

CAPÍTULO IV

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

El presente capítulo detalla las pruebas realizadas para el sistema de detección de fallas y los resultados de las mismas que han sido hechas en un motor de prueba detallado en la sección 4.2.2. Además, se ha obtenido resultados de pruebas en motores cuyo buen estado es conocido de antemano.

4.1 OBJETIVOS ESPERADOS.

Las pruebas se realizan individualmente para los transductores, filtros *anti-aliasing* y el software de los cuales se espera:

- Al probar los transductores individualmente, se debe revisar en un osciloscopio que las señales de corriente y de voltaje estén en los rangos deseados.
- Al probar individualmente el filtro *anti-aliasing*, éste debe dar una respuesta en frecuencia similar al de la Figura 3.8.
- Al probar el software individualmente se debe tomar en cuenta los siguientes detalles:
 - Certeza de funcionamiento, es decir que el software no devuelva errores de programación durante su ejecución.
 - Las señales visuales deben ser acordes a la configuración de usuario inicial de acuerdo a la Sección 3.11.
 - Se debe mostrar las señales adquiridas de corriente y voltaje en tiempo y frecuencia.

- Se debe mostrar los espectros de frecuencia en el rango necesario (0-150 Hz).
- El software debe entregar un diagnóstico de error de configuración o un error en la red eléctrica ya que está siendo probado en vacío.
- Después de cada una de las pruebas individuales, se debe hacer pruebas en conjunto o globales en las que se dé énfasis a los siguientes detalles:
 - Se debe mostrar las señales adquiridas de corriente y voltaje en tiempo y frecuencia.
 - Se debe mostrar los espectros de frecuencia en el rango necesario (0-300 Hz).
 - Se debe mostrar los picos de corriente en las frecuencias respectivas en 60 Hz y en las deducidas según la ecuación 1.8.
 - El software debe entregar un resultado confiable y similar en varias ejecuciones si el banco de pruebas es el mismo.
 - El software debe dar un diagnóstico certero si se realizan las pruebas en bancos distintos.
 - Se debe verificar que no existan resultados absurdos en ningún caso.
 - Verificar datos en tablas y bases de datos.
 - Verificar reportes.

4.2 CONFIGURACIÓN DE LAS PRUEBAS Y RESULTADOS.

4.2.1 PRUEBAS INDIVIDUALES

Para probar los transductores, se utiliza un osciloscopio para visualizar las señales de corriente y voltaje.

La prueba del *transductor de corriente* se realiza colocando la pinza alrededor de uno de los cables del motor de prueba y se observa la siguiente forma de onda que es la de la corriente a través del motor:

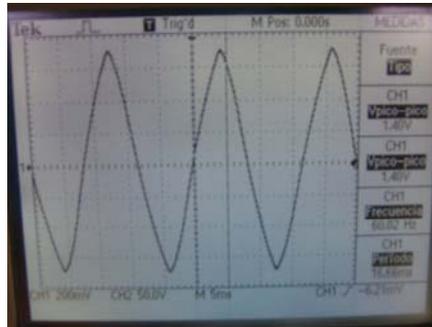


Figura 4.1. Forma de onda de transductor de corriente

La prueba del *transductor de voltaje* se realiza colocando la entrada del transformador a una toma para obtener en el secundario la forma de onda de voltaje de alimentación aplicada al motor.

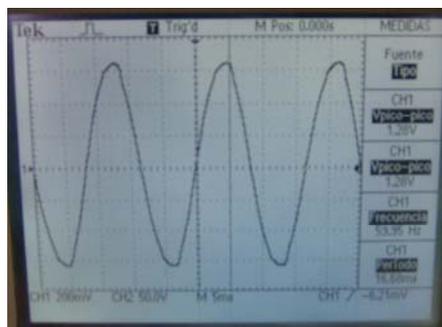


Figura 4.2. Forma de onda de transductor de corriente

La prueba del *filtro anti-aliasing* se realiza conectando un generador de funciones como entrada a cada filtro. Modificando su frecuencia se verifica que el punto de media potencia está alrededor de 560 Hz y que a 1100 Hz, la atenuación es alrededor de 45 dB. A través de una curva se obtiene la siguiente respuesta en frecuencia:

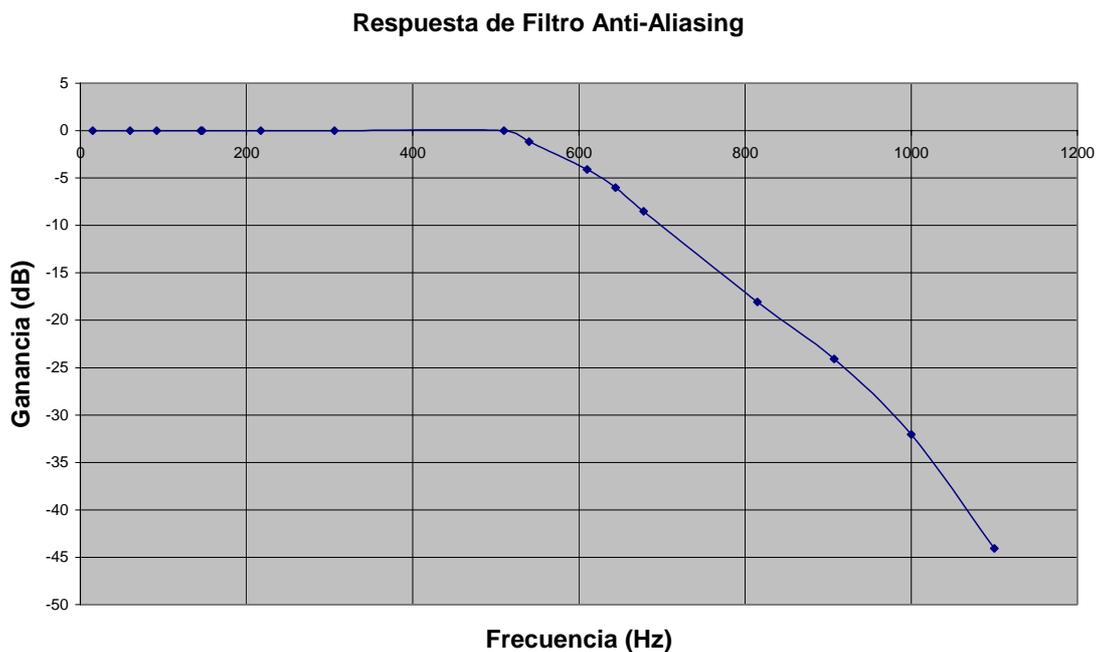


Figura 4.3. Respuesta en frecuencia práctica del filtro *Anti-Aliasing*.

Las *pruebas de software* se realizan corriendo el programa y verificando las características anteriormente mencionadas. De aquí que capturando una imagen mientras se ejecuta el software conectado únicamente el computador a la DAQ, no se obtiene ningún error de programación y las señales visuales generadas han sido satisfactoriamente cumplidas como se muestra en la Figura 4.4.

En la Figura 4.4a, se muestra que en la configuración inicial se envía a escribir datos y reportes; mientras que en la Figura 4.4b, se puede apreciar que cuando el programa lee los datos, el LED “Estado Lectura de Datos” parpadea, y

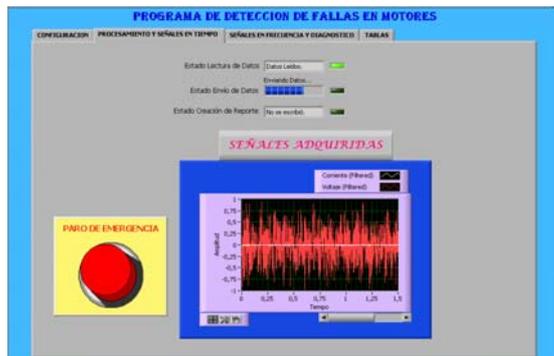
funciona de la misma manera cuando se crea un reporte. Además, en la Figura 4.4c, se observa que la barra de estado “Estado Envío de Datos” se llena según se va escribiendo datos mientras que en la Figura 4.4d se encuentra el diagnóstico de falla de configuración o daño eléctrico.



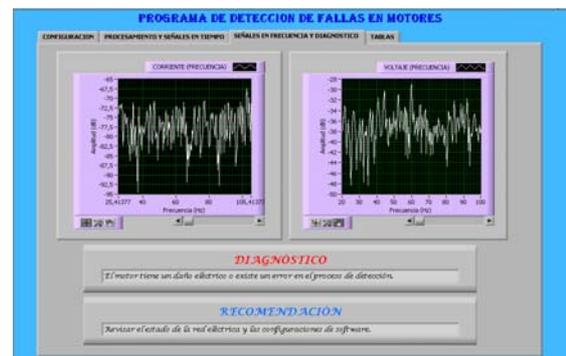
a)



b)



c)



d)

Figura 4.4. a) Pantalla inicial del configuración, b) Segunda pantalla con “lectura de datos” parpadeando, c) Segunda pantalla enviando datos a BDD, d) Diagnóstico

4.2.2 PRUEBAS GLOBALES

Una vez ensamblado el sistema, se hace las pruebas en primer lugar con el motor de prueba descrito a continuación y después con algunos otros motores cuyo estado se conoce bueno.

