



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**

**Proyecto de Investigación y Desarrollo en opción al Grado**  
**Académico de Magister de Gestión de Energías**

**TEMA**

**“ANÁLISIS DEL CONTROL DE CAUDAL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN  
DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA  
PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN  
DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CAUDAL  
PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”**

**Autor: PACHECO MENA CARLOS FRANCISCO**

**Tutor: PhD. Secundino Marrero Ramírez**

**LATACUNGA – ECUADOR**

**Diciembre-2017**



### AVAL DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe del Proyecto de Investigación y Desarrollo de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, la posgraduada: Ing. Carlos Francisco Pacheco Mena, con el título del trabajo de investigación y desarrollo titulado: ANÁLISIS DE CONTROL DE CAUDAL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CAUDAL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga diciembre 17, 2017

Para constancia firman:

MSc. MANUEL ÁNGEL LEÓN SEGOVIA  
NOMBRES Y APELLIDOS  
Cc: 0502041353  
PRESIDENTE

PhD. JUAN JOSÉ LA CALLE DOMÍNGUEZ  
NOMBRES Y APELLIDOS  
Cc: 1756604227  
MIEMBRO

MSc. CRISTIAN FABIÁN GALLARDO MOLINA  
NOMBRES Y APELLIDO  
Cc: 0502847692  
MIEMBRO

PhD. HÉCTOR LAURENCIO ALFONSO  
NOMBRES Y APELLIDOS  
Cc: 1712813  
OPONENTE

## **CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Programa de Maestría en Gestión de Energías, nombrado por el Consejo de Posgrado.

CERTIFICO:

Que: El Trabajo de investigación “ANÁLISIS DE CONTROL DE CAUDAL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CAUDAL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”. Presentado por el Maestrante Carlos Francisco Pacheco Mena con cédula de ciudadanía N° 0503072902, egresado del programa de Maestría en Gestión de Energías cohorte 2014, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del tribunal examinador que el Honorable Consejo Académico de Posgrado designe.

Latacunga, Noviembre 2017

-----  
PhD. SECUNDINO MARRERO RAMÍREZ.

Tutor

## **AUTORÍA DE TESIS**

El abajo firmante, en calidad de estudiante de la Maestría en Gestión de Energías cohorte 2014, declaro que los contenidos de este Trabajo de Graduación, requisito previo a la obtención del Grado de Magíster en Gestión de Energías, son absolutamente originales, auténticos y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Latacunga, Noviembre 2017

-----  
Carlos Francisco Pacheco Mena

Cc 0503072902

# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **DIRECCIÓN DE POSGRADO**

### **MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TITULO:** “Análisis del control de caudal en el proceso de separación de producción de petróleo, en el campo petrolero en la provincia Francisco de Orellana en el año 2016. Construcción de un banco de pruebas de un sistema de control de caudal para evaluar la eficiencia en los procesos de separación”

**Autor:** Ing. Carlos Francisco Pacheco Mena

#### **RESUMEN**

En este trabajo se realizó el análisis de un sistema de control de caudal en una planta de separación de petróleo para lo cual se construyó un banco de pruebas en el que se evaluó la eficiencia energética, para este proyecto se usaron dispositivos de control con características industriales similares a los utilizados en los procesos de separación de petróleo, el fluido usado es el agua. Se identificaron los factores iniciales  $K_c$ ,  $T_i$  y  $T_d$  de sintonización del controlador para el lazo de control de caudal a través de ensayos de inestabilidad en función de los Métodos de Ziegler y Nichols de Lazo abierto y Lazo cerrado. Estos factores deben ser considerados como datos iniciales del sistema de control, los que usualmente requieren de un afinamiento posterior a través de varios ensayos de perturbación del sistema que permitirá ir corrigiendo los factores de sintonización del control hasta encontrar el comportamiento y desempeño deseado. Durante los ensayos de variación de la variable del sistema se observó que el valor de corriente en el motor de la bomba tiene variaciones en función de la apertura de la válvula de control de caudal es decir que cuando hay oscilación de la variable también hay variación en el consumo del 6,7 % de energía de la bomba, esto determina que la mayor eficiencia en el sistema se tiene cuando la variable del proceso se encuentra en forma estable y el lazo de control de caudal está totalmente sintonizado.

**DESCRIPTORES:** Eficiencia, controlador, sintonización.

# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **DIRECCIÓN DE POSGRADO**

### **MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TITLE:** “Analysis of flow control in the oil production process, in the oil field in the Francisco de Orellana province in 2016. Construction of a test bench for a flow control system to evaluate the efficiency in the processes of separation”

**Author:** Ing. Carlos Francisco Pacheco Mena

#### **ABSTRACT**

A research study on the analysis of a flow control system in an oil separation plant was carried out through the implementation of a test system that was evaluated the energy efficiency. For this research project, control devices with industrial characteristics were used. These were similar to those used in oil separation. The fluid used was water. The initial factors such as  $K_c$ ,  $T_i$  and  $T_d$  of tuning of the controller for the flow control loop were identified through some instability tests according to Ziegler-Nichols' Open-Loop and Closed-Loop Methods. These factors should be considered as initial data of the control system, which usually require a subsequent fine tuning through several disturbance tests of the system that will allow correcting the tuning factors of control to find the desired behavior and performance. During the tests of variation of the system variable, it was observed that the value of the current in the pump motor has variations according to the opening of the flow control valve. It means that if there is an oscillation of the variable, there is also variation in the energy consumption of the pump in order of 6,7 %. It determines that the highest efficiency in the system is when the process variable is in stable form and the flow control loop is fully tuned.

**KEYWORDS:** Efficiency, controller, tuning.

## ÍNDICE

AVAL DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	II
CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE TUTOR.....	III
AUTORÍA DE TESIS .....	IV
RESUMEN .....	V
ABSTRACT .....	VI
ÍNDICE.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	2
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	2
DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....	2
OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
CAMPO DE ACCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
OBJETIVOS.....	3
OBJETIVO GENERAL .....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
HIPÓTESIS .....	3
ENFOQUE, NIVEL Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	4
FACTIBILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN .....	5
CAPÍTULO 1 .....	6
1. MARCO TEÓRICO .....	6
1.1. Marco legal referente a la investigación.....	6
1.2. El Petróleo .....	7
1.2.1. Tipos de petróleo crudo según grado API .....	8
1.2.2. Clases de crudo según gravedad API .....	8
1.2.3. Propiedades Físicas del petróleo .....	9
1.3. Proceso de deshidratación del petróleo .....	11

1.3.1. Sistema de tratamiento de crudo.....	11
1.3.2. Separadores gas-líquido.....	12
1.3.3. Separadores gravitacionales .....	13
1.3.4. Calentador de crudo a fuego directo .....	14
1.3.5. Coalescedores electrostáticos.....	17
1.4. Controladores PID .....	18
1.5. Configuración experimental de lazo de control usando PLC Y PID .....	19
1.6. Prototipo para control automático de nivel y caudal de líquidos .....	19
1.7. Tipos de sistemas de control .....	21
1.8. Características de los sistemas de control automático.....	22
1.9. Lazos de control usados en proceso de separación de petróleo.....	23
1.9.1. LIC Controlador indicador de nivel.....	23
1.9.2. PIC Controlador indicador de presión .....	24
1.9.3. FIC Controlador indicador de caudal .....	25
1.9.4. Control mediante lógica difusa.....	26
1.10. Reglas de Ziegler-Nichols para la sintonía de controladores PID.....	27
1.10.1. Primer método Ziegler-Nichols .....	28
1.10.2. Segundo método Ziegler-Nichols .....	30
1.11. Conclusiones del capítulo 1 .....	32
CAPÍTULO 2 .....	33
2. METODOLOGÍA .....	33
2.1. Enfoque, nivel y alcance de la investigación.....	33
2.2. Sensores e instrumentos asociados a la medición de variables .....	35
2.2.1 Transductor de caudal.....	35
2.2.2 Transmisor de caudal.....	36
2.2.3 Lazos de control de un separador .....	36
2.2.4 Transmisores de caudal intrusivos y no intrusivos .....	37

2.2.5 Elemento de control final .....	38
2.2.6 Válvula de control .....	38
2.2.7 Concepto de los Controladores Lógicos Programables (PLCs) .....	39
2.2.8 Tarjeta 1762-IF2OF2 Modulo de expansión I/O.....	40
2.2.9 Programa RSlogix 500 .....	41
2.2.10 Programa RSLinx .....	43
2.2.11 Programa de interfaz RSVIEW32 (HMI).....	43
2.3 Diagrama de bloques de un lazo de control de caudal .....	44
2.4 Separador trifásico.....	44
2.5 Determinación de las variables.....	45
2.6 Sistema de tareas por objetivos específicos.....	46
2.7 Conclusiones del capítulo 2.....	47
CAPÍTULO 3 .....	48
3. CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS .....	48
3.1. Construcción del banco de pruebas del control de caudal.....	48
3.1.1. Diagrama general del prototipo de control de caudal.....	48
3.1.2. Elementos componentes del sistema .....	49
3.1.3. Bomba de agua marca Pedrollo PKm 60-MD.....	50
3.1.4. Válvula de control de caudal .....	52
3.1.5. Tanque de agua para control de caudal .....	53
3.1.6. Transmisor de caudal.....	53
3.2. Diagrama del sistema eléctrico del banco de pruebas .....	54
3.3. Diagrama del sistema de control del banco pruebas.....	58
3.3.1. PLC Micrologix 1100 de Allen Bradley.....	59
3.3.2. Configuración de la tarjeta 1762-IF2OF2 Modulo de expansión I/O .....	60
3.3.3. Programa para el lazo de control de caudal.....	61
3.4. Configuración del HMI en el sistema RSVIEW 32 .....	62

3.5. Ensayos para sintonización de control de caudal .....	63
3.5.1. Ensayo 1 - lazo abierto método de Ziegler-Nichols .....	63
3.5.2. Ensayo 2 - lazo cerrado método de Ziegler-Nichols .....	65
3.5.3. Ensayo 3 para sintonización de control de caudal .....	67
3.5.4. Ensayo 4 para sintonización de control de caudal .....	68
3.6. Análisis de resultados .....	69
3.7. Propuesta .....	70
3.7.1. Título de la Propuesta .....	70
3.7.2. Justificación .....	70
3.7.3. Objetivo .....	71
3.7.4. Desarrollo de la propuesta .....	71
3.7.5. Presupuesto de la propuesta.....	73
3.8. Conclusiones Capitulo 3.....	74
CONCLUSIONES.....	75
RECOMENDACIONES .....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77
ANEXOS .....	80
ANEXO A. Bomba-Motor PEDROLLO .....	80
ANEXO B. Válvula TCrystal con actuador TCN-02T.....	83
ANEXO C. Transductor PALADIN CA 0-5 amp a DC 4 a 20 mA.....	85
ANEXO D. Interruptor principal 110 VCA/10 amperios.....	86
ANEXO E. Transmisor de caudal tipo turbina YF-S201 .....	87
ANEXO F. Conversor G408 de 4 - 20 mA a 0 – 10 VCA .....	89
ANEXO G. Programación RSLOGIX 500.....	92
ANEXO H. Pantallas del HMI. ....	98
ANEXO I. Validación de la propuesta y validación del instrumento .....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Tipos de crudo según gravedad API.....	9
Tabla 1.2. Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método).....	29
Tabla 1.3. Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la ganancia crítica Kcr y periodo crítico Pcr (segundo método).....	31
Tabla 2.1. Instrumentos usados para observación de laboratorio.....	34
Tabla 2.2. Instrumentos usados para observación de laboratorio.....	37
Tabla 2.3. Clasificación de transmisores de caudal.....	37
Tabla 2.4. Variable independiente y dependiente.....	45
Tabla 2.5. Sistema de tareas para objetivo .....	46
Tabla 3.1. Componentes del sistema de control de caudal.....	50
Tabla 3.2. Constantes KC, TI encontradas por el método de lazo cerrado .....	66
Tabla 3.3. Valores de corriente Vs Setpoint para 4 puntos diferentes.....	67
Tabla 3.4. Presupuesto de la propuesta con el costo de cada elemento.....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Múltiple de producción de una estación de flujo .....	11
Figura 1.2. Representación esquemática de una estación de flujo para ..... deshidratar crudo .....	12
Figura 1.3. Tren de separación (separadores de alta presión, de baja y de prueba) .....	13
Figura 1.4. Separador vertical FKW.....	14
Figura 1.5. Componentes básicos de un calentador de crudo a fuego directo.....	15
Figura 1.6. Deshidratador electrostático.....	17
Figura 1.7. Configuración experimental para monitoreo y control de presión.....	19
Figura 1.8. Prototipo para control automático de nivel y caudal de líquidos .....	20
Figura 1.9. HMI para control automático de nivel y caudal de líquidos .....	20
Figura 1.10. Prototipo de control de nivel, caudal, temperatura y presión de líquidos.....	21
Figura 1.11. Ejemplos de instrumentos de medición de nivel.....	24
Figura 1.12. Ejemplo teórico del funcionamiento de una columna de líquido.....	24
Figura 1.13. Ejemplo teórico del funcionamiento de un diafragma .....	25
Figura 1.14. Ejemplos de instrumentos de medición de presión .....	26

Figura 1.15. Respuesta real vs controlador fuzzy.....	27
Figura 1.16. Curva de respuesta en forma de S.....	29
Figura 1.17. Oscilación sostenida con periodo Pcr (Pcr se mide en seg.).....	30
Figura 2.1. Ejemplo de transductor de caudal.....	36
Figura 2.2. Ejemplo de transmisor tipo turbina.....	38
Figura 2.3. Ejemplo de transmisor tipo turbina.....	39
Figura 2.4. Partes de un PLC MicroLogix 100.....	40
Figura 2.5. Módulo de expansión I/O 1762-IF2OF2.....	41
Figura 2.6. Vista principal del software RSLogix 500.....	42
Figura 2.7. Diagrama de bloques de lazo de control de caudal.....	44
Figura 2.8. Separador de producción.....	44
Figura 3.1. Diagrama general del banco de pruebas del control de caudal.....	48
Figura 3.2. Ilustración de banco de pruebas de control de caudal.....	49
Figura 3.3. Despiece bomba Pedrollo Pkm-60-MD.....	51
Figura 3.4. Curva y datos de prestaciones bomba Pkm-60-MD.....	51
Figura 3.5. Válvula de bola de ½” con actuador TCN-02T.....	52
Figura 3.6. Tanque para control de caudal.....	53
Figura 3.7. Transmisor de caudal tipo turbina.....	54
Figura 3.8. Diagrama eléctrico del banco de pruebas caja 01.....	55
Figura 3.9. Caja de conexiones eléctricas y control caja 01.....	56
Figura 3.10. Diagrama eléctrico del banco de pruebas caja 02.....	57
Figura 3.11. Caja de conexiones eléctricas y control caja 02.....	57
Figura 3.12. Diagrama de control del banco de pruebas.....	58
Figura 3.13. Transmisor de caudal tipo turbina.....	58
Figura 3.14. Módulo de flujo 1(MF1).....	58
Figura 3.15. Regletas de conexión circuito de control.....	59
Figura 3.16. Configuración de tarjeta 1762-IF2OF2 en el Micrologix 1100.....	60
Figura 3.17. Configuración de tarjeta 1762-IF2OF2 en el Micrologix 1100.....	61
Figura 3.18. Datos del Setup PID del ladder de caudal.....	61
Figura 3.19. RSVIEW 32 Pantalla principal del sistema.....	62
Figura 3.20. RSVIEW 32 Pantalla principal de control de nivel.....	62
Figura 3.21. Curva lazo abierto control de caudal.....	64
Figura 3.22. Curva lazo abierto control de caudal (Excel).....	64

Figura 3.23. Curva lazo abierto control de caudal valores de $L=0,5$ y $T=2,1$ .....	64
Figura 3.24. Curva de oscilación lazo cerrado control de caudal.....	65
Figura 3.24. Curva de oscilación lazo cerrado control de caudal para determinar el Pcr.....	66
Figura 3.26. Curva uno del sistema con valores de $K_c=0,5$ ; $T_i=4$ y $T_d=0,20$ .....	67
Figura 3.27. Curva dos del sistema con valores de $K_c=0,5$ ; $T_i=4$ y $T_d=0,20$ .....	68
Figura 3.28. Curva dos del sistema con valores de $K_c=0,70$ ; $T_i=3,80$ y $T_d=0$ .....	68

## **INTRODUCCIÓN**

En las últimas décadas, las plantas industriales a nivel mundial vienen automatizando sus procesos de producción, apoyadas fundamentalmente en la puesta en el mercado de tecnologías de reciente desarrollo y bajo costo, las que viabilizan muchos proyectos que hasta hace algunos años no eran factibles. La automatización de los procesos productivos, constituye un desafío ineludible para la industria nacional, en los próximos años; a fin de lograr sistemas productivos competitivos.

El campo del control y automatización industrial, es implantado con más frecuencia en grandes instalaciones como cadenas de fabricación de automóviles, refinerías, centrales térmicas eléctricas, plantas de separación y tratamiento de petróleo.

La automatización Industrial es un conjunto de técnicas basadas en sistemas capaces de recibir información del proceso sobre el cual actúan, realizar acciones de análisis, organizarlas y controlarlas apropiadamente con el objetivo de optimizar los recursos de producción, como los materiales, humanos, económicos, financieros, etc.

El ministerio de Electricidad y Energía renovable enuncia en su plataforma:

“El Gobierno del Ecuador, a través del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), tiene como uno de sus principales objetivos el mejorar el desempeño energético del sector industrial, para lo cual implementa el Proyecto: “Eficiencia Energética para la Industria (EEI)”, con el apoyo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) a través de la Organización de Naciones Unidas para el desarrollo Industrial (ONUDI). El apoyo técnico de capacitación y asesoría está a cargo de profesionales de alta experiencia a nivel mundial seleccionados por ONUDI.

El Objetivo del Proyecto es promover mejoras en la eficiencia energética de la industria ecuatoriana a través del desarrollo de estándares nacionales de gestión de energía y de la aplicación de la metodología de Optimización de Sistemas en procesos industriales, mejorando la competitividad de dichas instalaciones” (Renovable, 2014).

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El control de caudal en el proceso es muy importante e influye directamente en la eficiencia del proceso, este proyecto está orientado a realizar un estudio completo para encontrar el punto de máxima eficiencia de los lazos de control de caudal, así como de los componentes asociados a este.

La automatización de las plantas de separación de petróleo es un aspecto muy importante en el crecimiento de las empresas ya que se ven en la necesidad de:

- Incrementar la demanda del producto
- Ofrecer productos de mejor calidad
- Optimizar el consumo de energía.

La principal razón de optimizar el control de caudal es incrementar la productividad, reduciendo los costos operativos, reduciendo el consumo energético, incrementando la seguridad de los procesos, optimizando el recurso humano de la empresa y mejorando el diagnóstico, supervisión y control de calidad de la producción.

## **JUSTIFICACIÓN**

En la planta de procesamiento de fluido trifásico se tiene como producto terminado el petróleo con un grado 24°API y con 0,5% de BSW.

Al optimizar el lazo de control de caudal del proceso, podemos aumentar considerablemente la producción del campo, así como aumentar la recuperación de gas para uso en generación. Se espera obtener un producto final (petróleo) con un BSW del 0,2% con un tiempo de residencia lo suficientemente grande a fin de poder obtener la mayor cantidad de gas para uso en generación.

El ahorro que se presenta en este proyecto beneficia al ingreso económico del país y por otra parte se aporta significativamente a optimizar el uso de los recursos naturales.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Ineficiencia en el proceso de separación de petróleo es causado por la inestabilidad del control de caudal ocasionando pérdidas de producción en las plantas de producción en los campos petroleros.

## **DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo incide el control de caudal en la eficiencia energética del proceso de separación en los campos petroleros del Oriente Ecuatoriano, ubicados en la Provincia Francisco de Orellana?

## **OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN**

Banco de pruebas del sistema de control de caudal que tiene como objeto la investigación lazo de control de caudal en el proceso de separación de petróleo. Las pruebas y ensayos de esta investigación determinarán los puntos de trabajo óptimo del sistema de control de caudal.

## **CAMPO DE ACCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Automatización y control de caudal en el proceso de separación de petróleo en el campo petrolero.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la eficiencia energética en la separación de petróleo utilizando un banco de pruebas de sistema de control de caudal.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Identificar los equipos y elementos en el que opera el control de caudal en el proceso de separación de petróleo en el campo petrolero en la provincia Francisco de Orellana.

Construir un banco de pruebas de lazo de control de caudal para estudiar el comportamiento de los parámetros de operación en el proceso de separación de petróleo.

Diagnosticar las causas de las pérdidas de eficiencia energética ocasionadas por el control de caudal en el prototipo construido para determinar los parámetros de ajuste del controlador y su efecto económico.

## **HIPÓTESIS**

La construcción de un banco de pruebas de sistema de control de caudal permitirá realizar ensayos para determinar los parámetros del funcionamiento óptimo y el incremento de la eficiencia energética en el proceso de separación de petróleo del campo petrolero en la provincia Francisco de Orellana.

## ENFOQUE, NIVEL Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque de la investigación está dirigido a la mejora del control de caudal del campo petrolero.

El presente trabajo de investigación utilizara el enfoque cuantitativo; los datos que se utilizaran para el análisis del problema determinan en un ámbito cuantitativo en base a la toma de muestras, en el ámbito numérico, determinando el mejor punto de trabajo para obtener una mayor producción de petróleo.

La evaluación del control de caudal en la planta de producción, pretende obtener una verificación del problema, a través de un análisis estadístico, tablas de muestreo, recolección de datos, los cuales determinen el nivel de eficiencia del proceso de separación, hallando una nueva concepción epistemológica, a la solución del problema en el control de caudal utilizado para la obtención del producto final (petróleo), estableciendo conclusiones y recomendaciones sobre las variables de investigación.

Adicional no se busca la explicación o causalidad, sino la comprensión del problema.

El nivel del tipo de la investigación es:

**Exploratorio.-** Debemos explorar a través de varios ensayos en el prototipo construido que permitirá identificar datos de las constantes para evaluar la eficiencia energética del control de caudal.

**Correlacional.-** Una vez obtenidos los datos se buscarán distintas vías de tratamiento de los mismos y finalmente, se propondrá una forma de control de caudal que permita el incremento de la eficiencia en la separación de petróleo.

**Explicativo.-**El nivel explicativo que concluirá con la evaluación de la eficiencia a través de los resultados obtenidos producto de los ensayos realizados en el banco de pruebas de control de caudal construido.

Los Métodos de investigación utilizados son:

**El Método del análisis.-** Será usado para las investigaciones de campo y estudiar por totalidad el proceso que tenemos actualmente.

**Observación.-** Se observará en el lugar del proceso de separación de petróleo, la cual tiene un proceso de separación de petróleo con varios separadores de producción que facilitan el tratamiento del fluido trifásico que llega de los pozos.

**Técnicas.-**La presente investigación se llevará a cabo mediante la utilización de dos técnicas que permitan el levantamiento de datos para el desarrollo del trabajo investigativo.

El levantamiento de información del ingreso de fluido y la producción que entrega finalmente el control de proceso, mediante programas aplicativos.

El alcance del proyecto será el análisis de cada uno de los lazos de control de caudal y verificando si cumple con el punto óptimo de trabajo.

### **FACTIBILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

Para este estudio propuesto, es necesario indicar que la construcción de un banco de pruebas de control de caudal se puede realizar con elementos utilizados en los sistemas de control de separadores de producción. Para la señal de entrada se usa un sensor tipo turbina, para la medición de corriente de consumo del motor de la bomba, un transformador de corriente (CT), para el control lógico del lazo se utiliza un PLC como controlador y para el elemento de control final una válvula de bola motorizada de control proporcional.

La estructura donde se montará todos los dispositivos se puede construir a nivel local (Mecánicas).

## CAPÍTULO 1

### 1. MARCO TEÓRICO

Los sistemas de control serán descritos en este trabajo para poder comprender el comportamiento del lazo de control de caudal y se describirá la construcción del banco de pruebas de control de caudal y sus componentes.

#### 1.1. Marco legal referente a la investigación

Considerando el desarrollo económico que las empresas petroleras presentan es necesario también esclarecer la documentación legal que establece el gobierno nacional:

**Artículo 313.-** El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia.

Los sectores estratégicos, de decisión y control exclusivo del Estado, son aquellos que por su trascendencia y magnitud tienen decisiva influencia económica, social, política o ambiental, y deberán orientarse al pleno desarrollo de los derechos y al interés social.

Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas, las telecomunicaciones, los recursos naturales no renovables, el transporte y la refinación de hidrocarburos, la biodiversidad y el patrimonio genético, el espectro radioeléctrico, el agua, y los demás que determine la ley.

**Artículo 316.-** los recursos naturales no renovables se consideran un sector estratégico, tal como lo establece el artículo 313 de la Constitución, sobre los cuales el Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar bajo los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia; así como también delegar de manera excepcional a la iniciativa privada y a la economía popular y solidaria.

**El Art. 11.** De la Ley de hidrocarburos, sustituido por el Art. 5. de la Ley Reformatoria a la Ley de hidrocarburos y a la Ley de Régimen Tributario Interno, publicado en el Registro Oficial N°244 de 27 de julio de 2010, dispone la creación de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH), como organismo técnico – administrativo encargado de regular, controlar y fiscalizar las actividades técnicas y operacionales en las diferentes fases de la industria hidrocarburífera, cuyo literal e) Establece que es atribución de la

ARCH, la aplicación de multas y sanciones por las infracciones en cualquier fase, los incumplimientos a los contratos y las infracciones a la Ley de Hidrocarburos y a sus Reglamentos, (Ley de hidrocarburos, 2011).

**El Art. 24.** De la ley de hidrocarburos se contemplan las atribuciones de la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero establecidas en la Ley de Hidrocarburos y reglamentos, mediante estos se garantiza el cumplimiento de la entrega de un crudo dentro de especificaciones.

El petróleo para ser entregado al OCP y SOTE debe cumplir con especificaciones de calidad donde los parámetros fundamentales son el porcentaje de agua y sedimentos, el mismo que debe ser igual o menor al 0,500% (Acuerdo ministerial 018, 2004). Estos parámetros se encuentran normalizados y son exigidos por entes reguladores como son ARCH y el oleoducto de crudos pesados.

**El Art. 77.-** (Sanción por incumplimiento del contrato). El incumplimiento de los contratos suscritos por el Estado Ecuatoriano para la exploración y/o explotación de hidrocarburos, y/o la infracción de la Ley y/o de los reglamentos, que no produzcan efectos de caducidad, serán sancionados en primera instancia con una multa de hasta quinientas remuneraciones básicas unificadas; la segunda ocasión con una multa de quinientas a un mil remuneraciones básicas unificadas y la tercera ocasión con una multa de un mil a dos mil remuneraciones básicas unificadas, la misma que será impuesta por la Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos de forma motivada, utilizando criterios de valoración objetivos, como: gravedad de la infracción, negligencia, daño producido, alcance de la remediación, volumen de ventas, perjuicio al estado y al consumidor y otros que se consideren pertinentes guardando proporcionalidad con la infracción de conformidad con lo que se establezca en el Reglamento (Ley de hidrocarburos, 2011).

## **1.2. El Petróleo**

El petróleo, según su etimología latina, «aceite de piedra», es una sustancia oscura y aceitosa que, si bien suele encontrarse en estado líquido, aparece también en estado sólido o gaseoso. Se considera «crudo» si al salir del subsuelo es negro y viscoso, y «condensado» si es claro y volátil (que tiende a evaporarse). Se denomina «asfalto» si su estado es sólido, y «betún» si es intermedio.

El gas natural se halla en la naturaleza asociado al petróleo o bien por sí solo. El petróleo es el resultado de un largo proceso natural basado en gran medida en la descomposición de materia orgánica. Aunque parezca una sustancia simple, es, en realidad, una compleja mezcla de compuestos químicos. Las refinerías y plantas petroquímicas separan los diferentes compuestos, que luego emplean para producir una gran variedad de materiales (SPE, 2015, pág. 16).

### **1.2.1. Tipos de petróleo crudo según grado API**

El petróleo en su estado natural se le denomina crudo y se clasifica según su referencia de mercado (origen), su contenido en azufre o su grado API. La gravedad API (del inglés: American Petroleum Institute) es un método de clasificación según la densidad (viscosidad y fluidez) del crudo en comparación con el agua a temperaturas iguales. De esta forma la densidad API es la medida inversa a su gravedad específica respecto al agua. A pesar que se trata de una cantidad sin peso ni dimensiones, la medida se refiere en "grados" y se mide a través de un densímetro. Un índice superior a 10 implica que el crudo es más liviano que el agua, por lo que flota sobre ella. Esta clasificación es más práctica que teórica, ya que no toma en cuenta la composición real u otras características del crudo (cómo su contenido en azufre) aparte de su fluidez y viscosidad. Más bien se utiliza para catalogar y establecer el precio del crudo considerando factores que determinan su capacidad para la extracción, transporte y refinación (Nava, 2014).

Mientras mayor sea la viscosidad del crudo (menor gravedad API) es también más difícil de extraer, transportar y refinar para la obtención de sus derivados.

### **1.2.2. Clases de crudo según gravedad API**

El **crudo ligero** o liviano con grado API mayor a 31,1 contiene gran concentración de hidrocarburos de bajo peso molecular, lo cual lo hace fácil de transportar, con este tipo de petróleo se busca para obtener la mayor cantidad de combustible posible en forma de diésel, queroseno y gasolina

El **crudo medio** o mediano con grado API entre a 29,9 y 22 contiene concentración media de hidrocarburos de bajo peso molecular, lo cual lo hace fácil de transportar, con este tipo de petróleo se busca para obtener combustible y materias primas para polímeros y parafinas.

El **crudo pesado** con grado API entre a 21,9 y 10 contiene gran concentración de hidrocarburos de mediano peso molecular, lo cual lo hace complicado de transportar, con este tipo de petróleo se busca para obtener la mayor cantidad de parafinas, polímeros, aceites, combustibles, aceites.

El **crudo extrapesado** de API iguales o inferiores a 10,0 Grados API, contiene menos concentración de hidrocarburos con mayor peso molecular, lo cual lo hace más pesado y difícil de transportar, con este tipo de petróleo se busca para obtener aceites, parafinas, polímeros y betunes. La faja petrolífera del Orinóco contiene la mayor reserva de crudo extrapesado en el mundo (Nava, 2014).

