



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación (FIEC)

INFORME DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

**“DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS AUTOMATIZADO DE
MOTORES ELECTRO-SUMERGIBLES PARA LA
EXTRACCIÓN DE PETROLEO”**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

**Estudiante:
Cárdenas Huilca Sixto Alejandro**

GUAYAQUIL – ECUADOR

2012

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral y Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación que me brindó la oportunidad de crecer académicamente y ser un profesional con valores de servicio a la comunidad.

Un agradecimiento especial a la Directora de Tesis, Msc. Sara Ríos, a mis compañeros y buenos amigos por su colaboración y ayuda desinteresada.

Un eterno agradecimiento a Dios y la Virgen Dolorosa por haberme dado la vida, a mis padres y hermanos por su amor y constancia, al Ing. Marco Velastegui y Marcia Huilca mis segundos padres.

DEDICATORIA

A mi esposa, Ing. Mónica Parreño R., a mis hijas Sofía Alejandra y María Paz; quienes son mi fuerza y están siempre a mi lado apoyándome, siendo mi inspiración diaria y mi razón de vivir.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Jorge Aragundi R.
SUBDECAÑO DE LA FIEC



Ing. Sara Rios O.
DIRECTOR DEL PROYECTO



Ing. Carlos Valdivieso A.
MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Trabajo de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)


Sixto Alejandro Cárdenas Huilca

RESUMEN

El presente trabajo de titulación trata sobre el diseño, de un sistema de banco de pruebas de motores electro-sumergibles utilizados en la extracción de petróleo para ampliar las funcionalidades de equipos existentes, reducir errores y riesgos en la toma de parámetros del motor y disminuir la dependencia tecnológica externa. En una industria tan grande como la petrolera, que está en constante avance y ejecuta elevadas inversiones.

Las pruebas disponibles a realizar con el banco de pruebas tienen que ver con la medición de parámetros como, temperatura, vibración, voltajes, corrientes, impedancia y sentido de fase.

El desarrollo del presente trabajo se fundamenta en el desarrollo en dos áreas importantes:

- Desarrollo de software de aplicación.
- Desarrollo de hardware.

El software implica el desarrollo varias pantallas funcionales que interactúan con el usuario para la ejecución de las pruebas de manera secuencial e intuitiva.

Interacción con el hardware para la ejecución de tareas y pruebas a través de comandos ASCII.

Por otro lado, el desarrollo del hardware se basa en un micro controlador que administra todas las funcionalidades e interactúa con el hardware para el inicio y fin de cada una de las pruebas, el hardware está diseñado específicamente como una interfaz entre el software de aplicación y los sensores instalados en el motor electro-sumergible sometido a la prueba. Cada vez que se recibe desde el software un comando, el hardware ejecuta la digitalización del parámetro correspondiente basándose en una tabla comando/acción programada previamente en el micro-controlador.

Para reducir los costos de desarrollo y distribución se han usado software de libre distribución, como el Microsoft visual Basic Express (herramienta de desarrollo para Windows), MPLAB (herramienta de desarrollo para micro-controladores).

A continuación se detalla el contenido de cada capítulo:

Capítulo 1: Se hace una introducción a los elementos que componen un sistema de bombeo electro sumergible utilizado en la extracción de petróleo que actualmente se instala alrededor del mundo, sea en tierra o en plataformas marítimas. Entre las características detalladas constan principalmente parámetros y componente del motor y el principio de funcionamiento de este tipo de levantamiento.

Capítulo 2: Se describen en detalle las características, teoría y funcionamiento de un arrancador directo para motores, componentes que lo conforman, sus bondades y limitaciones así como también las conexiones eléctricas necesarias para su funcionamiento. Se desglosan los parámetros de importancia que se requieren al momento de ejecutar las pruebas.

Capítulo 3: Se divide el capítulo en dos partes fundamentales, manual de usuario de software y detalles de programación. En la parte de manual de usuario, se desglosan las funcionalidades y mensajes de cada una de las pantallas del software, como interpretar los mensajes y lecturas mostradas en pantalla y como utilizar la ayuda disponible en el mismo. En la descripción de los detalles de programación, se desglosa

mediante diagramas de flujo la lógica de programación, los comandos transmitidos y recibidos además de la descripción de los componentes importantes del mismo. Se culmina el capítulo con el detalle de las pruebas realizadas en campo con una unidad HPS (Sistema de Bombeo Horizontal) de bombeo de petróleo.

Capítulo 4: Se divide en tres partes fundamentales, manual de usuario, manual de instalación, descripción de hardware y resultados. En el manual de usuario, se describen cada uno de los estados de funcionamiento de la tarjeta y la interpretación de los indicadores luminosos y auditivos implementados en la tarjeta electrónica, también se agrega las precauciones y mantenimiento rutinario que el hardware puede requerir periódicamente. En el manual de instalación se adicionan los procedimientos y precauciones que se deben tomar al momento de instalar la tarjeta electrónica y los correspondientes sensores en el motor bajo prueba. También se establecen las rutinas a ejecutar al momento de conectar la tarjeta a la PC y encender el sistema. En la descripción del hardware se describen, haciendo la división de bloques de diferentes elementos electrónicos que componen la tarjeta electrónica, al final de esta sección se incluye un diagrama esquemático y lay-out de componentes. Finalmente se

agregan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en campo con una unidad HPS de bombeo de petróleo.

Como finalización del presente trabajo se discuten las conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL.....	XI
ABREVIATURAS	XIII
SIMBOLOGÍA	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
INTRODUCCIÓN	XVIII
CAPÍTULO 1	19
1.SISTEMA ELECTRO SUMERGIBLE	19
1.1 Descripción del sistema electro-sumergible.....	19
1.2 Componentes del sistema electro sumergible	3
1.3 Principios del funcionamiento de un sistema electro sumergible	37
CAPÍTULO 2.....	40
2.ARRANCADOR	40
2.1 Teoría y funcionamiento	40
2.2 Alimentación y transformador de entrada	43
2.3 Conexiones a la entrada del arrancador.....	47
2.4 Componentes	49
2.5 Arranque del Equipo	61
2.6 Diseño del Arrancador	65
CAPÍTULO 3.....	71
3.DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL BANCO DE PRUEBAS AUTOMATIZADO	71
3.1 Funcionamiento y configuración general	74
3.2 Definición del problema	81
3.3 Menú principal	90
3.4 Visualización del Estado del controlador	95
3.5 Configuración de las Pruebas.....	96
3.6 Histórico.....	116
3.7 Alarmas.....	119
3.8 Pantallas de Curvas.....	121

3.9	Despliegue analógico.....	123
3.10	Protocolos de comunicación con la tarjeta de comunicación.....	125
3.11	Diagrama lógico principal de programación.....	126
CAPÍTULO 4.....		128
4.HARDWARE		128
4.1	Diagrama de bloques.....	129
4.2	Descripción estructural y funcional.	133
4.3	Descripción de interfaz: PC – Tarjeta de comunicación; Tarjeta de comunicación – Sistema de potencia.....	135
4.4	Diagrama esquemático de la tarjeta de comunicación	139
4.5	Diagramas Lógicos de Programación del Micro-controlador	147
4.6	Configuración y Funcionamiento	152
4.7	Especificaciones de implementación y operación.....	157
4.8	Resultados de pruebas finales.....	161
CONCLUSIONES		
RECOMENDACIONES		
ANEXOS		
BIBLIOGRAFÍA		

ABREVIATURAS

EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
EPDM	Ethylene propylene diene monomer
LED	Light-Emitting Diode
Nema	National Electrical Manufacturers Association
PC	Personal computer
PIC	Peripheral Interface Controller
RAM	Random access memory
ROM	Read-only memory
TTL	Transistor-transistor logic
USART	Universal synchronous asynchronous receiver transmitter

SIMBOLOGÍA

°C	Centígrados
f	Frecuencia
°F	Fahrenheit
A	Amperio
BPD	Barriles por día
Ft	Feet
HP	Horse power
Hz	Hertz
KA	Kilo-amperio
KV	Kilo-voltios
m	Metros
m ³	Metros cúbicos
mA	Mili-amperio
Rpm	Revoluciones por minuto
V	Voltios
Vac	Voltage Alternating Current

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Motor electro sumergible.	4
Figura 1. 2 Láminas prensadas.....	12
Figura 1. 3 Orificios del estator.	13
Figura 1. 4 Encapsulamiento Epóxico.....	13
Figura 1. 5 Subida de calor vs. Velocidad de fluido.	15
Figura 1. 6 Camisa de refrigeración.....	16
Figura 1. 7 Sección sellante en perspectiva.	18
Figura 1. 8 Componentes Sección sellante.	21
Figura 1. 9 Separador de gas rotativo en perspectiva.	22
Figura 1. 10 Corte transversal del separador de gas rotativo.	24
Figura 1. 11 Bomba electro sumergible.	25
Figura 1. 12 Difusores e impulsores.	26
Figura 1. 13 Fuerza en un impulsor.	27
Figura 1. 14 Generación de fuerzas centrífugas.....	28
Figura 1. 15 Entrada de fluido.....	29
Figura 1. 16 Corte transversal de la bomba.....	29
Figura 1. 17 Equipo de fondo y de superficie del Centinel.....	32
Figura 1. 18 Cable Plano.	35
Figura 1. 19 Cable Redondo.....	35
Figura 2. 1 Conexiones del transformador.....	45
Figura 2. 2 Diagramas fasoriales.....	45
Figura 2. 3 Microswich encapsulado.....	49
Figura 2. 4 Seccionador Vista frontal.....	50
Figura 2. 5 Transformador de control.....	53
Figura 2. 6 Transformador de corriente.....	55
Figura 2. 7 Contactor de Vacío.....	56
Figura 2. 8 Secuencimetro de Fases.....	64
Figura 3. 1 Configuración general del sistema.....	81
Figura 3. 2 Verificación en el administrador de dispositivos del puerto serial disponible para conexión.....	89
Figura 3. 3 Menú principal.....	91
Figura 3. 4 Ingreso operador.....	92
Figura 3. 5 Datos del motor.....	93
Figura 3. 6 Error de ingreso.....	94
Figura 3. 7 Pantalla de menú principal.....	94
Figura 3. 8 Color de pruebas exitosas.....	95
Figura 3. 9 Color de pruebas fallidas.....	96
Figura 3. 10 Pruebas de aislamiento diagrama de configuración.....	97
Figura 3. 11 Prueba de aislamiento.....	98
Figura 3. 12 Advertencia de llenado de campos en prueba de aislamiento..	99
Figura 3. 13 Diagrama de flujo de pruebas de resistencia.....	101

Figura 3. 14 Pantalla de interfaz usuario para pruebas de resistencia	102
Figura 3. 15 Falla de pruebas de rotación debido a prueba incompleta de resistencia de fase-fase	103
Figura 3. 16 Diagrama de flujo de la programación de rotación de fase.....	105
Figura 3. 17 Prueba de rotación de fase.....	106
Figura 3. 18 Diagrama de voltaje y corriente.	108
Figura 3. 19 Prueba voltaje y corriente.	109
Figura 3. 20 Diagrama de vibración.	111
Figura 3. 21 Prueba de vibración	112
Figura 3. 22 Diagrama de temperatura.	114
Figura 3. 23 Prueba de temperatura	115
Figura 3. 24 Falla en la prueba de aislamiento.	119
Figura 3. 25 Falla en la prueba de rotación de fase.....	120
Figura 3. 26 Diagrama lógico de programación de las curvas.	122
Figura 3. 27 Curvas.	123
Figura 3. 28 Diagrama lógico correspondiente.	124
Figura 3. 29 Reportes	125
Figura 3. 30 Diagrama lógico principal.....	127
Figura 4. 1 Diagrama de bloques propuesto para implementación de la tarjeta electrónica.....	132
Figura 4. 2 Salida del ULN2003.	134
Figura 4. 3 Equipo Terminal de datos (Conector macho DSUB9).....	137
Figura 4. 4 DTE a DTE RS-232 cable no usado del MODEM (Conector hembra DSUB9 a conector hembra DSUB9).....	137
Figura 4. 5 Equipo Terminal de datos (Conector macho DSUB9).....	138
Figura 4. 6 Tarjeta electrónica.	141
Figura 4. 7 Tarjeta de entradas analógicas.....	142
Figura 4. 8 Vista superior de la ubicación de los componentes.	143
Figura 4. 9 Mapa De componentes de la tarjeta de entradas analógicas. ..	144
Figura 4. 10 Vista inferior de las pistas de comunicación.	145
Figura 4. 11 Vista inferior de las pistas de la tarjeta de entradas analógicas.	146
Figura 4. 12 Diagrama de flujo programación principal.....	148
Figura 4. 13 Diagrama de flujo de código de interrupción.....	150
Figura 4. 14 Entradas y salidas de tarjeta electrónica.	153
Figura 4. 15 Configuración de pruebas.....	160
Figura 4. 16 Reporte de pruebas.	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I Rangos de los equipos.....	9
Tabla II Placa de un transformador elevador.....	46
Tabla III Pruebas y entradas/salidas.....	80
Tabla IV Pruebas de aislamiento.....	83
Tabla V Pruebas de resistencia fase-fase.....	84
Tabla VI Pruebas de rotación de fases.....	85
Tabla VII Pruebas de voltaje y corriente.....	87
Tabla VIII Pruebas de vibración.....	87
Tabla IX Pruebas de temperatura.....	88
Tabla X Problema y solución de incongruencia de valores.....	118
Tabla XI Problema y solución en lectura de valores.....	118
Tabla XII Problema y solución de transmisión de datos.....	118
Tabla XIII Problema y solución de graficación de curvas.....	118
Tabla XIV Problema y solución de reporte.....	118
Tabla XV Problema y solución de gestiones.....	119
Tabla XVI Pruebas y entradas para la tarjeta electrónica.....	129
Tabla XVII Parámetros y sensores a usarse en el diseño de la tarjeta electrónica.....	130
Tabla XVIII Tabla de tareas.....	151
Tabla XIX Configuración de pines del micro controlador.....	154
Tabla XX Datos de la prueba.....	160

INTRODUCCIÓN

Este proyecto se lo elabora con el desarrollo del programa que automatiza las pruebas del banco de pruebas existente optimizando el proceso, la implementación de una tarjeta de comunicación que sirva de interfaz para la interacción con el sistema de potencia.

El programa es una aplicación amigable para el usuario con seguridades que garanticen el uso del equipo por personal calificado, reduciendo incidentes o accidentes de trabajo.

La tarjeta de comunicación está basada en un micro controlador que recibe y transmite las señales de los sensores hacia la PC y ejecuta las órdenes emitidas por el software, reemplazando el sistema Vortex, siendo este un medio más económico y practico.

El diseño del sistema de potencia es práctico, de fácil ensamblaje y reparación. Dando inicio a futuros diseños en pro de mejoras tecnológicas para industrias de gran escala como la petrolera.

El software se desarrolla con la herramienta de licencia libre limitada Microsoft Visual Basic Express, evitando así el pago de licencias y piratería en tiempos donde se discute leyes que castiguen estos delitos, recalcando que estas restricciones no afectan al desarrollo del presente proyecto.

CAPÍTULO 1

1. SISTEMA ELECTRO SUMERGIBLE

1.1 Descripción del sistema electro-sumergible

El Bombeo electro sumergible es un sistema integrado de levantamiento artificial, considerado como un medio económico y efectivo para producir altos volúmenes de fluido desde grandes profundidades en una variedad de condiciones de pozo.

Es más aplicable en yacimientos con altos volúmenes de fluido, altos porcentajes de agua y baja relación gas - petróleo; sin embargo, en la

actualidad estos equipos han obtenido excelentes resultados en la producción de fluidos de alta viscosidad, en pozos gasíferos, en pozos con fluidos abrasivos, en pozos de altas temperaturas y de diámetro reducido entre otros.

Los componentes del sistema de bombeo electro sumergible pueden ser clasificados en dos partes, el equipo de fondo y el equipo de superficie. El equipo de fondo cuelga de la tubería de producción y cumple la función de levantar la columna de fluido necesaria para que el pozo produzca, consiste principalmente de un motor eléctrico, un sello, un separador de gas y una bomba electro-centrífuga.

Un cable de potencia transmite la energía eléctrica desde la boca de pozo hasta el motor. El tablero o variador de frecuencia de superficie provee de energía eléctrica al motor electro sumergible y controla su funcionamiento.

Los principales componentes de superficie son los transformadores, el tablero o variador de frecuencia (Electro Start®), y la caja de venteo. Varios componentes adicionales normalmente incluyen la cabeza de pozo, empacadores, protectores de cable y flejes, válvulas de retención y de drenaje, entre otros.

1.2 Componentes del sistema electro sumergible

- **Motor**

El motor electro sumergible (Figura 1.1), utilizado para la operación de las bombas es un motor eléctrico con estator bobinado de inducción bipolar trifásico y rotor tipo jaula de ardilla el cual opera a una velocidad de 3600 rpm (revoluciones por minuto) a una frecuencia de 60 Hz. El motor trabaja en baño de aceite, este aceite es de tipo mineral altamente refinado el cual posee una alta rigidez dieléctrica (30Kv.) y provee una buena lubricación en los cojinetes de motor y conjunto de empuje.

Otra propiedad es que tiene una alta conductividad térmica por lo que facilita la refrigeración del motor. Como ejemplo el aceite más usado en el Ecuador es el CL6.

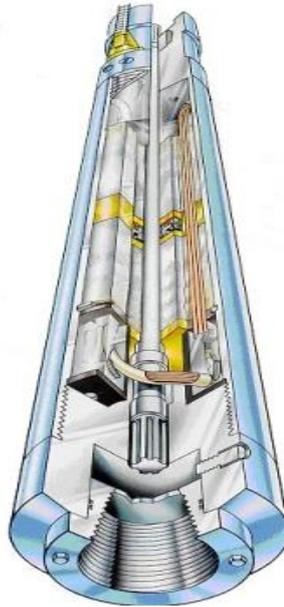


Figura 1. 1 Motor electro sumergible.

Los motores están diseñados para operar con un voltaje tan bajo como 230 voltios o tan alto como 5 000 voltios y requiere un amperaje de entre 12 a 200 amperios, dependiendo del diámetro también existen rangos de potencia entre 600 HP, mientras motores ensamblados en serie pueden proporcionar 1,250 HP de potencia a una frecuencia de 60 Hz. El largo del motor ensamblado como simple llega aproximadamente a los 10m (33Ft), mientras que los motores fabricados para conectarlos en serie las longitudes llegan aproximadamente a 274m (90Ft).

En la fabricación de motores electro sumergibles las dimensiones exteriores están limitadas al diámetro interior del pozo (casing), por

esta razón se construyen motores de mayor potencia en dos piezas para un mismo diámetro exterior, conectados interiormente. Estos motores son llamados motores en tandem (serie) de conexión interna.

Los motores trifásicos tienen tres bobinas separadas a 120° entre sí, una por cada fase y distribuidas uniformemente alrededor de la circunferencia interna de un tubo cilíndrico con laminaciones de acero. Las bobinas y las laminaciones se las conocen conjuntamente como ESTATOR. Dentro de la circunferencia interna del estator se encuentra localizado lo que se llama el ROTOR.

El rotor también está fabricado de un tubo cilíndrico de laminaciones de hierro silicio dejando un espacio mínimo entre el diámetro exterior del rotor y el diámetro interior del estator. Este espacio se lo conoce como ENTREHIERRO. Se requiere de este espacio para la fricción entre el estator y rotor.

El entrehierro se optimiza para asegurar una compensación equilibrada entre la fricción y la pérdida de fluido en el espacio del entrehierro y la potencia requerida para transmitir la potencia magnética a través de este espacio hacia el rotor.

Los rotores van montados sobre el eje y fijados frente al campo magnético del estator (láminas de hierro silicio).

Alojados en las regiones externas del rotor se encuentran los conductores eléctricos o barras, que corren en forma paralela al bobinado del estator y están unidas o en cortocircuito

En cada extremo se encuentran los anillos de cobre que se conocen como ANILLOS TERMINALES o ANILLOS DE RESISTENCIA.

El estator está compuesto de un grupo de electroimanes individuales colocado de tal modo que ellos forman una cavidad cilíndrica, cada electroimán posee un polo que mira hacia el centro del grupo.

Aún cuando el estator no tiene movimiento físico, el movimiento eléctrico es creado por el cambio progresivo de la polaridad en los polos del estator, de manera que el campo magnético gira. Esto es fácilmente cumplido por un motor de corriente alterna, ya que cada medio ciclo cambiará la polaridad de cada polo del estator automáticamente.

El rotor también está compuesto de un grupo de electroimanes colocado en un cilindro con los polos enfrentados a los polos del estator. El rotor simplemente gira por atracción y repulsión magnética, ya que sus polos intentan seguir el campo eléctrico giratorio generado por el estator.

No hay ninguna conexión externa al rotor, sin embargo el flujo de corriente de los polos eléctricos del rotor son inducido por el campo magnético creado en el estator.

La velocidad a la que el campo del estator gira es la velocidad de sincronismo.

Esta velocidad puede ser calculada según la ecuación:

$$N = \frac{120 \times f}{P}$$

Donde: N = revoluciones (sincrónicas) por minuto

f = frecuencia de línea

P = número de polos en el motor

Ejemplo: para una frecuencia fija de 60 Hz y un número fijo de polos, generalmente dos, la velocidad sincronismo del campo magnético en el entrehierro es de 3 600 r.p.m.

Es evidente entonces que, para obtener una diferencia relativa en la velocidad, el rotor rota a velocidad menor que la sincrónica cuanto mayor sea la carga de un motor. Esto se conoce como DESLIZAMIENTO y varía generalmente entre 3% u 80 y 150 r.p.m. para las condiciones de diseño.

El motor de inducción tipo jaula de ardilla es uno de los más simples en cuanto a su construcción y es el más confiable, principalmente porque no hay conexiones eléctricas en el rotor. Al mismo tiempo que es uno de los más confiables, es también uno de los motores más eficientes. Todos los motores de inducción del tipo jaula de ardilla tienen placas que indican como mínimo su potencia, voltaje y corriente de operación.

La Potencia de placa del motor es la potencia recomendada por el fabricante para las condiciones de funcionamiento asignadas a ese motor. El factor principal para determinar el rango de potencia del motor es su temperatura de funcionamiento.

La temperatura de funcionamiento a su vez es determinada por las pérdidas del motor y qué tan efectivo es el fluido pasante sobre la

superficie exterior del motor para remover el calor, lo mismo que la temperatura de fondo de pozo. La potencia (HP) desarrollada por un motor es proporcional al largo y al diámetro del mismo.

Serie de fabricante del Motor	Diámetro del Motor	Rango de HP del Motor
375	3 750"	19-195
450	4 500"	15-264
544	5 438"	18-330
562	5 625"	38-836
725	7 250"	175-750

Tabla I Rangos de los equipos.

El Voltaje de placa es el voltaje que debe haber en los terminales del motor para generar la potencia (HP) especificada. Se debe tener en consideración la caída de voltaje en el cable para determinar los voltajes necesarios en superficie.

Un motor que funciona con el voltaje de placa a la máxima carga de diseño funcionará a una corriente mínima para esa carga, lo cual corresponde a la eficiencia máxima del motor lo mismo que una pérdida mínima de potencia en el cable es decir se maximiza la eficiencia del sistema.

La Corriente de Placa es la corriente que el motor requerirá cuando funcione a la potencia y voltaje de placa.

Si la corriente es menor que la corriente de placa, quiere decir que el motor no está totalmente cargado.

De la misma manera, si la corriente es superior a la de placa, el motor podrá estar sobrecargado o el voltaje en los terminales del motor podrá ser insuficiente, o las dos cosas.

Sin embargo, cuando el sistema es energizado por primera vez, no es raro observar que el motor consume corriente superior a la de placa, particularmente en los casos en que la bomba esté produciendo arena.

En estos casos, se recomienda que el sistema se deje operando durante dos o tres horas, y si las condiciones de sobre corriente continúan, comunicarse con el fabricante del equipo para determinar la conveniencia de continuar la operación.

El Par Motor es la fuerza giratoria que el motor producirá cuando esté totalmente cargado a su velocidad de diseño.

La relación del par motor con las otras variables es:

$$T = \frac{HP \times 5,252}{N}$$

Donde: T = Fuerza de giro o par motor en lb-ft

HP = potencia (caballos)

N = velocidad de diseño del motor en r.p.m.

Eficiencia de un Motor es la relación entre la potencia obtenida y la potencia consumida y se expresa generalmente como un porcentaje.

La única diferencia en la definición de la eficiencia de un motor a diferencia por ejemplo de la eficiencia de un transformador es que la potencia obtenida del motor es mecánica mientras que la entrada es eléctrica.

La relación es simple:

$$\text{Potencia obtenida} = \text{HP} = \frac{N \times T}{5252}$$

$$\text{Potencia consumida} = \frac{1.732 \times V \times I \times \text{Cos } \theta}{746}$$

Donde:

T = Fuerza rotatoria o par motor, en lb-ft

N = Velocidad de diseño, r.p.m.

V = voltaje en los bornes del motor

I = corriente de línea

Cos ϕ = Factor de potencia del motor

La eficiencia de los motores electro sumergibles tiene una variación que va desde 80% hasta más de 90% a la corriente y voltaje de diseño. La eficiencia de un motor variará con la carga.

El estator está bobinado con un alambre de cobre electrolítico calibrado de máxima pureza y posee una doble capa de cinta aislante de Kapton solapada al 50% del ancho de la misma.

El estator está compuesto por láminas prensadas de hierro silicio y latón en las zonas donde trabajan los cojinetes de motor. (Figura 1.2).

Las laminaciones del estator tienen orificios o pasajes llamados "slot" que permiten el pasaje del alambre de la bobina, cintas aislantes y la resina epóxi (Figura 1.3).

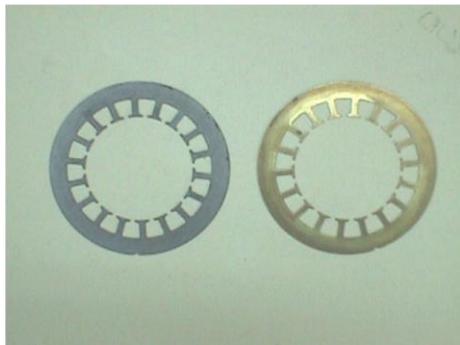


Figura 1. 2 Láminas prensadas.



Figura 1. 3 Orificios del estator.

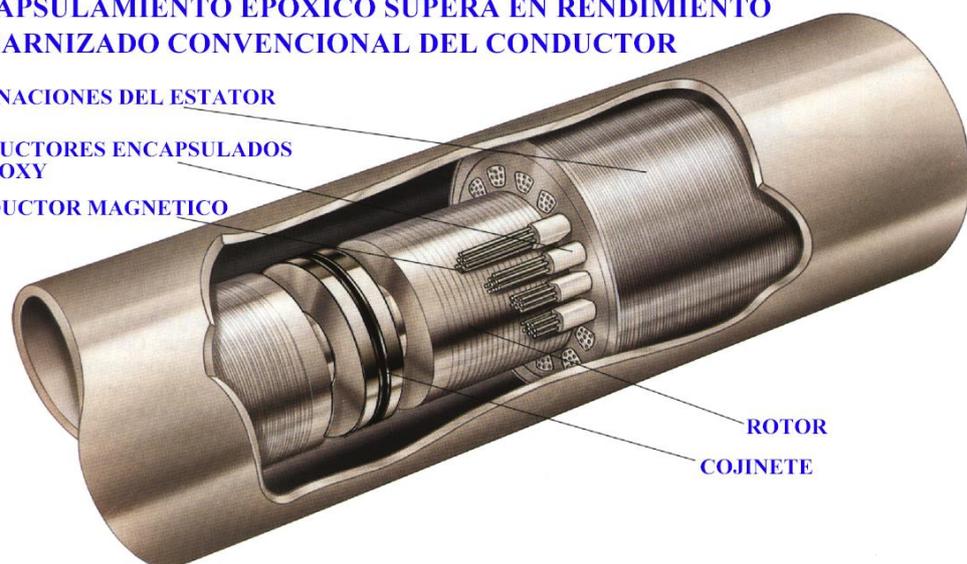
Como se puede observar en la Figura 1.4, la técnica usa epoxy para encapsular completamente el bobinado del motor, a diferencia del barnizado el cual sólo recubre los cables. Todos los materiales aislantes tienen la Clasificación de temperatura H (200°C).

ENCAPSULAMIENTO EPOXICO SUPERA EN RENDIMIENTO EL BARNIZADO CONVENCIONAL DEL CONDUCTOR

LAMINACIONES DEL ESTATOR

CONDUCTORES ENCAPSULADOS EN EPOXY

CONDUCTOR MAGNETICO



ROTOR

COJINETE

Figura 1. 4 Encapsulamiento Epóxico.

En cientos de instalaciones se ha comprobado que el método de encapsulado es superior al método de barnizado.

Los componentes internos del motor están diseñados para resistir temperaturas de 260 °C (500 °F). La temperatura del motor en una instalación de bombeo electro sumergible está determinada por varios factores, principalmente por la velocidad y la viscosidad del fluido que circula alrededor de la parte exterior del motor y por la circulación interna del aceite dieléctrico del motor.

Es de suma importancia que la temperatura de operación del motor se mantenga por debajo de sus límites operacionales de sus componentes para prevenir fallas al sistema (Figura 1.5). Una velocidad (mínima) generalizada para cumplir con la refrigeración de un motor es de 1 Pie / Segundo, es decir que mientras mayor es la velocidad del fluido menor va hacer la temperatura interna del motor.

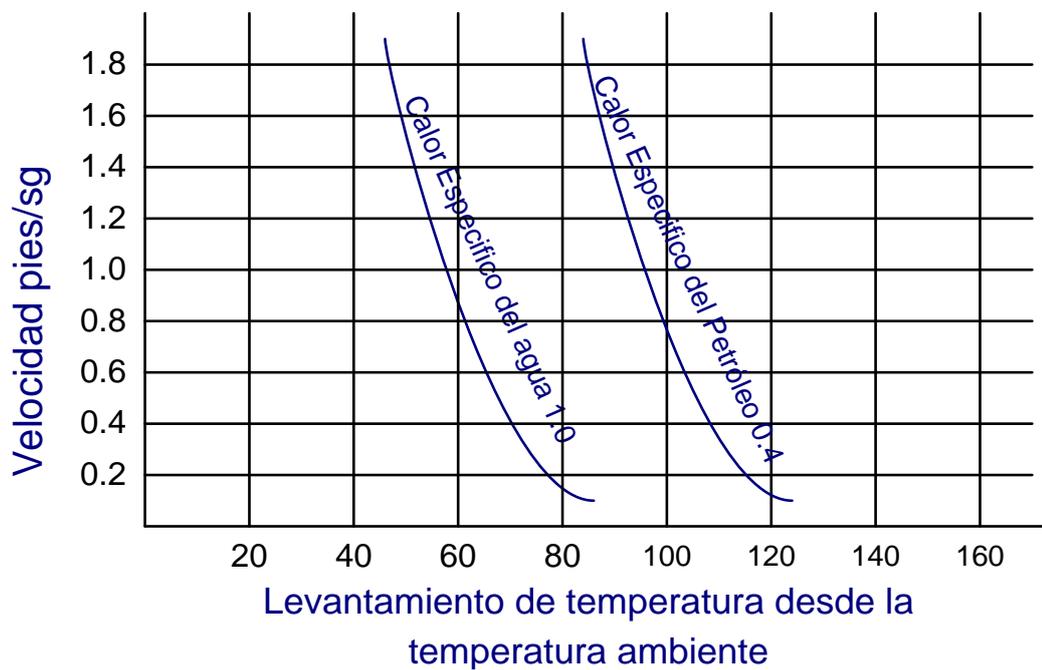


Figura 1. 5 Subida de calor vs. Velocidad de fluido.

En el caso en donde el espacio anular no permita alcanzar la velocidad de refrigeración o la posición del motor esté por debajo de los punzados del pozo, se emplea la Camisa de refrigeración para forzar al fluido a pasar por sobre las paredes del motor como si estuviera en un espacio anular menor como se observa en la (Figura 1.6).

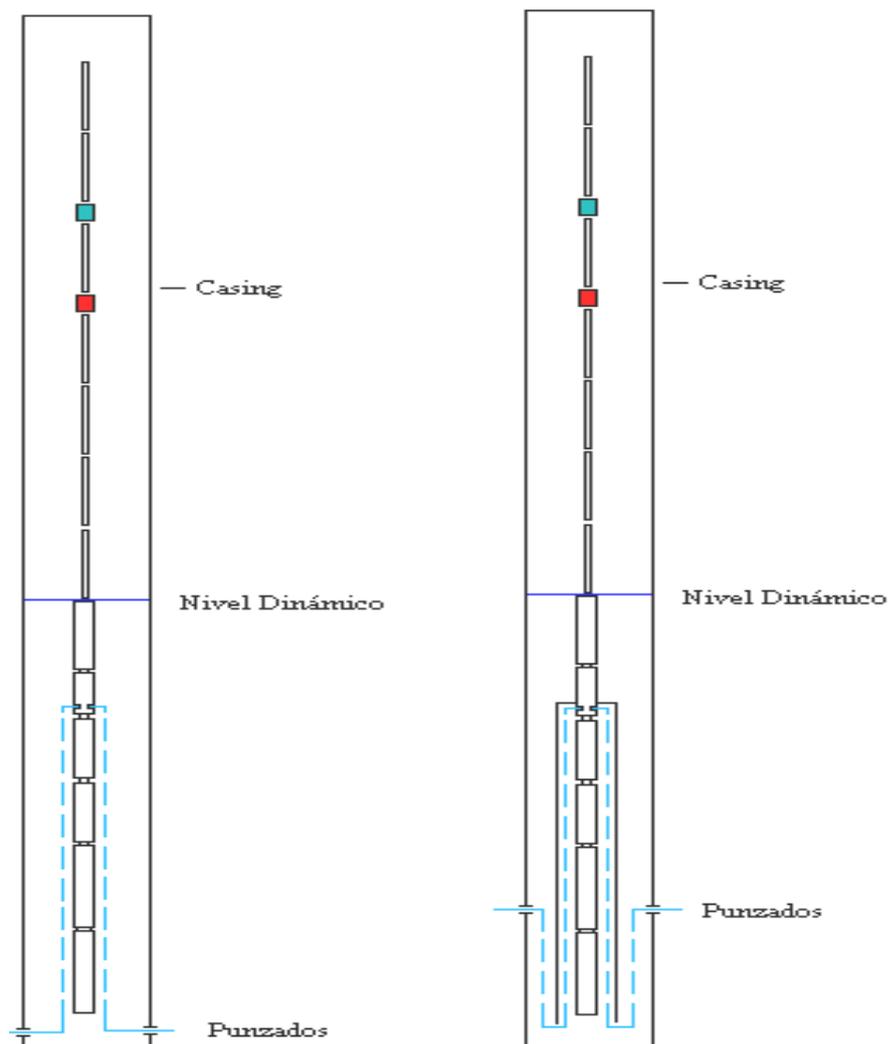


Figura 1. 6 Camisa de refrigeración.

