ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN, DE TARJETAS DE CONTROL DE TURBINAS DE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA "SANTA ROSA", PARA LA EMPRESA CELEC S. A. – TERMOPICHINCHA.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL

CHRISTIAN IVÁN PROAÑO CÁRDENAS
fagothcp@hotmail.com

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

EDWIN ALEXANDER SARANGO SARANGO
alex-sars@hotmail.com

DIRECTOR: MSc. PATRICIO CHICO HIDALGO
patricio.chico@epn.edu.ec
CODIRECTOR: Ing. VLADIMIR BURBANO VILLAREAL
vladimir.burbano@termopichincha.com.ec

Quito, Agosto 2011

DECLARACIÓN

Nosotros, Christian Iván Proaño Cárdenas y Edwin Alexander Sarango Sarango, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Christian Iván Proaño Cárdenas	Edwin Alexander Sarango Sarango
(Electrónica y Control)	(Electrónica y Telecomunicaciones)

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Christian Iván Proaño Cárdenas y Edwin Alexander Sarango Sarango, bajo nuestra supervisión.

MSc. Patricio Chico Hidalgo
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Vladimir Burbano Villareal
CODIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Primero, agradezco a Dios, que me dio la fortaleza, sabiduría y perseverancia para seguir adelante en los momentos más complicados de la realización de este proyecto; y por ayudarme a conseguir mi meta de culminar mis estudios.

A mis abuelitos, mi mami y mis tíos; quienes con ternura, abnegación y ejemplo maravilloso de fe, amor, honestidad, sacrificio y mucha perseverancia; supieron sembrar en mí el anhelo de superación, me enseñaron a seguir adelante a pesar de los inconvenientes presentes día a día en mi vida estudiantil, me tendieron la mano y me ayudaron a levantarme en los momentos difíciles; a avanzar, y así poder obtener un título que será la principal herramienta en mi vida profesional.

A mi novia y amigos, quienes han sido parte importante en la etapa que culmina con la realización de este proyecto.

A mi querida Escuela Politécnica Nacional que me abrió las puertas y me ha permitido formar parte de la mejor Universidad del país, entregándome el conocimiento y la formación necesaria para desempeñarme en esta bella profesión.

A mis profesores, que hoy pueden ver un reflejo de lo que han formado y que sin duda han calado hondo en mi vida, permitiéndome escoger esta carrera, por el amor que he visto reflejado en su desarrollo profesional.

A nuestro director, el MSc. Patricio Chico Hidalgo, que ha sido una gran ayuda y que sobre todo, nos ha sabido entender, aconsejar y guiar, en este proceso.

A nuestro codirector, el Ing. Vladimir Burbano Villareal, un agradecimiento muy especial; ya que ha sido el pilar de este proyecto, con su confianza, ejemplo y ayuda hemos sacado adelante todo lo que nos habíamos propuesto.

Christian

DEDICATORIA

A Dios, por ser nuestro creador, amparo y fortaleza, cuando más lo necesitamos, y por hacer palpable su amor a través de todo lo que nos rodea.

A mi familia, novia, amigos y profesores; que sin esperar nada a cambio, han sido pilares en mi camino y así, forman parte de este logro que me abrirá puertas inimaginables en el desarrollo de mi vida profesional.

Christian

AGRADECIMIENTO

Permítanme agradecer en primer lugar a Dios, quién me ayudó en los duros momentos que tuve en el transcurso de mi vida estudiantil, dándome voluntad y paciencia para continuar aún con todo en contra. Este mismo Dios que me dio en mis padres Jorge y Orfe, un ejemplo de lucha, trabajo y amor; ellos son parte fundamental en el paso tan importante que he dado en mi vida. A Justa, Viviana, Gabriel y Daniela; los pilares de mi vida.

A la Escuela Politécnica Nacional, que me dio la oportunidad de aprender de los mejores profesores, y que en sus aulas y laboratorios forjó mi carácter y espíritu profesional.

Al MSc. Patricio Chico Hidalgo, quien me dio las pautas técnicas más acertadas para continuar con el trabajo, y que con paciencia me guió para corregir los infaltables errores que se presentaban durante el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Vladimir Burbano Villarreal, quién me ofreció su confianza y amistad, y me facilitó la información técnica necesaria requerida para el desarrollo de este proyecto.

A mis compañeros radiotécnicos, de quienes, durante ya 10 años de trabajo, aprendí como detectar y corregir problemas electrónicos, técnicas de suelda y micro suelda; mismas que me fueron de gran utilidad al momento de armar el hardware de este proyecto. De igual manera al personal técnico de Santa Rosa, quienes sin ningún egoísmo me brindaron su ayuda y conocimientos cuando lo requerí.

A mis amigos y compañeros de aula, con quienes siempre intercambiamos experiencias y palabras de aliento, y a quienes les deseo lo mejor en su vida profesional.

Alex

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a todos quienes puedan hacer uso del mismo, esperando que sea de utilidad en la resolución de algún problema, o bien como fuente de consulta.

Alex

CONTENIDO

RESUMEN…… I

PRESENTACIÓN…… II

CAPÍTULO 1

ESTUDIO DE LAS TURBINAS A GAS PARA SERVICIO PESADO GENERAL ELECTRIC MODELO MS 5001……..…….. 1

1.1 INTRODUCCIÓN……..……..……..……..……..……... 2

1.2 TURBINAS A GAS

1.2.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE UNA TURBINA A GAS ……..……..…… 4

1.2.2 CICLO DE BRAYTON……..……..…… 6

1.2.3 ALGUNOS COMPONENTES IMPORTANTES DE LA TURBINA A GAS……..…..……..…..…..… 7

1.3 SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON LAS TURBINAS A GAS PARA SERVICIO PESADO GENERAL ELECTRIC MODELO MS 5001 EN LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA "SANTA ROSA"……..……..... 11

CAPÍTULO 2

ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL SPEEDTRONIC……..……..… 16

2.1 INTRODUCCIÓN…….…….…….…….…….……. 17
2.2. DESCRIPCIÓN DE TARJETAS……..……..……. 20
2.2.1 SFUA: TARJETA DE CONTROL DE VELOCIDAD
DE FLUJO DE COMBUSTIBLE ……....… 20
2.2.1.1 Descripción…….…….…….…….. 22
2.2.1.2 Aplicación…….. 24
2.2.1.3 Generador de la señal de realimentación de flujo de combustible... 24
2.2.1.4 Señal de salida para el regulador de potencia.…….…….. 25
2.2.2 SVSE: TARJETA DE RELÉS DE VELOCIDAD…….…….…… 27
2.2.2.1 Descripción…….…….…….…….…… 28
2.2.2.2 Aplicación…….. 31
2.2.3 SVDC: TARJETA DETECTORA DE FALLA Y DESCONEXIÓN
POR EXCESO DE VIBRACIÓN.…….…….…….…….…….…….…… 33
2.2.3.1 Descripción…… 35
2.2.3.2. Aplicación…….…… 36
2.2.4 VMPA: CIRCUITO PROTECTOR PRINCIPAL…….……. 38
2.2.4.1 Descripción…….……..……. 40
2.2.4.2 Aplicación…….…….…… 52
2.2.5 STKJ: AMPLIFICADOR DE TERMOPAR…….…….. 53
2.2.5.1 Descripción…….…….…….. 55
2.2.5.2 Aplicación…….…….…… 57

CAPÍTULO 3
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL
MÓDULO DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN…….……. 60
3.1 INTRODUCCIÓN……... 61
3.2 FUENTES DE ALIMENTACIÓN…….…… 61
3.3 SISTEMA DE CONTROL DEL MÓDULO…….…… 68

3.3.1 SISTEMA DE ENTRADA/SALIDA DEL MÓDULO……. 72
3.3.2 SISTEMA DE CONVERSIÓN DIGITAL/ANALÓGICO IMPLEMENTADO……..……..……..……..……..……... 73
3.3.3 SISTEMA DE GENERACIÓN DE SEÑAL SENOIDAL IMPLEMENTADO……..…… 76
3.3.4 SISTEMA DE COMUNICACIÓN CON LA PC……. 81
3.4 SISTEMA DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN PARA LA TARJETA SVSE……..……... 84
3.4.1 MODO PRUEBA…… 89
3.4.2 MODO CALIBRACIÓN…… 93
3.5 SISTEMA DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN PARA LA TARJETA STKJ……..... 95
3.5.1 MODO PRUEBA…… 101
3.5.2 MODO CALIBRACIÓN…… 103
3.6 SISTEMA DE PRUEBA PARA LA TARJETA VMPA……. 105
3.7 SISTEMA DE PRUEBA Y CALIBRACIÓNPARA LA TARJETA SVDC……..…….. 112
3.7.1 MODO PRUEBA…… 115
3.7.2 MODO CALIBRACIÓN……..……..……..……..…… 117
3.8 SISTEMA DE PRUEBA Y CALIBRACIÓNPARA LA TARJETA SFUA……..... 119
3.8.1 MODO PRUEBA……..……..……..……..… 121
3.8.2 MODO CALIBRACIÓN……..……..……..… 123
3.9 TARJETA DE CONMUTACIÓN DE ALIMENTACIONES…... 125
3.10 LABVIEW (NATIONAL INSTRUMENT)……..……..……..… 126
3.10.1 INTERFAZ DESARROLLADA EN LABVIEW..……..……..……..…. 126

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS……...…. 137

4.1 INTRODUCCIÓN…….. 138

4.2 SISTEMA DE CONTROL DEL MÓDULO…… 138

4.2.1 CONVERSIÓN DIGITAL / ANALÓGICO…….……..…….. 140

4.2.2 GENERADOR DE FUNCIONES……..……..……..…..……. 142

4.2.3 MEDICIÓN DE AMPLITUD Y FRECUENCIA…… 142

4.3 SISTEMA DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN SVSE…… 145

4.4 SISTEMA DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN STKJ…… 146

4.4.1 MEDICIÓN DE SEÑALES DE BAJA AMPLITUD…….. 147

4.4.2 MEDICIÓN DE SEÑALES DE AMPLITUD MEDIA….…..…..…..…..…. 148

4.4.3 PROBLEMAS DE RUIDO EN SEÑALES DE BAJA AMPLITUD……. 150

4.5 SISTEMA DE PRUEBA VMPA…….…….……...……. 151

4.6 SISTEMA DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN SVDC…….…….. 153

4.7 SISTEMA DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN SFUA….….…….… 154

4.8 INTERFAZ GRÁFICA DESARROLLADA EN LABVIEW…… 156

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES....……..… 157

5.1 CONCLUSIONES…….. 157

5.2 RECOMENDACIONES…….…….…….. 160

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA……..……..…. 162

GLOSARIO DE TÉRMINOS…….……..... 165

ANEXOS

CONTENIDO IMÁGENES

CAPÍTULO 1

Fig. 1-1. Imagen transversal de una turbina marca General Electric..... 1
Fig. 1-2. Principios básicos de funcionamiento de una Turbina a Gas..... 4
Fig. 1-3. Ciclo de Brayton..... 6
Fig. 1-4. Casa de Filtros, TG1..... 7
Fig. 1-5. Cojinetes..... 8
Fig. 1-6. Sistema de Lubricación..... 9
Fig. 1-7. Sistema de Aislamiento de Puertas..... 9
Fig. 1-8. Parte de la Bancada, TG1..... 10
Fig. 1-9. Sistema de Virador Hidráulico..... 11
Fig. 1-10. División de los subprocesos de producción para la Central Santa Rosa 14

CAPÍTULO 2

Fig. 2-1. Panel de Control de Turbina..... 16
Fig. 2-2. Vista posterior inferior del panel de Control Speedtronic..... 20
Fig. 2-3. Diagrama de bloques de la tarjeta SFUA..... 21
Fig. 2-4 Tarjeta SFUA..... 22
Fig. 2-5. Vista frontal de la tarjeta SFUA..... 23
Fig. 2-6. Diagrama de bloques de la Tarjeta SVSE..... 27
Fig. 2-7. Tarjeta SVSE..... 28
Fig. 2-8. Diagrama de bloques la tarjeta SVDC..... 34
Fig. 2-9. Tarjeta SVDC..... 35
Fig. 2-10. Diagrama de bloques de tarjetas VMPA..... 39

Fig. 2-11. Tarjeta VMPA……..……. 40
Fig. 2-12. Circuito de protección principal simplificado……..……... 41
Fig. 2-13. Circuito Biestable……..……. 42
Fig. 2-14. Autorización para arrancar 1……..……... 44
Fig. 2-15. Autorización para arrancar 2…….…… 46
Fig. 2-16. Autorización para Funcionar……..…….. 50
Fig. 2-17. Condición de desconexión..…….. 51
Fig. 2-18. Diagrama de bloques de la tarjeta STKJ…… 54
Fig. 2-19. Tarjeta STKJ…… 55
Fig. 2-20. Puente de compensación de entrada ……..... 56

CAPÍTULO 3

Fig. 3-1. Diagrama Básico Funcional del Equipo. …… 60
Fig. 3-2. Diagrama funcional de la fuente de alimentación…… 61
Fig. 3-3. Transformador utilizado en el proyecto…….. 62
Fig. 3-4. Sistema de Rectificación……... 63
Fig. 3-5. Sistema de Rectificación, filtrado y regulación para una fuente…… 63
Fig. 3-6. Sistema de Rectificación, filtrado y regulación para dos fuentes…… 64
Fig. 3-7. Distribución de las bobinas del transformador…….. 64
Fig. 3-8. Diseño total de las fuentes de alimentación del proyecto…… 67
Fig. 3-9. Diagrama funcional del sistema de control del módulo…… 68
Fig. 3-10. Microcontrolador Atmega 2560……..……..... 69
Fig. 3-11. Asignación de puertos del Atmega 2560…….. 69
Fig. 3-12. Buses de control 1…… 70
Fig. 3-13. Buses de control 2…… 71
Fig. 3-14. Bus de asignación de alimentaciones…….. 71
Fig. 3-15. Elementos de entrada y salida…….. 72
Fig. 3-16. Capturas de pantalla del menú principal…….. 73
Fig. 3-17. Configuración básica de los reguladores de voltaje……... 73
Fig. 3-18. Configuración del sistema D/A…….. 74
Fig. 3-19. Sistema D/A implementado…… 75

Fig. 3-20. Sistema de control de activación de dispositivos implementado…… 75
Fig. 3-21. Sistema de Generación de Señal Senoidal implementado…….. 76
Fig. 3-22. Conmutación de frecuencia del generador senoidal implementado….. 77
Fig. 3-23. Controles de amplitud y offset del generador implementado…… 78
Fig. 3-24. Detector de cruces por cero…… 79
Fig. 3-25. Simulación de salida del detector de cruces por cero. …… 79
Fig. 3-26. Acoplamiento de la señal senoidal para ser medida por el microcontrolador – tarjeta SVDC…… 79
Fig. 3-27. Acoplamiento de la señal senoidal para ser medida por el microcontrolador – tarjeta SFUA…….. 80
Fig. 3-28. Conmutación para medir la señal de la onda senoidal…….. 80
Fig. 3-29. Hardware de comunicaciones, módulo – PC…….. 81
Fig. 3-30. Flujo de datos de la entrada y salida principal 1…… 82
Fig. 3-31. Flujo de datos de la entrada y salida principal 2…… 82
Fig. 3-32. Circuito total de control…… 83
Fig. 3-33. Hardware de prueba y calibración de la tarjeta SVSE…… 86
Fig. 3-34. Interruptor de alimentación tarjeta de prueba y calibración SVSE…..... 87
Fig. 3-35. Hardware de control y aislamiento de la señal para la tarjeta de prueba y calibración SVSE……... 87
Fig. 3-36. Rack común de conexiones y bus principal de control de la tarjeta de prueba y calibración SVSE. …… 88
Fig. 3-37. Flujo de datos de opciones de la subrutina principal. …… 88
Fig. 3-38. Capturas de pantalla de inicio y final de prueba SVSE…… 91
Fig. 3-39. Diagrama de flujo del modo prueba para la tarjeta SVSE…… 92
Fig. 3-40. Diagrama de flujo del modo calibración para la tarjeta SVSE 1…… 93
Fig. 3-41. Diagrama de flujo del modo calibración para la tarjeta SVSE 2…… 94
Fig. 3-42. Distribución de pines del chip HCF4066B [9]……... 95
Fig. 3-43. Asignación de recursos del microcontrolador para la tarjeta de prueba y calibración STKJ……..... 96
Fig. 3-44. Hardware de ajuste de señales de prueba para la tarjeta STKJ…..... 96
Fig. 3-45. Hardware de control y aislamiento de la señal simulada de

temperatura entre la placa principal y la tarjeta STKJ…….. 97
Fig. 3-46. Distribución de pines del chip AD620…….……..……..... 97
Fig. 3-47. Acoplamiento y amplificación de las señales de la tarjeta STKJ para ser medidas por el microcontrolador…….....… 97
Fig. 3-48. Hardware de control y aislamiento de entradas y salidas entre la placa principal y la tarjeta STKJ……..... 98
Fig. 3-49. Filtro utilizado para reducir el ruido de la señal de respuesta de la tarjeta STKJ.....……..... 98
Fig. 3-50. Hardware de acoplamiento y división de señal de respuesta de la tarjeta STKJ…… 99
Fig. 3-51. Interruptor de alimentación tarjeta de prueba y calibración STKJ……. 99
Fig. 3-52. Rack común de conexiones y bus principal de control de la tarjeta de prueba y calibración STKJ…….. 100
Fig. 3-53. Flujo de datos de opciones de la subrutina principal…….. 100
Fig. 3-54. Capturas de pantalla del proceso de prueba STKJ…….…….. 101
Fig. 3-55. Diagrama de flujo del modo prueba para la tarjeta STKJ…… 102
Fig. 3-56. Capturas de pantalla del proceso guiado de calibración STKJ……. 103
Fig. 3-57. Diagrama de flujo del modo calibración para la tarjeta STKJ 1…….. 104
Fig. 3-58. Diagrama de flujo del modo calibración para la tarjeta STKJ 2…….. 105
Fig. 3-59. Hardware de prueba para la tarjeta VMPA…… 106
Fig. 3-60. Asignación de recursos del microcontrolador en la tarjeta VMPA..... 107
Fig. 3-61. Interruptor de alimentación tarjeta de prueba VMPA…… 109
Fig. 3-62. Rack común de conexiones y bus principal de control de la tarjeta de prueba VMPA…… 109
Fig. 3-63. Diagrama de flujo de la subrutina llamada funcionamiento VMPA……... 110
Fig. 3-64. Diagrama de flujo de la subrutina llamada prueba 1 VMPA…… 110
Fig. 3-65. Diagrama de flujo del modo prueba para la tarjeta VMPA…….. 111
Fig. 3-66. Hardware de control y aislamiento para la tarjeta de prueba y calibración SVDC – Parte 1…… 112
Fig. 3-67. Hardware de control y aislamiento para la tarjeta de prueba y calibración SVDC – Parte 2…… 113

Fig. 3-68. Hardware de control y aislamiento para la tarjeta de prueba
y calibración SVDC – Parte 3…… 113
Fig. 3-69. Interruptor de alimentación tarjeta de prueba SVDC…….. 114
Fig. 3-70. Rack común de conexiones y bus principal de control
de la tarjeta de prueba y calibración SVDC. …….…. 114
Fig. 3-71. Flujo de datos de opciones de la subrutina principal……... 115
Fig. 3-72. Diagrama de flujo del modo prueba para la tarjeta VMPA…… 117
Fig. 3-73. Diagrama de flujo del modo calibración para la tarjeta SVDC……... 118
Fig. 3-74. Hardware de control y aislamiento para la tarjeta de prueba
y calibración SFUA…… 119
Fig. 3-75. Interruptor de alimentación tarjeta de prueba SFUA…….…… 120
Fig. 3-76. Rack común de conexiones y bus principal de control de la tarjeta
de prueba y calibración SFUA…… 120
Fig. 3-77. Flujo de datos de opciones de la subrutina principal…….. 121
Fig. 3-78. Diagrama de flujo del modo prueba para la tarjeta SFUA - 1…… 122
Fig. 3-79. Diagrama de flujo del modo prueba para la tarjeta SFUA - 2…… 123
Fig. 3-80. Diagrama de flujo del modo calibración para la tarjeta SFUA…….. 124
Fig. 3-81. Diagrama circuita, tarjeta de conmutación 1…… 125
Fig. 3-82. Pantalla de Presentación…… 127
Fig. 3-83. Ventana 1 para la Tarjeta SVSE…… 127
Fig. 3-84. Ventana 2 para la Tarjeta SVSE…… 128
Fig. 3-85. Ventana para la Tarjeta STKJ…… 129
Fig. 3-86. Ventana para la Tarjeta VMPA…….…… 129
Fig. 3-87. Ventana para la Tarjeta SVDC…… 130
Fig. 3-88. Ventana para la Tarjeta SFUA…… 130
Fig. 3-89. VI de la Pantalla de Presentación…….. 131
Fig. 3-90. VI de la Tarjeta SVSE…….. 132
Fig. 3-91. VI de la Tarjeta STKJ…… 133
Fig. 3-92. VI de la Tarjeta VMPA…… 134
Fig. 3-93. VI de la Tarjeta SVDC…… 134
Fig. 3-94. VI de la Tarjeta SFUA…….…… 135

CAPÍTULO 4

Fig. 4-1. Módulo de Prueba y Calibración……. 137
Fig. 4-2. Hardware de Control del Módulo……. 140
Fig. 4-3. Forma de Onda Senoidal obtenida por el generador de funciones…... 142
Fig. 4-4. Forma de Onda Cuadrada resultado del detector de cruces por cero… 143
Fig. 4-5. Hardware de Prueba y Calibración SVSE…….…... 146
Fig. 4-6. Hardware de Prueba y Calibración STKJ…….…. 146
Fig. 4-7. Circuito amplificador inversor de acondicionamiento tarjeta STJK……. 149
Fig. 4-8. Señal de salida de la tarjeta STKJ con ruido……..…. 150
Fig. 4-9. Señal de salida filtrada de la tarjeta STKJ……..…….…. 151
Fig. 4-10. Hardware de Prueba VMPA……..... 152
Fig. 4-11. Hardware de Prueba y Calibración SVDC. …….…. 153
Fig. 4-12. Hardware de Prueba y Calibración SFUA……..... 155

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2-1. Tabla de verdad del circuito biestable……. 43
Tabla 3-1. Tabla de asignación de recursos del Microcontrolador……. 70
Tabla 4-1. Equipos para medición y pruebas……. 138
Tabla 4-2. Análisis de voltajes del conversor digital/analógico para SVSE……. 141
Tabla 4-3. Análisis de voltajes del conversor digital/analógico para STKJ…..….. 141
Tabla 4-4. Análisis de medición de frecuencias…….…….. 143
Tabla 4-5. Análisis de amplitud de la señal senoidal para SVDC……. 145
Tabla 4-6. Análisis de amplitud de la señal senoidal para SFUA……. 145
Tabla 4-7. Análisis de datos medidos de baja amplitud para STKJ……. 147
Tabla 4-8. Análisis de datos medidos de media amplitud para STKJ…… 149
Tabla 4-9. Análisis de amplitud de la señal de vibración y set point SVDC……. 154
Tabla 4-10. Análisis de datos medidos de combustible para SFUA……. 155

RESUMEN

Actualmente, las calibraciones de las tarjetas que forman parte del sistema de control de turbina Speedtronic, en las unidades de generación de la Central Termoeléctrica Santa Rosa; se las realizan de forma muy complicada, debido a que para llevar a cabo las mismas, los usuarios deben recurrir a un equipo muy robusto que únicamente sirve como fuente externa para dichas tarjetas; además, son necesarios varios documentos de procesos de mantenimiento anteriores y manuales de las máquinas; haciendo el proceso complicado y demoroso para el usuario; ya que el mismo demanda al menos una semana de trabajo.
Por tal motivo, este proyecto implementa un sistema electrónico guiado de prueba y calibración, que facilite el trabajo en futuros procesos de calibración y sobre todo que permita a la empresa ahorrar tiempo y recursos.

El objetivo del proyecto es diseñar y construir un equipo de prueba y calibración, de tarjetas de control de turbina de las unidades de generación de la Central Termoeléctrica Santa Rosa, el cual guie al usuario en los mantenimientos requeridos por las máquinas.
El equipo será capaz de realizar pruebas a cada una de las tarjetas utilizadas en el proyecto, determinando su correcto funcionamiento; así como también, guiará al usuario en el proceso de calibración de las mismas; además, cuenta con una interfaz hombre máquina desarrollada en Labview que sirve como registrador de datos de todo el proceso.

PRESENTACIÓN

El proyecto consta de cinco capítulos que detallan cada uno de los aspectos necesarios para cumplir el objetivo planteado.

En el primer capítulo, se estudia de forma general el funcionamiento de las turbinas a gas; además, se describe la función que cumple la Central Termoeléctrica Santa Rosa con sus unidades de generación; así como también, las características de sus máquinas.

En el segundo capítulo, se abarca el sistema de control de turbina Speedtronic y el estudio se centra en los sistemas de control de velocidad, temperatura, combustible y sistemas protectores.

En el tercer capítulo, se describe el diseño del sistema de prueba y calibración, con sus diferentes componentes.

El cuarto capítulo, contiene las diferentes pruebas con tarjetas reales del sistema de control Speedtronic realizadas al equipo con sus respectivos resultados, a fin de determinar su correcto funcionamiento; y las calibraciones necesarias.

En el quinto capítulo, se plantean las conclusiones y recomendaciones a las que se llegó luego de concluir el proyecto, mismas que se dan, con el fin de mejorar los sistemas actualmente implementados.

Finalmente, se detallan en los anexos, el montaje del módulo, los diagramas circuitales e impresos del diseño, el manual de usuario y las hojas de datos de los principales elementos electrónicos utilizados para el desarrollo de todas las etapas del proyecto.

CAPÍTULO 1

ESTUDIO DE LAS TURBINAS A GAS PARA SERVICIO PESADO GENERAL ELECTRIC MODELO MS 5001

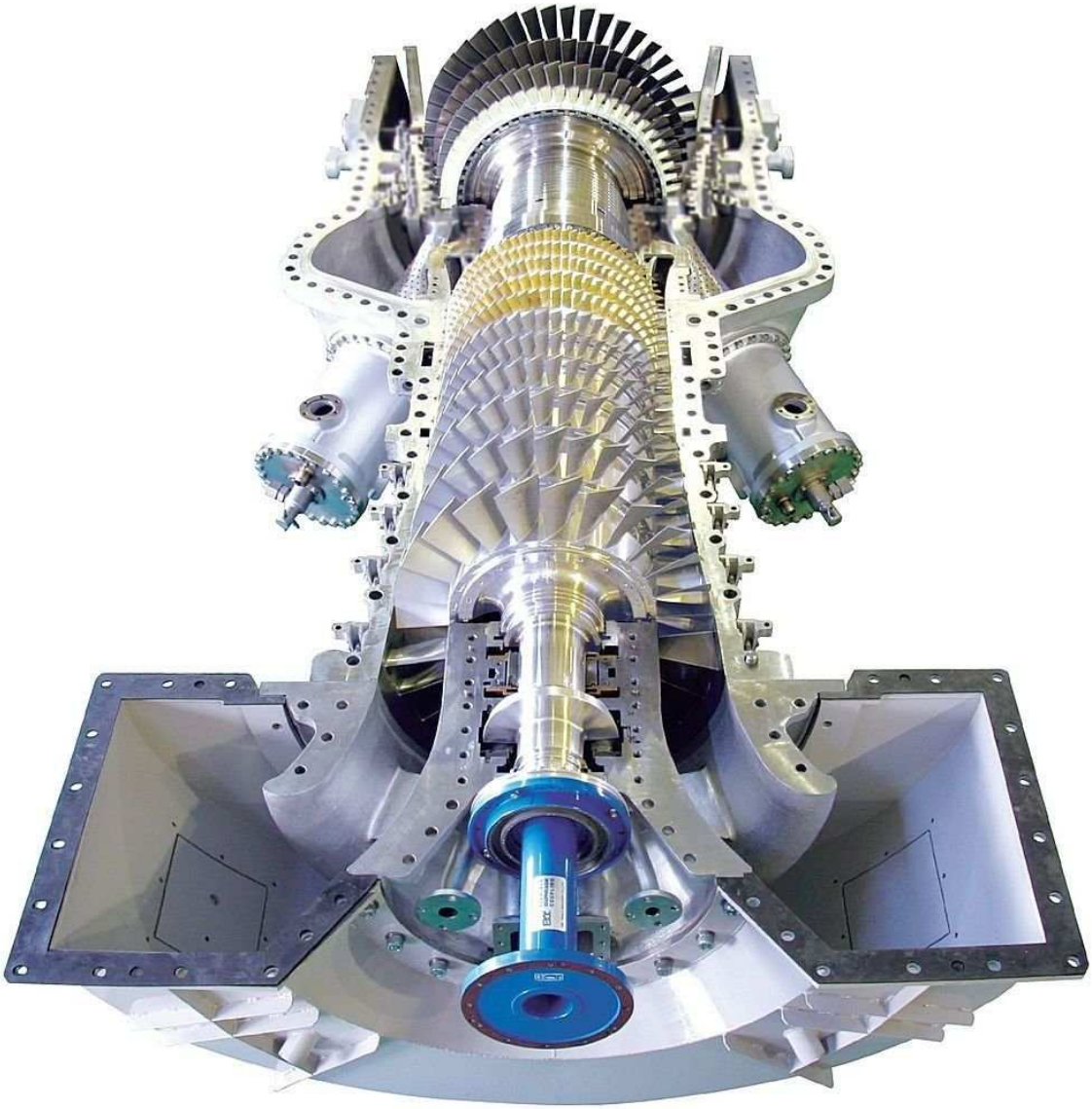

Fig. 1-1. Imagen transversal de una turbina marca General Electric [1].

1.1 INTRODUCCIÓN [2]

Las turbinas son máquinas que desarrollan par[1] y potencia en el eje como resultado de la variación de la cantidad de movimiento del fluido que pasa a través de ellas. Dicho fluido puede ser: gas, vapor o líquido. Las notas que se dan a continuación son aplicables a turbinas que operan con gas o vapor.

Para que el fluido alcance la alta velocidad requerida, y se produzcan las variaciones útiles en el momento[2], debe existir una diferencia importante entre la presión a la entrada a la turbina y la de escape.

Una fuente de gas presurizado, constituye gas previamente comprimido y calentado, usado en una turbina de gas. En la generación de electricidad es muy frecuente el uso de vapor generado en calderas a alta presión, que utilizan combustibles sólidos[3] o nucleares para mover los alternadores accionados por turbinas de vapor.

Una turbomáquina es una máquina cuyo elemento principal es un rotor a través del cual pasa un fluido de forma continua, cambiando éste su cantidad de movimiento por acción de la máquina, originándose así una transferencia de energía entre la máquina y el fluido, la cual puede ser en sentido máquina-fluido o fluido-máquina.

Las turbomáquinas se diferencian de otras máquinas térmicas, en el hecho de que funcionan de manera continua y no discreta, como es el caso de los compresores de émbolo, las bombas de vapor a pistón o los populares motores de pistón, las cuales son máquinas de desplazamiento volumétrico o positivo[5]. A semejanza de otras máquinas térmicas, son transformadoras de energía, lo cual es una característica fundamental, entregándole energía mecánica al fluido de trabajo convirtiéndola en presión (energía potencial), energía térmica o energía cinética del fluido, este intercambio puede ser en sentido contrario.

Bajo muchas formas, las turbomáquinas están presentes en nuestra vida cotidiana, desde los sencillos ventiladores y las bombas centrífugas que son de uso común, hasta las grandes turbinas hidráulicas de las centrales hidroeléctricas y las turbinas de vapor o a gas de las centrales térmicas. Es importante destacar que las turbomáquinas son fundamentales en la conversión electromecánica de energía, es decir, la generación eléctrica.

Turbina es el nombre genérico que se da a la mayoría de las turbomáquinas motoras. A través de las turbinas pasa un fluido en forma continua y éste le entrega su energía a través de un rotor con paletas o álabes[6].

La turbina es un motor rotativo que convierte en energía mecánica la energía de una corriente de agua, vapor de agua o gas. El elemento básico de la turbina es el rodete[7] o rotor, que cuenta con palas, hélices, cuchillas o cubos colocados alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento produce una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar. Esta energía mecánica se transfiere a través de un eje para proporcionar el movimiento de una máquina, un compresor, un generador eléctrico o una hélice.

Las turbinas constan de uno o dos rodetes con paletas, denominadas rotor y estator, siendo la primera la que impulsada por el fluido, arrastra el eje en el que se obtiene el movimiento de rotación.

1.2 TURBINAS A GAS

1.2.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE UNA TURBINA A GAS

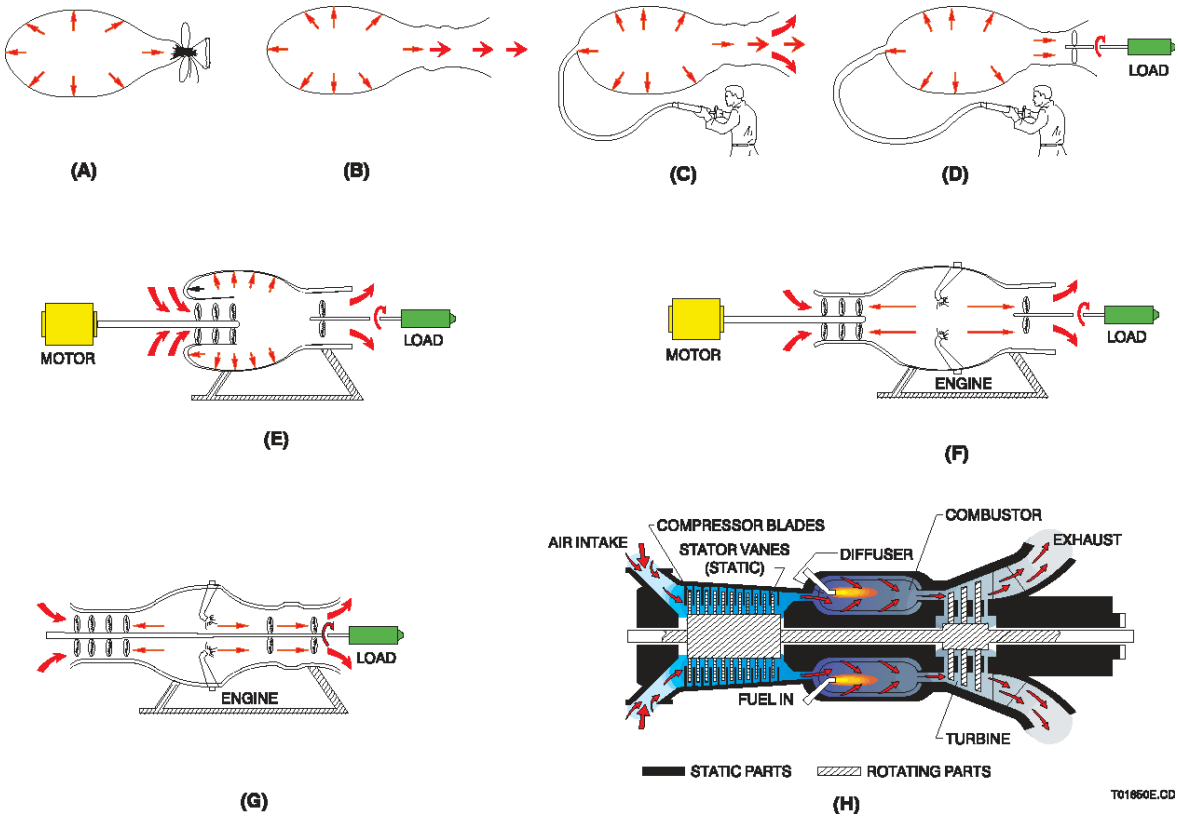

Fig. 1-2. Principios básicos de funcionamiento de una Turbina a Gas [3].

La compresión dentro de un globo (A), ejerce una fuerza sobre las paredes del globo. El aire, que tiene un peso y ocupa espacio, por definición, tiene una masa.

La masa del aire es proporcional a su densidad y la densidad es proporcional a la temperatura y a la presión. La masa de aire encerrada dentro del globo, a medida que es soltada (B), se acelera desde el globo, creando una fuerza. Esta fuerza aumenta a medida que incrementa la masa y la aceleración, como lo define la segunda ley de Newton, donde la fuerza es igual a la masa multiplicada por la aceleración *(F = M.A)*. La fuerza creada por la aceleración de la masa de aire dentro

del globo, da como resultado una fuerza igual y opuesta que hace que el globo sea impulsado en la dirección opuesta como se define en la tercera ley de Newton: “A cualquier acción, existe una reacción igual y opuesta”.

Reemplazando el aire dentro del globo (C), se mantiene la fuerza y, si bien no es práctico, permite que una carga sea impulsada por la fuerza de la masa de aire que se acelera a través de una turbina de impulsión, como en la imagen (D).

En (E), se ilustra un método más práctico para mantener la fuerza de una masa de aire que se acelera usada para impulsar una carga. Un alojamiento contiene un volumen determinado de aire que es comprimido por un compresor impulsado a motor. La aceleración del aire comprimido desde el alojamiento impulsa una turbina que está conectada a la carga.

En (F), el combustible es inyectado entre el compresor y la turbina para acelerar más aún la masa de aire, multiplicando la fuerza usada para impulsar la carga.
En (G) el motor es removido y el compresor es impulsado por una parte del gas de la combustión, logrando de esta manera que la máquina sea auto suficiente siempre que reciba alimentación de combustible.

En (H), se representa la operación típica de una máquina de turbina a gas. El aire de la entrada es comprimido, se mezcla con combustible y es encendido. El aire caliente se expande a través de la turbina para suministrar potencia mecánica y luego es eliminado a la atmósfera.

1.2.2 CICLO DE BRAYTON

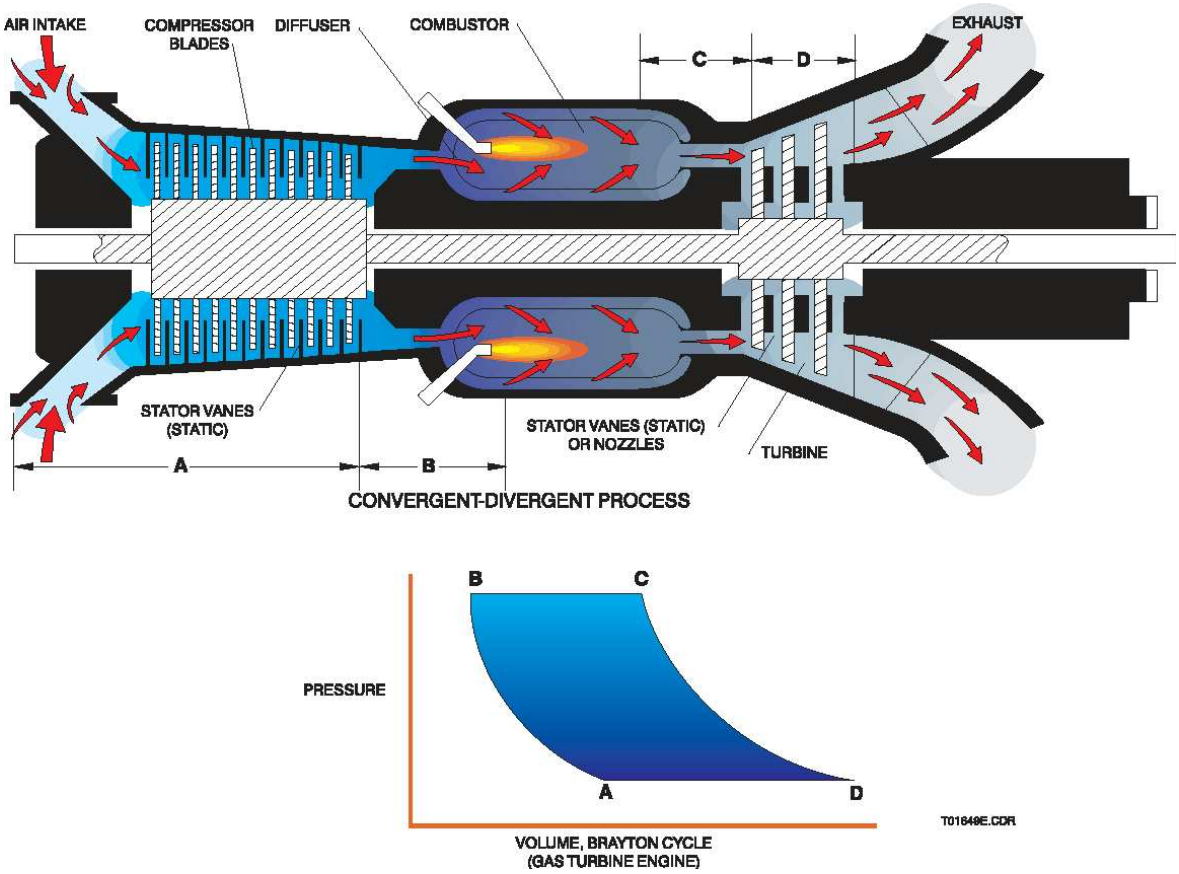

Fig. 1-3. Ciclo de Brayton [3].

En las máquinas de turbinas a gas se llevan a cabo cuatro procesos como se ilustra en Fig. 1-3. Estos procesos, descritos por primera vez por George Brayton y llamados en su conjunto ciclo de Brayton, se dan en todas las máquinas de combustión interna. Las etapas del ciclo de Brayton son las siguientes:

- La compresión ocurre entre la entrada y la salida del compresor (Línea A-B). Durante este proceso, la presión y la temperatura del aire aumentan.

- La combustión ocurre en la cámara de combustión donde el combustible y el aire se mezclan en proporciones explosivas y esta mezcla es encendida. La añadidura de calor origina un violento aumento del volumen (Línea B-C).

- La expansión se da cuando el gas caliente es acelerado desde la cámara de combustión. Los gases a presión constante y volumen aumentado, ingresan en la turbina y se expanden a través de la misma. Se produce una repentina disminución de presión y temperatura (Línea C-D).

- La descarga se da en el escape de la máquina con una fuerte caída en volumen y a presión constante (Línea D-A).

El número de etapas de compresión y la distribución de las turbinas que convierten la energía del gas caliente acelerado en energía mecánica son variables del diseño. Sin embargo, la operación básica de todas las turbinas de gas, es la misma.

1.2.3 ALGUNOS COMPONENTES IMPORTANTES DE LA TURBINA A GAS

Casa de filtros.- Se encarga del filtrado de aire de admisión al compresor. En este proceso se puede aplicar diferentes tecnologías para aumentar la humedad y disminuir la temperatura del aire.

Fig. 1-4. Casa de Filtros, TG1 (Generador de Turbina 1).

Cojinetes[7].- Pueden ser radiales o axiales, según sujeten el desplazamiento axial o el provocado por el giro del eje. En ambos casos la zona de contacto esta revestida por un material especial antifricción llamado material Babbit[8], el cual se encuentra a su vez lubricado. En los cojinetes axiales el contacto se realiza en un disco anillado al eje y se montan con un sensor de desplazamiento longitudinal, y en los radiales el contacto es directamente sobre el eje y se utilizan 2 sensores de desplazamiento montados en ángulo para detectar vibraciones.

Fig. 1-5. Cojinetes.

Sistema de lubricación.-Puede contener miles de litros de aceite en grandes turbinas de generación eléctrica, su misión es refrigerar y mantener una película de aceite entre los mecanismos en contacto. El sistema de lubricación suele contar con una bomba mecánica unida al eje de rotación, una eléctrica y otra de emergencia, aunque en grandes turbinas desaparece la bomba mecánica por una bomba eléctrica extra. Entre sus componentes principales están el sistema de filtros, el extractor de vahos[9] inflamables, refrigerador, termostato, sensor de nivel, presostato, etc.

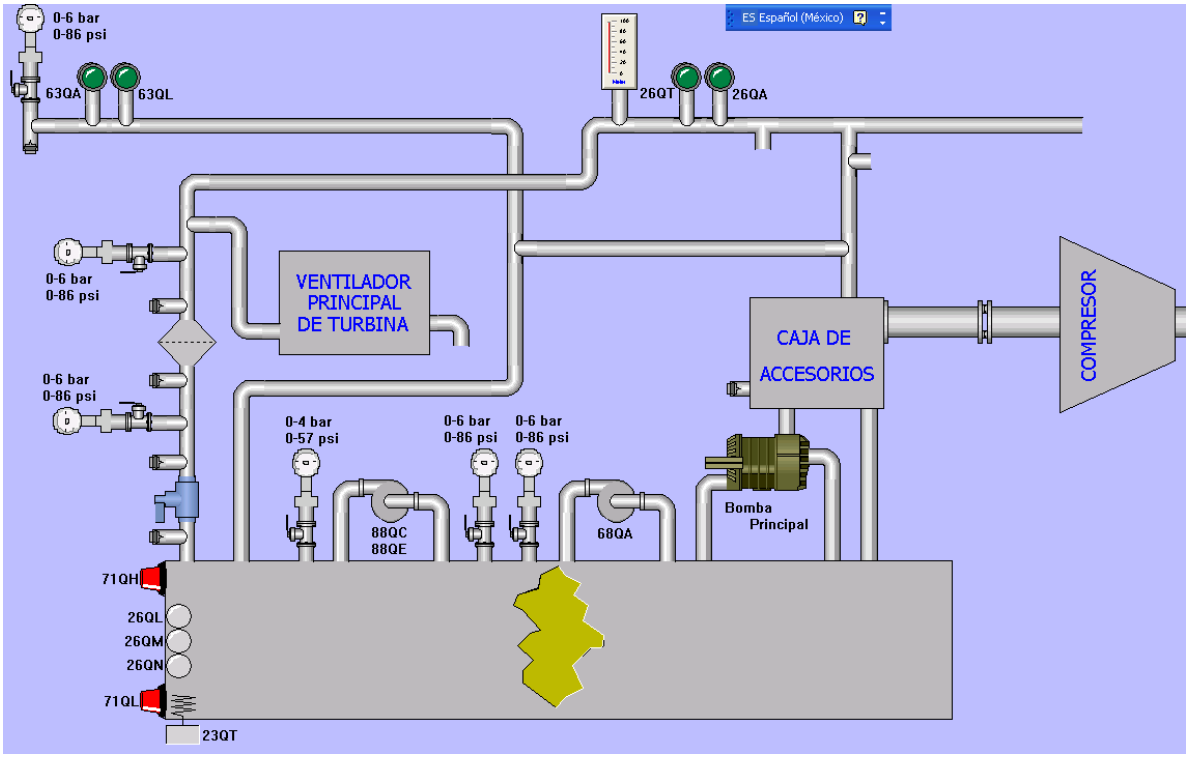

Fig. 1-6. Sistema de Lubricación.

Recinto acústico.- Recubre todos los sistemas principales de la turbina, y su función es aislarlos de las inclemencias del tiempo y a su vez aislar del ruido al exterior. Debe contar con un sistema contra incendios y de ventilación.

Fig. 1-7. Sistema de Aislamiento de Puertas.

Bancada[10].- Se construye en cemento para soportar la estructura de la turbina, con una cimentación propia para que no se transmitan las vibraciones propias del funcionamiento de la turbina al resto de los equipos de la planta.

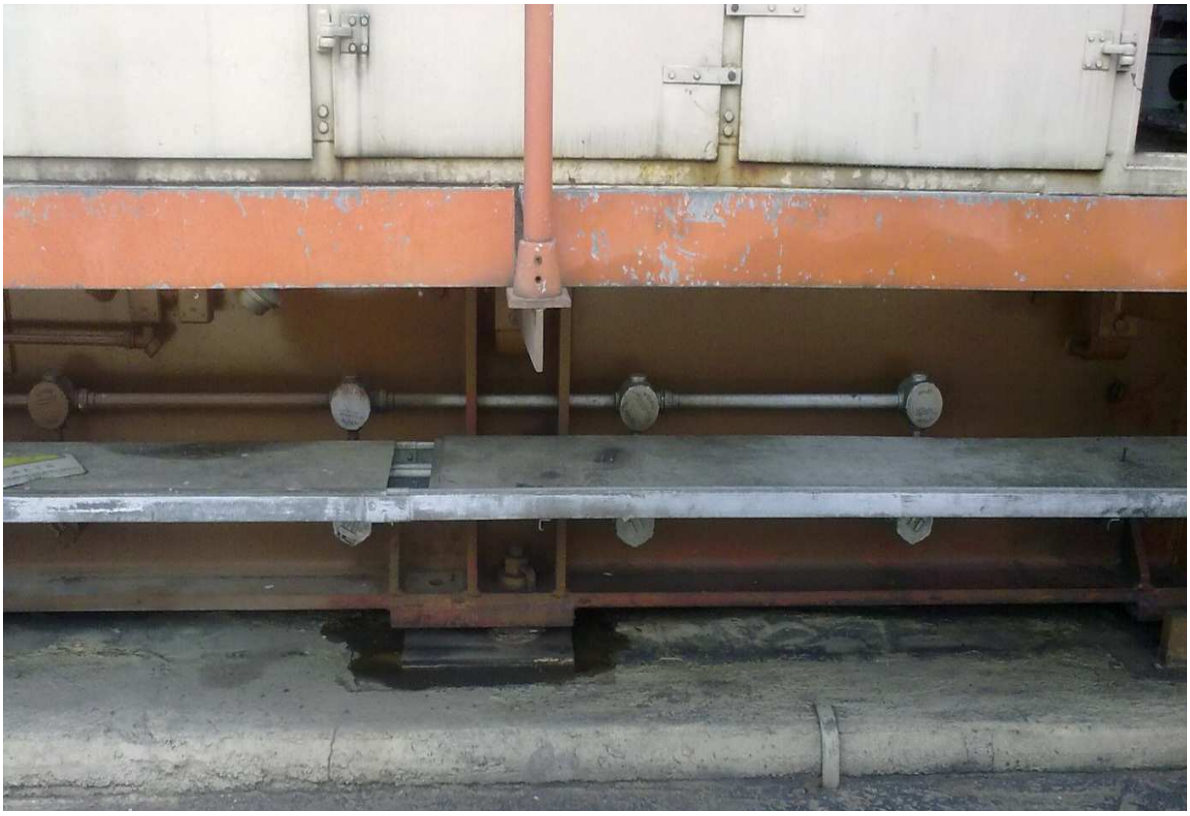

Fig. 1-8. Parte de la Bancada, TG1.

Virador.- El sistema virador consiste en un motor eléctrico o hidráulico (normalmente el segundo) que hace girar lentamente la turbina cuando no está en funcionamiento (en nuestro caso, el sistema se lo conoce como Ratchet). Esto evita que el rotor se curve, debido a su propio peso o por expansión térmica, en parada. La velocidad de este sistema es muy baja (varios minutos para completar un giro completo de turbina), pero se vuelve esencial para asegurar la correcta rectitud del rotor. Si por alguna razón la turbina se detiene (avería del rotor, avería de la turbina, inspección

interna con desmontaje) es necesario asegurarse que previo a un nuevo arranque, se verifique que el eje la turbina esté girando con el sistema virador.

