



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN OPCIÓN AL GRADO
ACADÉMICO DE MAGISTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

TEMA:

“EVALUACIÓN DEL CONTROL DE PRESIÓN EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”

AUTOR: LUIS FERNANDO MASAPANTA MENA

TUTOR: PhD. SECUNDINO MARRERO

LATACUNGA – ECUADOR

AGOSTO 2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

Latacunga – Ecuador

APROBACIÓN DE TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante Ing. Luis Fernando Masapanta Mena, con el título de tesis: **“EVALUACIÓN DEL CONTROL DE PRESIÓN EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa del Proyecto de Investigación.

Latacunga 08, 2017.

Para constancia firman:

MSc. Manuel Ángel León Segovia.
PRESIDENTE
CI 0502041353

PhD. Juan José La Calle Domínguez.
MIEMBRO
CI 1756604227

MSc. Franklin Hernán Vásquez Teneda
MIEMBRO
CI 1710434497

PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso.
OPONENTE
PAS I712813

CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor de la Maestría en Gestión de Energías, nombrado por el Honorable Consejo Académico de Posgrado.

CERTIFICO:

Que, Analizado el Proyecto de Tesis, presentado como registro previo a la aprobación y desarrollo de la investigación para optar por el grado de Magister en Gestión de Energías.

El problema de la Investigación se refiere a:

“EVALUACIÓN DEL CONTROL DE PRESIÓN EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”

Presentado por el Señor Ing. Luis Fernando Masapanta Mena con CI: 0501581292.

Sugiero la aprobación y permita continuar con los trámites correspondientes.

PhD. Secundino Marrero Ramírez.

CI 1757107907

TUTOR

Latacunga, Agosto del 2017

RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS

El proyecto de tesis de maestría denominado **“EVALUACIÓN DEL CONTROL DE PRESIÓN EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”**, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en las páginas correspondientes, cuya fuente se incorpora en la bibliografía.

Consecuentemente, este trabajo es de mi autoría.

En mi virtud de la declaración me responsabilizo del contenido, veracidad, alcance científico del proyecto de tesis, en mención.

Latacunga, Agosto del 2017.

.....
Ing. Luis Fernando Masapanta Mena.

0501581292

AGRADECIMIENTO

Gracias Dios por permitirme alcanzar mis objetivos,
con tus bendiciones me has dado la fortaleza
necesaria para culminar con éxito este trabajo.

A mi Esposa Rosario y mis hijos y Andreita y Luis,
quien con amor y comprensión
compartieron su tiempo de familia
y me apoyaron para realizar esta investigación.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi,
por permitirme estudiar la Maestría en Gestión de Energías
y por colocar docentes de alta gama educativa y profesional
para culminar de manera exitosa este Especialización.

Un agradecimiento especial al PhD. Secundino Marrero,
por su acertada dirección e invaluable consejos
durante el desarrollo que ha durado la
ejecución y desarrollo de esta investigación.

Ing Luis Masapanta

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño a mi amada esposa Charito por su esfuerzo y sacrificio, por darme su tiempo, por creer en mi capacidad, por brindarme su comprensión, cariño y amor.

A mis hijos Andreita y Luis por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depare un futuro mejor.

A mi Madre quien apoyo siempre mis pensamientos y esfuerzos, por su fe ciega en su hijo eterno.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

TÍTULO: “Evaluación del control de presión en el proceso de separación de producción de petróleo, en el campo petrolero en la Provincia de Sucumbíos en el año 2016. Construcción de un banco de pruebas para un sistema de control de presión para determinar y mejorar la eficiencia energética en el control de los procesos de separación”.

Autor: Ing. Luis Fernando Masapanta Mena.

RESUMEN

La construcción de un banco de pruebas se realizó para determinar los factores de sintonización de un controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) para un lazo de control de Presión, basados en análisis de procedimientos y ensayos de inestabilidad de la variable presión en el banco de pruebas construido. Para obtener la simulación del proceso, se utilizó el agua como fluido del sistema, y dispositivos de características industriales iguales a la de los procesos de separación de crudo. Para el controlador se utilizó un PLC (Controlador Lógico Programable) industrial de la marca Allen Bradley con tarjetas de expansión para entradas y salidas análogas. Las pruebas determinaron los factores de sintonización por los Métodos de Zieler y Nichols de Lazo abierto y lazo Cerrado. Estos factores deben ser tomados como una primera aproximación de los valores requeridos, los que usualmente requieren de un afinamiento posterior, para lograr el comportamiento y desempeño deseado del sistema de control en el proceso real. Durante la oscilación del sistema se observó que en el motor-bomba la corriente tiene un incremento de consumo proporcional al incremento de la presión, la variación es igual al periodo de oscilación del proceso, esto determina que la máxima eficiencia y un menor consumo de energía se tiene cuando la variable del proceso se encuentra en forma estable y el lazo de control de presión está totalmente sintonizado.

DESCRIPTORES: Banco de pruebas, Controlador, sintonización.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

TITLE: "Evaluation of pressure control in the oil production separation process in the oil field at the Sucumbíos of province in the year 2016. Construction of a machine test bench for a pressure control system to determine and improve energy efficiency in the control of separation processes".

Author: Ing. Luis Fernando Masapanta Mena.

ABSTRACT

The construction of a test bench was performed to determine the tuning factors of a PID (Proportional Integral Derivative) controller for a Pressure Control loop, based on procedure analysis and instability tests of the pressure variable on the built-in test bench. In order to obtain the simulation of the process, water was used as a system fluid, and devices with industrial characteristics similar to the processes of separation of crude oil. For the controller, an Allen Bradley brand industrial PLC (Programmable Logic Controller) with expansion cards for analog inputs and outputs was used. The tests determined the tuning factors by the Zieler and Nichols Methods of Open Loop and Closed Loop. These factors should be taken as a first approximation of the required values, which usually require a later refinement, to obtain the desired behavior and performance of the control system in the actual process. During the oscillation of the system it was observed that in the motor-pump the current has an increase of consumption proportional to the increase of the pressure, the variation is equal to the period of oscillation of the process, this determines that the maximum efficiency and a lower energy consumption is obtained when the process variable is in stable form and the pressure control loop is fully tuned.

DESCRIPTORS: Test bench, Controller, Tuning.

INDICE GENERAL

TEMA:.....	1
APROBACIÓN DE TRIBUNAL DE GRADO	2
CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DEL TUTOR	3
RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS	4
AGRADECIMIENTO	5
DEDICATORIA	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
INDICE GENERAL	9
ÍNDICE DE FIGURAS	13
ÍNDICE DE TABLAS	15
INTRODUCCIÓN.....	16
EL PROBLEMA.....	17
Planteamiento del problema	17
Justificación de la Investigación	18
Formulación del problema.....	18
Delimitación del problema	19
Objeto de la investigación	19
Campo de acción de la investigación	19
Objetivo general.....	19
Objetivos específicos.....	19
Hipótesis	20
Paradigma o enfoque epistemológico	20
Factibilidad de la investigación	20
FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	22
Entrega de crudo a empresas transportadoras.....	22
Diseño de separadores a presión	22
CAPÍTULO 1	24
MARCO CONCEPTUAL Y TEORICO.....	24

1.1	Antecedentes de investigación	24
MARCO TEÓRICO		25
1.2	Descripción de las propiedades de los fluidos y tipos de yacimientos.....	25
1.2.1	Propiedades de los fluidos	25
1.2.1.1	Densidad de un fluido.....	25
1.2.1.2	Gravedad específica	25
1.2.1.3	Gravedad API.....	26
1.2.1.4	Viscosidad.....	26
1.2.1.5	Cambios de la viscosidad de un fluido hidrocarburo	27
1.2.1.6	Factores que afectan la viscosidad	27
1.2.1.6.1	Temperatura.....	27
1.2.1.6.2	Presión.....	28
1.2.2	Tensión Superficial	28
1.2.3	Tipos de fluidos de yacimiento	30
1.2.4	Análisis del petróleo y gas	30
1.2.5	Importancia de la Separación de Fases.....	32
1.2.5.1	Clasificación de los equipos de separación	33
1.2.5.2	Descripción de los equipos de separación	35
1.2.6	Fundamentos para la separación Mezcla Gas-Líquido.....	36
1.2.6.1	Separación por gravedad	36
1.2.6.2	Separación por fuerza centrífuga	37
1.2.6.3	Separación por choque	37
1.2.7	Consideraciones de Presión en el diseño de separadores	38
1.2.8	Sistemas de control.....	39
1.2.8.1	Sintonización de controladores	41
1.2.8.2	Reglas de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID.....	41
CAPITULO 2		45
MARCO METODOLÓGICO.....		45
2.1	Modalidad de la investigación	45
2.1.1	De campo	45
2.1.2	Modalidades especiales-Proyecto Factible	45

2.1.3	Experimental	45
2.2	Nivel de investigación	45
2.2.1	Investigación descriptiva	45
2.2.2	Investigación Explicativa	45
2.3	Método	46
2.4	Técnicas	46
2.5	Instrumentos	47
2.6	Sensores e instrumentos asociados a la medición de variables	47
2.6.1	¿Qué es la Medición?	47
2.6.2	Sensor	47
2.6.3	Transductor	47
2.6.4	Transmisor	48
2.6.5	Lazos de control de un separador.....	48
2.6.6	Transmisor de presión	49
2.6.7	Partes de un transmisor.....	49
2.6.8	Elemento de control final	50
2.6.9	La válvula de control.....	50
2.6.10	Especificación de válvulas	51
2.6.11	Concepto de los Controladores Lógicos Programables (PLCs)	52
2.6.12	1762-IF2OF2 Modulo de expansión I/O	53
2.6.13	Software RSlogix	54
2.6.14	Software RSLink.....	55
2.6.15	Software de Interfaz RSVIEW32 (HMI)	56
2.7	Diagrama de bloques de un lazo de control de presión	56
2.8	Separador trifásico.....	57
2.9	Determinación de las variables	58
2.10	Sistemas de tareas por objetivos específicos:	60
2.11	Metodología de Controlador	60
CAPÍTULO 3		61
CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		61
3.1	Diagrama General.....	61
3.2	Diagrama del sistema eléctrico	63

3.3	Diagrama del sistema de control	66
3.4	Elementos utilizados en el banco de pruebas	69
3.5	Escalera (Ladder) de programación.....	70
3.6	HMI	75
3.7	HMI para lazo de control de la presión	76
3.8	Pruebas de sintonización.....	79
3.8.1	Lazo abierto método de Ziegler-Nichols	79
3.8.2	Lazo Cerrado método de Ziegler-Nichols	83
3.9	Análisis de resultados.	87
3.10	PROPUESTA	90
3.10.1	Título de la propuesta.....	90
3.10.2	Justificación	91
3.10.3	Objetivos.....	92
3.10.4	Desarrollo de la propuesta.....	92
3.11	Presupuesto de la propuesta	94
CONCLUSIONES		95
RECOMENDACIONES.....		96
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA		97
4 ANEXOS		99
Anexo A Transductor de Corriente alterna 0-5 amp a 4 a 20 mA.		99
Anexo B. Switch 110 VCA/10 amperios		100
Anexo C. Conversor de 4 - 20 mA a 0 – 10 VCA		101
Anexo D. Válvula proporcional.....		104
Anexo E. Bomba-Motor		106
Anexo F. Reglamento para el transporte de crudo por el SOTE		109
Anexo G. Programación		111
Anexo H. HMI		123
Anexo I. Evaluación de Propuesta e Instrumentos de Evaluación.....		124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre $^{\circ}$ API y viscosidad.	28
Figura 2. tensión interfacial.	29
Figura 3. Curvas P-T fluido.	31
Figura 4. Sistema de separación en tres etapas.	33
Figura 5. Separador Vertical	34
Figura 6. Separador Horizontal.	34
Figura 7. Separador esférico.	34
Figura 8. Secciones Básicas de un separador.	36
Figura 9. Separación por la gravedad.	37
Figura 10. Separación por fuerza centrífuga.	37
Figura 11. Separación por choque.	38
Figura 12. Curva de respuesta al escalón unitario mostrando valores.	40
Figura 13. Respuesta escalón unitario, indica un sobrepaso máximo de 25%.	42
Figura 14. Curva de respuesta con forma de S.	42
Figura 15. Sistema en lazo cerrado con controlador proporcional.	43
Figura 16. Esquema de un sistema de medida.	48
Figura 17. Conexión de un transmisor de presión.	49
Figura 18. Partes de un transmisor de presión.	50
Figura 19. Corte de una válvula de control con sus partes.	51
Figura 20. Partes de un PLC MicroLogix 100.	53
Figura 21. Módulo de 1762 Expansión.	54
Figura 22. Diagrama de un sistema de control de presión.	56
Figura 23. Diagrama de bloques del lazo de control de presión.	57
Figura 24. Separador de producción.	58
Figura 25. Diagrama del sistema hidráulico del prototipo.	61
Figura 26. Construcción del banco de pruebas de lazo de control de presión.	62
Figura 27. Diagrama eléctrico utilizado en el banco de pruebas.	64
Figura 28. Caja de conexiones eléctricas y de control.	65
Figura 29. Diagrama de control del prototipo.	67
Figura 30. Transmisor indicador de presión.	68

Figura 31. Válvula eléctrica de control proporcional.	68
Figura 32. Regletas de conexión circuito de control.	68
Figura 33. Configuración del Hardware del PLC.	71
Figura 34. Configuración entradas análogas.	71
Figura 35. Configuración de la variable de entrada.	72
Figura 36. Escalonamiento de la señal de entrada.	73
Figura 37. Escalonamiento para SP, Kc, Ti, Td.	73
Figura 38. Cambio de automático a manual del controlador.	74
Figura 39. Escalonamiento para la salida hacia la válvula de control.	74
Figura 40. Instrucción PID y setup del PID.	75
Figura 41. Registro de programación de la instrucción PID.	75
Figura 42. Pantalla principal de ingreso al HMI.	76
Figura 43. HMI para el lazo de control de presión.	77
Figura 44. HMI controlador.	77
Figura 45. Arranque y parada de la bomba.	78
Figura 46. Tren para la visualización de la variable.	78
Figura 47. Cambio de pantallas en los procesos.	79
Figura 48. Curva S del proceso.	80
Figura 49. Respuesta del sistema a nuevos valores.	81
Figura 50. Respuesta del sistema a un SP 30.	82
Figura 51. Respuesta del sistema a un SP 40.	82
Figura 52. Oscilación del sistema.	84
Figura 53. Medición de Pcr.	85
Figura 54. Respuesta del sistema a un SP 20.	86
Figura 55. Respuesta del sistema a un SP 30.	86
Figura 56. Respuesta del sistema a un SP 15.	87
Figura 57. Respuesta del sistema para lazo abierto.	88
Figura 58. Respuesta del sistema a lazo cerrado.	89
Figura 59. La corriente en un circuito oscilante de lazo cerrado.	90
Figura 60. Curva con diferentes estados de la válvula.	93

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Clasificación de los crudos según °API.....	26
Tabla 2. Valores máximos de presión de trabajos permitidos en los separadores.	39
Tabla 3. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols, respuesta escalón.	43
Tabla 4. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols. Kcr & Pcr.....	44
Tabla 5. Instrumentos.	47
Tabla 6. Instrumentos para el lazo de control.....	49
Tabla 7. Variable Independiente	59
Tabla 8. Variable dependiente.....	59
Tabla 9. Sistemas de tareas por objetivos específicos.	60
Tabla 10. Dispositivos utilizados en la construcción del prototipo.	70
Tabla 11. Valores calculados.	81
Tabla 12. Valores de corriente.	83
Tabla 13. Valores calculados del PID.	85
Tabla 14. Valores calculados del PID.	87
Tabla 15. Presupuesto de la propuesta.	94

INTRODUCCIÓN

En todo sistema de extracción de petróleo la presión es una de las variables presentes en todo el proceso de producción. En el fondo del pozo se tiene presiones muy grandes superiores a los 1000 psi pero a medida que el fluido llega a la superficie la presión va disminuyendo. En la superficie, los equipos de separación utilizan la presión para controlar el tiempo de residencia y la velocidad de movimiento de los fluidos en cada una de las etapas de la separación. El tiempo de residencia del fluido trifásico en un separador o en un tanque determinará el grado de separación del petróleo del agua y gas. Este grado de separación (BSW) es el parámetro necesario para la venta del crudo en los puntos de recepción de OCP o SOTE en el Oriente Ecuatoriano.

