

Diseño e implementación del sistema de control de un separador de producción trifásico

Design and implementation of triphase production separator control system

Arias Cruz, Yazmin¹, Castro Sotaquira, Dionel²,
Morales Escobar Leidy Yarice³, Siabato Fonseca, Joan Sebastián³
Fundación Universitaria de San Gil – UNISANGIL, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería
Programa Ingeniería Electrónica
Yopal, Colombia

earias@unisangil.edu.co
dcastro@unisangil.edu.co
lmorales@unisangil.edu.co
jsiabatol@unisangil.edu.co

Fecha de Recepción: 16 de diciembre de 2015
Fecha de Aceptación: 28 de febrero de 2017

Resumen— Este artículo presenta los resultados obtenidos en el diseño e implementación de un sistema de control capaz de monitorear la división interna realizada por un separador de producción trifásico, empleado normalmente en la industria de hidrocarburos. El objetivo del proyecto consiste en obtener la interfase que permita la separación del agua y el aceite, mediante el uso de un controlador neumático. El proyecto comprende la construcción hidráulica y mecánica del separador, incluyendo partes internas y principales aberturas del tanque. En la primera sección se presenta la clasificación de los equipos y elementos que serán utilizados en la construcción del prototipo, en la segunda sección las dimensiones y proceso de construcción del separador trifásico y, además, las propiedades físicas de los fluidos (aceite para motor 40 w, agua, aire), luego se describen las características operacionales y de producción, y la tercera sección contiene la descripción del sistema de control. El estudio culmina estableciendo conclusiones y recomendaciones; a la espera de que sean de ayuda técnica para quienes requieran información acerca del diseño de un separador trifásico horizontal.

Palabras clave— Separador de producción trifásico, separación gas-líquido, diseño de separación, controlador eléctrico de nivel, controlador neumático.

Abstract— This article shows the results obtained in the design and implementation of a control system capable of monitoring the internal division by a production phase separator normally used in the hydrocarbon industry. The project objective is to obtain the interface that allows the separation of oil and water using a pneumatic controller. The project includes the hydraulic and mechanical construction of the separator, including internal parts

and main openings of the tank. The first section presents the classification of the equipment and elements that will be used in the construction of the prototype, in the second section the dimensions and process of construction of the three-phase separator and also the physical properties of the fluids (Oil for motor 40 w, water, air), then the operational and production characteristics are described, and the third section contains the description of the control system. The study culminates in conclusions and recommendations; hoping they will be of technical assistance to those who require information about the design of a three-phase horizontal separator.

keywords— Horizontal three-phase production separator, gas-liquid separation, separation design, electric level controller, pneumatic controller.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el petróleo es uno de los recursos naturales no renovables [1] más utilizados e indispensables para el ser humano, y representa según las estadísticas en [2], la mayor tasa de uso de la energía que consume el mundo. Del petróleo se derivan directa e indirectamente productos de diferentes tipos [3], entre ellos: la gasolina, combustibles diésel, gases de hidrocarburos, aceites y cera.

El proceso de extracción del petróleo o crudo se realiza mediante la perforación de un pozo sobre el yacimiento. Para sacar el crudo del pozo es necesario tener altas presiones, por lo cual es necesario utilizar bombas y otros equipos de

¹ Ingeniero electrónico, Docente UNISANGIL

² Ingeniero electrónico, Especialista en Automatización de procesos industriales, Docente UNISANGIL

³ Estudiante ingeniería electrónica, UNISANGIL

extracción. Lo que sale del pozo de perforación no es más que una mezcla irreconocible de agua, gas, arena y crudo; esta mezcla requiere la implementación de un mecanismo que logre la separación controlada de los componentes.

Luego del proceso de extracción, el crudo es transportado por oleoductos hasta las estaciones en donde se realizan procesos de separación de componentes, con el fin de sacar los elementos más volátiles y enviar lo que sirve hacia las refinerías, para su respectivo tratamiento como se presenta en [4].