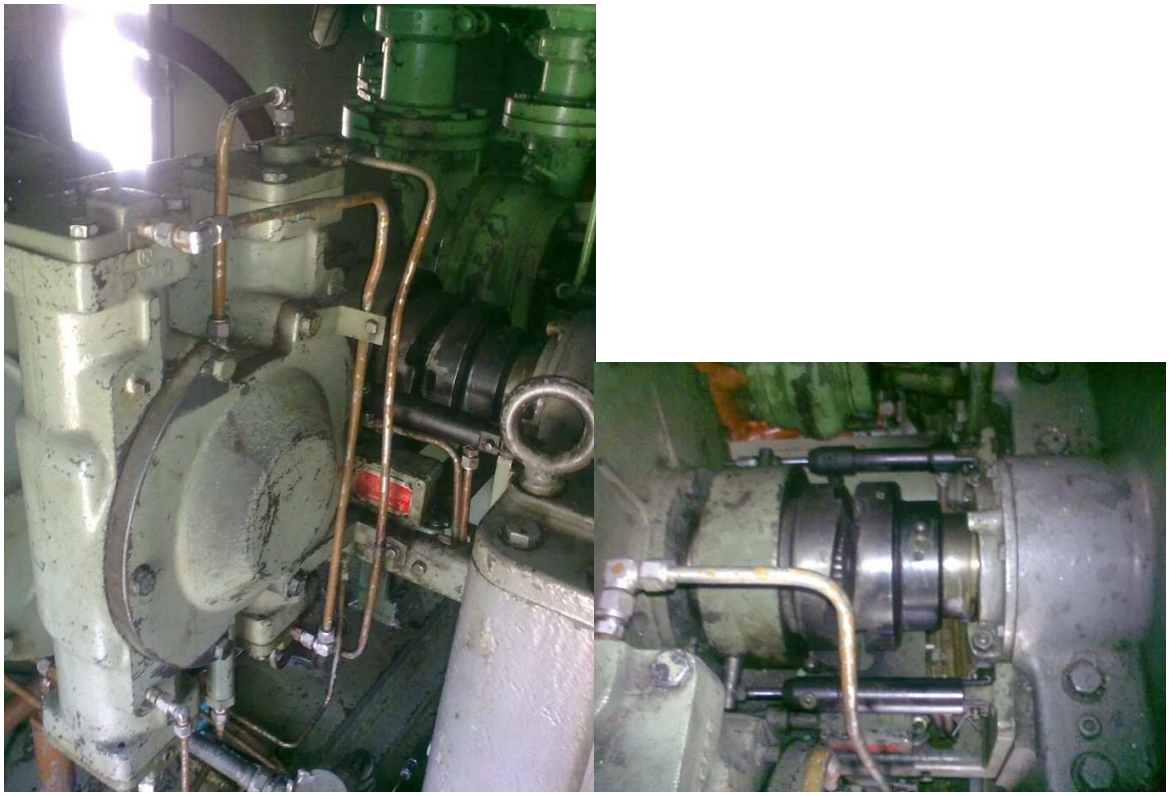

Fig. 1-9. Sistema de Virador Hidráulico.

1.3 SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON LAS TURBINAS A GAS PARA SERVICIO PESADO GENERAL ELECTRIC MODELO MS 5001 EN LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA "SANTA ROSA".

Las turbinas utilizadas para producir energía eléctrica en la Central Termoeléctrica ¨Santa Rosa¨ basan su operación en lo expuesto anteriormente, y a continuación se detallan algunos aspectos en relación a los ciclos de funcionamiento y los distintos elementos que la conforman. El sistema de control de la turbina es el llamado Speedtronic basado en sus diferentes tarjetas de control; el cual será estudiado en el siguiente capítulo con más detalle.

La Central Térmica Santa Rosa se encuentra ubicada al Sur de la Ciudad de Quito, en la Panamericana Sur Km. 17½. Está compuesta por tres unidades de generación, accionadas por turbinas a gas, marca AEG KANIS, modelo MS 5001. Se conecta al Sistema Nacional a través de la Subestación Santa Rosa.

La potencia nominal de cada generador es 17 MW, voltaje nominal 13.8 KV. Además, se dispone de una subestación elevadora de 13.8 KV a 138 KV con tres transformadores.

El abastecimiento de combustible se lo realiza a través de un ramal del poliducto Quito - Ambato, y para el almacenamiento se dispone de dos tanques con una capacidad de 500.000 galones cada uno, y un tanque de servicio de 160.000 galones.

La Central es utilizada principalmente en las horas de mayor demanda de energía, y durante las épocas de estiaje[11] de las Centrales Hidroeléctricas.

Las unidades No 1 y No 2 pueden operar como compensadores sincrónicos[12], ya que disponen de un embrague, que permite el desacoplamiento entre la turbina y el generador. Este modo de operación permite mejorar la calidad del servicio, manteniendo los niveles de eficacia dentro de los límites establecidos para una operación segura y confiable del Sistema.

Con el objeto de determinar los costos de producción de energía activa[13], que producen las unidades de generación de la Central Santa Rosa, se dividió el proceso de producción en cinco subprocesos enumerados a continuación.

- Subproceso Combustible
- Subproceso Arranque

- Subproceso Aceite lubricante - Agua de enfriamiento
- Subproceso Conversión de energía mecánica
- Subproceso Conversión de energía eléctrica

Las unidades No. 1 y No. 2 de la Central Santa Rosa, pueden operar tanto como generadores como motores sincrónicos, esto debido a que tienen incorporado un embrague sincrónico, el que les permite acoplarse o desacoplarse de la turbina, según se escoja el modo de operación de estas unidades. Este embrague se encuentra ubicado en la caja reductora de velocidades que es el nexo de unión entre la turbina que gira a una velocidad de 5100 RPM y la máquina sincrónica cuya velocidad de giro es de 3600 RPM.

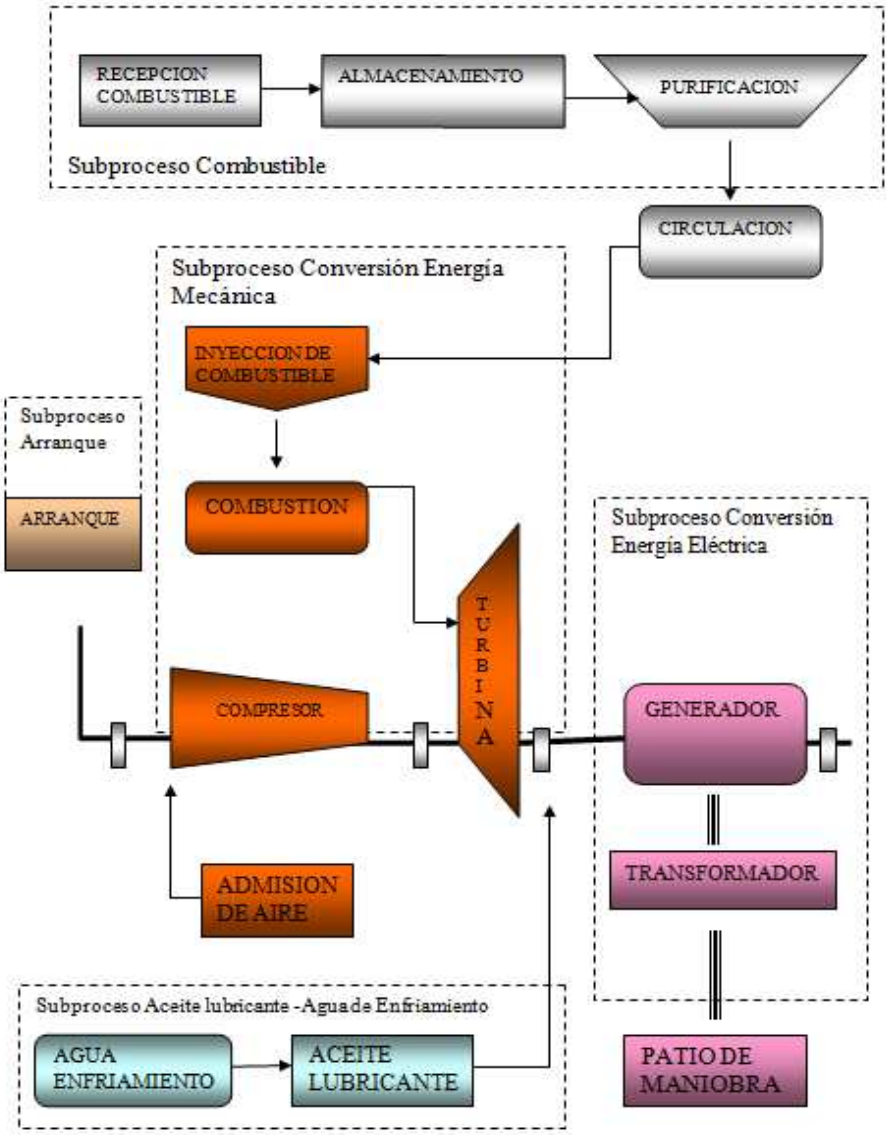

Fig. 1-10. División de los subprocesos de producción para la Central Santa Rosa [4].

Para la evaluación de costos de producción de energía reactiva se identificó los siguientes subprocesos:

- Subproceso Arranque y sincronización de unidad
- Subproceso Aceite lubricante - Agua de enfriamiento
- Subproceso Conversión Energía Reactiva

De lo expuesto anteriormente, se tiene una idea global del funcionamiento de las turbinas a gas, dentro del proceso de Generación de Energía Eléctrica; y de manera más específica, la función que cumple la turbina para servicio pesado MS 5001 dentro del proceso productivo de la Central Termoeléctrica Santa Rosa.

En el siguiente capítulo se abordará el estudio global del Sistema de Control de Turbina llamado Speedtronic; así como también, la función de algunos de los sistemas principales que lo componen y de manera específica las tarjetas de Control de Turbina que son parte del estudio.

CAPÍTULO 2

ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL SPEEDTRONIC

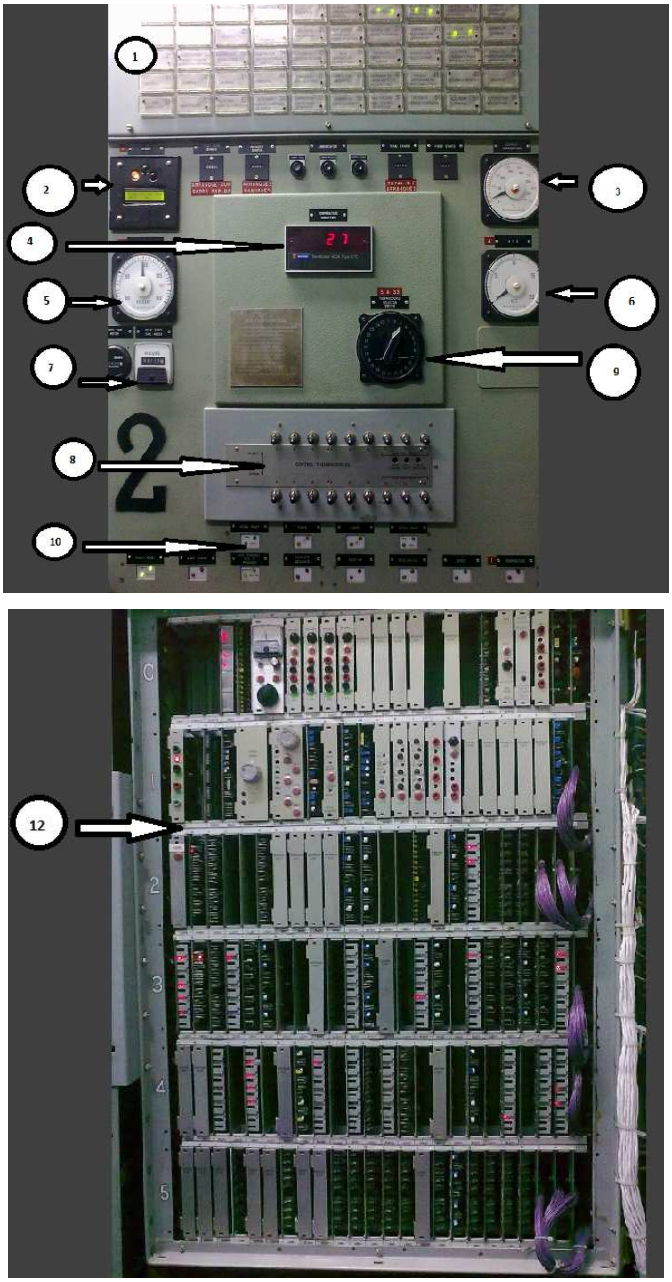

Fig. 2-1. Panel de Control de Turbina.

2.1 INTRODUCCIÓN [11] [12]

El sistema electrónico Speedtronic está diseñado para controlar y proteger las turbinas de gas para servicio pesado General Electric. Estas turbinas son usadas con los generadores para producir energía eléctrica en diferentes modos de operación: carga fundamental y horas de mayor consumo de electricidad (horas pico); así como también en configuraciones especiales para producir energía en grupos.

El sistema de control Speedtronic utiliza sensores para monitorear cada cambio en los parámetros vitales y realimentar los circuitos para proveer un modo de circuito cerrado de control que casi no tenga una banda inactiva. Por consiguiente, el sistema Speedtronic da a la turbina a gas la flexibilidad necesaria para manejar los diferentes tipos de demandas de carga que se le imponen.

El panel de control, se lo puede visualizar en la Fig. 2-1.

FRENTE DEL PANEL DE CONTROL DE TURBINA

La descripción tiene base en el gráfico 2-1

1. Anunciador.

El panel anunciador indica las averías o problemas del equipo. Contiene circuitos de indicadores visuales para informar 40 condiciones de falla. Se debe reconocer la alarma y ésta dejará de visualizarse una vez que se corrija el inconveniente.

2. Indicador de velocidad de la turbina.

Este dispositivo indica al usuario la velocidad de operación de la turbina en RPM y en porcentaje de velocidad nominal.

3. Medidor de temperatura de escape.

Este medidor indica la señal de salida del amplificador de control de temperaturas. Se puede usar para mostrar el promedio de los termopares o la salida del canal de protección contra temperaturas, seleccionando el botón de prueba apropiado.

6. Medidor VCE

El medidor VCE[14] mide la señal de salida Speedtronic al sistema dosificador de combustible.

7. Cuenta horas de encendido

Registra el total de horas de encendido acumuladas de la turbina de gas.

8. Módulo de Comprobación y Promediación de termopares.

Este módulo toma las salidas de las termocuplas ubicadas en el escape de gases y las promedia para usar el resultado en el control de la temperatura de escape y sistema de protección. Cada termocupla está conectada al sistema mediante un interruptor de 3 posiciones cuyas funciones son las siguientes:

a. RECHAZO. Esta posición se usa para desconectar del sistema a los termopares defectuosos.

b. PROMEDIO. En esta posición, se alimenta al termopar al sistema de promediación.

c. COMPROBACION. Esta posición saca al termopar del circuito de promediación, a fin de tener una lectura individual en el indicador principal de temperatura.

9. Selector de Termocupla

Este interruptor de varias posiciones se usa para seleccionar la señal del termopar que se va a alimentar al indicador de temperatura.

10. Luces indicadoras

11. Interruptores de control del operador

Dan las señales de encendido, arranque, paro, etc.

12. Gabinete Speedtronic

Ubicado en la mitad inferior del panel. Al abrir la puerta, quedan expuestas las tarjetas Speedtronic que proveen la secuencia, control y protección para la turbina a gas. Esta parte del sistema de control se conoce como “página 1L”. Está dividida en dos hileras y ranuras, con cada hilera identificada por un número, desde arriba hacia abajo, y cada ranura identificada por una letra de derecha a izquierda. Una combinación de hileras y ranuras identifica la posición física en que se debe insertar una tarjeta de control del Speedtronic específica.

PARTE POSTERIOR DEL PANEL DE CONTROL DE TURBINA

En la figura 2.2 se muestra una vista posterior de la puerta de la “página 1L”. Aquí se observa el cableado de la “página 1L” hacia los pines de las tarjetas Speedtronic, mismo que está instalado con grapas de resortes por medio de una herramienta llamada termipoint.

Fig. 2-2. Vista posterior inferior del panel de Control Speedtronic.

2.2 DESCRIPCIÓN DE TARJETAS

En base a la información recopilada durante varios años de mantenimiento del sistema de control Speedtronic, se ha llegado a determinar, que cinco tarjetas son las que más conflicto han presentado dentro del mismo. En el presente capítulo se muestra una descripción de dichas tarjetas, y un resumen de sus pines a fin de entender su funcionamiento y posterior diseño de un sistema de prueba y calibración para las mismas.

2.2.1 SFUA: TARJETA DE CONTROL DE VELOCIDAD DE FLUJO DE COMBUSTIBLE

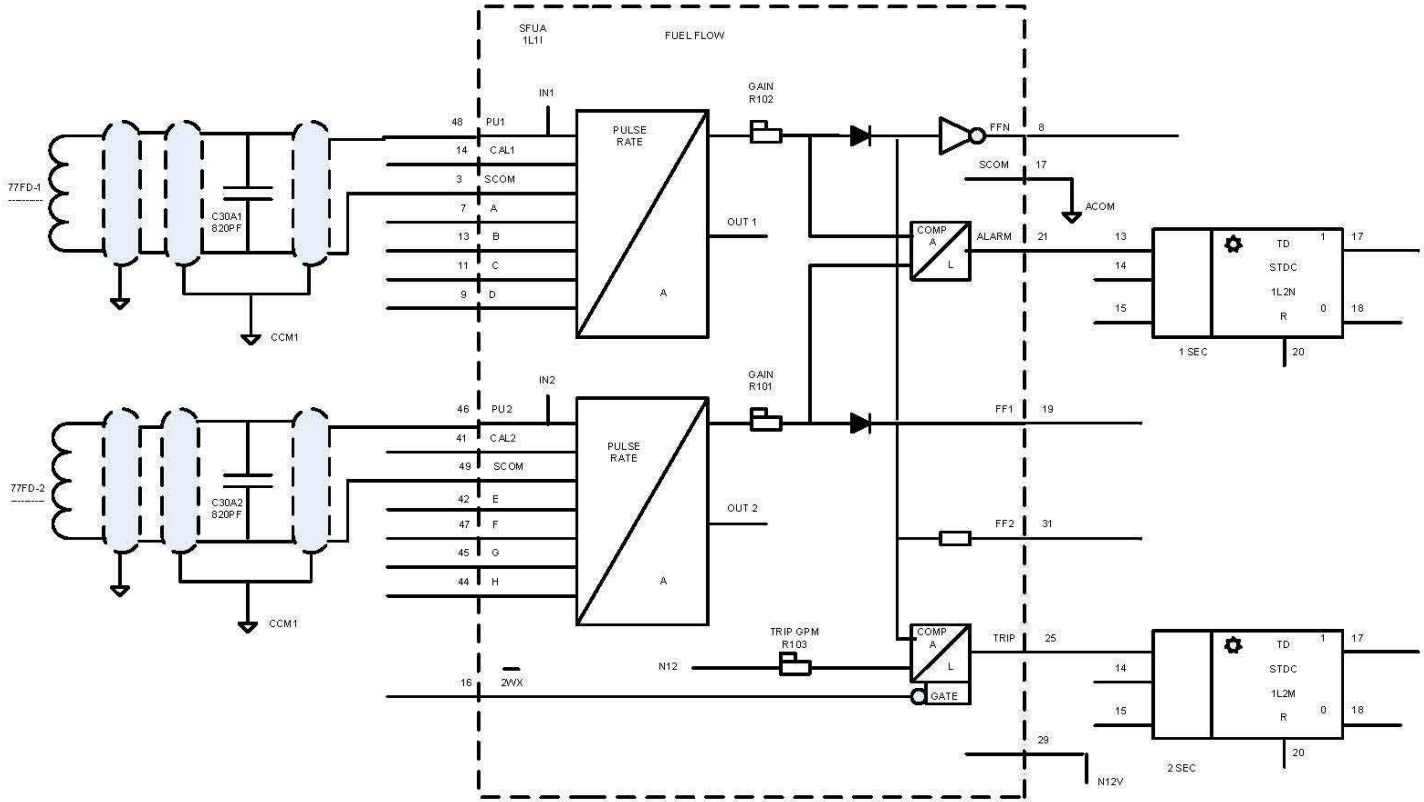

Fig. 2-3. Diagrama en bloques de la Tarjeta SFUA.

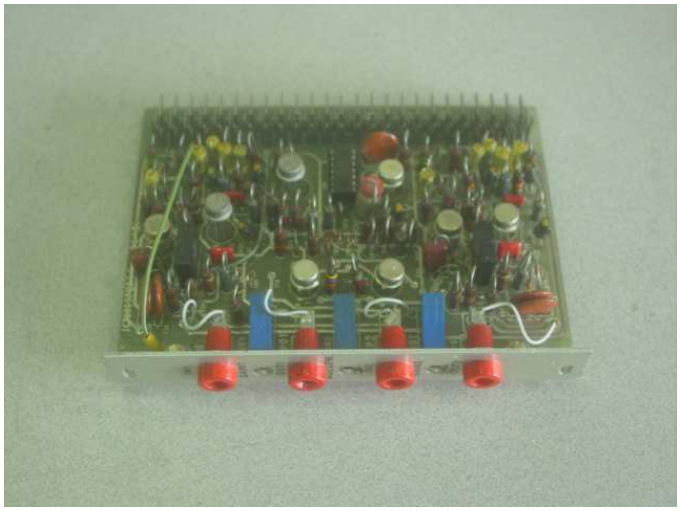

Fig. 2-4 Tarjeta SFUA.

2.2.1.1 Descripción

La tarjeta de control del flujo de combustible realiza tres funciones básicas:

1. Monitorea la velocidad del repartidor de flujo de combustible, y genera una señal de flujo de combustible (FF) que es proporcional a la velocidad del repartidor de flujo.

2. Genera una señal de alarma si la diferencia entra las señales de los dos captores magnéticos es mayor que un cierto porcentaje

3. Genera una señal para desconectar la turbina antes de que alcance la velocidad de aceleración, si la señal correspondiente a los gpm (galones por minuto) de flujo es mayor que la referencia establecida por el potenciómetro R103 ubicado en dicha tarjeta.

Tal como se muestra en la figura 2-3 las salidas de los captores magnéticos 77 fd-1 y 77 fd-2 están conectadas respectivamente a los pines 48 (PU1) y pin 3 (SCOM), y a los pines 46 (PU2) y pin 49 (SCOM).

Las entradas A en el pin 7, B en el pin 13, C en el pin 11, D en el pin 9, F en el pin 47, G en el pin 45 y H en el pin 44 se usan para aceptar máquinas de diferentes velocidades, y no son usadas dentro de éste sistema.

Los pines de entrada 14 (CAL1) y 41 (CAL2) se usan para ingresar señal desde dos fuentes de frecuencia cuando se calibra la tarjeta SFUA. Las señales de frecuencia se llevan a dos circuitos convertidores de frecuencia a voltaje, donde se cambian a señales de voltaje DC proporcional a la velocidad. Ambas señales de frecuencia y las salidas DC pueden comprobarse mediante los puntos IN1, IN2 y OUT1, OUT2 montados en la tarjeta (figura 2-5). La ganancia de los circuitos conversores frecuencia a voltaje puede ajustarse mediante los potenciómetros R101 (GAIN2) y R102 (GAIN1), respectivamente.

Fig. 2-5. Vista frontal de la tarjeta SFUA

La SFUA está equipada con una compuerta de comparación, donde la más alta de dos señales es amplificada y se genera un voltaje proporcional a la velocidad FFN en el pin 8.

En la tarjeta SFUA hay dos circuitos comparadores. El primer comparador comprueba las dos salidas de los conversores de frecuencia a voltaje, y genera una señal de alarma si la diferencia entre las dos es mayor que un cierto porcentaje. La señal de alarma está conectada a una tarjeta de retardo de tiempo, llamada STDC que produce una alarma un segundo más tarde.

El otro circuito comparador recibe la salida más alta y genera una señal de desconexión en el pin 25 (TRIP), cuando la salida es superior al valor de referencia, el cual se ajusta mediante el potenciómetro R103. Esta señal de desconexión es llevada a través de un segundo circuito, en la misma tarjeta de retardo de tiempo STDC, que produce una señal de desconexión dos segundos más tarde. El comparador es deshabilitado por el pin de entrada 16 (14HA), después que la turbina alcanza la velocidad de aceleración.

2.2.1.2 Aplicación.

Esta tarjeta es usada para controlar el flujo de combustible en la bomba principal de combustible.

Tiene circuitería para las siguientes funciones:

a. Dos convertidores de frecuencia a voltaje DC, para generar la señal de realimentación de flujo de combustible para la regulación de potencia.

b. Un amplificador de la señal proporcional al flujo de combustible, para generar la señal de realimentación del mismo y ser usada en la tarjeta de control de flujo de combustible (SFKC).

c. Dos comparadores; uno para contrastar la señal de realimentación de flujo de combustible y una referencia fija, y el otro para comparar las dos señales analógicas provenientes de los dos conversores de frecuencia a voltaje.

2.2.1.3 Generador de la señal de realimentación de flujo de combustible

La señal FF (Fuel Flow, flujo de combustible) que ingresa a la tarjeta proviene de dos captores magnéticos separados 0.010 pulgadas (0, 254 mm) desde una rueda con 60 dientes montada en el divisor de flujo. La frecuencia de la señal de entrada en

Hertzios es igual a la velocidad del divisor de flujo en RPM. Estas señales son conectadas entre las terminales PU1 (pin 48) y común (pin 3); y entre PU2 (pin 46) y común (pin 49)

2.2.1.4 Señal de salida para el regulador de potencia.

La señal de realimentación de flujo de combustible es la mayor de las dos señales provenientes de las salidas de los dos conversores de frecuencia a voltaje. Un comparador diferencial confronta estas dos salidas e indicará una falla (un “1” lógico para alarma), si la diferencia excede el 25% de la nominal.

Un comparador adicional, confronta una referencia (equivalente a un porcentaje del flujo de combustible) con la señal FF, y entrega una señal con retardo en tiempo, si FF excede el valor de referencia.

El retardo es inversamente proporcional al porcentaje de exceso de combustible (por ejemplo, para una referencia ajustada en el 12% del flujo máximo, un 50% de exceso sobre ésta referencia generará la señal, aproximadamente 1 segundo después). La señal denominada trip, es inhibida poniendo un “0” lógico en el terminal 14HA (pin 16).

La señal FF de polaridad negativa (0 a -8 V) está disponible en el terminal FFN (pin 8) y sirve como señal de realimentación para la tarjeta SFKC.

<u>Resumen de pines:</u>

- Entrada PU1 (pin 48): La frecuencia debe ser proporcional a la velocidad desde el captor magnético. Frecuencia mínima 25 Hz.
  Amplitud mínima 600 mV p-p
- Entrada PU2 (pin 46): Entrada desde el segundo captor magnético. Parámetros mínimos igual que para PU1.

- Entrada 14HA (pin 16): Entrada lógica. Un “0” lógico deshabilitará el circuito comparador de porcentaje de FF.

  Máximo “0” lógico = 0,9 V

  Mínimo “1” lógico = 4.5 V
- Salida FF1 (pin 19): Señal de realimentación FF para regulación de potencia. De 0 a +8 V para 0 a 100 % de velocidad. 4 mA máximo de carga.
- Salida FF2 (pin 31): Señal de realimentación FF para generación de potencia. De 0 a +8 V para 0 a 100 % de velocidad. 1 mA máximo de carga.
- Salida FFN (pin 8): Señal de realimentación FF para la tarjeta SFKC. De 0 a 8V para 0 a 100% de velocidad. 4 mA máximo de carga
- Salida de alarma (pin 21): Salida lógica. Un 1 lógico, indica falla de alguna entrada PU.
- Salida trip (pin 25): Salida lógica. Un 1 lógico indica que la señal FF ha excedido el nivel de referencia establecido.
- Bus: +12 V ± 1%-12 V ± 1% +5.3 V ± 3%

  16 mA máx 16 mA máx 12 mA máx

  8 mA mín 8 mA mín 8 mA mín

Nota de calibración: Es importante reconocer las limitaciones de calibración de esta tarjeta.

En el frente de la tarjeta no existe un terminal para A-COM (figura 2-5)
Las entradas son fuertemente filtradas, y requieren señales sobre los 15 Vrms para poder ser manejadas.
La SFUA tiene otros dos puntos de prueba en los pines 14 y 41, los cuales cortocircuitan los filtros de entrada. Una señal de 3 Vrms y frecuencia variable puede ser usada para probar y/o calibrar la tarjeta SFUA usando estos puntos de prueba.

Precaución: Cuando se usen los puntos de prueba de los pines 14 y 41, se recomiendan resistencias de 1K en serie con estas entradas.

2.2.2 SVSE: TARJETA DE RELÉS DE VELOCIDAD

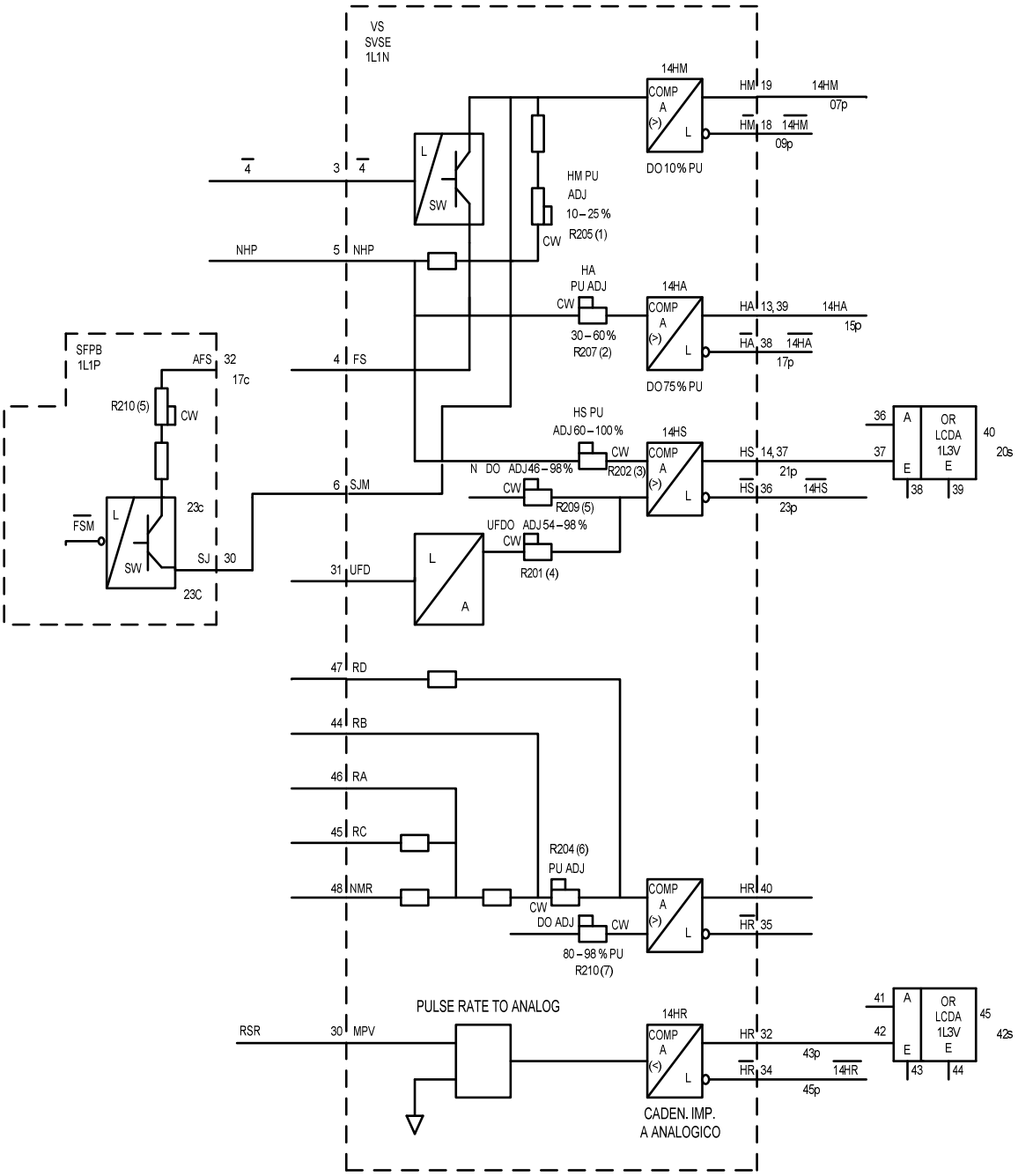

Fig. 2-6. Diagrama de bloques de la Tarjeta SVSE

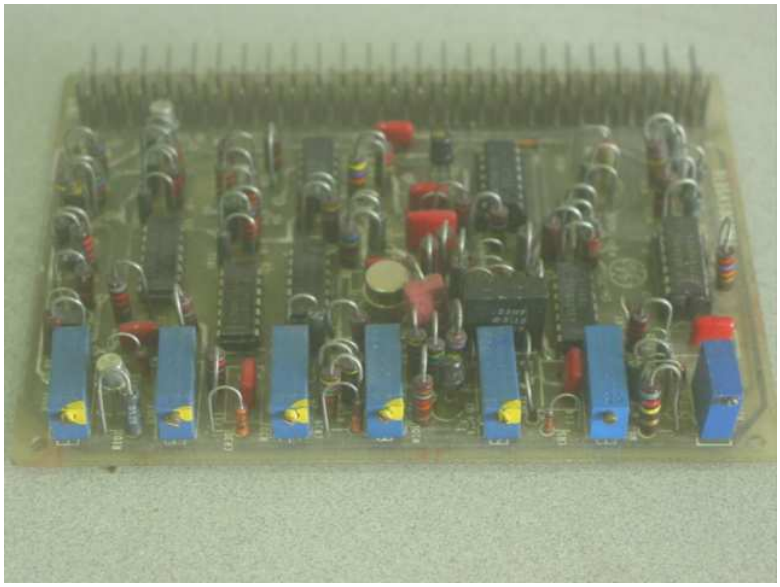

Fig. 2-7 Tarjeta SVSE.

2.2.2.1 Descripción

La tarjeta electrónica SVSE consta de tres secciones.

La primera sección provee entradas para los relés de velocidad mínima (14HM), de aceleración (14HA) y de velocidad de funcionamiento (14HS).

La segunda sección está equipada con un circuito PR/A[15] (convertidor de frecuencia a voltaje) el cual entrega un voltaje analógico proporcional a la frecuencia de la señal de entrada, y provee un acceso al relé de velocidad cero 14HR.

La tercera sección provee una salida a los registradores de velocidad, pin 40 (MR) y pin 35 (MR), cuando están conectados.

- **Primera sección**

La sección de los relés de velocidad consiste de tres detectores de velocidad sensibles al voltaje: 14HM, 14HA y 14 HS. Los mismos que reciben un voltaje analógico proporcional a la velocidad de la turbina; de 0 a +10VDC para una velocidad de 0 al 100% correspondientes de 10 a 5100 RPM. Esta señal ingresa en la tarjeta SVSE en el pin 5 (NHP).

El detector 14HM tiene dos entradas de programación. Una para un arranque normal y la otra para un arranque rápido.

El arranque normal; en el cual, el relé se engancha a aproximadamente una velocidad del 23%, ocurre cuando la entrada 4(pin 3) está en “0” lógico y la señal de velocidad es alimentada al pin 5. Cuando el voltaje en la entrada del comparador es superior al voltaje pre ajustado en el comparador, la salida en el pin 19 HM será “1” lógico y la salida en el pin 18 HM será “0” lógico.

El “1” lógico en el pin 19 hará que la luz denominada 14HM en el panel delantero se ilumine (número 10 en la figura 2-1), indicando que la turbina está a una velocidad del 23%. El valor de enganche del relé de velocidad 14HM puede ajustarse con el potenciómetro R205. El valor de desenganche de 14HM es de 10% menor que el valor de enganche.

En una parada, sea normal o de emergencia, el circuito protector principal hace que la entrada en el pin 3 (denominado “4”) pase de “0” a “1”. El “1” lógico en pin 3 enciende el transistor y cortocircuita R205 con su resistencia en serie. El circuito detector ahora está recalibrado para desengancharse a una velocidad más baja a medida que la turbina funciona desembragada hasta detenerse.

Las salidas de los pines 19 y 18 se usan también en otras partes del sistema, por ejemplo, para energizar el sistema de encendido, ventilación etc.

El relé de velocidad 14 HA está ajustado para engancharse a aproximadamente una velocidad de 47% con ± 15% ajustable mediante el potenciómetro R207. Este relé se desengancha a aproximadamente 75% del valor de enganche. Los pines de salida 13, 39 (HA) y 38 (0HA); se usan para iluminar una luz indicadora de velocidad 14HA, para aplicar energía momentánea al campo del generador a través del sistema de excitación, para enfriar los medios de arranque y para anunciar casos de averías.

El relé de velocidad 14HS se ajusta para aproximadamente 94%.

El desenganche común, ajustable con el potenciómetro R209 es entre una velocidad del 80% y 90% a medida que la turbina va reduciendo velocidad. Después de la parada normal, permite que la turbina se enfríe a medida que disminuye la velocidad antes de cortar el combustible.

La salida de HS, pines 14 y 37, es llevada a través de un excitador de reloj (LCDA) para poder manejar los requisitos de carga adicionales.

- **Segunda sección**

La segunda sección de la tarjeta SVSE presenta una entrada a un comparador por medio de su propio conversor de frecuencia a voltaje.

La señal de frecuencia ingresa al pin 30 (MPU), donde el conversor frecuencia a voltaje envía una señal analógica al comparador que detecta la condición de velocidad cero. La salida será “1” lógico en el pin 32 (HR) y “0” lógico en el pin 34 (0HR) cuando la turbina esté en velocidad cero. Los valores de enganche y desenganche para esta sección no pueden ajustarse.

- **Tercera sección**

La tercera sección de la tarjeta SVSE provee salidas en los pines 40 (MR) y 35 (OMR) para los registradores de velocidad, mismos que en el sistema Speedtronic Mark II no son usados.

2.2.2.2 Aplicación.

Esta tarjeta contiene cinco relés de velocidad (entre fijos y ajustables). Estos relés son:

- 14 HM – velocidad mínima
- 14 HA – velocidad de aceleración
- 14 HS – velocidad de operación
- 14 HR – velocidad cero
- 14 MR – monitor de velocidad – uso especial

Los primeros tres relés operan con una señal común de entrada, la señal de velocidad NHP, misma que varía de 0 a 10 VDC para 0 a 100% de velocidad; el relé de velocidad cero opera directamente con la señal proveniente de un captor magnético.

El relé 14HM tiene un rango de enganche ajustable al 23% mediante el potenciómetro R205, además 14HM se puede reprogramar de manera externa para permitir un arranque rápido (no usado en MARK II)

El relé 14HA tiene un rango ajustable del 30 al 60% y un desenganche del 75% del valor de enganche.

El relé 14HS tiene un rango de enganche ajustable del 60 al 100%.

El relé monitor de velocidad 14 MR no es usado en MARK II.

El relé 14HR opera directamente desde un captor magnético. La señal mínima proporcionada por este captor debería ser de 18 mVrms.

Resumen de pines:

Entrada NHP (pin 5): Señal de velocidad calibrada de 0 a 10 VDC para 0 a 100% de velocidad nominal. Carga máxima de 1.45 mA
Entrada MPU (pin30): Entrada desde el captor magnético.
Entrada SJM (pin 6): Relé de velocidad mínima, puede reprogramarse de forma externa. No usado en Mark II
Entrada FS (pin 4): Entrada de reprogramación de arranque rápido.
Entrada UFD (pin 31): Entrada programable para desenganches en bajas frecuencias.
Entrada "4'" (pin 3): Entrada programable para 14HM
Entrada NHR (pin 46): Señal de velocidad calibrada de 0 a 10 VDC para 0 a 100% de velocidad.

Entradas:

RA (pin 48): Puentes para selección del rango de velocidad.
RB (pin 44): 20 – 60% cortocircuitando RA (46) con RB (44)
RC (pin 45): 50 – 90% cortocircuitando RC (45) con RB (44)
RD (pin 47): 80 – 110% cortocircuitando RD (47) con RB (44)

Nota: Las entradas anteriores no son usadas en MARK II

Salidas:

MR (40), HR (32), HA (13,39), HS (14,37), salidas normales de los relés. Un 1 lógico indica condición de enganche.

Salida HM (pin 19): Salida normal del relé. Un 1 lógico indica condición de enganche.

Salidas: 0MR (35), 0HR (34), 0HA (38), 0HS (36): Salidas negadas de los relés. Un 0 lógico indica condición de enganche.

Salida HM (pin 18): Salida negada del relé. Un 0 lógico indica condición de enganche.

BUS:

+12 V ± 0.5%	40 mA máximo	0.24 W máximo
	28 mA típico	0.17 W típico
-12 V ± 0.5%	40 mA máximo	0.24 W máximo
	28 mA típico	0.17 W típico
+5 V ± 3%	40 mA máximo	0.2 W máximo
	24 mA típico	0.12 W típico

2.2.3 SVDC: TARJETA DETECTORA DE FALLA Y DESCONEXIÓN POR EXCESO DE VIBRACIÓN.

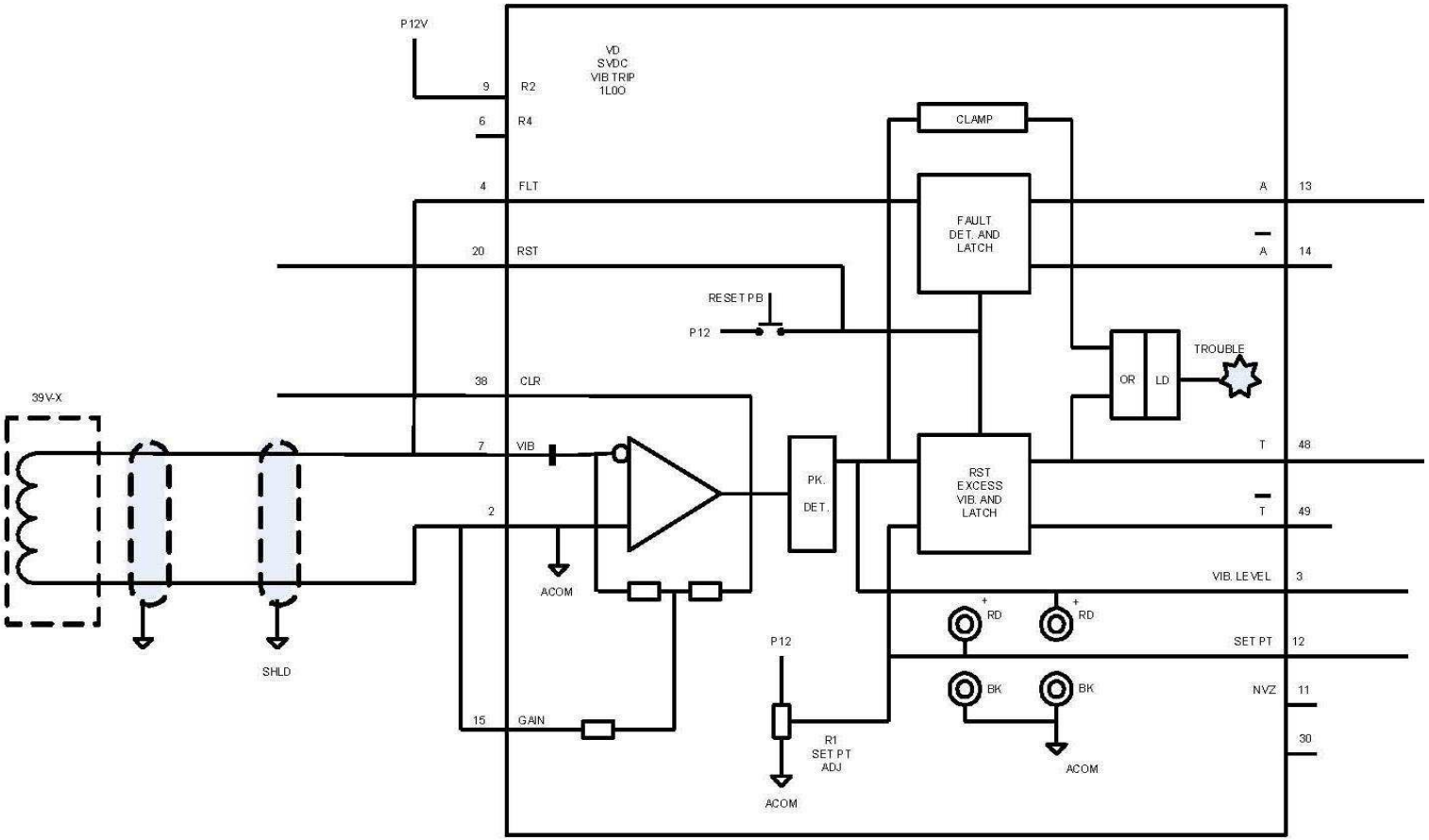

Fig. 2-8. Diagrama de bloques de la tarjeta SVDC

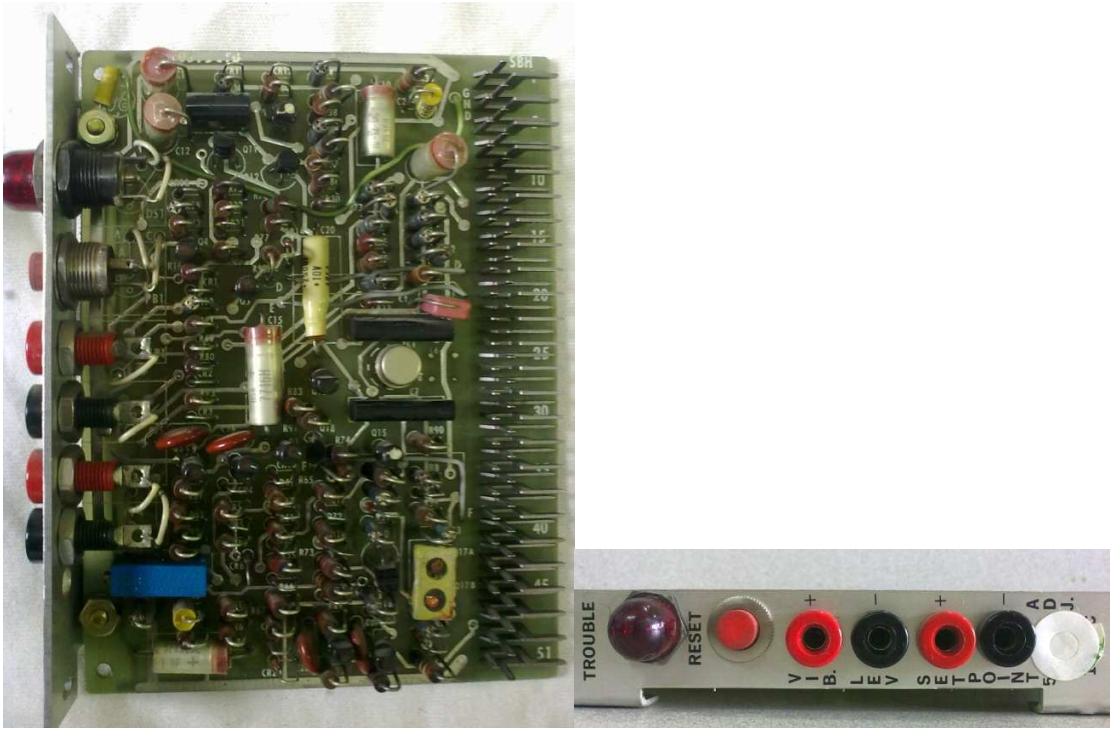

Fig. 2-9. Tarjeta SVDC

2.2.3.1 Descripción.

En la figura 2-8 se muestra el diagrama esquemático de la tarjeta electrónica SVCD. La señal del captor magnético de vibración es llevada a través de cables blindados a los pines 7 y 2; es rectificada, amplificada y dirigida a un circuito detector de picos para establecer un voltaje promedio proporcional a la velocidad de vibración.

El valor de desconexión es ajustado por el potenciómetro R1 (SET POINT ADJ), cuando la amplitud de la señal de vibración alcanza el valor de desconexión, un circuito biestable dispara la señal de desconexión en el pin 48 (T) que anuncia una desconexión o problema de vibración.

La condición de desconexión se engancha eléctricamente y debe reconectarse mediante el botón RESET montado en la tarjeta. La luz denominada TROUBLE

montada en el frente de la tarjeta se enciende indicando la condición de desconexión.

La señal de vibración es llevada al pin 4 (FLT) y por medio de éste al circuito detector de falla. Este circuito detector de falla muestra una condición de cortocircuito o circuito abierto originando una alarma luminosa en la parte delantera de la tarjeta, y enganchando eléctricamente la condición de falla. La condición de falla puede eliminarse pulsando el botón de reconexión montado en la tarjeta. Esta condición de falla no resulta en una desconexión pero sirve para indicar que es necesario un mantenimiento. Tanto el nivel de voltaje de vibración como el valor prescrito pueden medirse conectando un voltímetro a los terminales VIB LEV y SET POINT montados en el frente de la tarjeta.

La tarjeta de desconexión de vibración puede calibrarse siguiendo los siguientes pasos:

1. Un nivel lógico “1” en el pin 20 (RST) reconecta el circuito detector de falla y el circuito de desconexión excesiva.
2. Un nivel lógico “0” en el pin 38 (CLR) deja libre el circuito detector de picos.
3. La señal de frecuencia desde un oscilador de 200Hz simulando un nivel de vibración es alimentado a los pines 7 (VIB) y 2 (ACOM).
4. El nivel de vibración puede ajustarse mediante el potenciómetro R1.

2.2.3.2 Aplicación

a. Teoría de operación:

Esta tarjeta lleva a cabo la función de sensar el nivel de vibración proveniente de un medidor de velocidad de vibración y encender un circuito retenedor si la vibración excede un nivel pre ajustado.

También determina continuidad en el circuito de entrada de señal, y advierte las condiciones de circuito abierto o cortocircuito.

El pulsador ubicado en el frente de la tarjeta, es para resetear las condiciones de falla y circuitos retenedores de exceso de vibración.

b. Datos de aplicación:

La entrada VIB (pin 7) y ACOM (pin 2) está conectadas a un transductor de vibración GE # 5470364. Se debe usar cable trenzado blindado para tener una buena conexión al pin 2 (ACOM).

La entrada detectora de falla, FLT (pin 4) está conectado a VIB (pin 7).

La longitud desde el transductor de vibración hasta la entrada está limitada a 500” (12,7 m) de cable trenzado blindado para minimizar los efectos del ruido y atenuación de la señal, teniendo una capacitancia menor a los 0.03 µf. Un capacitor de 0.03 µf causa que la señal sea atenuada a un 70.7% a 440 Hz y 300 ℉.

c. Respuesta del circuito:

El circuito tiene una respuesta plana de 40 a 400 Hz. La constante de tiempo para el muestreo de vibración es de aproximadamente 1 segundo.

d. Salidas:

Nivel de vibración (pin 3): Esta señal es proporcional a la señal de vibración en la entrada, 5.0 V = 1”/segundo con 367 mV pico de entrada.

Punto de ajuste: Este es el nivel en el que ocurrirá un disparo por exceso de vibración. Es ajustable desde 0.25 hasta 1.6”/segundo. Para leer este punto de ajuste, se debe usar un medidor de alta impedancia, de al menos 100 KΩ por voltio

Detector de falla: La alarma debe ser un “1” lógico si se detecta circuito abierto o cortocircuito.