Un motor de frecuencia fija de un tamaño particular tiene un torque de salida máximo específico, siempre que se suministre el voltaje de placa a sus terminales. Este mismo torque se puede lograr a otras velocidades variando el voltaje en proporción a la frecuencia - de esta forma la corriente magnetizadora y la densidad del flujo magnético

permanecerán constantes, y así el torque disponible será constante (a deslizamiento nominal).

Como resultado, la potencia de salida será directamente proporcional a la velocidad, ya que la potencia se obtiene de multiplicar el torque por la velocidad.

Se observará que la re clasificación de motores aumenta la potencia máxima disponible para un tamaño particular de rotor, dependiendo de la frecuencia nueva a la que se requiera trabajar.

Potencia nueva del motor =

$$\left(\frac{\text{Nueva frecuencia}}{60 \text{ Hz}} \right) \cdot \text{Potencia del motor @ 60 Hz}$$

- **Sección sellante**

El protector o sección sellante (Figura 1.7 y 1.8), está ubicado entre la parte superior del motor y la parte inferior de la bomba, puede ser instalado como una unidad simple o como una unidad en serie (tándem).

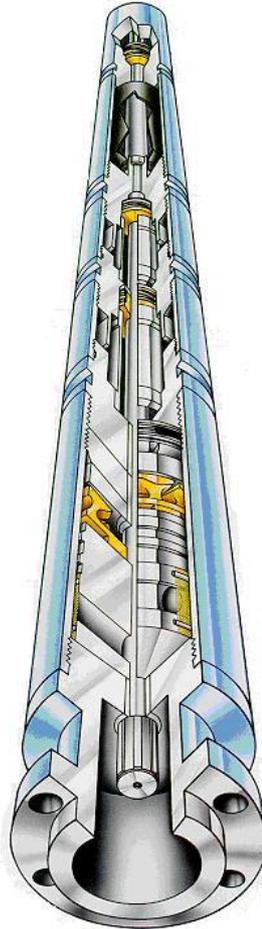


Figura 1. 7 Sección sellante en perspectiva.

El sello está diseñado para proteger al motor por medio de cuatro funciones básicas, las cuales son:

- Provee el volumen necesario para permitir la expansión del aceite dieléctrico contenido en el motor. La expansión se debe

al incremento de temperatura del motor cuando la unidad está en operación y a la temperatura del fondo del pozo.

- Ecuilizar (igualar) la presión externa del fondo de pozo con el fluido dieléctrico interno del motor. Esta ecualización de presiones a lo largo del motor evita que el fluido del pozo pueda infiltrarse por las uniones selladas del motor. El ingreso de fluidos del pozo al motor causará una falla dieléctrica prematura.

- Protege al motor de la contaminación de los fluidos del pozo. La sección sellante contiene múltiples sellos mecánicos montados en el eje que evitan que el fluido del pozo ingrese por el eje. Las cámaras laberínticas proporcionan separación del fluido en base a la diferencia de densidades entre el fluido del pozo y el aceite del motor. Cualquier fluido del pozo que pase por los sellos superiores del eje o por la cámara superior es contenido en las cámaras laberínticas inferiores como un medio de protección secundario.

- Absorbe el empuje axial descendente de la bomba. Esto se lleva a cabo por medio de un cojinete de empuje deslizante. El

cojinete utiliza una película hidrodinámica de aceite para proporcionarle lubricación durante la operación. El empuje descendente es el resultado de la presión desarrollada por la bomba actuando sobre el área del eje de la bomba y el empuje residual transferido por cada impulsor individual al eje.

Como se ve en la (Figura 1.8) el sello o sección sellante está compuesta de varias cámaras laberínticas con un soporte en la base y sellos mecánicos entre cámaras para evitar la contaminación, cada cámara tiene válvulas de drenaje y de una sola vía, y en la parte superior una bolsa que se expande o comprime dependiendo de la presión del pozo.

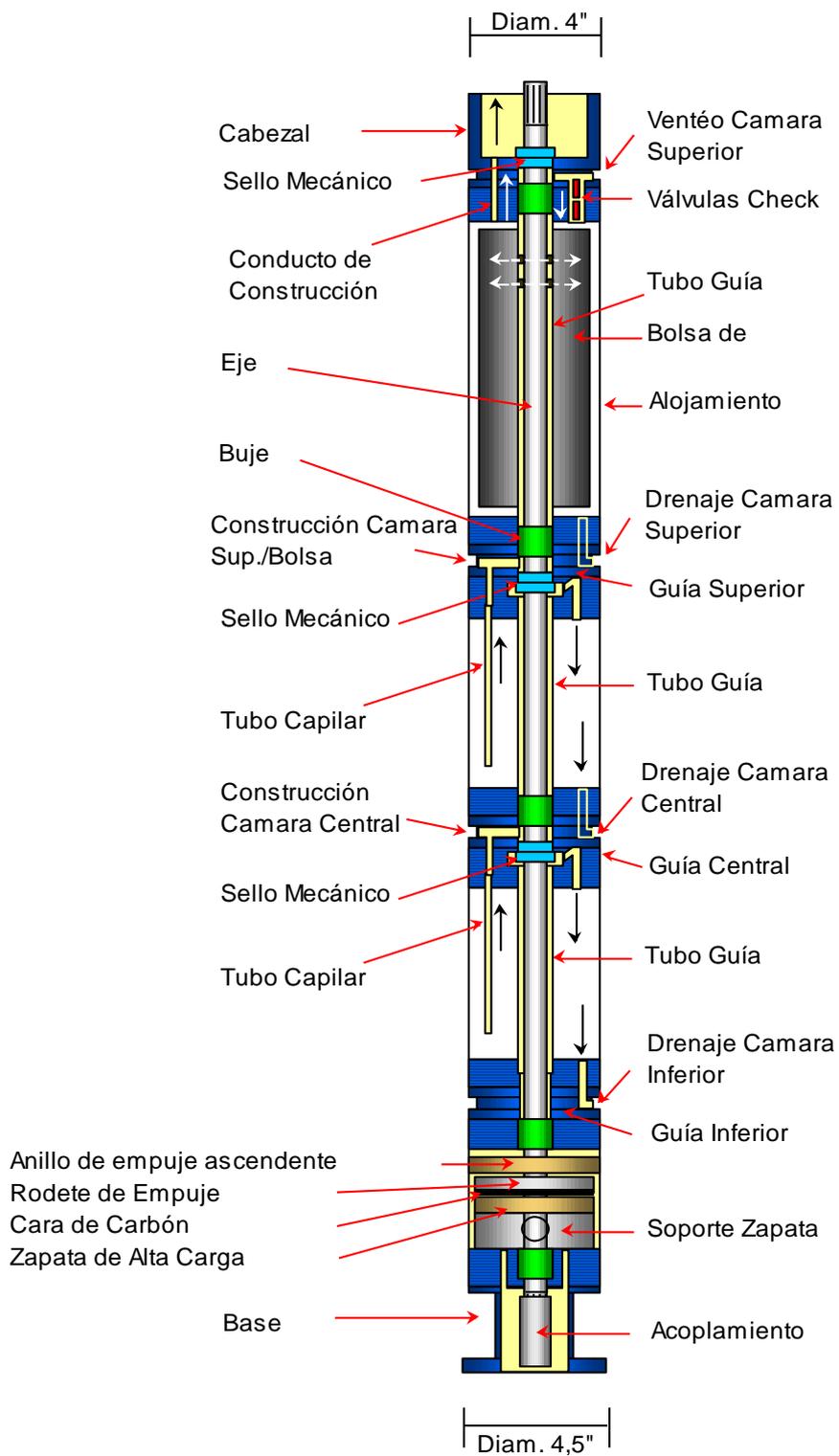


Figura 1. 8 Componentes sección sellante.

- **Succión o separador de gas rotativo**

La capacidad de la bomba centrífuga para el manejo eficiente del gas, es limitada. Por esta razón en las instalaciones de bombeo electro sumergible para pozos con elevada relación gas - petróleo, es necesario emplear separadores de gas (Figura 1.9), para evitar que el gas libre dentro de la bomba no supere el 10%.



Figura 1. 9 Separador de gas rotativo en perspectiva.

La eficiencia de la bomba es afectada notablemente con la presencia de gas libre, esta puede producir los fenómenos de cavitación o bloque por gas. Si el gas presente en la bomba está en solución, es

decir que la presión existente se encuentra por encima del punto de burbuja del gas, la bomba operará normalmente como si estuviese bombeando un líquido de baja densidad. El fluido de pozo y gas ingresa por los orificios de la base entrando directamente al inductor, luego es canalizado al rotor separador a través de los alabes guía. El rotor separador ejerce una fuerza centrífuga al rotar desplazando al fluido del pozo hacia las paredes y al gas hacia el centro del rotor.

El fluido de pozo y gas separado ingresan al difusor crossover, en esta parte el gas es expulsado al exterior por los agujeros del cabezal y el fluido de pozo es encaminado hacia la bomba en forma axial al eje. El separador de gas rotativo (Figura 1.10), combina la rigidez estructural y el rotor encamisado del nuevo separador de gas rotativo, con materiales especiales de mayor dureza y modificaciones en el diseño para proteger las superficies contra la erosión.

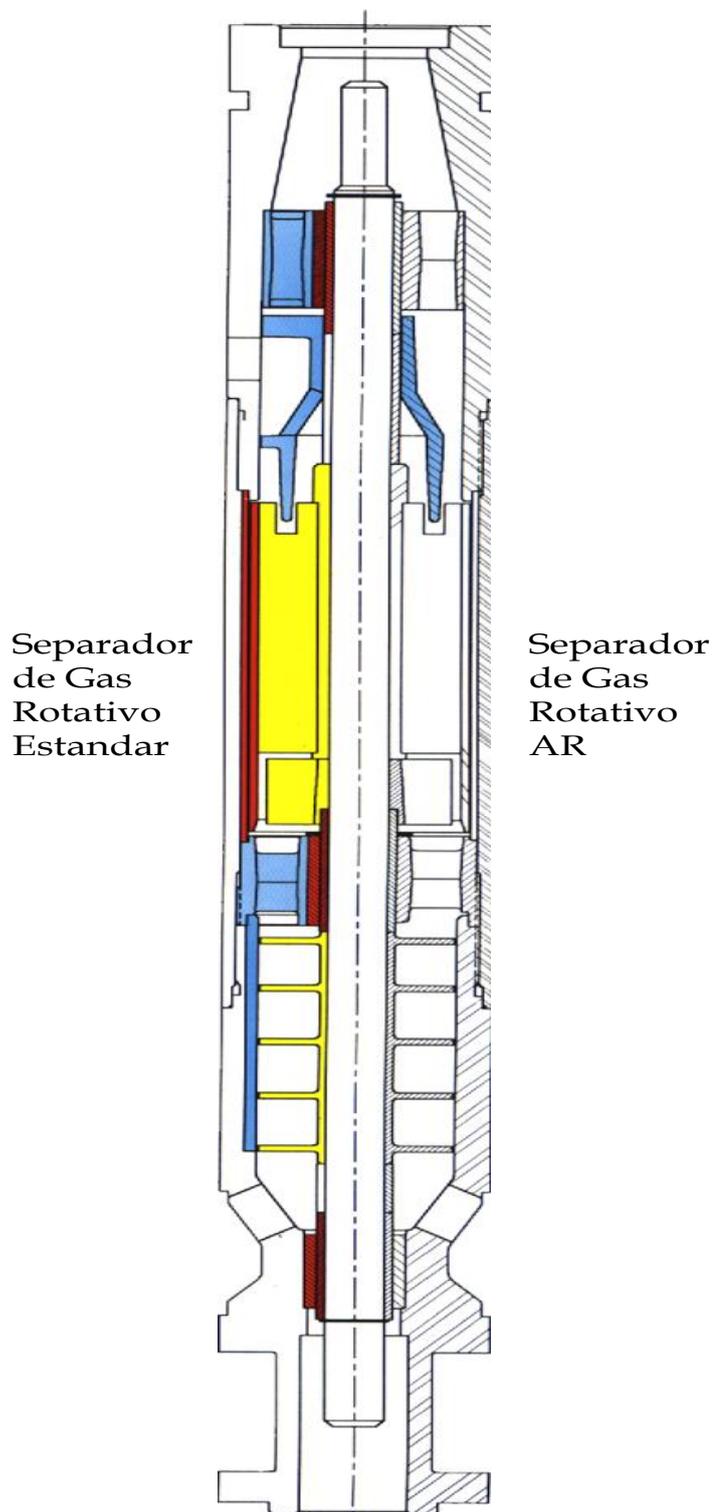


Figura 1. 10 Corte transversal del separador de gas rotativo.

- **Bombas**

La bomba electro sumergible (Figura 1.11), es una bomba centrífuga multi-etapas, diseñadas para cubrir una amplia gama de volúmenes y están construidas y aplicadas en diferentes diámetros dependiendo del espacio disponible en el pozo (diámetro del Casing).

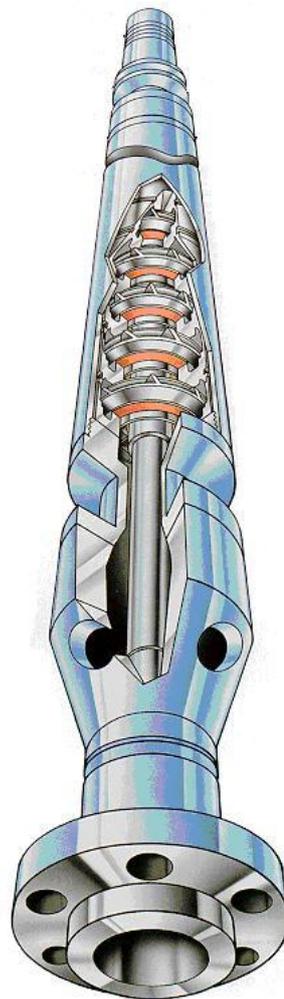


Figura 1. 11 Bomba electro sumergible.

Las bombas electro-sumergibles se clasifican de acuerdo a su diámetro en series por el fabricante

(diam. ext. 4")

(diam. ext. 5, 13")

(diam. ext. 6, 75")

Rangos de producción según diámetro del pozo (@ 50 Hz):

4-1/2" : 70 - 410 m³/día

5-1/2" : 40 - 900 m³/día

7" 29#: 20 - 3425 m³/día

9-5/8" : 20 - 6000 m³/día

10-3/4": 20 - 4260 m³/día

13-3/8": 20 - 7800 m³/día (series 400 a 1025)

Cada etapa está compuesta por un impulsor rotatorio y un difusor estacionario (Figura 1.12).



Figura 1. 12 Difusores e impulsores.

La bomba centrífuga trabaja por medio de la transferencia de energía del impulsor al fluido, desplazándolo como si fuera un acelerador de partículas, esta energía o fuerza tangencial se produce en los alabes del impulsor cuando la bomba está en funcionamiento (girando), el cambio de presión a energía se lleva a cabo mientras el líquido bombeado rodea al impulsor, a medida que el impulsor gira, este imparte un movimiento giratorio al fluido el cual se divide en dos componentes. Uno de estos movimientos es radial hacia afuera del centro en el impulsor y es causado por una fuerza centrífuga.

El otro movimiento va en la dirección tangencial al diámetro externo del impulsor. La resultante de estos dos componentes es la dirección del flujo. En la Figura 1.13, se representa a la fuerza resultante del movimiento del flujo en impulsor.

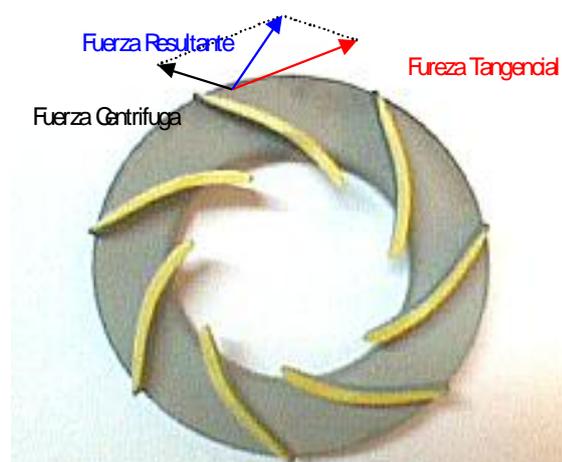


Figura 1. 13 Fuerza en un impulsor.

La parte rotativa, el impulsor (Figura 1.14), genera fuerzas centrífugas que aumentan la velocidad del fluido (energía potencial más energía cinética).

La parte estacionaria, el difusor, dirige el fluido de la forma adecuada al siguiente impulsor. Transforma parte de la energía cinética en energía potencial o presión.

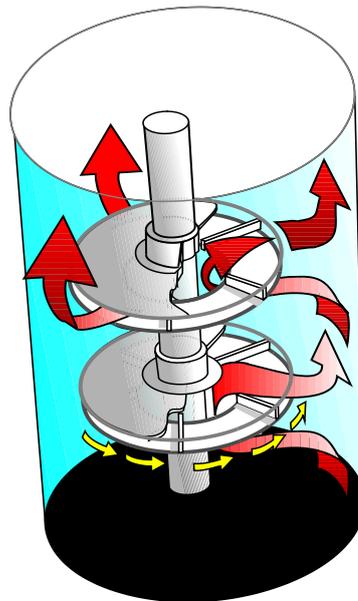


Figura 1. 14 Generación de fuerzas centrífugas.

Según la figura 1.15, el fluido entra al impulsor por medio de un orificio interno, cercano al eje y sale por el diámetro exterior del impulsor. El difusor (en azul) dirige el fluido hacia el siguiente impulsor.

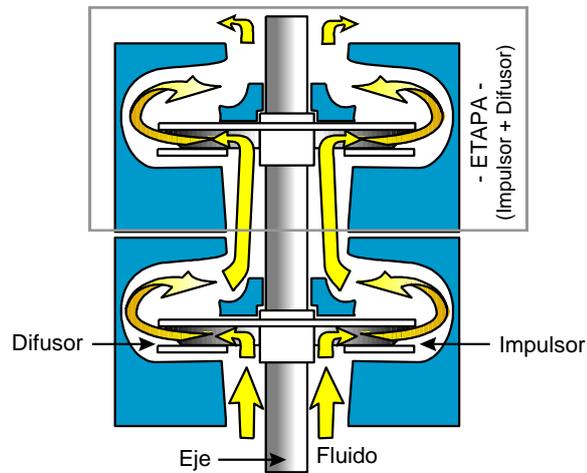


Figura 1. 15 Entrada de fluido.

El corte transversal de la bomba (Figura 1.16), muestra a los difusores e impulsores ubicados en el alojamiento. El número de etapas en la bomba (bombas multi-etapas) va a estar determinado por la presión requerida en la cabeza del pozo, la profundidad de levantamiento y el volumen de fluido a ser producido.

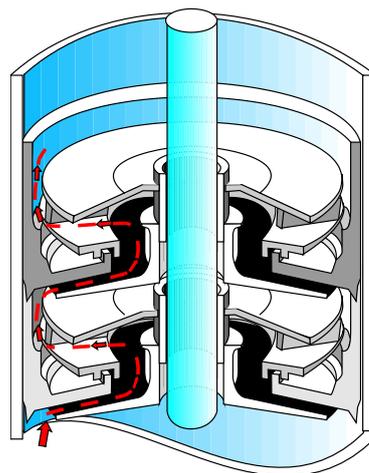


Figura 1. 16 Corte transversal de la bomba.

Las bombas electro sumergibles se pueden clasificar en dos categorías generales de acuerdo al diseño de sus impulsores y caudal que manejan, estas pueden ser de:

- Flujo radial:

Son por lo general bombas de bajo caudal y llegan aproximadamente a los 1,900 BPD (300 m³/d) en las bombas de menor diámetro (serie 400) y hasta 3500 BPD (550 m³/d) en las de mayor diámetro. Se puede observar que el impulsor descarga la mayor parte del fluido en una dirección radial.

- Flujo Mixto:

Cuando las bombas sobrepasan flujos de diseño a partir de los 1,900 BPD (300 m³/d) y a partir de 3500 BPD (550 m³/d) o en bombas de mayor diámetro, se las denominan bombas de flujo mixto y son por lo general bombas de gran caudal.

- **Sensor de fondo**

El sensor de fondo es la herramienta que nos ayuda a medir la presión que existe en la succión del equipo así como la temperatura de fluido y la temperatura del motor.

El diámetro del equipo es 3,75” y se puede conectar a todos los motores electro sumergibles instalados en Ecuador. El ensamblaje o gabinete de superficie es a prueba de agua y NEMA 4. Se encuentra en modelo Estándar y ferrítico.

Las especificaciones del sensor de fondo son:

- Transductores: Tipo Capacitivo
- Temperatura: Rango: 302°F
- Exactitud: ± 3 °F
- Resolución: 1 °F
- Presión: Rango: 5000 psi
- Exactitud: ± 25 psi
- Resolución: 0.1 psi

En la figura 1.17, se muestran los componentes del Sensor en superficie y fondo.

El sensor de fondo va montado debajo del motor y conectado eléctricamente al punto “Y” (punto estrella) del motor. La herramienta de fondo o sensor contiene los transductores y las fuentes electrónicas que les suministra el voltaje de alimentación, enviando después a superficie las señales correspondientes de presión y temperatura.

Las tres fases del paquete de inductores (chocke) están conectadas a la salida del secundario del transformador. La función de los inductores es aislar la señal de alto voltaje que viene del sensor de fondo.

La salida del paquete de inductores (chocke) es enviada al paquete electrónico de superficie el cual convierte las señales de presión y temperatura en unidades de ingeniería las cuales se pueden ver en la unidad o pantalla por medio de un módulo y la PC.

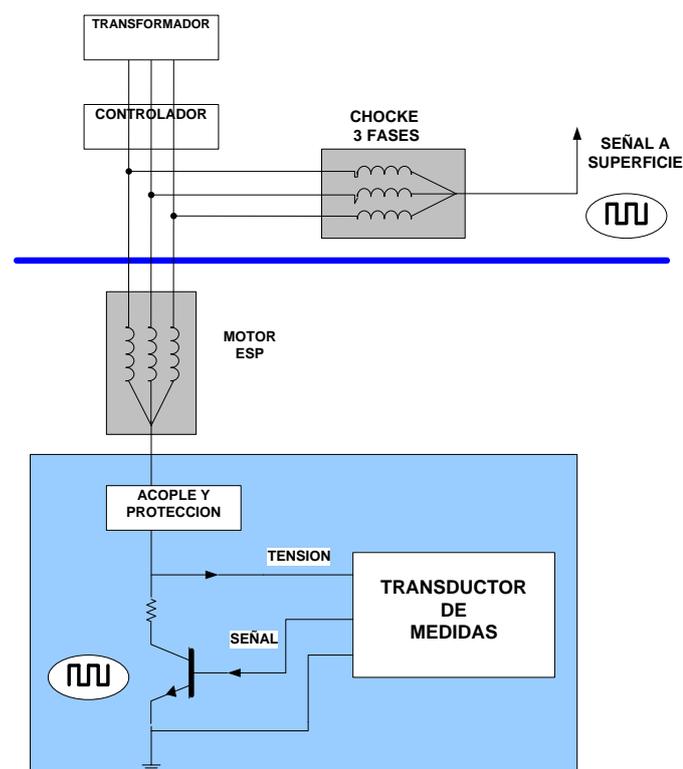


Figura 1. 17 Equipo de fondo y de superficie del Centinel.

- **Cable de potencia**

La energía eléctrica es transmitida al motor electro sumergible a través de un cable de potencia trifásico el cual se fija a la tubería de producción por medio de flejes o con protectores sujetadores especiales.

Este cable debe ser pequeño en diámetro, bien protegido de golpes mecánicos y resistente al deterioro de sus características físicas y eléctricas por efecto de los ambientes calientes y agresivos de los pozos.

Los cables están disponibles en una variedad de tamaños de conductor, que permiten una eficiente adecuación a los requerimientos del motor.

Estos pueden estar fabricados en configuraciones redondas o planas con armaduras de acero galvanizado, acero inoxidable, capaces de soportar los ambientes agresivos de un pozo petrolífero o de agua. Todos los cables están fabricados con especificaciones rigurosas, empleando materiales especialmente diseñados para diferentes aplicaciones.

Sobre el aislamiento está una vaina de plomo resistente a la fatiga y corrosión y es usada para impermeabilizar de agentes químicos o migración de gases.

La capa resistente de plomo previene de la descompresión y es ideal para pozos en condiciones de gases calientes.

Una capa protectora protege al plomo durante la aplicación de la armadura. Para una mejor protección a la corrosión la armadura de acero galvanizado estándar tiene cortes en cuatro lados.

Cable Plano (Figura 1.18)

1. Armadura: Acero galvanizado.
2. Cinta: Capa protectora para daños mecánicos.
3. Vaina de Plomo: Capa de plomo protectora en imprevistos de fluidos y gases.
4. Aislamiento: Goma EPDM baja dilatación, alta rigidez dieléctrica.
5. Conductor: Barra de cobre sólido.

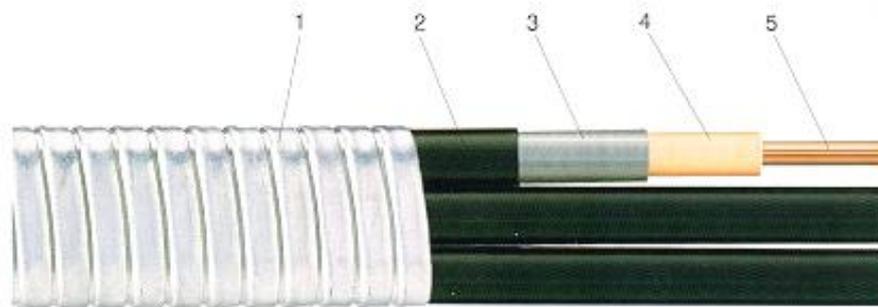


Figura 1. 18 Cable Plano.

Cable Redondo (Figura 1.19)

1. Armadura: Acero galvanizado
2. Camisa: Goma EPDM respirable, alto modulo.
3. Cinta: Capa protectora para daños mecánicos.
4. Vaina de plomo: Capa de plomo protectora en imprevistos de fluidos y gases.
5. Aislamiento: Goma EPDM baja dilatación, alta rigidez dieléctrica.
6. Conductor: Barra de cobre sólido.

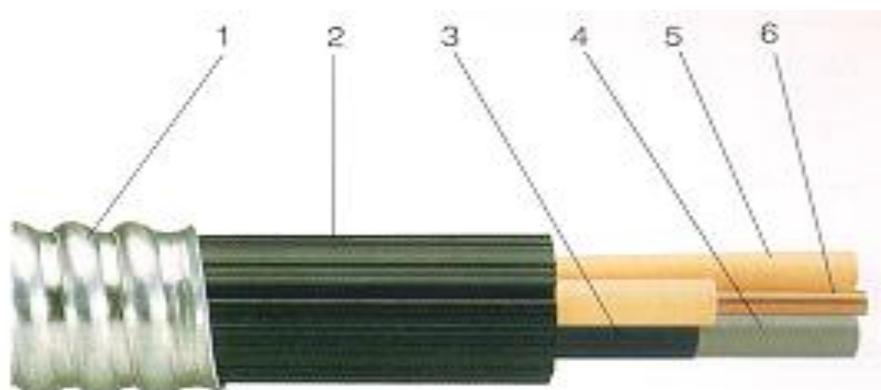


Figura 1. 19 Cable Redondo.

- **Misceláneos**

Los flejes son bandas metálicas que se emplean para poder fijar al Cable de Extensión y Cable de Potencia a la tubería de producción.

Se colocan generalmente a un intervalo de 5 metros entre los flejes y se fijan por medio de una hebilla que prensa a la banda metálica.

Los flejes también permiten fijar a los guarda cables que se utilizan para proteger al Cable de Extensión a lo largo del equipo de fondo.

Los flejes y hebillas son endentados por una máquina flejadora neumática, que facilita y asegura una tensión correcta al momento de colocar un fleje.

Los materiales básicos utilizados en la construcción de los flejes son el acero al carbón, el acero inoxidable y el monel. Los materiales varían también en el ancho y espesor, proporcionando más fuerza, soporte y reacción a los componente químicos.

1.3 Principios del funcionamiento de un sistema electro sumergible

La inversión que realizan las compañías operadoras es bastante alta por lo que tratan de no arriesgar y sacar el mayor rédito a cada pozo perforado.

La extracción de crudo de un yacimiento necesita un sistema moderno, económico y confiable.

Estas son las principales razones por las cuales el sistema electro sumergible es el principal método de levantamiento artificial de petróleo a nivel mundial.

El sensor de fondo es el primer equipo que ingresa al pozo, conectado al motor en el punto Y (estrella), este va sujeto por medio de pernos a la base.

El motor es el segundo equipo que ingresa al pozo, este se va encargar de inducir la energía necesaria para poder girar los demás equipos, el motor esta acoplado a la base del sello laberíntico por medio de un acople especial estriado, y sujeto por medio de pernos de acero inoxidable.

El sello laberíntico es el tercer equipo que ingresa al pozo, se encarga de proteger de la contaminación del aceite dieléctrico dentro del motor, esta acoplado a la base del separado de gas por medio de un acople estriado y sujeto a este por medio de pernos de acero inoxidable.

Todos estos equipos están sumergidos en aceite dieléctrico.

El separador de gas o succión es el cuarto equipo que ingresa al pozo, está encargado de separar el gas existente en la formación del fluido a levantar y al mismo tiempo es por donde ingresa el fluido, está acoplado a la base de la bomba centrífuga por medio de un acople estriado y sujeto por medio de pernos de acero inoxidable.

Por último antes del ingreso de la tubería de producción, está la bomba centrífuga que es la encargada de levantar el fluido hacia la superficie, esta se conecta directamente a la tubería por medio de una descarga.

El voltaje se transmite al motor por medio del cable de potencia, que viene desde el equipo de superficie encargado de monitorear los equipos instalados y la producción que se está obteniendo.

Un pozo promedio alcanza los 10000 pies de profundidad:

- Pozo Vertical: Este pozo está diseñado de tal manera que la perforación se la realiza justo sobre la formación de crudo encontrada.
- Pozo Direccional: Este tipo de pozo es el más común en la actualidad por el menor daño ambiental que causa. Con este tipo de pozos se puede perforar desde una sola locación una cantidad X de pozos, dependiendo del tamaño de la formación, sin deforestar más terreno.

En los dos casos el equipo electro sumergible queda a una profundidad no mayor a los 7000 pies, esta distancia es muy importante para el cálculo del voltaje por la caída que va a presentarse en el cable, pues este va actuar como capacitor en una distancia considerable.

CAPÍTULO 2

2. ARRANCADOR

2.1 Teoría y funcionamiento

El diseño del banco de pruebas tiene como base a un relé y controlador programable independiente para protección y prueba del motor electrosumergible, simulando situaciones que pueden ocurrir en campo durante el trabajo de los mismos.

El uso de la última tecnología de un micro-controlador y despliegue en un laboratorio virtual en una PC, hacen posible una interfaz con el usuario intuitiva que ofrece fácil configuración, operación, verificación

local y remota así como también diagnóstico del sistema de bombeo electro sumergible. La miniaturización electrónica reduce también el número de componentes y la medida de las tarjetas de circuitos que se requieren mejorando así la confiabilidad y versatilidad del controlador.

Combinando el controlador con sensores apropiados se lo puede configurar para ser usado en muchos tipos de aplicaciones programables de control de motores.

Como módulo está provisto de un puerto de comunicación de alta velocidad que permite y simplifica la expansión y ajuste a la medida del sistema de control. Al disponer de un control amigable y de fácil aprendizaje, ofrece al operador una interfaz familiar para una variedad de productos de control y mediciones.

La parte de potencia es bastante simple puesto que los elementos que lo conforman pueden ser revisados y cambiados con facilidad en procesos de mantenimiento y/o reparación.

En el proyecto, la tarjeta de interfaz tiene como elemento principal un micro-controlador de la casa fabricante Microchip, de la familia PIC 16F87XA el mismo que recibe las señales provenientes de los sensores

y las convierte en códigos digitales de 8 bits que son enviados luego hacia la PC por medio del puerto serial, también ejecuta las órdenes emitidas en caso de control o de alarmas por el software a través del mismo puerto, ya que la tarjeta contiene relés e indicadores luminosos.

La aplicación que va a controlar el sistema está desarrollado en Visual Basic Express que es un software empleado para diseñar instrumentos en la computadora personal, es un software que emplea una metodología de programación gráfica., es el software que realmente provee las ventaja de construir sobre esta potente base de hardware para crear instrumentos virtuales.

Desde la PC se puede observar el estado del controlador durante la prueba, configurar los parámetros y alarmas dependiendo del motor a probar.

Mediante la interfaz gráfica a diseñarse, podremos darnos cuenta la estabilidad del sistema en la carga utilizada por el motor.

La seguridad en el acceso a las pantallas está de acuerdo al grado de operador que vaya a utilizar el sistema, esto quiere decir que no todos van a poder ingresar a configurar el sistema limitándose a visualizarlo.

2.2 Alimentación y transformador de entrada

Para realizar este tipo de pruebas necesitamos un sistema de generación bastante fiable y de un rango alto de amperaje, por la carga que se va a consumir durante cada prueba,

El voltaje de salida de un generador de 1000 KV es de 480 V por lo que necesitamos un transformador elevador de esta misma potencia, para elevar el voltaje al utilizado por el motor.

Un transformador es una máquina electromagnética que permite aumentar o disminuir el voltaje o tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia.

Los transformadores trifásicos son dispositivos basados en el fenómeno de la inducción electromagnética y están constituidos, en su forma más simple, por tres bobinas devanadas sobre un núcleo cerrado de hierro dulce o hierro silicio.

Si se aplica una fuerza electromotriz alterna en el devanado primario, las variaciones de intensidad y sentido de la corriente alterna crearán un campo magnético variable dependiendo de la frecuencia de la

corriente. Este campo magnético variable originará, por inducción, la aparición de una fuerza electromotriz en los extremos del devanado secundario.

Para relacionar las tensiones y las corrientes primarias con las secundarias, no basta en los sistemas trifásicos con la relación de transformación, sino que se debe indicar los desfases relativos entre las tensiones de una misma fase entre el lado de Alta Tensión y el de Baja Tensión. Los tres arrollamientos, tanto del primario como del secundario, se pueden conectar de diversas formas, el transformador que se recomienda utilizar para esta aplicación tiene las siguientes conexiones (Figura 2.1).