En la estación es de vital importancia el equipo de separación general que permite separar líquidos de gases. Es un proceso fundamental para la producción de crudo y su almacenamiento, para posteriormente ser trasladado a las refinerías. Una de las principales características de estos separadores trifásicos [5], como se señala en [6], es que cuentan con varios componentes en su interior que facilitan la separación de crudo gas y agua. Existen también varias boquillas para las conexiones de carga y descarga del producto, y para todos los instrumentos del recipiente. Estas boquillas están destinadas a la conexión de instrumentos tales como: el indicador de nivel, el transmisor de nivel de crudo, el transmisor de interface de crudo-agua, la válvula de presión, entre otros.

Los separadores trifásicos son diseñados para ser anclados a la superficie terrestre y conformar un solo grupo de equipos, a los que llaman estación de bombeo. De acuerdo a lo anterior, una de las necesidades que tienen las empresas petroleras es tener entre sus equipos un separador de prueba móvil, el cual permita el fácil traslado a los pozos petrolíferos para realizar evaluaciones sobre la calidad del crudo, agua y aceite. Dicha evaluación no puede ser realizada en el separador general, debido a que allí llega todo el crudo producido por los pozos que tienen servicio en el área, es por ello que se destaca el trabajo presentado en [4], el cual fue desarrollado en el 2012 en convenio con ECOPETROL. Es importante conocer que acceder a las áreas donde se encuentra un separador como el antes descrito supone gran dificultad por el nivel de seguridad en el acceso que manejan las empresas en el desarrollo de sus procesos.

Ante esta situación y necesidad se planteó el diseño e implementación a escala, de un sistema móvil de control de un separador trifásico de tipo horizontal, de agua, gas y aceite, que permita a la comunidad en general observar el proceso de separación sin necesidad de estar expuesta a posibles accidentes; es importante aclarar que al ser de tipo didáctico algunos de los elementos utilizados en la construcción del prototipo no cumplen con las normativas necesarias para una implementación real en campos petroleros.

II. DISPOSITIVOS, EQUIPOS Y MATERIALES EMPLEADOS

Para llevar a cabo este proyecto se tuvo como referencia importante otros trabajos como [4],[7],[8],[9],[10], que han permitido comprender de mejor manera el funcionamiento de las partes internas y externas que actúan sobre un separador de producción trifásico, y así hacer las respectivas adecuaciones de los dispositivos de control que intervienen en el sistema.

A continuación se listan los equipos y elementos utilizados en este proyecto:

A. Equipos:

- Multímetro.
- Fuente de voltaje variable Protek.
- Compresor de aire 100 PSI.
- Computador portátil.

B. Elementos

- 1 Bomba para líquidos a 350GPH.
- 1 Controlador neumático MURPHI LS200N.
- 1 Válvula controladora de nivel neumática 3-15 PSI.
- 1 Electroválvula de $\frac{1}{2}$ -24 VDC.
- 1 Sensor ultrasónico - 5 VDC.
- 1 microcontrolador Arduino UNO.
- 2 Relevadores.
- 1 Pantalla LCD 2X16 I2C.
- Tubo $\frac{1}{2}$ PVC.
- Conectores tipo codo y T PVC.
- Válvulas de bola $\frac{1}{2}$ PVC.
- Cables de conexión categoría 6 americano.
- Batería.
- 5 VDC.

III. DIMENSIONES Y CONSTRUCCIÓN DEL SEPARADOR TRIFÁSICO DE TIPO HORIZONTAL

El separador trifásico a implementar, es de tipo horizontal, como se muestra en la figura 1. En este caso, el llenado del separador con los fluidos se hace mediante la implementación de una bomba sumergible, colocada dentro de un tanque ubicado en la parte de abajo de la estructura. Esta bomba está en continuo funcionamiento y el llenado se hace de forma controlada, de acuerdo a su voltaje de alimentación.

En el separador mostrado en la figura 1, se observa que los líquidos que ingresan a través de la válvula IN, se depositan en un compartimento que contiene agua y crudo, y el resto del interior del separador es llenado con gas. Estos gases fluyen hacia la salida que se denomina válvula PCV-01, y

mientras esto ocurre los líquidos salen por la parte inferior del separador a través de la válvula LCV-01. El crudo que es separado del líquido y que fluye hacia otro compartimento dentro del separador sale de este a través de la válvula LCV-02.

En la figura 2, se observa la bomba que se manipuló para llevar los elementos al separador. La bomba es alimentada a un voltaje de 12VDC.

