

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENTRENAMIENTO PARA EQUIPO DE PERFORACIÓN BASADO EN EL MICROCONTROLADOR PIC16F877A

***Eddy Rabanales Márquez***

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
*eddy.rabanales@ujat.mx*

***Reymundo Ramírez Betancour***

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
*reymundo.ramirez@ujat.mx*

***Julio Cesar Ramírez Hernández***

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
*julio.ramirez@ujat.mx*

***Fermín Martínez Solís***

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco  
*fermin.martinez@ujat.mx*

## Resumen

Hoy en día la simulación de procesos industriales, que conllevan alto riesgo, es de suma importancia para que los operadores adquieran las habilidades necesarias para manipular los sistemas en la vida real; estos simuladores tienen un costo muy elevado por lo cual son de difícil acceso para las instituciones educativas. El propósito del presente trabajo es desarrollar un sistema de entrenamiento para controlar la operación del malacate y las bombas de lodo en un equipo de perforación de pozos petroleros. El sistema desarrollado consta de un tablero de mando formado por 10 botones pulsadores, 4 perillas giratorias, 3 paros de emergencia y un joystick. El tablero está basado en el microcontrolador PIC16F877A, éste se comunica con la PC a través del puerto serial RS232. Se diseñó un programa en Labview que recibe los datos enviados por el

microcontrolador, los interpreta y muestra gráficamente el comportamiento del malacate de acuerdo a lo seleccionado por el operador.

**Palabra(s) Clave(s):** Labview, microcontrolador, perforación, simulador de malacate, tablero.

## 1. Introducción

Un equipo de perforación petrolera está integrado de varios equipos individuales que combinados forman una unidad integral capaz de perforar pozos. Los equipos de perforación rotatoria se clasifican en terrestres, lacustres y marinos, como se muestra en el esquema de la figura 1 [1].

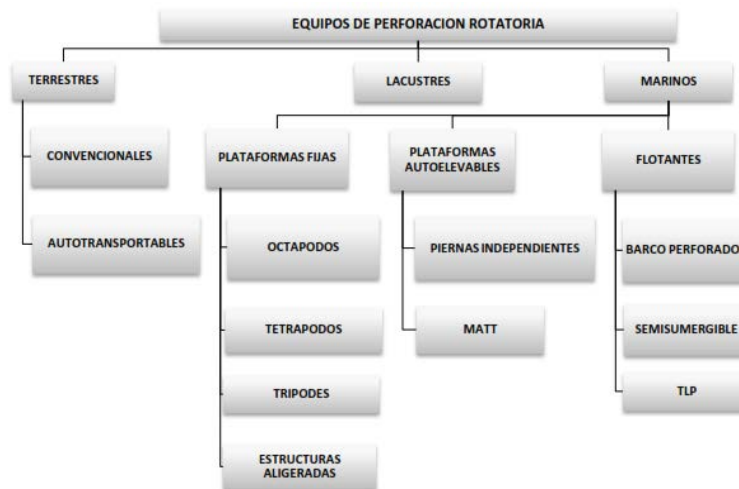


Figura 1 Clasificación de los equipos de perforación rotatoria.

Un equipo de perforación terrestre se compone básicamente de cinco sistemas denominados: sistema de potencia, sistema de izaje o levantamiento, sistema de rotación, sistema de circulación de fluidos y sistema de seguridad contra reventones. En este trabajo sólo se hará referencia a equipos del sistema de izaje o levantamiento y sistema de circulación de fluidos [2].

La función principal del sistema de izaje es la de soportar todo el sistema de rotación mediante la utilización de equipos apropiados capaces de levantar, bajar y suspender los pesos requeridos por él. Este sistema se compone de los siguientes equipos:

- Estructura de soporte: es la armadura de acero que se levanta sobre una subestructura situada en el piso de perforación del pozo y se conforma de la torre de perforación o mástil; el cual debe soportar el peso de la sarta de perforación (tuberías de perforación) en todo momento, mientras la sarta está suspendida del bloque de la corona (conjunto de poleas, que sostienen y dan movilidad al bloque viajero) y cuando descansa en la mesa rotaria o topdrive.
- Equipo de levantamiento: Son equipos especializados para levantar, bajar y suspender la sarta de perforación, tales como el malacate que es la unidad de potencia más importante del sistema de izaje. Cuenta con un tambor rotatorio, provisto de ejes y un motor de inducción para el cambio de velocidades, giro en reversa y frenado. El cable de perforación que se enrolla varias veces en el tambor y pasa a través de las poleas de los bloque corona y viajero. El gancho localizado de bajo del bloque viajero al cual va unido y de la cual va suspendida la unión giratoria o cuadrante y la sarta de perforación. Además, sostiene el elevador hidráulico durante el ascenso y descenso de la tubería o sarta de perforación. La cuña hidráulica cuya superficie interior es curva y dentada. Durante el viaje de la tubería, la sarta se sostiene alternativamente por el bloque viajero y la cuña hidráulica sujetándola por acción combinada de fricción y mordedura.

De esta forma se puede decir que, el malacate es el elemento principal del sistema de izaje de un equipo de perforación, ya que suministra la fuerza para sostener la sarta a través del elevador y el gancho. Por lo que es de vital importancia tener un control preciso de dicho elemento para evitar accidentes y hacer más eficiente el proceso de perforación.

Por otro lado, el proceso de perforación requiere de un sistema de fluidos que permita lubricar la sarta de perforación, evitar el colapso del pozo debido a la presión de formación y conocer a través del retorno de los recortes de formación la geología exacta del pozo. El sistema de circulación tiene cuatro componentes principales: el fluido de perforación; el área de preparación; el equipo de

circulación y el área de acondicionamiento. El equipo de circulación consiste de la presa de succión, de la tolva de mezclado, de la línea de succión y descarga, tubo vertical, manguera rotatoria, sarta de perforación, el anular, la línea de retorno, tanque o presa de asentamiento, el área de acondicionamiento y de las bombas de lodo que son el corazón del sistema de circulación y mueven grandes cantidades de lodo bajo presión [3].

Actualmente los nuevos equipos de perforación de nueva generación se basan en elementos HMI y tableros de control digital, estos elementos tienen mayor sensibilidad que los tradicionales electromecánicos. Por tal razón es necesario entrenar a los operadores usando simuladores que le permitan adquirir las habilidades de operación (sensibilidad adecuada). Así, con el aumento del uso de tecnologías de vanguardia, es aún más importante que personal de perforación aprenda en un ambiente seguro [4,5].

En la industria se utilizan simuladores comerciales como el KCA Deutag's DART; el cual utiliza gráficos 3D, simulación en tiempo real y efectos de sonido para proporcionar realismo al proceso de simulación de perforación. La planta de DART en Aberdeen, Escocia, tiene copias a escala de una plataforma de perforación marina y terrestre. Este simulador está equipado con consolas de pantalla touch para el perforador y el asistente, gráficos en tres dimensiones del piso de perforación y equipos de la plataforma se proyectan en una pantalla larga de 60 pies que rodea la cabina de perforación. Asimismo, cuando el perforador opera el equipo de aparejo, el simulador de superficie proporciona gráficos móviles y sonidos para emular lo que se ve y se oye en una plataforma real [4].

Por otro lado, la empresa LUKOIL ha desarrollado un simulador para plataforma marina (offshore) con el sistema de control Emerson Process Management. El sistema se compone de cinco estaciones de trabajo (PCs) conectadas al algoritmo de control DCS/SIS, que permite usar valores simulados de entrada. La PCs pueden tomar las siguientes funciones: operador, supervisor, cuarto de control central y operador de campo. Las pantallas de las estaciones de trabajo son exactamente iguales a las que se tienen en la plataforma de perforación. Las cinco

estaciones de trabajo se conectan mediante una red local a la PC del instructor, mediante la cual se pueden simular diferentes escenarios de operación [5]. Usualmente los simuladores comerciales están compuestos por una PC y aditamentos que reciben las órdenes del usuario; estos aditamentos se pueden comunicar con la computadora por medio de protocolos punto a punto (seriales o paralelos) o de protocolos de red más sofisticados (Ethernet o anillo). En el presente trabajo se diseña un sistema de entrenamiento de bajo costo para operar los equipos principales de un sistema de perforación; el sistema consta de tableros de control digital, un joystick y el programa simulador del comportamiento del malacate, de las bombas de lodo, del elevador y cuña hidráulica. El tablero de control está basado en un microcontrolador PIC16F877A, el cual recibe e interpreta las órdenes del operador y las transmite a la PC por medio del puerto serie mediante el protocolo RS-232 [6].

