

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO DE CONTROL CON ACCIONAMIENTO REMOTO INALÁMBRICO PARA EL MANEJO DEL ACUMULADOR DE PRESIÓN DEL BOP (BLOWOUT PREVENTER) DEL TALADRO DE PERFORACIÓN CPV23 DE LA EMPRESA PDVSA ECUADOR**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZA ARMADAS ESPE

INGENIERIA MECATRÓNICA

IVÁN PATRICIO ACOSTA PAZMIÑO

ANDRES ALEJANDRO PORRAS VIVANCO

[ivan1908@icloud.com](mailto:ivan1908@icloud.com)

[andres\\_u8@hotmail.com](mailto:andres_u8@hotmail.com)

## **RESUMEN**

El presente proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo inalámbrico del acumulador de presión para el taladro de perforación CPV-23 de la empresa PDVSA Ecuador, el mismo que permite, mediante la activación de electroválvulas controladas con un PLC, el accionamiento de las válvulas hidráulicas de apertura y cierre de los componentes del BOP. Este proyecto también integra la adquisición, normalización y escalado de señales de sensores de presión del acumulador, manifold, preventor anular, aire comprimido y unidad de prueba; así como del sensor de nivel TDR y de los proximitores que permitirán sensar el estado de las válvulas hidráulicas. El control y monitoreo del sistema se lo realizará desde dos paneles, uno ubicado en la casa del perro, el cual tendrá pulsadores para la apertura y cierre de los Rams del BOP, así como luces piloto que permitan visualizar el estado de las válvulas hidráulicas; y otro ubicado en la oficina del supervisor de 24 horas del taladro, el cual consiste en un HMI móvil e inalámbrico que permitirá visualizar todos los parámetros analógicos y digitales del sistema, así como accionar las válvulas del BOP. La comunicación entre el PLC y las estaciones control se la realizará inalámbricamente vía WIFI

industrial. El concepto también incluye un sistema de alarmas que permitirá alertar al personal en caso de alguna emergencia y un registro digital de las presiones de prueba de la BOP.

**Palabras clave:** CONTROL REMOTO, ACUMULADOR DE PRESIÓN, IWLAN, BOP, HMI.

### ABSTRACT

This project involves the design and implementation of a wireless monitoring and control system for the pressure accumulator of the drilling rig CPV- 23 of PDVSA Ecuador. This system actuates the hydraulic valves to open and close the BOP components, by activating solenoid valves controlled by a PLC. This design includes the acquisition, normalization and scaling of the TDR level sensor, the pressure sensors' signals of manifold, annular preventer, compressed air and the pressure test unit, and the proximity sensors in order to sense the status of the hydraulic valves. The control and monitoring of the system will be done from two panels. One of the panels, which is located in the dog house, will have both, buttons to open and close the BOP Rams and pilot lights to visualize the status of the hydraulic valves, and the other one, located in the office of then Rig Manager, consists of a mobile and wireless HMI to watch the analog and digital parameters of the system and actuate the BOP valves. The communication between the PLC and the monitoring stations are performed wirelessly via Industrial WIFI. The project also includes on the one hand, an alarm system that will alert the staff in case of emergency and on the other hand a digital record of the pressure tests of the BOP.

**Keywords:** REMOTE CONTROL, PRESSURE ACUMMULATOR, IWLAN, BOP, HMI.

### INTRODUCCIÓN:

La unidad BOP de un taladro de perforación petrolera constituye un sistema esencial en operaciones de control de pozos, por lo que el acumulador de presión debe garantizar un control efectivo para la apertura y cierre de las válvulas impide reventones remotamente.

El propósito de este proyecto es implementar un control

automatizado, remoto e inalámbrico para el acumulador de presión del taladro de perforación CPV23. Se ve la necesidad de desarrollar este proyecto, ya que el control del acumulador de presión juega un papel importante durante las operaciones de perforación y posibles emergencias. Por ello es fundamental que los controles remotos del acumulador de presión

proporcionen un óptimo funcionamiento para las operaciones y su accionamiento sea sencillo. Los paneles actuales, con los que se realiza las operaciones de control remoto del BOP, ocupan una tecnología obsoleta basada en accionamientos mecánicos de palanca; además de utilizar largas mangueras para llevar señales neumáticas que realizan el control de apertura y cierre de válvulas, no existen indicadores que muestren el estado de las válvulas. Todo esto impide que los paneles sean utilizados óptimamente y que en caso de alguna emergencia pueda fallar y ocasionar un evento no deseado.