Cuando la presión en un separador es controlada de manera estable, el proceso de separación de los componentes hidrocarburos se facilita, un fluido estable, no espumoso, laminar, sin emulsión, colabora en la separación, pero cuando el fluido tiene baches de gas, espumoso o emulsionado, la separación de los componentes necesitan de más etapas de proceso, la presión en estas etapas no puede ser controlada de manera estable, debido a condiciones del fluido que no permite tener un proceso más eficiente.

En los procesos de separación de los componentes hidrocarburos es muy importante controlar la Presión, todos los equipos que intervienen en el manejo del fluido son diseñados para una presión de trabajo y para una presión Máxima de operación, la operación de los equipos no debe sobrepasar estas presiones de lo contrario se tendrá consecuencias como la destrucción o la deformación de los equipos que están en operación. Muchos equipos y dispositivos de seguridad son destinados para el monitoreo y control de la presión del sistema en cada una de las etapas.

Con el análisis de la variable presión en los procesos de separación de crudo, podremos determinar cuáles son los valores óptimos de trabajo en cada uno de los controladores de los separadores. Para realizar el análisis se realiza la construcción de un prototipo de proceso donde se pueda simular el control de la variable presión, para determinar su comportamiento en el control en un sistema de un separador.

EL PROBLEMA

Planteamiento del problema

Los fluidos del pozo, para subir a la superficie utilizan una gran cantidad de energía, producida en centrales de generación eléctrica a diésel o a gas, esta energía es transmitida al fluido elevando la presión, para vencer la columna desde el fondo del pozo hasta la superficie. Si el fluido es uniforme y este ingresa a un separador, la separación de los hidrocarburos será mucho más fácil, se tendrá menos tiempo de residencia del fluido en el separador, obteniendo una capacidad más grande de flujo para la separación, menores consumo de energía y estabilidad en el proceso. Pero los fluidos en los pozos no siempre son estables, cada pozo tiene diferente aporte de producción en petróleo, agua y gas, algunos son emulsionados, con partículas, espumosos, con alto porcentaje de gas y con baches (bolsas) de gas. Este tipo de fluidos para su separación requieren de una o más etapas adicionales de procesos, muchas de las veces añadiendo químicos para cambiar las características de los fluidos para mejorar su separación.

Las compañías han implementado en su operación sistemas de control de presión que garantizan una operación controlada, al tener variaciones que ingresan al proceso, el personal operativo y de mantenimiento debe poseer conocimientos sobre el sistema de lazos de control que permitan garantizar una operación estable, eficiente y segura tanto para el personal como para los equipos en funcionamiento. El personal técnico debe garantizar el manejo de la planta de manera eficiente, obteniendo mayores volúmenes de fluido en la separación a un consumo menor de energía.

La experimentación para el aprendizaje en el área de los lazos de control, demanda la existencia de un prototipo donde se pueda experimentar y obtener los conocimientos y habilidades prácticas en el campo del proceso, muchas de las veces cuando el proceso ya está en operación, es muy difícil realizar cambio de parámetros de operación para experimentar mejoras en el proceso de separación del crudo, por lo que, se espera tener una parada inesperada del sistema o modificar en una parada planificada, esto evitara tener pérdidas de producción por el cambio y/o remplazo de controladores que están dañados o que necesitan una sintonización de los lazos de control.

Justificación de la Investigación

El presente trabajo tiene por objetivo determinar los parámetros más óptimos de ajuste de los controladores de presión en cada uno de los separadores, con ello se logra: obtener una operación óptima de los procesos, manejar una mayor cantidad de fluido en la separación, mantener las características físico químicas del crudo para la entrega (venta) y consumir menos energía en la producción de petróleo.

Para lograr obtener estos parámetros de operación de los controladores con la variable presión, se necesita construir un banco de prueba de sistema de control de presión con elementos industriales que simulen el proceso real. En el banco de prueba se podrá realizar diferentes tipos de los ensayos como, cambios en los valores de las constantes del PID del controlador, introducir perturbaciones externas al sistema y determinar fallas de equipos que intervienen en el proceso.

Para el análisis del sistema de separación se evalúa el comportamiento de la variable presión en el tiempo y el tipo de respuestas que presenta en cada caso, con esto se determina que es lo que podría ocurrir en los separadores del campo cuando se tenga alguna variación en la presión, visualizando posibles escenarios de trabajo en los procesos y tomando las medidas necesarias para evitar sobre todo la pérdida de producción y la destrucción de los equipos.

En el laboratorio se realizarán varios ensayos con la variable presión en el separador, con ello se podrá obtener datos del consumo de energía que se ocupa para el proceso. Esta evaluación de energía consumida permitirá también verificar cual es la incidencia de la variable presión en el consumo energético del proceso y se determinará para que escenario de trabajo se tendrá una máxima eficiencia de trabajo del separador.

Formulación del problema

La inestabilidad de la variable presión incide en la eficiencia energética del proceso de separación del crudo, produciendo menos cantidad de volumen de petróleo en las plantas de producción del Oriente Ecuatoriano y por consiguiente pérdidas económicas.

Delimitación del problema

¿Cómo incide la variable de la presión en la eficiencia energética del proceso de producción de petróleo en las facilidades de los campos petroleros del Oriente Ecuatoriana, ubicadas en la Provincia de Sucumbíos del año 2017?

Objeto de la investigación

La presente investigación tiene como objeto de estudio el lazo de control de presión en el proceso de separación del crudo. El punto de partida es la construcción de un banco de prueba de lazo de control de presión para la simulación del proceso del campo, luego las pruebas y ensayos para determinar los puntos de trabajo óptimo de la presión en los controladores de cada proceso. Esto ayudara a determinar los posibles casos de trabajo que tiene el operador en la planta de producción.

Campo de acción de la investigación

El control automático.

Objetivo general

Mejorar la eficiencia energética por medio de la sintonización óptima del lazo de control de presión en los procesos de separación del petróleo, a través de la construcción y experimentación de un banco de pruebas.

Objetivos específicos

- Determinar los equipos y elementos que operan en el control de la presión en los procesos de producción de los campos petróleo de la Provincia de Sucumbíos.
- Construir un banco de pruebas para un lazo de control de Presión para experimentar los comportamientos de los parámetros de operación en el proceso de separación.

- Definir el punto más óptimo de trabajo para el lazo de control de presión en el proceso de separación de petróleo, mediante la experimentación en el banco de pruebas construido.

Hipótesis

La construcción de un banco de pruebas para la experimentación del lazo de control de presión permitirá realizar ensayos para determinar los parámetros óptimos del funcionamiento en el lazo de control de la presión de los separadores y el incremento de la eficiencia energética de este proceso.

Paradigma o enfoque epistemológico

Durante el desarrollo de este proyecto la parte investigativa se debe concretar hacia los métodos, técnicas, experimentación, verificaciones y comprobación del proyecto, para lo cual se eligió la perspectiva cuantitativa y cualitativa, esto debido a que tiene un fuerte contenido matemático y estadístico.

De lo anterior se puede considerar que los cambios experimentales, los registros de variación de la variable presión, las técnicas estadísticas de análisis de datos, son parte de los métodos que se podrían utilizar en el enfoque cuantitativo de evaluación de la presión.

El método cuantitativo se aplicará en la simulación experimental y continua. La simulación experimental se realizará sobre el banco de pruebas de lazo de control de presión, con el análisis de diferentes escenarios posibles para la puesta en servicio del sistema de control, logrando alcanzar los valores de parámetros óptimos para tener una eficiencia total en el control de la Presión. La simulación continua se realizará con la manipulación de válvulas que darán una perturbación al sistema, con ello determinaremos los puntos de operación continua del sistema.

Factibilidad de la investigación

La experimentación para el aprendizaje en área de los lazos de control, demanda la existencia de un banco de pruebas donde se pueda ensayar y obtener los conocimientos, destrezas y habilidades prácticas en el campo del proceso, muchas de las veces cuando el proceso ya está en

operación, es muy difícil realizar cambios a los parámetros de operación para experimentar mejoras en el proceso de separación del crudo, por lo que, se espera tener una parada inesperada del sistema o modificar en una parada planificada las variables que intervienen en el proceso.

La combinación de un entorno interactivo, dotado de teoría, práctica y la simulación en prototipos de procesos industriales promueve la participación activa de los Técnicos y Operadores de producción en el proceso de aprendizaje de los sistemas de control en la separación del petróleo que evitara la pérdida de producción en el campo y operación más eficiente de los equipos.

Para la factibilidad de este estudio propuesto, es necesario indicar que la construcción de un bando de pruebas de lazo de control de presión, se la puede realizar con elementos utilizados en los sistemas de Instrumentación de los separadores de producción. Para la lectura de las variables se utilizan un transmisor de presión estática, para la corriente de consumo, un transformador de corriente, para el control se utiliza un PLC (controlador lógico programable) como controlador y para el elemento de control final una válvula eléctrica de control proporcional.

Para el sistema hidráulico se puede utilizar tubería PVC de diferentes dimensiones que soporta valores de presión de hasta 80 PSI. Para elevar la presión se utiliza una bomba- motor eléctrico de un sistema de tanque presurizado a un valor de 0.5 HP. El tanque se construye en acero inoxidable en un volumen de 350 cm³. Todos estos elementos pueden ser comprados en la ciudad, pero la válvula y el transmisor se pueden comprar mediante Internet por ebay, estos dos dispositivos tienen procedencia EEUU y China respectivamente. La estructura donde se realiza el montaje de todos los dispositivos se puede realizar en una Mecánica Industrial de la localidad.

En la actualidad con la caída del precio del barril de petróleo todas las Compañías petroleras deben ser competitivas en el mercado y buscan reducir sus costos de procesamiento de crudo con menos consumo de energía, mientras que de manera simultánea mejoran su eficiencia en la calidad de procesamiento del crudo, su confiabilidad en los equipos en el procesamiento del petróleo, actualizan su tecnología y aumentan los conocimientos técnicos del personal para su eficiente operación.

FUNDAMENTACIÓN LEGAL

Entrega de crudo a empresas transportadoras

Cada pozo de producción de petróleo produce crudo de distintas características, con diferentes proporciones en cada uno de sus componentes de hidrocarburos, así como diferentes mezclas de gas, petróleo y agua, por ello cada pozo es tratado, analizado y procesado de diferente manera, para obtener un petróleo de características estándares para la venta.

Todo el petróleo Crudo Entregado por cualquier compañía en el Ecuador deberá cumplir con las especificaciones Mínimas de Calidad del Petróleo Crudos. Las compañías transportadoras como el SOTE y OCP no estarán obligadas a aceptar ninguna entrega de cualquier petróleo, que a su criterio no cumpla con las Especificaciones mínimas de calidad del petróleo crudo. (Ecuatoriano, 2004).

Mediante acuerdo Ministerial No 14 Registro Oficial 280 del 26 de febrero del 2004, se expide el siguiente reglamento para el TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO A TRAVÉS DEL SISTEMA DE OLEODUCTO TRANSECUTORIANO SOTE. **Artículo 10**

- Agua & Sedimentos (BS&W)

La compañía Transportadora a su criterio puede tolerar un nivel de BS&W superior al cero punto cinco por ciento (0,5%) por periodos breves cuando dichas circunstancias sean el resultado de procesos anormales de la compañía productora. El exceso de BS&W por parte de las Compañías productoras individuales solo será permitido si y solamente si la mezcla total de petróleo crudo puede ser mantenida abajo del límite de cero puntos cinco por ciento (0,5%) del BS&W.

- Cuando la gravedad API sea menor a los asignados en la correspondiente regulación emitida por la ARCH (Agencia de Regulación y Control Hidrocarbúfero).

Diseño de separadores a presión

Del libro SURFACE PRODUCTION OPERATIONS, segunda Edición, Volumen 2, SECCION 12, hace referencia a diseño mecánico de la presión en los separadores:

La mayoría de separadores para presión son inspeccionados y diseñados de acuerdo al American Society of Mechanical Engineers (ASME Code), muchos países adoptan este código como requerimiento necesario en la compra de los separadores. La sección XII del libro trata sobre la presión en los separadores y las consideraciones de diseño que debería tener al construir un separador.

API American Petroleum Institute, conocido como Instituto Americano del Petróleo, representa cerca de 400 corporaciones implicadas en la producción, el refinamiento, la distribución y muchos otros aspectos de la industria del petróleo. La **API 520** cubre los métodos de instalación de dispositivos de alivio de presión para equipos con presiones de trabajo superiores a los 15 psi.

CAPÍTULO 1

MARCO CONCEPTUAL Y TEORICO

1.1 Antecedentes de investigación

En el artículo: **Sistema Didáctico de Control de Presión, del autor Saida M. Charre-Ibarra de la Universidad de Colima, México (2010)**. El autor presenta y discute un sistema de control de presión didáctico, en forma de arquitectura abierta. Se realizó la instalación de un controlador digital configurable y además se elaboró un controlador virtual, integrando software y hardware para crear un sistema flexible y abierto a la evolución. Se diseña una estación de trabajo didáctica, para desarrollar prácticas y proyectos de investigación con diferentes controladores y sus componentes pueden ser sustituidos por otros dispositivos. Con ello en laboratorio permite comprender y conceptualizar en mejor forma los eventos que ocurren en procesos industriales y explorar los efectos de las modificaciones, estudiando la creatividad de los estudiantes.

Este proyecto permite la enseñanza y la investigación en temáticas tales como registro de señales, ajustes de controladores, diseño de controladores, prueba de controladores (análogos, digitales, inteligentes), instrumentación clásica, instrumentación virtual, caracterización de procesos, configuración de sensores, calibración de actuadores.

En el proyecto **Desarrollo de una Estacion Experimental Multipropósito para la Enseñanza en Control de Procesos. De Rafael E. Vásquez, Norah L. Posada y Fabio Castrillón, De la Universidad Pontificia Bolivariana**. El autor presenta el desarrollo de un equipo de laboratorio para el estudio, entrenamiento e investigación en procesos. Se presenta el diseño de un proceso de nivel de líquido de dinámica variable, que permite incluir no linealidades y tiempo muerto variable. La estación además cuenta con tres tecnologías para controlador: PLC, controlador industrial y Computador portátil. Esta flexibilidad permite el uso de diversos algoritmos de control.