## 2. Desarrollo

El sistema de entrenamiento está compuesto por el tablero de mando, un joystick y una computadora central. El tablero de mando permite al operador manipular el malacate y las bombas por medio de botones y perillas distribuidas tal como se muestra en la figura 2.



Figura 2 Tablero de mando.

Las perillas de los equipos de control deben girar a favor o en contra de las manecillas del reloj y permitir las vueltas que el operador desee. Este tipo de

componentes es muy costoso, por lo que se optó por utilizar un interruptor rotatorio de 1 polo-12 tiros y un conjunto de resistencias de 220  $\Omega$ , divisor de voltaje, para obtener el campamiento deseado a un menor costo. La figura 3 muestra el circuito diseñado para cada perilla.

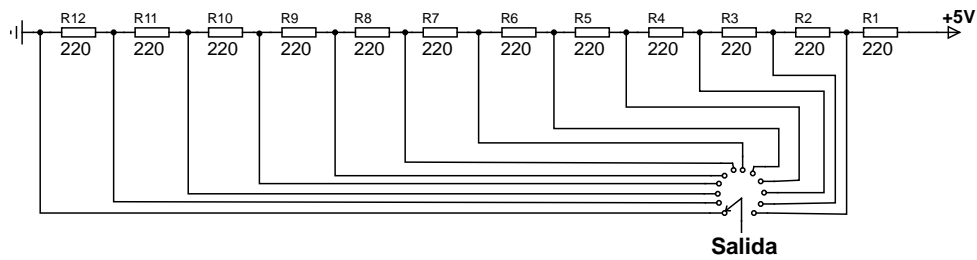


Figura 3 Diagrama de las perillas de control.

La salida de la perilla es un nivel de voltaje proporcional a la posición que se tenga en el divisor de voltaje; tal que si se hace girar la perilla, se presentará un cambio de nivel de voltaje. Este cambio se detecta, por medio del microcontrolador PIC16F877A, y permite determinar si se incrementa o decrementa el valor de la variable asociada a la perilla. Esta información y el estado de los botones de mando se envían a la PC mediante un protocolo de comunicación serial [6]. La figura 4 muestra los componentes y conexiones del tablero de mando.

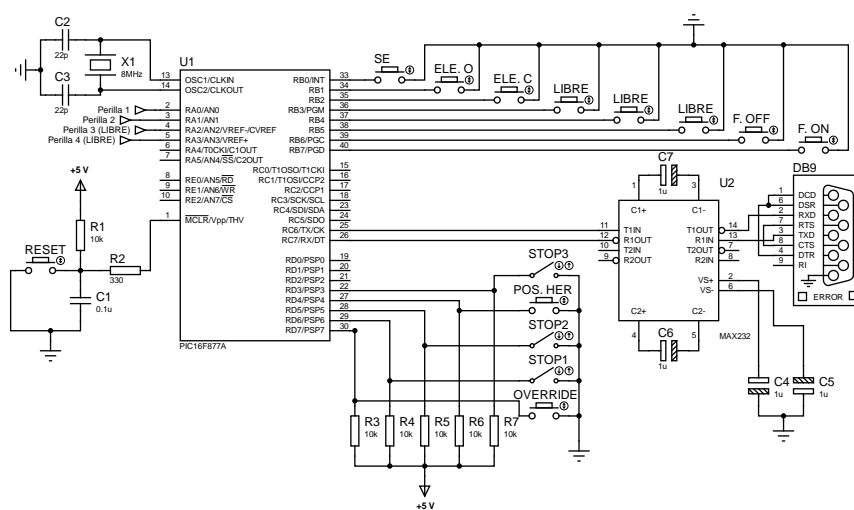


Figura 4 Diagrama electrónico del tablero de mando.

El microcontrolador PIC16F887 es un dispositivo de bajo costo con las siguientes características [6]: CPU de 8 bits, memoria de programa flash de 8 kBytes, 4 puertos paralelo, un puerto serie EUSART, 8 módulos convertidores de analógico/digital (ADC) de 10 bits, frecuencia de operación de 0 a 20 MHz, etc. Estas características son muy adecuadas para el diseño del tablero de mando. El microcontrolador se programó para que realice principalmente dos tareas: leer el estado del tablero de mando y enviar información a la PC por el puerto serie. La figura 5 muestra el diagrama de flujo que sigue el microcontrolador.