Motor de prueba

El motor de prueba ha sido modificado para que tenga algunas espiras cortocircuitadas en su estator.

Las características del motor con daño a usar en las pruebas son:

- Alimentación Monofásica.
- Tipo jaula de ardilla.
- Frecuencia: 60 Hz.
- Potencia: 1/3 HP.
- Numero de polos 4.
- Velocidad nominal: 1765 RPM.
- Voltaje nominal 120 V.
- Corriente nominal: 3A.

La fuente de alimentación del motor esta en serie con el contactor del equipo de diagnóstico mientras que la pinza se pone alrededor de uno de los dos cables de alimentación.

Se inicia el proceso de diagnóstico y los resultados son los siguientes:

Señales adquiridas de corriente y voltaje en tiempo.

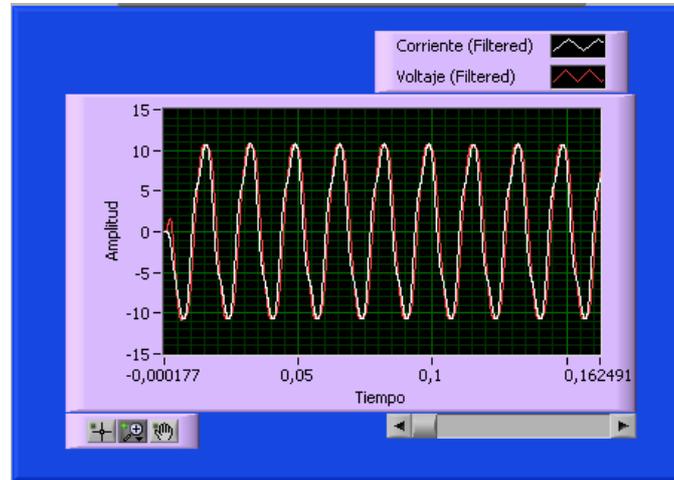


Figura 4.5. Señales adquiridas.

Espectros de frecuencia en el rango necesario (0-300 Hz).

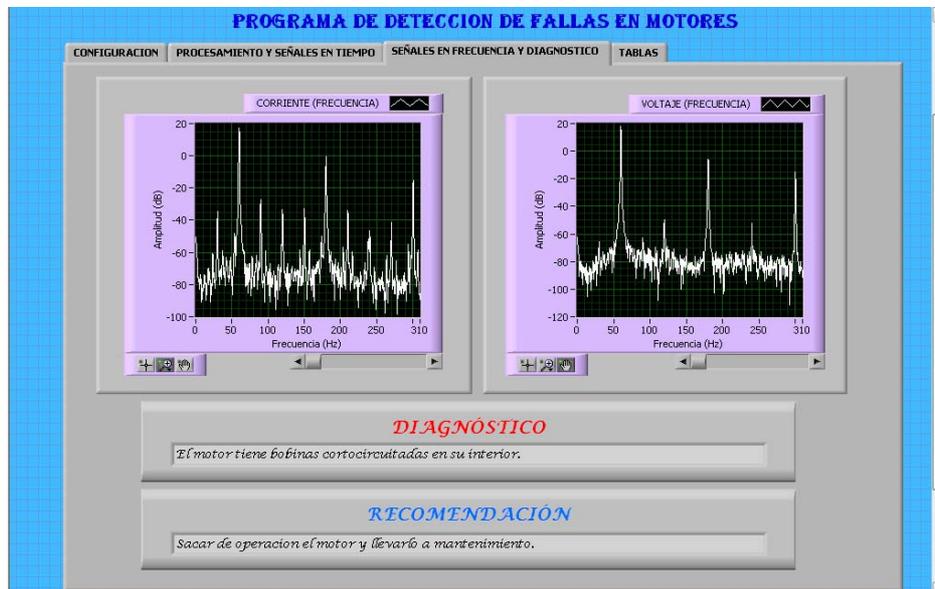


Figura 4.6. Espectros de frecuencia, diagnóstico y recomendación mostradas por el programa.

