -40°C a $+85^{\circ}\text{C}$
 - Extendido -40°C a $+125^{\circ}\text{C}$

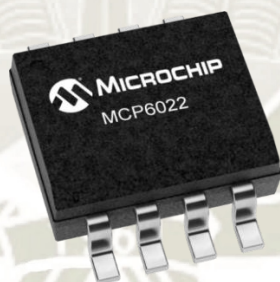


Figura 3.9 Opamp MPC6022

Fuente: Microchip – MPC6022 datasheet

B. MICROFONO ELECTRET

Los micrófonos electret es un tipo especial de micrófono por usar un condensador que utiliza un electrodo y son de fácil uso. (Electronica y ciencia, 2018)

- Rango de frecuencia audible: 50Hz a 16 KHz
- Directibilidad Omnidireccional
- Sensibilidad: - 38 dB
- SNR mínima > 60 dB
- Impedancia: 2.2 K Ω
- Rango de voltaje de alimentación: 3V a 10V
- Consumo de corriente máx.: 0.5mA
- Temperatura de operación: -20°C a + 60°C

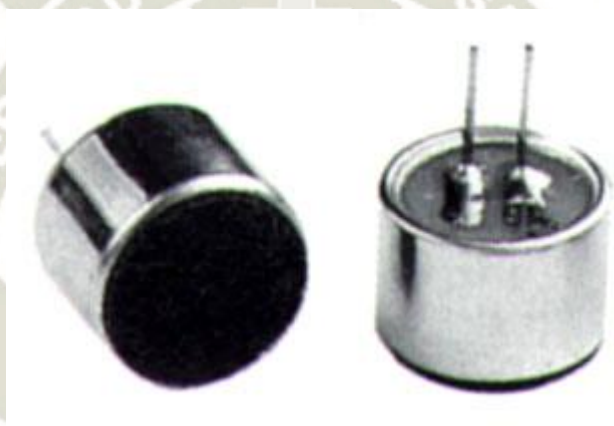


Figura 3.10 Micrófono Electret

Fuente: Panasonic – Micrófono Electret datasheet

2. ESTETOSCOPIO MECANICO (SONDA)

Este estetoscopio mecánico es un instrumento amplificador de sonidos que usan los mecánicos, es parecido a lo que usan los doctores en los hospitales. Pero este estetoscopio es para detectar rodamientos dañados, motores defectuosos y otras partes mecánicas. (Automecanico, 2019)

2.1. CARACTERISTICAS DEL ESTETOSCOPIO

- Sonda de metal de 320 mm
- Puede ingresar a espacios reducidos
- Frecuencia detectable: 10Hz – 10KHz
- Peso: 140g
- Acero duro con superficie niquelada
- Manguera PVC blando



Figura 3.11 Estetoscopio Mecánico

Fuente: Aliexpress – Estetoscopio automotriz



Figura 3.12 Partes del estetoscopio mecánico

Fuente: Aliexpress – Estetoscopio automotriz

3. FUNCIONAMIENTO DE ETAPA ANALOGA

3.1. SONDA A MOTOR

La sonda es el estetoscopio mecánico, el cual utilizamos para poder analizar la acústica de un motor y lo acercamos al motor. La sonda se encarga de capturar el sonido del motor y amplificarlo. (2Rtools herramientas de calidad, 2016)

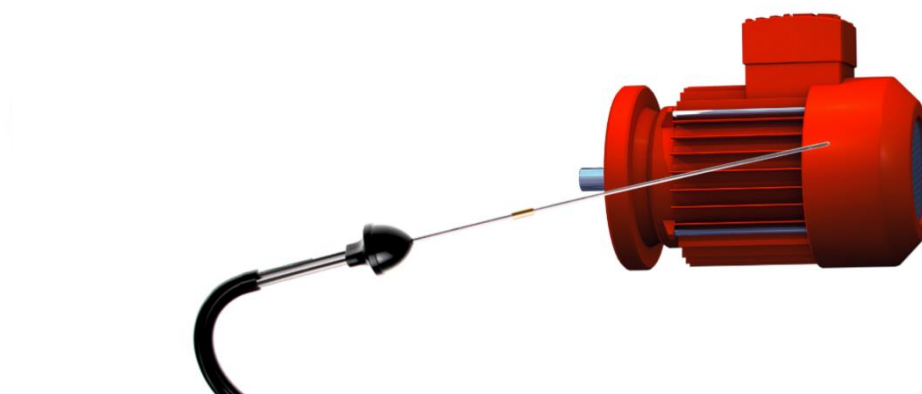


Figura 3.13 Sonda a motor
Fuente: Elaboración propia

3.2. MICROFONO ELECTRET

El micrófono electret que se encuentra dentro del estetoscopio mecánico y se encargara de capturar dichas ondas sonoras que van dentro del tubo de PVC negro. Para luego convertir la señal sonora en voltaje.



Figura 3.14 Micrófono Electret dentro de tubo PVC
Fuente: Elaboración propia

3.3. PRE AMPLIFICADOR

Preamplificador sirve para amplificar y acondicionar la señal de una manera limpia para ser muestreada por el microcontrolador.

3.4. MICROCONTROLADOR

Muestrea la señal análoga para luego extraer la información con el motor de cálculo y pueda analizarlo.

4. ETAPA DE CIRCUITO MEDICION DE BATERIA

En la pantalla LCD se podrá visualizar el porcentaje de batería portátil, por lo cual se diseñó un circuito para medir y censar el voltaje de la batería y así evitar daños al equipo. (Hernandez, 2020)

Se incorporo este circuito de medición para la batería para advertir y prevenir su agotamiento y asegurar que el equipo siempre este encendido cuando se hagan las mediciones a los motores y no tener inconvenientes.

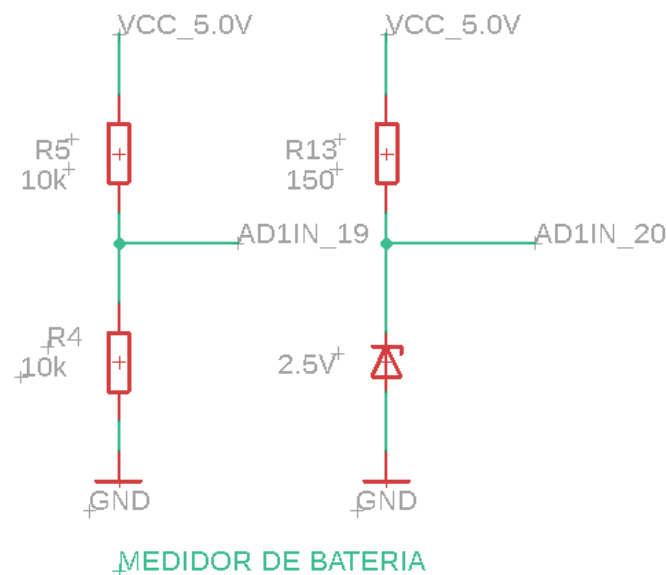
Los diodos zener son muy utilizados, por ser un regulador de voltaje y mantiene un voltaje predeterminado fijo a su salida, sin importar las variaciones de voltaje en la batería o variaciones en la corriente en la carga.

4.1. ESQUEMATICO DE MEDIDOR DE BATERIA

El diodo zener es de 2.5 V, lo que implica que el voltaje en el pin AD1IN_20 del ADC del microcontrolador siempre va a ser de 2.5 V por más que se presenten caídas de voltaje en la fuente de alimentación principal del microcontrolador. (Texas Instrument - Halcogen, 2021)

El ADC del microcontrolador se ve afectado por las variaciones de voltaje de la fuente de alimentación, por lo que es necesario tener un voltaje de referencia que no cambie por más caídas de tensión que se presenten.

Por otro lado, existe un divisor de voltaje formado por las resistencias R4 y R5, el cual varia el nivel de voltaje dependiendo del voltaje de la batería.



Esquemático 3.4 Circuito medidor de Batería

Fuente: Elaboración propia

Se presentan las siguientes ecuaciones:

$$AD1IN_{19} = vcc * \frac{R4}{R4 + R5}$$

Ecuación 3.9 Ecuación de AD1IN19

Fuente: HALCoGen – HerculesRM46L852

$$AD1IN_{20} = 2.5 \text{ Voltios}$$

Ecuación 3.10 Ecuación de AD1IN20

Fuente: HALCoGen – HerculesRM46L852

Para calcular la diferencia de tensión que se genera entre el voltaje de referencia y el divisor de voltaje de la batería.

Nota: Cuando la batería está totalmente cargada, la salida de tensión es de 5.0 voltios y con el divisor de voltaje de las resistencias de alta precisión serían 2.5 Voltios, si existiera una caída de tensión a la salida del divisor de voltaje también cae.

El ADC del microcontrolador, lee ambos voltajes de las ecuaciones 3.9 y 3.10 en su memoria almacena estos valores.

Cálculo del nivel de la batería:

$$\text{Nivel de Bateria} = 2 * (AD1IN_{20} - AD1IN_{19})$$

Ecuación 3.11 Ecuación de nivel de Bateria

Fuente: HALCoGen – HerculesRM46L852

$$\text{Nivel de Bateria} = 2 * (V_z - V_{CC} * \frac{R_4}{R_4 + R_5})$$

Reemplazando resistencias $R_4 = R_5 = 10K$

$$\text{Nivel de Bateria} = 2 * (V_z - V_{CC} * \frac{1}{2})$$

Acomodando las ecuaciones

$$\text{Nivel de Bateria} = 2 * (V_z - \frac{V_{CC}}{2})$$

$$\text{Nivel de Bateria} = 2 * V_z - V_{CC}$$

Donde $V_z = 2.5V$ del Zener

En porcentaje:

$$Porcentaje_{Bateria} = 267.86 \times (Nivel\ de\ Bateria - 4.72) + 25$$

Ecuación 3.12 Porcentaje de Batería

Fuente: HALCoGen – HerculesRM46L852

4.2. CARACTERISTICAS DE LA BATERIA PORTATIL

La batería que se utiliza para el equipo es una batería Energizer portátil, sus características son las siguientes: (Energizer, 2021)

- Voltaje: 5V
- Corriente: 4000mAh
- Modelo: UE40002
- Output Poder: 14.8Wh (Max)
- Batería: Lithium Polymer
- Dimensiones: 135 x 70 x 18 mm
- Peso: 325g (+- 10g)
- Entrada y Salida: 2A
- Dispone de dos puertos USB-A



Figura 3.15 Batería Energizer de 5V y 4000mAh

Fuente: Coolbox – Energizer datasheet

V. DISEÑO DE ETAPA DIGITAL

1. BUFFER

Sirve para amplificar la señal de Chip Select del microcontrolador a las memorias RAM y EEPROM Integradas. (Wikipedia, 2021)

1.1. CARACTERISTICAS DEL BUFFER CD4050

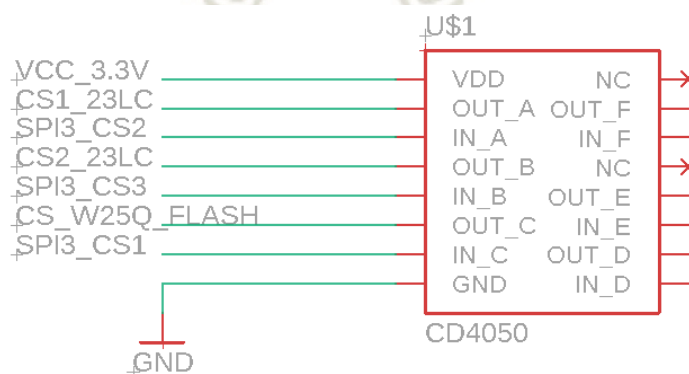
Tipo de diseño Lógico	Buffer/Convertidor, No inversor
Numero de Pines	16
Temperatura de trabajo	-55°C a 125°C
Tensión de alimentación	3V a 18V



Figura 3.16 Buffer CD4050

Fuente: FAIRCHILD SEMICONDUCTOR – CD4050datasheet

1.2. ESQUEMATICO DE BUFFER



Esquemático 3.5 Circuito de Buffer

Fuente: Elaboración propia

2. RAM Y EEPROM

2.1. MEMORIAS RAM

La memoria RAM nos permiten almacenar la información temporalmente a una gran velocidad, y permite que el microcontrolador tenga más capacidad de trabajo, realizar tareas más automatizadas y velocidad de ejecución del programa. Pero la información se pierde cuando se apaga el equipo. (Xataka, 2018)

2.2. MEMORIA EEPROM

La memoria EEPROM es programable, borrrable y reprogramada de manera eléctrica, resguarda los datos luego de apagar o reiniciar un microcontrolador, de tal manera que podemos retomar dicha información. Por lo que no son memorias volátiles, porque no pierden información tras desconectar el equipo. (Sistemas, 2016)

2.3. CARACTERISTICAS DE MEMORIAS RAM Y EEPROM

A. MEMORIA RAM 23LC1024

Numero de Bits/Palabra (bit)	8
Arquitectura de velocidad de datos	SDR
Número de puertos	2
Frecuencia de reloj máxima (MHz)	20
Voltaje de alimentación (V)	3.3 a 5
Corriente Operacional (mA)	10
Temperatura	-40°C a +85°C



Figura 3.17 Memoria RAM 23LC1024

Fuente: Microchip – 23LC1024 datasheet

B. MEMORIA EEPROM 25LC256

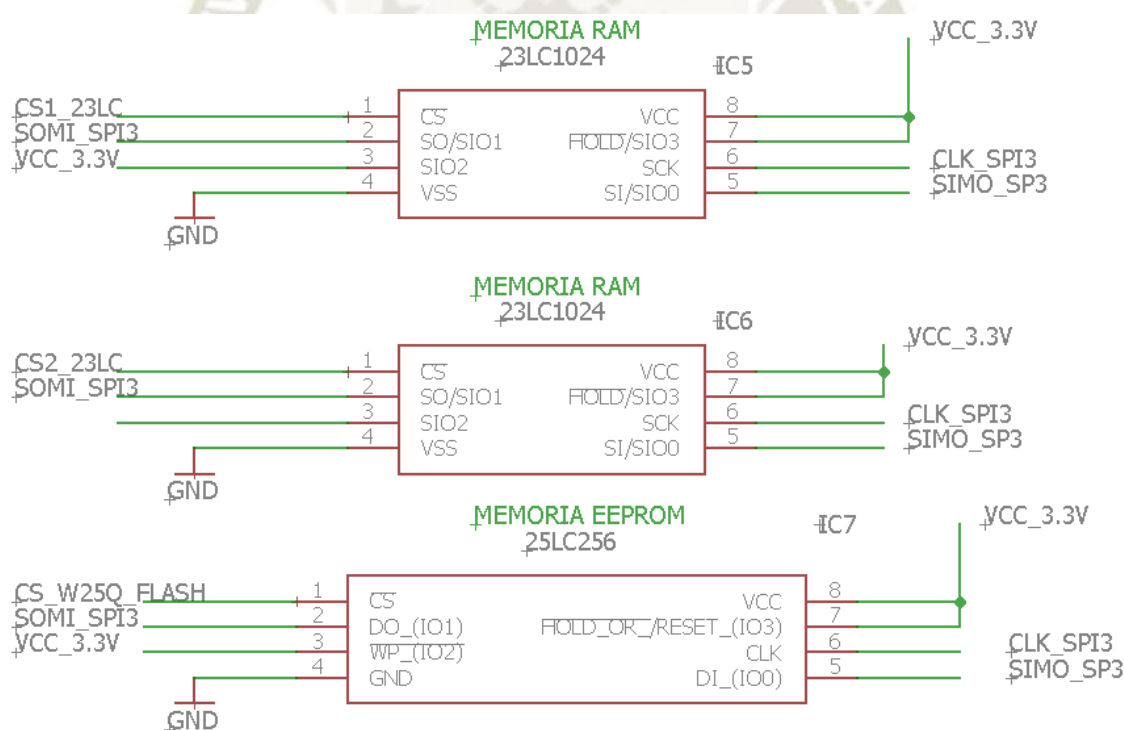
Direcciones de bus (bit)	16
Retención de datos (Años)	200 Min
Proceso tecnológico	CMOS
Tipo de interfaz	Serial – SPI
Máxima frecuencia (MHz)	10
Voltaje de alimentación (V)	3.3 a 5
Corriente (mA)	6
Temperatura	-40°C a +85°C
Numero de pines	8



Figura 3.18 Memoria EEPROM 25LC256

Fuente: Microchip – 25LC256 datasheet

2.4. ESQUEMA DE MEMORIAS RAM Y EPROM



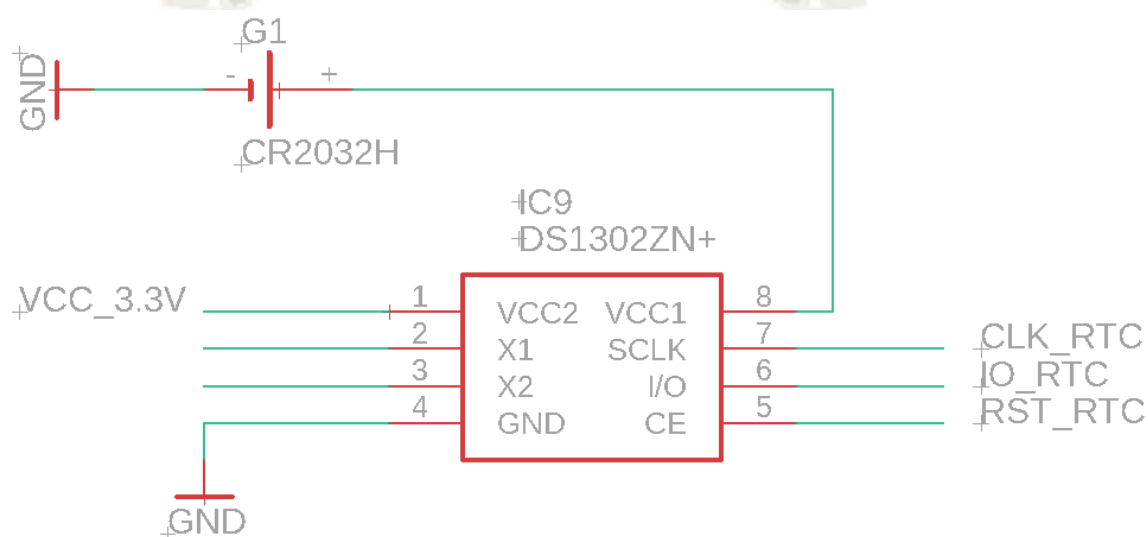
Esquemático 3.6 Circuito de memorias RAM y EEPROM

Fuente: Elaboración propia

3. ETAPA RTC

Un RTC cumple la función fundamental de interactuar con los usuarios o sistemas de acuerdo con los relojes y los calendarios del mundo real. (Somoza, 2012)

3.1. ESQUEMATICO DEL RELOJ



Esquemático 3.7 Circuito de Reloj

Fuente: Elaboración propia

3.2. CARACTERISTICAS DEL RELOJ

A. RELOJ DS1307

El reloj de tiempo real en serie (RTC) es un reloj con calendario decimal de código binario (BCD), (Geek, 2021) proporciona información sobre segundos, minutos, horas, día, fecha, mes y año. El cual se puede ajustar, también en un formato de 12 o 24 horas con indicador AM/PM.

Sus características son las siguientes:

Interfaz de bus RTC:	Serial
Formato de fecha	HH:MM: SS
Tamaño de memoria	56 Bytes
Voltaje de alimentación:	4.5V - 5.5V
Corriente de Suministro	1.5mA
Temperatura	0°C a 70°C

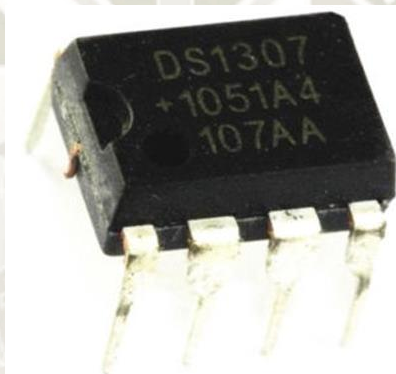


Figura 3.19 Reloj DS 1307

Fuente: Hispavila.com – Serial Real Time Clock

B. CRISTAL 32KHZ

Un cristal oscilador crea una señal eléctrica con una frecuencia precisa. Y esta frecuencia se usa generalmente para circuitos de reloj, proporcionan una señal estable para los circuitos integrados digitales. (ECS, 2021)

Sus características técnicas son las siguientes:

Frecuencia Nominal	32KHz
Capacidad de carga	12.5pF
Tolerancia de Frecuencia	30ppm
Temperatura	-20°C a 70°C



Figura 3.20 Cristal 32KHz

Fuente: m.microjpm.com – Crystal Oscillator 2x6mm

C. BATERIA CR2032

Se usan este tipo de baterías para suministrar energía a subsistemas como relojes en tiempo real, para que continúen funcionando aun después de apagar el dispositivo general. (Vinibattery, 2016)



Figura 3.21 Batería CR2032

Fuente: Servicios y suministros Kaizen – Pila CR2032 controles/PC

VI. ETAPA DE INTERFAZ HUMANO MAQUINA

Sirve como interfaz para el usuario, el cual podrá visualizar los resultados obtenidos, ingresar parámetros del motor y podrá navegar por las diferentes interfaces las cuales se verán en el capítulo 4.

1. PANTALLA TOUCH SCREEN

La pantalla Touch Screen o pantalla táctil es una pantalla sensitiva al toque del usuario, el cual le permitirá interactuar fácilmente con el equipo, presionando regiones de la pantalla donde este un botón. Este tipo de pantallas no requieren mouse o teclado. Poseen estas ventajas:

- Gran resolución de imágenes
- Resistentes a la humedad, por su cubierta sellada
- Resistentes al polvo
- No se calientan
- Dimensiones adecuadas para el área de trabajo 16''
- Sin cables a la vista del usuario.
- La pantalla es fácil de limpiar



Figura 3.22 Pantalla Touch Screen prendida

Fuente: Elaboración propia

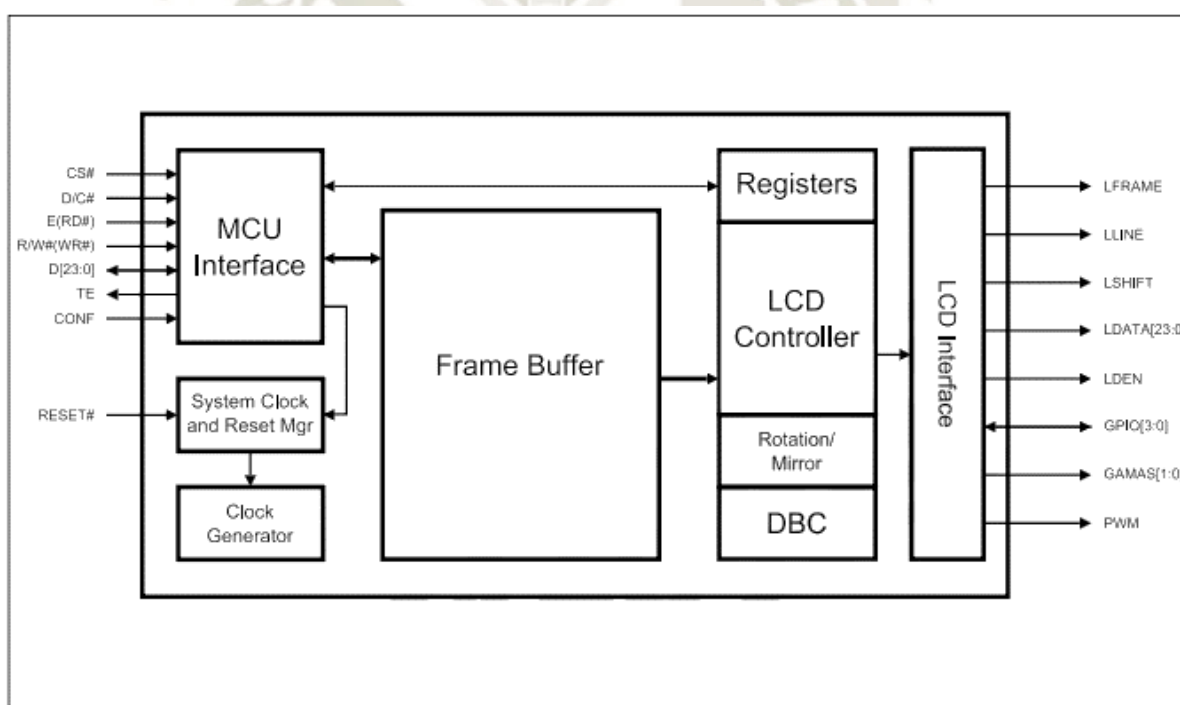


Diagrama 3.2 Diagrama de bloques de la pantalla Touch SSD 1963

Fuente: Touch SSD 1963 datasheet

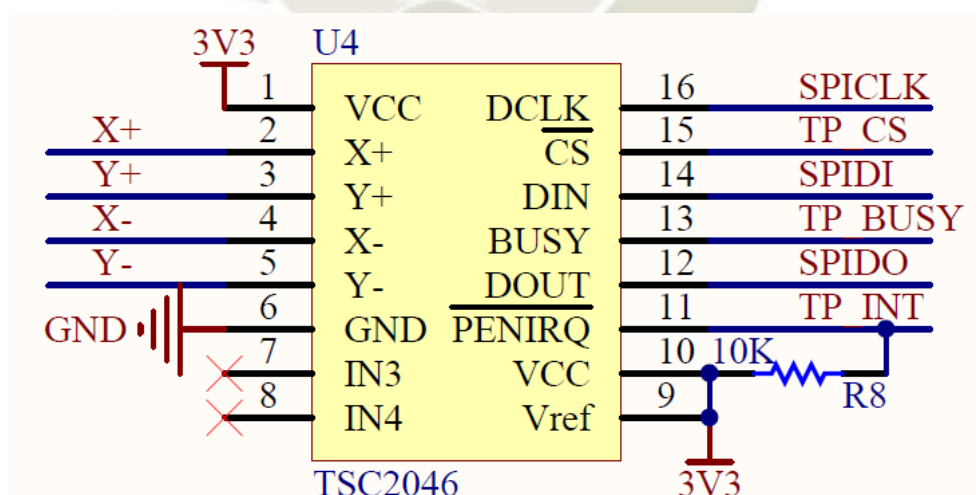
1.1. FUNCIONAMIENTO

El equipo cuenta con una pantalla táctil por donde se seleccionan las tareas y se podrá visualizar la información.

- Hora y fecha
- Análisis profundo
- Análisis en tiempo real
- Configuraciones
- SD
- Formas de espectros

1.2. CHIP TRANSDUCTOR DE RESISTENCIA A COORDENADAS

TSC 2046



Esquemático3.8 Circuito TSC2046

Fuente: Touch SSD 1963 datasheet

1.3. LAMINA TOUCH RESISTIVA

La lamina Touch resistiva se compone de dos capas de poliéster colocadas una encima de otra, entre las capas queda una cámara de aire que se obtiene con espaciadores y al ejercer presión en la pantalla, estas se oprimen hacia abajo y se produce un contacto, se produce un cambio en la corriente eléctrica y se detecta la pulsación. (Xatakamovil, 2020)

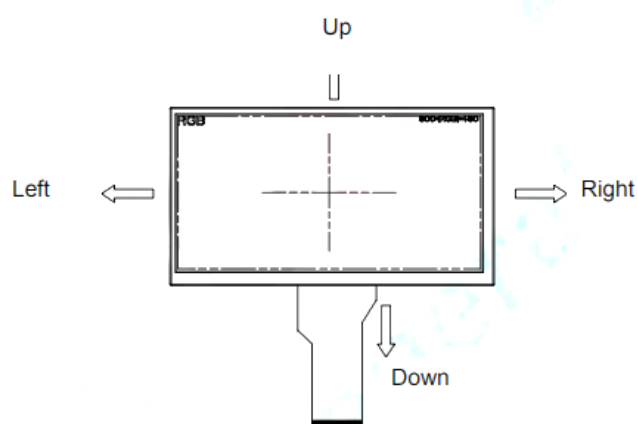


Figura 3.23 Lamina Touch Resistiva

Fuente: Touch SSD 1963 datasheet

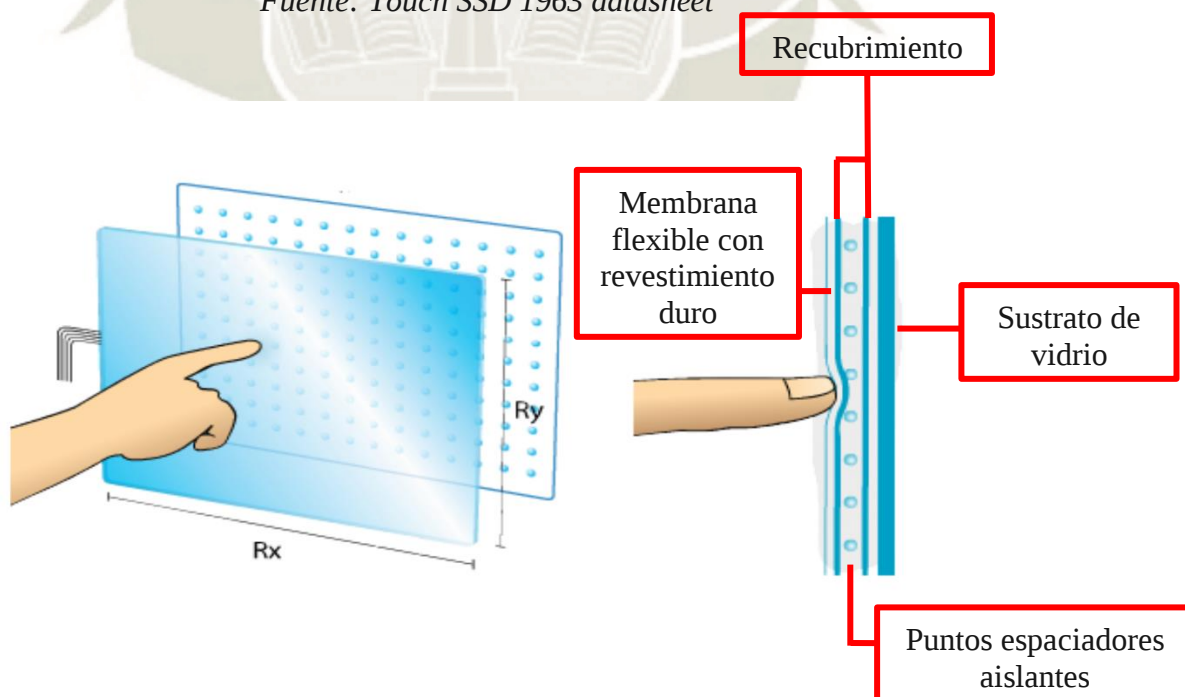


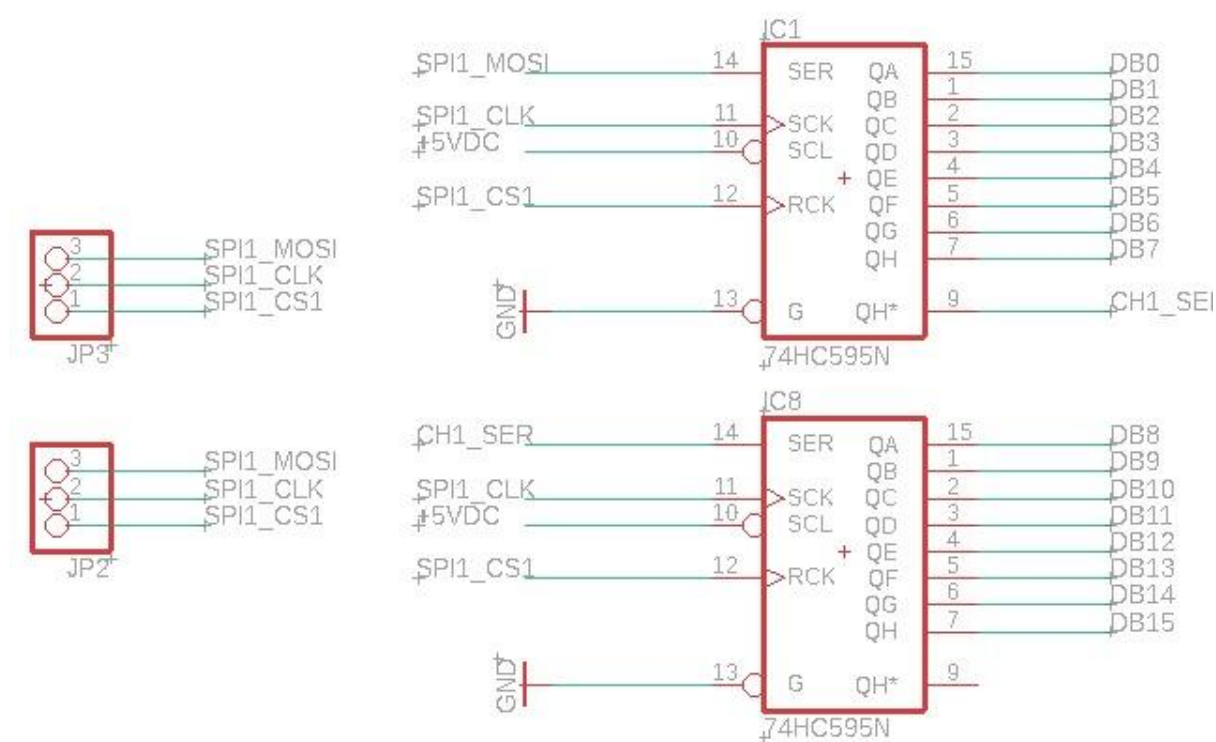
Figura 3.24 Partes de la lámina Touch Resistiva

Fuente: ADSLZone – Pantallas táctiles

1.4. CONVERTIDORES DE SERIE A PARALELO 74HC595

El circuito convertidor de serial a paralelo sirve para reducir los pines del microcontrolador hacia la pantalla Touch Screen dado que esta pantalla para su control requiere de 24 pines de control, con lo que este circuito ayuda a reducir esa cantidad a solo 8 pines. Y estos pines son:

- 5 pines de control.
- 3 pines de comunicación SPI para los convertidores de serie a paralelo 74HC595 que son de alta velocidad.



Esquemático 3.9 Convertidores de serie a paralelo 75HC595N

Fuente: Elaboración propia

1.5. CONTROLADOR DE PANTALLA DE 16 BITS SSD1963

El SSD1963 es un controlador inteligente para displays LCD de alta resolución, se encarga de generar las señales que necesita un Display, esta especificado que funcionan con procesadores de 3.3V.

Para un botón o imagen se visualice en la pantalla hay que ubicar un punto, y debemos tener una relación directa entre las coordenadas las cuales definimos (0;0) nuestra pantalla es de 400 x 800 pixeles y estos números son nuestra área definida.

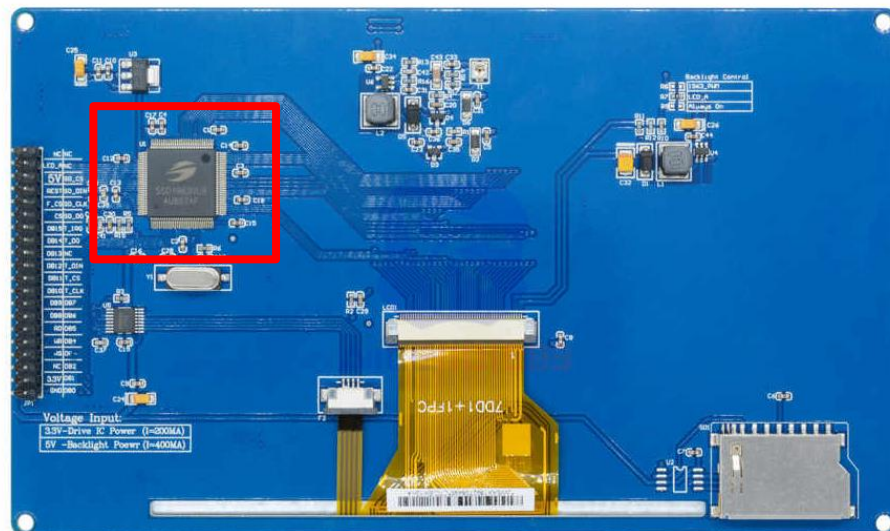


Figura 3.25 Controlador SSD1963

Fuente: Spanish Alibaba – Pantalla de 7 pulgadas Touch

1.6. CARACTERÍSTICAS DE LA PANTALLA LCD

La pantalla LCD cuenta con las siguientes características:

- Voltaje de luz de fondo: 5V
- Voltaje LCD del microcontrolador: 3.3V
- Voltaje de I/O digital: 3.3V

- Salida paralela del microcontrolador de 16 bits a LCD
- Tamaño de pantalla: 7 pulgadas
- Resolución de: 480 x800 pixeles
- Numero de colores: 16.7 Millones
- Touch: Lamina resistiva



Figura 3.26 Pantalla LCD

Fuente: Spanish Alibaba – Pantalla de 7 pulgadas Touch

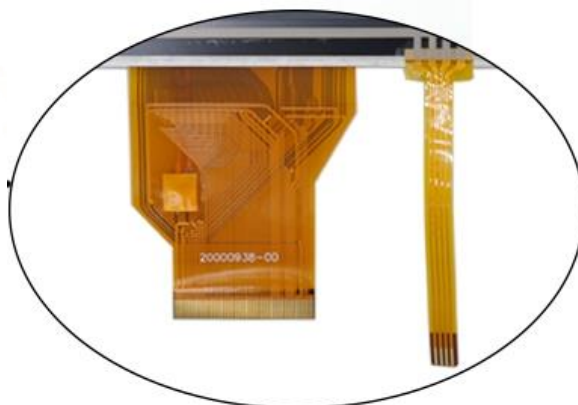
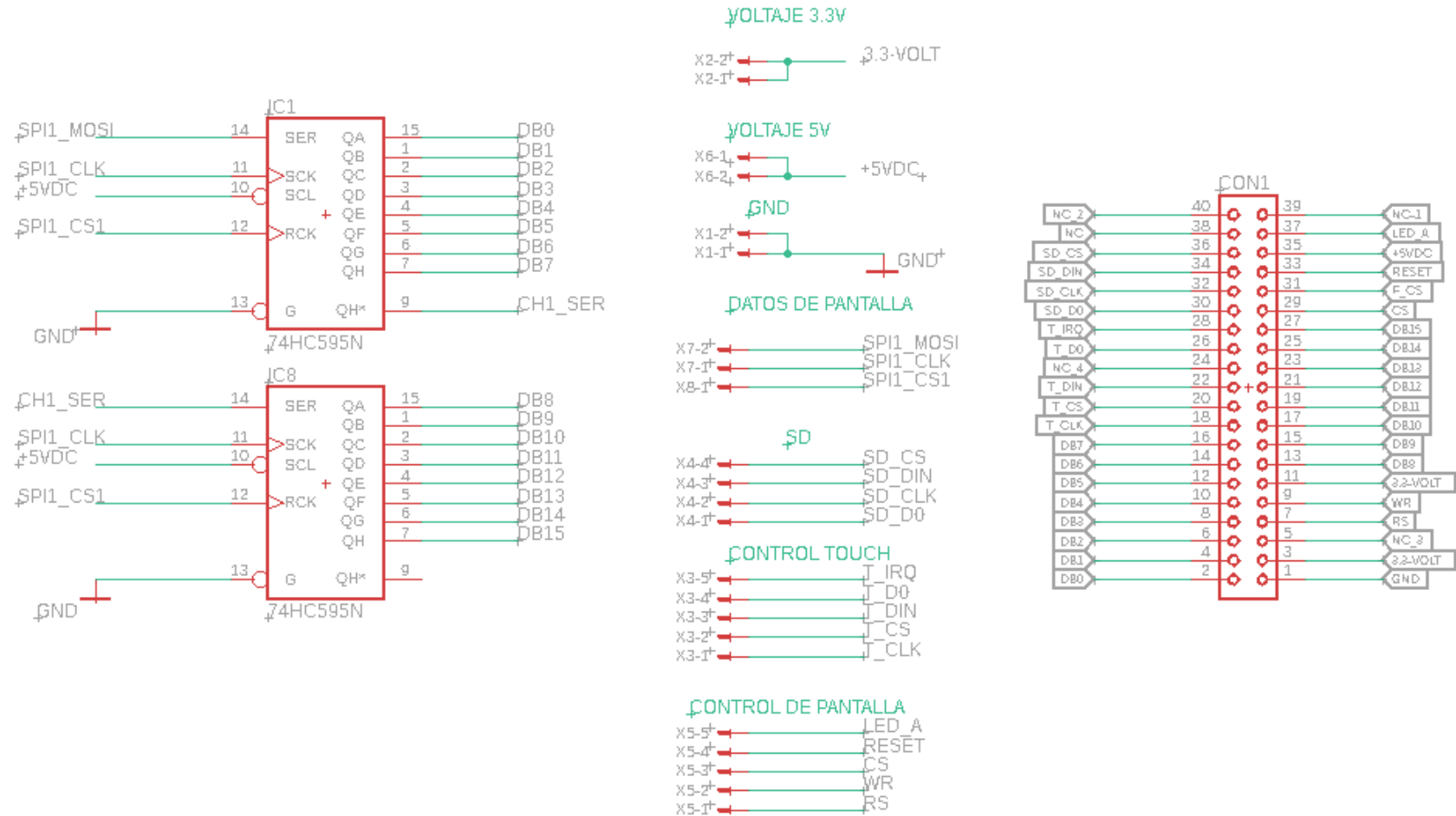


Figura 3.27 Touch de la pantalla LCD

Fuente: Spanish Alibaba – Pantalla de 7 pulgadas Touch

1.7. ESQUEMATICO DE CIRCUITO DE VISUALIZACION



Esquemático 3.10 Circuito de visualización de Pantalla

Fuente: Elaboración propia

2. MEMORIA SD

La memoria SD (Secure Digital) es un dispositivo portátil, el cual guardara la información de todo tipo de formato, existen tres tamaños: (Kignston, 2019)

- SD estándar original
- MiniSD
- MicroSD

La memoria SD guardara la información de los archivos Excel y los audios en formato WAV.

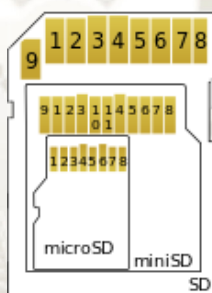


Figura 3.28 Disposición de pines de cada tamaño de tarjetas SD

Fuente: Kingston technology – Memory cards

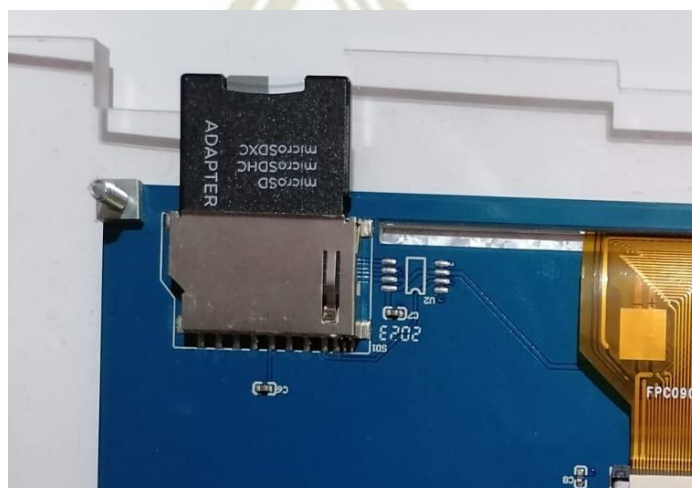


Figura 3.29 Posición de la SD en la Pantalla Touch

Fuente: Elaboración propia

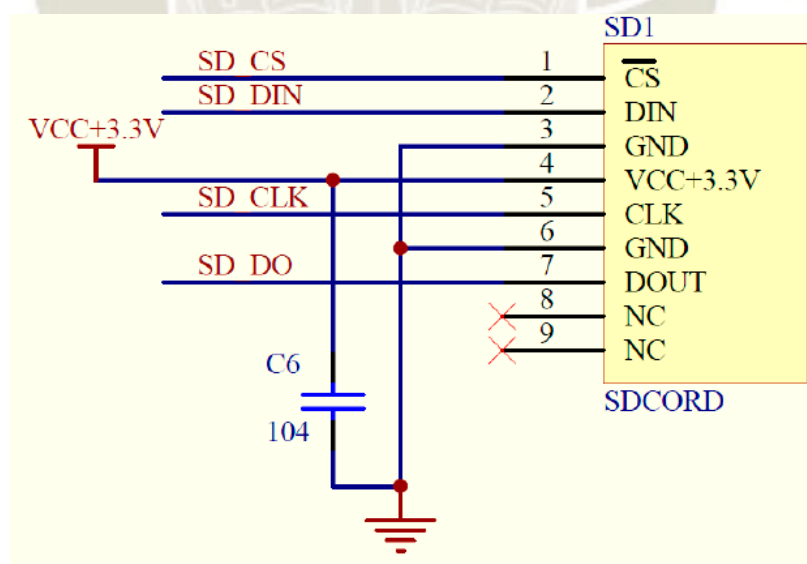
2.1. VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE DATOS QUE TIENE LA SD

Las memorias SD tienen un mínimo de velocidad de transferencia dependiendo su clase. (Xatakamovil, 2020)

CLASE	VELOCIDAD MINIMA DE ESCRITURA
2	2 MB/s
4	4 MB/s
6	6 MB/s
8	8 MB/s
10	10MB/s

Tabla 3.2 Velocidad de las memorias SD según su clase

Fuente: Xataka Basics – Clases de SD



Esquemático 3.11 Interfaz de memoria SD y Microcontrolador

Fuente: Touch SSD 1963 datasheet

2.2. LA VERSIÓN UTILIZADA ES FATFS SYSTEM MODULE

R0.11

La memoria debe tener la capacidad de ser retirada para poder visualizar toda la información en la PC. (Electronic Lives Mfg, 2021)

FatFs es un módulo de sistemas de archivos genéricos para sistemas integrados, está en la capa de entradas y salidas del disco, por lo cual es independiente y se puede incorporar en los microcontroladores.

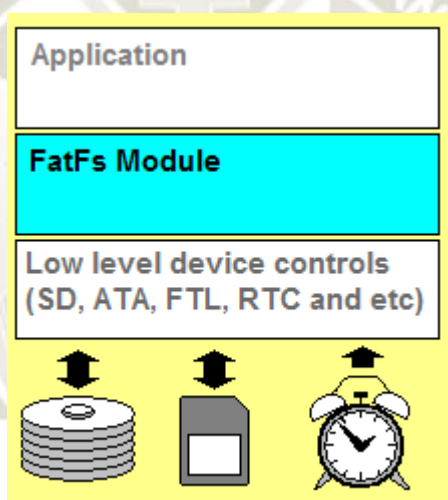


Figura 3.30 Modulo FatFs

Fuente: FatFs – Módulo de sistema de archivos FAT genérico

El módulo de control del dispositivo de almacenamiento no forma parte del módulo FatFs y debe ser proporcionado por el usuario.

A. INTERFAZ DE APLICACIÓN

FatFs proporciona varias funciones de sistemas de archivos para las aplicaciones como: (Electronic Lives Mfg, 2021)

- Accesos a archivos:
 - Abrir un archivo
 - Cerrar un archivo
 - Crear un archivo
 - Leer datos del archivo
 - Escribir datos del archivo
 - Obtener tamaño
- Accesos de directorio
 - Abre un directorio
 - Cerrar un directorio abierto

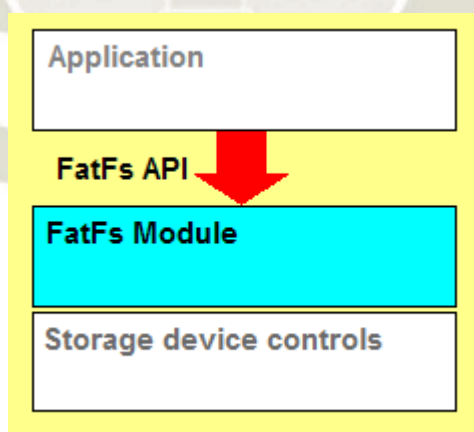


Diagrama 3.3 Diagrama de FatFs de interfaz de aplicaciones

Fuente: FatFs – Módulo de sistema de archivos FAT genérico

B. INTERFAZ DE ACCESO A MEDIOS

Los FatFs controla los dispositivos de almacenamiento a través de una sencilla interfaz de acceso. (Electronic Lives Mfg, 2021)

- Controles de dispositivos de almacenamiento
 - Obtener el estado del dispositivo
 - Inicializar dispositivo
 - Leer datos
 - Escribir datos
 - Funciones dependientes del dispositivo de control
- Reloj en tiempo real
 - Obtener la hora actual

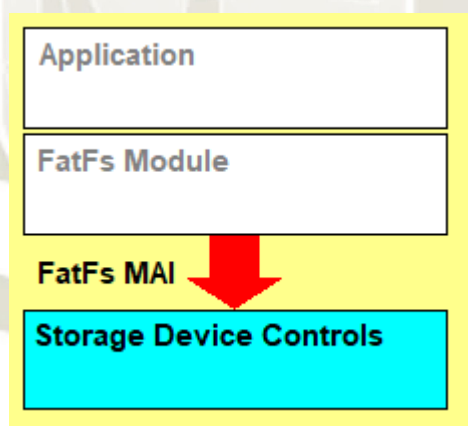


Diagrama 3.4 Diagrama de FatFs de acceso a medios

Fuente: FatFs – Módulo de sistema de archivos FAT genérico

2.3. CARACTERÍSTICAS DE MEMORIA SD KINGSTON

La tarjeta Kingston alcanza velocidades de lectura y escritura, por lo que es ideal para todo tipo de archivo, como fotos, grabaciones o música. (Kignston, 2019)

Las características son las siguientes:

- Capacidades: 4GB, 8GB, 16GB, 32GB
- Dimensiones: 11mmx15mm x1mm
- Peso: 2,7 gramos
- Transferencias de alta velocidad Clase 10, es una tasa mínima garantizada para transferencia de datos de 10MB/s.



Figura 3.31 Memoria SD Kingston

Fuente: Kingston technology – Memory cards



CAPITULO IV

DISEÑO DE SOFTWARE

En este capítulo se verá los esquemas generales de software, diagramas de flujo para mejor entendimiento de la programación que se realizó y ecuaciones matemáticas las cuales nos permitirán una mejor comprensión para que el software del microcontrolador pueda realizar la tarea impuesta y de una manera eficaz.

I. INTERFAZ GRAFICA

Para usar esta interfaz gráfica se usará el HalCoGen de la empresa Texas Instruments, el cual trabaja a la par con Code Composer Studio, las cuales son para la configuración y programación del microcontrolador.

A. HALCOGEN

HalCoGen permite al usuario configurar los periféricos, interrupciones, relojes y otros pines del microcontrolador. Teniendo esta configuración, el usuario puede generar la inicialización del periférico y de la programación. (Texas Instrument - Halcogen, 2021)

En la figura 4.18 se puede observar los diferentes módulos internos que tiene el microcontrolador y se puede diferenciar por tres diferentes colores:

- Celeste: Son habilitados en el Chip
- Gris: Son módulos reservados y controles de los registros
- Transparentes: Para el uso y configuración del usuario.

El microcontrolador que se usa es el RM46L852.