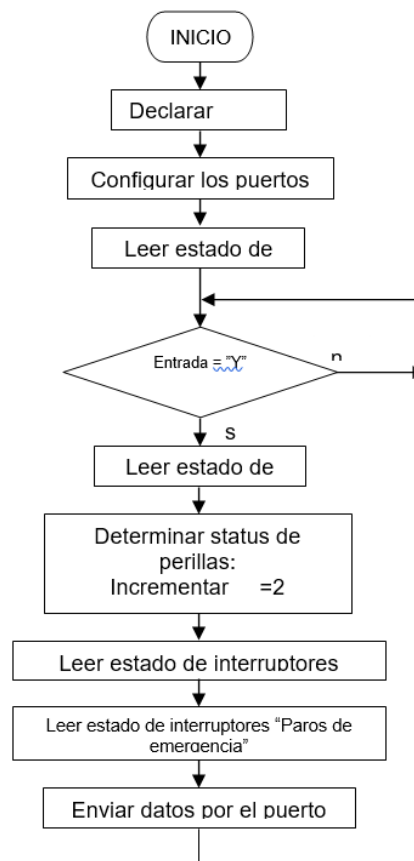


Figura 5 Diagrama de flujo del programa del microcontrolador.

La primera parte del programa consiste en la declaración de variables, configuración del ADC y lectura de la posición inicial de las perillas (AN0-AN3). El microcontrolador no envía datos hasta que aparece una “Y” en el puerto serie, lo cual indica que la PC esta lista para recibir información. Si se recibe un “Y”, entonces se lee las posiciones actuales de las perillas. Con las posiciones

actuales y las anteriores se determina el status de cada perilla: 2 se incrementó, 1 se decremento y 0 no se realizan movimiento. Posteriormente se leen los estados de los botones y paros de emergencia. Finalmente, la información de las perillas, botones y paros de emergencia es codificada y enviada por el puerto serial. Este proceso se repite cada vez que se recibe una “Y” en el puerto serie.

La PC se comunica con el microcontrolador por medio de un programa desarrollado en Labview [7]; el cual está formado por 3 módulos: 1) leer el estado del tablero de mando (Lee Botonera.vi); 2) un módulo que organiza las variables en memoria compartida (Server.vi) y 3) el programa principal que muestra la pantalla de control del malacate y de las bombas (Malacate.vi).

En la figura 6 se muestra la parte del diagrama principal en Labview del módulo “Lee Botonera”; éste recibe constantemente datos del puerto serie y decodifica las variables contenidas en el paquete de información, posteriormente almacena los valores del estado de todas perillas y botones del tablero. La cadena de datos recibida contiene 7 valores en el siguiente formato:

`%1d%1d%1d%1d%1d%2d%2d`

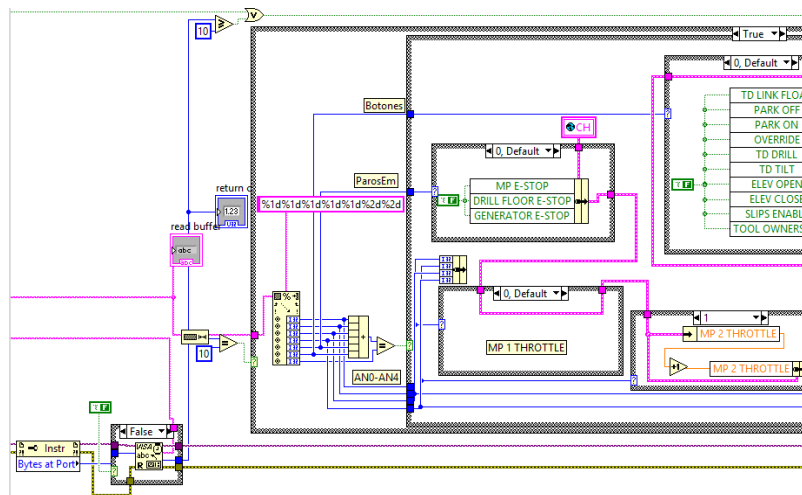


Figura 6 Diagrama en Labview del módulo “Lee botonera.vi”.