Para el proceso de detección, se ha ejecutado el programa varias veces en las cuales se ha obtenido las siguientes formas de onda:

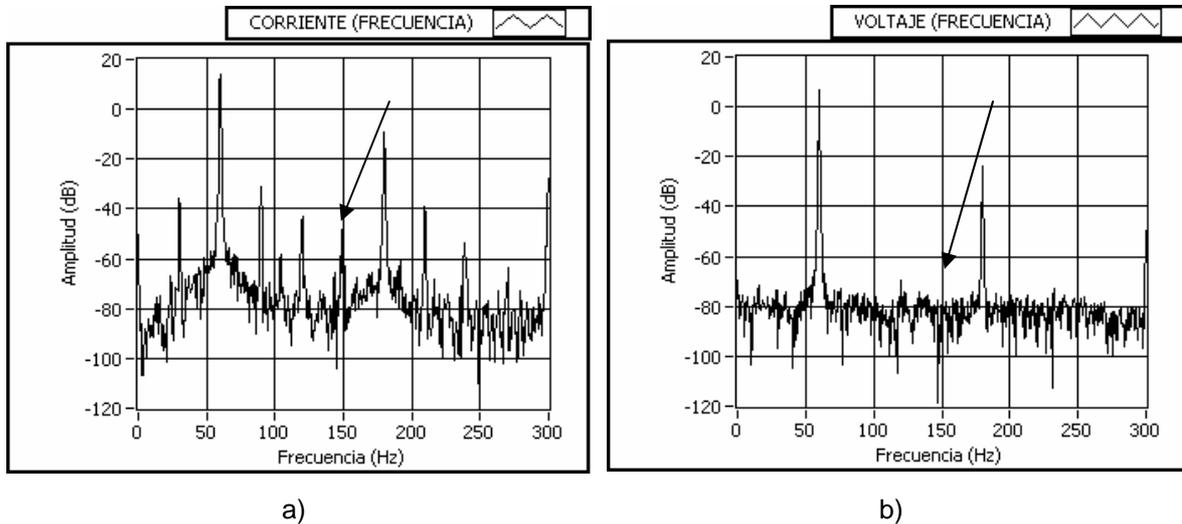


Figura 4.7. Espectro de frecuencias. a) Corriente, b) Voltaje

En el caso de la Figura 4.7a, se notan los picos de corriente en 60, 148.5 y 207 Hz, que corresponden a las frecuencias fundamental y de armónicas que son calculadas de la siguiente manera, ecuación (1.8):

$$f_{\text{fundamental}} = 60\text{Hz}.$$

$$s = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} = \frac{1800 - 1765}{1800} = 0.01944$$

$$f_{k=1,n=3} = 60 * [3 / p * 2 * (1 - s) + 1] = 60 * [3 / 4 * 2 * (1 - 0,01944) + 1] = 148.5\text{Hz}$$

$$f_{k=1,n=5} = 60 * [5 / p * 2 * (1 - s) + 1] = 60 * [5 / 4 * 2 * (1 - 0,01944) + 1] = 207.08\text{Hz}$$

En la Figura 4.7b, se nota claramente que en la señal de voltaje no existen los picos calculados, lo que implica que la naturaleza de la falla es, efectivamente, un cortocircuito.

De aquí que se detecta el pico en la frecuencia calculada y de lo que se observa en la Tabla 3.6, el diagnóstico es “El motor tiene bobinas cortocircuitadas en su interior” como se observa en la Figura 4.8.



Figura 4.8. Paletas de diagnóstico y recomendación

Esta prueba se realizó varias veces en el mismo motor de prueba y siempre se obtuvo el mismo resultado.

Para la prueba en otro motor cuyo estado se sabe bueno de antemano, se tiene las siguientes características:

- Frecuencia: 60 Hz.
- Potencia: 1/3 HP.
- Numero de polos 4.
- Velocidad nominal: 1765

Los resultados son los siguientes:

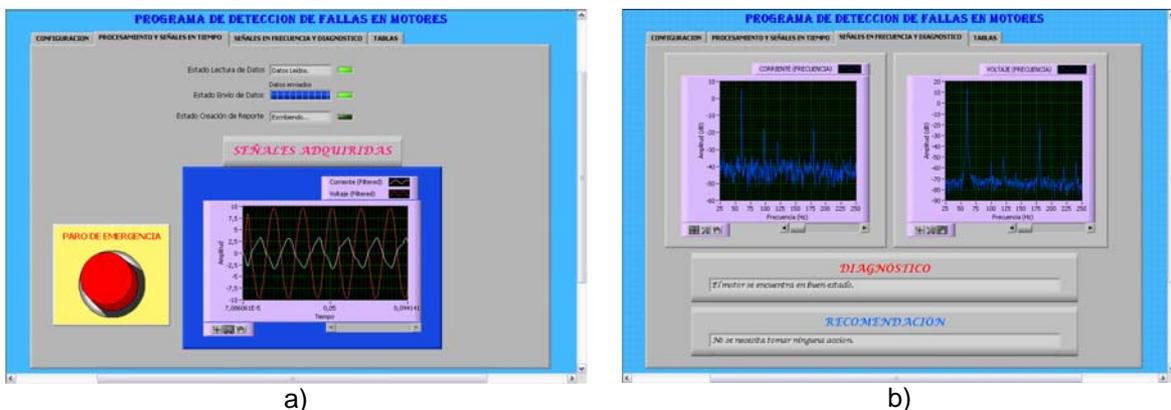


Figura 4.9. Proceso de detección, a) adquisición de datos, b) datos en frecuencia y diagnóstico.

