

# Diseño e implementación de una estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación del grado de asentamiento de sedimentos y agua (BS&W) del petróleo

Manuel Jaramillo<sup>1</sup>

**Resumen**—El presente documento describe el proceso del diseño e implementación de una estación para la automatización del proceso de medición del grado de asentamiento de sedimentos y agua (BS&W) en el petróleo, para este propósito se ha incluido en el proceso un manipulador robótico del tipo cilíndrico que realizará las tareas de tomar y posicionar objetos en la estación brindando de esta forma precisión y exactitud al proceso mencionado.

## I. INTRODUCCIÓN

El petróleo crudo es una mezcla de muchos hidrocarburos que varían de tipo, peso molecular y punto de ebullición; su mérito consiste en los muchos productos que de él se pueden obtener en una refinería. El crudo se clasifica, según una escala adoptada por el Instituto Americano de Petróleo, de acuerdo a sus en inglés API en: condensados, liviano, mediano, pesado, extra pesado. La API se determina a partir de la densidad del crudo, existen diferentes métodos de determinarla.

Además de los grados API uno de los parámetros de mayor interés en relación al crudo es el BS&W el cual por sus siglas en inglés determina la cantidad de asentamiento de sólidos y agua que se encuentran mezclados en el crudo. Para determinar el grado BS&W del petróleo se utiliza la prueba ASTM D4007 la cual se basa en someter una muestra a un movimiento rotativo, que induce a la separación de los componentes en virtud de las distintas masas, inducido por la fuerza centrífuga.

Cuando se obliga una masa a desviarse de la trayectoria rectilínea que tiende a seguir, mediante una fuerza en dirección al centro de la curvatura de su trayectoria, dicha fuerza se llama

centrípeta, y la reacción, igual y contraria se conoce como fuerza centrífuga; lo que permite que el agua y sedimentos presentes en la muestra se depositen en el fondo del tubo de centrifugación. El proceso tradicional para medir el grado BS&W se muestra en la figura I.

Una vez detallado el proceso de medición del grado BS&W es importante destacar que el presente proyecto propone la automatización del mismo mediante la inclusión de un manipulador robótico cilíndrico, el cual se encargará de realizar las tareas de posicionamiento de las muestras de crudo en las diferentes zonas de la estación, logrando de esta manera una mayor exactitud en el proceso. En la figura II se muestra el proceso a implementar en el presente proyecto.

## II. REHABILITACIÓN DEL MANIPULADOR ZYMARK

### A. Articulación prismática para el movimiento en el eje Z

En primer lugar, es importante destacar que la articulación encargada de brindar el movimiento para el eje Z, es decir la articulación que se encarga de subir y bajar presentaba daños estructurales que impedían que la misma pueda moverse. La articulación en cuestión se muestra en la figura III.

El primer trabajo de rehabilitación fue reemplazar la polea dañada por una de un material igual de resistente que la original (la polea original era de cable). El material seleccionado fue posteriormente cubierto de termo-contráible a fin de proveer de mayor resistencia al mismo. El juego de doble