La ejecución de este proyecto es importante, ya que interviene en el mejoramiento del sistema acumulador de presión para precautelar la seguridad de la operación y los operadores dentro del campo de trabajo. Es decir, el proyecto ayudará a manejar óptima, segura y de manera local o remota los accionamientos del acumulador de presión, y así mejorar su control para ejecutar las operaciones del taladro y evitar en caso de emergencia la venida y derrame de fluido del pozo en perforación. Además se justifica debido al ahorro de tiempo en las mudanzas que constantemente realiza el taladro una vez culminadas las operaciones de perforación en una localidad; pues al ser inalámbrico el sistema propuesto, es de fácil transporte.

### **ALCANCE:**

Este sistema permite realizar el monitoreo en tiempo real y operación del Sistema Acumulador de Presión, mediante la detección de estado y activación de válvulas hidráulicas de cuatro vías, lectura de presiones del Acumulador, Manifold, Preventor Anular y aire comprimido; control de la presión del diafragma del Preventor Anular y sensado de nivel del reservorio.

El sistema tiene dos estaciones de control remoto inalámbricas, una fija y otra móvil. La estación fija se ubica en la planchada de la torre de perforación junto al perforador y consta de un panel eléctrico con arreglo de luces piloto y pulsadores que permiten monitorear y controlar el Acumulador de Presión, además de activar las secuencias de alarmas generales del taladro como arremetida incendio, derrame o primeros auxilios.

La estación móvil es un panel táctil inalámbrico con un diseño HMI que permite la monitorización y activación del Acumulador de presión, así como también de las alarmas generales del taladro. Esta estación implementa la función de registrar digitalmente las presiones durante las pruebas de presión al conjunto BOP, realizadas previo a las operaciones de perforación de cada pozo; generando un reporte con la opción de imprimirlo para su respaldo. Todas las instalaciones,

estaciones e instrumentos de medición se diseñaron y seleccionaron en base a la norma API RP 16E “Prácticas Recomendadas para el Diseño de Sistemas de Control de Equipos de Control de Pozo”.

## METODOLOGIA DE DISEÑO

Para el desarrollo del sistema a implementar en el taladro se siguió la metodología de desarrollo de un producto detallada en el libro PRODUCT DESIGN AND DEVELOPMENT de Karl Ulrich.

### Mision Statement:

*“Aumentar la eficiencia y seguridad en el control de los acumuladores de presión de unidades BOP en las empresas de perforación petrolera”*

### Necesidades del Cliente:

1. El sistema permite controlar remotamente los Rams de la BOP.
2. El sistema aumenta la eficiencia y la seguridad en el control del acumulador.
3. El sistema no requiere mantenimiento complejo ni recurrente.
4. El sistema trabaja con la presión neumática de trabajo del acumulador.
5. El sistema permite regular la presión del Preventor Anular remotamente.

6. El panel permite visualizar todas las presiones del acumulador.
7. El sistema de control responde de una manera determinística.
8. El sistema permite el control en paralelo de las válvulas del acumulador.
9. El sistema posee permisos de accionamiento.
10. El sistema resulta fácil de utilizar para los usuarios.
11. El sistema es robusto y resistente.
12. El sistema permite observar en qué posición están las válvulas de cuatro vías.
13. El sistema permite visualizar el estado de la bomba eléctrica del acumulador.
14. El sistema posee alarmas de baja presión y bajo nivel de aceite hidráulico.
15. El sistema permite el accionamiento remoto de la válvula de Bypass.
16. El panel es accesible y está instalado en una locación remota de la planchada.
17. El sistema posee manómetros correctamente etiquetados.
18. Los elementos del sistema de control están protegidos contra daños.
19. El sistema es fácil de instalar.
20. El sistema es compacto.