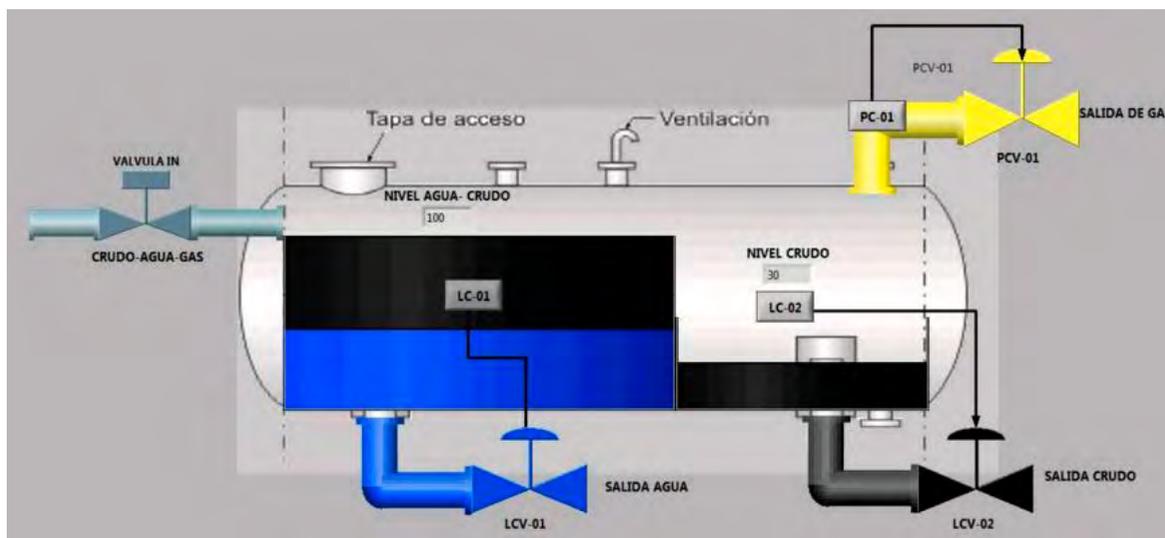


Fig. 1 Secciones de un separador de producción trifásico tipo horizontal. Fuente: Luis Fernando Muñoz A.

En este proceso, conocer las propiedades físicas de cada uno de los componentes de la mezcla que intervienen en el proceso facilita el manejo y control de la separación.



Fig. 2 Bomba sumergible para líquidos de 350GPH a 12VDC- encargada de realizar el llenado de agua y aceite al separador de producción trifásico.

En la tabla 1, se señalan las propiedades físicas [11] del aceite crudo proveniente del yacimiento, y en la tabla 2, se especifican las propiedades físicas de los elementos empleados en este proyecto.

TABLA 1. PROPIEDADES FISICAS DEL ACEITE CRUDO

Aceite crudo	Densidad (g/cm ³)	Densidad grados API
Extra pesado	>1.0	10
Pesado	1.0 – 0.92	10.0 – 22.3
Mediano	0.92 – 0.87	22.3 – 31.1
Ligero	0.87 – 0.83	31.1 – 39
Súper ligero	<0.83	>39

TABLA 2. PROPIEDADES FISICAS- FLUIDOS UTILIZADOS EN EL PROYECTO

Característica	Aceite para motor 40w	Agua	Aire
Densidad (g/cm ³)	0.88	1	0.0013

Una vez especificados los datos de entrada al separador, dado que las propiedades físicas de los tres elementos influyen directamente en el proceso, se procede a realizar una estimación en cuanto a las dimensiones del separador, para evaluar la capacidad del recipiente que contendrá los fluidos.

Las dimensiones del tanque interno del separador trifásico de tipo horizontal son las siguientes:

- Altura 50 cm
- Ancho 80 cm
- Profundidad 30 cm

En la figura 3, se presenta el prototipo final del separador de producción trifásico. Los ductos que se instalaron son de tubería PVC de ½”, el ducto de la parte superior izquierda es por donde se realiza el llenado del separador, el ducto ubicado en la parte inferior del separador es por donde sale el agua contracorriente (*down comer*) y el ducto de la parte derecha es por donde se evacúa el aceite. Se adecua el controlador neumático y el sensor ultrasónico en la parte superior derecha.



Fig. 3 Separador de producción trifásico horizontal – prototipo propuesto.