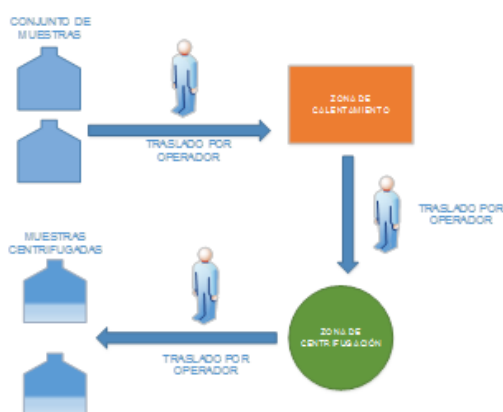


Fig. 1. Proceso normal para la medición del grado BS&W

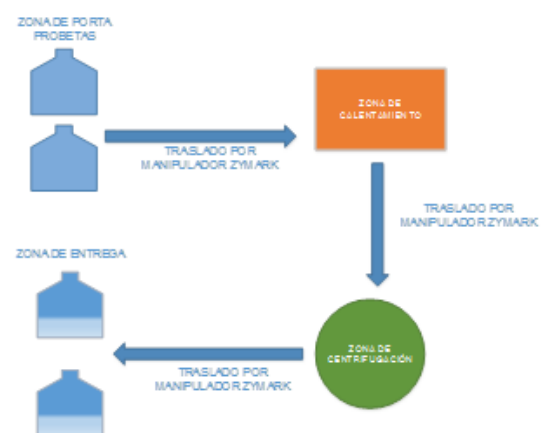


Fig. 2. Proceso automatizado de medición del grado BS&W



Fig. 3. Articulación prismática para el movimiento en el eje Z

poleas en condiciones óptimas se muestra a en la Figura IV en donde la polea reemplazada se puede ver de color negro y la polea original se muestra en color azul.

Una vez que se encontró un reemplazo para la polea dañada, el siguiente paso en la reparación de la articulación consistió en colocar de manera adecuada el juego de poleas en la

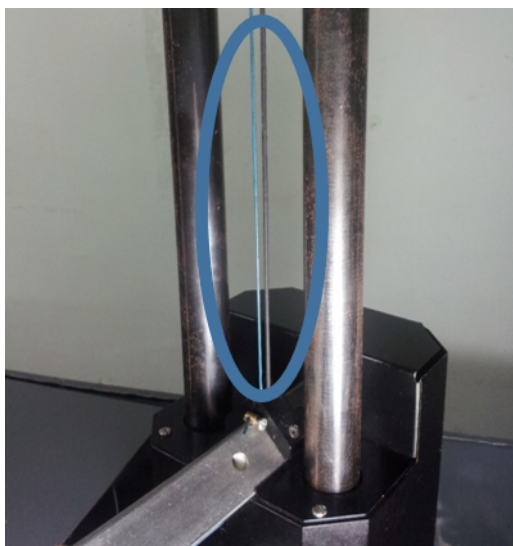


Fig. 4. Rehabilitación de la articulación prismática del eje Z

pieza a modo de tambor que es la encargada de transmitir el movimiento del motor a la articulación, de esta manera se transmite el movimiento del motor a las poleas y estas a su vez se encargan de subir y bajar la articulación a lo largo del eje Z.

#### B. Reemplazo del motor para el movimiento de la articulación del eje Z.

El segundo problema con la articulación prismática del eje Z es la falta de un motor funcional que permita el desplazamiento de la articulación a lo largo del eje mencionado. Originalmente se disponía de un motor DC de 12V marca Pittman que poseía una caja reductora con una relación de 30 a 1 es decir que por cada 30 revoluciones del motor, la caja reductora proveía de una revolución que se transmitía a la articulación. Uno de los principales parámetros que se consideró para buscar un reemplazo al motor es que el mismo posea una caja reductora de mayor torque que es decir una relación mayor de reducción que el motor original: la razón de esto es que al poseer un motor cuya caja reductora tenga estas características se garantizará que la articulación tenga menos inercia y soporte un mayor peso en los materiales u objetos que el manipulador robótico sujete. Considerando los criterios mencionados, los parámetros del motor elegido se muestran en la tabla I.

Tabla I  
PARÁMETROS DEL MOTOR DE REEMPLAZO

Nombre del parámetro	Valor
Serie del motor	GM9413-3
Voltaje de trabajo	12V
Revoluciones por minuto	800
Corriente sin carga	0.1A
Consumo nominal de corriente	1A
Relación de reducción	65.5:1
Torque de caja reductora	1.25 N-m
Eficiencia del motor	0.66

### III. DISEÑO DE LA ESTACIÓN

En primer lugar se debe diseñar un área diseñada para la zona de centrifugación, esta área debe tener una zona de contención en caso de que haya fugas de crudo y una zona encargada de rodear la centrífuga a fin de que sirva de protección para el usuario. Debido a las características de robustez necesarias para el sistemas de decidió diseñar en acero inoxidable mediante planchas de TOL de 3mm de grosor. En la figura V se presenta el diseño de esta zona.