Una manera de establecer estos desfases consiste en construir los diagramas fasoriales (Figura 2.2), de tensiones y corrientes, conociendo: la conexión en baja y alta tensión (estrella, triángulo o zig-zag), las polaridades de los enrollados en un mismo circuito magnético o fase, y las designaciones de los bornes.

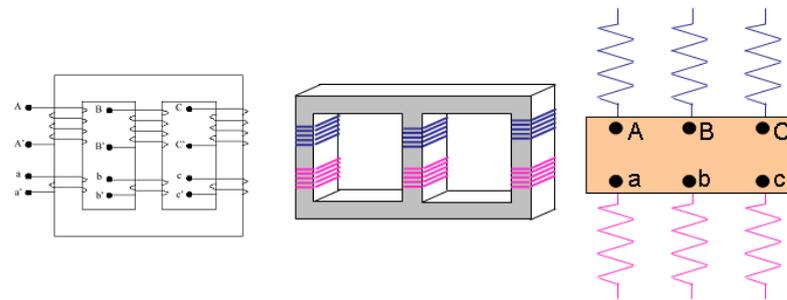


Figura 2. 1 Conexiones del transformador.

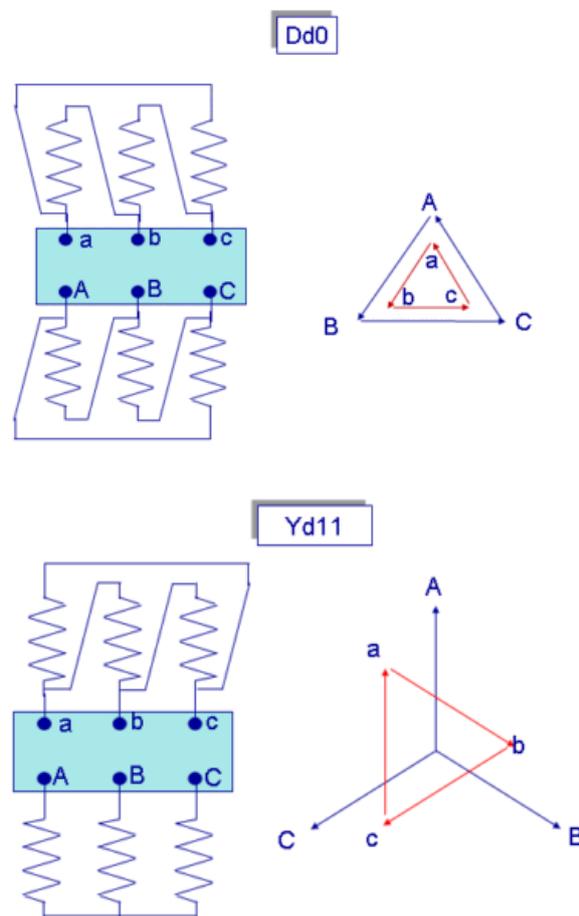


Figura 2. 2 Diagramas fasoriales.

El Voltaje a la salida del transformador variará de acuerdo al tipo de conexión y TAP de transformación que se escoja para las distintas pruebas a realizar.

Con esto tenemos un margen bastante grande de voltajes que se pueden elegir dependiendo de la placa del motor.

Las placas de los transformadores tienen la tabla de voltajes siguiente:

Tabla II Placa de un transformador elevador.

		2001	2011	2000	2110	2001	2210	2100	2100	2010
	2	2013	1935	1858	1765	1672	1595	1517	1425	1332
	1	4066	4532	4398	4237	4076	3942	3808	3647	3486
	2	3486	3352	3218	3057	2896	2762	2628	2467	2306

El transformador está sumergido en aceite dieléctrico con un colchón de hidrógeno a una presión determinada de acuerdo al tamaño y construcción.

Se debe realizar un mantenimiento preventivo de estos equipos al menos una vez por año.

2.3 Conexiones a la entrada del arrancador

En la instalación de equipos de superficie intervienen una serie de procedimientos y actividades de importancia que deben ser atendidas y aplicadas correctamente con el fin de asegurar que la instalación sea exitosa y así mejorar la vida útil del equipo.

El controlador deberá ser instalado, ajustado y mantenido por personal capacitado de mantenimiento eléctrico. La instalación u operación inadecuada del controlador pueden ocasionar lesiones al personal o daños a los equipos. Este dispositivo debe ser instalado y conectado a tierra de acuerdo con los códigos eléctricos locales y nacionales. Hay voltajes dentro del gabinete que pueden ser fatales. Se deben tomar precauciones extremas para asegurar que todas las fuentes de energía estén desconectadas antes de comenzar cualquier trabajo de instalación, mantenimiento o reparación.

Es necesario mejorar el transformador y los cables de conexión hacia el gabinete para así comprobar el correcto aislamiento y no tener problemas durante las pruebas.

Dependiendo del motor que se va a probar se selecciona el tap de transformación necesario y el tipo de conexión delta o estrella, para la

prueba previo al arranque del mismo. Un transformador de este tipo tiene múltiples taps como se detalla en el capítulo anterior y siempre para realizar un cambio de los mismos es necesario tener completamente des-energizado el equipo.

Cuando la instalación está completada, cuidadosamente inspeccione el sistema asegurando las conexiones del cableado.

El banco de pruebas no debe operar de otra manera que la descrita en el diagrama de cableado.

Con un ohmiómetro se verifica el sistema por algún cortocircuito, puesta a tierra, etc.

Los cables de conexión desde el generador hacia el transformador y desde el transformador hacia el generador deben estar en un rango de trabajo de 5000 Voltios, asegurando un rango de operación confiable.

Al manejar voltajes altos es necesario seguir todas las normas de seguridad y estándares nacionales e internacionales.

2.4 Componentes

- **Componentes de Potencia**

- ***Interruptor de entrada***

Interruptor de Potencia trifásico, será el encargado de energizar el gabinete con el voltaje necesario dependiendo del motor a probar para realizar la prueba, sin embargo este puede estar energizado, pero no significa que el equipo este arrancado.

El interruptor de entrada es operado externamente con un comando o mecanismo de energía.

Posee un micro-switch, provee protección de los componentes de alto voltaje cuando este está abierto.



Figura 2. 3 Micro-switch encapsulado.

El interruptor de la entrada o seccionador es una llave operada en dos posiciones y de tres polos, Los contactos del interruptor tiene un rango de corte de carga de 200 A. a 8.25 KV. El sistema de interrupción es de doble extinción de arco, utilizando un golpe de aire y una boquilla de gas inerte, resultando en un sistema muy confiable para la extinción de arcos eléctricos



Figura 2. 4 Seccionador Vista frontal.

- **Fusibles**

Los fusibles se han producido por cerca de 100 años y hoy en día su uso está muy difundido alrededor del mundo. Estos desempeñan un papel vital en la protección de equipos y redes eléctricas asegurando que los efectos de las fallas que inevitablemente ocurren sean limitados y que la continuidad del

suministro eléctrico a los consumidores sea mantenida a un alto nivel.

A pesar de la aparente simplicidad del fusible, este dispositivo posee en la actualidad un muy elevado nivel tecnológico, tanto en lo que se refiere a los materiales usados, como a las metodologías de fabricación.

Este concepto se entiende con mayor facilidad, cuando se describe el campo de aplicación actual. Las tensiones de trabajo van desde unos pocos voltios hasta 132 kV, las corrientes nominales desde unos pocos mA hasta 6 kA y las capacidades de ruptura alcanzan en algunos casos a los 200 kA.

El principio de funcionamiento del fusible es en sí muy simple, se basa en intercalar un elemento más débil en el circuito, de manera tal que cuando la corriente alcance niveles que podrían dañar a los componentes del mismo, el fusible se funda e interrumpa la circulación de corriente.

Que el elemento fusible o eslabón débil del circuito alcance la fusión, no implica necesariamente que se interrumpa la corriente, siendo esta diferencia la clave para entender la tecnología involucrada en el aparentemente simple fusible.

Hay varios tipos de fusibles, según sus características constructivas y los valores nominales y de falla que manejan, en nuestro sistema vamos a utilizar el de 100 amperios por ser el que mejor se adapta a los motores que vamos a probar.

- ***Transformadores de control de voltaje***

Todos los componentes del control de bajo voltaje están alimentados con 120V AC por el transformador de control.

El ratio de transformación dependerá del voltaje de entrada, pues al primario se conecta 2 fases de la línea principal que energiza todo el sistema, con este voltaje de entrada vamos a convertir en 120 VAC que nos ayudan a energizar todo el sistema, optimizando y reduciendo costos, espacio y posibles problemas al instalar más componentes.

Dependiendo del modelo, el rango de voltaje de entrada del transformador de control varía de acuerdo al rango total del voltaje del controlador, para todos los modelos es de 660V a 4800V.



Figura 2. 5 Transformador de control.

Para la relación del transformador de control se debe tener en cuenta:

- Todas las unidades son despachadas con la selección de entrada de voltaje más alto, para disminuir el riesgo de averías en los componentes de bajo voltaje.
- En el momento de instalación debe escogerse el borne (Tap) para el nivel apropiado de voltaje aplicable al tablero.

- ***Transformador de corriente***

Se requiere transformadores de corriente, uno por cada fase. Son necesarios para controlar la corriente que se está consumiendo durante la prueba. Este parámetro es uno de los más importantes, pues con esta referencia vamos a saber la carga real que consume el motor durante la prueba.

Con este valor vamos a controlar el set de corriente para la protección de sobrecarga, que es el principal objetivo de nuestro controlador, el proteger al motor.

Los transformadores de Corriente tienen un ratio de 300:5, con los que se tendrán valores que el controlador maneja, para construir las curvas y comparar con el set de protección.

Este transformador en sí es una pinza amperométrica de devanado de forma hueca, por donde va a pasar el cable de salida que va directo a la entrada del motor, estos transformadores por la forma misma de construcción no tienen polaridad, pero se debe tener en cuenta al conectarlos que la ubicación de los mismos estén fuera de campos magnéticos que afecten el valor que estén midiendo.

La relación de transformación de la corriente está determinada por el número de vueltas de cable que pasan a través de ellos.

La relación del transformador de corriente con una vuelta es de 300:5. Como el número de pasadas a través del transformador de corriente es incrementado, la nueva relación se vuelve $300/n:5$, donde "n" es el número de vueltas.



Figura 2. 6 Transformador de corriente.

Por consiguiente si lo deseado es 75A en una escala completa de lectura, se requiere pasar a través del CT 4 vueltas.

- **Contactor de Vacío**

Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación con la posibilidad de ser accionado a distancia, que tiene dos posiciones de

funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción.

La interrupción de energía principal es conseguida con el uso del contactor de vacío.



Figura 2. 7 Contactor de Vacío.

Contactos Principales, son contactos instantáneos cuya función específica es establecer o interrumpir el circuito principal, a través del cual se transporta la corriente desde la red a la carga, por el cual deben estar debidamente calibrados y dimensionados para permitir el paso de intensidades requeridas por la carga sin peligro de deteriorarse. Por su función, son contactos únicamente abiertos.

Cuando un contactor bajo carga se desenergiza produce una chispa, de manera que aunque la parte móvil se haya separado de la fija, el circuito no se interrumpe inmediatamente. Por eso, y más al trabajar con intensidades muy altas, se necesita de una cámara apaga chispas, la cual tiene como función evitar la formación de arco o la propagación del mismo.

El diseño de las botellas de vacío provee una efectiva contención y extinción del arco eléctrico, así se reduce el riesgo de fuego y/o explosión.

Los contactos están aislados dentro de la botella de vacío, proveyendo un rango de voltaje máximo con una distancia mínima de separación física. Esto reduce en forma general las medidas requeridas para el contactor, disminuyendo la oxidación y corrosión por el vacío en los contactos, incrementando la vida del contacto.

El contactor en vacío proveerá una capacidad de tensión de 5 KV, mientras que el rango de corriente va desde 160A a 200A.

Debido a su alta confiabilidad y durabilidad, los contactores en vacío de este tipo, son interruptores aceptados para el control de motores electro sumergibles.

- **Componentes de Control**

- ***Micro-controlador 16F887A***

Uno de los principales aspectos para la selección del micro-controlador en el proyecto fue:

- La cantidad de entradas y salidas que se necesitaría.
 - Los precios y los recursos internos del PIC. El PIC debía tener suficiente cantidad de puertos para entrada/salida.
 - Conversión analógica digital en lo posible y capacidad de comunicación serial.
 - Tiene 3 tipos de memoria: ROM, RAM, EEPROM, 8K de memoria FLASH, el chip puede reprogramarse hasta 100000 veces.
 - La principal razón por la cual se eligió el PIC 16F887A fue por el módulo USART (módulo de transmisión serial asincrónica) que dispone internamente en el integrado y que solo debe ser habilitado y configurado para establecer una comunicación serial.

- **Contactos Auxiliares**

Son aquellos contactos cuya función específica es permitir o interrumpir el paso de corriente a las bobinas de los contactos o a los elementos de señalización, por lo cual están diseñados para intensidades débiles.

Éstos actúan tan pronto se energiza la bobina a excepción de los retardados.

Un contactor debe llevar necesariamente un contacto auxiliar instantáneo NA. Uno de los contactos auxiliares NA debe cumplir la función de asegurar la autoalimentación de la bobina, por lo cual recibe el nombre específico de auxiliar de sostenimiento o retención.

Existen contactores que tienen únicamente contactos auxiliares, ya sean NA, NC o NA y NC. Estos se los llama contactores auxiliares o relés.

Ventajas:

- Control y automatización de equipos y máquinas con procesos complejos, con la ayuda de los aparatos auxiliares de mando como los interruptores de posición, detectores, presostatos, etc.
- Automatización en el arranque y paro de motores.
- Posibilidad de maniobrar circuitos sometidos a corrientes muy altas mediante corrientes débiles.
- Posibilidad de controlar completamente una máquina desde varios puntos de maniobra.
- Ahorro de tiempo al realizar maniobras prolongadas.

○ **Indicadores Luminosos**

La tarjeta simula las salidas por medio de diodos led's, así comprobamos que la señal está siendo recibida a la salida del micro-controlador.

El LED es un tipo especial de diodo, que trabaja como un diodo común, pero que al ser atravesado por la corriente eléctrica, emite luz.

El diodo led, es un dispositivo semiconductor que emite luz policromática es decir en diferentes longitudes de onda, cuando se polariza directamente.

El funcionamiento físico consiste en que, un electrón pasa de la banda de conducción a la de valencia, perdiendo energía. Esta energía se manifiesta en forma de un fotón desprendido, con una amplitud, una dirección y una fase aleatoria.

El diodo LED debe ser protegido. Una pequeña cantidad de corriente en sentido inverso no lo dañará, pero si hay picos inesperados puede dañarse.

2.5 Arranque del Equipo

- **Corriente de Arranque**

Se denomina arranque de un motor al régimen transitorio en el que se eleva la velocidad del mismo desde el estado de motor detenido hasta el de motor girando a la velocidad de régimen permanente.

El conjunto que se pone en marcha es inercial y disipativo, incluyendo en este último concepto a las cargas útiles, pues consumen energía,

recordando que el conjunto motor-máquina está regido por la siguiente ecuación:

$$T_m - T_r = J \frac{dw}{dt}$$

Donde T_m es el par motor, T_r el par resistente, J es el momento de inercia del conjunto motor-máquina accionada y w es la velocidad angular de dicho conjunto.

Como la cupla motora es el producto de la corriente absorbida por el flujo del campo magnético, además de un factor que caracteriza al tipo de máquina, éste mayor par de arranque generalmente está asociado a una mayor corriente de arranque, la que no debe superar determinado límite por el calentamiento de los conductores involucrados.

Cuando el motor arranca a plena carga, el bobinado tiende a absorber una cantidad de corriente muy superior a la nominal, lo que hace que las líneas de alimentación incrementen considerablemente su carga y como consecuencia directa se produzca una caída de tensión. La intensidad de corriente durante la fase de arranque puede tomar valores entre 6 a 8 veces mayores que la corriente nominal del motor. Su principal ventaja es el elevado par de arranque: 1,5 veces el nominal.

Al arrancar los motores a plena tensión es beneficioso por la gran cupla de arranque que se obtiene, y de esta manera estamos poniendo a prueba al motor en condiciones muy cercanas a las de operación con carga.

El controlador efectúa el mando a distancia del motor con cables de secciones pequeñas (sólo se requiere la corriente necesaria para la bobina del contactor), lo que facilita el accionamiento y diseño del dispositivo de control por trabajar con intensidades reducidas.

- **Rotación del Motor**

Un motor de inducción trifásico dependiendo de la conexión puede girar en sentido de las agujas del reloj y contrario a las agujas de reloj.

Con una pequeña instalación de un instrumento llamado secuencimetro de fases conectado a las tres fases que van directo al motor, se suministra al controlador una entrada más de información y se puede obtener la opción de monitorear el sentido al cual está girando el motor.



Figura 2. 8 Secuencimetro de Fases.

Por ser éste un banco de pruebas es importante hacer girar al motor en los dos sentidos para detectar cualquier inconveniente, tomando en cuenta que al estar sin carga no hay cambios significativos en los valores mostrados durante la prueba sin importar el sentido al que esté girando el motor.

El sentido de giro en sentido de la agujas de reloj es el apropiado durante el funcionamiento normal del motor.

Cuando el motor trabaja con carga y en el sentido correcto, los demás componentes que conforman el equipo electro sumergible trabajan de igual manera correctamente, refiérase al capítulo 1 para ilustrarlo mejor sobre las funciones que cumplen cada equipo instalado.

Cuando un motor trabaja en sentido incorrecto, todo el equipo sufre y la producción de fluido no es la esperada, con ésto entendemos que

no está circulando la cantidad suficiente de fluido y se torna altamente peligroso para el motor pues es el fluido mismo el que lo refrigera y la temperatura máxima de operación está en 350 °F.

2.6 Diseño del Arrancador

El diseño del equipo está basado en las facilidades que brindan al reducir espacios, y facilitar la movilización del equipo, así como considerar la comodidad del operador en caso de un mantenimiento o reparación.

Se realizó un diseño práctico, utilizando elementos que se encuentran en el mercado por ser de los más comunes para este tipo de aplicaciones. (Figura 2.9)

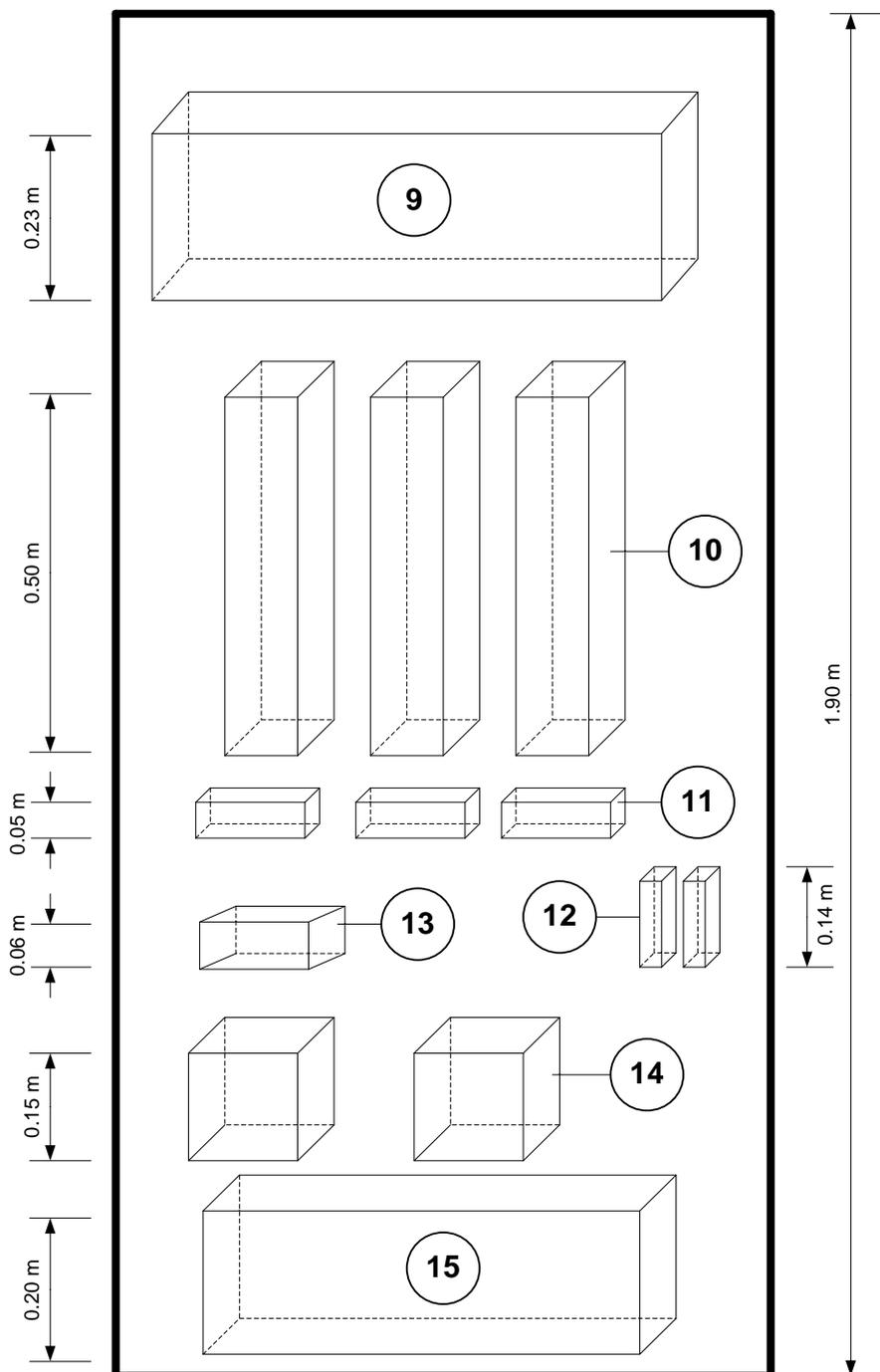


Figura 2. 9 Ubicación de los elementos del controlador.

ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL CONTROLADOR

1. INDICADORES LUMINOSOS (EXTERNOS)
2. PALANCA SECCIONADORA CON SEGURO
3. PUERTA EXTERIOR
4. BASE
5. VISOR INTERNO
6. TARJETAS DE CONTROL
7. RELES
8. PUERTA INTERNA
9. SECCIONADOR
10. FUSIBLES DE 100 A DE 480V
11. CT'S
12. FUSIBLES A LA ENTRADA DEL TRANSFORMADOR DE CONTROL DE 4160V
13. SECUENCIMETRO DE FASES
14. TRANSFORMADORES DE CONTROL DE VOLTAJE REPOTENCIADOS A 480V
15. CONTACTOR DE VACIO

El controlador va a trabajar con las siguientes especificaciones:

- Temperatura de operación: 0 a 85 grados C, extremas en nuestro medio.
- Energía de Control 120 VAC 60 Hz, 0,5 Amperios.
- Transformadores de Corriente, 0-1 Amperio, 1VA Carga.
- Indicadores Luminosos con protección.
- Fusibles de 100 A, para máxima carga del motor.
- Elementos mecánicos con certificación y seguro.
- Contactor de Vacio certificado.

En esta sección explicamos algunas recomendaciones para la construcción del mismo. El gabinete debe ser impermeable en caso de que se lo vaya a utilizar en lugares abiertos, construido en acero inoxidable. La dimensión del gabinete no debe ocupar demasiado espacio, para facilitar su ubicación. (Figura 2.10 y 2.11)

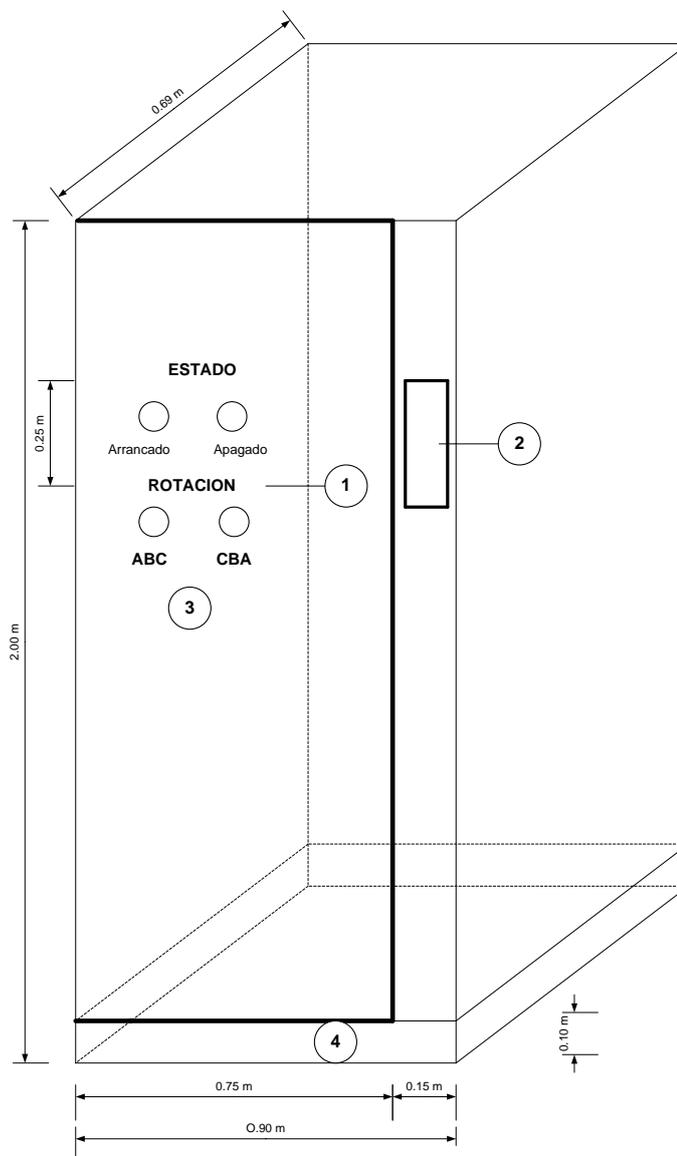


Figura 2. 10 Vista en perspectiva del controlador.

Su construcción debe ser de acuerdo a las normas y códigos eléctricos locales, con soportes y agarraderas que hagan el transporte de este un acto seguro. La pintura que se debe utilizar debe ser de tipo dieléctrico aislante. Contar con su debida conexión a tierra.

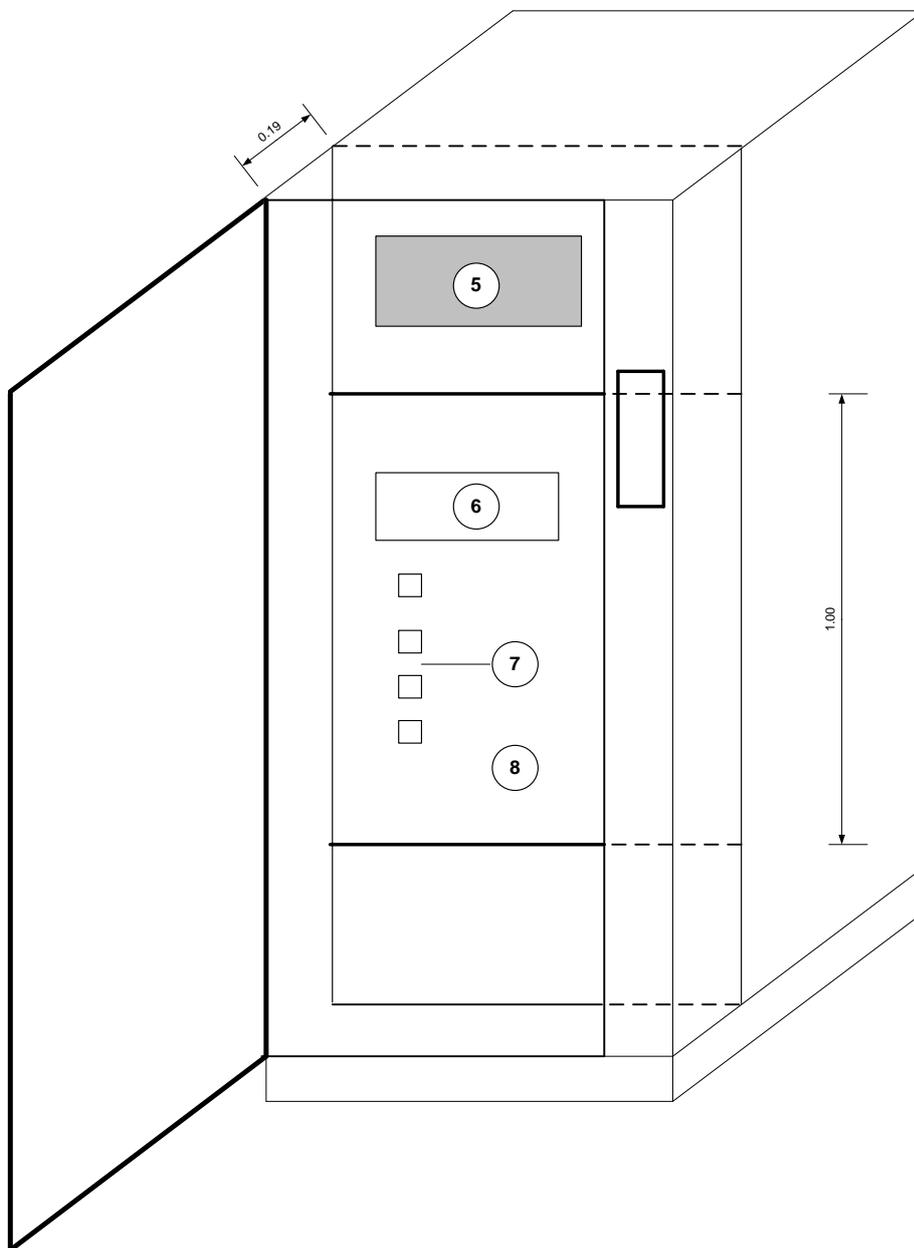


Figura 2. 11 Vista en perspectiva del controlador con la puerta abierta.

CAPÍTULO 3

3. DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL BANCO DE PRUEBAS AUTOMATIZADO

En el año 2004 realice la pasantía en la Empresa para la cual trabajo hasta el día de hoy, una empresa de servicios petroleros líder mundial en fabricación de motores electro sumergibles.

Los motores son ensamblados con partes hechas en Estados Unidos y probados en el banco de pruebas existente.

Las pruebas son totalmente manuales con tecnología que acusa de obsolescencia donde el operador realiza los trabajos de forma manual, por ejemplo, la toma de datos de los displays de 7 segmentos.

En una prueba manual el operador con su reloj de pulsera toma los datos cada 2 minutos. Incrementos de voltaje en pasos de 50 Voltios con un selector de potencia.

Todas las pruebas se realizan en tiempos diferentes dependiendo del operador que las realice.

Al ser una empresa Multinacional realiza trabajos para otros países y a la vez estos envían equipo al nuestro dependiendo de la necesidad, lo que ha causado que no se realicen las pruebas necesarias en taller antes de ser enviado el equipo al campo, dando problemas de tipo eléctrico y mecánico como:

- Bajo aislamiento
- Desbalance de fases
- Bobinas cambiadas

- Puntos de estrella sueltos
- Tiempo de vida del equipo más bajo que el de garantía
- Fuera de rangos mecánicos

Estos problemas afectan tremendamente en:

- Perdida de producción
- Pago de tiempo de espera de taladros de perforación
- Pago de tiempo de producción del pozo.
- Pago de garantías elevadas
- Perdida de pozos y por ende mercado
- No cumplimiento de metas

En el presente capítulo se detallan los diferentes componentes de desarrollo del software del banco de pruebas automatizado desde el punto de vista de programación, así como también, desde el punto de vista del usuario.

Antes de proseguir con las secciones posteriores es necesario conocer los diferentes componentes del sistema a desarrollar:

- Banco de pruebas automatizado: Sistema compuesto de una tarjeta electrónica y software de aplicación que trabajan en conjunto para la medición y presentación de parámetros de

interés al momento de ejecutar las pruebas de los motores electro-sumergibles.

- Software de aplicación: aplicación para la plataforma Windows desarrollada con la herramienta VISUAL.net.
- Tarjeta electrónica: hardware desarrollado para hacer la interfaz e integración con los diferentes instrumentos de medición al momento de realizar las pruebas de los motores electro-sumergibles.

3.1 Funcionamiento y configuración general

Los motores electro-sumergibles son del tipo jaula de ardilla con punto de estrella y para este tipo de equipamiento los parámetros que se van a considerar para ser verificados por el sistema automatizado son:

- ***Aislamiento entre cada una de las fases del motor con respecto a tierra:*** La lectura de este parámetro es necesario ya que antes de encender y poner en operación el motor se debe verificar el nivel de ohmios entre las bobinas de cada fase con respecto a la carcasa del motor. Mientras más alto es este valor, la vida útil del equipo será mayor y podrá ser considerado en estado óptimo en referencia a este parámetro. Los valores típicos de aislamiento serán mayores a 1 Giga ohm, valores menores

pueden mostrar ciertas falencias en el nivel de aislamiento del motor y será necesario un ejecutar un mantenimiento correctivo al motor. El instrumento para tomar las medidas de aislamiento es conocido como medidor de mega-ohmios, las medidas que se obtendrán en esta prueba son:

- Aislamiento fase A - tierra
 - Aislamiento fase B - tierra
 - Aislamiento fase C – tierra
-
- **Resistencia fase-fase:** Se verificara el valor en ohmios entre las bobinas de cada fase para determinar la integridad de cada una de ellas. Los valores que deben obtenerse en las mediciones deben ser iguales, puesto que, se trata de motores jaula de ardilla con punto estrella. Valores desiguales serán una prueba contundente de desbalance entre las bobinas haciéndose necesario una reparación de motor. El instrumento a utilizar para tomar las medidas entre fases del motor es el multi-metro en su función de ohmios, las medida que se obtienen en esta prueba son:
 - Resistencia fase A - fase B
 - Resistencia fase B - fase C
 - Resistencia fase A - fase C

- **Secuencia de fases:** Al tratarse de motores trifásicos se verificará el sentido de giro que tiene al momento de arrancar el motor, el sentido de giro correcto es en sentido de las agujas del reloj (ABC). El giro cambiado nos indica que el motor está arrancando correctamente pero las bobinas están mal conectadas (CBA). El instrumento a utilizar para registrar el sentido de giro del motor es el secuencimetro de fases, los indicadores luminosos nos muestran 2 sentidos:
 - ABC
 - CBA

- **Voltaje y Corriente:** Arrancado el motor se medirá el voltaje entre fases utilizando transformadores reductores conectados a cada fase del controlador. Se medirá la carga que está consumiendo el motor durante la prueba mediante transformadores de corriente. Tanto en las pruebas de voltaje como en corriente, valores con un desbalance mayor al 10% son prueba de falencia del equipo.