Debido a que la velocidad de los fluidos es alta, es necesaria la adecuación de un deflector de regulación (desviador de entrada), para reducir el impulso y disminuir la turbulencia que se origina. Este es el elemento principal de la sección de separación primaria.

La figura 4 representa una de las partes internas del separador, en este caso el desviador de entrada. Este fue hecho en una placa de metal de 0.3 mm de espesor con unas dimensiones de 10x15 cm.



Fig. 4 Adecuación del desviador de entrada- parte interna separador de producción trifásico- recuadro color rojo.

La parte interna de la vasija del separador se divide en dos compartimientos, el primer compartimiento es donde se alojan los fluidos provenientes del yacimiento, el segundo compartimiento es exclusivamente para el aceite, la placa encargada de la división es la esclusa. Mientras el nivel de agua sea controlado, solo permite que el aceite rebose sobre esta placa y logre pasar al compartimiento de aceite. La esclusa es fundamental para lograr un excelente funcionamiento y el paso del aceite al momento de controlar la interfaz del sistema.

En la figura 5 se observa la ubicación de la esclusa, señalada por la flecha de color rojo. Es una placa realizada en material metálico con 0.5 mm de espesor, una altura de 30 cm.

Una vez se tiene el separador trifásico se procede a realizar el diseño e implementación del sistema de control.

IV. SISTEMAS DE CONTROL

A) Controlador neumático

En un separador de tres fases, el desviador de entrada contiene un tubo de contracorriente (*Down comer*) que dirige el flujo del líquido por debajo de la interfase gas-aceite hasta la vecindad de la interfase aceite-agua.

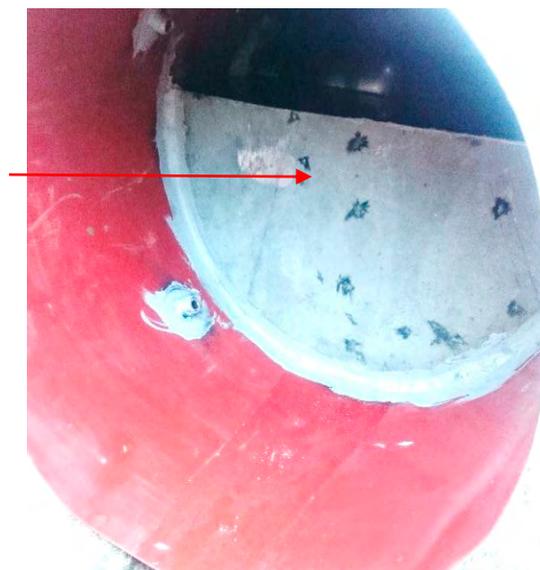


Fig. 5 Ubicación de la esclusa placa separadora - parte interna separador de producción trifásico.

La sección de recolección de líquido en el separador da suficiente tiempo de retención, de manera que el aceite y la emulsión formen una capa o colchón de aceite en la parte intermedia. El agua libre se va al fondo. En este caso solo se controlará la interface aceite-agua.



Fig. 6 Controlador neumático (por flotador) encargado de la interfaz del sistema. Separador de producción trifásico.

El vertedero mantiene el nivel de aceite y el controlador de nivel mantiene el nivel del agua. El aceite pasa rápidamente sobre el vertedero y a continuación es regulado por un controlador de nivel, el cual opera la válvula de vaciado. Un controlador de nivel mantiene estable la altura de la interfase aceite-agua como se muestra en la Fig. 6. El controlador acciona la válvula de vaciar el agua, permitiendo la salida de cierta cantidad de éste líquido de manera que la interfase aceite-agua se mantenga en el *set point* [12].

El dispositivo empleado para la interfase del sistema, es el controlador de nivel neumático para líquidos MURPHY (por flotador), funciona a 160 PSI.

Dado el caso en que el agua empiece a superar el nivel establecido inicialmente, se cuenta con una válvula neumática, como se ve en la figura 7, que funciona a una presión de 15 PSI. Es la encargada de liberar el agua rápidamente hasta llegar nuevamente al *set point*. Esta

válvula está acoplada al controlador neumático descrito anteriormente.

B) Controlador eléctrico de nivel

Este sistema solo funciona para la sección o compartimiento del aceite, es donde se realiza el censado del nivel bajo y alto del aceite. Una vez el crudo alcanza el nivel señalado se accionará una electroválvula la cual permitirá el paso del fluido a su respectivo tanque de recolección.