**Tabla 1.1. Tipos de crudo según gravedad API**

Fuente: (Nava 2014)

Crudo	Escala API	Densidad	Descripción
Ligero	30 ÷ 40°	0,87 ÷ 0,83 g/cm <sup>3</sup>	Fácil transporte y extracción, ideal para refinar en combustibles y derivados.
Mediano	22 ÷ 29,9°	0,92 ÷ 0,87 g/cm <sup>3</sup>	Fácil transporte y extracción, ideal para combustibles y derivados.
Pesado	10 ÷ 21,9°	1,00 ÷ 0,92 g/cm <sup>3</sup>	Fácil transporte y difícil extracción, ideal para combustibles y derivados.
Extra-pesados	Menos 10°	> 1,00 g/cm <sup>3</sup>	Difícil transporte y difícil extracción, ideal para derivados.

### 1.2.3. Propiedades Físicas del petróleo

**1.2.3.1. Coloración.** El color del petróleo varía del amarillo al rojo pardo, siendo las clases más oscuras, opacas. Los aceites de bajo peso específico son amarillos, los medianos ámbar, y los aceites más pesados son oscuros. Por luz reflejada, el aceite crudo es usualmente verde, debido a la fluorescencia. Por lo general, su tonalidad se oscurece con el aumento de su peso específico, que se incrementa al aumentar su porcentaje de asfalto (López, 2008).

**1.2.3.2. Olor:** Es característico y depende de la naturaleza y composición del aceite crudo. Los hidrocarburos no saturados dan olor desagradable, debido al ácido sulfhídrico y otros compuestos de azufre. Los petróleos crudos tienen olor aromático. En otros aceites el olor varía, dependiendo de la cantidad de hidrocarburos livianos y de las impurezas (López, 2008).

**1.2.3.3. Peso específico:** El petróleo es más liviano que el agua. Su peso específico es influenciado por factores físicos y por la composición química del crudo, pudiendo oscilar, en términos generales, entre 0,75 y 0,95 Kgr./lt. Aumenta con el porcentaje de asfalto (López, 2008).

**1.2.3.4. Viscosidad:** Es la medida de la tendencia a fluir, siendo de gran importancia en los aceites lubricantes y fuel-oil. Es usualmente el tiempo necesario para que un volumen dado de aceite, a una temperatura definida, fluya a través de un pequeño orificio (López, 2008).

**1.2.3.5. Solubilidad:** Es insoluble en agua, sobre la cual sobrenada por su peso específico menor. A esto se debe su peligrosidad cuando se derrama en los puertos, o cuando es necesario combatir incendios en los tanques de almacenaje. Es soluble en benceno, éter, cloroformo, y otros solventes orgánicos (López, 2008).

**1.2.3.6. Poder calorífico:** Está comprendido entre las 9 000 y 12 000 calorías. Éste disminuye al aumentar la densidad. Ejemplo:

Para una densidad de 0,815 Kgr./lt. Es igual a 11 000 Cal/lt..

Para una densidad de 0,915 Kgr./lt. Es igual a 10 700 Cal/lt..

(López, 2008)

**1.2.3.7. Escala API:** Para la medida de la gravedad específica se emplean el sistema basado sobre el peso de iguales volúmenes de hidrocarburos y de agua a una temperatura de 60 °F (densidad a 60° / 60°F), es decir, 15,6 °C en la Ec.1 (Domínguez, 2013) .

$$\text{Gravedad, (Grados)}^\circ \text{API} = \frac{141,5}{\text{Gravedad Específica}(60/60^\circ\text{F})} - 131,5 \quad \text{Ec.1}$$

Las unidades de este parámetro se expresan en grados API. Es fácil determinar en esta ecuación que cuándo la gravedad específica del hidrocarburo sea 1, los grado API del hidrocarburo serán igual a 10. Valores superiores a la gravedad específica del agua @60 °F reportarán API menores de 10 y valores inferiores, API mayores que 10 (Domínguez, 2013).

En los Contratos realizados y en los Certificados de Calidad, se registra el grado API del combustible líquido y con ello, se puede calcular la gravedad específica del mismo y su densidad. El valor API se calcula determinando primero la densidad del combustible a 60 °F mediante marchas analíticas estandarizadas, relacionándola con la del agua a esa temperatura para calcular su gravedad específica y aplicando la Ec.1 (Domínguez, 2013).

### 1.3. Proceso de deshidratación del petróleo

La deshidratación de crudos es el proceso mediante el cual se separa el agua asociada con el crudo, ya sea en forma emulsionada o libre, hasta lograr reducir su contenido a un porcentaje previamente especificado. Generalmente, este porcentaje es igual o inferior al 1 % de agua (Salager, 2004).

Una parte del agua producida por el pozo petrolero, llamada agua libre, se separa fácilmente del crudo por acción de la gravedad, tan pronto como la velocidad de los fluidos es suficientemente baja. La otra parte del agua está íntimamente combinada con el crudo en forma de una emulsión de gotas de agua dispersadas en el aceite, la cual se llama emulsión agua/aceite. (Salager, 2004)

#### 1.3.1. Sistema de tratamiento de crudo

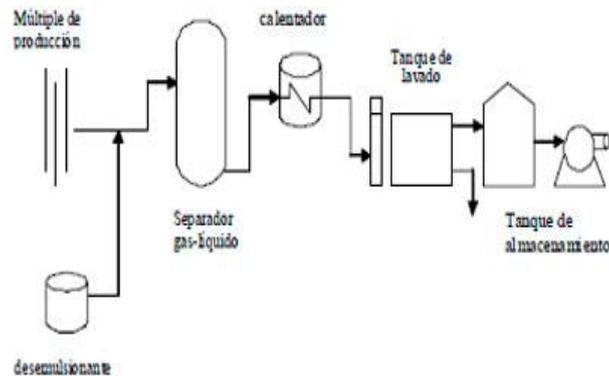
Una vez que el crudo es producido a nivel de fondo de pozo, la producción proveniente de los diferentes pozos se lleva a un múltiple de producción, compuesto a su vez por tres submúltiples de acuerdo a la presión de línea en baja, alta y de prueba, Figura 1.1. Está constituido por tuberías de 6 pulgadas de diámetro a través de las cuales circula la mezcla gas-crudo-agua que pasará posteriormente a los separadores gas-líquido donde se elimina el gas disuelto (Salager, 2004).

Luego, la emulsión pasa a un separador gravitacional para eliminar el agua libre y el crudo no emulsionado. La emulsión restante se lleva al sistema de tratamiento seleccionado para la aplicación de calor y/o corriente eléctrica, y finalmente el crudo separado pasa a un tanque de almacenamiento. El punto de inyección de química es a la salida del múltiple de producción, antes de los separadores, como se muestra en la figura 1.1 (Salager, 2004).



**Figura 1.1. Múltiple de producción de una estación de flujo**

**Fuente:** (Salager, 2004)



**Figura 1.2. Representación esquemática de una estación de flujo para deshidratar crudo**

**Fuente:** (Salager, 2004)

### 1.3.2. Separadores gas-líquido

Los separadores horizontales o verticales sirven para separar el gas asociado al crudo que proviene desde los pozos de producción. El procedimiento consiste en que la mezcla de fluidos entrante choca con las placas de impacto o baffles desviadores a fin de promover la separación gas-líquido mediante la reducción de velocidad y diferencia de densidad. El número de separadores varía en función del volumen de producción de gas y petróleo en las estaciones. Se identifican cuatro secciones de separación:

- a) Separación primaria: Comprende la entrada de la mezcla crudo-agua-gas.
- b) Separación secundaria: Está representada por la etapa de separación máxima de líquido por efecto de gravedad.
- c) Extracción de neblina: Consiste en la separación de las gotas de líquido que aún contiene el gas.
- d) Acumulación de líquido: Está constituida por la parte inferior del separador que actúa como colector, posee control de nivel mediante un flotador para manejar volúmenes de líquidos obtenidos durante la operación.

Los separadores verticales operan con mayor eficiencia a una baja relación gas-petróleo menor de 500 pie<sup>3</sup> / barril, mientras que los separadores horizontales poseen mayor área superficial y tienen controladores de espumas. En la Figura 1.3 se muestra un tren de tres separadores verticales (Salager, 2004).



**Figura 1.3. Tren de separación (separadores de alta presión, de baja y de prueba)**

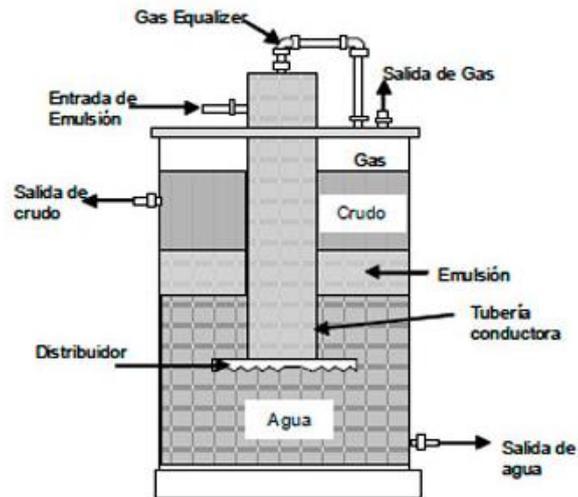
**Fuente:** (Salager, 2004)

### **1.3.3. Separadores gravitacionales**

El asentamiento gravitacional se lleva a cabo en grandes recipientes llamados tanques, sedimentadores, tanques de lavado, “gun barrels” y eliminadores de agua libre (EAL ó “Free Water Knockout FWK”). Los eliminadores de agua libre (EAL) son utilizados solamente para remover grandes cantidades de agua que es producida en la corriente, pero que no está emulsionada y se asienta fácilmente en menos de 5-20 minutos, Figura 1.4. El crudo de salida de un EAL todavía contiene desde 1 hasta 30 % de agua emulsionada (Salager, 2004).

En el interior de estos recipientes que son de simple construcción y operación, se encuentran baffles para direccionar el flujo y platos de coalescencia. El agua es removida por la fuerza de gravedad y esta remoción provoca ahorros en el uso de combustible de los calentadores. Un calentador requiere de 350 Btu para calentar un barril de agua en 1°F, pero solamente requiere 150 Btu para calentar 1 barril de crudo en 1°F. El calentamiento de agua, aparte de que es un desperdicio de energía provoca problemas de incrustación y requiere del uso adicional de tratamiento químico muy costoso para prevenir la incrustación (Salager, 2004).

Los eliminadores de agua libre (EAL), no son lo mejor ya que ellos solo remueven el agua libre. Están protegidos por ánodos de sacrificio y por aditivos para prevenir la corrosión por el efecto del agua de sal.



**Figura 1.4. Separador vertical FKW**

**Fuente:** (Salager, 2004)

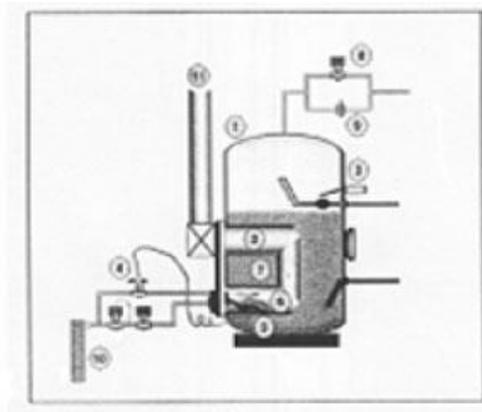
Otro sistema que es importante mencionar son los tanques de lavado o comúnmente llamados “Gun Barrels”. Estos recipientes usualmente operan con media parte de agua (colchón de agua) y la otra parte lo cubre el petróleo. Su funcionamiento consiste en que la emulsión entra al área de desgasificación, donde se produce la liberación del gas remanente a través del sistema de venteo.

Seguidamente, la fase líquida desciende por el tubo desgasificador y entra a la zona del agua de lavado a través de un distribuidor, que se encarga de esparcir la emulsión lo más finamente posible a fin de aumentar el área de contacto entre el agua de lavado y la emulsión, favoreciendo así la coalescencia de las partículas de agua. La emulsión fluye a través del agua en el interior del tanque de lavado siguiendo la trayectoria forzada por baffles internos que permiten incrementar el tiempo de residencia. El petróleo por ser más liviano que la emulsión asciende pasando a formar parte de la zona correspondiente al petróleo deshidratado (Salager, 2004).

#### **1.3.4. Calentador de crudo a fuego directo**

Los tratadores-calentadores pueden ser de tipo directo e indirecto en función de la forma en que se aplica el calor. En los calentadores de tipo directo el calor es transferido por contacto directo de la corriente alimentada con la superficie interna del calentador. Aunque este tipo presenta problemas de sedimentos y de corrosión pueden manejar mayores volúmenes de fluidos con menor gasto de combustible que los calentadores indirectos. Operan eficientemente en procesos de baja presión y donde los fluidos manejados no son

muy corrosivos. Los más utilizados son los calentadores de fuego directo con cajas de fuego de tipo vertical, como se muestra en la Figura 1.5 (Salager, 2004).



**Figura 1.5. Componentes básicos de un calentador de crudo a fuego directo**

**Fuente:** (Salager, 2004)

El diseño normal de un calentador tipo vertical cumple las siguientes funciones:

- 1) Desgasificado de la emulsión de entrada.
- 2) Remoción de arenas, sedimentos y agua libre previo al calentamiento.
- 3) Lavado con agua y calentamiento de la emulsión.
- 4) Coalescencia y asentamiento de las gotas de agua.

El crudo deshidratado caliente puede ser usado para precalentar la emulsión de entrada usando un intercambiador de calor. Los calentadores no son recomendables para remover grandes cantidades de agua libre, debe usarse un separador EAL o FKW.

Las mismas funciones básicas son previstas en un calentador directo tipo horizontal. La alimentación es parcialmente desgasificada, luego es direccionada hacia la parte de abajo del equipo para la separación del agua libre y la arena. Después, la alimentación es calentada y sufre una última desgasificación. Posteriormente, a través de un distribuidor pasa a un baño de agua para finalmente pasar a la sección de coalescencia (Salager, 2004).

Las partículas sólidas, tales como arena, escama, productos de corrosión se depositarán en la parte inferior de estos equipos. Si estos sedimentos no son removidos pueden causar los siguientes problemas:

- 1) Acumularse y ocupar un volumen importante en el recipiente y eventualmente bloquear la corriente de alimentación.
  - 2) Bloquear la transferencia de calor, ocasionando finalmente el colapso del equipo de calentamiento.
  - 3) Interferir en los controles de nivel, ánodos, válvulas, medidores y bombas.
  - 4) Asimismo pueden incrementar el crecimiento bacteriano y la velocidad de corrosión.
- Para prevenir la deposición de estos sedimentos se pueden instalar “hidrojets” que operando a 30 psia por arriba de la presión de operación del calentador, removiendo los sedimentos para su posterior drenado por la parte inferior del recipiente. Otra alternativa es usar inhibidores de corrosión (Salager, 2004).

En los calentadores de tipo indirecto el proceso de transferencia de calor se efectúa mediante un baño de agua caliente, en el cual se encuentra sumergida la tubería que transporta la emulsión. Este tipo de calentadores disminuye el riesgo de explosión y son utilizados en instalaciones donde es posible recuperar calor, tales como el gas caliente de salida de las turbinas.

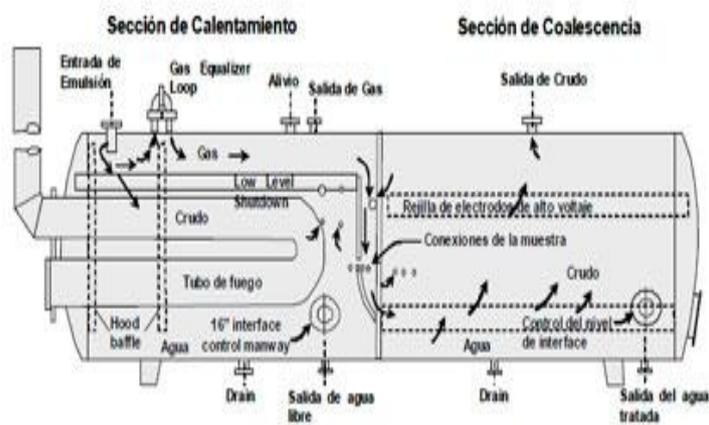
En general el calentamiento ya sea de tipo directo o indirecto tiene las siguientes ventajas:

1. Reduce la viscosidad de la fase continua: un incremento en la temperatura de 10 °F baja la viscosidad de la emulsión por un factor de 2.
  2. Incrementa el movimiento browniano y la colisión de las gotas de agua para su coalescencia.
  3. Incrementa la diferencia de densidad entre la salmuera y el crudo.
  4. Promueve una mejor distribución del desemulsionante.
  5. Disuelve las parafinas cristalizadas que le dan estabilidad a las emulsiones.
  6. Debilita la película de emulsionante que rodea a las gotas de agua
- (Salager, 2004)

### 1.3.5. Coalescedores electroestáticos

Los procesos de deshidratación electrostática consisten en someter la emulsión a un campo eléctrico intenso, generado por la aplicación de un alto voltaje entre dos electrodos. Este dispositivo, generalmente tiene características similares a los de los equipos de separación mecánica presurizados, añadiendo a éstos el sistema de electrodos y de generación de alto voltaje. La aplicación del campo eléctrico sobre la emulsión induce a la formación de dipolos eléctricos en las gotas de agua, lo que origina una atracción entre ellas, incrementando su contacto y su posterior coalescencia. Como efecto final se obtiene un aumento del tamaño de las gotas, lo que permite la sedimentación por gravedad (Salager, 2004).

Un deshidratador electrostático está dividido en 3 secciones, Figura 1.6. La primera sección ocupa aproximadamente el 50% de su longitud y es llamada “Sección de calentamiento”. La segunda sección es llamada “Sección central o control de nivel” y esta ocupa por alrededor del 10% de su longitud ubicada adyacente a la sección de calentamiento. La tercera sección ocupa el 40% de la longitud del deshidratador y es denominada “Sección de asentamiento” del agua suspendida para producir crudo limpio. Las parrillas de electrodos de alto voltaje están localizadas en la parte superior del recipiente, arriba de la interfase agua-aceite.



**Figura 1.6. Deshidratador electrostático**

**Fuente:** (Salager, 2004)

Entre las ventajas que poseen los deshidratadores electrostáticos en comparación con los sistemas de tanques de lavado es que son menos afectados en su operación por las características de los crudos (densidad, viscosidad), agua o agentes emulsionantes, ofrecen

mayor flexibilidad, el tiempo de residencia asociado es relativamente corto y por otra parte, son de menor dimensión.

Estos equipos se utilizan cuando la velocidad de asentamiento por gravedad es muy lenta, dada por la Ley de Stokes. Por ejemplo una gota de agua de 20 micras de diámetro en un crudo de 33 °API a 100 °F y una viscosidad de 6,5 cp se asienta a una velocidad de 0,07 ft/hr. Como la molécula de agua es polar, el campo eléctrico incrementa la coalescencia de las gotas dispersas en el aceite por dos mecanismos que actúan simultáneamente:

1. Sometidas a un campo electrostático, las gotas de agua adquieren una carga eléctrica neta.
2. La distribución al azar de las gotas de agua en el seno del aceite al pasar por el campo electrostático se alinean con su carga positiva orientada al electrodo cargado (negativo) (Salager, 2004).

#### **1.4. Controladores PID**

Un sistema de control es un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema, con el fin de reducir las probabilidades de fallo y obtener los resultados deseados (Paredes, 2016).

Un referente histórico es Nicolás Minorsky había analizado las propiedades de los controladores tipo PID en su publicación “Estabilidad direccional de cuerpos dirigidos automáticamente”. Dicho trabajo, que constituye una de las primeras discusiones sobre Teoría de Control, describe el uso de los controladores de tres términos para el gobierno de la dirección de un buque: el “New Mexico”. Así pues, los controladores tipo PID nacieron para el gobierno automático de buques y puede decirse que fueron descubiertos por el científico Nicolás Minorsky (FI.MDP, 2015).

Sin embargo, la idea de un controlador de tres términos de propósito general con una acción de control variable no fue introducida hasta finales de la década de 1930. Concretamente se dice que fue la Taylor Instrument Company la que introdujo el primer controlador de este tipo, primero en 1936 con una constante derivativa fijada en fábrica y luego por fin, en 1939, con una acción derivativa variable (FI.MDP, 2015).

Existen dos clases comunes de sistemas de control, sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado.

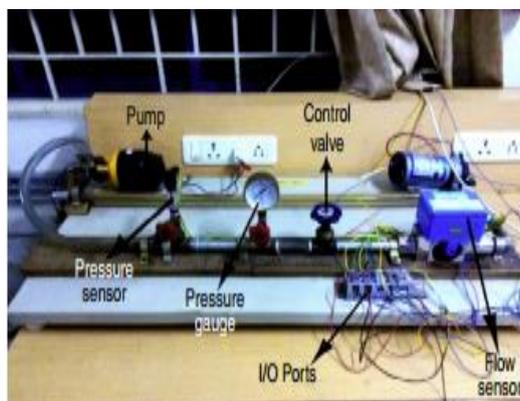
Sistema de lazo abierto; Es aquel sistema en que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada, pero basada en la primera. Esto significa que no hay retroalimentación hacia el controlador para

que éste pueda ajustar la acción de control. Es decir, la señal de salida no se convierte en señal de entrada para el controlador.

Sistema de lazo cerrado; Son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida. Los sistemas de circuito cerrado usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control en consecuencia (Paredes, 2016).

### 1.5. Configuración experimental de lazo de control usando PLC Y PID

La réplica de la construcción industrial se construye como una instalación experimental a escala de laboratorio como se muestra en la Figura 1.7. La instalación incluye la bomba, para bombear el aceite desde el nivel subterráneo (por debajo del nivel del mar), por las tuberías para un eficiente transmisión de largo alcance (hasta 9 km de longitud), sensor de presión analógico, sensor de flujo analógico y manómetros (Shijiu, Lining, & Jian, 1998). Las válvulas de control se implementan a lo largo del sistema de tubería de transporte además del sensor de flujo analógico. Para controlar el propósito, la configuración se ha interconectado con el Micrologix 1400 PLC, el cual está programado con el controlador PID (Priyanka, 2016).



**Figura 1.7. Configuración experimental para monitoreo y control de presión**

**Fuente:** (Priyanka, 2016)

### 1.6. Prototipo para control automático de nivel y caudal de líquidos

Automatizar un proceso tiene como finalidad volverlo constante, es decir, repetitivo sin el manejo del operador; para que logre esta función, el hombre únicamente interfiere en el proceso mediante un HMI (interfaz hombre- máquina), siempre y cuando sea necesario realizar algún cambio en cualquiera de las variables de proceso, de lo contrario el sistema

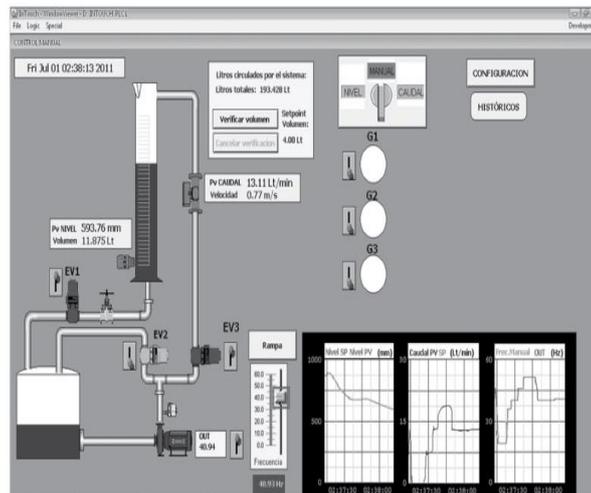
SCADA1 solamente recabará información sobre el desarrollo del proceso con esto se hará mucho más fácil la detección de fallas y su rápida solución (Vergara, 2011).

El prototipo construido da la facilidad al estudiante de cambiar los valores de las variables de un proceso y obtener diferentes resultados de control con pequeñas variaciones de acuerdo al algoritmo de control cargado al PLC. La meta es conseguir la mayor exactitud posible en el control de nivel, caudal y volumen, sin sacrificar excesivamente la velocidad que debe guardar el proceso (Vergara, 2011).



**Figura 1.8. Prototipo para control automático de nivel y caudal de líquidos**

**Fuente:** (Vergara, 2011)



**Figura 1.9. HMI para control automático de nivel y caudal de líquidos**

**Fuente:** (Vergara, 2011)

Además podemos citar otro prototipo que intervienen las cuatro variables que son temperatura, nivel, presión y caudal como podemos ver en la siguiente figura 1.10.



**Figura 1.10. Prototipo de control de nivel, caudal, temperatura y presión de líquidos**

**Fuente:** (Domínguez F. R., 2015)

## **1.7. Tipos de sistemas de control**

Los sistemas de control son agrupados en tres tipos básicos:

**1.7.1. Hechos por el hombre.** Como los sistemas eléctricos o electrónicos que están permanentemente capturando señales de estado del sistema bajo su control y que al detectar una desviación de los parámetros pre-establecidos del funcionamiento normal del sistema, actúan mediante sensores y actuadores, para llevar al sistema de vuelta a sus condiciones operacionales normales de funcionamiento. Un claro ejemplo de este será un termostato, el cual capta consecutivamente señales de temperatura. En el momento en que la temperatura desciende o aumenta y sale del rango, este actúa encendiendo un sistema de refrigeración o de calefacción (Martinez, 2015).

**1.7.2. Naturales, incluyendo sistemas biológicos.** Por ejemplo, los movimientos corporales humanos como el acto de indicar un objeto que incluye como componentes del sistema de control biológico los ojos, el brazo, la mano, el dedo y el cerebro del hombre. En la entrada se procesa el movimiento y la salida es la dirección hacia la cual se hace referencia (Martinez, 2015).

**1.7.3. Cuyos componentes están unos hechos por el hombre y los otros son naturales.** Se encuentra el sistema de control de un hombre que conduce su vehículo. Éste sistema está compuesto por los ojos, las manos, el cerebro y el vehículo. La entrada se manifiesta en el rumbo que el conductor debe seguir sobre la vía y la salida es la dirección actual del

automóvil. Otro ejemplo puede ser las decisiones que toma un político antes de unas elecciones. Éste sistema está compuesto por ojos, cerebro, oídos, boca. La entrada se manifiesta en las promesas que anuncia el político y la salida es el grado de aceptación de la propuesta por parte de la población (Martinez, 2015).

Un sistema de control puede ser neumático, eléctrico, mecánico o de cualquier tipo, su función es recibir entradas y coordinar una o varias respuestas según su lazo de control (para lo que está programado) (Martinez, 2015).

Control Predictivo, son los sistemas de control que trabajan con un sistema predictivo, y no activo como el tradicional (ejecutan la solución al problema antes de que empiece a afectar al proceso). De esta manera, mejora la eficiencia del proceso contrarrestando rápidamente los efectos (Martinez, 2015).

### **1.8. Características de los sistemas de control automático**

Variables del sistema: Son todas las magnitudes, sometidas a vigilancia y control, que definen el comportamiento de un sistema.

Entrada: Es la excitación que se aplica a un sistema de control desde una fuente de energía externa, con el fin de provocar una respuesta.

Salida: Es la respuesta que proporciona el sistema de control.

Perturbación: Son las señales no deseadas que influyen de forma adversa en el funcionamiento del sistema.

Planta: Sistema sobre el que pretendemos actuar.

Sistema: Es un conjunto de elementos interrelacionados capaces de realizar una operación dada o de satisfacer una función deseada.

Entrada de mando: Señal externa al sistema que condiciona su funcionamiento.

Señal de referencia: Es una señal de entrada conocida que nos sirve para calibrar al sistema. Señal activa: También denominada señal de error. Representa la diferencia entre la señal de entrada y la realimentada.

Unidad de control: Gobierna la salida en función de una señal de activación.

Unidad de realimentación: Está formada por uno o varios elementos que captan la variable de salida, la acondicionan y trasladan a la unidad de comparación.

Actuador: Es un elemento que recibe una orden desde el regulador o controlador y la adapta a un nivel adecuado según la variable de salida necesaria para accionar el elemento final de control, planta o proceso.

Transductor: Transforma una magnitud física en otra que es capaz de interpretar el sistema. Amplificador: Nos proporciona un nivel de señal procedente de la realimentación, entrada, comparador, etc, adecuada al elemento sobre el que actúa (EVEREST, 2015).

## **1.9. Lazos de control usados en proceso de separación de petróleo**

### **1.9.1. LIC Controlador indicador de nivel**

Para medir el nivel de fluido en un equipo existen dos tipos de métodos: los directos, que miden el desplazamiento de la superficie del líquido; y los indirectos, que miden las variables de presión y de desplazamiento de un elemento (INDUSTRY, 2016).

A su vez, existen dos tipos de lecturas:

- Todo o nada: que se tratan de señales digitales donde se determina en caso de que el fluido supere el nivel de consigna o en caso de estar por debajo de ella.
- Lecturas proporcionales: se tratan de señales analógicas donde existe un rango de señal y ésta proporciona el valor de la variable medida.

Existen cuatro sistemas de lectura proporcionales:

- Sistemas basados en flotadores: miden el nivel del equipo según el desplazamiento que experimente el flotador o la boya.
- Sistemas basados en medidas de presión: miden el nivel del equipo basándose en que la presión del fondo del recipiente está directamente relacionada con ésta.
- Sistemas basados en la variación de la capacidad eléctrica: miden el nivel del equipo a partir de la variación de la capacidad eléctrica del líquido con respecto al aire.
- Sistemas de medidas de nivel por dispositivos ultrasónicos: disponen de un sensor que emite una señal ultrasónica y que mide el tiempo que tarda en llegar la onda a la superficie de líquido del equipo (INDUSTRY, 2016).



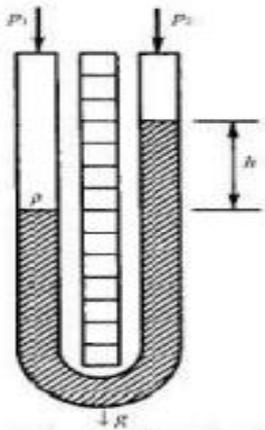
**Figura 1.11. Ejemplos de instrumentos de medición de nivel**

**Fuente:** (INDUSTRY, 2016)

### 1.9.2. PIC Controlador indicador de presión

Los sensores de presión son dispositivos encargados de transformar los cambios de presión en señales eléctricas. Cabe destacar que los instrumentos más utilizados en la industria son los siguientes:

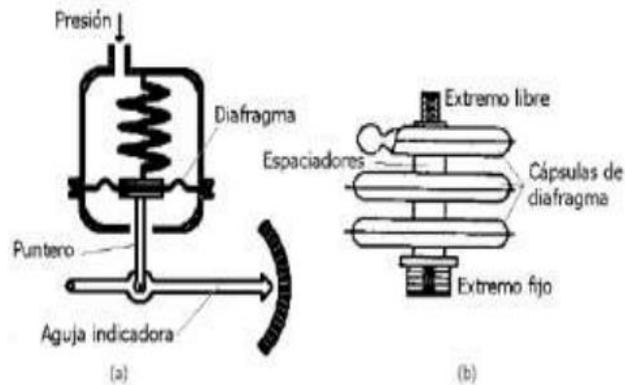
- Columna de líquido: estos instrumentos en forma de U miden la presión a partir de la diferencia de altura del líquido, según la presión de ambos extremos (INDUSTRY, 2016).