- **Vibración:** Este parámetro es necesario para determinar el correcto funcionamiento del motor una vez arrancado, las

unidades de medición están en gravedades y un valor mayor a 1 g es considerado como alarma y prueba de que el equipo necesita una revisión en su ensamble. Para tomar los valores de vibración se utilizará el acelerómetro MMA7455L.

- **Temperatura:** El equipo necesita refrigeración y por tanto límites de temperatura para no sufrir daños en sus componentes internos, las unidades de medición están en grados Fahrenheit con un máximo de 302 °F. Un valor mayor es considerado como alarma y prueba de que el equipo necesita una revisión en su ensamble o método de refrigeración. Para tomar los valores de temperatura se utilizará el circuito integrado LM35.

Tomando en cuenta los parámetros de importancia descritos en los párrafos anteriores, los requerimientos básicos de un banco de pruebas automatizado, serán por lo tanto:

- Aplicación de software amigable de fácil uso para el operador, no se requerirá un profundo conocimiento de utilitarios de computación para manipularlo y generar los reportes correspondientes.
- Procedimientos, herramientas, materiales y precauciones necesarios al momento de realizar cada una de las pruebas.

- Subdividir la verificación total del motor implementando secuencialmente las pruebas de:
 1. Aislamiento de fase
 2. Resistencia fase-fase
 3. Rotación de fase
 4. Pruebas de voltaje y corriente
 5. Vibración
 6. Temperatura

- La aplicación de software del banco automatizado deberá contener una pantalla independiente que permita al usuario iniciar cada prueba.
- Deberá obligar al operador a ejecutar las pruebas en manera secuencial generando alarmas y dando por finalizada la verificación completa del motor en caso de falla en alguna de las pruebas.
- Inicio automático del motor desde la aplicación de software.
- Generación de curvas de visualización de parámetros de corriente, voltaje y temperatura con respecto al tiempo.
- Generación de reporte con información del motor bajo prueba y ejecutor de la misma.

- De fácil instalación en cualquier PC comercial para reducir costos de implementación y que el Banco de pruebas automatizado sea reproducible en varios laboratorios.
- Fácil adaptación a los instrumentos de medición utilizados hasta el momento para reducción de costos de implementación de pruebas y capacitación de personal. Con el fin de una fácil adaptación para las diferentes pruebas, se debe definir las entradas/salidas para cada una. Ver tabla III.

PRUEBAS	ENTRADAS	SALIDAS
Aislamiento entre cada una de las fases del motor del motor con respecto a tierra.	Valores tomados por el medidor de mega-ohmios.	N.A. (No Aplica)
Resistencia fase-fase.	Valores de ohmios tomados con un multímetro en su función de ohmios.	N.A.(No Aplica)
Rotación de fases.	Valor lógico que representa la secuencia de fase medida con un	Activación/desactivación automática de la prueba iniciando/parando el motor desde el banco

	secuencímetro.	automatizado.
Pruebas de corriente y voltaje.	Valores de corriente de fase y voltaje entre fases.	Activación/desactivación automática de la prueba iniciando/parando el motor desde el banco automatizado.
Pruebas de vibración.	Valores de vibración.	N.A.(No Aplica)
Pruebas de temperatura.	Valores de temperatura del motor.	N.A.(No Aplica)

Tabla III Pruebas y entradas/salidas.

Para la implementación del sistema se ha respetado la configuración que se describe a través de la figura 3.1.

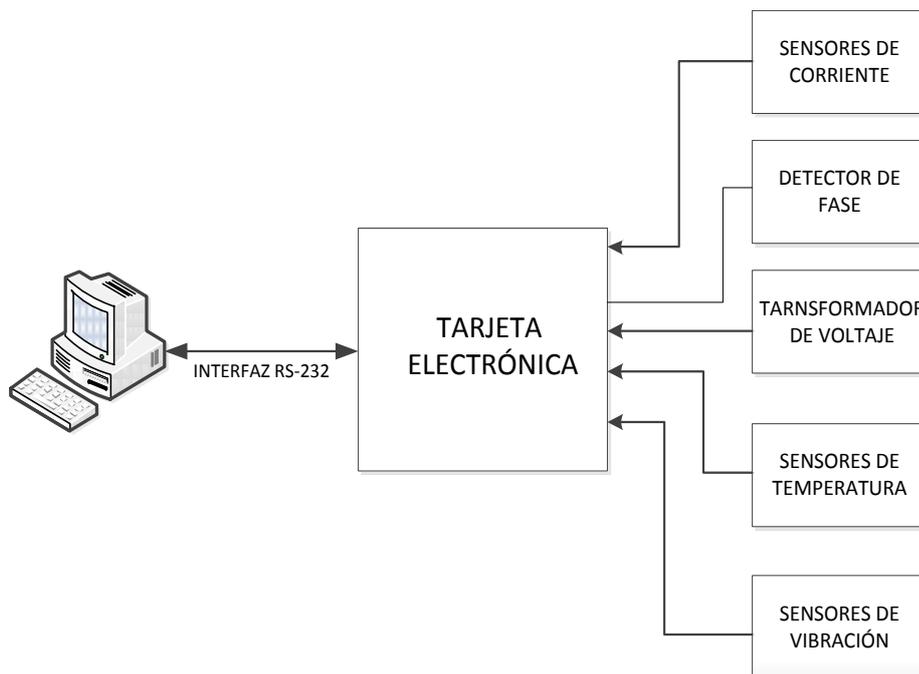


Figura 3. 1 Configuración general del sistema.

3.2 Definición del problema

Como fue descrito en la sección anterior el banco de pruebas automatizado tendrá dos partes principales, aplicación de software y tarjeta electrónica. La aplicación de software actuará como maestro y se interconectará con el hardware a través de una interfaz RS-232, por la cual se intercambiarán comandos de información y palabras digitales que representarán las diferentes medidas en dependencia de la prueba en ejecución, es decir, quien solicita y termina las mediciones es la aplicación de software.

Por otro lado la tarjeta electrónica actuará como esclavo y luego de recibir los comandos desde la aplicación de software, implementará las rutinas correspondientes para ejecutar las órdenes de:

- Conversión analógica/digital de los niveles de temperatura a 8 bits y su correspondiente transmisión por la interfaz RS-232 hacia la aplicación de software.
- Conversión analógica/digital de los niveles de voltaje a 8 bits y su inmediata transmisión por la interfaz RS-232 hacia la aplicación de software, durante un periodo de tiempo, esta información será usada por la aplicación de software para la generación de gráficas y cálculo de promedio a ser insertado en el reporte.
- Conversión analógica/digital de los niveles de corriente a 8 bits y su inmediata transmisión por la interfaz RS-232 hacia la aplicación de software, durante un periodo de tiempo, esta información será usada por la aplicación de software para el generación de gráficas y cálculo de promedio a ser insertado en el reporte.
- Lectura de palabra digital del sensor de vibración y su correspondiente transmisión a la aplicación de software.

A continuación se desglosa puntualmente cada una de las pruebas a las que un motor debe ser sometido, así como también, una rápida revisión de los principios básicos de implementación a nivel de hardware y software de cada prueba. También se incluye una descripción de las condiciones de alarma y falla de cada prueba (ver tablas IV a la IX):

Prueba	Aislamiento entre cada una de las fases del motor con respecto a tierra.
Método de medición	Utilizando un medidor de mega-ohmios
Implementación en software	Pantalla en aplicación de software que le permite al usuario ingresar los valores tomados por un medidor de mega-ohmios. Se puede visualizar en la pantalla las instrucciones y precauciones de prueba.
Implementación en hardware	Para mantener los equipos actualmente utilizados (con limitaciones de interfaz digital) y plenamente conocidos por los técnicos operadores, las lecturas en las pruebas de aislamiento se ejecutan de manera manual.

Tabla IV Pruebas de aislamiento.

Prueba	Resistencia fase-fase
Método de medición	Utilizando un medidor de ohmios
Implementación en software	Pantalla en aplicación de software que le permite al usuario ingresar los valores tomados por un medidor. Se puede visualizar en la pantalla las instrucciones y precauciones de prueba
Implementación en hardware	Para mantener los equipos actualmente utilizados (con limitaciones de interfaz digital) y plenamente conocidos por los técnicos operadores, las lecturas en las pruebas de se ejecutan de manera manual.

Tabla V Pruebas de resistencia fase-fase.

Prueba	Rotación de fases
Método de medición	Utilizando un secuencimetro de fases
Implementación en software	Pantalla en aplicación de software que le permite al usuario visualizar de manera automática los valores tomados por un medidor. Se puede visualizar en la pantalla las instrucciones y precauciones de prueba
Implementación en hardware	Para mantener los equipos actualmente utilizados (con limitaciones de interfaz digital) y plenamente conocidos por los técnicos operadores, las lecturas en las pruebas de se ejecutan de manera automática con la adaptación de elemento foto sensibles que permitan ingresar los datos a la PC

Tabla VI Pruebas de rotación de fases.

Prueba	Voltaje y Corriente
Método de medición	Utilizando transformadores reductores y transformadores de corriente
Implementación en software	<p>Pantalla en aplicación de software que le permitirá visualizar el voltaje que existe entre las fases del motor y la corriente que está consumiendo el motor durante la prueba. También en la pantalla se podrá visualizar las instrucciones y precauciones.</p> <p>El software de aplicación inicia la transferencia de los comandos a la tarjeta electrónica para que esta tome los valores durante un periodo de tiempo y transmita los resultados como respuesta a tales comandos</p>
Implementación en hardware	<p>Se conectara tres transformadores reductores de voltaje y tres transformadores de corriente a la salida del controlador y a la tarjeta electrónica, la misma que después de un 1 minuto comienza a leer los valores de 0 a 5 VDC variable para el voltaje y corriente, proporcionalmente:</p>

	VAC	Motor	0-480V	=
	VDC Tarjeta 0 – 5V			
	I	AC Motor	0-600A	=
	VDC Tarjeta 0 – 5V			

Tabla VII Pruebas de voltaje y corriente.

Prueba	Vibración
Método de medición	Utilizando el sensor MMA7455L
Implementación en software	Pantalla en aplicación de software que le permitirá visualizar la vibración en gravedades que actúa en el motor durante el arranque y prueba del motor. También en la pantalla se podrá visualizar las instrucciones y precauciones.
Implementación en hardware	Se conectara el circuito MMA7455L a la carcasa del motor en puntos más sensibles de operación como la cabeza y base.

Tabla VIII Pruebas de vibración.

Prueba	Temperatura
Método de medición	Utilizando el circuito integrado LM35
Implementación en software	Pantalla en aplicación de software que le permitirá visualizar la temperatura en grados Farenheit del motor durante el arranque y prueba. También en la pantalla se podrá visualizar las instrucciones y precauciones.
Implementación en hardware	Se conectara el circuito LM35 a la carcasa del motor en puntos más sensibles de operación como la cabeza y base.

Tabla IX Pruebas de temperatura.

Para la configuración inicial de las pruebas, usando el banco de pruebas automatizado, debe seguirse los siguientes pasos:

Identificar y verificar la validez del puerto serial al que se va a conectar la tarjeta electrónica (ver en la figura 3.2) mediante el panel de control de la plataforma Windows en la opción de administrador de dispositivos. Al momento de insertar el cable de conexión con la tarjeta electrónica debe poder verificarse en el administrador de dispositivos el puerto asignado por el sistema, se debe tomar el número de puerto

asignado al momento de configurar las pruebas, tal como se desglosa en párrafos posteriores.

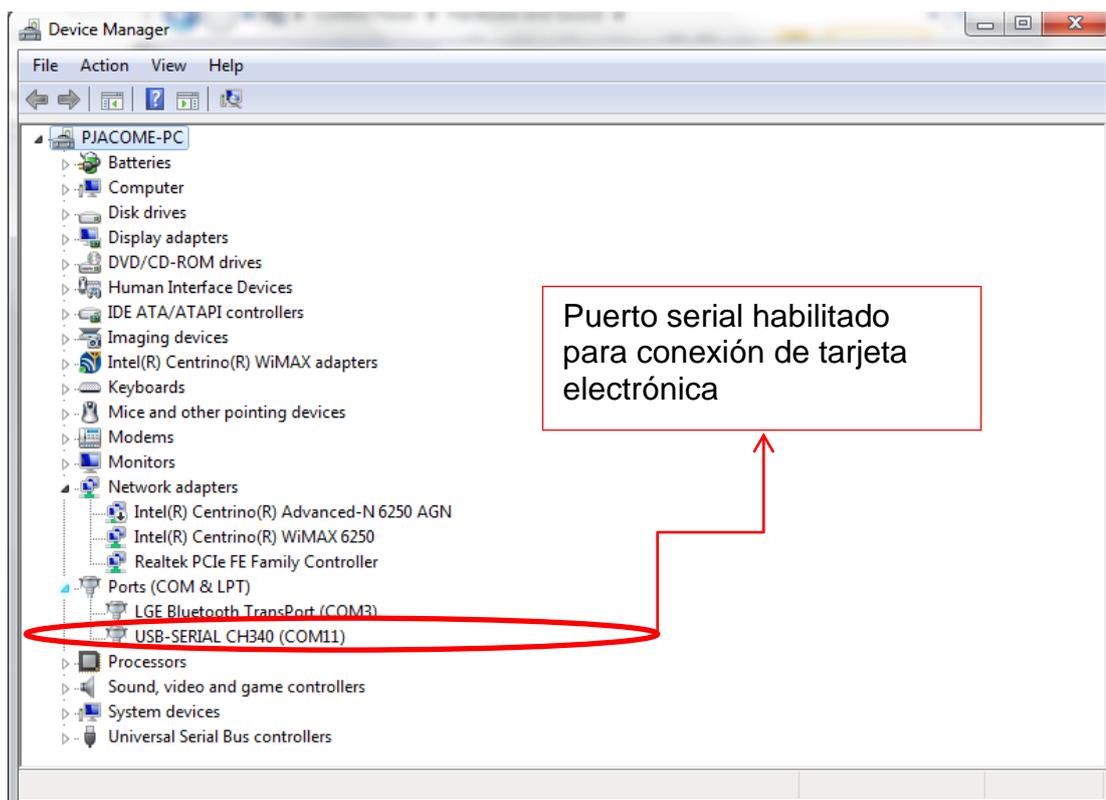


Figura 3. 2 Verificación en el administrador de dispositivos del puerto serial disponible para conexión.

3.3 Menú principal

La aplicación de software del banco de pruebas automatizado deberá presentar en la pantalla un menú principal que le permita visualizar al usuario la siguiente información:

- Menú de pruebas
- Información del estado de las pruebas del controlador
- Información del operador
- Información de actividad de la tarjeta electrónica
- Menú de curvas y reportes

Para que el usuario realice en forma ordenada las pruebas, el software deberá obligar a que los campos de identificación sean llenados como tarea previa a la ejecución de verificación total del motor, los campos son:

- Datos del operador
- Detalles de la prueba
- Datos del motor bajo prueba (información de placa).

El software de aplicación mostrará en pantalla un formulario que permita al usuario completar la información solicitada, bajo el nombre de "Datos iniciales". En la figura 3.3 se muestra el algoritmo a seguir

desde el momento en que el usuario da clic en el inicio del programa hasta que el software habilite las pantallas de menú principal.

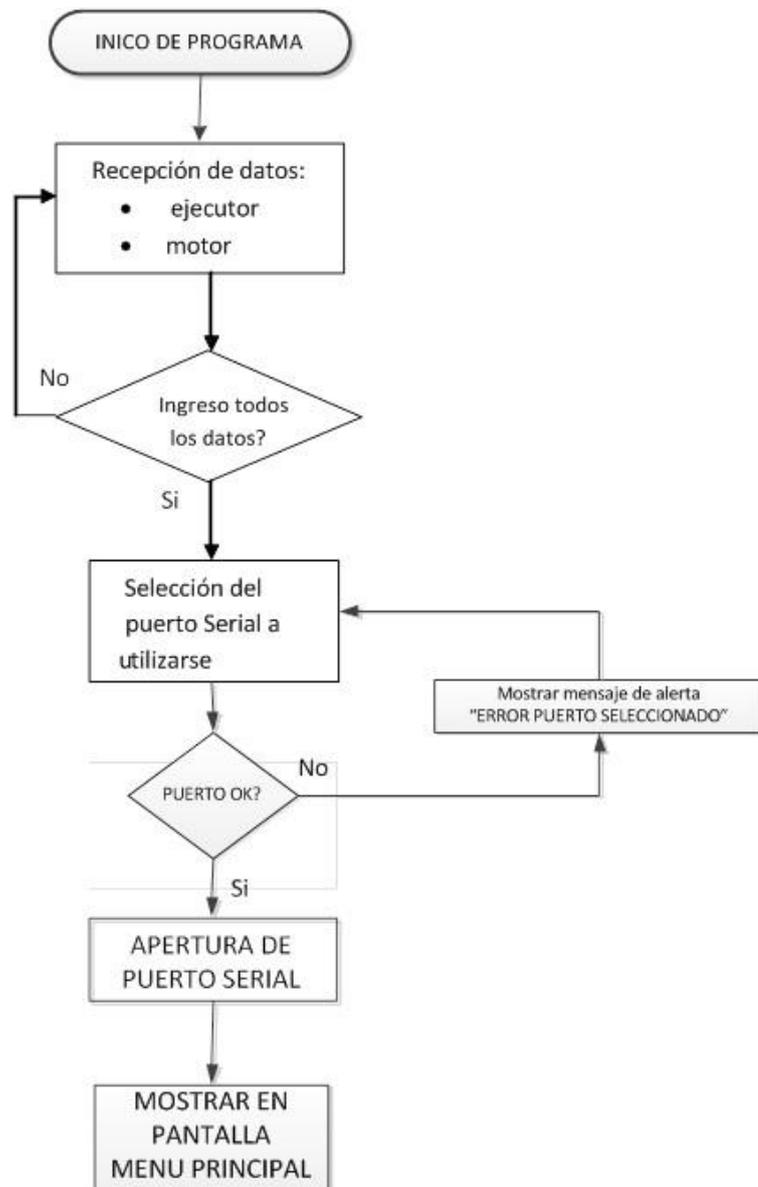


Figura 3. 3 Menú principal

Las variables que se usan en el software se detallan en la sección de un anexo 1.

El código de software para el diagrama de flujo de la figura 3.3 se desarrolla usando la herramienta Microsoft Basic Express 2010 y se detalla en el anexo 2.

La implementación en las pantallas se muestra en las figura 3.4 a la 3.7.



The screenshot shows a window titled 'DatosIniciales' with two tabs: 'Datos de la Prueba' and 'Datos del Motor'. The 'Datos de la Prueba' tab is active. The form contains the following fields:

NOMBRE DEL EJECUTOR	Edison Cueva
CARGO	TECNICO DE CAMPO
FECHA	Saturday , January 14, 2012
LUGAR	SACHA 86
JEFE INMEDIATO	ALEJANDRO CARDENAS

At the bottom of the window is a button labeled 'ACEPTAR VALORES'.

Figura 3. 4 Ingreso operador.

Se ingresa los parámetros del motor. (Figura 3.5)



The screenshot shows a software window titled 'DatosIniciales' with two tabs: 'Datos de la Prueba' and 'Datos del Motor'. The 'Datos del Motor' tab is active, displaying a form with the following fields and values:

Parameter	Value
HP	800
VOLT	480
AMP	600
MODEL	CG2
S/N	3034236-020
ESTATOR S/N	GY7832
ROTORES CANTIDAD	1

To the right of the form is an image labeled 'EJEMPLO' showing a motor nameplate with technical specifications. Below the form is a button labeled 'ACEPTAR VALORES'.

Figura 3. 5 Datos del motor.

En caso de que alguno de los datos no ha sido ingresado correctamente se recibe el mensaje descrito en la figura 3.6, y no se puede iniciar la prueba hasta que todos los campos hayan sido llenados.

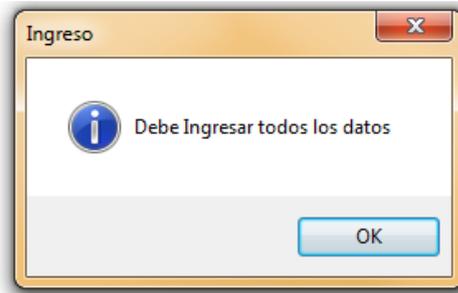


Figura 3. 6 Error de ingreso.

La pantalla del menú principal se puede verificar en la figura 3.7.



Figura 3. 7 Pantalla de menú principal.

Los controles y textos de visualización en la pantalla son:

1. Nombre del operador
2. Parámetros de medición de prueba
3. Botón de inicio o lectura de cada prueba

4. Acceso a precauciones e instrucciones de prueba
5. Estado del controlador y pruebas
6. Detalle de puerto serial y estado de tarjeta
7. Menú de pruebas

3.4 Visualización del Estado del controlador

Se encuentra en la parte superior del menú de principal, su función es darle al operario la oportunidad de visualizar el estado en que se encuentra las pruebas:

- Si la prueba es exitosa, el círculo correspondiente cambiará a color verde (ver figura 3.8)
- Si la prueba es fallida, el círculo correspondiente será rojo (ver figura 3.9)

La correspondencia entre las pruebas y los círculos del estado del controlador se determinan por el número en el círculo y el número el menú de prueba.



Figura 3. 8 Color de pruebas exitosas



Figura 3. 9 Color de pruebas fallidas.

3.5 Configuración de las Pruebas

- **Prueba de Aislamiento**

Como se definió en secciones anteriores los parámetros de medición de la prueba de aislamiento serán:

- Aislamiento FASE A
- Aislamiento FASE B
- Aislamiento FASE C

En una pantalla, el usuario deberá tener la capacidad de ingresar los valores de aislamiento así como de un fácil acceso las instrucciones, procedimiento y precauciones de la prueba:

La aplicación de software deberá también procesar los valores ingresados para determinar condiciones de falla o éxito de la prueba:

El diagrama de flujo de la prueba se puede observar en la figura 3.10.

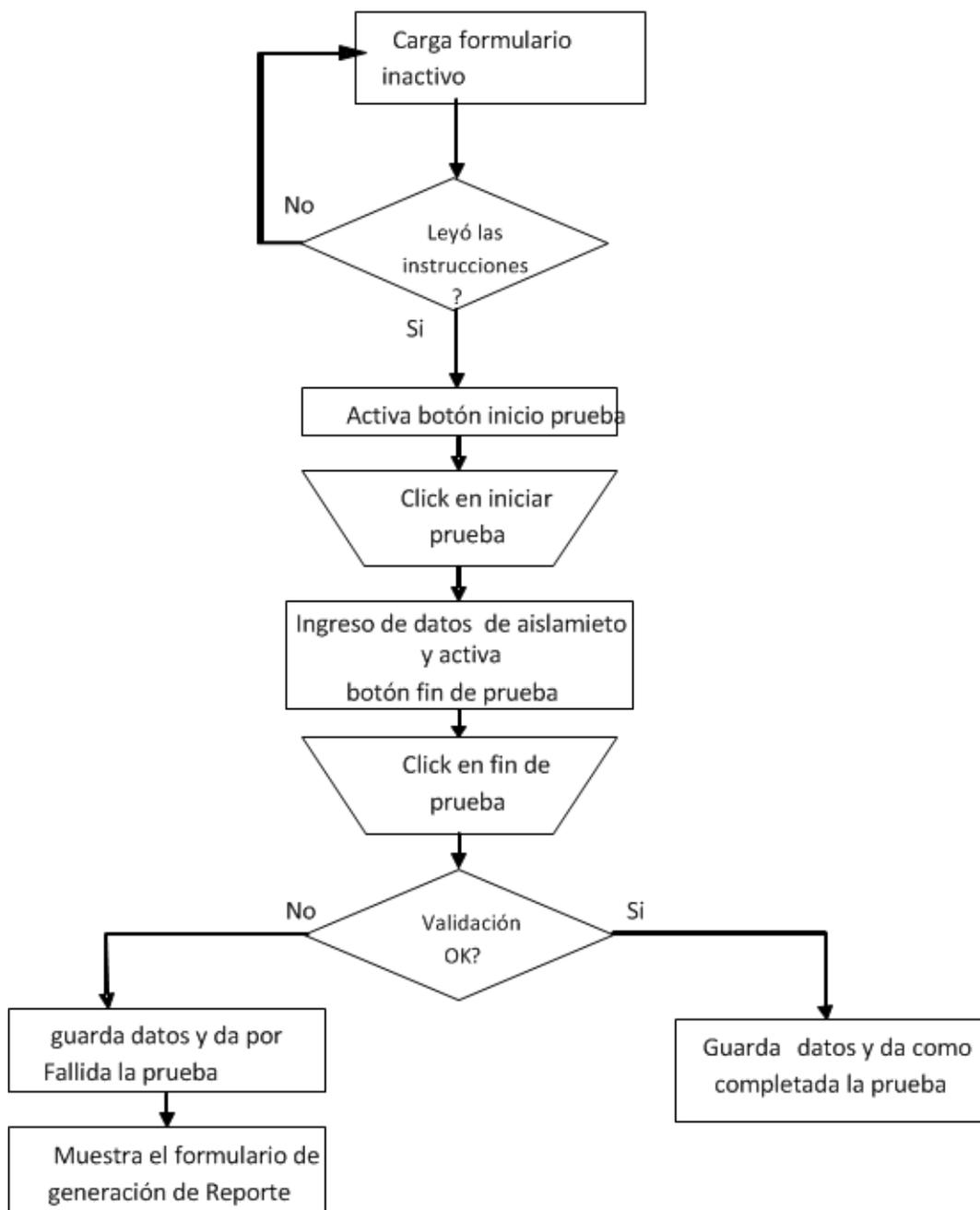


Figura 3. 10 Pruebas de aislamiento diagrama de configuración

El código correspondiente está incluido en el anexo 3.

La implementación en pantalla de la prueba se puede observar en la figura 3.11.



Figura 3. 11 Prueba de aislamiento

Después de leer el documento de precauciones se marca aceptar en el recuadro de responsabilidad y se continúa con la prueba.

Se ingresa los valores de cada Fase después de medir los correspondientes mega ohms del motor, marcando la unidad (elegir entre ohms, mega ohms o giga ohms).

Las unidades pueden ser OHM, MEGA OHMS, GIGA OHMS.

Todos los campos deben ser llenados para que se pueda dar por terminada la prueba, en caso de que se pretenda dar por finalizada la prueba sin que se hayan completado todos los valores se recibe un mensaje de advertencia en la pantalla (ver figura 3.12)



Figura 3. 12 Advertencia de llenado de campos en prueba de aislamiento

Se pulsa Inicio de Prueba, dependiendo del resultado se enciende la luz verde por un resultado positivo o roja en caso de resultado negativo en la parte de estado de la prueba (ver en la sección de alarmas).

Se pulsa Fin de Prueba, si el resultado es positivo se puede continuar con la siguiente pantalla y prueba, de lo contrario se pasa a la pantalla de reportes.

Debe darse por finalizada la prueba para poder continuar con las siguientes pruebas.

- ***Resistencia Fase – Fase***

En base a los requerimientos que se definieron en secciones anteriores, se deberá, en la pantalla de la prueba de resistencia Fase-Fase disponer de un formulario en donde el usuario podrá:

- Ingresar las lecturas manuales de resistencia FASE A - FASE B.
- Ingresar las lecturas manuales de resistencia FASE A - FASE C.
- Ingresar las lecturas manuales de resistencia FASE B - FASE C.
- Fácil y obligatorio acceso a las instrucciones y precauciones a implementar en la prueba.
- Botón para inicio de la prueba
- Botón para finalización y verificación automática de la prueba.
- Pantallas de advertencia para correcto ingreso de parámetros
- Pantalla de alarma (ver sección alarmas)

El diagrama de flujo de la programación en Microsoft Visual Basic 2010 Express se presenta en la figura 3.13. El código correspondiente está incluido en el anexo 4.

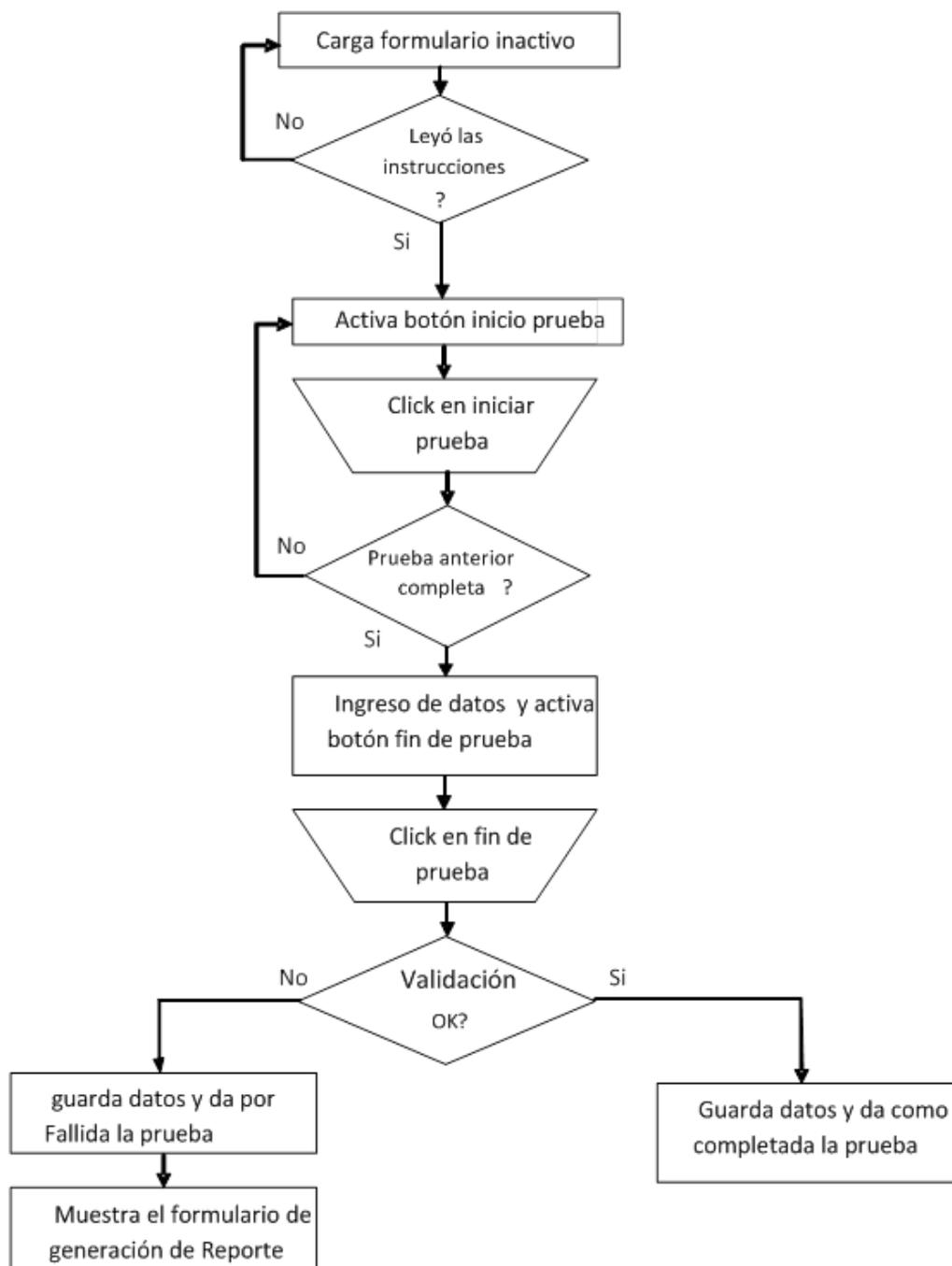


Figura 3. 13 Diagrama de flujo de pruebas de resistencia.

En la figura 3.14, se muestra la interfaz de usuario que se implementa para la prueba de resistencia.



Figura 3. 14 Pantalla de interfaz usuario para pruebas de resistencia

Después de leer el documento de precauciones, el usuario, debe marcar aceptar en la recuadro de responsabilidad y se habilita al usuario continuar con la prueba.

Se ingresa los valores después de realizar la medición con el multímetro respetando las unidades de resistencia (OHMS).

La prueba debe terminarse con éxito para que el usuario esté habilitado para continuar con el resto de pruebas, en caso de que

exista alguna novedad en los valores o no se haya finalizado la prueba, se verá el siguiente mensaje, figura 3.15, en la pantalla:

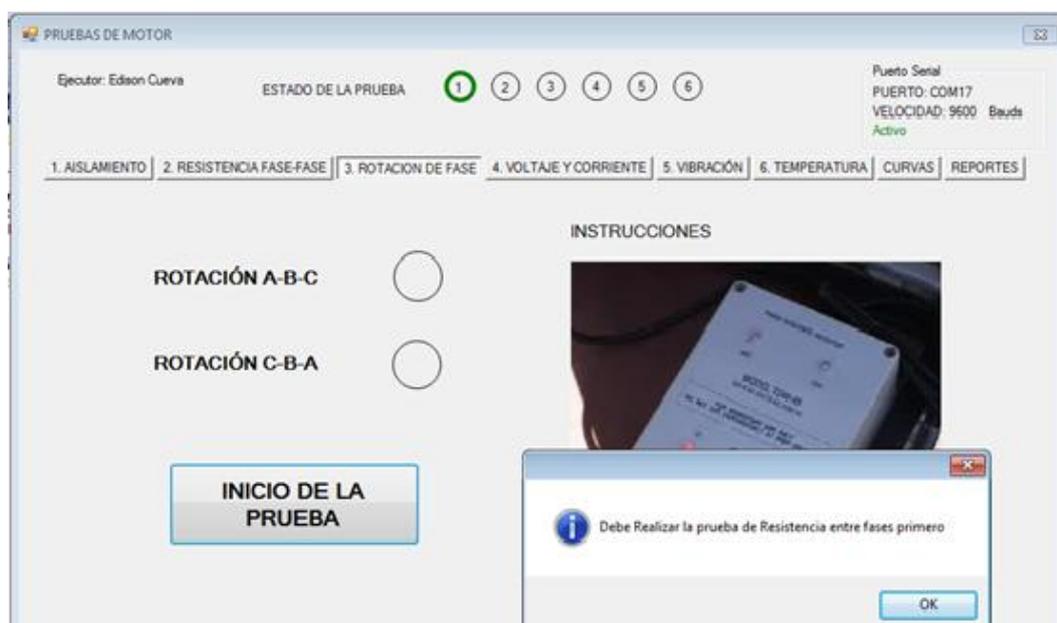


Figura 3. 15 Falla de pruebas de rotación debido a prueba incompleta de resistencia de fase-fase

Se pulsa Inicio de Prueba, dependiendo del resultado se enciende la luz verde por un resultado positivo o roja en caso de resultado negativo en el estado del controlador de prueba.

Se pulsa Fin de Prueba, si el resultado es positivo se continua con la siguiente pantalla y prueba, de lo contrario se pasa a la pantalla de reporte.