Donde cada campo corresponde a:

- Perilla 1 (Bomba1-SPM).
- Perilla 2 (Bomba2-SPM).
- Perilla 3 (TD-RPM).



- Perilla 4 (Rotaria-RPM).
- Paros de emergencia.
- Botones (push button).
- Suma de verificación (checksum).

Los valores para cada una de las perillas son de un dígito:

- 0 (perilla en reposo).
- 1 (giro a la derecha).
- 2 (giro a la izquierda).

Los paros de emergencia son uno de 3 posibles valores:

- 1 (paro en bombas).
- 2 (paro en piso de perforación).
- 3 (paro en el generador).

Los botones tienen un total de 11 posibilidades:

- 0 para ningún botón presionado.
- 1 para cuando está presionado el botón de flotar elevador hidráulico.
- 2 para frenado desactivado.
- 3 para frenado activado.
- 4 para cuando se presiona el botón anular límites.
- 5 activar el top drive para perforar.
- 6 invierte el giro del topdrive.
- 7 para cuando está presionado el botón abrir elevador.
- 8 para cuando está presionado el botón cerrar elevador.
- 9 para el mando activar cuñas.
- 10 para cuando está presionado el botón de apropiación de herramienta.

Finalmente el último campo de datos es una suma de verificación de dos dígitos, ésta sirve para comprobar la integridad del paquete.

La figura 7 muestra el diagrama de flujo del módulo en Labview que lee el puerto serie RS-232. El ciclo general consta de los siguientes pasos:

- Enviar carácter de sincronización.
- Esperar a que el buffer de entrada del puerto contenga un paquete completo (10 bytes). Una vez completado un paquete se proceder a leerlo y verificar la integridad del paquete por medio del código de verificación checksum, si el paquete esta integro se procede a extraer los datos del paquete. Estos datos son los valores de botones, perillas y paros de emergencia.
- Finalmente se verifica si hay alguna orden de finalizar, en caso verdadero se finaliza y en caso contrario se repite un nuevo ciclo.

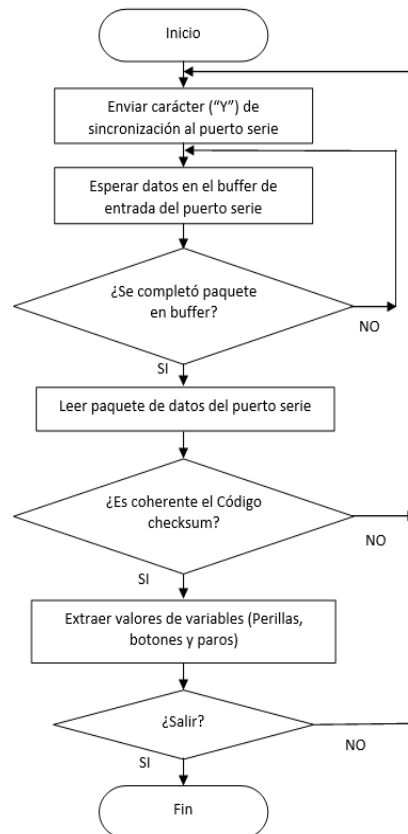


Figura 7 Diagrama de flujo del programa de comunicación en Labview.

El módulo “Server.vi” ejecuta al módulo “leer botonera” y simultáneamente lee las acciones del joystick, todos estos valores los almacena en dos memorias globales, una para el malacate y la otra para las bombas. Así, los datos leídos del puerto serial se guardan en dos variables globales llamadas GLOBAL\_MALACATE y

GLOBAL\_BOMBAS. El propósito de almacenarlas en memoria global es para que otros módulos tengan acceso a dichas variables. En la figura 8 se muestra el diagrama de conexiones de este módulo.