Una vez diseñada la zona para el área de centrifugación, el manipulador ZYMARK debe ubicarse de manera tal que su volumen de trabajo pueda interactuar con la centrífuga y el resto de la estación, en la figura VI se muestra el diseño de la mejor ubicación para colocar al manipulador robótico.

El siguiente paso es diseñar las zonas de entrada de materia prima, las zonas de calentamiento y las zonas de entrega de componentes centrifugados; estas zonas se han diseñado a manera de estar sobre la base del manipulador robótico ZYMARK para que el mismo pueda interactuar fácilmente con las mismas. En la figura VII se muestra el diseño de las mencionadas zonas.

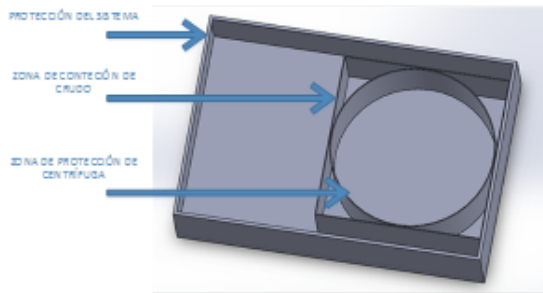


Fig. 5. Diseño de la zona de centrifugación

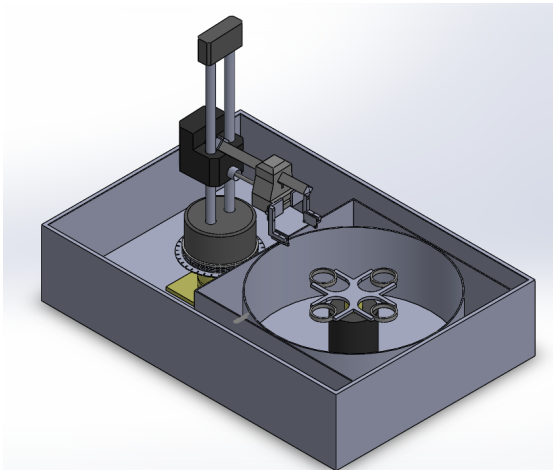


Fig. 6. Ubicación del manipulador ZYMARK en la estación

#### A. Instalación de los componentes en el área próxima al manipulador ZYMARK

En el área cercana al manipulador ZYMARK se dispone del espacio suficiente para instalar componentes necesarios del sistema, es así que se decidió aprovechar este espacio para instalar una serie de componentes. Los componentes que se instalaron en el área cercana al manipulador ZYMARK son la Fuente de alimentación DC, los Drivers para motores DC y el módulo ARDUINO relé de 5VDC. La disposición de estos componentes se muestra en la Figura VIII.