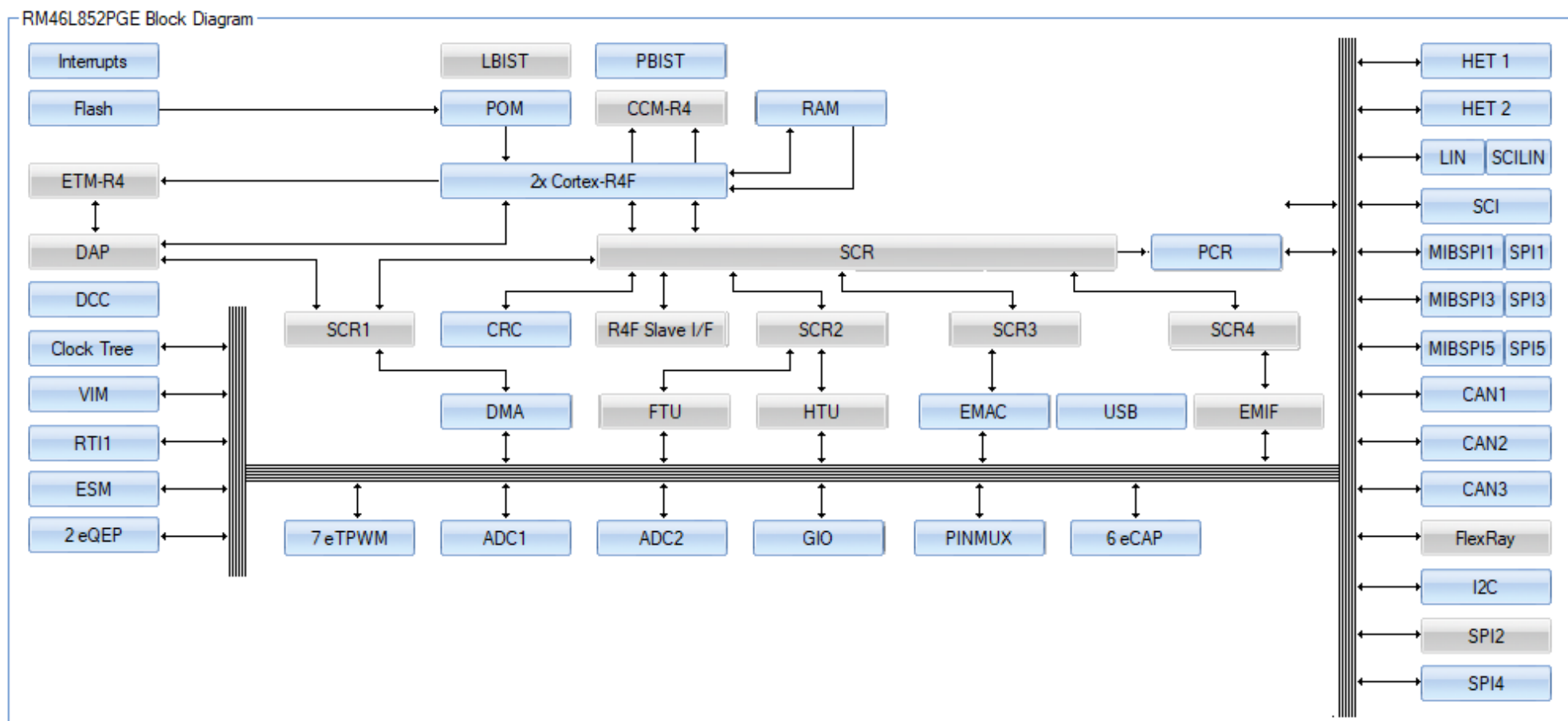


Diagrama 4.5 Diagrama de bloques de RM46L852

Fuente: Programa HALCoGen

B. CODE COMPOSER STUDIO

Code Composer Studio es un desarrollador contiene un conjunto de herramientas que se utilizan para programación del microcontrolador RM46L852, el cual incluye un compilador C++ muy optimizado, un editor de código fuente, un entorno para la creación del proyecto, depurador, generador de perfiles entre otras características. (CodeComposer, 2021)

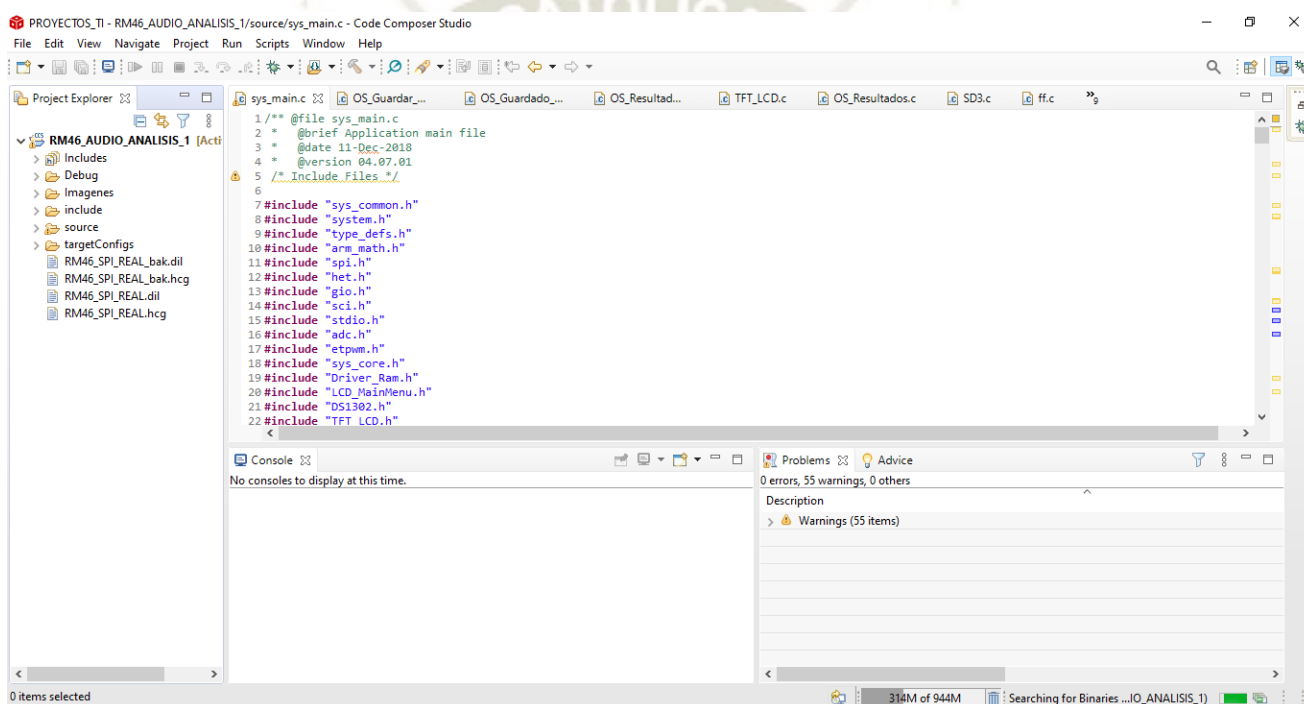


Figura 4.32 Pantalla principal de Code Composer Studio

Fuente: Programa Code Composer Studio

II. MODULOS DEL MICROCONTROLADOR

1. MODULO CONVERSOR ANALOGO DIGITAL – ADC

El microcontrolador cuenta con dos módulos independientes ADC1 y ADC2 y se utilizan independientemente. Este conversor análogo digital cuenta con una resolución de 12 bits, pero es modificable por 8 o 10 bits. (Texas

Instrument, 2021). Se están usando 4 pines Operativos para la parte del micrófono:

- Entradas del Micrófono lado Izquierdo

AD1 [2] → Amplificador de audio

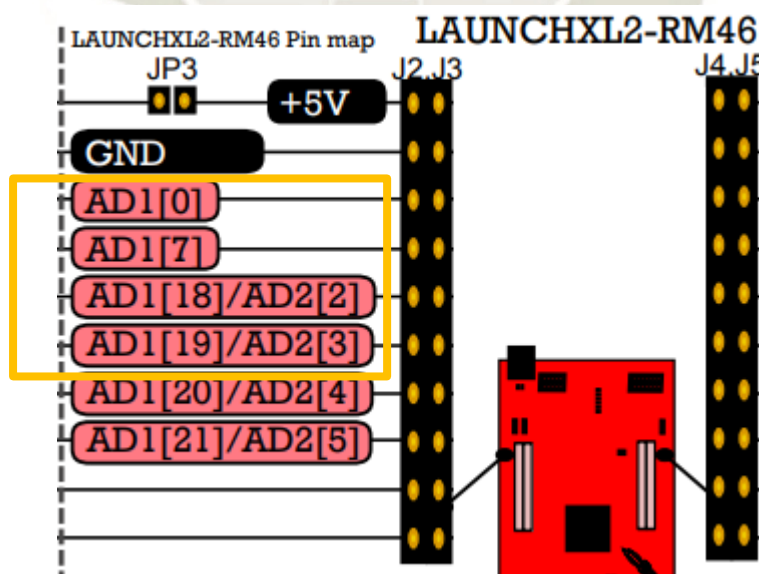
AD1 [3] → Referencia de Voltaje

- Entradas del Micrófono lado Derecho

AD1 [0] → Amplificador de audio

AD1 [7] → Referencia de Voltaje

El nivel de referencia de voltaje offset es enviado por la configuración de los OPAMP, tengamos en consideración que las señales de voltaje y corriente de este voltaje offset es muy diferente. Con esto se obtienen datos positivos y negativos en la memoria del microcontrolador.



Esquemático 4.12 Distribuciones de los canales ADC del RM46L852

Fuente: Hércules RM46L852 datasheet

ADC1 General ADC1 Group Event ADC1 Group 1 ADC1 Group 2 ADC1 Memory ADC1 Port

ADC1 Event Group Configuration

FiFo Size: 5 ☒ Enable Channel Id in Conversion Results
Data Resolution (Bit): 12_BIT ☐ Enable Continuous Conversion

ADC1 Event Group Trigger Source

EVENT Default Trigger Rising Edge: Trigger
EPWM_B Alternate Trigger Falling Edge:

ADC1 Event Group Sampling

tScan Start: tExtended tDischarge tSample tConversion End:

☐ Enable Sampling Capacitor Discharge Discharge Time: 0.00
Cycle Time: 36.36 Discharge Prescaler: 0 tDischarge (ns): 0.00
Sample Time: 300
Cycle Time: 36.36 Sample Prescaler: 7 tSample (ns): 327.24
tScanTotal (ns): 181.818 tExtended (ns): 327.24 tConversion (us): 0.473
tTotal (us): 4.183018

ADC1 Event Group Channel Selection

☒ Enable Pin 0 ☐ Enable Pin 1 ☐ Enable Pin 2 ☐ Enable Pin 3
☐ Enable Pin 4 ☐ Enable Pin 5 ☐ Enable Pin 6 ☒ Enable Pin 7
☐ Enable Pin 8 ☐ Enable Pin 9 ☐ Enable Pin 10 ☐ Enable Pin 11
☐ Enable Pin 12 ☐ Enable Pin 13 ☐ Enable Pin 14 ☐ Enable Pin 15
☐ Enable Pin 16 ☐ Enable Pin 17 ☒ Enable Pin 18 ☒ Enable Pin 19
☒ Enable Pin 20 ☐ Enable Pin 21 ☐ Enable Pin 22 ☐ Enable Pin 23

Figura 4.33 Configuración del ADC1 y ADC2, son similares

Fuente: Programa HALCoGen

Cada canal del ADC utiliza un tiempo total de 0.56 microsegundos, entonces

usamos 4 canales que utilizan un tiempo total de:

$$Tx4Canales = N^{\circ} \text{ Canales} \times \text{TiempoTotal}$$

$$Tx4Canales = 4 \times 0.56 \text{ us}$$

$$Tx4Canales = 2.24 \text{ us}$$

Para hallar la frecuencia máxima de los 4 canales de ADC seria:

$$F_{x4Canales} = \frac{1}{T_{x4Canales}}$$

Ecuación 4.13 Hallar la frecuencia máxima de los 4 canales del ADC

$$F_{x4Canales} = \frac{1}{2.24 \text{ us}}$$

$$F_{x4Canales} = 446.4 \text{ K Hz}$$

2. MODULO TEMPORIZADOR DE ALTA PRECISION HET Y GIO

2.1. HET

El módulo HET es un módulo temporizador, el cual proporciona funciones de sincronización para aplicaciones en tiempo real, funciones como medición de pulsos, comparación y señales PWM o simplemente como entrada o salida digital. (Texas Instrument - Halcogen, 2021)

A. HET – PWM

Un PWM es un módulo que cuenta con una resolución de microsegundos y se puede configurar según lo desea el usuario. Una de las aplicaciones del PWM es en el equipo analizador acústico del motor es el control del brillo de la pantalla LCD. Y funciona en microsegundos

PWM Configuration

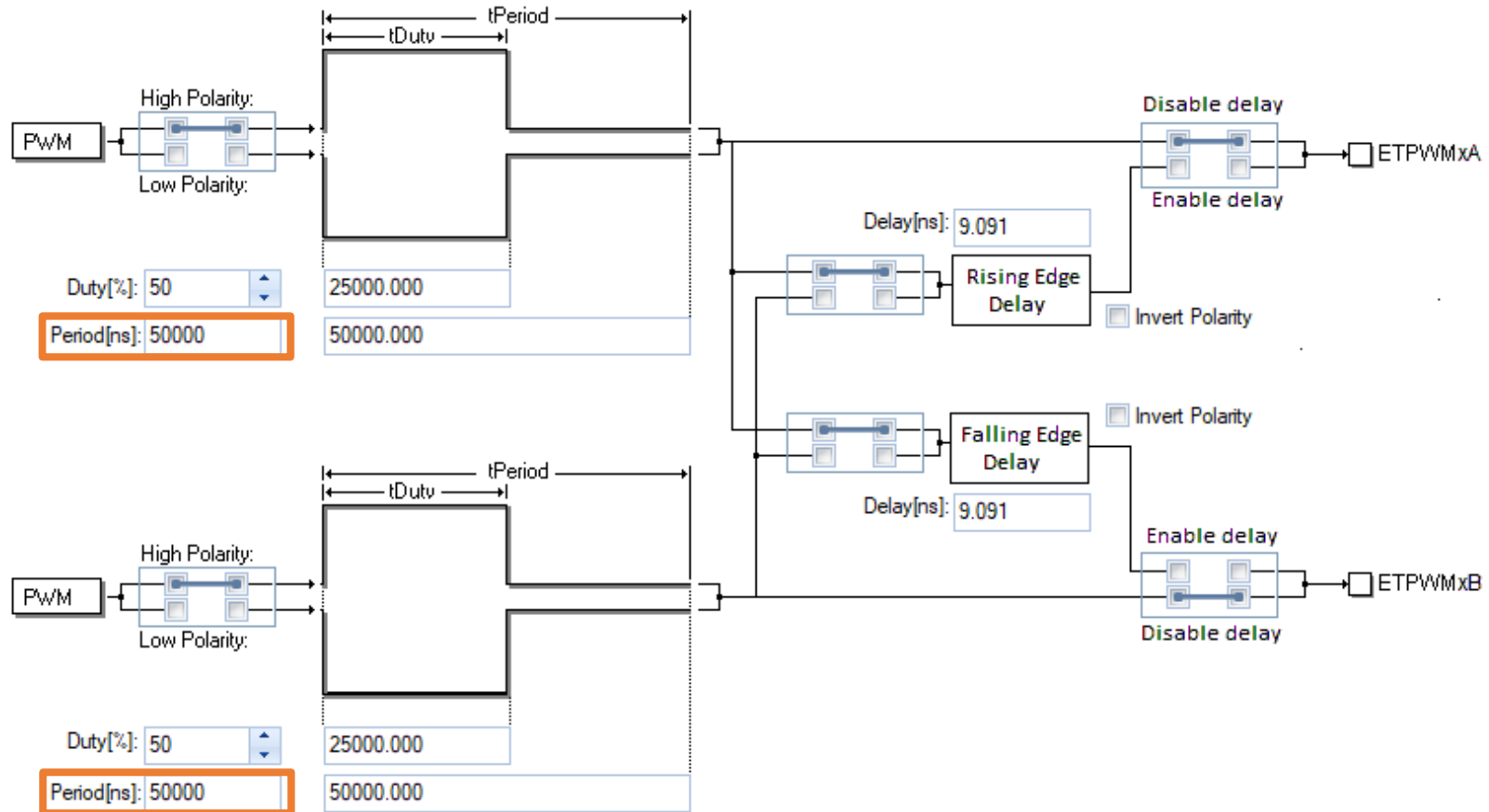


Diagrama 4.6 Diagrama de configuración PWM

Fuente: Programa HALCoGen

2.2. GIO

El módulo GIO su función principal es como entrada y salida digital, y está compuesta por un registro de 8 bits y las interrupciones se definen en la programación. (Texas Instrument, 2021)

Sirve para controlar la pantalla LCD y el buffer.

3. MODULO TEMPORIZADOR DE ALTA PRECISION ETPWM

Funciona en nanosegundos y se puede utilizar como trigger para el ADC y marcar su paso en el muestreo de señales de 50us.

A. RADIX 4

El algoritmo radix 4 divide la transformada discreta de Fourier en $N/4$ puntos, luego en $16 N/16$. Radix 4 expresa la ecuación de la transformada de Fourier en 4 sumas, luego la divide en 4 ecuaciones y de las cuales calcula cada cuarta muestra de salida. Las siguientes ecuaciones ilustran la décima de radix4 en frecuencia. (Texas Instruments Incorporated, 2017)

$$\begin{aligned}
 X(k) &= \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{nk} \\
 &= \sum_{n=0}^{N/4-1} x(n) W_N^{nk} + \sum_{n=N/4}^{2N/4-1} x(n) W_N^{nk} + \sum_{n=2N/4}^{3N/4-1} x(n) W_N^{nk} + \sum_{n=3N/4}^{N-1} x(n) W_N^{nk} \\
 &= \sum_{n=0}^{N/4-1} x(n) W_N^{nk} + \sum_{n=0}^{N/4-1} x(n + N/4) W_N^{(n+N/4)k} + \sum_{n=0}^{N/4-1} x(n + N/2) W_N^{(n+N/2)k} \\
 &\quad + \sum_{n=0}^{N/4-1} x(n + 3N/4) W_N^{(n+3N/4)k} \\
 &= \sum_{n=0}^{N/4-1} \left[x(n) + x(n + N/4) W_N^{(n+N/4)k} + x(n + N/2) W_N^{(n+N/2)k} \right. \\
 &\quad \left. + x(n + 3N/4) W_N^{(n+3N/4)k} \right] W_N^{nk}
 \end{aligned}$$

Ecuación 4.14 La décima de radix 4 en frecuencia

Fuente: Texas Instruments - Radix 4

Los tres coeficientes se pueden expresar de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 W_N^{(N/4)k} &= \left[\cos(\pi/2) - j \sin(\pi/2) \right]^k = (-j)^k \\
 W_N^{(N/2)k} &= \left[\cos(\pi) - j \sin(\pi) \right]^k = (-1)^k \\
 W_N^{(3N/4)k} &= \left[\cos(3\pi/2) - j \sin(3\pi/2) \right]^k = j^k
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, la ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N/4-1} \left[x(n) + (-j)^k x(n + N/4) + (-1)^k x(n + N/2) \right. \\
 \left. + (j)^k x(n + 3N/4) W_N^{nk} \right] W_N^{nk}$$

Para llegar a una descomposición de Fourier de cuatro puntos

$$X(4k) = \sum_{n=0}^{N/4-1} \begin{bmatrix} x(n) + x(n + N/4) + x(n + N/2) \\ + x(n + 3N/4) \end{bmatrix} W_{N/4}^{nk}$$

$$X(4k+1) = \sum_{n=0}^{N/4-1} \begin{bmatrix} x(n) - jx(n + N/4) - x(n + N/2) \\ + jx(n + 3N/4) \end{bmatrix} W_N^n W_{N/4}^{nk}$$

$$X(4k+2) = \sum_{n=0}^{N/4-1} \begin{bmatrix} x(n) - x(n + N/4) - x(n + N/2) \\ - x(n + 3N/4) \end{bmatrix} W_N^{2n} W_{N/4}^{nk}$$

$$X(4k+3) = \sum_{n=0}^{N/4-1} \begin{bmatrix} x(n) + jx(n + N/4) - x(n + N/2) \\ - jx(n + 3N/4) \end{bmatrix} W_N^{3n} W_{N/4}^{nk}$$

Ecuación 4.15 Descomposición de Fourier de cuatro puntos

Fuente: Texas Instruments - Radix 4

$X(4k), X(4K + 1), X(4K + 2)$ y $X(4K + 3)$ cada uno de los puntos es la suma de cuatro muestras de entrada $X(n), X(n + N/4), X(n + N/2)$ y $X(n + 3N/4)$ cada uno multiplicado por $+1, -1, j$, o $-j$.

Los cuatros puntos de la transformada de Fourier constituyen el cálculo de mariposa de la transformada de Fourier de radix 4.

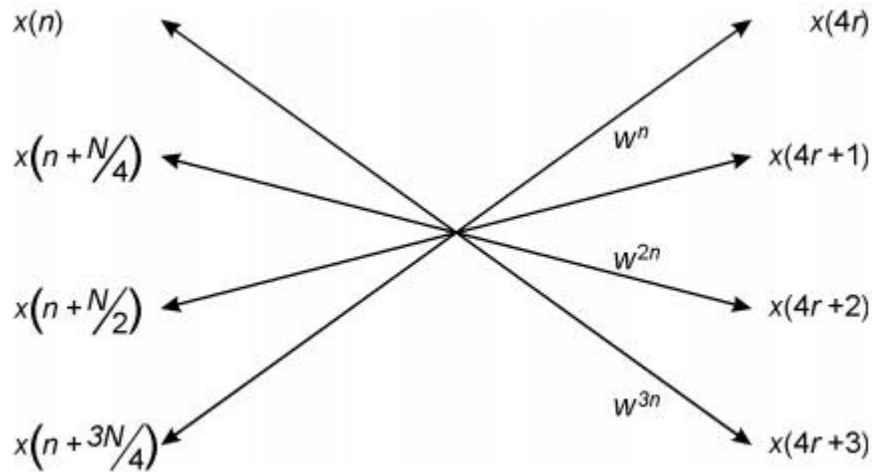


Figura 4.34 Radix 4 Transformada de Fourier

Fuente: Texas Instruments - Radix 4

Los valores de salida reales e imaginarios para la mariposa radix 4 son dado por estas ecuaciones.

$$\begin{aligned} x a' &= x a + x b + x c + x d \\ y a' &= y a + y b + y c + y d \\ x b' &= (x a + y b - x c - y d) C b - (y a - x b - y c + x d) (-S b) \\ y b' &= (y a - x b - y c + x d) C b + (x a + y b - x c - y d) (-S b) \\ x c' &= (x a - x b + x c - x d) C c - (y a - y b + y c - y d) (-S c) \\ y c' &= (y a - y b + y c - y d) C c + (x a - x b + x c - x d) (-S c) \\ x d' &= (x a - y b - x c + y d) C d - (y a + x b - y c - x d) (-S d) \\ y d' &= (y a + x b - y c - x d) C d + (x a - y b - x c + y d) (-S d) \end{aligned}$$

Ecuación 4.16 Valores de salida reales e imaginarios para la mariposa radix4

Fuente: Texas Instruments - Radix 4

Por lo general se requieren más de cien operaciones para calcular el Radix 4

Stage	1	2	3		$\log_2 N/2$
Butterfly Group	1	4	16		$N/4$
Butterflies per Group	$N/4$	$N/16$	$N/64$		1
Dual Node Spacing	$N/4$	$N/16$	$N/64$		1
Twiddle	leg0	0	0		0
Factor	leg2	n	$4n$		$(N/4)n$
Exponent	leg3	$2n$	$8n$		$(N/2)n$
	leg4	$3n$	$12n$		$(3N/4)n$
		$n = 0 - N/4 - 1$	$n = 0 - N/16 - 1$	$n = 0 - N/64 - 1$	 $n=0$

Tabla 4.3 Resumen de las características de una Transformada de Fourier de N puntos Radix 4

Fuente: Texas Instruments - Radix 4

4. MODULO DE INTERRUPCION EN TIEMPO REAL (RTI)

Este módulo RTI tiene varios contadores, los cuales se pueden configurar según el usuario lo necesite además son interrupciones en tiempo real en el sistema. Para definir la frecuencia en la que debe operar el módulo se hace a través de los registros RTI1CLK el cual está a 110M Hz.

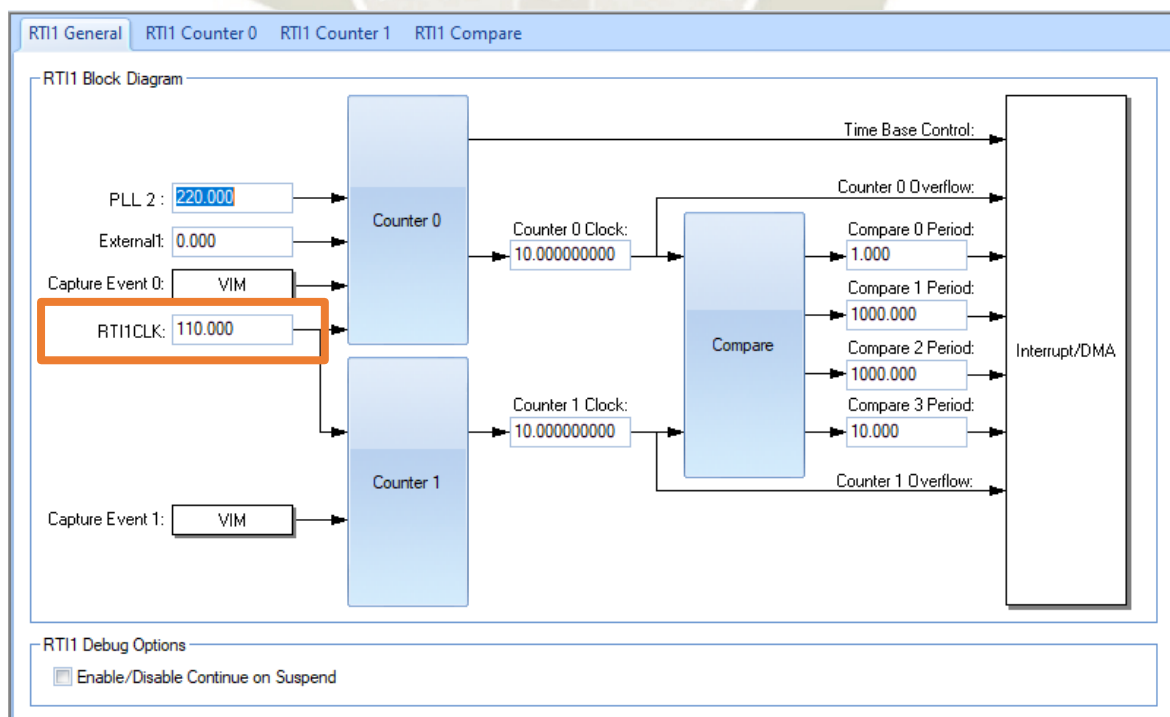


Diagrama 4.7 Diagrama de RTI

Fuente: Programa HALCoGen

Este módulo RTI este compuesto por dos contadores y un comparador.

A. CONTADOR

Mencionado anteriormente, el RTI tiene dos contadores, el contador nos permite la configuración para el tiempo de conteo y se puede modificar según el usuario lo requiera como un contador para la temporización larga y otro para una temporización corta, trabajan de forma independiente. (Texas Instrument - Halcogen, 2021)

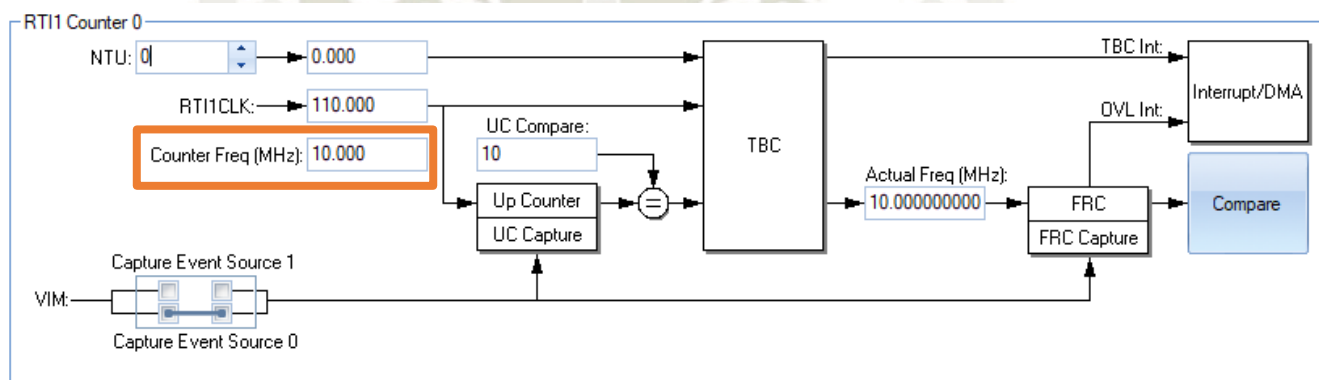


Diagrama 4.8 Diagrama de bloques de Contador 0

Fuente: Programa HALCoGen

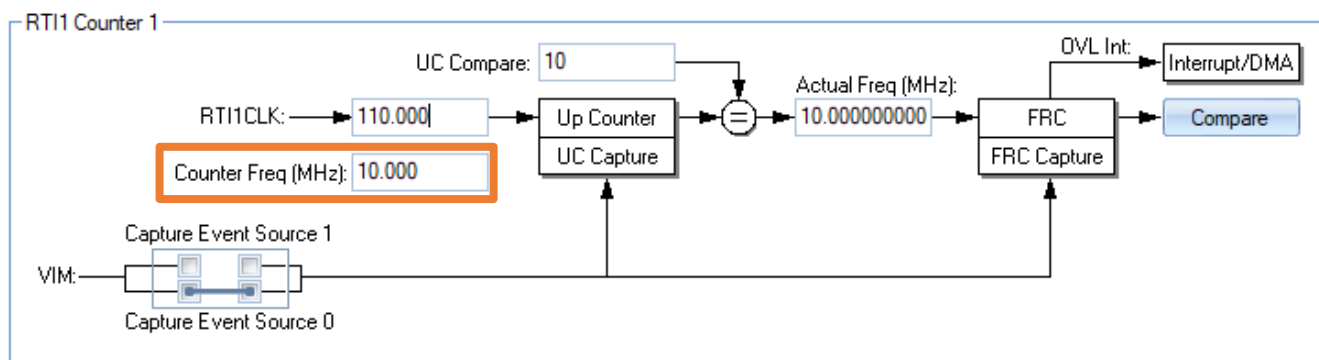


Diagrama 4.9 Diagrama de bloques de Contador 1

Fuente: Programa HALCoGen

B. COMPARADORES

COMPARADOR	PERIODO (ms)	FUNCION
0	1	Para refrescar SD
1	1000	Actualiza la pantalla LCD y refrescar la comunicación SD
2	1000	Temporización para apagar y prender la pantalla.

Tabla 4.4 Configuración de comparadores con sus funciones

Fuente: Programa HALCoGen

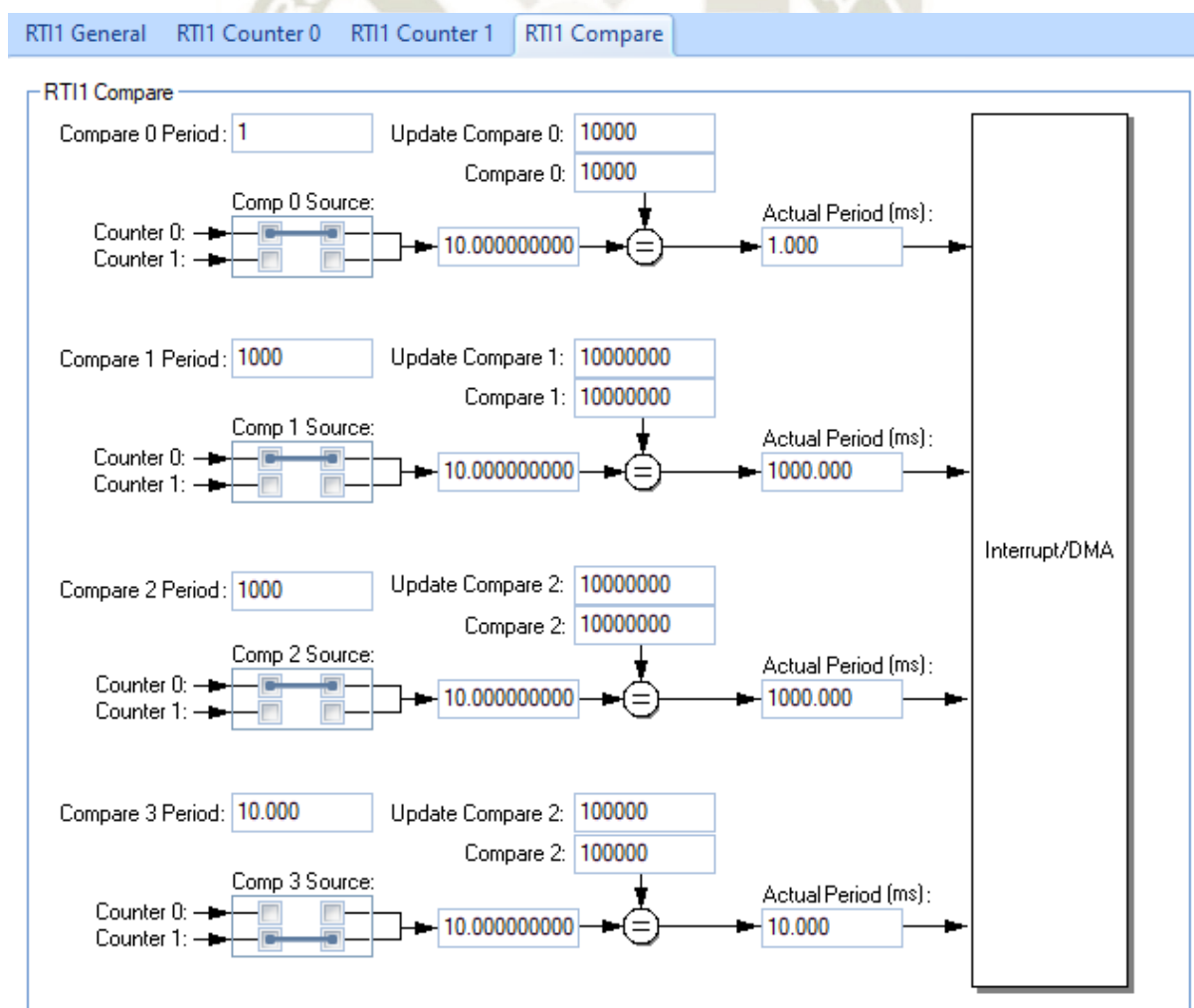


Diagrama 4.10 Diagrama de bloques del Comparador

Fuente: Programa HALCoGen

5. MODULO INTERFAZ SERIAL PERIFERICOS (SPI)

SPI es un estándar de comunicaciones, principalmente para transferir la información entre circuitos integrados.

El equipo hace uso de 3 módulos SPI, a continuación, se ve más explícito en la tabla 4.3.

MODULO SPI	BAUDRATE (HZ)	FUNCION
SPI 1	22000 Hz	Para comunicarse con el módulo que controla la pantalla Touch.
SPI 3	10 M Hz	Para el control de una memoria EEPROM (25LC256), la cual almacena la configuración general del equipo.
	40 M Hz	Para el control de la memoria RAM (23LC1024) de dos memorias 20 M Hz
SPI 5	10 M Hz	Para el control de la memoria SD.

Tabla 4.5 Función de cada módulo SPI

Fuente: Programa HALCoGen

6. ENTRADAS Y SALIDAS DEL MICROCONTROLADOR

El microcontrolador RM46L852 cuenta con periféricos para aplicaciones basadas en control en tiempo real. Tiene 44 pines de I/O, 7 mejorados módulos de PWM con 14 salidas, y dos convertidores de analógico a la digital de 12 bits (ADC) que admiten hasta 24 entradas, como la AND y XOR. Las entradas y salidas se configuran en el programa HALCoGen. (Texas Instrument, 2021)

Para nuestro equipo el módulo de I/O para la pantalla LCD utiliza 24 pines para el control de la pantalla.

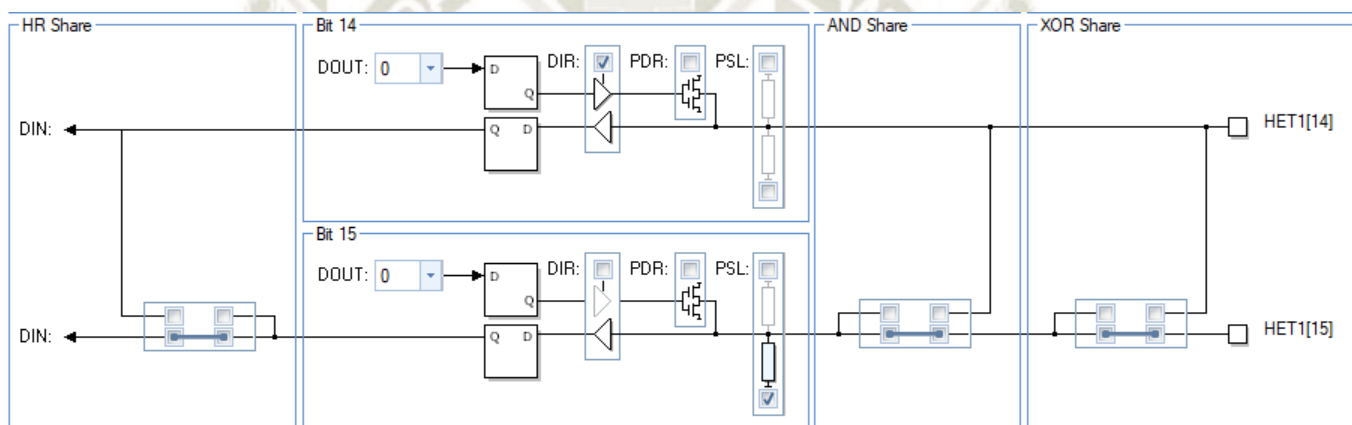


Diagrama 4.11 Diagrama de configuración de Entradas y Salidas

Fuente: Programa HALCoGen

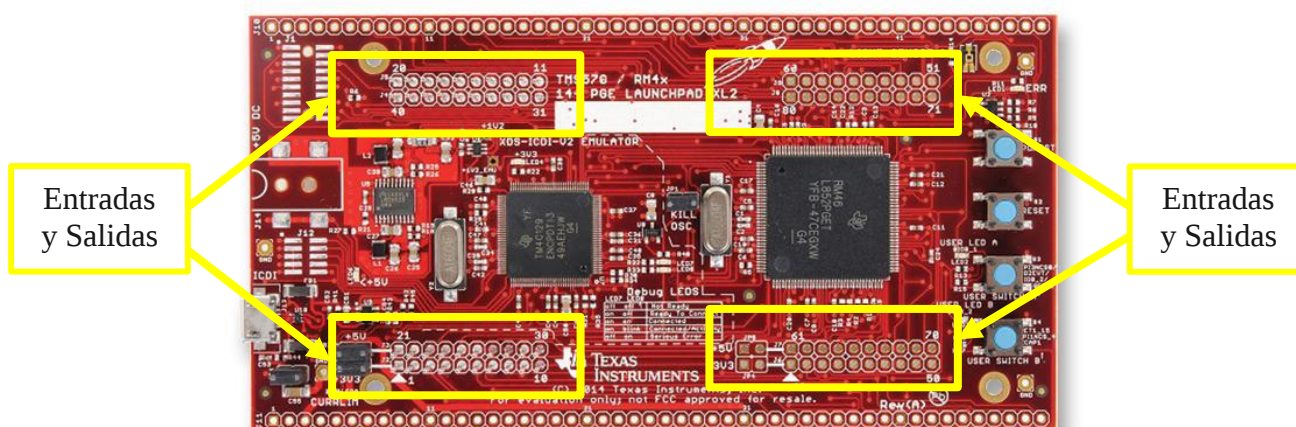


Figura 4.35 Entradas y salidas del microcontrolador

Fuente: Hércules RM46L852 datasheet

III. APLICACIÓN MATEMÁTICA PARA EL ANÁLISIS

A. FOURIER

Este establece cualquier onda periódica y es representada por una superposición de sinusoides de frecuencia en relación armónica.

La frecuencia fundamental de estos armónicos está dada por la frecuencia de repetición de la onda periódica a representar. Para lo cual usamos un procedimiento matemático para obtener la amplitud y fase de cada armónico. (Conceptos claros, 2011)

La determinación de los componentes en movimiento periódico se denomina análisis de Fourier y la combinación de una serie de armónicos en movimiento complejo se denomina síntesis de Fourier.

Las cantidades determinadas para un análisis en frecuencia de cada componente, amplitud y fase inicial de cada armónico.

Para el procesamiento de las señales, tenemos el algoritmo nos facilita la transformada rápida de Fourier para obtener el espectro que posteriormente será analizado, y a partir de tener cierta información de la transformada de Fourier se convierte la señal acústica en un espectro, es decir cambian de tiempo a un dominio de frecuencia.

Factor multiplicativo seleccionado por Fourier para realizar la operación radix4.

$$radix\ 4 = K = 4$$

B. NYQUIST

Nyquist es un teorema para digitalizar una señal análoga, demuestra la reconstrucción exacta de una señal periódica continua en banda base a partir de sus muestras obtenidas, es matemáticamente posible ver si la señal es limitada y la tasa de muestreo es superior al doble de su ancho de banda.

Según la información proporcionada de la tesis, donde nos indica que los motores tienen un ancho de banda de 5KHz, por lo cual se procede a realizar los siguientes cálculos de diseño. (Juca Vivar, Febrero 2015)

$$Bw = 5KHz$$

Realizando los cálculos de Nyquist

$$Fs > BW$$

$$Fs = K \times BW$$

$$Fs = 4 \times 5KHz$$

$$Fs = 20K Hz$$

En cuanto a Nyquist nos indica que debe ser dos veces el ancho de banda, pero para asegurar un correcto muestreo, hemos seleccionado 2.5 de factor multiplicativo.

$$Ts = 2.5 \times 20K Hz$$

$$Ts = 50K Hz$$

Aquí es donde se define el periodo con una frecuencia de 20K Hz

$$Periodo = \frac{1}{20K Hz}$$

$$Periodo = 50 us$$

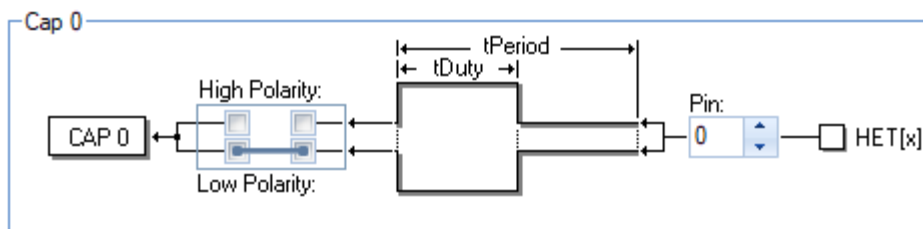


Diagrama 4.12 Diagrama de configuración capturado temporal

Fuente: Programa HALCoGen

Hacemos nuestros cálculos matemáticos, teniendo en consideración que el microcontrolador Hércules RM46L852 tiene un ADC de 12 bits.

C. MEMORIAS RAM EXTERNA

Se añadirá dos memorias externas para mayor velocidad y capacidad para almacenar los datos y archivos de audio.

La frecuencia de audio establecida para audio y video es 44100Hz. Se desea almacenar:

$$44100 \text{ muestras} \rightarrow 1 \text{ segundo de audio}$$

En una memoria RAM tiene 128 K Bytes

$$1 \text{ RAM} = 128 \text{ K} \times 8 \text{ bits} \rightarrow 64000$$

Para saber el tamaño del archivo audio a guardar, debemos saber cuánto tiempo demorara. Para saber el tamaño de audio:

$$T_{\text{audio}} = \frac{64000}{44100}$$

$$T_{\text{audio}} = 1.45 \text{ s}$$

Tiempo de grabación debe ser de 3.2 segundos

$$1 \text{ memoria almacena} = 1.45 \text{ s}$$

Calculamos cuantas memorias necesitaremos:

$TT = \text{tiempo total}$

$Tm = \text{tiempo que almacena la memoria}$

$$N^{\circ} \text{ memorias} = \frac{TT}{Tm} = \frac{3.2}{1.45} = 2$$

Cuanta memoria RAM necesitamos:

$$2 \times 128 \text{ K} = 256 \text{ K bits}$$

$$\frac{256 \text{ K bits}}{8} = 32 \text{ Kbytes}$$

Dentro de la memoria del microcontrolador Hércules RM46L852, hallaremos el límite del tamaño de consumo de memoria.

$$191 \text{ K bytes} \times 8 = 1528 \text{ K bits}$$

Teniendo los anteriores datos, hallamos las respectivas soluciones.

Al usar las memorias RAM $\rightarrow$ 20M Hz y cada una usa un tiempo de 0.05 μ s para transmitir un bit. Por lo tanto, para una palabra de 8 bits se utiliza 0.4 μ s.

$$1 \text{ Bit} \rightarrow 0.05 \mu\text{s}$$

$$1 \text{ Byte} = 8 \times 0.05 \mu\text{s}$$

$$1 \text{ Byte} = 0.4 \mu\text{s}$$

Pero para este equipo se escribirán en 2 bytes, porque el ADC nos da datos de 12 bits en un formato de uint16 (sin un signo de 16 bits), esto se divide en dos archivos de 16 bits, por lo tanto, para escribir el dato de audio la memoria RAM externa se requiere de 0.8 μ s.

$$2 \text{ Byte} = 0.4 \mu\text{s} \times 2$$

$$2 \text{ Byte} = 0.8 \mu\text{s}$$

Para una memoria SD

$$\frac{MB}{s} = \frac{1}{0.4\mu\text{s}} = 2.5 \text{ MB/s}$$

Usaremos memorias SD de clase 10 $\rightarrow$ 10MB/s

$$\frac{10 \text{ MB}}{8MB} = 1.25 \text{ M Hz}$$

D. TIEMPO DE GRABACION POR CADA LADO

El equipo cuenta dos memorias RAM las cuales son 23LC1024. Cada uno con 1Mbits con comunicación SPI y una taza de escritura 20MHz, la cual es la máxima recomendada por el fabricante. Estas memorias se organizan en 128 Kbits x 8 bits.

El ADC del microcontrolador entrega 12 bits como se mencionó anteriormente, por lo tanto, no se puede almacenar en un registro de 8 bits.

Las memorias RAM vienen desde fabricación con un registro interno de 8 bits, como consecuencia se necesita unir dos registros de 8 bits para tener un registro de 16 bits.

Por lo tanto, la capacidad máxima de la memoria RAM de 128 Kbits se dividirá entre dos para obtener un registro de 16 bits.

$$\frac{128Kbytes}{2} = 64K \text{ uint } 16$$

Este tamaño de memoria se aplica para la izquierda y la derecha, las cuales cuentan con dos memorias y cada memoria funciona independientemente para cada lado.

Para realizar el cálculo máximo de la grabación y del tiempo en la memoria RAM, se debe tener en cuenta el periodo de muestreo.

$$N^{\circ} \text{ de muestras por canal} = 64000$$

$$\text{Periodo de muestreo} = 50us$$

Hallamos el tiempo máximo de grabación

$$T_T = Ns \times Ts$$

$$T_T = 64000 \times 50us$$

$$T_T = 3.2 \text{ s}$$

Significa que el tiempo de muestreo de la memoria por canal debe ser de 3.2s

E. CANTIDAD DE MUESTRAS DE AUDIO

La librería DSP nos permite 2048 muestras. Hallamos el tiempo total de la muestra:

$$2048 * 50 \text{ us} = 102400 \text{ us}$$

A milisegundos seria 102.4 ms

$$\frac{1}{102.4 \text{ ms}} = 9.76$$

$$1000 - 3.84 = 996.16 \text{ ms}$$

$$\frac{996.16 \text{ ms}}{102.4 \text{ ms}} = 9.72 \text{ ms}$$

Calculamos con 9 muestras

$$102.4 \times 9 = 921.6 \text{ ms}$$

Calculamos con 10 muestras

$$102.4 \times 10 = 1024$$

IV. BATERIA

Para la visualización de la batería en porcentaje en la pantalla del equipo.

Tenemos 2.5 V estables del diodo Zener y tenemos 2.5V directos de batería y se debe visualizar cuando la batería esta baja.

$$\text{Bateria } 5 \rightarrow 4.5 \text{ V}$$

Resolución de conversión

$$\text{Resolución} = V_{\text{ref}} \mp \frac{(V_{\text{ref}} \pm V_{\text{ef}})}{4095}$$

Ecuación 4.17 Ecuación de la resolución de conversión

Fuente: Megataller.com

$$V_{\text{ref}+} = V_{\text{source}} = 5V \text{ de batería}$$

$$V_{\text{ref}-} = 0V = GND$$

$$4095 = \text{Conversion de 12 bits}$$

$$\text{Resolución} = 0 + \frac{(5 - 0)}{4095}$$

$$\text{Resolución} = 0.00122$$

Con esto podemos tener el voltaje de fuente. Tengamos en consideración la siguiente Tabla 4.6. Donde observamos que si la batería llega a 4.72 debemos cargar la batería.

VOLTAJE	PORCENTAJE DE CARGA	ACCION REQUERIDA
5.00	100 %	No se requiere acción
4.92	75%	No se requiere acción
4.80	50%	Batería necesita carga
4.72	25%	Batería necesita más recarga urgente
<4.72	0	La batería no se usó en mucho tiempo

Tabla 4.6 Porcentaje de carga del voltaje

Fuente: Megataller.com

En la siguiente tabla se muestra el voltaje de batería con su margen de error teniendo en cuenta los datos de la Tabla 4.6.

VOLTAJE	VOLTAJE REGULABLE 3.3V	RESOLUCIÓN ADC	CONVERSIÓN A VOLTAJE	ERROR
5.00	3.30	0.000805888	2.50228288	0%
4.92	3.25	0.000792994	2.462246354	4%
4.80	3.17	0.000773653	2.402191565	10%
4.72	3.12	0.000760758	2.362155039	14%

Tabla 4.7 Tabla de voltaje de batería y margen de error

Fuente: Elaboración propia

V. METODOS DE ANALISIS DEL EQUIPO ANALISIS EN TIEMPO REAL

1. MOTOR DE CALCULO

El motor de cálculo se implementó para que tenga todas las operaciones matemáticas y poder procesar la información obtenida del motor, y este motor de cálculo funciona según la opción que se escoge. Análisis en tiempo real o análisis profundo.

El motor de cálculo tiene las operaciones como:

- Cálculo del máximo
- Cálculo del mínimo
- Cálculo del valor medio
- Cálculo del RMS
- Cálculo de la varianza
- Cálculo de la desviación estándar
- Cálculo de los promedios
- Transformada de Fourier

El código de programación de estos cálculos matemáticos es sacado de la página Texas Instruments.

Las memorias RAM y la EEPROM trabajan junto con el motor de cálculo.

2. ANALISIS EN TIEMPO REAL

El análisis en tiempo real es una visualización rápida del espectro del motor, es un análisis que se realiza cada un segundo utilizando el motor prendido.

En este análisis podremos guardar el audio en un archivo WAV de ambos lados.

3. ANALISIS PROFUNDO

El análisis en profundo se hizo de dos tipos de análisis, el primero es en el tiempo y el segundo es en frecuencia.

A. ANALISIS EN TIEMPO

Se puede visualizar la forma de onda, se calcula la presión máxima, el punto máximo y mínimo, se ve por ventanas, se calcula un promedio, se calcula una tabla con todos los promedios y los datos que hay en la memoria.

B. ANALISIS EN FRECUENCIA

El análisis en frecuencia es un método de análisis por ventana, sacamos 2048 de ambos lados, utilizamos la transformada de Fourier, radix4 para obtener el resultado de 512 valores de Fourier lo que se considera una muestra, y así se le considera hasta sacar 31 espectros.

Luego se promedia los 31 espectros para obtener un espectro suavizado de Fourier.

Junto con el motor de cálculo, se busca el valor máximo y se busca la frecuencia de máximo, también se calcula el RMS del espectro. Luego se imprime en la pantalla de la LCD el espectro.

4. MOVIMIENTO DE DATOS DE LA MEMORIAS

Se muestrea los datos obtenidos en la medición del motor y se guardan en la memoria RAM.

Dentro de la memoria RAM se extrae los datos desde el motor de cálculo. Se realizan las operaciones y se sacan los resultados. Estos resultados se almacenan en la memoria EEPROM, para luego crear archivos WAV. Luego se saca los datos de la memoria RAM y se almacenan en la SD.

Los archivos EXCEL se sacan los datos de la memoria RAM, luego se almacena en la SD.

A. ARCHIVOS WAV

Los archivos WAV son archivos de audio que son la grabación del sonido que emite el motor y se obtienen durante la medición del equipo al motor, este audio se guarda de ambos lados del micrófono incorporado en el estetoscopio (derecho e izquierdo), los archivos se guardan en la memoria SD. (it-swarm-es.com, 2014)



Figura 4.36 Archivos WAV
Fuente: Elaboración propia

Estos archivos se pueden reproducir en la computadora o laptop.



Figura 4.37 Reproducción del archivo WAV
Fuente: Elaboración propia

B. ARCHIVOS EXCEL

Los archivos Excel es el informe que se genera con los datos del motor (placa del motor), también los datos obtenidos por la medición del Equipo como el resultado de análisis de tiempo y de frecuencia. Estos

archivos se guardan en la memoria SD. El formato utilizado para guardar los archivos Excel es CSV. (Stackoverflow, 2017)

Estos archivos se sacará la información de los espectros para poder analizarlos detalladamente y poder sacar futuras conclusiones.

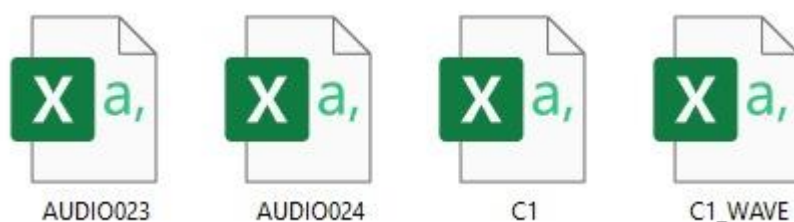


Figura 4.38 Archivos Excel

Fuente: Elaboración propia

	A	B	C	D	E
1	INFORME DE ANALISIS ACUSTICO DEL MOTOR				
2					
3	FECHA:	15/05/2021		HORA:	09:44:04
4					
5					
6	DATOS EVALUADOS DEL MOTOR:				
7					
8	Nombre del Motor:	C1			
9	Voltaje:	220.00 V			
10	Corriente:	5.80 A			
11	Frecuencia:	60.00 Hz			
12	HP:	1.00 KW			
13	Velocidad:	1800.00 rpm			
14	Temperatura:	31.00 Grados C			
15					
16	RESULTADO DE ANALISIS DE TIEMPO				
17					
18	LADO IZQUIERDO		LADO DERECHO		

Figura 4.39 Visualización del archivo Excel generado

Fuente: Elaboración propia

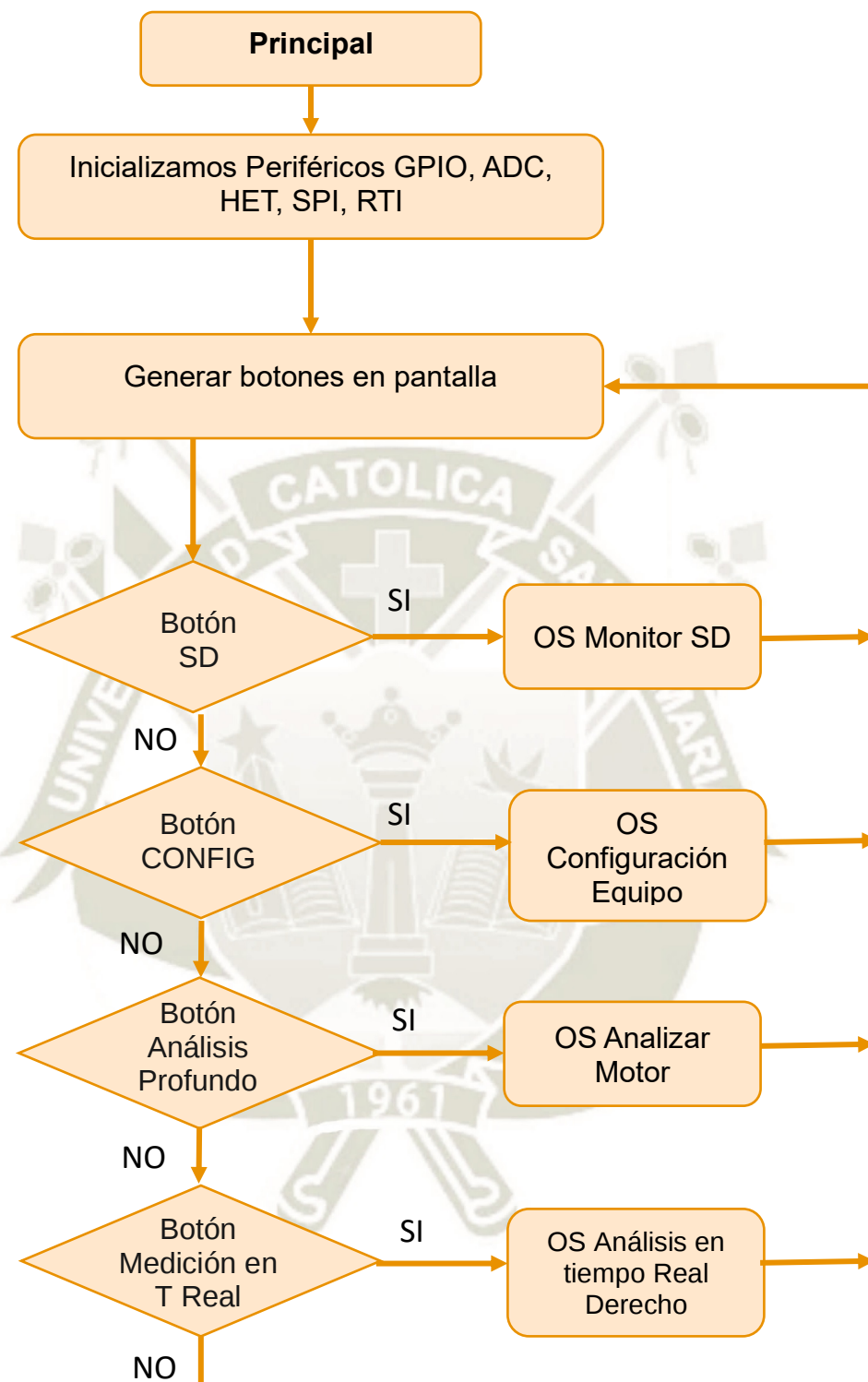
VI. SISTEMA OPERATIVO DE ANALISIS ACUSTICO DE MOTORES

1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA PRINCIPAL

En el flujograma 4.1 se muestra el diagrama general, este nos indica cual es el orden de las diferentes tareas que va a poder realizar el equipo analizador acústico de motores.

En el equipo tenemos las siguientes funciones:

- Análisis profundo
- Análisis en tiempo real
- Configuración de Hora y Fecha, Brillo y Ahorro de batería
- Visualización y Guardado en memoria SD



Flujograma 4.1 Sistema de control General

Fuente: Elaboración propia

Al encender nuestro equipo Analizador acústica para motores, podremos ver nuestra pantalla principal, en el cual veremos los siguientes botones de:

- Análisis Profundo
- Medición en tiempo Real
- SD
- Configuración

Se visualizará en la pantalla:

- Porcentaje de la batería
- La hora y la fecha
- La memoria total y en uso.