### Quality Function Deployment (QFD)

El objetivo de esta etapa es generar las especificaciones del producto

que satisfagan las necesidades detectadas, así como las normas API, para posteriormente realizar el QFD que permita tener una idea más clara de lo que podría ser el producto a diseñar.

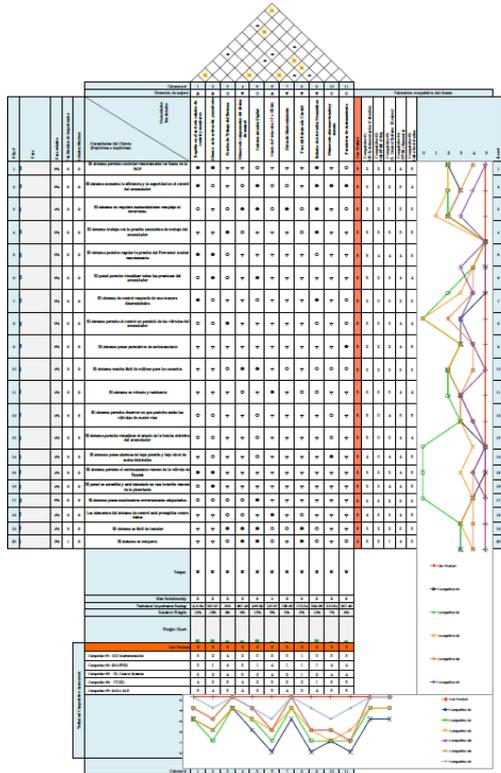


Ilustración 1: QFD

**SISTEMA MECÁNICO:**

El sistema mecánico está enfocado en el diseño de circuitos neumáticos de control así como de los elementos mecánicos necesarios.

**Diseño Neumático:**

El circuito neumático de activación de las válvulas de cuatro vías está compuesto por siete electroválvulas de 5 vías y 3 posiciones con centro a descarga, las cuales reciben aire comprimido desde el manifold de alimentación común. Estás

electroválvulas serán controladas directamente desde el PLC.

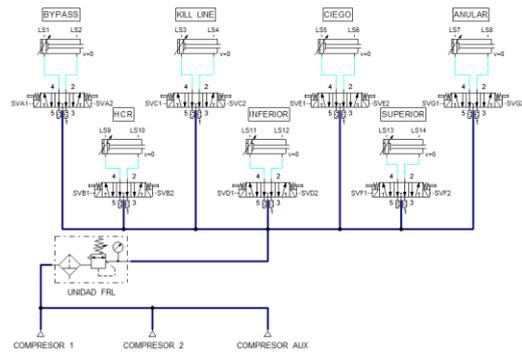


Ilustración 2: Circuito de Activación Válvulas Hidráulicas

El circuito de regulación de la presión de cierre del preventor anular está conformado principalmente por una válvula proporcional reguladora, la cual es controlada por el PLC, el cual se basa en un control PI en lazo cerrado, recibiendo la señal de retroalimentación del transductor de presión del preventor anular y el valor de la consigna (Set Point) directamente desde el panel remoto inalámbrico.

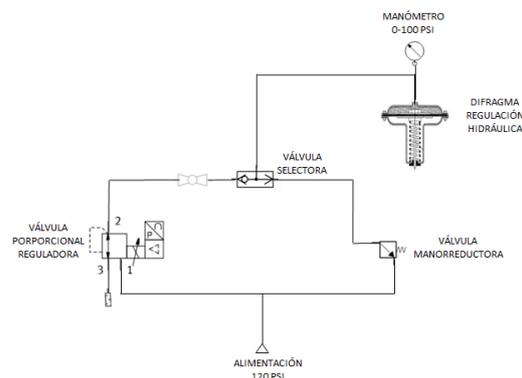
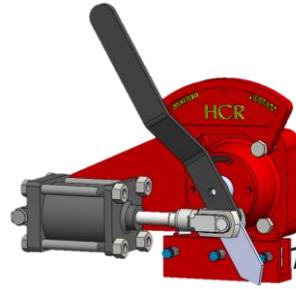