Se desarrolló un equipo de laboratorio multipropósitos, utilizado para la educación de fundamentos en sistemas dinámicos y control de procesos. Este equipo está pensado para ser

utilizado en actividades de entrenamiento industrial y experimentación de sistemas avanzados de control dentro de proyectos de investigación en teoría de control. Las características de la estación experimental, se tiene la posibilidad de contar con diversos sistemas dinámicos, desde lineales de primer orden hasta lineales de tercer orden.

MARCO TEÓRICO

1.2 Descripción de las propiedades de los fluidos y tipos de yacimientos

1.2.1 Propiedades de los fluidos

La descripción de las propiedades de los fluidos es de suma importancia en la selección del separador. Debido a que estas propiedades influyen en la selección adecuada de los separadores y es necesario tener conocimientos de dichas propiedades.

1.2.1.1 Densidad de un fluido

Es la relación entre la masa y el volumen de un fluido y viene dado por la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ ----- Ec. 1}$$

Dónde:

ρ = Densidad del fluido (gr/cc)

m= Masa (gr)

V=Volumen (cc)

1.2.1.2 Gravedad específica

La gravedad específica de un líquido es la relación de la densidad del líquido con la del agua pura @ 60°F (15,5°C).

$$Gel = \frac{\rho_l}{\rho_a} \text{ ----- Ec. 2}$$

Donde

ρ_l = Densidad del líquido (gr/cc) o (lb/pie³)

ρ_a = Densidad del agua=1gr/cc= 62,4lb/pie³

1.2.1.3 Gravedad API

La industria petrolera mundial ha dispuesto clasificar el petróleo de acuerdo con su densidad relativa con respecto a la del agua, es decir, si es más o menos denso que ella. Esto se ha logrado mediante la adopción de la denominada gravedad API (American Petroleum Institute). La gravedad API diferencia las calidades del crudo por medio de una escala numérica sencilla y universal, expresada en grados API ó °API. En esta escala, cuanto más liviano es el petróleo mayor es la gravedad API y, mientras más pesado, menor el valor de API. (Jose Requena, 2006)

La gravedad API puede ser calculada en función de la siguiente fórmula:

$$^{\circ}API = \frac{141.5}{Gel} \text{ ----- Ec. 3}$$

Dónde:

Gel= Gravedad específica del líquido (adimensional)

La clasificación del crudo de acuerdo al °API se observa en la siguiente tabla 1.

TIPO DE CRUDO	GRAVEDAD
Condensado	a partir de 42
Liviano	más de 30
Mediano	de 22,0 hasta 29,9
Pesado	Pesado
Extra pesado	Hasta 9,9
Bitumen	promedio 8,2

Tabla 1. Clasificación de los crudos según °API
(Fuente: Diseño y Evaluación de Separadores Bifásicos y trifásicos, Cap II, pag 8)

1.2.1.4 Viscosidad

Es una propiedad importante que se usa para la clasificación del petróleo es de suma importancia para la producción, transporte y refinación. Es una medida de la resistencia que ofrece un fluido a moverse, a fluir y su unidad de medición común es el poise. Con el fin de reconocer pequeñas variaciones de la viscosidad, su valor se expresa también en centipoise. Por lo general, a medida que los crudos son más densos y pesados también son más viscosos. La viscosidad del petróleo depende de la temperatura, se puede disminuir mediante calentamiento (Jose Requena, 2006).

1.2.1.5 Cambios de la viscosidad de un fluido hidrocarburo

La viscosidad del crudo se ve afectada primordialmente por dos parámetros: temperatura y contenido de gas en solución. La temperatura se puede considerar como constante a través de la historia de producción del campo, pero el segundo cambia constantemente a medida que se libera el gas que está disuelto. Por consiguiente, es necesario determinar la viscosidad del petróleo a la temperatura y presión de fondo del pozo con una solubilidad variable del gas, que es determinada a través de análisis PVT sobre muestras de crudo representativas del yacimiento. A presiones inferiores de la presión de saturación, la liberación del gas aumenta la viscosidad del petróleo residual en mayor grado que si es reducido por expansión volumétrica; el resultado es un aumento neto en la viscosidad. (Jose Requena, 2006)

1.2.1.6 Factores que afectan la viscosidad

1.2.1.6.1 Temperatura

La viscosidad es la resistencia que opone un fluido a ser deformado. Esta propiedad se origina por la atracción de las moléculas entre sí, mediante fuerzas de cohesión que dificultan un desplazamiento relativo, si aplicamos temperatura a un fluido viscoso, se favorece la agitación térmica de las moléculas, ya que se disminuye la fuerza de cohesión entre ellas, por lo que se induce a una disminución de la viscosidad para el caso de líquidos. Para los gases es análogo el comportamiento, ya que en gases las fuerzas de cohesión son prácticamente inexistentes, en ellos la agitación térmica de las moléculas genera un aumento de la viscosidad ya que se aumenta la interacción entre las moléculas.

La medida de qué tanto cambia la viscosidad de un fluido con la temperatura está dada por el índice de viscosidad. Un fluido común con alto índice de viscosidad muestra un cambio pequeño de viscosidad con respecto a la temperatura; un fluido con un bajo índice de viscosidad exhibe un cambio grande en su viscosidad con respecto a la temperatura. El índice de viscosidad se establece mediante la medición de la viscosidad de un fluido a 40° C y a 100 °C; y se comparan estos valores con los fluidos de referencia (Jose Requena, 2006).

1.2.1.6.2 Presión

La presión en los líquidos afecta muy poco la viscosidad, ya que éstos pueden ser considerados incompresibles. En el caso de los gases el aumento de la presión es proporcional al aumento de viscosidad. En la figura 1, indica la relación entre la viscosidad y el ° API para crudos de determinados campos:



Figura 1. Relación entre °API y viscosidad.

(Fuente: Diseño y Evaluación de Separadores Bifásicos y trifásicos, Cap II, pag 11)

1.2.2 Tensión Superficial

Cuando se está tratando con un sistema de flujo multifásico es necesario considerar el efecto de las fuerzas que estén actuando en la interface entre dos fluidos que son inmiscibles, Figura 2. En un fluido cada molécula interacciona con las que le rodean. El radio de acción de las fuerzas moleculares es relativamente pequeño, abarca a las moléculas vecinas más cercanas. Se determina de forma cualitativa, la resultante de las fuerzas de interacción sobre una molécula que se encuentra en:

- A, el interior del líquido
- B, en las proximidades de la superficie

C, en la superficie

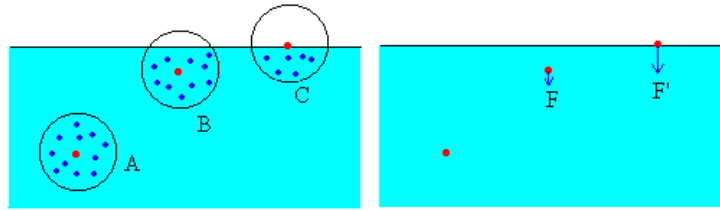


Figura 2. tensión interfacial.

(Fuente: Diseño y Evaluación de Separadores Bifásicos y trifásicos, Cap II, pag 12)

Consideremos en la Fig 2, una molécula en color rojo en el seno de un líquido en equilibrio, alejada de la superficie libre, tal como en la posición A. Por simetría, la resultante de todas las fuerzas atractivas procedentes de las moléculas en color azul que la rodean, será nula. En cambio, si la molécula se encuentra en la posición B, por existir en valor medio menos moléculas arriba que abajo, la molécula en cuestión estará sometida a una fuerza resultante dirigida hacia el interior del líquido. Si la molécula se encuentra en la posición C, la resultante de las fuerzas de interacción es mayor que en el caso B. Las fuerzas de interacción, hacen que las moléculas situadas en las proximidades de la superficie libre de un fluido experimenten una fuerza dirigida hacia el interior del líquido.

En las regiones limítrofes entre dos fases siempre existirá un desbalance de fuerzas moleculares, el resultado neto de este esfuerzo es una tendencia a reducir el área de contacto. La tensión superficial se puede definir como la tendencia a contraerse que posee la superficie líquida expuesta a gases. La tensión interfacial es una tendencia similar existente cuando dos líquidos inmiscibles se hallan en contacto. La tensión superficial entre la fase líquida y su vapor en equilibrio, depende fundamentalmente de presión, temperatura y composición de las fases. En el caso de las sustancias puras, dicha tensión se puede definir únicamente especificando la presión y la temperatura. En el caso de mezclas puede especificarse una de las dos variables, determinando la otra en las curvas de presión de vapor. En general, la tensión superficial disminuye con la temperatura, ya que las fuerzas de cohesión disminuyen al aumentar la agitación térmica. La influencia del medio exterior se comprende ya que las moléculas del medio ejercen acciones atractivas sobre las moléculas situadas en la superficie del líquido, contrarrestando las acciones de las moléculas del líquido (Jose Requena, 2006).

1.2.3 Tipos de fluidos de yacimiento

En general el Petróleo y el Gas son mezclas de hidrocarburos de una composición química compleja, que se encuentra a determinadas condiciones de presión y temperatura en el yacimiento. Estas condiciones pueden variar ampliamente; se puede hablar de presiones desde 100 psi hasta 10000 psi y, aún más, las temperaturas pueden variar desde 80°F (26,6°C) hasta 400°F (204,4°C).

El estado de una mezcla de hidrocarburos a condiciones de superficie depende de la composición de la misma en el yacimiento y a su vez a la composición del fluido que permanece en el yacimiento. Este sufre cambios debido a los hidrocarburos producidos. La reducción de presión en el yacimiento, trae como consecuencia la variación en las proporciones de gas y líquido existentes en el mismo. El conocimiento de las propiedades físicas de tales mezclas de hidrocarburos, es indispensable para evaluar la cantidad de líquido y gas a condiciones normales, que produce el yacimiento.

La meta en el estudio de fases es llegar a predecir, cuando se conoce la composición de un sistema, las cantidades y composiciones de las fases en equilibrio de tal sistema a cualquier presión y temperatura. El estudio del comportamiento de las fases se divide en dos partes: estudio cualitativo y estudio cuantitativo de las fases. En el primer caso se estudian los diferentes diagramas de presión-temperatura, P-T, presión-volumen, P-V, composición, etc. En el segundo caso se desarrolla en fórmulas y métodos para calcular la composición y cantidades de las fases de un sistema, a una presión y temperatura dada (Jose Requena, 2006).

1.2.4 Análisis del petróleo y gas

Los hidrocarburos comprenden una variedad de componentes que abarcan desde el metano que solo tiene un átomo de carbono hasta los compuestos de carbono de cadena muy larga, además de moléculas cíclicas, aromáticas, y otras moléculas complejas tales como los asfáltenos y las parafinas. Estos componentes determinan el comportamiento de las fases de un fluido de yacimiento determinando que suele indicarse utilizando un diagrama de fases de un fluido de

yacimiento determinado que suele indicarse utilizando un diagrama de fases representado por tres variables: PRESION, volumen y temperatura (PVT). (Camegie, 2004)

Un hidrocarburo se encuentra en una sola fase si la presión y la temperatura están fuera de lo envolvente de fases. En condiciones que caen dentro del envolvente, coexisten las fases. Sin embargo, la composición de las fases cambia dentro de esta región bifásica. Cerca de la curva del punto de burbujeo, la fase gaseosa corresponde predominantemente a metano, pero ingresando más en la región de dos fases, otros componentes livianos e intermedios ingresan en las fases gaseosas, figura 3.

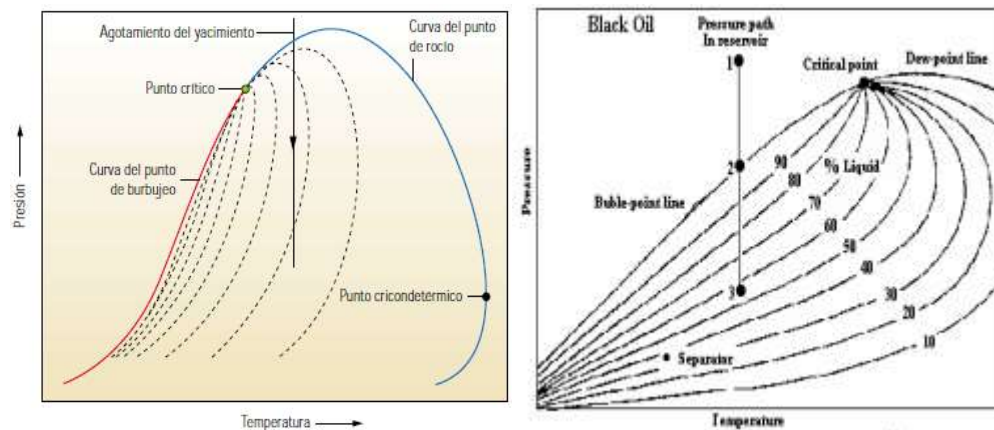


Figura 3. Curvas P-T fluido.

(Fuente: Análisis de hidrocarburos en el pozo, página 2)

De un modo similar, los primeros componentes líquidos que se separan después de atravesar el punto de rocío son los componentes más pesados, los componentes más livianos pasan a la fase líquida en las condiciones que prevalecen más allá de la curva del punto de rocío. Este fenómeno es importante cuando se muestran fluidos de gas condensado, una vez que un fluido ingresa en la región bifásica, los componentes pesados se pierden en la fase líquida. La condición de presión y temperatura en las cuales se unen las curvas del punto de burbujeo y la del punto de rocío se denomina punto crítico. En este punto la densidad y la composición de las fases líquidas y gaseosas son idénticas. La temperatura máxima a la cual pueden coexistir dos fases se denomina cricondetermica (Camegie, 2004).

Usualmente, la temperatura de un yacimiento es casi constante, al menos que se inyecte en los mismos fluidos fríos o calientes de manera que la mayoría de yacimientos que se estén agotando

siguen una trayectoria vertical descendente en un diagrama de fases de presión y temperatura. Si la temperatura de yacimiento se encuentra entre la temperatura del punto crítico y la cricondetermica, se puede separar líquido de la fase gaseosa dentro del yacimiento. Estos se denominan yacimientos de gas condensados o de condensado retrogrado. El gas presente en un yacimiento con una temperatura superior a la cricondetermica se conoce como gas húmedo si se separa líquido debido a la disminución de la presión y de la temperatura en el sistema de producción o como gas seco si no se separa líquido ya sea en el yacimiento o en el sistema de producción. (Camegie, 2004)

Los equipos de separación tienen como objetivo separar mezclas de líquido y gas. El proceso es ampliamente aplicado en la industria petrolera, fundamentalmente para lograr la mayor recuperación de hidrocarburos líquidos, sin embargo, no hay un criterio único para establecer las condiciones de operaciones adecuadas. Cuando el sistema de separación ocurre en varias etapas y el gas producido se envía a una planta para su tratamiento, es importante considerar las presiones de separación del gas en cada etapa, a fin de reducir a un mínimo los requerimientos de compresión. (Camegie, 2004)

1.2.5 Importancia de la Separación de Fases

Un proceso de separación se aplica principalmente por las siguientes razones.

- Los pozos producen hidrocarburos líquidos y gaseosos mezclados en un solo flujo.
- Hay líneas en las que aparentemente se maneja solo líquido o gas, pero debido a los cambios de presión y temperatura que se producen, existe vaporización del líquido o condensación del gas.
- En ocasiones el flujo de gas arrastra líquidos en cantidades apreciables a los equipos de procesamiento (compresores).
- En campos productores donde el gas es quemado y no se tiene equipos adecuados de separación, una cantidad considerable de aceite liviano arrastrado por el flujo de gas, también se quema, originando pérdidas económicas debido al mayor valor comercial.