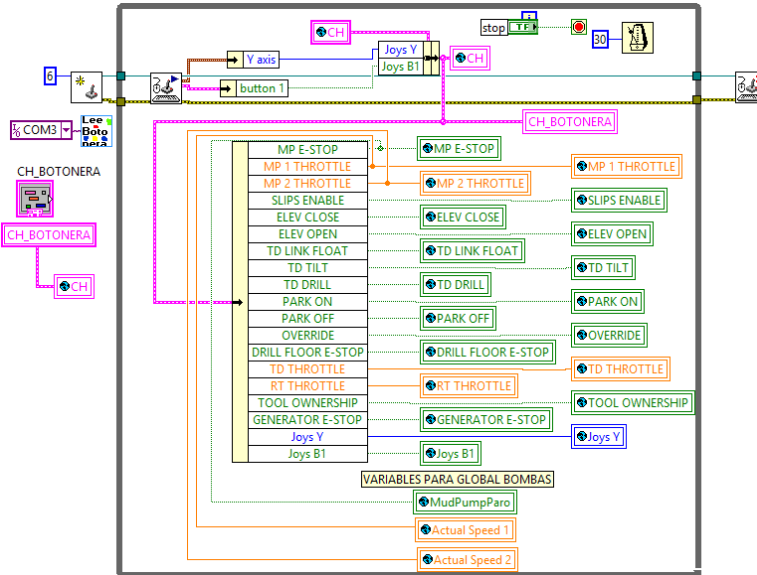


Figura 8 Diagrama en Labview del módulo “Server.vi”.

Por último, el módulo principal llamado “Malacate.vi” está formado por dos diagramas Labview: uno para atender el funcionamiento del Malacate y otro para la funcionalidad de las bombas. En la figura 9 se muestra la pantalla principal del programa. En la parte izquierda se muestran los elementos pertenecientes al malacate y en la parte derecha los elementos correspondientes a las bombas.

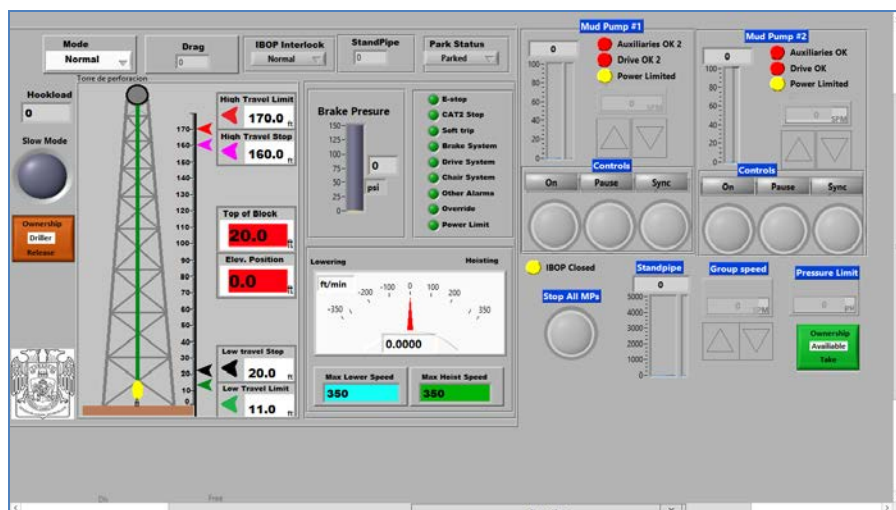


Figura 9 Pantalla principal de la aplicación.

### 3. Resultados

El sistema de entrenamiento demostró su correcto funcionamiento a través de diversas pruebas. La funcionalidad del malacate se refleja en el gráfico de la torre; conforme se mueve el Joystick (hacia el frente o atrás) se desplaza el block viajero verticalmente y a la vez muestra la velocidad de desplazamiento y la posición del mismo (figura 10). Los botones del tablero de mando que controlan al malacate son: override, park off, park on y drill floor e-stop. Para que el sistema permita mover el block viajero no debe haber ninguna alarma activada y se debe cumplir con una secuencia de inicio, esta es: tomar el control de la herramienta con el botón Ownership (ubicado en la pantalla del sistema); éste botón inicialmente se encuentra en verde, y al presionarlo cambia a color naranja, posteriormente presionar el botón park off (ubicado en el tablero de mando) éste botón permite liberar el freno para que el block viajero quede libre. Una vez cumplida con esta secuencia el sistema permitirá subir y bajar el block mediante el accionamiento del joystick.



Figura 10 Operación del malacate.

El botón override permite que el block se desplace hacia zonas no permitidas (esto es bajo la responsabilidad del operador), para ello el operario debe mantener presionado dicho botón y accionar el joystick; durante este modo de operación en la pantalla principal se refleja el estado del botón override a través de un led color verde para apagado y rojo para encendido. Finalmente para detener y mantener en estado de aparcamiento el block viajero, debe presionar el botón park on (ubicado en el tablero de mando).