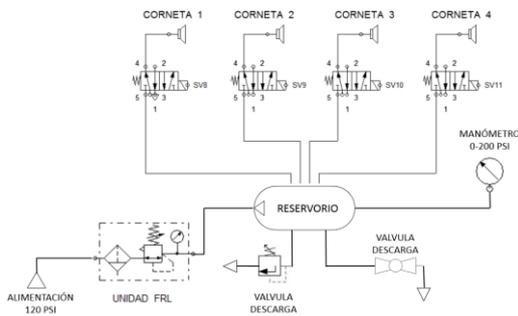
Ilustración 3: Circuito de Regulación de Presión del Preventor Anular

Para la activación de las alarmas generales del taladro, de utilizaron cornetas neumáticas, cuya activación está controlada por electroválvulas que reciben la señal desde el módulo de periferia descentralizada. Para garantizar el sonido uniforme de las cornetas se diseñó un depósito de 10lts de volumen, el mismo que evita las caídas de presión en el sistema.

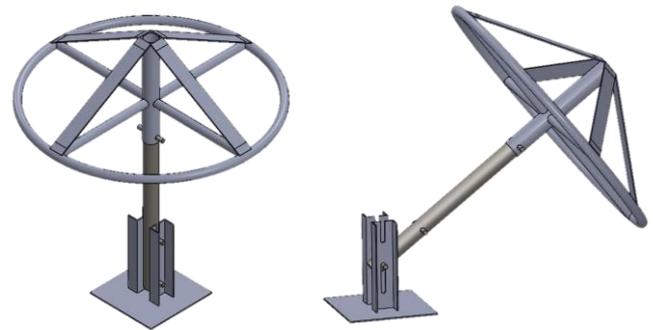


*Ilustración 6: Ensamblaje en Válvulas Hidráulicas*

#### SOPORTE DE CORNETAS:



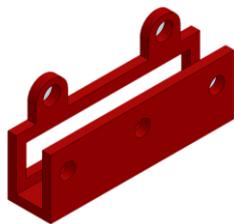
*Ilustración 4: Circuito de Cornetas de Alarmas*



*Ilustración 7: Soporte de Cornetas*

#### Diseño de Elementos Mecánicos:

##### SOPORTE DE SENSORES INDUCTIVOS:



*Ilustración 5: Soporte Sensores Inductivos*

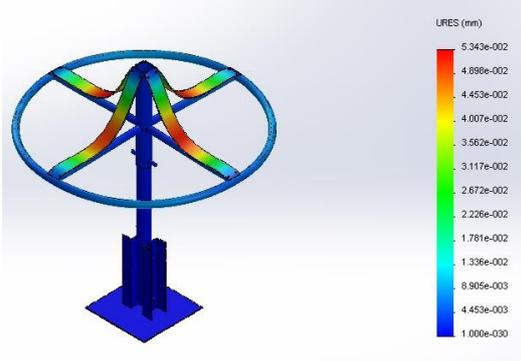
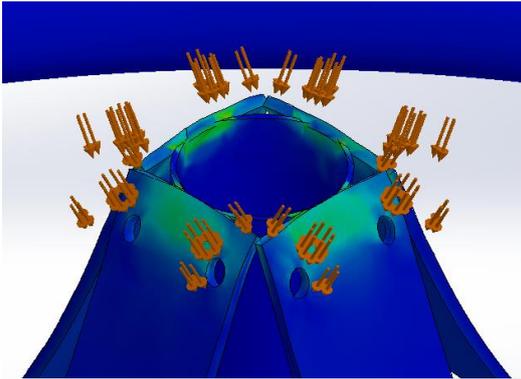
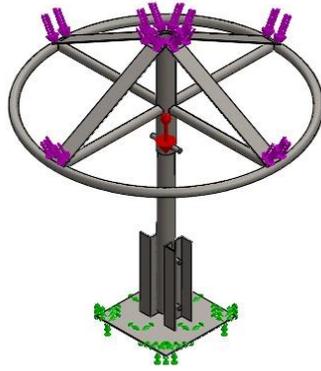


Ilustración 8: Análisis CAE (Solid Works)

SOPORTE DE GABINETE DE CONTROL:

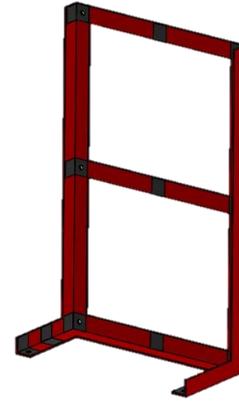


Ilustración 9: Soporte Gabinete de Control

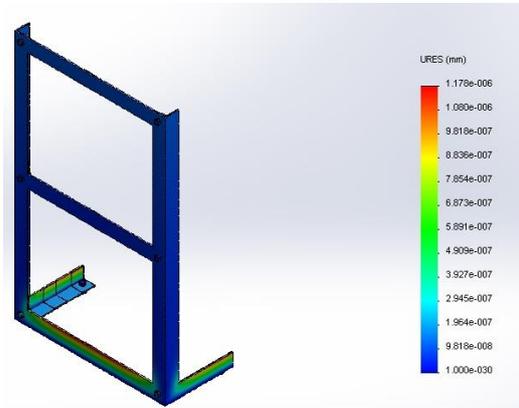
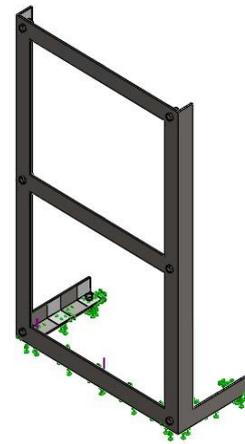
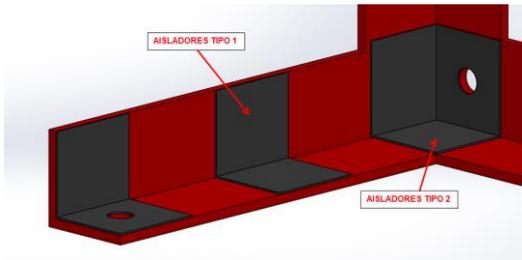


Ilustración 10: Análisis CAE (Solid Works)

**Análisis de Vibraciones:**

Para reducir la transferencia de vibraciones producidas por el motor

que alimenta la bomba triplex de presurización del acumulador, se diseñaron amortiguadores de Geomembrana de dos áreas transversales diferentes, teniendo en cuenta la velocidad del motor y el peso total que va a soportar la base del gabinete de control para calcular la frecuencia natural y la deflexión estática.



*Ilustración 11: Amortiguadores en Base*

### SISTEMA ELÉCTRICO:

Para la alimentación de los dispositivos de corriente continua se seleccionaron cuatro fuentes de 24VDC de la marca SIEMENS modelo SITOP.



*Ilustración 12: Fuente 24VDC SITOP Siemens*

Para la protección de todos los equipos se ocupó tanto fusibles, según el consumo individual de equipos, como disyuntores para la

protección de cada gabinete de control.

### Instrumentación:

Los sensores para la medición de las variables: Presión, Presencia y Nivel, tienen un grado de protección IP67 y están diseñados para áreas CLASE 1 DIVISIÓN 1, según requerimiento de la norma API RP 16E. Estos sensores envían una señal de 4 a 20mA hacia las entradas analógicas del PLC.

### SISTEMA DE CONTROL:

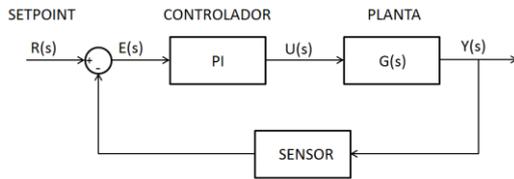
El sistema de control está basado en un PLC Siemens S7-1200, el cual se encuentra comunicado con un módulo de periferia descentralizada ET200S y con un panel HMI móvil.

### Accionamiento de Válvulas Hidráulicas:

El PLC recibe señales comandadas por el usuario desde el panel móvil o desde el panel eléctrico y comanda las electroválvulas de accionamiento de las válvulas hidráulicas, además de sensar el estado de las mismas mediante los proximitores.

### Regulación de Presión Anular:

El PLC recibe el valor de consigna ingreso desde el panel móvil, y en base al controlador en lazo cerrado PI envía la corriente necesaria para la activación de la válvula proporcional reguladora.