- En la transportación del gas se debe eliminar la mayor cantidad de líquido para evitar problemas como la corrosión del transporte, aumento en la calidad de presión y disminución en la capacidad de las líneas.

Para obtener una separación más eficiente y completa, dos o más separadores se conectan en serie reduciendo la presión en cada equipo, figura 4, lo que se conoce como separación en múltiples etapas. Cada vez que se reduce la presión, ocurre separación de gas en el líquido que sale de cada etapa. (Alexos Diaz, 2010)

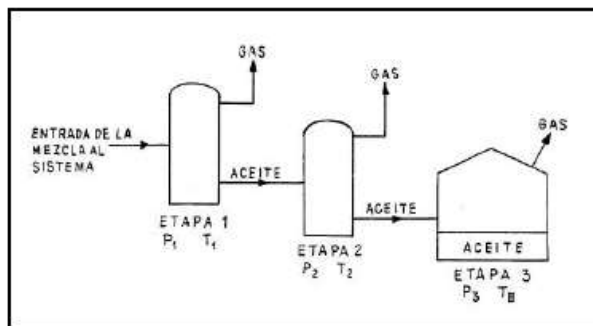


Figura 4. Sistema de separación en tres etapas.

(Fuente: Parámetros requeridos en el diseño de separadores para manejar mezclas gas-líquido, página 2).

1.2.5.1 Clasificación de los equipos de separación

Por su forma los separadores se clasifican en: verticales, horizontales y esféricos. Por la función en: bifásico y trifásicos: los primeros separan gas y líquido y los segundos gas, petróleo y agua. Además de acuerdo a la operación: en prueba y de producción.

Entre los equipos utilizados con mayor frecuencia tenemos: separadores de agua libre, a baja temperatura, eliminadores y depuradores. (Alexos Diaz, 2010)



Figura 5. Separador Vertical

(Fuente: Parámetros requeridos en el diseño de separadores para manejar mezclas gas-líquido, página 2).



Figura 6. Separador Horizontal.

(Fuente: Parámetros requeridos en el diseño de separadores para manejar mezclas gas-líquido, página 2).

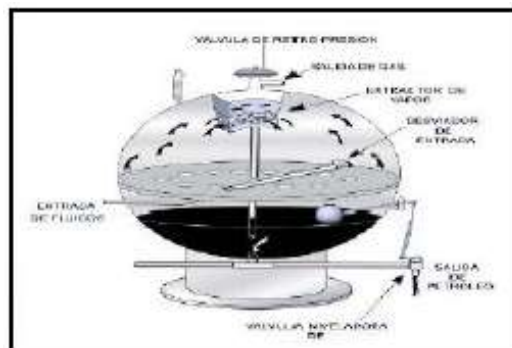


Figura 7. Separador esférico.

(Fuente: Parámetros requeridos en el diseño de separadores para manejar mezclas gas-líquido, página 2).

El separador de prueba maneja la producción de un solo pozo con el fin de determinar o cuantificar la producción de gas y de líquido, mediante los respectivos sistemas de medición. El

de producción recibe y trata el fluido de varios pozos de un campo, es de mayor capacidad que uno de prueba.

El separador de tres fases es de tipo horizontal y se conoce como eliminador de agua libre o Free Water Knock-out, separa la fase líquida en petróleo y agua emulsionada además de gaseosa, debido a que se disponen de suficiente tiempo de residencia o retención.

Es importante conocer la producción de cada uno de los pozos, con el fin en el separador de prueba se utilizan dos sistemas: la medición por orificio, para cuantificar la cantidad de gas y el medidor de turbina que permite establecer el flujo líquido. Además para determinar el volumen de petróleo manejado en una estación de producción se dispone del sistema LACT (Alexos Diaz, 2010).

1.2.5.2 Descripción de los equipos de separación

Consta de las siguientes secciones básicas:

Sección Primaria: separa la mayor parte del líquido del gas y reduce la turbulencia del flujo, debido a un cambio en la dirección que se logra con una entrada tangencial del fluido al separador por medio de una placa desviadora, dando fuerza centrífuga al flujo. (Alexos Diaz, 2010)

Separación Secundaria: separa la máxima cantidad de gotas de líquido de la corriente de gas que fluye por la parte superior del recipiente. Como la turbulencia del flujo es mínima las gotas líquidas se separan por gravedad, para lo cual el equipo debe tener suficiente longitud. En algunos diseños la turbulencia se reduce con el uso de aspas alineadas que también sirven como superficies colectoras de líquidos. (Alexos Diaz, 2010)

Extracción de niebla: Separa del flujo de gas las gotas pequeñas de líquido que no se elimina en las secciones primaria y secundaria, utilizando el efecto de choque y/o fuerza centrífuga, con lo que se logra que las pequeñas gotas de líquido se colecten y se acumulen sobre la superficie, formando otras más grandes que se precipitan a la sección de acumulación de líquido. (Alexos Diaz, 2010)

Almacenamiento del líquido: Almacena y descarga el líquido separado de la corriente de gas. Debe tener la capacidad suficiente para manejar los baches del líquido que puedan ocurrir en una operación normal y la instrumentación requerida para controlar el nivel del separador, compuesta por un indicador de nivel, un flotador y una válvula de descarga. (Alexos Diaz, 2010)

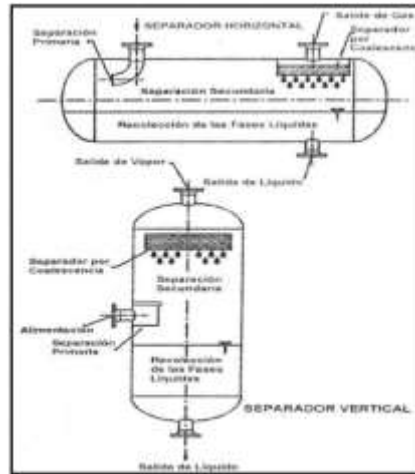


Figura 8. Secciones Básicas de un separador.

(Fuente: Parámetros requeridos en el diseño de separadores para manejar mezclas gas-líquido, página 3).

1.2.6 Fundamentos para la separación Mezcla Gas-Líquido

La separación de mezcla gas – líquido se logra combinando apropiadamente los siguientes factores:

1.2.6.1 Separación por gravedad

Si el fluido es vertical las partículas de líquido que se separan caen a contraflujo del gas por la fuerza de gravedad y se aceleran hasta que la de arrastre se iguala con la gravitacional. Después las partículas continúan cayendo a velocidad constante, llamada velocidad de asentamiento o terminal, que para una gota de líquido de cierto diámetro indica la velocidad máxima que debe tener el gas para que se separen las partículas de este diámetro o mayor. (Alexos Diaz, 2010)

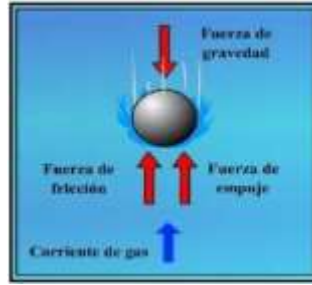


Figura 9. Separación por la gravedad.

(Fuente: Parámetros requeridos en el diseño de separadores para manejar mezclas gas-líquido, página 3).

1.2.6.2 Separación por fuerza centrífuga

La fuerza centrífuga inducida a las partículas de líquido suspendidas en una corriente de gas puede ser varias veces mayor que la fuerza de gravedad que actúa sobre las mismas. Este principio mecánico se emplea tanto en la sección primaria de un separador como en algunos tipos de extractor de neblina. (Alexos Diaz, 2010)

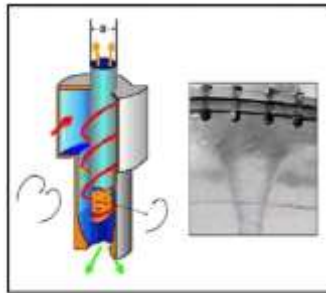


Figura 10. Separación por fuerza centrífuga.

(Fuente: Parámetros requeridos en el diseño de separadores para manejar mezclas gas-líquido, página 3).

1.2.6.3 Separación por choque

Es el mecanismo más utilizado en la eliminación de las pequeñas partículas de líquido suspendidas en una corriente de gas, porque cuando chocan con obstrucción quedan adheridas a las mismas. (Alexos Diaz, 2010)

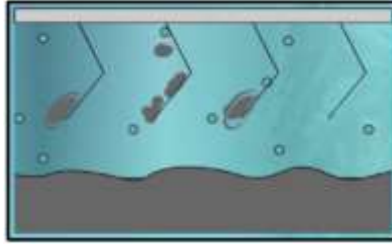


Figura 11. Separación por choque.

(Fuente: Parámetros requeridos en el diseño de separadores para manejar mezclas gas-líquido, página 4).

1.2.7 Consideraciones de Presión en el diseño de separadores

La presión de diseño para un separador, es llamado como “MAXIMUM ALLOWABLE WORKING PRESSURE” (MAWP). Muchas de las veces referida con la presión de trabajo del separador. El MAWP determina los settings de las válvulas de seguridad que debe ser más alta que la presión normal del proceso contenido en el separador. La presión de operación es determinada por las condiciones del proceso. La tabla 2, recomienda un diferencial mínimo entre la presión de operación y el MAWP así que la diferencia entre la presión de operación y la presión fijada en la válvula de alivio (seguridad) provee un suficiente margen de seguridad de operación. Si es que la presión de operación es demasiado cerca de los setting de la válvula de alivio, un pequeño cambio de presión (surge) de operación debería causar que la válvula de alivio se active prematuramente. (Ken Arnold, 1989)

Algunos separadores tienen sensores de seguridad para alta presión (PSH) que dispara si es que una presión más alta que la normal es detectada. La diferencia entre la presión de operación y el set de presión del sensor PSH, es indica en la tabla 2, y la válvula de alivio debería ser fijada al menos 5% o 5 psi, más alto que la presión del sensor PSH, así, lo mínimo recomendado MAWP para la operación del separador en 75 psi con un sensor PSH debería ser 105 psi, $(75+25+5)$, el sensor de presión PSH es fijado a 100 psi, y la válvula de alivio fijada en 105 psi.

El MAWP de un separador no puede exceder el MAWP de las boquillas de las entras y salidas, válvulas y tuberías conectadas a los separadores, los bridas de tubería, conectores y válvulas son construidas en acuerdo con clases de estandarización de rango de las presiones, de acuerdo con American National Intitute (ANSI) especificación B16.5. (Ken Arnold, 1989)

Presión de operación	Mínima diferencia entre operación de trabajo y el MAWP
Menos de 50 psi	10 psi
51 psi a 250 psi	25 psi
251 psi a 500 psi	10% de la presión máxima
501 psi a 1000 psi	50 psi
1001 psi a más alto	5% de la presión máxima
Los separadores con sensores de seguridad para alta presión tienen que sumar 5% o 5 psi, añadido para la diferencia mínima.	

Tabla 2. Valores máximos de presión de trabajos permitidos en los separadores.
(Fuente: Surface Production Operations, página 327).

El mínimo MAWP calculado con la tabla 2 para la presión del separador de 105 psi no es el mismo que el de la clase ANSI. Por ejemplo para 105 psi se tiene que diseñar el separador para 285 psi (ANSI Class 150). Para un ANSI 300 se tiene una presión de 740 psi, para un ANSI 400 una presión de 990 psi y para un ANSI 600 una presión de 1480. (Ken Arnold, 1989).

1.2.8 Sistemas de control

Al diseñar un sistema de control se debe predecir el comportamiento dinámico del sistema por un conocimiento de sus componentes. La Característica más importante del comportamiento dinámico de un sistema de control es la estabilidad absoluta, es decir, si el sistema es estable o inestable. Un sistema que está en equilibrio en ausencia de cualquiera perturbación o entrada, la salida se mantiene en el mismo estado. La respuesta transitoria a un sistema de control práctico frecuentemente presenta oscilaciones amortiguadas antes de alcanzar un estado de equilibrio. Si la salida de un sistema en estado estacionario no coincide exactamente con la entrada, se dice que el sistema tiene un error estacionario, este error indica la exactitud del sistema. Al analizar un sistema de control, se debe examinar el comportamiento de la respuesta transitoria, tal como el tiempo requerido para alcanzar un nuevo estado estacionario y el valor del error en seguir una señal de entrada, así como el comportamiento estacionario. (Ogata, 1985)

La respuesta transitoria de un sistema de control real frecuentemente presenta oscilaciones amortiguadas antes de alcanzar el estado estacionario. Al especificar las características de respuesta transitoria de un sistema de control a una entrada de escalón unitaria es conveniente designar lo siguiente. (Ogata, 1985)

Tiempo de retardo, t_d
Tiempo de subida, t_r
Tiempo pico, t_p
Sobrepaso máximo, M_p
Tiempo de asentamiento, t_s

Estas especificaciones se definen adelante y se muestran gráficamente en la figura 12.

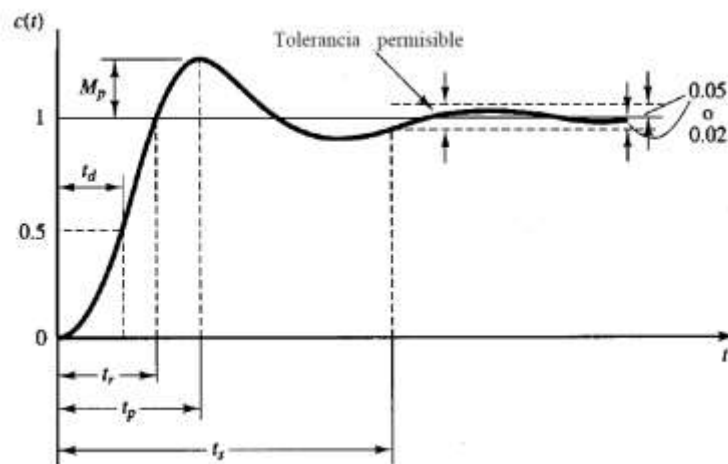


Figura 12. Curva de respuesta al escalón unitario mostrando valores.
(Fuente: Ingeniería de Control Moderna, página 252)

Tiempo de retardo, t_d , es el tiempo que tarda la respuesta en alcanzar por primera vez la mitad del valor final.

Tiempo de crecimiento, t_r , es el tiempo requerido para que la respuesta crezca del 10 al 90 % del 5 al 95 % o del 0 al 100% de su valor final. Para sistemas de segundo orden sub amortiguados normalmente se utiliza el tiempo de crecimiento de 0-100%, Para sistemas sobreamortiguados se acostumbra a usar el tiempo de crecimiento de 10- 90 % . (Ogata, 1985)

Tiempo pico, t_p , es el tiempo requerido por la respuesta para alcanzar el primer pico de sobre del sobreimpulso.

Máximo sobre impulso (%), M_p , es el valor pico máximo de la curva de respuesta medido desde la unidad. Si el valor final estabilizado de la respuesta difiere de la unidad, es común utilizar el máximo sobre impulso porcentual. (Ogata, 1985)

$$\text{Maximo sobre impulso} = \frac{(c(tp) - c(\infty)) * 100\%}{c(\infty)} \text{----- Ec 4}$$

El valor de máximo sobre impulso (porcentual), indica la estabilidad relativa del sistema.