Detector de exceso de vibración: “Trip” debe ser un “1” lógico si el nivel de vibración excede el valor de desconexión pre ajustado.

Luz de problema: Se ilumina si la alarma es activada a un “1” lógico. Se reinicializa pulsando el botón del frente, una vez que el problema haya sido corregido.

Requerimientos del bus:

+12VDC G.E.	37 mA máximo	(24 mA de lámpara de salida)
-12VDC	10 mA máximo	6 mA nominal

2.2.4 VMPA: CIRCUITO PROTECTOR PRINCIPAL

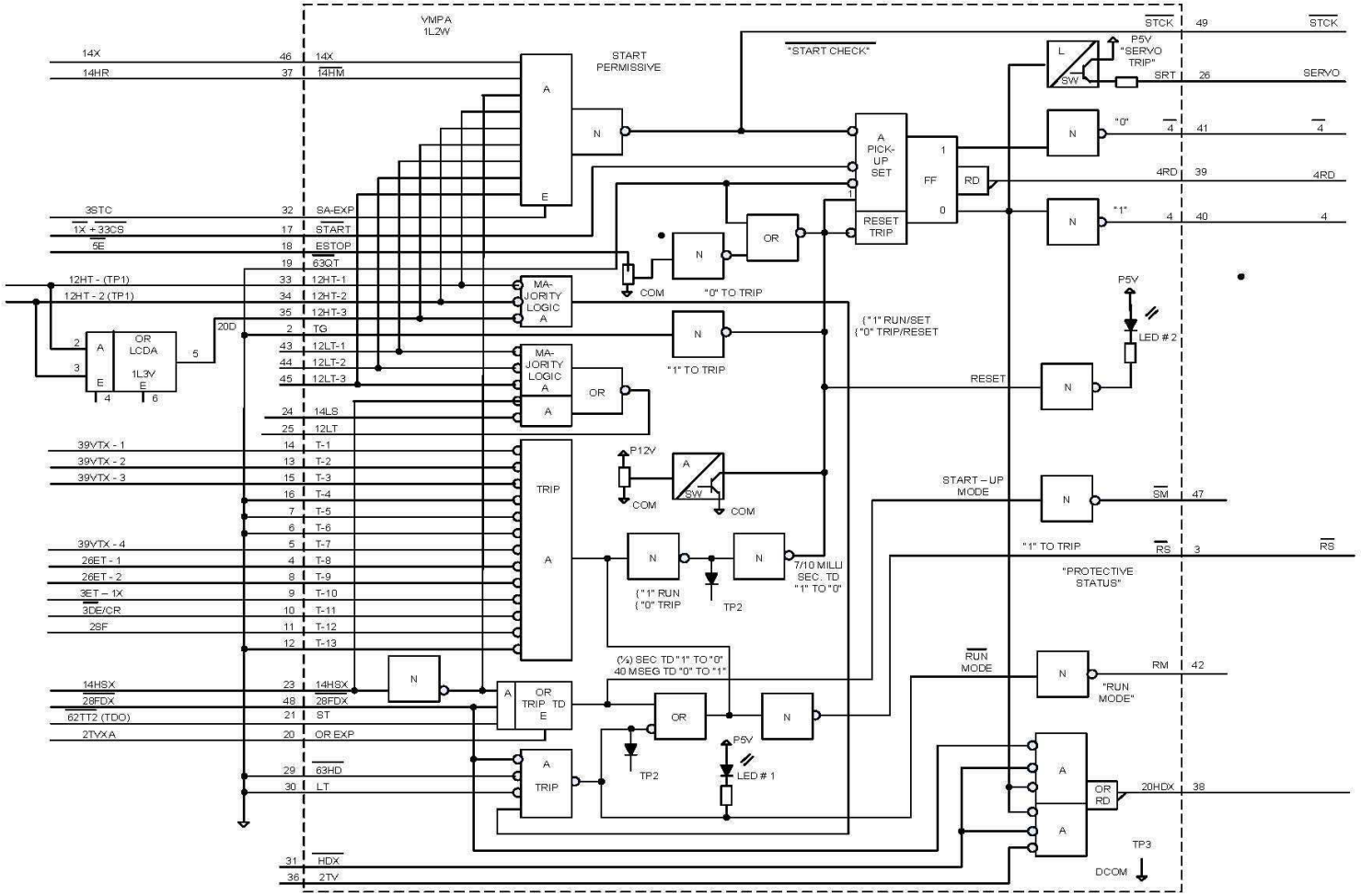

Fig. 2-10. Diagrama de bloques de Tarjeta VMPA

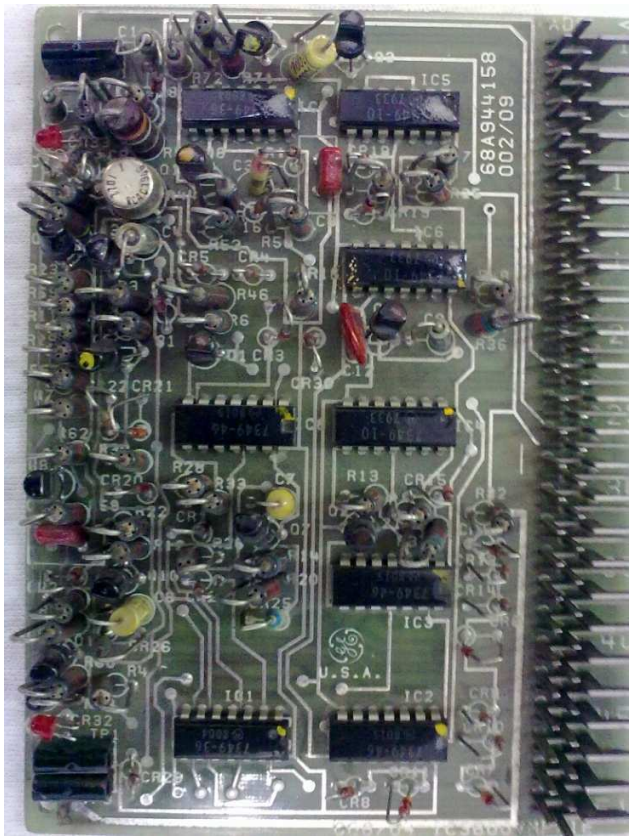

Fig. 2-11. Tarjeta VMPA

2.2.4.1 Descripción

El circuito protector principal básicamente realiza las tres funciones siguientes:

1. Lleva a cabo una comprobación del sistema antes de entregar una señal de arranque, es decir, comprueba que los equipos vitales de la turbina, su equipo impulsor, el panel Speedtronic y el centro de control del motor Detroit (marca de motores a Diesel); estén en estado correcto y/o tengan corriente disponible.

2. Realiza las comprobaciones y da autorización durante el periodo de arranque. Si en cualquier momento después que se ha dado la señal de

arranque, cualquier sistema vital falla o la VMPA detecta que la turbina no está funcionando bajo condiciones seguras, desconecta la misma. La turbina queda inmovilizada para impedir un nuevo arranque, antes de que se encuentre la condición de desconexión y se corrija el problema.

3. Protege la turbina durante el arranque o en modo de funcionamiento. La falla de cualquiera de los circuitos protectores o la remoción de tarjetas Speedtronic vitales pueden resultar en una desconexión.

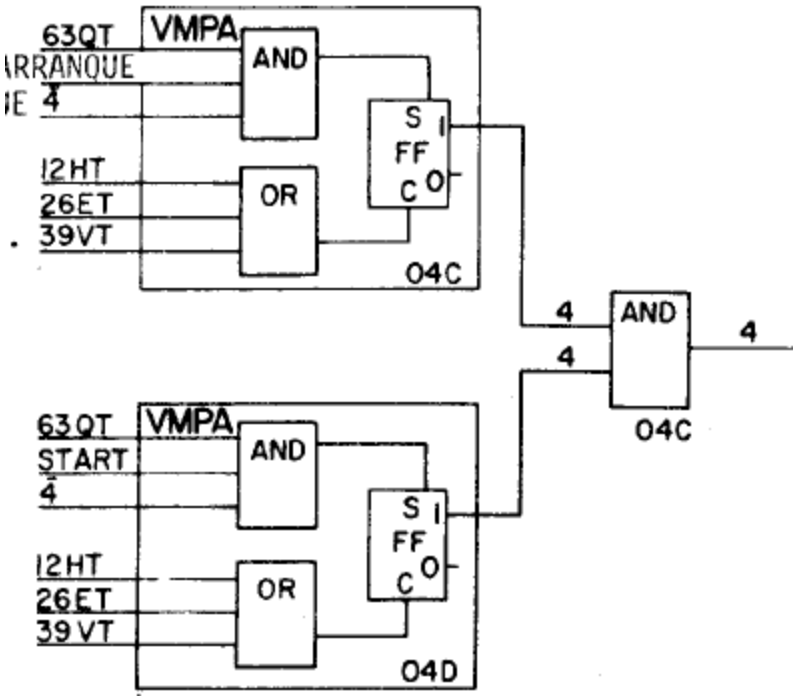

Fig. 2-12. Circuito de protección principal simplificado.

El circuito protector maestro está formado por dos tarjetas VMPA que generan una salida de un “1” lógico cada vez que se realizan todas las comprobaciones de arranque y se encuentra que está en estado “arrancar”.

La salida 4 permanece como lógica “1” cuando:

- Todos los sistemas monitoreados durante el ciclo de arranque permanecen en el estado “arrancar”
- Todos los sistemas monitoreados durante el modo de operación todavía son capaces de proteger la turbina.

Las dos señales son alimentadas a una compuerta AND y se genera una señal simple. La falla detectada en cualquiera de los circuitos VMPA que resulta en el cambio de la salida de 1 a 0 lógico, causará una desconexión.

Cada VMPA está básicamente formada de una compuerta AND, una compuerta OR y un circuito biestable (FF), figura 2-12. El corazón de la tarjeta VMPA es el circuito biestable y por lo tanto es conveniente dar una descripción breve de sus principios de operación.

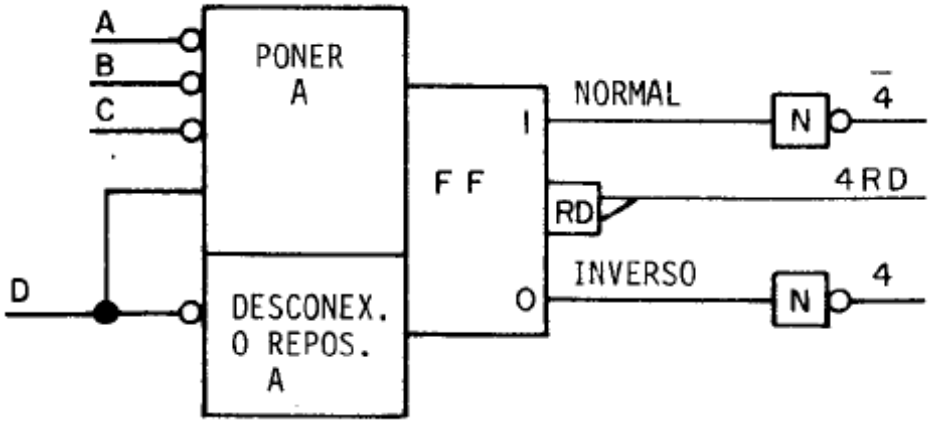

Fig. 2-13. Circuito Biestable.

En la figura 2-13 se muestra un diagrama en bloque simplificado del circuito biestable usado en la VMPA. El biestable es un elemento de memoria. Tiene dos entradas: “conectar” y “reconectar”, y tres salidas, salida a 1 lógico, salida a 0 lógico y una que habilita un excitador de relé (RD) cuando se satisfacen todas las entradas “A SET”. Una vez que se ajusta el biestable a través de la entrada “conectar”, su salida cambia

solamente si se alimenta un “1” lógico a través de la entrada de “reconectar”. En la figura 2-14 se muestra una tabla de verdad.

ENTRADAS				**SALIDAS**		
A	B	C	D	NORMAL	RD	INVERSO
0	0	0	1	1	ON	0
CUALQUIER LÓGICA			0	0	OFF	1

Tabla 2-1. Tabla de verdad del circuito biestable

El circuito protector principal está formado por dos circuitos independientes pero que interactúan entre sí, uno en cada una de las tarjetas VMPA. Las mismas entradas de señal son alimentadas a ambas tarjetas. Realizan las comprobaciones de arranque y funcionamiento y apagan la señal de autorización para funcionar “4”.

Cada salida de señal “4” es alimentada a una compuerta AND del excitador de reloj (LCDA). Cuando este LCDA tiene una entrada de señal “4” de ambas tarjetas VMPA, enviará una señal de 1 lógico. Esta señal es nueva o “principal 4” que se usa en todo el sistema de control Speedtronic.

Para poder entender mejor los principios de operación de la tarjeta VMPA, el circuito se ha dividido en las siguientes secciones:

- Autorización para arrancar
- Autorización para encender
- Autorización para funcionar

AUTORIZACIÓN PARA ARRANCAR

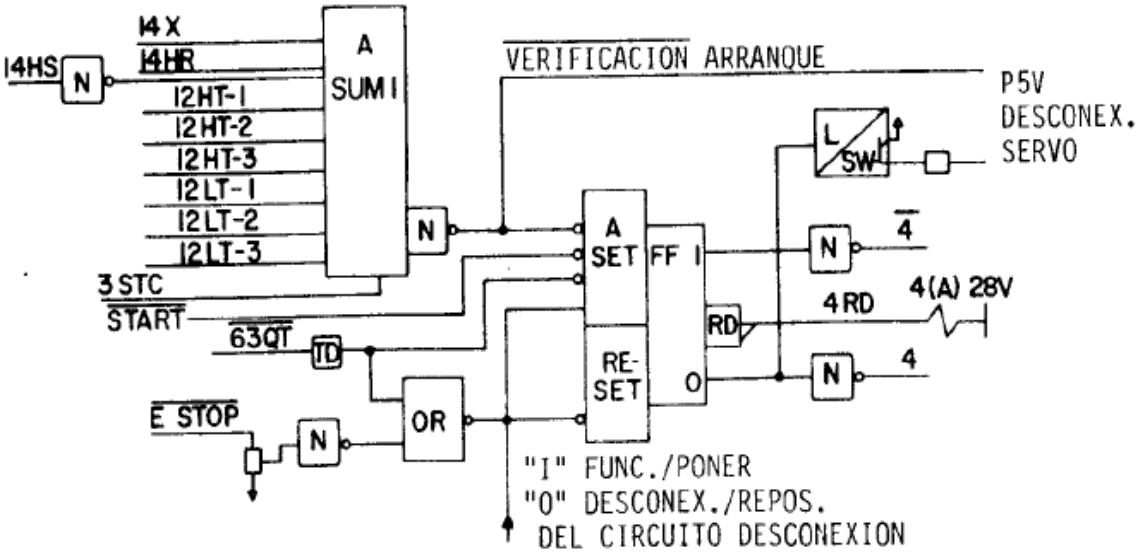

Fig. 2-14. Autorización para arrancar 1.

Para poder satisfacer el circuito de autorización para arrancar, las entradas “SET” del circuito FF deben satisfacerse, figura 2-15. Una de las entradas FF viene de la compuerta “SUM 1A”.

La función de la “SUM 1A” es comprobar que todos los sistemas monitoreados por esta compuerta estén en el estado de arrancar, es decir, los circuitos de velocidad (14X) son normales, la turbina está en cero velocidad (14HR), la turbina no está a toda velocidad (14HS), todos los circuitos de sobre velocidad están en arrancar (12HT) y (12LT), y se genera una señal de comprobación de arranque (3STC). Esta última es una función de los otros sistemas, tales como, temperatura de aceite lubricante, posición del interruptor de control principal 43, etc. Cuando todas estas entradas a (SUM 1A) son un “1” lógico, “SUM1” colocará un 1 lógico que es invertida

a un 0 lógico por la compuerta inversora (N). La lógica 0 hará que se enciendan las luces de “comprobación” y “listo”.

Las luces de comprobación y listo son autorización para dar la señal de “arranque”.

Cuando se da la señal de arranque, los cambios de señal de 1 a 0 satisfarán la segunda entrada a la compuerta “SET A”. La tercera entrada está asociada con el aceite lubricante. Si la presión de aceite lubricante es normal, 63QT se vuelve “0” satisfaciendo la tercera entrada a la compuerta “SET A”. Si no se genera ninguna señal de parada de emergencia (E STOP) la lógica 1 es invertida por (N) a un estado 0 que hace que la compuerta OR produzca un 1 lógico. La lógica 1 satisface la cuarta entrada. FF está ajustado y producirá un 1 lógico en su salida normal, 0 en su salida invertida y enganchará el relé 4A. La salida invertida también es llevada a un dispositivo de lógica a interruptor (L/SW) que permite que la servo válvula del sistema de combustible controle el corte del mismo.

Se debe notar que la señal de presión de aceite lubricante y las señales de parada de emergencia son llevadas a la entrada RESET del circuito biestable a través de la compuerta OR. Si la presión de aceite lubricante disminuye debajo de cierto valor para cierto periodo de tiempo, o se da una señal de parada de emergencia, el circuito biestable se reconectará; desconectando así la turbina. La salida invertida del biestable es llevada al elemento de conmutación que coloca un voltaje positivo en la bobina de la servo válvula para asegurarse que se cierra la válvula de corte de combustible. Esto provee un corte del suministro de combustible de la turbina en caso de producirse una condición de desconexión.

AUTORIZACIÓN DE ENCENDIDO

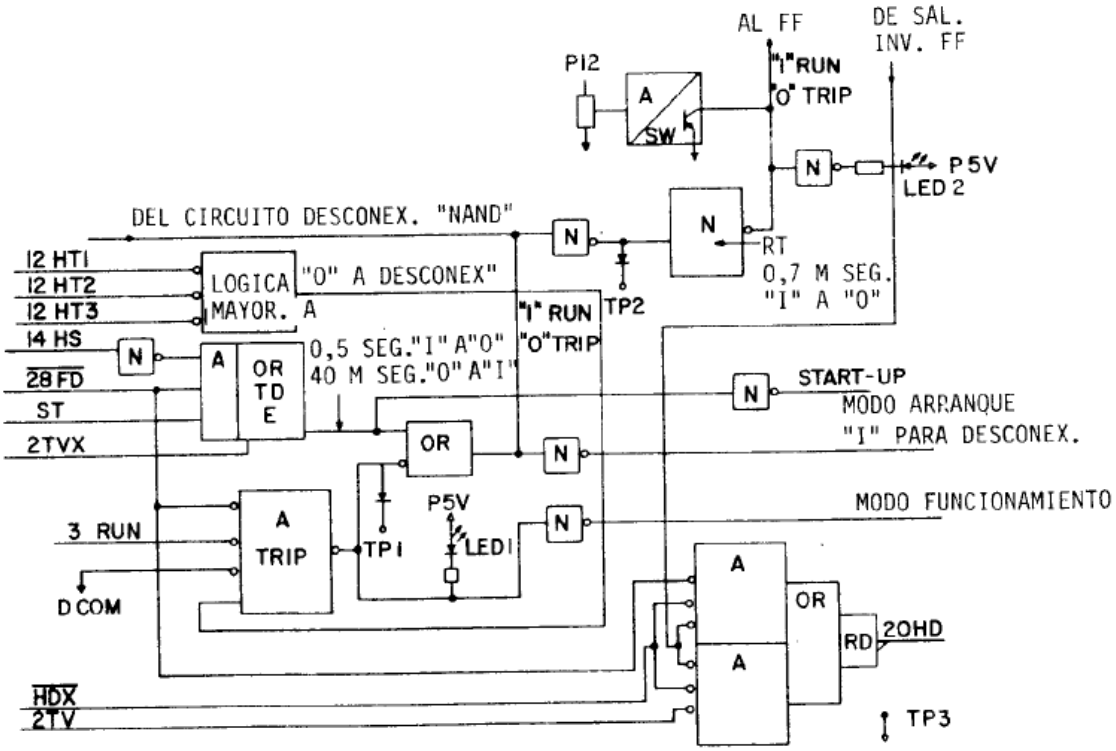

Fig. 2-15. Autorización para arrancar 2.

Esta parte del circuito protector principal permite la transferencia del modo de operación desde “puesta en marcha” a “funcionamiento”. El propósito de este circuito es mantener un nivel lógico1 en la entrada de re conexión del circuito FF, figura 2-16. Los distintos sistemas protectores deben monitorearse y mantenerse en un estado de “arrancar” mientras que la unidad está girando a la velocidad de encendido, cuando se enciende y su velocidad llega a la de operación, y cuando está funcionando. Por lo tanto, la salida de un 1 lógico debe mantenerse fuera de la compuerta NAND, o compuerta (SUM 0). Un 1 lógico de la compuerta NAND es invertida a 0 y a través del circuito de retardo de tiempo, cambia a un 1 lógico (FUNCIONAMIENTO).

El dispositivo de analógico a conmutación (A/SW) es un circuito monitor de potencia. Esta construido con un puente de entrada referenciado a un nivel lógico 0; sin embargo, cuando no hay +12V, la entrada fluctúa a un estado de 1 de auto suministro. Un 1 lógico enciende el interruptor que conecta la entrada “RECONECTAR” al común 0 y desconecta la turbina.

El circuito de comparación de lógica mayor, se usa para monitorear tres señales de entrada de sobre velocidad y generar una señal de 0 lógico para desconectar la turbina cuando dos de las tres entradas están en estado de desconexión. Si las entradas 12HT1 y 12HT2 están en 1 lógico, indicando una desconexión, aunque 12HT3 sea 0 (no desconexión), la salida del circuito de lógica de mayor señal, será un 0 lógico que desconectará la turbina.

Durante la puesta en marcha, la lógica de mayor señal, es polarizada por el elemento OR TD. La entrada de velocidad de funcionamiento es una lógica 0 cuando la turbina está a velocidad cero.

Ésta lógica 0 es invertida a 1, satisfaciendo así la primera entrada a la compuerta AND del elemento OR TD. Como no detecta llama en la cámara de combustión en este momento, la entrada al detector (28FD) es lógica 1 satisfaciendo la segunda entrada a la compuerta AND. Se ha dado una señal de arranque (ST) proporcionando un 1 lógico a esta entrada. En este momento, el elemento OR TD tiene su entrada satisfecha; por lo tanto, producirá un 1 lógico que mantiene satisfecho FF y deja la turbina en modo de puesta en marcha.

El motor de arranque hace girar la turbina a la velocidad de encendido. Cuando alcanza una velocidad de aproximadamente 23%, tal como lo detecta el relé 14HM de velocidad mínima, se activan los circuitos de encendido y ventilación. La entrada 2TVX se invierte a un 1 lógico que es alimentada a la entrada del expansor del

elemento OR TD. Esta entrada de lógica 1 mantiene la salida OR TD en un estado de 1 lógico continuando así al modo de arranque.
Al final del periodo de ventilación y purga, la turbina se enciende, el sensor detecta la llama siempre que ésta esté establecida en la cámara de combustión, y la entrada 28FD cambie de 1 a 0 lógico. En este momento, se hace una transición y los circuitos VMPA cambian de modo de puesta en marcha a modo de funcionamiento. Para poder impedir la desconexión de la turbina durante esta transición, el elemento OR TD está equipado con un temporizador de 0,5 segundos después que la entrada 28FD cambia de 1 a 0 lógico. Este retardo de tiempo permite que el elemento A TRIP tome control y mantenga el circuito biestable FF activado, manteniendo así la salida de lógica “4” en su propio estado.

El elemento OR TD provee una desconexión automática cuando se da una señal de arranque remota y la turbina no enciende, pero permite que la unidad continúe girando cuando se da un arranque local. Esta característica permite varios arranques cuando la turbina se hace arrancar localmente.

Las entradas al elemento A TRIP incluyen:

1. La 28FD, que ahora es una lógica 0 pues se ha detectado llama.

2. Una autorización para funcionar que es una lógica 0. Se debe observar que la entrada 3 (Run), algunas veces está conectada a DCOM o para detectar la presión hidráulica 63HD.

   La pérdida de presión hidráulica resulta en una desconexión.

3. Las entradas sin usar deben conectarse al común.

4. La cuarta entrada es recibida desde el elemento de comparación de lógica de mayor señal. De ahí en adelante, si dos detectores de sobre velocidad indican una condición de falla, el elemento de lógica de mayor señal producirá un 0 lógico para conectar la turbina. Cuando todas las entradas al elemento A TRIP se corrigen, producirá un 0 lógico. Esta lógica 0 enciende el LED montado en la tarjeta VMPA y satisface la compuerta OR para mantener la turbina en el modo de funcionamiento.

En caso de cualquier avería tal como la pérdida de presión hidráulica, sistema protector o sistema de aceite lubricante, etc; la turbina se desconecta tanto eléctrica como mecánicamente. Se desconecta eléctricamente cambiando la señal “4” y se desconecta mecánicamente activando la solenoide de descarga hidráulica 20HD. El excitador de relé que activa el solenoide de descarga hidráulica está conectado a una compuerta OR y la compuerta OR está conectada a dos compuertas A. la compuerta A inferior provee una entrada anterior al encendido por medio de la entrada 2TV y la compuerta A superior provee una entrada por medio de la entrada 28FD. Ambas compuertas A están condicionadas por la salida invertida del biestable FF y por la presión hidráulica.

La reconexión de FF o la pérdida de presión hidráulica hace que el solenoide descargue el aceite hidráulico al drenaje y desconecte la turbina.

La tarjeta VMPA se provee con puntos de prueba TP1 y TP2 que muestran una función A TRIP y la función NAND del circuito de desconexión respectivamente. Más importante aún; TP1 y TP2, desvían las señales de desconexión durante la calibración, TP3 es conectado al común. Los LEDS 1 y 2 proveen indicaciones del modo de funcionamiento y el estado de la lógica protectora.

AUTORIZACIÓN PARA FUNCIONAMIENTO

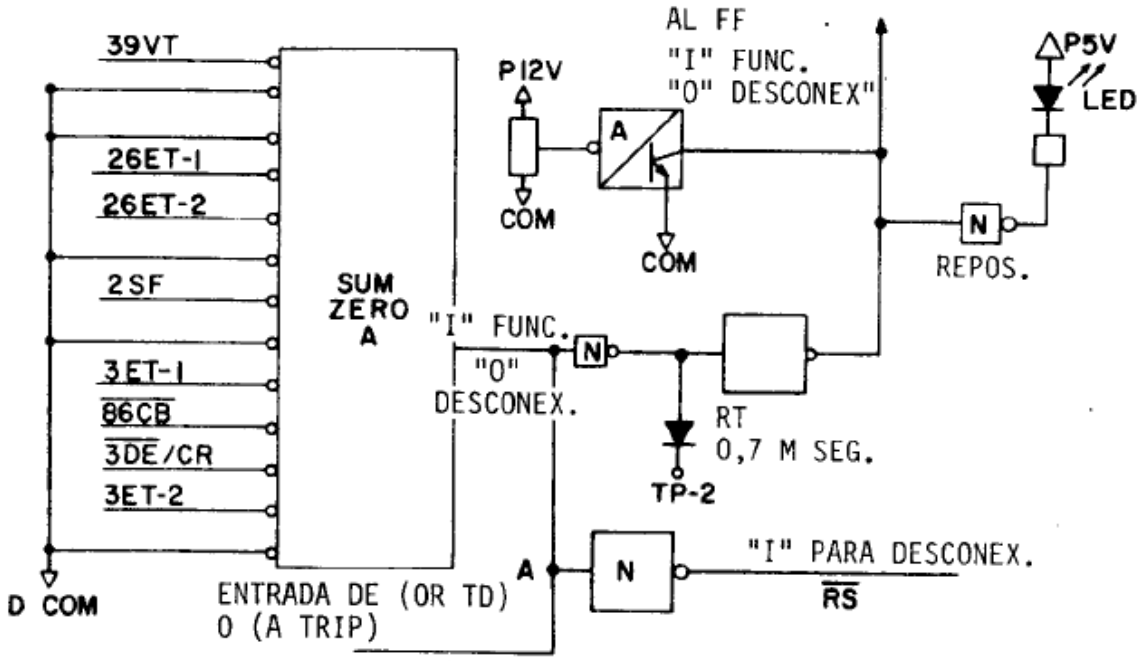

Fig. 2-16. Autorización para Funcionar.

La compuerta “SUM ZERO” (NAND), fig. 2-17 se usa para monitorear los circuitos protectores tales como protección de vibración 39VT, canal A de sobre temperatura (26 ET-1) y B (26 ET-2), falla del sistema de sobre temperatura 3ET-1 y 3ET-2, compresor o pulsación 86CB medios de estados de arranque 3DE/CR y señal de problema de combustible líquido 2SF. Las entradas sin usar deben conectarse al común. La función de la compuerta “SUM ZERO” es cambiar una salida 1 (funcionamiento) a 0 (desconexión) cada vez que cualquiera de los sistemas protectores monitoreados indica una condición de desconexión. Por ejemplo, la entrada 39VT cambia de una lógica 0 a una lógica 1 indicando una condición de vibración excesiva. La compuerta SUM ZERO cambia su salida de 1 (funcionamiento) a 0 (desconexión). Esta condición debe existir por un periodo

superior a 0,7 milisegundos antes que la unidad se desconecte. El punto A en la figura 2-17 está conectado al elemento OR TD y al elemento A TRIP. Estos elementos están monitoreando los circuitos de velocidad, detector de llama, presión hidráulica, etc; y pueden causar una desconexión tal como se explicó anteriormente.

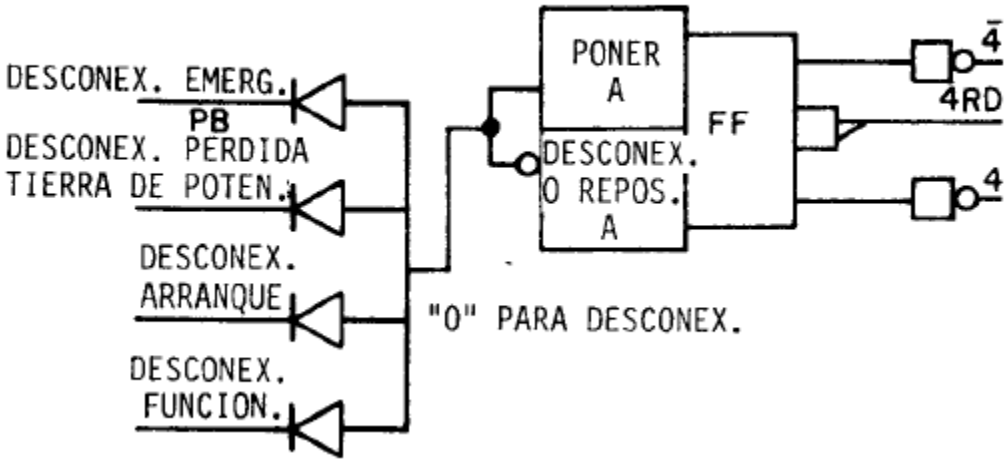

Fig. 2-17. Condiciones de desconexión.

El componente básico del circuito VMPA es el biestable FF. En la figura 2-18, las distintas condiciones actúan para desconectar FF, cambiando así la salida lógica “4” para desconectar la turbina. Tal como se muestra, la turbina se desconecta cuando se inicia una condición de desconexión de emergencia, pérdida de potencia, una suspensión del arranque debido a que los sistemas monitoreados no están en el estado arrancar o falla de un sistema protector mientras la unidad está en el modo funcionamiento. La salida 4 RD tiene una interface con el solenoide del sistema de combustible y por lo tanto la desconexión será tanto eléctrica como mecánica.

2.2.4.2 Aplicación

Este circuito fue diseñado como una función protectora de propósito especial, para usar en el control de turbinas a gas y lo siguiente es dirigido hacia esa aplicación.

Las funciones de la tarjeta son:

(1) Realizar una revisión del sistema antes de iniciar la señal de arranque.
(2) Permitir y revisar la operación de la turbina durante el periodo de arranque.
(3) Proteger la turbina durante la operación.

Estas tres funciones básicas están complementadas por arreglos lógicos adicionales para inhibir sobre velocidad durante el arranque y permitir presión hidráulica (vía 20HDX) durante este período.

<u>Resumen de pines:</u>

14X – Entrada lógica, señal de revisión de relé de velocidad. Monitorea el estado de las funciones del relé de velocidad durante la revisión del arranque únicamente.
1 lógico para empezar.

14HM – Entrada lógica. Señal negada del relé de velocidad. Monitorea el estado del relé de velocidad mínima durante la revisión del arranque únicamente.
1 lógico para empezar.

14HSX – Entrada lógica. Señal de operación normal del relé de velocidad. Monitorea el estado de operación del relé de velocidad y sortea la lógica de sobre velocidad de la turbina durante el arranque.
0 lógico para arrancar. Cargas de 2 V

SA – EXP – entrada de expansión para el módulo de compuertas LGXA.
1 lógico para arranque
Cableado limitado a aproximadamente 6”

START – Señal de entrada de arranque negada.
Provee una señal momentánea para inicializar el arranque.
Inicia con 0 lógico.
Carga 1 V

E-STOP – fuente positiva de 28 voltios para circuitos a través del contacto NC de relé.

E-STOP o NC del pulsador frontal. Debe siempre usarse para proveer potencia a la tarjeta.

63QT – Entrada lógica. Señal invertida de presión de aceite lubricante. Monitorea el estado de la presión del aceite lubricante durante el arranque y el modo de funcionamiento. 0 lógico para arranque y funcionamiento. 2 V de carga

12 HT – 1, 2, 3.

12 LT – 1, 2,3 – entradas lógicas de señal de disparo de sobre velocidad normal. Monitorean los sensores de sobre velocidad de cada canal, y revisan su estado durante el arranque y el modo de funcionamiento.

2.2.5 STKJ: AMPLIFICADOR DE TERMOPAR

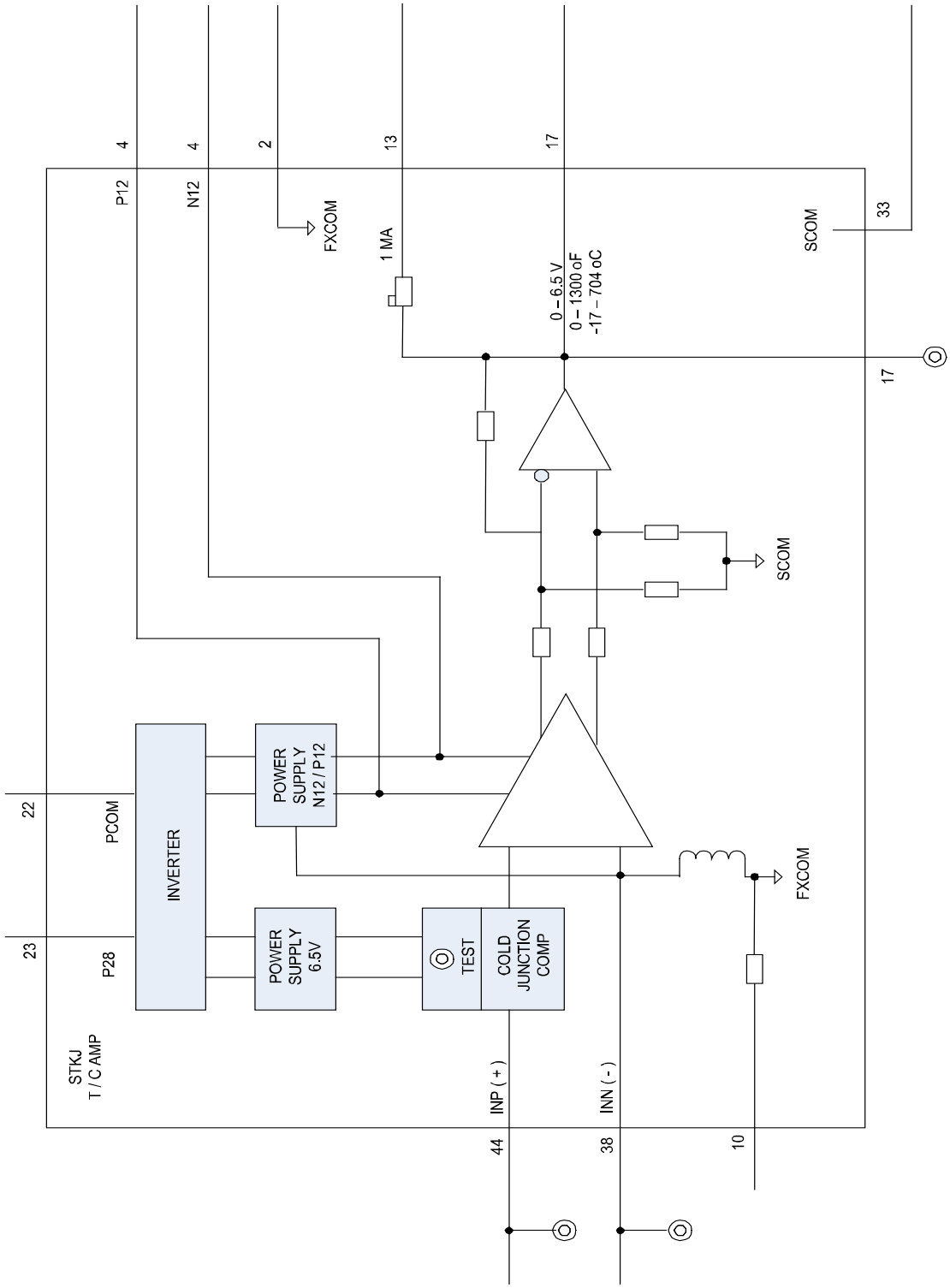

Fig. 2-18. Diagrama en bloques de la Tarjeta STKJ.

Fig. 2-19. Tarjeta STKJ.

2.2.5.1 Descripción.

Están ubicadas dentro del módulo de procesamiento para mantener una temperatura ambiente constante alrededor de la tarjeta. El STKJ recibe una señal promedio de milivoltios desde una barra colectora de señales de termocuplas que miden temperaturas de escape, compensa y amplifica esta señal (0,0 a 6,5 voltios para 0° a 1300° F) (-18 a 704° C). La salida del pin 13 TMP p rovee una salida de 6,5 voltios a un miliamperio hacia un medidor analógico. La deflexión total del medidor de régimen (6,5 V = 1300° F (704° C) puede ajustarse con R86. Cada amplificador STKJ se abastece con su propio suministro de energía de 6,2 voltios para aislar las entradas de termocupla del control Speedtronic. El inversor recibe su potencia del suministro de energía de +28 V. La corrección de no proporcionalidad del termopar se logra dentro de la tarjeta STKJ.

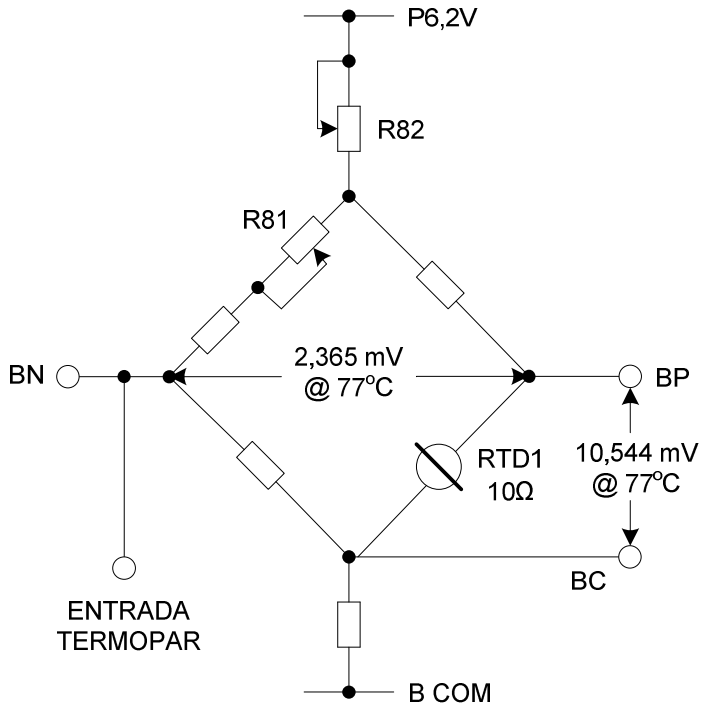

Fig. 2-20. Puente de compensación de entrada.

En la figura 2-21 se muestra el puente de compensación ubicado dentro de la tarjeta STKJ. Este puente de resistencias es alimentado desde un suministro de energía de +6,2 V aislado para separar aún más la entrada del termopar y permitir que el voltaje del puente (BP a BN) sea independiente de la señal del termopar. La no proporcionalidad del termopar es corregida a la salida del puente y amplificada dentro de la tarjeta STKJ.

La primera calibración del puente se logra insertando un termómetro (℉) en el orificio presente en la RTD para leer su temperatura ambiente. Una vez que se conoce la temperatura ambiente, el voltaje del puente y caída de voltaje RTD (BN a BC) pueden ajustarse con R81 y R82. A 77℉ (25℃), el v oltaje del puente se ajusta a 2,365 mV y el voltaje de RTD a 10,544 mV. Debido al cambio de resistencia de RTD con la temperatura, el voltaje del puente cambia 22,481 mV/℉ pues el termopar de “Cromo níquel-Alumel” (Ch-Al) también cambia en la misma proporción. El termopar

sensor externo es compensado por la unión de extremos fríos y la señal de entrada (BO a XCOM) permanece constante con el cambio de temperatura ambiente. Esta señal de entrada es, por lo tanto, la suma algebraica de la emf (fuerza electromotriz) del termopar y el voltaje del puente.

Para calibrar el sistema de control de temperatura, debe seguirse el procedimiento de calibración descrito en la especificación de control.

La salida de la tarjeta STKJ es un voltaje analógico proporcional a la temperatura de escape; ésta es la salida tomada de la tarjeta STKK. También se visualiza en un termómetro montado en el panel, cuyo ajuste de escala se hace con el potenciómetro R86.

2.2.5.2 Aplicación.

Esta tarjeta realiza la función de compensación de temperatura y amplificación de una señal de termocupla de Chromel – alumel. La señal amplificada debe ser de 0 a 6.5 V para 0℉ a 1300 ℉ medidos entre pin 17 (OUT) y 33 (SCOM). Esta señal puede ser mostrada como temperatura por un miliamperímetro digital o analógico conectado desde el pin 13 (M) con respecto a SCOM, siendo ajustable con R86 para el fondo de escala (6.5 V = 1300 ℉)

La compensación de termocupla es provista por RTD1, una resistencia de 10 Ω sensible a la temperatura, ubicado en un brazo del puente de entrada. Dicho puente se usa a la entrada para mantener estable la señal de la termocupla, previo a ser ingresada a la primera etapa de amplificación, la cual es de alta ganancia.

El puente es alimentado desde una fuente aislada de 6,2 VDC, para separar la señal de termocupla, y permitir al voltaje de puente (BP a BN) ser independiente de la emf de termocupla.

Para la calibración inicial del puente se inserta un termómetro en la carcasa del RTD para leer su temperatura ambiente. Una vez conocida esta temperatura, el voltaje del puente y el voltaje de RTD (BN a BC) puede ser calibrado con R81 y R82. A 25 ℃ el voltaje del puente debe fijarse en 2,365 mV y el voltaje RTD en 10,544 mV.

Debido al cambio de resistencia de la RTD con la temperatura, el voltaje de puente cambia 22,481 uV/℉. La señal proveniente de la ter mocupla también cambia 22,481 uV/℉. La señal de la termocupla es compensada con una "juntura fría" y la señal de entrada (BP a XCOM) permanece constante con los cambios de ambiente. La señal de entrada, la cual es la suma algebraica de la emf de termocupla y el voltaje de puente, pasa por un amplificador de ganancia 211,765 el cual entrega una salida analógica correspondiente a la temperatura.

La fuente aislada recibe el voltaje desde un inversor de onda cuadrada de 2.5 KHz. Esta onda cuadrada es luego rectificada para producir fuentes aisladas de +12V, -12V y +6,2V.

<u>Resumen de pines:</u>

Entradas:

CH+ (44) Entrada de la señal proveniente desde una termocupla de Chromel – alumel.

AL- (38)

Salidas:

OUT (17) Voltaje de salida, calibrado a 6.5V para 1300 ℉

M (13) Salida a un miliamperímetro analógico o digital usado como medidor. Ajustable mediante R86 para fondo de escala.

BP (49) Voltaje del puente, usado en la calibración inicial de la tarjeta

BN (46)

BC (47) Voltaje de RTD1, usado en la calibración inicial de la tarjeta y durante la operación de la misma.

POS (37) Salida de la primera etapa de amplificación. Máxima señal +6,3V

NEG (12) Salida de la segunda etapa de amplificación. Máxima señal -6.7V

COR (43) Salida del circuito de linealización de termocupla. 9.74V ± 0.4V para 0℉; 0V para 680 ℉ y mayores.

TEST (16) Salida del inversor de 2.5 KHz para las fuentes de poder aisladas de P12A, N12A, P6, 2V

Buses:

P28 máximo 60 mA de carga

P12 máxima carga 2 mA

N12 máxima carga 2 mA

En el presente capítulo se detallaron las diferentes funciones de estos sistemas; así como también, las funciones que cumplen las tarjetas objeto de estudio dentro de los diferentes sistemas del Speedtronic, describiendo sus principales características, y estructura.

En el siguiente capítulo se explica el diseño del sistema de prueba y calibración para dichas tarjetas; así como también los principales procedimientos de calibración que sigue el sistema implementado.

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN

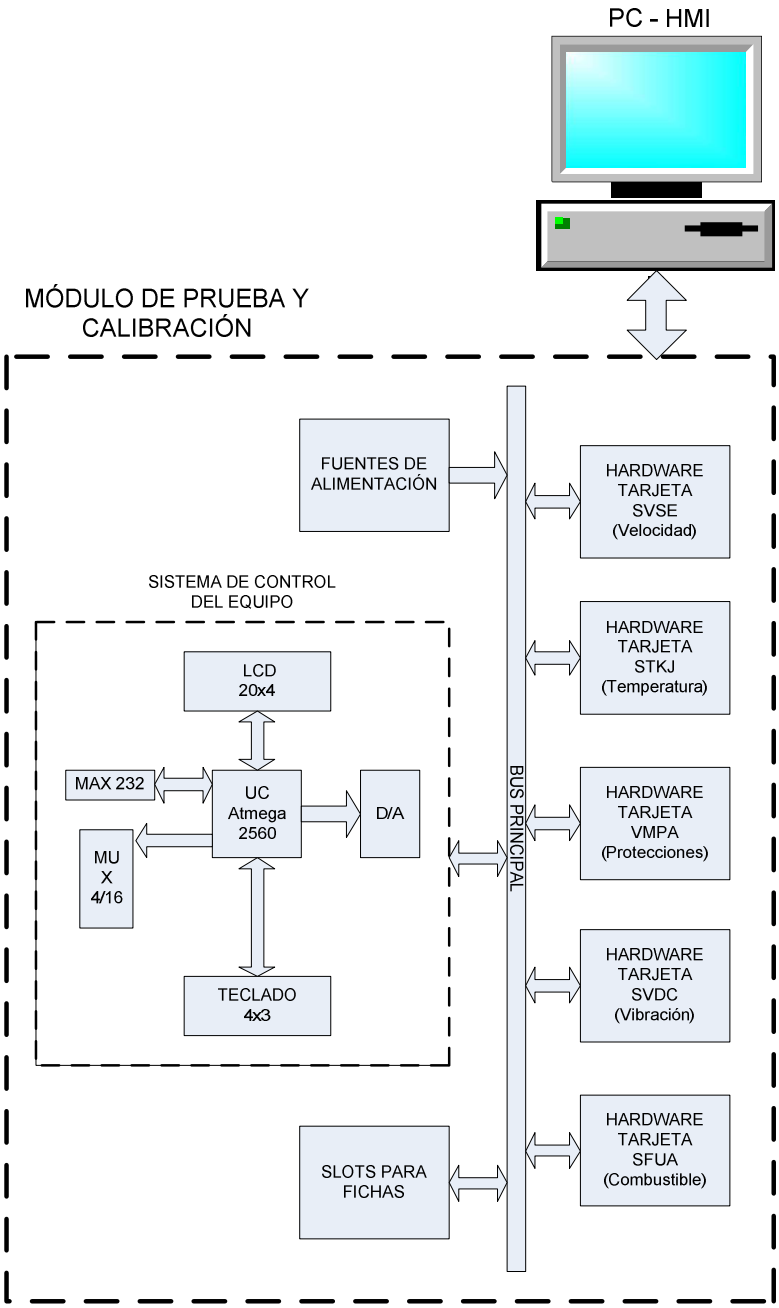

Fig. 3-1. Diagrama Básico Funcional del Equipo.

3.1 INTRODUCCIÓN

El sistema de control Speedtronic es el alma de las turbinas para servicio pesado General Electric MS 5001. Las funciones básicas de dicho sistema son: el control de arranque, control de velocidad, control de temperatura y sistemas protectores.

En el presente capítulo se estudia el diseño del módulo de prueba y calibración para cinco tarjetas que conforma el sistema de control de turbina Speedtronic; se inicia con la descripción teórica, pasa por el diseño y llega a la implementación de las partes que conforman dicho módulo.

Se detallan las fuentes de alimentación, el diseño de la tarjeta de control del módulo, sus principales componentes, continúa con la descripción del diseño del hardware de prueba y calibración para cada una de las tarjetas de control de turbina; así como también la lógica de programación de sus partes, hasta finalmente llegar al diseño de la interfaz hombre máquina del módulo desarrollada en LABVIEW.

3.2 FUENTES DE ALIMENTACIÓN

El equipo de prueba y calibración requiere varios tipos de fuentes; entre éstas, de voltaje para valores de +5V, +12V, -12V y +28V; las mismas que alimentan cada una de las tarjetas de control a ser calibradas y el sistema de control del módulo.

Para el efecto se utiliza el diseño común y característico de las fuentes de alimentación de voltaje, cuyo diagrama funcional se muestra en la siguiente figura:

Fig. 3-2. Diagrama funcional de la fuente de alimentación [5].

En la entrada, cuenta con un transformador robusto el cuál se consiguió en un local de reparación de equipos electrónicos; y que formaba parte de la fuente de un equipo de sonido marca Sony. Dicho transformador, cuenta en su primario con dos bobinas para una alimentación de red de 120 V ó 240 V; y en su secundario con 3 grupos de múltiples taps, de los cuales para la aplicación se utiliza dos bobinas de 15 V con su respectivo tap central (para las fuentes de 12 V positivo y 12 V negativo) y la bobina de 30 V (para la fuente de 28 V y de 5 V).