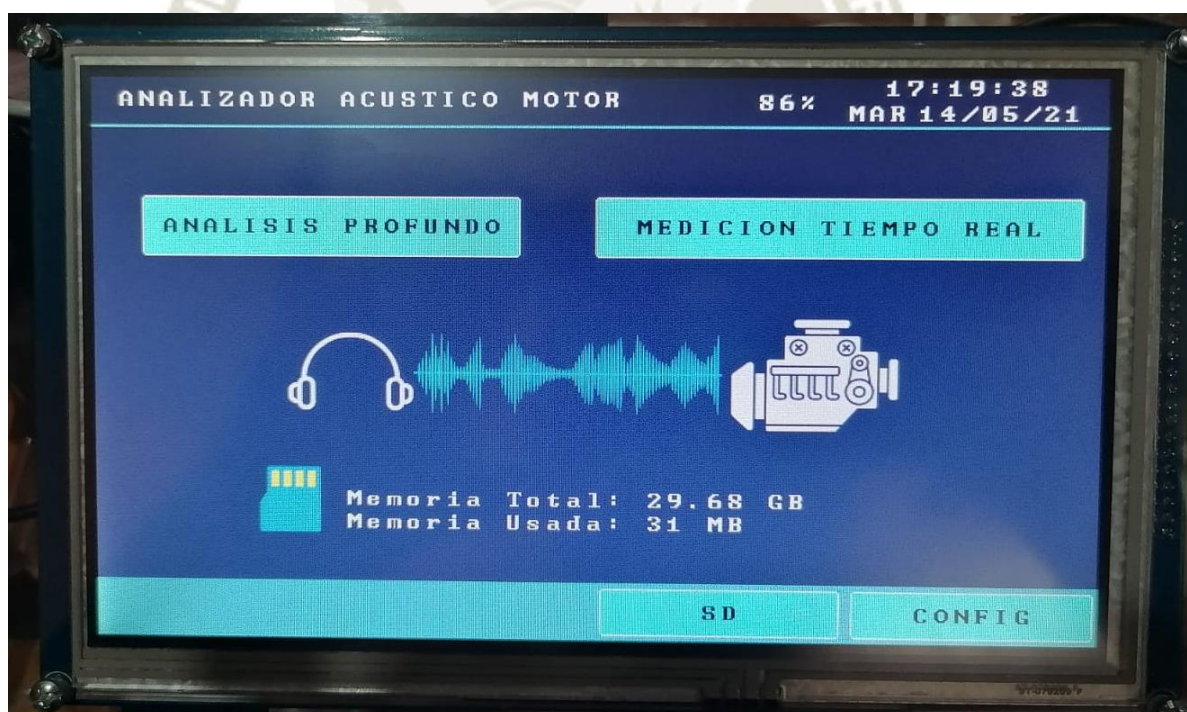


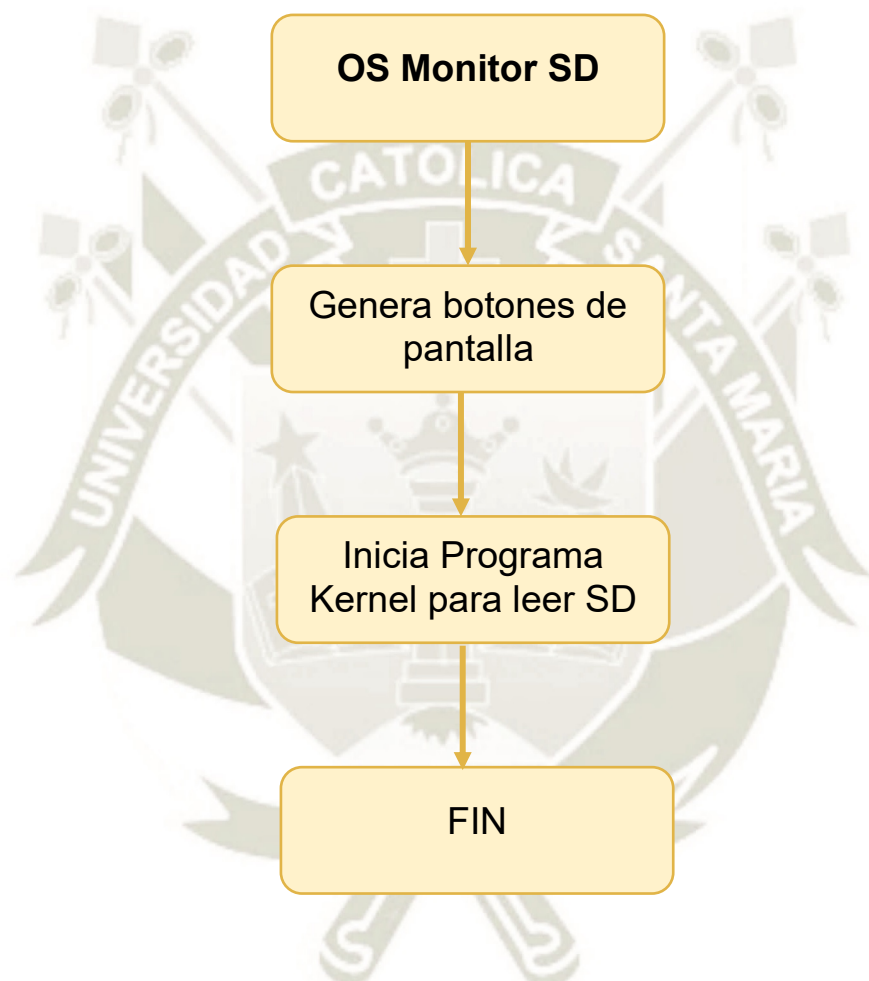
Figura 4.40 Interfaz principal del equipo

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se verán cada parte del equipo con sus diferentes diagramas.

2. DIAGRAMA DE FLUJO DE MEMORIA SD

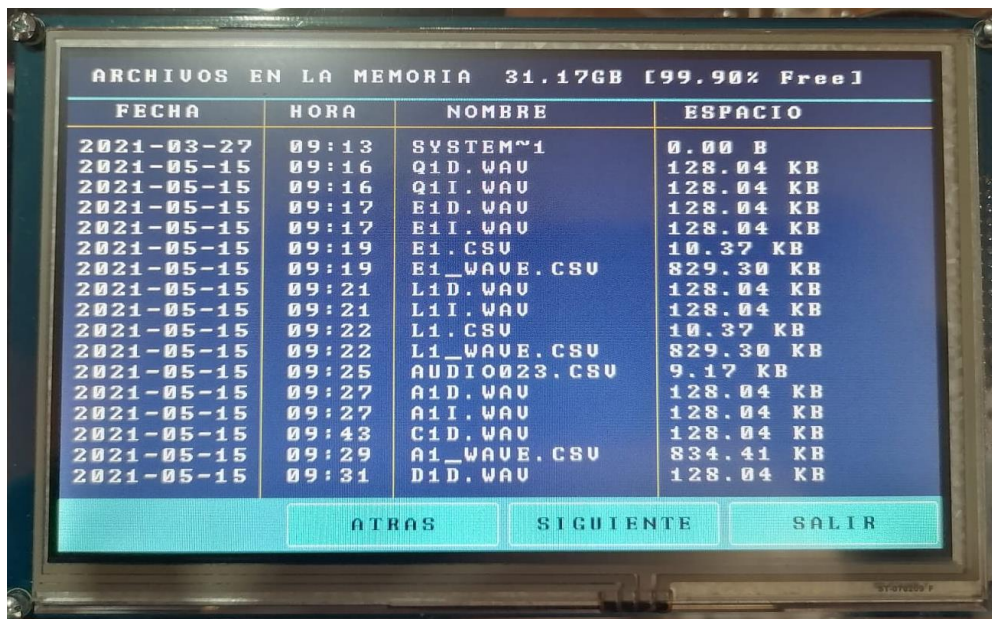
Tenemos la interfaz de memoria SD, donde visualizaremos los archivos de audio WAV y EXCEL que se guardaron por la medición de cada motor, esto es para confirmar si se crearon los archivos y están dentro de la memoria SD.



Flujograma 4.2 Memoria SD

Fuente: Elaboración propia

Visualización de los archivos existentes en la memoria SD



FECHA	HORA	NOMBRE	ESPACIO
2021-03-27	09:13	SYSTEM~1	0.00 B
2021-05-15	09:16	Q1D.WAV	128.04 KB
2021-05-15	09:16	Q1I.WAV	128.04 KB
2021-05-15	09:17	E1D.WAV	128.04 KB
2021-05-15	09:17	E1I.WAV	128.04 KB
2021-05-15	09:19	E1.CSV	10.37 KB
2021-05-15	09:19	E1_WAVE.CSV	829.30 KB
2021-05-15	09:21	L1D.WAV	128.04 KB
2021-05-15	09:21	L1I.WAV	128.04 KB
2021-05-15	09:22	L1.CSV	10.37 KB
2021-05-15	09:22	L1_WAVE.CSV	829.30 KB
2021-05-15	09:25	AUDIO023.CSV	9.17 KB
2021-05-15	09:27	A1D.WAV	128.04 KB
2021-05-15	09:27	A1I.WAV	128.04 KB
2021-05-15	09:43	C1D.WAV	128.04 KB
2021-05-15	09:29	A1_WAVE.CSV	834.41 KB
2021-05-15	09:31	D1D.WAV	128.04 KB

Figura 4.41 Visualización de archivos en la memoria SD

Fuente: Elaboración propia

Al no estar insertada la memoria SD, nos aparecerá el siguiente mensaje de alerta en la pantalla principal.

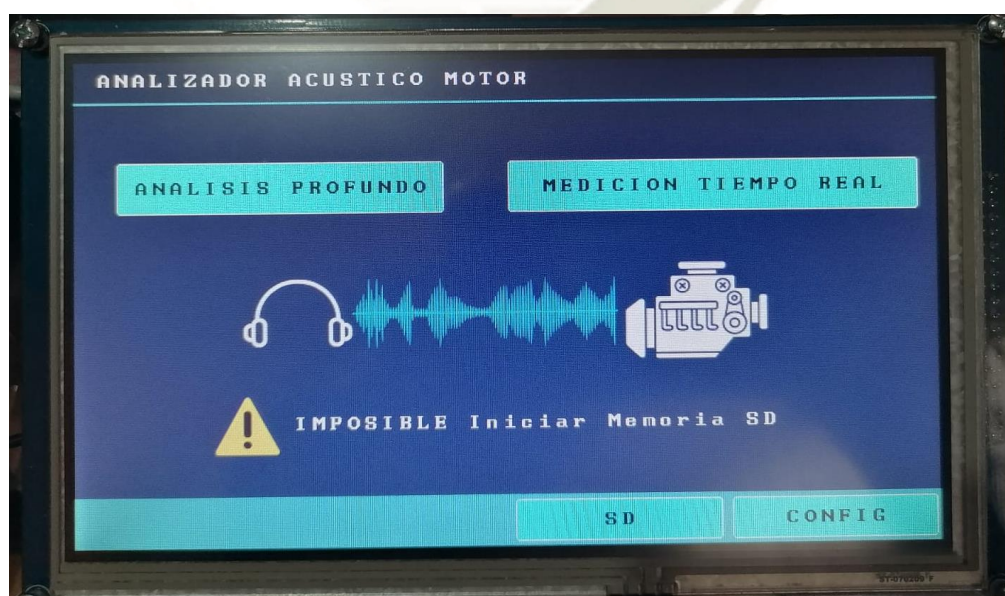


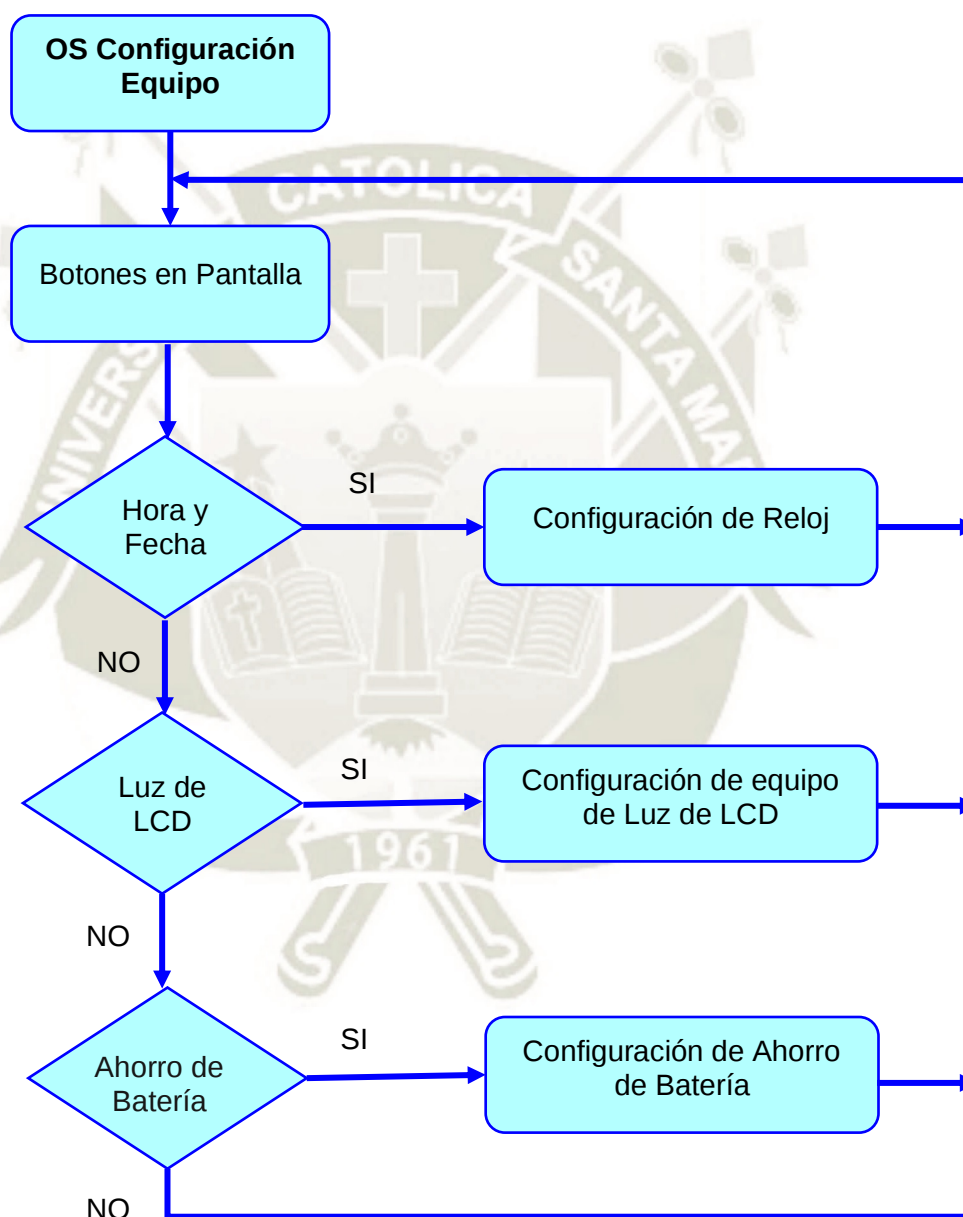
Figura 4.42 Mensaje de alerta de la memoria SD

Fuente: Elaboración propia

3. DIAGRAMA DE FLUJO DE CONFIGURACION DE EQUIPO

La configuración del equipo es fundamental para las siguientes opciones.

Poder ingresar la hora y fecha, la luz de la LCD (El brillo de la pantalla) y el ahorro de la batería.



Flujograma 4.3 Configuración del equipo

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se muestra el interfaz de configuraciones del equipo. Mostrando 3 botones: Fecha y Hora, Luz de LCD y Ahorro Batería.

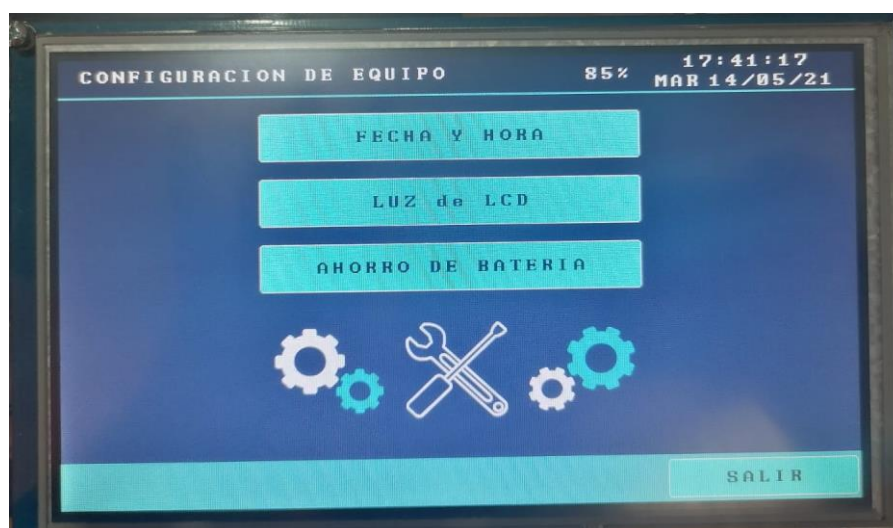


Figura 4.43 Interfaz de configuración del equipo

Fuente: Elaboración propia

A. FECHA Y HORA

En la opción la hora y fecha, es para ingresar y configurar la hora y fecha actual, es importante para el momento en que se guarden los archivos.

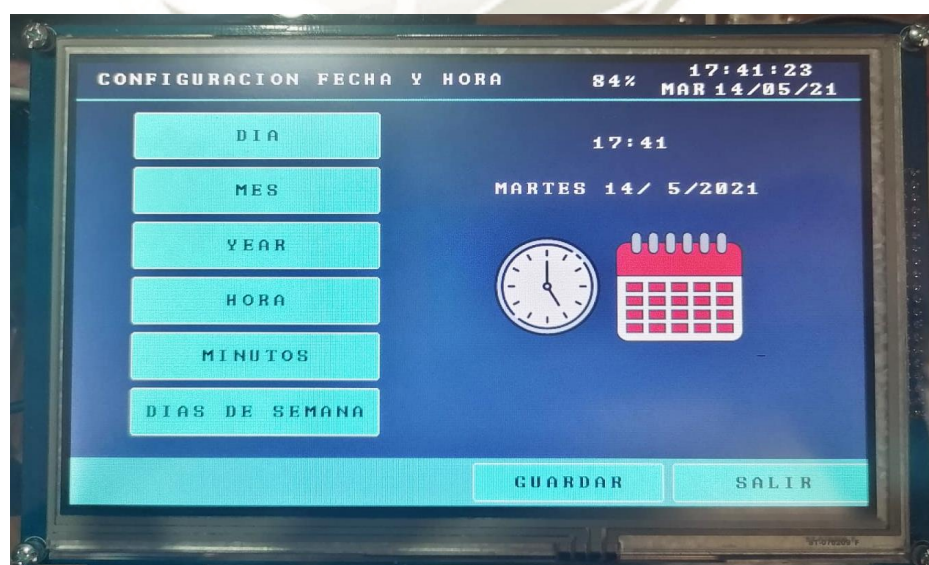


Figura 4.44 Configuración de hora y fecha

Fuente: Elaboración propia

Para selección de día, nos aparecerá un teclado numérico para ingresar el número del día actual.

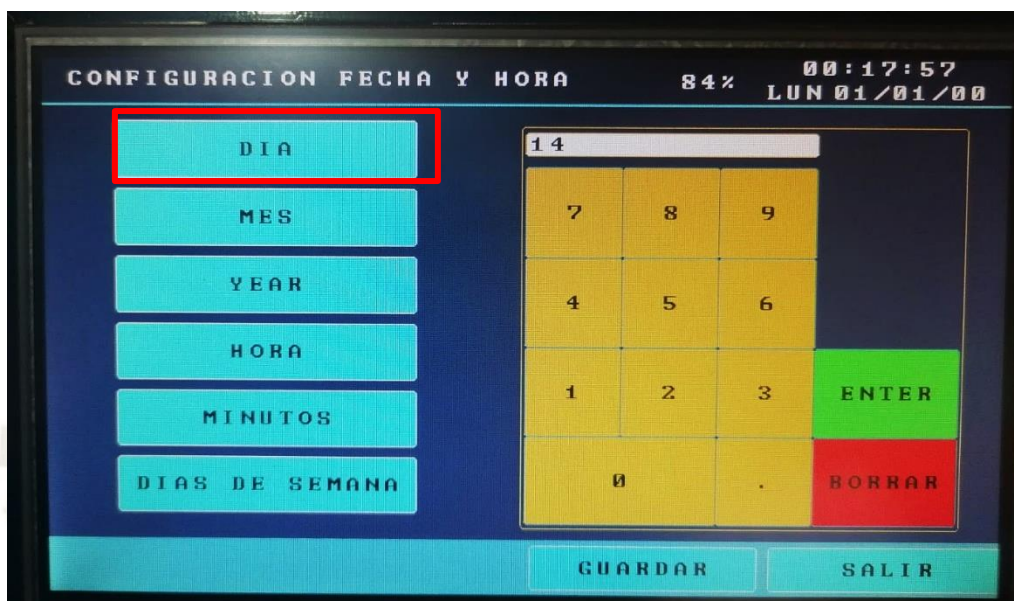


Figura 4.45 Dia, ingresando en el Teclado numérico

Fuente: Elaboración propia

En el mes, nos aparecerá los meses del año para seleccionar el mes actual, se visualizará el mes que se presiona en la parte inferior

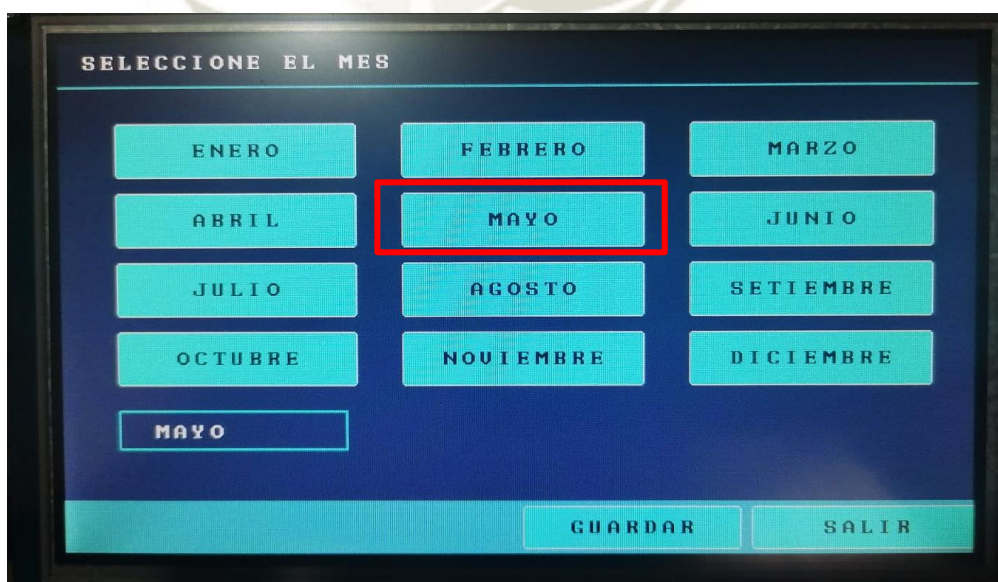


Figura 4.46 Meses, ingresando el mes actual

Fuente: Elaboración propia

Ingresando el año, nos aparecerá el teclado numérico, solo se puede ingresar los dos últimos dígitos del año actual 21.

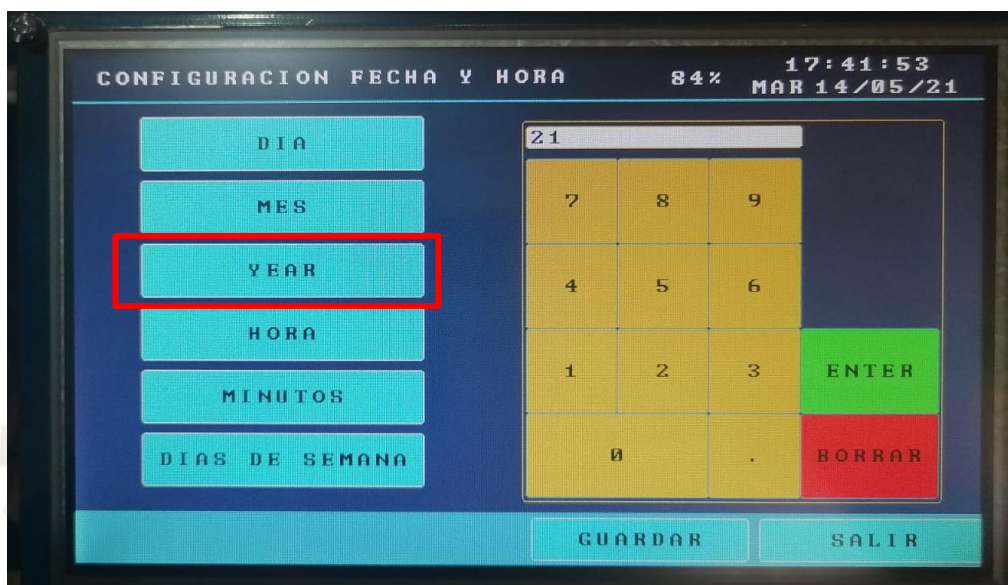


Figura 4.47 Año, ingresando año actual

Fuente: Elaboración propia

Ingresando la hora, nos aparecerá el teclado numérico y poder ingresar la hora actual, la hora está en un formato de 24 horas.

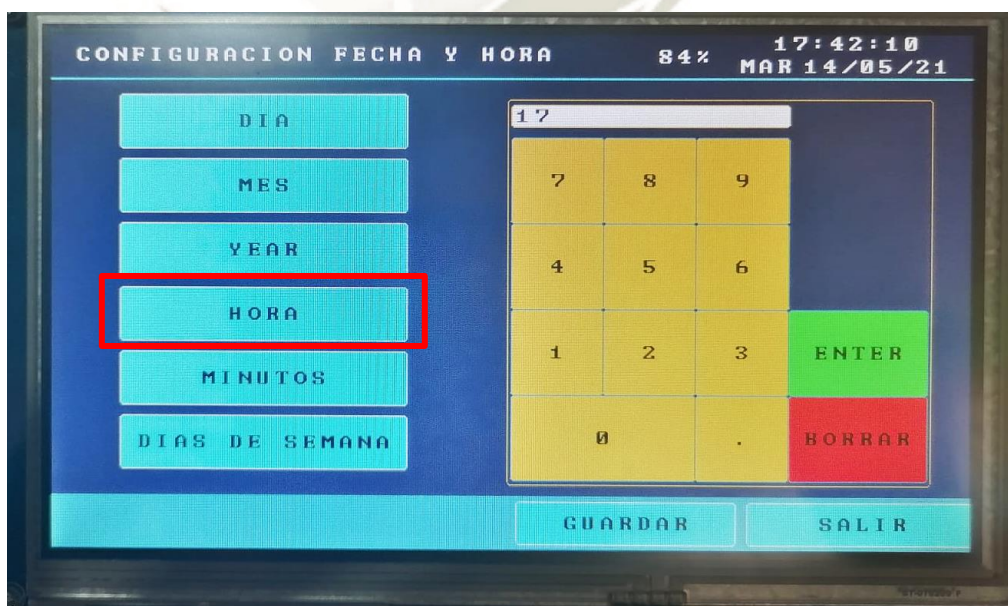


Figura 4.48 Hora, ingresando la hora actual en formato de 24h.

Fuente: Elaboración propia

Al ingresar los minutos, nos aparecerá el teclado numérico y poder ingresar los minutos actuales.

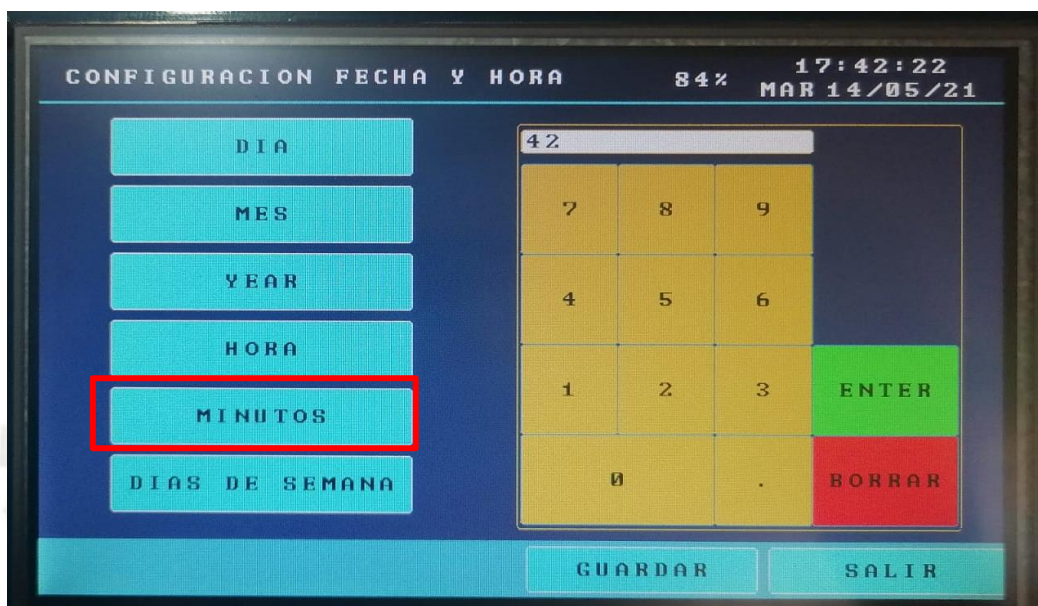


Figura 4.49 Minutos, ingresando los minutos actuales

Fuente: Elaboración propia

Para tener la fecha más precisa seleccionamos el botón días de la semana.

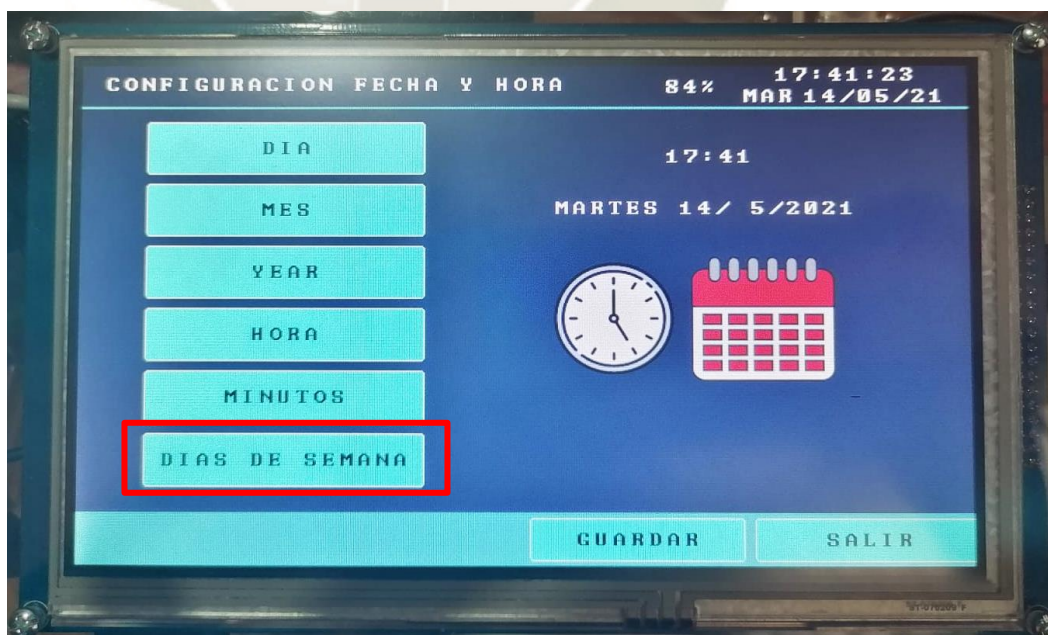


Figura 4.50 Botón días de la semana

Fuente: Elaboración propia

Al seleccionar el día de la semana. Nos aparece la siguiente interfaz con los días de la semana, y seleccionamos en el día que nos encontramos actualmente y nos aparecerá la opción en la parte inferior derecha.

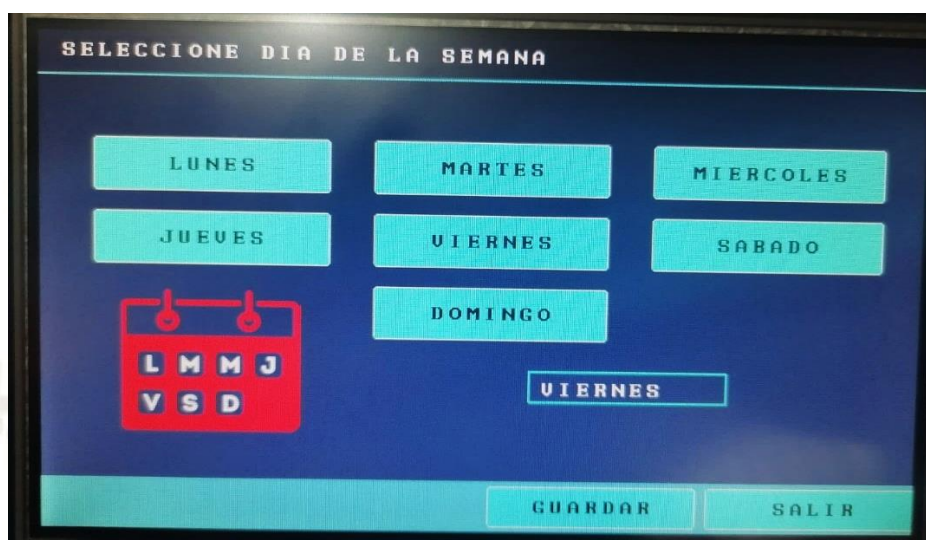


Figura 4.51 Dia de la semana, selección

Fuente: Elaboración propia

Finalmente presionando el botón guardar nos aparece un mensaje “SELECCIÓN GUARDARDA”, automáticamente se actualiza la fecha y hora,

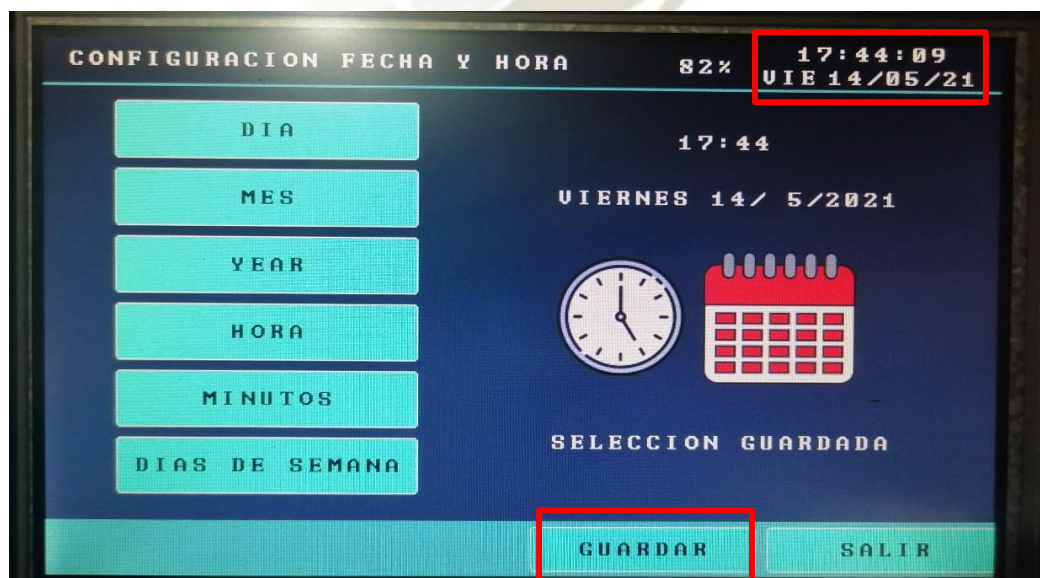


Figura 4.52 Selección guardada de Fecha y Hora

Fuente: Elaboración propia

B. LUZ DE LCD

La luz de la LCD es brillo de la pantalla tenemos 4 opciones, el 100%, 80%, 50% y 30%. El brillo cambiara según la selección que se realice a la comodidad del usuario.



Figura 4.53 Configuración de luz de LCD

Fuente: Elaboración propia

Al seleccionar el brillo de la LCD, presionando la opción guardar, automáticamente se realizará el cambio y nos aparecerá un mensaje de “SELECCIÓN GUARDADA”.



Figura 4.54 Selección guardada de luz de LCD

Fuente: Elaboración propia

C. AHORRO DE BATERIA

Ahorro de batería es para evitar que el proceso gaste la batería y así alargar los porcentajes de carga de la batería lo máximo posible. Tenemos 4 opciones, 3 minutos, 5 minutos, 6 minutos y la opción de Desactivar.

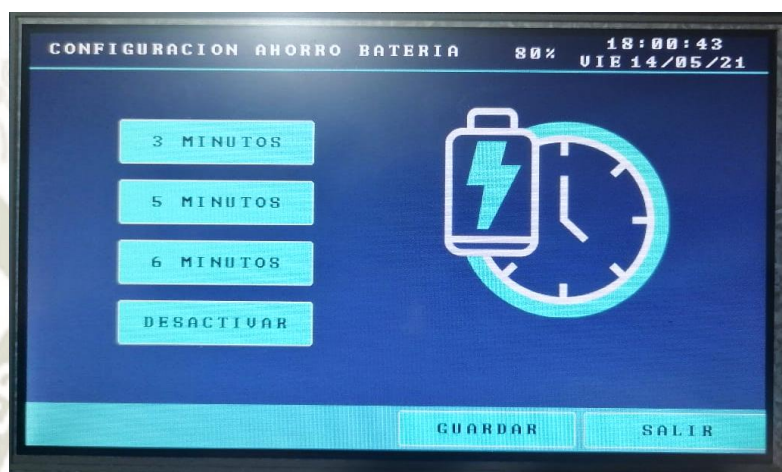


Figura 4.55 Configuración de Ahorro batería

Fuente: Elaboración propia

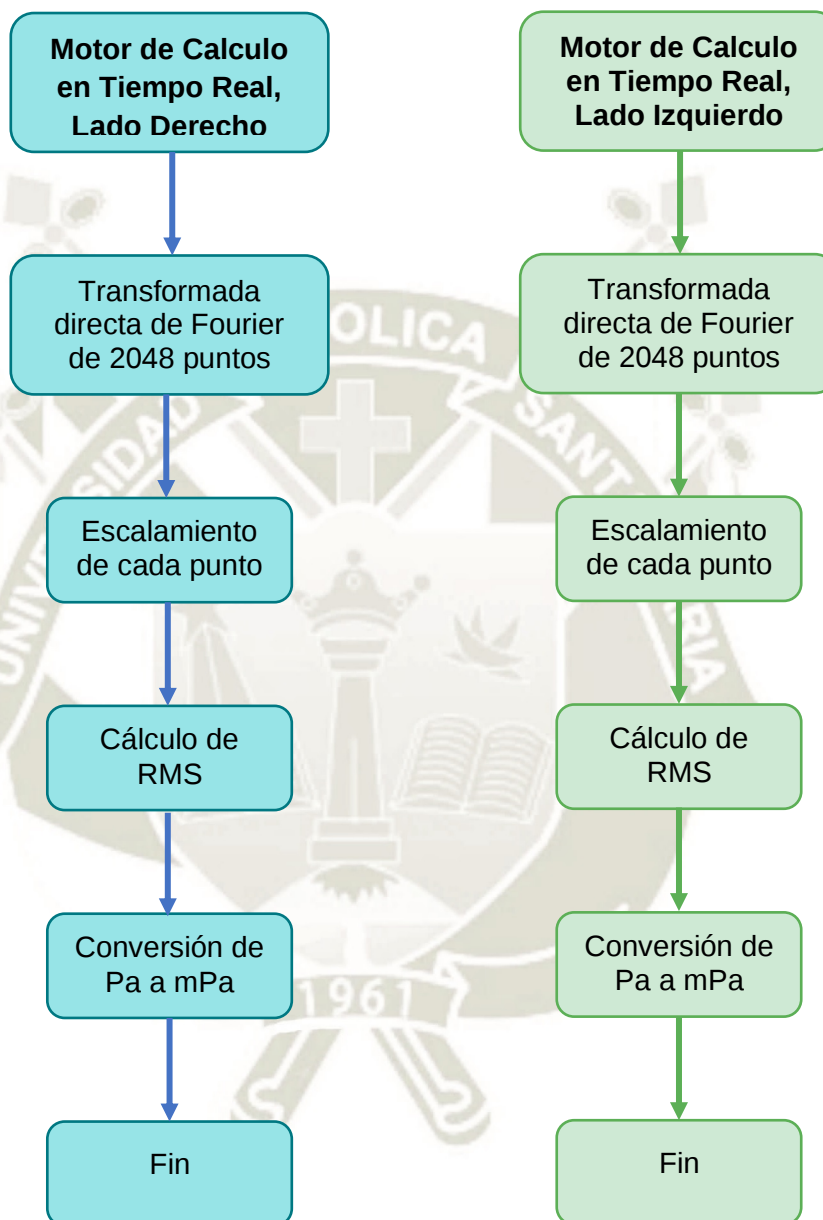
Al seleccionar cualquier opción, presionando la opción guardar, automáticamente se realizará el cambio y nos aparecerá un mensaje de “SELECCIÓN GUARDADA”.



Figura 4.56 Selección guardada de Ahorro Batería

Fuente: Elaboración propia

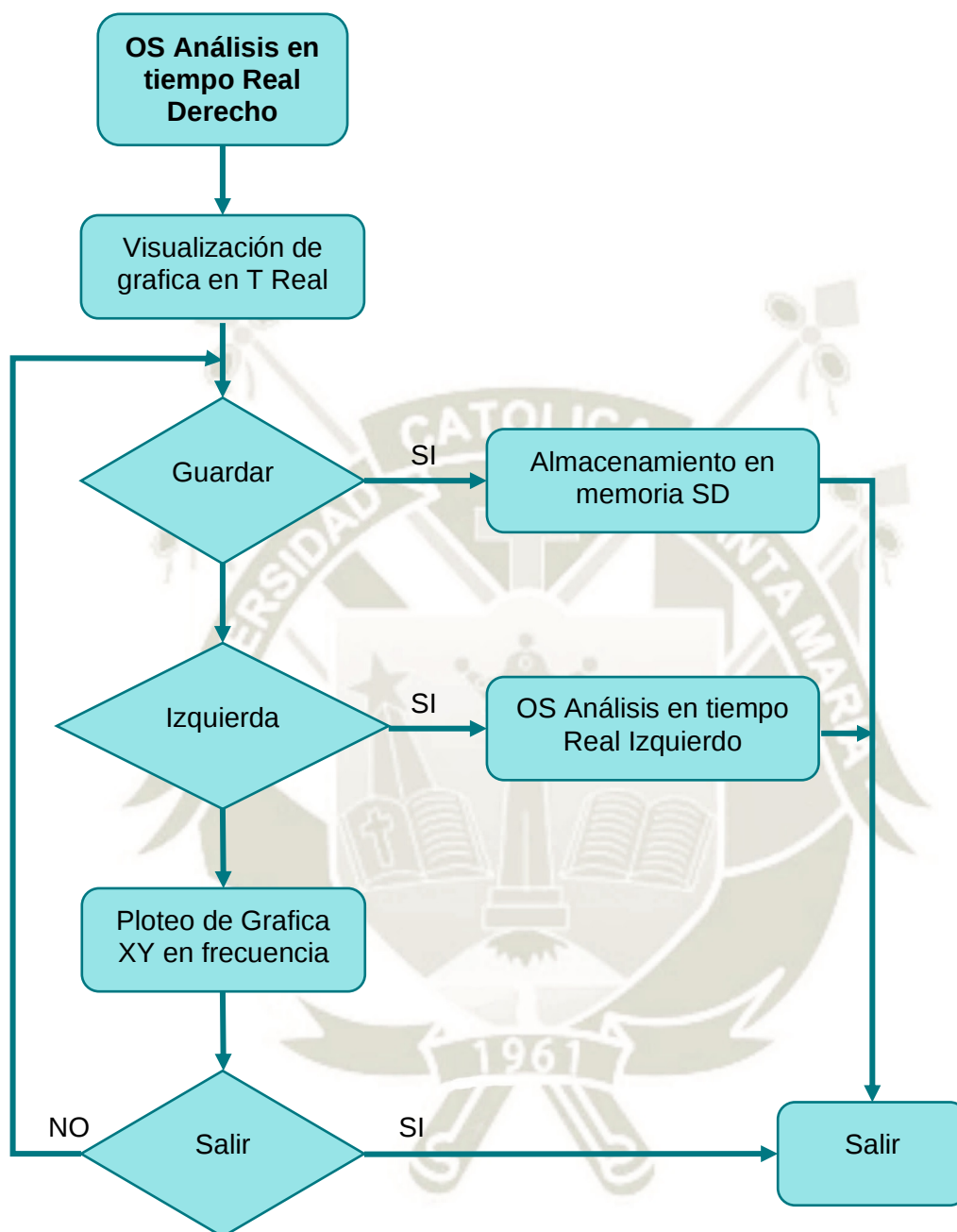
4. DIAGRAMA DE FLUJO DE MOTOR DE CALCULO ANALISIS EN TIEMPO REAL DE LADO DERECHO E IZQUIERDO



Flujograma 4.4 Motor de cálculo de análisis en tiempo Real de lado Derecho e Izquierdo

Fuente: Elaboración propia

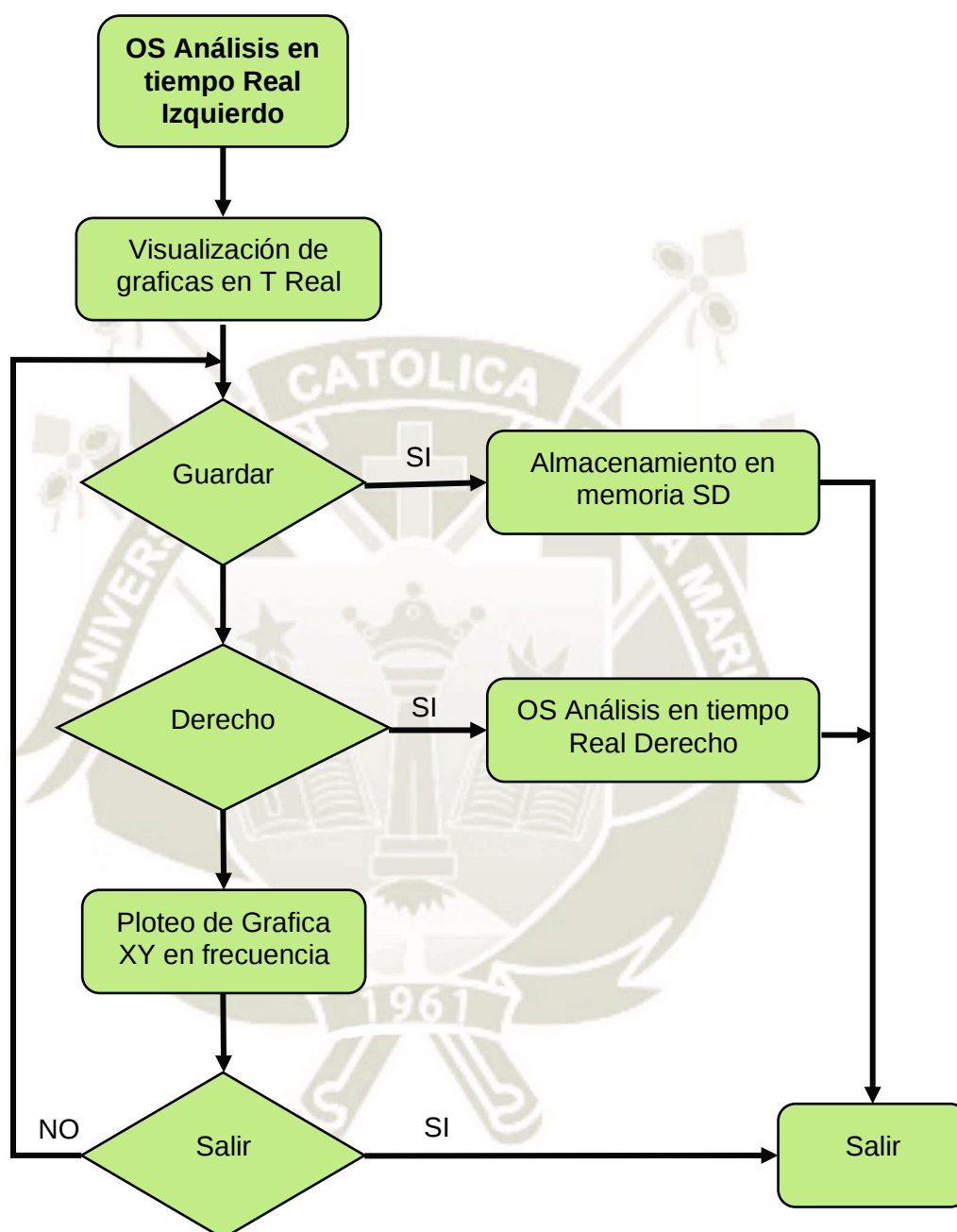
5. DIAGRAMA DE FLUJO EN TIEMPO REAL LADO DERECHO



Flujograma 4.5 Tiempo real de lado Derecho

Fuente: Elaboración propia

6. DIAGRAMA DE FLUJO EN TIEMPO REAL LADO IZQUIERDO



Flujograma 4.6 Tiempo real lado Izquierdo

Fuente: Elaboración propia

A. LADO DERECHO

Cuando se escoja la opción de “MEDICION EN TIEMPO REAL”, accedemos a la interfaz de análisis en tiempo Real del lado derecho.



Figura 4.57 Opción de MEDICION EN TIEMPO REAL

Fuente: Elaboración propia

Se presentan dos formas de espectros la primera es cuando el estetoscopio no está cerca del motor.

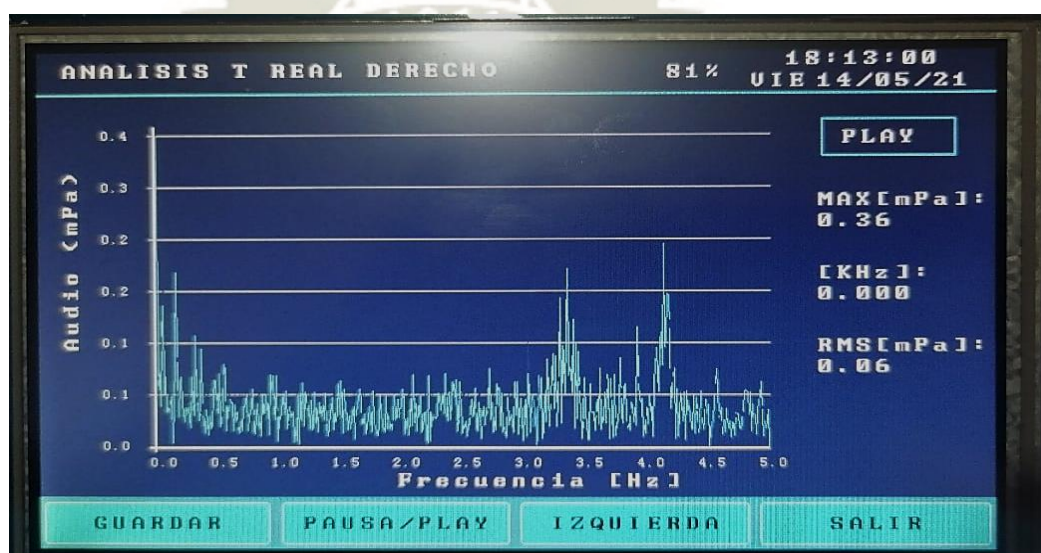


Figura 4.58 Estetoscopio NO está cerca al motor

Fuente: Elaboración propia

La segunda es cuando el estetoscopio no está cerca del motor. Se puede observar el MAX, K Hz, y el RMS. Y el espectro en la pantalla.



Figura 4.59 Análisis en T Real lado derecho

Fuente: Elaboración propia

Tenemos el botón de “PAUSA / PLAY”. Al poner PAUSA para poder ver con más determinación el espectro visualizado en la pantalla. Luego presionamos el mismo botón para PLAY y el espectro sigue en movimiento.

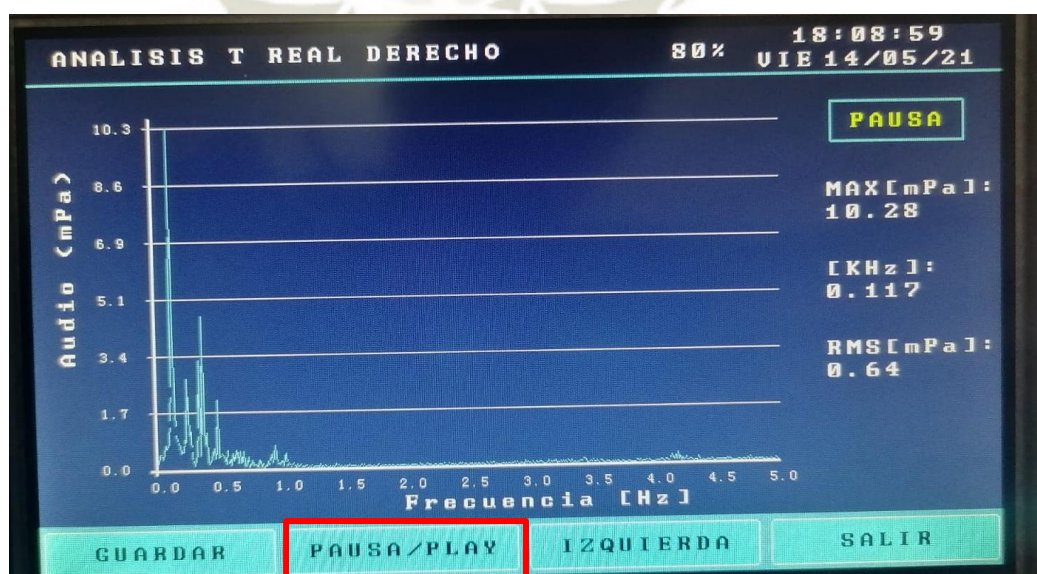


Figura 4.60 PAUSA al espectro del análisis T Real lado derecho

Fuente: Elaboración propia

B. LADO IZQUIERDO

Para observar el espectro en el lado izquierdo presionamos el botón de IZQUIERDA y podemos visualizar el lado izquierdo.

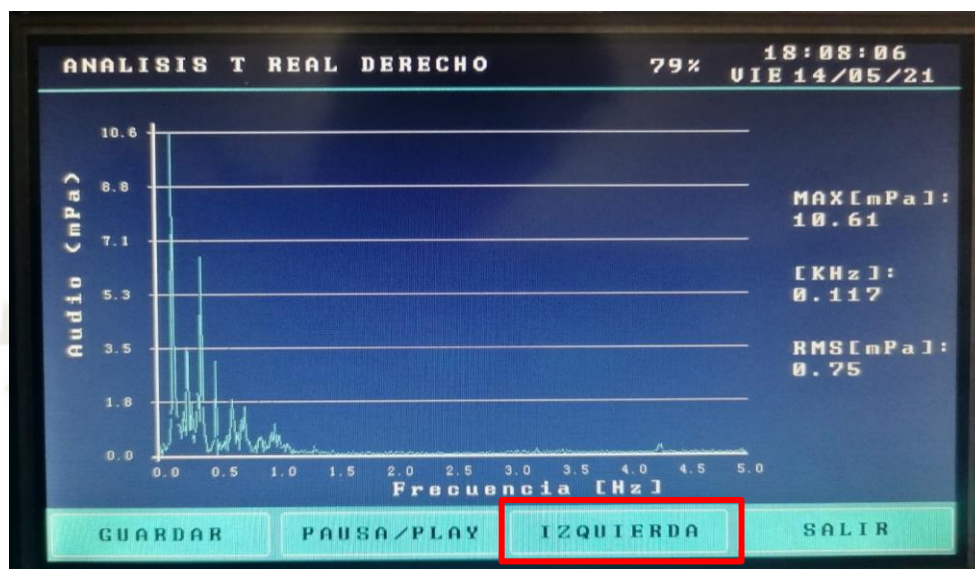


Figura 4.61 Botón izquierda para pasar al lado Izquierdo

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar el MAX, K Hz, y el RMS. Y el espectro en la pantalla.