Tiempo de abastecimiento, t_s , es el tiempo requerido por la curva de respuesta para alcanzar y mantenerse dentro de determinado rango alrededor del valor final de dimensión especificada en porcentaje absoluto del valor final (habitualmente 5% o 2%). Se relaciona el tiempo de establecimiento con la constante de tiempo más grande del sistema de control. El criterio para la fijación del porcentaje de error a usarse depende de los objetivos del diseño del sistema en cuestión. (Ogata, 1985)

1.2.8.1 Sintonización de controladores

La sintonización de los controladores Proporcional, integral y derivativo o simplemente controladores PID, consiste en la determinación del ajuste de sus parámetros (K_c , T_i , T_d) para lograr un comportamiento del sistema de control aceptable y robusto de conformidad con algún criterio de desempeño establecido.

Para poder realizar la sintonización de los controladores, primero debe identificarse la dinámica del proceso, y a partir de esta determinar los parámetros del controlador utilizando el método de sintonización seleccionado. (Ruiz, 2002)

1.2.8.2 Reglas de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID

Ziegler y Nichols propusieron unas reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional K_p , del tiempo integral T_i y del tiempo derivativo T_d , con base en las características de respuesta transitoria de una planta específica. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o de la sintonización de los controles PID la realizan los ingenieros en el sitio mediante experimentos sobre la planta. (Se han propuesto numerosas reglas de sintonización para los controladores PID desde la propuesta de Ziegler-Nichols Se les encuentra en la literatura. Sin embargo, aquí sólo presentamos las reglas de sintonización de Ziegler-Nichols.) (Ogata, 1985)

Existen dos métodos denominados reglas de sintonización de Ziegler-Nichols. En ambos se pretende obtener un 25% de sobrepaso máximo en la respuesta escalón Figura 13.

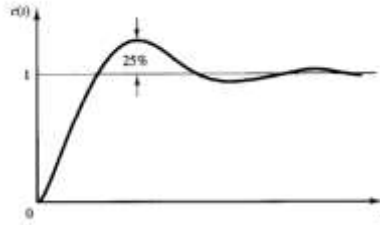


Figura 13. Respuesta escalón unitario, indica un sobrepaso máximo de 25%.
(Fuente: Ingeniería de Control Moderna, página 671)

Primer Método. 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, la curva de respuesta escalón unitario pueden tener forma de S, como se observa en la figura, (si la respuesta no exhibe una curva en forma de S, este método no es pertinente). Tales curvas de respuesta escalón se generan experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta. (Ogata, 1985)

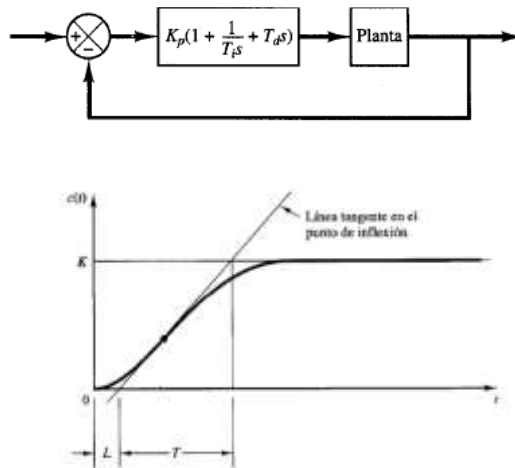


Figura 14. Curva de respuesta con forma de S.
(Fuente: Ingeniería de Control Moderna, página 671)

La curva en 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 interacciones de esta tangente con el eje de tiempo y la línea $c(t)=K$, como se aprecia en la figura. En este caso la

función de transferencia $C(s)/U(s)$ se aproxima mediante un sistema de primer orden con un retardo de transporte de modo siguiente:

$$\left(\frac{C(s)}{U(s)}\right) = \left(\frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1}\right) \text{----- Ec 5}$$

Ziegler Nichols sugirieron establecer los valores de K_p , T_i y T_d de acuerdo a la fórmula que aparece en la tabla.

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	T/L	∞	0
PI	$0,9 (T/L)$	$L/0,3$	0
PID	$1,2 (T/L)$	$2L$	$0,5L$

Tabla 3. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols, respuesta escalón.
(Fuente: Ingeniería de Control Moderna, página 672)

Segundo Método. Primero se establecemos $T_i = \infty$ y $T_d = 0$. Usando solo la acción de control proporcional, incrementamos K_p de 0 a un valor crítico K_{cr} en donde la salida exhiba primero oscilaciones sostenidas. (Si la salida no presenta oscilaciones sostenidas para cualquier valor que pueda tomar K_p , no se aplica este método). Por lo tanto, la ganancia crítica K_{cr} y el periodo P_{cr} correspondientes se determinan experimentalmente figuraxx , Ziegler-Nichols sugiere que se establecieran los valores de los parámetros K_p , T_i y T_d de acuerdo con la fórmula que aparece en la tabla 4. (Ogata, 1985)

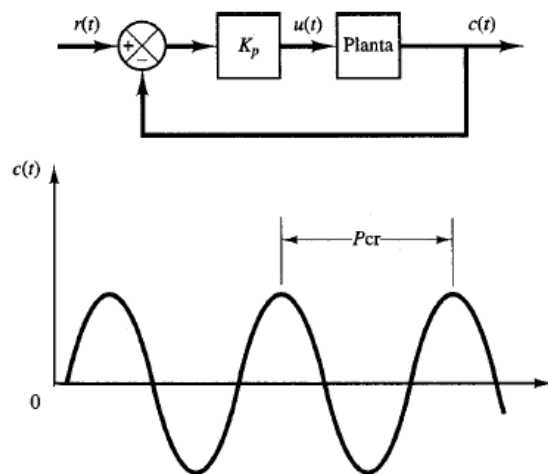


Figura 15. Sistema en lazo cerrado con controlador proporcional.
(TOMADO: Ingeniería de Control Moderna, página 672)

Tipo de controlador	Kp	Ti	Td
P	0,5Kcr	∞	0
PI	0,45Kcr	(1/1.2)Pcr	0
PID	0,6Kcr	0,5Pcr	0,125Pcr

Tabla 4. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols. Kcr & Pcr
(Fuente: Ingeniería de Control Moderna, página 673)

En la práctica suele aparecer el fenómeno de reset-wind-up al arrancar el sistema o en cualquier otra situación en la que surge un error grande durante un tiempo prolongado. Sucede, entonces, que el integrador aumenta su salida para reducir el error aun cuando la señal de control esté saturada. Esto hace que cuando el sistema se acerque al punto de referencia el término integral haya crecido y se sobrepase el valor deseado, ya que la única forma de reducir el valor del término integral es mediante un cambio de signo a su entrada (señal de error). Para evitar este fenómeno existe un algoritmo denominado anti reset wind-up, que consiste en la saturación del término integral del controlador PID para impedir el fenómeno de generación de señales de control amplias, debidas a cambios bruscos y grandes de señal de error. (Ruge, 2011)

CAPITULO 2

MARCO METODOLÓGICO

2.1 Modalidad de la investigación

Para la realización del presente proyecto de investigación, se utilizarán las siguientes modalidades.

2.1.1 De campo

Se realizara la toma de datos de los parámetros de operación en los separadores de producción de petróleo y se determinaran curvas de respuesta de los equipos.

2.1.2 Modalidades especiales-Proyecto Factible

Se realizara el banco de pruebas para la experimentación e investigación del comportamiento de la variable presión en un lazo de control automático.

2.1.3 Experimental

Se realizara la manipulación de la variable presión para determinar los parámetros de operación del lazo de control y las respuestas del sistema.

2.2 Nivel de investigación

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizara el nivel descriptivo y Explicativo.

2.2.1 Investigación descriptiva

Se realizará la investigación descriptiva especificando medir y registrar la variable presión, así como determinar los componentes que están en el lazo de control de Presión en el separador.

2.2.2 Investigación Explicativa

Se realizara la investigación explicativa manipulando la entrada del fluido, insertando perturbaciones en el sistema, determinando y registrando los cambios en la variable dependiente, así, se determinaran los parámetros que debería tener un lazo de control de presión más óptimo para su trabajo.

2.3 Método

Para el presente proyecto se utilizará el **Método Experimental**, mediante la construcción de un banco de pruebas de lazo de control se podrán realizar ensayos donde se puedan variar los parámetros de los controladores, la respuesta de la variable presión será registrada en el tiempo, con ello se podrá determinar cuál es la relación de respuesta entre las constantes del controlador y la variable presión, para cada variación de los parámetros existirá una respuesta del sistema.

Una vez obtenidos los datos de la variación del sistema se utiliza el **Método Deductivo**, para obtener las diferentes relaciones que existen entre la variable presión y las respuestas del sistema, partiendo de valores conocidos en los controladores de campo versus los valores de constantes utilizados en el prototipo. Este tipo de experimentación nos permitirá descubrir las consecuencias desconocidas del sistema cuando en el proceso se tenga una perturbación externa o un daño producido en los equipos de control de los separadores.

2.4 Técnicas

Los datos necesarios para la investigación de la evaluación de la presión son tomados por medio de instrumentos de los cuales detallamos a continuación.

Para la presión de recipiente (vessel) la realizaremos con un transmisor presión estática, los datos serán obtenidos por una salida de 4-20 mA y alimentaran hacia una entrada en el PLC.

Un PLC para realizar la función de un controlador donde se realizara la programación de las funciones para el control automático de un medidor de presión.

Un motor-bomba elemento necesario para inyectar presión al recipiente y un manómetro en el recipiente para medir la presión de manera visual. Como fluido para la experimentación se toma al agua, que es inyectada desde un recipiente.

2.5 Instrumentos

TÉCNICA	INSTRUMENTO	PARÁMETRO A MEDIR
MEDICIÓN	Transmisor de presión LD300 SMAR	Presión
ACTUADOR	Válvula eléctrica proporcional	Posición de la válvula
MEDICION	Transformador de corriente	Corriente

Tabla 5. Instrumentos.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

2.6 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. Un entendimiento de los conceptos y términos utilizados es necesario.

2.6.1 ¿Qué es la Medición?

Es comparar una cantidad con su respectiva unidad, con el fin de averiguar cuantas veces la segunda está contenida en la primera. Entre las variables más medidas en los Procesos tenemos: Presión, Nivel, Temperatura, Flujo, Densidad, variables de análisis químico, etc. (<https://es.wikipedia.org/wiki/Medici%C3%B3n>).

2.6.2 Sensor

Elemento primario que se encarga de captar la magnitud Física o Química directamente del proceso. <https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor> .

2.6.3 Transductor

Un elemento o dispositivo el cual recibe información en una forma de energía y la convierte en una información de la misma forma de energía o en otra forma de energía, ejemplo: Termopar

(convierte temperatura en voltaje), Cristal piezoeléctrico (presión en voltaje), Tubo Bourdón (presión en movimiento), etc.

Cuando se desea realizar una medida, es necesario un transductor que transforme la medida física en una medida eléctrica. Esa medida eléctrica es necesario acondicionarla para que sea una magnitud tratable. En términos generales, figura 16. Acondicionar una señal significa realizar las siguientes etapas: Convertir la señal, modificar el nivel de la señal, linealizar la respuesta, filtrar la señal.

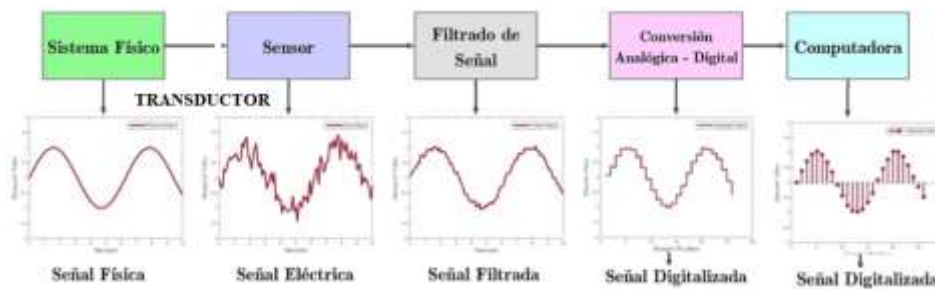


Figura 16. Esquema de un sistema de medida.

(Fuente: Adquisición de Datos. https://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n_de_datos)

2.6.4 Transmisor

El transmisor es compuesto de un transductor el cual responde a una variable medida por un elemento sensor y convierte está a una señal de transmisión estándar, la que es función solo de la variable medida. (Fuente: Luis Masapanta, autor).

Los estándares de transmisión son:

- 4–20 mA.-----Eléctrico Más Utilizado
- 1–5 Volts-----Eléctrico
- 3–15 psig-----Neumático
- 20–100 kPag---Neumático
- 0,2–1 kg/cm2---Neumático Más Utilizado

2.6.5 Lazos de control de un separador

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

Tabla 6. Instrumentos para el lazo de control.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

2.6.6 Transmisor de presión

Un Transmisor de Variable de Proceso es un dispositivo utilizado para convertir la variable Física en una señal electrónica o neumática a ser utilizado para su medición, transmisión o control. Este transmisor se conecta físicamente al proceso y mediante el uso de sensores internos, convierte el valor de la variable física en una señal transmisible, figura 17.

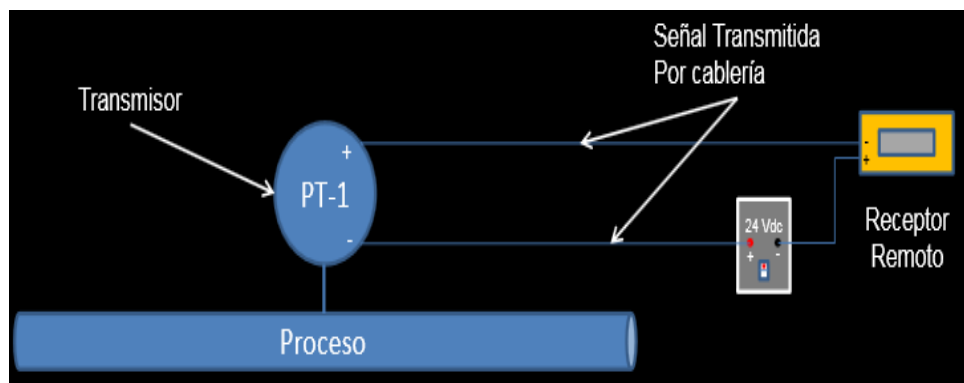


Figura 17. Conexión de un transmisor de presión.
(Fuente: <https://es.slideshare.net/jamesrobles1297/principios-de-medida-transmisores-41020544>, pag 7)

2.6.7 Partes de un transmisor

En la siguiente figura se indica las partes que conforman un transmisor de presión.

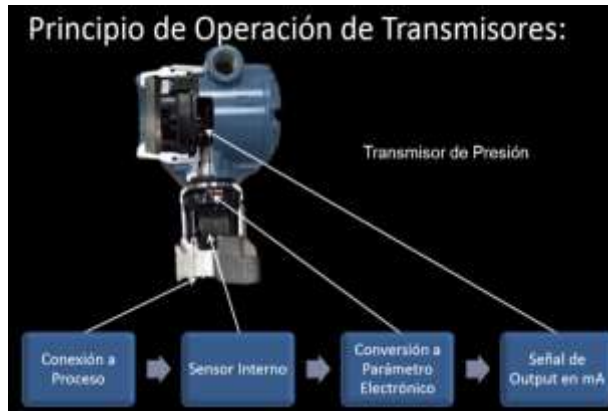


Figura 18. Partes de un transmisor de presión.