**Figura 1.12. Ejemplo teórico del funcionamiento de una columna de líquido**

**Fuente:** (INDUSTRY, 2016)

- Elásticos: estos instrumentos miden la diferencia de presión cuando ésta actúa sobre un elemento elástico. Existen cuatro tipos: fuelles, tubos Bourdon, diafragmas y cápsulas.



**Figura 1.13. Ejemplo teórico del funcionamiento de un diafragma**

**Fuente:** (INDUSTRY, 2016)

### 1.9.3. FIC Controlador indicador de caudal

Los medidores de caudal son dispositivos encargados de transformar los cambios de caudal en señales eléctricas. Cabe destacar que los caudalímetros se pueden clasificar, según el tipo de señal que éstos generan, entre caudalímetros cuadráticos y caudalímetros lineales.

Los instrumentos más utilizados en la industria son los siguientes y se clasifican según la señal de salida:

- Medidores de presión diferencial: generan una señal de salida cuadrática y miden la diferencia de presiones provocadas por el estrechamiento de la tubería por donde circula el fluido. Éstos se pueden clasificar en tres tipos: placas de orificio, toberas y tubos venturi.
- Medidores lineales: generan una señal de salida lineal. Éstos se pueden clasificar en cinco tipos: medidor de ultrasonidos, medidor electromagnético, medidor de turbina, medidor de torbellino y rotámetros.
- Medidores de inserción: son aparatos que se introducen en el interior de una tubería para medir la velocidad del fluido en un punto concreto. La señal de salida generada es cuadrática.
- Medidores de caudal másico: existen dos tipos: medidores de momento angular y los medidores térmicos.



**Figura 1.14. Ejemplos de instrumentos de medición de presión**

**Fuente:** (INDUSTRY, 2016)

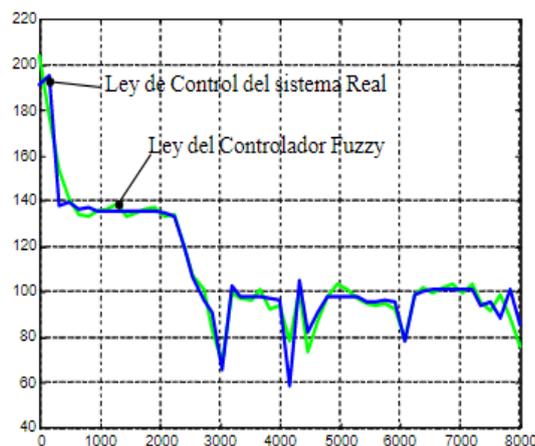
#### **1.9.4. Control mediante lógica difusa**

Existen ciertos sistemas cuyas dinámicas son difícilmente controlables mediante la aplicación de las técnicas tradicionales como los clásicos módulos PID, en todas sus posibles versiones. Esto ocurre normalmente porque la dinámica del sistema presenta comportamiento no lineal o porque no es un sistema tiempo-invariante. En estos casos es necesario recurrir a estrategias de control que puedan trabajar en estas condiciones. Cada una de ellas tiene sus ventajas e inconvenientes, pero para la aplicación que se presenta es importante que la metodología de control que se seleccione sea robusta, esto es, que no existan puntos dentro del margen de trabajo en los que aparezcan incertidumbres que provoquen que las señales de control tomen valores inesperados. Por ello, una buena apuesta estaría en la implantación de reguladores basados en lógica Fuzzy, ya que estos pueden implantarse tanto en autómatas como en computadores industriales, permiten un ajuste sencillo a las condiciones de cada planta y son capaces de proporcionar buenos resultados para los sistemas no lineales (Llata, 2015).

Para el diseño del regulador fuzzy se ha buscado una estrategia que “garantice su funcionamiento” sin más que unos pequeños ajustes por parte del ingeniero de montaje. Esto se ha conseguido mediante la selección de una de las metodologías de implantación de controladores fuzzy más sencillas. El motivo de que se haya realizado de esta forma, sin recurrir a algoritmos adaptativos o de optimización de tiempos y/o caudales es debido a que, no se ha probado sobre una planta real para comprobar si las decisiones relativas a algoritmos más complejos son válidas o no. El regulador diseñado posee la estructura típica de un sistema de control fuzzy. Además, ha sido necesario establecer una serie de

funciones de pertenencia para cada una de las señales de entrada y para la señal de salida (Llata, 2015).

Como ejemplo de algunas de las configuraciones que han proporcionado un correcto funcionamiento, se presentan las funciones de pertenencia de algunas de las señales de entrada del sistema. El sistema seleccionado es sencillo, y susceptible de una implantación inmediata sobre el sistema de control de una planta en construcción o, incluso, sobre una planta que estando actualmente en operación se disponga de un breve tiempo para la actualización del software y su posterior ajuste, ya en operación. Como muestra de las capacidades de aprendizaje que puede presentar el controlador implementado con lógica difusa, en la Figura 1.15 se puede observar la señal de actuación que presenta el sistema real ante el conjunto de señales de entrada formado por la presión diferencial, el tiempo, el caudal de salida y la turbidez, y la ley de control proporcionada por el sistema fuzzy una vez entrenado con las mismas señales (Llata, 2015).



**Figura 1.15. Respuesta real vs controlador fuzzy**

**Fuente:** (Llata, 2015)

### **1.10. Reglas de Ziegler-Nichols para la sintonía de controladores PID**

Si se puede obtener un modelo matemático de la planta, es posible aplicar diversas técnicas de diseño con el fin de determinar los parámetros del controlador que cumpla las especificaciones del transitorio y del estado estacionario del sistema en lazo cerrado. Sin embargo, si la planta es tan complicada que no es fácil obtener su modelo matemático, tampoco es posible un método analítico para el diseño de un controlador PID. En este caso, se debe recurrir a procedimientos experimentales para la sintonía de los controladores PID (Ogata, 2010).

El proceso de seleccionar los parámetros del controlador que cumplan con las especificaciones de comportamiento dadas se conoce como sintonía del controlador. Ziegler y Nichols sugirieron reglas para sintonizar los controladores PID (esto significa dar valores a  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$ ) basándose en las respuestas escalón experimentales o en el valor de  $K_p$  que produce estabilidad marginal cuando sólo se usa la acción de control proporcional. Las reglas de Ziegler-Nichols, que se presentan a continuación, son muy convenientes cuando no se conocen los modelos matemáticos de las plantas. (Por supuesto, estas reglas se pueden aplicar al diseño de sistemas con modelos matemáticos conocidos.) Tales reglas sugieren un conjunto de valores de  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  que darán una operación estable del sistema (Ogata, 2010).

Ziegler y Nichols propusieron reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional  $K_p$ , del tiempo integral  $T_i$  y del tiempo derivativo  $T_d$ , basándose en las características de respuesta transitoria de una planta dada. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o sintonía de controladores PID la pueden realizar los ingenieros mediante experimentos sobre la planta. (Después de la propuesta inicial de Ziegler-Nichols han aparecido numerosas reglas de sintonía de controladores PID. Estas reglas están disponibles tanto en publicaciones técnicas como de los fabricantes de estos controladores)

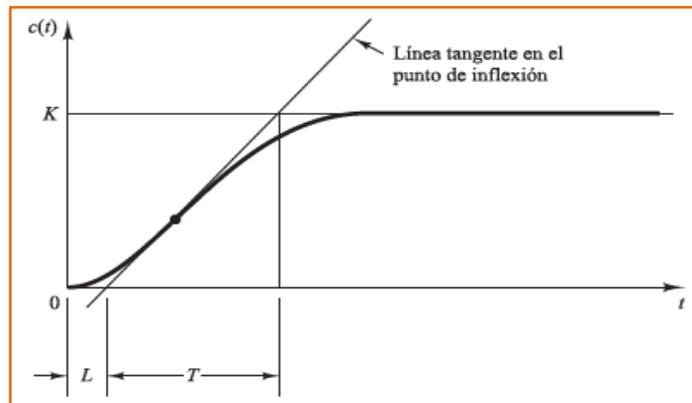
Hay dos métodos denominados reglas de sintonía de Ziegler-Nichols. A continuación se hace una breve presentación de estos dos métodos (Ogata, 2010).

#### **1.10.1. Primer método Ziegler-Nichols**

En el primer método, la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental, si la planta no contiene integradores ni polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta escalón unitario puede tener forma de S, como se observa en la Figura 1.10. Este método se puede aplicar si la respuesta muestra una curva con forma de S. Tales curvas de respuesta escalón se pueden generar experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta (Ogata, 2010).

La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo  $L$  y la constante de tiempo  $T$ . El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y

determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y con la línea  $c(t) = K$  (Ogata, 2010).



**Figura 1.16. Curva de respuesta en forma de S**

**Fuente:** (Ogata, 2010)

Tal como se muestra en la Figura 1.16. En este caso, la función de transferencia  $C(s)/U(s)$  se aproxima mediante un sistema de primer orden con un retardo del modo siguiente:

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts + 1}$$

**Ec.2**

Dónde:

L: Es el retardo de tiempo.

T: Es la constante de tiempo.

$K = c(t)$ : Es la amplitud de la variable.

**Tabla 1.2. Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método)**

**Fuente:** (Ogata, 2010)

Tipo de controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Ziegler y Nichols sugirieron establecer los valores de  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  de acuerdo con la fórmula que se muestra en la Tabla 1.2. Obsérvese que el controlador PID sintonizado mediante el primer método de las reglas de Ziegler-Nichols produce.

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = 1.2 \frac{T}{L} \left( 1 + \frac{1}{2Ls} + 0.5Ls \right) = 0.6T \frac{\left( s + \frac{1}{L} \right)^2}{s} \quad \text{Ec.3}$$

Dónde:

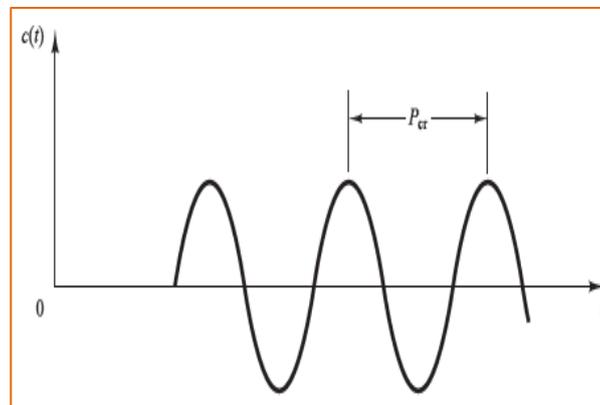
$K_p$ : Es la constante Proporcional.

$T_i$ : Es la constante integral.

$T_d$ : es la constante derivativa.

### 1.10.2. Segundo método Ziegler-Nichols

En el segundo método, primero se fija  $T_i\% = \infty$   $T_d\% = 0$ . Usando sólo la acción de control proporcional (véase la Figura 1.17), se incrementa  $K_p$  desde 0 hasta un valor crítico  $K_{cr}$ , en donde la salida presente oscilaciones sostenidas. (Si la salida no presenta oscilaciones sostenidas para cualquier valor que pueda tomar  $K_p$ , entonces este método no se puede aplicar.) Así, la ganancia crítica  $K_{cr}$  y el periodo  $P_{cr}$  se determinan experimentalmente (véase la Figura 1.17).



**Figura 1.17. Oscilación sostenida con periodo  $P_{cr}$  ( $P_{cr}$  se mide en seg.)**

**Fuente:** (Ogata, 2010)

Ziegler-Nichols sugirieron que se establecieran los valores de los parámetros  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  de acuerdo con la fórmula que se muestra en la Tabla 1.3.

**Tabla 1.3. Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la ganancia crítica  $K_{cr}$  y periodo crítico  $P_{cr}$  (segundo método)**

Fuente: (Ogata, 2010)

Tipo de controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0.5K_{cr}$	$\infty$	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Obsérvese que el controlador PID sintonizado mediante el segundo método de las reglas de Ziegler-Nichols produce.

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = 0.6K_{cr} \left( 1 + \frac{1}{0.5P_{cr}s} + 0.125P_{cr}s \right) = 0.075K_{cr}P_{cr} \frac{\left( s + \frac{4}{P_{cr}} \right)^2}{s} \quad \text{Ec.4}$$

Dónde:

$K_p$ : Es la constante Proporcional.

$T_i$ : Es la constante integral.

$T_d$ : Es la constante derivativa.

$P_{cr}$ : Es el período crítico.

$K_{cr}$ : Es la ganancia crítica.

De la ecuación se puede ver que el controlador PID tiene un polo en el origen y un cero doble en  $s = -4/P_{cr}$ .

Conviene darse cuenta de que, si el sistema tiene un modelo matemático conocido (como la función de transferencia), entonces se puede emplear el método del lugar de las raíces para encontrar la ganancia crítica  $K_{cr}$  y las frecuencias de las oscilaciones sostenidas  $\omega_{cr}$ , donde  $2\pi/\omega_{cr} = P_{cr}$ . Estos valores se pueden determinar a partir de los puntos de cruce de las ramas del lugar de las raíces con el eje  $\gamma\omega$ . (Obviamente, si las ramas del lugar de las raíces no cortan al eje  $\gamma\omega$  este método no se puede aplicar) (Ogata, 2010).

### **1.11. Conclusiones del capítulo 1**

Se describen los términos como el crudo, emulsiones, propiedades físicas del petróleo, proceso de separación del petróleo, controladores y lazos de control de procesos que son necesarios conocer para involucrarnos en el tema de investigación, equipos de separación y las reglas de sintonía de Ziegler-Nichols su usarán para sintonizar nuestro lazo de control de caudal que no se conoce.

## CAPÍTULO 2

### 2. METODOLOGÍA

Se describe la metodología usada en la investigación, los equipos usados en la planta de tratamiento de crudo del bloque petrolero y cada una de sus características y análisis de cada fase de la separación del crudo.

#### 2.1. Enfoque, nivel y alcance de la investigación

El enfoque de la investigación está dirigido a la mejora del control de nivel del campo petrolero.

El paradigma utilizado para la investigación es el Paradigma Cuantitativo, ya que el objeto de la investigación es la identificación de las desviaciones que ocasionan la inestabilidad del lazo de control de nivel, en el proceso de deshidratación del crudo.

Se describe el hecho en el que se desarrolla el proceso, se realizara la toma de datos de los diferentes controles de la planta de separación de petróleo, parámetros técnicos de los sistemas de control de nivel que se usa en los procesos que posibilite un análisis e interpretación del fenómeno en cuestión.

Adicional no se busca la comprensión del problema.

El nivel del tipo de la investigación es:

**2.1.2. Exploratorio.-** Debemos explorar a través de varios ensayos en el prototipo construido que permitirá identificar datos de las constantes para evaluar la eficiencia energética del control de nivel.

**2.1.3. Correlacional.-** Una vez obtenidos los datos se buscarán distintas vías de tratamiento de los mismos y finalmente, se propondrá una forma de control de nivel que permita el incremento de la eficiencia en la separación de petróleo.

**2.1.4. Explicativo.-**El nivel explicativo que concluirá con la evaluación de la eficiencia a través de los resultados obtenidos producto de los ensayos realizados en el prototipo de control de nivel construido.

Los Métodos de investigación utilizados son:

**2.1.5. Técnicas.**-La presente investigación se llevará a cabo mediante la utilización de dos técnicas que permitan el levantamiento de datos para el desarrollo del trabajo investigativo así como la implementación de un prototipo para realizar la observación de laboratorio.

**2.1.6. Técnica de Observación de campo y de laboratorio.**-La observación de campo se llevara a cabo a través del levantamiento de información del ingreso de fluido, las diferentes etapas de separación y la producción que entrega finalmente el control de proceso, mediante programas aplicativos, considerando las características de fluido que tiene los pozos de producción del campo petrolero.

Se realizara la observación del proceso de separación trifásica en la planta de procesos del campo petrolero, analizando y comprobando su funcionalidad para reducir el contenido de agua para poder transportar el crudo en especificaciones, cumpliendo así con la ley de hidrocarburos y procedimientos de recepción de crudo, esto se logrará optimizando los lazos de control de caudal de cada uno de los separadores de la planta de procesos.

La observación de laboratorio se realizará utilizando un prototipo que dispone de instrumentos como transmisor de caudal, válvula de control, tanques de almacenamiento, tuberías, bomba de agua, hidro-tanque, sistema de control con un HMI, que acoplados adecuadamente se realizará varios ensayos que permitirá identificar datos de las constantes proporcional, integral y derivativa para evaluar la eficiencia energética del lazo control de caudal del sistema.

**Tabla 2.1. Instrumentos usados para observación de laboratorio**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena 2017

Nº	Descripción de Instrumentos	Cant.
1	Controlador Lógico programable	1
2	Válvula de control	1
3	Transmisor de caudal	1
4	Tanques para controlar el nivel	1
5	Computadora con HMI instalado	1
6	Tablero para montaje de equipos y materiales	1
7	Bomba centrifuga	1
8	Hidrotanque	1

**2.1.7. Técnica ensayo error.**- Se aplicará esta técnica para el aprendizaje por medio de la exploración y el tanteo de varios ensayos en el prototipo construido hasta encontrar las

variables y constantes del lazo de control de nivel más adecuado del cual podemos hacer un análisis de la evaluación energética del sistema.

## **2.2. Sensores e instrumentos asociados a la medición de variables**

Una gran parte de la instrumentación está relacionada con la medición de las variables que intervienen en los procesos, esto puede ser para controlar, indicar o para propósitos de conteo, para un buen entendimiento de los conceptos y términos utilizados es necesario mencionarlos a continuación:

### **2.2.1 Transductor de caudal**

Es un dispositivo capaz de transformar o convertir una determinada manifestación de energía de entrada, en otra diferente a la salida, pero de valores muy pequeños en términos relativos con respecto a un generador.

El tipo de transductor ya nos indica cual es la transformación que realiza (por ejemplo electromecánico, transforma una señal eléctrica en mecánica o viceversa). Es un dispositivo usado principalmente en la industria, en la medicina, en la agricultura, en robótica, en aeronáutica, etc., para obtener la información de entornos físicos y químicos y conseguir (a partir de esta información) señales o impulsos eléctricos o viceversa. Los transductores siempre consumen cierta cantidad de energía por lo que la señal medida resulta atenuada (wikipedia, 2017).

Los transductores de caudal recogen las velocidades de flujo de aire o líquidos. Los sensores de caudal usan diferentes principios de medición. Mediante la velocidad del flujo las unidades de análisis calculan el caudal o determinan mediante un contador la cantidad corrida. Nuestros transductores de caudal funcionan sobre la base de ultrasonido. Esta medición sin contacto tiene la ventaja que los sensores no están expuestos a golpes de ariete y medios sólidos. Los transductores de caudal para aire se usan en el sector de calefacción, ventilación y climatización. Mediciones que usan el principio manométrico de una película térmica permiten trabajar en un amplio rango de temperatura y caudal (Pce-Iberica, 2017).



**Figura 2.1. Ejemplo de transductor de caudal**

**Fuente:** (Pce-Iberica, 2017)

### **2.2.2 Transmisor de caudal**

El transmisor es un instrumento que capta la variable en proceso y la transmite a distancia a un instrumento indicador o controlador; pero en realidades eso y mucho más, la función primordial de este dispositivo es tomar cualquier señal para convertirla en una señal estándar adecuada para el instrumento receptor, es así como un transmisor capta señales tanto de un sensor como de un transductor, aclarando siempre que todo transmisor es transductor más no un transductor puede ser un transmisor; como ya sabemos las señales estándar pueden ser neumáticas cuyos valores están entre 3 y 15 Psi, las electrónicas que son de 4 a 20 mA o de 0 a 5 voltios DC, las digitales que entregan 0 o 5 voltios para 0 o 1 respectivamente (EcuRed, 2017).

### **2.2.3 Lazos de control de un separador**

En los lazos de control podemos mencionar al crudo, agua y gas como se muestra en la siguiente tabla 2.2.

**Tabla 2.2. Instrumentos usados para observación de laboratorio.**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena 2017

LAZOS DE CONTROL	DESIG	CARACTERISTICAS
Lazo de control GAS	FE	Elemento de medición flujo
	FT	Transmisor de flujo
	TE	Transmisor de temperatura
	PCV	Válvula controladora de presión
	PIT	Transmisor indicador temperatura
Lazo de control AGUA	FQI	Indicador de la cantidad de flujo
	LCV	Válvula controladora de nivel
	LIT	Transmisor indicador de nivel
Lazo de control CRUDO	FQI	Indicador de la cantidad de flujo
	LCV	Válvula controladora de nivel
	LC	Controlador de nivel

En la siguiente tabla se tomó en cuenta el lazo de control de gas, agua y crudo para hacer una referencia de los instrumentos que fueron utilizados en el banco de pruebas.

#### 2.2.4 Transmisores de caudal intrusivos y no intrusivos

En la siguiente tabla 2.3 podemos dar una clasificación de transmisores de caudal intrusivo y no intrusivo que intervienen en el proceso.

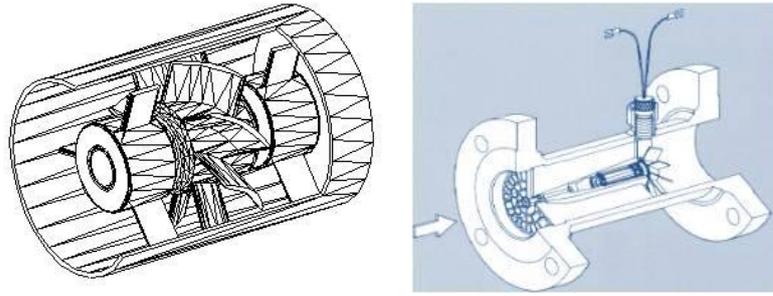
**Tabla 2.3. Clasificación de transmisores de caudal**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena 2017

TIPOS DE TRANSMISORES DE CAUDAL		
<b>INTRUSIVO</b>	Contacto con el proceso	Turbina, V-Cone, Coriolis, etc
<b>NO INTRUSIVO</b>	No contacto con el proceso	Ultrasónicos , magnéticos , ect

##### 2.2.4.1 Transmisores de caudal tipo turbina

Consiste de un rotor con alabes, semejante a una turbina, que se instala en el centro de la tubería y gira con una velocidad angular que es directamente proporcional al flujo.



**Figura 2.2. Ejemplo de transmisor tipo turbina**

**Fuente:** (Universidad de los Andes, 2011)

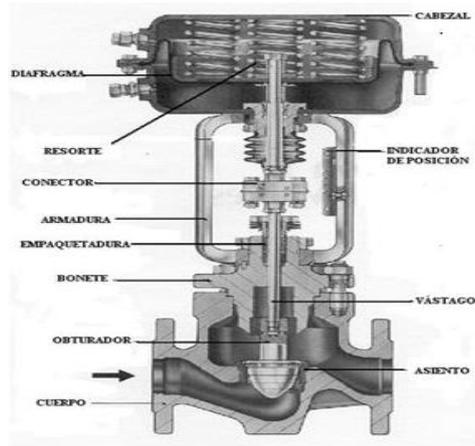
### **2.2.5 Elemento de control final**

Los elementos finales de control son los dispositivos encargados de transformar una señal de control en un flujo de masa o energía (variable manipulada). Es esta variable manipulada la que incide en el proceso causando cambios de la variable controlada. Lo más común en procesos es que la manipulación sea un caudal. Para ajustar el flujo de fluidos en una línea existen primariamente dos mecanismos:

- Modificar la energía entregada al fluido (bombas y ventiladores de velocidad variable)
- Modificar la Resistencia al paso del fluido (válvulas, registros en ductos de gases)

### **2.2.6 Válvula de control**

Son órganos que realizan la función de regular el caudal de un fluido que se comanda a distancia por medio de Válvulas de control de un fluido que se comanda a distancia por medio de una señal neumática o eléctrica sobre un servo actuador que la posiciona acorde a la orden de un controlador (Golato, 2016).



**Figura 2.3. Ejemplo de transmisor tipo turbina**

**Fuente:** (Philco, 2016)

Las válvulas son las encargadas de regular el caudal del fluido de control que modifica el valor de la variable medida y por tanto de la variable controlada. Las válvulas son los principales elementos finales de control (Golato, 2016).

### **2.2.7 Concepto de los Controladores Lógicos Programables (PLCs)**

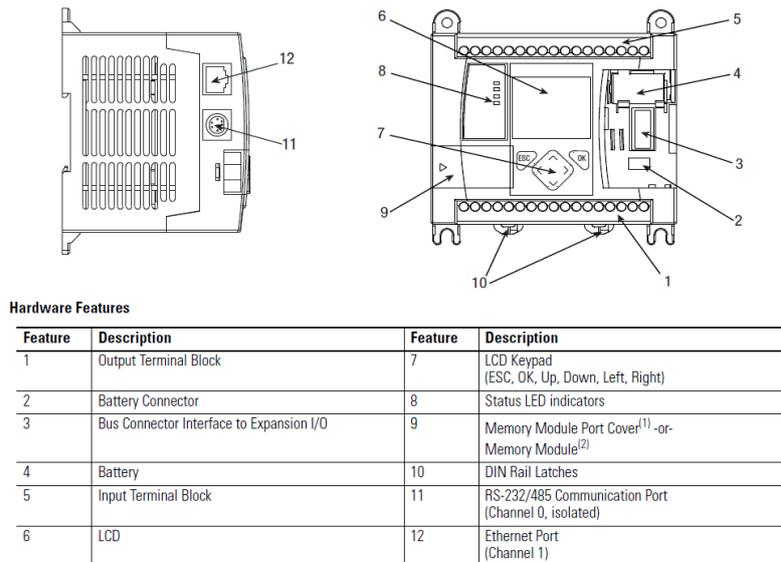
Controlador Lógico Programable (PLC), o Autómata Programable, a toda máquina electrónica, diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales.

También se le puede definir como una caja negra en la que existe unos terminales de entrada a los que se conectarán pulsadores, finales de carrera, detectores, unos terminales de salida a los que se conectarán bobinas de contactores, electroválvulas, lámparas, de tal forma que la actuación de estos últimos este en función de las señales de entrada que estén activadas en cada momento.

La potencia de un PLC está directamente relacionada con la velocidad de ejecución del programa y las variables tratadas. Un PLC del mercado actual tarda unos 0,15 ms en ejecutar las instrucciones de un programa aproximadamente, o sea que el resultado es perfecto para el control de cualquier automatismo. El fin de dicha ejecución es provocar el cambio de las variables tratadas. Este cambio sobre las variables se realiza antes, durante y al final del programa. Antes del programa se realiza la lectura de las Entradas (inicio de ciclo), al final se realiza la escritura de las Salidas (fin de ciclo y enlace con el inicio). Durante la ejecución del programa se realiza la lectura y/o escritura de las variables internas según el contexto programado (Automation, 2017).

Para este diseño se utilizó el PLC de la Familia Micrologix 1100 el mismo que tiene las siguientes características: El Boletín 1763, controlador programable Micrologix 1100 contiene, una fuente de poder, circuitos de entrada y salida, un procesador, un puerto de comunicación aislada RS-232/485, y un puerto de entrada Ethernet. Cada controlador soporta 18 puntos de I/O (10 entradas digitales, 2 entradas análogas y 6 salidas discretas) (Automation, 2017).

Las características del controlador se indican en la siguiente Figura 2.4.



**Figura 2.4. Partes de un PLC MicroLogix 100**

**Fuente:** (Automation, 2017)

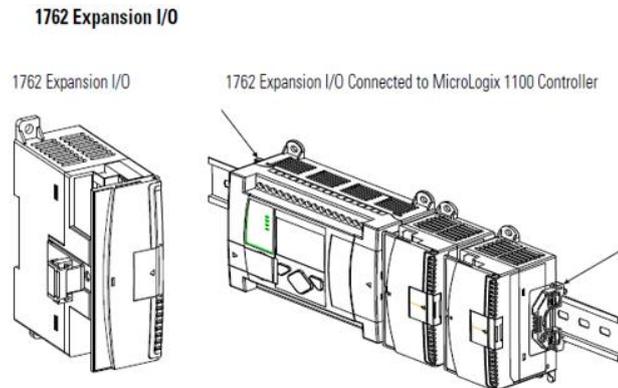
El controlador tiene un reloj para tiempo real para proveer una referencia para aplicaciones que necesitan referencia de tiempo. El controlador también tiene un módulo de memoria expansible (9) como un accesorio, memoria que puede transportar programas entre controladores.

El programa y datos en un MicroLogix 1100 son no volátiles y es almacenado cuando la energía es perdida hacia el controlador. El módulo de memoria provee un respaldo de información de manera separada. El módulo de memoria no incrementa la capacidad de la memoria del controlador (Automation, 2017).

### 2.2.8 Tarjeta 1762-IF2OF2 Modulo de expansión I/O

El módulo de expansión 1762 puede ser conectado al MicroLogix 1100. El modulo añade dos entradas y dos salidas analógicas, las cuales pueden aceptar en sus terminales señales de voltaje o corriente. Si es voltaje de 0 a 10 VDC y si es corriente de 4 a 20 mA.

La mayoría de las aplicaciones requieren instalación en un recinto industrial para reducir los efectos Interferencias y exposición ambiental. Ubique su controlador lo más lejos posible de la alimentación líneas de carga y otras fuentes de ruido eléctrico, como interruptores de contacto duro, relés y accionamientos del motor de CA.