*Ilustración 13: Lazo de control*

### Monitoreo de Variables:

El PLC recibe las señales de cada uno de los sensores de presión y el sensor de nivel, normaliza y escala estos valores para ser luego presentados en el panel HMI móvil.



*Ilustración 14: Pantalla Presión Preventor Anular*

### Activación de Alarmas Generales:

El PLC envía la señal de activación de las electroválvulas de las cornetas, según el tipo de alarma que sea activada por el usuario, ya sea desde el panel móvil o desde el panel eléctrico.

### HMI:

Se seleccionó un panel móvil inalámbrico marca SIEMENS modelo IWLAN 277.

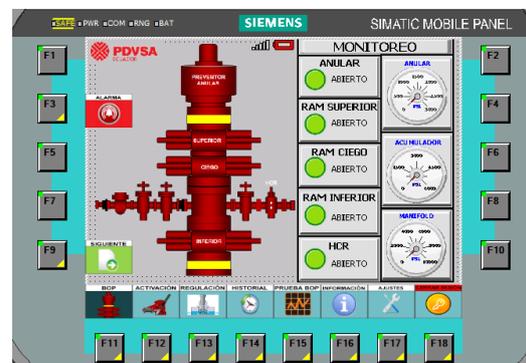
Para el diseño de las pantallas del HMI se utilizó la norma GEDIS.



*Ilustración 15: Panel Siemens IWLAN 277*



*Ilustración 16: Pantalla de Inicio*

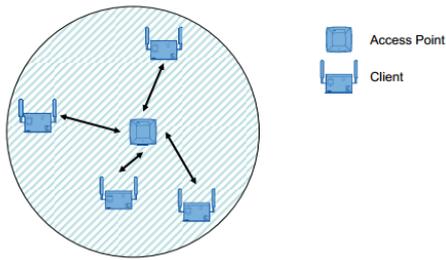


*Ilustración 17: Pantalla Principal BOP*

### SISTEMA DE COMUNICACIÓN:

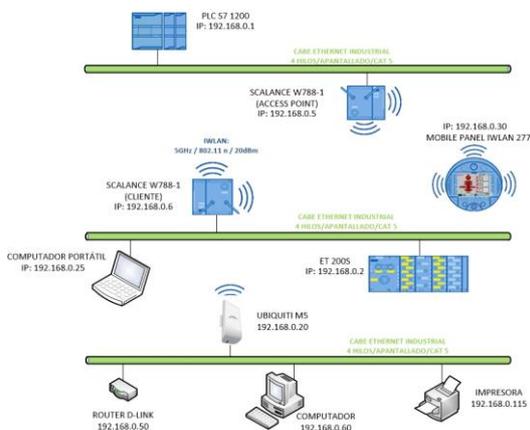
EL sistema de comunicación inalámbrica PROFINET, se basa en una configuración STAND ALONE. Los clientes se comunican

directamente con el ACCESS POINT ubicado en el gabinete de control #1.

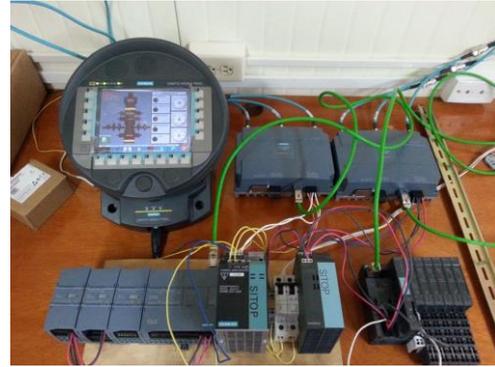


*Ilustración 18: Configuración STAND ALONE*

La topología del sistema se puede observar a continuación:



*Ilustración 19: Topología Comunicación*



*Ilustración 20: Pruebas de Comunicación*



*Ilustración 21: Prueba Detección de Estado*

Se logró detectar el estado de las válvulas de cuatro días, sensar las presiones y el nivel de aceite hidráulico del acumulador, y visualizar estos valores desde el panel inalámbrico. Así también fue posible realizar la regulación de la presión de cierre del Preventor Anular.