- **Rotación de Fases**

En base de los requerimientos los parámetros de medición en esta prueba son:

- Rotación de fase (ABC o CBA).
- Fácil y obligatorio acceso a las instrucciones y precauciones a implementar en la prueba.
- Botón para inicio de la prueba
- Botón para finalización y verificación automática de la prueba.
- Pantallas de advertencia para correcto ingreso de parámetros
- Pantalla de alarma (ver sección alarmas)

El diagrama de flujo de la programación de la prueba se muestra en la figura 3.16.

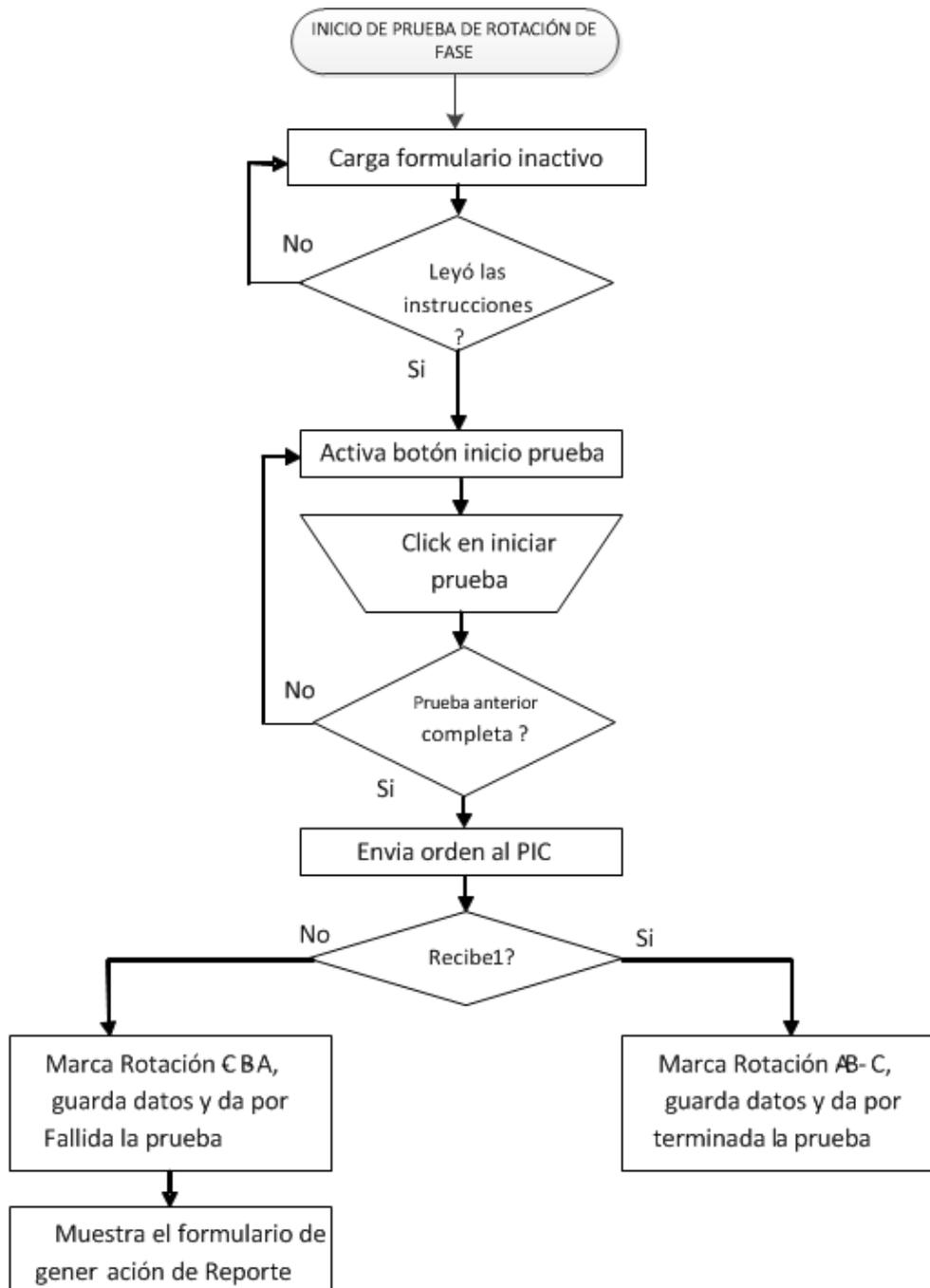


Figura 3. 16 Diagrama de flujo de la programación de rotación de fase.

El código correspondiente se muestra en el anexo 5.

La interfaz de usuario se muestra en la figura 3.17



Figura 3. 17 Prueba de rotación de fase.

Después de leer el documento de precauciones se marca aceptar en la recuadro de responsabilidad y se continúa con la prueba.

Se arranca el equipo pulsando INICIO DE PRUEBA y nos muestra el sentido de giro de nuestro motor.

- ABC Sentido Correcto
- CBA Sentido Incorrecto (ver sección de alarmas)

Si el resultado es correcto continuamos con la siguiente pantalla y prueba, de lo contrario se pasa a la pantalla de reporte.

- **Voltaje y Corriente**

Como se definió en secciones anteriores los parámetros de medición del motor electro – sumergible que al ser trifásico son:

- Voltaje entre fases A-B
- Voltaje entre fases B-C
- Voltaje entre fases A-C
- Corriente fase A
- Corriente fase B
- Corriente fase C

En una pantalla el usuario podrá visualizar los valores de voltaje y corriente que se están consumiendo durante la prueba por medio de transformadores de corriente y voltaje los mismos que envían las señales para su conversión, un fácil y obligatorio acceso a las instrucciones, precauciones y procedimiento.

La aplicación del software deberá también procesar los valores ingresados para determinar condiciones de falla o éxito de la prueba:

El diagrama de flujo de la prueba se puede observa en la figura 3.18.

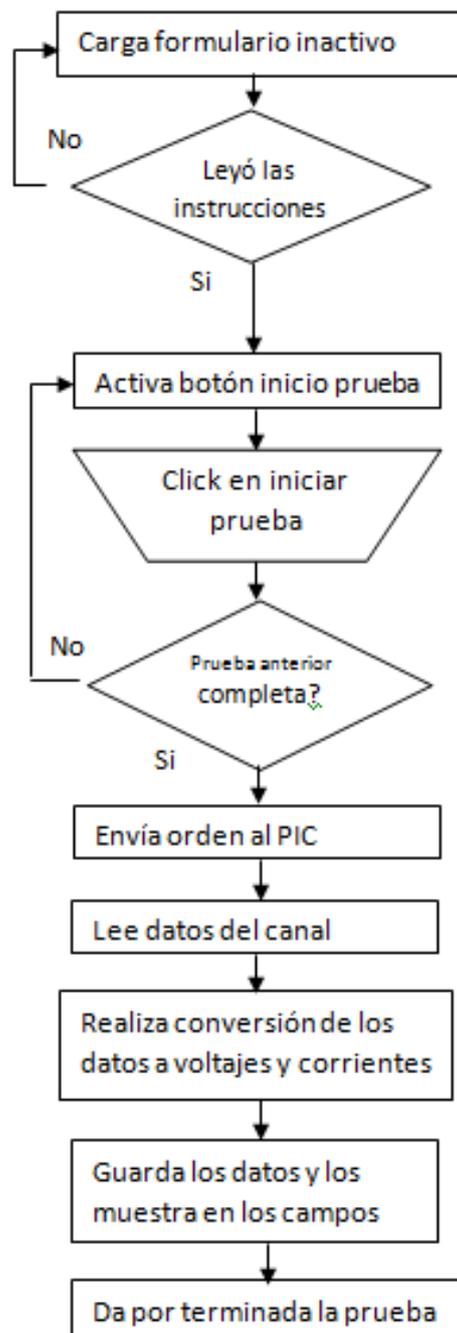


Figura 3. 18 Diagrama de voltaje y corriente.

La programación del software se desarrolla usando la herramienta de Microsoft Visual Basic 2010 Express y se encuentra en el anexo 6.

La implementación en pantalla de la prueba se puede observar en la figura 3.19.

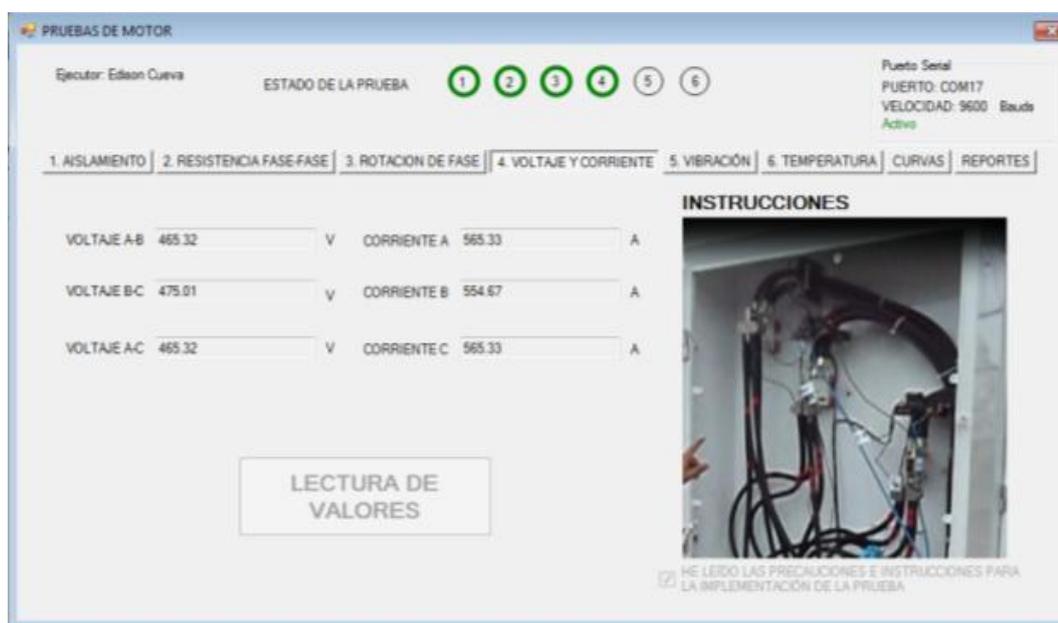


Figura 3. 19 Prueba voltaje y corriente.

Después de leer el documento de precauciones se marca aceptar en la recuadro de responsabilidad y se continúa con la prueba.

Se pulsa LECTURA DE VALORES, en donde muestra los valores de voltaje que están en la entrada del motor entre fases (A-B, B-C, C-A), también muestra los valores de carga que está consumiendo el motor en cada Fase en Amperios.

Si los valores de voltaje y corriente están dentro de los rangos establecidos la prueba continua.

- **Vibración**

Como se definió en secciones anteriores el parámetro de medición del motor una vez arrancada la prueba es la vibración.

En una pantalla el usuario podrá visualizar los valores de vibración del sensor MMA7455L ubicado en la carcasa del motor el mismo que envía la señal para su conversión, fácil acceso a las instrucciones, precauciones y procedimiento.

La aplicación del software deberá también procesar los valores ingresados para determinar condiciones de falla o éxito de la prueba:

El diagrama de flujo de la prueba se puede observa en la figura 3.20.

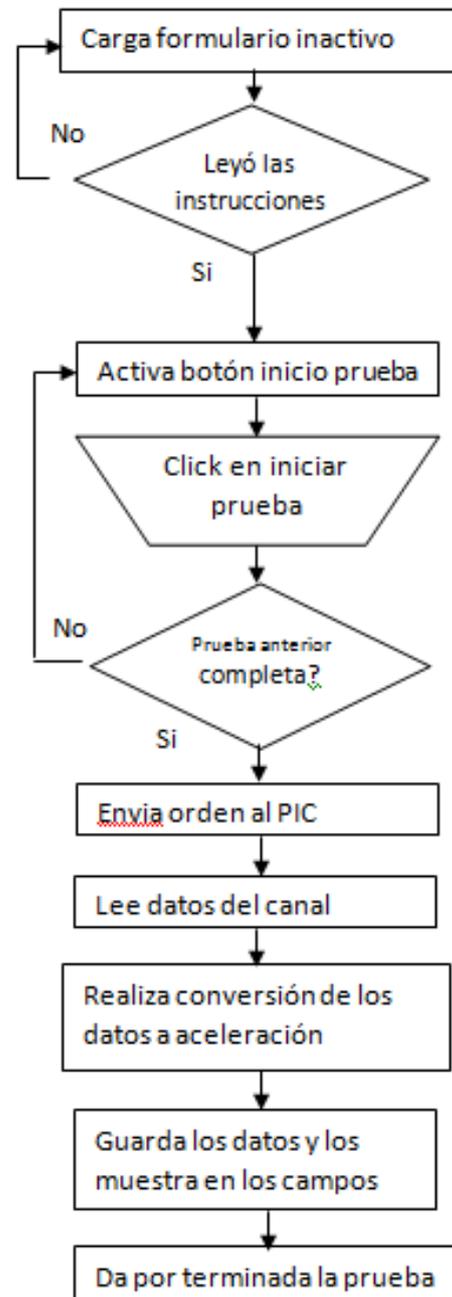


Figura 3. 20 Diagrama de vibración.

La programación del software se desarrolla usando la herramienta de Microsoft Visual Basic 2010 Express y se encuentra en el anexo 7.

La implementación en pantalla de la prueba se puede observar en la figura 3.21.



Figura 3. 21 Prueba de vibración

Después de leer el documento de precauciones se marca aceptar en la recuadro de responsabilidad y se continúa con la prueba.

Se pulsa LECTURA DE VALORES, donde muestra los valores en los diferentes puntos donde fueron ubicados los sensores de vibración en Gravedades.

Si los valores de vibración están dentro del rango establecido la prueba continua.

- **Temperatura**

Como se definió en secciones anteriores el parámetro de medición del motor una vez arrancada la prueba es la temperatura.

En una pantalla el usuario podrá visualizar los valores de temperatura del sensor LM35 ubicado en la carcasa del motor el mismo que envía la señal para su conversión, fácil acceso a las instrucciones, precauciones y procedimiento.

La aplicación del software deberá también procesar los valores ingresados para determinar condiciones de falla o éxito de la prueba:

El diagrama de flujo de la prueba se puede observa en la figura 3.22

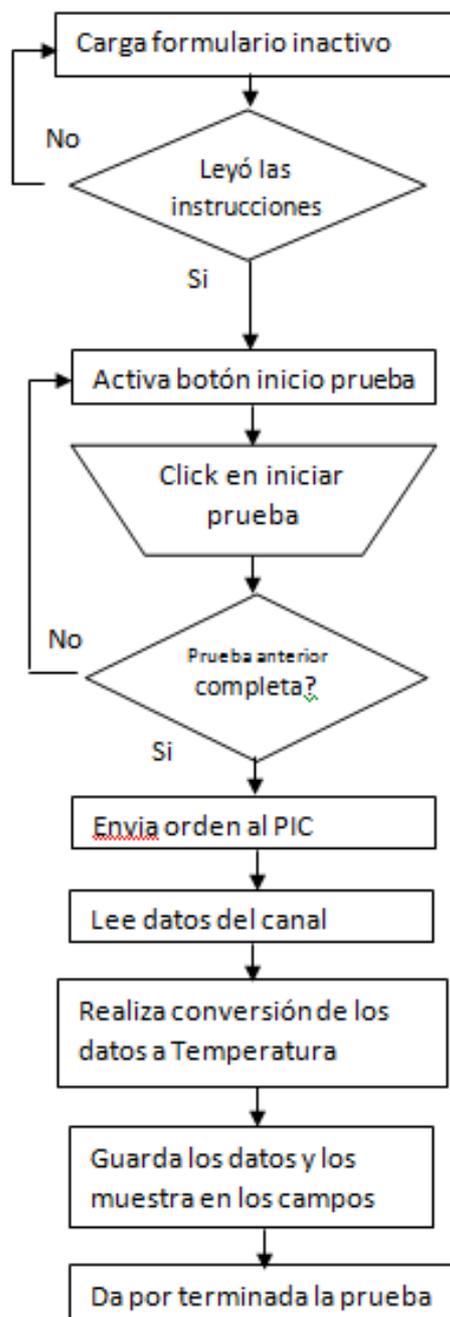


Figura 3. 22 Diagrama de temperatura.

La programación del software se desarrolla usando la herramienta de Microsoft Visual Basic 2010 Express y se encuentra en el anexo 8.

La implementación en pantalla de la prueba se puede observar en la figura 3.23.



Figura 3. 23 Prueba de temperatura

Después de leer el documento de precauciones se marca aceptar en la recuadro de responsabilidad y se continúa con la prueba.

Se pulsa LECTURA DE VALORES, donde muestra los valores en los diferentes puntos donde fueron ubicados los sensores de temperatura en grados Fahrengeith.

Si los valores de temperatura están dentro del rango establecido la prueba continua y finaliza.

3.6 Histórico

El proyecto fue concebido con el afán de mejorar las pruebas de los equipos electro-sumergibles con un diseño moderno y práctico que sea utilizado para diagnóstico, tanto en el taller de ensamble, como en campo.

Para la realización de la aplicación en software se tomaron en cuenta varios factores tales como:

- Factor Económico
- Uso de software libre
- Uso de software estudiantil con permisos
- Acceso a información
- Modelo flexible para ser desarrollado e implementado en varios sitios.

Se llegó a la conclusión que la mejor opción es la herramienta de uso libre de Microsoft Visual Basic 2010 Express.

La programación e implementación de la tarjeta fue probada en taller y en campo en el pozo SACHA 186 de la operadora Rio Napo de capital Venezolano-Ecuatoriano, con los respectivos permisos de trabajo.

La prueba fue filmada y se la realizó con el técnico asignado al campo para demostrar la fiabilidad del sistema así como también, su interfaz amigable y de fácil uso.

El pozo Sacha 186 es un pozo de transferencia de petróleo que tiene instalado un motor de 800 HP, 600 Amperios, 480 Voltios.

Se realizó una charla de seguridad e inducción con el personal involucrado, explicando los parámetros a medir, las pruebas a implementar y el procedimiento a seguir.

- Las pruebas de aislamiento y resistencia se las realiza verificando la ausencia de tensión como tarea obligatoria antes de manipular los cables correspondientes a cada fase del motor.
- Para el arranque del motor se coordina con el departamento de generación, departamento de producción y departamento eléctrico, tomando en cuenta que todas las personas que estamos involucrados tenemos experiencia en este tipo de equipos.

Se enfrentaron los siguientes inconvenientes en las pruebas y las se implementan las siguientes soluciones (ver tablas de X a la XV):

Problema	Inconsistencia de valores tomados por el software en referencia a valores tomados por instrumentos en corriente.
Solución	Ajuste de valores de conversión como regla de proporcionalidad.

Tabla X Problema y solución de incongruencia de valores.

Problema	Falla en lecturas de las pruebas de rotación de fase, de corriente, voltaje, vibración, temperatura.
Solución	Ajuste de comandos de lectura para las pruebas con adición de caracteres de sincronización.

Tabla XI Problema y solución en lectura de valores.

Problema	Falla en verificación continua de transmisión.
Solución	Envío continuo de comando de verificación con respuesta.

Tabla XII Problema y solución de transmisión de datos.

Problema	Falla de graficación de valores.
Solución	Variación de la lógica de graficación con la adición de arreglos para cada variable antes de grabar, aplicar comandos de sincronización.

Tabla XIII Problema y solución de graficación de curvas.

Problema	Problemas con campos en los reportes para seguir la plantilla.
Solución	Cambio en lógica de llenado implementando una impresión digital de valores en posiciones determinadas.

Tabla XIV Problema y solución de reporte.

Problema	Problemas de logística en la coordinación de tareas en ejecución de las pruebas.
Solución	No se tuvieron resultados satisfactorios en las gestiones realizadas para la ejecución de las pruebas sino hasta luego de realizar un intenso intercambio de información y capacitación al personal involucrado en las pruebas a realizar. Se requirió un cambio de planificación de semanas a meses como periodo de gestión.

Tabla XV Problema y solución de gestiones.

3.7 Alarmas

Se generan alarmas o fallo en cada una de las pruebas dependiendo de las siguientes especificaciones:

- Prueba de aislamiento

Los valores deben ser siempre mayores que 1 GIGA OHM y máximo 2 decimales separados con una coma. Ver figura 3.24, la pantalla de alarmas que se presenta como interfaz del usuario.

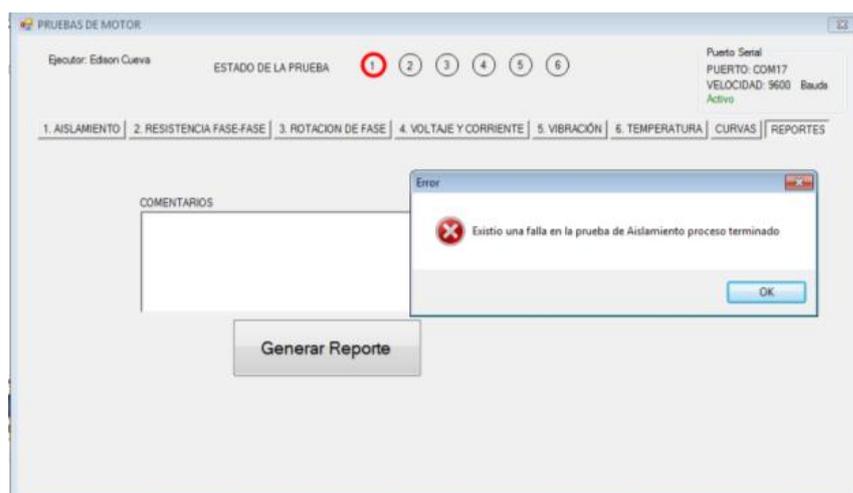


Figura 3. 24 Falla en la prueba de aislamiento.

- Prueba Resistencia fase-fase

Los valores deben ser siempre mayores que 0 y máximo 2 decimales separados con una coma. En caso de presentarse una desigualdad en los valores ingresados se generará una alarma y se dará por terminada la verificación completa del motor, pasando automáticamente a la página de reportes.

- Rotación de fase

CBA Sentido Incorrecto. Ver figura 3.25.



Figura 3. 25 Falla en la prueba de rotación de fase.

- Prueba de Voltaje y corriente

Si los valores de voltaje y corriente entre fases tienen un desbalance mayor del 10% la prueba termina y pasa a la pantalla de reportes.

- Prueba de Vibración

Si los valores de vibración superan las 2 Gravedades la prueba termina y se pasa a la pantalla de reportes.

- Prueba de Temperatura

Si los valores de temperatura superan los 302 grados Fahrengeith la prueba termina y se pasa a la pantalla de reportes.

3.8 Pantallas de Curvas

La pantalla de curvas tendrá 8 ítems de selección para graficar el muestreo que se realizó a la prueba en función del tiempo, los parámetros disponibles en un menú de selección serán:

- Voltaje A-B
- Voltaje B-C

- Voltaje A-C
- Corriente A
- Corriente B
- Corriente C
- Temperatura 1
- Temperatura 2

El diagrama lógico de programación puede verse en la figura 3.26.

El usuario al momento de abrir la pestaña del menú principal de curvas, podrá visualizar una gráfica únicamente con la cuadrícula correspondiente, luego de seleccionar la variable, deberá pulsar en el botón GRAFICAR, inmediatamente, la curva es gráfica.

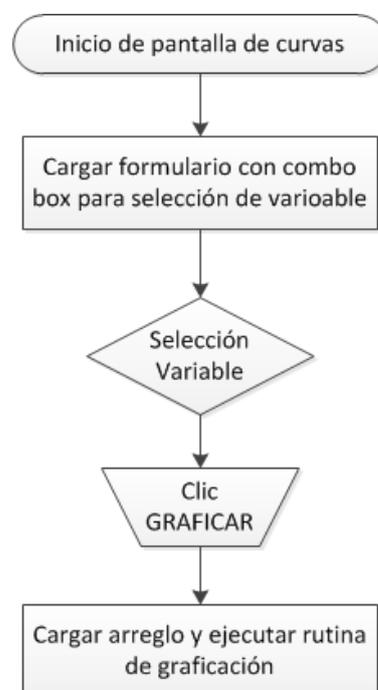


Figura 3. 26 Diagrama lógico de programación de las curvas.

Se grafica el parámetro escogido en función del tiempo, de donde se puede tomar como referencia si en algún momento de la prueba el equipo tuvo una variación.

El código correspondiente puede verificarse en el anexo 9, en la figura 3.27 se puede describe la interfaz de usuario para la sección de curvas.

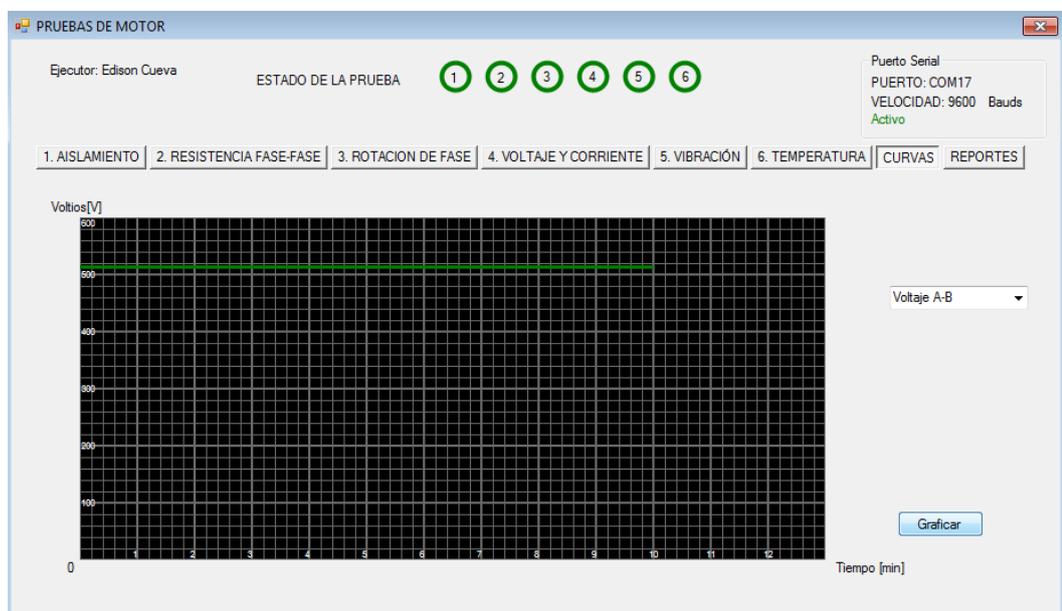


Figura 3. 27 Curvas.

3.9 Despliegue analógico

Consiste principalmente en un registro de todas las pruebas que se realizaron; es un reporte con el cual se analiza la operación del equipo. Muestra una pantalla adicional para comentarios que pudieron ocurrir durante la prueba.

Se pulsa GENERAR REPORTE, el cual se genera en Word con todos los parámetros relacionados a la prueba.

En la que es posible revisar el diagrama lógico de programación que se ejecuta al momento de realizar y guardar el reporte.

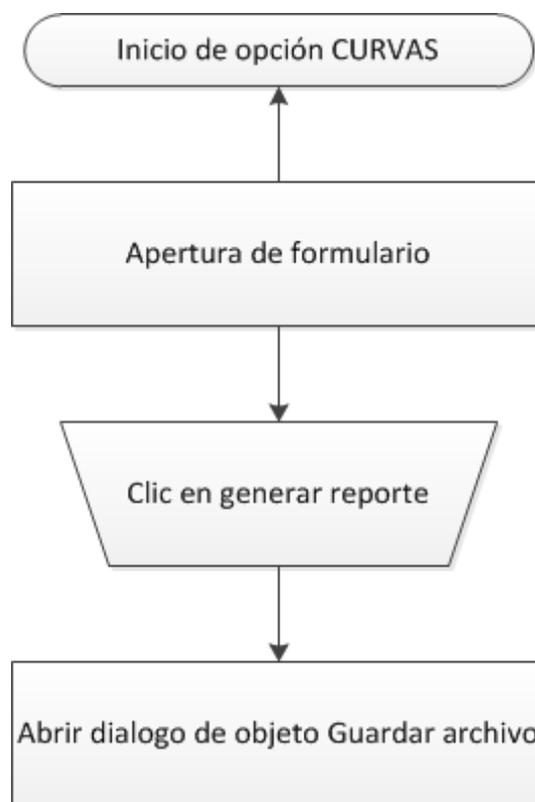


Figura 3. 28 Diagrama lógico correspondiente.

El código correspondiente puede verificarse en el anexo 10, en la figura 3.29 se aprecia la interfaz de usuario.

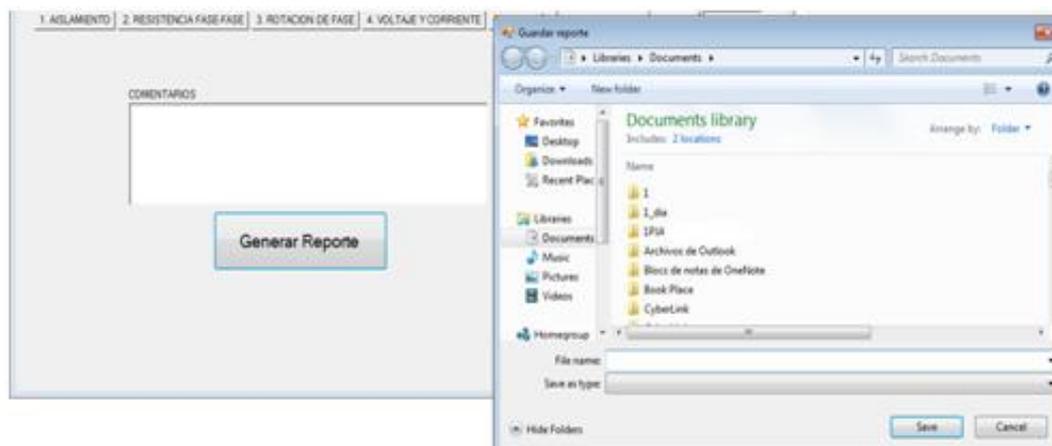


Figura 3. 29 Reportes

3.10 Protocolos de comunicación con la tarjeta de comunicación.

Se utiliza la comunicación serial Universal Synchronous/Asynchronous Receiver Transmitter (USART), que traducido al español es: Transmisor y Receptor Sincronico/Asincronico Universal.

Se trata de un protocolo para la transmisión de datos en formato serie, utilizando técnicas de transmisión sincrónica o asincrónica, según se configure el periférico.

Este protocolo generalmente se confunde con algunos de los estándares de comunicación que lo utilizan para la interconexión entre equipos terminales de datos (ETD) y equipos de circuito de datos (DCE), dentro de estos estándares el más popular es el EIA-232,

conocido también como RS-232; se utiliza para la interconexión mediante otros estándares como el RS-485 y el RS-422.

En el capítulo 4 se detallará la comunicación serial.

3.11 Diagrama lógico principal de programación.

En la figura 3.30 se detalla el diagrama lógico principal que el usuario debe seguir para completar la verificación total del motor de manera exitosa, si se revisa el gráfico se puede determinar claramente que la comprobación total del motor está dividida en la ejecución individual de pruebas, las mismas que deben ser realizadas de manera secuencial.

1. Prueba de Aislamiento.
2. Prueba de resistencia entre fases.
3. Prueba de rotación de fases.
4. Prueba de voltaje y corriente.
5. Prueba de vibración.
6. Prueba de temperatura.
7. Revisión de curvas
8. Generación de reporte.

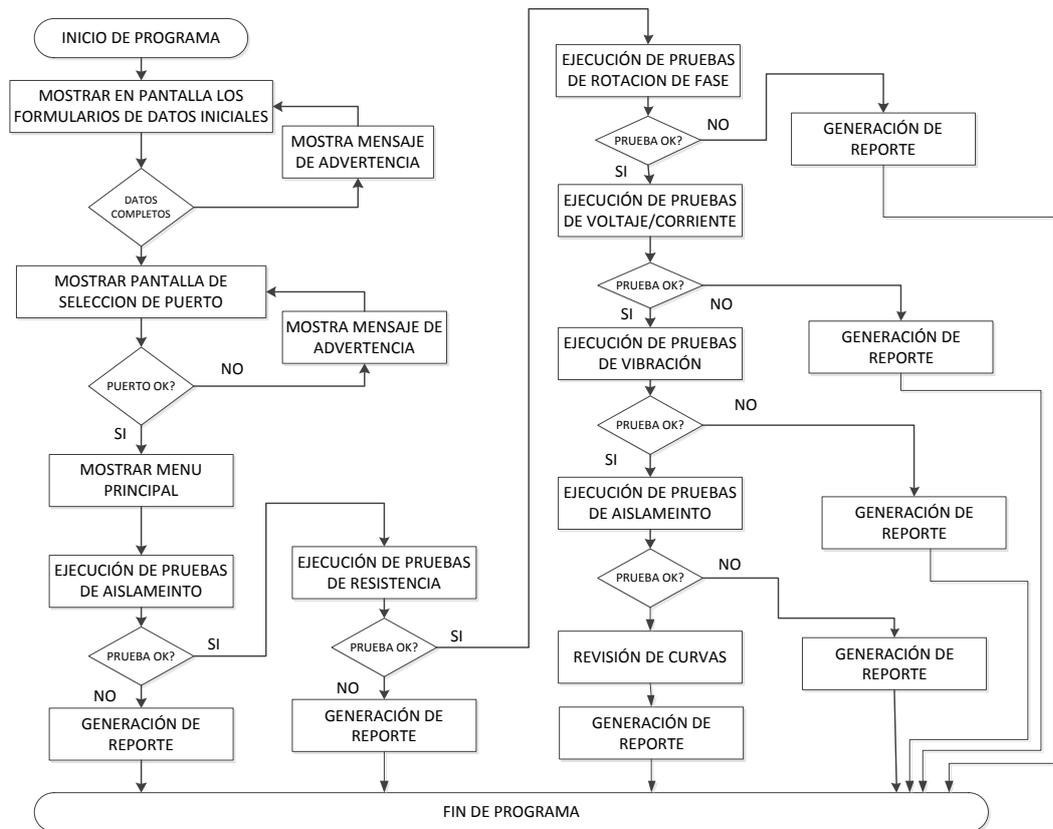


Figura 3. 30 Diagrama lógico principal.

CAPÍTULO 4

4. HARDWARE

Tal como se detalló en el capítulo anterior, el banco de pruebas automatizado debe estar compuesto de dos partes fundamentales:

- Software de aplicación (descrito en detalle en el capítulo 3)
- Tarjeta electrónica

En el presente capítulo se describe la tarjeta electrónica, las consideraciones de diseño, detalles de implementación, programación, especificaciones de funcionamiento y pruebas realizadas.

4.1 Diagrama de bloques

La tarjeta electrónica será la interfaz entre el mundo digital del software de aplicación y el mundo real de las variables físicas a leer del motor para proceder con cada una de las pruebas.