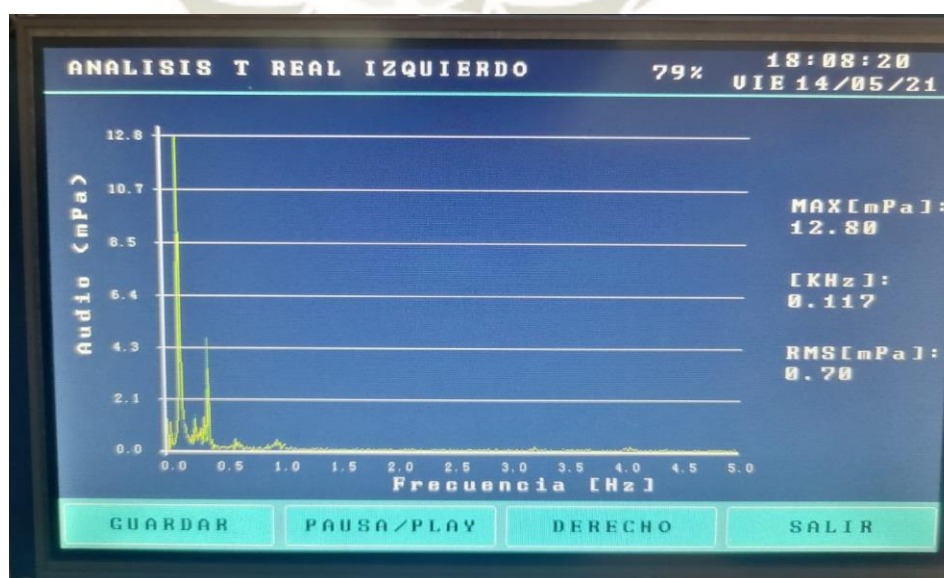


Figura 4.62 Análisis T Real lado Izquierdo

Fuente: Elaboración propia

En el Análisis T Real izquierdo. Tenemos el botón de “PAUSA / PLAY”. Al poner PAUSA para poder ver con más determinación el espectro visualizado en la pantalla. Luego presionamos el mismo botón para PLAY y el espectro sigue en movimiento.

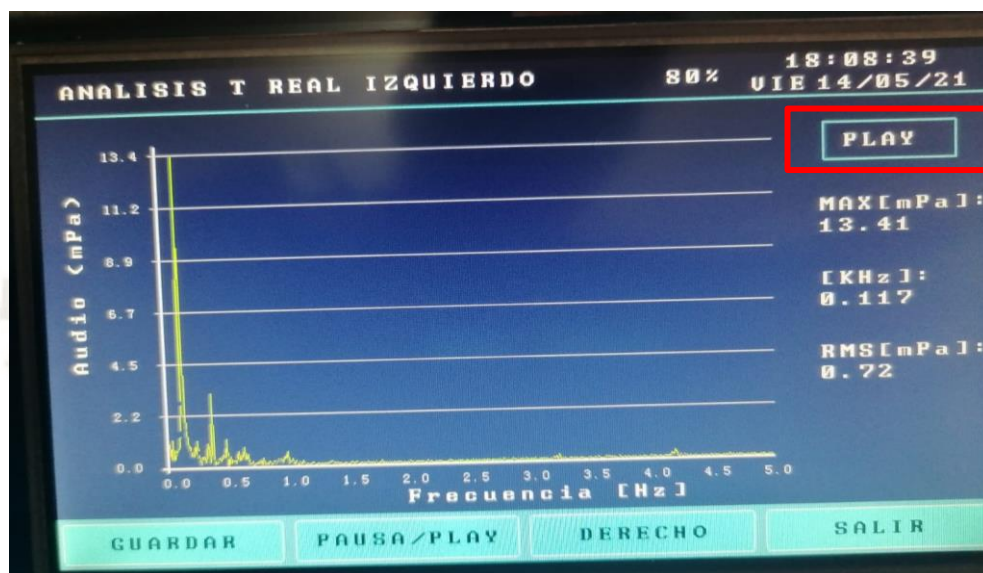


Figura 4.63 PLAY al espectro del análisis T Real lado Izquierdo

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.64 PAUSA al espectro del análisis T Real lado Izquierdo

Fuente: Elaboración propia

C. GUARDADO

Para guardar los archivos de los espectros, presionamos el botón GUARDAR, esta opción esta para ambos lados Derecho e Izquierdo.

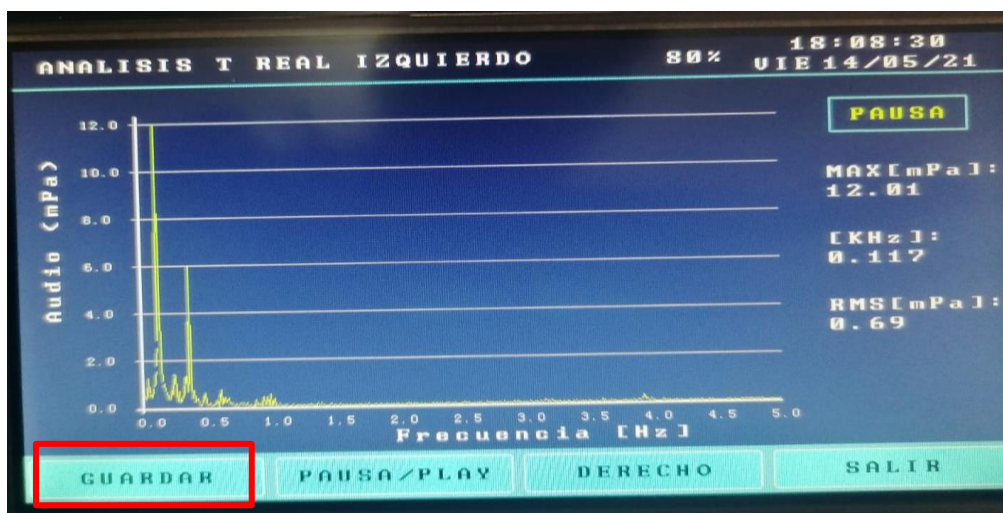


Figura 4.65 Botón GUARDAR

Fuente: Elaboración propia

El nombre ingresado es AUDIO024.CSV el cual genera un archivo EXCEL, al guardar los datos, nos aparece el mensaje “DATOS GUARDADOS EXITOSAMENTE”.

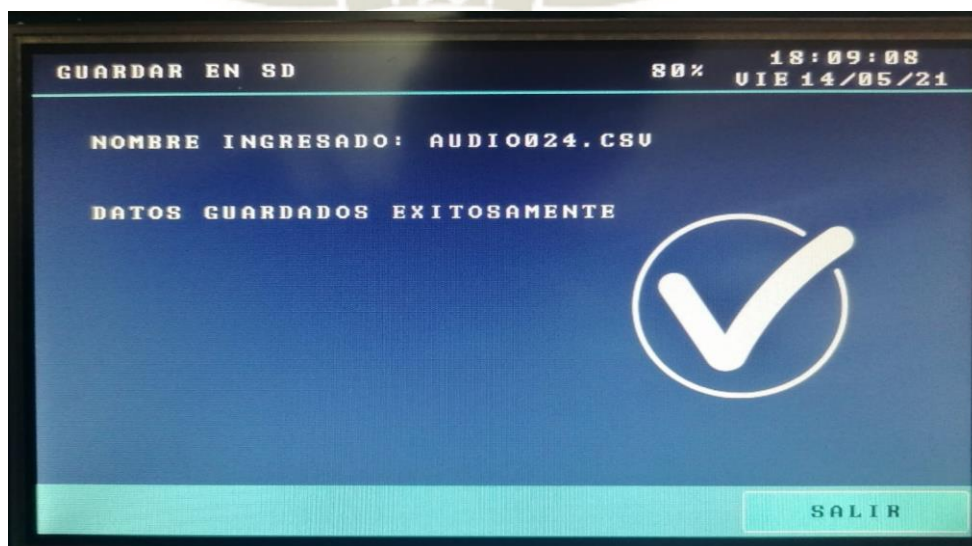
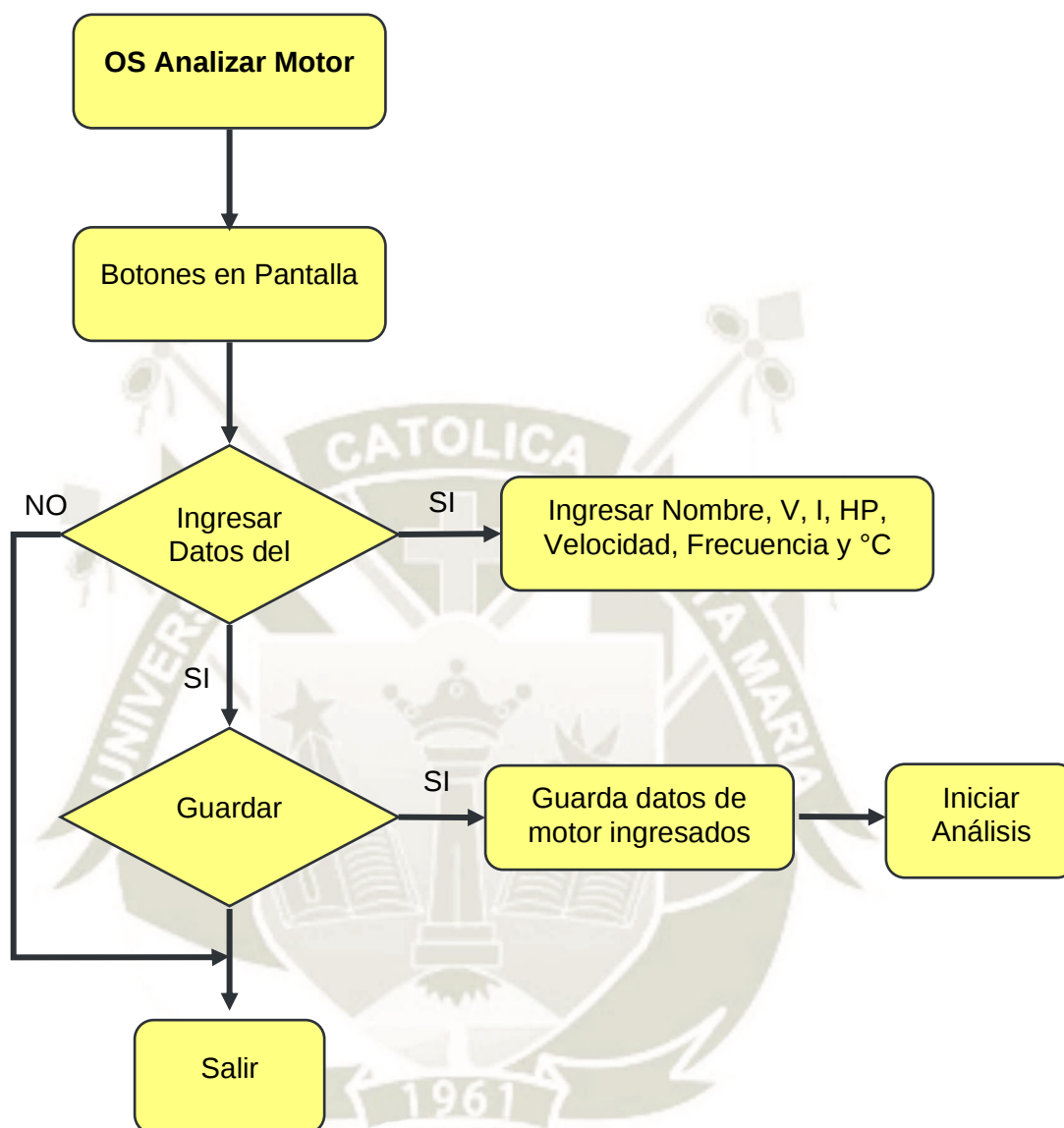


Figura 4.66 Mensaje de GUARDADO EXITOSO

Fuente: Elaboración propia

7. DIAGRAMA DE FLUJO DE ANALISIS PROFUNDO



Flujograma 4.7 Análisis profundo

Fuente: Elaboración propia

Cuando se escoja la opción de “ANALISIS PROFUNDO”, accedemos a la interfaz de “INGRESAR DATOS DEL MOTOR”.



Figura 4.67 Opción de ANALISIS PROFUNDO

Fuente: Elaboración propia

En esta interfaz de “INGRESAR DATOS DEL MOTOR”, ingresamos el nombre del motor, voltaje, corriente, frecuencia, HP, velocidad y Temperatura.

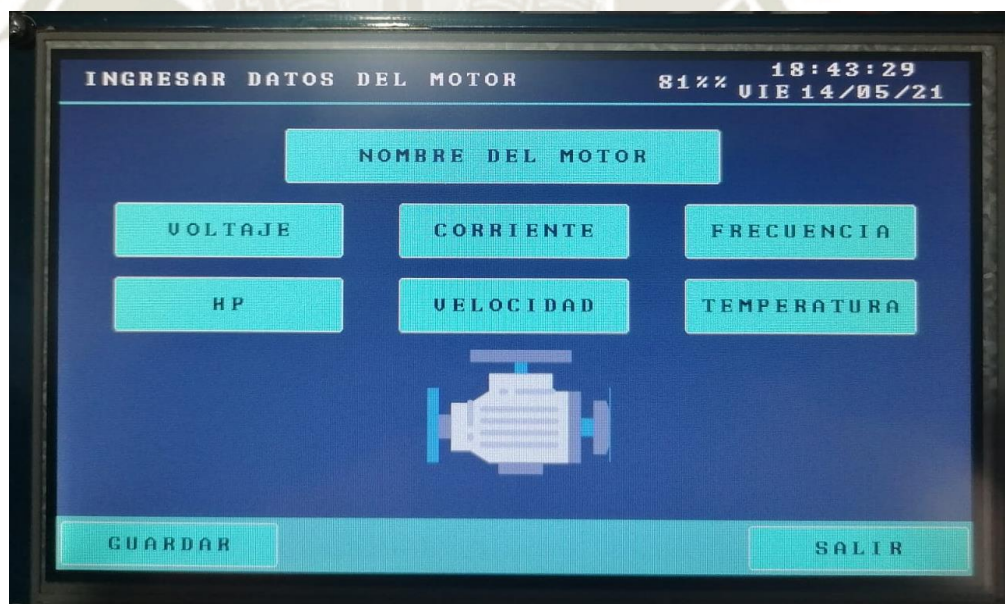


Figura 4.68 Interfaz de INGRESAR DATOS DEL MOTOR

Fuente: Elaboración propia

En el botón “NOMBRE DEL MOTOR”, ingresamos el nombre que deseamos poner para que se guarden los archivos que se crearan en el análisis profundo. Y con el botón “GUARDAR” se guarda en la memoria el nombre del motor

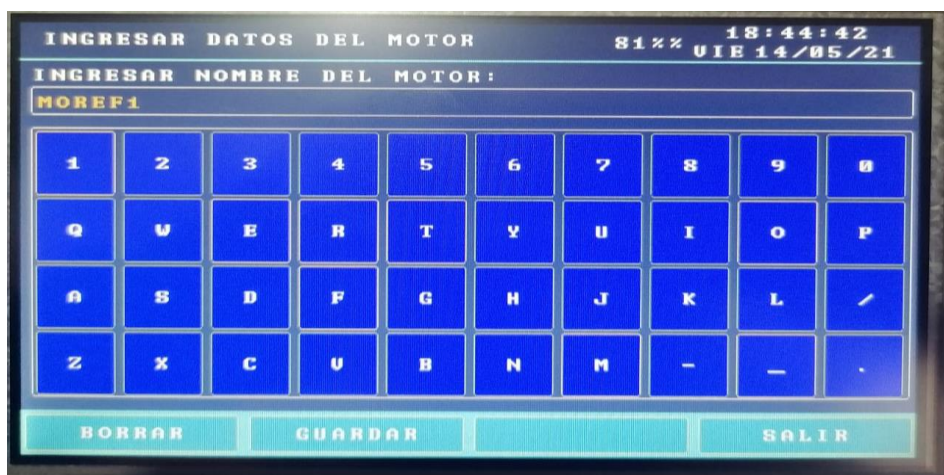


Figura 4.69 Teclado para ingresar el nombre del motor

Fuente: Elaboración propia

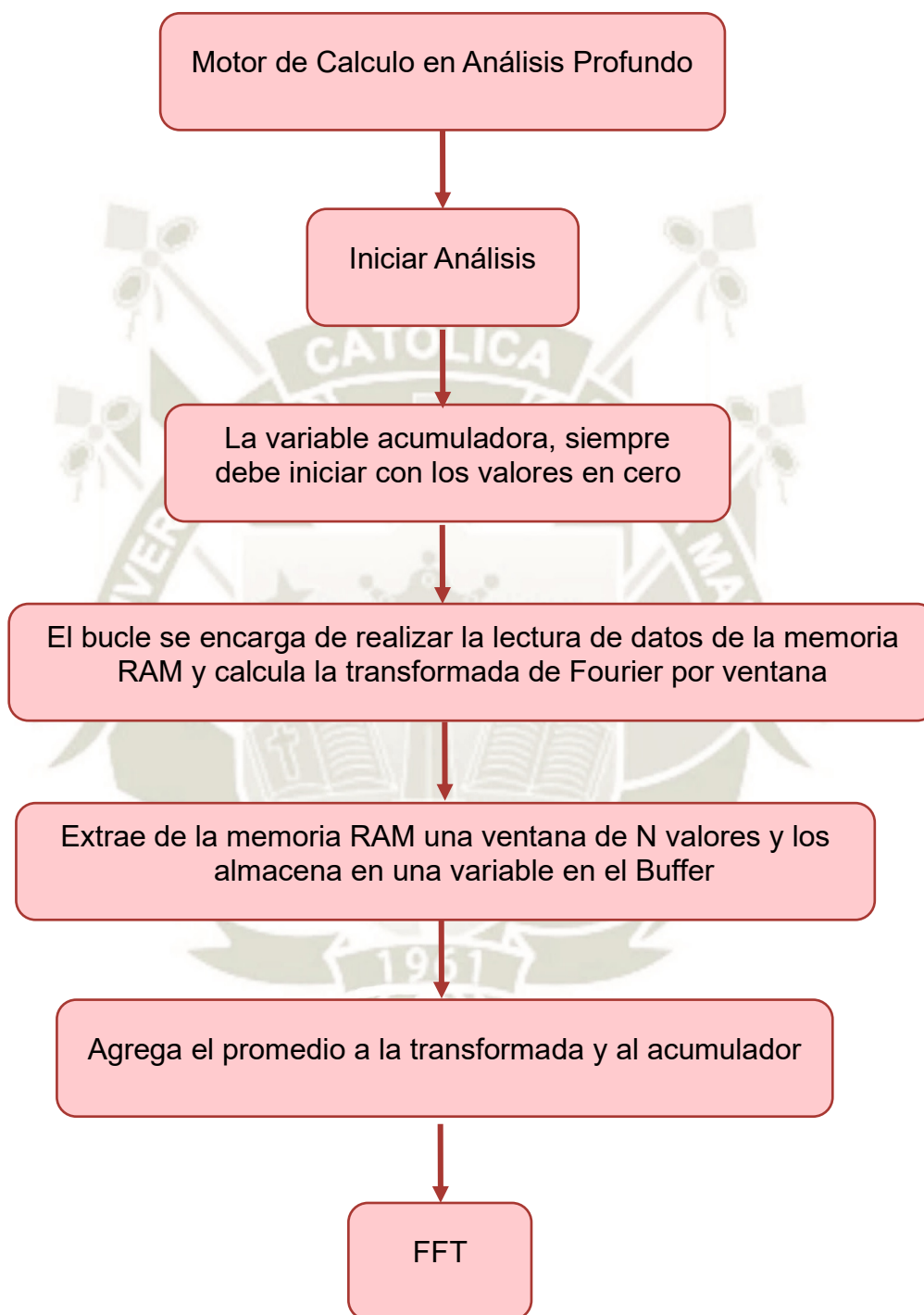
Al ingresar el voltaje, corriente, frecuencia, HP, velocidad y temperatura, aparecerá el teclado número para ingresar esos datos obtenidos de la placa del motor. Terminando presionamos en el botón “GUARDAR”



Figura 4.70 Teclado numérico para ingresar datos de V, I, Hz, HP, Rpm y °C

Fuente: Elaboración propia

8. DIAGRAMA DE FLUJO DE MOTOR DE CALCULO EN ANALISIS PROFUNDO



Flujograma 4.8 Motor de cálculo en análisis profundo

Fuente: Elaboración propia

Al presionar el botón GUARDAR, nos aparece la siguiente INTERFAZ, donde nos indica “DATOS GUARDADOS EXITOSAMENTE EN LA MEMORIA SD”.

En los datos guardados exitosamente en la memoria SD, son los datos de la placa del motor ingresados anteriormente:

- Nombre
- Voltaje
- Corriente
- Frecuencia
- HP
- Velocidad
- Temperatura

Presionando el botón “INICIAR ANALISIS”, para comenzar con el análisis profundo.

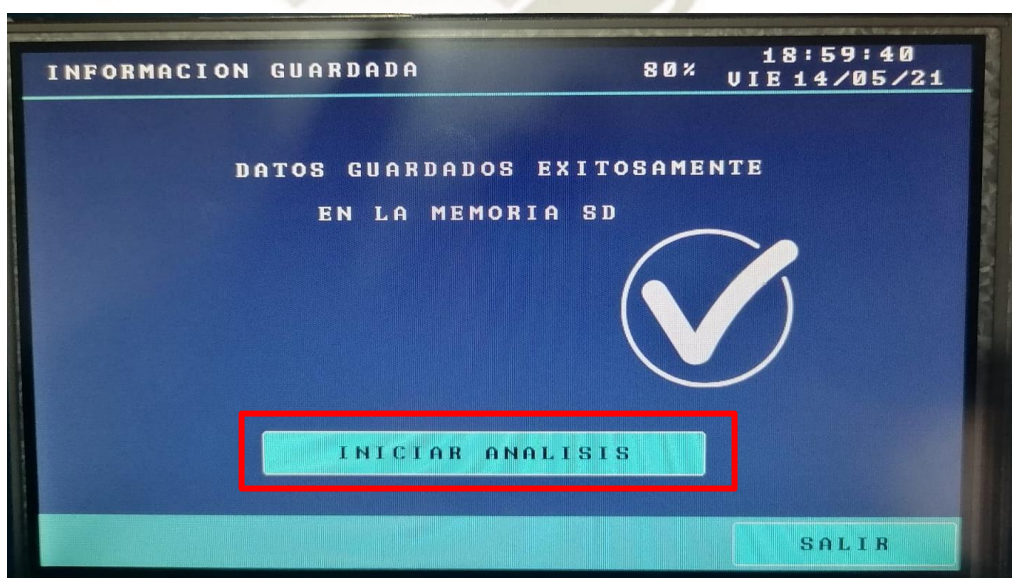


Figura 4.71 Botón de INICIAR ANALISIS

Fuente: Elaboración propia

Al iniciar el análisis, el motor debe estar prendido anteriormente y junto con estetoscopio, en la pantalla nos aparecerá “MIDIENDO”

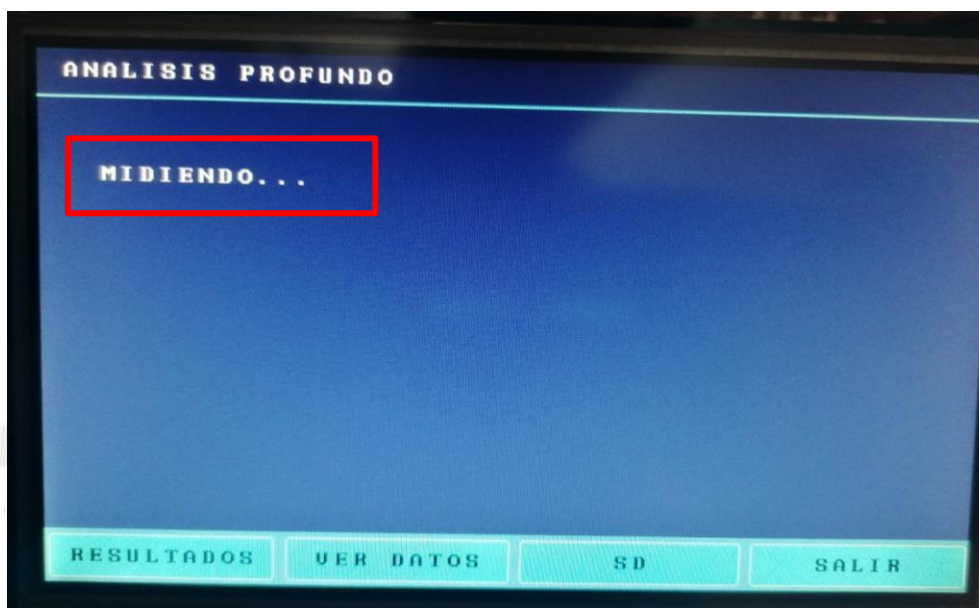


Figura 4.72 Midiendo los datos del motor prendido
Fuente: Elaboración propia

Y terminando nos aparecerá “MEDICION FINALIZADA”.

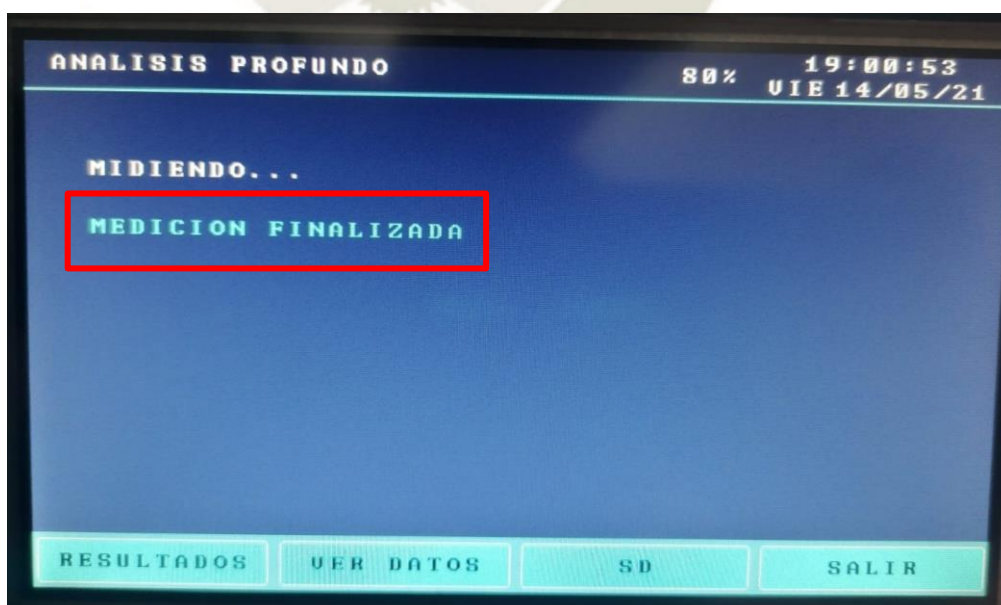
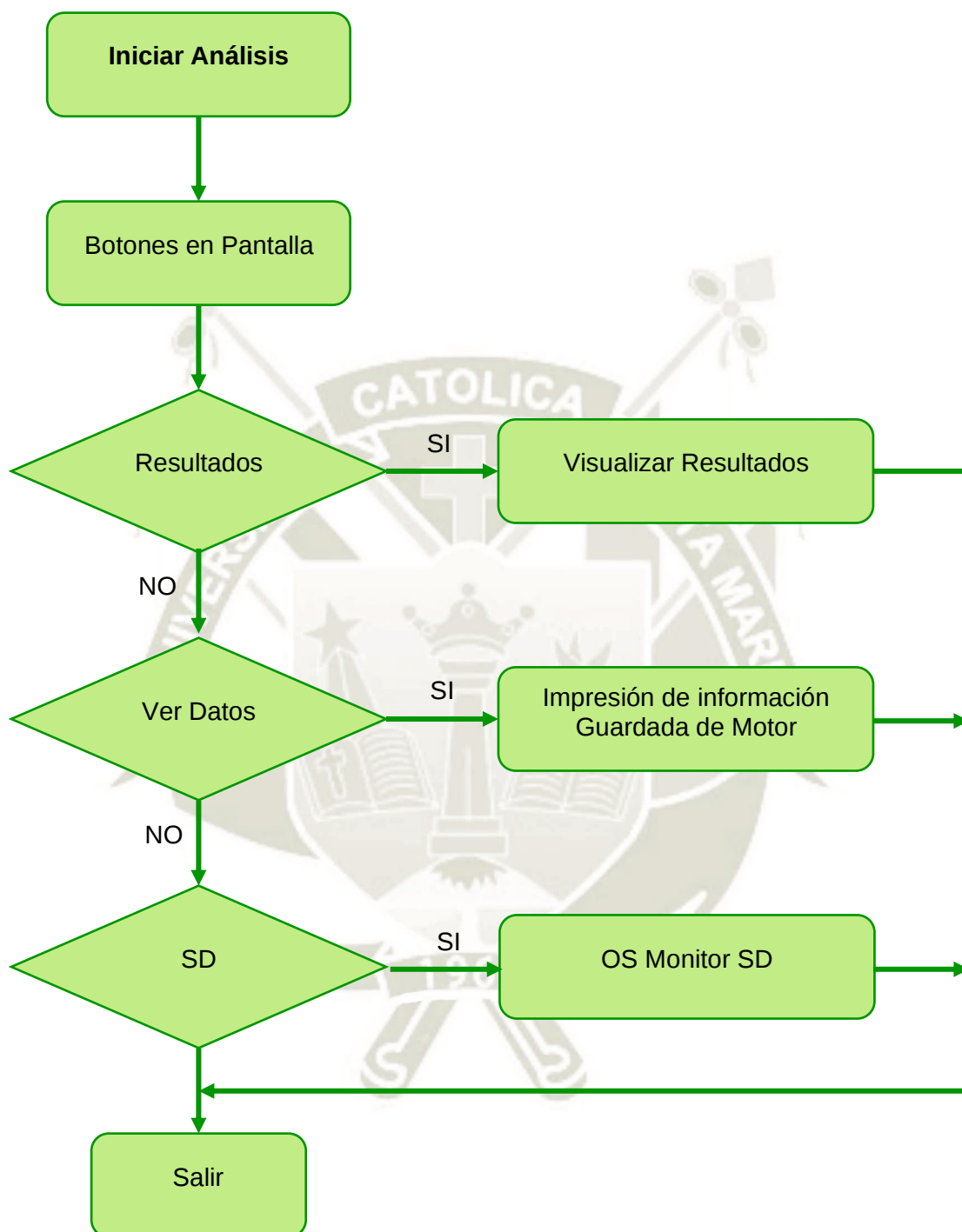


Figura 4.73 Medición finalizada
Fuente: Elaboración propia

9. DIAGRAMA DE FLUJO DE INICIAR ANALISIS



Flujograma 4.9 Inicio de Análisis

Fuente: Elaboración propia

Terminando la medición de los datos del motor prendido, nos aparece la siguiente interfaz, en la parte inferior se observan los botones: Resultados (Se verá con más detallado en el DIAGRAMA DE FLUJO DE VISUALIZACION DE RESULTADOS), Ver datos, SD y Salir.

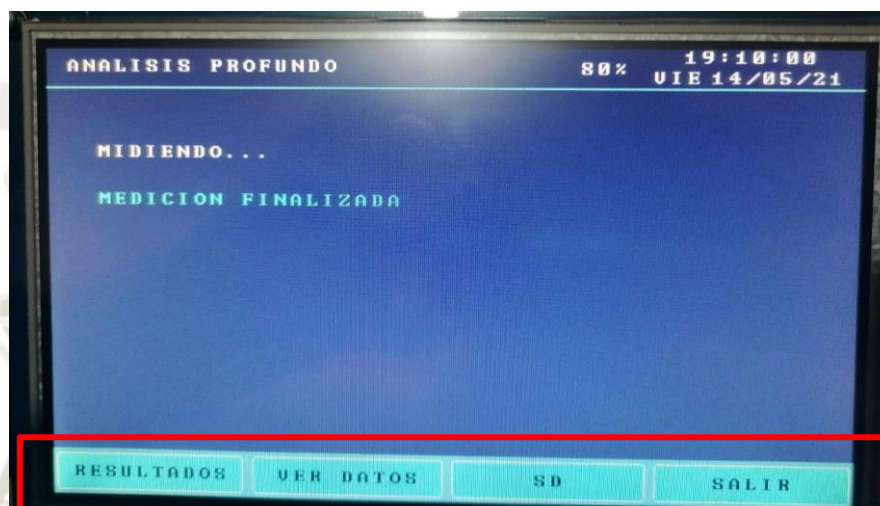


Figura 4.74 Botones de Resultados, Ver datos, SD y Salir

Fuente: Elaboración propia

En el botón de “VER DATOS”, nos aparece un resumen de los datos ingresados anteriormente.

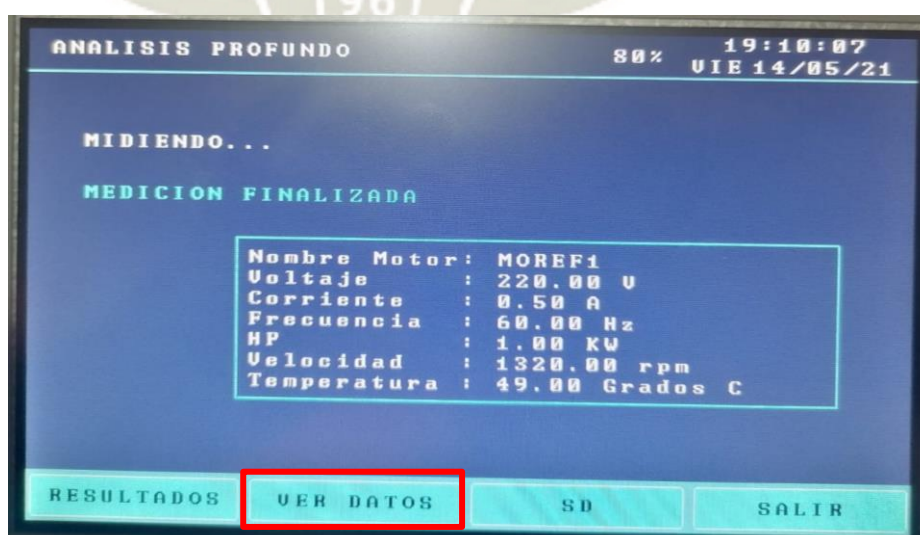
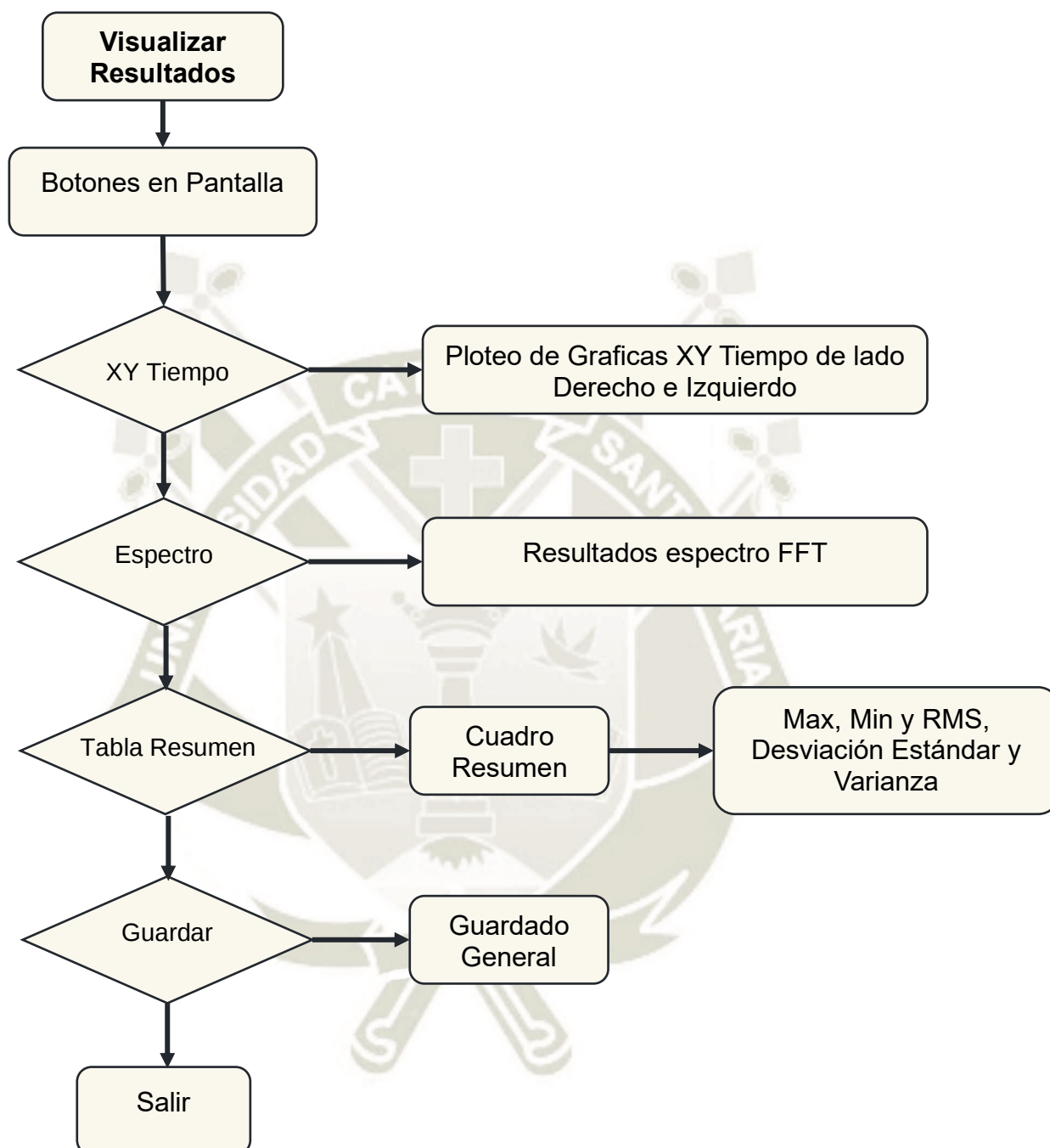


Figura 4.75 Botón VER DATOS

Fuente: Elaboración propia

10. DIAGRAMA DE FLUJO DE VISUALIZACION DE RESULTADOS



Flujograma 4.10 Visualización de resultados

Fuente: Elaboración propia

En el botón de RESULTADOS, observamos la siguiente interfaz



Figura 4.76 Interfaz de RESULTADOS

Fuente: Elaboración propia

A. XY TIEMPO

Presionando el botón XY TIEMPO.

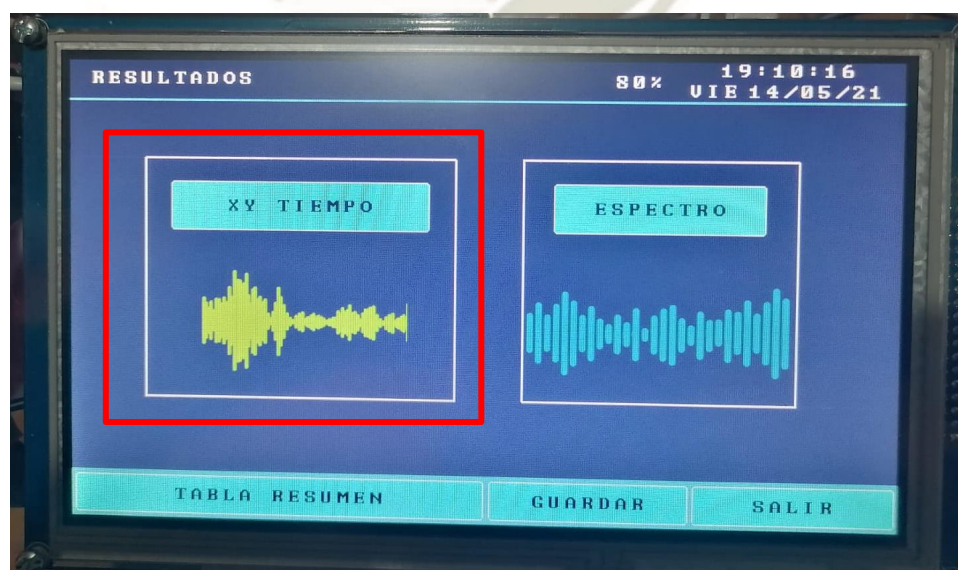


Figura 4.77 Botón XY TIEMPO

Fuente: Elaboración propia

En XY TIEMPO, se plotea de graficas en el tiempo de ambos lados Derecho e Izquierdo, en cada uno se visualizarán las gráficas, y viendo sus puntos AMP, RMS, el punto mínimo y máximo, y el tiempo máximo y mínimo.

Se observa toda la onda obtenida de ambos lados (derecha e izquierda) al medir el motor, el cual esta dividida en 80 ventanas. Y tenemos los botones “<<” y “>>”, los cuales nos permiten ver por cada ventana.

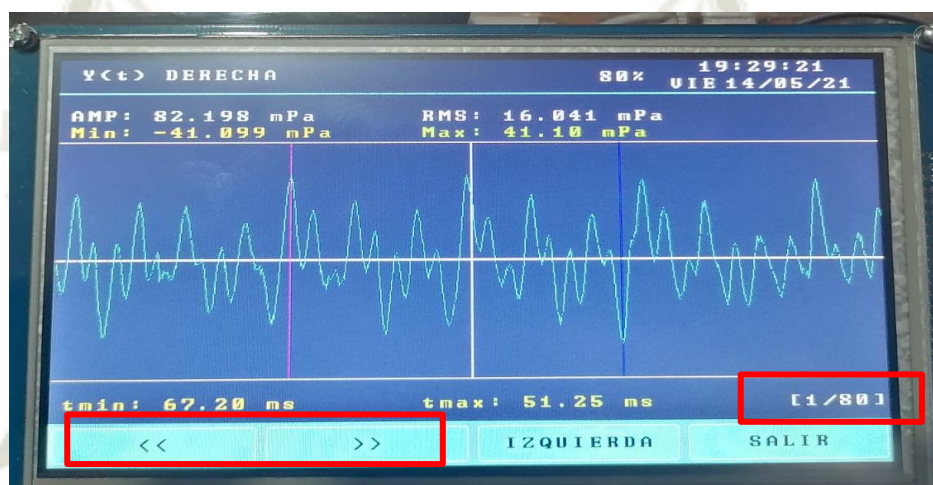


Figura 4.78 Grafica en el Tiempo lado Derecho
Fuente: Elaboración propia



Figura 4.79 Grafica en el tiempo lado Izquierdo
Fuente: Elaboración propia

B. ESPECTRO

Presionamos el botón del “ESPECTRO”

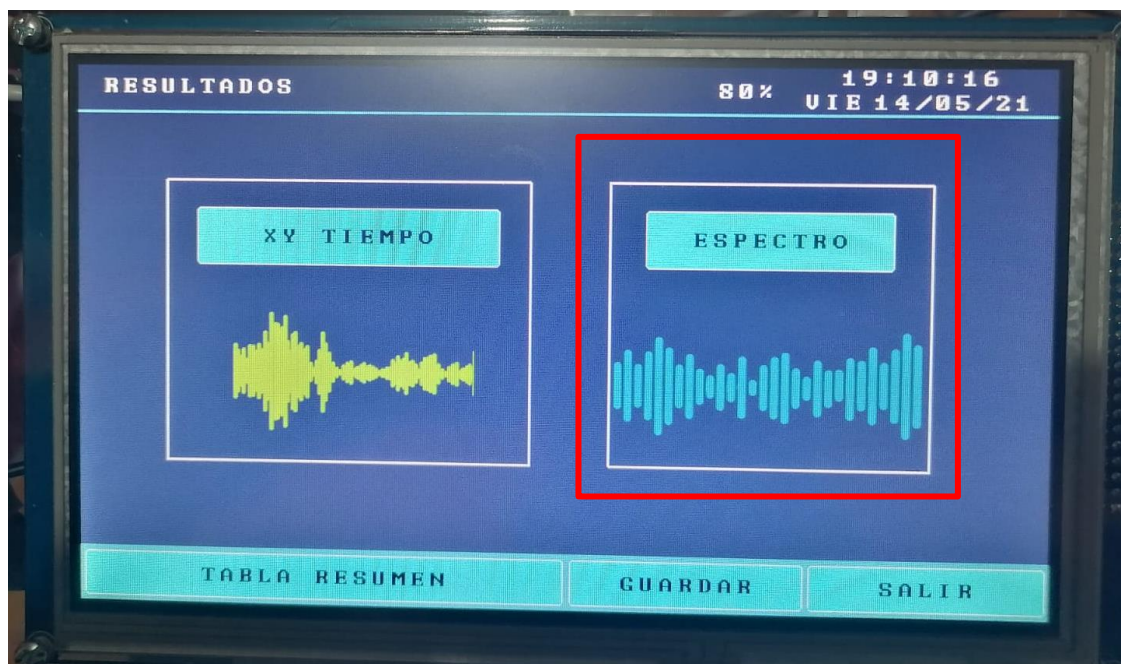


Figura 4.80 Botón del ESPECTRO

Fuente: Elaboración propia

Se visualizará la gráfica del espectro por FFT, de ambos lados Derecho e izquierdo, el MAX, K Hz y el RMS, esta grafica a diferencia de la medición en tiempo real, es la gráfica del espectro más fija, no hay movimiento y son datos precisos.

En la parte inferior tenemos el botón IZQUIERDO, en la interfaz del espectro derecho para ingresar a ver el espectro izquierdo, y en la interfaz del espectro izquierdo, el botón DERECHO para ingresar a ver el espectro derecho.

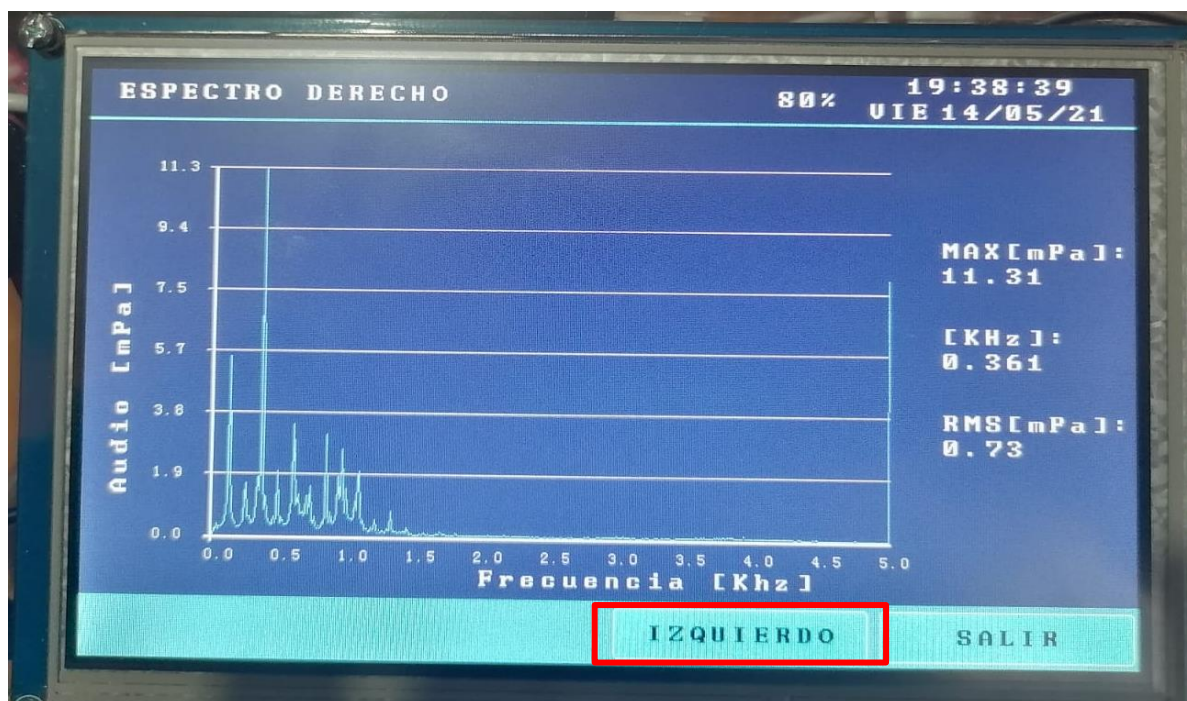


Figura 4.81 Espectro FFT del lado derecho

Fuente: Elaboración propia

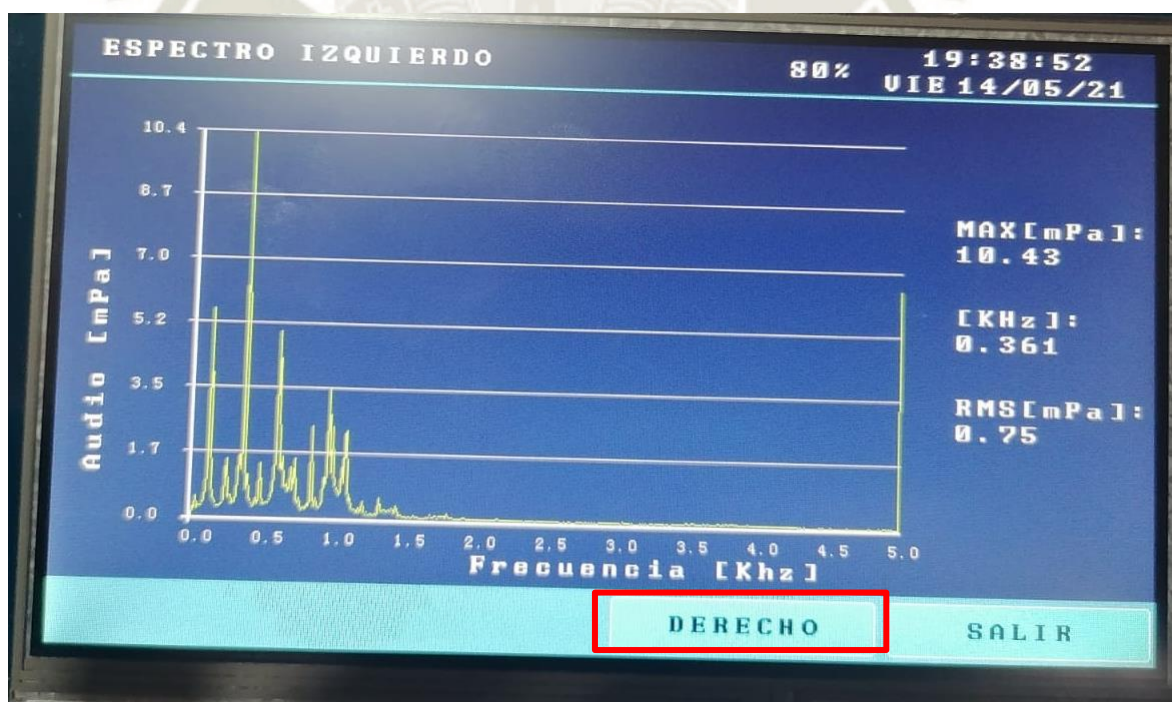


Figura 4.82 Espectro FFT del lado izquierdo

Fuente: Elaboración propia

C. TABLA RESUMEN

Es un cuadro resumen de todos los datos obtenidos.



Figura 4.83 Botón TABLA RESUMEN

Fuente: Elaboración propia

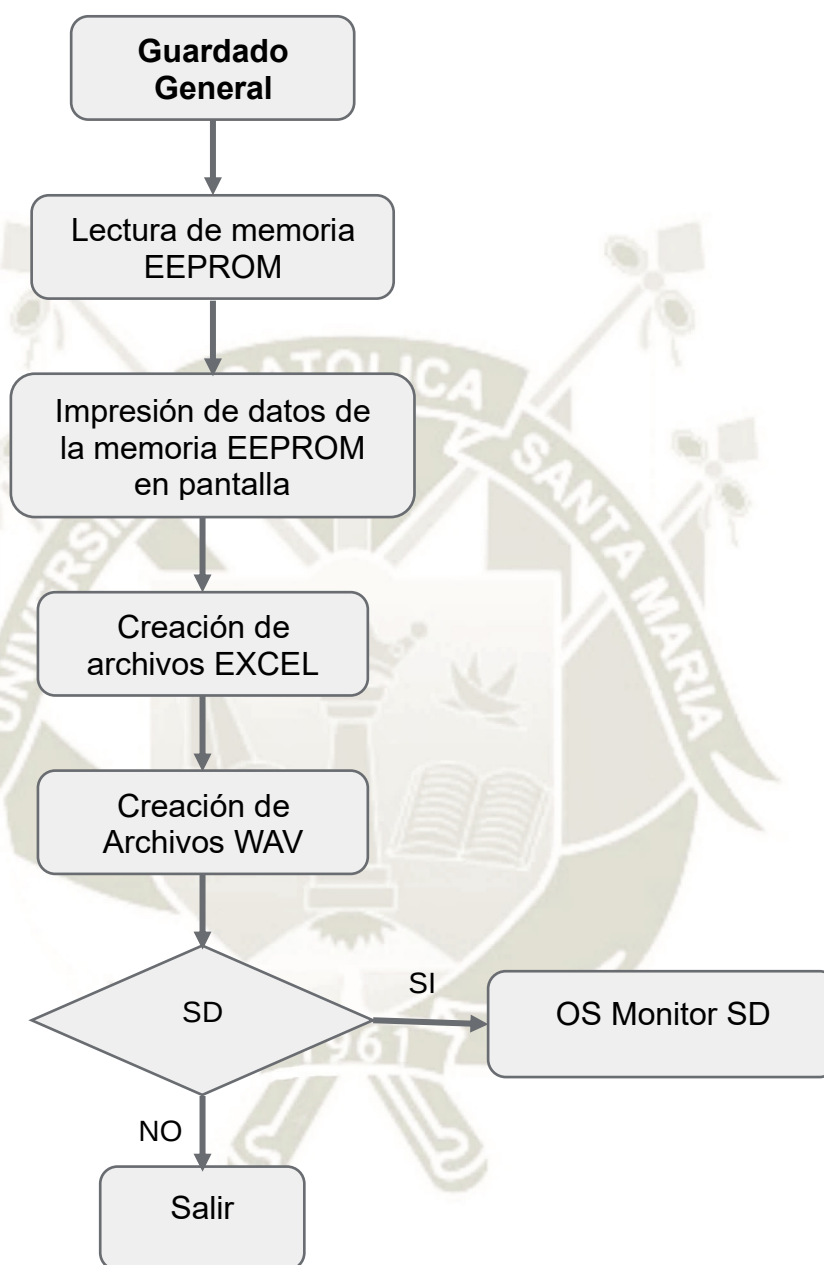
En el cual observamos el promedio del máximo, mínimo y RMS, la desviación estándar y la varianza para ambos lados Derecho e Izquierdo.

TABLA RESUMEN		80%	19:50:46
		VIE 14/05/21	
PROMEDIO	LADO IZQUIERDO	LADO DERECHO	
	MAXIMO: 42.97 mPa	MAXIMO:	42.66 mPa
	MINIMO: -41.51 mPa	MINIMO:	-42.35 mPa
	RMS: 16.23 mPa	RMS:	15.59 mPa
DESVIACION ESTANDAR: 1.98 mPa		DESVIACION ESTANDAR: 2.51 mPa	
VARIANZA: 3.92 uPa		VARIANZA: 6.28 uPa	
		SD	SALIR

Figura 4.84 Tabla Resumen

Fuente: Elaboración propia

11. DIAGRAMA DE FLUJO DE GUARDADO GENERAL DE TODOS LOS DATOS



Flujograma 4.11 Guardado general de todos los datos

Fuente: Elaboración propia

Se presenta el botón de “GUARDADO GENERAL”



Figura 4.85 Botón de GUARDAR

Fuente: Elaboración propia

Se ve la interfaz de “GUARDADO GENERAL”, donde se muestra todos los datos guardados de ambos lados izquierdo y derecho y se genera un reporte de archivo EXCEL, y se crea un archivo WAV. Estos archivos se guardan en la memoria SD, la cual luego se retira para ver los archivos en la PC o laptop.