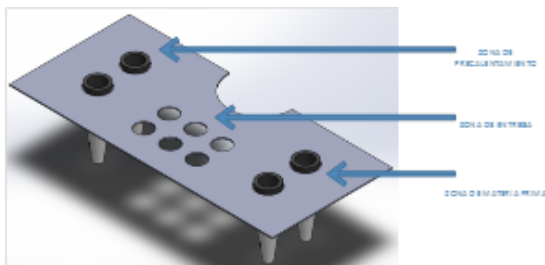


Fig. 7. Zonas de trabajo con probetas de crudo

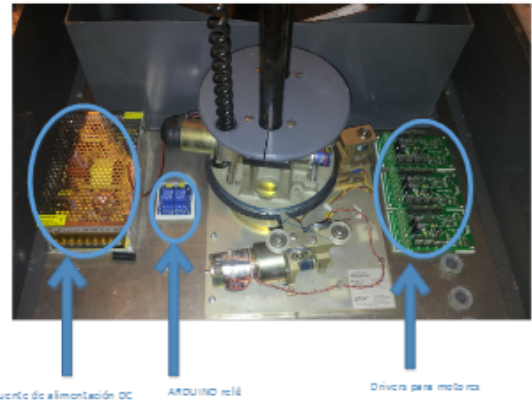


Fig. 8. Instalación de los componentes cercanos al manipulador ZYMARK

#### B. Instalación de la centrífuga Robinson.

Al igual que se indicó en el diseño de la Zona de centrifugación, la centrífuga Robinson junto con el sensor de color TCS3200d se colocarán en dicha área. La centrífuga Robinson instalada en su zona determinada se muestra en la figura IX.

#### C. Disposición de los componentes en el tablero de control

Externamente el tablero de control únicamente dispone de los pulsadores para encender y apagar el sistema y del botón de parada de emergencia.

La instalación de estos componentes se muestra en la figura X, en la cual es importante mencionar que se está presentando una vista frontal del panel de control y por lo tanto únicamente se visualizan los pulsadores del sistema, estando el resto de componentes en el interior del mismo.

Internamente el tablero de control posee la tarjeta ARDUINO Mega 2560, Breaker, fusibles, relés y borneras. La disposición de estos elementos dentro del tablero de control se indica en la Figura XI.

Finalmente en la figura XII se presenta el resultado de la implementación física de la estación en la cual se distingue el



Fig. 9. Instalación de la centrífuga Robinson

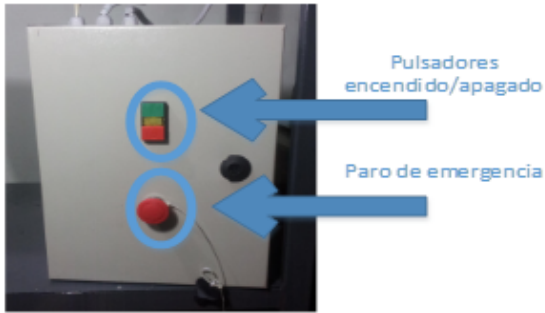


Fig. 10. Vista frontal del panel de control

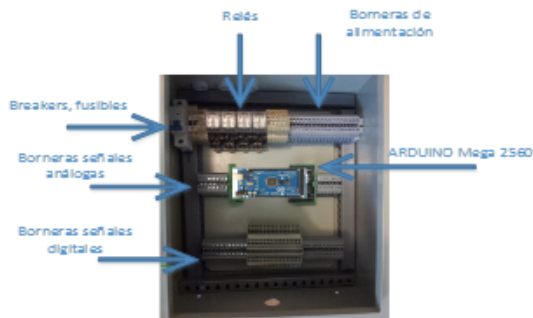


Fig. 11. Disposición de los componentes en el panel de control



Fig. 12. Resultado final de la implementación

área de trabajo y el panel de control; cumpliendo cada una de ellas con los requisitos de diseño mencionados previamente.

#### IV. RESULTADOS

##### A. Precisión de la articulación rotacional

Debido al movimiento que se realiza en esta articulación y a las mediciones del sensor de posición se tiene la siguiente información relacionada a la precisión de esta articulación mostrada en la Tabla II, en la cual se muestran parámetros que definen la precisión del movimiento de la articulación.

Tabla II  
RESOLUCIÓN DE LA ARTICULACIÓN ROTACIONAL

Detalle	Valor
Rango de movimiento angular	0 - 240°
Rangos de voltaje	0.76 V ? 4.51 V
Rangos de lectura analógica en la tarjeta ARDUINO de 10 bits	155 ? 922 unidades
Variación del voltaje del sensor	3.75 V
Variación de bits en el sensor	767 unidades
Resolución de la articulación	0.31 Grados de movimiento físico por cada incremento unitario de la unidad de software (equivalente al valor digital del sensor de posición).