Para la implementación de la tarjeta es necesario tomar en cuenta los siguientes parámetros a medir en base a las pruebas a las que se someterá el motor (ver tabla XVI). Estos parámetros serán considerados como entradas para la tarjeta electrónica:

Prueba	Parámetro a medir
Pruebas de corriente y voltaje	Voltaje de fase de 500 V RMS (03 voltajes de fase VA-B, VA-C, V B-C). Corrientes de fase de hasta 600 Amperios (03 fases, IA, IB, IC)
Pruebas de temperatura	Temperatura de hasta 120 °C o 248°F
Pruebas de vibración	Vibración hasta de 2g.
Pruebas de secuencia de fase	Rotación de fase aprovechando los indicadores luminosos de un secuencímetro de fase.

Tabla XVI Pruebas y entradas para la tarjeta electrónica.

Teniendo en cuenta los parámetros a medir y las magnitudes máximas, se utilizan los siguientes componentes para la conversión de la variable física a niveles de voltaje proporcionales en el rango de 0 a 5V

apropiados para el uso de un conversor analógico a digital. Ver en la tabla XVII.

Parámetro	Sensor	Interfaz con tarjeta Electrónica
Temperatura	LM35	Salida de sensor analógica 10 mV/cada grado centígrado
Vibración	MMA7455L	Salida digital en 8 bits.
Voltaje	Transformadores reductores	Salida analógica
Corriente	transformadores de corriente	Salida analógica
Rotación de fase	Fotoceldas en indicadores luminosos	Salida analógica

Tabla XVII Parámetros y sensores a usarse en el diseño de la tarjeta electrónica.

Con la información disponible en la tabla XVII, la tarjeta electrónica deberá reglrse a las siguientes consideraciones de diseño:

- Debe implementar una interfaz RS232 para intercambiar información con el software de aplicación.
- 03 entradas analógicas con rango de 0 a 500 V para las mediciones de voltaje.
- 03 entradas habilitadas para la conexión de transformadores de corriente.
- 02 entradas habilitadas para medidores de sensor de temperatura.

- Interfaz digital para la conexión de un sensor de vibración.
- Una salida digital de relé para el inicio automático de las pruebas.
- Fuente de alimentación de 5VDC.
- Debe implementar técnicas de aislamiento galvánico entre la tarjeta electrónica y el motor bajo prueba.

En base a los requerimientos se plantea la implementación de una tarjeta electrónica basada en un micro-controlador, que trabaje como un esclavo del software de aplicación y basado en comandos, que provea la información correspondiente por una interfaz serial. El micro controlador deberá también convertir los valores de las variables físicas en voltaje y transmitirlos hacia la PC.

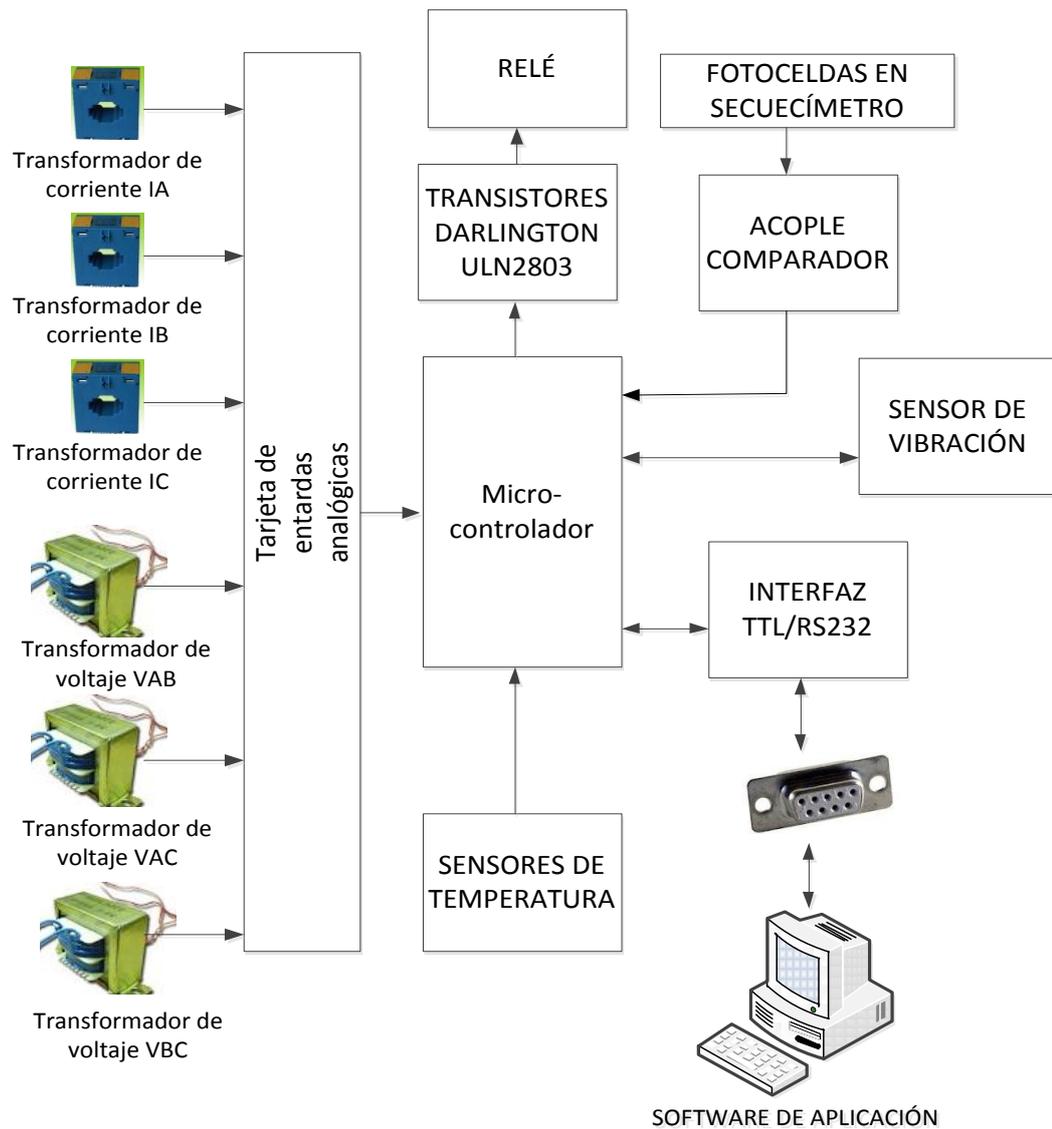


Figura 4. 1 Diagrama de bloques propuesto para implementación de la tarjeta electrónica.

Para detallar de la tarjeta de adquisición de datos, se hace la división en las siguientes partes principales que se muestran en la figura 4.1 y que se la describe a continuación.

4.2 Descripción estructural y funcional.

- **Micro-controlador.**

El control de la tarjeta está a cargo del micro-controlador PIC16F887A, el cual administra los siguientes recursos:

- 8 entradas analógicas (voltaje, corriente y temperatura).
- 2 entradas digitales, para las fotoceldas en el secuencímetro de fase.
- 1 salida digital de relé para el inicio automático de las pruebas
- Interfaz con la computadora.
- Interfaz con el sensor digital de vibración.

Cada vez que se recibe una petición de información desde la PC el micro-controlador revisa en la tabla interna programada que permite la verificación de la tarea a realizar dependiendo del comando recibido.

- **Interfaz RS232.**

El convertidor MAX232 cambia los niveles de voltajes TTL a los niveles de voltaje que requiere el puerto serial, es necesario para la comunicación desde y hacia la computadora.

El RS-232 consiste en un conector tipo (DB-9), de 9 pines para cierto tipo de periféricos.

- **Entradas analógicas.**

La tarjeta de adquisición de datos tiene la posibilidad de leer 8 canales diferentes con un voltaje de polarización 0 a 5 Vdc.

Se usa una tarjeta de entradas analógicas para la rectificación y conversión a valores DC de los transformadores de corriente y voltaje.

- **Transistores darlington ULN2803.**

El CI encargado de manejar las salidas de relé y los indicadores luminosos led's es el ULN2803, el que recibe niveles de voltaje TTL y su salida es en colector abierto, lo que permite conmutar salidas de máximo de 500 mA y 50V como se muestra en la figura 4.2.

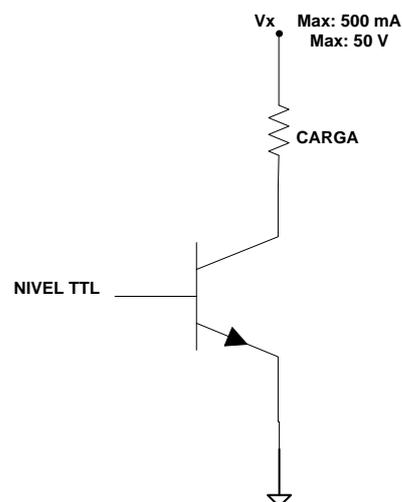


Figura 4. 2 Salida del ULN2003.

- **Relé.**

Relé de 5VDC para activar las pruebas automáticamente, este es encendido por el micro-controlador a través de los transistores Darlington ULN2803.

- **Fotoceldas en secuencímetro y acople comparador.**

Las entradas digitales solo pueden ser 0 VDC o 5VDC y provienen de un circuito opamp, el LM358, el cual compara los valores de voltaje de un divisor de tensión como referencia con los valores de voltaje en 02 fotoceldas que reciben los impulsos luminosos de un detector de rotación de fase.

4.3 Descripción de interfaz: PC – Tarjeta de comunicación; Tarjeta de comunicación – Sistema de potencia.

El PIC16F887A empleado en el diseño de la tarjeta dispone de un modulo USART capaz de soportar la comunicación serie síncrona y asíncrona. El USART, llamado SCI (Serial Communication Interface), puede funcionar como un sistema de comunicación full duplex o bidireccional asíncrono, adaptándose a multitud de periféricos y dispositivos que transfieren información de esta forma, tales como el monitor CRT o el ordenador PC. También puede trabajar en modo

síncrono unidireccional o para soportar periféricos como memorias, conversores, etc. En resumen, el USART puede trabajar de tres maneras:

1. ASINCRONA (Bi direccional).
2. SINCRONA – MAESTRO (Unidireccional).
3. SINCRONA – ESCLAVO (Unidireccional).

En todos los casos anteriores las líneas de comunicación de más peso de la puerta C: RC6/TX/CK y RC7/RX/DT, son establecidas como líneas para transmisión y recepción respectivamente.

Los cuatros bloques que configuran la arquitectura del USART, en modo asíncrono son:

1. Circuito de muestreo.
2. Generador de Baudios.
3. Transmisor asíncrono.
4. Receptor asíncrono.

- **Conexión DTE - DTE.**

El tipo de conexión RS232 más sencilla es la de MODEM NULO, la cual solo utiliza 3 líneas (RD, TD y SG). El siguiente diagrama muestra

una conexión de este tipo que nos va a permitir conectar el PC a los micro-controladors. De los cuales para el proyecto se utilizan los pines:

- Pin 2 (Rx entrada)
- Pin 3 (Txd salida)
- Pin 5 (GND)

Se puede observar en las figuras 4.3, 4.4, 4.5

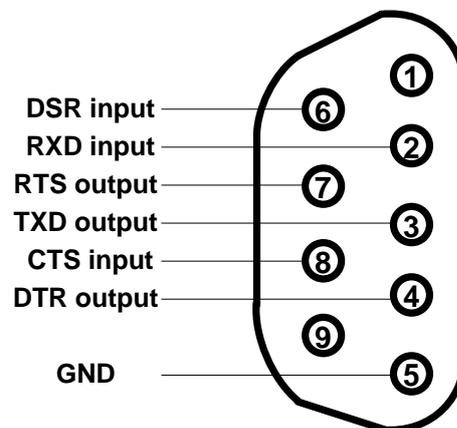


Figura 4. 3 Equipo Terminal de datos (Conector macho DSUB9).

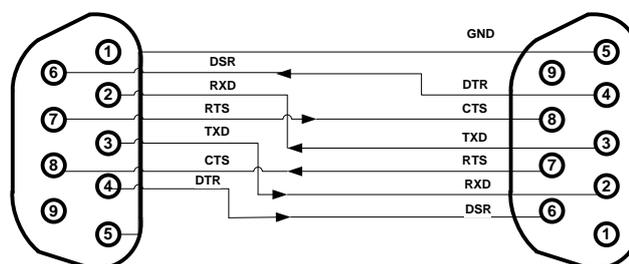


Figura 4. 4 DTE a DTE RS-232 cable no usado del MODEM (Conector hembra DSUB9 a conector hembra DSUB9).

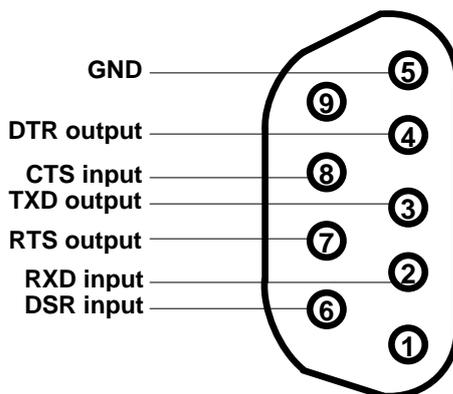


Figura 4. 5 Equipo Terminal de datos (Conector macho DSUB9).

- **Transmisión y recepción.**

El dato que se desea transmitir por el módulo USART es almacenado en el registro TSR a la frecuencia establecida previamente. Para comenzar la transmisión se envía primeramente un bit de inicio y luego de transmitir todos los bits se envía un bit de parada. Cuando el modulo USART actúa como receptor recibe uno a uno los bits almacenándolos en el registro de desplazamiento RSR y eliminando los bits de inicio y de parada. Para poder establecer una comunicación coherente la velocidad de transmisión debe ser igual a la velocidad de recepción, en nuestro caso la velocidad fue establecida en 9600 bps.

Para la comunicación entre la tarjeta electrónica y el sistema de potencia, el software que utilizaremos se llama Microsoft Visual Basic

Express 2010 (refiérase al capítulo 3) y lo orientaremos específicamente para la comunicación y transferencia de datos a través del puerto serial. Además tendrá un control compartido con el PIC sobre las entradas y salidas del hardware a través del envío de códigos que el micro-controlador responde en forma secuencial para una correcta comunicación.

El hardware, que es la tarjeta, sirve como medio físico de comunicación entre la computadora y el mundo exterior. La tarjeta está dotada de elementos que sirven para indicar el estado de las entradas, para tomar la decisión programada en la salida. Los elementos de entrada constan de conmutadores y potenciómetros y para la representación de las salidas se utilizan relés para las digitales.

4.4 Diagrama esquemático de la tarjeta de comunicación

La tarjeta de comunicación consta de 2 tarjetas: La tarjeta electrónica y la tarjeta de entradas analógicas.

El diagrama fue diseñado y desarrollado en Eagle. Este es un sistema de diseño completo para entornos Windows y proporciona un conjunto de herramientas integradas formadas por un gestor de documentos integrado, un capturador de esquemáticos, una herramienta de diseño

de placas de circuito impreso (PCBs) y soporte para trabajo en redes de ordenadores.

Los diagramas que se presentan a continuación son:

- Diagrama esquemático de la tarjeta electrónica (figura 4.6)
- Diagrama esquemático de la tarjeta de entradas analógicas (figura 4.7)
- Mapa de componentes de la tarjeta electrónica (figura 4.8)
- Mapa de componentes de la tarjeta de entradas analógicas (figura 4.9)
- Diagrama de pistas de la tarjeta electrónica (figura 4.10)
- Diagrama de pistas de la tarjeta de entradas analógicas. (figura 4.11)

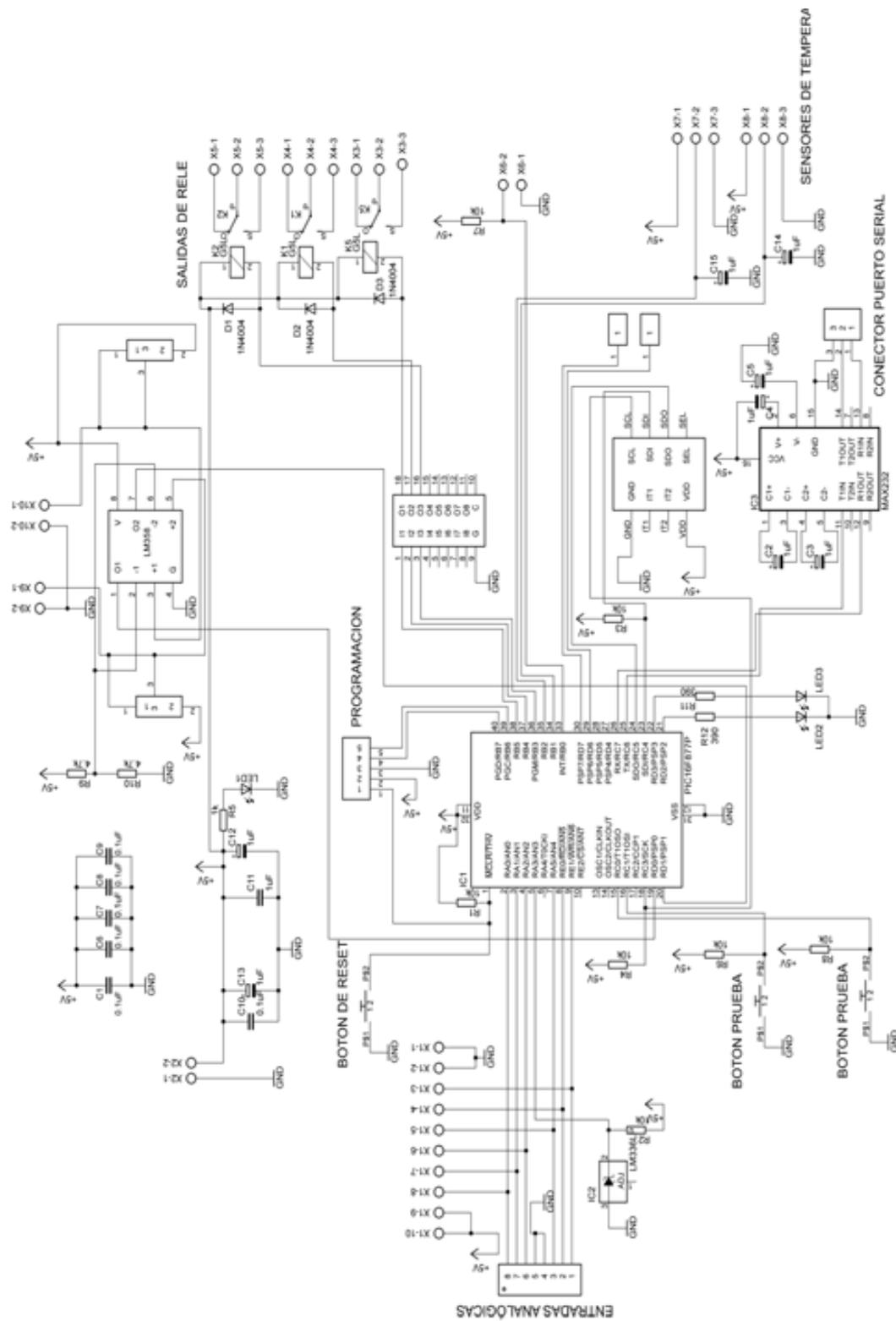


Figura 4. 6 Tarjeta electrónica.

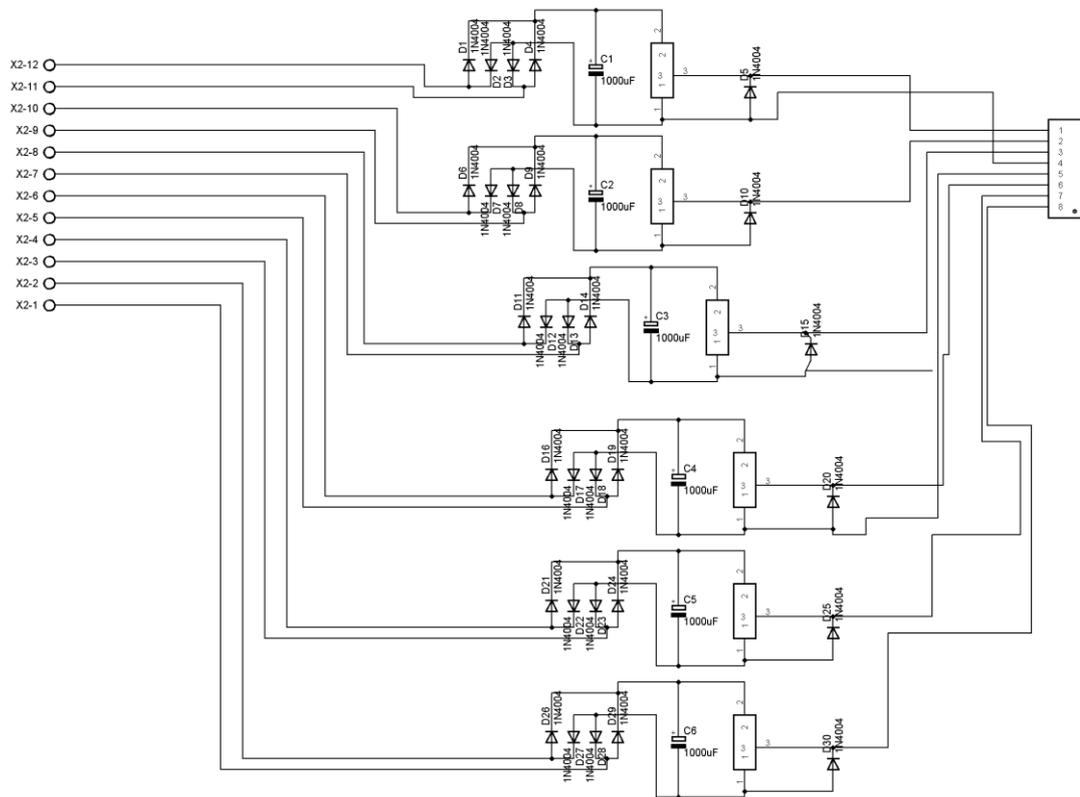


Figura 4. 7 Tarjeta de entradas analógicas.

Mapa De componentes de la tarjeta electrónica

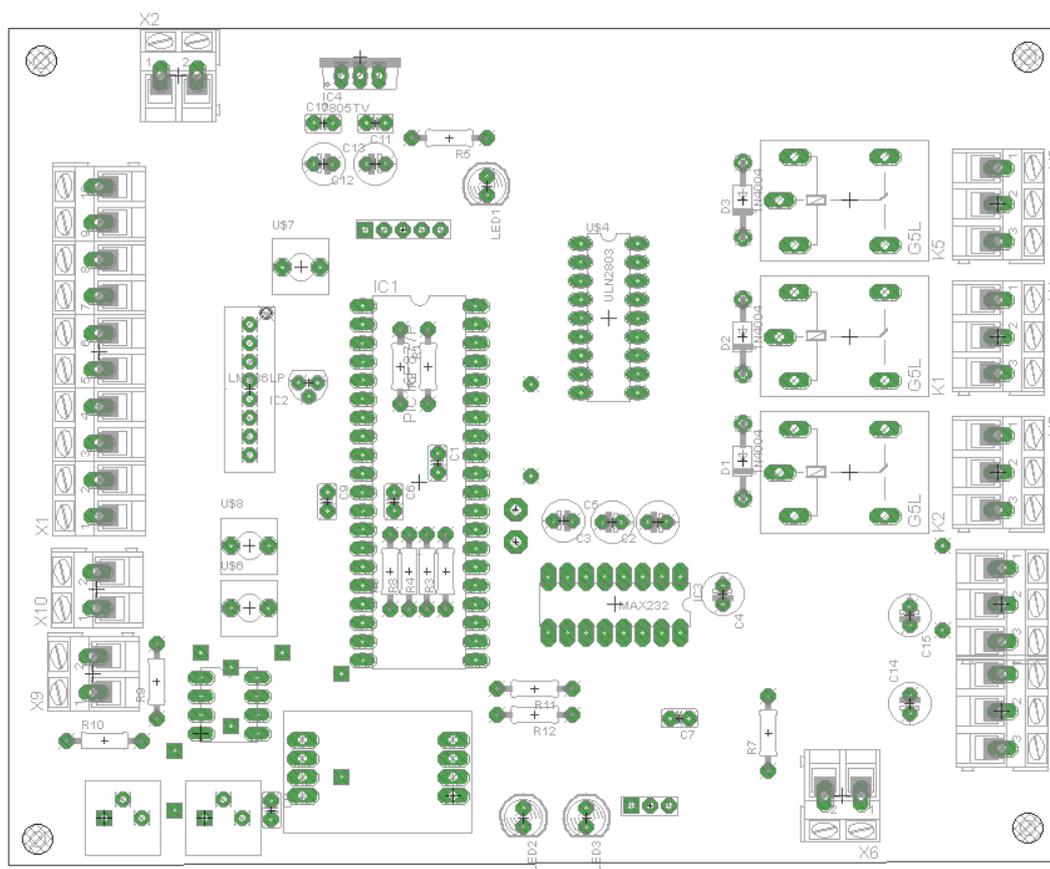


Figura 4. 8 Vista superior de la ubicación de los componentes.

Mapa De componentes de la tarjeta de entradas analógicas

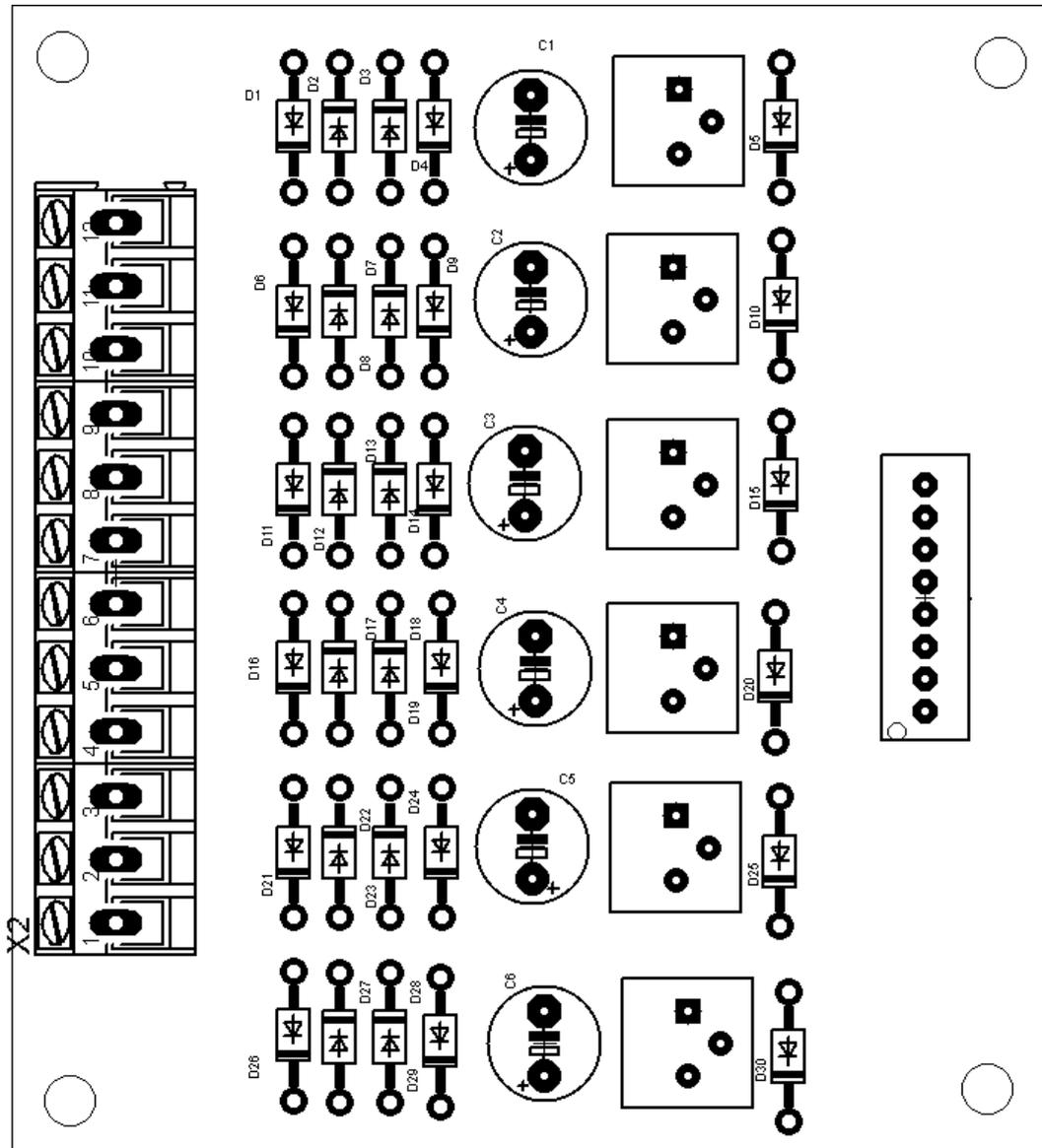


Figura 4. 9 Mapa De componentes de la tarjeta de entradas analógicas.

Diagrama de pistas de la tarjeta electrónica.

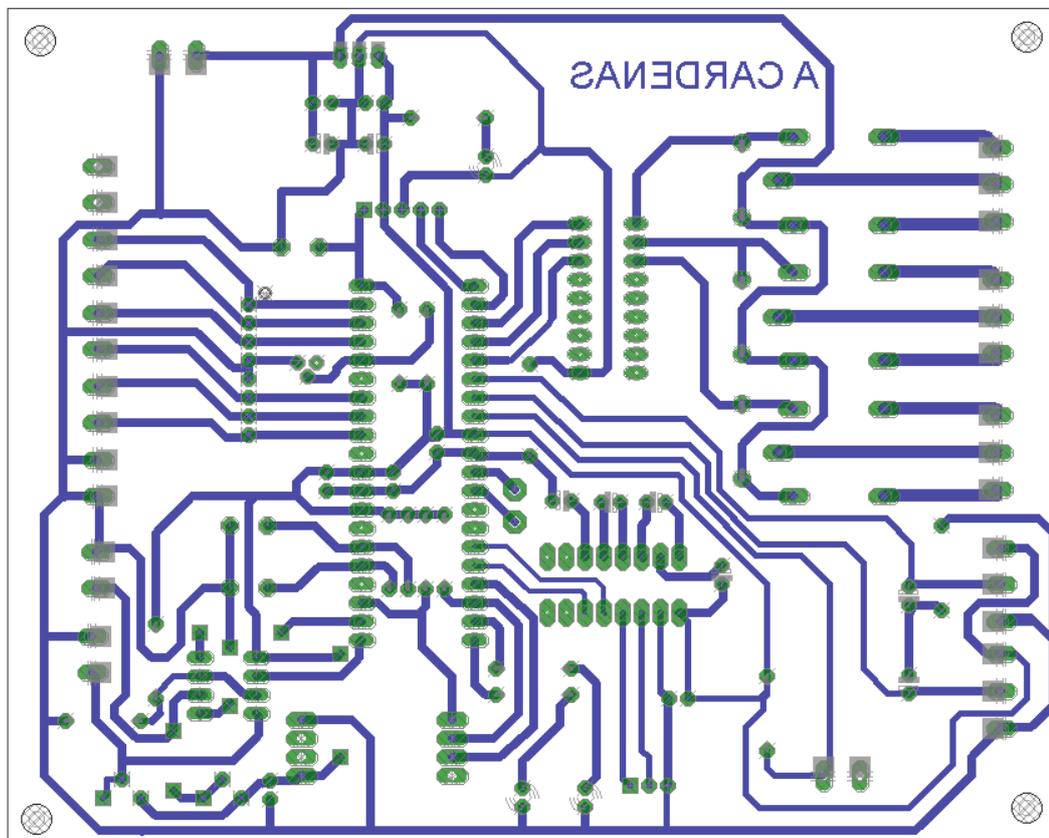


Figura 4. 10 Vista inferior de las pistas de comunicación.

Diagrama de pistas de la tarjeta de entradas analógicas.

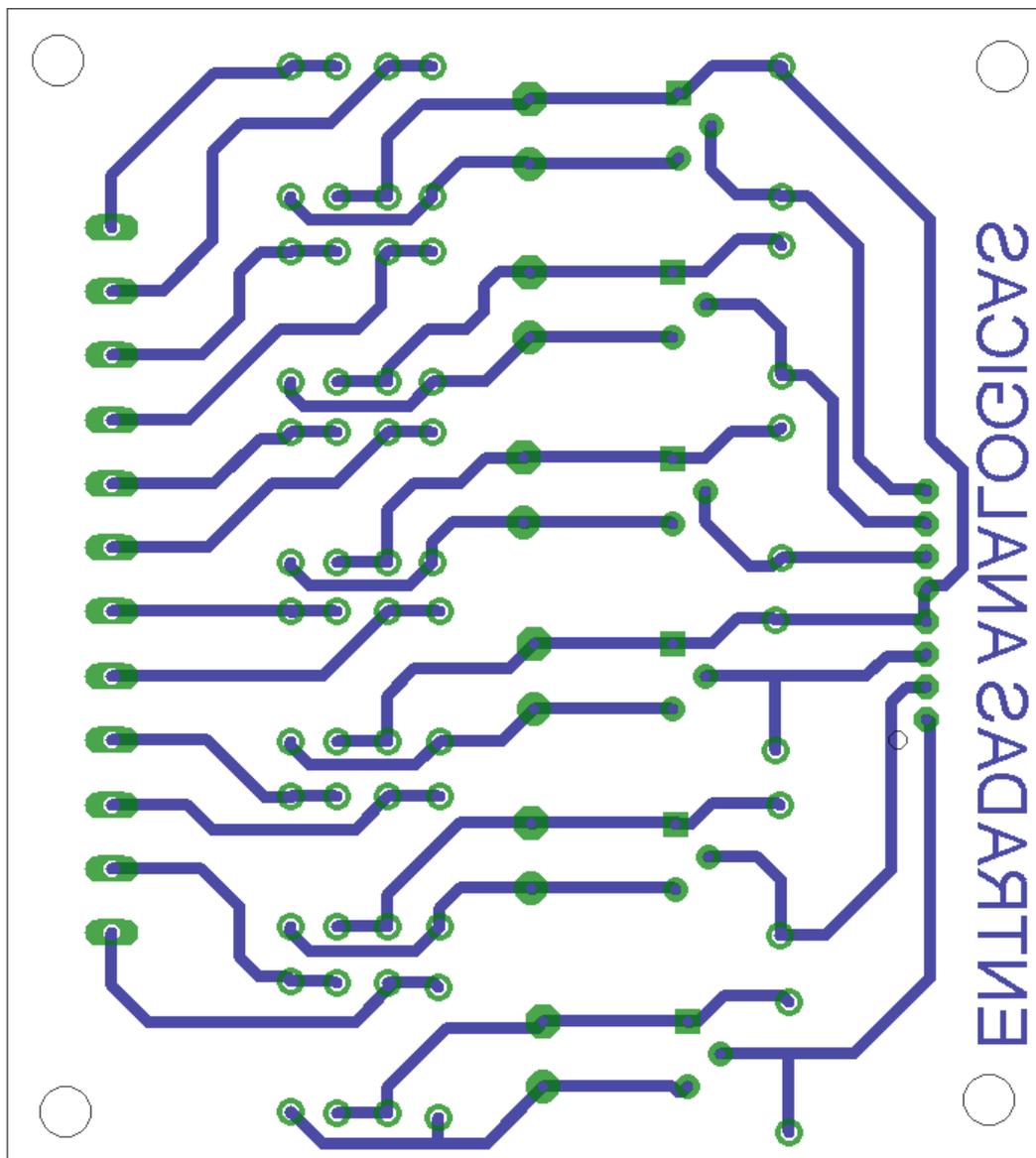


Figura 4. 11 Vista inferior de las pistas de la tarjeta de entradas analógicas.