En la Figura 4.9a se observa el proceso de adquisición mientras en que la misma figura, parte b, se observa las señales en frecuencia, el diagnóstico y la recomendación: “El motor está en buen estado”, “No se necesita tomar ninguna acción”

Las formas de onda analizadas de corriente y voltaje, en tiempo y frecuencia se encuentran en la Figura 4.10:

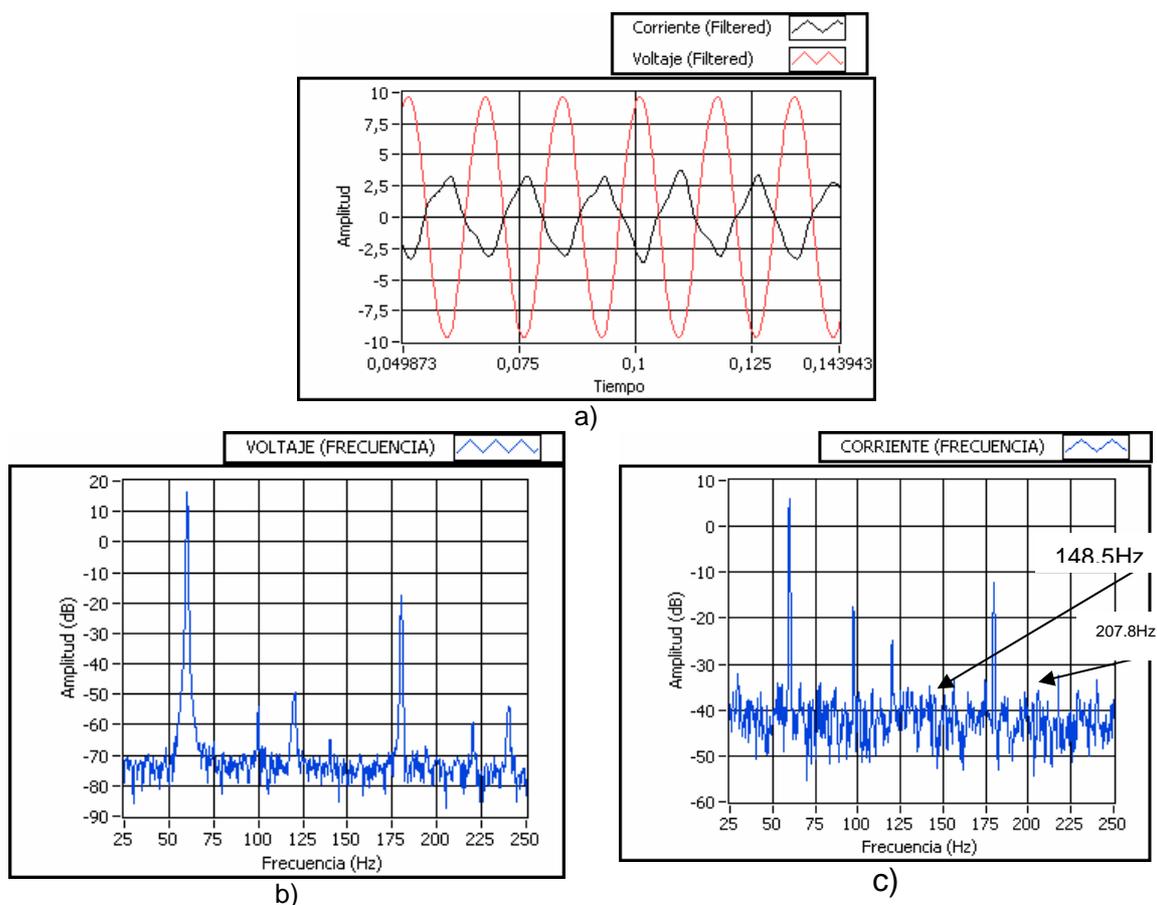


Figura 4.10. Señales adquiridas. a) Voltaje y corriente en tiempo, b) voltaje en frecuencia, c) corriente en frecuencia.