*Ilustración 22: Panel Móvil*

**PRUEBAS Y RESULTADOS:**



*Ilustración 23: Panel Eléctrico*

### CONCLUSIONES:

- El sistema mecatrónico instalado logró reducir en un 70% los componentes mecánicos presentes en el control de accionamiento de la unidad preventora BOP, además de eliminar por completo los tiempos de montaje y desmontaje durante mudanza, ya que la instalación del sistema es fija y no requiere de ningún tipo de desconexión adicional.
- El tiempo de activación promedio del panel remoto neumático antiguo era del alrededor de 30 a 40 segundos, dependiendo de la ubicación del panel. El tiempo de activación promedio del nuevo panel inalámbrico es de alrededor de 5 segundos, por lo cual este tiempo se redujo en aproximadamente 80%.
- La distancia máxima a la que se podía realizar el control de la activación del BOP con el panel neumático antiguo era de 40 metros en línea recta hacia el acumulador. El panel inalámbrico permite realizar el control del pozo, además de alertar al personal de la presencia de un evento a una distancia de 100 metros a la redonda, con la finalidad de precautelar la integridad física de las personas encargadas de la activación de los rams de la BOP incrementando la seguridad durante estas operaciones.
- La eliminación de mangueras neumáticas de envío de señales de activación hacia el acumulador de presión y la instalación de equipos inalámbricos permite descartar completamente fallas en la activación causadas por fugas en las líneas, además de aumentar considerablemente el tiempo de respuesta.
- El tiempo de la realización de las pruebas de presión a la unidad BOP, se logró disminuir en un 40%, debido a que tanto el accionamiento de los rams como el registro de presiones se lo realiza directamente desde el panel remoto, además de evitar un paro en las pruebas causado por fallas en el registrador circular de presiones. La precisión de la medida de presión aumenta

considerablemente ya que la apreciación de la lectura es de 1 PSI, a diferencia del manómetro de 20000 PSI de escala que tiene una apreciación de 200 PSI.

- Una vez realizadas las pruebas de funcionamiento a todo el equipo y transcurridos 4 meses de operación, además de haber pasado la inspección realizada por técnicos de la operadora Río Napo, se aprobó la instalación de este sistema en el taladro CPV-16 de PDVSA, la misma que se realizará próximamente.

#### **RECOMENDACIONES:**

- Una vez dictado el curso de capacitación al personal que está involucrado directamente en las operaciones de control del pozo, se recomienda seguir todas las instrucciones recibidas para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.
- En el caso de tener alguna duda o de necesitar información adicional acerca de la operación del equipo remitirse al manual de usuario adjunto.
- Para garantizar un óptimo funcionamiento del sistema se debe seguir las instrucciones especificadas en la guía de mantenimiento adjunta en el manual de usuario.

- Dejar la línea de vista de las antenas de comunicación en lo posible sin obstáculos para no reducir el alcance en la comunicación.
- Durante actividades de limpieza del acumulador de presión y de la casa del perro, evitar dirigir chorros de alta presión de agua hacia los sensores inductivos, sensor de nivel, antenas de comunicación, luces piloto, pulsadores y gabinetes.
- Durante actividades de pintura del acumulador de presión evitar pintar los equipos electrónicos.

#### **BIBLIOGRAFÍA:**

- API, A. (3 de Marzo de 1997). API Standard RP 53. Recommended Practices for Blowout Prevention Equipment Systems for Drilling Wells.
- Azima. (2012). Vibration analysis reference.
- CAMERON, C. (2002). Replacement Parts Catalog TC 1001.

Carl T. Ulrich, S. D. (2008). *Product design and developments*

(5ta Ed. ed.). McGraw-Hill.

COPCO, A. (2011). Manual de aire comprimido . Bélgica.

FESTO. (Febrero de 2009).

Solenoid Valves CPE,

Compact Performance.

Hydrill. (2009). Blowout Preventers

Catalog M-9402 D. Houston,

Texas.

Mazzone, V. (Marzo de 2002).

Controladores PID. Quilmes,

Argentina.

Mott, R. L. (2006). *Mecánica de*

*Fluidos*. México: Pearson

Education.