En el anexo 11 se detalla los elementos que conforman las tarjetas electrónicas y la tarjeta de entradas analógicas.

4.5 Diagramas Lógicos de Programación del Micro-controlador

El micro controlador- trabaja como esclavo y ejecuta las órdenes que provengan del software de aplicación. Para propósitos de sincronización en el intercambio de la información, el micro-controlador trabaja con la activación de la interrupción de por la recepción de datos en el puerto serial. Cada vez que en el buffer del puerto serial del micro-controlador hay un dato, este ejecuta automáticamente la interrupción. En la figura 4.12 se puede observar el diagrama de flujo de la programación principal.

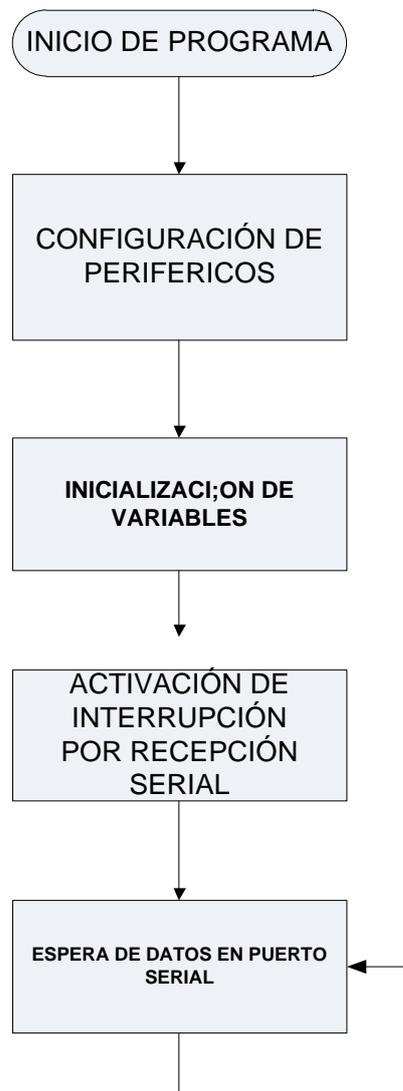


Figura 4. 12 Diagrama de flujo programación principal.

Como se puede observar, el programa principal que se ejecuta en el micro-controlador de la tarjeta principal, una vez que se activa el poder de alimentación, se realizan las configuraciones de los periféricos, los cuales son:

- Puertos de entrada, salida
- Puerto USART

- Convertidor analógico digital
- Temporizadores
- Comunicación I2C.

Posterior a la configuración de los periféricos se procede a la activación de la interrupción de recepción en el puerto USART. Luego se ingresa a un ciclo infinito de espera de información disponible en el puerto serial. El código de programación se encuentra en el anexo 12.

En la figura 4.13, se puede visualizar el diagrama de flujo del código que se ejecuta como interrupción generado por la recepción de datos en el puerto USART.

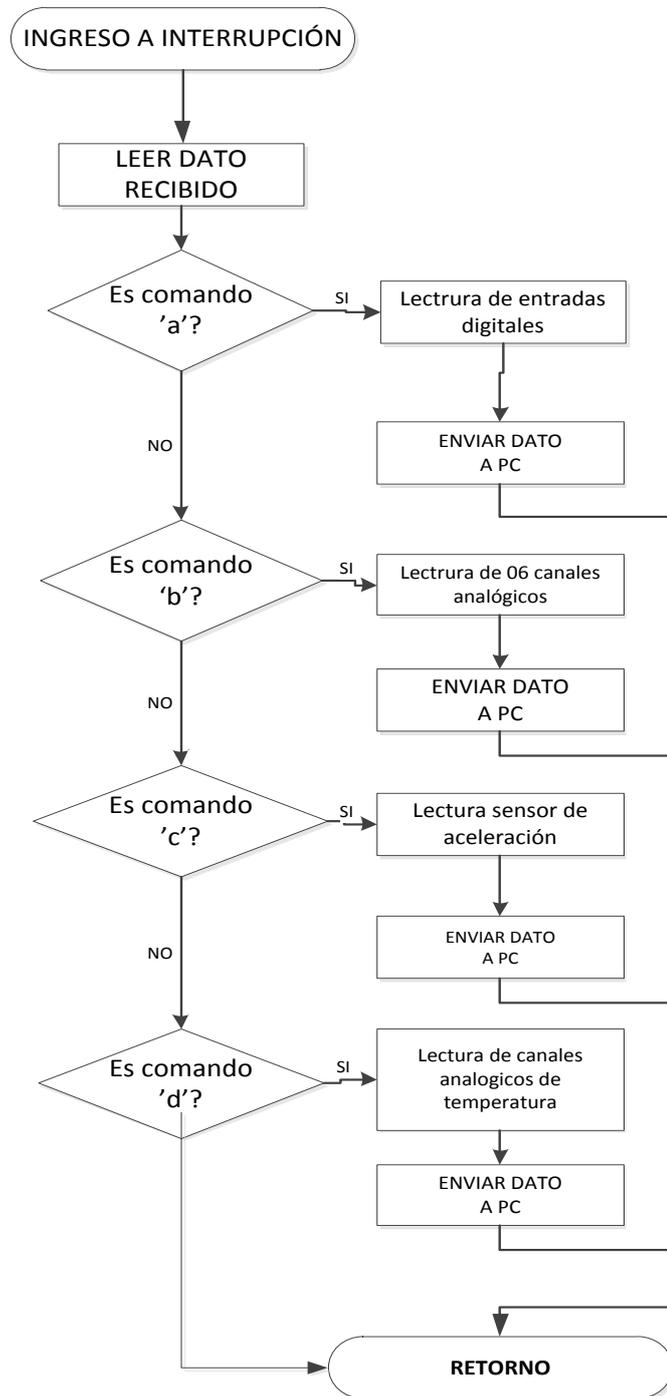


Figura 4. 13 Diagrama de flujo de código de interrupción.

Como se puede ver en la figura de 4.13, cada vez que se ingresa a la interrupción, se lee el dato recibido y se procede a ejecutar la función correspondiente en base a la siguiente tabla de tareas (ver tabla 4.3):

Comando recibido	Función
'a'	Leer el estado de las entradas digitales en la tarjeta electrónica correspondientes a las fotoceldas conectas a los indicadores luminosos del secuencímetro de fases
'b'	Activar secuencialmente los canales del convertidor analógico para la transmisión continua de valores digitales en 8 bits correspondientes a: <ul style="list-style-type: none"> - VA - IA - VB - IB - VC - IC
'c'	Leer el puerto digital I2C para el sensor de vibración y su posterior transmisión hacia el software de aplicación
'd'	Leer la palabra digital en 8 bits equivalente a las temperatura en los dos sensores LM35 y su posterior transmisión continua hacia la aplicación del software

Tabla XVIII Tabla de tareas.

Cabe recalcar que los comandos recibidos son comandos caracteres ASCII que representan las letras minúsculas: a, b, c, d, por tal motivo, se ha colocado una comilla simple en cada comando como indicativo de tal representación.

4.6 Configuración y Funcionamiento

- **Configuración de hardware**

Para la conexión de la tarjeta electrónica se tiene disponible las siguientes entradas y salidas (ver figura 4.14):

- Entrada para los sensores de corriente y voltaje: Borneras de 5.08 mm.
- Entrada para los sensores de temperatura: Borneras de 5.08 mm.
- Entrada de conector DB9 para comunicación serial: conector macho de pin de 2.54mm de separación.
- Entrada de poder de alimentación: Borneras de 5.08 mm.
- Salida de relés: Borneras de 5.08mm.

Para la interconexión entre la sección de entradas analógicas se usa un conector molex de 2.54mm.

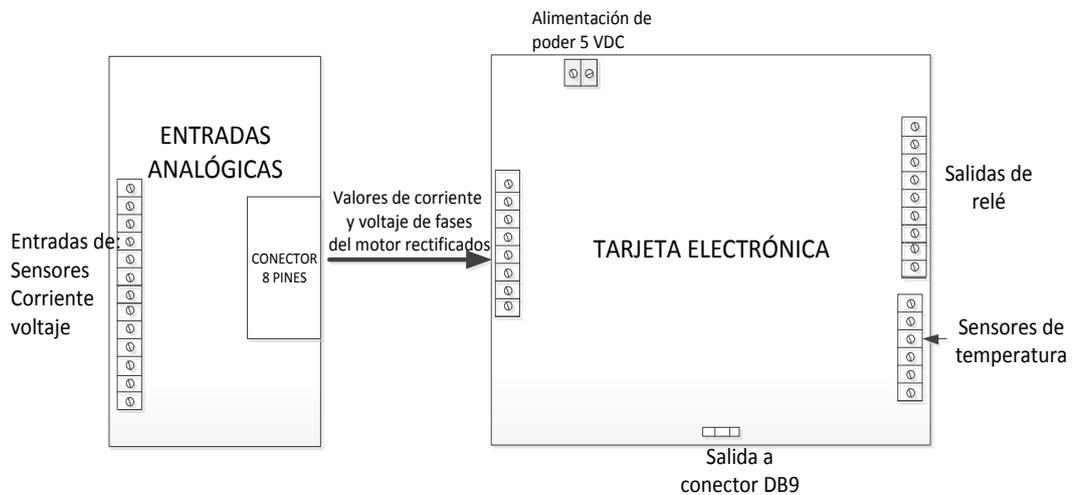


Figura 4. 14 Entradas y salidas de tarjeta electrónica.

- **Configuración de Puertos.**

Los puertos en el micro-controlador se configuran como se detalla en la tabla 4.4:

#	PIN	FUNCIONALIDAD
1	MCLR	Pin para Reset.
2	RA0	Entrada de voltaje analógico correspondiente a
3	RA1	Entrada de voltaje analógico correspondiente a
4	RA2	Entrada de voltaje analógico correspondiente a
5	RA3	Entrada de voltaje analógico correspondiente a
6	RA4	NO CONECTADA.
7	RA5	Entrada de voltaje analógico correspondiente a
8	RE0	Entrada de voltaje analógico correspondiente a
9	RE1	Entrada de voltaje analógico correspondiente a
10	RE2	NO CONECTADA
11	+VCC	+5VDC
12	GND	GND

13	RA7	NO CONECTADA
14	RA6	NO CONECTADA
15	RC0	Pulsador de prueba
16	RC1	Pulsador de prueba
17	RC2	NO CONECTADA
18	RC3	I2C SCK
19	RD0	Entrada de secuencímetro de fase sentido ABC
20	RD1	Entrada de secuencímetro de fase sentido CBA
21	RD2	LED 1
22	RD3	LED 2
23	RC4	Data I2C
24	RC5	NO CONECTADA
25	RC6	TX comunicación serial
26	RC7	RX comunicación serial
27	RD4	No conectada
28	RD5	No conectada
29	RD6	No conectada
30	RD7	No conectada
31	GND	GND
32	+VCC	+5vdc
33	RB0	No conectada
34	RB1	Entrada de voltaje de sensor de temperatura 1
35	RB2	Entrada de voltaje de sensor de temperatura 2
36	RB3	Salida de activación para relé 1
37	RB4	Salida de activación para relé 1
38	RB5	Salida de activación para relé 1
39	RB6	Pin de programación SCL
40	RB7	Pin de programación SDA

Tabla XIX Configuración de pines del micro controlador

Para la configuración de puertos se utiliza la herramienta de edición de programas de la empresa Microchip, PIC CCS en su versión demo, cuyo código de software en lenguaje C está especificado en el anexo 13.

- **Configuración de Periféricos**

Los periféricos que se utilizan del micro-controlador son:

- Convertidor analógico digital.
- Módulo de comunicación asíncrona UART.
- Módulo de comunicación síncrona.
- Interrupciones por recepción de datos.

- ***Convertidor analógico digital***

Para la configuración de la conversor análogo digital se debe considerar:

- Los puertos de configuración:
 - PUERTO A: RA0, RA1, RA2, RA5
 - PUERTO B: RB2, RB3
 - PUERTO E: RE0, RE1
- Los canales de selección
 - PUERTO A: AN0, AN1, AN2,AN4
 - PUERTO B:AN12, AN10

- PUERTO E:AN5,AN6

La línea de código para configuración de puertos será por lo tanto:

```
setup_adc_ports(sAN0|sAN1|sAN2|sAN4|sAN5|sAN6|sAN8|sAN9|VSS_VDD);
```

- El formato (8 o 10 bits) de la conversión Se usa es de 8 bits, los 2 bits menos significativos son desechados

La línea de código para configuración de dispositivo será por lo tanto:

```
#device adc=10
```

- La fuente de reloj para la conversión: se usa la frecuencia del oscilador dividido por 32. (FOSC/32).

La línea de código para la configuración de la frecuencia y fuente del reloj es:

```
setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_32);
```

- **Módulo de comunicación asíncrona USART**

Para la configuración del puerto serial incluido como periférico en el micro-controlador, es necesario establecer los siguientes parámetros

- Puerto de transmisión: RC6
- Puerto de recepción: RC7

- Velocidad de transmisión: 9600 BAUDIOS
- Paridad: No usada

La línea de código para la configuración será por lo tanto

```
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,
bits=8).
```

- ***Módulo de comunicación síncronica***

Se configura como esclavo con recepción de 7 bits:

```
#use i2c(Master,Slow,sda=PIN_C4,scl=PIN_C3)
```

- ***Interrupciones por recepción de datos***

Activación de interrupción por recepción de datos en el puerto serial y la interrupción global:

```
enable_interrupts(INT_RDA);
```

```
enable_interrupts(GLOBAL);
```

4.7 Especificaciones de implementación y operación

El presente proyecto consta de 02 tarjetas electrónicas con diferentes funciones, las que se detallan a continuación:

- Tarjeta AC/DC de acople
- Tarjeta procesadora de información

La tarjeta AC/DC de acople consiste de un varios circuitos rectificadores y filtro para convertir los voltajes de corriente alterna de los sensores de corriente y transformadores de voltaje en corriente DC para su correspondiente transformación a niveles digitales por la tarjeta procesadora de información.

Tarjeta procesadora de información, consiste de un micro-controlador que se encarga de:

- Recibir y transmitir información por la interfaz RS232.
- Recibir los niveles de voltaje de la tarjeta AC/DC de acople y convertir los mismos en palabras digitales con un convertidos analógico.
- Revisar los niveles de luz de los indicadores ópticos del secuenciador de fase y traducirlos en un calor digital de 1/0 para su correspondiente transmisión por la interfaz RS-232.
- Activar y desactivar los relés de salida en conformidad al comando recibido desde el software de aplicación.
- Recibir y convertir en palabra digital los niveles de temperatura y vibración en donde el sensor haya sido instalado.

Las especificaciones de la tarjeta procesadora de información se divide en:

- Especificaciones tarjeta procesadora de información
 - Voltaje de operación: 5Vdc
 - Consumo de corriente: 580mA @25 (todas las salidas activas)

- INTERFAZ DIGITAL:
 - 01 puerto RS-232
 - 01 puerto I2C

SALIDA DIGITAL: 02

Tipo de salidas digitales: relé

Entradas digitales: 02

Tipo de entradas digitales: opto-acopladas con fotocelda

Entradas analógicas: 8 canales analógicos

03 Entradas para sensor de corriente

03 Entradas para sensor de voltaje

02 entradas sensores de temperatura

Temperatura máxima de operación: 65°C

Interfaz USB: utilizar convertidos USB- SERIAL MACHO

Conexiones: Tipo bornera

Resultados de pruebas finales

Fecha	13/01/2012 – 14/01/2012	
Días	2	
Lugar	POZO SACHA 86	
Personal	Sr Alejandro Cárdenas	RESPONSABILIDAD
		JEFE DE APLICACIONES
	Sr Edison Cueva	RESPONSABILIDAD
		TÉCNICO DE CAMPO
Equipo bajo prueba	MOTOR SACHA 86	
PRÁCTICAS REALIZADAS	Pruebas de aislamiento Prueba de resistencia FASE-FASE	

Tabla XX Datos de la prueba.



Figura 4. 15 Configuración de pruebas

4.8 Resultados de pruebas finales

Se genera un informe detallado de las pruebas realizadas. Ver figura 16.

Ejemplo: Reporte POZO SACHA 86



REPORTE DE PRUEBAS DE MOTORES ELECTRO SUMERGIBLES

Cliente: OPER. RIO NAPO	Operador: EDISON CUEVA	Fecha: 14 ENERO 2012	Num. de Ensayo: 2	Pozo #: SACHA 86
Numero de Serie: 3034236-020	HP: 800	Voltaje: 480	Amperaje: 600	Serial Eje: 6-10-95E
Numero de Parta: C 76120	Numero de Rotores: 1	Supervisor: A. CARDENAS	Aprobado: OK	Rechazado:



MOTOR				AISLAMIENTO		
TRIFASICO				A-T	7	GOHM
BOMBEO ELECTRICO				B-T	7	GOHM
TALLER ESPOL				C-T	7	GOHM
RESISTENCIA ENTRE FASES				ROTACION DE FASES		
A-B	2,5	OHM	ABC	OK		
B-C	2,5	OHM				
C-A	2,5	OHM				
VOLTAJE				CORRIENTE		
A-B	480	V	A	522	A	
B-C	478	V	B	523	A	
C-A	481	V	C	531	A	
VIBRACION				TEMPERATURA		
CABEZA	0,8	G	CABEZA	272	F	
BASE	0,7	G	BASE	282	F	

COMENTARIOS:

Prueba realizada en unidad de transferencia de petróleo en el pozo Sacha 86, con resultados exitosos, se recomienda realizar un mantenimiento preventivo una vez cada mes y realizar el muestreo de parámetros en el recorrido semanal que realiza el técnico encargado del campo.

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

Figura 4. 16 Reporte de pruebas.

CONCLUSIONES

- 1) El presente trabajo presenta los diferentes factores y pruebas a realizar en los motores electro sumergibles previo a su utilización en campo, poniendo a disposición del cliente final una valiosa herramienta de verificación, cuyo uso puede ser extendido en el campo para el diagnóstico de problemas ayudando a la reducción del tiempo de respuesta del equipo técnico. Con la ejecución de pruebas de Aislamiento, resistencias entre fases, rotación de fases, voltaje, corriente, vibración y temperatura, además de la visualización grafica y reporte de prueba, que provee un nivel de información completo para una rápida localización de falla.
- 2) Con tecnología totalmente desarrollada en el país y con el uso de herramientas de programación gratuitas, tales como Microsoft visual Basic Express y MPLAB, fue posible desarrollar un sistema que permite optimizar y automatizar los procesos de prueba de equipos de

alto costo, lo que brinda al país una soberanía tecnológica en la implementación de estos sistemas, representado grandes ventajas a nivel de tiempo y costos en futuras pruebas ya que ahorraría a las empresas petroleras la necesidad de recurrir a técnicos extranjeros en la solución de problemas.

- 3) Las empresas petroleras siempre están a la vanguardia de utilizar nueva tecnología que ayuden a mejorar la producción, por lo que implementar tecnología desarrollada de manera local hace que sea un hito en la industria y un puntal para el apoyo a nuevos proyectos de graduación.
- 4) Las pruebas de campo realizadas con equipo electro sumergible nos ayudan a determinar las ventajas y fortalezas que tiene el proyecto de graduación que resultan en mejoras que se pueden desarrollar en función de la experiencia al manejar estos equipos por más de 7 años.
- 5) En las pruebas del motor se solicitó la presencia de un técnico de campo, con el fin de demostrar lo amigable del sistema tomando como referencia que los sistemas extranjeros traen métodos de manejo de control mucho más complejos y en ciertos casos en otro idioma, que implica gastos de capacitación y entrenamiento.

6) El presente proyecto consiste en el desarrollo de una tarjeta electrónica y software de aplicación para trabajar de manera conjunta, lográndose de ésta manera un diseño flexible y de fácil adaptación. La flexibilidad del diseño de la tarjeta electrónica se basa en la disponibilidad de sus puertos de entrada y salida, así como también la ejecución de la interfaz RS-232 para el intercambio de información con el software desarrollado.

RECOMENDACIONES

- 1) El sistema implementado es un prototipo con propósitos de verificación de componentes en campo y puede ser utilizado como base para diseños comerciales siempre y cuando se dispongan de los recursos de tiempo, personal y económicos necesarios.
- 2) Para la optimización del sistema implementado es necesario la utilización, prueba de equipos y herramientas de alto costo cuya permanencia en estado de apagado puede llegar a significar enormes cantidades de dinero. Esta situación representa una dificultad al momento de ejecución de pruebas para la correspondiente calibración y puesta a punto del sistema implementado, se recomienda a las compañías petroleras que deseen implementar el sistema brindar las facilidades del caso para proceder con los procedimientos de norma

necesarios para optimizar el sistema implementado en el presente proyecto.

- 3) Se recomienda antes de implementar el proyecto de graduación entender perfectamente el funcionamiento de un equipo electro sumergible con el fin de no dejar parámetros de medición fuera del diseño.
- 4) La operación del sistema debe ser realizado por personas con un conocimiento básico de electricidad, tomando en consideración los riesgos que representan el manejar este tipo de equipos y en lo posible con licencia de prevención de riesgos para el sector eléctrico ecuatoriano.
- 5) Se recomienda utilizar para las pruebas equipos de medición certificados que cumplan con normas internacionales como la IEEE, tal como se utilizo en las pruebas de campo realizadas y en lo posible mantener el diseño y orden que se especifica en los capítulos anteriores pues está basado en experiencias vividas por más de 7 años en la industria.
- 6) Se recomienda utilizar siempre equipos de protección personal y cumplir con las normas de seguridad tanto internas del país como la licencia de prevención de riesgos para el sector eléctrico ecuatoriano,

mandatorio por el Ministerio del Trabajo y Recursos Humanos, como las externas de cada empresa o institución donde se vaya a probar el equipo.

ANEXOS

Anexo 1

VARIABLES IMPLEMENTADAS

'en este modulo se definen las variables que se utilizan a lo largo del programa para guardar los valores obtenidos en las pruebas

Module DatosGenerales

'variables iniciales

```
Public Nombre_ejecutor As String
Public Cargo_ejecutor As String
Public Fecha_ejecucion As String
Public Lugar_ejecucion As String
Public Jefe_ejecutor As String
Public HP_motor As Integer
Public Voltaje_motor As Integer
Public Amperaje_motor As Integer
Public Modelo_motor As String
Public SN_motor As String
Public Estator_motor As String
Public Rotores_motor As String
Public PuertoSerial As String
```

```
Public Opcion As String
Public Dato_recibido As String
Public Comentarios As String
Public arr_VoltajeAB() As Double
Public arr_VoltajeBC() As Double
Public arr_VoltajeAC() As Double
Public arr_CorrienteA() As Double
Public arr_CorrienteB() As Double
Public arr_CorrienteC() As Double
Public arr_Temperatura1() As Double
Public arr_Temperatura2() As Double
```

'valores de definicion si la prueba esta o no completa

```
Public Aislamiento_terminada As Boolean = False
Public ResistenciaFase_terminada As Boolean = False
Public RotacionFase_terminada As Boolean = False
Public VoltajeCorriente_terminada As Boolean = False
```

```
Public Vibracion_terminada As Boolean = False
Public Temperatura_terminada As Boolean = False
```

'Datos Aislamiento

```
Public FaseA1 As String
Public FaseA2 As String
Public FaseA3 As String
Public FaseA1_numero As Long
Public FaseA2_numero As Long
Public FaseA3_numero As Long
```

'Datos Resistencia Fase Fase

```
Public FaseAB As String
Public FaseBC As String
Public FaseAC As String
```

'Datos Rotacion Fase

```
Public Rotacion As String
```

'Datos Voltaje corriente

```
Public VoltajeAB As String
Public VoltajeBC As String
Public VoltajeAC As String
Public CorrienteA As String
Public CorrienteB As String
Public CorrienteC As String
```

'Datos Vibracion

```
Public AceleracionAxial As String
Public AceleracionHorizontal As String
Public AceleracionVertical As String
```

'DatosTemperatura

```
Public Temperatura1 As String
Public Temperatura2 As String
```

```
End Module
```

Anexo 2

MENU PRINCIPAL

Public Class DatosIniciales

'valida que todos los datos se hayan ingresado

Function valida_campos()

If txtNombre_ejecutor.Text.Trim = "" Then

Return False

Elseif txtCargo_ejecutor.Text.Trim = "" Then

Return False

Elseif txtLugar_ejecucion.Text.Trim = "" Then

Return False

Elseif txtJefe_ejecutor.Text.Trim = "" Then

Return False

Elseif txtHP.Text.Trim = "" Then

Return False

Elseif txtVoltaje.Text.Trim = "" Then

Return False

Elseif txtAmperaje.Text.Trim = "" Then

Return False

Elseif txtModelo.Text.Trim = "" Then

Return False

Elseif txtSN.Text.Trim = "" Then

Return False

Elseif txtEstator.Text.Trim = "" Then

Return False

Elseif txtRotores.Text.Trim = "" Then

Return False

Else

Return True

End If

End Function

'guarda los datos del ejecutor y motor en variables para el reporte

Public Sub Guarda_variables()

Nombre_ejecutor = txtNombre_ejecutor.Text

Cargo_ejecutor = txtCargo_ejecutor.Text

Fecha_ejecucion = DateTimePicker1.Text

Lugar_ejecucion = txtLugar_ejecucion.Text

Jefe_ejecutor = txtJefe_ejecutor.Text

HP_motor = txtHP.Text

Voltaje_motor = txtVoltaje.Text

Amperaje_motor = txtAmperaje.Text

Modelo_motor = txtModelo.Text

```

    SN_motor = txtSN.Text
    Estator_motor = txtEstator.Text
    Rotores_motor = txtRotores.Text
End Sub
'valida que solo se ingresen letras
Private Sub txtNombre_ejecutor_KeyPress(ByVal sender As Object, ByVal e As System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles txtNombre_ejecutor.KeyPress
    valida_letras(e)
End Sub
'valida que solo se ingresen numeros
Private Sub txtAmperaje_KeyPress(ByVal sender As Object, ByVal e As System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles txtAmperaje.KeyPress
    valida_decimales(txtAmperaje, e)
End Sub
'valida que solo se ingresen letras
Private Sub txtCarga_ejecutor_KeyPress(ByVal sender As Object, ByVal e As System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles txtCarga_ejecutor.KeyPress
    valida_letras(e)
End Sub
'valida que solo se ingresen letras
Private Sub txtJefe_ejecutor_KeyPress(ByVal sender As Object, ByVal e As System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles txtJefe_ejecutor.KeyPress
    valida_letras(e)
End Sub
'valida que solo se ingresen numeros
Private Sub txtHP_KeyPress(ByVal sender As Object, ByVal e As System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles txtHP.KeyPress
    valida_decimales(txtHP, e)
End Sub
'valida que solo se ingresen numeros
Private Sub txtVoltaje_KeyPress(ByVal sender As Object, ByVal e As System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles txtVoltaje.KeyPress
    valida_decimales(txtVoltaje, e)
End Sub
'valida que solo se ingresen numeros
Private Sub txtRotores_KeyPress(ByVal sender As Object, ByVal e As System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles txtRotores.KeyPress
    valida_decimales(txtRotores, e)
End Sub
Private Sub btnAceptar_datos_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnAceptar_datos.Click

```

```

'comprueba que los campos no estebn vacios para continuar
If valida_campos() Then
    'guarda los datos escritos
    Guarda_variables()
    ConfigurarPuerto.Show()
    Me.Hide()
Else
    MessageBox.Show("Debe Ingresar todos los datos", "Ingreso",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
End If
End Sub
'borra los campos al cargar el formulario
Private Sub DatosIniciales_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
    txtNombre_ejecutor.Text = ""
    txtJefe_ejecutor.Text = ""
    txtCargo_ejecutor.Text = ""
    txtLugar_ejecucion.Text = ""
    txtHP.Text = ""
    txtVoltaje.Text = ""
    txtAmperaje.Text = ""
    txtSN.Text = ""
    txtModelo.Text = ""
    txtEstator.Text = ""
    txtRotores.Text = ""
End Sub
End Class

```

Anexo 3

PRUEBAS DE AISLAMIENTO

```
#Region "Aislamiento"
```

```
' Validaciones de los campos para que solo acepten numeros y comas
```

```
Private Sub txtFaseA1_KeyPress(ByVal sender As Object, ByVal e As  
System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles txtFaseA1.KeyPress  
valida_decimales(txtFaseA1, e)  
End Sub
```

```
Private Sub txtFaseA2_KeyPress(ByVal sender As Object, ByVal e As  
System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles txtFaseA2.KeyPress  
valida_decimales(txtFaseA2, e)  
End Sub
```

```
Private Sub txtFaseA3_KeyPress(ByVal sender As Object, ByVal e As  
System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles txtFaseA3.KeyPress  
valida_decimales(txtFaseA3, e)  
End Sub
```

```
'activa el boton de iniciar prueba una vez seleccionado el casillero de  
lectura de instrucciones
```

```
Private Sub chkAislamiento_CheckedChanged(ByVal sender As  
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles  
chkAislamiento.CheckedChanged  
If chkAislamiento.Checked Then  
btnAislamiento_inicio.Enabled = True  
chkAislamiento.Enabled = False  
End If  
End Sub
```

```
'abre el archivo de instrucciones de la prueba de aislamiento en la ruta  
definida en el modulo de datos generales
```

```
Private Sub PictureBoxAislamiento_Click(ByVal sender As System.Object,  
ByVal e As System.EventArgs) Handles PictureBoxAislamiento.Click  
OpenFile(Instrucciones_aislamiento)  
End Sub
```

```
Private Sub btnAislamiento_inicio_Click(ByVal sender As System.Object,  
ByVal e As System.EventArgs) Handles btnAislamiento_inicio.Click  
'activa los campos de texto para poder realizar la prueba  
txtFaseA1.Enabled = True
```

```
txtFaseA2.Enabled = True
txtFaseA3.Enabled = True
```

```
'esconde el boton de inicio de prueba y muestra el de fin de la misma
btnAislamiento_inicio.Visible = False
btnAislamiento_Fin.Visible = True
btnAislamiento_Fin.Enabled = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub btnAislamiento_Fin_Click(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles btnAislamiento_Fin.Click
```

```
'pregunta si la validacion de los campos ocurrio con exito
If ValidaCampos_aislamiento() Then
```

```
    GuardaDatos_aislamiento()
```

```
'desactiva los campos de texto y botones al terminar la prueba
btnAislamiento_Fin.Enabled = False
txtFaseA1.Enabled = False
txtFaseA2.Enabled = False
txtFaseA3.Enabled = False
```

```
OvalShape1.BorderWidth = 4
```

```
' comprueba que los datos ingresados sean mayores a 1Gohm
If FaseA1_numero < 1000000000 Or FaseA2_numero < 1000000000 Or
FaseA3_numero < 1000000000 Then
```

```
    'da como no terminada la prueba
    Aislamiento_terminada = False
    OvalShape1.BackColor = Drawing.Color.Red
    OvalShape1.BorderColor = Drawing.Color.Red
    TabControl1.SelectedIndex = 6
    MessageBox.Show("Existio una falla en la prueba de Aislamiento
proceso terminado", "Error", MessageBoxButtons.OK,
MessageBoxIcon.Error)
```

```
Else
```

```
    'da como terminada la prueba
    Aislamiento_terminada = True
    OvalShape1.BackColor = Drawing.Color.Green
    OvalShape1.BorderColor = Drawing.Color.Green
```

```
End If
```

```
Else
    MessageBox.Show("Debe Ingresar todos los datos", "Ingreso",
    MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
End If
```

```
End Sub
```

```
' esta funcion comprueba que se hallan llenado todos los campos
```

```
Function ValidaCampos_aislamiento()
```

```
If txtFaseA1.Text.Trim = "" Then
```

```
Return False
```

```
Elseif txtFaseA2.Text.Trim = "" Then
```

```
Return False
```

```
Elseif txtFaseA3.Text.Trim = "" Then
```

```
Return False
```

```
Else
```

```
Return True
```

```
End If
```

```
End Function
```

```
'convierte los datos ingresados a numero y le asigna el valor en ohms
segun la unidad escogida
```

```
Public Sub GuardaDatos_aislamiento()
```

```
Dim unidad1 As String = String.Empty
```

```
Dim unidad2 As String = String.Empty
```

```
Dim unidad3 As String = String.Empty
```

```
Dim multiplicador_unidad1 As Long
```

```
Dim multiplicador_unidad2 As Long
```

```
Dim multiplicador_unidad3 As Long
```

```
'segun la unidad escogida escribe la unidad y lo multiplica por el factor
necesario
```

```
If RadioButton1.Checked Then
```

```
unidad1 = "ohms"
```

```
multiplicador_unidad1 = 1
```

```
Elseif RadioButton2.Checked Then
```

```
unidad1 = "Mega Ohms"
```

```
multiplicador_unidad1 = 1000000
```

```
Elseif RadioButton3.Checked Then
```

```
unidad1 = "Giga Ohms"
```

```
multiplicador_unidad1 = 1000000000
```

```
End If
```

```
If RadioButton4.Checked Then
```

```
unidad2 = "ohms"
```

```
multiplicador_unidad2 = 1
```

```
Elseif RadioButton5.Checked Then
    unidad2 = "Mega Ohms"
    multiplicador_unidad2 = 1000000
Elseif RadioButton6.Checked Then
    unidad2 = "Giga Ohms"
    multiplicador_unidad2 = 1000000000
End If
If RadioButton7.Checked Then
    unidad3 = "ohms"
    multiplicador_unidad3 = 1
Elseif RadioButton8.Checked Then
    unidad3 = "Mega Ohms"
    multiplicador_unidad3 = 1000000
Elseif RadioButton9.Checked Then
    unidad3 = "Giga Ohms"
    multiplicador_unidad3 = 1000000000
End If
```

```
'guarda los datos en variables que se imprimiran en el reporte
FaseA1 = txtFaseA1.Text & " " & unidad1
FaseA2 = txtFaseA2.Text & " " & unidad2
FaseA3 = txtFaseA3.Text & " " & unidad3
```

```
'guarda los datos en variables que se imprimiran en el reporte
FaseA1_numero = Convert.ToInt32(txtFaseA1.Text) *
multiplicador_unidad1
FaseA2_numero = Convert.ToInt32(txtFaseA2.Text) *
multiplicador_unidad2
FaseA3_numero = Convert.ToInt32(txtFaseA3.Text) *
multiplicador_unidad3
End Sub
```

```
#End Region
```

