

# DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS AUTOMATIZADO DE MOTORES ELECTRO-SUMERGIBLES PARA LA EXTRACCIÓN DE PETROLEO

Sixto Alejandro Cárdenas Huilca <sup>(1)</sup>, MSc. Sara Judith Rios Orellana <sup>(2)</sup>  
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación <sup>(1)</sup>  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
sacarden@espol.edu.ec <sup>(1)</sup>  
srios@espol.edu.ec <sup>(2)</sup>

## Resumen

*El presente proyecto 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. El banco de pruebas se fundamenta en dos áreas: Desarrollo de software de aplicación y desarrollo de hardware. El software implica el desarrollo de 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, usando Microsoft Visual Basic Express.*

*El hardware se basa en un micro controlador que administra todas las funcionalidades e interactúa con el software para el inicio y fin de cada prueba. 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 usando MPLAB.*

**Palabras Claves:** *Electro-sumergible, Visual Basic, MPLAB*

## Abstract

*The present project is the design of a system test engine used in electro-submersible oil drilling to extend the functionality of existing equipment, reduce errors and risks in making motor parameters. The system test engine is based on two areas: development of application software and hardware development. The software involves the development of several functional screens that interact with the user to run tests sequentially and intuitive interaction with the hardware for the implementation of tasks and tests through ASCII commands, using Microsoft Visual Basic Express.*

*The hardware is based on a micro controller that manages all the functions and interacts with the software for the beginning and end of each test. The hardware is designed specifically as an interface between application software and sensors in the electro-submersible motor tested. Each time it receives a command from the software, hardware, run the scan of the corresponding parameter in a table based command / action preprogrammed in the microcontroller using MPLAB.*

**Keywords:** *Electro-submersible, Visual Basic, MPLAB.*

## 1. Introducción

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

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 variador de frecuencia, siendo este un medio más económico y práctico.

El diseño del sistema de potencia es práctico, de fácil ensamblaje y reparación. Da 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.

## 2. Materiales y Métodos.

El diseño del banco de pruebas tiene como base a un relé y controlador programable independiente para protección y prueba del motor electro-sumergible, 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 de 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.

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. 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 las alarmas generadas por el software a través del mismo puerto, ya que la tarjeta contiene relés e indicadores luminosos.

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

## 3. Software y Pruebas.

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.

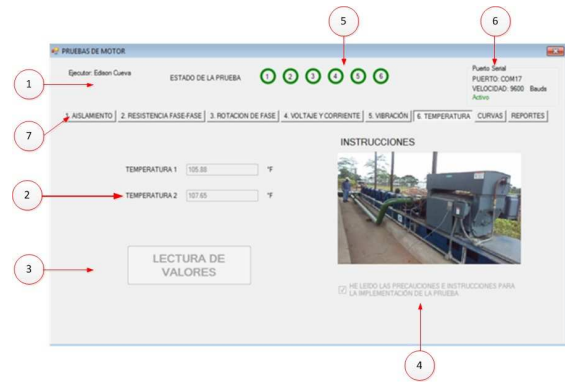


Figura 1. Pantalla principal

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.

Se realiza prueba de aislamiento respecto a tierra y entre fases, rotación, voltaje, corriente, aislamiento y vibración, se muestra en las figuras 1 y 2 ejemplos de pruebas realizadas.



Figura 2. Pantalla prueba rotación de fase.

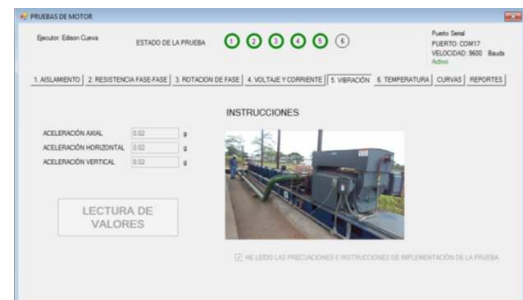


Figura 3. Pantalla prueba de vibración.

### 3.1 Alarmas

Se generan alarmas o fallos en cada una de las pruebas dependiendo de los valores leídos, si ocurre que el sistema genera datos fuera de rangos definidos.

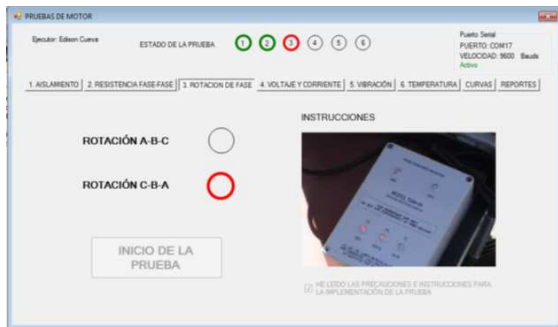


Figura 3. Pantalla falla de prueba de Rotación.