Por otro lado, el sistema de circulación permite encender las bombas y ajustar sus emboladas (SPM) en forma individual o sincronizarlas para que operen al mismo valor (figura 11). A través de las perillas del tablero de mando se puede incrementar o decrementar el número de emboladas de cada bomba. Asimismo, de ser necesario se pueden detener ambas bombas, desde el tablero de mando, presionando el botón de paro de emergencia. De la misma forma que el malacate, para poder manipular las bombas en necesario tomar posesión de estas a través de botón Ownership.



Figura 11 Operación de las bombas.

#### 4. Discusión

Los resultados demuestran el correcto comportamiento del sistema de entrenamiento. El block sube o baja correctamente de acuerdo a la posición del joystick y las acciones realizadas a través del tablero de mando se reflejan en la pantalla del malacate o de las bombas, tal como se muestra en la figura 10 y figura 11.

Adicionalmente, el sistema de entrenamiento permite realizar otras funciones a través de interruptores táctiles, tales como: establecer límites de posición (superior e inferior) del block; mover lentamente el block; modificar la presión de las bombas; etc. Por tal motivo, el sistema de entrenamiento sólo puede ser utilizado en computadoras que tengan la función de pantalla táctil. En el presente trabajo se

realizaron las pruebas con una computadora portátil: procesador Intel Core i5, 8GB de memoria RAM, pantalla touch de 14 pulgadas.

## 5. Conclusiones

El sistema de entrenamiento desarrollado para equipos de perforación es de bajo costo y está diseñado para que pueda ser transportado con facilidad. Este sistema ofrece a los estudiantes la posibilidad de adquirir experiencia con la operación de los nuevos sistemas de control basados en interfaces HMI, tableros de control digital y joystick de cualquier equipo comercial. El operador manipulará el malacate y bombas de lodo con la confianza de que cualquier error, que se pudiera cometer, no se reflejará en un daño a personas o al equipo mismo.

Como trabajo futuro se pretende incorporar todos sistemas (potencia, rotación, etc.) que requieren un equipo de perforación. Para lo cual se utilizarán los interruptores y perillas disponibles en el tablero de mando. Asimismo, es necesario desarrollar las pantallas asociadas a cada componente. La inclusión de todos estos componentes permitirá contar con un sistema de entrenamiento más completo.

## 6. Bibliografía y Referencias

- [1] Un siglo de la perforación en México. Asociación de Ingenieros Petroleros de México. 2000. México.
- [2] R. Salas, Equipos de perforación y sus componentes. CIED: Centro Internacional de Educación y Desarrollo. Puerto de la cruz, Venezuela. 1995
- [3] El equipo de perforación y sus componentes. Schlumberger. México. 2013.
- [4] "Drilling Simulator Reduces Unplanned Events". World Oil. Vol. 226. No. 12. 2005. Pp. 9-10.
- [5] I. Vasilyevych y V. Kulikov, "High-accuracy simulator trains offshore oil platform operators". Offshore. Vol. 74. No. 6. 2014. Pp.56-59.
- [6] PIC16F887 Data Sheet. Microchip Technology. Estados Unidos. 2009
- [7] J. R. Lajara, J. Pelerí, Labview entorno gráfico de programación. 2da Edición. 2012. ALFAOMEGA. México

## **7. Autores**

M.C. Eddy Rabanales Márquez es profesor investigador de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, cursó sus estudios de Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería electrónica en la Universidad de las Américas Puebla. Ha participado en proyectos para CFE y la industria privada.

Dr. Reymundo Ramírez Betancour recibió el grado de Doctor en la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Morelia, México en 2012. Es profesor investigador en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Sus áreas de interés son el modelado de sistemas, control de procesos, control y simulación de los FACTS, así como el análisis en estado estático y dinámico de sistemas eléctricos de potencia.

M.I. Julio Cesar Ramírez Hernández recibió el grado de Maestría en la Universidad de Guanajuato, México. Actualmente es profesor investigador de la licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Dr. Fermín Martínez Solís es profesor investigador en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Recibió el grado de Doctor en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), Cuernavaca, México en 2013. Sus áreas de interés son instrumentación y control, mecatrónica aplicada a prótesis, control no lineal y electrónica de potencia.