**Figura 2.5. Módulo de expansión I/O 1762-IF2OF2**

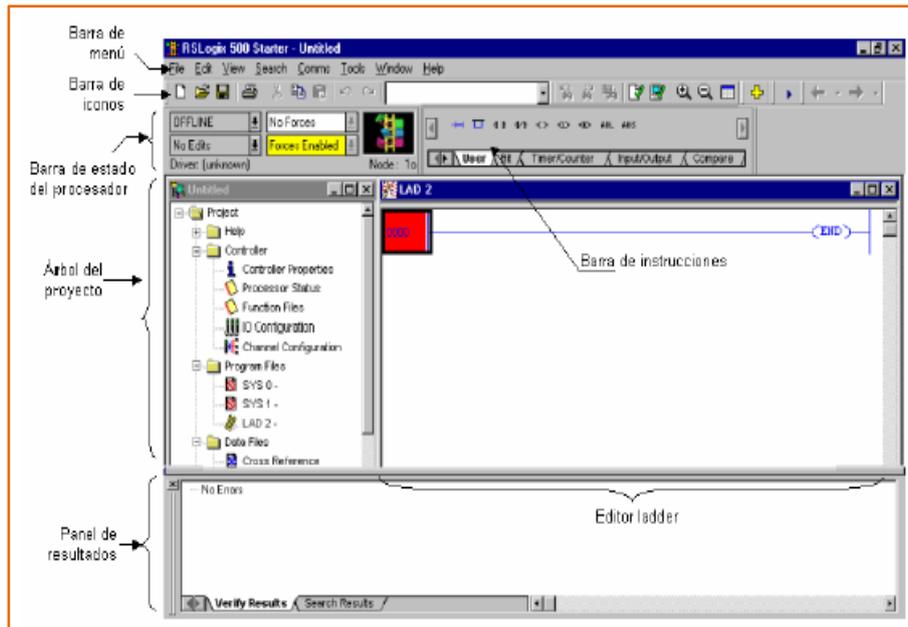
**Fuente:** (Automation, 2017)

Este módulo de entradas y salidas I/O analógicas, permite ingresar señales de los transmisores de temperatura y caudal al PLC.

### **2.2.9 Programa RSLogix 500**

RSLogix 500 es el programa destinado a la creación de los programas del autómeta en lenguaje de esquema de contactos o también llamado lógico de escalera (Ladder). Incluye editor de Ladder y verificador de proyectos (creación de una lista de errores) entre otras opciones. Este producto se ha desarrollado para funcionar en los sistemas operativos Windows.

Existen diferentes menús de trabajo en el entorno de RSLogix 500, a continuación se hace una pequeña explicación de los mismos:



**Figura 2.6. Vista principal del software RSLogix 500**

**Fuente:** (RSLOGIX 500, 2004)

Barra de menú: permite realizar diferentes funciones como recuperar o guardar programas, opciones de ayuda, etc. Es decir, las funciones elementales de cualquier software actual.

Barra de iconos: engloba las funciones de uso más repetido en el desarrollo de los programas.

Barra de estado del procesador: Nos permite visualizar y modificar el modo de trabajo del procesador (online, offline, program, remote), cargar y/o descargar programas (upload/download program), así como visualizar el controlador utilizado (Ethernet drive en el caso actual).

Árbol del proyecto: Contiene todas las carpetas y archivos generados en el proyecto, estos se organizan en carpetas.

Panel de resultados: aparecen los errores de programación que surgen al verificar la corrección del programa realizado (situados en la barra de iconos). Efectuando doble clic sobre el error, automáticamente el cursor se situará sobre la ventana de programa Ladder en la posición donde se ha producido tal error.

Barra de instrucciones: Esta barra le permitirá, a través de pestañas y botones, acceder de forma rápida a las instrucciones más habituales del lenguaje Ladder. Presionando sobre cada instrucción, ésta se introducirá en el programa.

Ventana del programa Ladder: Contiene todos los programas y subrutinas relacionados con el proyecto que se esté realizando. Se puede interactuar sobre esta ventana escribiendo el programa directamente desde el teclado o ayudándose con el ratón (ya sea arrastrando objetos procedentes de otras ventanas o seleccionando opciones con el botón derecho del ratón).

### **2.2.10 Programa RSLinx**

El software RSLinx (de la serie 9355) es un paquete servidor de comunicaciones que proporciona conectividad a los dispositivos en la planta para una amplia variedad de aplicaciones. RSLinx puede aceptar varias aplicaciones de software comunicándose de manera simultánea a una variedad de dispositivos en muchas redes distintas.

RSLinx ofrece una interface gráfica de fácil uso para desplazarse en su red. Al elegir un dispositivo e ingresar se puede tener acceso a una variedad de herramientas integradas de configuración y monitoreo. Se proporciona un conjunto completo de drivers de comunicación para sus necesidades de conexiones de red, incluso para las redes anteriores de Allen-Bradley.

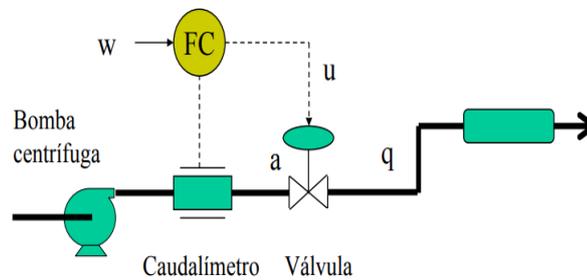
RSLinx está disponible en varios paquetes que satisfacen la demanda de una variedad de requisitos de costo y funcionalidad. RSLinx se puede usar con Windows 98, Windows 2000, Windows ME, Windows XP o Windows NT (versión 4.0 con Service Pack 3 ó superior), Windows Vista y Windows 7 (64 bits) (Automation, RSLinx Classic, 2008)

### **2.2.11 Programa de interfaz RSVIEW32 (HMI)**

RSView32, es un programa basado en Windows para la creación y ejecución de aplicaciones de adquisición de datos, monitoreo y aplicaciones de control. Diseñado para el uso en ambiente Microsoft Windows 2000, NT, XP, contiene las herramientas necesarias para la creación de todos los aspectos de una interface máquina operador, incluyendo las pantallas de gráficos animados en el tiempo real, tendencias, y resúmenes de alarmas. RS View32 se integra fácilmente con los productos Rockwell Software,

Microsoft y otros fabricantes para maximizar las potencias de las tecnologías Active X, OLE, ODBC, OPC, DDE (RSView32, 1999).

### 2.3 Diagrama de bloques de un lazo de control de caudal



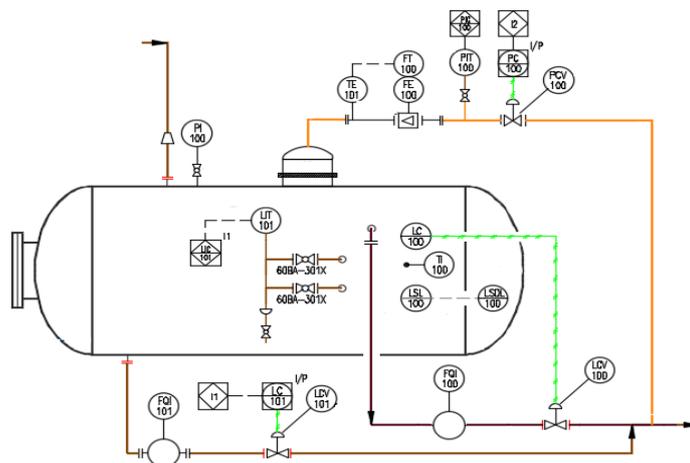
**Figura 2.7. Diagrama de bloques de lazo de control de caudal**

**Fuente:** (Aparicio, 2015)

### 2.4 Separador trifásico

Los separadores trifásicos son unidades móviles que se encargan de realizar las pruebas en pozos tanto exploratorios como pozos de producción. Con capacidad de 3.000 a 5.000 BPD dependiendo del tiempo de residencia, y presión máxima de diseño de 675 psi @ 200°F, la temperatura máxima de operación es de 180°F.

Este separador está construido con tres lazos de control, presión, nivel del crudo y otro de nivel de agua. En la gráfica 2.8, se indican los componentes de la instrumentación en el separador.



**Figura 2.8. Separador de producción**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena 2017

## 2.5 Determinación de las variables

El correcto **control de caudal** en el separador de producción de petróleo, **mejora la eficiencia energética en el proceso de separación** del petróleo, mediante el diseño de un prototipo para experimentación del lazo de control de **caudal** para obtener los parámetros de operación más eficientes.

**Independiente:** El control de caudal en el separador de producción de petróleo.

**Dependiente:** Mejora la eficiencia en los procesos de separación de petrolero.

En la tabla 2.4 indica la operacionalización de variables.

**Tabla 2.4. Variable independiente y dependiente**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena 2017

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b>		<b>El control de caudal en el proceso de producción de petróleo</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Categoría</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Item</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Los controles de caudal son dispositivos cuya finalidad es la de garantizar el caudal del fluido en un rango de variación preestablecido	Portadores energéticos (Petróleo, Diésel, energía eléctrica)	Producción diaria del separador de petróleo	BPD	Medición	Flujómetro
		Caudal del tanque de procesos	BPD	Medición	Transmisor de caudal
		BSW de salida de petróleo del separador	%	Medición	Analizador de BSW
		PPMs de crudo en el agua en el separador	mg/lt	Medición/ Cálculo	Balones aforados Espectrofotómetro
	Materiales y equipos	Presupuesto	Dólares	Software	Diagramas
		Disponibilidad	Producción de petróleo	Software	Diagramas
	Equipos de Automatización	Rangos de trabajo de operación	BPD, T°, cSt, energía	Software	Diagramas
<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b>		<b>Mejorar la eficiencia en los procesos de separación de petróleo</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Categoría</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Item</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Es la determinación de la cantidad de petróleo que se pierde por deficiente control de caudal en la separación de fluido	Pérdidas de producción de petróleo	Producción diaria de petróleo	BPD	Software	Diagramas
	Control Operacional	Eficiencia de la planta	Porcentaje	Software	Diagramas
	Mantenimiento (Recursos)	Costo	\$	Cálculos	Ecuaciones
	Eficiencia energética	Energía eléctrica	kW	Medición	Software
	Pre-factibilidad	Costo	\$	Cálculos	Ecuaciones

## 2.6 Sistema de tareas por objetivos específicos

En la tabla 2.5 se muestra las tareas para cada objetivo.

**Tabla 2.5. Sistema de tareas para objetivo**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena 2017

OBJETIVO	TAREAS
Determinar las pérdidas de producción que ocasiona el control de caudal	Levantamiento de la tecnología de la tecnología existente
	Toma de datos de parámetros relacionados al desempeño de los equipos de separación
	Estudió de tendencias de variables en sistemas SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos)
Diagnosticar las causas de las pérdidas de eficiencia en la separación de fluido en el proceso	Organizar un equipo de análisis de los problemas que se tienen en los equipos.
	Estudió de tendencias de variables en sistemas SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos)
	Analizar los datos tomados en campo y recomendaciones
Determinar el control de caudal más adecuado para un funcionamiento óptimo de la planta de procesamiento de petróleo	Realizar la ecuación para determinar el control más adecuado
	Realizar ensayos del producto de salida del separador para determinar el BSW
	Realizar ensayos de la salida de agua del separador para determinar los ppms de aceite en el agua
Establecer acciones y tareas para obtener un óptimo de control de caudal y determinar la valoración técnico económico de la mejora	Establecer cronogramas de cumplimiento de actividades y tiempos a fin de poder cumplir con el proyecto en tiempo y forma

## **2.7 Conclusiones del capítulo 2**

- Se detalló la metodología, enfoque, nivel y alcance de la investigación
- Se detalló la instrumentación y programas de control que se usarán en la construcción del banco de pruebas de control de caudal.
- Se identificaron las variables y su matriz de operacionalización.

## CAPÍTULO 3

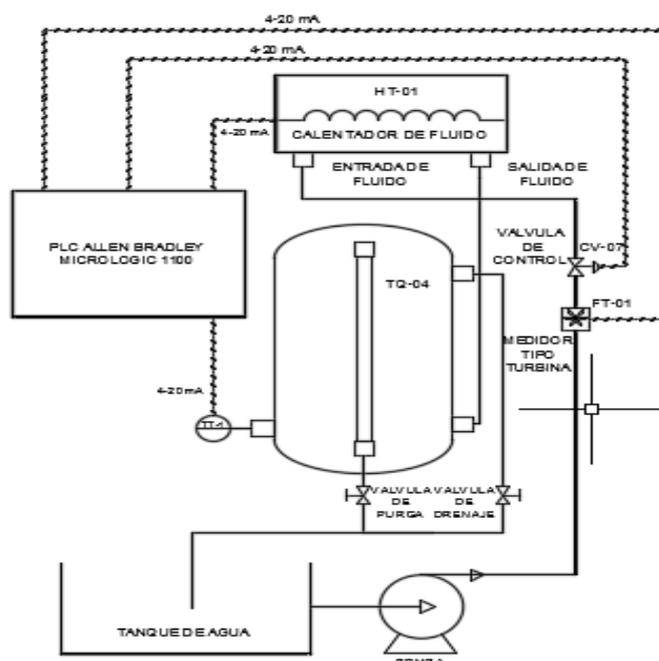
En este capítulo se describirá cada uno de los elementos que se usó en la construcción del banco de pruebas de control de caudal. Para esto fue necesario identificar los elementos más adecuados debido a que está orientado a realizar pruebas con variaciones de las variables en cortos periodos de tiempo, esto facilitará el análisis y aprendizaje. Se realizarán varios ensayos en los que se espera poder determinar los valores iniciales de KC, TI y TD.

### 3. CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS

#### 3.1. Construcción del banco de pruebas del control de caudal

##### 3.1.1. Diagrama general del prototipo de control de caudal

La Figura 3.1 indica un diagrama general con la organización de los elementos que conforman el banco de pruebas de control de caudal.



**Figura 3.1. Diagrama general del banco de pruebas del control de caudal**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

En el diagrama general del banco de pruebas se puede observar cómo sería el recorrido del fluido desde la bomba hasta el tanque TQ4. Se observa que desde la descarga de la bomba el fluido a través de tuberías llegan hasta el transmisor de caudal FT1 en el cual toma la lectura y enviara al PLC (señal de entrada analógica), después tenemos ubicado la válvula

de control de caudal LV-7 la cual enviara la señal al PLC (señal de salida digital) y posterior al HMI (Interfaz Hombre-máquina).

En la siguiente Figura 3.2 se indica como quedo el banco de pruebas de control de caudal construido para la utilización de prácticas de laboratorio de la Universidad Técnica de Cotopaxi.



**Figura 3.2. Ilustración de banco de pruebas de control de caudal**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

Como se puede observar en la Figura 3.2. Los elementos componentes están ubicados estratégicamente para que cumpla su función dentro del banco de pruebas. Se observa que dispone de dos tanques de acrílico transparente que son succión de la bomba pedrollo, las tuberías PVC llevan el fluido hasta el transmisor de caudal, después pasa por la válvula de control para que el fluido llegue a los tanques de recirculación de agua.

### **3.1.2. Elementos componentes del sistema**

Los principales componentes del sistema de control de caudal son el controlador lógico programable, la bomba de presión que es la que proveerá de fluido al sistema, el transmisor de caudal usado para medir el caudal y la válvula de control. El resto de elementos si bien su función es complementaria son también importantes para el funcionamiento del banco construido.

**Tabla 3.1. Componentes del sistema de control de caudal****Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena 2017

Ítem	Código	Equipo	Fabricante	Características
1	HT-1	Calentador de agua	Shiva	Calentador de agua 6500 w
2	V5	Válvula 5		Válvula de ingreso módulo Presión/Nivel de 1'' acero inoxidable
3	V6	válvula 6		Válvula de ingreso módulo Presión/Nivel de 1/2'' acero inoxidable
4	V7	Válvula 7	TCrystal	Válvula de control eléctrica proporcional
5	V8	Válvula 8		Válvula de drenaje/purga 1/2'' acero inoxidable
6	V9	válvula 9		Válvula de drenaje 1/2'' acero inoxidable
7	FT1	Transmisor de flujo		Transmisor flujo tipo turbina
8	TQ4	Tanque		Para censado de temperatura de agua
9	MF1	Módulo de Flujo 1		Módulo de Flujo 1
10	M1	Bomba-motor	Pedrollo	Motor eléctrico 0.5 HP
11	PLC 1	PLC	AB	Micrologix 1100
12	I/O 1	I/O Tarjeta	AB	Micrologix 1762-IF20F2
13	I/O 2	I/O Tarjeta	AB	Micrologix 1762-IF20F2
14	PSVDC	Fuente	LED	110VCA/24 VDC
15	B 2	Breaker principal	GE	Breaker doble polo set 40 Amperios
16	B 3	Breaker calentador	SCHNEIDER	Breaker doble polo set 40 Amperios
17	B 4	Breaker elementos	LS	Breaker set 20 Amperios
18	CT 2	Trans Corriente	YHDC	100A/50 mA
19	TB1	Caja de conexión	Beaucoup	40x60X20 (cm) , IP56
20	TQ	Tanques	PICA	65x40x40 (cm)
21	T2	Tubería PVC	PVC	½''
22	TX1	Tablero	Taller Metalmecánico	170x80x60

En la Tabla 3.1. Se detallan los componentes utilizados en el banco de pruebas de control de caudal, la marca el fabricante y la características de cada uno.

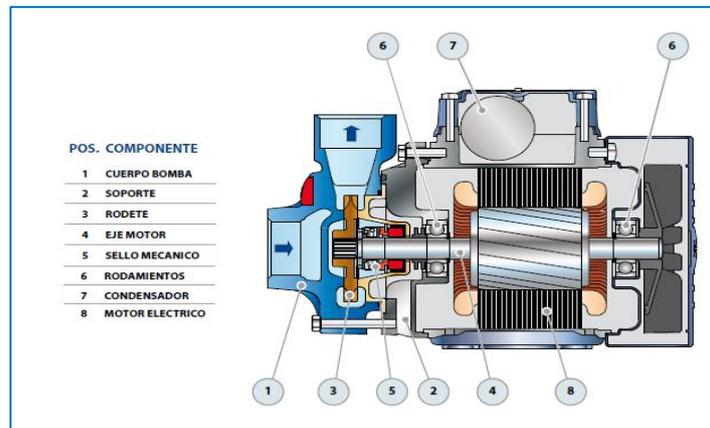
### 3.1.3. Bomba de agua marca Pedrollo PKm 60-MD

La bomba escogida para este proyecto es una marca Pedrollo modelo PKm 60-MD, tiene una capacidad hidráulica de 60 l/m con una presión de descarga de 5Mts y una potencia de 0,5 HP, es la más apropiada por el consumo de energía, la presión de trabajo es adecuada

para trabajar con tuberías PVC y el flujo que maneja es el adecuado para nuestro tanque de control de nivel.

La bomba es para trabajar con agua limpia sin partículas abrasivas con líquidos químicamente no agresivos.

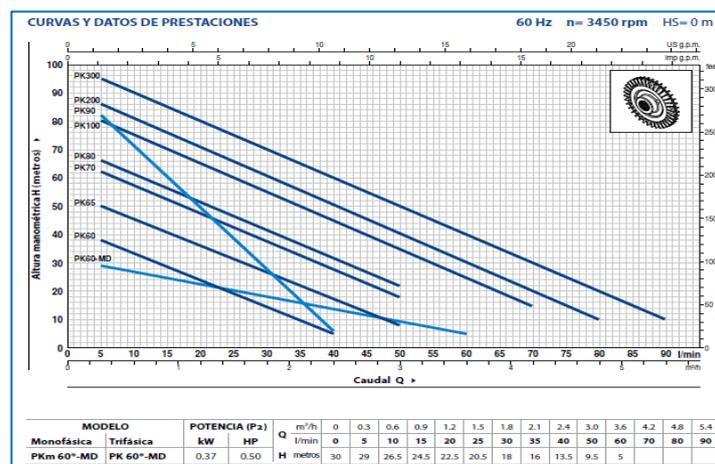
Las principales componentes son el cuerpo en material de hierro fundido, eje de acero inoxidable, rodete de latón, del tipo de aletas periféricas radiales, el eje del motor es de acero inoxidable EN 100883 - 1.4104, el sello mecánico es un conjunto de cerámica y grafito con elastómero de NBR.



**Figura 3.3 Despiece bomba Pedrollo Pkm-60-MD**

**Fuente:** (Pedrollo, 2017)

En la Figura 3.3 se describen los principales componentes de la bomba motor marca Pedrollo, este detalle es importante para cuando se realicen los mantenimientos del equipo ya sea del motor o bomba.



**Figura 3.4. Curva y datos de prestaciones bomba Pkm-60-MD**

**Fuente:** (Pedrollo, 2017)

En la Figura 3.4 se puede observar la curva de trabajo de la bomba Pedrollo Pkm-60-MD, el flujo de la bomba aumenta conforme la presión decremента. Se puede apreciar que cuando alcanza un flujo de 60 l/min la presión de descarga de la bomba sería 5 m. y cuando se tiene 5 l/min la presión de descarga sería 29 m.

Esta bomba es adecuada para nuestro banco de pruebas de sistemas de control debido a que maneja un fluido que permitirá desarrollar variaciones de flujo en cortos tiempos lo que facilitará el aprendizaje del lazo de control de caudal, además que por su presión de trabajo permite hacer las instalaciones con accesorios de plástico que se puede encontrar fácilmente en el mercado.

### 3.1.4. Válvula de control de caudal

La válvula de control usada para la construcción del banco de pruebas de control de caudal es marca **TCrystal con actuador TCN-02T**, se usó esta válvula de ½” debido a que con esta podemos tener variaciones de flujo en un amplio rango de trabajo de la curva de la bomba, por su fácil configuración y conexión con el sistema de control instalado además de su bajo costo y fácil ubicación en el mercado además que tiene las siguientes características que hacen que sea la más adecuada para nuestro propósito.



**Figura 3.5. Válvula de bola de ½” con actuador TCN-02T**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

- Válvula de bola de ½” con accionamiento ON-OFF en 90° cuerpo en acero inoxidable.
- Tensión nominal: AC230V, AC / DC24V
- Par de torsión: 20N.m
- Tiempo de funcionamiento: cerca de 10S
- Instale en válvulas por debajo de 15N.m: 2 vías, de 3 vías y de mariposa.
- Señal de control: 4-20mA, 0-20mA, 0-5V, 1-5V, 0-10V, 2-10V

- Realimentación sobre la posición: 4-20mA
- Precisión de posición:  $\pm 1\%$  (ajustado por software)
- Motor sin escobillas de alto rendimiento, protección contra sobrecarga
- Se puede utilizar 20 000 veces \* 1

### 3.1.5. Tanque de agua para control de caudal

El tanque de agua que se construyó en función del caudal que maneja la bomba a través de la válvula de control de caudal y las tuberías instaladas lo que finalmente logramos es tener un tanque con variaciones de nivel en cortos periodos de tiempo lo que facilita visualizar el proceso de control en este sistema de control de caudal.

El tanque tiene las siguientes características.



**Figura 3.6. Tanque para control de caudal**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

- Tanque es de hierro fundido.
- Tiene un dimensionamiento de r: 10 cm, h: 40 cm.
- Volumen del tanque es de 12 000 cm<sup>3</sup> equivale a 0,012 m<sup>3</sup>.
- Tiene seis orificios uno de entrada, dos de salida, uno para el transmisor de temperatura y dos para mirilla de nivel del tanque TQ4.

### 3.1.6. Transmisor de caudal

Este sensor de flujo está construido de plástico sólido, de fácil instalación en un sistema de tuberías estándar (1/2"), mide el flujo del agua por medio de un rotor de agua interno que activa un sensor de efecto Hall, este envía pulsos por cada rotación. El sensor está aislado del agua y el rotor, de manera que siempre se mantiene seco y seguro.

El sensor tiene tres cables: rojo (vcc: 5-18VDC), negro (tierra) y amarillo (salida de pulsos del sensor de efecto Hall). Al contar los pulsos se puede medir fácilmente el volumen o caudal de salida del agua (el volumen promedio por pulso es de 2,25mL). Tenga en cuenta que este no es un sensor de precisión por lo que la orientación, presión del agua y otras condiciones pueden afectar la medición. Se recomienda calibrar el sensor realizando mediciones con volúmenes conocidos. Calibrado puede llegar a tener una precisión de hasta 10%, tiene las siguientes características:



**Figura 3.7. Transmisor de caudal tipo turbina**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

- Modelo: YF-S201
- Voltaje de operación: 5V - 18V DC
- Corriente de operación: 15mA (5V)
- Capacidad de carga: 10mA (5 VDC)
- Temperatura de funcionamiento: -25°C a 80°C
- Presión de funcionamiento máximo: 1,75MPa (17 bar)
- Rango de funcionamiento: 1-30L/min
- Rosca externa: 1/2" NPS
- Volumen promedio por pulso: 2,25mL

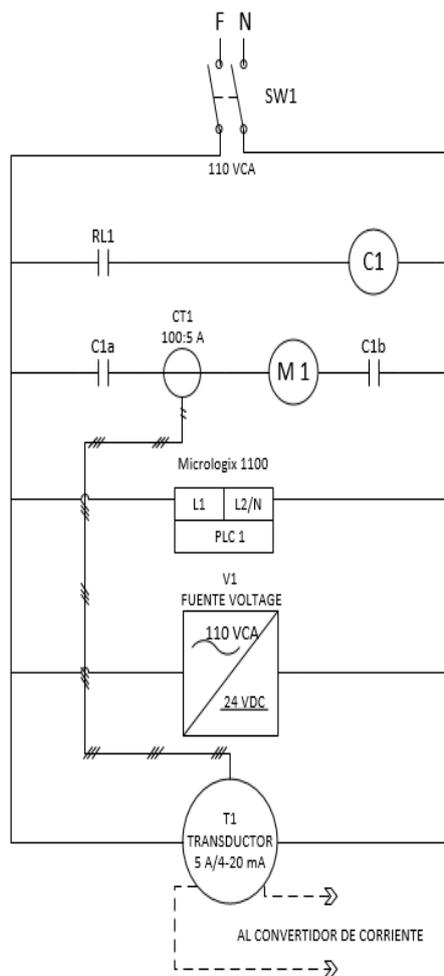
### **3.2. Diagrama del sistema eléctrico del banco de pruebas**

En la siguiente Figura 3.8 se indica el diagrama de conexiones eléctricas del motor y bomba usado como fuente de alimentación de presión y fluido para el prototipo de lazos de control de presión, nivel, temperatura y caudal.

Todos los elementos usados en el sistema eléctrico fueron seleccionados de acuerdo a las características de la bomba-motor.

Los elementos de conversión usados fueron identificados de acuerdo a la necesidad de convertir la corriente de consumo de la bomba en una señal de voltaje análogo para ingresar el PLC y desplegada en nuestro sistema HMI.

### Diagrama del sistema eléctrico del banco de pruebas (caja 01)



**Figura 3.8. Diagrama eléctrico del banco de pruebas caja 01**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017



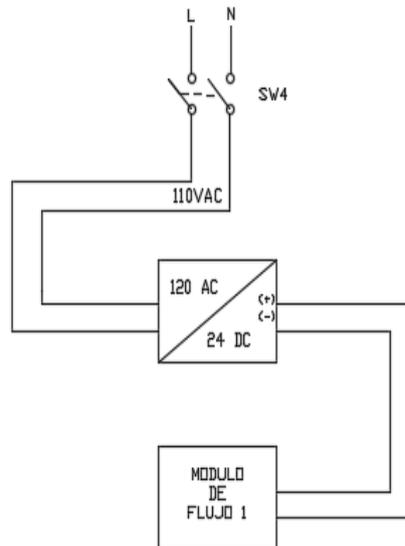
**Figura 3.9. Caja de conexiones eléctricas y control caja 01**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

Para la instalación del sistema eléctrico y de control se utilizó una caja (01) de conexiones TX de 60x40x20, aquí se tomaron las siguientes consideraciones para la construcción.

- Se realizó el circuito eléctrico de control para la automatización de arranque y parada de la bomba por medio del HMI desde el PLC.
- Para el arranque de la bomba se instaló un contactor C1 de marca LS (MC-9b) de 20 amperios de 3 polos.
- Se instaló un breaker térmico de 16 amp como resguardo de todo el sistema eléctrico incluido el motor.
- Motor eléctrico de la bomba es de 0.5 HP, 6,5 amperios, 110 VCA.
- Se instala un relé RL de 24 VDC para recibir la señal del PLC para arranque del motor eléctrico, un contacto de este relé acciona al contactor C1 para que arranque la bomba.
- Se instala una fuente V1 de voltaje VDC para alimentación de los circuitos de control de 24VDC/ 5 amperios.
- Se instala un sistema de medición de corriente, un CT 1 transformador de corriente de radio 100/5 A, su señal es conectado a un transductor que convierte la corriente de 0 a 5 A de entrada a una salida de 4 a 20 mA. Luego esta corriente de control de 4 a 20 mA es enviada hacia un convertidor en el sistema de control.

### Diagrama del sistema eléctrico del banco de pruebas (caja 02)



**Figura 3.10. Diagrama eléctrico del banco de pruebas caja 02**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017



**Figura 3.11. Caja de conexiones eléctricas y control caja 02**

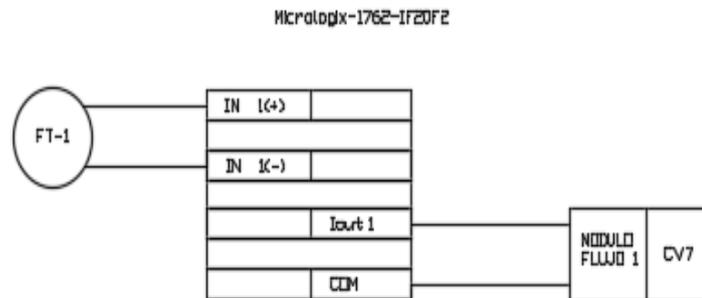
**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

Para la instalación del sistema eléctrico y de control se utilizó un caja (02) de conexiones TX de 60x40x20, aquí se tomaron las siguientes consideraciones para la construcción.

- Se instaló un breaker térmico de 20 amp como resguardo de la fuente PS-VDC-24V
- Para el transmisor de flujo tipo turbina se acoplo un MF1 (módulo de flujo 1), para convertir la señal voltaje a miliamperios ya que nuestra tarjeta es una señal analoga de 4-20 mA.

### 3.3. Diagrama del sistema de control del banco pruebas

La Figura 3.12 se indica el diagrama que se utiliza en la construcción del prototipo de lazo de control de caudal.



**Figura 3.12. Diagrama de control del banco de pruebas**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017



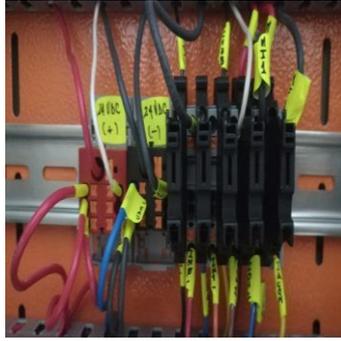
**Figura 3.13. Transmisor de caudal tipo turbina**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017



**Figura 3.14. Módulo de flujo 1(MF1)**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017



**Figura 3.15. Regletas de conexión circuito de control**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

El circuito de control del banco de pruebas de lazo de control de caudal tiene las siguientes consideraciones para su construcción.