En el GUARDADO GENERAL, cuando no se pueda guardar correctamente el archivo nos aparecerá un mensaje de ALERTA

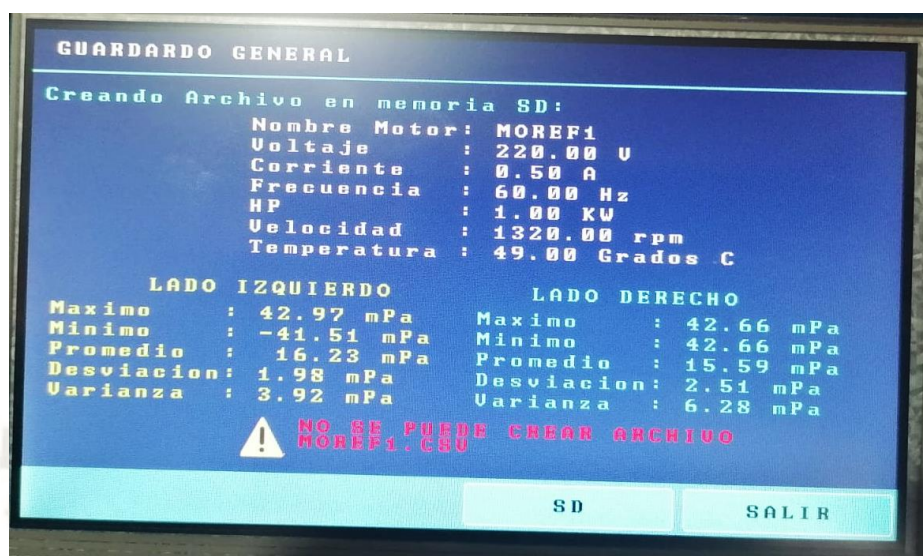


Figura 4.86 Error de Guardado general

Fuente: Elaboración propia

Cuando el archivo este guardado correctamente, no aparecerá el siguiente símbolo, dando a conocer que el archivo esta guardado correctamente

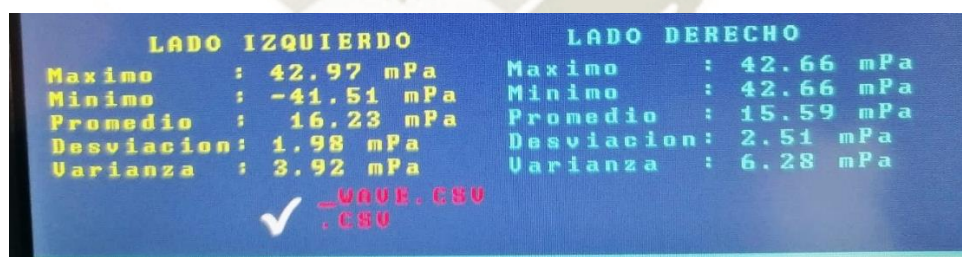


Figura 4.87 Correcto Guardado general

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V
IMPLEMENTACION DEL EQUIPO

En este capítulo se describirán cada parte del equipo con todos los circuitos diseñados con sus respectivas pruebas para el equipo de Análisis por Acústica para Motores y también se muestran los resultados obtenidos de cada parte.

I. ETAPA ANALOGA

1. CIRCUITO ANALOGO

Se realizó las pruebas de cada lado izquierdo y derecho del circuito análogo junto al estetoscopio mecánico, se actúa de acuerdo con lo diseñado en el esquemático 1. Para observar la señal recibida.

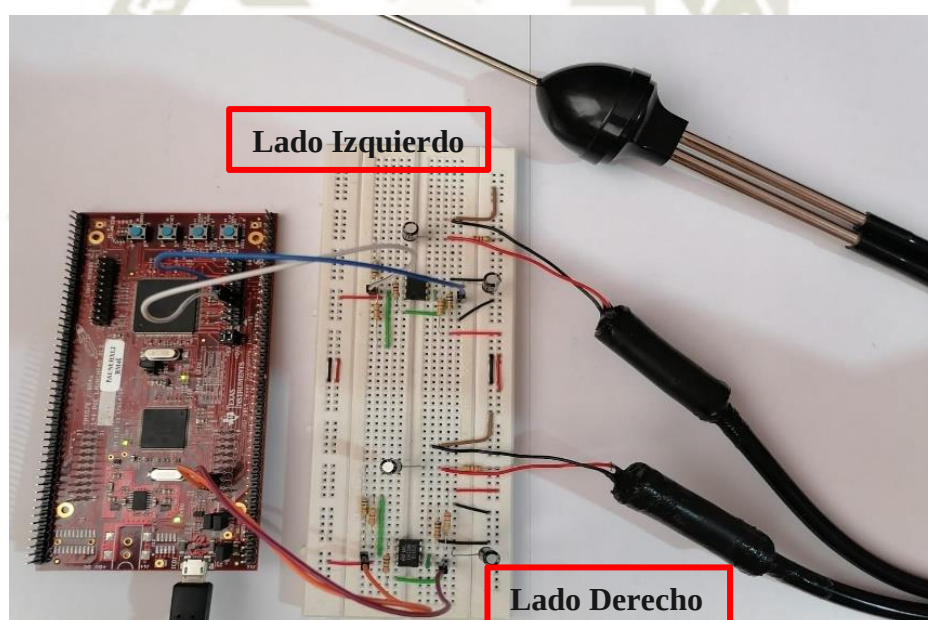


Figura 5.88 Circuito análogo armado en protoboard

Fuente: Elaboración propia

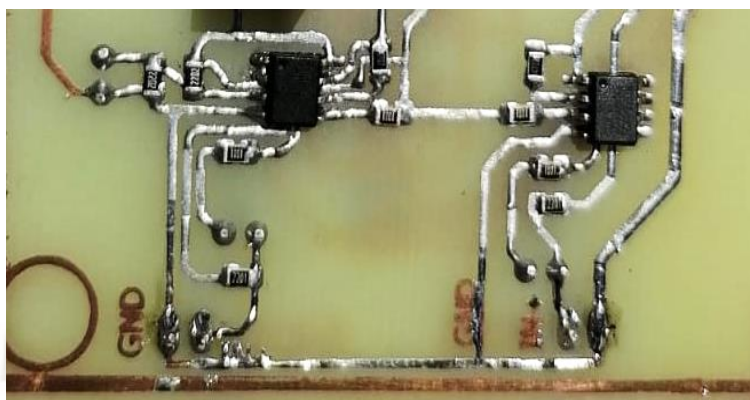


Figura 5.89 Circuito análogo ubicado en la parte posterior de la placa

Fuente: Elaboración propia

Cada lado derecho e izquierdo, tiene un preamplificador para poder analizar la señal obtenida.

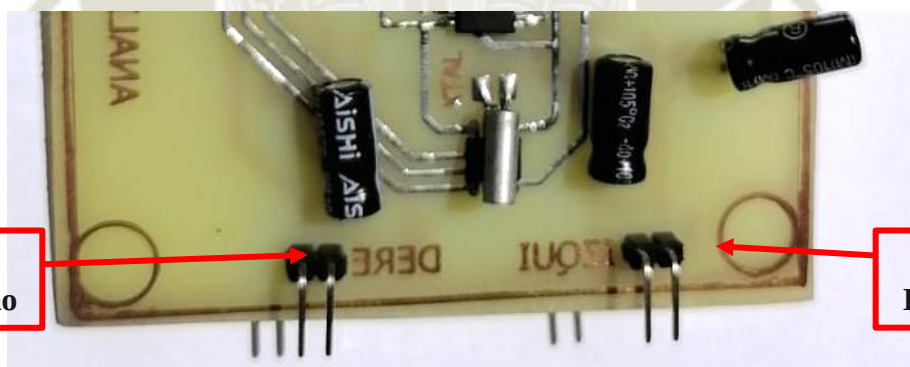


Figura 5.90 Salida de Circuito análogo en placa parte superior

Fuente: Elaboración propia

Se realizó las pruebas por el osciloscopio y en la siguiente figura se visualiza el lado izquierdo.

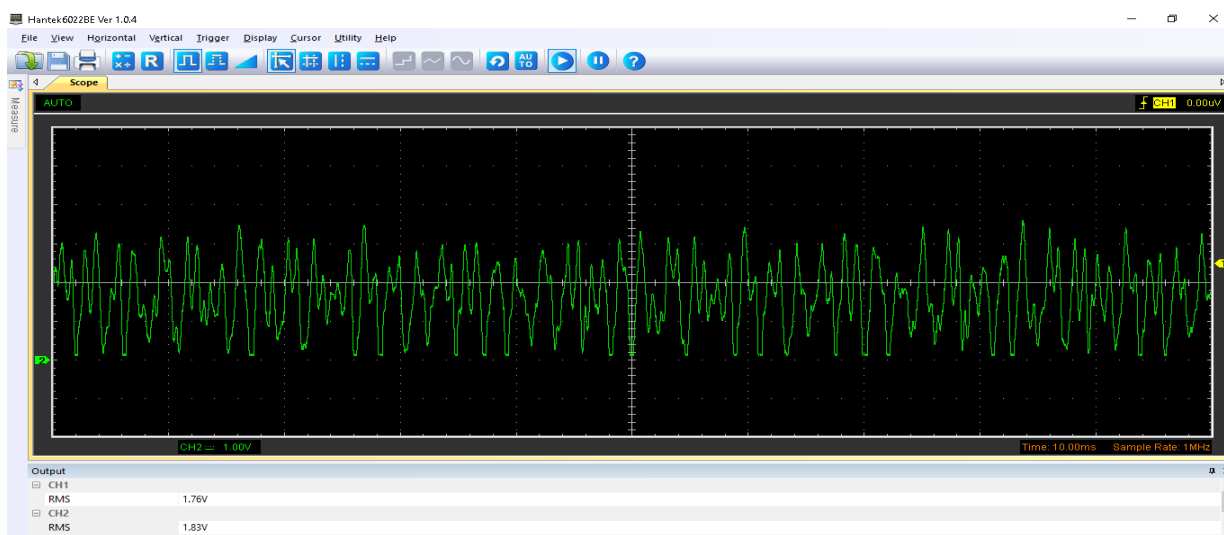


Figura 5.91 Lado Izquierdo prueba del osciloscopio
Fuente: Elaboración propia

Se realizó las pruebas por el osciloscopio y en la siguiente figura se visualiza el lado derecho.

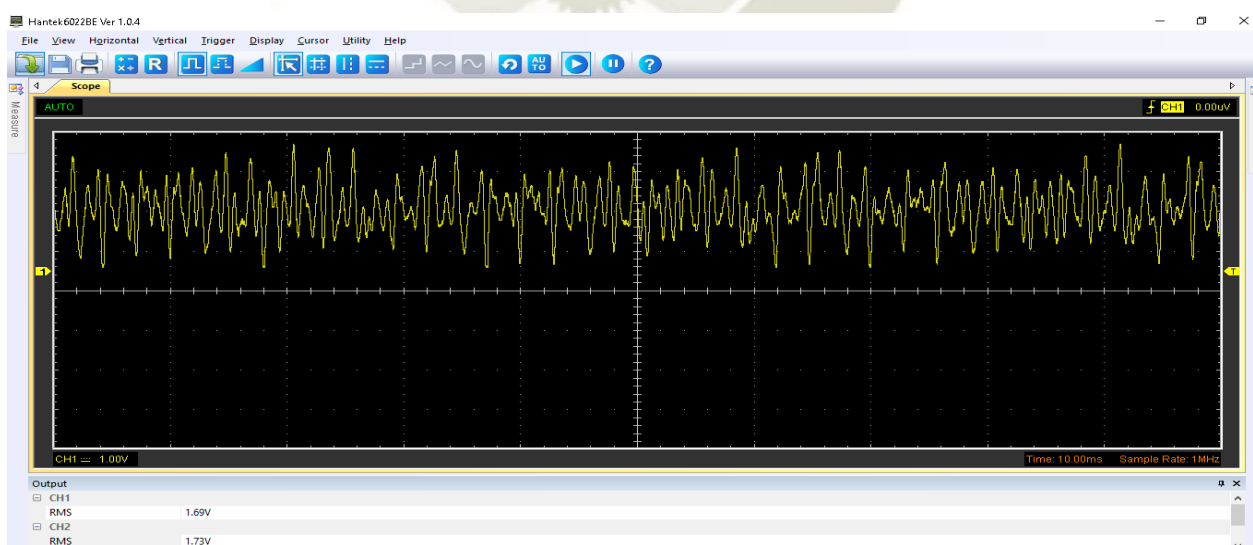


Figura 5.92 Lado Derecho prueba por el osciloscopio
Fuente: Elaboración propia

Se realizo las pruebas por el osciloscopio para ver la señal de ambos lados izquierda y derecha.

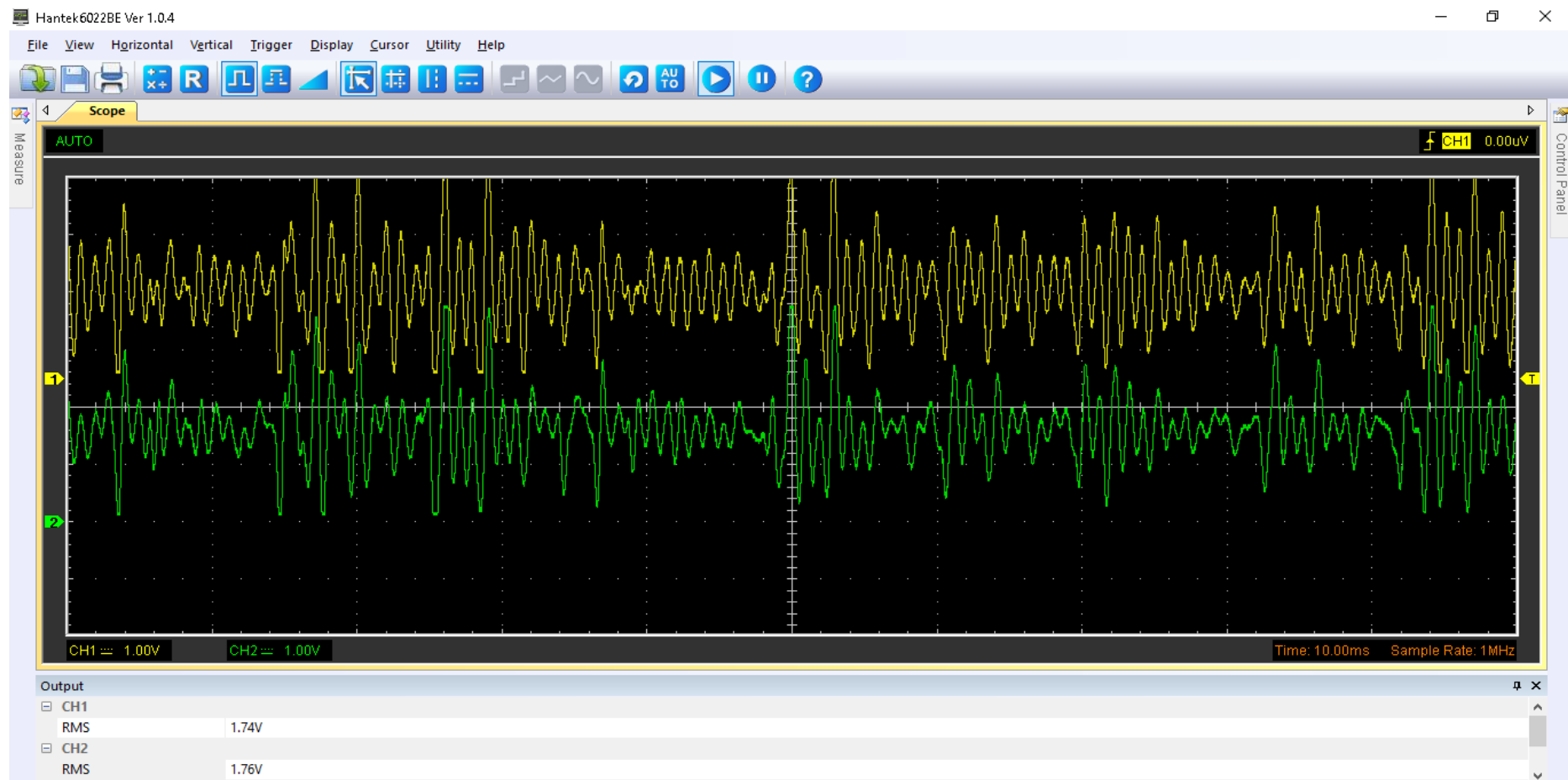


Figura 5.93 Medición de señales lado izquierdo y derecho por separado

Fuente: Elaboración propia

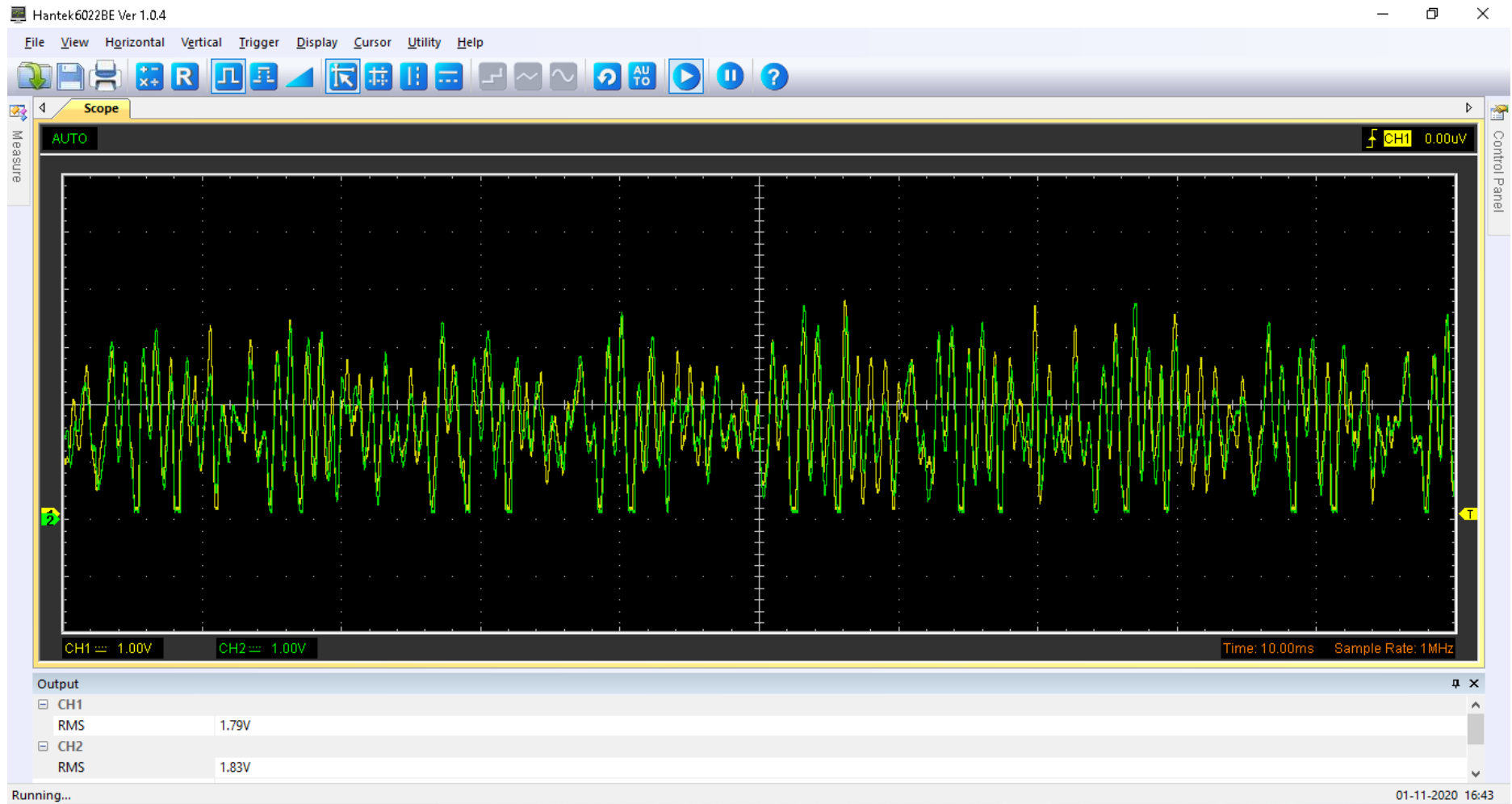


Figura 5.94 Medición de ambas señales juntas del lado izquierdo y derecho

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra la señal muestreada por el microcontrolador

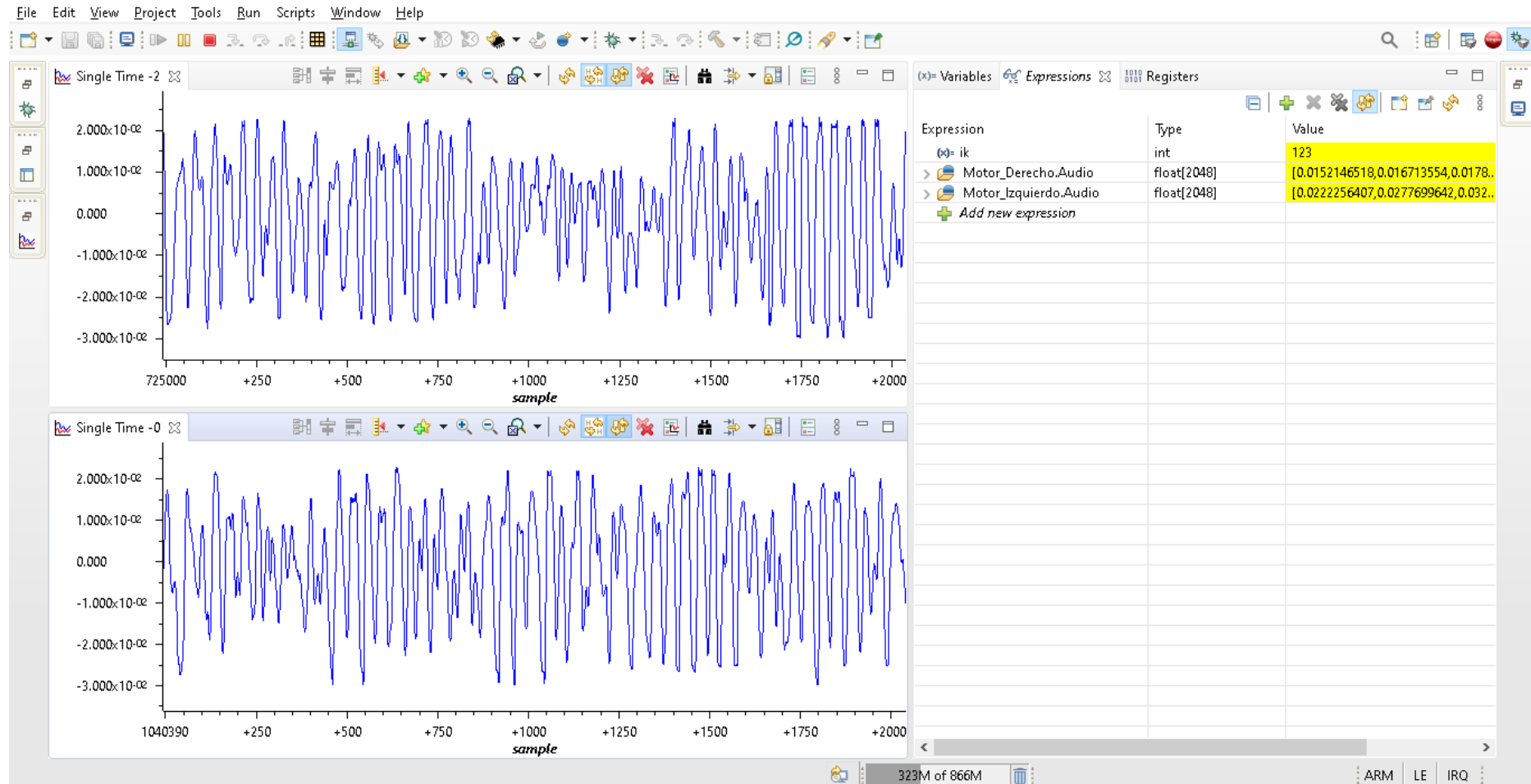


Figura 5.95 Señales muestreadas por el microcontrolador

Fuente: Elaboración propia

2. CIRCUITO MEDIDOR DE BATERIA

Como se vio en el apartado del capítulo 3, Diseño de etapa análoga en el punto 4. Se añadió un circuito medidor de batería y se puede visualizar en la siguiente figura.

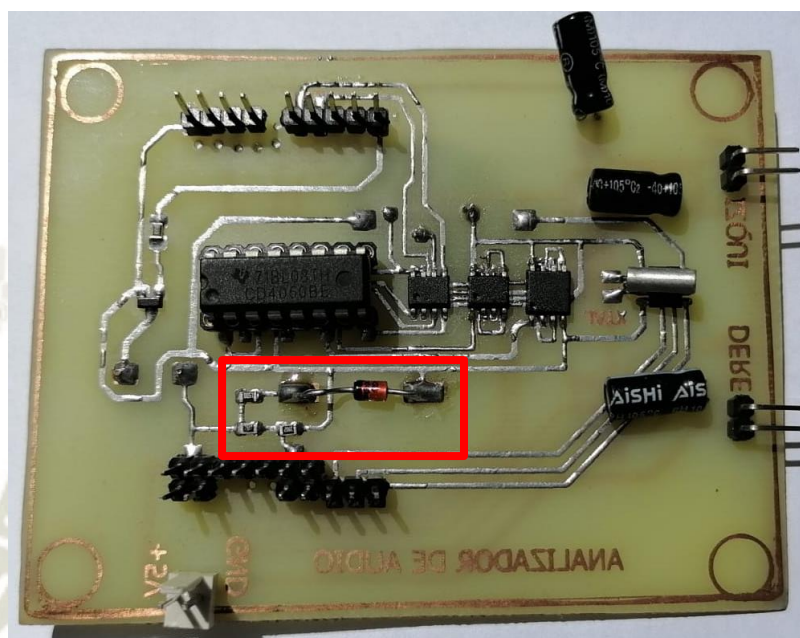


Figura 5.96 Circuito medidor de batería
Fuente: Elaboración propia

II. ETAPA DIGITAL

1. CIRCUITO DE MEMORIAS RAM Y BUFFER

Este circuito de memorias RAM nos permitirá almacenar la información a una gran velocidad y ayudará al microcontrolador que tenga más capacidad de trabajo y junto con el buffer para amplificar la señal.

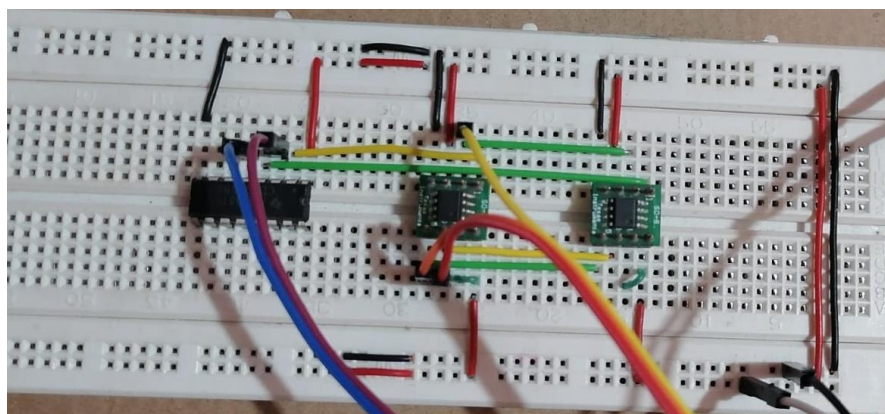


Figura 5.97 Circuito de memorias RAM en protoboard junto con el buffer

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se ve implementado el circuito de memorias RAM, EEPROM y Buffer en la placa para el equipo analizador.

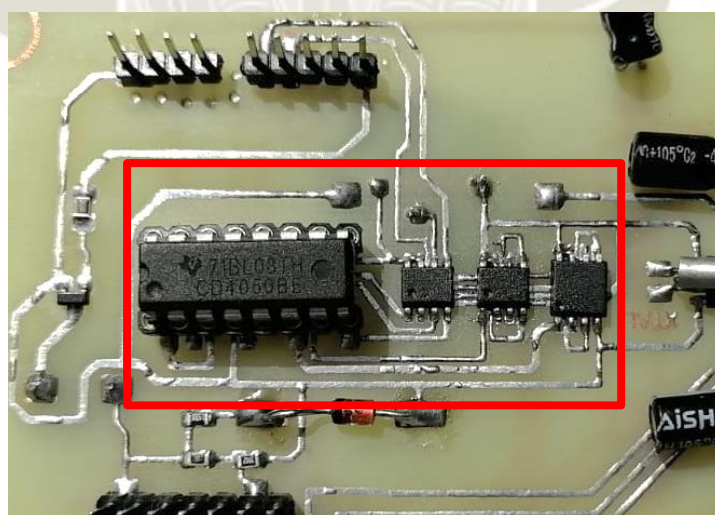


Figura 5.98 Circuito de memorias RAM, EEPROM y BUFFER en placa

Fuente: Elaboración propia

Realizamos las pruebas de la memoria RAM para cada lado izquierdo y derecho en el programa de MATLAB.

```

conversioaudiod.m  x  +
1 -  |clc
2 -  clear all
3 -  filename = 'DERECHO.txt';
4 -  filename1= 'IZQUIERDO.txt';
5 -  y_derecho=importdata(filename);
6 -  y_izquierdo=importdata(filename1);
7
8 -  Fs=20000;
9 -  T = 1/Fs;                % Sample time
10 - L=64000;
11 - t = (0:L-1)*T;          % Time vector
12
13 - subplot(2,1,1);
14 - plot(t,y_derecho);
15
16 - title('DERECHO')
17 - xlabel('seg(s)')
18 - ylabel('Audio')
19
20
21
22
23
24
25
26 - NFFT = 2^nextpow2(L); % Next power of 2 from length of y
27 - Y = fft(y_derecho,NFFT)/L;
28 - f = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1)/85.5;
29 - %cpm=60*f;
30 - Yfft=2*abs(Y(1:NFFT/2+1));
31 - % Plot single-sided amplitude spectrum.
32 - subplot(2,1,2);
33 - plot(f,Yfft)
34 - axis([0 5000/85.5 0 200])
35 - title('ESPECTRO DEL LADO DERECHO')
36 - %xlabel('Revoluciones por minuto (RPM)')
37 - xlabel('ORDENES')
38 - ylabel('|Y(f)|')
39

```

Figura 5.99 Programa de MATLAB lado derecho

Fuente: Elaboración propia

```

conversionaudiod.m  x  +
1 -   clc
2 -   clear all
3 -   filename = 'DERECHO.txt';
4 -   filename1= 'IZQUIERDO.txt';
5 -   y_derecho=importdata(filename);
6 -   y_izquierdo=importdata(filename1);
7
8 -   Fs=20000;
9 -   T = 1/Fs;                      % Sample time
10 -  L=64000;
11 -  t = (0:L-1)*T;                  % Time vector
12
13 -  subplot(2,1,1);
14 -  plot(t,y_izquierdo);
15
16 -  %title('DERECHO')
17 -  %xlabel('seg(s)')
18 -  %ylabel('Audio')
19
20 -  subplot(2,1,2);
21 -  plot(t,y_izquierdo);
22 -  title('IZQUIERDO')
23 -  xlabel('seg(s)')
24 -  ylabel('Audio')
25
26 -  NFFT = 2^nextpow2(L); % Next power of 2 from length of y
27 -  Y = fft(y_izquierdo,NFFT)/L;
28 -  f = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1)/85.5;
29 -  %cpm=60*f;
30 -  Yfft=2*abs(Y(1:NFFT/2+1));
31 -  % Plot single-sided amplitude spectrum.
32 -  subplot(2,1,2);
33 -  plot(f,Yfft)
34 -  axis([0 5000/85.5 0 200])
35 -  title('ESPECTRO DEL LADO IZQUIERDO')
36 -  %xlabel('Revoluciones por minuto (RPM)')
37 -  xlabel('ORDENES')
38 -  ylabel('|Y(f)|')

```

Figura 5.100 Programa de MATLAB lado izquierdo

Fuente: Elaboración propia

Resultado del funcionamiento el lado izquierdo y derecho

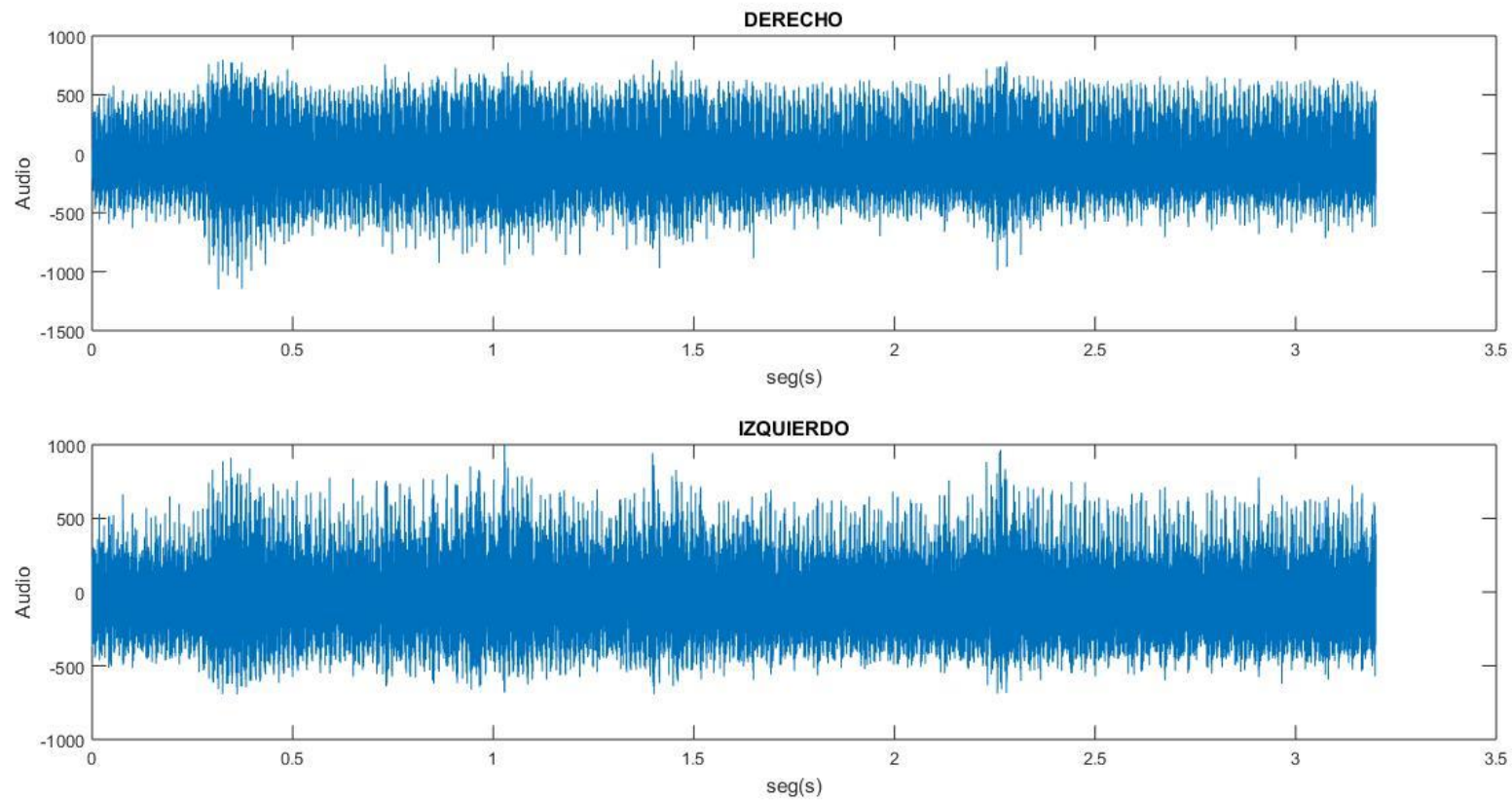


Figura 5.101 Matlab graficas del funcionamiento de la memoria RAM

Fuente: Elaboración propia

2. CIRCUITO DE RELOJ

El circuito de reloj nos ayudara a ver la hora y fecha en la pantalla del equipo. Con este circuito los archivos guardados tendrán la hora y fecha del día que se realizaron la medición.

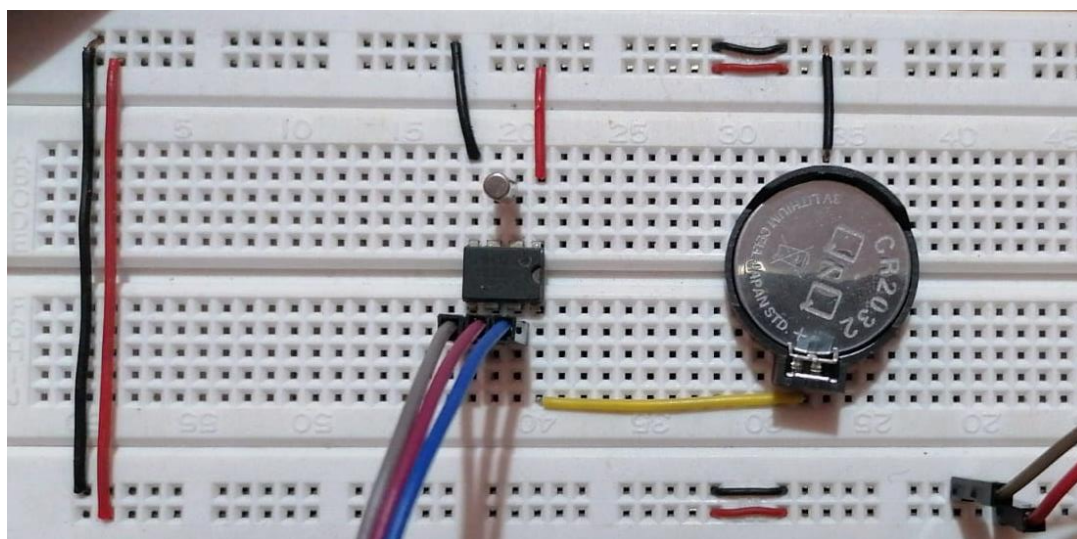


Figura 5.102 Circuito de Reloj en protoboard
Fuente: Elaboración propia

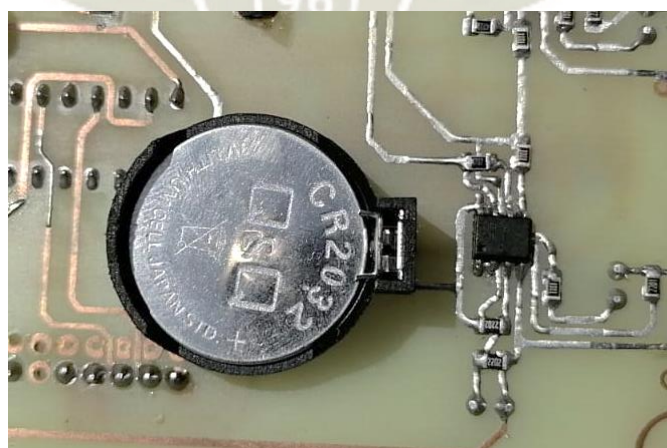
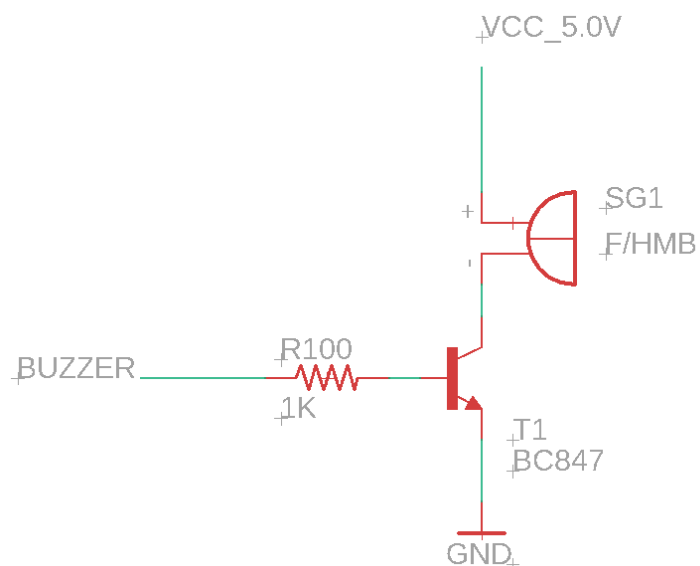


Figura 5.103 Circuito de Reloj en placa
Fuente: Elaboración propia

3. CIRCUITO BUZZER

Este circuito Buzzer es un transductor electroacústico que produce un sonido agudo. Sirve como una señal de aviso, y se utiliza para cada vez que se presiona un botón o parte de la pantalla LCD.



Esquemático 5.13 Circuito Buzzer
Fuente: Elaboración propia

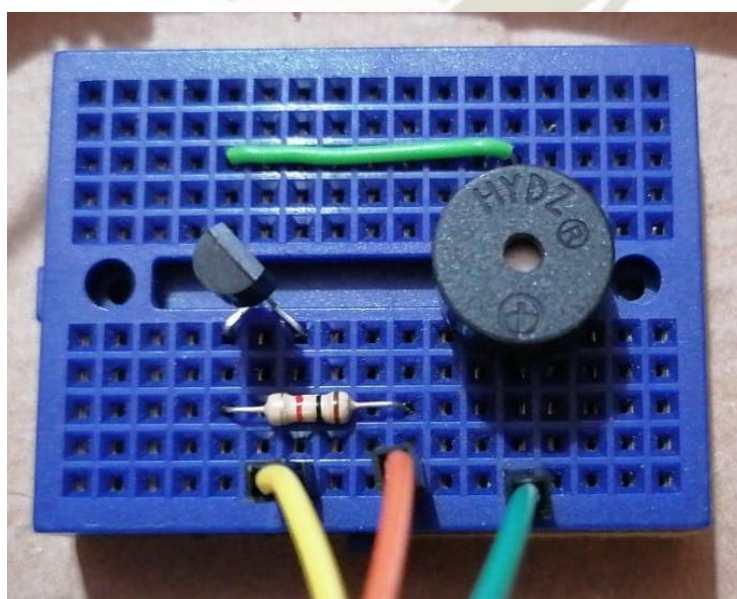


Figura 5.104 Circuito Buzzer para la pantalla en protoboard
Fuente: Elaboración propia

Después de ser diseñado en el programa Eagle y luego puesto en un protoboard para probar su funcionamiento se implementó en la placa, se puede visualizar en la siguiente figura.

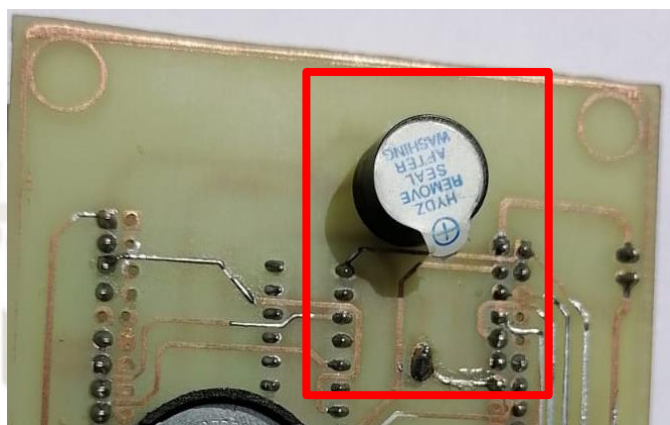


Figura 5.105 Circuito Buzzer en placa
Fuente: Elaboración propia

III. CIRCUITO DE VISUALIZACION E INTERFAZ DE PANTALLA

La placa fabricada de visualización e interfaz mostrado en la figura 5.49 es un circuito para reducir los pines de control, de datos y del control de Touch de la pantalla LCD, en la misma placa está conectado los pines de SD.

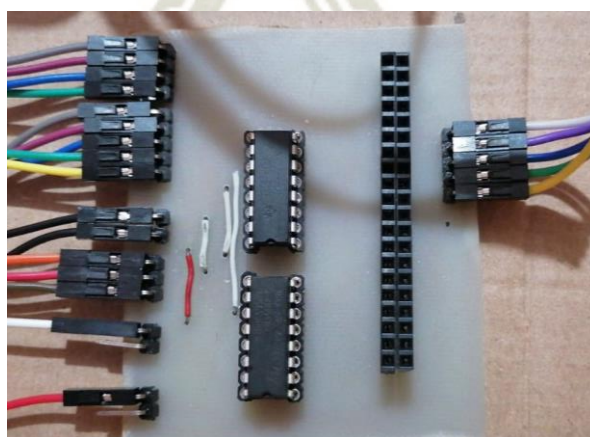


Figura 5.106 Circuito de visualización e interfaz de pantalla LCD
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente figura se visualiza la pantalla prendida junto con la placa de la figura 5.49.

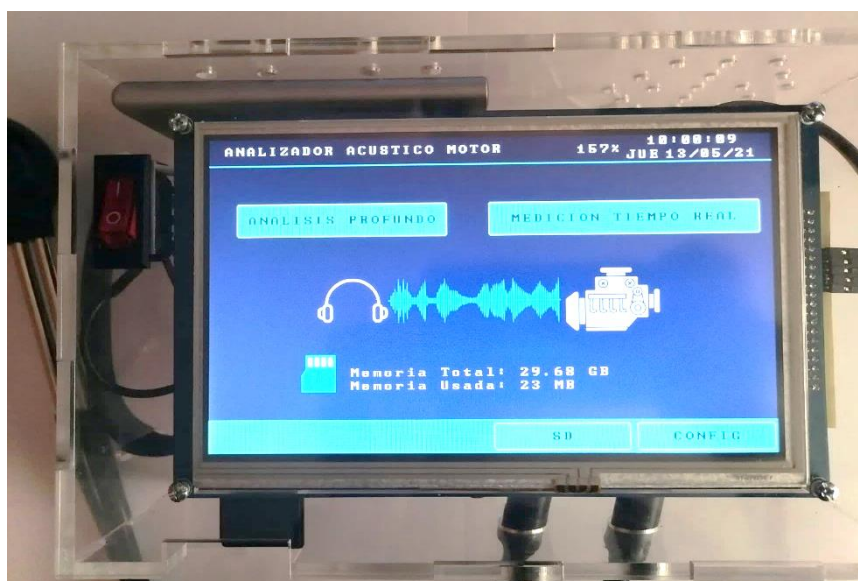


Figura 5.107 Pantalla Touch LCD prendida
Fuente: Elaboración propia

La placa LCD reduce los pines de la pantalla Touch, y ocupa menos espacio.

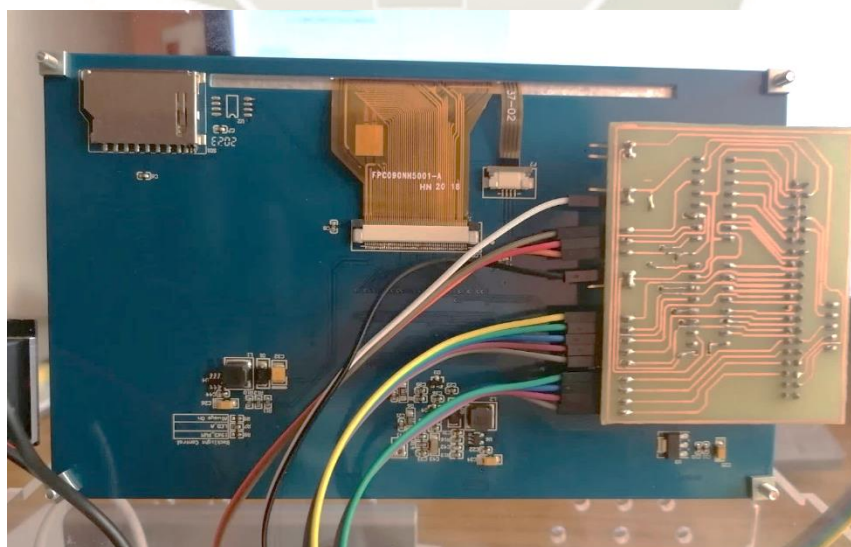


Figura 5.108 Parte de atrás de la pantalla con la placa LCD.
Fuente: Elaboración propia

IV. MEMORIA SD

La memoria SD es de montaje superficial, la pantalla LCD tiene una abertura para colocar la memoria SD, el cual va directamente a la placa principal mediante la placa de visualización e interfaz vista en la figura 5.51. La memoria es para guardar los archivos Excel y archivos WAV creados por cada medición. Al desconectar la memoria SD, podemos visualizar los archivos en una PC.

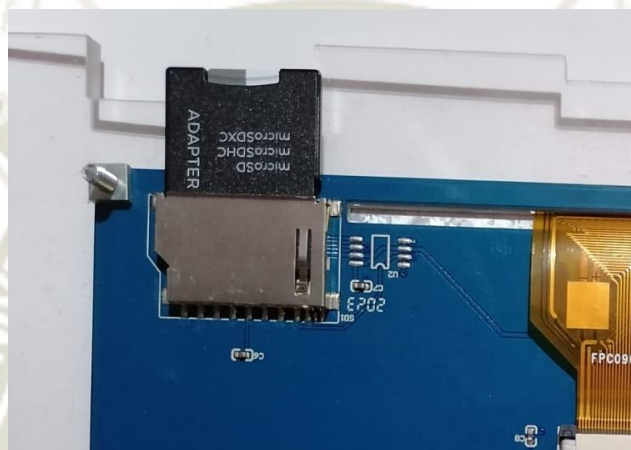


Figura 5.109 Montaje de la memoria SD

Fuente: Elaboración propia

Se muestra a continuación la interfaz de la memoria SD, en la visualización de archivos WAV y EXCEL.