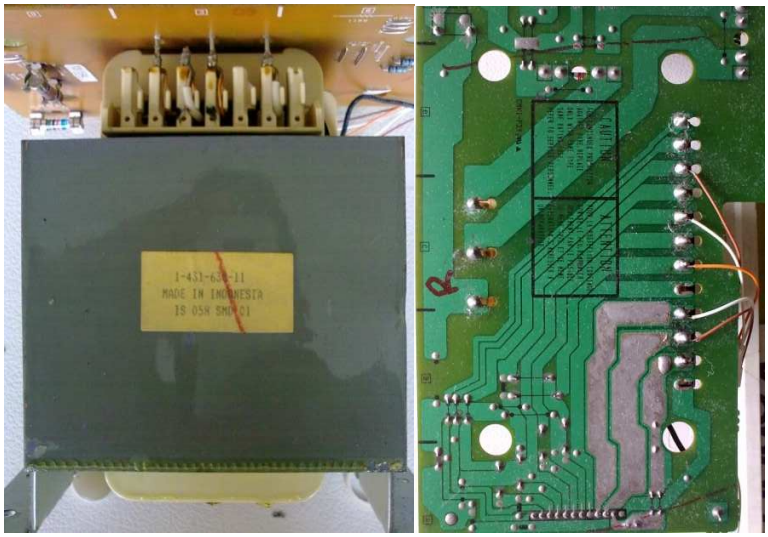

Fig. 3-3. Transformador utilizado en el proyecto.

Como puede apreciarse en la figura anterior, la placa de las fuentes que salen del transformador está montada en el mismo originalmente; por lo que se utiliza la propia forma para el proyecto.

Los rectificadores utilizados son los tipo puente que de igual forma, son los más comunes y se los encuentra en encapsulados muy versátiles y funcionales. El esquema circuital del funcionamiento del puente y la conexión de cada una de las bobinas, se muestra en el siguiente esquema:

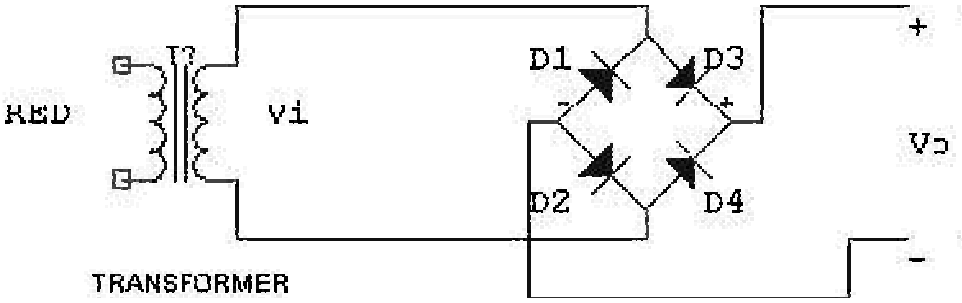

Fig. 3-4. Sistema de Rectificación [5].

Para el bloque de filtrado y regulación de voltaje, se utilizan capacitores en cascada para filtrar y reguladores 78XX para las fuentes positivas y 7912 para la fuente de 12 V negativa; cabe mencionar que debido a que no se encuentra en el mercado regulador de 28 V, se trabaja con un 7824 y se coloca un diodo zener de 3,9 V a 1 W entre el pin de referencia y tierra para obtener dicho voltaje; teniendo de esta manera una fuente bastante funcional y que opera dentro de los parámetros admitidos por el fabricante de las tarjetas de control. Para la fuente de 5 V se utiliza un regulador variable LM338K y se lo ajusta hasta conseguir el voltaje deseado. Las figuras muestran las configuraciones básicas para los voltajes tomados de una sola bobina; así como también para voltajes tomados de bobinas con múltiples taps:

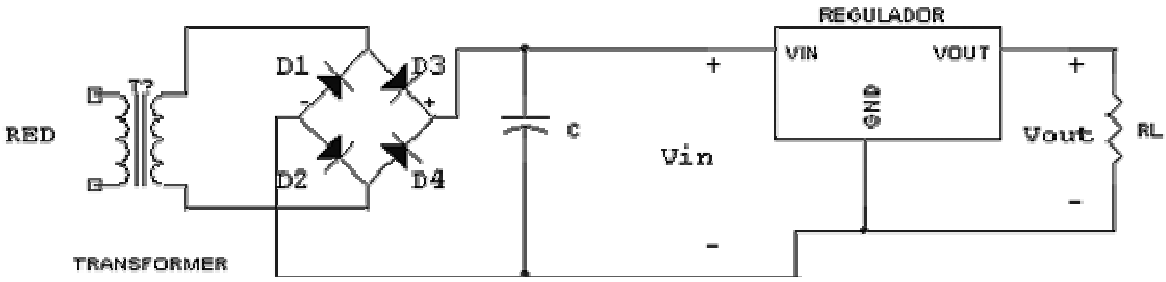

Fig. 3-5. Sistema de Rectificación, filtrado y regulación para una fuente [5].

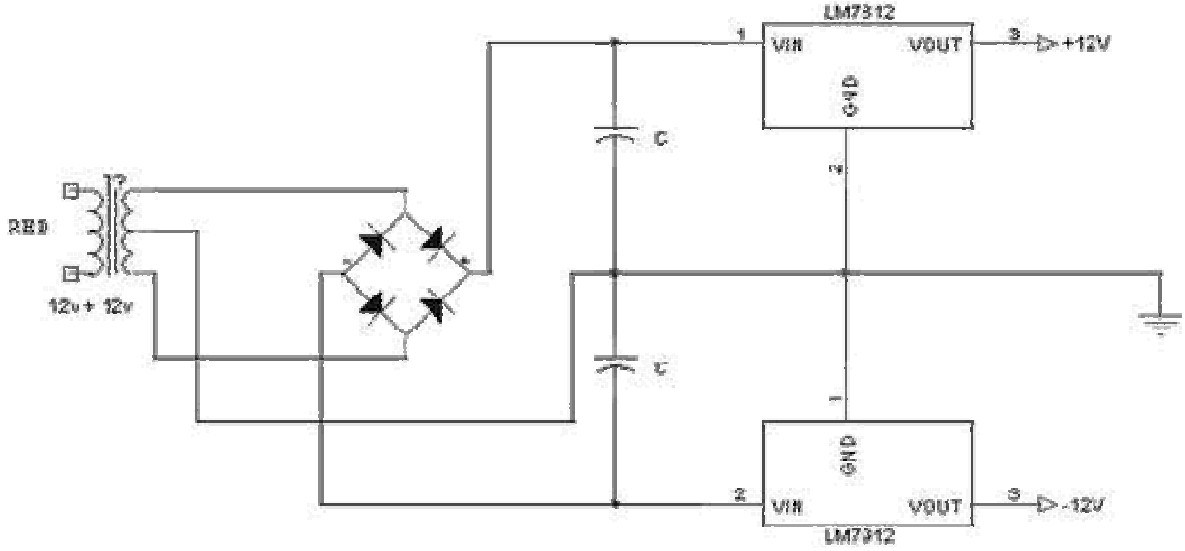

Fig. 3-6. Sistema de Rectificación, filtrado y regulación para dos fuentes [5].

A continuación se presenta el diagrama circuital del diseño total de las fuentes de alimentación utilizadas en el proyecto.

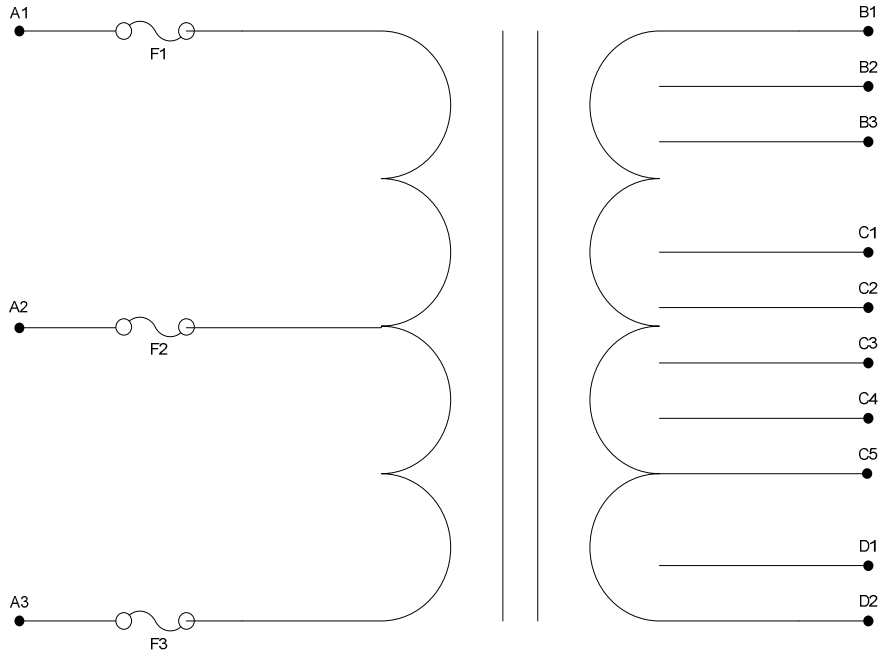

Fig. 3-7. Distribución de las bobinas del transformador.

Para las fuentes de alimentación se realizaron los cálculos aplicando las siguientes expresiones matemáticas:

Luego del análisis estimado de carga de las diferentes tarjetas de calibración y basados en los consumos de las tarjetas a ser calibradas descritas en el capítulo anterior; se llegó a determinar que la corriente requerida para las fuentes de +12V, -12V y 28V es de 1A; mientras que para la fuente de 5V es de aproximadamente 2A. El transformador usado tiene la capacidad de entregar 3 veces el requerimiento de corriente.

De lo expuesto anteriormente se dimensionan los puentes para 1,5A y para la fuente de 5V para 3A; y los fusibles se dimensionan de la siguiente manera:

$$I_{fusible} = I_{fuente\ +12V} + I_{fuente\ -12V} + I_{fuente\ 28V} + I_{fuente\ 5V} \tag{3.1}$$

$$I_{fusible} = 1{,}5A + 1{,}5A + 1{,}5A + 3A$$

$$I_{fusible} \approx 10A$$

Para calcular el valor de los filtros se utiliza la fórmula siguiente:

$$C = \frac{I}{2 * f * Vr} \tag{3.2}$$

Dónde:

C: Es la capacidad necesaria en faradios.

I: Es la corriente que consume en amperios.

f: Es la frecuencia de alimentación en hertzios.

2: Es un factor de corrección para la frecuencia de alimentación para una rectificación de onda completa.

Vr: Es el voltaje de rizado admisible a la salida del filtrado. Se asume 10%.

Para las fuentes de +/-12V:

$$C = \frac{1,5}{2 * 60 * 12 * 0,1} \approx 10000uF$$

Debido a esto se utilizan capacitores en cascada para llegar aproximadamente a la capacidad calculada; y a la salida del regulador se filtra nuevamente para eliminar el rizado remanente proveniente del regulador.

Para la fuente de 28V:

$$C = \frac{1,5}{2 * 60 * 28 * 0,1} \approx 4500uF$$

Por esa razón se utilizan capacitores en cascada para llegar aproximadamente a la capacidad calculada; y a la salida del regulador se filtra nuevamente para eliminar el rizado remanente proveniente del regulador.

Para la fuente de 5V:

$$C = \frac{2}{2 * 60 * 5 * 0,1} \approx 80000uF$$

Es por eso se utilizan capacitores en cascada para llegar aproximadamente a la capacidad calculada y en base a los datos calculados anteriormente; y a la salida del regulador se filtra nuevamente para eliminar el rizado remanente proveniente del regulador.

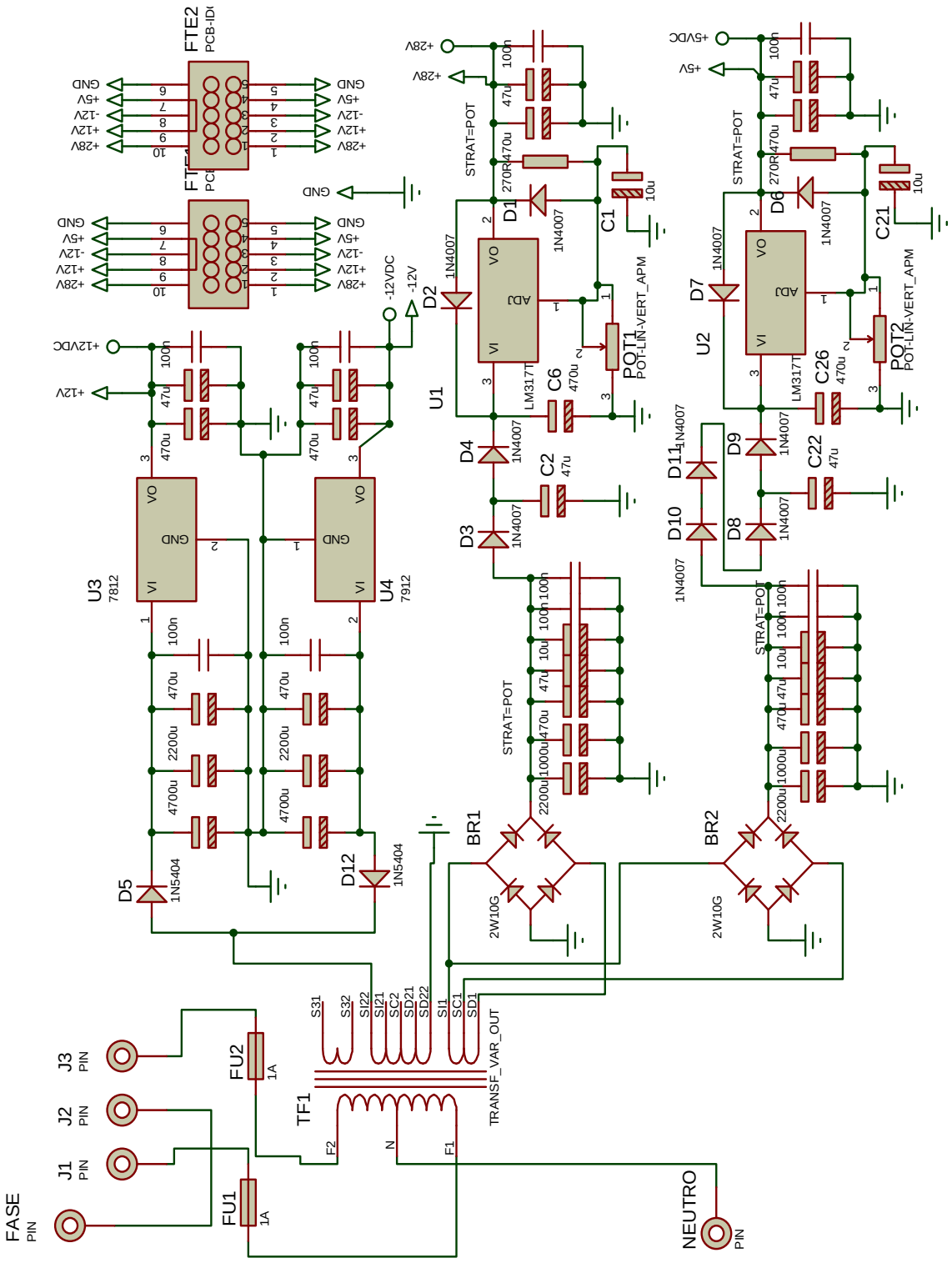

Fig. 3-8. Diseño total de las fuentes de alimentación del proyecto.

3.3 SISTEMA DE CONTROL DEL MÓDULO

Para el control y simulación de cada una de las acciones de las tarjetas de control, se utiliza el microcontrolador Atmega 2560 del tipo SMD (Surface Mount Device); el cual cuenta con 256K de memoria flash , 11 puertos multifuncionales de I/O, entre otras funciones que las podemos encontrar con mas detalle en sus hojas de datos, las cuales están en el anexo; así como también en el transcurso del trabajo mientras se lo necesita. Dicho microcontrolador se combina con una variedad de otros circuitos electrónicos para en conjunto dar la mayor funcionalidad y eficiencia al equipo.

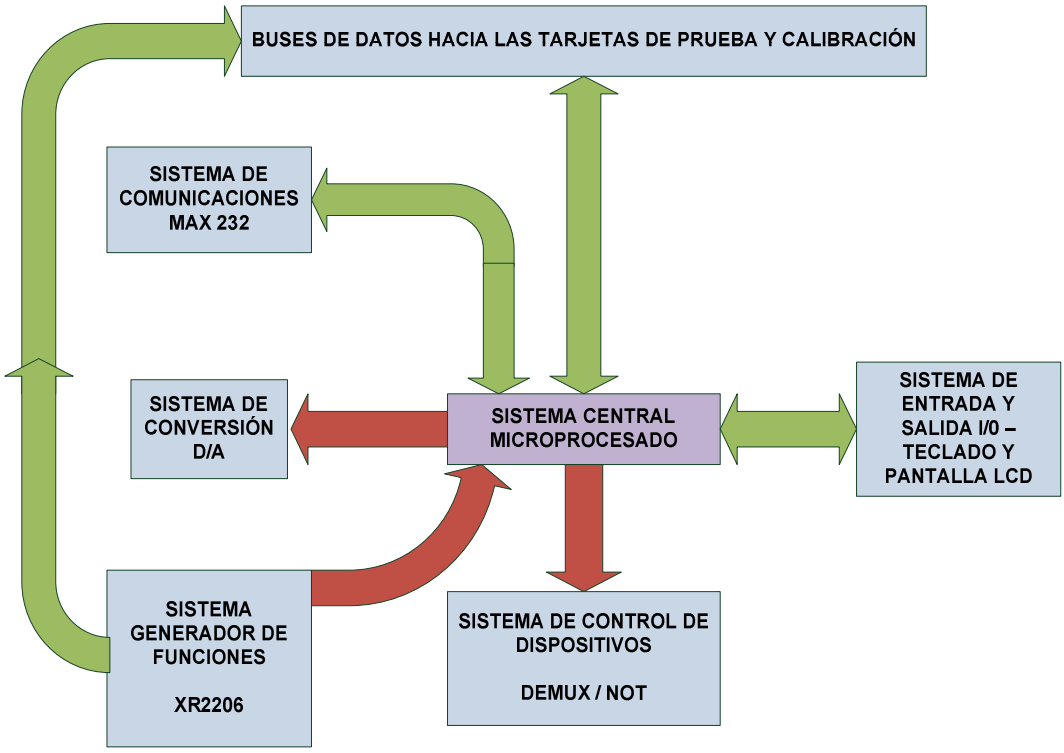

Fig. 3-9. Diagrama funcional del sistema de control del módulo.

Cabe mencionar que se decidió por este microcontrolador, porque el sistema debe quedar abierto para futuras ampliaciones; el mismo que funcionará con sólo 5 tarjetas de control, pero la variedad de tarjetas es muy amplia.

Fig. 3-10.MicrocontroladorAtmega 2560 [6]

El eje central del módulo de control es este microcontrolador con todas las funciones que brinda su versatilidad.

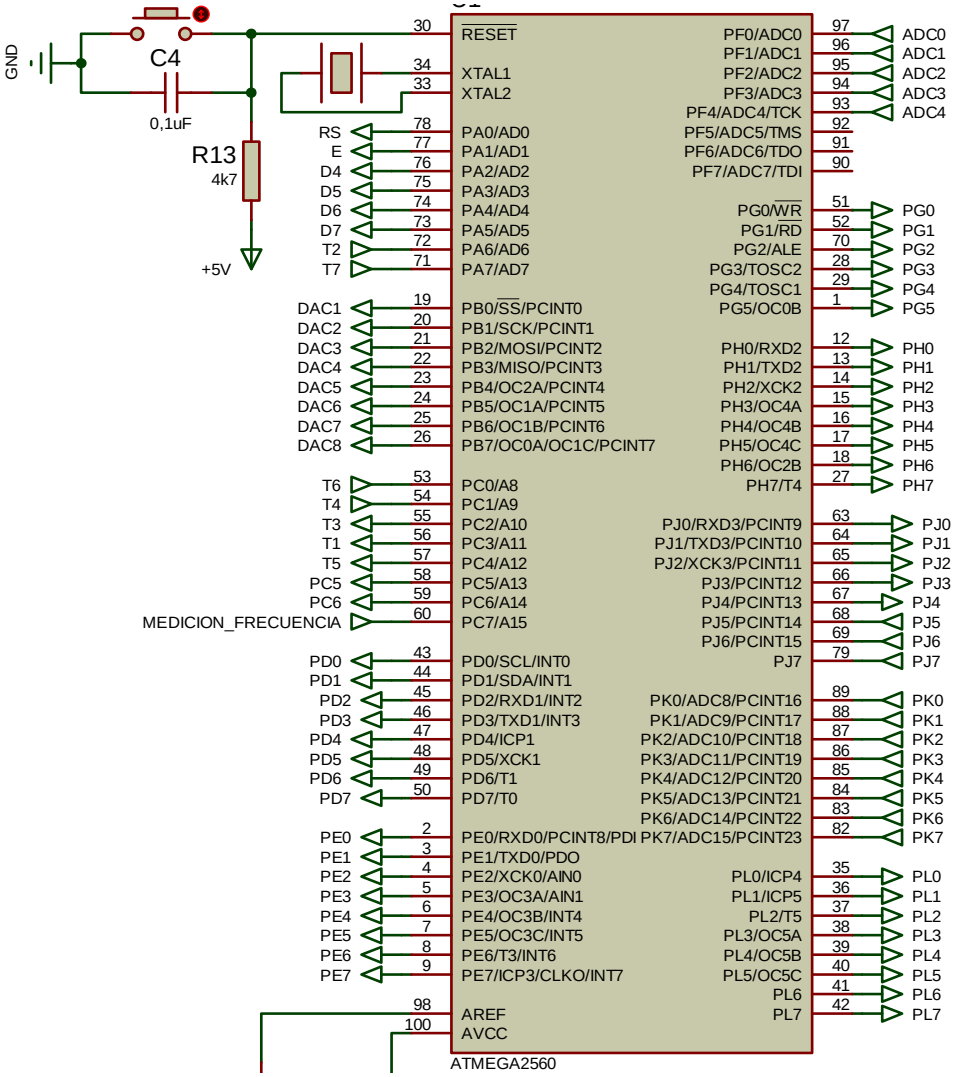

Fig. 3-11. Asignación de puertos del Atmega 2560.

La siguiente tabla muestra en resumen los recursos asignados al microcontrolador Atmega 2560.

RECURSOS	ASIGNACION
Puerto A	Pantalla LCD y parte del teclado.
Puerto B	Sistema de conversión digital - analógico.
Puerto C	Teclado y tarjetas, medidor de frecuencia.
Puerto D	Tarjeta SVDC, tarjeta SVSE.
Puerto E	Tarjeta SFUA, tarjeta STKJ.
Puerto F	Señales de conversión analógico - digital.
Puerto G	Control de Alimentaciones de tarjetas.
Puerto H	Control de Alimentaciones a tarjetas.
Puerto J	Tarjeta SVDC, tarjeta SVSE, tarjeta VMPA.
Puerto K	Tarjeta SFUA, tarjeta VMPA.
Puerto L	Tarjeta VMPA.

Tabla 3-1. Tabla de asignación de recursos del Microcontrolador.

La placa de control estará enlazada con las distintas placas de prueba y calibración por medio de buses y es necesario mencionar que las alimentaciones vendrán por medio del bus principal, que estará montado en la tarjeta de racks; y para todas las tarjetas a excepción de la de control, se trabajará con los pines de la tarjeta a ser probada o calibrada, que estarán montados en dicho bus.

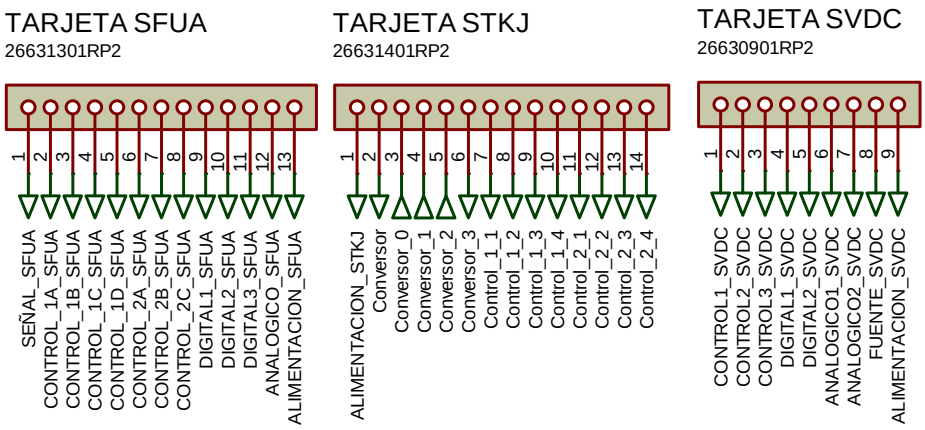

Fig. 3-12. Buses de control 1.

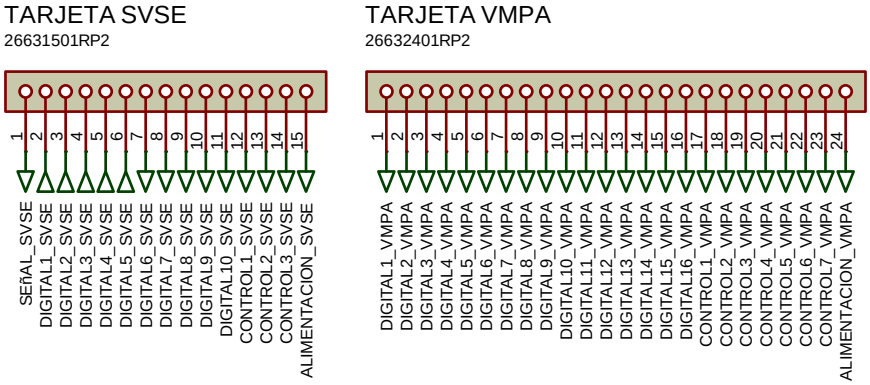

Fig. 3-13. Buses de control 2.

Como se puede notar, cada uno de los buses cuenta con un pin de alimentación el cuál será activado con el microcontrolador en base a la tarjeta a ser probada o calibrada; de esta manera, se inhibirá a las demás placas que pudieran afectar al sistema que esté trabajando en ese momento.

Además, se cuenta con el hardware que controla las alimentaciones de cada tarjeta ya que no todas trabajan con las misma fuentes, con las mismas tierras o incluso con los mismos pines de alimentación; el circuito que hace esta labor se detallará mas adelante.

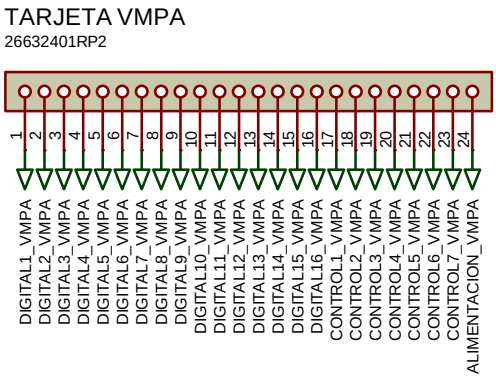

Fig. 3-14. Bus de asignación de alimentaciones.

3.3.1 SISTEMA DE ENTRADA/SALIDA DEL MÓDULO

Para la operabilidad y comunicación con el usuario, el sistema cuenta básicamente con un teclado de 12 pulsadores y un LCD de 4 líneas por 20 columnas; dependiendo de la tarjeta con la que se esté trabajando, se cuenta además con otros medios como por ejemplo luces indicadoras. Estos elementos E/S del sistema son controlados por el microcontrolador Atmega 2560.

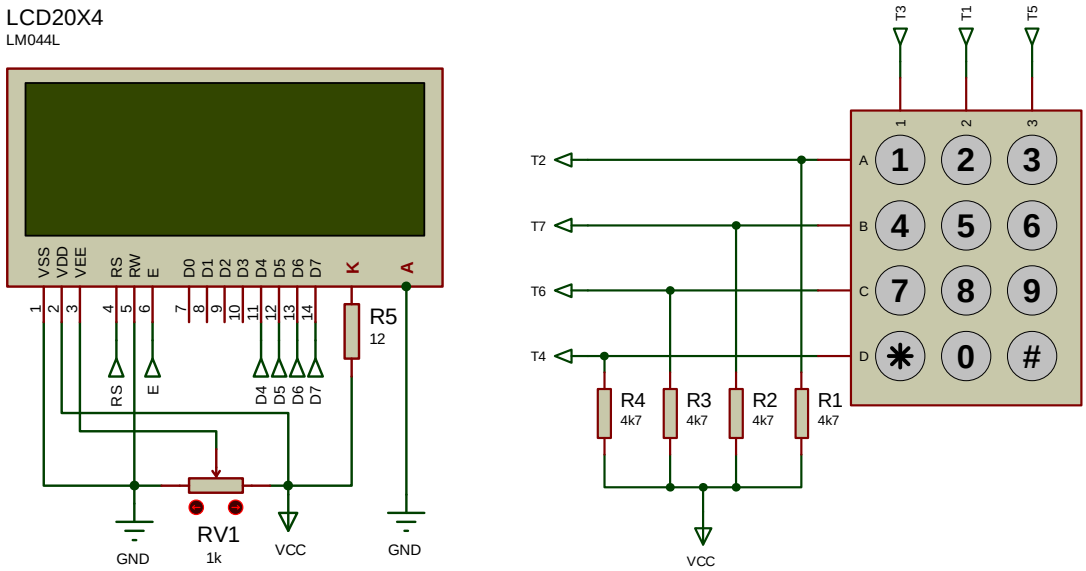

Fig. 3-15. Elementos de entrada y salida.

La interfaz mostrada en la LCD, da una presentación del Módulo de Prueba y Calibración, información acerca de los autores y finalmente el menú de opciones; en el cual el usuario puede escoger la tarjeta con la que se desea trabajar, e ingresa a un submenu que le dará la opción de prueba o calibración. Una vez ingresado a un modo determinado, el módulo mostrará en pantalla el estado tanto de prueba como de calibración con las principales variables involucradas en el mismo. Las siguientes imágenes detallan los mensajes desplegados en la LCD, tomados del simulador debido a que se los puede observar de mejor manera.

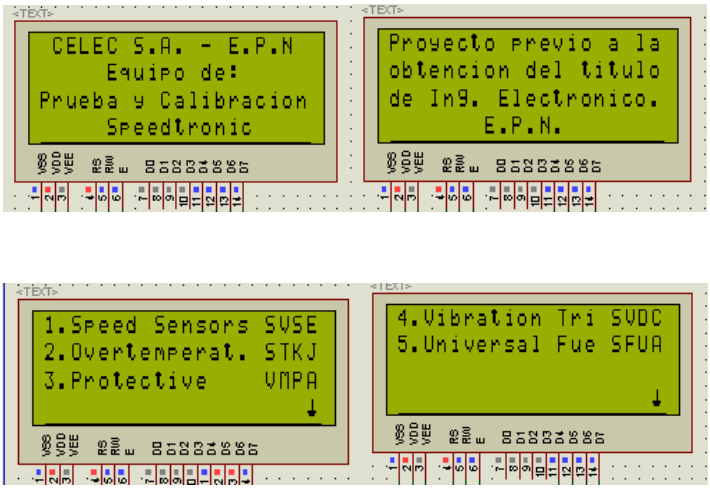

Fig. 3-16. Capturas de pantalla del menú principal.

3.3.2 SISTEMA DE CONVERSIÓN DIGITAL/ANALÓGICO IMPLEMENTADO.

En el control del módulo es necesario un sistema de conversión digital / analógico externo al microcontrolador, ya que éste no cuenta con uno; por lo que se implementó un circuito basado en el integrado DAC0808 con resolución de 8 bits.

Cabe mencionar que tanto para la fuente y voltaje de referencia del microcontrolador, así como también para la referencia del conversor se utiliza circuitos referencias de voltaje de la serie LT1019ACN8, para voltajes de 5 V y 10 V respectivamente. La configuración típica de las referencias de voltaje se muestra a continuación:

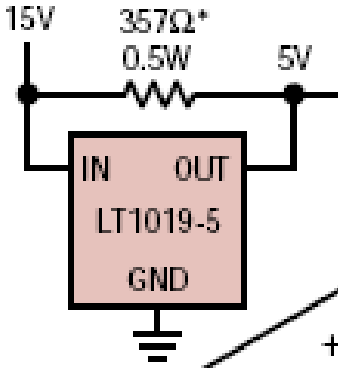

Fig. 3-17. Configuración básica de los reguladores de voltaje [7].

Para el circuito conversor digital / analógico, la configuración utilizada es la indicada en la figura; que se complementa con un amplificador operacional y el utilizado en el proyecto es el TL084CN. Además, las fuentes utilizadas en lugar de 15 V son las de 12 V; que previo a la consulta en las hojas de datos de los circuitos integrados se conoce que están dentro de los rangos recomendados por el fabricante para no afectar su correcto funcionamiento.

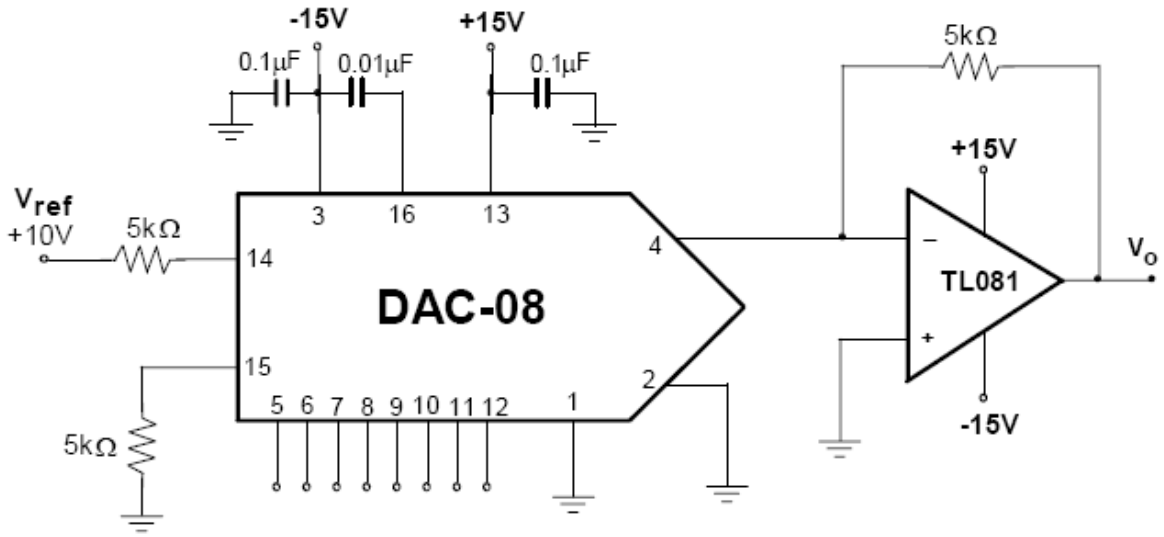

Fig. 3-18. Configuración del sistema D/A [8].

Para la implementación del conversor, se utiliza el DAC conectado a un circuito Latch de serie SN74LS373N, con el fin de aislar y dejar operativo el puerto del microcontrolador, y brindar alguna utilidad posterior en la ampliación del sistema.

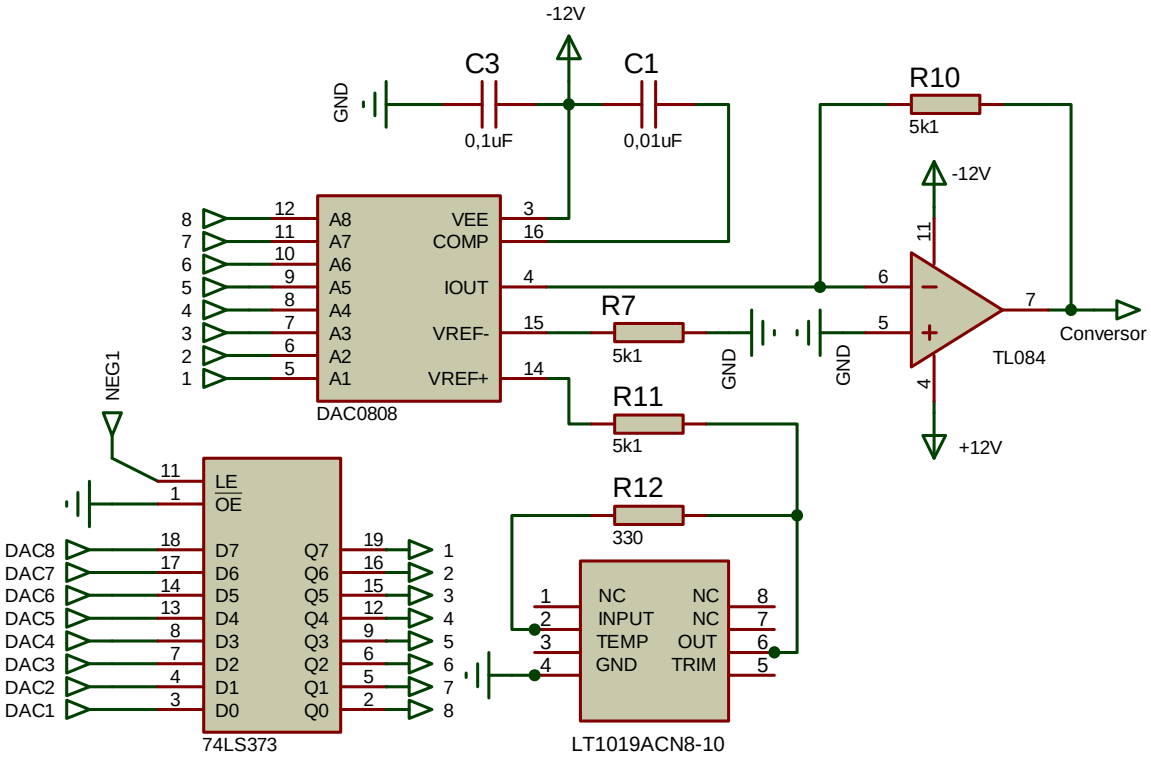

Fig. 3-19. Sistema D/A implementado.

Para el control de la habilitación y apagado de los distintos elementos, se utiliza un decodificador de 4 a 16 de la serie DM74LS154 combinado con una compuerta NOT dependiendo del tipo de control que se requiera para determinado circuito integrado.

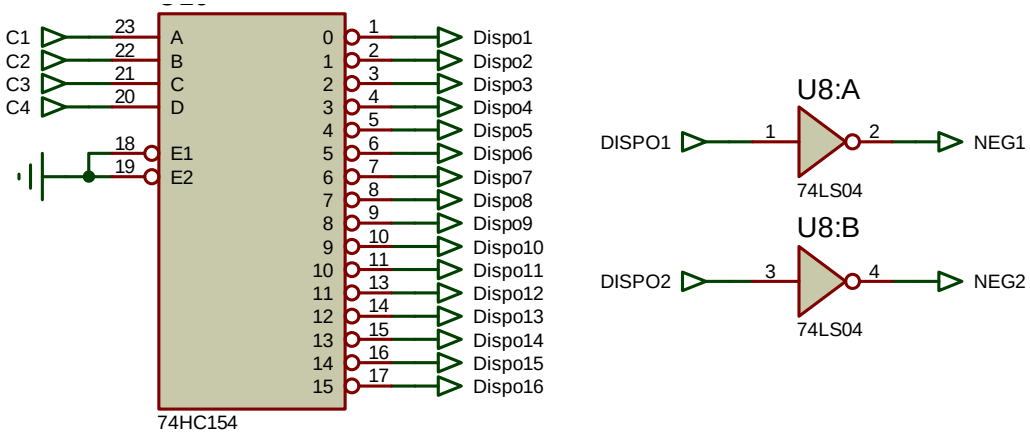

Fig. 3-20. Sistema de control de activación de dispositivos implementado.

3.3.3 SISTEMA DE GENERACIÓN DE SEÑAL SENOIDAL IMPLEMENTADO.

Al trabajar con las tarjetas de control de vibración SVDC y combustible SFUA, se requiere una fuente senoidal de voltaje y frecuencia variable; para lo cuál se emplea el circuito integrado XR – 2206.

El circuito integrado XR – 2206 es un generador de funciones capaz de producir varias formas de onda de alta calidad, pero para el proyecto únicamente se utiliza la senoidal; cuya señal simulará en determinado momento salida de sensores de vibración y de velocidad de flujo de combustible. El circuito mostrado a continuación representa todo el sistema acondicionado a las necesidades del proyecto partiendo de circuitos prácticos encontrados en la web y propios de su hoja de datos.

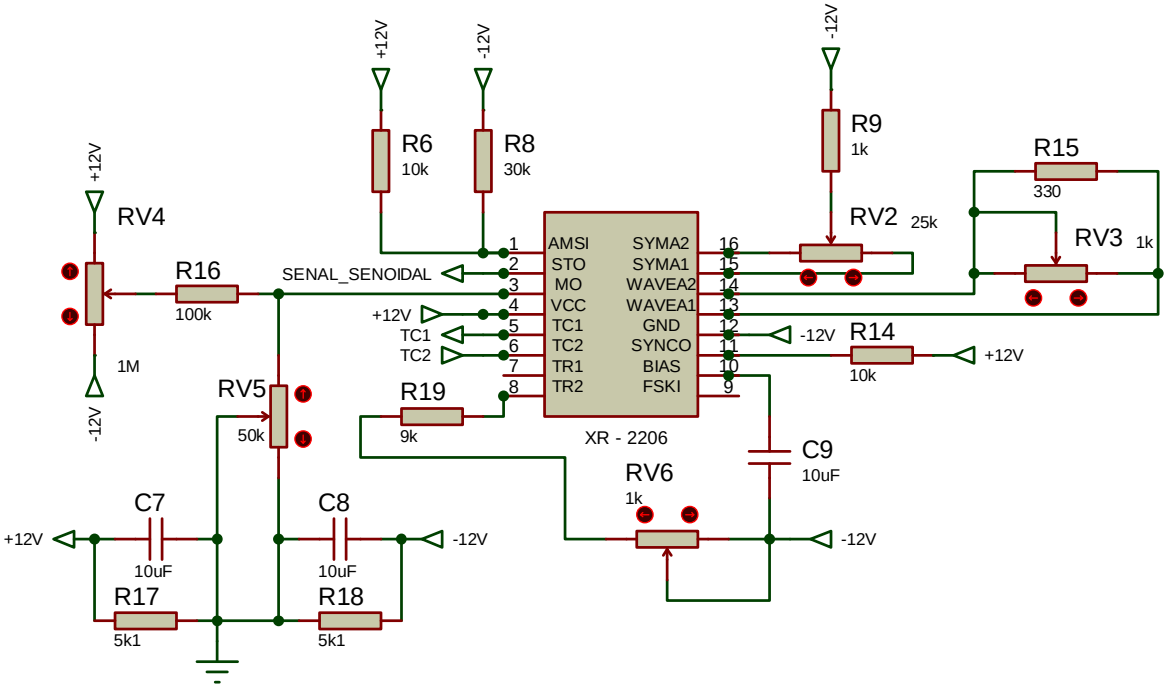

Fig. 3-21. Sistema de Generación de Señal Senoidal implementado.

El circuito es alimentado con una fuente simétrica de 12 V positivos y negativos, y consta de seis partes o controles básicos:

- La primera, consta de una entrada de modulación de amplitud que es el pin 1 y que no es necesaria para esta aplicación.

- La segunda consta de los rangos de frecuencia con los que trabaja el generador. En los pines TC1 y TC2 se utiliza dos capacitores, el uno de 0,1 uF para un rango de frecuencia del minimo hasta 100 Hz y el otro de 0,01 uF para el rango de frecuencia de 100 Hz a 10 KHz; con lo que se tiene todo el rango necesario para la aplicación. Cabe mencionar que para esta conmutación se utiliza un relé.

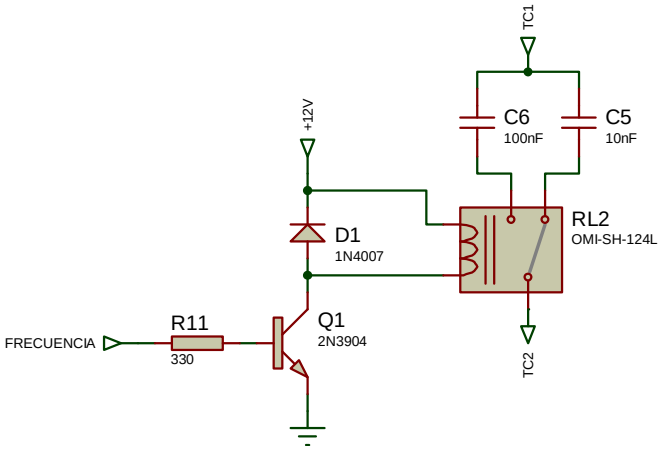

Fig. 3-22. Conmutación de frecuencia del generador senoidal implementado.

- La tercera consta del control de amplitud de la señal y del control de offset de la misma. Para el efecto se tiene la señal externa llevada al pin 3 que es el control de amplitud del circuito integrado, sumado a la componente de continua. Las referencias con los potenciómetros RV4 y RV5 describen el funcionamiento de esta parte. Como puede observase en el diagrama, en esta parte se toma la señal de las dos fuentes simétricas que a la vez tienen filtros para su correcto funcionamiento.

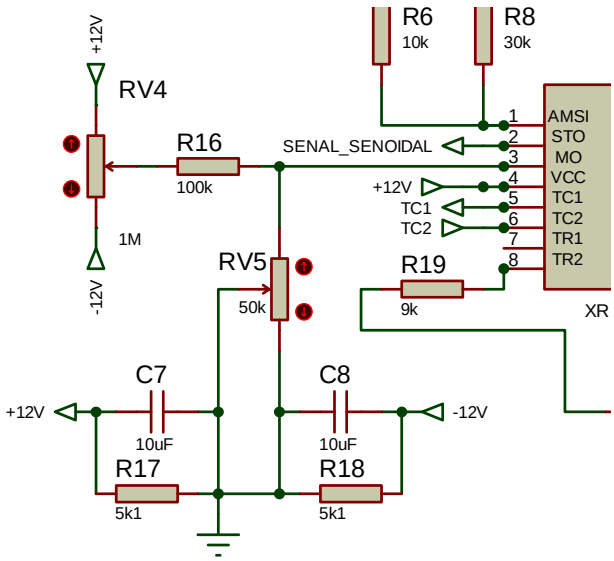

Fig. 3-23. Controles de amplitud y offset del generador implementado.

- La cuarta parte consta del control de frecuencia que mediante la variación del voltaje externo que es llevado al pin 7, cambia la frecuencia en los rangos determinados por el capacitor que esté funcionando en el momento.
- La quinta parte que es la comprendida entre el pin 13 y pin 14, tiene como función permitir calibrar la calidad de la señal senoidal.
- La sexta parte es la que permite ajustar la simetría de la onda para de esta manera, tener el funcionamiento óptimo del sistema.

A más de de lo expuesto anteriormente, el circuito tiene un hardware secundario cuyos valores recomienda el fabricante para el correcto funcionamiento del circuito integrado XR - 2206.

Para la medición de frecuencia por parte del microcontrolador, se utiliza el circuito detector de cruces por cero; de tal forma que entregue pulsos al canal de microcontrolador; mientras que éste mediante la utilización de la función PULSEIN, mide el tiempo del pulso en alto y con este dato el microcontrolador en base a su frecuencia de oscilación calcula la frecuencia externa medida.

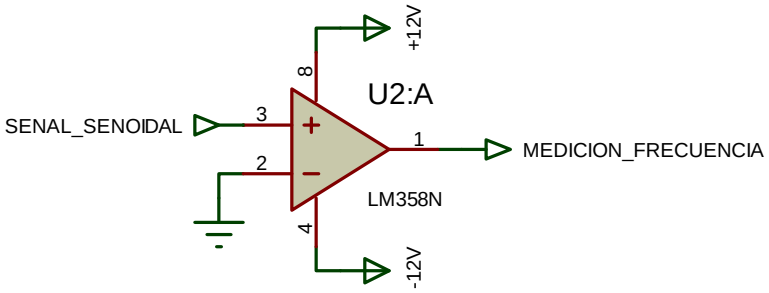

Fig. 3-24. Detector de cruces por cero.

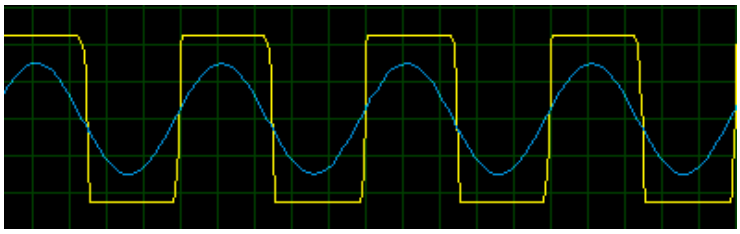

Fig. 3-25. Simulación de salida del detector de cruces por cero.

Para medir la amplitud de la señal senoidal, se utilizan dos circuitos: a) para la tarjeta SVDC se necesita amplitudes bajas del orden de los cientos de mV; por lo que se amplifica 15 veces con la relación de 15 a 1 de las resistencias del operaciones.

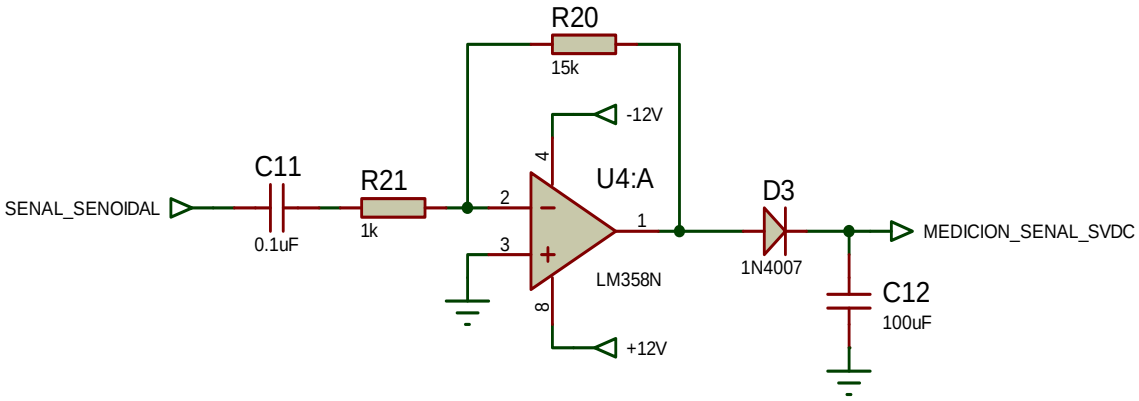

Fig. 3-26. Acoplamiento de la señal senoidal para ser medida por el microcontrolador - tarjeta SVDC.

b) La tarjeta SFUA, se trabaja con amplitudes del orden de las unidades de voltios; para lo que se utiliza un seguidor de voltaje.

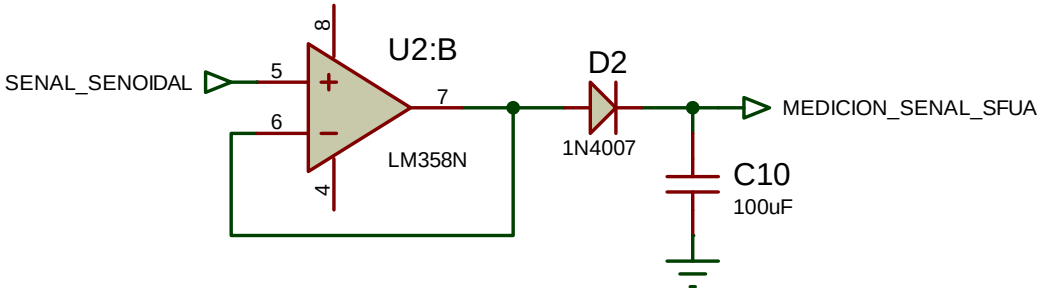

Fig. 3-27. Acoplamiento de la señal senoidal para ser medida por el microcontrolador – tarjeta SFUA.