- La alimentación de 24 VDC viene de una fuente de voltaje de PS VDC de 110 VCA.
- La variable de control se mide a través de un transmisor de flujo, el cual tiene una salida de 1-30L/min, esta señal fue acoplada a un módulo de flujo (MF1) para convertirla a una señal de corriente de 4 a 20 mA.
- Se instalan borneras con fusibles incorporados de 0,25 A para salidas de alimentación hacia el módulo de flujo y las entradas, salidas de la segunda tarjeta (SLOT 2) del PLC.
- Se instala el PLC Micrologix 1100, PLC1 del cual se utiliza una entrada análoga de 4 a 20 mA para lectura de la corriente de consumo de la bomba.
- Se instala la tarjeta de expansión 1762- IF20F2, en el PLC 1. Tarjeta que recibe la señal de la variable medida que llega del transmisor. Se utiliza una de las salidas para el control del circuito del módulo de flujo del FT-1.

### **3.3.1. PLC Micrologix 1100 de Allen Bradley**

El MicroLogix 1100 de Allen-Bradley es una familia de controladores programables de chasis pequeño, de E/S discretas, analógicas y especiales con dispositivos periféricos. El paquete de programación de lógica de escalera RSLogix 500 proporciona editores flexibles, una configuración de E/S que se puede seleccionar con un solo clic y un potente editor de base de datos, así como herramientas de diagnóstico y resolución de problemas que le ayudan a ahorrar tiempo durante el desarrollo de proyectos y a maximizar la productividad.

El programa y datos en un MicroLogix 1100 son no volátiles y es almacenado cuando la energía es perdida hacia el controlador. El módulo de memoria provee un respaldo de información de manera separada. El módulo de memoria no incrementa la capacidad de la memoria del controlador.

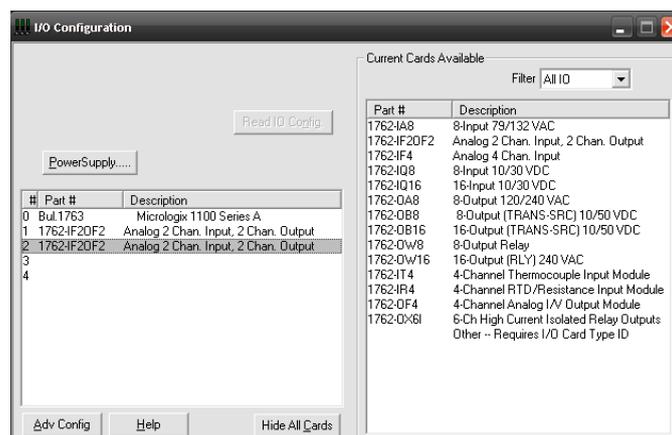
### 3.3.2. Configuración de la tarjeta 1762-IF2OF2 Modulo de expansión I/O

Este módulo de entradas y salidas I/O analógicas, permite ingresar señales de los transmisores de temperatura y caudal al PLC, configurarles adecuadamente y para después poder desplegar en el HMI las señales en tiempo real de las dos variables de control.

El modulo añade dos entradas y dos salidas analógicas, que pueden ser configuradas para que trabajen con señales de voltaje de 0 a 10 VDC y si es corriente de 4 a 20 mA.

Para realizar la medición del caudal se realiza por medio de un transmisor de caudal tipo turbina modelo YF-S201, para una señal de 4 a 20 mA.

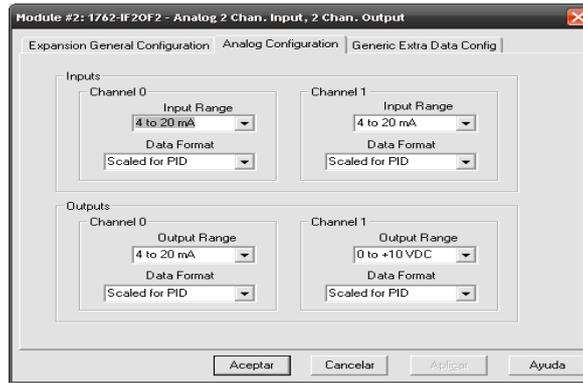
Con el PLC se realiza la configuración del Hardware, dentro del menú del *I/O configuration* se escoge le tipo de PLC utilizado para el prototipo, en el Slot 0 se ubica el Micrologix 1100 Series A, en el Slot 2 de ubica la tarjeta I/O (1762-IF2OF2), la cual contiene dos entradas analógicas que deben ser fijadas de 4 a 20 mA, dos salidas que serán configuradas de 4 a 20 mA.



**Figura 3.16. Configuración de tarjeta 1762-IF2OF2 en el Micrologix 1100**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

En la siguiente Figura 3.16 se ilustra la configuración de las entradas y salidas de la tarjeta 1762-IF2OF2, seleccionando para un rango de entrada de 4 a 20 mA.



**Figura 3.17. Configuración de tarjeta 1762-IF2OF2 en el Micrologix 1100**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

### 3.3.3. Programa para el lazo de control de caudal

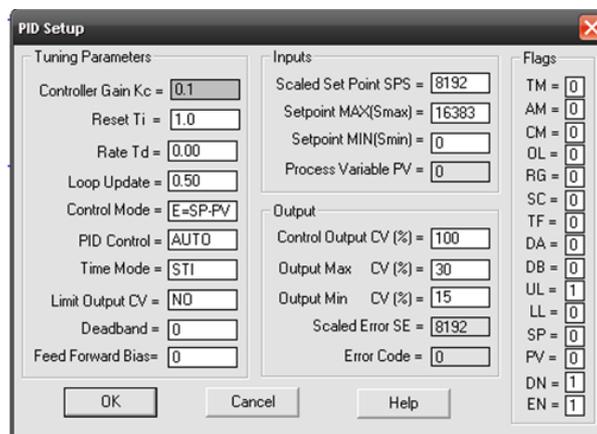
El programa de control se realizó en función de varios ejemplos que se disponen dentro de los manuales de programación del software RSLOGIX 500, en el que básicamente se hace varias optimizaciones del escalamiento para las entradas y salidas analógicas.

En el programa se realizó el escalonamiento de los valores de entrada desde el HMI de los factores  $K_c$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  y del SP (Set point), estos datos son enviados hacia el PID del PLC.

Las condiciones de automático y manual, y otras variables que hace que a través de la red el PLC y el HMI están intercambiando información y actualizando de forma permanente.

El programa del lazo de control de nivel ver ANEXO G.

A continuación se detalla la instrucción PID del programa control de caudal con sus respectivos datos de configuración.

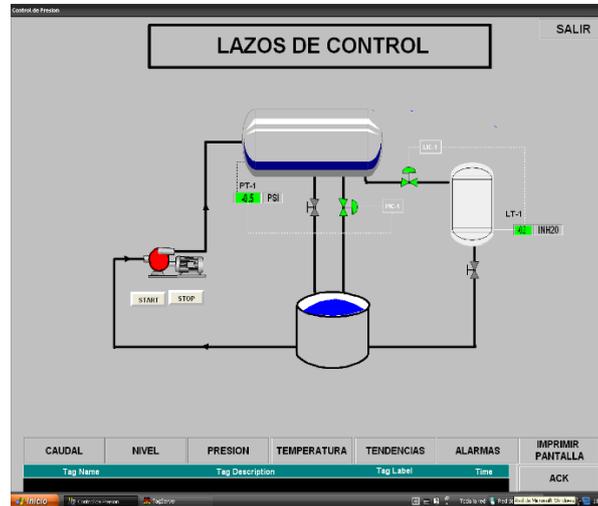


**Figura 3.18. Datos del Setup PID del ladder de caudal.**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

### 3.4. Configuración del HMI en el sistema RSVIEW 32

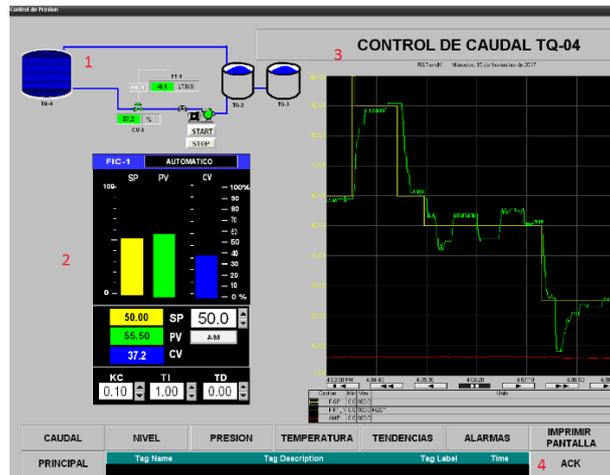
En HMI o Interface hombre máquina del banco de pruebas se realizó utilizando el programa RSVIEW32 de Allen Bradley, en el mismo se diseña la interface que tendrá el estudiante con el banco de pruebas de control.



**Figura 3.19. RSVIEW 32 Pantalla principal del sistema**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

La pantalla del control de caudal está dividida en cuatro partes que las describo a continuación:



**Figura 3.20. RSVIEW 32 Pantalla principal de control de nivel**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

La primera parte indica la animación del lazo de control de caudal e indicación de la operación de la bomba, con sus respectivos botones START/STOT. En esta parte de la pantalla se puede apreciar la disposición de los elementos como son los tanques de agua

succión de la bomba el tanque donde se realiza el control de caudal y los instrumentos de control.

La segunda parte maneja las constantes del PID, KC (%), TI (seg) y TD (seg), en este display se puede ingresar los datos de SP, escoger el modo de operación MANUAL / AUTOMATICO.

En la tercera parte se indica la tendencia de datos que despliegan las cuatro señales que son la del Set point SP, la Variable del proceso PV caudal de agua, la salida de control CV o elemento de control final y el consumo de corriente de la bomba.

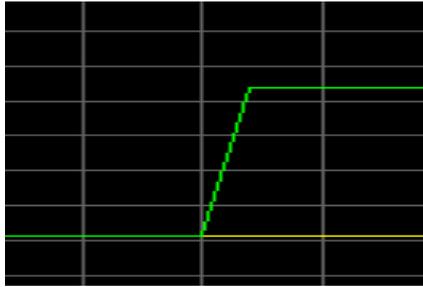
En el cuarto bloque se ubica en la parte inferior de la pantalla donde tenemos los botones para el cambio de pantalla de operación, botón de reconocimiento de alarmas (ACK), e imprimir pantallas.

### **3.5. Ensayos para sintonización de control de caudal**

#### **3.5.1. Ensayo 1 - lazo abierto método de Ziegler-Nichols**

El primer ensayo se realizó para determinar las variables proporcional, integral y derivativa usando la respuesta a una entrada escalón unitario, para lo cual se realizó el siguiente procedimiento:

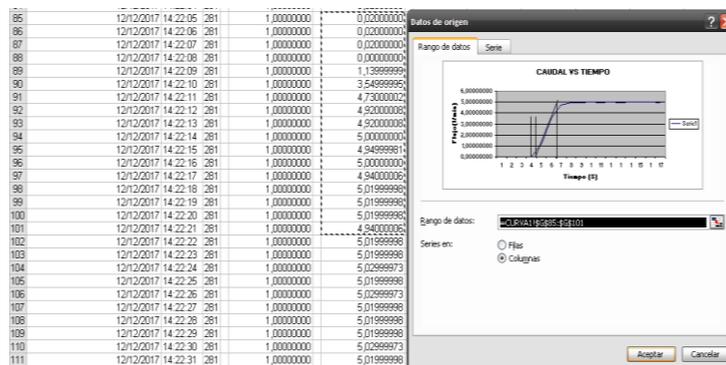
- Encienda el proceso, en modo automático.
- Fije un set point de 3.
- Ajuste las factoras del controlador PID a  $KC=5$ ,  $TI= 1$ ,  $PD=0,2$
- Esperar que el controlador estabilice el sistema.
- Transferir el controlador a modo manual el HMI toma el último valor de apertura de la válvula.
- Dejar que el sistema alcance el régimen estacionario.
- Registre el valor de apertura de la válvula  $CV1 = 3$ .
- Variar la apertura de la válvula  $CV2=4$ .
- Registre la curva de la variable, (imprima la pantalla).



**Figura 3.21. Curva lazo abierto control de caudal.**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

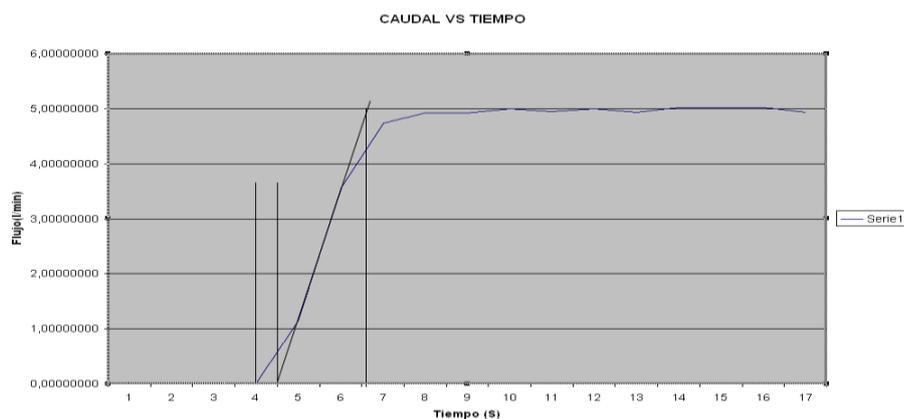
En la siguiente Figura 3.22 se ingresaron los datos a Excel para visualizar y sacar los datos.



**Figura 3.22. Curva lazo abierto control de caudal (Excel)**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

Después se procedió a sacar datos de  $L=0,5$  y  $T=2,1$  como se muestra en la Figura 3.23



**Figura 3.23. Curva lazo abierto control de caudal valores de  $L=0,5$  y  $T=2,1$**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

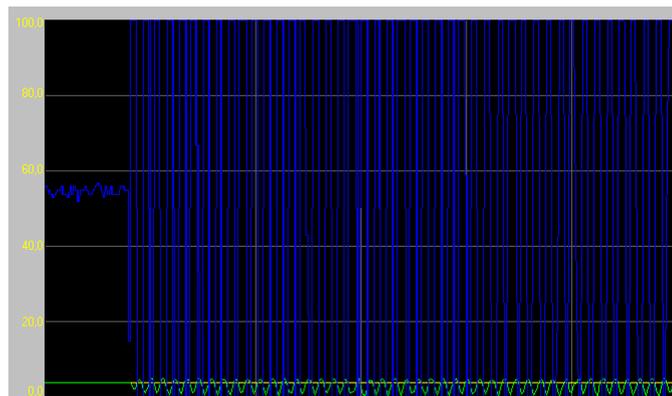
- De lo observado en este ensayo en el lazo de control de caudal del banco de pruebas la función escalón que nos indica en el método de Ziegler-Nichols para obtener  $L$  y  $T$ .

### 3.5.2. Ensayo 2 - lazo cerrado método de Ziegler-Nichols

El segundo ensayo se realizó para determinar las variables proporcional, integral y derivativa, para lo cual se realizó el siguiente procedimiento.

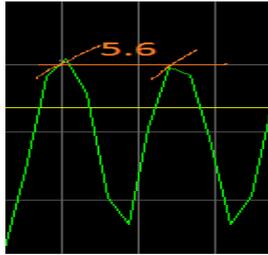
Primero se fija  $Ti\%=\infty$   $Td\%=0$ . Usando sólo la acción de control proporcional, se incrementa  $Kp$  desde 0 hasta un valor crítico  $Kcr$ , en donde la salida presente oscilaciones sostenidas. (Si la salida no presenta oscilaciones sostenidas para cualquier valor que pueda tomar  $Kp$ , entonces este método no se puede aplicar.) Así, la ganancia crítica  $Kcr$  y el periodo  $Pcr$  correspondiente se determinan experimentalmente.

- Encienda el proceso, en modo automático.
- Fije un Set Point 4
- Ajuste los factores del controlador PID a  $KC=0,60$  ;  $TI= 4$  y  $TD=0$
- Esperar que el sistema se estabilice.
- Fije el factor del PID  $Kc= 0$  ;  $TI = 999(\infty)$  y  $TD=0$
- Permita que el sistema se estabilice.
- Empiece a incrementar el valor de  $Kc$  en pasos de 0,1.
- En cada incremento permita que el sistema se estabilice.
- La señal de la variable de proceso PV (verde) empezara a variar y la señal de la CV (azul) oscilara de manera más amplia.



**Figura 3.24. Curva de oscilación lazo cerrado control de caudal**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena ,2017



**Figura 3.24. Curva de oscilación lazo cerrado control de caudal para determinar el Pcr**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena ,2017

Los valores encontrados experimentalmente son:

$P_{cr} = 5,6$

$K_{cr} = 27$

- A continuación el cálculo de los valores de  $K_c$  y  $T_i$  a partir de los valores de  $K_{cr}$  y  $P_{cr}$  encontrados experimentalmente.

**Tabla 3.2. Constantes  $K_C$ ,  $T_I$  encontradas por el método de lazo cerrado**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

<b><math>P_{cr} = 5,6</math></b>			
<b><math>K_{cr} = 27</math></b>			
<b>Tipo de controlador</b>	<b><math>K_c</math></b>	<b><math>T_i</math></b>	<b><math>T_d</math></b>
PI	$0,45K_{cr}$	$0,833P_{cr}$	0
PI	12,15	4,66	0

- Procedemos a ingresar los valores de  $K_c=12,15$  y  $T_i=4,66$  en el controlador a través del HMI.
- Realizamos un ensayo variando 3 veces el set point de 1 a 4 en pasos de 1 y tenemos la siguiente respuesta.



**Figura 3.25. Curva del sistema con los valores de  $K_c$  y  $T_i$  encontrados**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

- Se registran los valores de corriente de la bomba en función de las variaciones de los set points.

**Tabla 3.3. Valores de corriente Vs Setpoint para 4 puntos diferentes**

Fuente: Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

Medición de la corriente de la bomba				
Pruebas	SP 1	SP 2	SP 3	SP 4
Set Point (Pulgadas)	1	2	3	4
I corriente (Amperios)	5,6	5,7	5,8	6

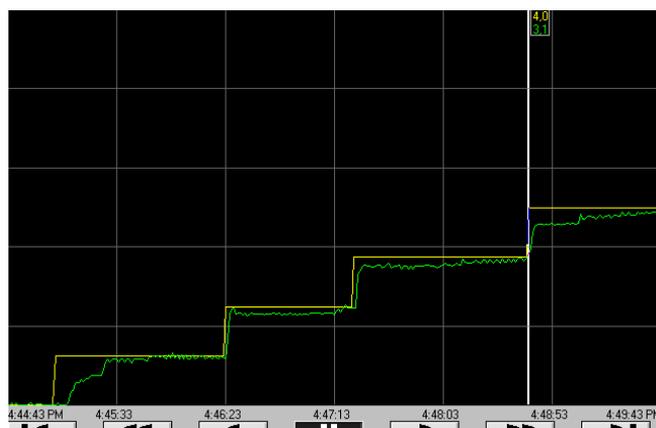
En la tabla 3.3 se encontraron los valores de corriente para diferentes valores de setpoint en el lazo de control de caudal, estos datos servirán más adelante para poder analizar el comportamiento de la corriente en función del caudal fijado.

Una vez encontrados los valores iniciales de sintonización del sistema de control de caudal podemos seguir ensayando con el sistema hasta encontrar un sistema más estable o dinámico de acuerdo a nuestra necesidad operativa.

A continuación desplegamos algunos ensayos adicionales que se realizaron para hacerle mucho más estable el lazo de control de caudal, en los que se realizaron cambios en la constante proporcional, integral y derivativa de manera empírica hasta obtener un sistema estable.

### 3.5.3. Ensayo 3 para sintonización de control de caudal

Revisar la respuesta del sistema con las constantes  $K_c=0,5$ ;  $T_i=4$  y  $T_d=0,20$



**Figura 3.26. Curva uno del sistema con valores de  $K_c=0,5$ ;  $T_i=4$  y  $T_d=0,20$**

Fuente: Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017



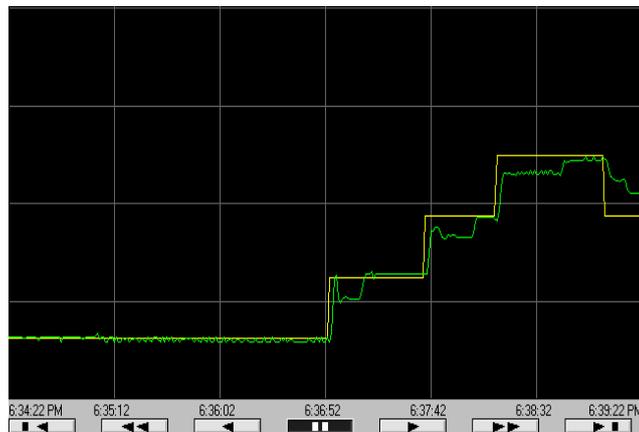
**Figura 3.27. Curva dos del sistema con valores de  $K_c=0,5$ ;  $T_i=4$  y  $T_d=0,20$**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

En las figuras 3.26 y 3.27 se indican los resultados de SP (color amarillo) con un aumento y decremento de la señal con valores de  $K_c=0,5$ ;  $T_i=4$  y  $T_d=0,20$  para que PV (color verde) realice el método de sintonización de lazo cerrado de Ziegler-Nichols.

### 3.5.4. Ensayo 4 para sintonización de control de caudal

Revisar la respuesta del sistema con las constantes  $K_c=0,70$ ;  $T_i=3,80$  y  $T_d=0$



**Figura 3.28. Curva dos del sistema con valores de  $K_c=0,70$ ;  $T_i=3,80$  y  $T_d=0$**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

En las figuras 3.28 se indican los resultados de SP (color amarillo) con un aumento de la señal con valores de  $K_c=0,70$ ;  $T_i=3,80$  y  $T_d=0$  para que PV (color verde) realice el método de sintonización de lazo cerrado de Ziegler-Nichols.

### 3.6. Análisis de resultados

- Los elementos seleccionados para la construcción del banco de pruebas de control son los adecuados ya que permitió desarrollar todos los ensayos de control de caudal de forma exitosa, permitiendo la simulación de un proceso industrial.
- El banco de pruebas construido para el control de caudal tiene un rango de trabajo de 0 hasta 6,25 l/min de H<sub>2</sub>O.
- En el método de lazo abierto Ziegler-Nichols definido, debido a que este sistema tiene una válvula de control de ingreso, al variar la apertura de la válvula al máximo de caudal se produce el escalón. Por lo que por este método se pudieron identificar las constantes K<sub>c</sub>, T<sub>i</sub> y T<sub>d</sub>.
- En el segundo método para la sintonización del PID por Ziegler & Nichols, el cual requiere los datos de ganancia crítica K<sub>cr</sub> y el periodo de oscilación P<sub>cr</sub>, se obtuvieron de forma experimental con éxito.
- El método de Ziegler y Nichols para la sintonización del PID utiliza el criterio del decaimiento del 25 % para un cambio del set point tipo escalón en la variable.
- Se puede observar que la variable del proceso tiene un pico máximo que no supera el 25% de la variación del set point y el valor de tiempo de establecimiento  $t_s = 50$  seg. Entonces los valores obtenidos en el cálculo matemático K<sub>c</sub> y T<sub>i</sub> cumplen con el enunciado del método de lazo cerrado.
- La corriente de consumo del motor bomba del sistema de control tiene variaciones por cada l/min de caudal en el sistema, el aumento de corriente es 0,4 amperios. Si calculamos la potencia ser =  $110 \times 0,4 = 44$  Watts. Si el sistema tiene una bomba con potencia de salida 650 Watts (dato de placa) y una variación de un 0,5 de caudal 2,5 % del nivel total del tanque se tendría un 6,7 % de variación de la potencia consumida. A partir de esto se puede deducir que en el sistema de separación de petróleo en donde el levantamiento artificial para el fluido de producción es de una potencia 44 MW dato real de campo, al tener variaciones de caudal del 2,5 % del nivel en el separador de producción de petróleo se tendría un 6,7 % (2,95 MW) de variación de la potencia lo que ocasionaría pérdidas de energía en el sistema.
- Los datos encontrados en el segundo método o lazo abierto de sintonización PID por Ziegler & Nichols del lazo de control de caudal son datos iniciales para cualquier

sistema de control. De aquí en adelante se puede seguir trabajando con estos métodos de acuerdo a las características propias de cada proceso o industria.

- Otra forma de encontrar un sintonización de los lazos de control son a través de ensayo error de cada variable, pero siempre y cuando la empresa y el proceso lo permita ya que esto podría ocasionar daños y pedidas a la empresa.
- Se podría desarrollar este método ensayo error en bancos de prueba similares al construido en la UTC para el desarrollo de este proyecto.

### **3.7. Propuesta**

#### **3.7.1. Título de la Propuesta**

Banco de pruebas para la evaluación del sistema de control de caudal.

#### **3.7.2. Justificación**

El presente trabajo es un aporte a la industria del petróleo, en especial al proceso separacion. Este tiene por objetivo analizar y determinar la valores de sintonización del lazo de control de caudal más óptimos en cada uno de los equipos de separación de la planta, con esto se espera tener una mejor operación de los procesos, evitando daños en equipos de generación, daños a equipos e instalaciones de producción y contaminación ambiental.

Un separador que trabaje de manera inestable en sus variables ocasiona un mayor consumo de energía, en cada uno de los equipos de los pozos productores.

Para realizar esta investigación se necesita construir un banco de pruebas del sistema de control de caudal con elementos industriales que simulen un proceso real, en este se podrán realizar diferentes ensayos que nos ayudarán a encontrar los valor de sintonización más apropiados para nuestro proceso.

Con el sistema de control implementado se realizaran varios ensayos con el sistema de control de caudal, en los que se obtendrán datos de consumo de energía del proceso. Esta evaluación de energía permitirá verificar como afecta el control de caudal en el consumo energético.

La construcción de un banco de pruebas de control de caudal permitirá a los estudiantes en carreras afines a control de procesos a realizar ensayos de laboratorio para entrenarse y adquirir destrezas y conocimientos en la modificación de los parámetros de los controladores PID.

Los estudiantes podrán investigar diferentes métodos de sintonización de los lazos de control y comprobar a través del banco de pruebas su funcionamiento.

### **3.7.3. Objetivo**

El Objetivo general de la propuesta es obtener los valores de los parámetros del PID para un lazo de control de caudal, desarrollando métodos para la sintonización del proceso en el banco de pruebas a nivel de laboratorio.

### **3.7.4. Desarrollo de la propuesta**

El principal fluido que se procesa en el campo es el agua de formación 97 % del total que se maneja en el campo, la densidad del agua de formación difiere en muy poco respecto al agua dulce, por lo que para este proyecto decidimos usar agua como fluido para el banco de pruebas a construir.

Una vez que se determinó el trabajo del sistema se requiere una bomba que pueda proveer fluido al sistema de control de caudal.

En el anexo E tenemos los datos del fabricante de la bomba-motor marca Pedrollo Modelo PK60-MD, la misma que maneja un caudal de 5 a 60 l/min, rango de caudal suficiente para desarrollar los ensayos de caudal en el banco de pruebas, la potencia del motor bomba es 0.50 HP.

Para la implementación del lazo de control de caudal se utiliza el sistema de control con válvula de bola de control de ½" marca TCrystal ubicada en la descarga de la bomba, al arrancar la bomba el caudal aumenta hasta llegar a su punto de trabajo en la curva de la bomba 10-40 PSI. El sistema de control de presión debe permanecer estable en un valor fijado dentro de su rango de trabajo (20 PSI) para iniciar con el control de caudal.

Para valores de caudal en función de la apertura de la válvula de control debemos dar un gasto o perturbación a la salida con una válvula de bola de 1" en función de la perturbación

y del caudal fijado en el sistema de control la válvula actuará abriendo o cerrando según corresponda.

Para la simulación del caudal en un separador se construyó un tanque de hierro fundido con una capacidad de volumen de 12 000 cm<sup>3</sup>. En el que se instaló una tubería de ingreso ½” ya que el instrumento de lectura de caudal tiene esa característica. Además dispone de un indicador de nivel para su visualización.

Para la manipulación de la variable se utilizó una válvula de ½” de control motorizada la cual trabaja de 0 a 100 % de apertura para una señal de entrada analógica de 4 a 20 mA, que viene desde el PLC y HMI.

Con todos estos elementos se desarrolla la evaluación del control de caudal como afecta la eficiencia en un proceso de separación de petróleo.

A continuación se tomó una relación de ejemplo real de campo con nuestro prototipo:

La corriente de consumo del motor bomba del sistema de control tiene variaciones por cada litro por minuto de nivel en el sistema, el aumento de corriente es 0,4 amperios. Si calculamos la potencia activa =  $110 \times 0,4 = 44$  Watts. Si el sistema tiene una bomba con potencia de salida 650 Watts (dato de placa) y una variación de un litro por minuto de nivel 2,5 % del nivel total del tanque se tendría un 6,7 % de variación de la potencia consumida. A partir de esto se puede deducir que en el sistema de separación de petróleo en donde el levantamiento artificial para el fluido de producción es de una potencia 44 MW dato real de campo, al tener variaciones de nivel del 2,5 % del nivel en el separador de producción de petróleo se tendría un 6,7 % (2,95 MW) de variación de la potencia lo que ocasionaría pérdidas de energía en el sistema.