V. EQUIPO ANALIZADOR ACUTISCO PARA MOTORES



*Figura 5.110 Equipo Analizador acústico para motores
Fuente: Elaboración propia*



*Figura 5.111 Salida del equipo - Estetoscopio
Fuente: Elaboración propia*

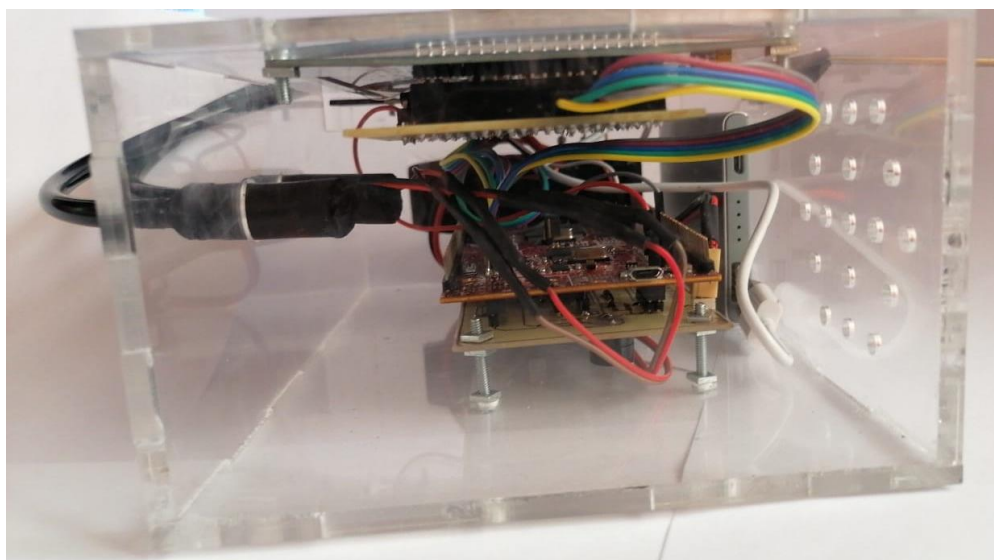


Figura 5.112 Parte lateral del equipo

Fuente: Elaboración propia

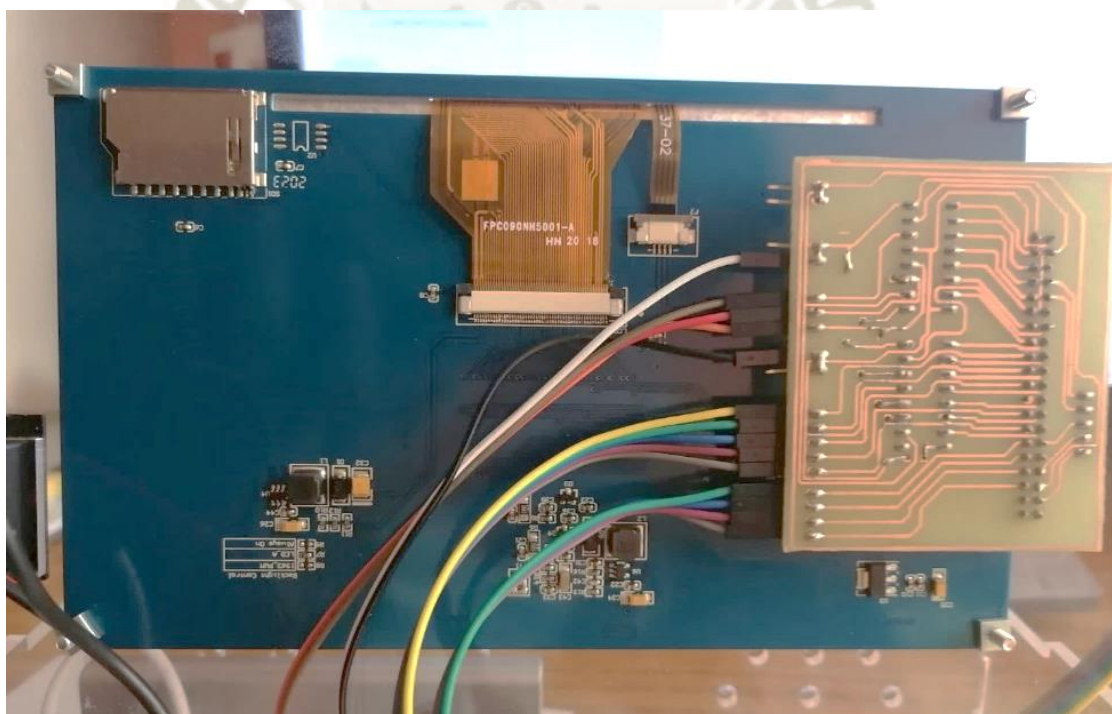


Figura 5.113 Detrás de la pantalla LCD

Fuente: Elaboración propia

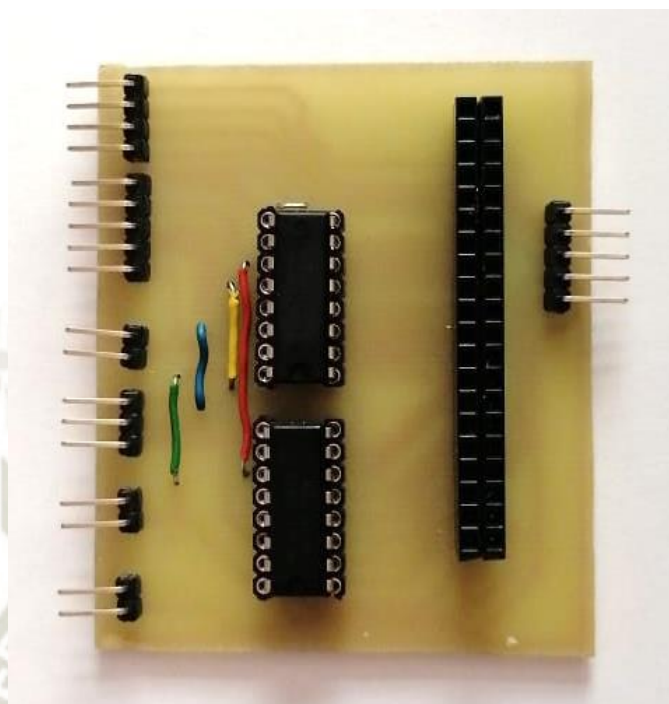


Figura 5.114 Circuito de la pantalla LCD – Parte de arriba
Fuente: Elaboración propia

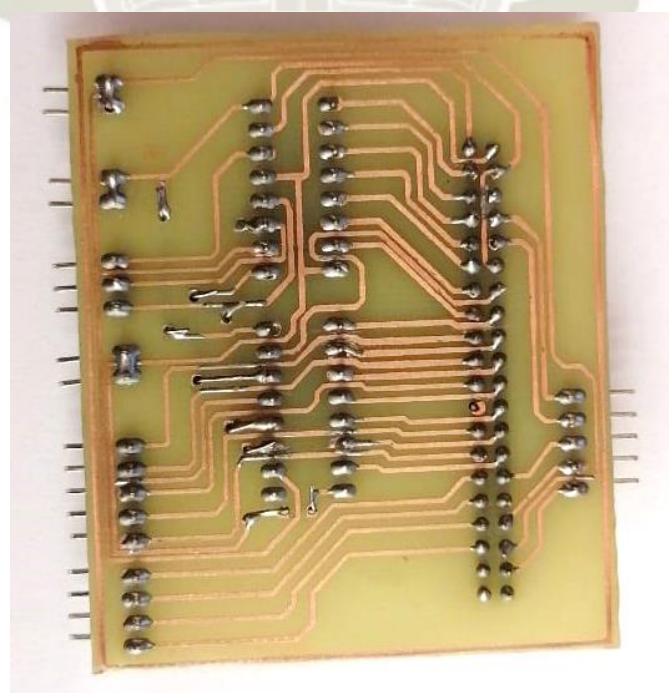


Figura 5.115 Circuito de la pantalla LCD – Parte de abajo
Fuente: Elaboración propia

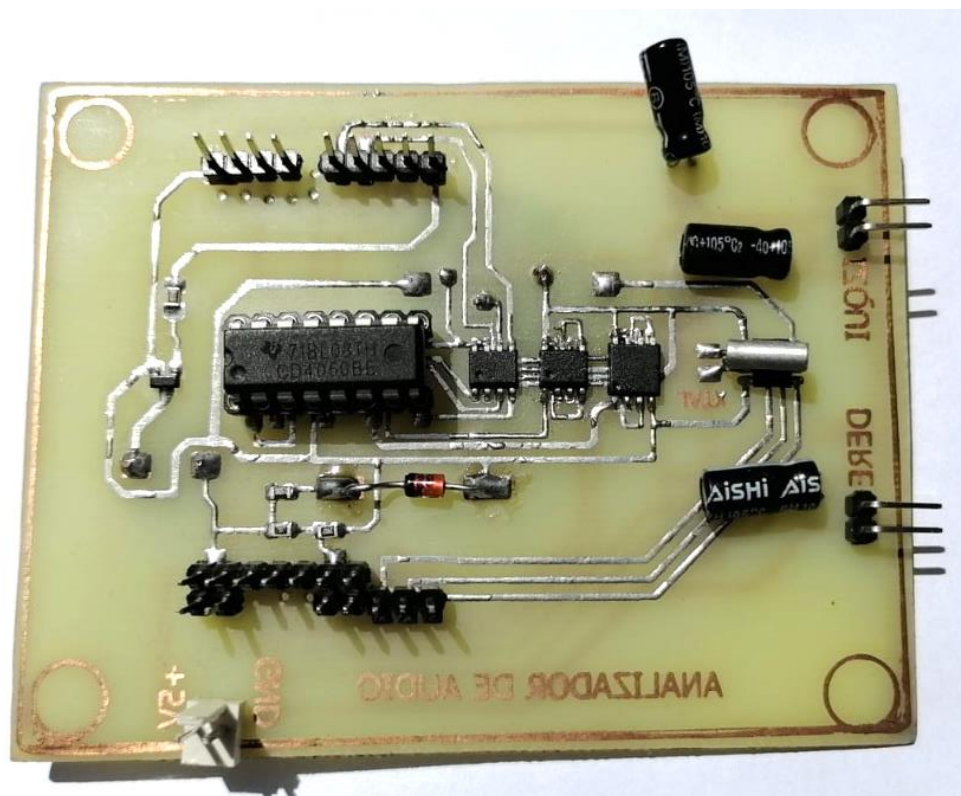


Figura 5.116 Circuito Analizador de audio – Parte de arriba

Fuente: Elaboración propia

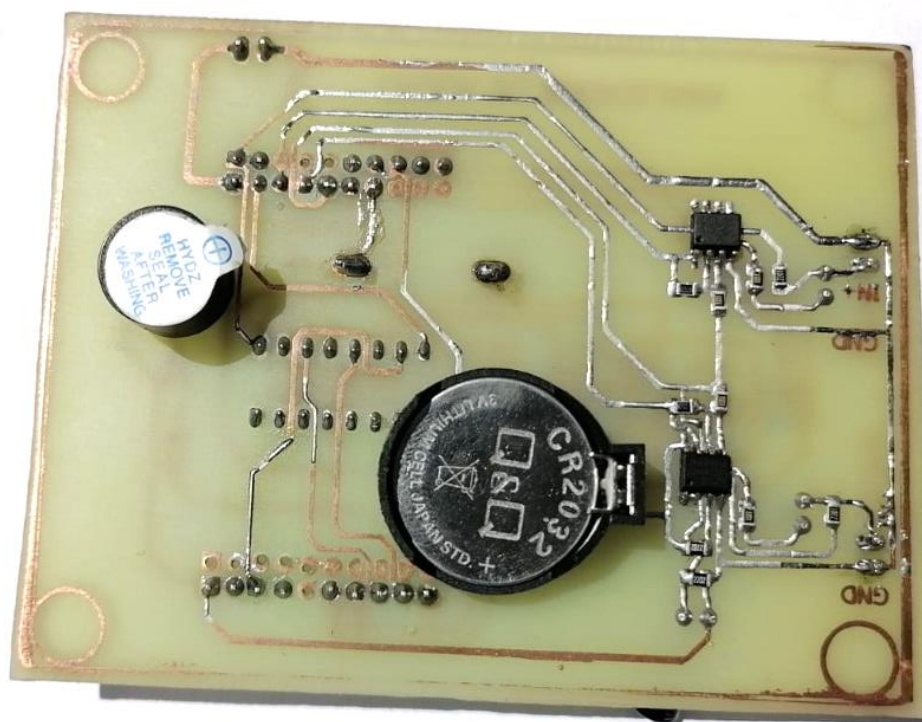


Figura 5.117 Circuito Analizador de audio – Parte de abajo

Fuente: Elaboración propia



CAPITULO VI

PRUEBAS Y RESULTADOS

Con el equipo ya implementado, se realizaron las pruebas a diferentes motores. La ventaja de este equipo es que para tomar estas pruebas y obtener los datos para el análisis, el motor debe estar prendido y en pleno funcionamiento.

I. VARIACIONES DE LA FIRMA DE AUDIO POR MANTENIMIENTO

1. MOTOR ELCO

ELCO produce y distribuye motores eléctricos para refrigeración comercial e industrial, también para la calefacción, ventilación y acondicionamiento del aire. (ELCO, 2021). Primero antes del mantenimiento, para saber en qué estado se encontraba, y luego del mantenimiento para ver lo importante que es ver el mantenimiento de los motores. Se hizo dos tipos de medición del rodamiento delantero y del rodamiento de atrás.

1.1. DATOS DEL MOTOR

DATOS DE LA PLACA DEL MOTOR	
NOMBRE	MOTOR ELCO
VOLTAJE	230V
CORRIENTE	870mA
FRECUENCIA	60 Hz
HP	34 W
VELOCIDAD	1300 rpm
TEMPERATURA	49°C

Tabla 6.8 Datos de la placa del MOTOR ELCO

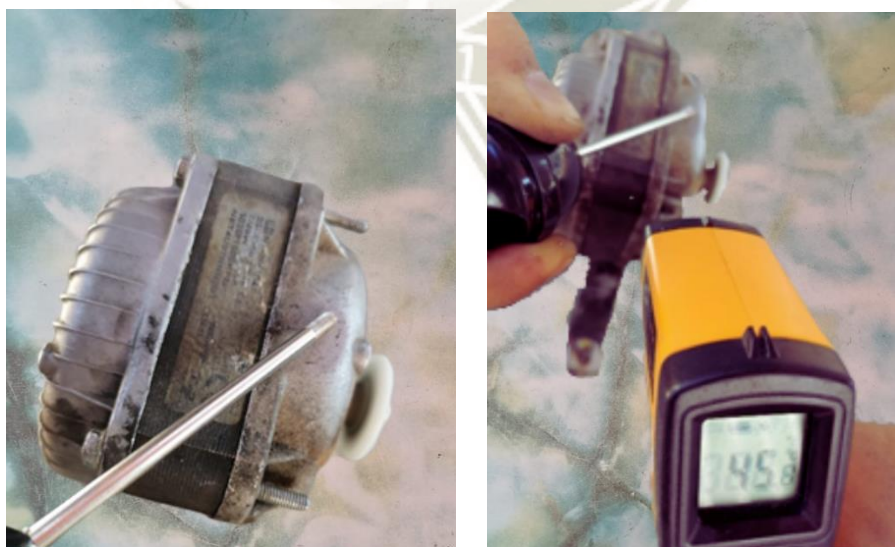
Fuente: Elaboración propia

1.2. FIRMA DE AUDIO DE RODAMIENTO DELANTERO DEL MOTOR

Se realizó una medición en los rodamientos del motor de la parte de adelante con el equipo de análisis acústico para motores, de los rodamientos delanteros del motor.



*Figura 6.118 Motor ELCO
Fuente: Elaboración propia*



*Figura 6.119 Estetoscopio en la parte delantera del Motor
Fuente: Elaboración propia*

A. ANTES DEL MANTIMIENTO

Terminando de hacer las mediciones con el equipo analizador de acústica para motores. Obtenemos los datos del informe generado automáticamente de EXCEL.

	A	B	C	D	E
1	INFORME DE ANALISIS ACUSTICO DEL MOTOR				
2					
3	FECHA:	16/05/2021		HORA:	10:03:35
4					
5					
6	DATOS EVALUADOS DEL MOTOR:				
7					
8	Nombre del Motor:	RA1			
9	Voltaje:	230 V			
10	Corriente:	870 mA			
11	Frecuencia:	60.00 Hz			
12	HP:	34 W			
13	Velocidad:	1300 rpm			
14	Temperatura:	49 Grados C			
15					
16	RESULTADO DE ANALISIS DE TIEMPO				
17					
18	LADO IZQUIERDO		LADO DERECHO		
19	Maximo:	10.11 mPa	Maximo:	7.95 mPa	
20	Minimo:	-9.10 mPa	Minimo:	7.95 mPa	
21	RMS:	3.69 mPa	RMS:	3.21 mPa	
22	Desviacion Estandar:	0.09 mPa	Desviacion	0.13 mPa	
23	Varianza:	0.01 mPa	Varianza:	0.02 mPa	
24					
25	RESULTADO DE ANALISIS EN FRECUENCIA				
26					
27	Frecuencia[Hz]	FFT Derecho[dB]	FFT Izquierdo[dB]		
28	0	0	0		
29	9.2	0.092	0.199		
30	18.4	0.087	0.105		
31	27.6	0.1	0.134		
32	36.8	0.099	0.113		
33	46	0.102	0.121		
34	55.2	0.122	0.142		
35	64.4	0.144	0.168		
36	73.6	0.173	0.199		
37	82.8	0.209	0.247		
38	92	0.305	0.359		

Figura 6.120 Reporte Excel del rodamiento delantero antes del mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo los datos del informe Excel generado, sacamos los datos de Tiempo y de Frecuencia de ambos lados (derecho e izquierdo) y comprobaremos sus datos en MATLAB.

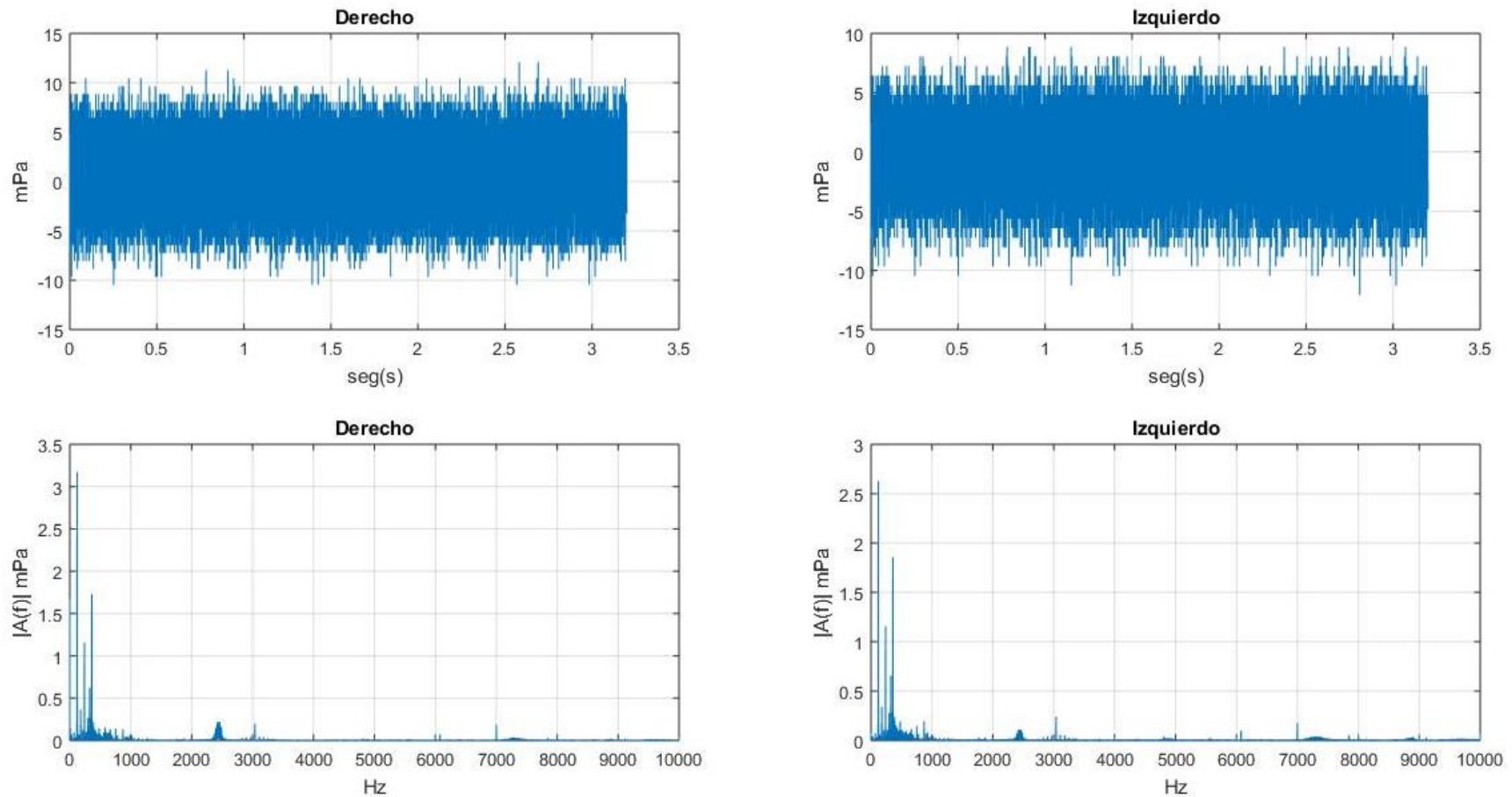


Figura 6.121 Gráfica de Tiempo y Frecuencia – Rodamiento delantero antes del mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 6.121. El espectro de audio no se observa muy bien en el ancho de banda utilizando. La máxima información está contenida dentro de la banda de 0 a 1000 Hz, por lo que realizaremos un zum al espectro.

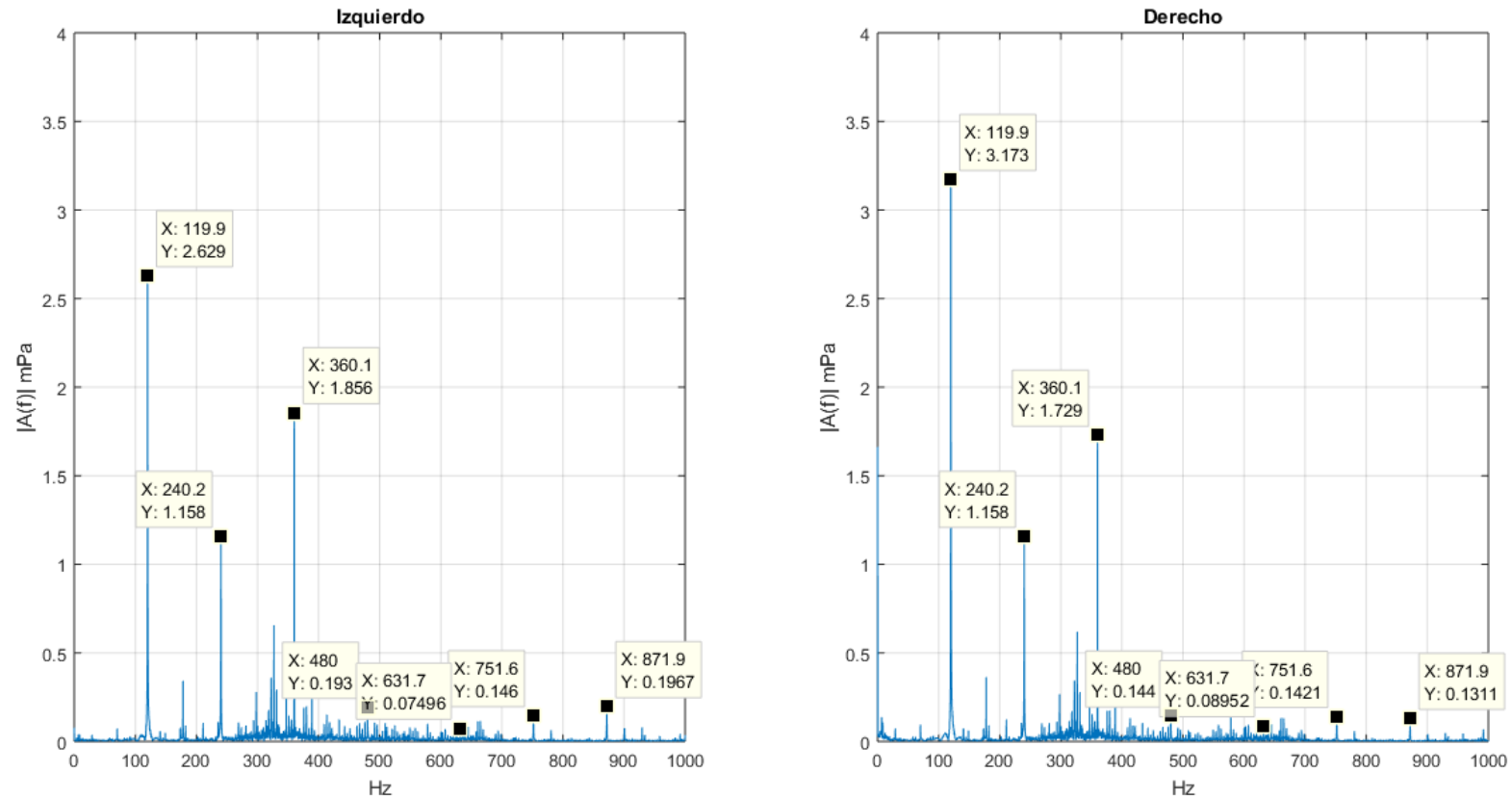


Figura 6.122 Zum al espectro de Frecuencia en MATLAB

Fuente: Elaboración propia

B. DESPUES DEL MANTENIMIENTO

Después del mantenimiento del motor, volvemos a medir con el equipo para obtener nuevos datos y verificar si el mantenimiento fue correcto para alargar la vida del motor.

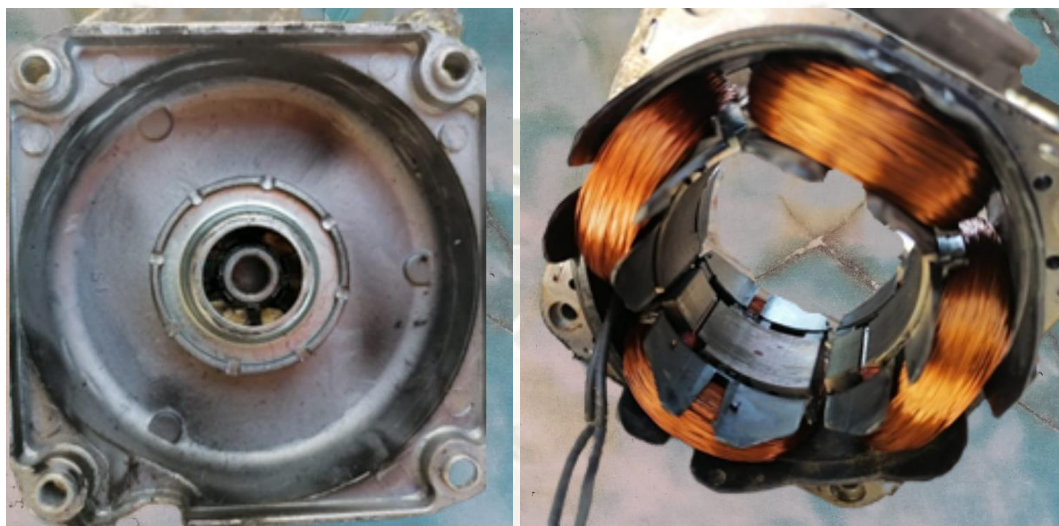


Figura 6.123 Abriendo el motor para hacer el mantenimiento

Fuente: Elaboración propia



Figura 6.124 Productos utilizados para el mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Volvemos a obtener los datos del informe Excel generado, sacamos los datos de Tiempo y de Frecuencia de ambos lados (derecho e izquierdo) y comprobaremos sus datos en MATLAB.

	A	B	C	D	E	F
1		INFORME DE ANALISIS ACUSTICO DEL MOTOR				
2						
3	FECHA:	16/05/2021		HORA:	10:55:17	
4						
5						
6	DATOS EVALUADOS DEL MOTOR:					
7						
8	Nombre del Motor:	RA3				
9	Voltaje:	230 V				
10	Corriente:	870 mA				
11	Frecuencia:	60.00 Hz				
12	HP:	34 W				
13	Velocidad:	1300 rpm				
14	Temperatura:	49 Grados C				
15						
16	RESULTADO DE ANALISIS DE TIEMPO					
17						
18	LADO IZQUIERDO		LADO DERECHO			
19	Maximo:	8.60 mPa	Maximo:	5.72 mPa		
20	Minimo:	-7.41 mPa	Minimo:	5.72 mPa		
21	RMS:	3.09 mPa	RMS:	2.43 mPa		
22	Desviacion Estandar:	0.04 mPa	Desviacion E	0.03 mPa		
23	Varianza:	0.00 mPa	Varianza:	0.00 mPa		
25	RESULTADO DE ANALISIS EN FRECUENCIA					
26						
27	Frecuencia[Hz]	FFT Derecho[dB]		FFT Izquierdo[dB]		
28	0	0	0			
29	9.2	0.075	0.153			
30	18.4	0.057	0.09			
31	27.6	0.089	0.123			
32	36.8	0.073	0.09			
33	46	0.075	0.097			
34	55.2	0.09	0.125			
35	64.4	0.106	0.146			
36	73.6	0.119	0.164			
37	82.8	0.145	0.206			

Figura 6.125 Reporte Excel después del mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

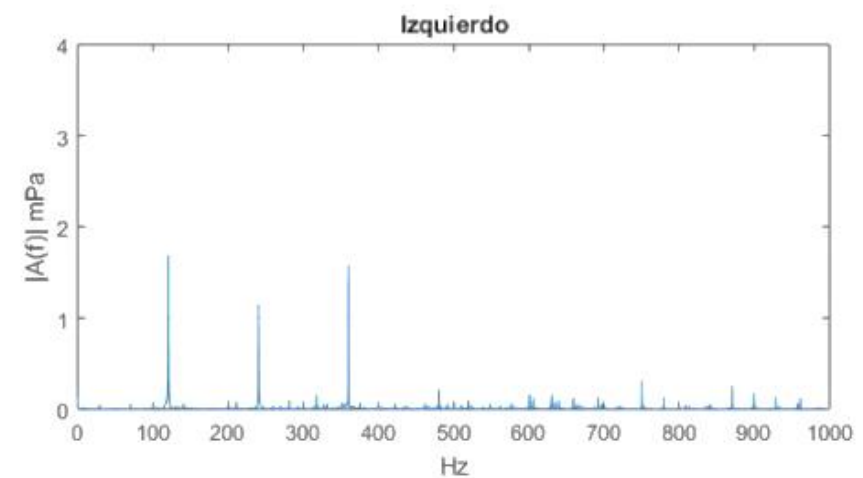
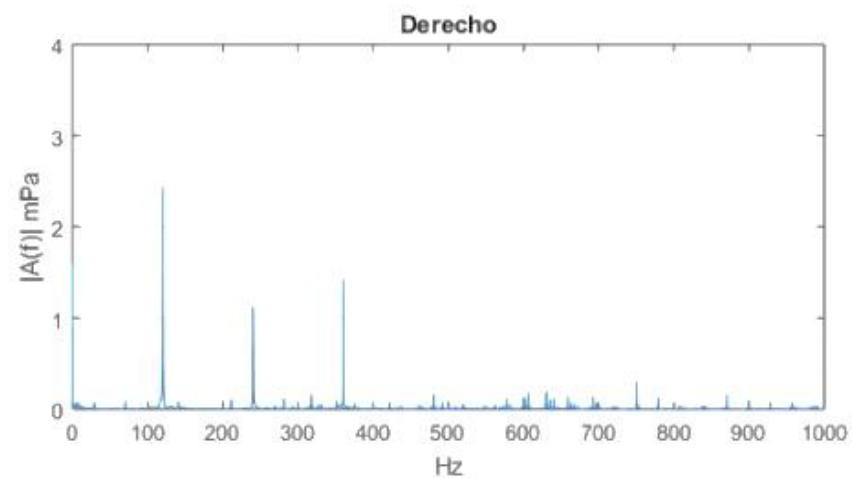
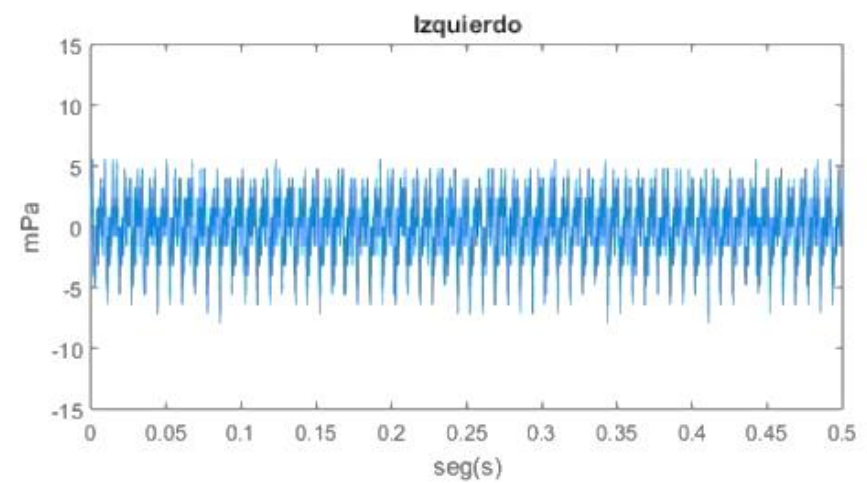
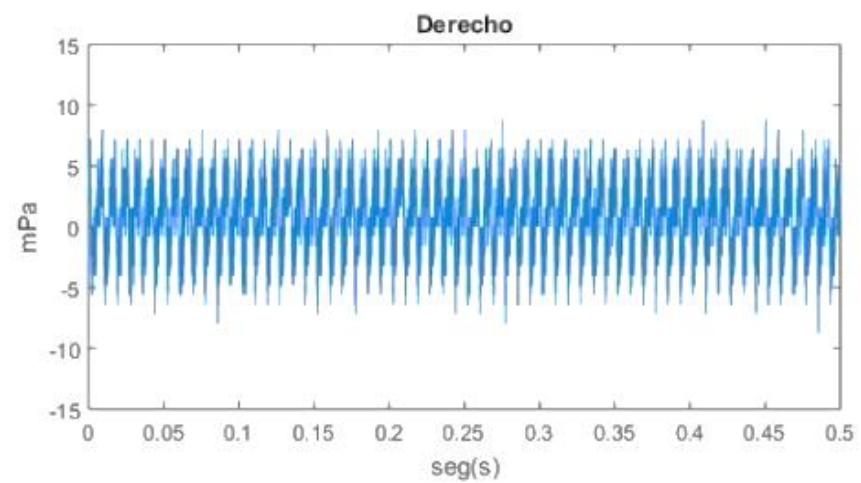


Figura 6.126 Grafica de Tiempo y Frecuencia – Rodamiento delantero después del mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Queremos observar mejor el espectro de la figura 6.126. El espectro de audio no se observa muy bien en el ancho de banda utilizando. La máxima información está contenida dentro de la banda de 0 a 1000 Hz, por lo que realizaremos un zum al espectro.

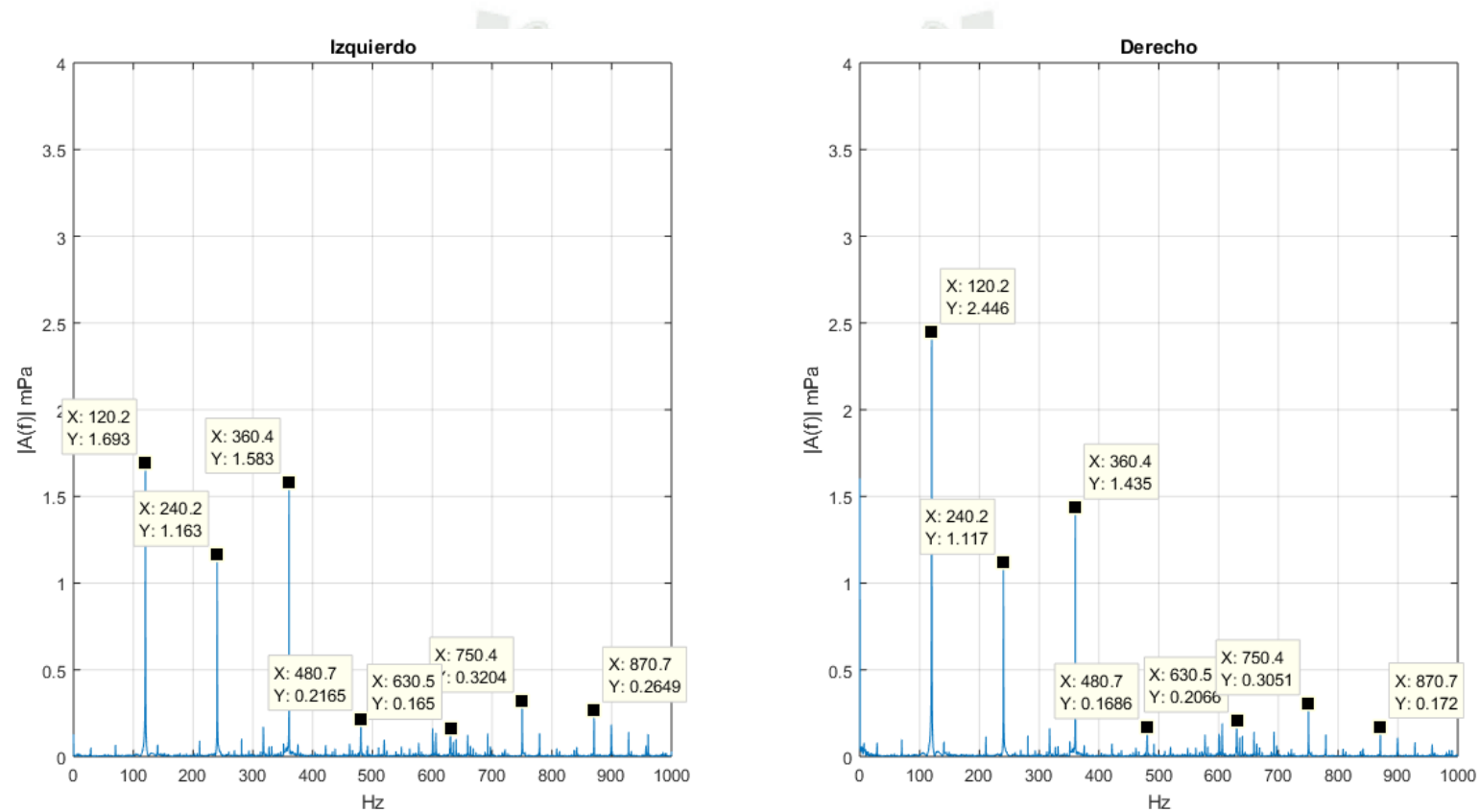


Figura 6.127 Zum al espectro de Frecuencia en MATLAB
Fuente: Elaboración propia

C. RESULTADOS

Teniendo las gráficas obtenidas por MATLAB antes y después del mantenimiento. Observamos los armónicos que se obtienen antes del mantenimiento y después. Se hace la siguiente Tabla.

Número de armónicos		Armónico REAL obtenido	ANTES		DESPUES	
			Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho
1	120	119.9	2.629	3.173	1.693	2.446
2	240	240.2	1.158	1.158	1.163	1.117
3	360	360.1	1.856	1.729	1.583	1.435
4	480	480	0.193	0.144	0.2165	0.1686
5	600	631.7	0.07496	0.08952	0.165	0.2066
6	720	751.6	0.146	0.1421	0.3204	0.3051
7	840	871.9	0.1967	0.1311	0.2649	0.172

Tabla 6.9 Armónicos y puntos obtenidos del antes y después del mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Debido que actualmente no se cuentan con estudios profundos de este tema, buscaremos un valor promedio o de energía entrega por la onda de sonido en forma de espectro.

Tenemos que hallar el promedio entre los resultados obtenidos antes y después del mantenimiento, de cada lado (izquierdo y derecho).

Para lo cual tenemos que sumar todos los datos obtenidos de cada lado de forma individual y dividirlo entre número de armónicos. Para lo cual debemos de tener en cuenta la Tabla 6.9.

ANTES DEL MANTENIMIENTO		
ARMONICO	IZQUIERDO	DERECHO
1	2.629	3.173
2	1.158	1.158
3	1.856	1.729
4	0.193	0.144
5	0.07496	0.08952
6	0.146	0.1421
7	0.1967	0.1311

Tabla 6.10 Resultados antes del mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Promedio del lado izquierdo de antes del mantenimiento:

$$\frac{2.629 + 1.158 + 1.856 + 0.193 + 0.07496 + 0.146 + 0.1967}{7} = 0.893$$

Promedio del lado derecho antes del mantenimiento:

$$\frac{3.173 + 1.158 + 1.729 + 0.144 + 0.08952 + 0.1421 + 0.1311}{7} = 0.938$$

Sumando ambos resultados para obtener de un solo canal:

$$0.893 + 0.938 = 1.831$$

Hacemos el mismo procedimiento, pero después del mantenimiento

DESPUES DEL MANTENIMIENTO		
ARMONICO	IZQUIERDO	DERECHO
1	1.693	2.446
2	1.163	1.117
3	1.583	1.435
4	0.2165	0.1686
5	0.165	0.2066
6	0.3204	0.3051
7	0.2649	0.172

Tabla 6.11 Resultados después del mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Promedio del lado izquierdo de después del mantenimiento:

$$\frac{1.693 + 1.163 + 1.583 + 0.2165 + 0.165 + 0.3204 + 0.2649}{7} = 0.772$$

Promedio del lado derecho después del mantenimiento:

$$\frac{2.446 + 1.117 + 1.435 + 0.1686 + 0.2066 + 0.3051 + 0.172}{7} = 0.836$$

Sumando ambos resultados para obtener de un solo canal:

$$0.772 + 0.836 = 1.608$$

Hallamos la variación total, de ambos lados izquierdo y derecho

$$Variacion = 1 - \frac{1.831}{1.608}$$

$$Variacion = 0.1389$$

Representando la variación en porcentaje:

$$Porcentaje = 0.1389 \times 100$$

$$Porcentaje = 13.89 \%$$

Recapitulando los datos obtenidos, lo podemos resumir en la siguiente tabla.

	ANTES DEL MANTENIMIENTO		DESPUES DEL MANTENIMIENTO	
	IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO
ESTEREO	0.893	0.938	0.772	0.836
MONO	1.831		1.608	
VARIACION	13.89%			

Tabla 6.12 Resultado final de la parte delantera Motor ELCO
Fuente: Elaboración propia

Con esto podemos decir, que con más armónicos el resultado es más preciso, entonces se redujo el espectro a un 13.89 %, lo cual significa que se redujo el nivel del ruido dentro del motor y dado que el sonido está ligado a la vibración del motor, también se redujo la vibración interna del motor.

1.3. FIRMA DE AUDIO DE RODAMIENTO TRASERO DEL MOTOR

Se realizó una medición del motor de los rodamientos de la parte de detrás con el equipo de análisis acústico para motores, de los rodamientos delanteros del motor.

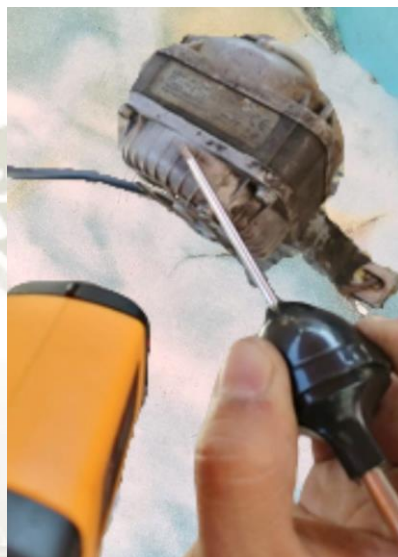


Figura 6.128 Estetoscopio en la parte trasera del motor.

Fuente: Elaboración propia



Figura 6.129 Tomando la temperatura de la parte trasera del motor

Fuente: Elaboración propia

A. ANTES DEL MANTENIMIENTO

Terminando de hacer las mediciones con el equipo analizador de acústica para motores. Obtenemos los datos del informe generado automáticamente de EXCEL.

	A	B	C	D	E
1		INFORME DE ANALISIS ACUSTICO DEL MOTOR			
2					
3	FECHA:	16/05/2021		HORA:	10:05:55
4					
5	DATOS EVALUADOS DEL MOTOR:				
6					
7	Nombre del Motor:	RD2			
8	Voltaje:	230 V			
9	Corriente:	870 mA			
10	Frecuencia:	60.00 Hz			
11	HP:	34 W			
12	Velocidad:	1300 rpm			
13	Temperatura:	45Grados C			
14					
15	RESULTADO DE ANALISIS DE TIEMPO				
16					
17	LADO IZQUIERDO		LADO DERECHO		
18	Maximo:	10.11 mPa	Maximo:	7.95 mPa	
19	Minimo:	-9.10 mPa	Minimo:	7.95 mPa	
20	RMS:	3.69 mPa	RMS:	3.21 mPa	
21	Desviacion Estandar:	0.09 mPa	Desviacion E	0.13 mPa	
22	Varianza:	0.01 mPa	Varianza:	0.02 mPa	
23					
24	RESULTADO DE ANALISIS EN FRECUENCIA				
25					
26	Frecuencia[Hz]	FFT Derecho	FFT Izquierdo[dB]		
27	0	0	0		
28	9.2	0.092	0.199		
29	18.4	0.087	0.105		
30	27.6	0.1	0.134		
31	36.8	0.099	0.113		
32	46	0.102	0.121		
33	55.2	0.122	0.142		

Figura 6.130 Reporte Excel rodamiento trasero antes del mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo los datos del informe Excel generado, sacamos los datos de Tiempo y de Frecuencia de ambos lados (derecho e izquierdo) y comprobaremos sus datos en MATLAB.

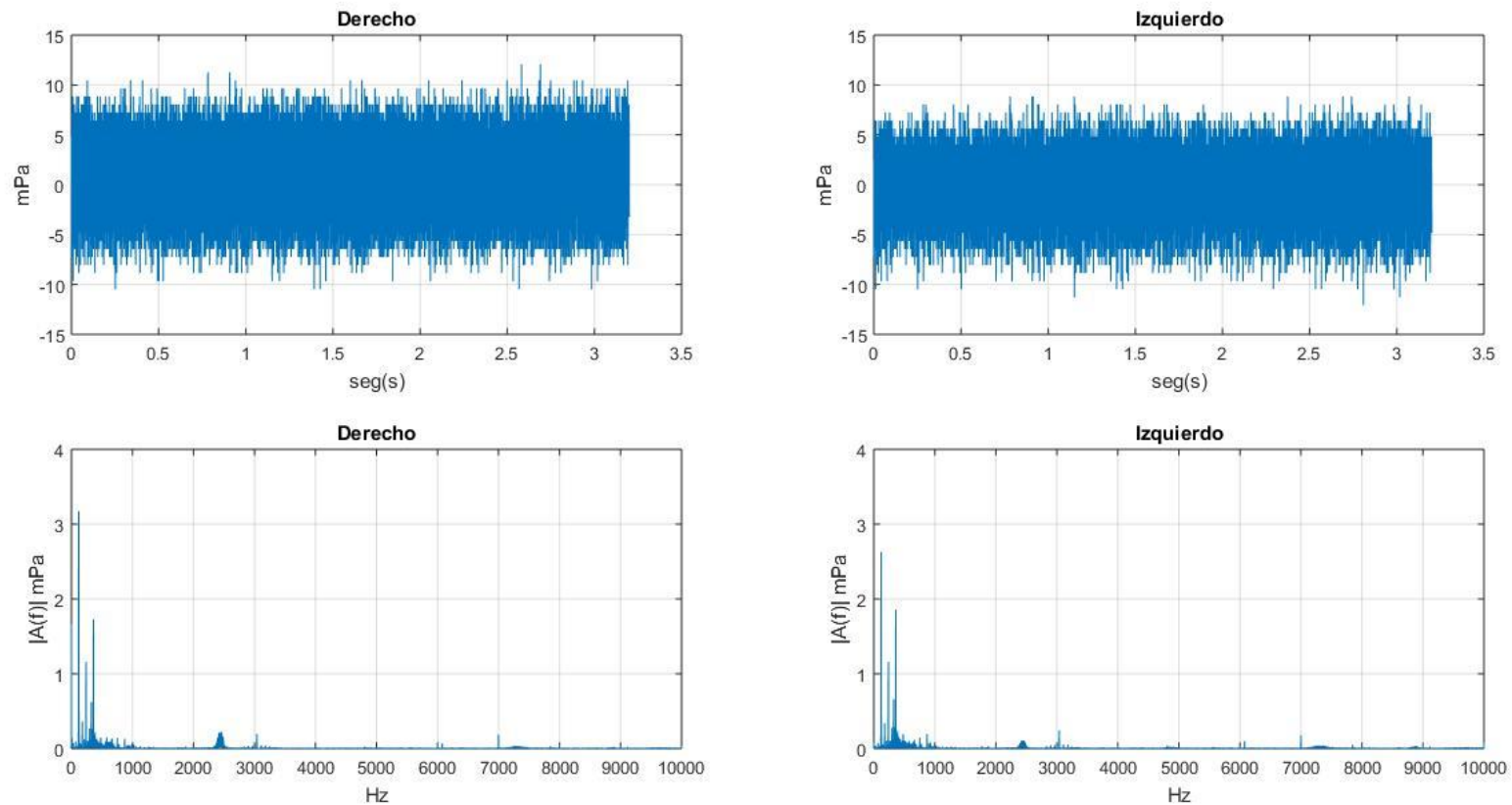


Figura 6.131 Grafica de Tiempo y Frecuencia – Rodamiento detrás antes del mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Para poder visualizar más cerca las gráficas haremos zoom a la figura 6.131.

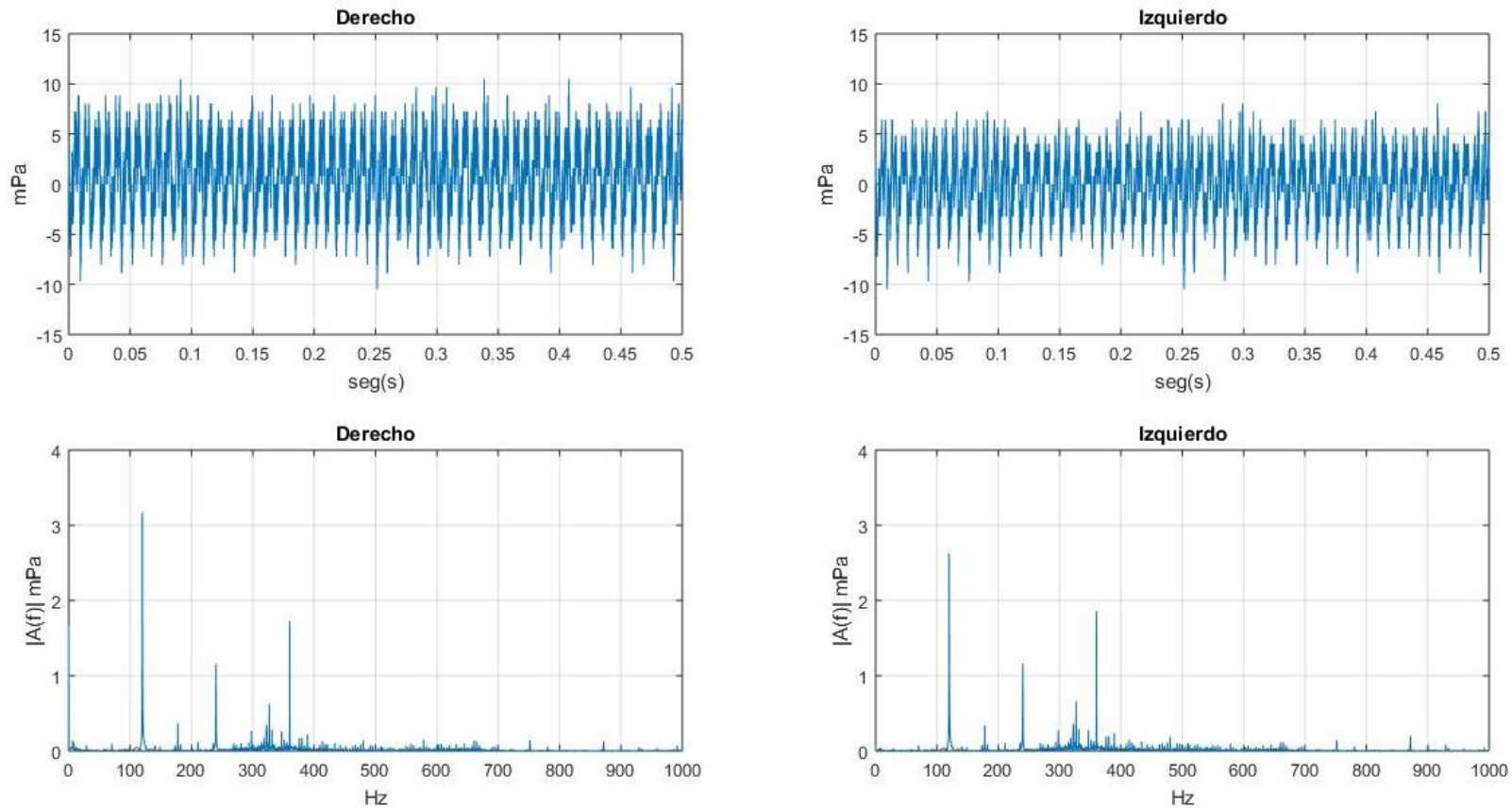


Figura 6.132 Zum a las gráficas de detrás del motor de ambos lados.

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 6.132. El espectro de audio no se observa muy bien en el ancho de banda utilizado. La máxima información está contenida dentro de la banda de 0 a 1000 Hz, por lo que realizaremos un zum al espectro.

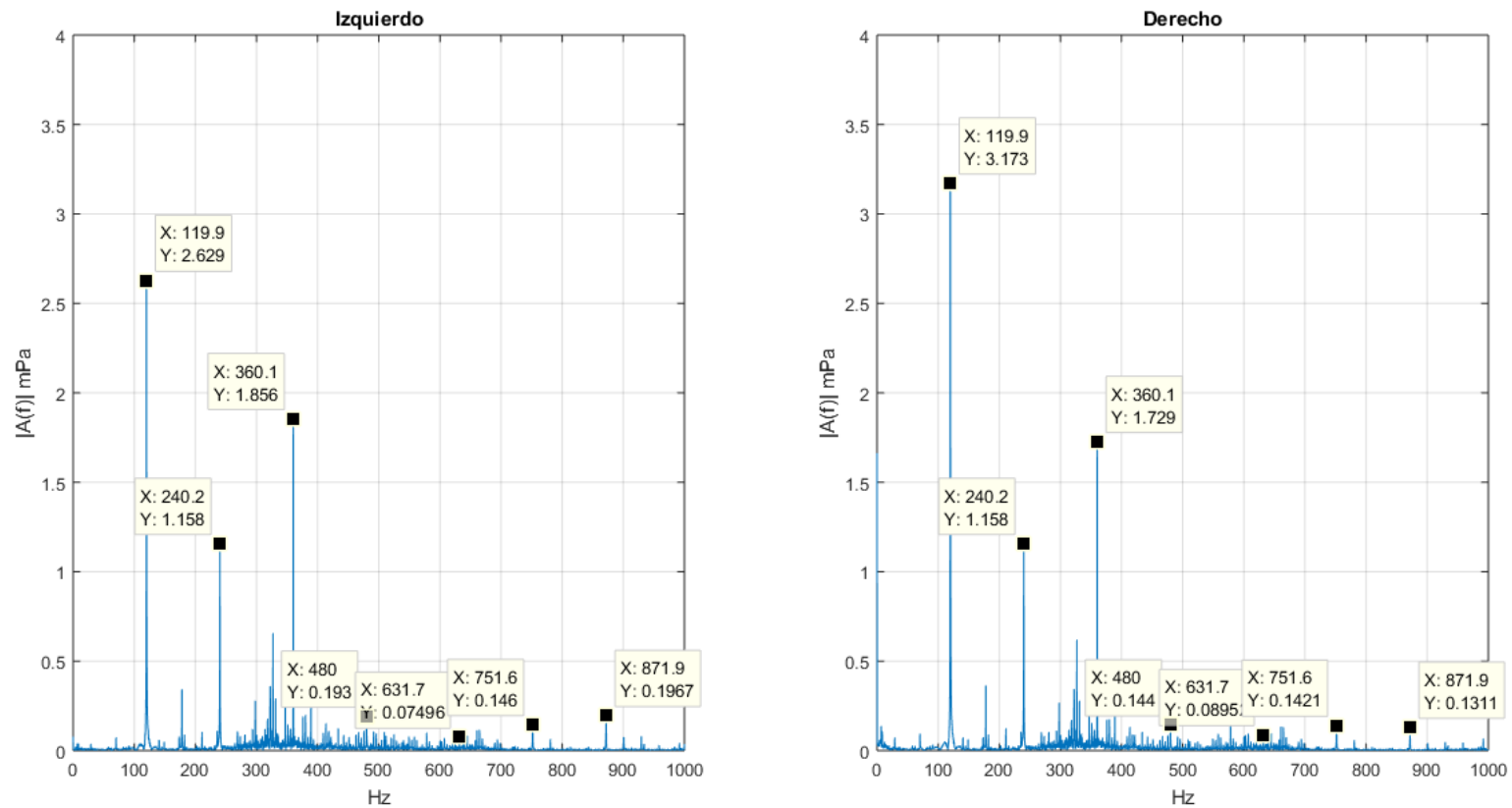


Figura 6.133 Zum al espectro de Frecuencia en MATLAB

Fuente: Elaboración propia

B. DESPUES DEL MANTENIMIENTO

Después del mantenimiento del motor, volvemos a medir con el equipo para obtener nuevos datos y verificar si el mantenimiento fue correcto para alargar la vida del motor.

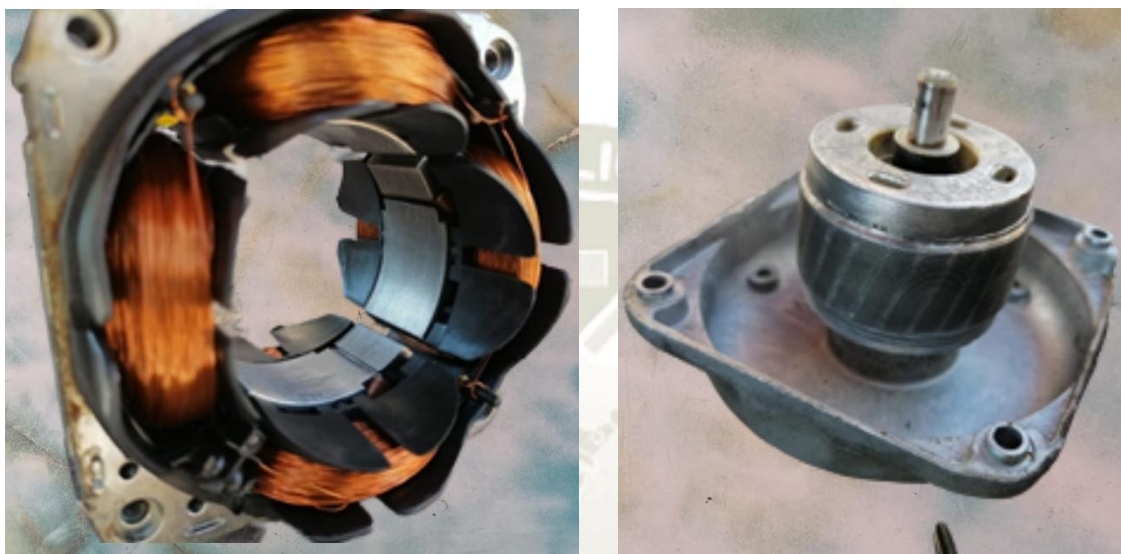


Figura 6.134 Realizando el mantenimiento a la parte trasera del motor

Fuente: Elaboración propia



Figura 6.135 Productos utilizados para el mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Volvemos a obtener los datos del informe Excel generado, sacamos los datos de Tiempo y de Frecuencia de ambos lados (derecho e izquierdo) y comprobaremos sus datos en MATLAB.