##### B. Precisión de la articulación prismática para el eje Z

Debido al movimiento que se realiza en esta articulación y a las mediciones del sensor de posición se tiene la siguiente información relacionada a la precisión de esta articulación, mostrada en la Tabla III.

Tabla III  
RESOLUCIÓN DE LA ARTICULACIÓN PRISMÁTICA PARA EL EJE Z

Detalle	Valor
Rango de movimiento lineal	0 ? 38cm
Rangos de voltaje	3.57 V ? 2.03 V
Rangos de lectura analógica en la tarjeta ARDUINO de 10 bits	730 ? 415 unidades
Variación del voltaje del sensor	1.54 V
Variación de bits en el sensor	315 unidades
Resolución de la articulación	1.2mm de movimiento físico por cada incremento unitario de la unidad de software (equivalente al valor digital del sensor de posición).

##### C. Precisión de la articulación prismática para el eje Y

La articulación prismática para el movimiento en el eje Y es decir la articulación que realiza el movimiento en el eje horizontal, es capaz de realizar un desplazamiento lineal de 13cm desde la base del manipulador ZYMARK. Por lo tanto debido al movimiento que se realiza en esta articulación y a las mediciones del sensor de posición se tiene en la Tabla IV la información relacionada a la precisión de esta articulación.

Tabla IV  
RESOLUCIÓN DE LA ARTICULACIÓN PRISMÁTICA PARA EL EJE Y

Detalle	Valor
Rango de movimiento lineal	0 ? 13cm
Rangos de voltaje	1.00 V ? 2.56 V
Rangos de lectura analógica en la tarjeta ARDUINO de 10 bits	204 ? 523 unidades
Variación del voltaje del sensor	1.56 V
Variación de bits en el sensor	319 unidades
Resolución de la articulación	0.4 mm de movimiento físico por cada incremento unitario de la unidad de software (equivalente al valor digital del sensor de posición).

#### D. Precisión del elemento terminal o gripper

El elemento terminal cuyo trabajo es interactuar directamente con las probetas puede realizar un desplazamiento de 3.1cm es decir se puede cerrar en su totalidad y abrirse para tomar objetos de hasta 3.1cm de largo. Por lo tanto debido al movimiento que realiza el gripper y a las mediciones del sensor de posición se tiene en la Tabla V la siguiente información relacionada a la precisión del elemento terminal.

Tabla V  
RESOLUCIÓN DEL GRIPPER

Detalle	Valor
Rango de movimiento lineal	0 ? 3.1cm
Rangos de voltaje	2.44 V ? 4.57 V
Rangos de lectura analógica en la tarjeta ARDUINO de 10 bits	499 ? 935 unidades
Variación del voltaje del sensor	2.13 V
Variación de bits en el sensor	436 unidades
Resolución de la articulación	0.7 mm de movimiento físico por cada incremento unitario de la unidad de software (equivalente al valor digital del sensor de posición).

#### E. Error de posicionamiento de las articulaciones del manipulador ZYMARK

Al haber realizado el análisis del posicionamiento logrado por el manipulador ZYMARK en cada una de las zonas de trabajo de la estación, es importante resumir los errores cometidos por las articulaciones en las tareas de posicionamiento y de esta manera obtener un error general cometido por cada articulación, en la Tabla VI se detallan los errores globales de las articulaciones del manipulador ZYMARK en el proceso de posicionamiento, en donde UA es la abreviatura para unidades adimensionales.

Tabla VI  
ERROR DE POSICIONAMIENTO DEL SISTEMA

Articulación	Error absoluto global [UA]	Resolución de la articulación	Error en unidades físicas
Rotacional	-0.25	0.31 [?/UA]	-0.08 [?]
Prismática eje Z	0.05	1.2 [mm/UA]	0.06 [mm]
Prismática eje Y	-0.23	0.4 [mm/UA]	-0.9 [mm]

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### A. Conclusiones

Se logró cumplir con el diseño y la implementación de la estación de precalentamiento y centrifugación para la determinación del grado de asentamiento de sedimentos y agua (BS&W) del petróleo en base al estándar ASTM D4007.