Las frecuencias para analizar los armónicos son 148.5 y 207.08 Hz, en donde se nota claramente que no existen picos representativos.

Se verificó que en ninguna ocasión el programa respondió con un diagnóstico no previsto anteriormente.

En el motor de prueba, se hicieron además varias mediciones con y sin cortocircuito en donde se verificó la validez de la teoría. Como se ve en la Figura 4.11a en un motor sin cortocircuito no existen los picos en las frecuencias, mientras en la Figura 4.11b, se notan claramente cuando se lo cortocircuitó.

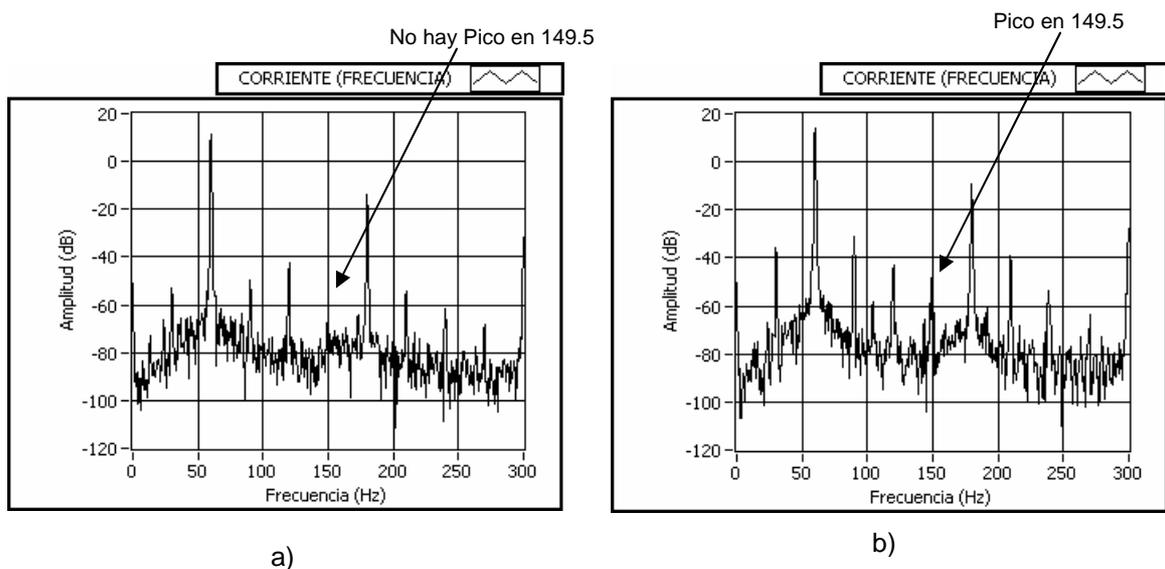


Figura 4.11. Espectros de corriente. a) Motor bueno, b) motor con falla

Verificación de datos en tablas y bases de datos.

En cada prueba en la que se ha configurado que se almacenen los datos se ha generado un archivo de tipo *.xls si es en Excel o se crea una tabla en la base de datos deseada.

Cuando los datos son almacenados en Excel se tiene una tabla como la siguiente (del archivo Datos_20_11_2006_21h18m40s.xls)

Tabla 4.1. Tablas generadas en Excel

TABLAS DE MEDICION					
Tiempo (s)	Corriente	Voltaje	Frecuencia (Hz)	Corriente	Voltaje
35,666	0	0	0	-51,045	-62,283
35,666	0	0	0,5	-50,7	-64,195
35,666	0	0,002	1	-57,387	-71,895
35,666	0,001	0,005	1,5	-60,36	-70,218
35,666	0,001	0,011	2	-65,681	-78,773
35,666	0,002	0,021	2,5	-71,127	-78,974
35,666	0,004	0,037	3	-75,661	-91,041
35,666	0,005	0,06	3,5	-75,564	-81,891
35,666	0,007	0,091	4	-78,309	-80,292
35,667	0,007	0,131	4,5	-82,051	-85,241
35,667	0,007	0,179	5	-76,804	-87,732
35,667	0,005	0,237	5,5	-83,173	-79,636
35,667	0	0,303	6	-76,693	-84,389
35,667	-0,007	0,378	6,5	-73,595	-87,899
35,667	-0,019	0,461	7	-78,74	-89,964

Se puede generar diferentes gráficas para revisión. Para el caso del diagnóstico con el banco de pruebas, se tiene la siguiente gráfica:

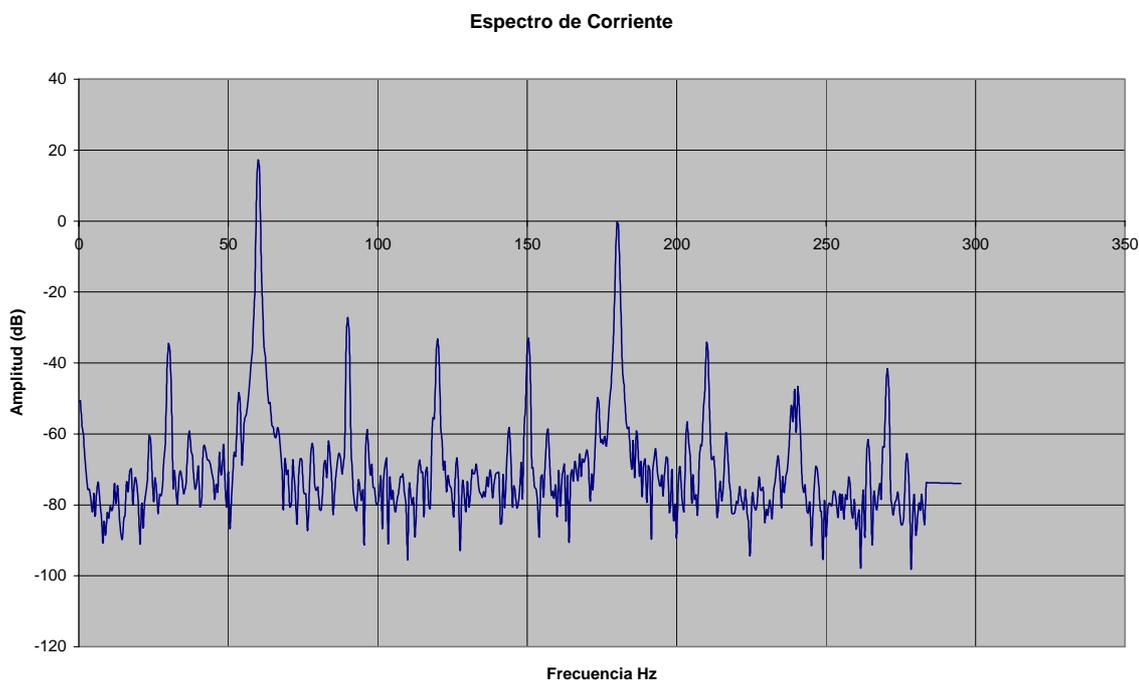


Figura 4.12. Espectro de corriente desarrollado en Excel.

En esta figura también se nota los picos de corriente que se explicó anteriormente.

Si los datos han sido almacenados en una base de datos de MS Access, se tiene lo siguiente:

CorrienteTiempo	VoltajeTiempo	Frecuencia	CorrienteFrecuencia	VoltajeFrecuencia
-1,4282973	2,05665491	0	-35,513086	-53,4171482190516
-7,7536434	1,07089012	0,42002100	-38,708881	-53,4575255794544
-0,1719424	2,24806185	0,84004200	-33,500988	-50,0023395771615
-0,1776046	1,89795544	1,26006300	-31,188747	-53,9795244285926
-5,4540703	-1,7204866	1,68008400	-33,172829	-52,3744762447048
0,26158411	-8,1587049	2,10010500	-37,290934	-52,1512558624475
0,43481396	-0,1444243	2,52012600	-38,269135	-54,1097603689687
0,39005626	-0,1670277	2,94014700	-40,660476	-51,4301044226103
0,16491382	-0,1289975	3,36016800	-34,341603	-51,2370018331327
-8,7806163	-4,5360790	3,78018900	-36,443173	-50,6802025353219
-0,2355591	4,26631343	4,20021001	-42,393221	-50,3690780387115
-0,2354984	9,45922242	4,62023101	-40,360294	-47,3663823155843
-0,1224084	9,45161108	5,04025201	-29,923866	-47,1789905248588
-1,1984474	5,59652208	5,46027301	-32,424584	-49,1131414686448
0,01618535	9,01563973	5,88029401	-41,285509	-48,9473584333514
-0,1008706	-1,7620238	6,30031501	-35,634304	-48,1943277153923
-0,2607583	-1,7897062	6,72033601	-34,252026	-49,0131104255029
-0,3175851	-1,5142279	7,14035701	-42,808836	-54,9008093191114
-0,2107741	-3,0926745	7,56037801	-45,630145	-52,1221458126337
-3,0258324	-5,6717088	7,98039901	-41,875606	-48,8321309279301
0,10831091	-7,1134225	8,40042002	-37,204779	-48,1942108184975
0,15619999	6,5760915	8,82044102	-36,970064	-46,6518586566886