Para este controlador eléctrico se manejaron los siguientes elementos:

- Electroválvula de ½ “que opera a 24 VDC.
- Arduino uno.
- Sensor ultrasónico.
- Un circuito de relevadores para automatizar el llenado del separador.
- Una fuente de voltaje variable.

Las figuras 7 y 8 enseñan la posición del sensor ultrasónico ubicado en la parte interna y externa del separador de producción trifásico.



Fig. 7 Adaptación del sensor ultrasónico en la parte interna de la vasija del separador de producción trifásico, compartimiento del aceite.



Fig. 8 Adaptación del sensor ultrasónico en la parte externa de la vasija del separador de producción trifásico, compartimiento del aceite.

En el momento en que el sensor entra en operación este censa un nivel máximo de 23 cm y un nivel mínimo de 10 cm. Al momento de censar el nivel establecido envía una señal a un relevador que permite accionar la electroválvula y así logra la evacuación del aceite.



Fig. 9 Electroválvula controladora del paso del aceite al tanque de recolección.

La figura 9 muestra la posición y electro válvula empleada para el drenaje del aceite, el electro válvula está en un estado

inicial NC y funciona a 24 VDC. La figura 10 muestra el ducto que recorre el aceite una vez se envíe la señal emitida por el sensor al sistema de control eléctrico, es un ducto realizado en tubo PVC de ½ pulgada.



Fig. 10 Ducto de evacuación de aceite realizado en tubería PVC de ½ pulgada.

Además de lo anterior se utiliza un circuito de relés, encargado de activar la bomba sumergible para líquidos y la electroválvula de ½". Tal como se muestra en la figura 11.



Fig. 11 Circuito de relés para la electroválvula y la bomba sumergible para líquidos.

El microcontrolador encargado de la lógica del funcionamiento es el Atmega 328 Arduino Uno R3.

La secuencia de código implementada, se muestra a continuación [13]:

```

#include <Wire.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <NewPing.h>
#define I2C_ADDR 0x27 // <<-- Add your address here.
#define Rs_pin 0
#define Rw_pin 1
#define En_pin 2
#define BACKLIGHT_PIN 3
#define D4_pin 4
#define D5_pin 5
#define D6_pin 6
#define D7_pin 7
#define ECHO_PIN 11 // Arduino pin tied to echo pin on the ultrasonic sensor.
#define TRIGGER_PIN 13 // Arduino pin tied to trigger pin on the ultrasonic sensor.
#define MAX_DISTANCE 500 // Maximum distance we want to ping for (in centimeters). Maximum sensor distance is rated at 400-500cm.
NewPing sonar(TRIGGER_PIN, ECHO_PIN, MAX_DISTANCE); // NewPing setup of pins and maximum distance.
LiquidCrystal_I2C lcd(I2C_ADDR,En_pin,Rw_pin,Rs_pin,D4_pin,D5_pin,D6_pin,D7_pin);
void setup()
{
  lcd.begin (16,2); // <<-- our LCD is a 16x2, change for your LCD if needed
  // LCD Backlight ON
  lcd.setBacklightPin(BACKLIGHT_PIN,POSITIVE);
  lcd.setBacklight(HIGH);
  lcd.home (); // go home on LCD

  lcd.print("UNISANGIL");
  pinMode(6,1); //definido pin 6 como salida para la bomba
  pinMode(8,1); //definido pin 9 como salida para la electrovalvula
}
void loop()
{
  unsigned int uS = sonar.ping(); // Send ping, get ping time in microseconds (uS).
  unsigned int cm = sonar.convert_cm(uS); // Convert into centimeters
  lcd.setCursor (0,1); // go to start of 2nd line
  lcd.print("Distance:");
  lcd.setCursor (0,3); // go to start of 4th line
  lcd.print("NIVEL: ");
  lcd.print(cm);
  lcd.print(" cm ");
  if (cm <=5){
    digitalWrite(6,1); // Prendido de Bomba
  }
  if (cm >=20){
    digitalWrite(6,0); // Apagado de Bomba
  }
  if (cm <=5){
    digitalWrite(8,0); // Cierre de Valvula
  }
  if (cm >=20){
    digitalWrite(8,1); // Apertura de Valvula
  }
  delay(2000);
}

```

Finalmente se muestra el sistema completo y listo para ser puesto en funcionamiento, ver figura 12.