Por lo expuesto, se adaptan en dos partes distintas las mediciones y se las hace pasar por un relé con el fin de separar las medidas que van al microcontrolador, ya que se utiliza el mismo canal para las dos.

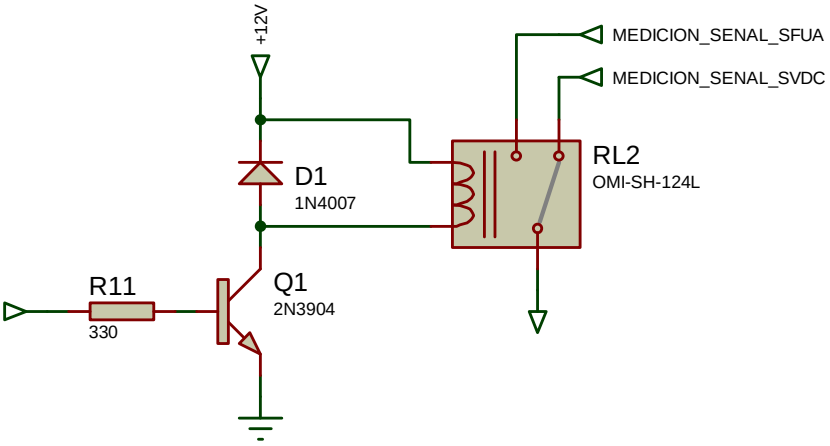

Fig. 3-28. Conmutación para medir la señal de la onda senoidal.

Las formas cómo el usuario necesitará establecer los valores de frecuencia y amplitud para determinada prueba o calibración; serán indicadas por el sistema a

través de la pantalla, guiando al usuario cuál perilla de control del módulo deberá girar.

3.3.4 SISTEMA DE COMUNICACIÓN CON LA PC.

Para la comunicación con la interfaz HMI desarrollada en LABVIEW, se utiliza el circuito integrado MAX 232 que es un acoplador de voltajes para USART; entre niveles TTL y RS-232; así como también la circuitería adicional recomendada por el fabricante para el correcto funcionamiento de este chip.

Para la comunicación física con el PC se requiere un cable UTP con conectores DB9 compatibles con el puerto serial de la PC de escritorio y con los adaptadores USB-SERIAL utilizados en las PC portátiles.
Además, se dispone de dos leds que mostrarán cuando el sistema esté transmitiendo o recibiendo datos desde o hacia la interfaz.

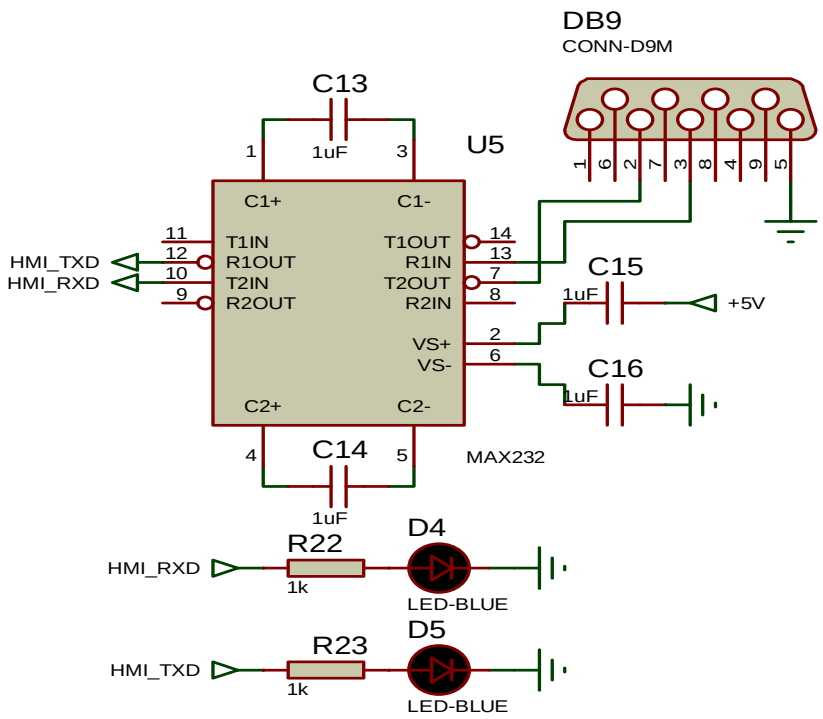

Fig. 3-29. Hardware de comunicaciones, módulo – PC.

A continuación se muestra los diagramas de flujo del programa para el sistema de I/O del módulo.

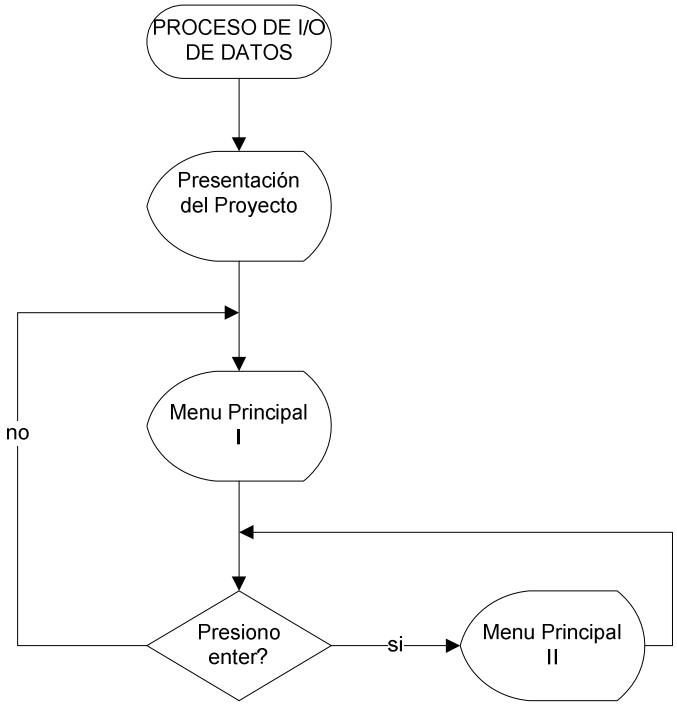

Fig. 3-30. Flujo de datos de la entrada y salida principal 1.

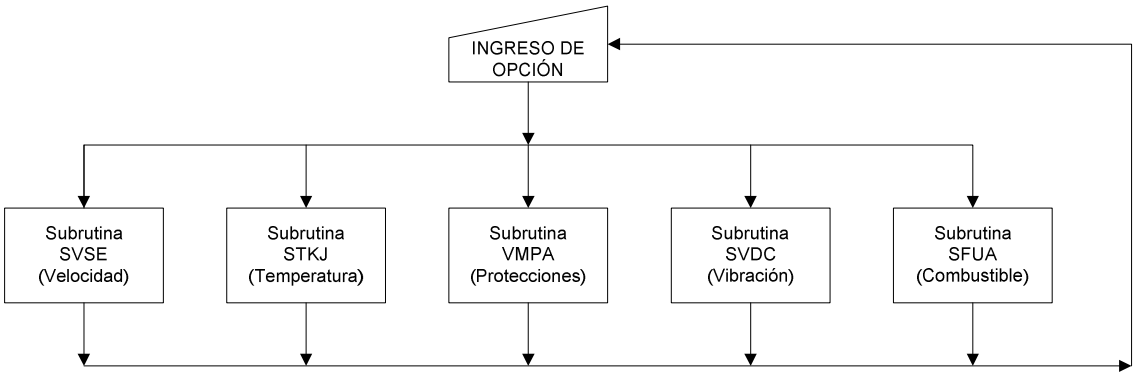

Fig. 3-31. Flujo de datos de la entrada y salida principal 2.

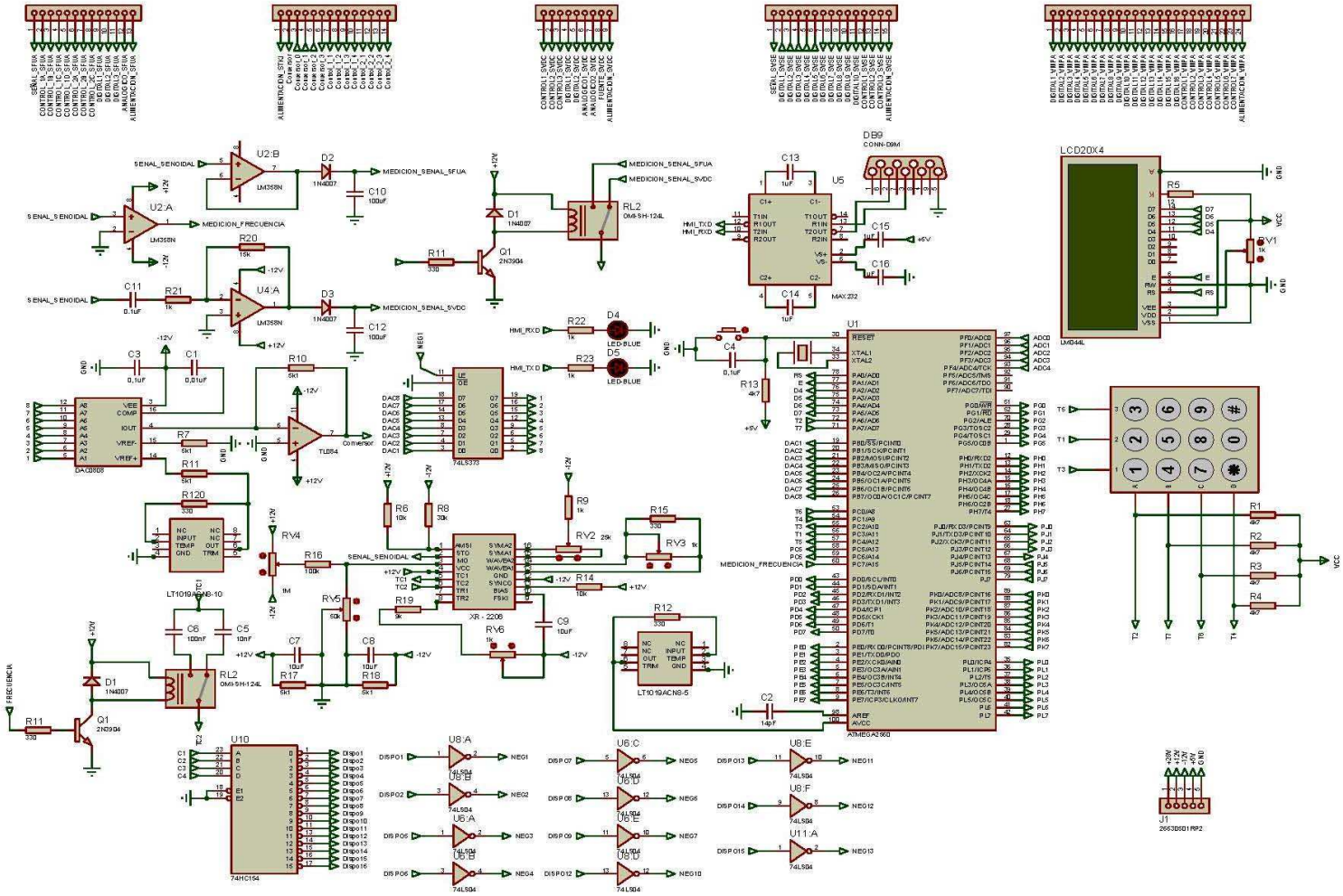

Fig 3-32. Circuito total de control.

3.4 SISTEMA DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN PARA LA TARJETA SVSE

El sistema de prueba y calibración implementado para esta tarjeta basa su funcionamiento en la simulación de velocidad de la turbina por medio de un rango de voltaje de 0 a 10 VDC, para el rango de velocidad de 0 a 5100 RPM respectivamente. De esta manera, según el relé sobre el cuál se trabaja, se ingresa señal que simule velocidad y se leen las diferentes salidas con el fin de determinar el correcto funcionamiento de la tarjeta, así como también su posterior calibración.

Para la simulación de la velocidad, se utiliza un sistema de conversión digital analógico y cuya señal viene por medio del bus principal del módulo desde la tarjeta de control, de tal forma que, mientras el sistema lo requiere éste automáticamente ingresa el voltaje adecuado para determinar la respuesta de la tarjeta.

Cabe mencionar que los canales del microcontrolador están unidos al módulo SVSE por medio del bus principal, y por medio de circuitos Latch y Buffer dados por los chips SN74LS373N y SN74LS244N respectivamente de la siguiente manera:

Entradas	**Puertos**	**Tarjeta SVSE**	**Pines**
SVSE0	PD0 – 43	HA, HS	37, 39
SVSE1	PD1 – 44	HA, HS	13, 14
SVSE2	PD4 – 47	HM, $\overline{HR}$	19, 34
SVSE3	PD5 – 48	$\overline{HM}$, HR	18, 32
SVSE4	PD6 – 49	$\overline{HA}$, $\overline{HS}$	38, 36
Salidas			
DAC1	PB0 – 19	$\overline{4}$	3
DAC2	PB1 – 20	VFD	31

DAC3	PB2 – 21	LED HM
DAC4	PB3 – 22	LED HA
DAC5	PB4 – 23	LED HS

Líneas de Control

NEG2

DISPO3

DISPO4

LEYENDA

HA	Relé de Velocidad Mínima.
HS	Relé de Velocidad de Funcionamiento.
HM	Relé de Aceleración.
HR	Relé de Velocidad Cero.
4	Arranque Normal.
VFD	Reglaje de Subfrecuencia ON/OFF.

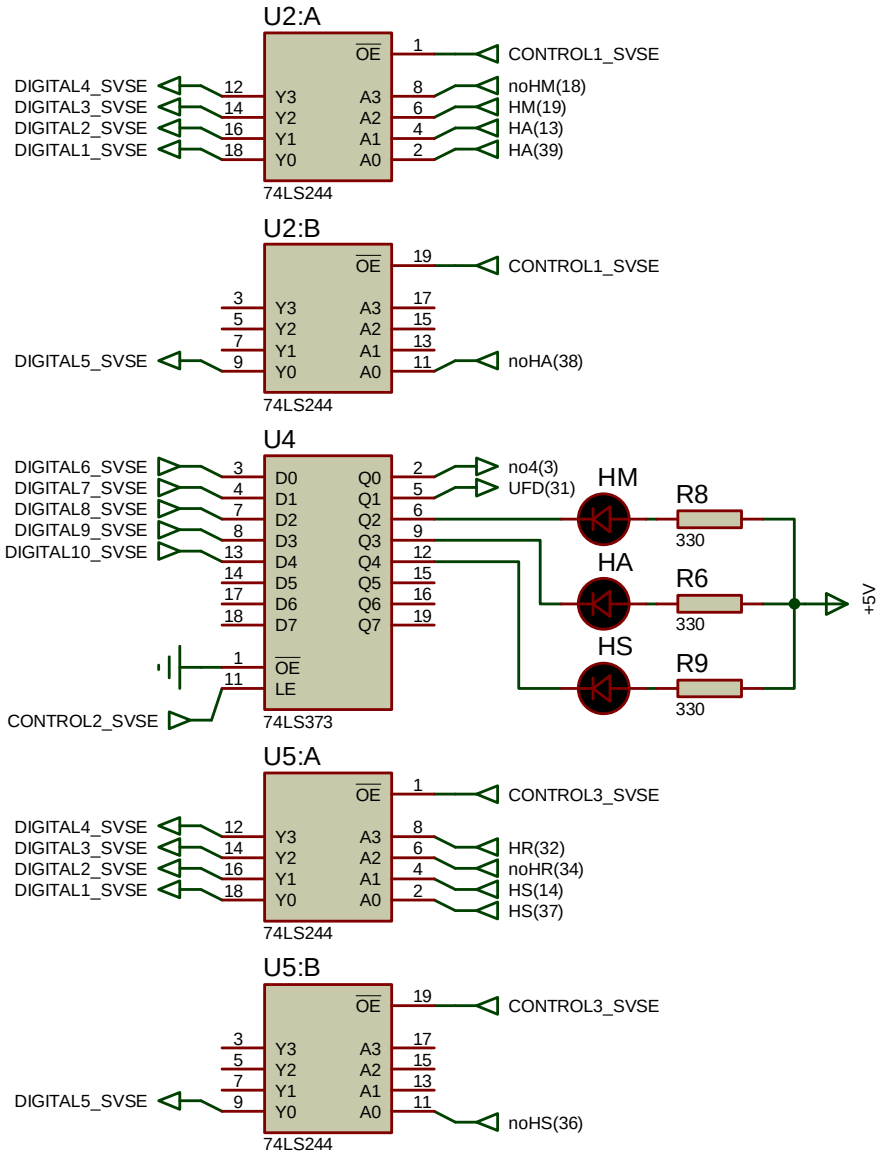

Fig. 3-33. Hardware de prueba y calibración de la tarjeta SVSE.

Además, esta placa cuenta con su relé de alimentación;

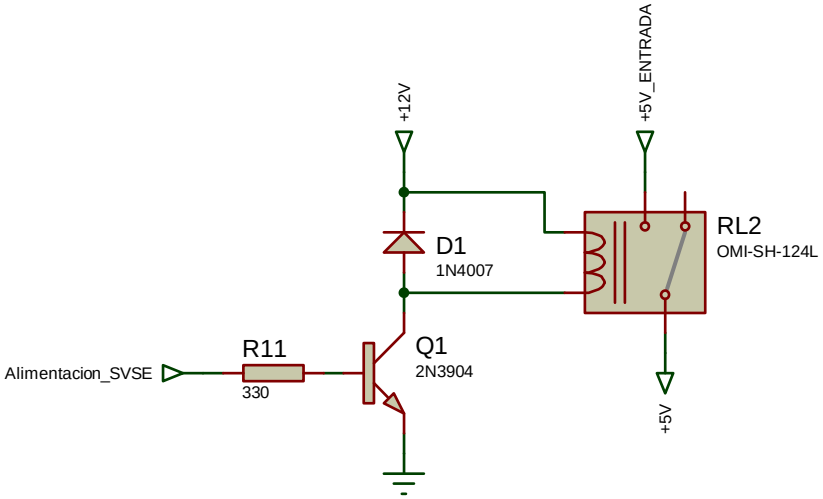

Fig. 3-34. Interruptor de alimentación tarjeta de prueba y calibración SVSE.

y con un relé de paso de señal de voltaje que simula velocidad con el fin de aislar la tarjeta de control del módulo, de la tarjeta SVSE y de esta manera cuando se ingrese otra tarjeta de control de turbina, no afecte su funcionamiento.

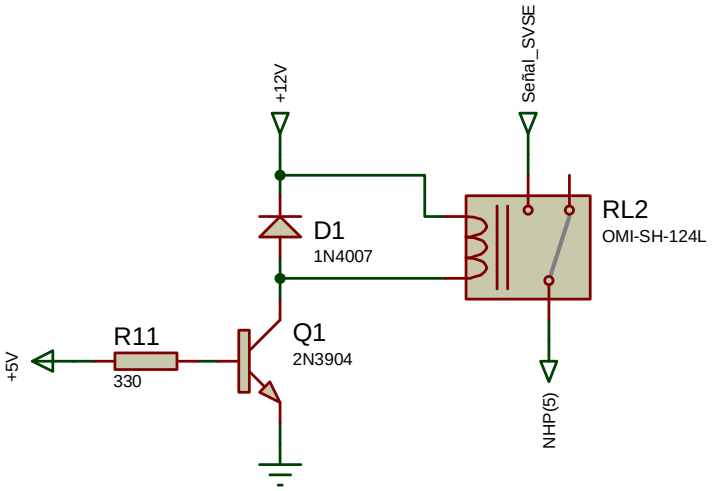

Fig. 3-35. Hardware de control y aislamiento de la señal para la tarjeta de prueba y calibración SVSE.

Finalmente, cuenta con su bus de control y por medio del rack con el bus común de alimentación y pines de las diferentes tarjetas de control de turbina.

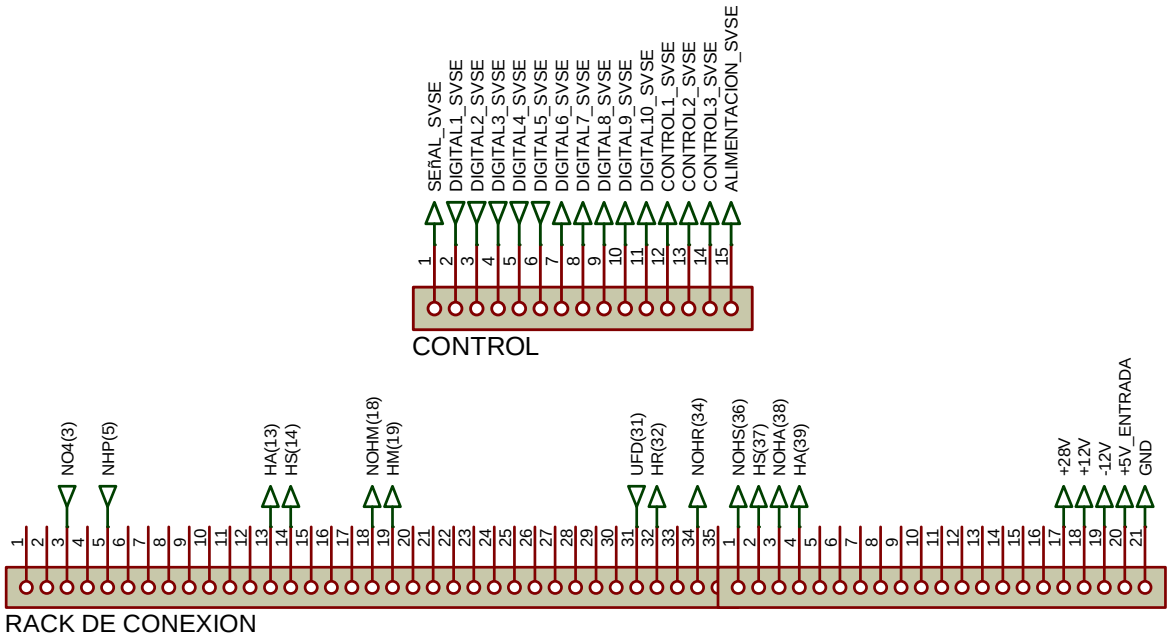

Fig. 3-36. Rack común de conexiones y bus principal de control de la tarjeta de prueba y calibración SVSE.

Para ingresar a los modos de operación de la tarjeta se utiliza el menú del sistema.

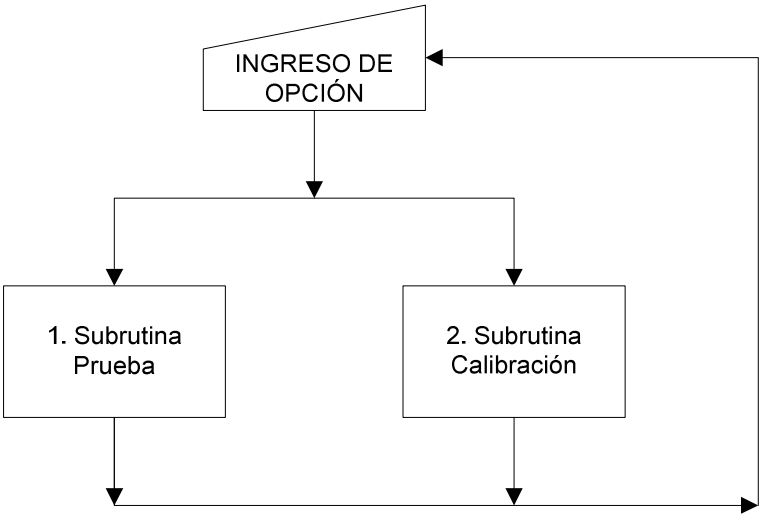

Fig. 3-37.Flujo de datos de opciones de la subrutina principal.

3.4.1 MODO PRUEBA

El sistema de visualización en la pantalla LCD da al usuario la opción de ingresar al modo prueba, en el cuál se realiza la simulación de todo el arranque de la turbina hasta llegar a su velocidad operativa; así como tambien, el proceso de parada de la turbina con el fin de monitorear las respuestas que se van dando en la tarjeta ante la señal de determinada velocidad. Cabe mencionar, que se hace la prueba de parada debido a que los relés tienen una ventana de histéresis para su enganche y posterior desenganche; por lo cuál es necesario determinar que dichos valores se encuentren dentro del rango de tolerancia y por supuesto su correcto funcionamiento.

El arranque de la turbina consta de cuatro pasos básicos:

1. Relé de aceleración (HM).- Este relé se engancha al 23% de la velocidad, es decir, alrededor de 1040 RPM (2,3V), su función principal junto con otras tarjetas es controlar el ingreso de combustible en las cámaras de la turbina por medio de ciertas válvulas; y su desenganche se da al 10% del valor de enganche. Esta activación de las distintas salidas de la tarjeta refleja el encendido de un indicador luminoso en el sistema, simulando de esta manera la realidad que tenemos en el panel de control de la turbina.

2. Relé de Velocidad Mínima (HA).- Este relé se engancha al 47% de la velocidad, es decir, alrededor de 2300 RPM (4,7V), su función principal junto con otras tarjetas es controlar el desenganche del motor Diesel que ayuda a vencer la inercia del eje de la turbina, y acompaña durante el arranque a la misma hasta este punto; y su desenganche se da al 75% del valor de

enganche. Al igual que el relé anterior, aquí también se tiene la respectiva señalización luminosa.

3. Relé de Velocidad de Funcionamiento (HS).- Este relé se engancha al 94% de la velocidad, es decir, alrededor de 4800 RPM (9,4V), su función principal junto con otras tarjetas es controlar el enganche de la turbina por medio del embrague mécanico al generador sincrónico; y su desenganche se da del 70% al 80% del valor de enganche. Al igual que los dos relés anteriores, aquí también se tiene la respectiva alarma luminosa.

4. Relé de Velocidad Cero (HR).- Este relé se engancha ante ausencia de impulsos que vienen directamente de los captores magnéticos que miden la velocidad de la turbina, es decir, en 0 RPM, su función principal junto con otras tarjetas es dar permisivos de arranque ya que no puede arrancar la máquina mientras no haya parado el eje de la turbina totalmente, en el sistema no se cuenta con alarma para esta prueba pero si se la considera en los resultados de funcionamiento.

En el modo prueba, el sistema ingresa señales de voltaje simulando velocidad, con el fin de determinar si la tarjeta responde ante dichas señales; si una de estas no existiera, el módulo dará el mensaje de tarjeta no funcional; caso contrario, se tiene el aviso de tarjeta funcional. Las alarmas correspondientes a cada relé de velocidad se irán encendiendo paulatinamente según se vayan simulando arranque y apagando, en la simulación de parada.

De esta manera, el usuario podrá tener una idea de el estado en el que se encuentra la tarjeta y las respectivas acciones a realizar posteriores a la prueba.

Las imágenes muestran visualizaciones del modo prueba en la pantalla LCD durante la simulación de velocidad de la turbina y los respectivos resultados.

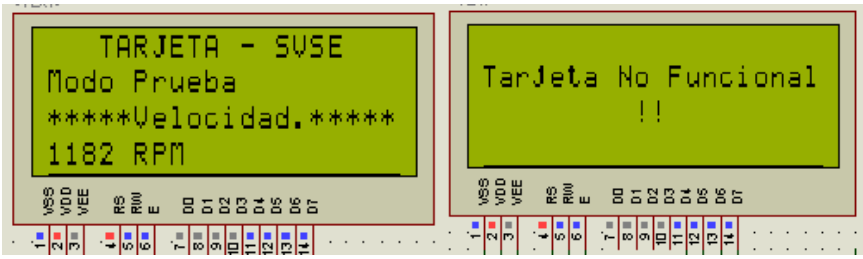

Fig. 3-38. Capturas de pantalla de inicio y final de prueba SVSE.

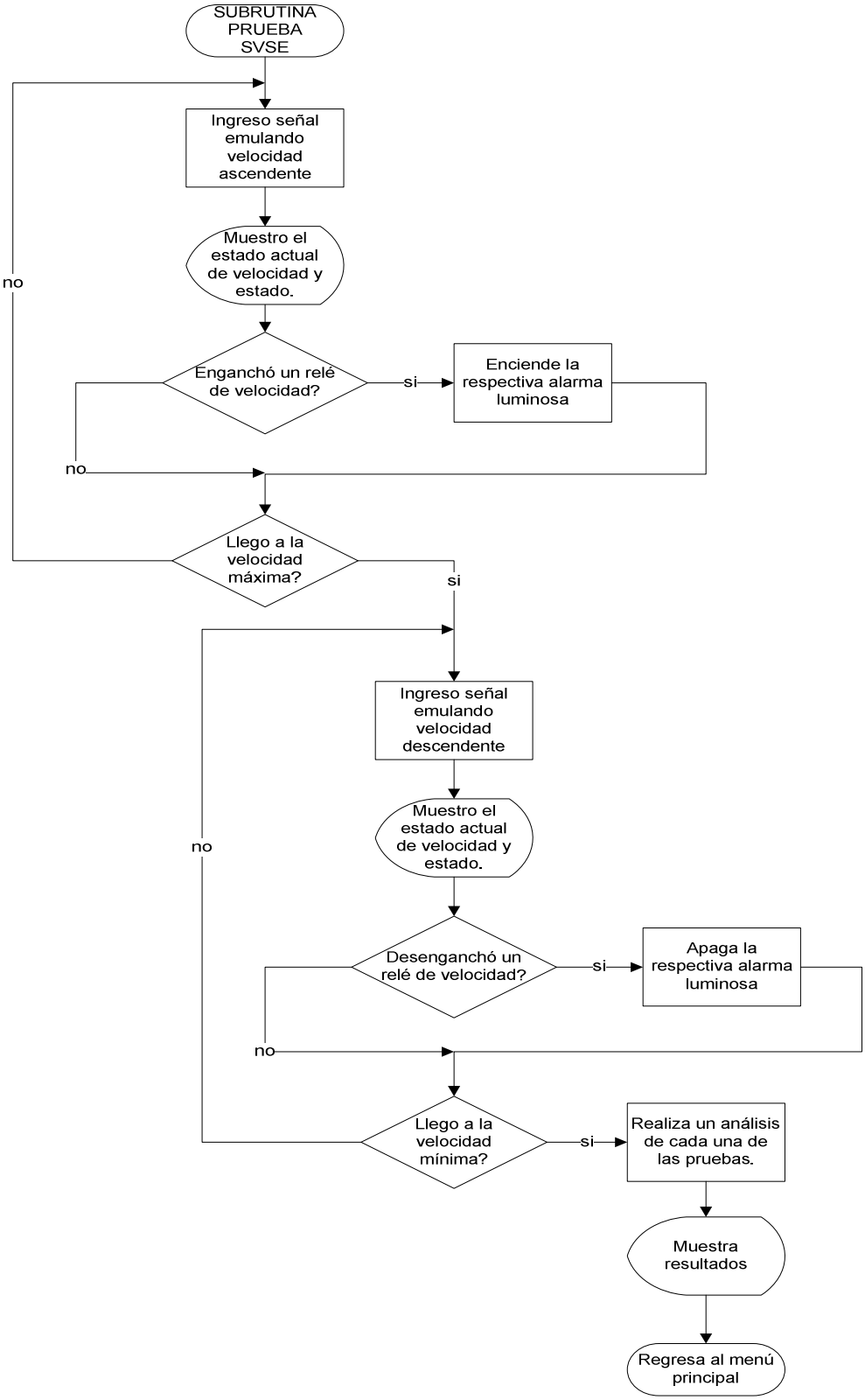

Fig. 3-39.Diagrama de flujo del modo prueba para la tarjeta SVSE.

3.4.2 MODO CALIBRACIÓN

En el modo calibración, el sistema realiza pruebas en cada uno de los relés de velocidad con el fin de calibrar el enganche de los mismos en valores recomendados en los manuales de mantenimiento. Para lo cual, se ingresa señal de voltaje en la tarjeta desde el conversor digital analógico y se censa los pines de salida, dependiendo de la prueba que estemos realizando, en base a los resultados sucesivos de la prueba, el sistema guia al usuario en el proceso de calibración proveyendo los pasos precisos para realizar el trabajo propuesto.

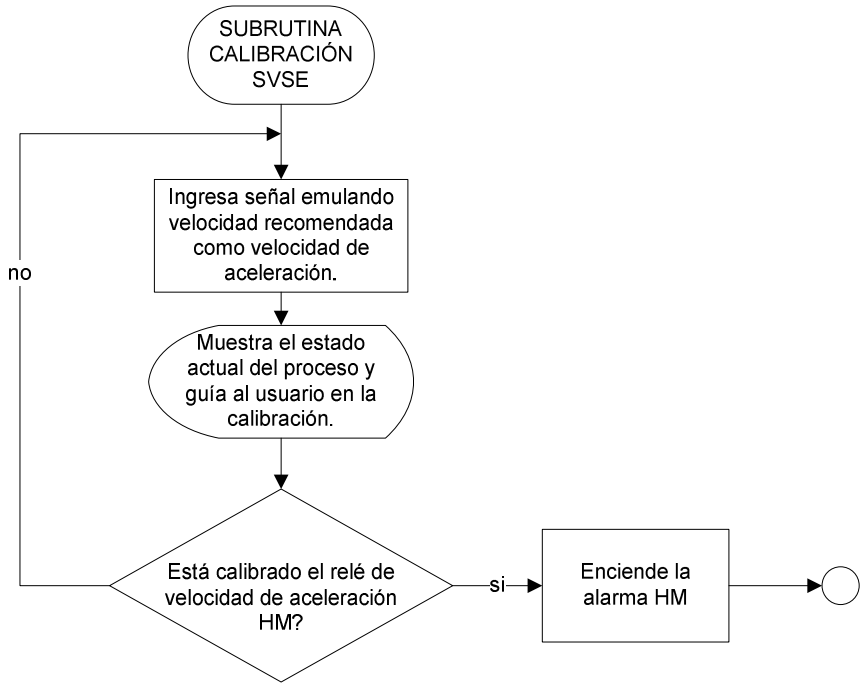

Fig. 3-40.Diagrama de flujo del modo calibración para la tarjeta SVSE 1.

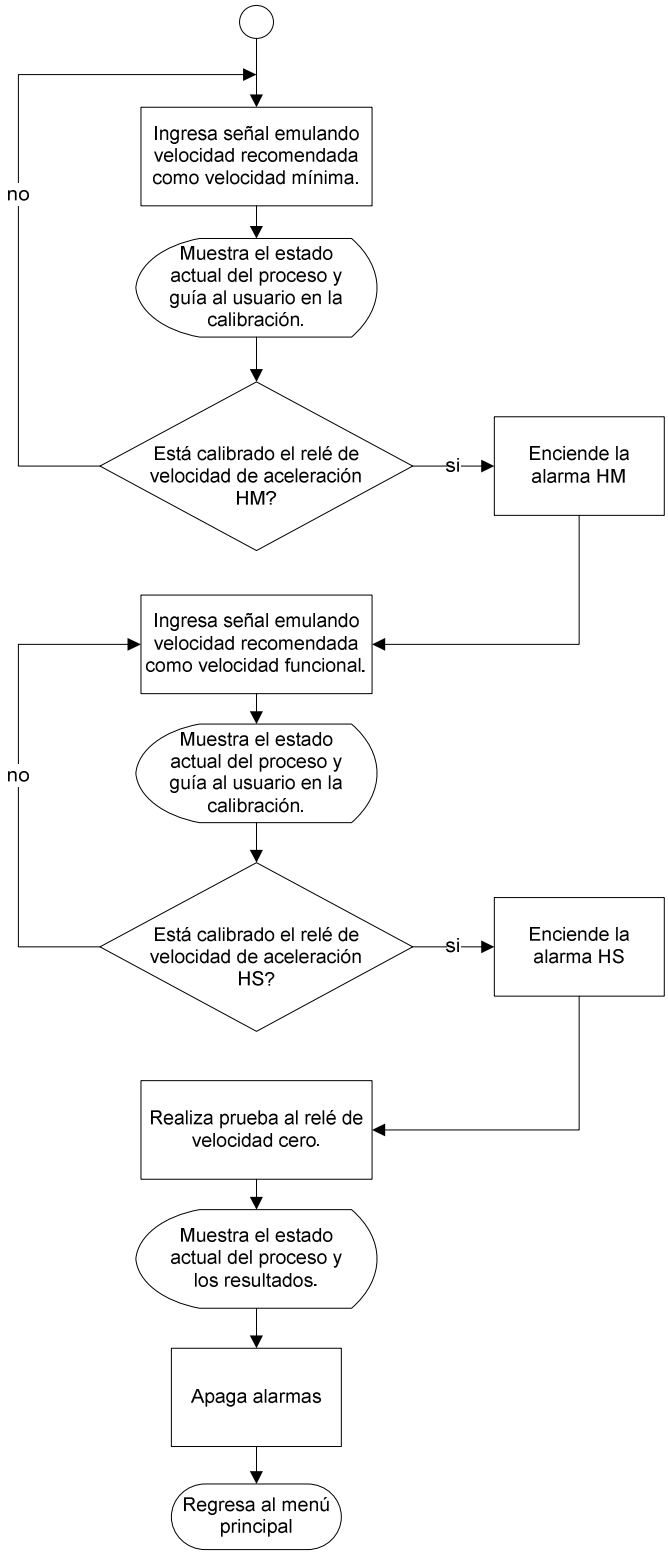

Fig. 3-41.Diagrama de flujo del modo calibración para la tarjeta SVSE 2.

3.5 SISTEMA DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN PARA LA TARJETA STKJ

El sistema de prueba y calibración implementado para esta tarjeta basa su funcionamiento en la simulación de las señales de temperatura de la turbina por medio de un rango de 14 mV a 26mV; de esta manera, según la temperatura sobre la cuál se trabaja, se ingresa la señal que simule temperatura y se leen las diferentes salidas con el fin de determinar el correcto funcionamiento de la tarjeta, así como también, su posterior calibración. Cabe mencionar que estas pruebas dependen de valores calculados mediante la utilización de expresiones matemáticas propias del sistema STKJ. En el sistema además se utilizan los multiplexores analógicos HCF4066B; los cuales cuentan con cuatro canales controlados.

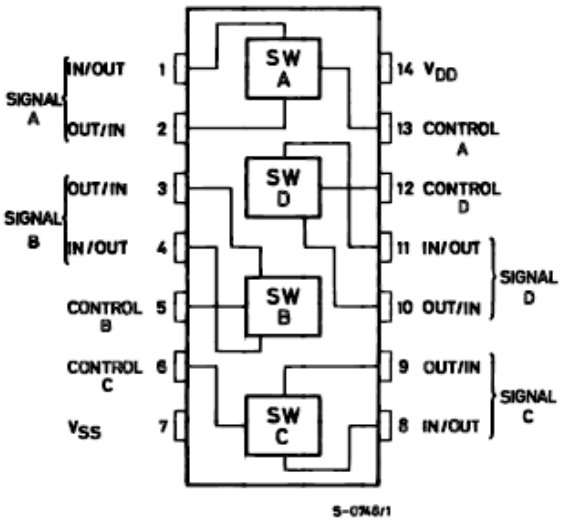

Fig. 3-42.Distribución de pines del chip HCF4066B [9].

Para las distintas pruebas, se utilizan algunas entradas analógicas del puerto F del microcontrolador en modo simple y diferencial; y las respectivas líneas de control para los multiplexores analógicos.

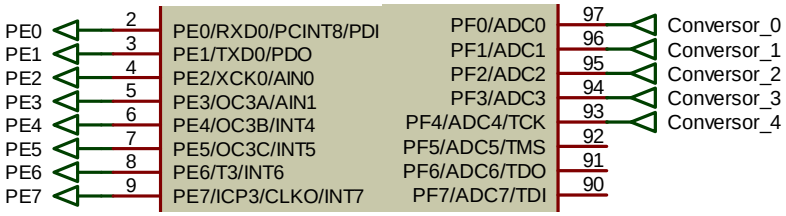

Fig. 3-43. Asignación de recursos del microcontrolador para la tarjeta de prueba y calibración STKJ.

Para la simulación de la temperatura, se utiliza un sistema de conversión digital analógico de forma que, mientras el procedimiento lo requiere, éste automáticamente ingresa el voltaje adecuado para determinar la respuesta de la tajeta; para el efecto, se combina el microcontrolador con el chip de conversión DAC0808 que es un conversor de ocho bits y que cuyas características se presentan en sus hojas de datos en la parte de anexos.

Para esta parte del sistema de conversión digital / analógico, se envían señales de voltaje, con el objetivo de que del divisor salgan los valores de 14,14mV y 25,92mV que son los extremos de calibración. Se utilizan potenciómetros para mejorar la precisión en lo posible.

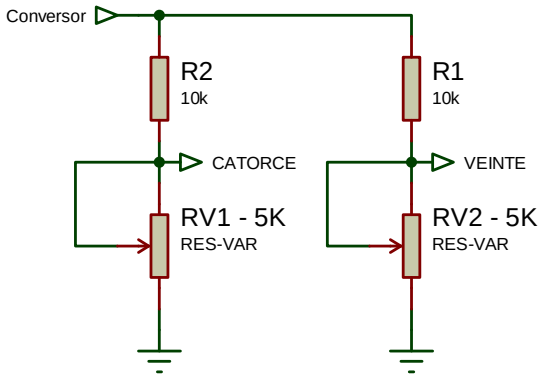

Fig. 3-44. Hardware de ajuste de señales de prueba para la tarjeta STKJ.

Luego, las señales son llevadas a los multiplexores analógicos para ser controladas por el microcontrolador y ser inyectadas a la tarjeta en el momento adecuado.

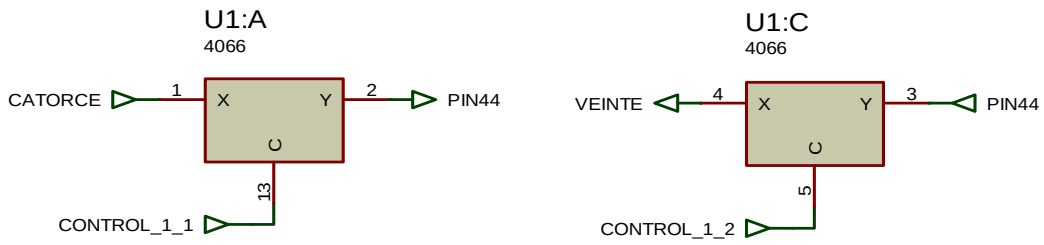

Fig. 3-45. Hardware de control y aislamiento de la señal simulada de temperatura entre la placa principal y la tarjeta STKJ.

Las primeras lecturas que realiza el sistema son de señales bajas, del orden de unidades de milivoltios y decenas de los mismos; por lo que, para procesarlas se utilizan amplificadores de instrumentación AD620 con el fin de tener en la entrada analógica del microcontrolador señales en el orden de los voltios.

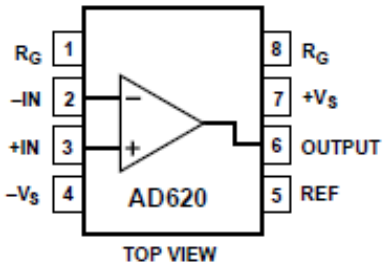

Fig. 3-46.Distribución de pines del chip AD620 [10].

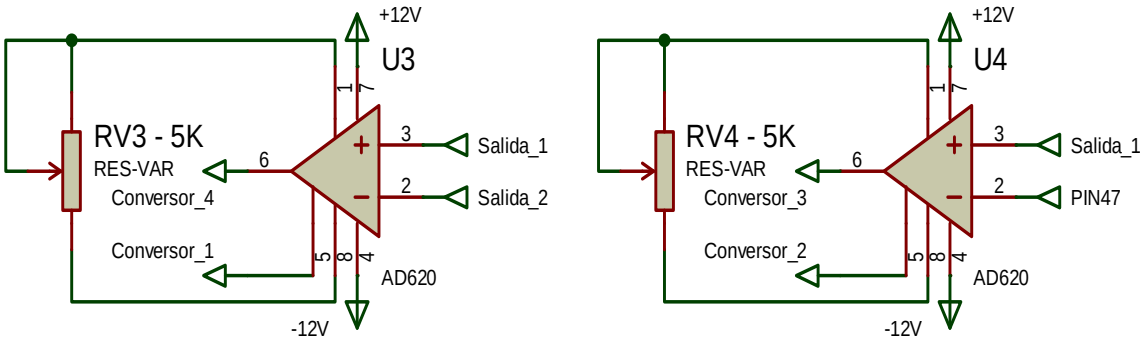

Fig. 3-47. Acoplamiento y amplificación de las señales de la tarjeta STKJ para ser medidas por el microcontrolador.

Previo a ser amplificadas, las señales provenientes de la tarjeta pasan por multiplexores analógicos con el fin de tener control sobre ellas, de la siguiente manera:

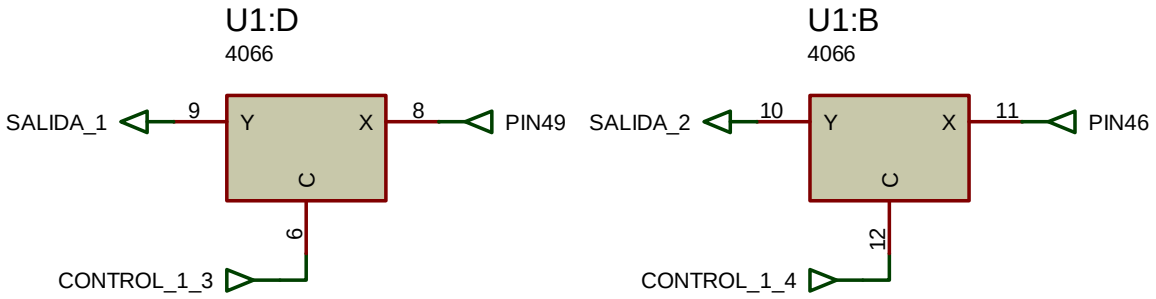

Fig. 3-48. Hardware de control y aislamiento de entradas y salidas entre la placa principal y la tarjeta STKJ.

En este punto, cabe mencionar que se encontró con problemas de ruido; por lo que luego de la etapa de amplificación, se procedió a utilizar filtros capacitivos luego de rectificar la señal en forma de media onda.

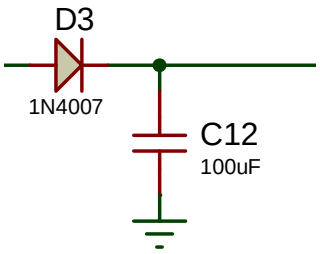

Fig. 3-49. Filtro utilizado para reducir el ruido de la señal de respuesta de la tarjeta STKJ.

Para el manejo de las tres últimas señales, se utilizan divisores de voltaje debido a que éstas, son de valores superiores a los 5V.

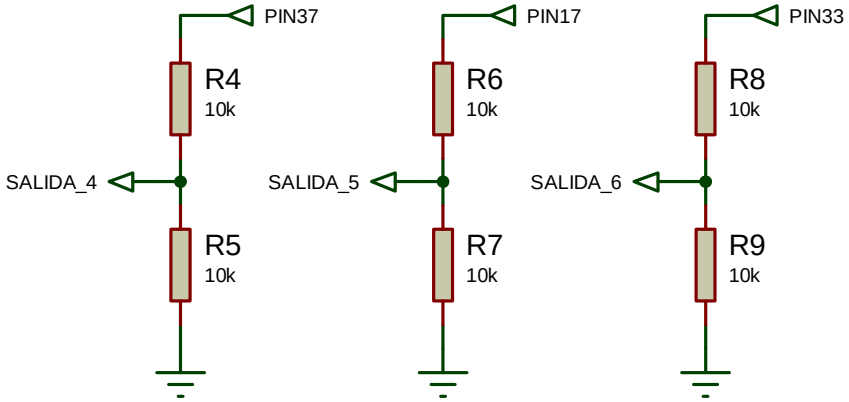

Fig. 3-50. Hardware de acoplamiento y división de señal de respuesta de la tarjeta STKJ.

Esta placa cuenta con su relé de alimentación;

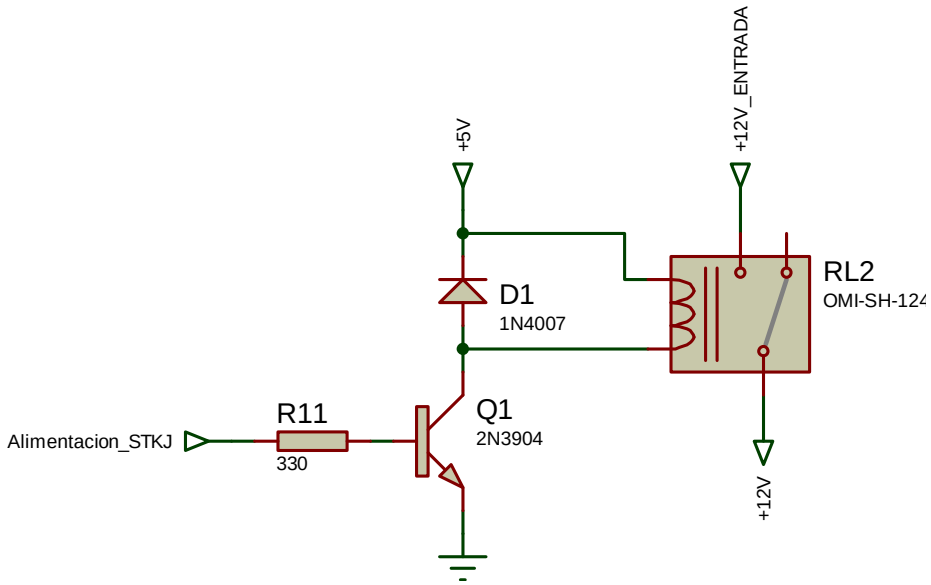

Fig. 3-51. Interruptor de alimentación tarjeta de prueba y calibración STKJ.

Finalmente, la planta tiene su bus de control y por medio del rack, con el bus común de alimentación y pines de las diferentes tarjetas de control de turbina.