Se rehabilitó satisfactoriamente el manipulador robótico ZYMARK tanto en su estructura mecánica como eléctrica, siendo en su mayoría los componentes defectuosos reemplazados por nuevos.

La etapa de potencia para activación de los motores DC del sistema se implementó a partir de componentes de hardware existentes en el mercado a fin de brindar una mayor robustez al sistema.

Se aprovechó de las nuevas tecnologías en el campo de control basadas en sistemas microcontrolados para la implementación del sistema de control global del sistema utilizando una tarjeta ARDUINO MEGA 2560, la cual provee al sistema de una gran flexibilidad al ser fácil de programar y de esta manera poder cambiar las condiciones de trabajo de la estación a conveniencia del programador.

Se logró automatizar el proceso de medición del grado BS&W del petróleo con la integración del manipulador ZYMARK, haciendo más rápido, eficiente y preciso el mencionado proceso.

El proceso de diseño mecánico de la estación permitió desarrollar destrezas ajenas al campo de la electrónica como por ejemplo el diseño mecánico, utilizando en este campo software especializado como es el caso de SOLID WORKS, expandiendo de esta manera los conocimientos que un ingeniero en electrónica debe poseer.

Al realizar pruebas de desempeño sobre la estación implementada, los parámetros obtenidos fueron satisfactorios al comprobar mediante los mismos que la estación trabaja conforme al diseño, constatando de esta manera las ventajas de utilizar un manipulador robótico cilíndrico en un proceso industrial con tareas de tomar y posicionar elementos.

La elaboración de la documentación mecánica y eléctrica de la estación y el manipulador ZYMARK tiene como propósito ayudar a futuros proyectos que se realicen sobre la estación y que tomen como punto de partida el presente trabajo.

### B. Recomendaciones

Para la elaboración de futuros proyectos se vuelve importante la implementación en hardware de un sistema que

permita el monitoreo del valor exacto de la temperatura en los precalentadores para que se pueda realizar un control adecuado de los mismos.

Uno de los principales inconvenientes al trabajar con centrífugas de crudo es el arranque inicial brusco que presentan las mismas, haciendo que las probetas de centrifugación en ocasiones terminen dañadas o incluso rotas, razón por la cual se sugiere como trabajo futuro realizar en control de velocidad de la centrífuga.

La estación de medición del grado BS&W del presente proyecto tiene como objetivo trabajar en los laboratorios móviles de las unidades MTU (MOVIL TEST UNIT) de crudo, motivo por el cual se sugiere como trabajo futuro la TELE ? OPERACIÓN de la estación a fin de que la misma pueda ser operada por el usuario sin necesidad de que el mismo este en el área de perforación.

A fin de que el proyecto tenga un alcance comercial se sugiere como proyecto futuro la implementación de un interfaz humano máquina HMI a fin de que la estación pueda ser manejada por un operario no especializado o con un conocimiento no muy profundo de la misma.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] A.S.O.T materials, Prueba ASTM D4007 2014, en línea, disponible en <http://www.astm.org>.
- [2] ARDUINO, Arduino CC 2013, en línea, disponible en <http://arduino.cc>.
- [3] I. T. I. CALDAS, Automatización y robótica educativa 2004, en línea, disponible en <http://automatica.mx>.
- [4] I. t. s. Calkini, Instituto tecnologico superior de Calkini 2009, en línea, disponible en <http://itescam.edu.mx>.
- [5] CHINT, CHINT componentes eléctricos 2013, en línea, disponible en <http://chint.net>.
- [6] B. electronics, Bourns electronicos 2014, en línea, disponible en <http://alliedelec.com>.