(Fuente: <https://es.slideshare.net/jamesroble1297/principios-de-medida-transmisores-41020544>, pag 9)

2.6.8 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)

De los diversos elementos finales de control, el de más amplia difusión es la válvula automática con actuadores neumáticos o eléctricos. (Fuente: Luis Masapanta, autor).

2.6.9 La válvula de control

La válvula de control es básicamente un orificio variable por efecto de un actuador constituye el elemento final de control en más del 90 % de las aplicaciones industriales. En la figura 19, se ve una válvula globo con un actuador neumático de diafragma en donde se indican las diversas piezas que la constituyen.

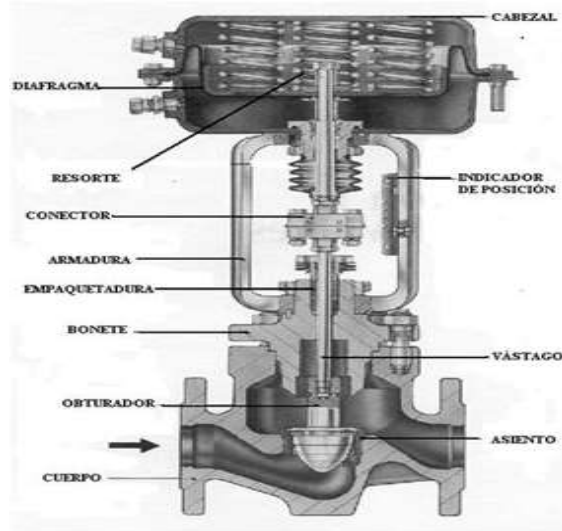


Figura 19. Corte de una válvula de control con sus partes.
 (Fuente: <https://ing-orlandophilco.jimdo.com/instrumentaci%C3%B3n-iii/>)

2.6.10 Especificación de válvulas

Especificar una válvula de control implica determinar las características de:

Cuerpo e internos: indicando el tipo, material y serie que se fija de acuerdo al servicio que debe prestar. También hay que indicar el diámetro que está relacionado con la capacidad y a esto se lo denomina dimensionamiento. Por último, algunos tipos de válvula permiten elegir la Característica de Flujo.

Actuador: una vez conocidos los detalles del cuerpo se debe elegir el tipo de motor (neumático de cabezal o pistón, eléctrico, etc.), la acción ante falla y el tamaño.

Accesorios: corresponde a elementos adicionales como transductores I/P o V/P, volante para accionamiento manual, posicionador, etc.

CV de una Válvula, el Cv de una válvula de control se define como el caudal de agua a 60 F, medido en galones por minuto (gpm), que produce una pérdida de carga de una libra por pulgada cuadrada (psi) al circular por la válvula. (Fuente: <https://ing-orlandophilco.jimdo.com/instrumentaci%C3%B3n-iii/>).

2.6.11 Concepto de los Controladores Lógicos Programables (PLCs)

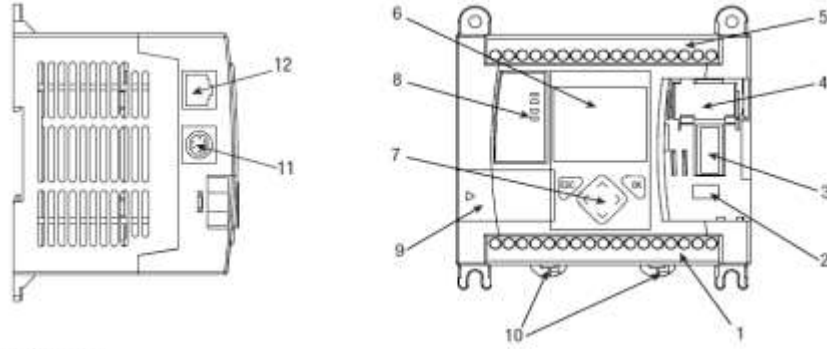
Se entiende por Controlador Lógico Programable (PLC), o Autómata Programable, a toda máquina electrónica, diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales.

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, 2015)

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, Micrologix 1100 Programmable Contollers, 2015)

Las características del controlador se indican en la siguiente figura 20.



Hardware Features

Feature	Description	Feature	Description
1	Output Terminal Block	7	LCD Keypad (ESC, OK, Up, Down, Left, Right)
2	Battery Connector	8	Status LED indicators
3	Bus Connector Interface to Expansion I/O	9	Memory Module Port Cover ⁽¹⁾ -or- Memory Module ⁽²⁾
4	Battery	10	DIN Rail Latches
5	Input Terminal Block	11	RS-232/485 Communication Port (Channel 0, isolated)
6	LCD	12	Ethernet Port (Channel 1)

Figura 20. Partes de un PLC MicroLogix 100.

(Fuente: Automation, Micrologix 1100 Programmable Contollers, 2015, pag 10)

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, Micrologix 1100 Programmable Contollers, 2015)

2.6.12 1762-IF2OF2 Modulo de expansión I/O

El módulo de expansión 1762 puede ser conectado para el controlador PLC MicroLogix 1100. El modulo añade dos entradas y dos salidas para el PLC, 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, (Automation, MicroLogix 1762-IF20F2 Analog Input/Output Module, 2013)

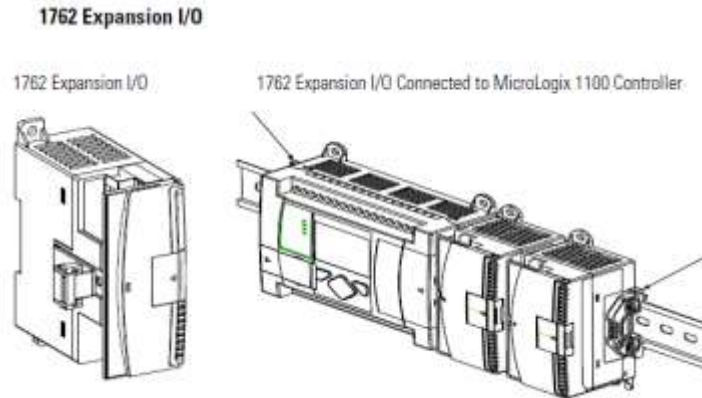


Figura 21. Módulo de 1762 Expansión.

(Fuente: Automation, MicroLogix 1762-IF20F2 Analog Input/Output Module, 2013, pag 9)

Este módulo de entradas y salidas I/O, permite al PLC ingresar los datos de los transmisores de presión y nivel en el sistema.

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 (Automation, MicroLogix 1762-IF20F2 Analog Input/Output Module, 2013)

2.6.13 Software RSlogix

Este programa permite crear y editar un nuevo programa de control en lenguaje de programación de PLC's Ladder del autómeta. Aquí podremos cargar el programa residente en un PLC hacia la computadora, descargar un nuevo programa desde la PC hacia el PLC, o leer los datos que tenemos actualmente en un PLC, conectándose en línea (ON LINE), entre otras funciones principales. Además: (Automation, Manual RSLOGIX 500 ESP, 1996)

- Funciona como un editor de programación con un menú de ayuda para el usuario
- Permite la configuración del modo de comunicación con el PLC.

- Tiene incluido todo el set de instrucciones para las familias SLC500 y MicroLogix 1100 facilitando así la programación.
- Posee un menú de ayuda explicando el funcionamiento de cada instrucción para las dos familias de PLC's.
- Puede descargar del computador hacia el PLC y desde el PLC hacia el computador la programación en escalera.
- Tiene un menú que contiene toda la información de los bits de funcionamiento del PLC, el cual trabajando en conjunto con los otros 2 paquetes de software permite visualizar cual es el estado de las variables en tiempo real cuando se ejecuta el programa de escalera.
- RSLogix 500 es el software destinado a la creación de los programas del autómatas en lenguaje de esquema de contactos o también llamada lógica 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.

2.6.14 Software RSLink

- 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)

2.6.15 Software de Interfaz RSView32 (HMI)

RSView32, es un programa de software 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. (Automation, Rsvew32, 1999).

2.7 Diagrama de bloques de un lazo de control de presión

En la figura 22, se indican los elementos que conforman un lazo de control de presión de un separador.

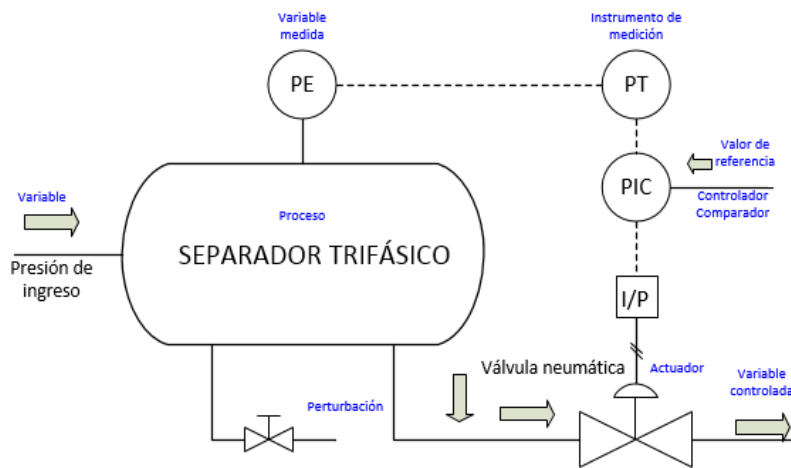


Figura 22. Diagrama de un sistema de control de presión.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

De donde PE es el elemento de de medición, PT el transmisor de presión calibrado a 4-20 mA, esta señal ingresa a un controlador PIC de presión, aquí se compara con el nivel de referencia y se determina el error, esta señal es enviada hacia un convertidor de corriente a presión de 3 a 5 psi, para luego conectar a la válvula de control final para manipular la variable controlada. La

figura 23, se indica el diagrama de bloques del sistema de control de lazo de presión del ejemplo anterior.

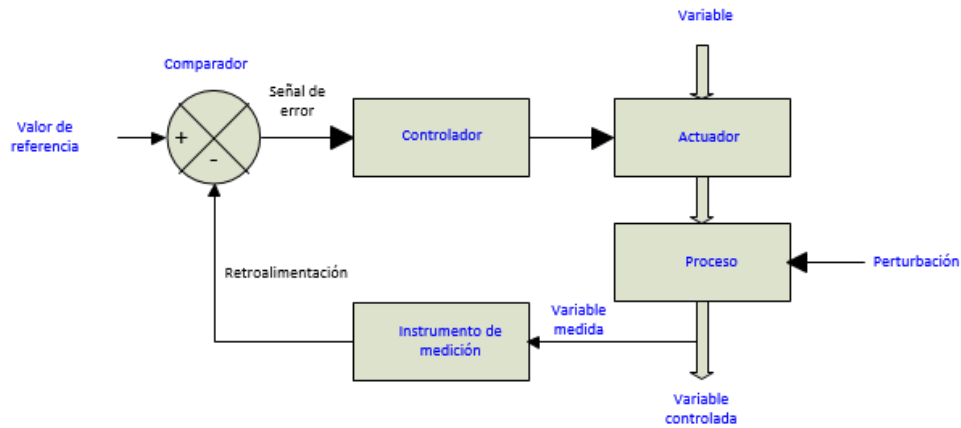


Figura 23. Diagrama de bloques del lazo de control de presión.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

2.8 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, uno de presión, otro de control de nivel del crudo y otro de control nivel de agua. En la gráfica 24, se indican los componentes de la instrumentación en el separador.

Las siguientes tablas indican la operacionalización de variables.

VARIABLE INDEPENDIENTE: Control de Presión					
Concepto	Categoría	Indicadores	Item	Técnicas	Instrumentos
Expresa la energía que se puede controlar, la presión dentro de un recipiente cerrado.	Portadores energéticos, crudo, agua y gas	% agua	%	Medición	Flujo metro
		% petróleo	%	Medición	Flujo metro
		% gas	%	Medición	Flujo metro
	Producción crudo	Presión	PSI	Medición	Transmisor presión

Tabla 7. Variable Independiente

VARIABLE DEPENDIENTE: Mejora en la eficiencia energética en los procesos de separación.					
Concepto	Categoría	Indicadores	Item	Técnicas	Instrumentos
Obtener parámetros de operación eficientes.	Eficiencia	Rendimiento	%	Cálculos	Ecuaciones
	Consumo Eléctrico	Energía	kW	Cálculos	Ecuaciones
	Factibilidad	Costo	\$	Cálculos	Ecuaciones

Tabla 8. Variable dependiente.

2.10 Sistemas de tareas por objetivos específicos:

OBJETIVO	TAREAS
Determinar el circuito hidráulico del banco de prueba a construir semejante al de los separadores de producción.	Diagrama del banco de pruebas de lazo de control de presión
	Búsqueda de materiales para la construcción
Determinación de circuito eléctrico y de control para el banco de prueba.	Diseño de diagrama eléctrico para 10 VCA.
	Diseño de diagrama de control 24 VDC.
Construcción y montaje de prototipo de lazo de control de Presión	Instalación y montaje de un prototipo para experimentación lazo control presión.
Determinar los parámetros de operación de los PID de separadores en operación	Levantamiento de la información de los parámetros de funcionamiento de los PID's punto necesario para ensayo experimental.
Determinar el punto más óptimo de trabajo para el lazo de control de presión en el proceso de separación de petróleo	Experimentación con el lazo de control en busca de puntos óptimos de control.
	Determinación y evaluación de consumo energético para el control de presión en el separador

Tabla 9. Sistemas de tareas por objetivos específicos.

(Fuente: Luis Masapanta, autor)

2.11 Metodología de Controlador

Para la evaluación del desempeño energético del controlador PID, se realizara el diseño inicial de un regulador PID mediante las técnicas de sintonización de Ziegler-Nichols en lazo abierto y lazo cerrado, esto con el propósito de seleccionar la mejor respuesta ante una entrada escalón unitario como señal de prueba del regulador y poder comparar el desempeño energético del controlador con respecto a su operación en las etapas de control del proceso. (Ruge, Optimización de señal de control en reguladores PID con arquitectura antireset Wind-up, 201).

CAPÍTULO 3

CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se describe cada uno de los diagramas utilizados en la construcción del banco de pruebas.

3.1 Diagrama General

La figura 25 y 26, se indica el diagrama utilizado para la construcción del banco de pruebas del lazo de control de presión.