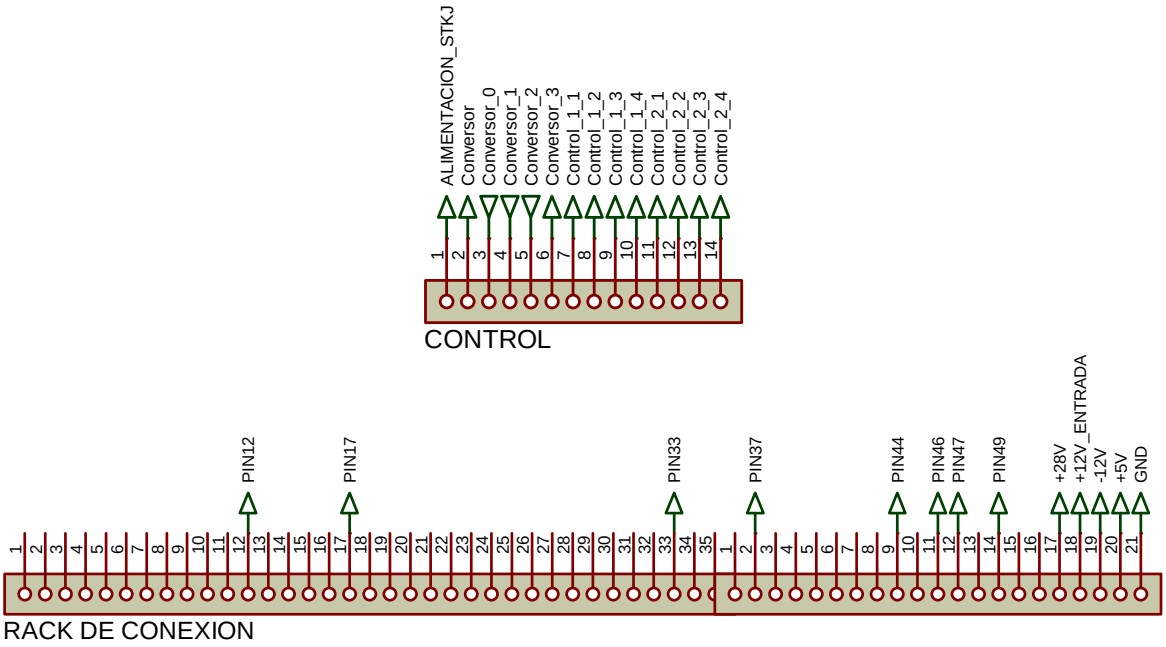

Fig. 3-52. Rack común de conexiones y bus principal de control de la tarjeta de prueba y calibración STKJ.

Para ingresar a los modos de operación de la tarjeta se utiliza el menú del sistema.

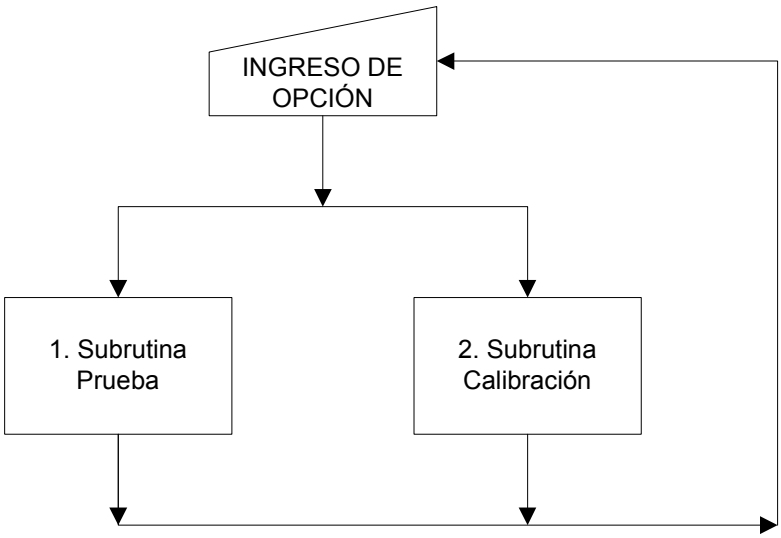

Fig. 3-53. Flujo de datos de opciones de la subrutina principal.

3.5.1 MODO PRUEBA

Primero se debe eperar a que la temperatura se establilice, y realizar los cálculos para encontrar los datos a comparar y con estos, se calculan los límites para dar rangos de acción, y finalmente se mide la señal de milivoltios que simula la temperatura, y se la compara con los valores calculados previamente.

Luego se ingresan señales de milivoltios emulando temperatura, y se mide cada una de las salidas en la tarjeta. Todos los pines de prueba pasan por los switchs analógicos controlados.

La idea fundamental de este modo, es determinar si existe respuesta ante una señal establecida, sin importar en qué rango está dicha señal; ya que en el modo de calibración, se trabajará sobre estos valores directamente y más detenidamente.

Cabe mencionar, que para esta tarjeta, se va expresando paulatinamente el resultado de cada una de las pruebas, determinando el lugar de la posible falla en el hardware, de ser éste el problema.

Las siguientes imágenes muestran partes de la operación del modo prueba para la tarjeta de temperatura.

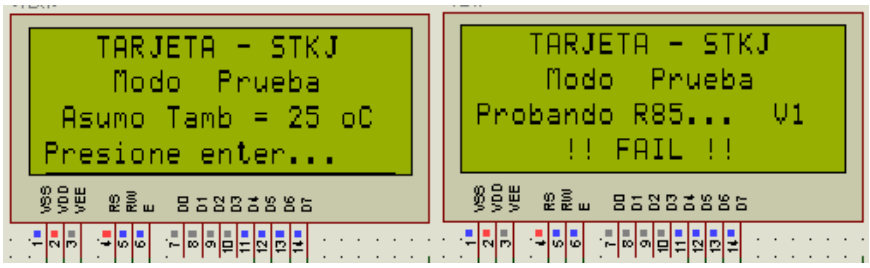

Fig. 3-54. Capturas de pantalla del proceso de prueba STKJ.

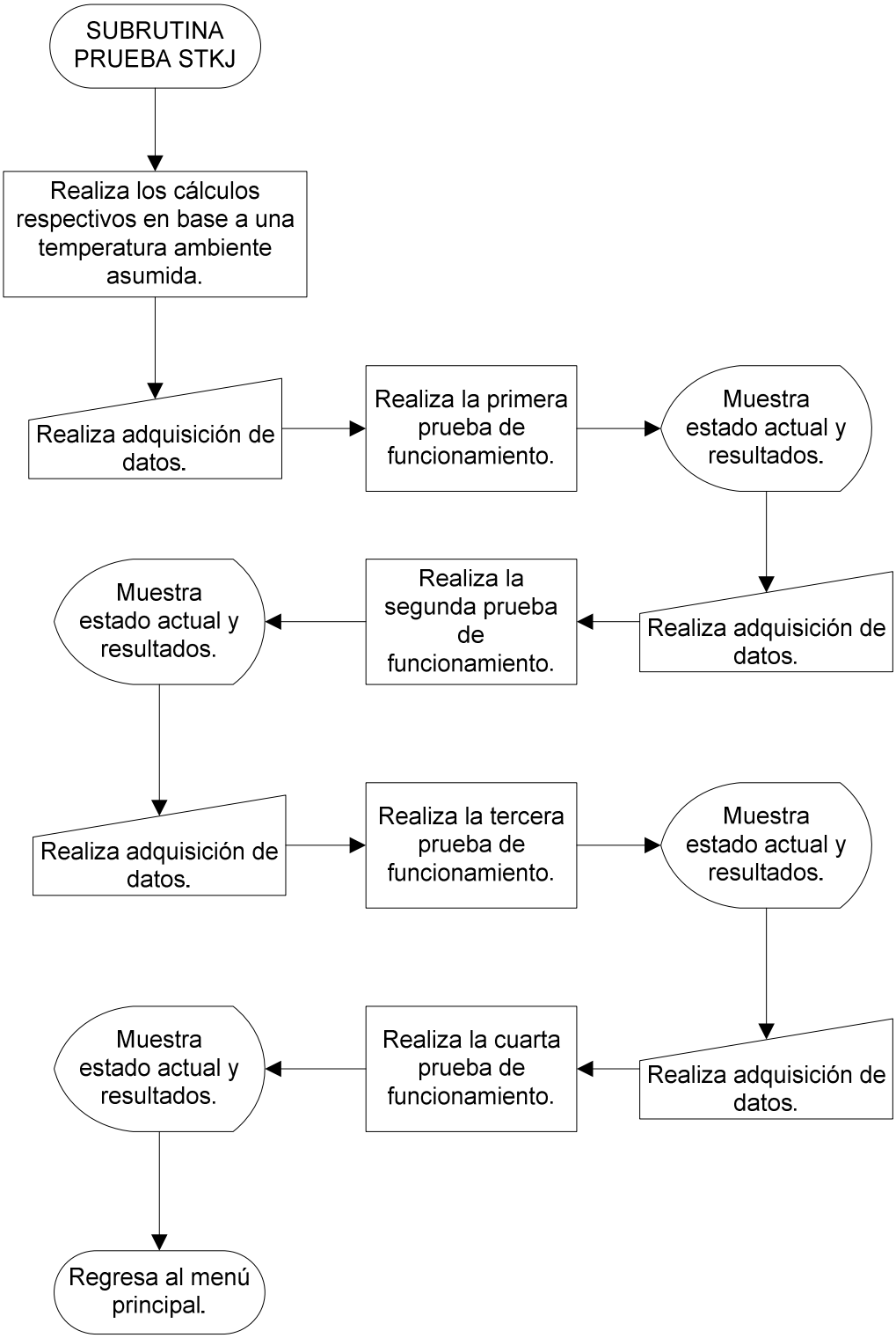

Fig. 3-55. Diagrama de flujo del modo prueba para la tarjeta STKJ.

3.5.2 MODO CALIBRACIÓN

En el modo calibración, el sistema realiza un monitoreo de cada una de las pruebas efectuadas anteriormente, pero con la diferencia que se trabaja ya con valores mucho mas precisos, y se muestra al usuario la guia para calibrar cada uno de los potenciómetros y en conjunto toda la tarjeta de temperatura STKJ.

Cabe indicar que para trabajar con esta tarjeta, es necesario tener mucho más conocimiento acerca del funcionanmiento del sistema de control de temperatura seeptronic, ya que el proceso de calibración cuenta con la etapa de estabilización de la temperatura, misma que utiliza un tiempo recomendado de 10 minutos; en la cual, el usuario debe tomar una medida de temperatura en estado estable e ingresarla al sistema para que este pueda realizar los cálculos respectivos y las posteriores comparaciones.

Al igual que las anteriores, las imágenes exponen algunas salidas durante el proceso de calibración de la tarjeta de temperatura STKJ.

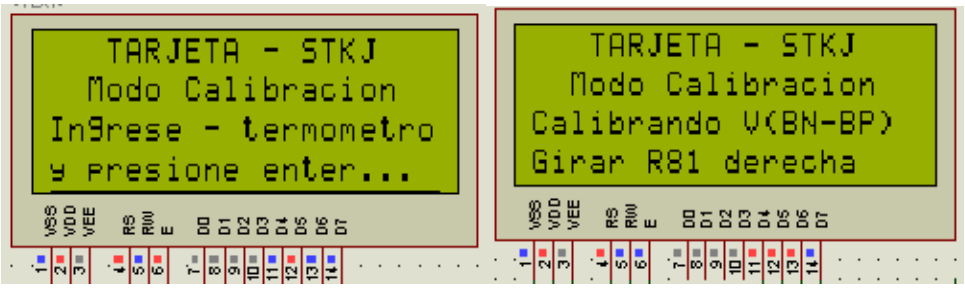

Fig. 3-56. Capturas de pantalla del proceso guiado de calibración STKJ.

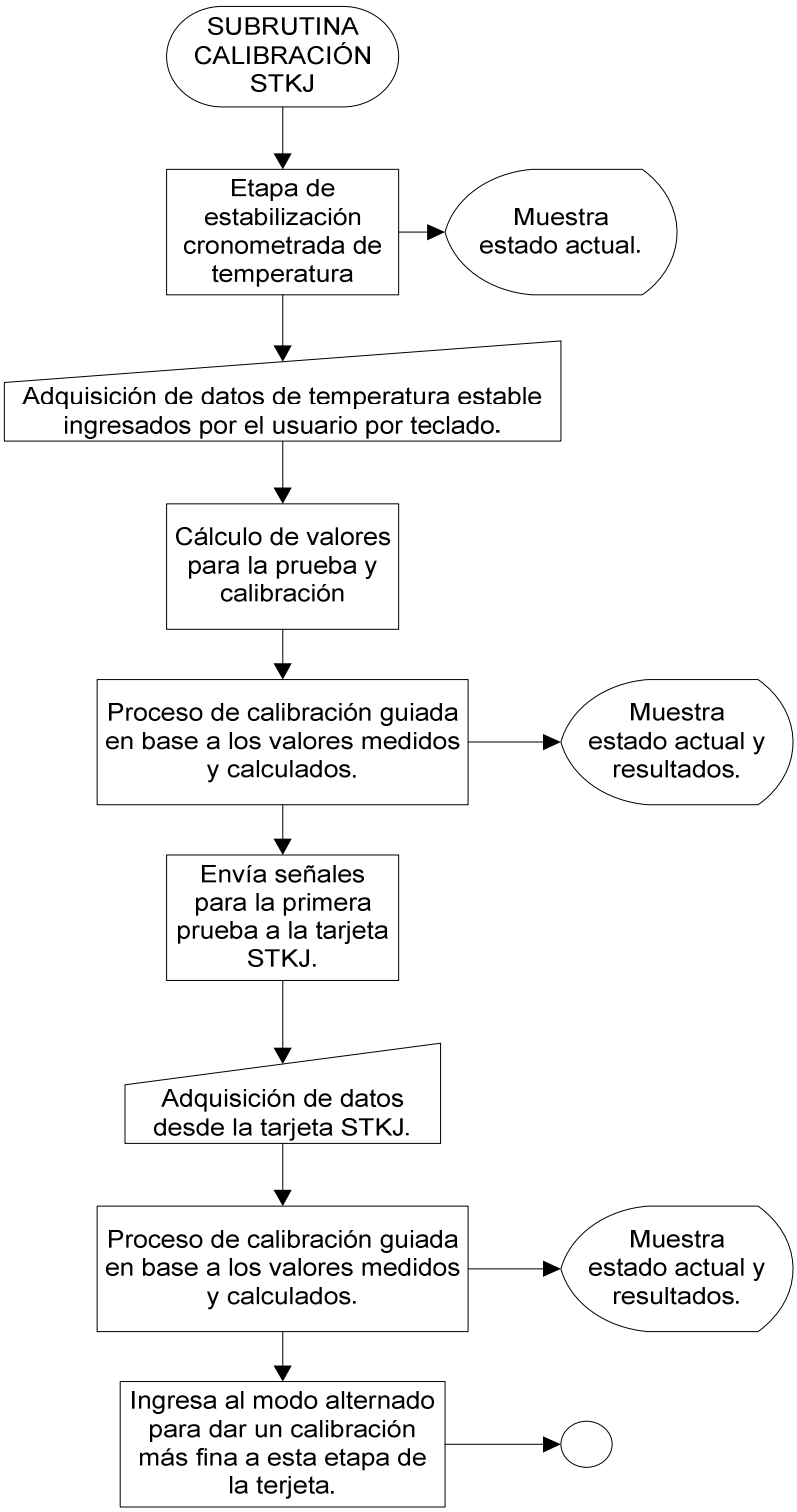

Fig. 3-57. Diagrama de flujo del modo calibración para la tarjeta STKJ 1.

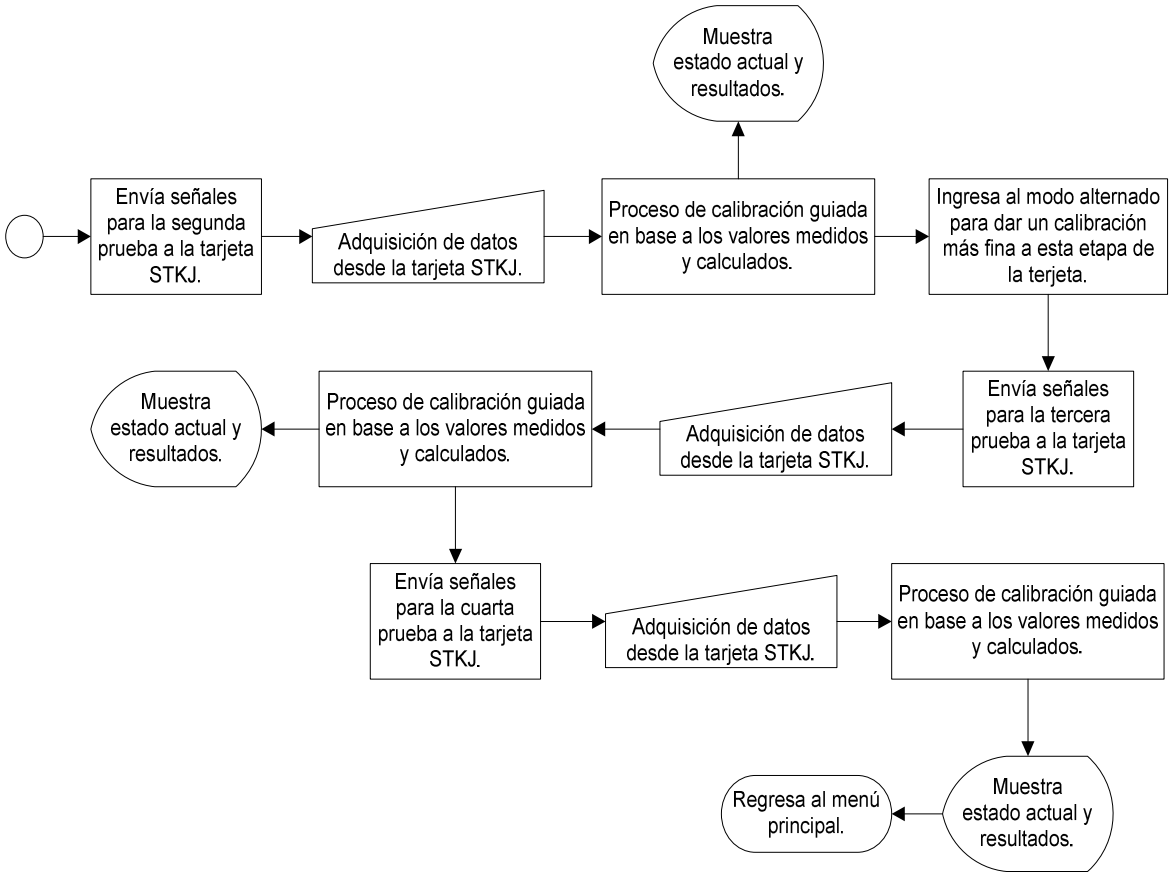

Fig. 3-58. Diagrama de flujo del modo calibración para la tarjeta STKJ 2.

3.6 SISTEMA DE PRUEBA PARA LA TARJETA VMPA

El sistema de pruebas implementado para esta tarjeta, basa su funcionamiento en los sistemas digitales; ya que todas las pruebas son a nivel TTL. El hardware consta de circuitos Latch y Buffer dados por los chips SN74LS373N y SN74LS244N respectivamente de la siguiente manera:

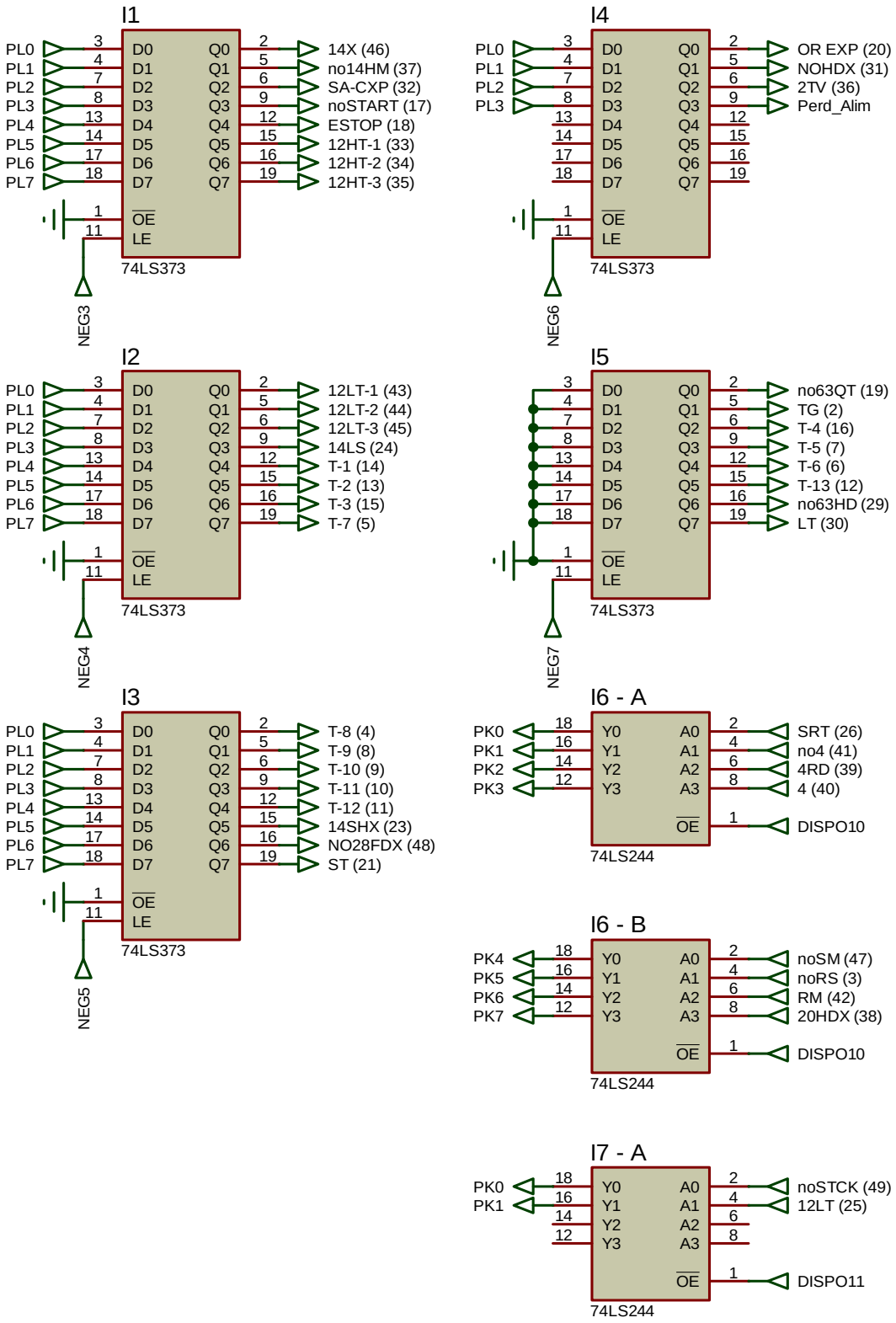

Fig. 3-59. Hardware de prueba para la tarjeta VMPA.

Para las distintas pruebas, se utilizan los puertos K y L del microcontrolador para estados y resultados respectivamente y puerto J para controlar los diferentes chips utilizados.

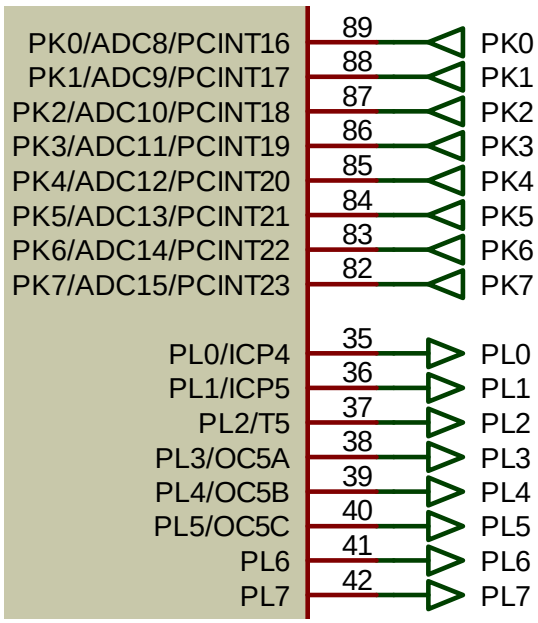

Fig. 3-60. Asignación de recursos del microcontrolador para las pruebas en la tarjeta VMPA.

El sistema barre todos los pines de entrada de la tarjeta, simulando los estados que debería tener la misma bajo condiciones de listo para el funcionamiento; luego de esto, realiza varios tipos de pruebas:

La primera prueba tiene que ver con los estados de los permisivos de arranque, ya que la tarjeta VMPA se encarga de monitorear que los distintos sistemas vitales de la turbina se encuentren bien para el arranque; esta prueba se denomina Check/Ready. En esta parte, se simulan estados correctos de velocidades y circuitos de arranque, y se determina el funcionamiento de la etapa de permisivos para arrancar. El sistema lo hace mediante un circuitos buffer y circuitos latch que son controlados al igual que el resto de elementos, por las señales del multiplexor presente en la placa de control.

La segunda prueba, cambia los circuitos de protección VMPA del estado encendido al estado de arrancar; en el cual, la turbina gira a la velocidad de encendido. El sistema de prueba toma el resultado anterior, y simula estados de encendido y aceite lubricante; así como también, determina las condiciones que deben cumplir para que la turbina no se desconecte por falla en los sistemas de protección. Bajo estas condiciones de funcionamiento se prueban las salidas de protección correcta y sus complementada; además del enganche del relé 4RD propio del sistema de protección VMPA, y el estado de la salida Modo Arranque.

La tercera prueba, cambia los circuitos de protección del estado arrancar al estado de funcionamiento; en éste, se simula la detección de fuego en las cámaras de combustión de la turbina, con lo que el sistema de protección VMPA cede el control a los circuitos de funcionamiento normal. Bajo este particular de la turbina, además de las pruebas anteriores, se determinan los estados de las salidas modo funcionamiento y estado de protección.

La cuarta prueba, simula fallas de distinto tipo: de temperatura elevada, de vibración, de pérdida de llama, etc; con lo que se monitoréa la respuesta de la tarjeta VMPA y se determina el estado de protección de la misma. Además de todas las pruebas antes indicadas, el sistema probará la respuesta del corte de combustible y de descarga hidráulica que son las protecciones eléctricas y mecánicas respectivamente.

La prueba final, determina el correcto funcionamiento del sistema que detecta sobrevelocidad y los sistemas de descarga hidráulica en forma independiente; así como también simula el corte de alimentación.

Esta placa cuenta con su relé de alimentación;

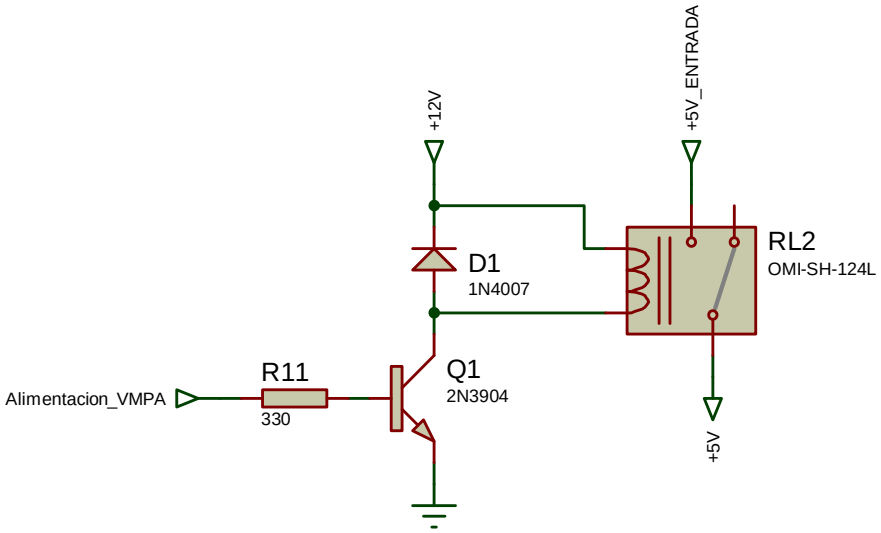

Fig. 3-61. Interruptor de alimentación tarjeta de prueba VMPA.

Finalmente, la placa cuenta con su bus de control y por medio del rack con el bus común de alimentación y pines de las diferentes tarjetas de control de turbina.

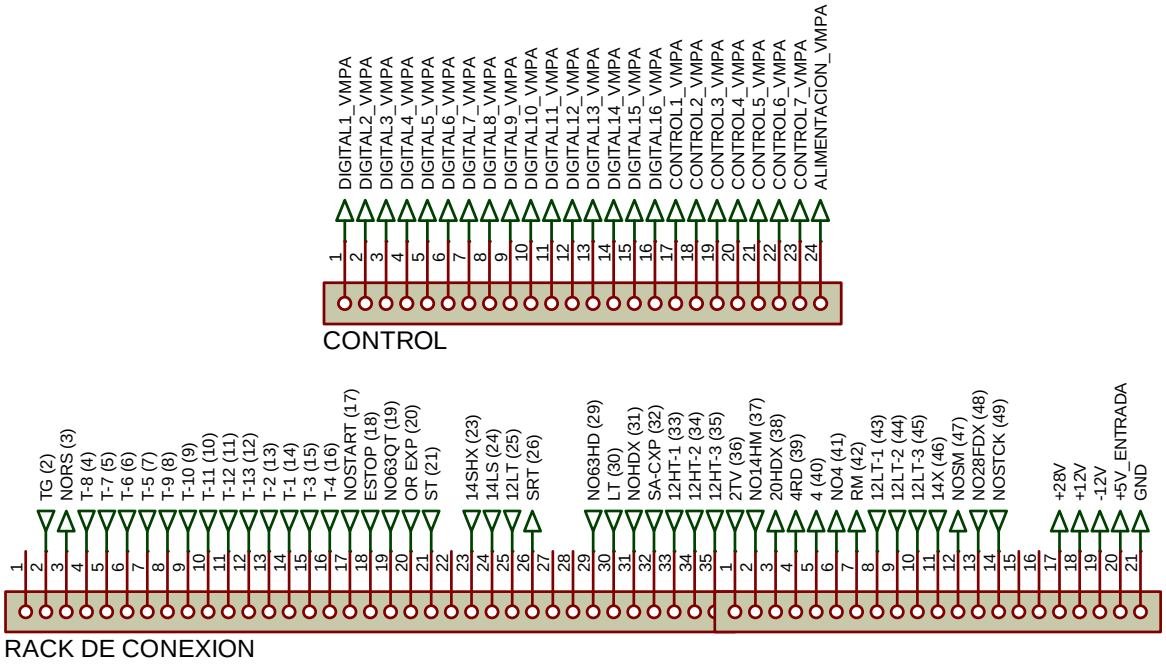

Fig. 3-62. Rack común de conexiones y bus principal de control de la tarjeta de prueba VMPA.

Las figuras muestran las principales subrutinas utilizadas en el programa de prueba de la tarjeta VMPA.

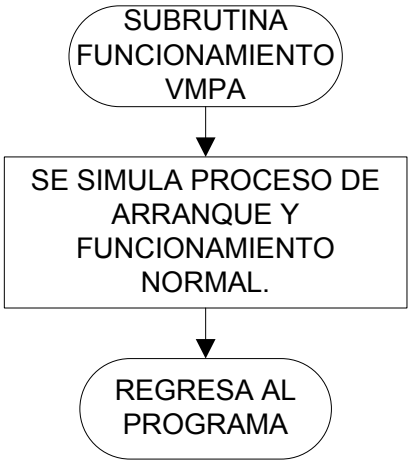

Fig. 3-63. Diagrama de flujo de la subrutina llamada funcionamiento VMPA.

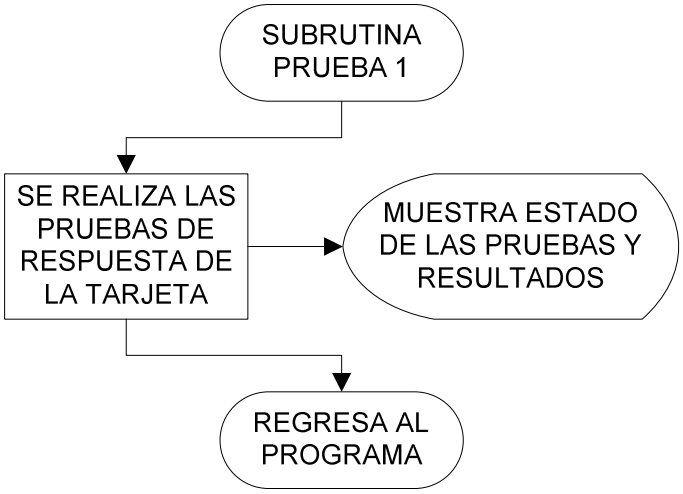

Fig. 3-64. Diagrama de flujo de la subrutina llamada prueba 1 VMPA.

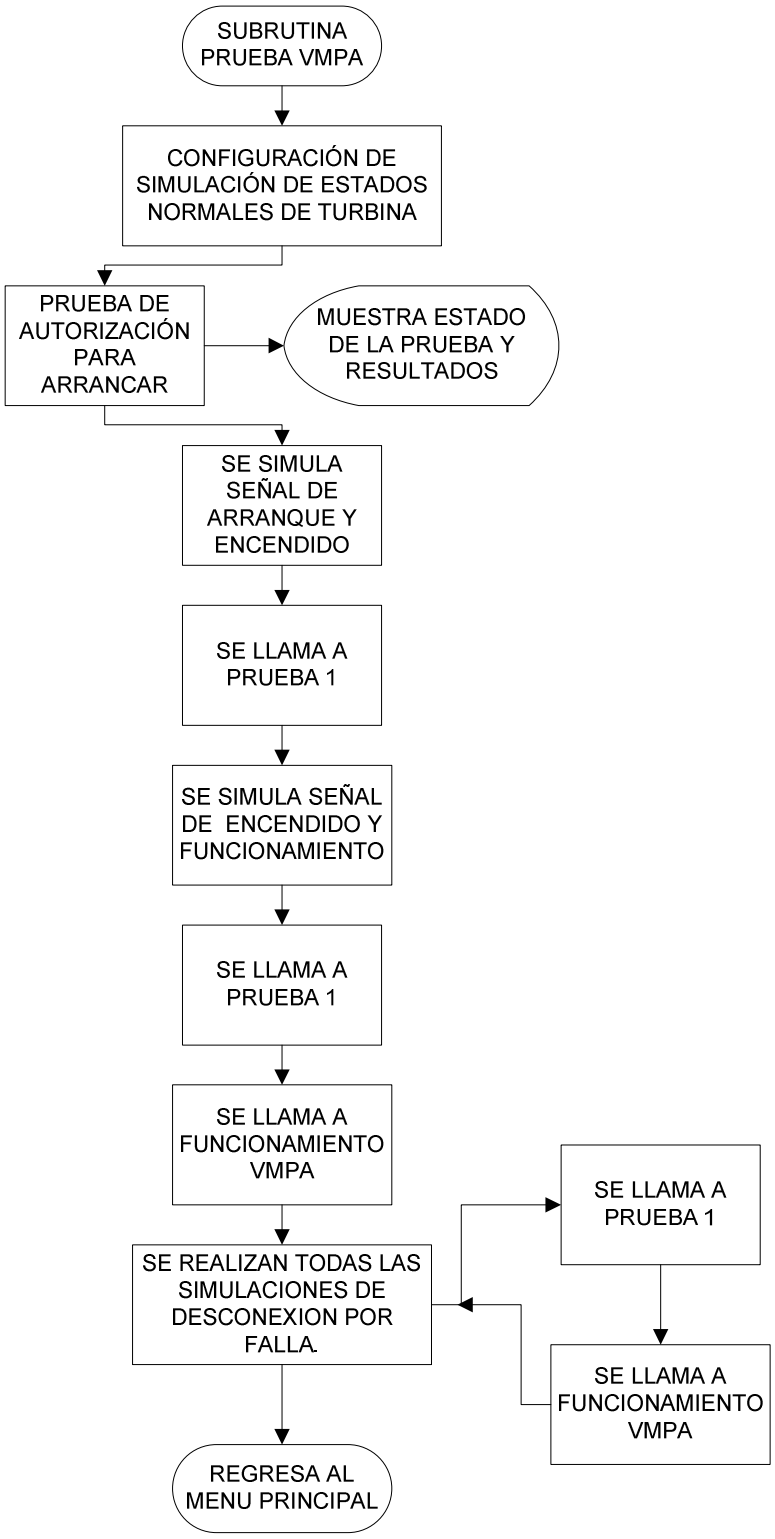

Fig. 3-65. Diagrama de flujo del modo prueba para la tarjeta VMPA.

3.7 SISTEMA DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN PARA LA TARJETA SVDC

El sistema de prueba y calibración para la tarjeta SVDC, basa su funcionamiento en la simulación de vibración por medio de una señal senoidal de frecuencia constante pero amplitud variable. Dicha señal viene por medio del bus de control de la tarjeta principal del módulo; la misma que pasa a través de circuitos multiplexores analógicos controlados con el fin de mantener aislado el sistema cuando se trabaje con otras tarjetas.

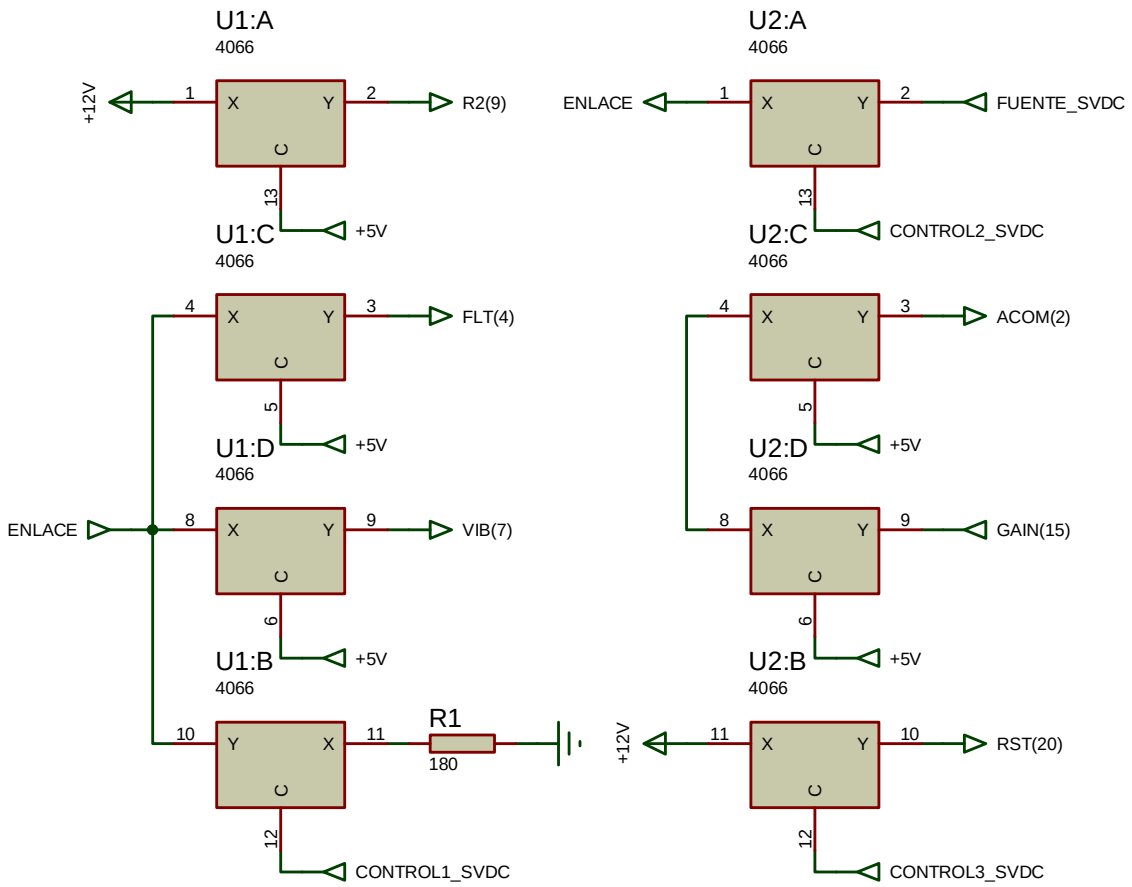

Fig. 3-66. Hardware de control y aislamiento para la tarjeta de prueba y calibración SVDC – Parte 1.

De esta manera, se tienen aisladas todas las partes del sistema de prueba y calibración. Cabe mencionar que se utilizan para adaptar la señal de ingreso al microcontrolador divisores de voltajes.

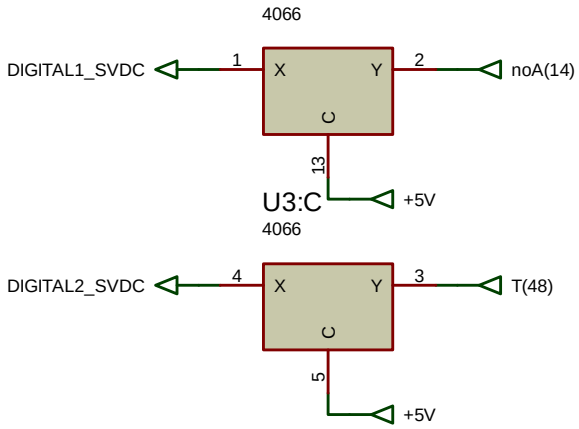

Fig. 3-67. Hardware de control y aislamiento para la tarjeta de prueba y calibración SVDC – Parte 2.

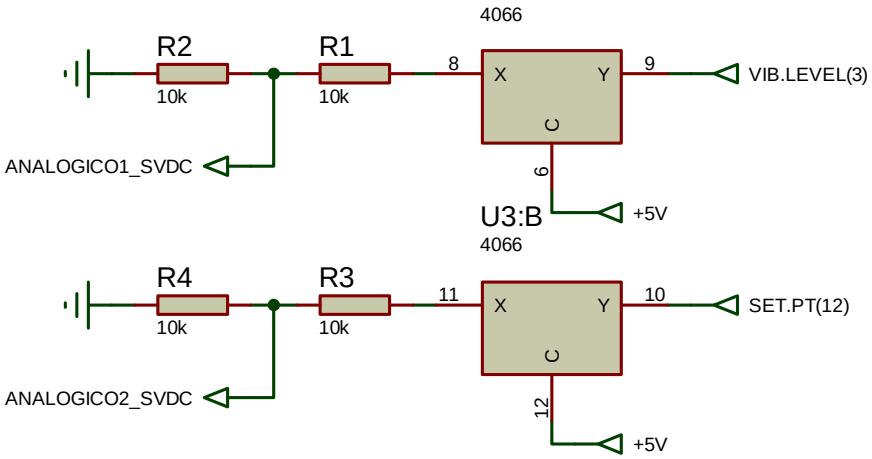

Fig. 3-68. Hardware de control y aislamiento para la tarjeta de prueba y calibración SVDC – Parte 3.

Esta placa cuenta con su relé de alimentación;

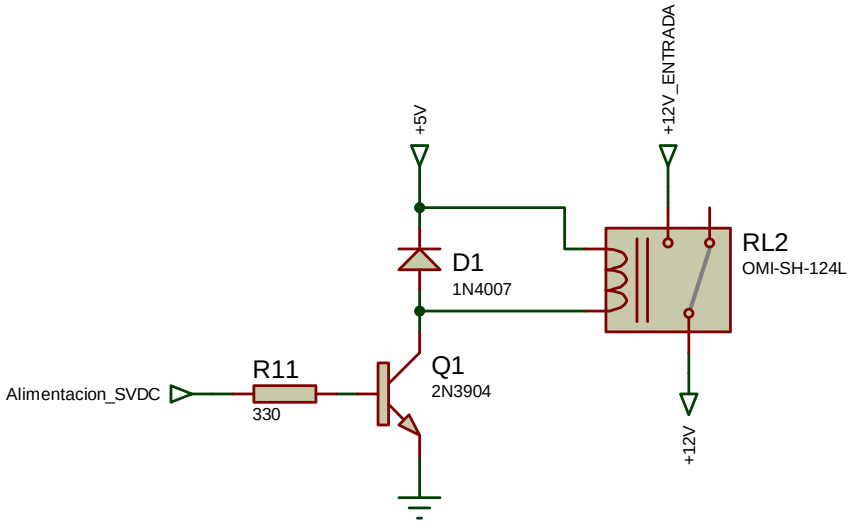

Fig. 3-69. Interruptor de alimentación tarjeta de prueba SVDC.

La tarjeta tiene su bus de control, y por medio del rack, alimentaciones y accesos a determinados pines que otras tarjetas de control Speedtronic no utilizan.

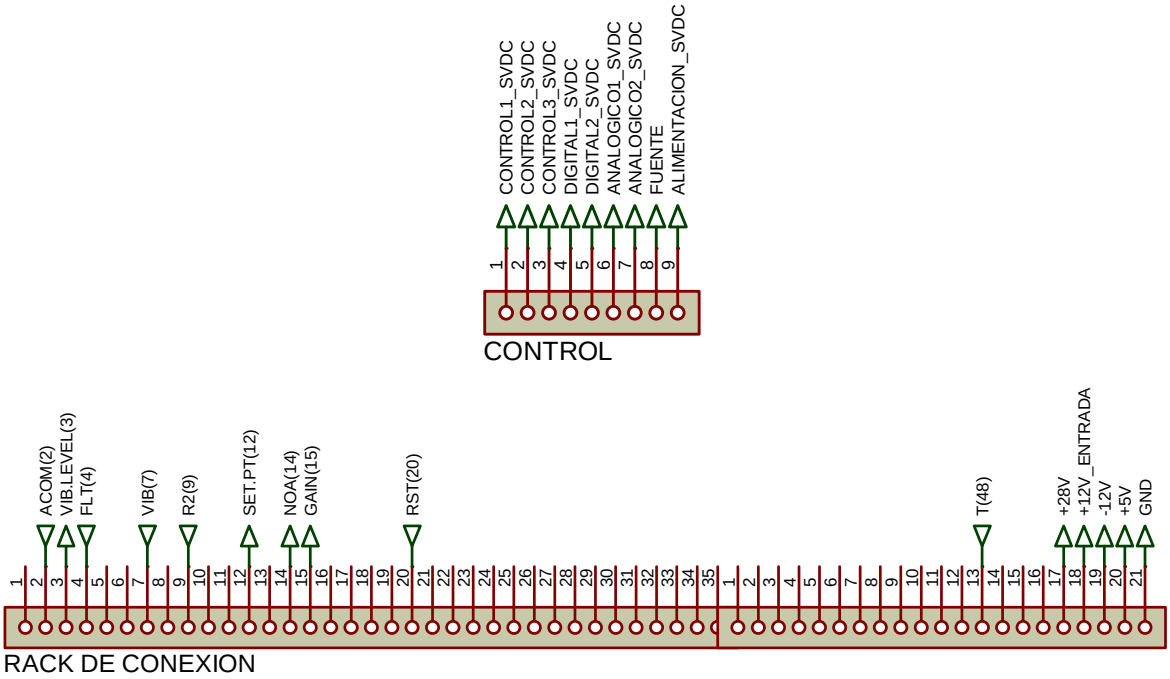

Fig. 3-70. Rack común de conexiones y bus principal de control de la tarjeta de prueba y calibración SVDC.

Para ingresar a los modos de operación de la tarjeta se utiliza el menú del sistema.

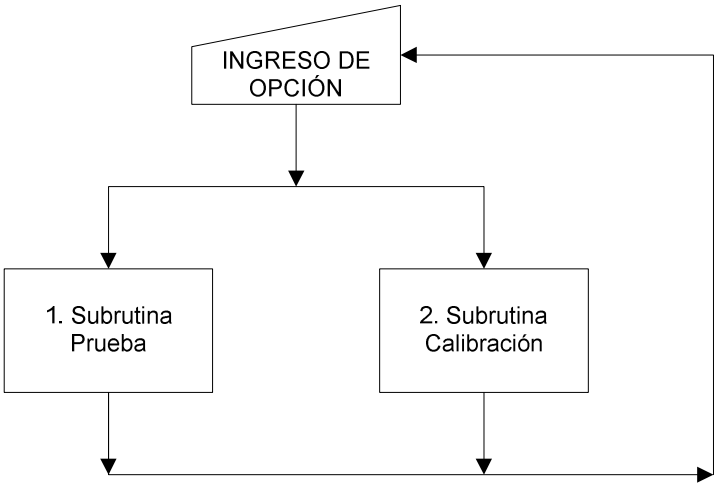

Fig. 3-71. Flujo de datos de opciones de la subrutina principal.

3.7.1 MODO PRUEBA

Para el modo prueba, el sistema requiere del usuario, girar las perillas de frecuencia y amplitud para dar el valor apropiado a las variables, y verificar la tarjeta de la forma adecuada. Una vez fijados los valores, el sistema realiza tres pruebas de funcionamiento:

La primera, permite generar una situación que simula alta vibración hacia la tarjeta, y mide que la misma, responda con una alarma de sobre vibración.

Luego, el sistema solicita al usuario bajar la amplitud girando la perilla, y de ésta manera, se reduce proporcionalmente el valor de la vibración.

La segunda, prueba simula corte o mal funcionamiento de los sensores de vibración; representado por la condición de circuito abierto. Con esta prueba, se determina el funcionamiento del circuito de desconexión por falla en la señal de entrada.

La tercera prueba, simula corte o mal funcionamiento de los sensores de vibración; determinado por la condición de corto circuito, llevando los pines de entrada a tierra por medio de una resistencia de bajo valor. De esta manera, se determina el funcionamiento del circuito de desconexión por falla en la señal de entrada de la misma manera que la anterior prueba.

Es importante mencionar que para pasar de una prueba a otra, se utiliza la simulación de reset manual para desenclavar las alarmas luego de cada una de las pruebas detalladas anteriormente.

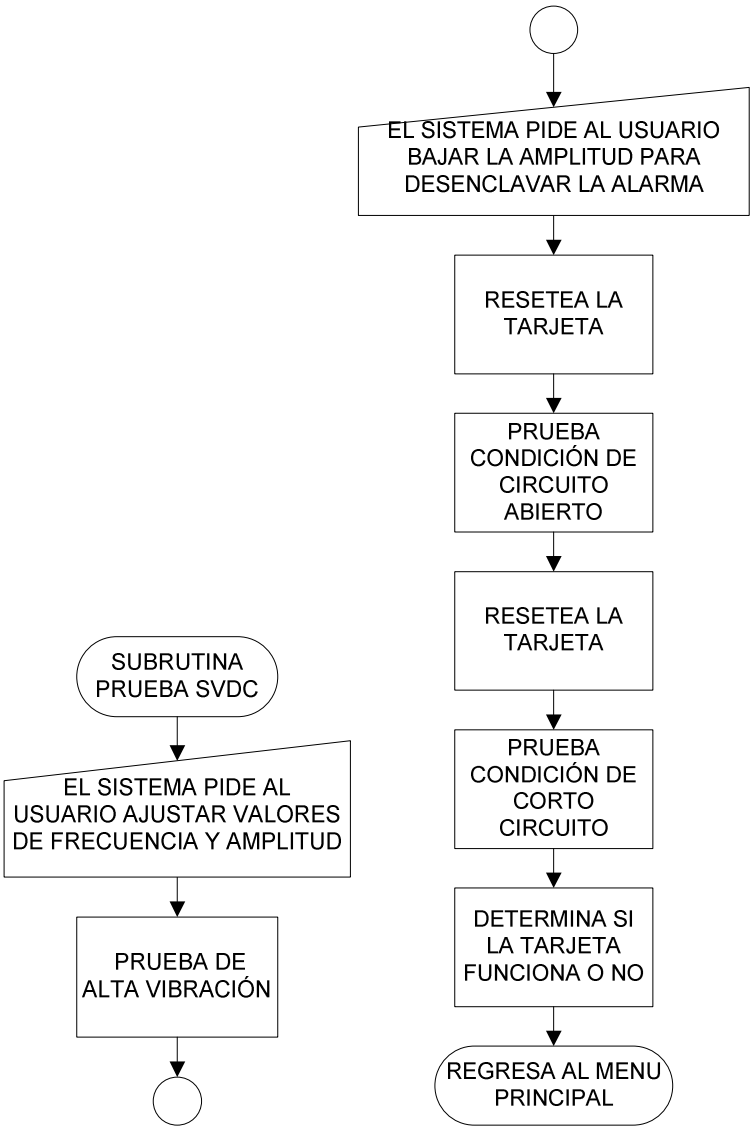

Fig. 3-72. Diagrama de flujo del modo prueba para la tarjeta VMPA.