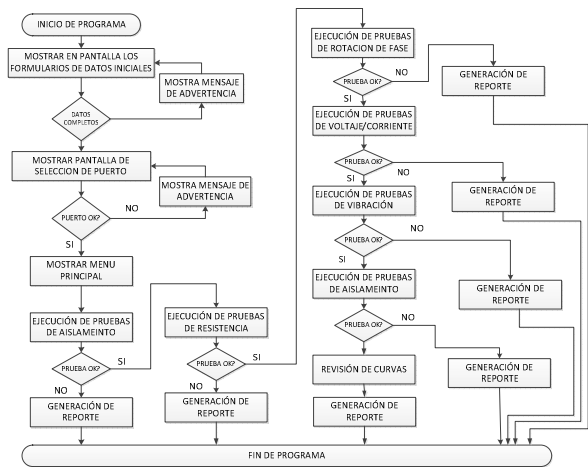


Figura 4. Diagrama Lógico Principal.

### 3.2 Protocolos 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, para la comunicación desde el PIC hasta el computador.

### 3.3 Diagrama lógico de programación

En la figura 4 se detalla el diagrama lógico principal que el usuario debe seguir para completar la verificación total del motor de manera exitosa. Al revisar 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.

## 4. Hardware

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 recibelas señales convertidas a niveles proporcionales desde las variables físicas y las convierte nuevamente en voltaje para transmitir las hacia la PC.

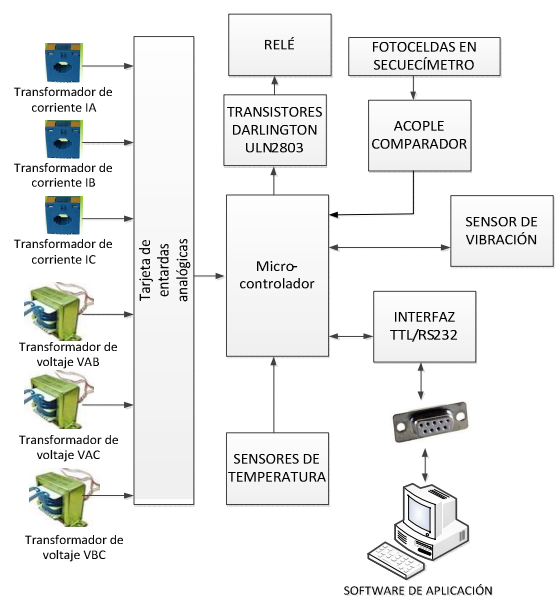


Figura 5. Diagrama de bloques de la tarjeta electrónica.

#### 4.1 Configuración de Puertos

Los puertos en el micro-controlador se configuran como se detalla en la tabla 1.

#	PIN	FUNCIONALIDAD
1	MCL	Pin para Reset.
2	RA0	Entrada de voltaje analógico correspondiente a IA.
3	RA1	Entrada de voltaje analógico correspondiente a IB.
4	RA2	Entrada de voltaje analógico correspondiente a IC.
5	RA3	Entrada de voltaje analógico correspondiente a REFERENCIA.
6	RA4	NO CONECTADA.
7	RA5	Entrada de voltaje analógico correspondiente a VAB
8	RE0	Entrada de voltaje analógico correspondiente a VBC
9	RE1	Entrada de voltaje analógico correspondiente a VAC
10	RE2	NO CONECTADA
11	+VC	+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	+VC	+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 1. Configuración de pines del micro controlador.

#### 5. Resultados de Pruebas

Se genera un informe detallado de las pruebas realizadas, donde se muestra todos los valores y detalles de la prueba realizada.

**ESPOL**  
Escuela Superior Politécnica del Litoral

*Ejemplo: Reporte POZO SACHA 86*

**REPORTE DE PRUEBAS DE MOTORES ELECTRO SUMERGIBLES**

Cliente: OPER. RIO NAPO	Operador: EDISON CUEVA	Fecha: 14 ENERO 2012	Núm. de Ensayo: 2	Pozo #: SACHA 86
Numero de Serie: 3034236-020	HP: 800	Voltaje: 480	Amparaje: 600	Serial Eje: 6-10-95E
Numero de Parte: C 78120	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 6. Reporte de Pruebas.

## 6. Conclusiones

- 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 gráfica y reporte de prueba, que provee un nivel de información completo para una rápida localización de falla.
- 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.
- Las empresas petroleras siempre están a la vanguardia en 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.
- 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.

## 7. Recomendaciones

- 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.

- 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.

## 8. Referencias

- [1] Angulo José María, Angulo Ignacio, Microcontroladores PIC Diseño Práctico de Aplicaciones Primera Parte, Mc Graw Hill (2003).
- [2] MICROCHIP, PIC16F887 DATA SHEET, edición del internet, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41291F.pdf>, consultada en Julio 2011.
- [3] TEXAS INSTRUMENTS, LM358 DATA SHEET, edición del Internet, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm358.pdf>, consultada en octubre 2011.
- [4] FREESCALE, MMA7455L DATA SHEET, edición del internet, [http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data\\_sheet/MMA7455L.pdf](http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MMA7455L.pdf), consultada en octubre 2011.
- [5] FOXALL, "James. Sams Teach Yourself Visual Basic 2010 in 24 Hours", USA: SAMS 2010, p. 5:480.
- [6] GARDNER, Nigel." PICmicro MCU C An introduction to programming the Microchip PIC in CCs C",USA: p. 13:132.
- [7] Baker Hughes, Manuales de pruebas y servicio de campo de Baker Hughes, revisión 2010.
- [8] 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.