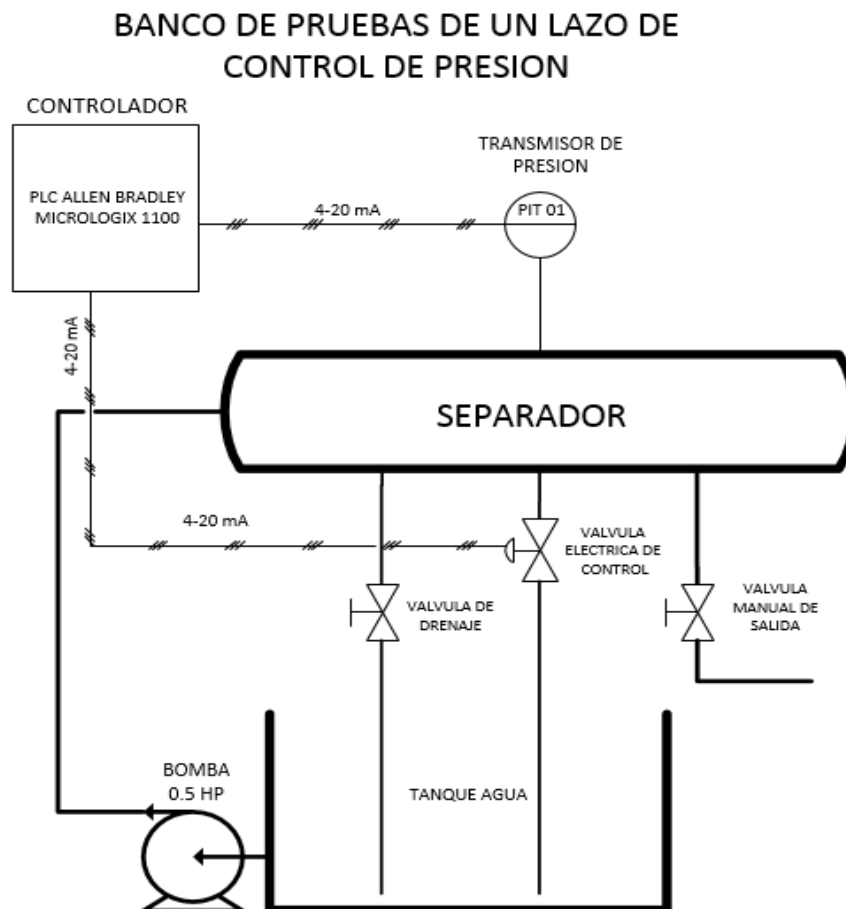


Figura 25. Diagrama del sistema hidráulico del banco de pruebas
(Fuente: Luis Masapanta, autor)



Figura 26. Construcción del banco de pruebas de lazo de control de presión.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

Para la construcción de este banco de pruebas se tomaron en consideración varios aspectos técnicos que asemejen a equipos que se encuentran en operación en las plantas de procesamiento de crudo. Estas consideraciones son las siguientes:

- Se construyó un separador S1 en acero inoxidable tomando en consideración que el fluido de ingreso es agua y que la presión máxima que se maneja es de 50 psi.
- Se realizó la instalación de una bomba motor M1 de 0,5 Hp, que maneja presiones de salida desde 8 a 40 psi, rango de presiones donde se realiza el control del fluido inyectado por la bomba. La bomba es de rodete periférico que tiene una respuesta lineal al cambio de la presión por variación de la descarga. (datos técnicos de la bomba Ver anexo E).
- El motor eléctrico de la bomba tiene un máximo consumo de corriente de 6,5 amperios con un voltaje de 110 VCA.
- Se instala una válvula de control proporcional V3 eléctrica, El actuador tiene una entrada es de 4 a 20 mA y su respuesta es lineal en un ángulo de 90° grados en el eje, se conecta a

una válvula de bola de ½". Esta válvula es de características eléctricas, muy similar en su función a las válvulas de control en los separadores de producción que son neumáticas.

- Se instala un transmisor indicador de presión estática PIT 1 de Marca Smar, Modelo M4, rango de presión 3 a 360 psi, calibrado de 0 a 100 psi para esta aplicación y con una salida de 4 a 20 mA hacia el PLC.
- Se instala una válvula de bola de 1/2" V1 para inyectar una perturbación en el sistema, mediante la simulación de pérdida de presión en el sistema.
- Se conecta un tanque de agua para realizar la recirculación del líquido dentro del sistema de capacidad de m³.
- Se utiliza tuberías de agua de 1", 1/2" para la conexión de cada uno de los componentes, esta tubería resiste presiones de hasta 80 psi.

3.2 Diagrama del sistema eléctrico

La figura 27 indica el diagrama eléctrico utilizado en la construcción del banco de pruebas de lazo de control de presión. La figura 28 indica la caja de control utilizada en la instalación del banco.

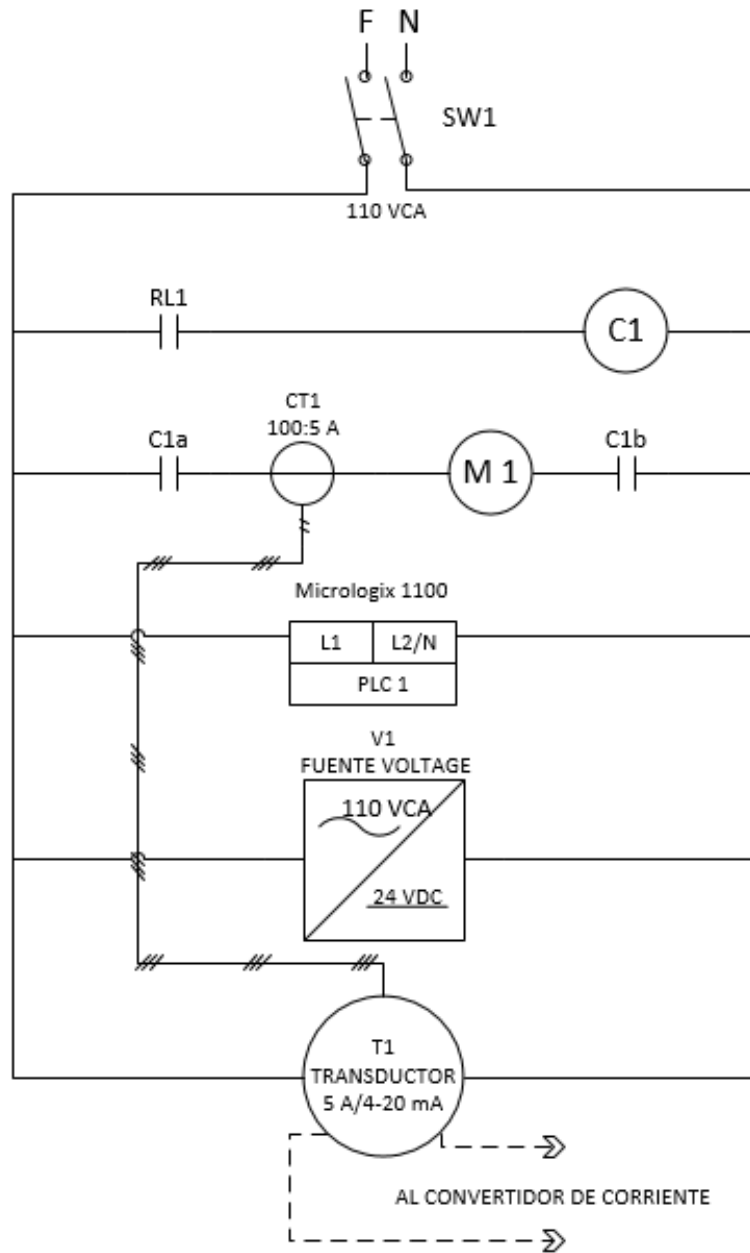


Figura 27. Diagrama eléctrico utilizado en el banco de pruebas.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)



Figura 28. Caja de conexiones eléctricas y de control
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

Para la instalación del sistema eléctrico y de control se utilizó un caja 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.

3.3 Diagrama del sistema de control

La figura 29 se indica el diagrama que se utiliza en la construcción del prototipo de lazo de control de presión. La figura 29 muestra los elementos de control utilizados para la medición y control de la válvula.

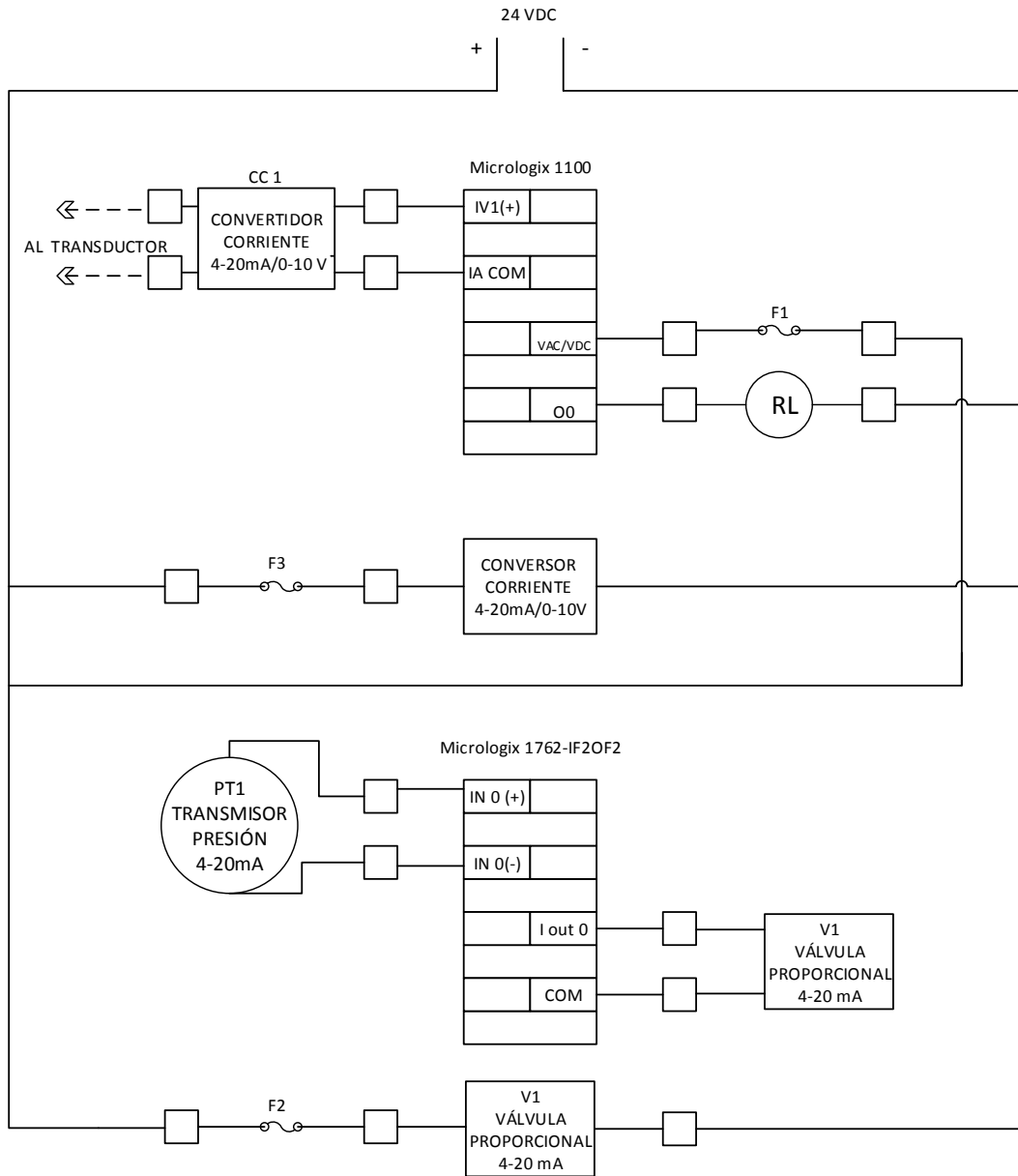


Figura 29. Diagrama de control del banco de pruebas.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)



Figura 30. Transmisor indicador de presión.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)



Figura 31. Válvula eléctrica de control proporcional.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

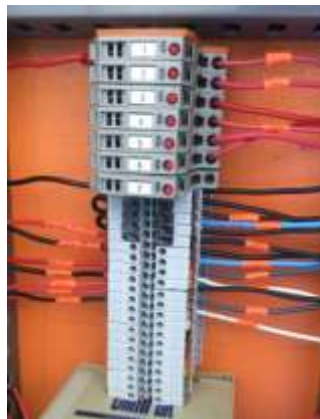


Figura 32. Regletas de conexión circuito de control.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

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

- La alimentación de 24 VDC viene de un fuente de voltaje de V1 de 110 VCA /5 A
- La variable de control se mide a través de un transmisor de presión estática PIT 1, el cual tiene una salida de 4 a 20 mA, este transmisor fue previamente calibrado para recibir una señal máxima de 100 psi. Está determinado por la descarga de la bomba que el rango de presión de trabajo del transmisor es de 10 a 40 psi.
- Se instalan en una de las salidas del separador una válvula eléctrica proporcional V3 que recibe la señal de 4 a 20 mA desde el PLC para mover la válvula de ½' y poder realizar el control de la variable controlada.
- Se instala borneras con fusibles incorporados de 0,25 A para salidas de alimentación hacia los circuitos de la válvula de control, salida hacia el relé de arranque de la bomba y para el convertidor de corriente a voltaje.
- Se instala el PLC Micrologix 1100, PLC1 del cual se utiliza una salida, una entrada analógica de 4 a 20 mA y una entrada analógica de 0 a 10 VDC 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 de la válvula proporcional.
- Se instala el convertidor de corriente CC 1 para transformar la señal de 4 a 20 mA a una señal de 0 a 10 VDC para que se conectada al PLC 1 para lectura de la corriente de la bomba.

3.4 Elementos utilizados en el banco de pruebas

En la tabla 10, se indica los elementos utilizados en el diseño del prototipo de lazo de control del separador.

Ítem	Código	Equipo	Fabricante	Características
1	S1	Separador	Induacero	En acero inoxidable área (1.2 ft3)
2	V1	Válvula 1		Válvula de drenaje 1/2 acero
3	V2	válvula 2		Válvula de salida de 3/4 acero
4	V3	Válvula 3	TCrystal	Válvula de control eléctrica
5	PIT 1	Transmisor	Smar	Transmisor indicador de presión
6	M1	Bomba-motor	Pedrollo	Motor eléctrico 0.5 HP
7	PLC 1	PLC	AB	Micrologix 1100
8	I/O 1	I/O Tarjeta	AB	Micrologix 1762-IF20F2
9	V 1	Fuente	Sola	110VCA/24 VDC
10	C 1	Contactador	LS	15 amp/ 110 VCA
11	RL	Relé 24 VDC C1	AB	Rele 24 VDC/contactos 5 amp/110
12	CT 1	Trans Corriente	Camsco	100/5 A radio
13	T 1	Transductor	Crompton	5 A/ 4-20 mA
14	CC1	Convertidor	Ultra SI	4-20 mA/0-10 VCD
15	TB	Caja de conexión	Beaucoup	40x60X20 (cm) , IP56
16	TQ	Tanques	PICA	65x40x40 (cm)
17	T2	Tubería PVC	PVC	1/2"
18	TX	Tablero	Taller Metalmechanico	170x120x60
19	T4	Tubería PVC	PVC	3/4"
20	B 1	Breaker	LS	Breaker set 16 Amperios

Tabla 10. Dispositivos utilizados en la construcción del banco de pruebas.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

3.5 Escalera (Ladder) de programación

Para realizar la medición de presión en el banco de pruebas se realiza por medio de un transmisor indicador de presión estática de Marca Smar Modelo M4 (PIT 1), calibrado de la siguiente manera.