3.7.2 MODO CALIBRACIÓN

Para el modo calibración, al igual que para el modo prueba, lo primero que el sistema necesita y requiere del usuario, es ingresar los valores de frecuencia y amplitud de la señal de entrada simulando vibración; con los mismos, pide al usuario que ingrese el

valor de referencia (0,94 in/s recomendado), sobre el cual la tarjeta dará señal de alarma cuando el nivel de vibración supere el establecido por el usuario. El valor máximo de vibración es de 1 in/s y equivale a 5 Vdc de respuesta de la tarjeta.

Finalmente, el sistema pide al usuario que aumente la amplitud de la señal hasta que la tarjeta dé señal de alarma; para comprobar de esta manera que la calibración se la ha realizado de forma correcta.

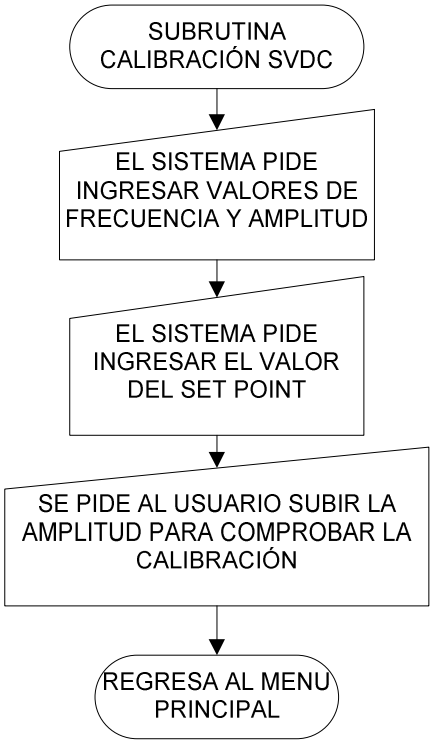

Fig. 3-73. Diagrama de flujo del modo calibración para la tarjeta SVDC.

3.8 SISTEMA DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN PARA LA TARJETA SFUA

El sistema de prueba y calibración para la tarjeta SFUA, funciona al ingresar una señal senoidal de amplitud fija y frecuencia variable, que simule velocidad del flujo del combustible, proveniente de la tarjeta de control del módulo; para de esta manera determinar las distintas respuestas en las salidas.

Las señales se pasan por los circuitos integrados multiplexadores analógicos controlados, con la finalidad de aislarlas totalmente, y que no afecten en los procesos de prueba y calibración de las otras tarjetas de control de turbina.

Cabe mencionar que para esta tarjeta se utiliza la misma señal senoidal que para la anterior; con la diferencia del nivel de amplitud, que en ésta debe ser mucho mayor; 3 V aproximadamente.

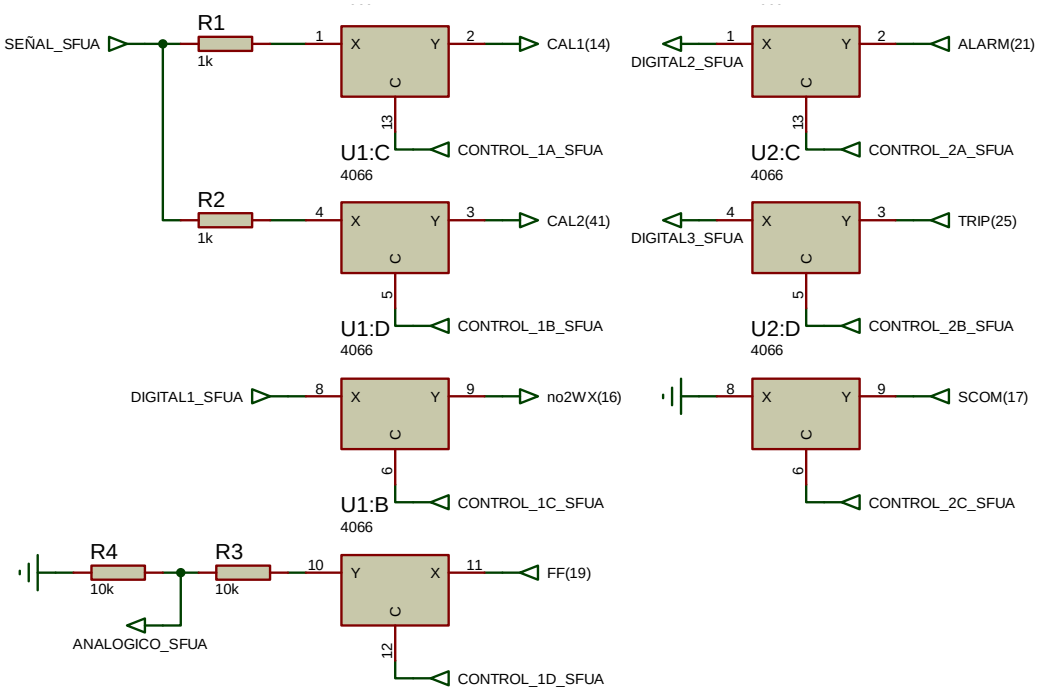

Fig. 3-74. Hardware de control y aislamiento para la tarjeta de prueba y calibración SFUA.

Además esta placa cuenta con su relé de alimentación;

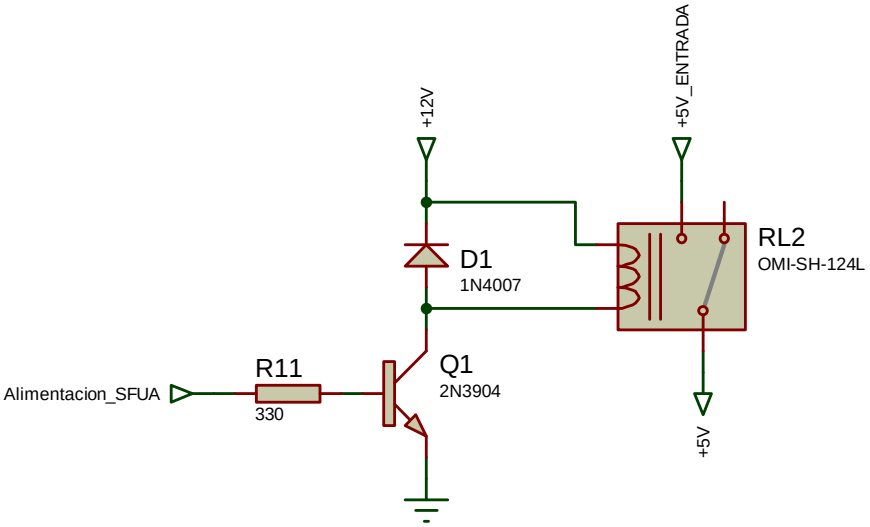

Fig. 3-75. Interruptor de alimentación tarjeta de prueba SFUA.

La tarjeta tiene su bus de control, y por medio del rack, alimentaciones y accesos a determinados pines que otras tarjetas de control Speedtronic no utilizan.

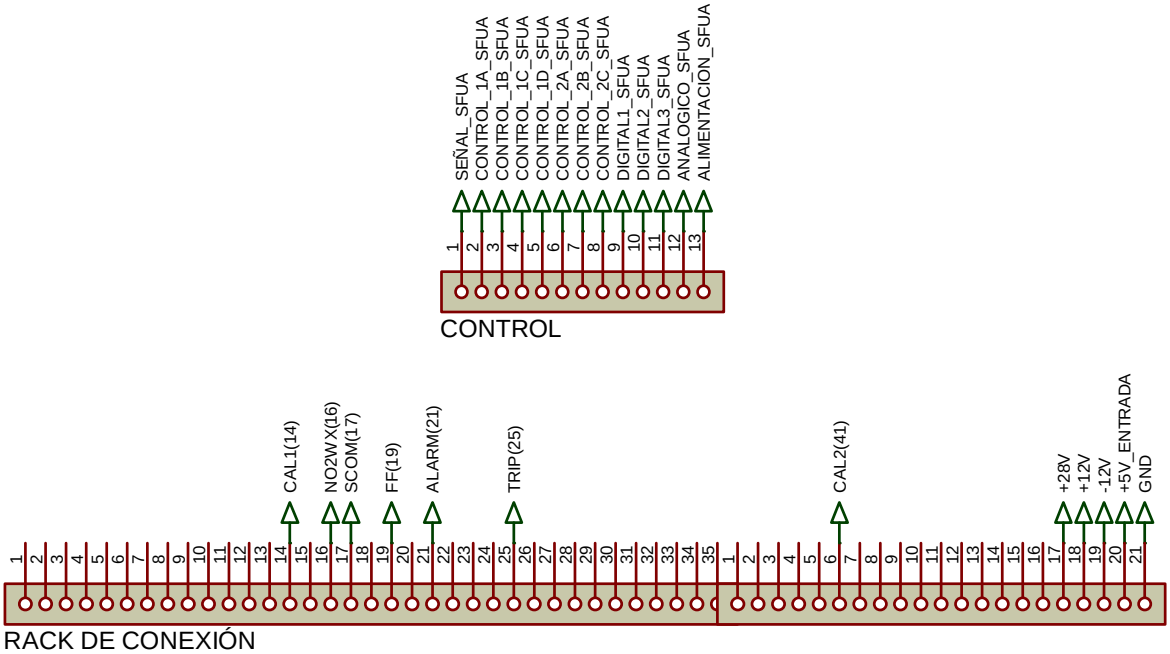

Fig. 3-76. Rack común de conexiones y bus principal de control de la tarjeta de prueba y calibración SFUA.

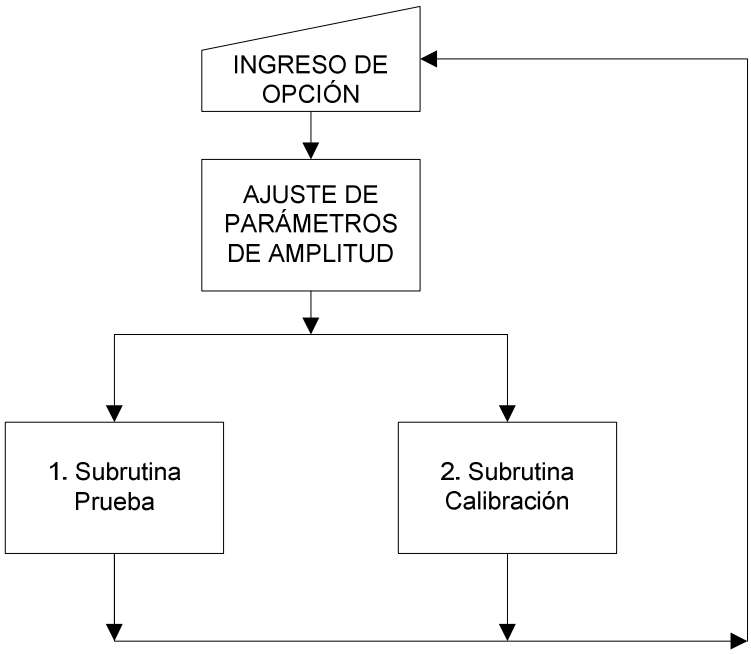

Fig. 3-77. Flujo de datos de opciones de la subrutina principal.

3.8.1 MODO PRUEBA

Para los modos de prueba y calibración, el sistema pide al usuario ajustar los parámetros inciales de amplitud de la señal senoidal que simulará velocidad de flujo de combustible; ya que dicha amplitud será fija y aproximadamente igual a 3 V y la frecuencia variará del mínimo hasta 3600 Hz.

Una vez ingresado al modo prueba, el sistema solicita al usuario ajustar la frecuencia a 3600 Hz, y con esto realiza cuatro pruebas de funcionamiento que son:

Primero, el sistema ingresa señal senoidal y activa el primer canal de circuitería que transforma dicha señal a voltaje contínuo proporcional a la velocidad de flujo de combustible; para medir la salida y determinar que dicha parte de la tarjeta se encuentre funcionando correctamente.

Segundo, el sistema ingresa señal senoidal y activa el segundo canal; y realiza la prueba detallada anteriormente.

Tercero, la tarjeta SFUA cuenta con un comparador de señales que genera alarma cuando uno de los canales tiene un nivel distinto en cierto rango al otro canal; es decir, detecta un desbalance entre un canal y el otro; por lo que el sistema simula esta condición y prueba que la tarjeta reaccione con alarma ante dicho desbalance.

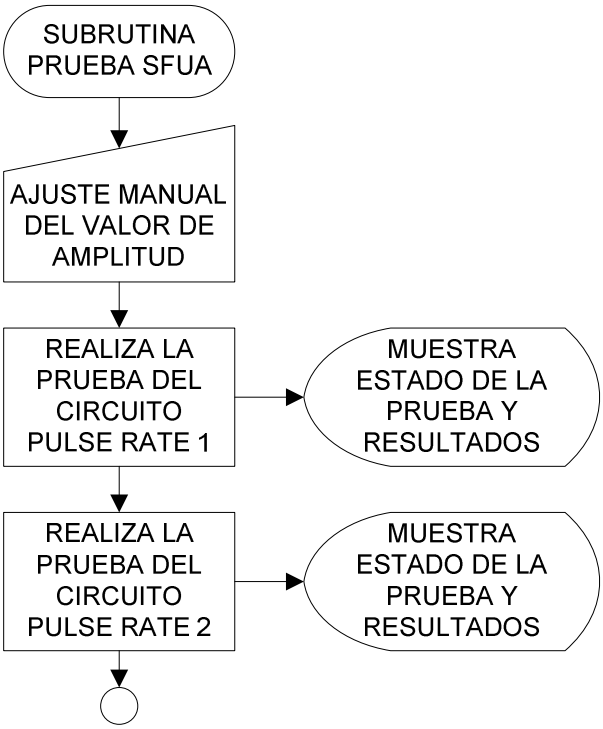

Fig. 3-78. Diagrama de flujo del modo prueba para la tarjeta SFUA - 1.

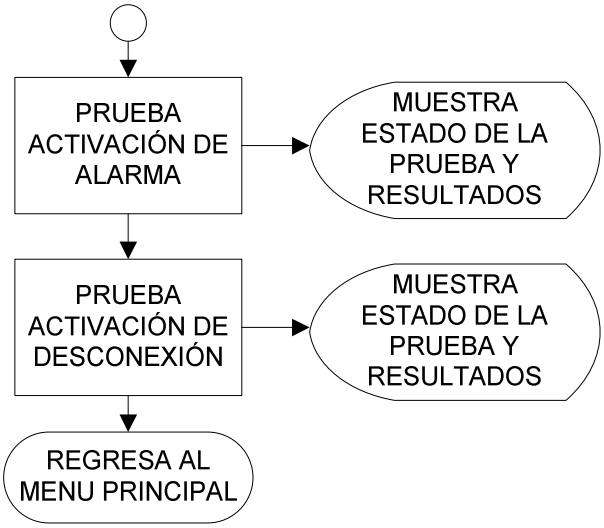

Fig. 3-79. Diagrama de flujo del modo prueba para la tarjeta SFUA - 2.

3.8.2 MODO CALIBRACIÓN

Al igual que en el caso anterior, el sistema pedirá al usuario, ajustar los parámetros iniciales de amplitud; luego se necesita fijar la frecuencia al valor más alto; es decir, a 3600 Hz aproximadamente. Una vez en este punto, el sistema guiará al usuario en dos calibraciones distintas de la siguiente manera:

a) Se calibrará la ganancia del circuito Pulse Rate 1 que es el encargado de dar un voltaje continuo proporcional a la frecuencia de la señal de entrada. El valor a ser calibrado es para 3600 Hz, aproximadamente 9 V.

b) Se calibrará la ganancia del circuito Pulse Rate 2 de la misma manera que la parte anterior.

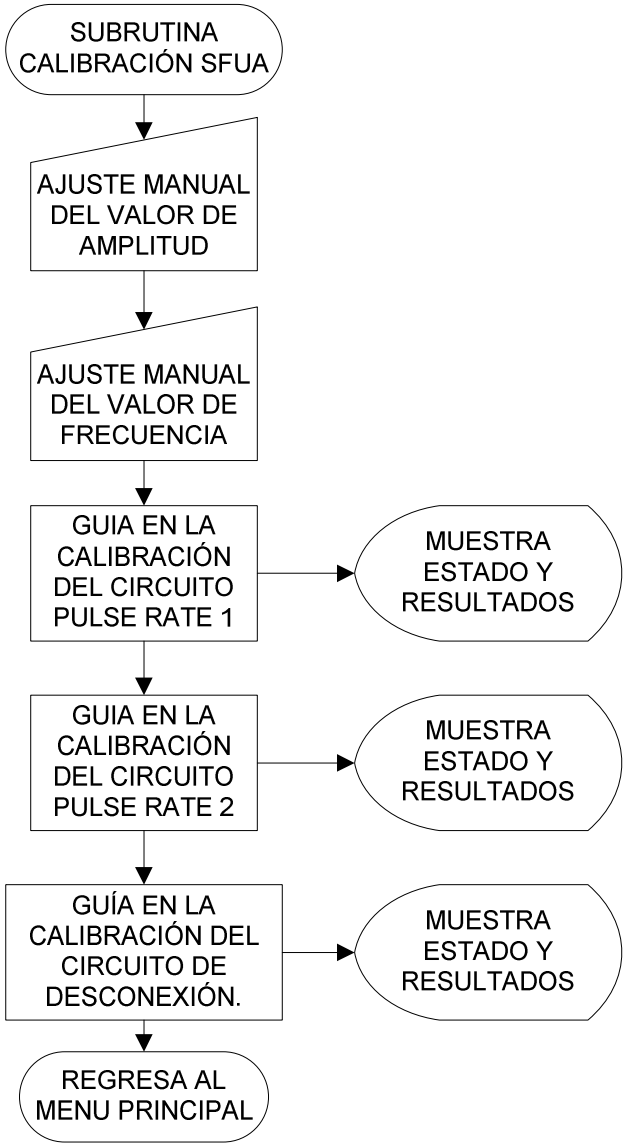

Fig. 3-80. Diagrama de flujo del modo calibración para la tarjeta SFUA.

3.9 TARJETA DE CONMUTACIÓN DE ALIMENTACIONES.

La siguiente tarjeta es un arreglo de relés, que permitien al sistema realizar las respectivas conexiones de alimentación, según la tarjeta con la que se esté trabajando. Ésta es neceseria, debido a que no todas las tarjetas funcionan con las mismas fuentes de alimentación, ni tienen los mismos pines para determinada fuente. Un 74LS373 comanda el activado y desactivado de los relés.

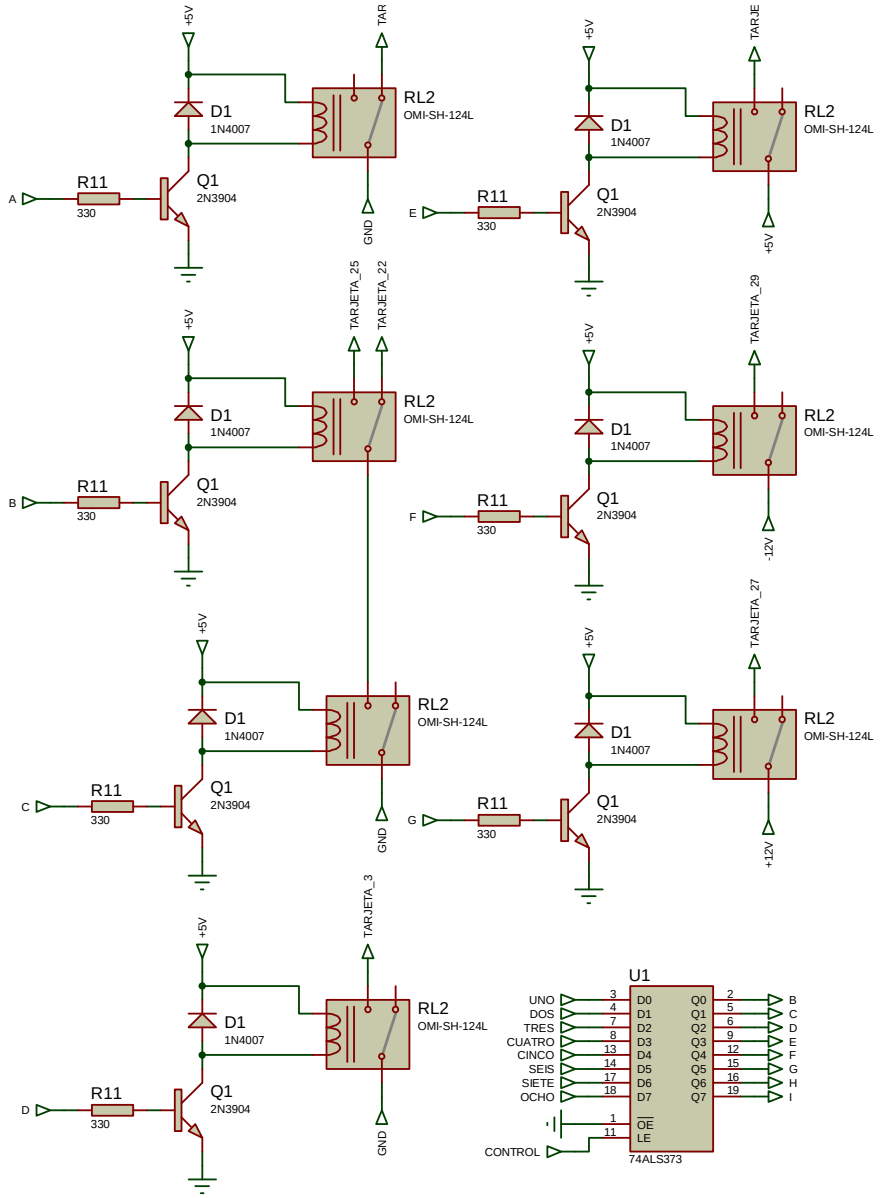

Fig. 3-81. Diagrama circuital, tarjeta de conmutación 1.

Además de lo expuesto, la tarjeta cuenta con su respectivo bus de datos hacia la tarjeta de control, el bus de alimentación hacia la tarjeta de fuentes y el bus de tarjetas hacia el sócalo externo del módul,o en el cual se ingresan las tarjetas a ser probadas y/o calibradas.

3.10 LABVIEW (NATIONAL INSTRUMENT). [13]

LabVIEW es un entorno de programación gráfica usado por ingenieros e investigadores, para desarrollar sistemas sofisticados de medida, pruebas y control, utilizando íconos gráficos e intuitivos y cables que se parecen a un diagrama de flujo.

Ofrece una integración incomparable con miles de dispositivos de hardware, y brinda cientos de bibliotecas integradas para análisis avanzado y visualización de datos, todo para crear instrumentación virtual.

3.10.1 INTERFAZ DESARROLLADA EN LABVIEW.

La Interfaz se la desarrolló en Labview, y cuenta con la información necesaria de cada una de las tarjetas para el operador; así como también, la información requerida por la empresa y las funciones que el personal consideró convenientes y de ayuda para su trabajo diario con estos sistemas.

La primera pantalla que encontramos en la interfaz gráfica, es la de presentación con los controles necesarios para escoger el puerto de comunicaciones e iniciar la transferencia entre el microcontrolador del módulo de prueba y calibración, y dicha interfaz. Al empezar la transferencia, el sistema determina en base a los datos recibidos, la tarjeta con la que está trabajando el módulo y abre automáticamente la ventana correspondiente a la misma.

Fig. 3-82. Pantalla de Presentación.

Las ventanas cuentan con información muy precisa de notable importancia para el personal de mantenimiento. Se tiene una descripción general de la tarjeta, su función y funcionamiento; información sobre los pines principales en el proceso, datos de calibración, y finalmente resultados.

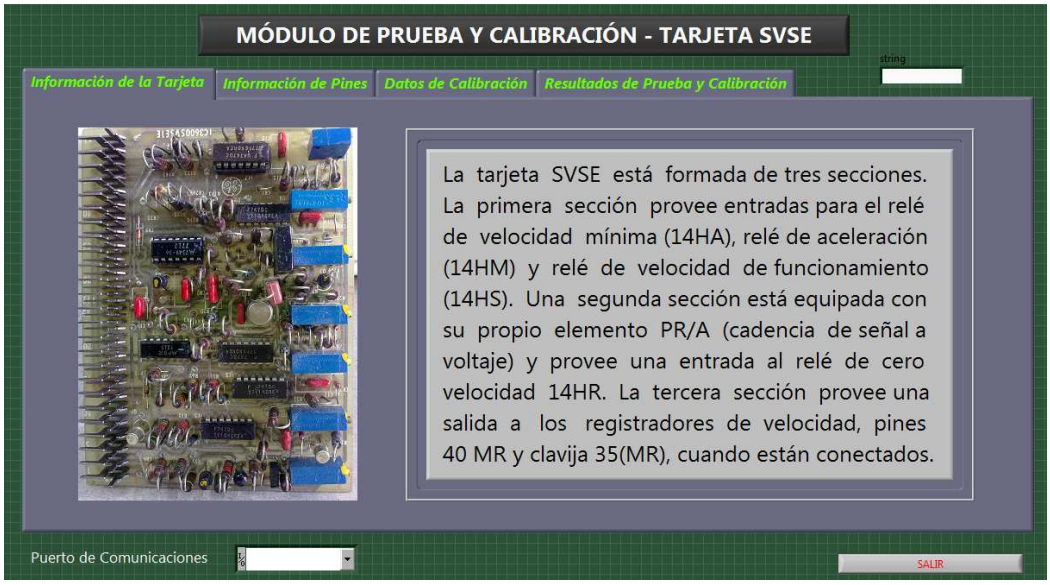

Fig. 3-83. Ventana 1 para la Tarjeta SVSE.

En la siguiente figura se muestra la ventana de resultados de la tarjeta SVSE; como se puede observar, cuenta alarmas luminosas luminosas que indican la activación de los relés de velocidad, y el modo de operación del módulo; tambien cuenta con visualizadores numéricos que detallan los valores de calibración.

Finalmente, tiene su respectivo control para el puerto de comunicaciones, y la opción de generar un pequeño reporte escrito con los datos más importantes del proceso.

Fig. 3-84. Ventana 2 para la Tarjeta SVSE.

La tarjeta STKJ cuenta al igual que las otras con los principales valores de calibración; con la diferencia, que este proceso se encuentra dividido por etapas de acuerdo a la circuitería de la misma, y cada etapa es calibrable en extremos con dos valores de entrada fijos que son los 14,14 mV y 25,92 mV; es por esto que esta ventana se encuentra estructurada para mostrar los valores de calibración por etapas y en base a los valores extremos. Además, tiene similares controles que las demás tarjetas para su puerto de comunicaciones y la generación de reporte.

Fig. 3-85. Ventana para la Tarjeta STKJ.

Para la siguiente tarjeta que no es calibrable; se cuenta en su ventana únicamente con indicadores luminosos para determinar el resultado del proceso de prueba.

Fig. 3-86. Ventana para la Tarjeta VMPA.

La tarjeta SVDC tiene además de los indicadores luminosos del modo de operación y los controles del puerto de comunicaciones y generación de reporte; los indicadores numéricos que muestran el valor del voltaje y nivel de vibración al cuál fue calibrada .

Fig. 3-87. Ventana para la Tarjeta SVDC.

Para la tarjeta SFUA; además de los ya conocidos controles, cuenta con la información del voltaje de ganancia de cada uno de los circuitos de pulsos.

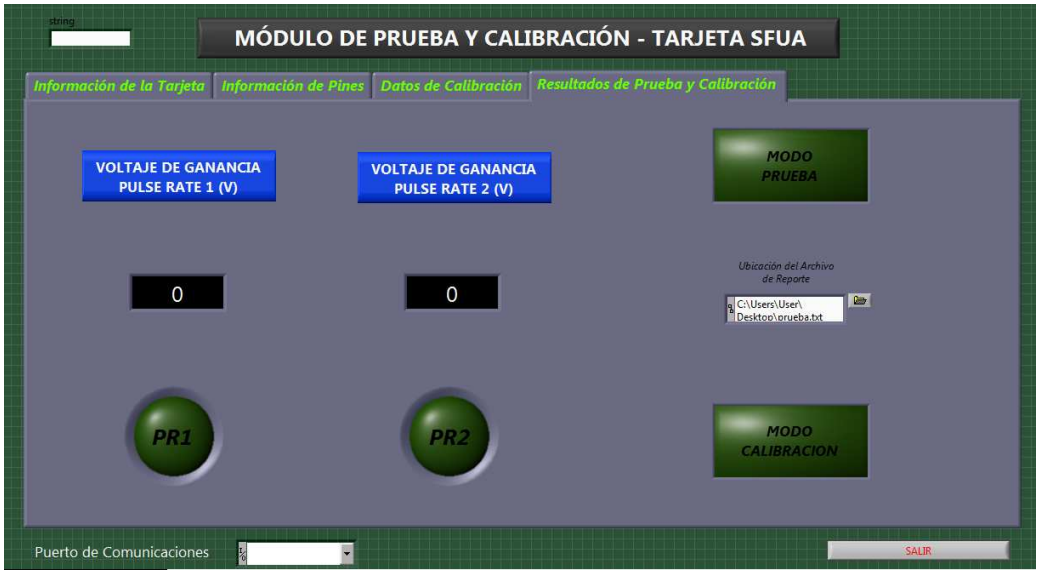

Fig. 3-88. Ventana para la Tarjeta SFUA.

A continuación se muestran los VI de las diferentes pantallas de la interfaz desarrollada en Labview

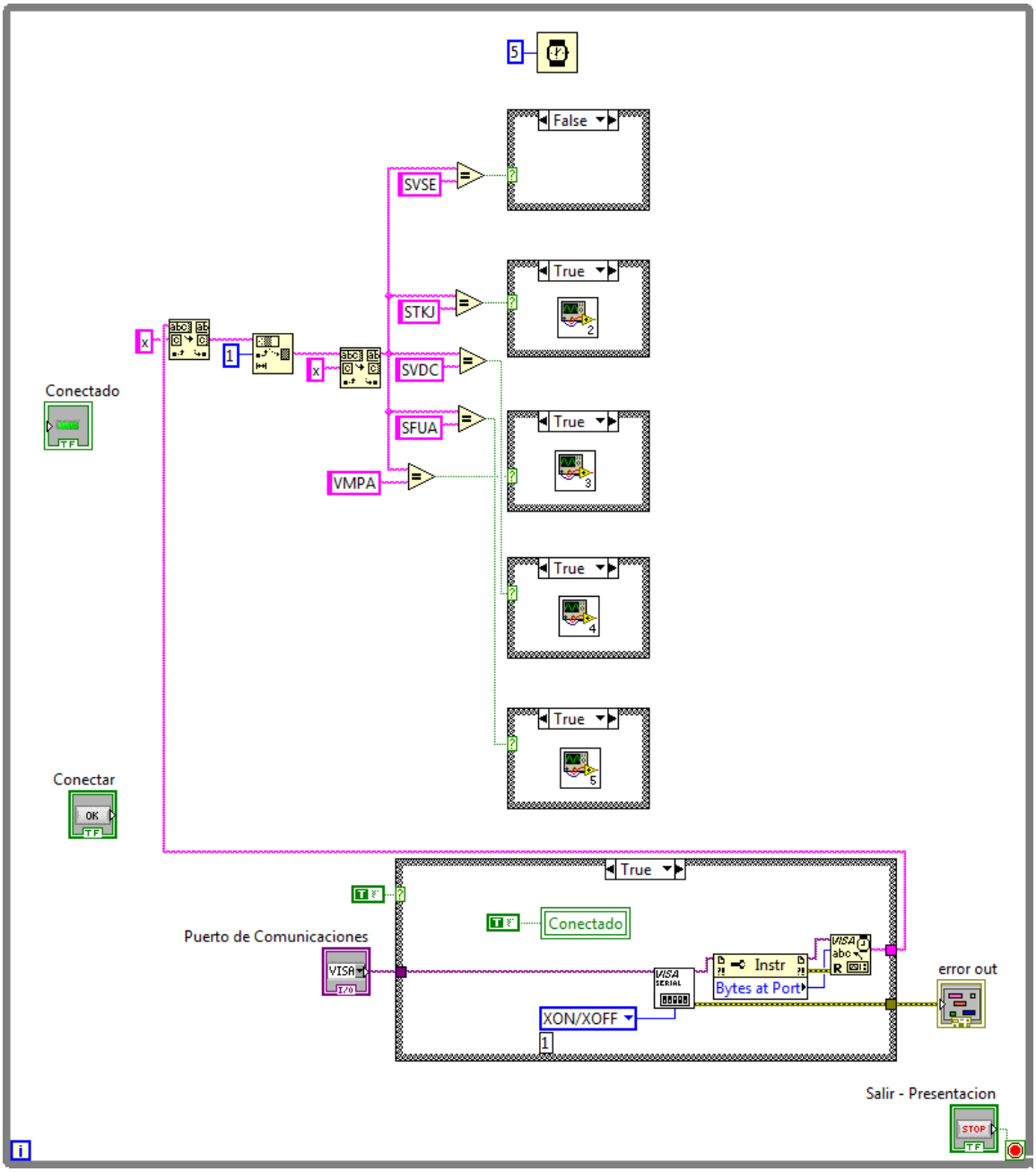

Fig. 3-89. VI de la pantalla de presentación.

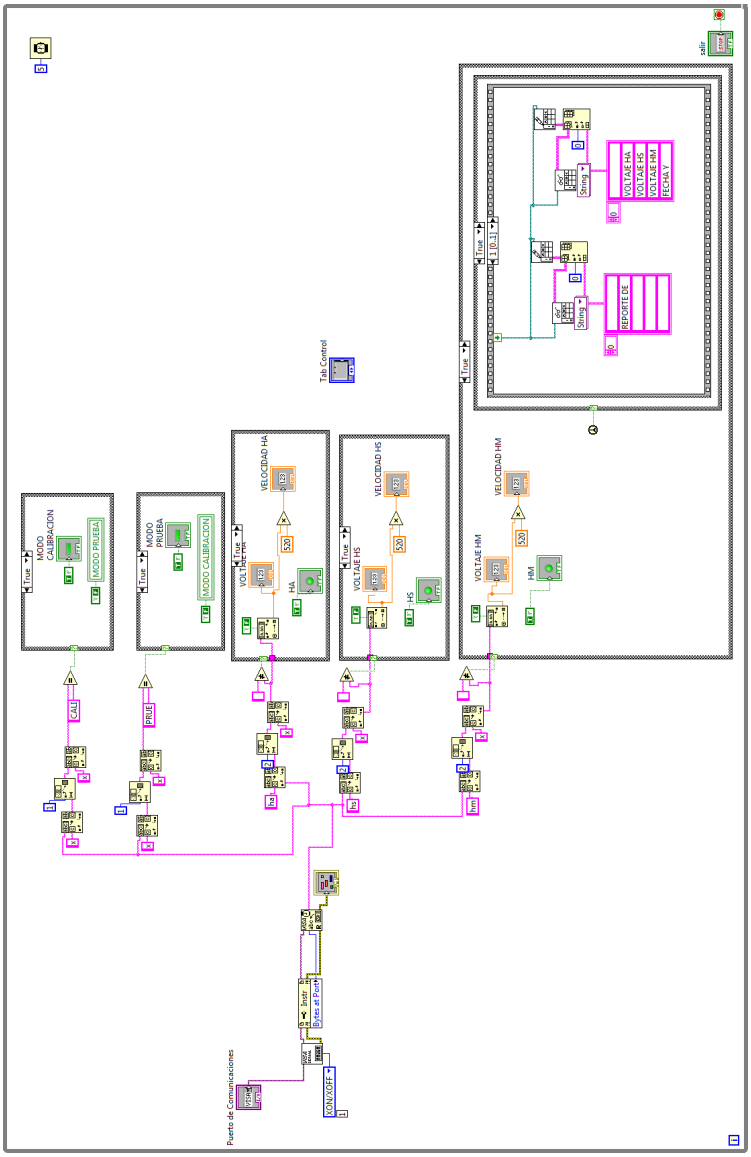

Fig. 3-90. VI de la tarjeta SVSE.

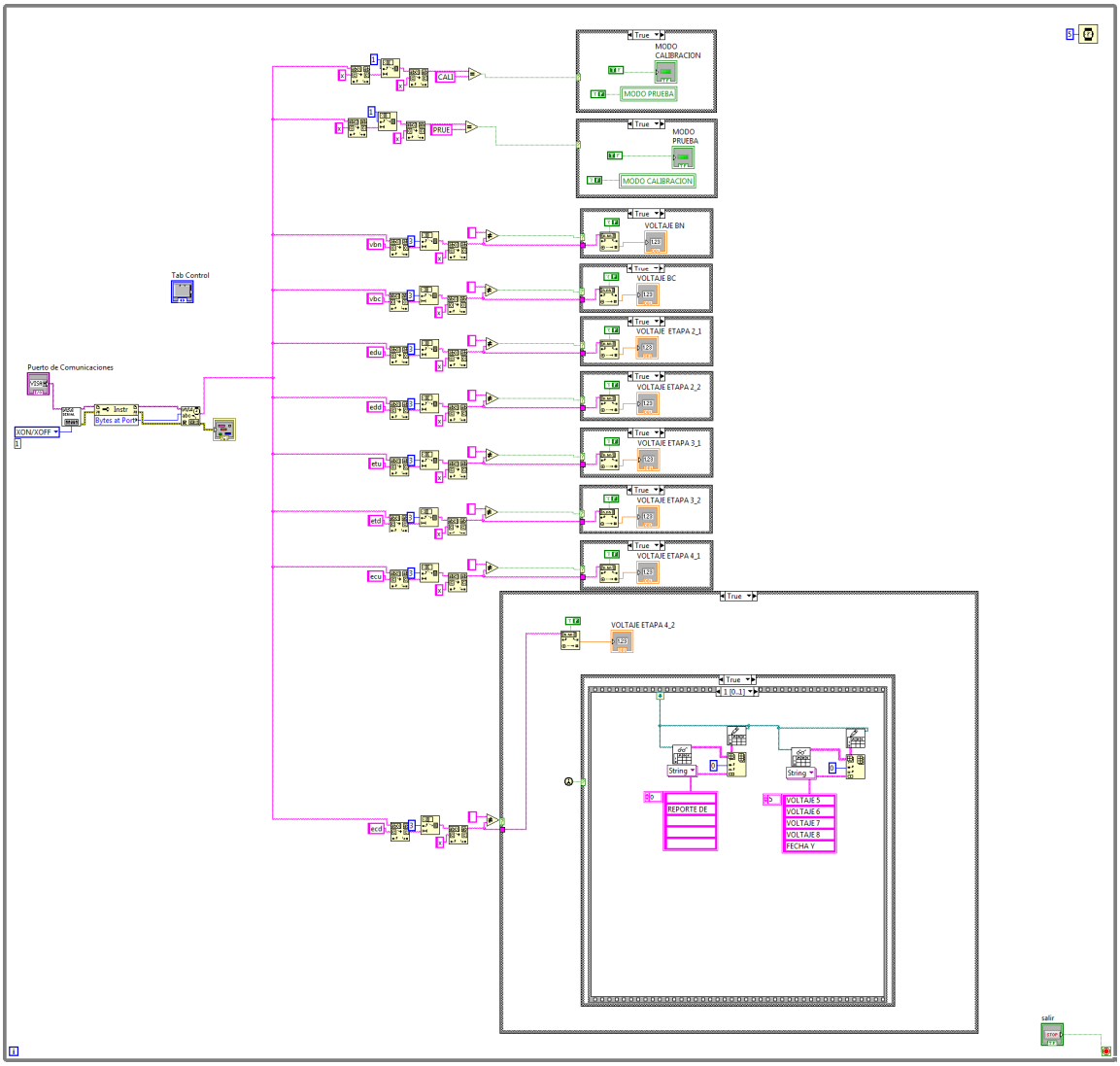

Fig. 3-91. VI de la tarjeta STKJ.

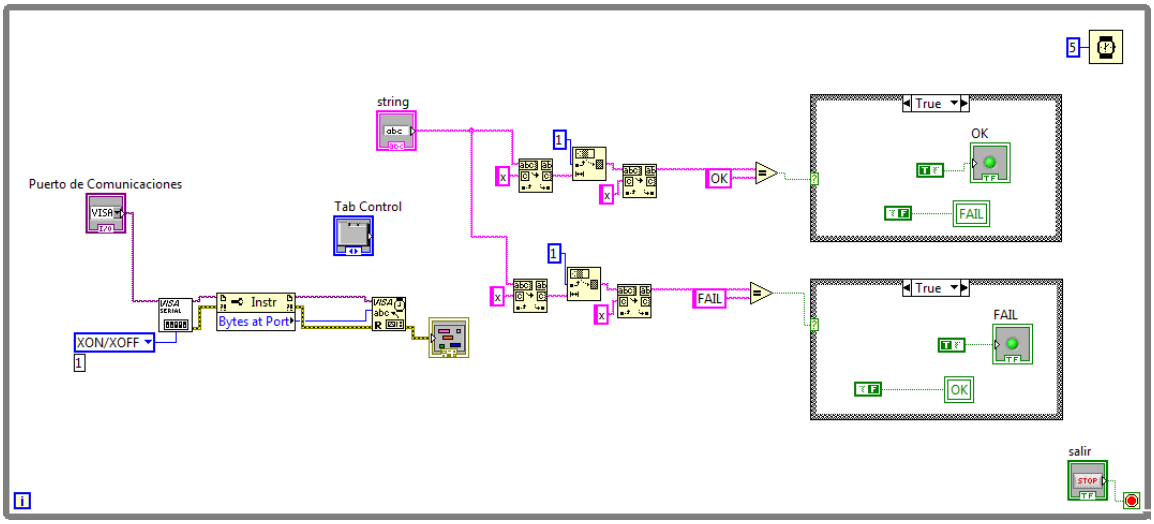

Fig. 3-92. VI de la tarjeta VMPA.

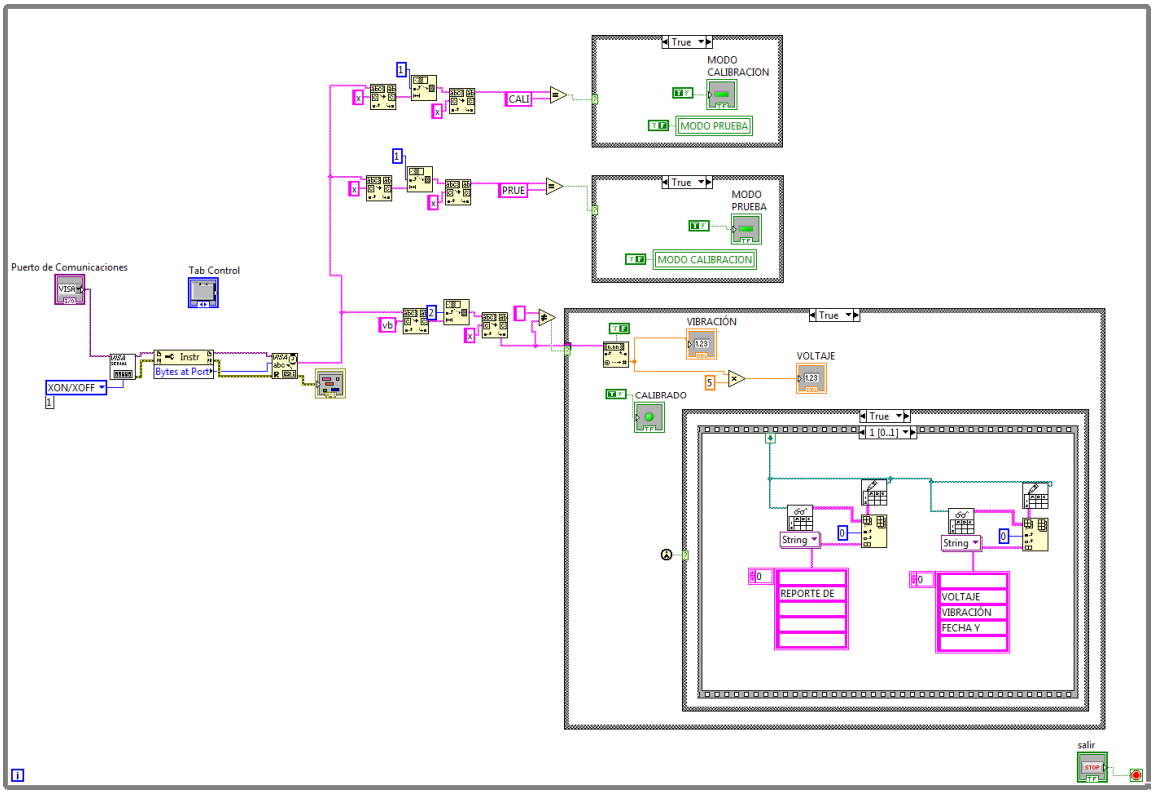

Fig. 3-93. VI de la tarjeta SVDC.

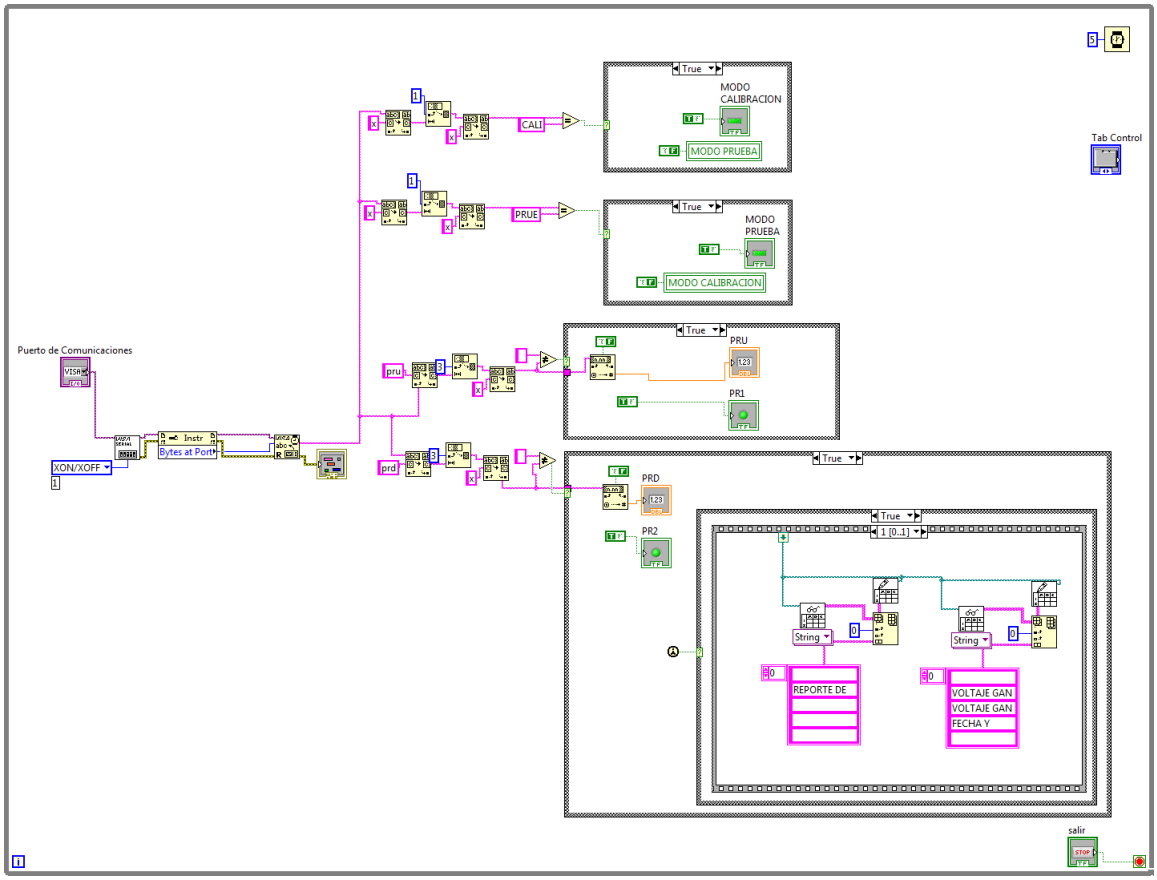

Fig. 3-94. VI de la tarjeta SFUA.

En el capítulo 3, se detallaron los criterios bajo los cuales se diseñó el módulo de prueba y calibración, desde sus fuentes, sistema de control, hasta cada una de las tarjetas que cumplen las funciones de probar y calibrar. En el siguiente capítulo, se describen las pruebas realizadas para verificar el correcto funcionamiento del mismo, y los resultados de las mismas; se comparán los valores medidos con los determinados por los manuales, con el fin de determinar la precisión de las variables involucrados en los distintos procesos de calibración.

CAPÍTULO 4
PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

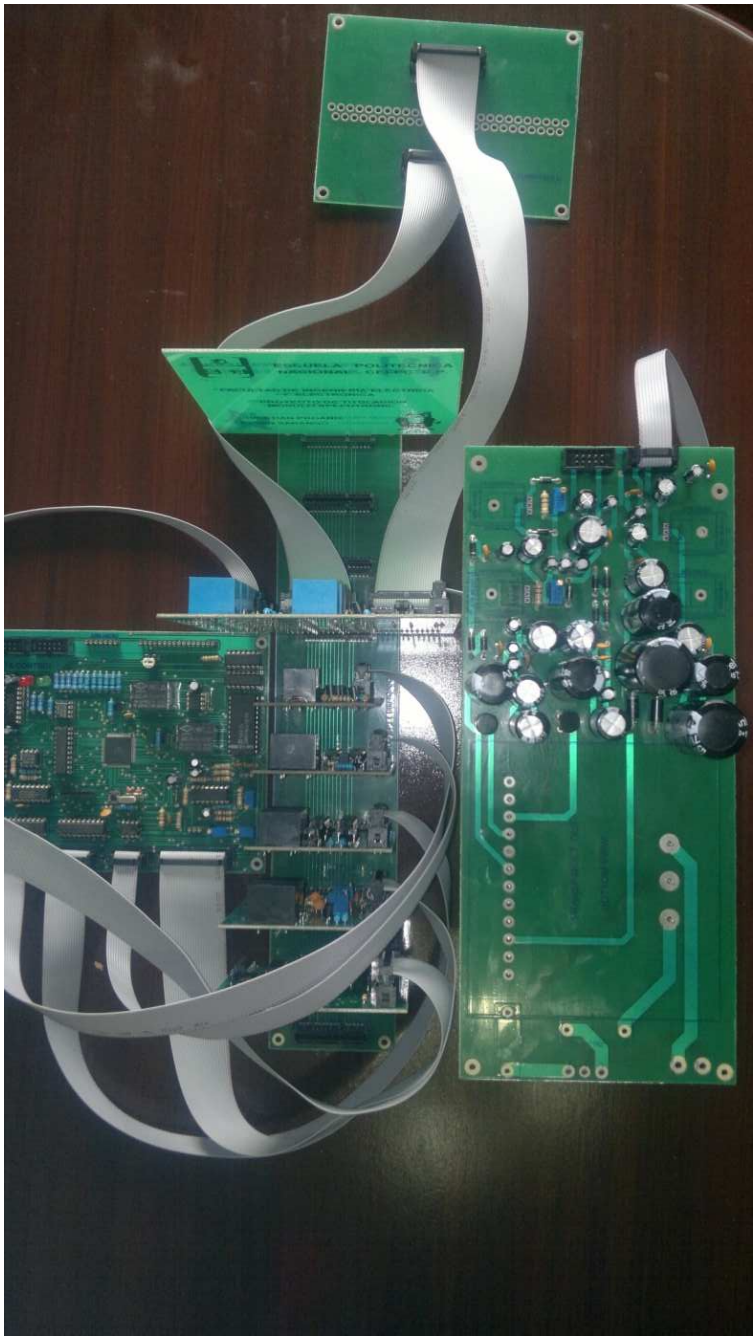

Fig. 4-1. Módulo de Prueba y Calibración.