### 3.7.5. Presupuesto de la propuesta

**Tabla 3.4. Presupuesto de la propuesta con el costo de cada elemento**

**Fuente:** Carlos Francisco Pacheco Mena, 2017

Ítem	Cód	Equipo	Fabricante	Características	Cantidad	Precio/U	Total
1	S1	Separador	Aceros Cotopaxi	En acero inoxidable área (2.83 ft <sup>3</sup> )	1	\$ 450,00	\$ 450,00
2	V1	Válvula 1	Tcrystal	Válvula de control eléctrica proporcional	1	\$ 300,00	\$ 300,00
3	V2	válvula 2	Tcrystal	Válvula de control eléctrica proporcional	1	\$ 300,00	\$ 300,00
4	V3	Válvula 3		Válvula de ingreso módulo Presión/Nivel de 1/2" acero inoxidable	1	\$ 10,00	\$ 10,00
5	V4	Válvula 4		Válvula de ingreso módulo Presión/Nivel de 3/4" acero inoxidable	1	\$ 10,00	\$ 10,00
6	V5	Válvula 5		Válvula de ingreso módulo Presión/Nivel de 1" acero inoxidable	1	\$ 10,00	\$ 10,00
7	V6	Válvula 6		Válvula de ingreso módulo Presión/Nivel de 1/2" acero inoxidable	1	\$ 10,00	\$ 10,00
8	V7	Válvula 7	Tcrystal	Válvula de control eléctrica proporcional	1	\$ 300,00	\$ 300,00
9	V8	Válvula 8		Válvula de drenaje/purga 1/2" acero inoxidable	1	\$ 10,00	\$ 10,00
10	V9	Válvula 9		Válvula de drenaje 1/2" acero inoxidable	1	\$ 10,00	\$ 10,00
11	PIT 1	Transmisor	Smar	Transmisor indicador de presión	1	\$ 400,00	\$ 400,00
12	LIT 1	Transmisor	Smar	Transmisor indicador de nivel	1	\$ 400,00	\$ 400,00
13	TT 1	Transmisor	ABB	Transmisor de temperatura	1	\$ 200,00	\$ 200,00
14	FT 1	Transmisor		Transmisor de caudal tipo turbina	1	\$ 100,00	\$ 100,00
15	HT 1	Calentador de agua		Calentador de agua 6500 w	1	\$ 100,00	\$ 100,00
16	M1	Bomba-motor	Pedrollo	Motor eléctrico 0.5 HP	1	\$ 250,00	\$ 250,00
17	PLC 1	PLC	AB	Micrologix 1100	1	\$ 800,00	\$ 800,00
18	I/O 1	I/O Tarjeta	AB	Micrologix 1762-IF20F2	1	\$ 400,00	\$ 400,00
19	I/O 1	I/O Tarjeta	AB	Micrologix 1762-IF20F2	1	\$ 400,00	\$ 400,00
20	V 1	Fuente	Sola	110VCA/24 VDC	1	\$ 120,00	\$ 120,00
21	C 1	Contactador	LG	15 amp/ 110 VCA	1	\$ 25,00	\$ 25,00
22	RL	Relé 24 VDC C1	Allen Bradley	Relé 24 VDC/contactos 5 amp/110 VCA	1	\$ 25,00	\$ 25,00
23	CT 1	Trans Corriente	Camsco	100/5 A radio	1	\$ 35,00	\$ 35,00
24	T 1	Transductor	Crompton	5 A/ 4-20 mA	1	\$ 125,00	\$ 125,00
25	CC1	Convertidor	Ultra Slimpak	4-20 mA/0-10 VCD	1	\$ 80,00	\$ 80,00
26	TB	Caja de conexión	Beaucoup	40"x60"x8", IP56	2	\$ 45,00	\$ 90,00
27	TQ	Tanques	Domos	40x40x65	1	\$ 85,00	\$ 85,00
28	T2	Tubería PVC	PVC	1/2"	1	\$ 10,00	\$ 10,00
29	T4	Tubería PVC	PVC	3/4"	1	\$ 10,00	\$ 10,00
30	TX	Tablero	Metalmecanica	170x120x60	1	\$ 250,00	\$ 250,00
31	B 1	Breaker	LS	Breaker set 16 Amperios	1	\$ 10,00	\$ 10,00
32	P1	Logotipos		Leras, anuncios, carteles	1	\$ 80,00	\$ 80,00
33	A1	Gastos Extras		Pernos, pintura, accesorios, prototipos, etc	1	\$ 400,00	\$ 400,00
34	SO	Software	Allen Bradley	Licencias e Instalacion programas	1	\$ 800,00	\$ 800,00
35	AS	Asesoría	Tecnicos	Asesoría Técnica	1	\$ 300,00	\$ 300,00
36	A1	Gastos Extras		Pernos, pintura, accesorios, prototipos, etc	1	\$ 600,00	\$ 600,00
<b>TOTAL</b>							<b>\$7.505,00</b>

En la tabla 3.4 se detallan los elementos usados en la construcción del banco de pruebas de control de nivel con sus respectivos precios, unidades, el fabricante y las características principales.

### 3.8. Conclusiones Capitulo 3

- Se comprobó la hipótesis debido a que la construcción de un banco de pruebas de sistema de control de caudal permitió realizar ensayos para determinar los parámetros iniciales de PID y evaluar la eficiencia energética.
- Los datos encontrados en el primer método o lazo abierto de sintonización PID por Ziegler & Nichols del lazo de control de caudal son datos iniciales para cualquier sistema de control. De aquí en adelante se puede seguir trabajando con estos métodos de acuerdo a las características propias de cada proceso o industria.
- A partir de los ensayos realizados en este capítulo se puede deducir que en el sistema de separación de petróleo en donde el levantamiento artificial para el fluido de producción es de una potencia 44 MW dato real de campo, al tener variaciones de caudal del 2,5 % del nivel en el separador de producción de petróleo se tendría un 6,7 % (2,95 MW) de variación de la potencia lo que ocasionaría pérdidas de energía en el sistema.
- La construcción del banco de pruebas se realizó con éxito en función de una adecuada selección de dispositivos y materiales componentes, lo que facilitará de aquí en adelante tener una infinidad de evaluaciones de procesos orientadas a distintas líneas industriales.

## CONCLUSIONES

- En una planta de separación de petróleo en cada equipo existe elementos de control y de seguridad, como son los lazos de control y sus respectivas protecciones de seguridad como son las MLV (válvula de línea principal) estas son usadas para el bloqueo del crudo en caso de ruptura de tuberías estas se colocan de lado y lado para evitar derrames al medio ambiente en condición segura.
- La construcción del banco de pruebas se ejecutó utilizando Instrumentación Industrial como el PLC MICROLOGIX 1100, la válvula de control y el sistema RSVIEW 32 lo que permitió tener ensayos de caudal que se puede comparar con los existentes en un proceso de separación de petróleo.
- Se utilizaron los métodos de sintonización de PID de Ziegler-Nichols, para identificar las constantes  $K_c$ ,  $T_i$  y  $T_d$ , en el primero de lazo abierto se logra la curva S del escalón con las condiciones del método. Para el segundo método o lazo cerrado se identificaron las constantes  $K_c$ ,  $T_i$  y  $T_d$  que son datos iniciales del sistema y que requiere de un afinamiento posterior para lograr el comportamiento de acuerdo a las características propias de cada proceso o industria.
- En los ensayos de control de caudal se observó que cuando no está sintonizado se produce una oscilación de la variable que ocasiona una variación en el consumo de corriente en el motor-bomba entre 5,8 Amp. y 6 Amp. Con esto se puede concluir que en el sistema de separación de petróleo al tener oscilación en control de caudal se tendría variaciones en el consumo de energía del levantamiento artificial del fluido de producción ocasionando un mayor consumo de energía alrededor del 6,7 %, además que puede tener una afectación a los generadores eléctricos. Por esto es mandatorio tener un proceso totalmente estable sin perturbaciones, para lograr una máxima eficiencia en el consumo de energía en el proceso.

## RECOMENDACIONES

- La construcción de un banco de pruebas de control de nivel debe orientar a los estudiantes en carreras afines a control de procesos a realizar ensayos de laboratorio para entrenarse y adquirir destrezas y conocimientos en la modificación de los parámetros de los controladores PID.
- Los estudiantes pueden aprovechar para investigar diferentes métodos de sintonización de los lazos de control y comprobar a través del banco de pruebas su funcionamiento.
- El banco de pruebas de control es construido por equipos eléctricos, mecánicos y electrónicos a los que se deben realizar un mantenimiento permanente de sus componentes para evitar su deterioro.
- El banco de pruebas tiene la opción de poder ampliar su funcionamiento a otros módulos de control debido a que el HMI y en PLC tienen la opción de expansión, el PLC hasta 8 tarjetas I/O analógicas y digitales y el HMI hasta una configuración de 1 000 puntos dinámicos.
- Realizar pruebas con otros fluidos diferente al agua para comparar con los resultados ya obtenidos
- Se recomienda sacar una imagen del CPU de la computadora para tener un respaldo del sistema de control ya que en este tiene todas las licencias y configuraciones del programa del RSLOGIX 500 y del RSVIEW 32.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, J. d. (2015). Obtenido de <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/lazos.pdf>
- Automation, R. (1996). *Manual RSLOGIX 500 ESP*. Milwaukee: Controladores Boletín 1761.
- Automation, R. (1999). *Rsviwe32*. Milwaukee: Rockwell Automation.
- Automation, R. (2008). *RSlinx Classic*. Milwaukee: Rockwell Automation.
- Automation, R. (2013). *MicroLogix 1762-IF20F2 Analog Input/Output Module*. Milwaukee: Rockwellautomation.
- Automation, R. (2015). *Micrologix 1100 Programmable Contollers*. Milwaukee: Rockwell Automation .
- Automation, R. (Abril de 2017). Obtenido de [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1763-um001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1763-um001_-en-p.pdf)
- Domínguez, R. R. (2013). *Energianow*. Obtenido de [http://www.energianow.com/Articulos/api\\_gravespecifica\\_correc.xtempdocx.pdf](http://www.energianow.com/Articulos/api_gravespecifica_correc.xtempdocx.pdf)
- E.B. Priyanka, C. M. (2016). Parameter monitoring and control during petrol transportation using PLC. *Science Direct*, 126. Obtenido de [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/S1665642316300128\\_S300\\_en%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/S1665642316300128_S300_en%20(2).pdf)
- EcuRed*. (2017). Obtenido de <https://www.ecured.cu/Transmisor>
- energy4me.org*. (s.f.). Obtenido de [http://energy4me.org/wp-content/uploads/Spanish\\_WEB.pdf](http://energy4me.org/wp-content/uploads/Spanish_WEB.pdf)
- EVEREST. (2015). *SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CONTROL*. Obtenido de <http://ieshuelin.com/huelinwp/download/Tecnologia/Tecnologia%20industrial/3-SISTEMAS-AUTOMaTICOS-DE-CONTROL-ampliacion-PAG-1-a-34.pdf>
- FI.MDP. (2015). *Teoría de control*. Obtenido de <http://www3.fi.mdp.edu.ar/control4c7/APUNTES/Clase%207%20-%20PID.pdf>
- Golato, M. (2016). Obtenido de [https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol/wp-content/uploads/sites/101/2016/05/8\\_V%C3%A1lvulas-de-control\\_2016.pdf](https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol/wp-content/uploads/sites/101/2016/05/8_V%C3%A1lvulas-de-control_2016.pdf)
- INDUSTRY, V. (17 de Enero de 2016). *Instrumentación y control*. Obtenido de [https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG\\_VamIndustry\\_v03.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v03.pdf)
- J.R. Llata, E. S. (2015). *Grupo de Ingeniería de Control. Departamento TEISA*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/925/92541011/>

- Joseph Vergara, R. M. (2011). Prototipo para control automático de nivel y caudal de líquidos. *INGENIUS, Revista de ciencia y tecnología*, 10.
- López, G. (2008). *Monografías*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos76/el-petroleo/el-petroleo2.shtml>
- M. Domínguez, J. F. (2015). *Universidad de León*. Obtenido de <http://intranet.ceautomatica.es/old/actividades/jornadas/XXIV/documentos/econ/210.pdf>
- Martinez, J. (2015). Obtenido de <http://jhoselynmartinez.onlinewebshop.net/tipos-de-sistemas-de-control/>
- Nava, M. (05 de marzo de 2014). *Venelogia*. Obtenido de <http://www.venelogia.com/archivos/9589/>
- Ogata, K. (2010). *Reglas de Ziegler-Nichols para la sintonía de controladores PID*. Madrid: PEARSON.
- Paredes, T. M. (21 de Febrero de 2016). *Sistema de lazo abierto y lazo cerrado*. Obtenido de <http://tomasmonteroparedes.blogspot.com/2016/02/sistema-de-lazo-abierto-y-lazo-cerrado.html>
- Pce-Iberica*. (2017). Obtenido de <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/transductores-caudal.htm>
- Pedrollo, C. g. (2017). Obtenido de [https://www.pedrollo.com/public/allegati/PK\\_ES\\_60Hz.pdf](https://www.pedrollo.com/public/allegati/PK_ES_60Hz.pdf)
- Philco, O. (2016). Obtenido de <https://ing-orlandophilco.jimdo.com/instrumentaci%C3%B3n-iii/>
- Renovable, M. d. (Mayo de 2014). *Eficiencia Energética Sector Industrial*. Obtenido de <http://www.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-sector-industrial/>
- RSLinx Classic, R. A. (2008). Obtenido de [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/gr/lnx-gr001\\_-es-e.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/gr/lnx-gr001_-es-e.pdf)
- RSLOGIX 500, R. A. (2004). Obtenido de <ftp://ftp.ucauca.edu.co/Facultades/FIET/DEIC/Materias/SW%20para%20aplicaciones%20Industriales%20II/Sw%20II/manuales%20sw/RSLogix%20500.pdf>
- RSView32, R. A. (1999). Obtenido de [http://instrumentacionycontrol.net/Descargas/Descargas/ALLEN-BRADLEY/HMI\\_SCADA/IyCnet\\_Guia\\_Inicio\\_Rsview32.pdf](http://instrumentacionycontrol.net/Descargas/Descargas/ALLEN-BRADLEY/HMI_SCADA/IyCnet_Guia_Inicio_Rsview32.pdf)

Salager, S. M. (Mayo de 2004). *Deshidratación de Crudo - Principios y Tecnología*.

Obtenido de

[http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S853PP\\_Deshidratacion.pdf](http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S853PP_Deshidratacion.pdf)

SPE, I. (2015). <http://energy4me.org>. Obtenido de [http://energy4me.org/wp-](http://energy4me.org/wp-content/uploads/Spanish_WEB.pdf)

[content/uploads/Spanish\\_WEB.pdf](http://energy4me.org/wp-content/uploads/Spanish_WEB.pdf)

*Universidad de los Andes*. (2011). Obtenido de

[http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index\\_archivos/INST\\_Flujo/medidor  
esflujovolumetrico/turbina.html](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/INST_Flujo/medidor_esflujovolumetrico/turbina.html)

*wikipedia*. (2017). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Medici%C3%B3n>

*wikipedia*. (2017). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor>

*wikipedia*. (2017). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Transductor>

## ANEXOS

### ANEXO A. Bomba-Motor PEDROLLO



#### Electrobombas con rodete periférico

 Agua limpia

 Utilizo doméstico



#### CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **90 l/min** (5.4 m<sup>3</sup>/h)
- Altura manométrica hasta **100 m**

#### LIMITES DE UTILIZO

- Altura de aspiración manométrica hasta **8 m**
- Temperatura del líquido de **-10 °C** hasta **+60 °C**
- Temperatura ambiente hasta **+40 °C** (**+45 °C** para PK 60)
- Presión máxima en el cuerpo de la bomba:
  - **6 bar** para PK 60, PK 60-MD, PK 65
  - **7 bar** para PK 70, PK 80
  - **10 bar** para PK 90, PK 100, PK 200, PK 300
- Funcionamiento continuo **S1**

#### EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

EN 60335-1  
IEC 60335-1  
CEI 61-150

EN 60034-1  
IEC 60034-1  
CEI 2-3



#### CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV  
ISO 9001: CALIDAD  
ISO 14001: AMBIENTE

#### UTILIZOS E INSTALACIONES

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.

Por su confiabilidad, simplicidad en el uso y por su ventaja económica, son aptas para el uso doméstico y en particular para la distribución del agua acopladas a pequeños tanques de presión, para irrigación de huertos y jardines.

La instalación se debe realizar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.

#### PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Marca registrada n° 009875394 PKm 60®
- Soporte: patente n° IT1243605
- Eje motor: patente n° 0000275945 (PK60, PK65)
- Cuerpo: patente n° 0000275946 (PK60, PK65)
- Modelo comunitario registrado n° 01894478

#### EJECUCION BAJO PEDIDO

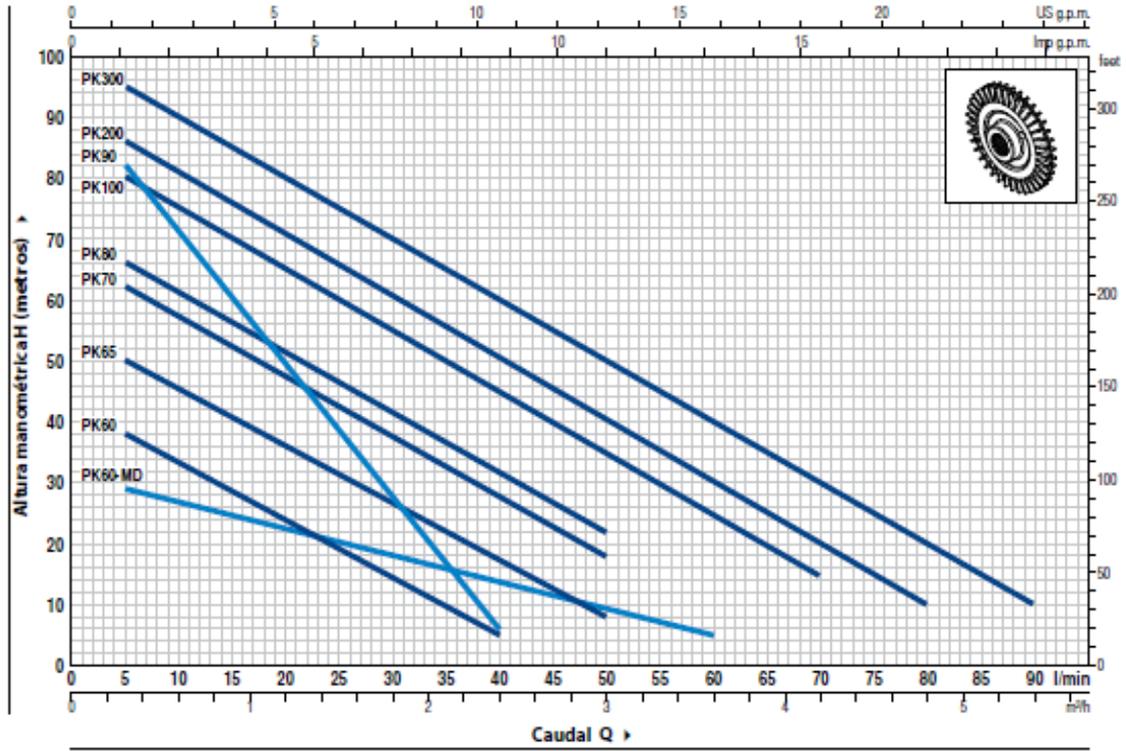
- Cuerpo bomba con bocas roscadas NPT ANSI B 1.20.1
- Sello mecánico especial
- Otros voltajes
- Protección IP X5 para PK 70-80-90-100-200-300

#### GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

**CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES**

60 Hz n= 3450 rpm HS= 0 m

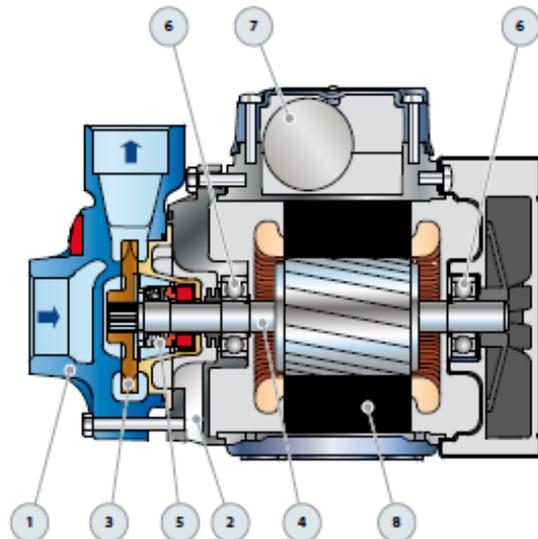


MODELO		POTENCIA (P <sub>2</sub> )		Q	H metros																
Monofásica	Trifásica	kW	HP		m <sup>3</sup> /h	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4		
				l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90			
PKm 60 <sup>a</sup>	PK 60 <sup>a</sup>	0.37	0.50		40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5								
PKm 60 <sup>a</sup> -MD	PK 60 <sup>a</sup> -MD	0.37	0.50		30	29	26.5	24.5	22.5	20.5	18	16	13.5	9.5	5						
PKm 65	PK 65	0.50	0.70		55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8							
PKm 70	PK 70	0.60	0.85		65	62	57	52	47	42	37	32	27	18							
PKm 80	PK 80	0.75	1		70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	22							
PKm 90	PK 90	0.75	1		90	82	71	60	49	38	27	17	5								
PKm 100	PK 100	1.1	1.5		85	80	75	70	65	60	55	50	45	35	25	15					
PKm 200	PK 200	1.5	2		90	86	81	76	71	65.5	60	55	50	40	30	20	10				
-	PK 300	2.2	3		100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	40	30	20	10			

Q – Caudal H – Altura manométrica total HS – Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grado 3B.

POS. COMPONENTE	CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS					
1 CUERPO BOMBA	Hierro fundido con tratamiento de cataforesis con bocas roscadas ISO 228/1					
2 SOPORTE	Aluminio con tapa en latón y laminilla de ajuste frontal antibloqueo (patentado)					
3 RODETE	Latón, del tipo aletas periféricas radiales					
4 EJE MOTOR	Acero inoxidable EN 10088-3 - 1.4104					
5 SELLO MECANICO	<i>Electrobomba</i>	<i>Sello</i>	<i>Eje</i>		<i>Materiales</i>	
	<i>Modelo</i>	<i>Modelo</i>	<i>Dímetro</i>	<i>Anillo fijo</i>	<i>Anillo móvil</i>	<i>Elastómero</i>
	PK 60-65-70-80 PK60-MD	AR-12	Ø 12 mm	Cerámica	Grafito	NBR
	PK 90	ST1-12	Ø 12 mm	Carburo de silicio	Grafito	NBR
PK 100-200-300	FN-14	Ø 14 mm	Grafito	Cerámica	NBR	
6 RODAMIENTOS	<i>Electrobomba</i>	<i>Modelo</i>				
	PK 60-65 PK60-MD	6201 ZZ / 6201 ZZ				
	PK 70-80-90	6203 ZZ / 6203 ZZ				
	PK 100-200-300	6204 ZZ / 6204 ZZ				
7 CONDENSADOR	<i>Electrobomba</i>	<i>Capacidad</i>				
	<i>Monofásica</i>	<i>(220 V)</i>	<i>(110 V o 127 V)</i>			
	PKm 60 PKm60-MD	10 µF - 450 VL	25 µF - 250 VL			
	PKm 65	14 µF - 450 VL	25 µF - 250 VL			
	PKm 70	16 µF - 450 VL	60 µF - 300 VL			
	PKm 80	20 µF - 450 VL	60 µF - 300 VL			
	PKm 90	20 µF - 450 VL	60 µF - 300 VL			
	PKm 100	31.5 µF - 450 VL	60 µF - 250 VL			
	PKm 200	45 µF - 450 VL	80 µF - 250 VL			
8 MOTOR ELECTRICO	<p>PKm: monofásica 220 V - 60 Hz con protección térmica incorporada en el bobinado.                      PK: trifásica 220/380 V - 60 Hz o 220/440 V - 60 Hz.</p> <p>➔ Las electrobombas trifásicas están equipadas con motores de alto rendimiento en clase IE2 hasta P<sub>2</sub>=1.1 kW y en clase IE3 desde P<sub>2</sub>=1.5 kW (IEC 60034-30)</p> <p>- Aislamiento: clase F                      - Protección: IP X4</p>					



## ANEXO B. Válvula TCrystal con actuador TCN-02T



### Product overview

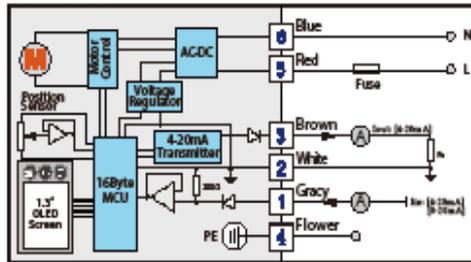
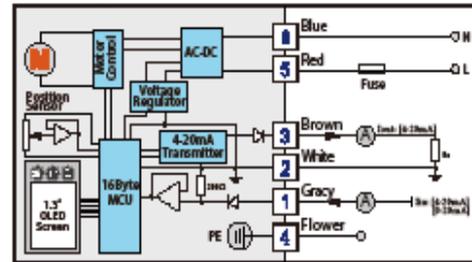
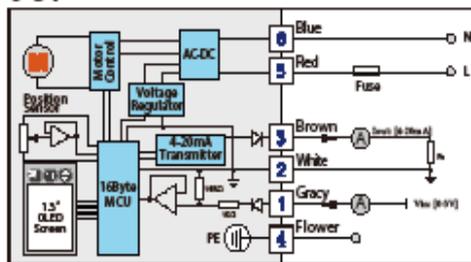
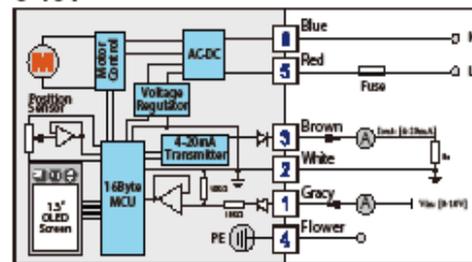
- ⊙ Rated torque: 20N.m
- ⊙ Install below 15N.m valves: 2way , 3way ball valve and butterfly valve
- ⊙ Rated voltage: AC/DC24V
- ⊙ Control signal: 4-20mA 、 0-10V、 0-20mA、 0-5V
- ⊙ Position feedback: 4-20mA
- ⊙ Position accuracy: ±1%(set by software)
- ⊙ 采用高性能无刷电机, Overload protection of internal motor
- ⊙ It can be used 20,000 times.\*1



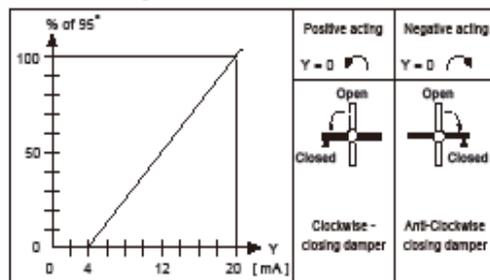
### Product features

- △ 1.3" OLED screen, no visual dead angle, highly bright, energy saving and eco-friendly, real time to show valve opening angle and external control command.
- △ Original valve adjustment mode--free cover-opening and interactive:
  - step1: saving "anticlockwise full open position" by using the button to control valve;
  - step2: saving "clockwise full open position" by using the button to control valve;
  - step3: saving "clockwise full close position" by using the button to control valve.Thoroughly eliminate the complex and inconvenience caused by mechanical positioning, then complete modifying the valve easily.
- △ Adopt 16 digit high performances CPU, 12 digit high-precision AD converting, built-in unique algorithm, thoroughly eliminate mechanical hysteresis, greatly reduce valve position control error.
- △ TC-02: built-in motor control module, motor frequency speed control can realize accurate positioning.
- △ Adopt non contact positioning, control unit module design and potting processing, guarantee components reliability and greatly improve product service life; Interface uses standard connectors, convenient for installment, adjustment and replacement.
- △ Menu can realize valve control command exchange.
- △ Menu can switch freely between remote control and local setting, by pressing button to realize valve on/off locally.
- △ Menu can set valve close position deviation to on or off direction, enormously reduce the complex and inconvenience of local valve adjustment.
- △ Menu button can restore factory default setting.

\*1 Rated load 15Nm, temperature 25℃, testing switching time is 15s in factory where humidity is 50%, test results will be influenced by different load and working environment.

**Intelligent modulating model-wiring diagrams:**
**4-20mA**

**0-20mA**

**0-5V**

**0-10V**

**Control instructions:**

- 1** is correct power supply.
- 2** and **3** are control feedback. They are forbidden to connect the power supply, otherwise it will damage the control module.
- Make sure voltage is in the correct range, otherwise it will damage the control module.
- 4** is control input: 4-20mA, 0-20mA, 0-5V, 0-10V (input resistance refer to corresponding wiring diagram).
- 5** is feedback current output: 4-20mA.
- Washout  $R_f$ .  
 $\Delta R_f$  is recommended to use low TCR resistor.  
 $\Delta V_{OUT} \approx 5V$ , so  $R_f \approx 400\Omega$  (recommended  $V_{OUT} = 5V$ ,  $R_f = 2500\Omega / 0.25W$ ).
- For 4-20mA control, from "user setting", user can set the valve action when there is no control signal, open, close, keep. For other control (0-20mA, 0-10V, 0-5V), such setting is invalid.