Registro: 6 de 1190

Vista Hoja de datos NUM

Figura 4.13. Datos almacenados en MS Access

Si los datos han sido almacenados en una base de datos de MySQL, se puede administrar a través de phpMyAdmin y se observa lo siguiente:



Tabla	Acción	Registros	Tipo	Cotejamien
Datos_01_05_2006_18h06m27s		2,400	MyISAM	latin1_swedist
Datos_22_04_2006_11h38m55s		0	MyISAM	latin1_swedist
Datos_22_04_2006_11h40m54s		2,400	MyISAM	latin1_swedist
Datos_22_11_2006_21h22m30s		0	MyISAM	latin1_swedist
Datos_22_11_2006_21h25m56s		0	MyISAM	latin1_swedist
Datos_22_11_2006_21h27m49s		816	MyISAM	latin1_swedist
Datos_22_11_2006_21h38m39s		850	MyISAM	latin1_swedist
Datos_22_11_2006_21h41m54s		850	MyISAM	latin1_swedist
Datos_22_11_2006_21h43m54s		850	MyISAM	latin1_swedist
Datos_22_11_2006_21h50m22s		850	MyISAM	latin1_swedist
Datos_22_11_2006_21h53m34s		40	MyISAM	latin1_swedist
Datos_22_11_2006_21h53m56s		850	MyISAM	latin1_swedist
12 tabla(s)		Número de filas	9,906	MyISAM latin1_swedis

a)



CorrienteTiempo	VoltajeTiempo	Frecuencia	CorrienteFrecuencia	VoltajeFrecuen
-6.2498322	-9.4471246	0	-54.254925	-70.016121
-0.0004248	-6.1286245	0.58823529	-56.321989	-75.598533
-0.0013925	-0.0001866	1.17647058	-70.416113	-75.774303
-0.0030316	-0.0003589	1.76470588	-75.815282	-75.962508
-0.0050832	-0.0004875	2.35294117	-72.317788	-79.465031
-0.0071431	-0.0004828	2.94117647	-71.202770	-81.560573
-0.0087960	-0.0003411	3.52941176	-65.835049	-86.826175
-0.0094333	-0.0001503	4.11764705	-67.079155	-82.459764
-0.0081461	1.84580363	4.70588235	-70.190531	-79.249448
-0.0045486	0.00018343	5.29411764	-70.821934	-77.087649
0.00035463	0.00038230	5.88235294	-70.168573	-76.229755

b)

Figura 4.14. Datos almacenados en MySQL. a) Tablas Generadas, b) Datos

Si el diagnóstico genera un reporte, lo hace en *.pdf. En el caso del motor con falla, se genera el reporte del Anexo A, mientras que en el caso del motor sin falla, se genera el reporte del Anexo B.

4.3 RESUMEN DE LAS PRUEBAS Y RESULTADOS

Tabla 4.2. Resumen de pruebas y resultados

PRUEBA	RESULTADO	COMENTARIOS
Pruebas individuales		
Transductor de corriente	✓	Las formas de corriente fueron las esperadas
Transductor de voltaje	✓	Las formas de voltaje fueron las esperadas
Filtro <i>anti-aliasing</i>	✓	Frecuencia de corte 560 Hz, atenuación -45 dB a 1100.
Errores de programación	✓	No existen errores de programación.
Señales visuales acordes a la configuración	✓	Todas las señales visuales actúan según lo previsto
Muestra de señales adquiridas de corriente y voltaje en tiempo y frecuencia	✓	Todas las señales son adquiridas y mostradas según lo previsto
Espectros de frecuencia en el rango necesario (0-500 Hz)	✓	Al mostrar los espectros se acota para mejor observación
Diagnóstico de error de configuración o eléctrico por prueba en vacío	✓	El software se comporta según lo esperado
Pruebas Globales		
Muestra de señales adquiridas de corriente y voltaje en tiempo y frecuencia.	✓	Todas las señales son adquiridas y mostradas según lo previsto
Espectros de frecuencia en el rango necesario (0-500 Hz)	✓	Al mostrar los espectros se acota para mejor observación
Picos de corriente en frecuencia fundamental y laterales	✓	Se notaron los picos de corriente predichos en la teoría
Resultado confiable	✓	Mismo resultado para pruebas similares
Diagnóstico certero	✓	El sistema diagnóstico correctamente en pruebas a distintos motores
No existencia de resultados absurdos	✓	No se registraron resultados absurdos en ningún caso
Datos en tablas y bases de datos.	✓	Los datos se almacenaron correctamente en cada caso
Reportes	✓	Se generó reportes según las especificaciones requeridas