4.1 INTRODUCCIÓN

Para comprobar el correcto funcionamiento del equipo de prueba y calibración; se realizan las distintas pruebas a cada uno de sus componentes utilizando las tarjetas de control de las turbinas reales, las mismas que son detalladas en este capítulo, y cuyos resultados se muestran a continuación.

Para la obtención de los resultados de cada parte del proyecto, se utiliza el Laboratorio Electrónico de la Central Termoeléctrica Santa Rosa de la empresa CELEC EP, que cuenta con los equipos mostrados en la tabla 4.1.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN
Multímetro	Fluke 8060A
Calibrador de Termocuplas	Fluke 714
Sonda de Temperatura	Fluke 80TK
Termómetro Digital	Raytek
Osciloscopio	Tektronix 2225
Fuente de Alimentación	BK Precisión 1660
Generador de Funciones	Tektronix CFG 250
Medidor de Impedancias	Fluke PM 6303A

Tabla 4-1. Equipos para medición y pruebas.

4.2 SISTEMA DE CONTROL DEL MÓDULO

La tarjeta de control del módulo de prueba y calibración basa su funcionamiento en el microcontrolador Atmega 2560; en los componentes de entrada y salida, en el conversor D/A, en el generador de funciones, en el sistema de medición de amplitud y frecuencia, en el hardware de control de elementos, y en el módulo de conversión TTL/RS-232.

En forma general, el sistema de control presentó poco problema de funcionamiento; sin embargo, en principio el proyecto se planificó desarrollarlo con el microcontrolador Atmega 164P; debido a su limitada memoria (16KB), surgió la necesidad de buscar nuevas opciones de mayor capacidad; es por eso que se cambió al Atmega 2560.

Ya con el nuevo microcontrolador, se solucionó el problema de memoria flash significativamente; pero el principal obstáculo a vencer fue trabajar con los canales analógicos del chip ya que por tener 16 canales de 10 bits de resolución, el software BASCOM no lograba manejarlos directamente; por lo que se ayudó del manejo directo de registros del sistema A/D del microcontrolador como son: el ADMUX, ADCSRA, etc; y de esta manera, luego de varias pruebas, se logró solucionar el inconveniente.

Otro problema encontrado en el módulo de control y específicamente en el hardware del generador de funciones, fue la inestabilidad de la señal senoidal; ya que la misma cambiaba bruscamente en la amplitud y frecuencia de forma extraña, lo que afectaba significativamente el trabajo. Para solucionar el inconveniente, y luego de muchas pruebas con cambios de resistencias y valores de los capacitores, se determinó que el problema lo ocasionaba el tipo de capacitor cerámico y electrolítico utilizados; por lo que se procedió a cambiar los mismos por capacitores de otro material. Con este cambio, se observó la estabilización de la señal; con lo cual quedó subsanado el problema del generador.

Otro cambio realizado en la tarjeta de control, fue el de los conectores de LCD y teclado; única y exclusivamente por facilidad de uso, ya que con espadines tipo hembra resultaba muy incómoda la interconexión por medio de bus con cable plano.

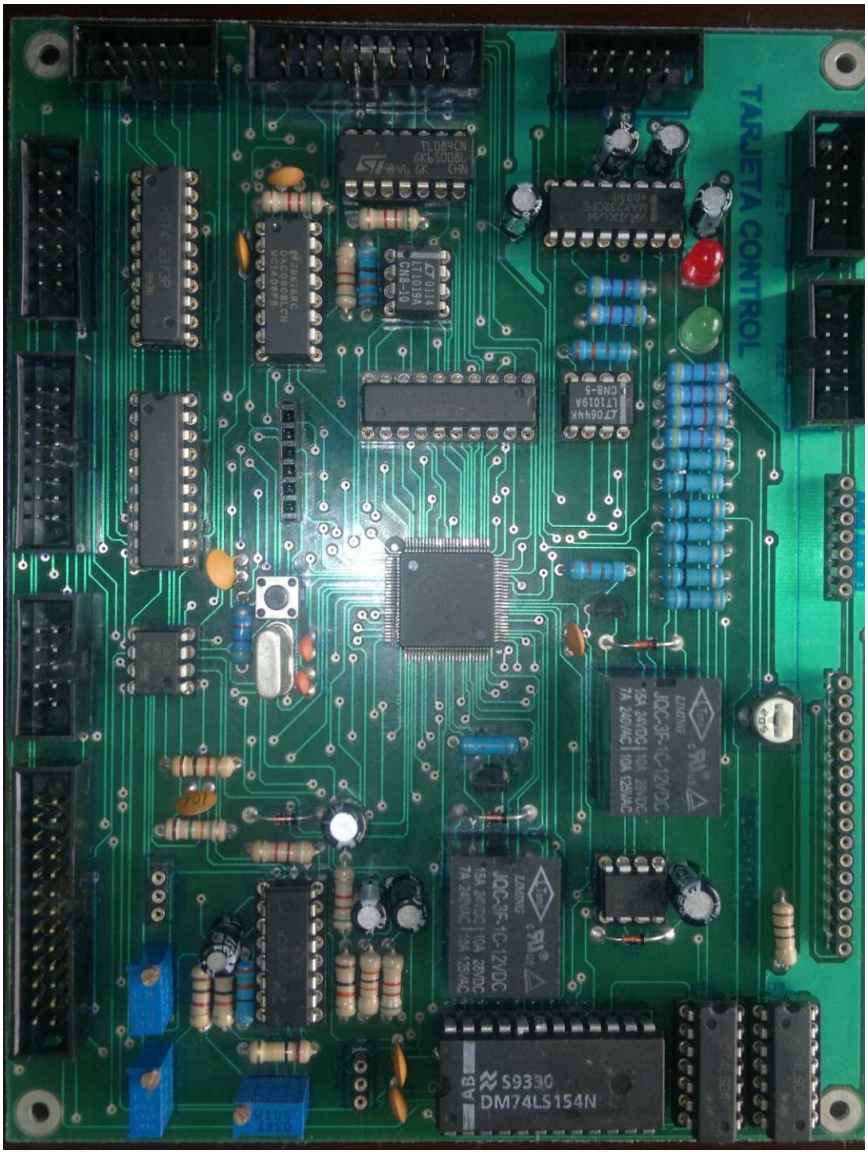

Fig. 4-2. Hardware de Control del Módulo.

4.2.1 CONVERSIÓN DIGITAL / ANALÓGICO

El hardware de conversión digital analógica, esta formado por el circutio integrado DAC0808LCN con resolución de 8 bits, un circuito Latch SN74LS373N, un amplificador operacional TL084, un circuito referencia de voltaje LT1019: de 10 V para la referencia del DAC, y de 5 V para la referencia del microcontrolador.

Como se explicó anteriormente, este sistema es utilizado para procedimientos de prueba y calibración en las tarjetas SVSE (velocidad) y STKJ (temperatura); puesto que los datos importantes son los que manejan dichas tarjetas; los cuales se analizan a continuación:

TARJETA SVSE			
Datos Digitales	**Voltaje Requerido (V)**	**Voltaje Medido (V)**	**Error (%)**
00000000	0,00	0,00	0,00%
00111100	2,50	2,51	0,40%
01010011	4,70	4,75	1,05%
10101101	9,40	9,47	0,74%
11111111	10,00	9,98	-0,20%

Tabla 4-2. Análisis de voltajes del conversor digital/analógico para SVSE.

TARJETA STKJ			
Datos Digitales	**Voltaje Requerido (mV)**	**Voltaje Medido (mV)**	**Error (%)**
01000000	14,14	14,16	0,14%
01000000	25,92	26,00	-0,31%

Tabla 4-3. Análisis de voltajes del conversor digital/analógico para STKJ.

Para el cálculo de los diferentes errores se utiliza la siguiente fórmula matemática:

$$\epsilon = \frac{abs(Vr - Vm)}{Vm} x\ 100\ \% \qquad (4.1)$$

Cabe mencionar que este sistema cuenta con un potenciómetro de calibración en la ganancia del operacional; de esta manera el sistema se lo puede calibrar lo más exacto posible.

4.2.2 GENERADOR DE FUNCIONES

El hardware de generación de funciones basa su operación en el circuito integrado XR-2206, y el sistema de prueba y calibración, utiliza la forma de onda senoidal de dicho generador para los procesos realizados a las tarjetas SVDC (vibración) y SFUA (combustible).

La siguiente figura muestra la señal obtenida del generador de funciones diseñado.

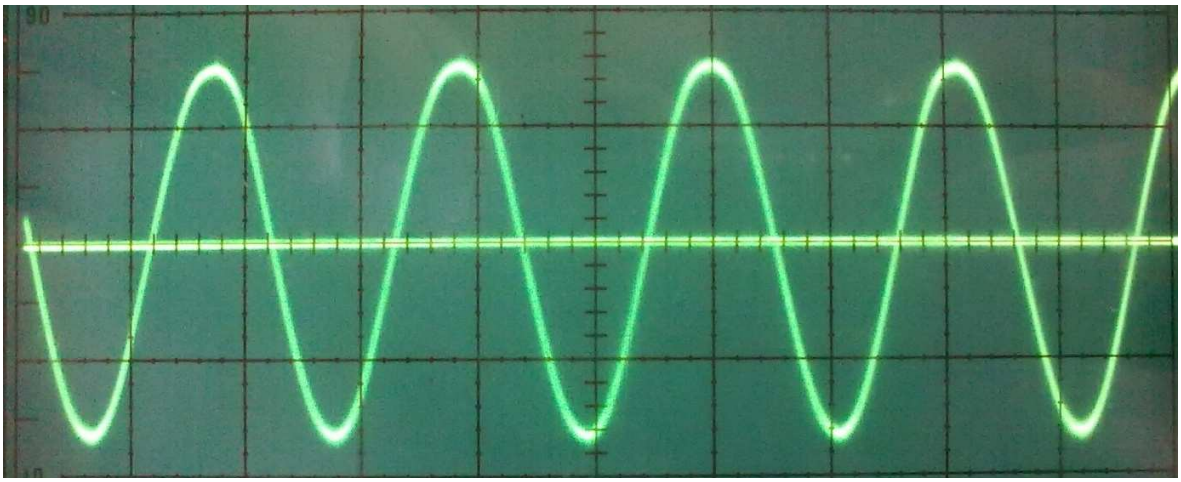

Fig. 4-3. Forma de Onda Senoidal obtenida por el generador de funciones.

4.2.3 MEDICIÓN DE AMPLITUD Y FRECUENCIA

Para la medición de amplitud y frecuencia de la señal senoidal, se utilizan amplificadores operacionales para detectar cruces por cero y para acondicionar las señales a sus distintas aplicaciones.

Para la medición de frecuencia, se utiliza el amplificador operacional LM358 con referencia a cero, con el que se realiza un detector de cruces por cero, y esta onda

cuadrada ingresarla al microcontrolador; para medir el tiempo en alto del pulso, y de esta manera determinar la frecuencia de la señal senoidal equivalente a la cuadrada.

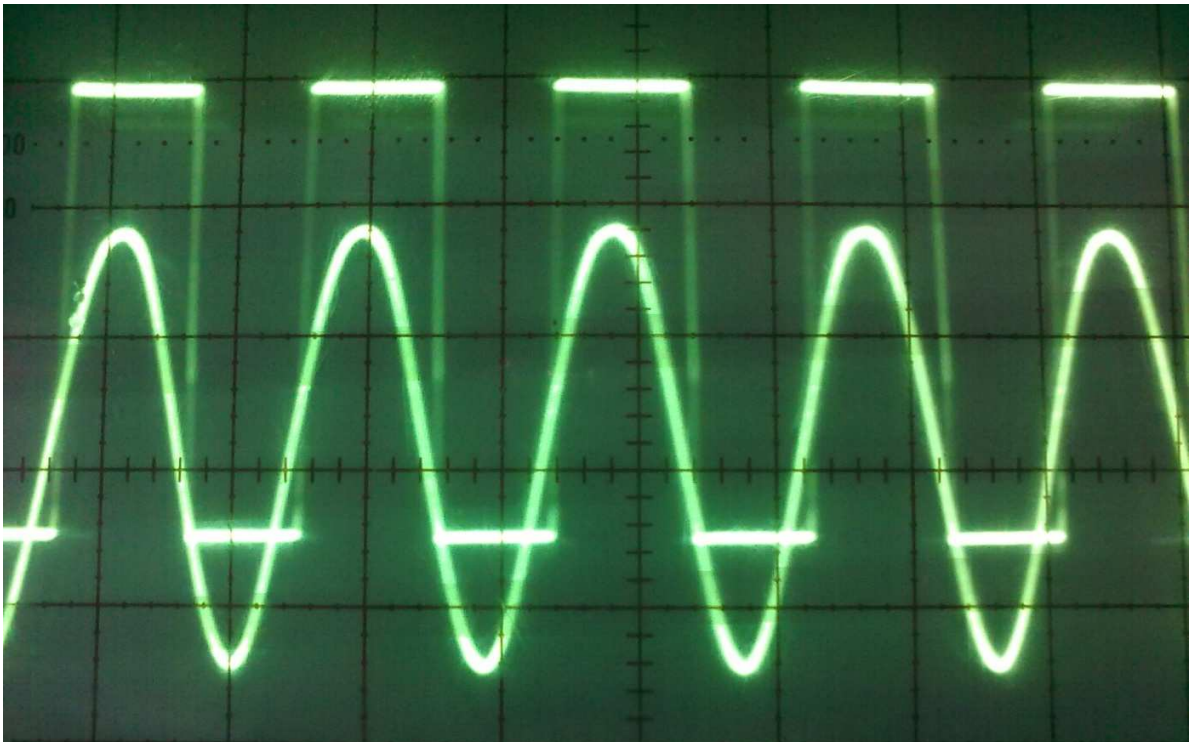

Fig. 4-4. Forma de Onda Cuadrada resultado del detector de cruces por cero.

FRECUENCIA			
Frecuencia Senoidal Medida (Hz)	**Frecuencia Cuadrada Medida (Hz)**	**Frecuencia Mostrada en el LCD (HZ)**	**Error (%)**
10	10	10	0,00%
50	48	51	-1,96%
84	82	83	1,20%
100	102	102	-1,96%
1000	1010	1008	-0,79%
2000	2005	2010	-0,50%
3000	3008	3015	-0,50%
3600	3630	3635	-0,96%

Tabla 4-4. Análisis de medición de frecuencias.

En la medición de amplitud se utiliza el amplificador operacional LM358, para adaptar la señal senoidal de la siguiente manera:

Cuando se trabaja con la tarjeta SVDC, la que utiliza señal en el orden de los de milivoltios, se amplifica la señal 15 veces para poder adaptarla a los niveles de 0 a 5 V que mide el microcontrolador; además, se tuvo problemas de medición por el bajo nivel de amplitud con el que se trabaja en esta aplicación y la componente de continua de la señal; por lo que se procedió a incluir en la entrada un capacitor de 0,1 uF de paso; con el fin de filtrar dicha componente.

Para calcular las resistencias del amplificador (figura 3-26) se utiliza la siguiente expresión matemática:

$$\mathrm{Vo} = -\frac{\mathrm{R20}}{\mathrm{R21}}.\mathrm{Vin} \qquad (4.2)$$

Detalles del cálculo para obtener ganancia de 15:

$$\frac{\mathrm{Vo}}{\mathrm{Vin}} = -\frac{\mathrm{R20}}{\mathrm{R21}}, \qquad \text{se asume} \qquad \mathrm{R21} = 1\ [\mathrm{k\Omega}] \qquad \rightarrow \qquad \mathrm{R20} = 15\ [\mathrm{k\Omega}]$$

Cabe mencionar que la compensación debido al rectificador, el filtro y la etapa de amplificación la realiza el microcontrolador por software; de tal forma, que para el usuario este proceso sea transparente y pueda observar en pantalla el valor del verdadero valor de la amplitud.

Para la tarjeta SFUA, se utiliza un seguidor de voltaje, con el fin de mantener la tensión ante la carga de dicha tarjeta; además del sistema de rectificación y filtrado explicado anteriormente.

TARJETA SVDC			
Amplitud en el Generador (mV)	**Amplitud en la salida del Amplificador (V)**	**Amplitud Mostrada en el LCD (mV)**	**Error (%)**
10,00	0,15	0,00	
50,00	0,75	51,50	-2,91%
100,00	1,57	102,00	-1,96%
150,00	2,30	152,00	-1,32%
200,00	3,10	202,00	-0,99%

Tabla 4-5. Análisis de amplitud de la señal senoidal para SVDC.

TARJETA SFUA		
Amplitud en el Generador (V)	**Amplitud Mostrada en el LCD (V)**	**Error (%)**
1,00	1,02	-1,96%
2,00	1,98	1,01%
3,00	3,06	-1,96%
4,00	4,05	-1,23%

Tabla 4-6. Análisis de amplitud de la señal senoidal para SFUA.

4.3 SISTEMA DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN SVSE

En el sistema de prueba y calibración SVSE, debido a la característica de histéresis propia de la tarjeta; se detectó un problema en el procedimiento de calibración, ya que se encontraba muchas veces enganchado al relé de velocidad a ser calibrado en determinado momento. Se resolvió este problema con un cambio en el software al pedir al usuario desenclavar dicho relé manualmente, y de esta manera poder calibrar la tarjeta de la mejor manera posible.

Además de estos problemas, esta parte del proyecto no presentó mayores inconvenientes.

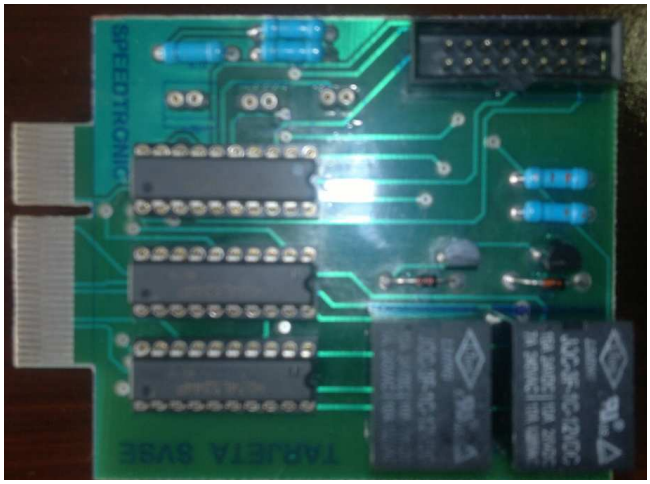

Fig. 4-5. Hardware de Prueba y Calibración SVSE.

4.4 SISTEMA DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN STKJ

El sistema de prueba y calibración STKJ fue el más complejo de todos debido a su hardware; ya que está compuesto por amplificadores operacionales comunes, multiplexores analógicos y amplificadores de instrumentación. Las pruebas de funcionamiento se las ha dividido en dos partes descritas en 4.4.1 y 4.4.2.

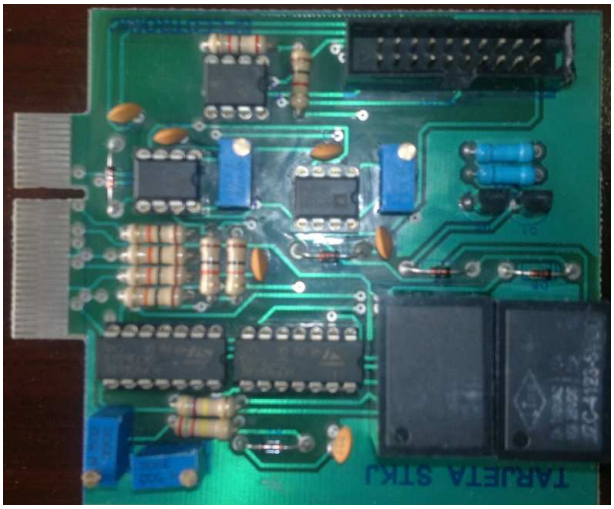

Fig. 4-6. Hardware de Prueba y Calibración STKJ.

Cabe mencionar que la primera modificación que se realizó en esta tarjeta, fue colocar un diodo para dirigir la corriente; debido a que al integrar todo el sistema, la tarjeta STKJ afectaba al sistema de conversión digital / analógico, y dañaba el operacional de dicho sistema. Al utilizar el mencionado diodo, se solucionó dicho problema y el sistema volvió a operar con normalidad.

4.4.1 MEDICIÓN DE SEÑALES DE BAJA AMPLITUD

En esta parte, es necesario medir dos señales de muy baja amplitud (2 mV y 10 mV en condiciones normales); por lo que se las hace pasar por amplificadores de instrumentación para evitar en lo posible problemas de ruido. Las ganancias deseadas para esta parte del hardware son de 1000 y 100 veces respectivamente; de tal manera, que el microcontrolador reciba señales en niveles de 0 a 5 V como máximo; y a través del software, mostrar los datos al usuario de forma transparente a este proceso de acondicionamiento.

Para calcular la resistencia adecuada para las ganancias mencionadas (figura 3-47 RV3 y RV4), se utiliza la siguiente expresión [6]:

$$R_G = \frac{49{,}4}{G-1}\,[k\Omega] \qquad (4.3)$$

Siendo:

Rg la resistencia externa.

G la ganancia deseada.

BAJA AMPLITUD - STKJ		
Amplitud en la Tarjeta STKJ (mV)	**Amplitud Mostrada en el LCD (mV)**	**Error (%)**
2,20	2,25	-2,22%
10,00	9,98	0,17%

Tabla 4-7. Análisis de datos medidos de baja amplitud para STKJ.

Finalmente, después de varias pruebas y análisis se decidió suprimir la calibración de los voltajes de baja amplitud, debido a la exactitud requerida para realizar el trabajo, y a que la resolución de los conversores es limitada; pero se conservó la lectura, y el envío de dicha lectura a la interfaz, para poner en conocimiento del usuario el valor aproximado en el que se encuentran dichos voltajes.

4.4.2 MEDICIÓN DE SEÑALES DE AMPLITUD MEDIA

Para esta parte del hardware, se realizan tres pruebas en grupos de límites superiores e inferiores de voltaje de la siguiente manera:

Primero, se calibra la segunda etapa del circuito interno de la tarjeta STKJ utilizando como entrada la señal de 14,14 mV e intentando conseguir 3,395 V, y para el extremo de 25,92 mV se busca 6 V, en la salida de esta etapa.

Segundo, se ingresan las mismas señales que el paso anterior, pero para calibrar la tercera etapa se mide en su salida 3,575 V y 6,129 V respectivamente.

Finalmente, y al igual que las etapas anteriores, se ingresan las mismas señales y se mide en la respectiva salida 3,5 V y 6 V.

Para la primera y tercera medición, se utilizan simples divisores de voltaje con el fin de acondicionar la señal para que pueda ser medida por el microcontrolador utilizando la siguiente expresión matemática (figura 3-50).

$$\mathbf{Vo} = \frac{\mathbf{R2}}{\mathbf{R1} + \mathbf{R2}} * \mathbf{Vin} \qquad (4.4)$$

Siendo:

Vo el voltaje de salida del divisor.

R2 la resistencia sobre la cual se desea el voltaje Vo.

R1 la otra resistencia del puente.

Vin el voltaje de entrada.

En la segunda medición, se utiliza un amplificador inversor formado por el circuito integrado LM358, con una ganancia de un medio ya que al igual que los otros datos, es necesario acoplar la señal, para que el microcontrolador pueda leer la amplitud en los niveles adecuados. Además, es necesario invertir la señal, debido a que la tarjeta STKJ entrega en esta etapa voltaje negativo. Para calcular las resistencias del amplificador inversor se utiliza la expresión 4-2.

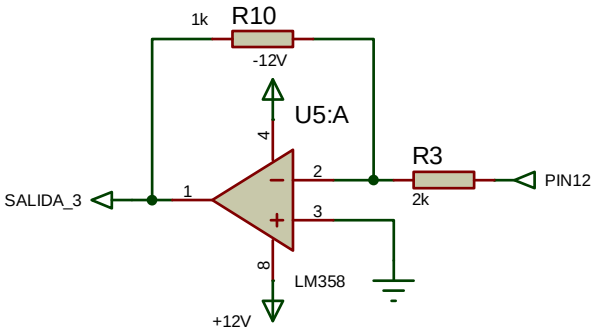

Fig. 4-7. Circuito amplificador inversor de acondicionamiento tarjeta STJK.

MEDIA AMPLITUD - STKJ		
Amplitud en la Tarjeta STKJ (V)	**Amplitud Mostrada en el LCD (V)**	**Error (%)**
2,50	2,45	2,04%
3,00	3,10	-3,23%
3,50	3,48	0,57%
4,00	3,95	1,27%
4,50	4,51	-0,22%
5,00	4,97	0,60%
6,00	5,89	1,87%
6,50	6,38	1,88%

Tabla 4-8. Análisis de datos medidos de media amplitud para STKJ.

Otro problema encontrado fue la variación del voltaje en los divisores; lo cual, se solucionó al cambiar las resistencias de los mismos por otras de mayor valor. Se encontró el mismo problema en el operacional, por lo que se cambió las resistencias calculadas por unas de mucho más valor (del orden de las centenas de kΩ), pero conservando la misma relación de amplificación; es decir, un medio.

4.4.3 PROBLEMAS DE RUIDO EN SEÑALES DE BAJA AMPLITUD

Para las señales de baja amplitud se encontraron muchos problemas, debido a que se producía demasiado ruido, ocasionando inestabilidad muy alta en las lecturas por parte del microcontrolador; por lo que se procedió a probar muchos mecanismos de filtrado de señal, pero el que mejoró la señal de manera significativa, fue la utilización de un rectificador de media onda para luego ser filtrada con un capacitor. Con este circuito, se consiguió estabilizar mejor la señal, acompañado con modificaciones en el software de lectura del microcontrolador.

Es necesario mencionar que la señal fue filtrada a la entrada y a la salida del operacional; ya que, el poco ruido que aún tenía la señal era amplificado por el sistema y seguía afectando las lecturas. De esta manera se llegó a una señal mucho más manejable y sobre todo estable.

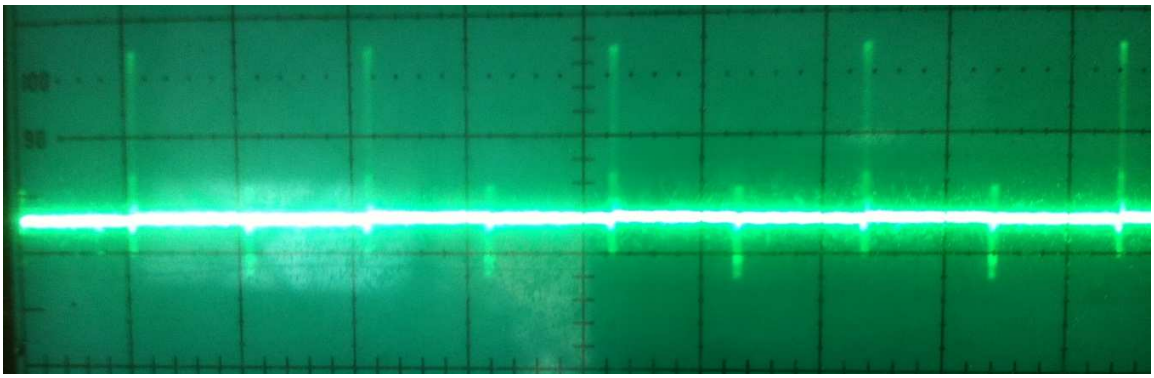

Fig. 4-8. Señal de salida de la tarjeta STKJ con ruido.

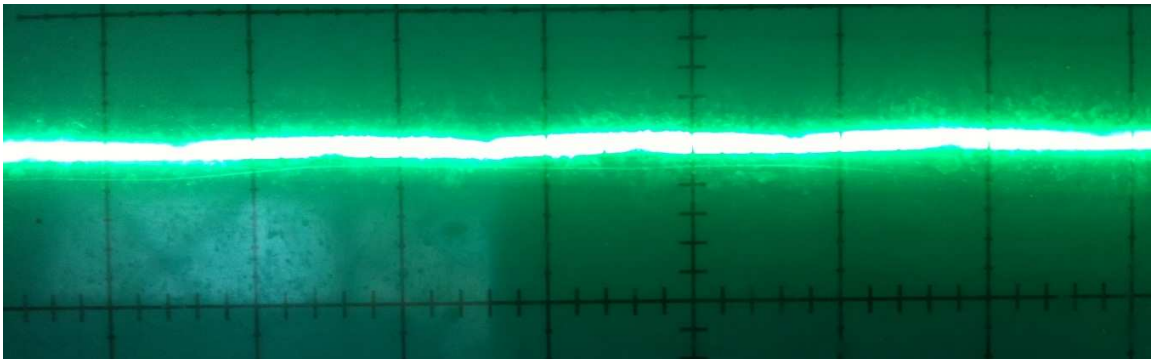

Fig. 4-9. Señal de salida filtrada de la tarjeta STKJ.

Finalmente, es necesario mencionar que para la tarjeta STKJ se pide varios puentes cortocircuitando algunos pines de la misma; se concluyó esto, debido a que al medir el voltaje entre tierras, se encontró un error de centenas de milivoltios, y trabajando con señales de unidades y decenas de milivoltios, era prácticamente imposible manejar estos errores. Se logró reducir los mismos, realizando dichos puentes que se piden al usuario al principio de la etapa de calibración.

4.5 SISTEMA DE PRUEBA VMPA

En el sistema de prueba de la tarjeta VMPA se encontró un problema específico; ya que dicha tarjeta utiliza todos los pines a diferencia de las otras que únicamente trabajan con 5 a 10 pines, lo que ocasiona interferencia en el funcionamiento de las demás. Cabe mencionar, que este problema se lo consideró en el diseño, y se lo resolvió cortando la alimentación de todos los circuitos integrados cuando la tarjeta de prueba se encuentre inactiva en el sistema, pero se descubrió que los chips utilizados en esta etapa del proyecto, presentan cierta resistencia aun cuando no estén alimentados, y esto de muchas maneras afectó el funcionamiento de los otros componentes del sistema.

La primera solución que se buscó fue la de direccionar corriente con la utilización de diodos chip montados sobre las pistas de la tarjeta de prueba; esto no resultó, debido a la complejidad del sistema, y a que mientras en algunas tarjetas ciertos pines trabajan como salidas, en otras el mismo pin trabajaba como entrada, este problema seguía afectando la estabilidad de todo el sistema.

Finalmente, se decidió aislar totalmente la tarjeta del sistema diseñando una placa con relés que trabajen de forma normal como hasta ahora en todas las tarjetas de prueba y calibración; pero que cuando trabaje la tarjeta VMPA, mediante un pin de habilitación, cierren los contactos de los relés, y de esta forma dejar aislado completamente este sistema de los demás. Para tener la mayor seguridad posible que no afectará el funcionamiento de las demás tarjetas, se decidió guiar al usuario para que esta tarjeta de prueba sea insertada única y exclusivamente en el rack de la placa de relés de aislamiento cuando se trabaje con la tarjeta VMPA.

Fig. 4-10. Hardware de Prueba VMPA.

4.6 SISTEMA DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN SVDC

El sistema de prueba y calibración para la tarjeta SVDC basa sus mediciones en las salidas analógicas de la tarjeta, acondicionadas por divisores de voltaje dados por la expresión 4.4; y que representan los niveles de vibración y valor de referencia, con los que se trabaja en éste sistema.

De la misma manera que en tarjetas anteriores, se decidió cambiar los valores de resistencia de los puentes para evitar los problemas de pérdida de voltaje, y se observó una mejora de todo el funcionamiento.

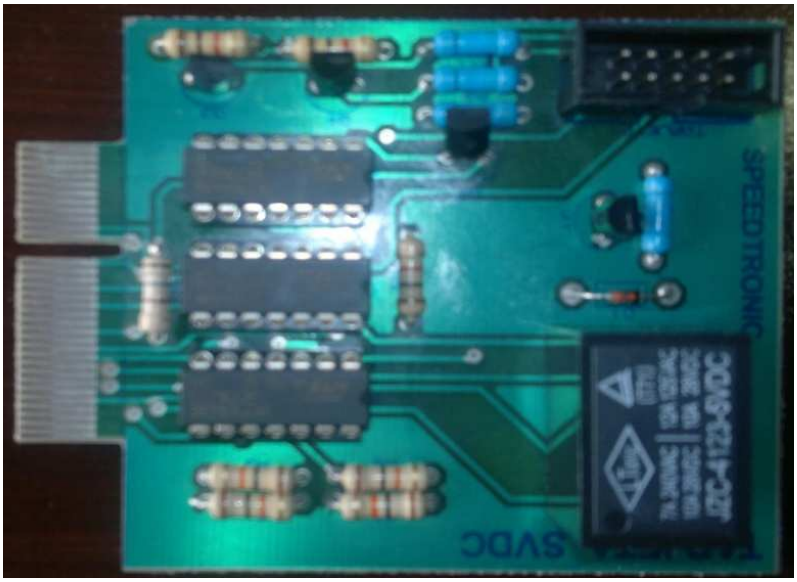

Fig. 4-11. Hardware de Prueba y Calibración SVDC.

TARJETA SVDC		
Amplitud en la tarjeta SVDC (V)	**Amplitud Medida en el Conversor (V)**	**Error (%)**
Nivel de Set Point		
1,00	1,03	-2,91%
2,00	1,97	1,52%
3,00	3,10	-3,23%
4,00	4,13	-3,15%
5,00	5,06	-1,19%
Nivel de Vibración		
1,00	1,03	-2,91%
2,00	1,97	1,52%
3,00	3,10	-3,23%
4,00	4,13	-3,15%
5,00	5,06	-1,19%

Tabla 4-9. Análisis de amplitud de la señal de vibración y set point SVDC.

4.7 SISTEMA DE PRUEBA Y CALIBRACIÓN SFUA

Para el sistema de prueba y calibración de la tarjeta SFUA, se utiliza un único canal analógico de medición, que al igual que los otros casos es acondicionado por un divisor de voltaje dado por la expresión 4.4; y que es equivalente a la cantidad de combustible.

Al igual que en tarjetas anteriores, se decidió cambiar los valores de resistencia de los puentes para evitar los problemas de pérdida de voltaje, y el funcionamiento del sistema mejoró.

Fig. 4-12. Hardware de Prueba y Calibración SFUA.

TARJETA SFUA		
Amplitud en la Tarjeta SFUA (V)	**Amplitud Mostrada en el LCD (V)**	**Error (%)**
2,00	2,05	-2,44%
4,00	4,07	-1,72%
6,00	6,10	-1,64%
8,00	7,98	0,25%
10,00	9,97	0,30%

Tabla 4-10. Análisis de datos medidos de combustible para SFUA.

Es importante destacar el principal problema encontrado en el proyecto y que fue el que demandó el mayor tiempo resolverlo. Al integrar todo el hardware como se había mencionado antes, algunas partes interferían con otras, evitando el correcto funcionamiento y la estabilidad del mismo; por lo que, se recurrió a la utilización de diodos para dirigir corriente, se trabajó con altas impedancias en la medida de lo posible para evitar interferencias; se polarizaron algunos integrados para evitar las caídas de señal en los mismos al tener ausencia de energía, y finalmente cuando no se pudo solucionar con los mecanismos descritos, se recurrió a montar relés extras en las tarjetas, y de esta manera aislar completamente la parte problemática.

Después del análisis y posterior solución de los diferentes problemas encontrados, se llegó a un correcto funcionamiento del equipo con todas las características que fueron planteados como objetivos al inicio del presente proyecto.

4.8 INTERFAZ GRÁFICA DESARROLLADA EN LABVIEW

La interfaz gráfica desarrollada en Labview de la National Instrument no presentó ningún problema de funcionamiento, sin embargo, se realizaron un par de pruebas, y se confirmó el buen funcionamiento del mismo, por lo que se concluyó con esta etapa del proyecto.

En el presente capítulo se describieron las diferentes pruebas de funcionamiento a las que fue sometido el equipo de prueba y calibración, que constituye el objetivo principal del presente proyecto. Se expusieron los resultados; así como también se analizó los problemas encontrados y la solución respectiva a cada uno de ellos. Se presentaron datos de las calibraciones realizadas, mostrando que los mismos se encuentran dentro de los parámetros necesarios para determinar el correcto funcionamiento del equipo con todos sus componentes.

El siguiente capítulo, trata sobre las conclusiones y recomendaciones a las que se llegó luego de culminar el desarrollo del presente proyecto; con la finalidad de que el sistema funcione de la mejor manera posible.

CAPÍTULO 5
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de las pruebas realizadas y los resultados obtenidos se han llegado a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

5.1 CONCLUSIONES

- El sistema de prueba y calibración para tarjetas de control de turbina elaborado en el presente proyecto, funciona correctamente, y realiza las distintas pruebas de funcionamiento a las diferentes tarjetas de control involucradas; así como también guía al usuario en el proceso de calibración, detallando cada paso a seguir en el mismo.

- El módulo de prueba y calibración por medio de su sistema principal, el microcontrolador Atmega 2560, simula todas las características de operación y posible falla de la turbina para servicio pesado MS5001.

- El módulo de prueba y calibración es escalable, por lo que se puede incorporar software y hardware para diagnóstico y calibración de otras tarjetas del sistema Speedtronic; dicho hardware, puede ser insertado en los slots libres de la tarjeta de racks.

- Las señales implementadas para la tarjeta SVSE, se comportan de manera similar a las señales provenientes de los sensores de velocidad de la turbina; por lo que permite al usuario calibrar de una mejor manera los distintos relés de velocidad del sistema.

- La calibración de la tarjeta electrónica STKJ demanda mucho tiempo para el personal de mantenimiento de la Central Santa Rosa; por lo que el módulo de prueba y calibración implementado optimiza estos tiempos, ya que entrega las polarizaciones y las señales necesarias sin la utilización de fuentes externas, y además guía al usuario en cada etapa del proceso.

- El módulo de prueba y calibración permite de manera satisfactoria, diagnosticar y calibrar los dos canales de la tarjeta SFUA por separado, permitiendo encontrar algún posible defecto que se esté enmascarado al trabajar los dos canales a la vez.

- La tarjeta electrónica SVDC, sensor de vibración, necesita de una señal en el orden de los milivoltios para ser manejada, misma que fue generada con el circuito integrado XR-2206; pero en estas amplitudes, se presenta inestabilidad de la señal; para disminuir este problema se utiliza capacitores de poliéster en lugar de los cerámicos dentro de la circuitería necesaria para dicho circuito integrado.

- La tarjeta electrónica VMPA es completamente digital, por lo que no se puede calibrar; solo se diagnostica su funcionamiento colocando estados lógicos en la secuencia correcta, y leyendo sus salidas por medio del microcontrolador.

- El módulo de prueba y calibración simula correctamente cada una de las señales que genera el sistema Speedtronic en los procesos de arranque, funcionamiento y parada de la turbina; además de señales de fallas que podrían darse en dichos procesos. Con todas estas señales se realizan las pruebas de funcionamiento a la tarjeta VMPA.

- La HMI desarrollada en LabView funciona correctamente, es amigable al usuario, presenta información de la tarjeta, detalle de pines y del proceso;

además muestra los valores finales de calibración de cada tarjeta, permitiendo, sí se requiere, generar un archivo .txt de reporte con estos valores, la fecha y hora en que se realiza la calibración.

- Para realizar las etapas de calibración, se toma como base la información técnica obtenida de los mantenimientos anuales, misma que muestra los valores y las tolerancias a los que se deben ajustar los diferentes parámetros. El módulo de prueba y calibración cumple con estos valores y con las tolerancias permitidas con un mínimo error.

- El diseño y desarrollo del sistema de prueba y calibración, efectuado en el presente proyecto, es aplicable para cinco de las tarjetas principales del módulo de control Speedtronic, presente en la turbinas para servicio pesado General Electric MS5001, utilizadas en la Central Santa Rosa como parte del proceso de generación de energía eléctrica. El módulo desarrollado permitirá a la empresa CELEC EP el ahorro de recursos en los procesos de mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de control Speedtronic.

5.2 RECOMENDACIONES

- El sistema fue diseñado para cinco de las tarjetas de control, por lo que se recomienda ampliarlo debido a la demanda de mantenimiento en el sistema de control Speedtronic; así como también a la gran cantidad de tarjetas de todo tipo.

- Una mejora significativa propuesta para el sistema de control Speedtronic actual, es reemplazar el hardware antiguo del cual pocos repuestos se encuentran en el mercado, por sistemas microprocesados; con el fin de modernizar dicho sistema y evitar los problemas con el stock de repuestos descontinuados; que a la larga dejan obsoletas las tarjetas por falta de éstos o posibles reemplazos.

- Cuando se realice un diseño electrónico, debe tomarse en cuenta que los circuitos integrados que se encuentren sin polarización presentan una resistencia baja entre sus pines, y no ofrecen las características de alta impedancia como en el caso de los amplificadores operacionales o buffers tres estados; ya que esto afecta el correcto funcionamiento del equipo.

- Es necesario considerar que en las entradas de control de los multiplexores analógicos CD4066BE, se debe utilizar el mismo nivel de voltaje que en su polarización, para permitir el paso de la señal sin que ésta sea alterada. Si el voltaje en las entradas de control es un porcentaje del de polarización del integrado, la señal que pase lo hará atenuada en la misma proporción.

- Una práctica aconsejable al diseñar un divisor de voltaje, es colocar un potenciómetro de precisión en uno de sus brazos, debido que las resistencias comerciales tienen su tolerancia o incluso pueden llegar a desvalorizarse con

el tiempo y funcionamiento, dicho potenciómetro permitirá volver a las condiciones de precisión y diseño originales.

- El software BASCOM utilizado en el desarrollo de este proyecto era una versión demo, y presentó el inconveniente de que al compilar el total del programa dejaba no funcional al microcontrolador, sin presentar mensajes de error de compilación. Dicho problema se solucionó al compilar todo el programa en un software BASCOM original; por lo que es recomendable considerar este detalle.

- Para el generador de onda senoidal basado en el circuito integrado XR2206, se recomienda utilizar capacitores de poliéster en lugar de los cerámicos; ya que esto ayuda a mejorar la estabilidad de la señal generada.

- Al trabajar con circuitos TTL, se debe tener la precaución de aterrizar sus entradas que no sean utilizadas por medio de resistencias. Se recomienda resistencias de 1KΩ a 3.3 KΩ.

- El módulo de prueba y calibración presenta una entrada para programar al microcontrolador; misma que se recomienda sea utilizada únicamente por personal capacitado; ya que podría afectar el funcionamiento del equipo electrónico.

- Es necesario por parte de la empresa CELEC EP, capacitar a sus técnicos en las tecnologías actuales en el área de electrónica; ya que esto proporcionará el criterio necesario al momento de decidirse por una actualización de sus dispositivos, mismos que en promedio tienen 30 años de antigüedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

[1] BLOGSPOT, Energía Eléctrica,

http://www.google.com/imgres?imgurl=http://1.bp.blogspot.com/_pFt9fhH0Ra0/SxcsDVwapWI/AAAAAAAAAAs/AKDU0FlxcFA/s320/turbina-de-gas-148941.jpg&imgrefurl=http://ganix-energiaelectrica.blogspot.com/2009/12/turbina-de-gas.html&usg=__WD_qdsio-WEjAfIcaRdIP5uSyJk=&h=318&w=320&sz=31&hl=es&start=153&zoom=1&tbnid=RelmQRynAHY-eM:&tbnh=142&tbnw=143&prev=/images%3Fq%3Dturbina%2Ba%2Bgas%26um%3D1%26hl%3Des%26biw%3D1259%26bih%3D615%26tbs%3Disch:10%2C4244&um=1&itbs=1&ei=B8YPTZjPHIKC8gbt9MykAw&biw=1259&bih=615&iact=rc&dur=132&oei=68UPTff7JYH88Abzis3ZDQ&esq=10&page=10&ndsp=18&ved=1t:429,r:4,s:153&tx=-448&ty=15

[2] TURBINAS A GAS, EIA

http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articuloses/maquinashidraulicas/turbinas_gas/index.html

[3] GENERAL ELECTRIC, Entrenamiento del Operador del TM2500 MOE, 2010.

[4] BURBANO, Vladimir; **CHICAIZA,** Marco, Procesos Central Guangopolo y Central Santa Rosa – CELEC EP, Quito – Ecuador.

[5] ELECTRÓNICA FÁCIL, Fuentes de Alimentación
http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Fuentes-alimentacion.php

[6] LET'S MAKE ROBOTS, Foros
http://www.google.com.ec/imgres?imgurl=http://letsmakerobots.com/files/userpics/u1533/ATmega2560_16AU_B1.jpg&imgrefurl=http://letsmakerobots.com/node/22821&usg=__Dqiun98lQ9t-BCZuHZyauFWlPGQ=&h=500&w=500&sz=82&hl=es&start=17&zoom=1&tbnid=PvKrO69gw2X4zM:&tbnh=144&tbnw=169&prev=/images%3Fq%3Datmega2560%26um%3D1%26hl%3Des%26sa%3DN%26biw%3D1280%26bih%3D607%26tbs%3Disch:10%2C456&um=1&itbs=1&iact=hc&vpx=697&vpy=135&dur=381&hovh=225&hovw=225&tx=103&ty=120&ei=SbgHTf_qHYet8AbvhM3ZCg&oei=QrgHTdn0FoK78gaHqMTsBQ&esq=2&page=2&ndsp=18&ved=1t:429,r:3,s:17&biw=1280&bih=607

[7] DATASHEET ARCHIVE, LT1019-X
http://www.datasheetarchive.com/LT1019-5-datasheet.html

[8] ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO, Adquisición de datos
http://www.idiazt.net/adquisicion_files/Practica%202_DAC0808.pdf

[9] ALL DATASHEETS, HCF4066B
http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/22378/STMICROELECTRONICS/HCF4066B.html.

[10] DATASHEET CATALOG, AD620
http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/analogdevices/105505445AD620_e.pdf

[11] GENERAL ELECTRIC, Manual de Controles para Turbinas de Gas. MARK II Speedtronic 1 y 2 Ejes. Central Termoeléctrica "Santa Rosa", Versión Inglés y Español, Maracaibo, 1981.

[12] AEG - KANIS, Speedtronic MS 5001 Mark II. Einstellvorschriftund Karteninnenschaltbilder. Central Termoeléctrica “Santa Rosa”, Versión Alemán e Inglés.

[13] NATIONAL INSTRUMENT

http://www.ni.com/labview/whatis/esa/

[14] WIKIPEDIA

http://www.wikipedia.org

CREUS SOLE, Antonio; Instrumentación Industrial. Séptima Edición. Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V. México. 2006.

VALENCIA B.,Ramiro; Aplicaciones Electrónica con Microcontroladores, Imprenta Graficolor, Ibarra, 2008.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial; BASCOM AVR, 2009-2010.

REYES, Carlos A.; Aprenda rápidamente a programar Microcontroladores PIC, Gráficas Ayerve C.A., Ecuador, 2004.

PALACIOS, Enrique. **DOMINGUEZ,** Fernando. **LÓPEZ,** Lucas.Microcontrolador PIC16F84 – Desarrollo de Proyectos. Segunda Edición. Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V. México. 2006.

BOYLESTAD, Robert. **NASHELSKY,** Louis; Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos. Octava Edición. PRENTICE HALL INC, México, 2003.

GENERAL ELECTRIC, Diagramas y Planos del Sistema de Control Speedtronic. Central Termoeléctrica “Santa Rosa”, Cutuglagua, Ecuador.

GLOSARIO DE TÉRMINOS [14]

1. Par: El par motor es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia. También denominado torque.

2. Momento: Es otra denominación para el torque.

3. Combustibles sólidos: Carbón, madera y la turba que es un material orgánico, de color pardo oscuro y rico en carbono. Está formado por una masa esponjosa y ligera en la que aún se aprecian los componentes vegetales que la originaron.

4. El volumen total de un cilindro corresponde al área de la circunferencia multiplicado por la carrera o desplazamiento del pistón. Al sumar los volúmenes que desplazan cada uno de los pistones se obtiene la cilindrada del motor. (Técnicamente se conoce como desplazamiento volumétrico).

5. Un álabe es la paleta curva de una turbomáquina. Forma parte del rodete. Los álabes desvían el flujo de corriente, para intercambiar cantidad de movimiento del fluido con un momento de fuerza en el eje.

6. El rodete es un tipo de rotor situado dentro de una tubería o un conducto y encargado de impulsar un fluido. Generalmente se utiliza este término para referirse al elemento móvil de una bomba centrífuga, pero en ocasiones también se utiliza para referirse al elemento móvil de turbinas y ventiladores.

7. Un cojinete en ingeniería es la pieza o conjunto de ellas sobre las que se soporta y gira el árbol transmisor de momento giratorio de una máquina.

8. Metal **Babbit** es un término genérico que se usa para designar la aleación antifricción de bajo punto de fusión, es decir se funden como superficies de cojinete o apoyo en tapas o respaldos de acero, bronce o hierro fundido. Los Babbits tienen excelente capacidad embebedora (o sea de encerrar o enclavar dentro de sí las partículas extrañas) y conformabilidad (capacidad para deformación plástica y compensar las irregularidades en el cojinete).

9. Vaho es el vapor que despide un cuerpo en ciertas condiciones.

10. Bancada: Soporte firme para una máquina o conjunto de máquinas.

11. El estiaje es el nivel de caudal mínimo que alcanza un río o laguna en algunas épocas del año, debido principalmente a la sequía.

12. Un compensador síncrono, también llamado condensador síncrono, es una máquina síncrona cuyo eje no está unido a ninguna carga. La corriente en su devanado de campo se controla a través de un regulador de tensión, de forma que la máquina genera o consume potencia reactiva según lo requiera el sistema al que está conectada.

13. Energía activa: Todas las máquinas eléctricas alimentadas en corriente alterna convierten la energía eléctrica suministrada en trabajo mecánico y calor. Esta energía se mide en KWh y se denomina energía activa.

14. VCE: Voltaje de control electrónico, señal proveniente del Speedtronic hacia el sistema dosificador de combustible.

15. PR/A Pulse rate to analog, denominación del circuito convertidor de frecuencia a voltaje dentro de la tarjeta SFUA.

16. Un biestable (flip-flop en inglés), es un multivibrador capaz de permanecer en uno de dos estados posibles durante un tiempo indefinido en ausencia de perturbaciones. Esta característica es ampliamente utilizada en electrónica digital para memorizar información. El paso de un estado a otro se realiza variando sus entradas.