**Position - Control Signal**


## ANEXO C. Transductor PALADIN CA 0-5 amp a DC 4 a 20 mA.

800-903-9870 | fax 800-903-9590 | weschler.com | info@weschler.com



### Crompton AC Current and Voltage Transducers

- CE Compliant (CE Marked)
- Flexible Design with up to Three Transducers in One Housing
- UL Approved
- Enclosure to IEC529 (IP50)
- Flame Retardant
- 35 mm DIN Rail Mount or Key Hole Slots

#### AC Current, Voltage, Frequency and DC

- Average Sensing and True RMS
- Self Powered and Auxiliary
- Current Measuring to 0.5% Accuracy
- Isolated Input and Output

253



#### FREQUENCY

Input	Frequency	Output	Catalog Number
120 VAC	45-55 Hz	0-1 mADC	253-THZU-PQFA-AG
120 VAC	55-65 Hz	0-1 mADC	253-THZU-PQFA-AN
120 VAC	45-65 Hz	0-1 mADC	253-THZU-PQFA-AJ
120 VAC	360-440 Hz	0-1 mADC	253-THZU-PQFA-BI

#### AC CURRENT

	Input	Auxiliary Power	Output	Catalog Number
AC Current—Average Sensing, Single-Phase	5A AC/60 Hz	Self	0-1 mADC	253-TAAU-LSFA-C6
	5A AC/60 Hz	120 VAC	4-20 mADC	253-TALU-LSHG-C6-DG
AC Current—Average Sensing, 3-Phase, 3 DC Outputs	5A AC/60 Hz	120 VAC	0-1 mADC	256-TASU-LSFA-C6-DG
	5A AC/60 Hz	120 VAC	4-20 mADC	256-TALU-LSHG-C6-DG
AC Current—True RMS Sensing, Single-Phase	5A AC/60 Hz	120 VAC	0-1 mADC	253-TARU-LSFA-C6-DG
AC Current—True RMS Sensing, 3-Phase, 3 DC Outputs	5A AC/60 Hz	120 VAC	0-1 mADC	256-TARU-LSFA-C6-DG
AC Current—Bi-Directional	5A AC/60 Hz	Self (120 VAC)	±1 mADC	256-TABU-LSM1-C6-PQ-T3

#### AC VOLTAGE

Input	Auxiliary Power	Output	Catalog Number
AC Voltage—Average Sensing, Single-Phase			
120 VAC/60 Hz	Self	0-1 mADC	253-TVAU-PQFA-C6
120 VAC/60 Hz	120 VAC	4-20 mADC	253-TVLU-PQHG-C6-DG
AC Voltage—True RMS Sensing, Single-Phase			
120 VAC/60 Hz	120 VAC	0-1 mADC	253-TVRU-PQFA-C6-DG
AC Voltage—True RMS Sensing, 3-Phase, 3 DC Outputs			
120 VAC/60 Hz	120 VAC	0-1 mADC	256-TVRU-PQFA-C6-DG
AC Voltage—Average Sensing, 3-Phase, 3 DC Outputs			
120 VAC/60 Hz	3-Phase, 3-Wire	4-20 mADC	256-TVLU-PQHG-C6-DG
120 VAC/60 Hz	3-Phase, 4-Wire	0-1 mADC	256-TVSU-PQFA-C6-DG
AC Voltage—Suppressed Zero AC, Expanded Scale			
108-132 VAC	Self	0-1 mADC	253-TVZU-A9FA-C6

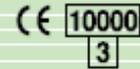
253

100

## ANEXO D. Interruptor principal 110 VCA/10 amperios

# Interruptores termomagnéticos tipo miniatura

Montaje en riel DIN



Capacidad de Alta Ruptura

Tipo BKN-b



BKN-b 2P

Certificado

CE

Protección patente

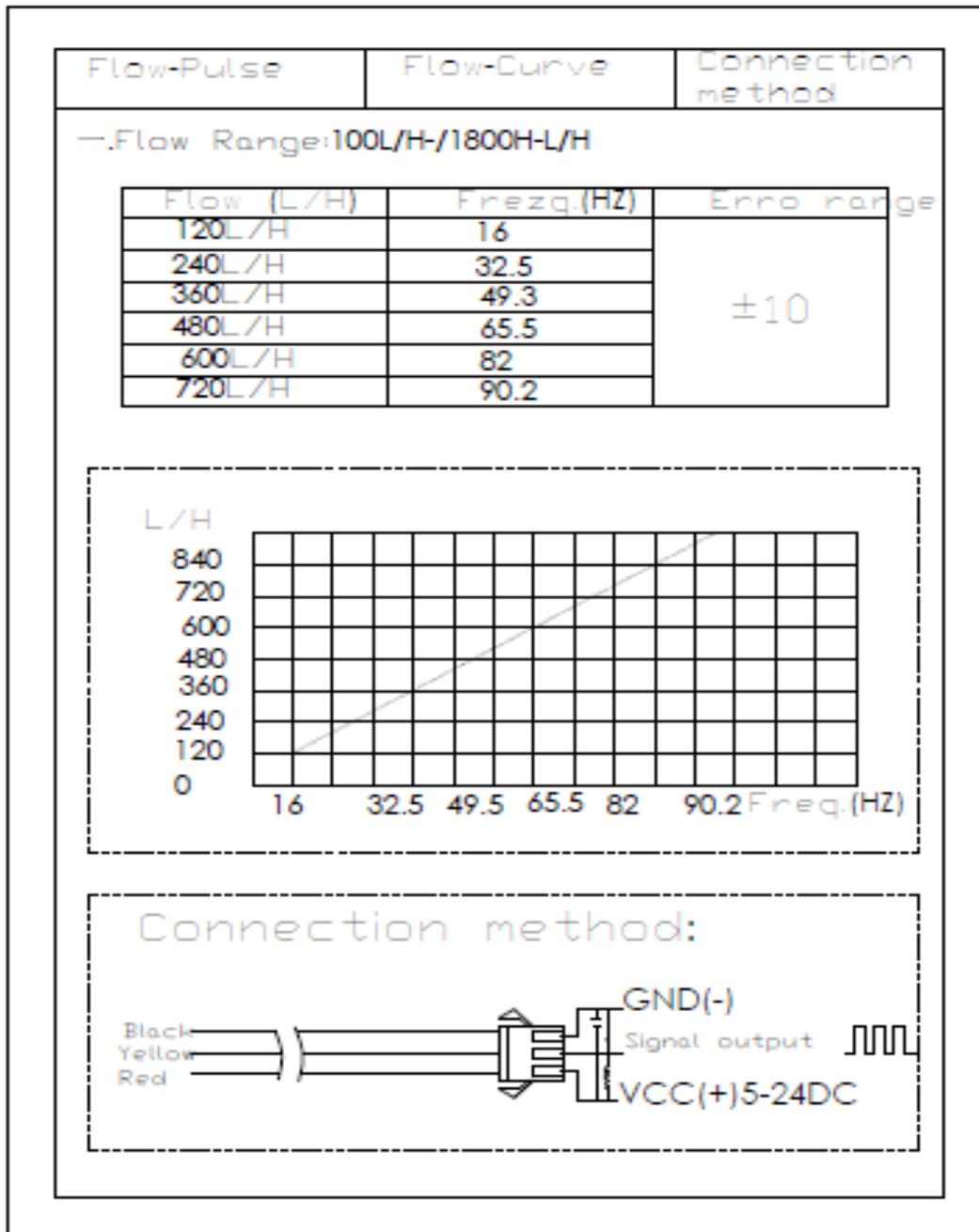
### Datos técnicos

Estándar	Conforme con IEC60898	
Aprobación	CCC, KEMA CB, SABS, SEMKO CB, UL 1077 †	
Protección	Contra sobrecarga y cortocircuito	
Corriente nominal, In	1, 2, 3, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63A	
Tensión nominal	1 polo 230/400VAC 50/60Hz 2, 3, 4 polo 400VAC 50/60Hz	
Temperatura ambiente	-5°C to +40°C conformidad según IEC60898	
Poder de corte	10kA	
Característica	Curvas B, C, D	
Número de polos	1P, 1P+N, 2P, 3P, 3P+N y 4P	
Tipo de disparo	Termo - Magnético	
Tipo de terminal	Barras	
Sección del cable	Cable hasta 25mm <sup>2</sup>	
Instalación	Montaje en riel DIN de 35mm	
Ancho	17.8mm por polo	
Durabilidad eléctrica		
In	1 ... 32A	40 ... 63A
Durabilidad	8000 ciclos	8000 ciclos
Frecuencia máx. (Ciclos/hora)	240	120

### Influencia de temperatura ambiente sobre corrientes nominales

Corriente nominal IN (A)	Resistencia interna (mohm)	Pérdida de Potencia (W)	Máx. Impedancia de Lazo de Impedancia (Ohm)			Corrección térmica de corrientes nominales				
			Carácter			Temperatura ambiente				
			B	C	D	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
1	1215.69	1.24	46.20	25.70	14.40	1.05	1	0.95	0.90	0.85
2	343.28	1.38	21.60	12.02	6.73	2.08	2	1.92	1.84	1.74
3	128.09	1.15	16.90	9.40	5.26	3.18	3	2.82	2.61	2.37
4	105.53	1.68	10.68	5.94	3.33	4.24	4	3.76	3.52	3.24
6	29.22	1.08	7.14	3.97	2.22	6.24	6	5.76	5.52	5.30
10	14.49	1.55	3.87	2.15	1.21	10.40	10	9.30	8.60	7.80
16	10.00	2.56	2.24	1.25	0.70	16.80	16	15.20	14.20	13.30
20	8.02	3.32	1.55	0.86	0.48	21.00	20	19.00	17.80	16.80
25	3.11	2.00	2.43	1.35	0.76	26.20	25	23.70	22.20	20.70
32	3.05	3.17	1.27	0.71	0.40	33.50	32	30.40	28.40	27.50
40	2.16	3.40	0.60	0.33	0.19	42.00	40	38.00	35.60	33.20
50	1.65	4.20	0.71	0.39	0.22	52.50	50	47.40	44.00	40.50
63	1.68	6.30	0.47	0.32	0.15	66.20	63	58.00	54.20	49.20

**ANEXO E. Transmisor de caudal tipo turbina YF-S201**



# YIFA the plastics Ltd Product Introduction

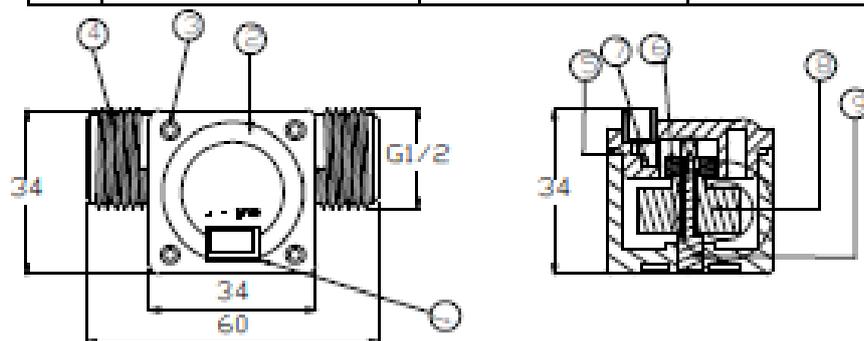
1. Model: YF-21
2. Product Name: Hall sensor
3. Flow Range: 1-30L/MIN
4. (1) Connection Method



- (2) Voltage Range 3.6-24VDC, Pulse Characteristic:  $F=7Q(L/MIN)$ .
- (3) Extent of error  $\pm 5\%$ .
- (4) Flow-Pulse
  - 2L/MIN=16HZ 4L/MIN=32.5HZ 6L/MIN=49.3HZ
  - 8L/MIN=66.6HZ 10L/MIN=82HZ

## 5. Bom

No.	Item	Material	Qty.
1	Connection wire		1
2	Bonnet	PA	1
3	Screw		4
4	Valve body	PA	1
5	Leak press valve		1
6	Magnet		1
7	Hall		1
8	Impeller	POM	1
9	Rustless steel axis	SUS304	1
10			
11			



## ANEXO F. Conversor G408 de 4 - 20 mA a 0 – 10 VCA

### Electronic Interface Modules

## G408 Ultra SlimPak®

### DC Input, Field Configurable Isolator



- field configurable via DIP switches for different input-output combinations
- eliminates ground loops and isolates to 1800Vdc between input, output and power
- field configurable input ranges 10mV to 100V, 1mA to 100mA
- field configurable output ranges 0-10V, 0-5V, 0-20mA, 4-20mA, 0-1mA
- ultra slim package 12.7mm
- 9 to 30Vdc powered
- CSA approved, UL recognized, CE marked

Weidmuller Ltd.  
10 Spy Court  
Markham, ON L3R 5H6  
Tel: (905)475-1507  
Fax: (905)475-5855

Weidmuller Ltd  
821 Southlake Blvd.  
Richmond, VA 23236 U.S.A.  
Tel: (804)794-2877  
Fax: (804)794-0252

ISO 9001 Registered

INPUT RANGES		SW1			
Voltage	Current	1	2	3	4
20mV	2mA			■	■
50mV	5mA		■		
100mV	10mA		■		■
200mV	20mA		■	■	
500mV	50mA		■	■	■
1V	100mA	■			
2V		■			■
5V		■		■	■
10V		■	■		
20V		■	■	■	
50V		■	■	■	■
100V		■	■	■	■

Table 1: G408 Input range selector - switch settings

Key: ■ ON

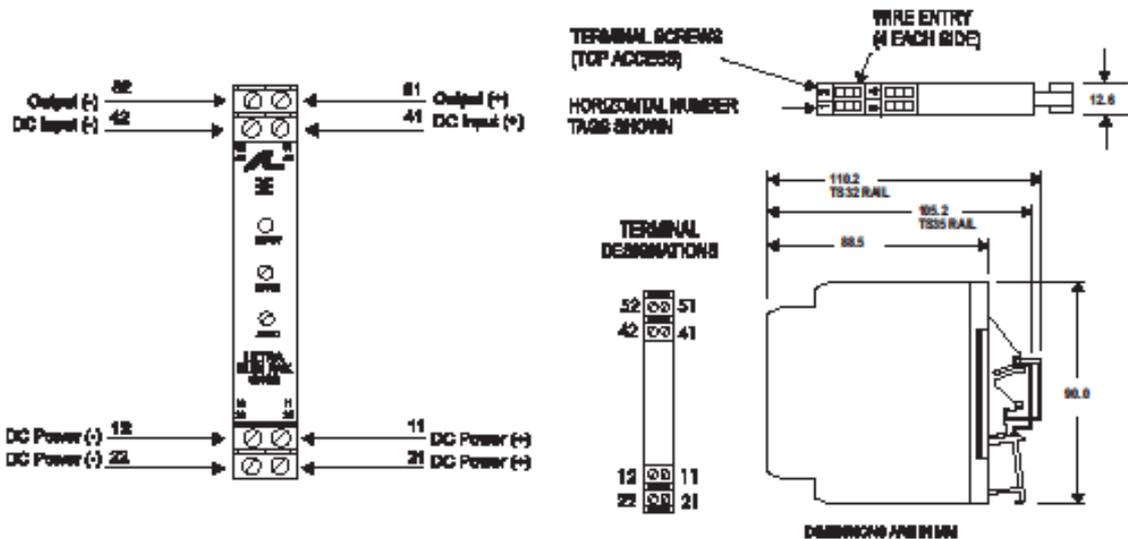
TYPE	SW1			
	6	8	7	8
UNIPOLAR	■			
REVERSE		■		
CURRENT				■
VOLTAGE				■

Table 2: Input range and function settings

RANGE	SW2							
G408-0001	1	2	3	4	6	8	7	8
0 to 5V	■	■	■	■				
0 to 10V	■		■	■				
0 to 1mA		■	■	■				
4 to 20mA						■	■	■
0 to 20mA	■	■				■	■	■

Table 3: Output range selector - switch settings

<b>Description</b>	<p>The Ultra SlimPak G408 is a DIN rail mount, DC Input signal conditioner with 1800Vdc Isolation between input, output and power. The field configurable input and output offers flexible, wide ranging capability for DC current and voltage signals.</p> <p>The input of the G408 Ultra SlimPak can be configured for any one of 12 voltage ranges from 10mV to 100V or 6 current ranges from 1mA to 100mA (see table 1). The output is linear to the input and can be set for 0-5V, 0-10V, 0-1mA, 0-20mA or 4-20mA .</p> <p>Wide ranging, precision zero and span pots allow 50% adjustability of offset and span turn-down within each of the 18 switch selectable ranges. For example, the 0-2mA input range could be turned down to 0-1mA and provide a full scale output signal (e.g. 4-20mA), or turned down and offset to achieve a 1-2mA/4-20mA I/O combination.</p> <p>The G408 also accepts bipolar inputs (e.g. 10V range set to bipolar -10 to +10V) and offers selectable normal, or reverse operation (e.g. 4-20mA/20-4mA). The ASIC based I/O channel is optically isolated to 1800Vdc and is transformer isolated from the power supply.</p>
<b>Application</b>	<p>The Ultra SlimPak G408 field configurable Isolator is useful in eliminating ground loops, converting signal levels, and providing signal drive. The field configurable, wide ranging capability ensures maximum flexibility for most DC to DC applications, minimizing spare part requirements.</p>
<b>Diagnostic LEDs</b>	<p>The G408 is equipped with a dual function LED signal monitor. The green, front mounted LED indicates both DC power and input signal status. Active DC power is indicated by an illuminated LED. If the input signal is more than 110% of the full scale range, the LED will flash at 8Hz. Below -10%, the flash rate is 4Hz.</p>

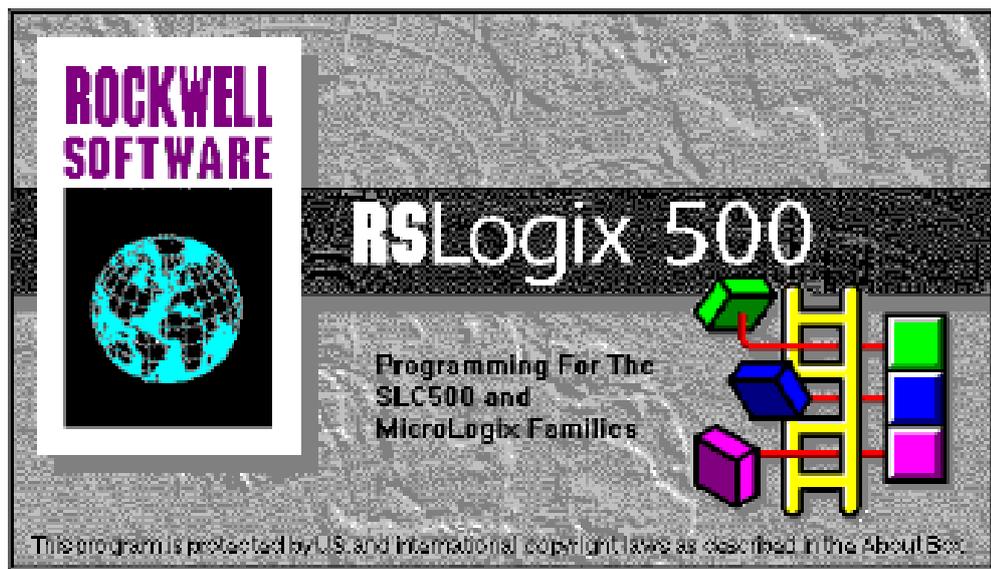


<b>Rated data</b>	
<b>Input</b>	DC current or voltage
Range	$\pm 1\text{mA}$ to $\pm 100\text{mA}$ or $\pm 10\text{mVdc}$ to $\pm 100\text{Vdc}$ , DIP switch selectable
Impedance	200 for current, $>100\text{k}\Omega$ for voltage
Maximum ratings / type of protection	170mA, 60Vdc for current, 264Vrms for voltage
Field device excitation	
Other input specification	
Other input specification	
<b>Output</b>	DC current or voltage
Range	0-1mA, 0-20mA, 4-20mA, 0-5Vdc or 0-10Vdc, DIP switch selectable
Load	$<7.5\text{k}\Omega$ (0-1mA), $<600\Omega$ (0/4-20mA), $>500\Omega$ (0-5V), $>1000\Omega$ (0-10V)
Burnout level	
Zero / Span adjustment	0 to 50% of full scale input / 50 to 100% of full scale input
Protection	
Other output specification	
Other output specification	
<b>Supply</b>	DC voltage
Range	9 to 30Vdc, Inverter Isolated
Consumption	1.5W typ., 2.5W max. (200mA inrush at 9Vdc)
Other supply specification	
<b>General</b>	
Accuracy	$\pm 0.35\%$ of full typ., 0.5% max (span $<2\text{mA}$ or $<20\text{mA}$ ) or $\pm 0.1\%$ of full scale typ., 0.2% max. (span $>2\text{mA}$ or $>20\text{mV}$ )
Temperature coefficient (drift)	$\pm 0.025\%$ of full scale/ $^{\circ}\text{C}$ typical, $\pm 0.05\%$ / $^{\circ}\text{C}$ maximum
Transmission frequency	
Response time, 90% span	$<200\text{mS}$ typical
Other general specification	Mean Time Before Failure: 60kHours
Status LED	Input green ( $>110\%$ of input: 8Hz, $<10\%$ of input: 4Hz)
Isolation (# of ports)	1800V (3 port) between input, output and power
Operating / Storage temperature	0 to $55^{\circ}\text{C}$ / $-25$ to $70^{\circ}\text{C}$
Housing (mounting)	EGB (TS32 and TS35)
Dimensions (L x W x H)	90mm x 12.7mm x 112.7mm max.
Wire range (conductor size)	22-12AWG (0.5-4.0mm <sup>2</sup> )
Insulation stripping length	7mm
Tightening torque	0.4-0.8Nm
Approvals	CSA (file LR-42272), UL (file E99775), CE marked (EMC dir. 89/336/EEC, LV dir. 73/23/EEC: Input $<75\text{Vdc}$ only)
<b>Ordering data</b>	<b>Cat. No.</b>
Ultra SlimPak	<b>G408</b> (factory calibration: 4-20mA In, 4-20mA Out)
Heat sink (width)	<b>HS01-A</b> (1.6mm) (conditionally required depending on installation, see heat sink data)
Shunt resistor	<b>C006</b> (0.1 $\Omega$ , 1%, 5W for use with external DC current source)
	Note: G408-000X where X is the revision level

Specifications subject to change without notice. 999992 - 8/98 Printed in Canada

**ANEXO G. Programación RSLOGIX 500.**

RSLogix500 Project Report



CONTR\_P REV7.RSS

Processor Information

Processor Type: Bul.1763      Micrologix 1100 Series A  
Processor Name: CONTR\_P  
Total Memory Used: 735 Instruction Words Used - 1020 Data Table Words Used  
Total Memory Left: 5921 Instruction Words Left  
Program Files: 9  
Data Files: 11  
Program ID: aae4

CONTR\_P REV7.RSS

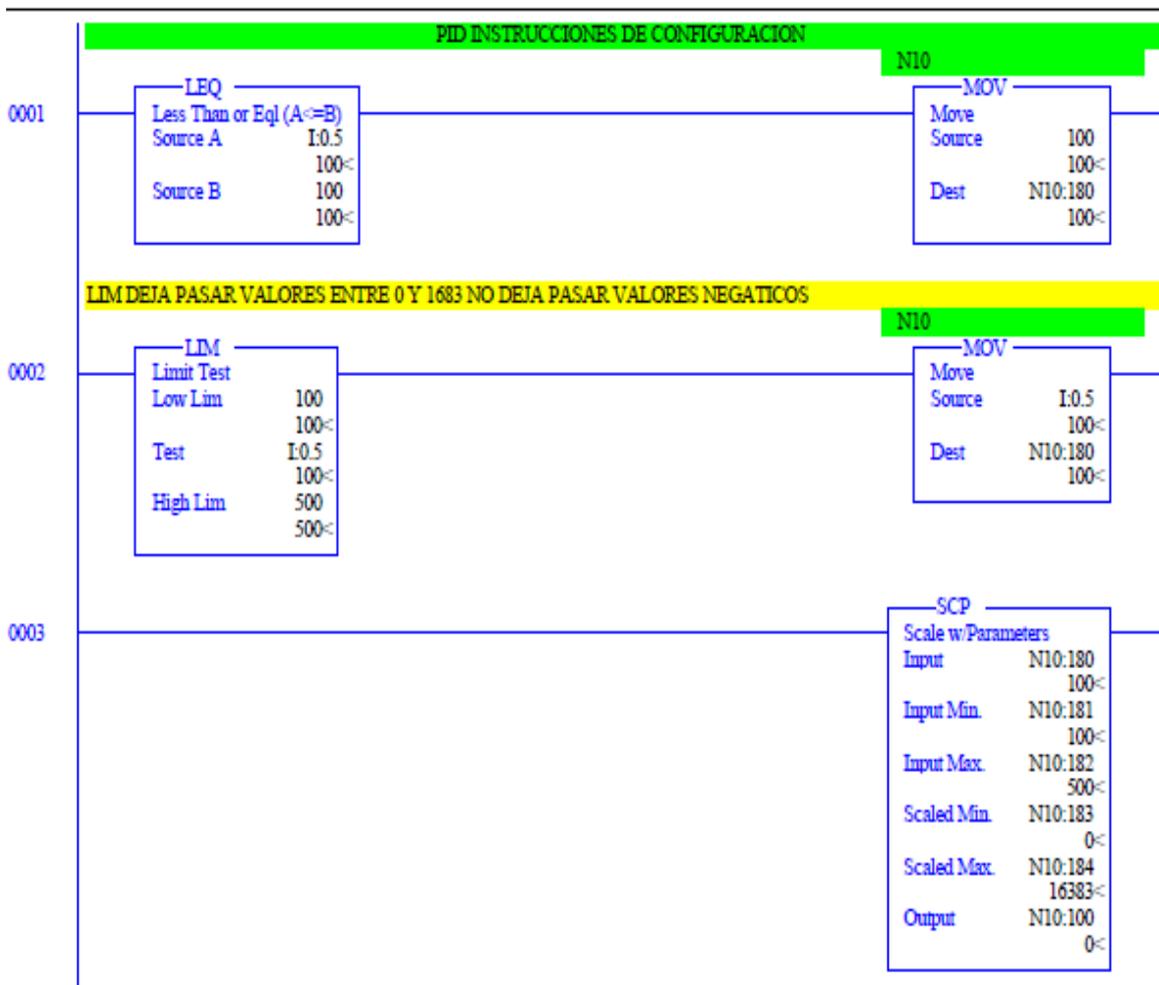
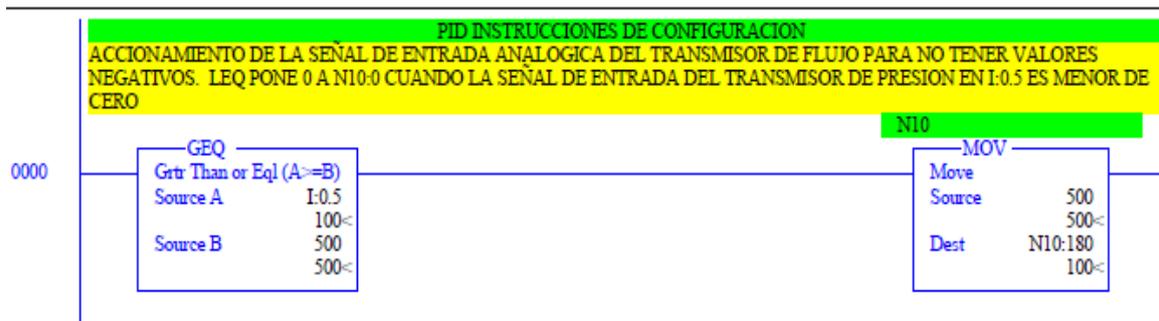
I/O Configuration

0    Bul.1763                    Micrologix 1100 Series A  
1    1762-IF20F2                Analog 2 Chan. Input, 2 Chan. Output  
2    1762-IF20F2                Analog 2 Chan. Input, 2 Chan. Output  
3  
4