Anexo 4

PRUEBAS DE RESISTENCIA

```
#Region "Resistencia Fase Fase"
' Validaciones de los campos para que solo acepten numeros y comas
Private Sub txtFaseAB_KeyPress(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles txtFaseAB.KeyPress
    valida_decimales(txtFaseAB, e)
End Sub
Private Sub txtFaseBC_KeyPress(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles txtFaseBC.KeyPress
    valida_decimales(txtFaseBC, e)
End Sub
Private Sub txtFaseAC_KeyPress(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles txtFaseAC.KeyPress
    valida_decimales(txtFaseAC, e)
End Sub
' abre el archivo de instrucciones de la prueba de Resistencia Fase Fase en
la ruta definida en el modulo de datos generales
Private Sub PictureBoxResistenciaFase_Click(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles PictureBoxResistenciaFase.Click
    OpenFile(Instrucciones_resistenciaFase)
End Sub
' activa el boton de iniciar prueba de Resistencia Fase Fase una vez
seleccionado el casillero de lectura de instrucciones
Private Sub chkResistenciaFase_CheckedChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
chkResistenciaFase.CheckedChanged
    If chkResistenciaFase.Checked Then
        btnResistenciaFase_inicio.Enabled = True
        chkResistenciaFase.Enabled = False
    End If
End Sub

Private Sub btnResistenciaFase_inicio_Click(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
btnResistenciaFase_inicio.Click
    ' comprueba que la prueba de aislamiento se halla completado con exito
para poder contnuar
    If Aislamiento_terminada Then
        ' activa los campos y el boton de fin de prueba
        txtFaseAB.Enabled = True
        txtFaseBC.Enabled = True
    End If
End Sub
```

```

txtFaseAC.Enabled = True
btnResistenciaFase_inicio.Visible = False
btnResistenciaFase_fin.Visible = True
btnResistenciaFase_fin.Enabled = True
Else
    MessageBox.Show("Debe Realizar la prueba de aislamiento primero",
"", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
End If

```

```
End Sub
```

```

Private Sub btnResistenciaFase_fin_Click(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles btnResistenciaFase_fin.Click
    Dim FaseAB_numero, FaseBC_numero, FaseAC_numero As Double
    Dim error_pruebaFase As Boolean = False
    'comprueba que los campos no esten vacios antes de continuar
    If ValidaCampos_ResistenciaFase() Then
        'guarda los datos en variables para el reporte
        FaseAB = txtFaseAB.Text
        FaseBC = txtFaseBC.Text
        FaseAC = txtFaseAC.Text

        FaseAB_numero = Convert.ToDouble(FaseAB)
        FaseBC_numero = Convert.ToDouble(FaseBC)
        FaseAC_numero = Convert.ToDouble(FaseAC)
        'desactiva los botones y campos de esta prueba
        btnResistenciaFase_fin.Enabled = False
        txtFaseAB.Enabled = False
        txtFaseBC.Enabled = False
        txtFaseAC.Enabled = False
        'comprueba que los valores escritos no sean menores a 1 ohm para
que la prueba se ejecute de forma correcta
        If FaseAB_numero < 1 Or FaseBC_numero < 1 Or FaseAC_numero <
1 Then
            error_pruebaFase = True
        End If
        If Not (FaseAB = FaseAC And FaseAB = FaseBC) Then
            error_pruebaFase = True
        End If
        If error_pruebaFase Then
            OvalShape2.BackColor = Drawing.Color.Red
            OvalShape2.BorderColor = Drawing.Color.Red
            OvalShape2.BorderWidth = 4

```

```

        ResistenciaFase_terminada = False
        MsgBox.Show("Existio una falla en la prueba de Resistencia
de fase proceso terminado", "Error", MessageBoxButtons.OK,
MsgBoxIcon.Error)
        TabControl1.SelectedIndex = 6

    Else
        OvalShape2.BackColor = Drawing.Color.Green
        OvalShape2.BorderColor = Drawing.Color.Green
        OvalShape2.BorderWidth = 4
        'da como terminada la prueba
        ResistenciaFase_terminada = True

    End If

Else
    MsgBox.Show("Debe Ingresar todos los datos", "Ingreso",
MsgBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
End If
End Sub
'valida que los campos no esten en blanco
Public Function ValidaCampos_ResistenciaFase()
    If txtFaseAB.Text.Trim = "" Then
        Return False
    ElseIf txtFaseBC.Text.Trim = "" Then
        Return False
    ElseIf txtFaseAC.Text.Trim = "" Then
        Return False
    Else
        Return True
    End If
End Function
#End Region

```

Anexo 5

PRUEBAS DE ROTACION DE FASE

```
#Region "Rotacion Fase"
'abre el archivo de instrucciones de la prueba de Rotacion de Fase en la
ruta definida en el modulo de datos generales
Private Sub PictureBoxRotacionFase_Click(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles PictureBoxRotacionFase.Click
    OpenFile(Instrucciones_rotacionFase)
End Sub
'activa el boton de iniciar prueba una vez seleccionado el casillero de
lectura de instrucciones
Private Sub chkRotacionFase_CheckedChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
chkRotacionFase.CheckedChanged
    If chkRotacionFase.Checked Then
        btnRotacionFase.Enabled = True
        chkRotacionFase.Enabled = False
    End If
End Sub
Private Sub btnRotacionFase_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal
e As System.EventArgs) Handles btnRotacionFase.Click
    'comprueba que la prueba anterior se halla completado para poder
proseguir si no se detiene el proceso
    If ResistenciaFase_terminada Then
        Opcion = "a"
        'comprueba que el puerto serial este activo
        If SerialPort_IsActive() Then
            'envia el dato al PIC
            Try
                Timer1.Enabled = True
                SerialPort1.Write("a")
            Catch ex As Exception
                Timer1.Enabled = False
                MessageBox.Show("Error: " & ex.Message & " Revisar conexion
tarjeta", "", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
                Activar_Puerto()
            End Try
        End If
    Else
        MessageBox.Show("Debe Realizar la prueba de Resistencia entre
fases primero", "", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
    End If
End Sub
```

```
End Sub
#End Region
```

Anexo 6

PRUEBAS DE VOLTAJE Y CORRIENTE

```
#Region "Voltaje corriente"
'abre el archivo de instrucciones de la prueba de Voltaje y corriente en la
ruta definida en el modulo de datos generales
Private Sub PictureBoxVoltajeCorriente_Click(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
PictureBoxVoltajeCorriente.Click
    OpenFile(Instrucciones_voltajeCorriente)
End Sub
'activa el boton de iniciar prueba una vez seleccionado el casillero de
lectura de instrucciones
Private Sub chkVoltajeCorriente_CheckedChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
chkVoltajeCorriente.CheckedChanged
    If chkVoltajeCorriente.Checked Then
        btnVoltajeCorriente.Enabled = True
        chkVoltajeCorriente.Enabled = False
    End If
End Sub

Private Sub btnVoltajeCorriente_Click(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles btnVoltajeCorriente.Click
'comprueba que la prueba anterior se halla completado para poder
proseguir
If RotacionFase_terminada Then
    Opcion = "b"
    lblProceso.Visible = True
'comprueba que el puerto este activo
If SerialPort_IsActive() Then
'envia la orden al PIC
Try
    Timer1.Enabled = True
    SerialPort1.Write("b")
Catch ex As Exception
    Timer1.Enabled = False
    MessageBox.Show("Error: " & ex.Message & " Revisar conexion
tarjeta", "", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
    Activar_Puerto()
End Try
```

```

        End If
    Else
        MsgBox.Show("Debe Realizar la prueba de Rotacion de Fase
primero", "", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
    End If

End Sub

#End Region

```

Anexo 7

PRUEBAS DE VIBRACIÓN

```

#Region "Vibracion"
'abre el archivo de instrucciones de la prueba de Vibración de Fase en la
ruta definida en el modulo de datos generales
Private Sub PictureBoxVibracion_Click(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles PictureBoxVibracion.Click
    OpenFile(Instrucciones_vibracion)
End Sub
'activa el boton de iniciar prueba una vez seleccionado el casillero de
lectura de instrucciones
Private Sub chkVibracion_CheckedChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
chkVibracion.CheckedChanged
    If chkVibracion.Checked Then
        btnVibracion.Enabled = True
        chkVibracion.Enabled = False
    End If
End Sub
Private Sub btnVibracion_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnVibracion.Click
'comprueba que la prueba anterior se halla copletado exitosamente para
conseguir
If VoltajeCorriente_terminada Then
    Opcion = "c"
'comprueba que el puerto serial este activo
If SerialPort_IsActive() Then
'envia la orden al pic
Try
    Timer1.Enabled = True
    SerialPort1.Write("c")

```

```

        Catch ex As Exception
            Timer1.Enabled = False
            MessageBox.Show("Error: " & ex.Message & " Revisar conexion
tarjeta", "", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
            Activar_Puerto()
        End Try
    End If
Else
    MessageBox.Show("Debe Realizar la prueba de Voltaje y corriente
primero", "", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
End If
End Sub
#End Region

```

Anexo 8

PRUEBAS DE TEMPERATURA

```

#Region "Temperatura"
    'abre el archivo de instrucciones de la prueba de Temperatura en la ruta
definida en el modulo de datos generales
    Private Sub PictureBoxTemperatura_Click(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles PictureBoxTemperatura.Click
        OpenFile(Instrucciones_temperatura)
    End Sub
    'activa el boton de iniciar prueba una vez seleccionado el casillero de
lectura de instrucciones
    Private Sub chkTemperatura_CheckedChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
chkTemperatura.CheckedChanged
        If chkTemperatura.Checked Then
            btnTemperatura.Enabled = True
            chkTemperatura.Enabled = False
        End If
    End Sub

    Private Sub btnTemperatura_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles btnTemperatura.Click
        'comprueba que se halla completado exitosamente la prueba anterior
para poder seguir
        If Vibracion_terminada Then
            Opcion = "d"
            lblProceso2.Visible = True
            'comprueba que el puerto este activo
            If SerialPort_IsActive() Then

```

```

'Envia la orden al PIC
Try
    Timer1.Enabled = True
    SerialPort1.Write("d")
Catch ex As Exception
    Timer1.Enabled = False
    MessageBox.Show("Error: " & ex.Message & " Revisar conexion
tarjeta", "", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
    Activar_Puerto()
End Try
End If
Else
    MessageBox.Show("Debe Realizar la prueba de Vibracion primero",
"", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information)
End If
End Sub
#End Region

```

Anexo 9

CURVAS

```

'esta dibuja las líneas gises del fondo
Private Sub PictureBox1_Paint(sender As Object, e As
System.Windows.Forms.PaintEventArgs) Handles PictureBox1.Paint

    For y As Integer = 0 To 680 Step 10
        e.Graphics.DrawLine(DimGrayPen1, y, 0, y, 300)
    Next
    'Lineas horizontales
    For x As Integer = 0 To 300 Step 10
        e.Graphics.DrawLine(DimGrayPen1, 0, x, 680, x)
    Next
    'lineas verticales
    For y As Integer = 0 To 680 Step 60
        e.Graphics.DrawLine(DimGrayPen2, y, 0, y, 300)
    Next
    'Lineas horizontales
    For x As Integer = 0 To 300 Step 50
        e.Graphics.DrawLine(DimGrayPen2, 0, x, 680, x)
    Next

```

End Sub

Private Sub DibujarPlano()

```
PictureBox1.CreateGraphics.Clear(Drawing.Color.Transparent)
For y As Integer = 0 To 680 Step 10
    PictureBox1.CreateGraphics.DrawLine(DimGrayPen1, y, 0, y, 300)
Next
For x As Integer = 0 To 300 Step 10
    PictureBox1.CreateGraphics.DrawLine(DimGrayPen1, 0, x, 680, x)
Next
For y As Integer = 0 To 680 Step 60
    PictureBox1.CreateGraphics.DrawLine(DimGrayPen2, y, 0, y, 300)
Next
For x As Integer = 0 To 300 Step 10
    PictureBox1.CreateGraphics.DrawLine(DimGrayPen2, 0, x, 680, x)
Next
```

End Sub

```
Private Sub btnGraficar_Click(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles btnGraficar.Click
    Dim seleccion As Integer
    seleccion = CmbVariables.SelectedIndex
'SELECCIONA LAS VALRIABLES A DIBUJAR
    Select Case seleccion
        'voltaje AB
        Case 0
            lblUnidad.Text = "Voltios[V]"
            DibujarPlano()
            Dibuja_grafica(arr_VoltajeAB)

            'voltaje BC
        Case 1
            lblUnidad.Text = "Voltios[V]"
            DibujarPlano()
            Dibuja_grafica(arr_VoltajeBC)
            'voltaje AC
        Case 2
            lblUnidad.Text = "Voltios[V]"
            DibujarPlano()
            Dibuja_grafica(arr_VoltajeAC)
            'Corriente A
        Case 3
```

```
lblUnidad.Text = "Corriente[A]"  
DibujarPlano()  
Dibuja_grafica(arr_CorrienteA)  
'Corriente B
```

```
Case 4
```

```
lblUnidad.Text = "Corriente[A]"  
DibujarPlano()  
Dibuja_grafica(arr_CorrienteB)  
'Corriente C
```

```
Case 5
```

```
lblUnidad.Text = "Corriente[A]"  
DibujarPlano()  
Dibuja_grafica(arr_CorrienteC)  
'Temperatura 1
```

```
Case 6
```

```
lblUnidad.Text = "Temperatura[F]"  
DibujarPlano()  
Dibuja_grafica(arr_Temperatura1)  
'Temperatura 2
```

```
Case 7
```

```
lblUnidad.Text = "Temperatura[F]"  
DibujarPlano()  
Dibuja_grafica(arr_Temperatura2)
```

```
End Select
```

```
'SELECCIONA LA ESCALA EN FUNCIÓN AL MÁXIMO VALOR
```

```
End Sub
```

```
Private Function Obtiene_Maximo(ByVal arreglo As Double())
```

```
Dim maximo As Double
```

```
If Not arreglo Is Nothing Then
```

```
maximo = arreglo(0)
```

```
For indice = 1 To arreglo.Length - 1
```

```
    If maximo < arreglo(indice) Then
```

```
        maximo = arreglo(indice)
```

```
    End If
```

```
Next
```

```
Return maximo + 0.49
```

```
End If
```

```
Return 1
```

```
End Function
```

```
Private Sub Genera_Escala(ByVal maximo As Double)
```

```
Dim ancho As Double
```

```

ancho = maximo / 5
lblEscalaY1.Text = ancho * 1
lblEscalaY2.Text = ancho * 2
lblEscalaY3.Text = ancho * 3
lblEscalaY4.Text = ancho * 4
lblEscalaY5.Text = ancho * 5
lblEscalaY6.Text = ancho * 6
End Sub

Private Sub Dibuja_grafica(ByVal arreglo As Double())
    Dim maximo As Double = 1
    If Not arreglo Is Nothing Then

        maximo = Math.Round(Obtiene_Maximo(arreglo))

        Genera_Escala(maximo)

        Dim cantidad_pixeles As Integer
        For indice = 0 To cantidad_datos - 1
            x1 = (600 / (cantidad_datos - 1)) * indice
            x2 = (600 / (cantidad_datos - 1)) * (indice + 1)
            cantidad_pixeles = (300 * arreglo(indice)) / maximo
            y1 = 300 - cantidad_pixeles
            cantidad_pixeles = (300 * arreglo(indice + 1)) / maximo
            y2 = 300 - cantidad_pixeles
            PictureBox1.CreateGraphics.DrawLine(greenPen, x1, y1, x2, y2)
        Next
    End If
End Sub

```

Anexo 10

DESPLIEGUE ANALOGICO

Private Sub CargaDocumento()

***ruta del archivo

Dim nombre = ""

Dim numero_ensayo = ""

Dim operador = Nombre_ejecutor

Dim fecha = Fecha_ejecucion

Dim numero_parte = Modelo_motor

Dim suma_voltajeAB, promedio_voltajeAB As Double

Dim suma_voltajeBC, promedio_voltajeBC As Double

Dim suma_voltajeAC, promedio_voltajeAC As Double

Dim suma_CorrienteA, promedio_CorrienteA As Double

Dim suma_CorrienteB, promedio_CorrienteB As Double

Dim suma_CorrienteC, promedio_CorrienteC As Double

Dim suma_Temperatura1, promedio_Temperatura1 As Double

Dim suma_Temperatura2, promedio_Temperatura2 As Double

For index = 0 To arr_VoltajeAB.Length - 1

 suma_voltajeAB = arr_VoltajeAB(index) + suma_voltajeAB

 promedio_voltajeAB = suma_voltajeAB / (arr_VoltajeAB.Length - 1)

Next

For index = 0 To arr_VoltajeBC.Length - 1

 suma_voltajeBC = arr_VoltajeBC(index) + suma_voltajeBC

 promedio_voltajeBC = suma_voltajeBC / (arr_VoltajeBC.Length - 1)

Next

For index = 0 To arr_VoltajeAC.Length - 1

 suma_voltajeAC = arr_VoltajeAC(index) + suma_voltajeAC

 promedio_voltajeAC = suma_voltajeAC / (arr_VoltajeAC.Length - 1)

Next

For index = 0 To arr_CorrienteA.Length - 1

 suma_CorrienteA = arr_CorrienteA(index) + suma_CorrienteA

```
1) promedio_CorrienteA = suma_CorrienteA / (arr_CorrienteA.Length -  
Next
```

```
For index = 0 To arr_CorrienteB.Length - 1  
    suma_CorrienteB = arr_CorrienteB(index) + suma_CorrienteB  
    promedio_CorrienteB = suma_CorrienteB / (arr_CorrienteB.Length -  
1) Next
```

```
For index = 0 To arr_CorrienteC.Length - 1  
    suma_CorrienteC = arr_CorrienteC(index) + suma_CorrienteC  
    promedio_CorrienteC = suma_CorrienteC / (arr_CorrienteC.Length -  
1) Next
```

```
For index = 0 To arr_Temperatura1.Length - 1  
    suma_Temperatura1 = arr_Temperatura1(index) +  
suma_Temperatura1  
    promedio_Temperatura1 = suma_Temperatura1 /  
(arr_Temperatura1.Length - 1)  
Next
```

```
For index = 0 To arr_Temperatura2.Length - 1  
    suma_Temperatura2 = arr_Temperatura2(index) +  
suma_Temperatura2  
    promedio_Temperatura2 = suma_Temperatura2 /  
(arr_Temperatura2.Length - 1)  
Next
```

```
Dim aceleracion1 = AceleracionAxial  
Dim aceleracion2 = AceleracionHorizontal
```

```
Try
```

```
Dim Documento = CreateObject("Word.Application") 'creo un objeto tipo  
word  
    'le pongo las propiedades al objeto  
    With Document  
        .Application.Documents.Open(Ruta_Reporte & "\REPORTE.docx") 'abro  
el documento  
        .Application.Visible = True  
        'agregamos las marcas
```

'cabecera

```
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("cliente").Range.Text = nombre
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("operador").Range.Text = operador
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("fecha").Range.Text = fecha
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("numero_ensayo").Range.Text =
numero_ensayo
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("SN").Range.Text = SN_motor
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("HP").Range.Text = HP_motor
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("voltaje_motor").Range.Text =
Voltaje_motor
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("amperaje_motor").Range.Text =
Amperaje_motor
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("estator_SN").Range.Text =
Estator_motor
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("numero_parte").Range.Text =
numero_parte
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("cantidad_rotor").Range.Text =
Rotores_motor
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("supervisor").Range.Text =
Jefe_ejecutor
```

'tabla

```
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("faseA").Range.Text =
FaseA1_numero / 1000000000
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("faseB").Range.Text =
FaseA2_numero / 1000000000
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("faseC").Range.Text =
FaseA3_numero / 1000000000
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("faseAB").Range.Text = FaseAB
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("faseBC").Range.Text = FaseBC
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("faseAC").Range.Text = FaseAC
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("RotacionFase").Range.Text =
Rotacion
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("voltajeAB").Range.Text =
promedio_voltajeAB
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("voltajeBC").Range.Text =
promedio_voltajeBC
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("voltajeAC").Range.Text =
promedio_voltajeAC
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("CorrienteA").Range.Text =
promedio_CorrienteA
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("CorrienteB").Range.Text =
promedio_CorrienteB
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("CorrienteC").Range.Text =
promedio_CorrienteC
```

```

.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("aceleracion1").Range.Text =
aceleracion1
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("aceleracion2").Range.Text =
aceleracion2
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("Temperatura1").Range.Text =
promedio_Temperatura1
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("Temperatura2").Range.Text =
promedio_Temperatura2
.Documents.Item(1).Bookmarks.Item("Comentario").Range.Text =
txtComentarios.Text
    End With
    Documento = Nothing

Catch ex As Exception
    MessageBox.Show("Error: " & ex.ToString)
End Try
End Sub

Private Sub btnGenerarReporte_Click(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles btnGenerarReporte.Click
    CargaDocumento()
End Sub
End Class

```

Anexo11

ELEMENTOS QUE CONFORMAN LAS TARJETAS ELECTRONICA Y TARJETA DE ENTRADAS ANALOGICAS

Componente	Valor	Empaquetado	Descripción	Posición en placa	Orientación
C1	0.1uF	C025-025X050	rcl	(63.38 54.74)	R270
C2	1uF	E2,5-6E	rcl	(93.05 46.7)	R180
C3	1uF	E2,5-6E	rcl	(86.94 46.7)	R180
C4	1uF	E2,5-6E	rcl	(101.8 36.83)	R270
C5	1uF	E2,5-6E	rcl	(80.37 46.95)	R0
C6	0.1uF	C025-025X050	rcl	(57.5 49.5)	R270
C7	0.1uF	C025-025X050	rcl	(96 20)	R180
C8	0.1uF	C025-025X050	rcl	(41 7.5)	R270
C9	0.1uF	C025-025X050	rcl	(48.5 49.5)	R270
C10	0.1uF	C025-025X050	rcl	(48 101)	R0
C11	1uF	C025-025X050	rcl	(55 101)	R180
C12	1uF	E2,5-6E	rcl	(55 95.5)	R180
C13	1uF	E2,5-6E	rcl	(48 95.5)	R0

C14	1uF	E2,5-6E	rcl	(127 22)	R90
C15	1uF	E2,5-6E	rcl	(127 34)	R270
D1	1N4004	DO41-10	diode	(104.5 55)	R90
D2	1N4004	DO41-10	diode	(104.5 72)	R90
D3	1N4004	DO41-10	diode	(104.5 90.5)	R90
IC1	PIC16F877P	DIL40	microchip	(60.96 52.07)	R270
IC2	LM336LP	TO92	linear	(45.96 65.7)	R180
IC3	MAX232	DIL16	maxim	(87.26 35.47)	R180
IC4	7805TV	TO220V	linear	(53 110)	R0
K1	G5L	G5LE	relay	(119 72)	R0
K2	G5L	G5LE	relay	(119 53.5)	R0
K5	G5L	G5LE	relay	(119 90.5)	R0
LED1		LED5MM	led	(70 92.5)	R270
LED2		LED5MM	led	(75 6.5)	R270
LED3		LED5MM	led	(83.5 6.5)	R270
R1	10k	0207/10	rcl	(58.38 67.9)	R270
R2	10k	0207/10	rcl	(62.12 67.9)	R90
R3	10k	0207/10	rcl	(64.5 40)	R90
R4	10k	0207/10	rcl	(62 40)	R90
R5	1k	0207/10	rcl	(65 99)	R180
R6	10k	0207/10	rcl	(57 40)	R90
R7	10k	0207/10	rcl	(108 18)	R90
R8	10k	0207/10	rcl	(59.5 40)	R90
R9	4.7k	0207/10	rcl	(25.5 25)	R90
R10	4.7k	0207/10	rcl	(18.5 17)	R0
R11	390	0207/10	rcl	(76.5 24)	R180
R12	390	0207/10	rcl	(76.5 20.5)	R180
U\$1	MOLEX_53375-0810	MOLEX_53375-0810	MOLEX_53375-0810	(38.06 64.77)	R90
U\$2	pinés_prog	MOLEX_22_28_4360_5	MOLEX_22_28_4360_5	(58.77 86.59)	R0
U\$3	pin_serial	MOLEX_2.5_3	MOLEX_22_28_4360_3	(92 8.12)	R0
U\$4	ULN2803	DIL18	ULN2803	(86.5 74.5)	R270
U\$5	MMA747551	ACCELEROMETRO	acelerometro	(65.5 9.5)	R90
U\$6	BUTTON_1	BUTTON	BUTTON_02	(38 35)	R0
U\$7	BUTTON_3	BUTTON	BUTTON_02	(45 81.5)	R0
U\$8	BUTTON_2	BUTTON	BUTTON_02	(38 43.5)	R0
U\$9	LM358	LM358	lm358pj	(31.5 18)	R0
U\$10	5k	POT_NETTEL	POT_NETTEL	(18.5 6.5)	R0
U\$11	5k	POT_NETTEL	POT_NETTEL	(32 6.5)	R0
U\$12	PODER_1PARAPASCABLE	PODER_POINT	poder	(74 48.5)	R0
U\$13	PODER_1PARAPASCABLE	PODER_POINT	poder	(74 44)	R0
X1		AK300/10	con-ptr500	(17.78 70)	R90
X2		AK300/2	con-ptr500	(28.5 107.5)	R0
X3		AK300/3	con-ptr500	(139 90)	R270
X4		AK300/3	con-ptr500	(139 72)	R270
X5		AK300/3	con-ptr500	(139 53.5)	R270
X6		AK300/2	con-ptr500	(118 9.5)	R180
X7		AK300/3	con-ptr500	(139.5 35.5)	R270
X8		AK300/3	con-ptr500	(139.5 21)	R270
X9		AK300/2	con-ptr500	(17 26)	R90
X10		AK300/2	con-ptr500	(17.5 37.5)	R90

Anexo 12

INTERRUPCIONES

```
void main()
{

setup_adc_ports(sAN0|sAN1|sAN2|sAN4|sAN5|sAN6|sAN8|sAN9|VSS_VDD)
;
  setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_32); //configurar puerto analógico
  setup_spi(SPI_SS_DISABLED); //configurar puerto spi deshabilitado
  setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
  setup_timer_1(T1_DISABLED); //configuración de timers
  setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
  setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
  enable_interrupts(INT_RDA); // HABILITACIÓN DE INTERRUPCIONES
  enable_interrupts(GLOBAL);

  delay_ms(1000);
  while(1)
  {
    delay_ms(10); //esperar por datos
  }
}

//INTERRUPCIÓN POR DATO RECIBIDO
#include <int_rda.h>
void RDA_isr(void)
{
  c=getc();
  switch (c) {

    case 'a': //EJECUTAR PRUEBAS DE ROTACIÓN DE FASE
      output_high(PIN_B5); //encender pruebas
      delay_ms(10000); // esperar a que se estabilice el arrancador 30
segundos
      delay_ms(10000);
      delay_ms(10000);
      if( input(PIN_D0) ) // si es secuencia ABC imprimir 1 en puerto
serial
      {
        putc('1');
```

```

    }
    if( input(PIN_D0) )
    {
        putc('0'); // si es secuencia CBA imprimir 0 en puerto serial
        output_LOW(PIN_B5); //APAGAR PRUEBA FALLIDA
    }

    break; //RETORNAR LUEGO DE EJECUTAR PRUEBA DE
    SECUENCIA DE FASE

    case 'b': // PRUEBA DE VOLTAJE Y CORRIENTE

        for (i=0;i<=119;++i) //se tomarán 120 muestras de cada canal
        {
            delay_ms(10000); // retardo de 30 segundos
            delay_ms(10000);
            delay_ms(10000);

            putc('$'); //IMPRIMIR SEPARADOR PARA DIFERENCIAR
VALORES
            set_adc_channel(0); //LEER CORRIENTE IA
            value = read_adc();
            putc(value); //IMPRIIR VALOR CONVERTIDO EN EL PRUETO
SERIAL

            putc('$'); //IMPRIMIR SEPARADOR PARA DIFERENCIAR
VALORES
            set_adc_channel(1); //LEER CORRIENTE IB
            value = read_adc();
            putc(value); //IMPRIIR VALOR CONVERTIDO EN EL PRUETO
SERIAL

            putc('$'); //IMPRIMIR SEPARADOR PARA DIFERENCIAR
VALORES
            set_adc_channel(2); //LEER CORRIENTE IC
            value = read_adc();
            putc(value); //IMPRIIR VALOR CONVERTIDO EN EL PRUETO
SERIAL

            putc('$'); //IMPRIMIR SEPARADOR PARA DIFERENCIAR
VALORES
            set_adc_channel(4); //LEER CORRIENTE VAB

```

```

        value = read_adc();
        putc(value); //IMPRIR VALOR CONVERTIDO EN EL PRUETO
SERIAL

        putc('$'); //IMPRIMIR SEPARADOR PARA DIFERENCIAR
VALORES
        set_adc_channel(5); //LEER CORRIENTE VAC
        value = read_adc();
        putc(value); //IMPRIR VALOR CONVERTIDO EN EL PRUETO
SERIAL

        putc('$'); //IMPRIMIR SEPARADOR PARA DIFERENCIAR
VALORES
        set_adc_channel(6); //LEER CORRIENTE VBC
        value = read_adc();
        printf("F"); //IMPRIMIR FINAL DE LÍNEA
    }

    printf("X"); //IMPRIMIR FIANL DE PRUEBA

    break;//SALIR DE LA PRUEBA DE VOLTAJE Y CORRIENTE

    case 'c': //pruebas de vibración, axial, horizontal y vertical son variables
globales
        leer_vibracion(); //leer valores de vibración
        putc('$');//imprimir separados para diferenciar datos
        putc(axial); //imprimir axial

        putc('$');
        putc(horizontal);//imprimir horizontal en puerto serial

        putc('$');
        putc(vertical); //imprimir vertical en puerto serial

    break; //retornar de pruebas de vibración

    case 'd':

        for (i=0;i<=119;++i)
        {
            delay_ms(10000);
            delay_ms(10000);

```

```
        delay_ms(10000);

        putc('$'); //IMPRIMIR SEPARADOR PARA DIFERENCIAR
VALORES
        set_adc_channel(10); //LEER temperatura1
        value = read_adc();
        putc('$'); //IMPRIMIR SEPARADOR PARA DIFERENCIAR
VALORES
        set_adc_channel(8); //LEER temperatura2
        value = read_adc();
        printf("F"); //Fin de linea
    }

    printf("X");//fin de datos

    break; //Retorno de pruebas de temperatura

default:printf("bad cmd");// retornar si se recibe un valor no reconocido

    break; }

}
```

Anexo 13

Verificación de puerto OK y apertura de puerto

'Esta función devuelve verdadero en caso de que el puerto serial este activo y falso mas un mensaje de error si no lo está

```
Public Function SerialPort_IsActive()  
    If SerialPort1.IsOpen Then  
        lblEstado.Text = "Activo"  
        lblEstado.ForeColor = Drawing.Color.Green  
        Return True  
    Else  
        lblEstado.Text = "Desconectado"  
        lblEstado.ForeColor = Drawing.Color.Red  
        btnEditarPuerto.Visible = True  
        MessageBox.Show("El puerto serial está inactivo", "Error de  
conexión", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Error)  
        Return False  
    End If  
End Function  
'esta función se utiliza para activar el puerto serial definiendo el nombre y  
'la velocidad a la que será activado  
Public Sub Activar_Puerto()  
    Try  
        lblPuerto.Text = "PUERTO: " & PuertoSerial  
        lblBaudios.Text = "VELOCIDAD: " & Velocidad_Puerto  
        SerialPort1.Close()  
        'Otras propiedades del puerto serial  
        SerialPort1.ReadTimeout = 10000  
        SerialPort1.WriteTimeout = 1000  
        SerialPort1.PortName = PuertoSerial 'configura el Puerto serial iniciarse  
        SerialPort1.BaudRate = Velocidad_Puerto 'velocidad or defecto de 9600  
        bauds (objeto oculto)  
        SerialPort1.Parity = IO.Ports.Parity.None  
        SerialPort1.StopBits = IO.Ports.StopBits.One  
        SerialPort1.DataBits = 8 'Abrir puerto  
        SerialPort1.Open()  
        If SerialPort1.IsOpen Then  
            lblEstado.Text = "Activo"  
            lblEstado.ForeColor = Drawing.Color.Green 'Puerto OK  
        Else  
            lblEstado.Text = "Inactivo"  
            lblEstado.ForeColor = Drawing.Color.Red 'Puerto en USO  
        End If  
    End Try  
End Sub
```

```
    Catch ex As Exception
        MsgBox("Error: " & ex.Message, MsgBoxStyle.Critical, "Error de
Conexión")
    End Try          'Mensaje de puerto con errores

End Sub
```

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Angulo Jose Maria, Angulo Ignacio, Microcontroladores PIC Diseño Práctico de Aplicaciones Primera Parte, Mc Graw Hill (2003)
- [2]. Angulo Jose Maria, Angulo Ignacio, Microcontroladores PIC Diseño Práctico de Aplicaciones Segunda Parte, Mc Graw Hill (2003)
- [3]. MICROCHIP, PIC16F887 DATA SHEET, edición del internet, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41291F.pdf>, consultada en Julio 2011.
- [4]. TEXAS INSTRUMENTS, LM358 DATA SHEET, edición del Internet, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm358.pdf>, consultada en octubre 2011.
- [5]. FREESCALE, MMA7455L DATA SHEET, edición del internet, http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7455L.pdf, consultada en octubre 2011
- [6]. FOXALL, "James. Sams Teach Yourself Visual Basic 2010 in 24 Hours", USA: SAMS 2010, p. 5:480

[7]. GARDNER, Nigel.” PICmicro MCU C An introduction to programming the Microchip PIC in CCs C”,USA: p. 13:132.

[8]. Baker Hughes, Manuales de pruebas y servicio de campo de Baker Hughes, revisión 2010.

[9]. Microsoft Visual Studio, Microsoft Visual Basic 2010 Express, <http://www.microsoft.com/visualstudio/en-us/products/2010-editions/visual-basic-express>, consultada en octubre 2011.