	A	B	C	D	E
1	INFORME DE ANALISIS ACUSTICO DEL MOTOR				
2					
3	FECHA:	16/05/2021		HORA:	10:59:15
4					
5					
6	DATOS EVALUADOS DEL MOTOR:				
7					
8	Nombre del Motor:	RD4			
9	Voltaje:	230 V			
10	Corriente:	870 mA			
11	Frecuencia:	60.00 Hz			
12	HP:	34 W			
13	Velocidad:	1300 rpm			
14	Temperatura:	45Grados C			
15					
16	RESULTADO DE ANALISIS DE TIEMPO				
17					
18	LADO IZQUIERDO		LADO DERECHO		
19	Maximo:	8.60 mPa	Maximo:	5.72 mPa	
20	Minimo:	-7.41 mPa	Minimo:	5.72 mPa	
21	RMS:	3.09 mPa	RMS:	2.43 mPa	
22	Desviacion Estandar:	0.04 mPa	Desviacion E	0.03 mPa	
23	Varianza:	0.00 mPa	Varianza:	0.00 mPa	
24					
25	RESULTADO DE ANALISIS EN FRECUENCIA				
26					
27	Frecuencia[Hz]	FFT Derecho[dB]	FFT Izquierdo[dB]		
28	0	0	0		
29	9.2	0.075	0.153		
30	18.4	0.057	0.09		
31	27.6	0.089	0.123		
32	36.8	0.073	0.09		
33	46	0.075	0.097		
34	55.2	0.09	0.125		
35	64.4	0.106	0.146		
36	73.6	0.119	0.164		
37	82.8	0.145	0.205		

Figura 6.136 Reporte Excel del rodamiento trasero del motor después del mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

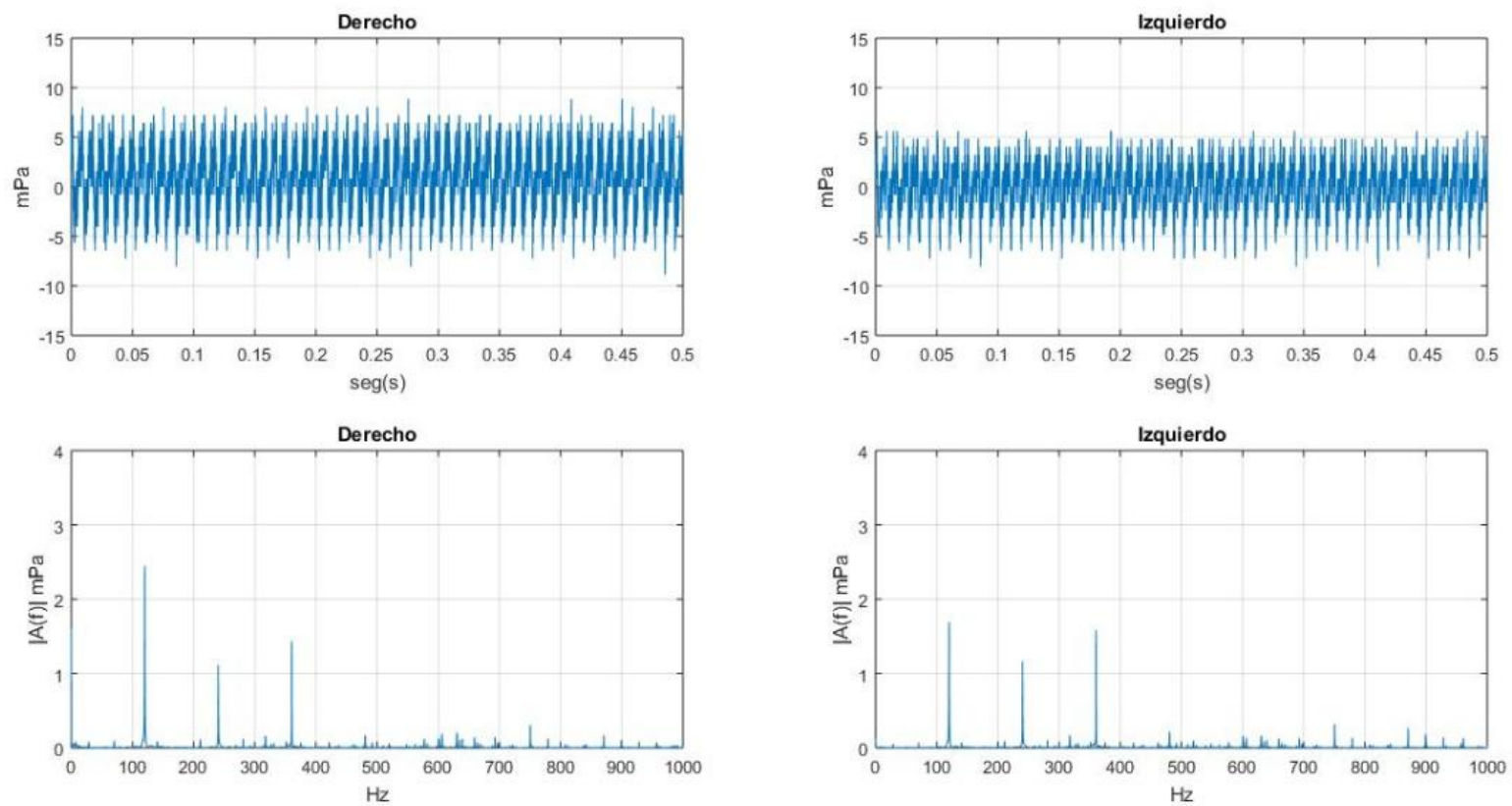


Figura 6.137 Grafica de Tiempo y Frecuencia – Rodamiento detrás después del mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Queremos observar mejor el espectro de la figura 6.137. El espectro de audio no se observa muy bien en el ancho de banda utilizando. La máxima información está contenida dentro de la banda de 0 a 1000 Hz, por lo que realizaremos un zum al espectro.

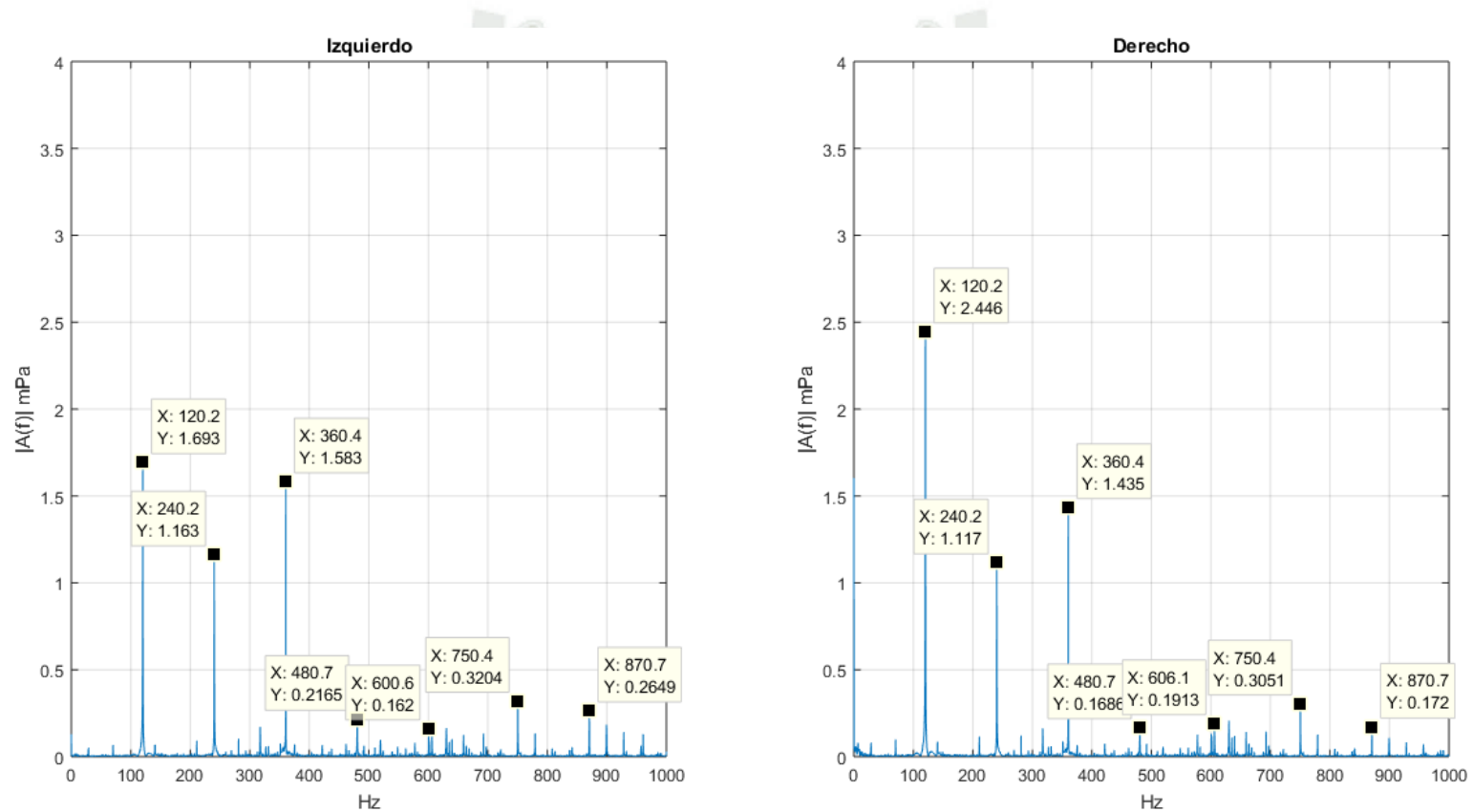


Figura 6.138 Zum al espectro de Frecuencia en MATLAB

Fuente: Elaboración propia

C. RESULTADOS

Teniendo las gráficas obtenidas por MATLAB antes y después del mantenimiento. Observamos los armónicos que se obtienen antes del mantenimiento y después. Se hace la siguiente Tabla.

Número de armónicos		Armónico REAL obtenido	ANTES		DESPUES	
			Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho
1	120	119.9	2.629	3.173	1.693	2.446
2	240	240.2	1.158	1.158	1.163	1.117
3	360	360.1	1.856	1.729	1.583	1.435
4	480	480	0.163	0.144	0.2165	0.1686
5	600	631.7	0.07496	0.08952	0.162	0.1913
6	720	751.6	0.146	0.1421	0.3204	0.3051
7	840	871.9	0.1967	0.1311	0.2649	0.172

Tabla 6.13 Armónicos y puntos obtenidos del antes y después del mantenimiento parte trasera del motor

Fuente: Elaboración propia

Tenemos que hallar el promedio entre los resultados obtenidos antes y después del mantenimiento, de cada lado (izquierdo y derecho). Para lo cual tenemos que sumar todos los datos obtenidos de cada lado de forma individual y dividirlo entre número de armónicos. Para lo cual debemos de tener en cuenta la Tabla 6.13.

ANTES DEL MANTENIMIENTO		
ARMONICO	IZQUIERDO	DERECHO
1	2.629	3.173
2	1.158	1.158
3	1.856	1.729
4	0.163	0.144
5	0.07496	0.08952
6	0.146	0.1421
7	0.1967	0.1311

Tabla 6.14 Resultados antes del mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Promedio del lado izquierdo de antes del mantenimiento:

$$\frac{2.629 + 1.158 + 1.856 + 0.163 + 0.07496 + 0.146 + 0.1967}{7} = 0.889$$

Promedio del lado derecho antes del mantenimiento:

$$\frac{3.173 + 1.158 + 1.729 + 0.144 + 0.08952 + 0.1421 + 0.1311}{7} = 0.938$$

Sumando ambos resultados para obtener de un solo canal:

$$0.889 + 0.938 = 1.827$$

Hacemos el mismo procedimiento, pero después del mantenimiento

DESPUES DEL MANTENIMIENTO		
ARMONICO	IZQUIERDO	DERECHO
1	1.693	2.446
2	1.163	1.117
3	1.583	1.435
4	0.2165	0.1686
5	0.162	0.1913
6	0.3204	0.3051
7	0.2649	0.172

Tabla 6.15 Resultados después del mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Promedio del lado izquierdo de después del mantenimiento:

$$\frac{1.693 + 1.163 + 1.583 + 0.2165 + 0.162 + 0.3204 + 0.2649}{7} = 0.772$$

Promedio del lado derecho después del mantenimiento:

$$\frac{2.446 + 1.117 + 1.435 + 0.1686 + 0.1913 + 0.3051 + 0.172}{7} = 0.834$$

Sumando ambos resultados para obtener de un solo canal:

$$0.772 + 0.834 = 1.606$$

Hallamos la variación total, de ambos lados izquierdo y derecho

$$Variacion = 1 - \frac{1.827}{1.606}$$

$$Variacion = 0.1381$$

Representando la variación en porcentaje:

$$Porcentaje = 0.1381 \times 100$$

$$Porcentaje = 13.81 \%$$

Recapitulando los datos obtenidos, lo podemos resumir en la siguiente tabla.

	ANTES DEL MANTENIMIENTO		DESPUES DEL MANTENIMIENTO	
	IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO
ESTEREO	0.889	0.938	0.772	0.834
MONO	1.827		1.606	
VARIACION	13.81%			

Tabla 6.16 Resultado final de la parte trasera Motor ELCO

Fuente: Elaboración propia

Con esto podemos decir, que con más armónicos el resultado es más preciso, entonces se redujo el espectro a un 13.81 %, lo cual significa que se redujo el nivel del ruido dentro del motor y dado que el sonido está ligado a la vibración del motor, también se redujo la vibración interna del motor.

1.4. DIAGNOSTICO FINAL DEL MOTOR

Teniendo los resultados después del mantenimiento al motor de los rodamientos delantero y trasero. Obtenemos este resultado final.

RODAMIENTO DELANTERO	13.89%
RODAMIENTO TRASERO	13.81%

Tabla 6.17 Tabla del resultado delantero y trasero de los rodamientos

Fuente: Elaboración propia

Para sacar el resultado final, juntamos los resultados de la tabla 6.17. Suma de ambos porcentajes del rodamiento delantero y del rodamiento trasero.

$$13.89\% + 13.81\% = 27.7 \%$$

$$\text{Resultado Final} = \frac{27.07 \%}{2}$$

$$\text{Resultado Final} = 13.85\%$$

Finalmente decimos que se redujo el espectro a un 13.85%, el nivel del ruido y las vibraciones internas del motor o las imperfecciones del rotor fueron reducidas con el mantenimiento.

II. VARIACIONES DE FIRMA DE AUDIO POR CARGA

2. MOTOR DEREK

Los motores Derek son adecuados para alimentar pequeñas herramientas de maquinaria y bombas de agua, son especiales para talleres donde solo hay corriente monofásica disponible.

Los motores de esta marca son fabricados con materiales de la mejor calidad y tienen un rendimiento excepcional, un mantenimiento fácil y son fiables.

Estos motores son totalmente cerrados y tienen un ventilador de refrigeración esa es su gran ventaja. (Power Acoustik, 2018)



Figura 6.139 Motor Derek

Fuente: Elaboración propia

2.1. DATOS DEL MOTOR

DATOS DE LA PLACA DEL MOTOR	
NOMBRE	MOTOR DEREK
VOLTAJE	220V
CORRIENTE	5.8 A
FRECUENCIA	60 Hz
HP	1 HP
VELOCIDAD	1800 rpm
TEMPERATURA	31°C

Tabla 6.18 Datos del Motor Derek

Fuente: Elaboración propia



Figura 6.140 Placa del motor

Fuente: Elaboración propia

2.2. FIRMA DE AUDIO DEL MOTOR SIN CARGA

Se realizó la medición del motor sin carga para poder observar la diferencia entre un motor con carga y sin carga.



Figura 6.141 Colocando el estetoscopio en los rodamientos del motor
Fuente: Elaboración propia

Podemos observar primero la forma de onda en medición en tiempo real.

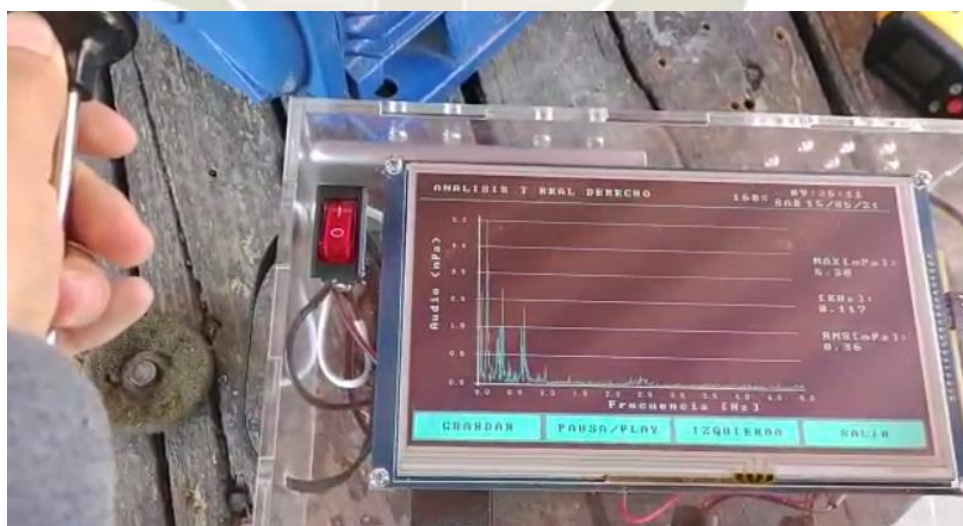


Figura 6.142 Medición en tiempo real
Fuente: Elaboración propia

Luego nos pasamos a análisis profundo, ingresando los datos de la placa del motor, observamos en el punto 2.1. DATOS DEL MOTOR – MOTOR DEREK.

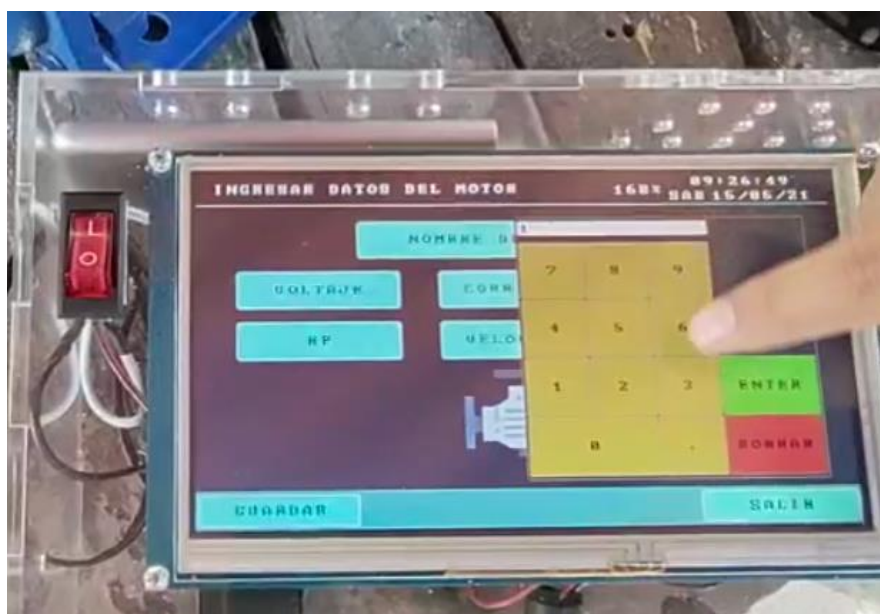


Figura 6.143 Ingresando los datos de la placa del motor

Fuente: Elaboración propia

Para tomar la temperatura del motor, usamos un termómetro industrial



Figura 6.144 Termómetro industrial

Fuente: Elaboración propia

Terminando de realizar la medición en análisis profundo podemos observar los datos ingresados.

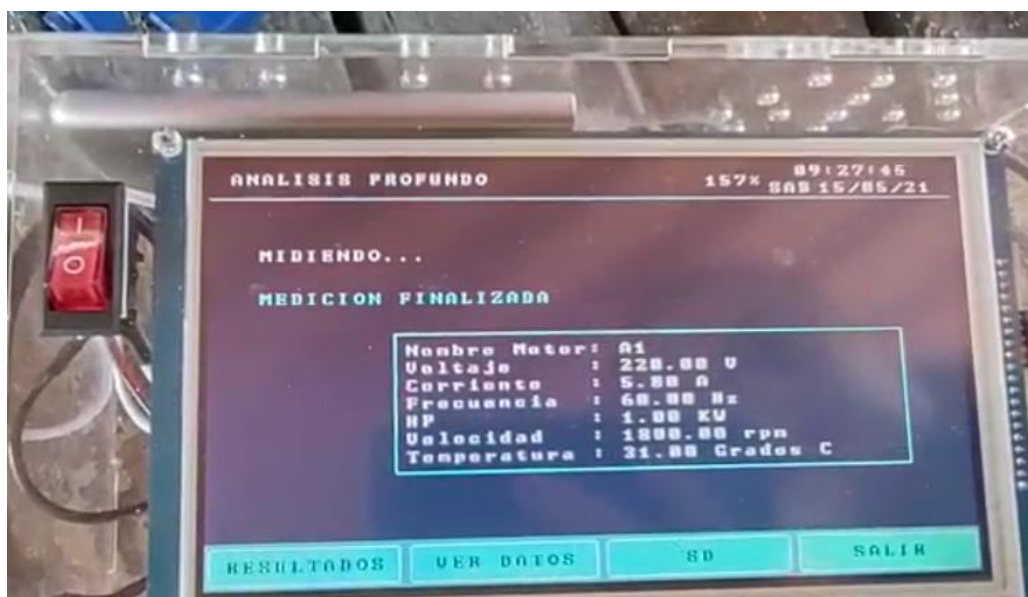


Figura 6.145 Datos del motor ingresados

Fuente: Elaboración propia



Figura 6.146 Forma de onda en XY tiempo lado derecho

Fuente: Elaboración propia

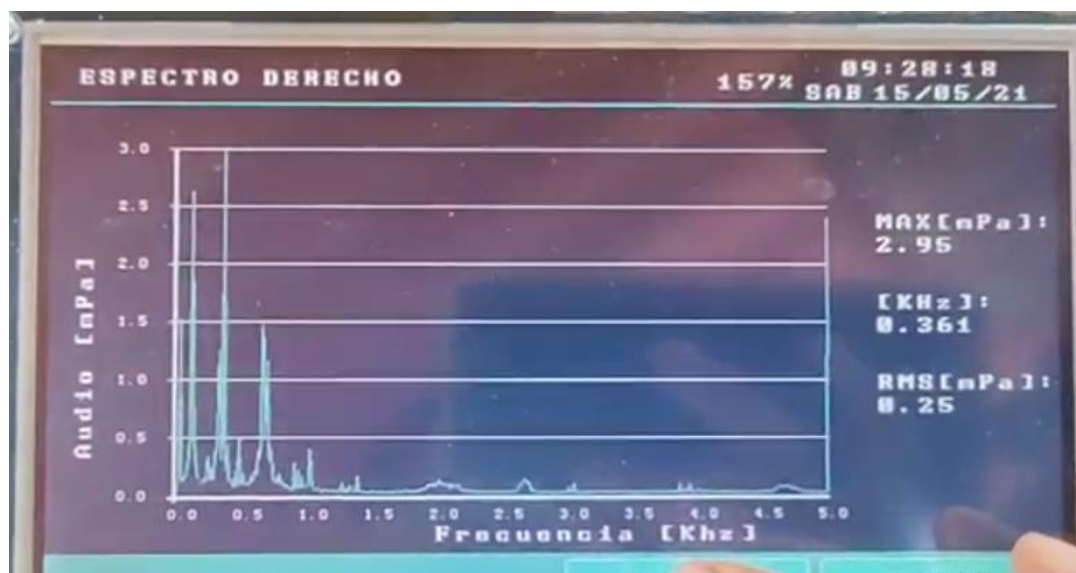


Figura 6.147 Forma de la onda en el espectro del lado Derecho

Fuente: Elaboración propia

Después de ver todas las formas de onda, del lado derecho e izquierdo, procedemos a guardar la información en la memoria SD, y se generan dos archivos el archivo EXCEL y de audio.

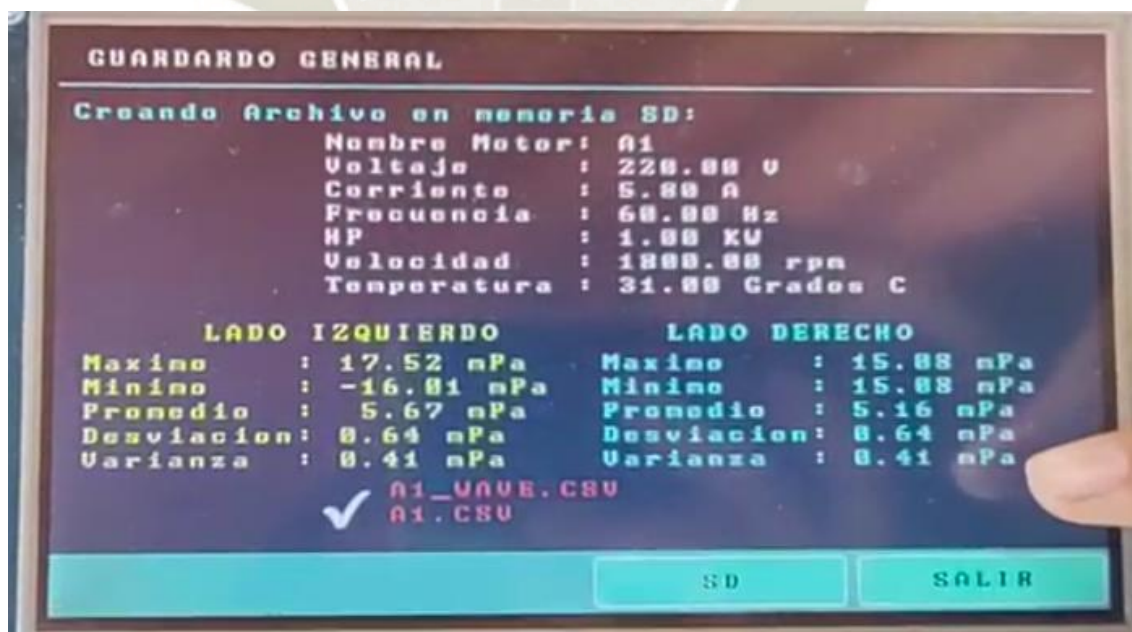


Figura 6.148 Guardado general del motor

Fuente: Elaboración propia

A. ARCHIVO EXCEL

Terminando de hacer las mediciones con el equipo analizador de acústica para motores. Obtenemos los datos del informe generado automáticamente de EXCEL.

	A	B	C	D	E
1	INFORME DE ANALISIS ACUSTICO DEL MOTOR				
2					
3	FECHA:	15/05/2021	HORA:	09:29:07	
4					
5					
6	DATOS EVALUADOS DEL MOTOR:				
7					
8	Nombre del Motor:	A1			
9	Voltaje:	220.00 V			
10	Corriente:	5.80 A			
11	Frecuencia:	60.00 Hz			
12	HP:	1.00 KW			
13	Velocidad:	1800.00 rpm			
14	Temperatura:	31.00 Grados C			
15					
16	RESULTADO DE ANALISIS DE TIEMPO				
17					
18	LADO IZQUIERDO		LADO DERECHO		
19	Maximo:	17.52 mPa	Maximo:	15.08 mPa	
20	Minimo:	-16.01 mPa	Minimo:	15.08 mPa	
21	RMS:	5.67 mPa	RMS:	5.16 mPa	
22	Desviacion Estandar:	0.64 mPa	Desviacion E	0.64 mPa	
23	Varianza:	0.41 mPa	Varianza:	0.41 mPa	
24					
25	RESULTADO DE ANALISIS EN FRECUENCIA				
26					
27	Frecuencia[Hz]	FFT Derecho[dB]	FFT Izquierdo[dB]		
28	0	0	0		
29	9.2	0.128	0.243		
30	18.4	0.15	0.235		
31	27.6	1.497	2.79		
32	36.8	0.179	0.264		
33	46	0.136	0.163		
34	55.2	0.138	0.167		
35	64.4	0.184	0.199		

Figura 6.149 Archivo Excel

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo los datos del informe Excel generado, sacamos los datos de Tiempo y de Frecuencia de ambos lados (derecho e izquierdo) y comprobaremos sus datos en MATLAB.

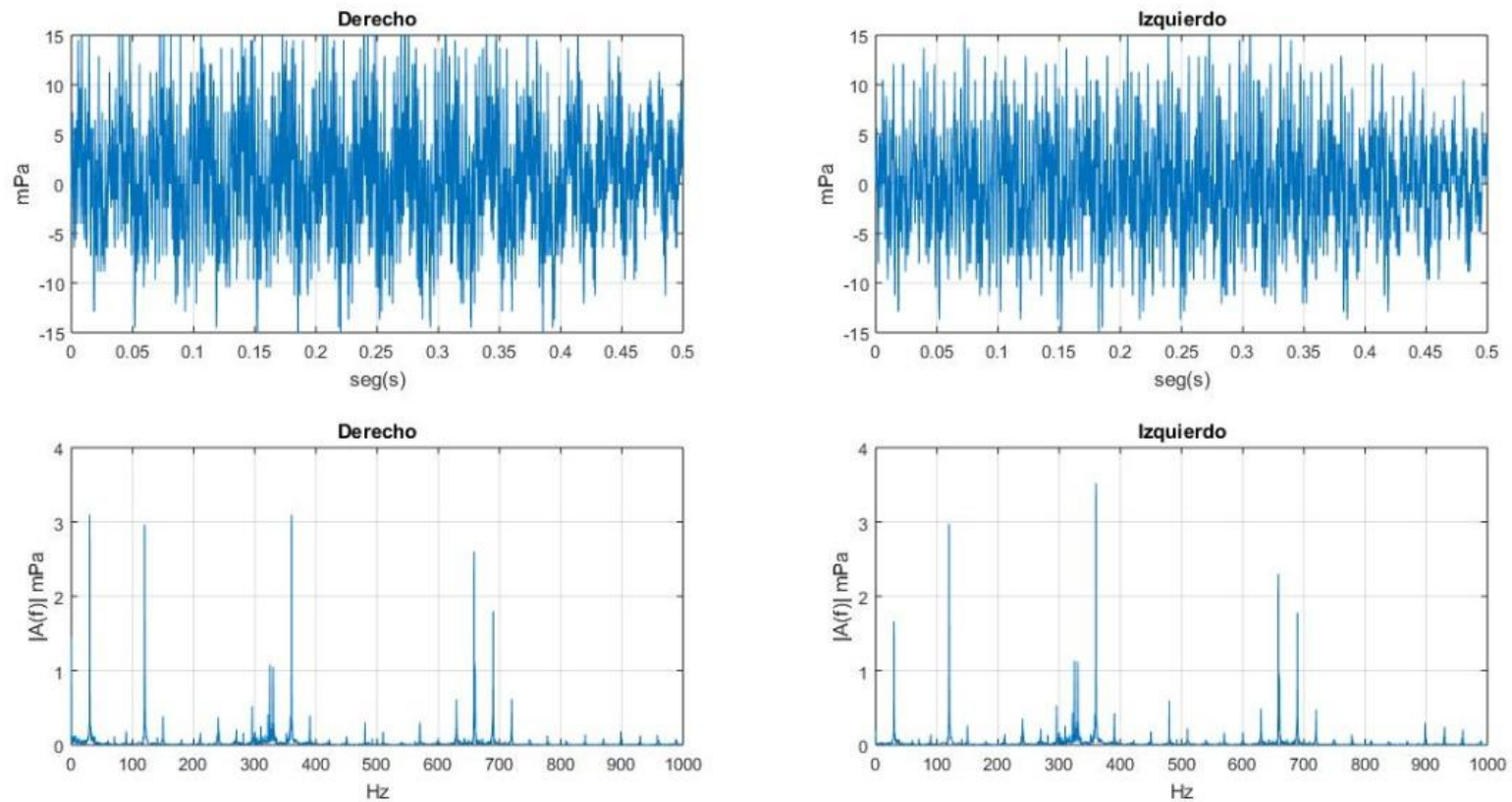


Figura 6.150 Graficas de Tiempo y Frecuencia del motor sin carga

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 6.150. El espectro de audio no se observa muy bien en el ancho de banda utilizando. La máxima información está contenida dentro de la banda de 0 a 1000 Hz, por lo que realizaremos un zoom al espectro.

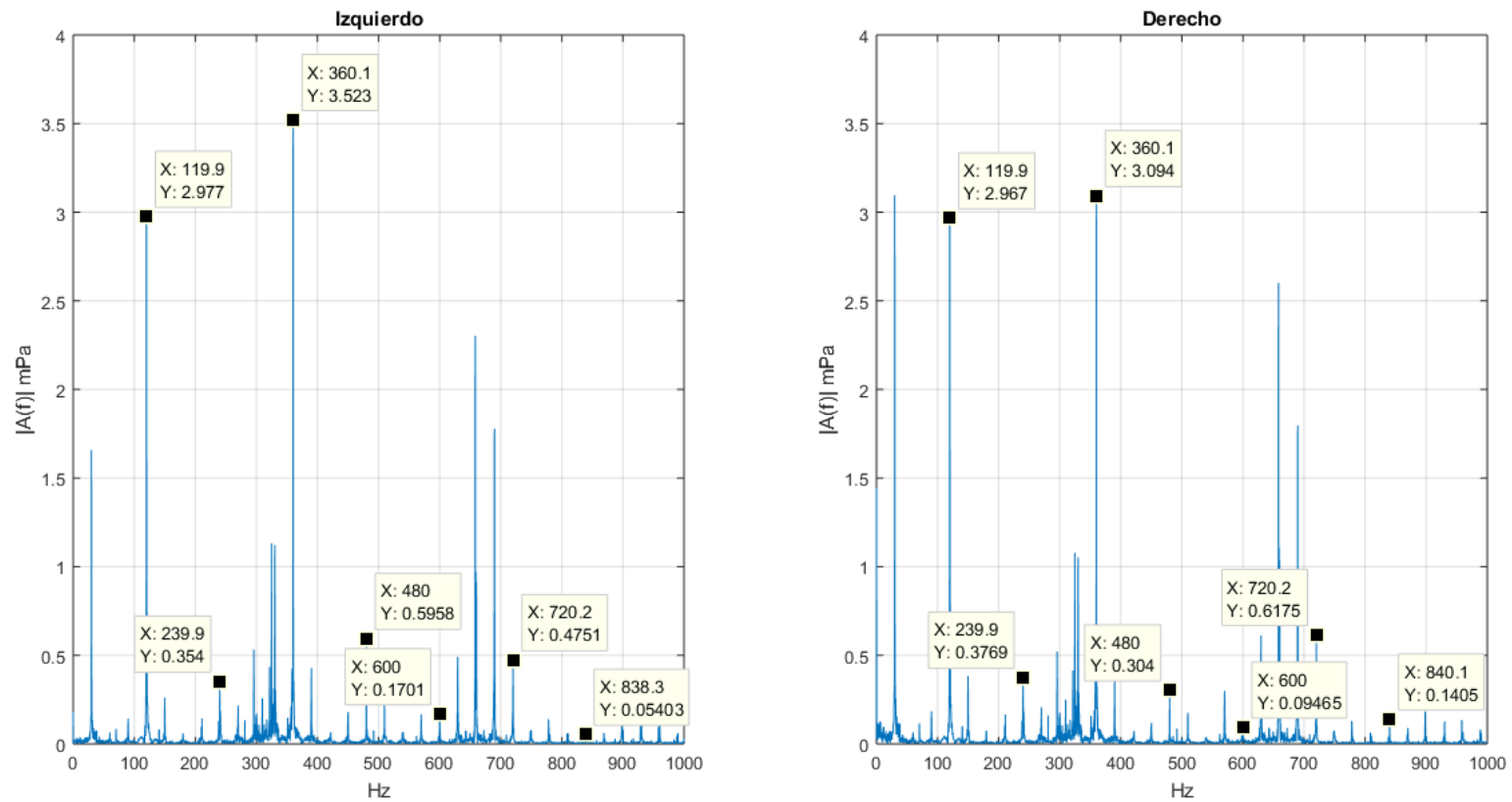


Figura 6.151 Zum al espectro de Frecuencia en MATLAB

Fuente: Elaboración propia

2.3. FIRMA DE AUDIO DEL MOTOR CON CARGA

Anteriormente se realizó la medición del motor sin carga, ahora veremos cuando el motor tiene una carga.



Figura 6.152 Haciendo mediciones al motor con carga.

Fuente: Elaboración propia

Después de realizar todo el procedimiento visto anteriormente, llegamos a la parte de guardar los archivos EXCEL y WAV en la memoria SD.



Figura 6.153 Archivos Excel y WAV en la memoria SD

Fuente: Elaboración propia

A. ARCHIVO EXCEL

Terminando de hacer las mediciones con el equipo analizador de acústica para motores. Obtenemos los datos del informe generado automáticamente de EXCEL.

	A	B	C	D	E	F
1	INFORME DE ANALISIS ACUSTICO DEL MOTOR					
2						
3	FECHA:	15/05/2021		HORA:	09:32:57	
4						
5						
6	DATOS EVALUADOS DEL MOTOR:					
7						
8	Nombre del Motor:	D1				
9	Voltaje:	220.00 V				
10	Corriente:	5.80 A				
11	Frecuencia:	60.00 Hz				
12	HP:	1.00 KW				
13	Velocidad:	1800.00 rpm				
14	Temperatura:	31.00 Grados C				
15						
16	RESULTADO DE ANALISIS DE TIEMPO					
17						
18	LADO IZQUIERDO		LADO DERECHO			
19	Maximo:	17.52 mPa	Maximo:	15.08 mPa		
20	Minimo:	-16.01 mPa	Minimo:	15.08 mPa		
21	RMS:	5.67 mPa	RMS:	5.16 mPa		
22	Desviacion Estandar:	0.64 mPa	Desviacion E	0.64 mPa		
23	Varianza:	0.41 mPa	Varianza:	0.41 mPa		
24						
25	RESULTADO DE ANALISIS EN FRECUENCIA					
26						
27	Frecuencia[Hz]	FFT Derecho	FFT Izquierdo[dB]			
28	0	0	0			
29	9.2	0.128	0.243			
30	18.4	0.15	0.235			
31	27.6	1.497	2.79			
32	36.8	0.179	0.264			
33	46	0.136	0.163			
34	55.2	0.138	0.167			
35	64.4	0.184	0.199			

Figura 6.154 Archivo Excel del motor con carga

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo los datos del informe Excel generado, sacamos los datos de Tiempo y de Frecuencia de ambos lados (derecho e izquierdo) y comprobaremos sus datos en MATLAB.

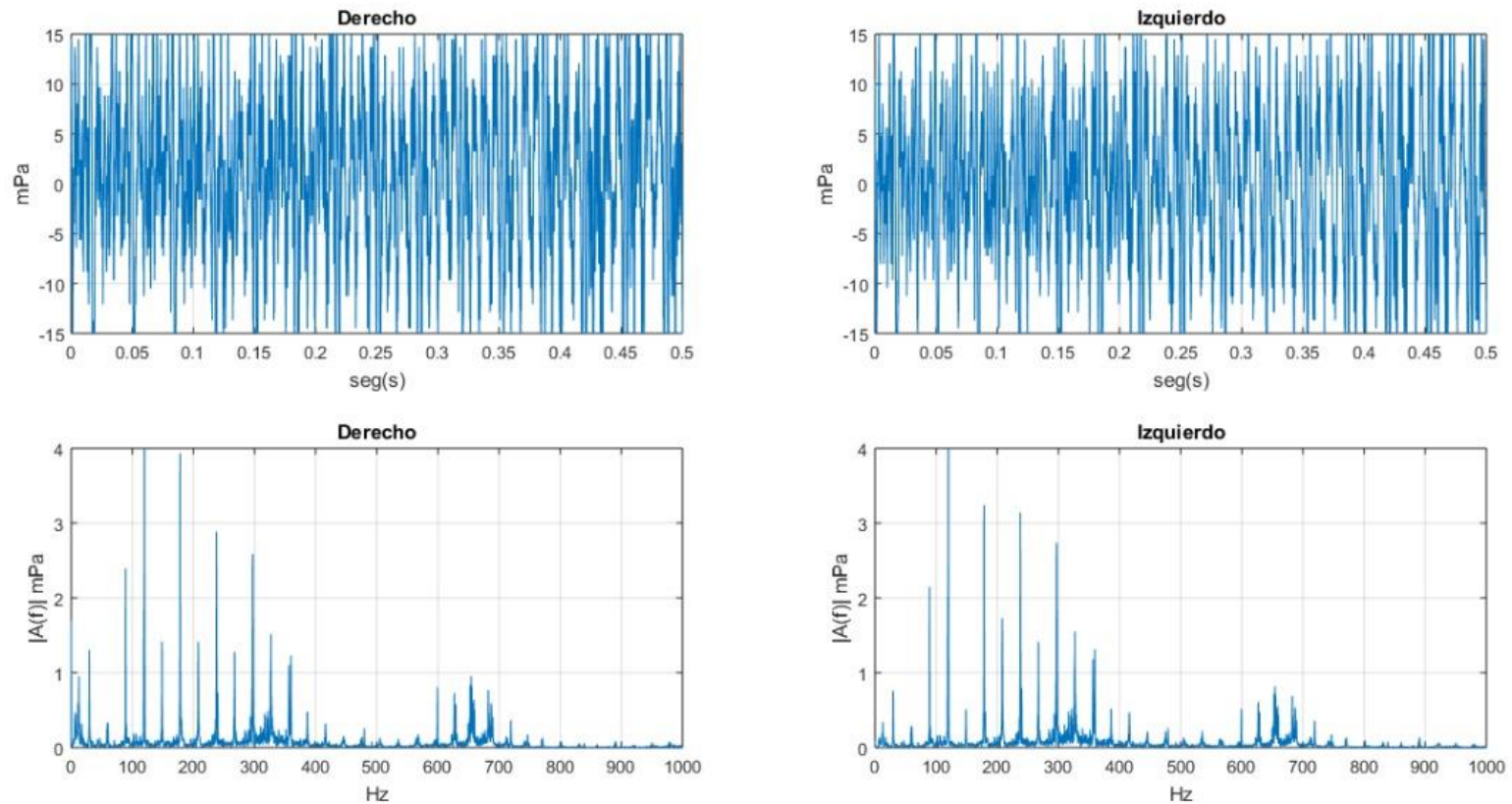


Figura 6.155 Graficas de Tiempo y Frecuencia del motor con carga

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 6.155. El espectro de audio no se observa muy bien en el ancho de banda utilizando. La máxima información está contenida dentro de la banda de 0 a 1000 Hz, por lo que realizaremos un zum al espectro.

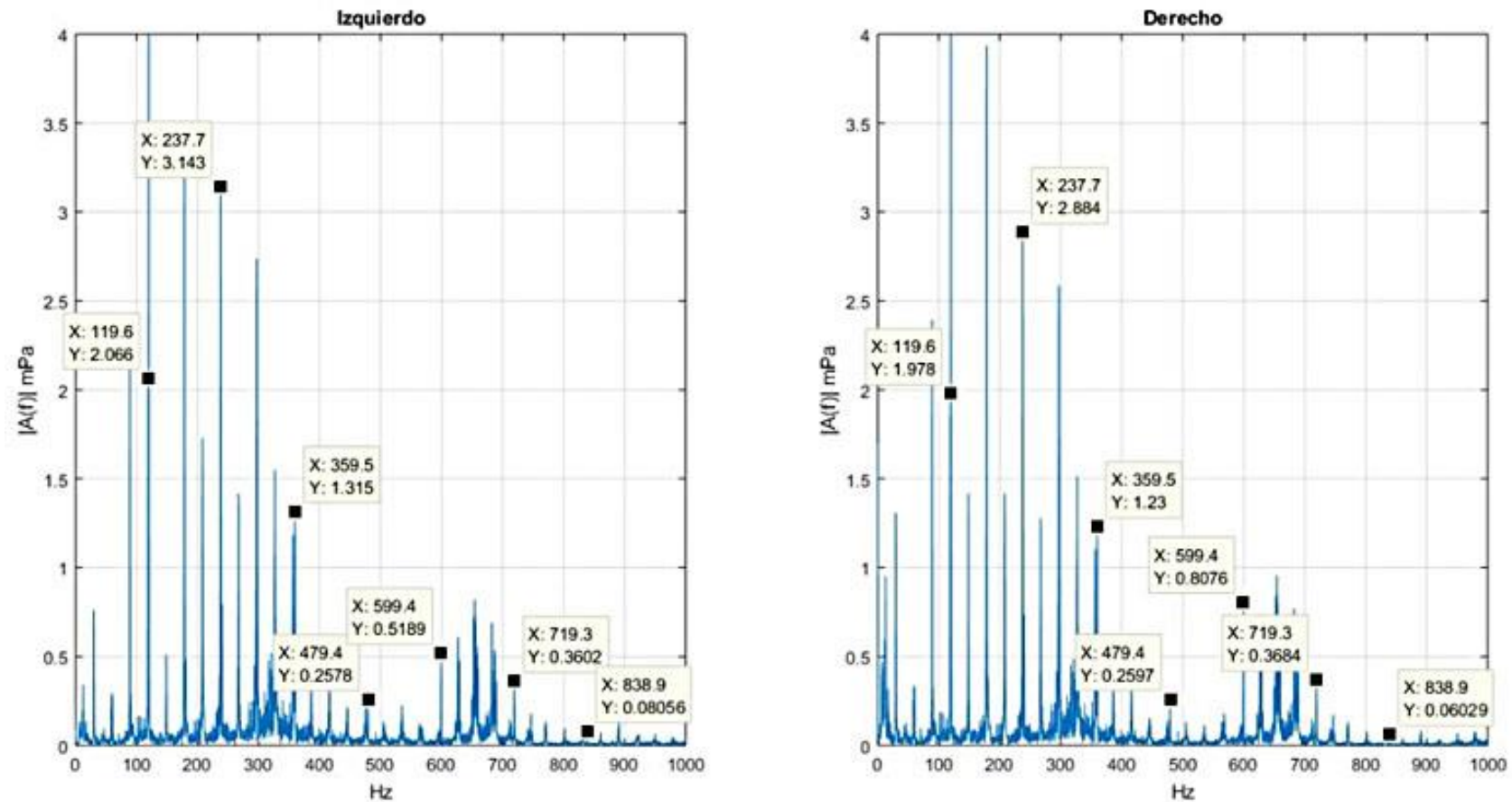


Figura 6.156 Zum al espectro de Frecuencia en MATLAB

Fuente: Elaboración propia

2.4. RESULTADOS

Teniendo las gráficas obtenidas por MATLAB. Observamos los armónicos que se obtienen con y sin carga en el motor. Se hace la siguiente Tabla.

A. SIN CARGA

Número de armónicos		Armónico REAL obtenido	SIN CARGA	
			IZQUIERDA	DERECHA
1	120	119.9	2.977	2.967
2	240	239.9	0.354	0.3769
3	360	360.1	3.523	3.094
4	480	480	0.5958	0.304
5	600	600	0.1701	0.6175
6	720	720.2	0.4751	0.0965
7	840	840.1	0.03442	0.1405

Tabla 6.19 Tabla de armónicos sin carga

Fuente: Elaboración propia

Tenemos que hallar el promedio entre los resultados sin carga, de cada lado (izquierdo y derecho). Para lo cual tenemos que sumar todos los datos obtenidos de cada lado de forma individual y dividirlo entre número de armónicos. Para lo cual debemos de tener en cuenta la Tabla 6.19.

Promedio del lado izquierdo motor sin carga:

$$\frac{2.977 + 0.354 + 3.523 + 0.5958 + 0.1701 + 0.4751 + 0.03442}{7} = 1.161$$

Promedio del lado derecho motor sin carga:

$$\frac{2.967 + 0.3769 + 3.094 + 0.304 + 0.6175 + 0.0965 + 0.1405}{7} = 1.085$$

Sumando ambos resultados para obtener de un solo canal:

$$1.161 + 1.085 = 2.246$$

B. CON CARGA

Número de armónicos		Armónico REAL obtenido	CON CARGA	
			IZQUIERDA	DERECHA
1	120	119.9	2.066	1.978
2	240	239.9	3.143	2.884
3	360	360.1	1.315	1.23
4	480	480	0.2578	0.2597
5	600	600	0.5189	0.8076
6	720	720.2	0.3602	0.3684
7	840	840.1	0.08056	0.06029

Tabla 6.20 Tabla de armónicos con carga

Fuente: Elaboración propia

Tenemos que hallar el promedio entre los resultados con carga, de cada lado (izquierdo y derecho). Para lo cual tenemos que sumar todos los datos obtenidos de cada lado de forma individual y dividirlo entre número de armónicos. Para lo cual debemos de tener en cuenta la Tabla 6.20.

Promedio del lado izquierdo del motor con carga:

$$\frac{2.066 + 3.143 + 1.315 + 0.2578 + 0.5189 + 0.3602 + 0.08056}{7} = 1.106$$

Promedio del lado derecho del motor con carga:

$$\frac{1.978 + 2.884 + 1.23 + 0.2597 + 0.8076 + 0.3684 + 0.06029}{7} = 1.084$$

Sumando ambos resultados para obtener de un solo canal:

$$1.164 + 1.084 = 2.190$$

2.5. DIAGNOSTICO FINAL DEL MOTOR

Hallamos la variación total, de ambos lados izquierdo y derecho

$$Variacion = 1 - \frac{2.246}{2.190}$$

$$Variacion = 0.1135$$

Representando la variación en porcentaje:

$$Porcentaje = 0.1135 \times 100$$

$$Porcentaje = 11.35 \%$$

Recapitulando los datos obtenidos, lo podemos resumir en la siguiente tabla.

	SIN CARGA		CON CARGA	
	IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO
ESTEREO	1.161	1.085	1.106	1.084
MONO	2.246		2.190	
VARIACION	11.35%			

Tabla 6.21 Resultado final del motor

Fuente: Elaboración propia

Con esto podemos decir, la firma de audio del motor se alteró en un 11.35%, debido a la carga que se utiliza en el motor, por lo tanto, se demuestra que el equipo es sensible a los cambios internos del motor producidos por cargas.

III. ANALISIS ECONOMICO

El análisis económico del presente tema de tesis presentado está basado en la inversión que se realizó en la fabricación del equipo analizador acústica para motores, los componentes adquiridos y la inversión de tiempo en horas.

ÍTEM	DESCRIPCION	PRECIO POR UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
1	Caja de acrílico para el equipo	S/ 70.00	1	S/ 70.00
2	Tornillos de ES33	S/ 0.50	8	S/ 4.00
3	Elástico para seguridad del equipo al usuario	S/ 5.00	1	S/ 5.00
TOTAL				S/ 79.00

Tabla 6.22 Análisis económico del Equipo

Fuente: Elaboración propia

ITEM	DESCRIPCION	PRECIO POR UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
1	Batería portátil de 5V a 4000mA	S/ 50.00	1	S/ 50.00
2	Microcontrolador Hércules LM46x	S/ 270.00	1	S/ 270.00
3	Pantalla Touch LCD de 7 "	S/ 450.00	1	S/ 450.00
4	Microchip MCP 6022	S/ 6.50	1	S/ 6.50
5	Micrófono Electret	S/ 2.50	2	S/ 5.00
6	Estetoscopio Mecánico	S/ 140.00	1	S/ 140.00
7	Buffer C4050	S/ 3.50	1	S/ 3.50
8	RAM 23LC1024	S/ 8.50	2	S/ 17.00
9	EEPROM 25LC256	S/ 4.50	1	S/ 4.50
10	RELOJ DS 1307	S/ 3.00	1	S/ 3.00
11	CRISTAL 32KHz	S/ 1.50	1	S/ 1.50
12	Batería CR2032	S/ 3.00	1	S/ 3.00
13	Integrado 75HC595N	S/ 3.50	2	S/ 7.00
14	Memoria SD 32GB clase 10	S/ 25.00	1	S/ 25.00
15	Pines Peine	S/ 1.00	2	S/ 2.00
16	Pines Peine en L	S/ 1.50	2	S/ 3.00
17	Cables de Arduino Hembra - Macho	S/ 8.00	1	S/ 8.00
18	Molex	S/ 1.20	2	S/ 2.40
19	Tubo PCV blando	S/ 7.00	1	S/ 7.00
20	Resistencias SMD	S/ 1.00	10	S/ 10.00
21	Capacitores electrolíticos	S/ 1.50	3	S/ 4.50
22	Termómetro Industrial	S/ 30.00	1	S/ 30.00
23	Fibra de vidrio	S/ 30.00	2	S/ 60.00
24	Botón de Prendido	S/ 2.50	1	S/ 2.50
TOTAL				S/ 1,115.40

Tabla 6.23 Análisis económico de los componentes adquiridos

Fuente: Elaboración propia

A estos gastos mencionados anteriormente se les considera las horas de trabajo, lo cual es la implementación del equipo, el diseño e implementación de la placa para el equipo, así mismo las pruebas realizadas para su correcto funcionamiento.

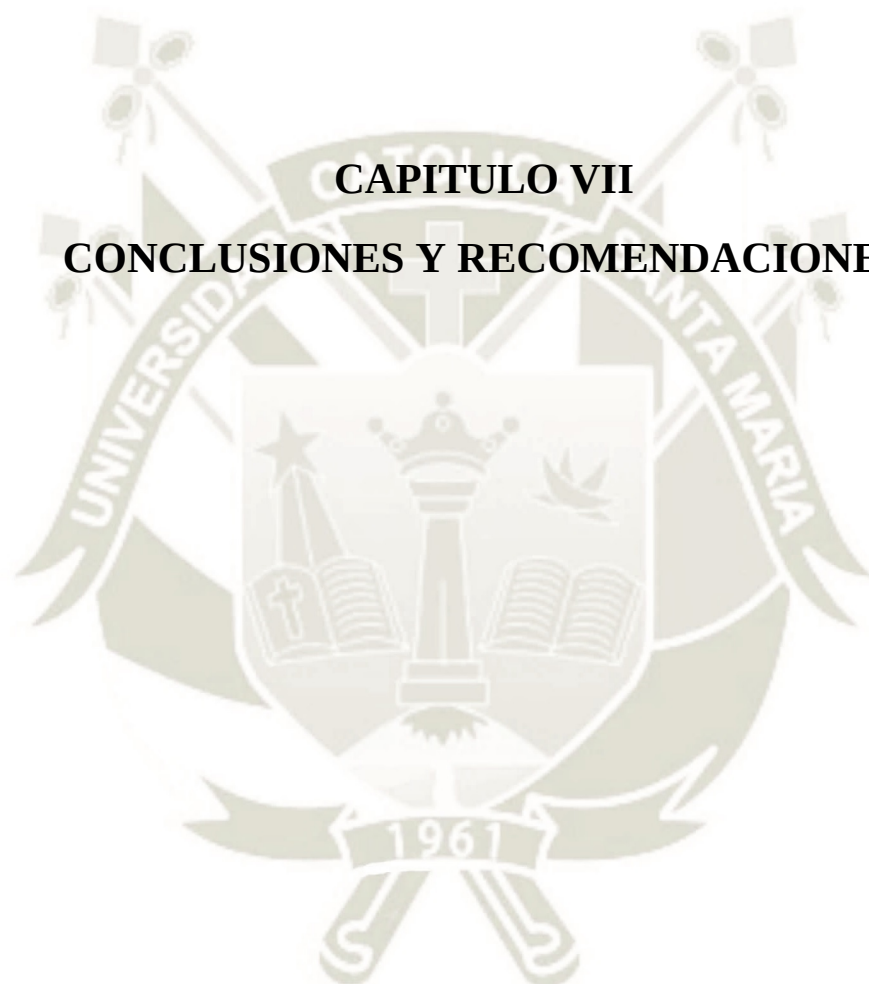
DESCRIPCION	COSTO
Case del equipo	S/ 79.00
Componentes electrónicos adquiridos	S/ 1,115.40
Costo del diseño e implementación de las placas y del equipo	S/ 1,500.00
Costo por el desarrollo del programa análisis por acústica para motor	S/ 2,000.00
TOTAL	S/ 4,694.40

Tabla 6.24 Análisis del costo total del equipo Analizador acústico de motores

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES

1. Se diseñó e implementó correctamente el equipo analizador acústico para motores, el cual es capaz de captar el sonido de los rodamientos y/o parte mecánicas internas del motor y se puede observar la forma de onda que transmite el motor en la pantalla LCD y poder almacenar y guardar la información en la memoria, para luego hacer un análisis más detallado del estado en que se encuentra el motor.
2. En este tema de tesis, el equipo analizador acústico para motores demostró que no es necesario hacer una parada o sacar el motor de la planta para ver su estado, con el equipo se demostró que las mejores mediciones es cuando el motor está en pleno funcionamiento y así el análisis y diagnósticos son muy certeros para detectar motores en mal estado y se vio la importancia de hacer un correcto mantenimiento a los motores o programar anticipadamente su cambio.
3. En el equipo analizador acústico para motores se diseñó utilizando un microcontrolador Hércules RM46x de la marca Texas Instruments, este microcontrolador es de una gama alta, para aplicaciones industriales, el cual nos permitió hacer mediciones y procesamiento de los espectros del audio de una forma más real.
4. Se usaron satisfactoriamente los conceptos de Fourier, Nyquist y Radix 4, para diferentes tareas como los espectros y armónicos de la acústica del motor.
5. En este tema de tesis se pudo ver dos formas de análisis, el análisis en tiempo real donde se visualizó la forma de onda en el mismo instante que se media el motor, y se pudo ver el análisis profundo, donde se guardó la información de los datos de la medición, y se pudo ver la onda del espectro de audio del motor en el

tiempo y en frecuencia. Además de poder ver los promedios del punto máximo y mínimo, RMS, desviación estándar y la varianza.