Fig. 12 Implementación sistema de control de un separador de producción trifásico mediante flujo natural, estructura final.

V. CONCLUSIONES

Uno de los objetivos de este proyecto fue presentar el funcionamiento y estructura interna de un separador trifásico de tipo horizontal a los que normalmente no se puede acceder por encontrarse en áreas restringidas de la industria petrolera.

Las tasas de flujo deben corresponder a los diseños de ingeniería. Los fenómenos como la turbulencia se deben minimizar para no impactar a gran escala en la separación de los fluidos

Para la implementación real de este tipo de proyecto, se deben tener en cuenta las normas de seguridad para zonas con alto contenido de gases inflamables, con el objeto de proteger la integridad de las personas, medio ambiente y los activos de la empresa.

Algunos elementos y sensores utilizados en este proyecto no cumplen con normativas como la *explosion proof* o la [14], razón por lo cual se presenta este proyecto con fines didácticos, como apoyo para la enseñanza de asignaturas de control electrónico, automatización, entre otras.

El uso de la electrónica para automatizar el proceso, hace que este sea más eficiente y seguro.

Al usar este método de separación por gravedad, se ahorra y se reduce el número de pasos que se usarían en algunos otros procesos, como el vertical y el de tipo esférico ya conocidos y utilizados para este mismo tipo de separación.

REFERENCIAS

- [1] Prebisch, R; Gligo, N. Biosfera y desarrollo. En *Estudios de desarrollo y medio ambiente en la América Latina*. Fondo de Cultura Económica, 1980. p. 67-90.
- [2] OECD/IEA, International Energy Agency. (2016) Recent trends in the OECD: energy and CO2 emissions. [En línea], 11. Disponible en: http://www.iea.org/media/statistics/Recent_Trends_in_the_OECD.pdf
- [3] Mexico. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Bases de datos Universidad y Ciencias. [base de datos en línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15419871001>
- [4] Berdugo Corredor, O. Rojas Medina, J. *Diseño de un separador móvil trifásico horizontal agua, gas y aceite para el campo escuela colorado universidad industrial de Santander, Santander*, 2012, 205 p. Tesis (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas Escuela de Ingeniería Mecánica.
- [5] Schlumberger Limited. (2017), Separador trifásico. [En línea], 1. Disponible en: http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/t/three-phase_separator.aspx
- [6] Olave Plata, S. Rangel Avendaño, J. Instrumentación técnica en ingeniería de petróleos. Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingeniería de petróleos.
- [7] Olaya Arguello, C. Dueñas Cornejo, M. (2014). "*Estado del arte de la implementación de instrumentación en separadores trifásicos.*"
- [8] Viñan Andino, M. *Diseño e Implementación de un sistema de control para operación automática de separadores de petróleo trifásicos*. 2013. Tesis Doctoral. QUITO/EPN/2013.
- [9] Benítez Orellana, V.; Olmedo Arce, P. *Diseño de un separador de producción trifásico horizontal para el Campo SECOYA del Distrito Amazónico*. 2011. Tesis Doctoral. QUITO/EPN/2011.
- [10] Rodríguez M. *Diseño y Evaluación de Separadores Bifásicos y Trifásicos*. Caracas 2006. Trabajo Especial de Grado (para optar por el Título de Ingeniero de Petróleos). Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias.
- [11] Millán, R; Rodríguez, M; Romero, G. Universidad Central de Venezuela., Facultad de Ingeniería, Escuela de Petróleo. (2003). Laboratorio de Yacimientos, "*Propiedades de los fluidos*". Caracas.
- [12] Villamizar C, Julio A. Material de apoyo Separadores de Producción. SENA, [en línea] versión 1.0 (2011). [Consultado 30 sep. 2015]. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/91985276/Separadores-de-la-industria-petrolera#scribd>
- [13] Massimo Banzi. (2005). Arduino. [En línea] Disponible: <https://www.arduino.cc/>
- [14] API SPECIFICATIONS, Specifications for oil and Gas Separators, API SPECIFICATION 12J (SPEC 12J), Seventh Edition, October 1, 1989.