CONTR\_P REV7.RSS

LAD 2 - --- Total Rungs in File = 7





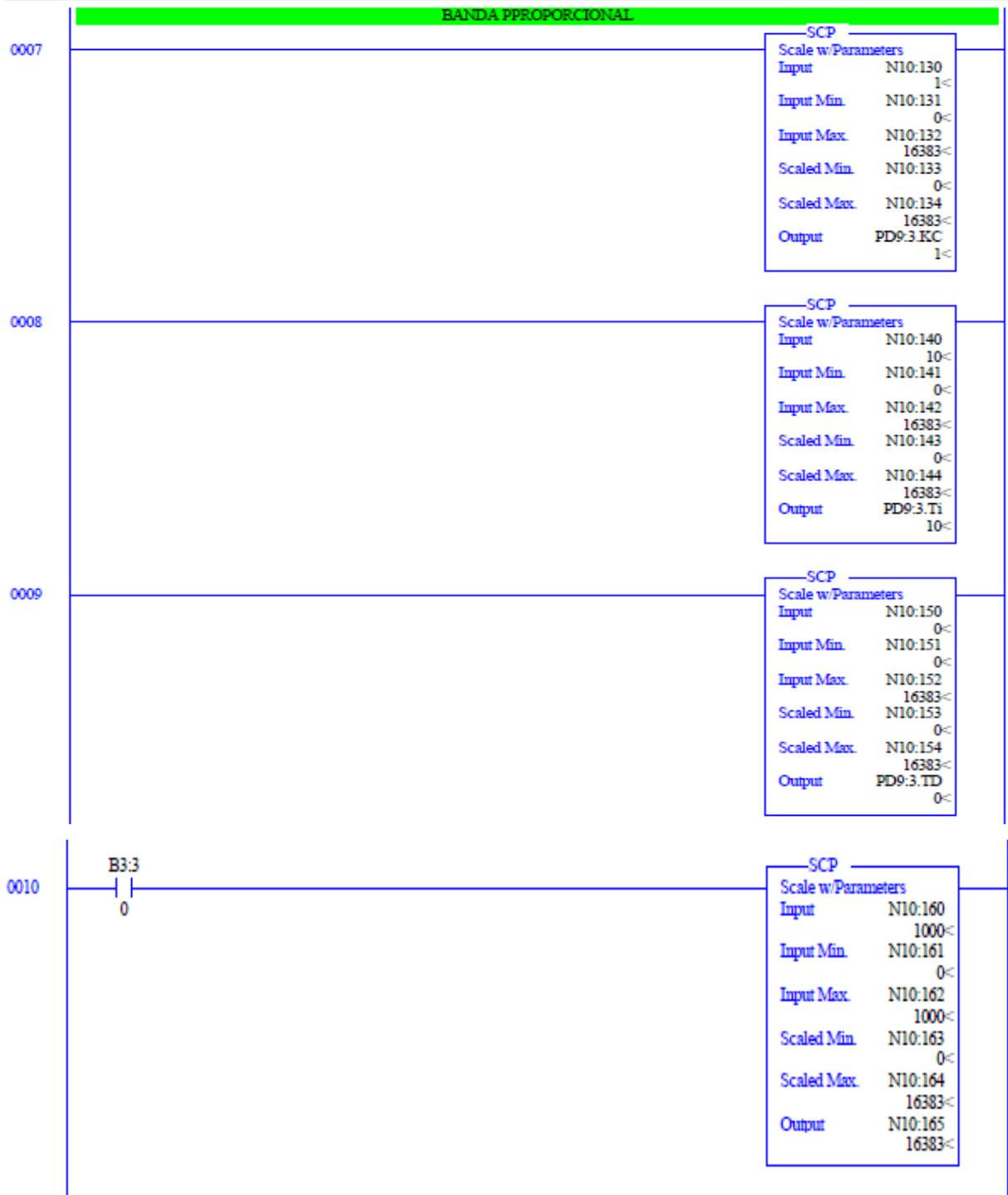


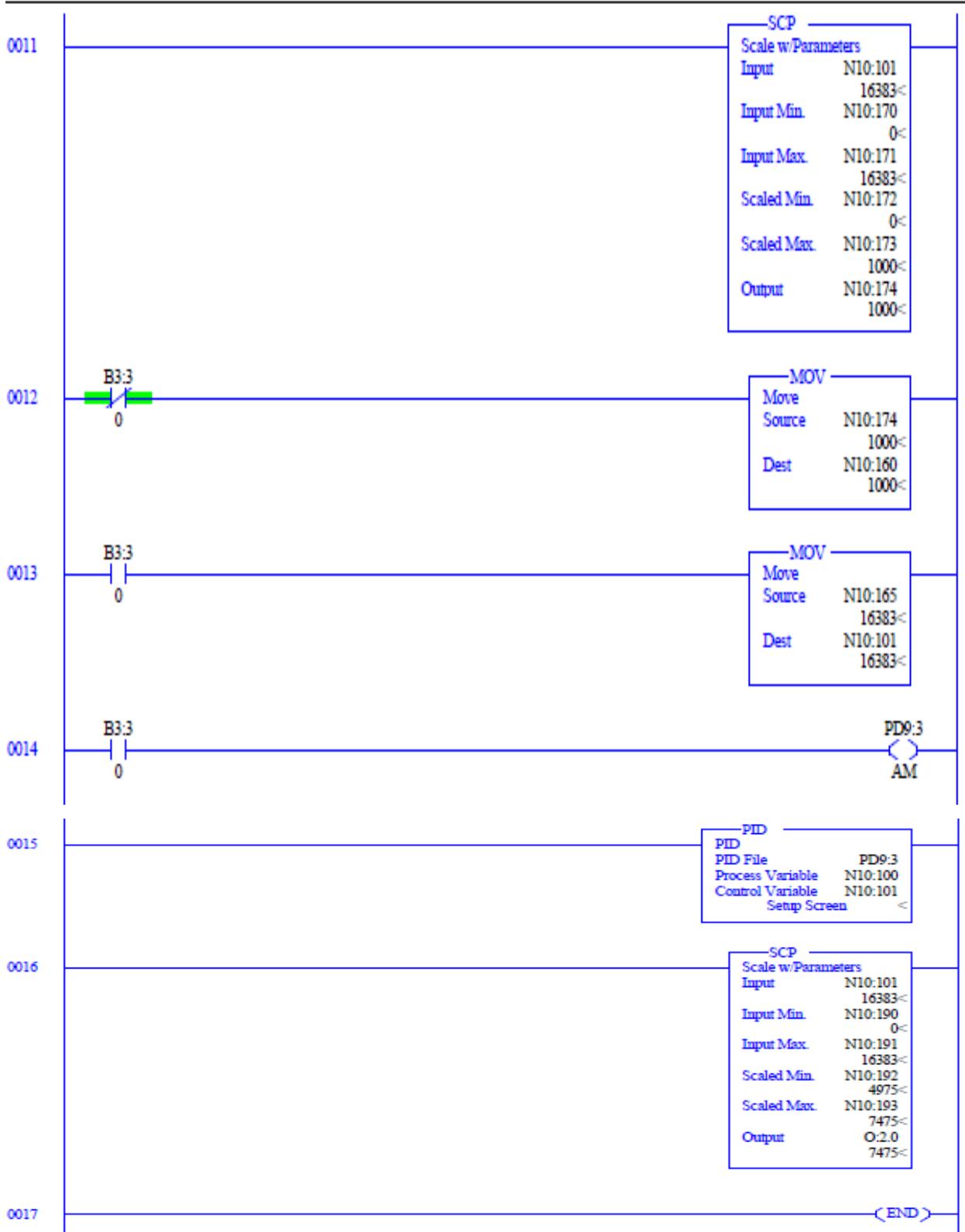
CONTR\_P REV7.RSS

LAD 8 - FLOW --- Total Rungs in File = 18

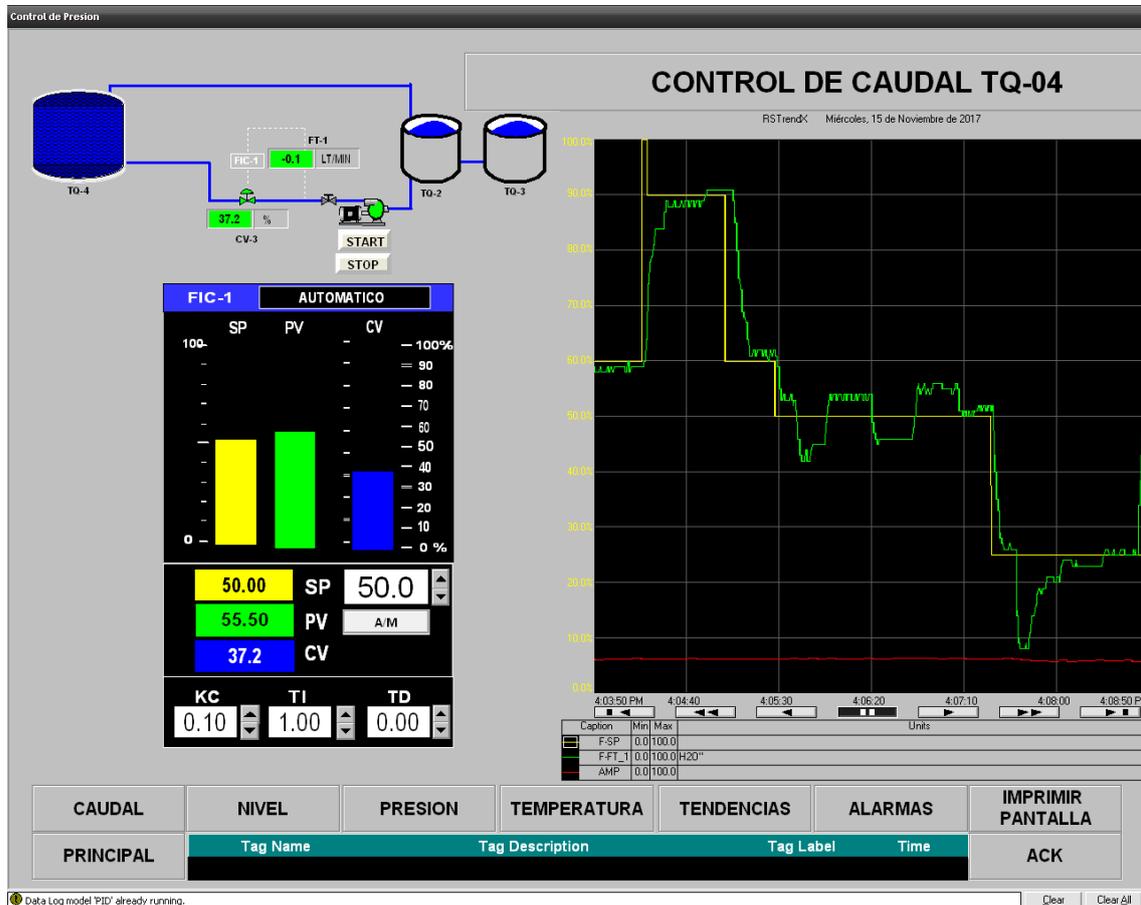
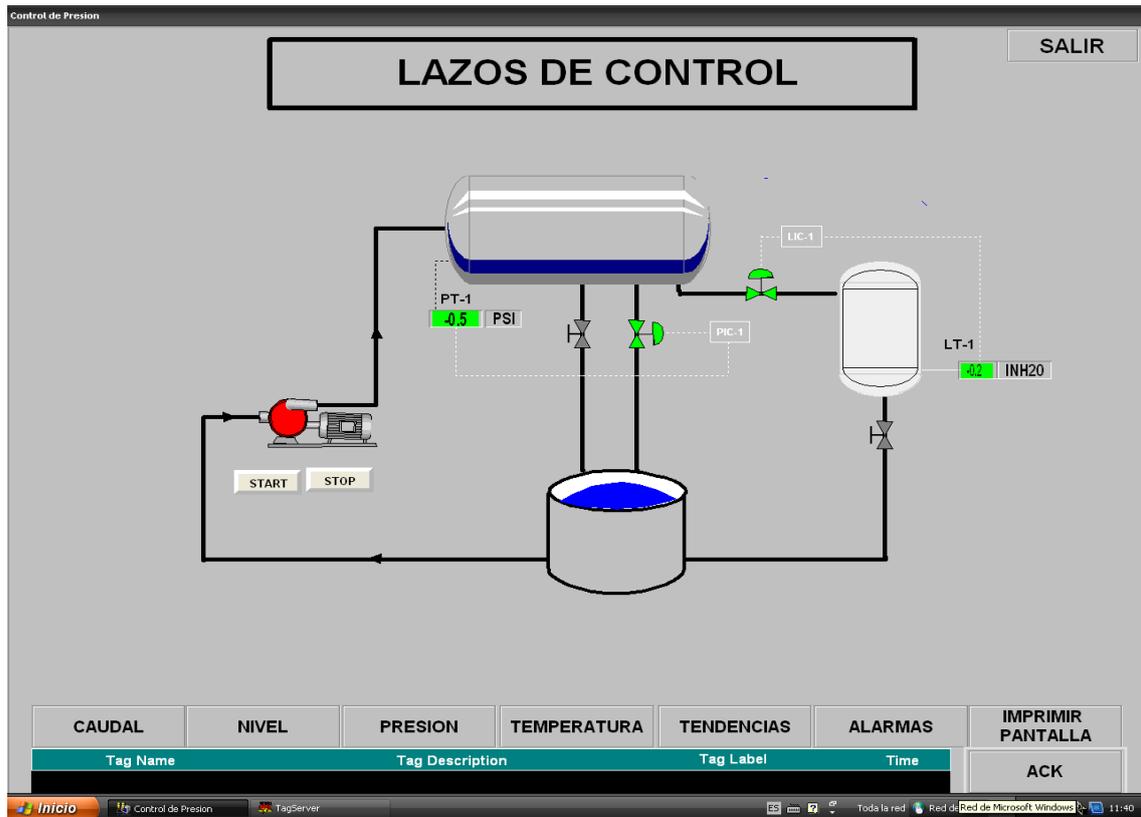
LOS SIGUIENTES ESCALONES CALCULA EL SP, BANDAPROPORCIONAL (KC) BANDA INTEGRAL (TI) BANDA DERIVATIVA (TD) PARA EL PID EN VALORES DE INGENIERIA DE 0 16383







# ANEXO H. Pantallas del HMI.



## ANEXO I. Validación de la propuesta y validación del instrumento



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

### ANEXO 1

#### SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Latacunga Diciembre 20, 2017.

PhD.  
ENRIQUE TORRES TAMAYO  
DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA  
DE COTOPAXI  
Presente

De mi consideración:

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional investigativa, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la **VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA** como un mecanismo a la solución del problema planteado en el siguiente tema de investigación: **“ANÁLISIS DEL CONTROL DE CAUDAL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2017. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CAUDAL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”**

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente.

Por la atención favorable al presente, anticipo mis más sinceros agradecimientos de alta consideración y estima.

Atentamente,

Carlos Francisco Pacheco Mena  
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN



ANEXO 2

INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

TÍTULO DE LA PROPUESTA: ANÁLISIS DEL CONTROL DE CAUDAL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2017. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CAUDAL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN

3 = MUY SATISFACTORIO	2 = SATISFACTORIO	1 = POCO SATISFACTORIO
-----------------------	-------------------	------------------------

ASPECTOS	3	2	1	OBSERVACIONES
<b>1. EL TEMA:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación de la propuesta.</li> <li>Originalidad.</li> <li>Impacto.</li> </ul>	X			
<b>2. OBJETIVO:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinación clara y concisa.</li> <li>Factibilidad.</li> <li>Utilidad.</li> </ul>	X			
<b>3. JUSTIFICACIÓN:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Contribuye a mejorar la organización.</li> <li>Contribuye un aporte para la institución o empresa.</li> </ul>	X			
<b>4. FUNDAMENTACIÓN TEORICA:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se fundamenta en teorías científicas contemporáneas.</li> <li>Los conceptos son de fácil comprensión.</li> <li>Utiliza terminología básica y específica.</li> </ul>	X			
<b>5. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Presenta un orden lógico.</li> <li>Tiene coherencia entre si los componentes de la propuesta.</li> <li>Se ajusta a la realidad del contexto social.</li> <li>Es sugestivo e interesante.</li> <li>Es de fácil manejo.</li> </ul>	X			
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>			

VALIDADO POR:	Nombre: Enrique Torres Tamayo		
Área de Trabajo:	Título Profesional:	Cargo u Ocupación:	Año de Experiencia:
Electromecánica	Ingeniero Mecánico	Decano	27
Observaciones:			
Fecha:	Telf:	Dirección del Trabajo:	C.I:
21/12/2017	09987800156	UTC	1757121990

VALIDADOR.



**ANEXO 1**

**SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN**

Latacunga Diciembre 20, 2017.

PhD.  
ENRIQUE TORRES TAMAYO  
DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA  
DE COTOPAXI  
Presente

De mi consideración:

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO a utilizarse en la recolección de datos para mi investigación sobre **“ANÁLISIS DEL CONTROL DE CAUDAL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2017. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CAUDAL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”**

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente: matriz de operacionalización de variables, los objetivos, instrumentos y los formularios.

Por la atención favorable al presente, anticipo mis más sinceros agradecimientos de alta consideración y estima.

Atentamente,

Carlos Francisco Pacheco Mena  
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN



**ANEXO 2  
INSTRUCCIONES PARA VALIDACIÓN**

**INSTRUCCIONES PARA LA VALIDACIÓN DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO  
SOBRE:**

**ANÁLISIS DEL CONTROL DE CAUDAL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2017. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CAUDAL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN**

Lea detenidamente los objetivos, la matriz de operacionalización de variables y el cuestionario de opinión.

1. Concluir acerca de la pertinencia entre objetivos, variables, e indicadores con los ítems del instrumento.
2. Determinar la calidad técnica de cada ítem, así como la adecuación de éstos a nivel cultural, social y educativo de la población a la que está dirigido el instrumento.
3. Consignar las observaciones en el espacio correspondiente.
4. Realizar la misma actividad para cada uno de los ítems, utilizando las siguientes categorías.

**A. Correspondencia de las preguntas del instrumento con los objetivos, variables, dimensiones, indicadores e ítems.**

**P** PERTINENCIA  
**NP** NO PERTINENCIA

En caso de marcar **NP**, por favor pase al espacio de observaciones y justifique su opinión.

**B. Calidad técnica y representatividad**

Marque en la casilla correspondiente:

**O** OPTIMA  
**B** BUENA  
**R** REGULAR  
**D** DEFICIENTE



En caso de marcar **R** o **D**, por favor justifique su opinión en el espacio de observaciones.

**C. Lenguaje**

Marque en la casilla correspondiente:

A     ADECUADO

I     INADECUADO

En caso de marcar **I**, por favor justifique su opinión en el espacio de observaciones



**ANEXO 3**  
**OBJETIVOS DEL INSTRUMENTO PARA LA FASE DE DIAGNÓSTICO**

**Objetivo General**

Evaluar la eficiencia energética en la separación de petróleo utilizando un banco de pruebas de sistema de control de caudal.

**Objetivos específicos**

- Identificar los equipos y elementos en el que opera el control de caudal en el proceso de separación de petróleo en el campo petrolero en la provincia Francisco de Orellana.
- Construir un banco de pruebas de lazo de control de caudal para estudiar el comportamiento de los parámetros de operación en el proceso de separación de petróleo.
- Diagnosticar las causas de las pérdidas de eficiencia energética ocasionadas por el control de caudal en el prototipo construido para determinar los parámetros de ajuste del controlador y su efecto económico.



ANEXO 4  
MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ÍTEMS
<p><b><u>Independiente</u></b></p> <p>Los controles de caudal son dispositivos cuya finalidad es la de garantizar el caudal del fluido en un rango de variación preestablecido</p>	Portadores energéticos, crudo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Caudal</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor caudal.	1
	Portadores energéticos agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Caudal</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor caudal.	2
	Portadores energéticos gas	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Caudal</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor caudal.	3
	Producción crudo	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Caudal</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor caudal.	4
<p><b><u>Dependiente</u></b></p> <p>Es la determinación de la cantidad de petróleo que se pierde por deficiente control de caudal en la separación de fluido</p>	Balance energético	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Eficiencia</li> <li>➤ Consumo Eléctrico</li> <li>➤ Factibilidad</li> </ul>	Cálculo / Normas, Modelos matemáticos	5

Elaboración: Carlos Pacheco



ANEXO 5

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS		
P = PERTINENTE		NP = NO PERTINENTE
ÍTEMS	A	OBSERVACIONES
1	P	
2	P	
3	P	
4	P	
5	P	
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		

  
VALIDADOR

CC. 1757121940



ANEXO 6

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD		
O= OPTIMA	B= BUENA	R= REGULAR D= DEFICIENTE
ITEMS	B	OBSERVACIONES
1	0	
2	0	
3	0	
4	0	
5	0	
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
25		

  
.....  
VALIDADOR

CC. 1757121940 .....



ANEXO 7  
LENGUAJE

A= ADECUADO		LENGUAJE	I= INADECUADO
ITEMS	C	OBSERVACIONES	
1	A		
2	A		
3	A		
4	A		
5	A		
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

  
VALIDADOR

CC. 1757121940



ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Latacunga Diciembre 20, 2017.

PhD.  
HÉCTOR LUÍS LAURENCIO ALFONSO  
DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA  
DE COTOPAXI  
Presente

De mi consideración:

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional investigativa, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la **VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA** como un mecanismo a la solución del problema planteado en el siguiente tema de investigación: **“ANÁLISIS DEL CONTROL DE CAUDAL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2017. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CAUDAL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”**

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente.

Por la atención favorable al presente, anticipo mis más sinceros agradecimientos de alta consideración y estima.

Atentamente,

Carlos Francisco Pacheco Mena  
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN



ANEXO 2

INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

TÍTULO DE LA PROPUESTA: ANÁLISIS DEL CONTROL DE CAUDAL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2017. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CAUDAL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN

3 = MUY SATISFACTORIO	2 = SATISFACTORIO	1 = POCO SATISFACTORIO
-----------------------	-------------------	------------------------

ASPECTOS	3	2	1	OBSERVACIONES
<b>1. EL TEMA:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación de la propuesta.</li> <li>Originalidad.</li> <li>Impacto.</li> </ul>	X			
<b>2. OBJETIVO:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinación clara y concisa.</li> <li>Factibilidad.</li> <li>Utilidad.</li> </ul>	X			
<b>3. JUSTIFICACIÓN:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Contribuye a mejorar la organización.</li> <li>Contribuye un aporte para la institución o empresa.</li> </ul>	X			
<b>4. FUNDAMENTACIÓN TEORICA:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se fundamenta en teorías científicas contemporáneas.</li> <li>Los conceptos son de fácil comprensión.</li> <li>Utiliza terminología básica y específica.</li> </ul>	X			
<b>5. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Presenta un orden lógico.</li> <li>Tiene coherencia entre si los componentes de la propuesta.</li> <li>Se ajusta a la realidad del contexto social.</li> <li>Es sugestivo e interesante.</li> <li>Es de fácil manejo.</li> </ul>	X			
<b>TOTAL</b>	<b>5</b>			

<b>VALIDADO POR:</b>	Nombre: <i>Victor Luis Guzmán Ufano</i>		
<b>Área de Trabajo.</b>	<b>Título Profesional.</b>	<b>Cargo u Ocupación.</b>	<b>Año de Experiencia.</b>
<i>Electromecánica</i>	<i>P.B. Comercio Técnico</i>	<i>Docente</i>	<i>13</i>
<b>Observaciones:</b>			
<b>Fecha:</b>	<b>Telf:</b>	<b>Dirección del Trabajo:</b>	<b>C.I:</b>
<i>21/12/2017</i>	<i>0998978169</i>	<i>Cotopaxi</i>	<i>1712813</i>

*[Firma]*  
VALIDADOR.



**ANEXO 1**

**SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN**

Latacunga Diciembre 20, 2017.

PhD.  
HÉCTOR LUÍS LAURENCIO ALFONSO  
DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA  
DE COTOPAXI  
Presente

De mi consideración:

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO a utilizarse en la recolección de datos para mi investigación sobre **“ANÁLISIS DEL CONTROL DE CAUDAL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2017. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CAUDAL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”**

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente: matriz de operacionalización de variables, los objetivos, instrumentos y los formularios.

Por la atención favorable al presente, anticipo mis más sinceros agradecimientos de alta consideración y estima.

Atentamente

Carlos Francisco Pacheco Mena  
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN



**ANEXO 2**  
**INSTRUCCIONES PARA VALIDACIÓN**

**INSTRUCCIONES PARA LA VALIDACIÓN DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO SOBRE:**

**ANÁLISIS DEL CONTROL DE CAUDAL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2017. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CAUDAL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN**

Lea detenidamente los objetivos, la matriz de operacionalización de variables y el cuestionario de opinión.

1. Concluir acerca de la pertinencia entre objetivos, variables, e indicadores con los ítems del instrumento.
2. Determinar la calidad técnica de cada ítem, así como la adecuación de éstos a nivel cultural, social y educativo de la población a la que está dirigido el instrumento.
3. Consignar las observaciones en el espacio correspondiente.
4. Realizar la misma actividad para cada uno de los ítems, utilizando las siguientes categorías.

**A. Correspondencia de las preguntas del instrumento con los objetivos, variables, dimensiones, indicadores e ítems.**

- P PERTINENCIA  
NP NO PERTINENCIA

En caso de marcar **NP**, por favor pase al espacio de observaciones y justifique su opinión.

**B. Calidad técnica y representatividad**

Marque en la casilla correspondiente:

- O OPTIMA  
B BUENA  
R REGULAR  
D DEFICIENTE



En caso de marcar **R** o **D**, por favor justifique su opinión en el espacio de observaciones.

**C. Lenguaje**

Marque en la casilla correspondiente:

**A**    ADECUADO

**I**    INADECUADO

En caso de marcar **I**, por favor justifique su opinión en el espacio de observaciones



**ANEXO 3**  
**OBJETIVOS DEL INSTRUMENTO PARA LA FASE DE DIAGNÓSTICO**

**Objetivo General**

Evaluar la eficiencia energética en la separación de petróleo utilizando un banco de pruebas de sistema de control de caudal.

**Objetivos específicos**

- Identificar los equipos y elementos en el que opera el control de caudal en el proceso de separación de petróleo en el campo petrolero en la provincia Francisco de Orellana.
- Construir un banco de pruebas de lazo de control de caudal para estudiar el comportamiento de los parámetros de operación en el proceso de separación de petróleo.
- Diagnosticar las causas de las pérdidas de eficiencia energética ocasionadas por el control de caudal en el prototipo construido para determinar los parámetros de ajuste del controlador y su efecto económico.



ANEXO 4  
MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ÍTEMS
<p><b><u>Independiente</u></b></p> <p>Los controles de caudal son dispositivos cuya finalidad es la de garantizar el caudal del fluido en un rango de variación preestablecido</p>	Portadores energéticos, crudo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Caudal</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor caudal.	1
	Portadores energéticos agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Caudal</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor caudal.	2
	Portadores energéticos gas	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Caudal</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor caudal.	3
	Producción crudo	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Caudal</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor caudal.	4
<p><b><u>Dependiente</u></b></p> <p>Es la determinación de la cantidad de petróleo que se pierde por deficiente control de caudal en la separación de fluido</p>	Balance energético	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Eficiencia</li> <li>➤ Consumo Eléctrico</li> <li>➤ Factibilidad</li> </ul>	Cálculo / Normas, Modelos matemáticos	5

Elaboración: Carlos Pacheco



ANEXO 5

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS		
P = PERTINENTE		NP = NO PERTINENTE
ÍTEMS	A	OBSERVACIONES
1	P	
2	P	
3	P	
4	P	
5	P	
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		



VALIDADOR

CC... I.7.12813.....



ANEXO 6

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD		
O= OPTIMA	B= BUENA	R= REGULAR D= DEFICIENTE
ITEMS	B	OBSERVACIONES
1	0	
2	0	
3	0	
4	0	
5	0	
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
25		

VALIDADOR

CC... J.7.12.813



ANEXO 7  
LENGUAJE

A= ADECUADO		LENGUAJE	I= INADECUADO
ITEMS	C	OBSERVACIONES	
1	A		
2	A		
3	A		
4	A		
5	A		
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

VALIDADOR

CC. I712813



ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Latacunga Diciembre 20, 2017.

PhD.  
ILIANA ANTONIA GONZÁLEZ PALAU  
DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA  
DE COTOPAXI  
Presente

De mi consideración:

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional investigativa, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la **VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA** como un mecanismo a la solución del problema planteado en el siguiente tema de investigación: **“ANÁLISIS DEL CONTROL DE CAUDAL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2017. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CAUDAL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”**

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente.

Por la atención favorable al presente, anticipo mis más sinceros agradecimientos de alta consideración y estima.

Atentamente,

Carlos Francisco Pacheco Mena  
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN



ANEXO 2

INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

TÍTULO DE LA PROPUESTA: ANÁLISIS DEL CONTROL DE CAUDAL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2017. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CAUDAL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN

3 = MUY SATISFACTORIO	2 = SATISFACTORIO	1 = POCO SATISFACTORIO
-----------------------	-------------------	------------------------

ASPECTOS	3	2	1	OBSERVACIONES
<b>1. EL TEMA:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación de la propuesta.</li> <li>Originalidad.</li> <li>Impacto.</li> </ul>				
<b>2. OBJETIVO:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinación clara y concisa.</li> <li>Factibilidad.</li> <li>Utilidad.</li> </ul>				
<b>3. JUSTIFICACIÓN:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Contribuye a mejorar la organización.</li> <li>Contribuye un aporte para la institución o empresa.</li> </ul>				
<b>4. FUNDAMENTACIÓN TEORICA:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Se fundamenta en teorías científicas contemporáneas.</li> <li>Los conceptos son de fácil comprensión.</li> <li>Utiliza terminología básica y específica.</li> </ul>				
<b>5. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Presenta un orden lógico.</li> <li>Tiene coherencia entre si los componentes de la propuesta.</li> <li>Se ajusta a la realidad del contexto social.</li> <li>Es sugestivo e interesante.</li> <li>Es de fácil manejo.</li> </ul>				
<b>TOTAL</b>				

VALIDADO POR:	Nombre: <i>Shiara... González... Palacios</i>		
Área de Trabajo:	Título Profesional:	Cargo u Ocupación:	Año de Experiencia:
<i>CIT</i>	<i>Ing. electricista</i>	<i>Docente</i>	<i>33</i>
Observaciones:			
Fecha:	Telf.:	Dirección del Trabajo:	C.I.:
<i>21/12/2017</i>	<i>0984340820</i>	<i>Latacunga</i>	<i>1757070659</i>

*[Firma]*  
VALIDADOR.



**ANEXO 1**

**SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN**

Latacunga Diciembre 20, 2017.

PhD.  
ILIANA ANTONIA GONZÁLEZ PALAU  
DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA  
DE COTOPAXI  
Presente

De mi consideración:

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO a utilizarse en la recolección de datos para mi investigación sobre **“ANÁLISIS DEL CONTROL DE CAUDAL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2017. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CAUDAL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”**

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente: matriz de operacionalización de variables, los objetivos, instrumentos y los formularios.

Por la atención favorable al presente, anticipo mis más sinceros agradecimientos de alta consideración y estima.

Atentamente,

Carlos Francisco Pacheco Mena  
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN



**ANEXO 2  
INSTRUCCIONES PARA VALIDACIÓN**

**INSTRUCCIONES PARA LA VALIDACIÓN DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO  
SOBRE:**

**ANÁLISIS DEL CONTROL DE CAUDAL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2017. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CAUDAL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN**

Lea detenidamente los objetivos, la matriz de operacionalización de variables y el cuestionario de opinión.

1. Concluir acerca de la pertinencia entre objetivos, variables, e indicadores con los ítems del instrumento.
2. Determinar la calidad técnica de cada ítem, así como la adecuación de éstos a nivel cultural, social y educativo de la población a la que está dirigido el instrumento.
3. Consignar las observaciones en el espacio correspondiente.
4. Realizar la misma actividad para cada uno de los ítems, utilizando las siguientes categorías.

**A. Correspondencia de las preguntas del instrumento con los objetivos, variables, dimensiones, indicadores e ítems.**

- P PERTINENCIA  
NP NO PERTINENCIA

En caso de marcar NP, por favor pase al espacio de observaciones y justifique su opinión.

**B. Calidad técnica y representatividad**

Marque en la casilla correspondiente:

- O OPTIMA  
B BUENA  
R REGULAR  
D DEFICIENTE



En caso de marcar **R** o **D**, por favor justifique su opinión en el espacio de observaciones.

**C. Lenguaje**

Marque en la casilla correspondiente:

A     ADECUADO

I     INADECUADO

En caso de marcar **I**, por favor justifique su opinión en el espacio de observaciones



**ANEXO 3**  
**OBJETIVOS DEL INSTRUMENTO PARA LA FASE DE DIAGNÓSTICO**

**Objetivo General**

Evaluar la eficiencia energética en la separación de petróleo utilizando un banco de pruebas de sistema de control de caudal.

**Objetivos específicos**

- Identificar los equipos y elementos en el que opera el control de caudal en el proceso de separación de petróleo en el campo petrolero en la provincia Francisco de Orellana.
- Construir un banco de pruebas de lazo de control de caudal para estudiar el comportamiento de los parámetros de operación en el proceso de separación de petróleo.
- Diagnosticar las causas de las pérdidas de eficiencia energética ocasionadas por el control de caudal en el prototipo construido para determinar los parámetros de ajuste del controlador y su efecto económico.



ANEXO 4  
MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ÍTEMS
<p><b>Independiente</b></p> <p>Los controles de caudal son dispositivos cuya finalidad es la de garantizar el caudal del fluido en un rango de variación preestablecido</p>	Portadores energéticos, crudo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Caudal</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor caudal.	1
	Portadores energéticos agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Caudal</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor caudal.	2
	Portadores energéticos gas	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Caudal</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor caudal.	3
	Producción crudo	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Caudal</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor caudal.	4
<p><b>Dependiente</b></p> <p>Es la determinación de la cantidad de petróleo que se pierde por deficiente control de caudal en la separación de fluido</p>	Balace energético	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Eficiencia</li> <li>➤ Consumo Eléctrico</li> <li>➤ Factibilidad</li> </ul>	Cálculo / Normas, Modelos matemáticos	5

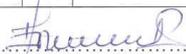
Elaboración: Carlos Pacheco



ANEXO 5

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS		
P = PERTINENTE		NP = NO PERTINENTE
ÍTEMS	A	OBSERVACIONES
1	P	
2	P	
3	P	
4	P	
5	P	
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		

  
VALIDADOR

CC... 1757070659



ANEXO 6

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD		
O= OPTIMA	B= BUENA	R= REGULAR D= DEFICIENTE
ITEMS	B	OBSERVACIONES
1	P	Optima
2	P	Optima
3	P	Optima
4	P	Optima
5	P	Optima
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
25		

*[Handwritten Signature]*

VALIDADOR

CC 1757070619



ANEXO 7  
LENGUAJE

A= ADECUADO		LENGUAJE	I= INADECUADO
ITEMS	C	OBSERVACIONES	
1	A		
2	A		
3	A		
4	A		
5	A		
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			

*[Handwritten Signature]*

VALIDADOR

CC 1757070659