6. En este tema de tesis, se pudo generar archivos de reporte EXCEL, donde se guardan toda la información de los datos del motor, también los datos en análisis en tiempo y de frecuencia. Para luego ver de forma detallada los datos obtenidos para un mejor diagnóstico del motor. Se pudo generar archivos WAV, los cuales son archivos de grabación del sonido del motor y se pueden reproducir en una laptop o PC.
7. El equipo utiliza una memoria externa SD, la cual no presento ningún problema de compatibilidad con el equipo y es de fácil uso para guardar información y visualizar los datos obtenidos en la computadora.
8. El diseño de la interfaz gráfica para la pantalla Touch LCD, es de fácil uso para el usuario y de una interfaz interactiva y agradable a simple vista.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda incorporar un circuito con un opamp, el cual pueda poner la ganancia del motor de forma automática y esto dependerá del tamaño del motor para que no haya saturación al momento de hacer las mediciones al motor.
2. Se recomienda conseguir micrófonos de mucha más precisión para poder captar de una forma más fina el sonido del motor.
3. Se recomienda poner un parlante o una salida análoga para poder escuchar en el mismo momento los archivos WAV generados.
4. Se puede mejorar la visualización de los espectros de audio en la pantalla LCD y se pueda ver con más precisión y llegar al nivel de análisis del MATLAB.
5. Se puede mejorar el case del equipo con otro material, para un mejor cuidado del circuito, del microcontrolador y de la pantalla Touch LCD.
6. Se puede diseñar diferentes equipos a base de este tema de tesis para diferentes motores dependiendo la potencia que tenga cada uno.

REFERENCIAS

¿Como se mide el sonido? (2019). *Okdiario*. Obtenido de www.okdiario.com

2Rtools herramientas de calidad. (7 de Noviembre de 2016). *Estetocopio Mecanico*.

Obtenido de 2Rtools herramientas de calidad:

<https://2rtools.com/es/diagnosis/47-estetoscopio-de-mecanico.html#:~:text=El%20estetoscopio%20mec%C3%A1nico%20que%20se%20usa%20en%20el%20servicio%20mec%C3%A1nico,defectuosos%20y%20otras%20anomal%C3%ADas%20mec%C3%A1nicas.>

ALBORAN, I. M. (9 de Octubre de 2009). *maralboran.org*. Obtenido de http://maralboran.org/wikipedia/index.php/%C2%ADPar%C3%A1metros_del_sonido:_altura%2C_duraci%C3%B3n%2C_intensidad_y_timbre

Automecanico. (2019). *Automecanico.com*. Obtenido de <https://automecanico.com/auto2020/estetoscopio01.html>

CodeComposer, T. I. (2021). *Programa CodeComposer*.

Conceptos claros. (1 de Noviembre de 2011). Obtenido de <https://conceptosclaros.com/transformada-de-fourier/>

Curso de acústica de Bachillerato creado por GA. (2003). Obtenido de <http://www.ehu.eus/acustica/bachillerato/casoes/casoes.html>

DS1307. (s.f.). *HISPAVILA*. Obtenido de https://www.hispavila.com/wp-content/uploads/2015/08/ds1307_esp.pdf

ECS. (2021). Obtenido de https://www.mouser.pe/Passive-Components/Frequency-Control-Timing-Devices/Crystals/_/N-6zu9e?P=1yyu69v

ELCO. (2021). Obtenido de <http://www.elco-spa.com/prodotti/refrigerazione?lang=es>

Electronic Lives Mfg. (17 de Abril de 2021). Obtenido de http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_e.html#:~:text=FatFs%20is%20a%20generic%20FAT,i s%20independent%20of%20the%20platform.&text=Also%20Petit%20FatFs%2 0module%20for%20tiny%20microcontrollers%20is%20available%20here.

Electronica estudio. (Setiembre de 2018). *Microfonos electret*. Obtenido de https://www.estudioelectronica.com/wp-content/uploads/2018/09/SHT-014_info.pdf

Electronica y ciencia. (2018). *Microfonos electret*. Obtenido de <http://electronicayciencia.blogspot.com/2010/06/utilizar-un-microfono-electret.html>

Emilio Soria. (s.f.). *Transformada discreta de Fourier*. España: Universidad de Valencia.

Energizer. (2021). Obtenido de Amazon: <https://www.amazon.es/Energizer-ue4002--Hightech-Cargador-Smartphone/dp/B07BVXT314>

Frecuencia de muestreo para audio y video. (s.f.). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Frecuencia_de_muestreo

Geek. (2021). Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/tienda/modulos-para-desarrollo/ds1307-modulo-tiny-rtc-reloj-en-tiempo-real/>

Glen White. (2010). *Introduccion al analisis de vibraciones*. USA: AZIMA DLI.

Griffin, M. J. (2015). *Vibracion*. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+50.+Vibraciones>

- Hernandez, L. d. (2020). *Programarfacil.com* . Obtenido de <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/medidor-de-carga-de-baterias-pilas-arduino/>
- insst, 5. (1971-2021). *insst.es*. Obtenido de <https://www.insst.es/riesgos-ergonomicos-factores-ambientales-ruido-y-vibraciones>
- it-swarm-es.com. (7 de Marzo de 2014). Obtenido de <https://www.it-swarm-es.com/es/c%2B%2B/como-reproducir-o-abrir-el-archivo-de-sonido-.mp3-o-.wav-en-el-programa-c/1044921370/>
- Jorge A. Perez Villalobo, Oscar A. Ramos, Alan J. Urquiza Manzanelli, Horario H. Contrera y David A. Novillo. (Noviembre, 2012). *Analisis de Ruido de motores electricos*. Argentina: Asocion Argentina de mecanica computacional.
- Juca Vivar, K. F. (Febrero 2015). *Identificacion de espectros acusticos en motores de combustion interna a traves del analisis en tiempos cortos*. Cuenca: UNIVERSIDAD POLITECTICA SALESIANA SEDE CUENCA.
- Kignston. (2019). Obtenido de <https://www.kingston.com/es/memory-cards>
- Megger. (2015). *Guía para prueba de baterias*. EE.UU.
- MICRHOCHIP . (2017). *CD4050*.
- MICROCHIP. (2015). *23L1024*.
- MICROCHIP. (s.f.). *MCP6022*. Obtenido de <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/MCP6022>
- MICROCHIP. (s.f.). *MICROCHIP*. Obtenido de <http://www.microchip.com/www.products/en/25LC256>

Power Acoustik. (2018). Obtenido de <https://cpoweracoustik.com/product/derek-motors-motor-trifasico-2hp-baja/>

PROFESIONAL REVIEW. (s.f.). Obtenido de PROFESIONAL REVIEW: <https://www.profesionalreview.com/2020/04/25/tarjeta-sd-toda-informacion/>

Programacion de Archivos CSV. (s.f.). *LWP Comunidad de Programadores*. Obtenido de <https://www.lawebdelprogramador.com/foros/Dev-C/1733392-El-programa-debe-leer-un-fichero-CSV-y-realizar-la-media-de-la-temperatura.html>

Programacion de archivos en formato WAV. (22 de Enero de 2019). *OLINKI*. Obtenido de <http://148.204.64.217/formato-wav/>

Santiago Vilanova Angeles. (2014). *Analisis de audio*. España: Universidad Oberta de Catalunya.

Seidel, H. (2013). Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+50.+Vibraciones>

Sistemas. (2016). Obtenido de <https://sistemas.com/eprom.php>

Somoza, J. A. (2012). Obtenido de <https://sites.google.com/site/jorgeaguilarsomoza/presentacion/la-cmos-el-reloj-la-pila-etc/subpagina-1-1>

Soporte Multimedia. (2018). Obtenido de <https://soportemultimedia.com/sabes-como-se-mide-el-sonido/>

Stackoverflow. (6 de Febrero de 2017). Obtenido de <https://es.stackoverflow.com/questions/47579/c%C3%B3mo-leer-datos-individuales-de-archivo-csv-en-c>

Texas Instrument - Halcogen. (2021). Halcogen.

Texas Instrument. (2021). *RM46x Microcontroller Technical Reference*. USA.

Texas Instruments. (November de 2000). A Single - Supply Op-Amp Circuit Collection.

Texas Instruments. (s.f.). *Implementing the Radix4 decimation in Frequency, Fast Fourier Transform*. Incorporated.

Texas Instruments Incorporated. (2017). *Radix 4*. USA.

Tom Bishop. (Mayo, 2020). Determinando las Fuentes de Ruido en los Motores Electricos. *EASA CURRENTS*, 5.

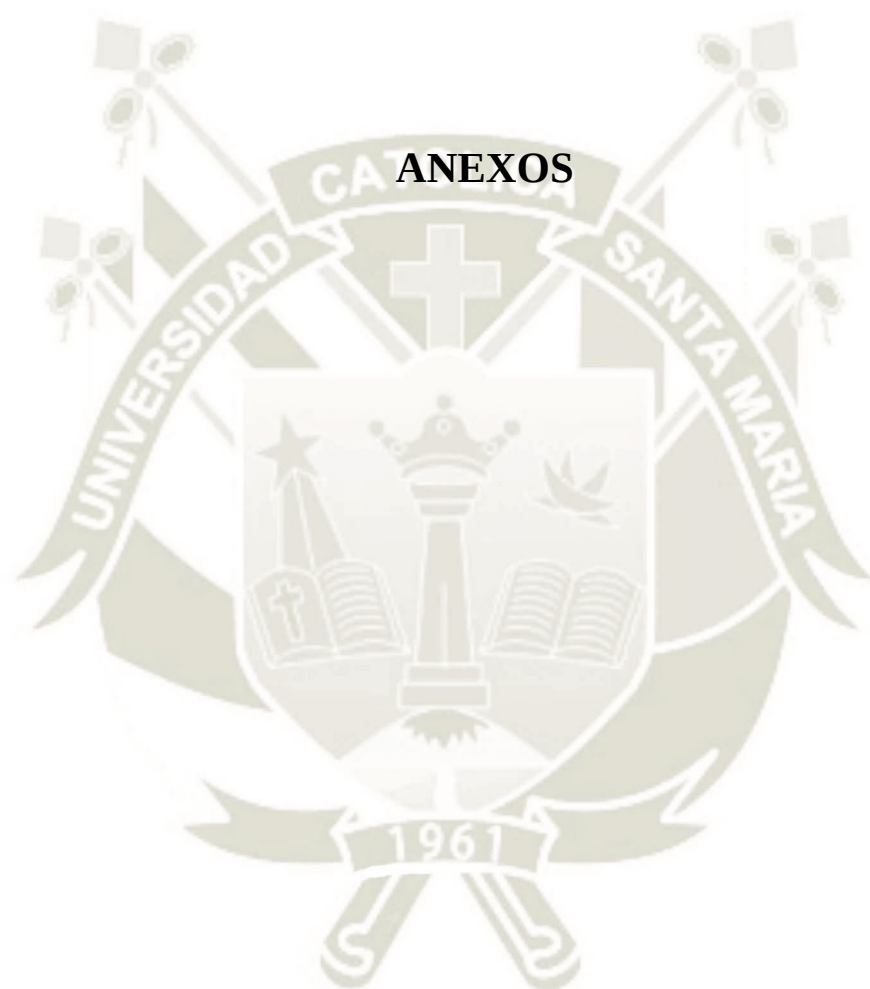
Vinibattery. (2016). Obtenido de <https://vinibattery.com/producto/maxell-pila-boton-litio-cr2032-3v-blister5-nueva-presentacion/>

Wikipedia. (12 de Marzo de 2020). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Micr%C3%B3fono_de_electreto

Wikipedia. (11 de Febrero de 2021). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Amplificador_b%C3%BAfer#:~:text=Un%20amplificador%20b%C3%BAfer%20\(del%20ingl%C3%A9s,de%20corriente%20y%20de%20voltaje.](https://es.wikipedia.org/wiki/Amplificador_b%C3%BAfer#:~:text=Un%20amplificador%20b%C3%BAfer%20(del%20ingl%C3%A9s,de%20corriente%20y%20de%20voltaje.)

Xataka. (2018). Obtenido de <https://www.xataka.com/basics/memoria-ram-que-sirve-como-mirar-cuanta-tiene-tu-ordenador-movil>

Xatakamovil. (2020). Obtenido de <https://www.xatakamovil.com/xatakamovil/que-fue-de-las-pantallas-resistivas>



The diagram illustrates the internal structure and pin connections of the RM46L850 microcontroller. It includes a pin list on the left, a central block representing the microcontroller, and a detailed schematic on the right showing power supply rails, signal pins, and internal components like capacitors and resistors.

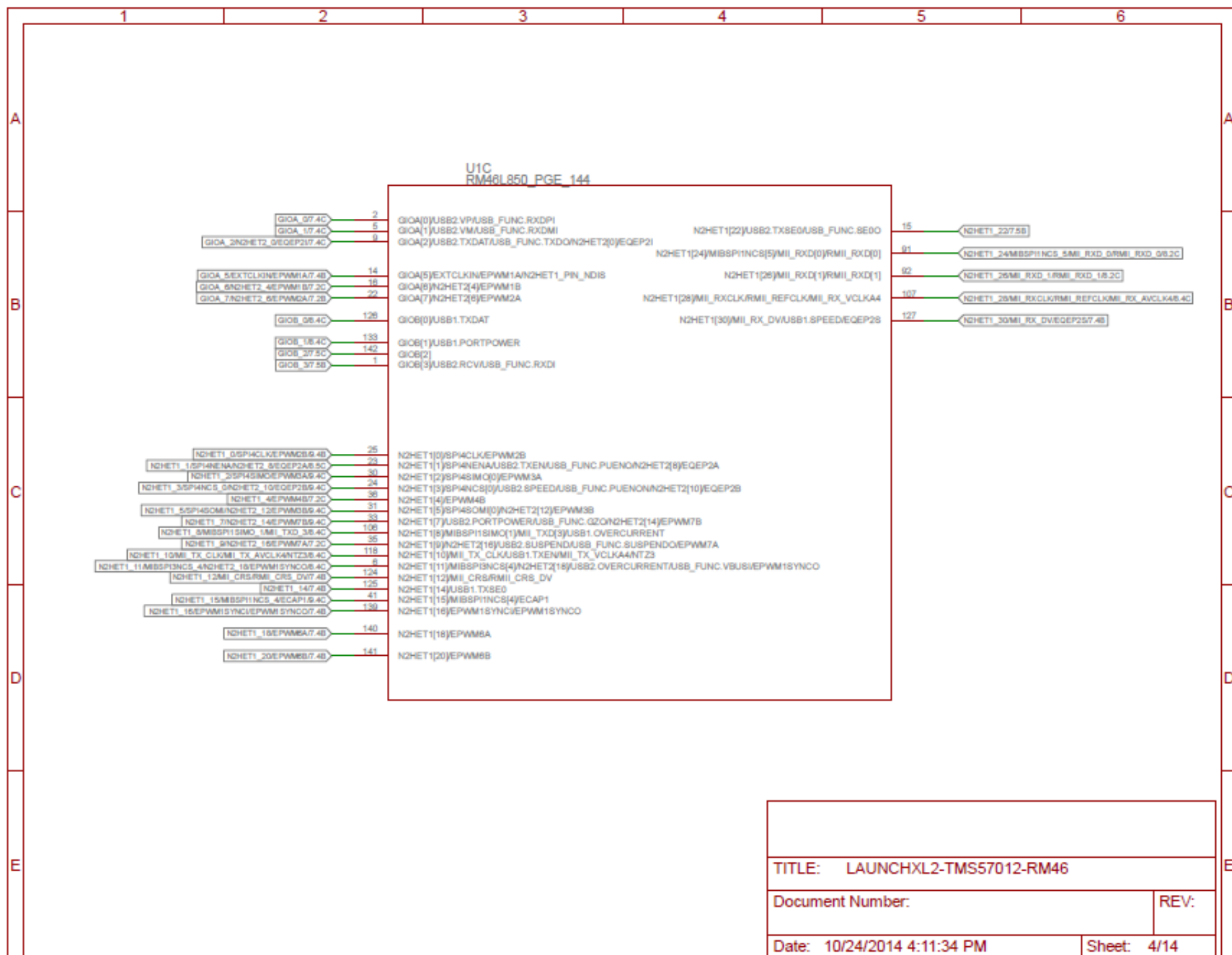
Pin List:

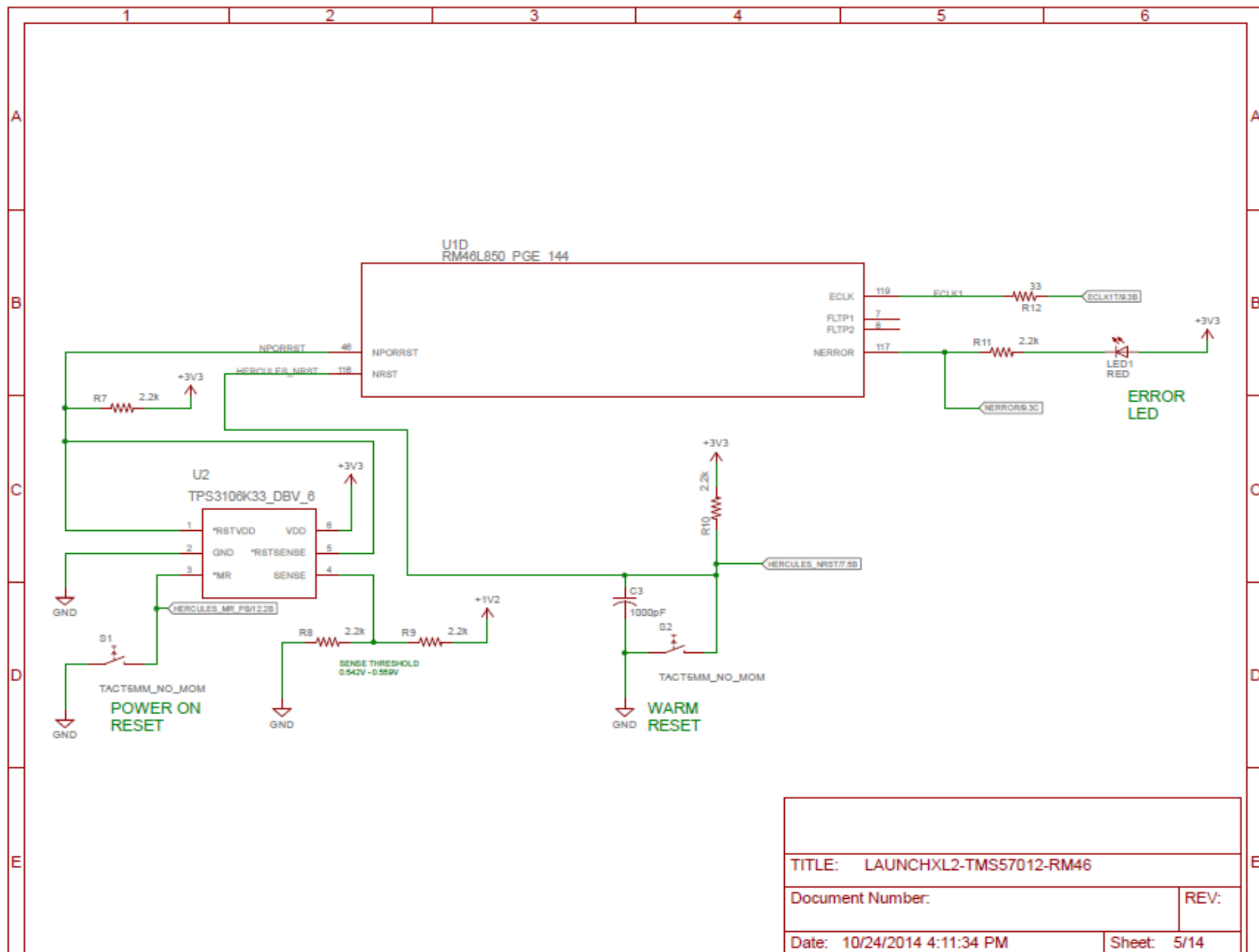
Pin	Signal	Pin	Signal
60	AD1IN[0]	83	AD1IN[8]AD2IN[8]
71	AD1IN[1]	70	AD1IN[9]AD2IN[9]
73	AD1IN[2]	72	AD1IN[10]AD2IN[10]
74	AD1IN[3]	75	AD1IN[11]AD2IN[11]
76	AD1IN[4]	77	AD1IN[12]AD2IN[12]
78	AD1IN[5]	79	AD1IN[13]AD2IN[13]
80	AD1IN[6]	82	AD1IN[14]AD2IN[14]
81	AD1IN[7]	85	AD1IN[15]AD2IN[15]
		88	AD1IN[16]AD2IN[0]
		89	AD1IN[17]AD2IN[1]
		92	AD1IN[18]AD2IN[2]
		93	AD1IN[19]AD2IN[3]
		94	AD1IN[20]AD2IN[4]
		95	AD1IN[21]AD2IN[5]
		96	AD1IN[22]AD2IN[6]
		98	AD1IN[23]AD2IN[7]

Internal Components and Connections:

- Power Supply:** VCCAD (VCCAD[5:0]), VSSAD, and VCCA0[5:0] are connected to the internal power supply rails.
- Signal Pins:** ADREFHI, ADREFLO, VCCAD, VSSAD, AD1EVTMI[RX_ER/RMI[RX_ER], OSCIN, KELVIN_GND, and OSCOUT are shown with their respective internal connections.
- Capacitors:** C1 and C2 (33pF) are connected to the OSCIN and OSCOUT pins.
- Resistors:** R1, R2, R3, and R4 are connected to the ADREFHI, ADREFLO, VCCAD, and VSSAD pins.
- Other Components:** A 16.00MHz crystal (Y1) and an oscillator fault inject (OSC FAULT INJECT) are connected to the OSCIN and OSCOUT pins.

Sheet: 2/14





TITLE: LAUNCHXL2-TMS57012-RM46

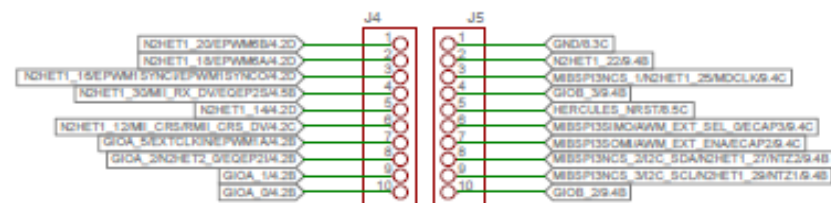
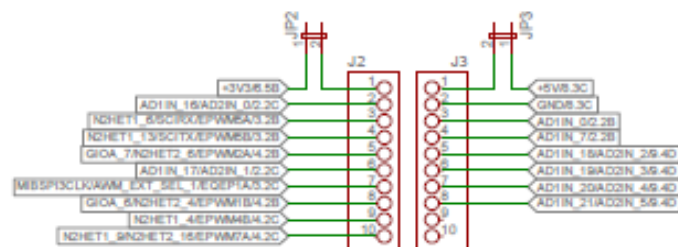
Document Number:

REV:

Date: 10/24/2014 4:11:34 PM

Sheet: 5/14

BOOSTER PACK SITE 1



TITLE: LAUNCHXL2-TMS57012-RM46

Document Number:

REV:

Date: 10/24/2014 4:11:34 PM

Sheet: 7/14

BOOSTER PACK SITE 2



TITLE: LAUNCHXL2-TMS57012-RM46

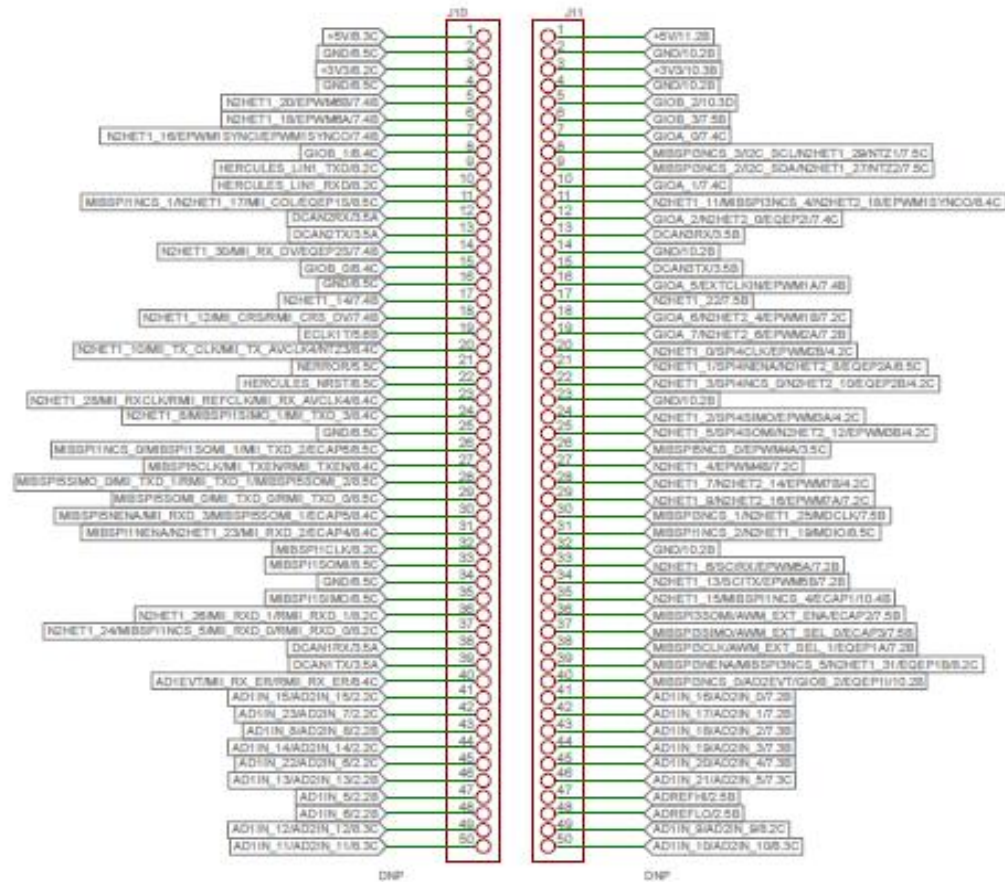
Document Number:

REV:

Date: 10/24/2014 4:11:34 PM

Sheet: 8/14

PROTO BOARD HEADERS



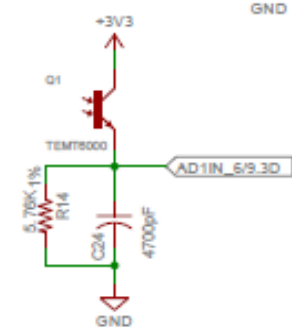
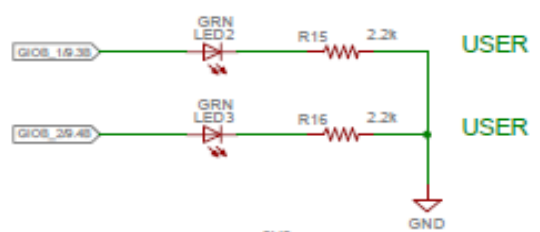
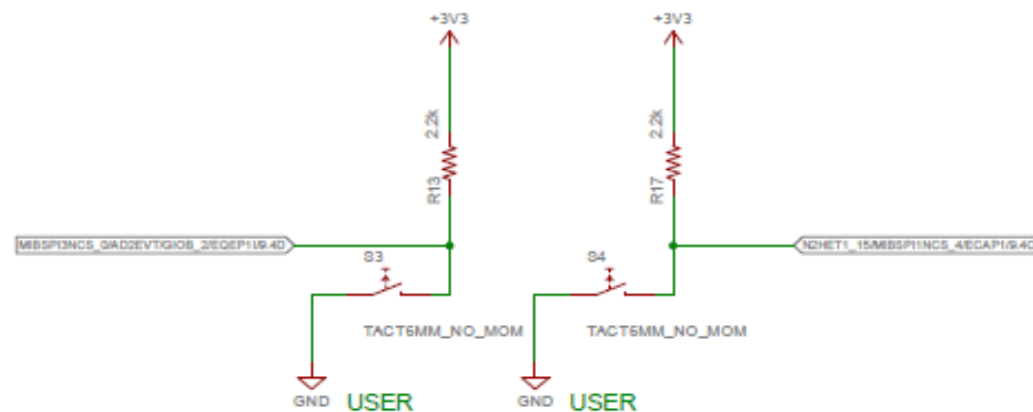
TITLE: LAUNCHXL2-TMS57012-RM46

Document Number:

REV:

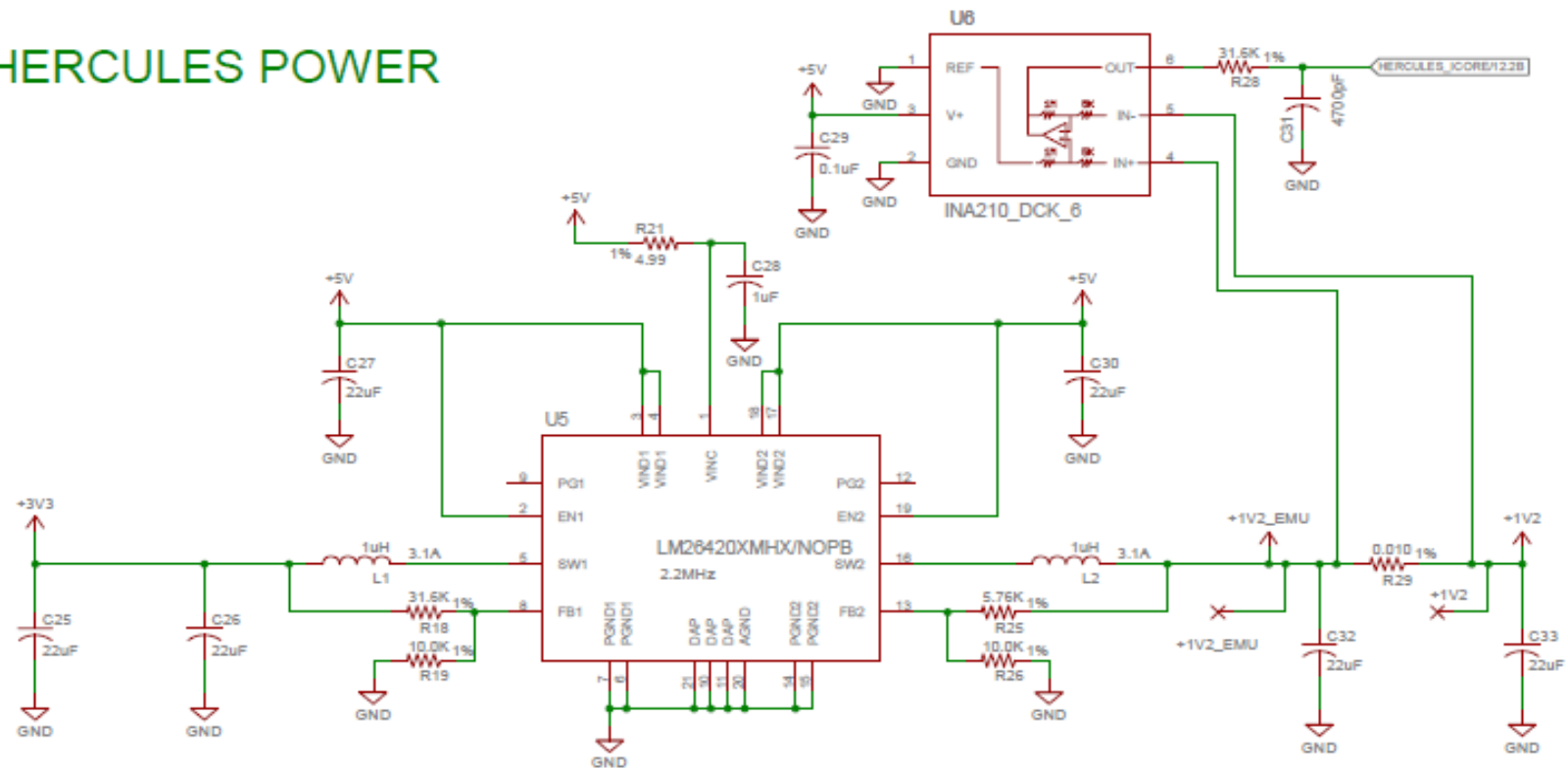
Date: 10/24/2014 4:11:34 PM

Sheet: 9/14

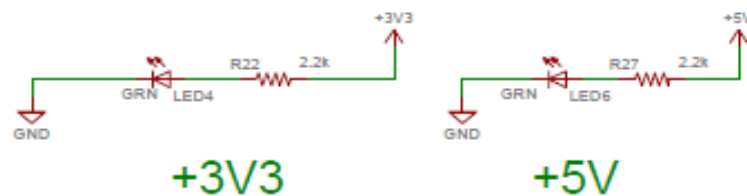


TITLE: LAUNCHXL2-TMS57012-RM46		
Document Number:		REV:
Date: 10/24/2014 4:11:34 PM	Sheet: 10/14	

HERCULES POWER



POWER INDICATOR LEDS



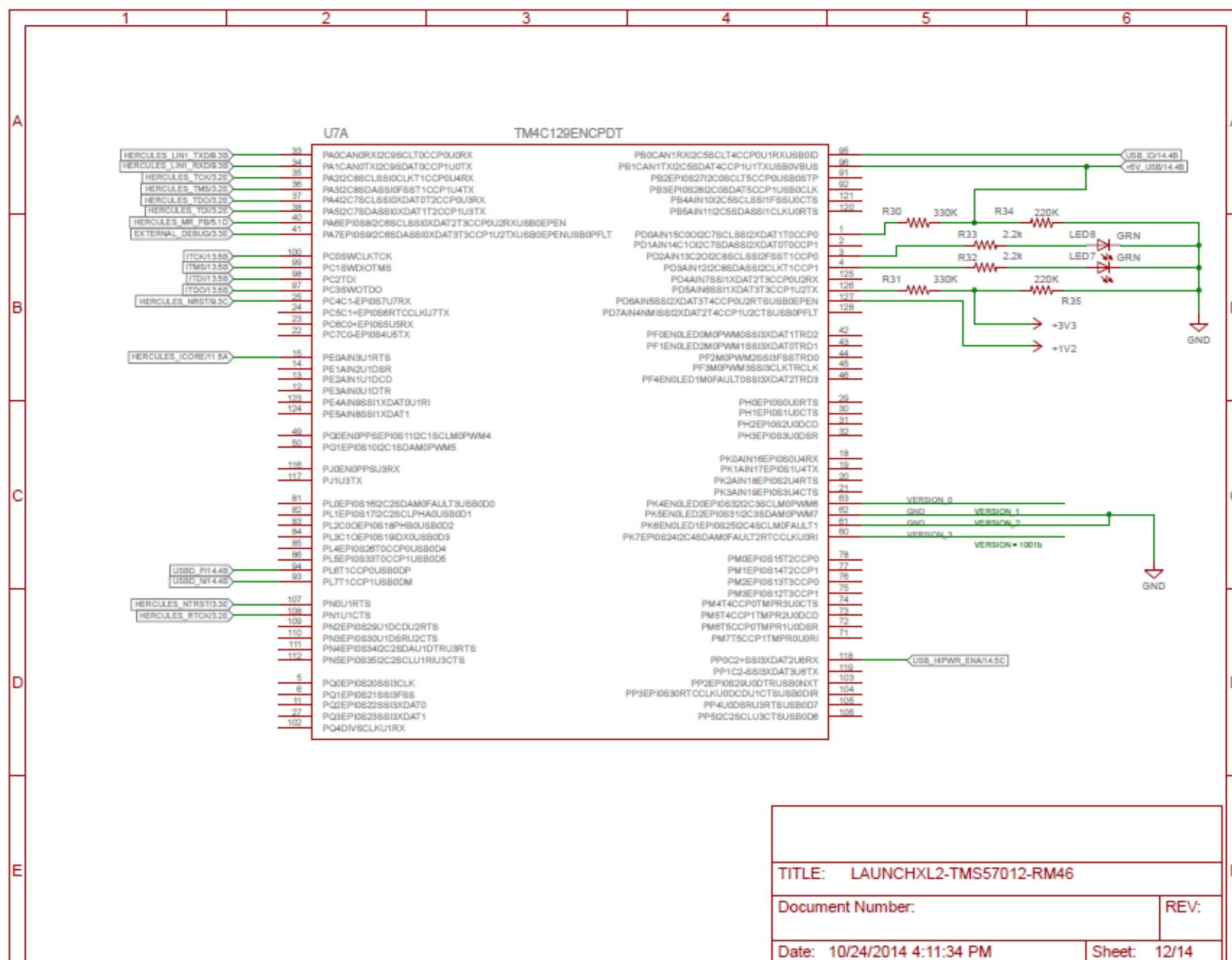
TITLE: LAUNCHXL2-TMS57012-RM46

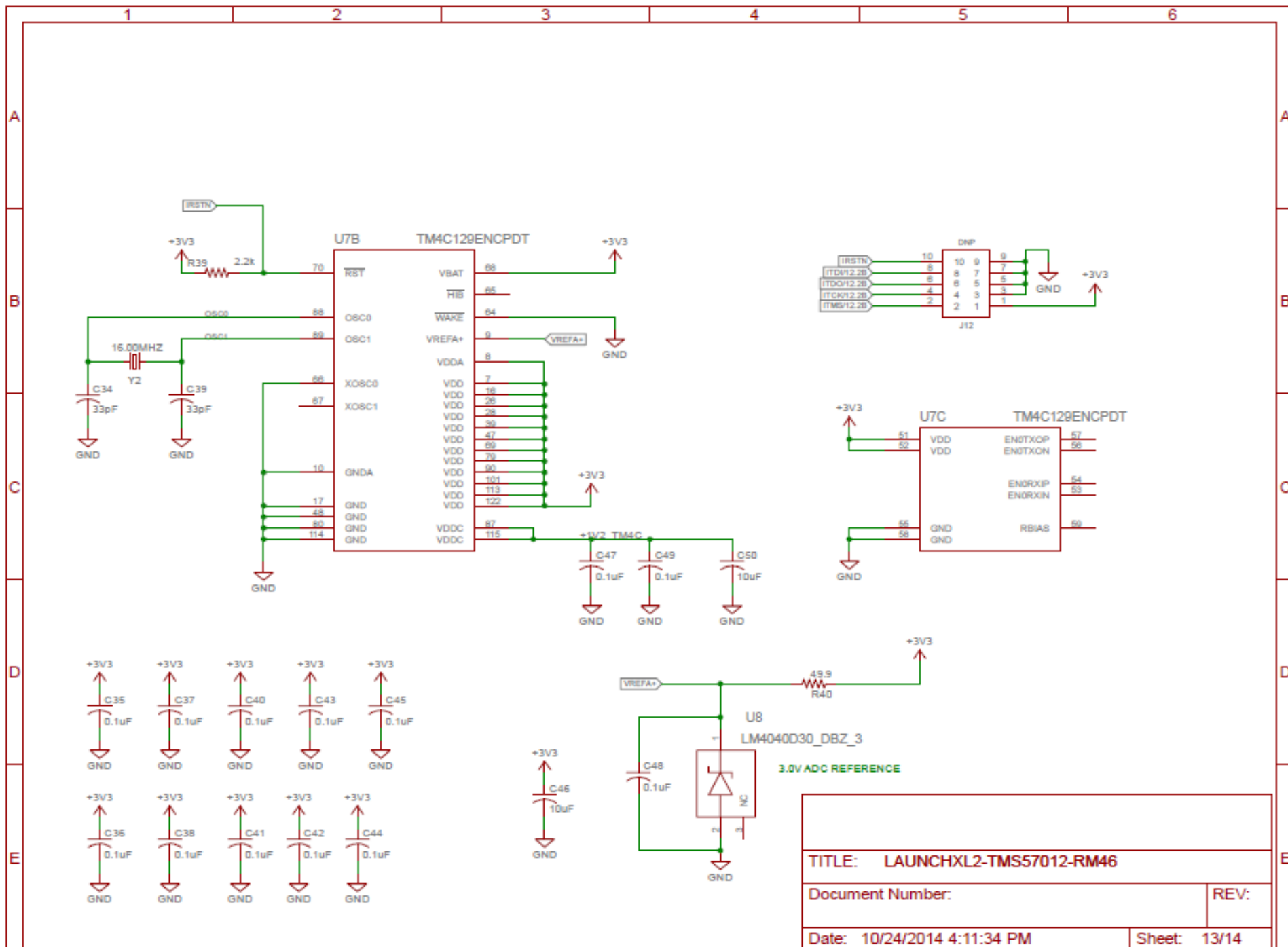
Document Number:

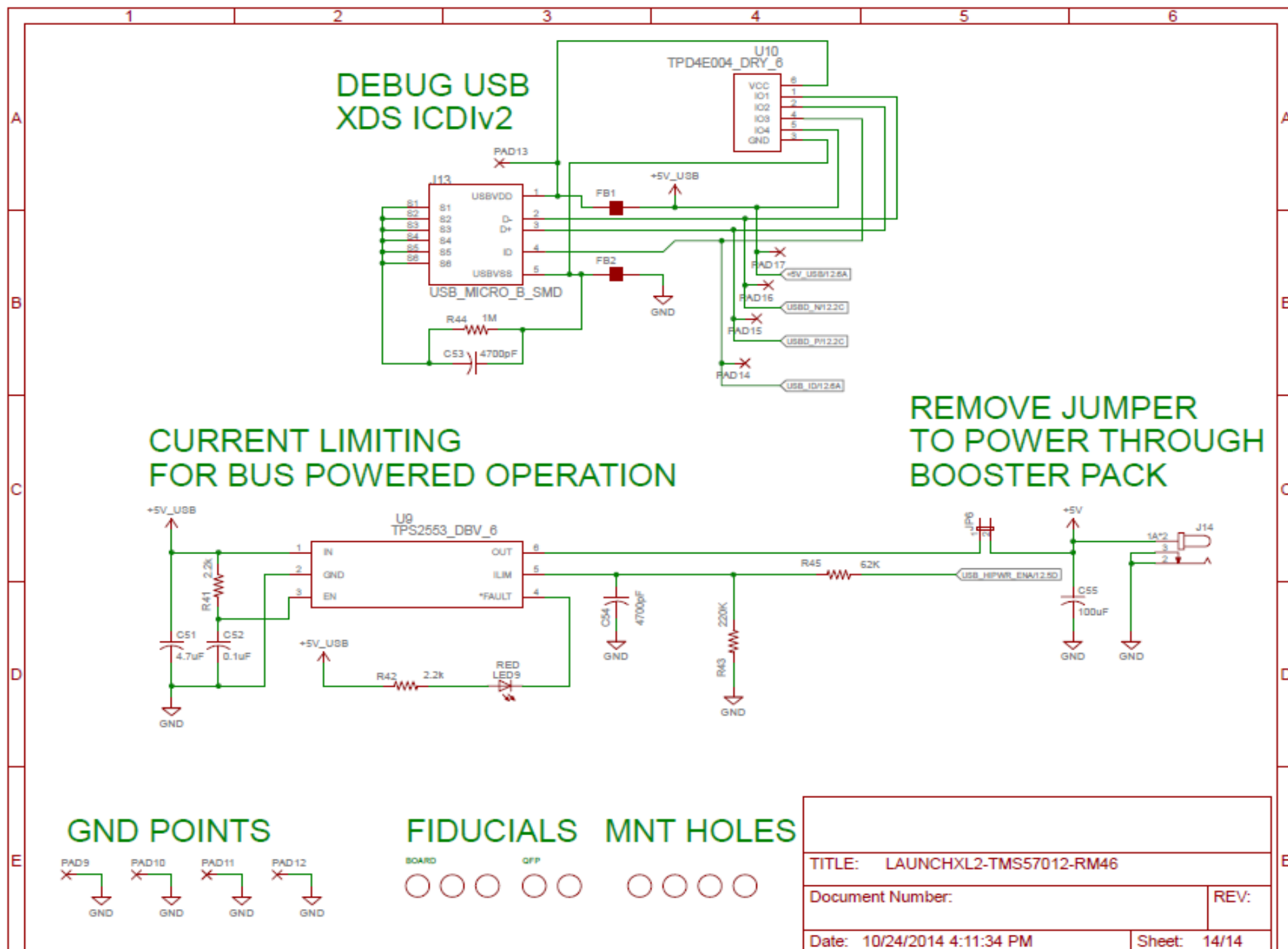
REV:

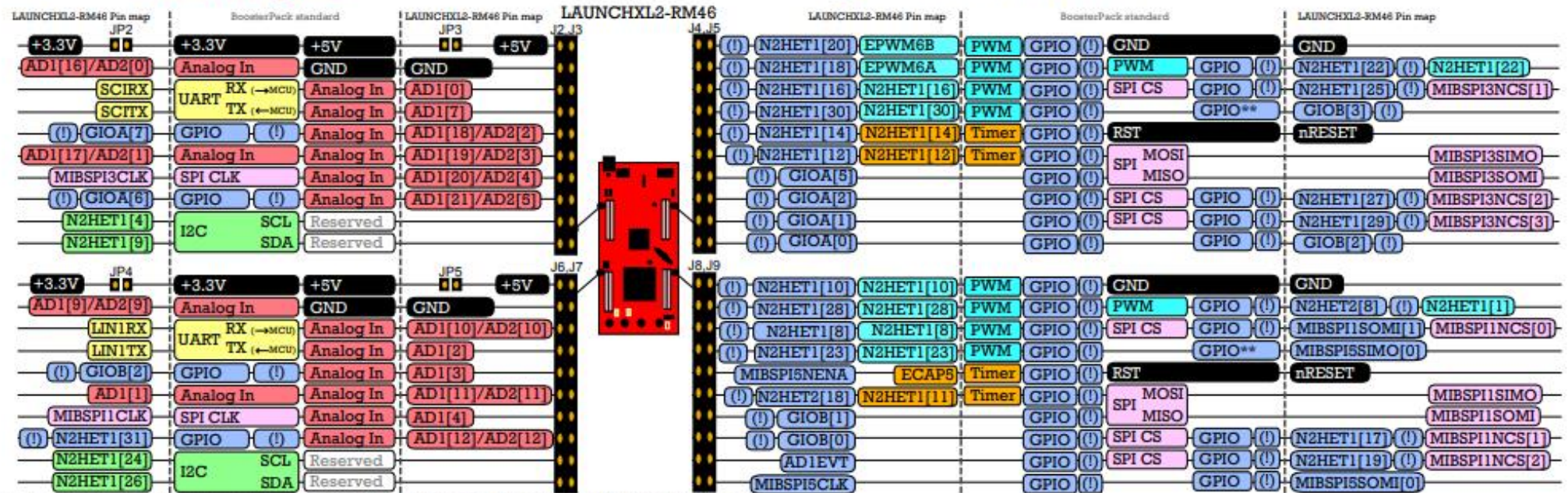
Date: 10/24/2014 4:11:34 PM

Sheet: 11/14









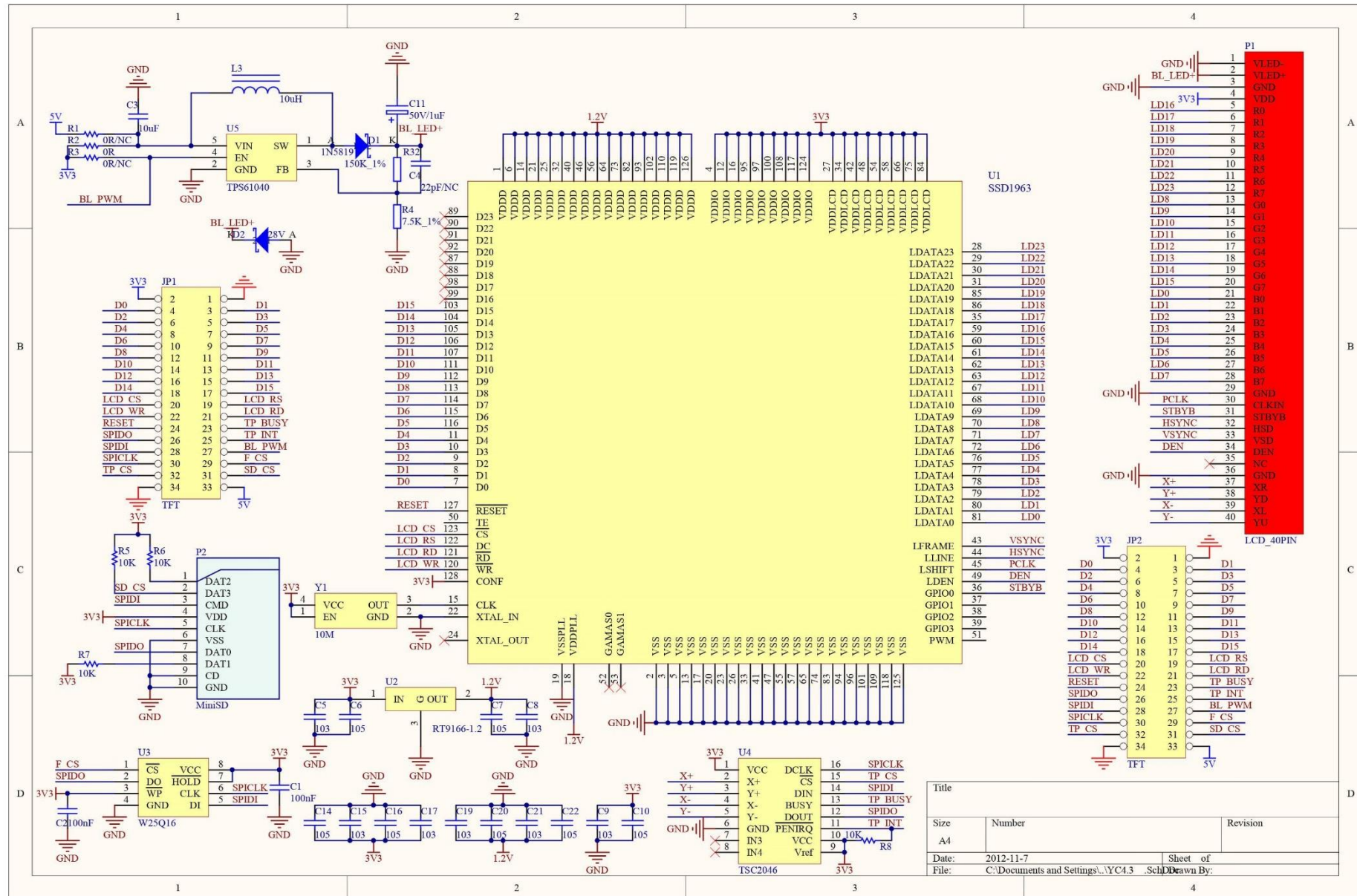
When using some BoosterPacks, JP2, 3, 4, or 5 may need to be removed. For example, using this LaunchPad with BoosterPack BOOSTXL-DRV8301 that includes a 3.3V regulator. To avoid conflict between the LaunchPad's 3.3V regulator and the regulator on the BoosterPack, JP2 (or JP4) should be removed.

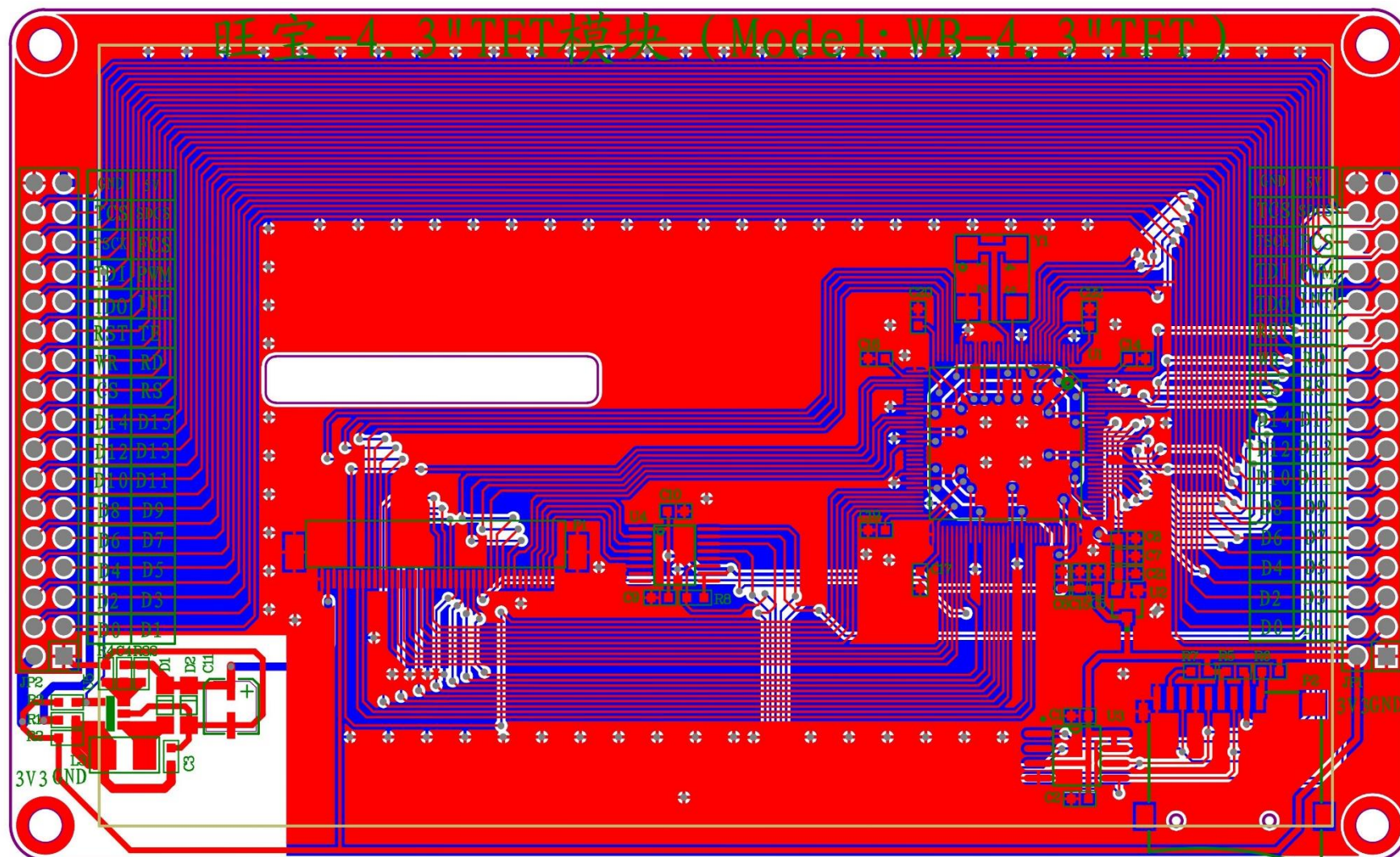
Below are the pins exposed @ the 2x BoosterPack connector sites.

Mapping to the booster pack standard is shown. In some cases a function can be either a GPIO or another function, and may be listed twice (color coded as both GPIO and again as the function). Additional functions beyond the booster pack standard may be available. For details consult the launchpad schematic.

(I) Denotes I/O pins that are interrupt-capable.

ANEXO B - PANTALLA TOUH 7 PULGADAS





ANEXO C - CIRCUITO DEL EQUIPO