Rango de operación y calibración de 0 a 100 psi, rango de trabajo para la bomba de 10 a 40 psi, salida analógica de 4 a 20 mA. El rango de operación de 10 a 40 psi es tomado del valor de trabajo la curva de la bomba del fabricante, el cual indica su operación. Anexo

Al iniciar la programación, con el software RSlogix el PLC, se realiza la configuración del Hardware, dentro del menú del I/O configuration se escoge el tipo de PLC utilizado para el prototipo, en el Slot 0 se ubica el Micrologix 1100 Series A, en el Slot 1 de ubica la tarjeta I/O (1762-IF20F2), la cual contiene dos entradas analógicas que pueden ser fijadas de 0 a 10 VDC ó de 4 a 20 mA, dos salidas que pueden ser fijadas de 0 a 10 VDC ó de 4 a 20 mA.

programación el dato de ingreso (I:1.1) es acondicionado para no tener valores negativos de la variable, realizando una comparación con el valor cero (LEQ) y ubicando límites a la variable de ingreso (LIM), de esta manera aseguramos de no tener datos negativos.

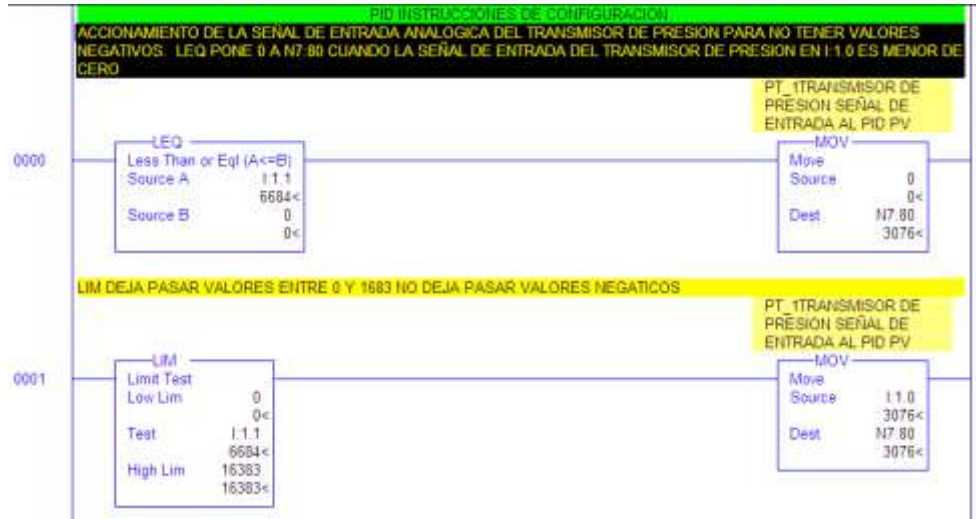


Figura 35. Configuración de la variable de entrada.
 (Fuente: Luis Masapanta, autor)

A continuación, la variable de ingreso es escalada para valores de calibración de proceso (SCP, Input Min 3132, Input Max 15200) y luego se escala a valores de ingreso al controlador de PID (Scaled Min 0, Scaled Max 16383). Se realiza un nuevo escalonamiento (SCP) para valores de 0 a 1000 que nos servirá para la indicación en el software del HMI.



Figura 36. Escalonamiento de la señal de entrada.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

En la figura 37 se indica el escalonamiento de los valores de entrada desde el HMI de los factores Kc, Ti, Td y del SP (Set point), estos datos son enviados hacia el PID del PLC.

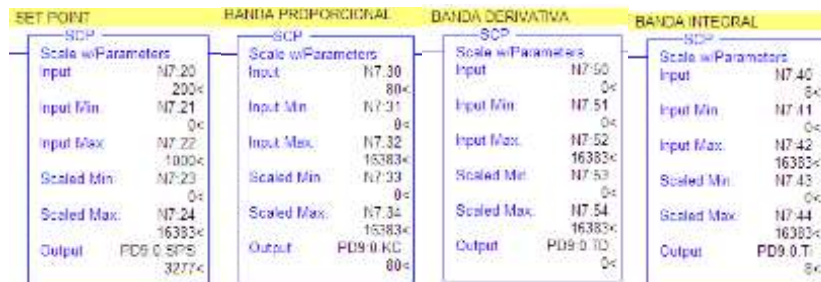


Figura 37. Escalonamiento para SP, Kc, Ti, Td.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

En la figura 38 se indica la programación para el cambio del controlador en el PLC de automático a manual, se fija un bit en la programación, B3:0 cuando está fijado a 0 está en automático y cuando fija a 1 es manual, Cuando se fija en manual, desde el HMI se fija en el valor deseado, estos se realizan mediante la instrucción MOV en programación ladder,



Figura 38. Cambio de automático a manual del controlador.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

En la figura 39 se indica el escalonamiento para el valor de de 4 a 20 mA para la válvula salida.



Figura 39. Escalonamiento para la salida hacia la válvula de control.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

La figura 40 se indica la instrucción PID, así como el SETUP del PID. La variable del proceso es ingresada al dato de registro N7:0, la variable de control está en el registro N7:1.

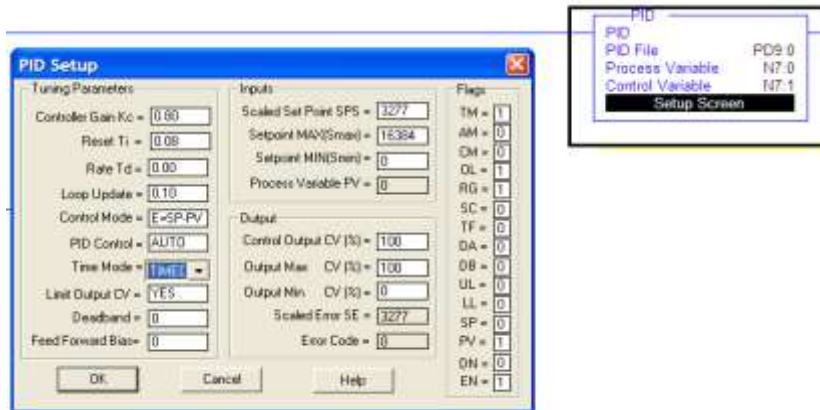


Figura 40. Instrucción PID y setup del PID.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

En el SETUP se visualizan los factores del PID como Kc, Ti, Td, SP, el modo de control del controlador (Control Mode), el control (PID control) y el valor de salida del controlador hacia la válvula. Todos estos valores están contenidos en los registros de programación PD9, indicada en la siguiente figura 41.

Offset	TM	AM	DM	OL	RG	SC	TF	DA	OB	UL	LL	SP	PV	OH	EN	SPS	KC	TI	TD	SMAX	SMIN	IOC	CVB	CVL	LUT	SEV	CEV	(Symbol)	D
PD9:0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3277	0.0	0.08	0.0	16384	0	0	100	0	10	0	100		
PD9:1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	4553	0.0	0.08	0.0	16384	0	0	100	0	10	4553	0		
PD9:2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PD9:3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PD9:4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PD9:5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PD9:6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PD9:7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PD9:8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PD9:9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Figura 41. Registro de programación de la instrucción PID.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

3.6 HMI

En HMI del banco de pruebas se realiza en el software RSview de Allen Bradley, en el mismo se diseña la interface que tendrá el operador o estudiante con el controlador del banco de prueba, la figura 42, se indica la pantalla principal para el ingreso al HMI.

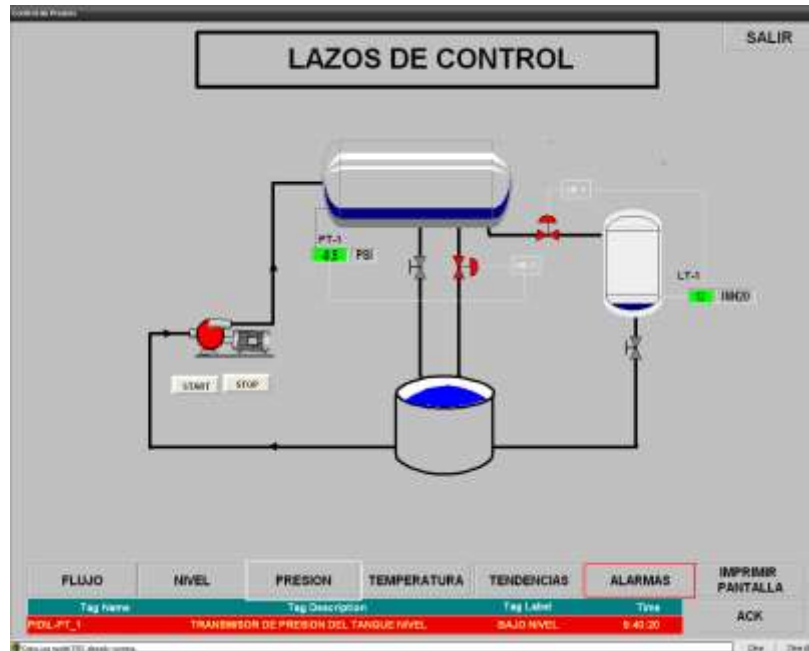


Figura 42. Pantalla principal de ingreso al HMI.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

En esta pantalla, el usuario podrá escoger entre los cuatro tipos de lazo de control, presión, flujo, temperatura y nivel. Además se implementó un botón para el cierre del programa y accesos adicionales para el ingreso a una visualización de todas las pantallas a la vez, también se tienen pantallas adicionales para el caso de alarmas y registros de eventos que acurren cuando el controlador está en operación.

3.7 HMI para lazo de control de la presión

La siguiente figura se indica la pantalla para el lazo de control de presión.

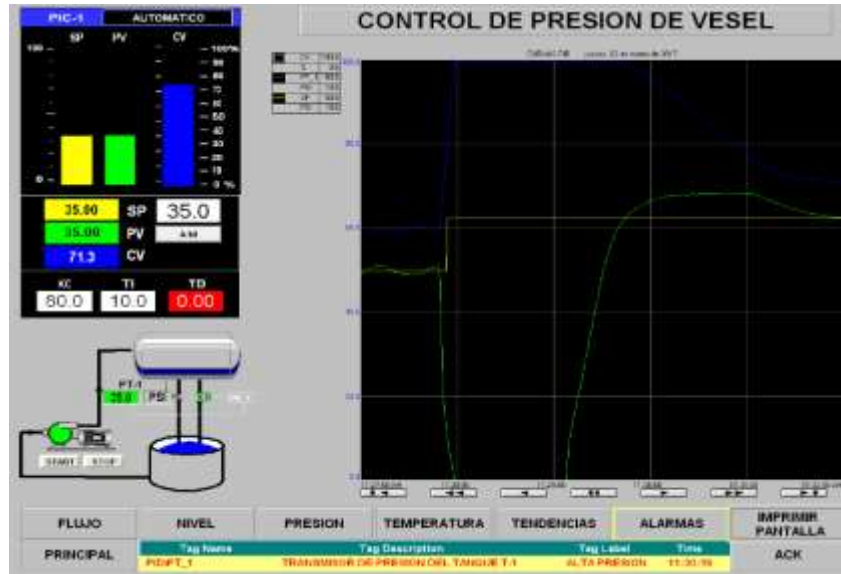


Figura 43. HMI para el lazo de control de presión.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

La pantalla del HMI para el control del lazo de presión está dividida en cuatro partes, la primera parte maneja las constantes del PID, los valores ganancia proporcional KC (%), constante integral TI (seg) y constante derivada TD (seg), se puede ingresar los datos de Set Ppoint SP, escoger el modo de control de MANUAL / AUTOMATICO y se inserta tres indicadores en barra para el SP, la variable de control CV y la variable del proceso PV.

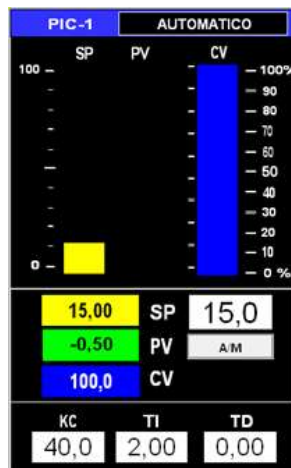


Figura 44. HMI controlador.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

El segundo bloque maneja el gráfico donde se indica el proceso que está controlando el HMI, con indicaciones de la presión de la variable del proceso e indicación de la operación de la bomba, además se instala el encendido de la bomba con botones START/STOT.

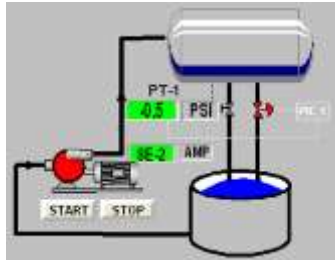


Figura 45. Arranque y parada de la bomba.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

El tercer bloque despliega los datos en tiempo real a través de un TREN de visualización, se indica las cuatro señales que son la del Set point SP, la Variable del proceso PV, la variable de control CV y el consumo de corriente en la bomba. En el lado izquierdo del TREN se indica la escala de cada una de las variables, el operador puede dar un click en el menú izquierdo superior del tren y cambiar de manera automática el valor de la escala. En el eje de las x se tiene el tiempo de despliegue de la información, en este caso se tomó una pantalla que dure 5 min de información, aquí se puede visualizar los datos anteriores, con solo hacer un click en los botones del menú, parte inferior del TREN.

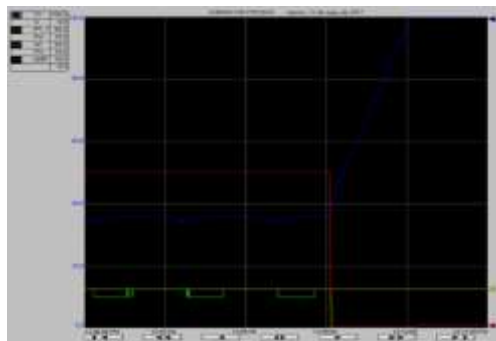


Figura 46. Tren para la visualización de la variable.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

En el cuarto bloque se ubican botones para el cambio de pantalla de operación, se puede cambiar a las pantallas de Lazo de control de nivel, temperatura, flujo, a la pantalla principal, tendencias

(cuatro pantallas a la vez), visualizar las alarmas, ACK reconocer alarmas, e imprimir pantallas. Además, se tiene un sub menú donde se despliega las alarmas que se producen en el proceso y que avisan al operador de algún evento en el proceso, las cuales pueden ser reconocidas mediante el botón ACK.

FLUJO	NIVEL	PRESION	TEMPERATURA	TENDENCIAS	ALARMAS	IMPRIMIR PANTALLA
PRINCIPAL	Tag Name	Tag Description	Tag Label	Time	ACK	
	PIDPT_1	TRANSMISOR DE PRESION DEL TANQUE T-1	BAJA PRESION	12-10-12		

Figura 47. Cambio de pantallas en los procesos.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

3.8 Pruebas de sintonización

3.8.1 Lazo abierto método de Ziegler-Nichols

Procedimiento

- Estudiar métodos sistemáticos para el ajuste de reguladores PID en base a la respuesta temporal del sistema en lazo abierto.
- Obtención de la curva de respuesta del sistema ante un cambio brusco en la entrada y determinación del tiempo muerto y la constante de tiempo efectiva.
- Elección del método de sintonización que resulte en una respuesta con razón de amortiguamiento de $\frac{1}{4}$. Selección del método de Ziegler-Nichols en función del índice de regulación del sistema.
- Sintonización de los parámetros del regulador PID aplicando las fórmulas empíricas del método elegido.
- Ajuste fino de los parámetros para obtener la respuesta deseada.

Ajustes iniciales

- Encienda el proceso, en modo automático.
- Fije un set point de 20
- Ajuste los factores del controlador PID a $KC=15$, $TI= 3$
- Permita que el controlador estabilice el sistema.

Pasos a seguir para determinar la curva de reacción de un proceso.

- Dejar que el sistema alcance un régimen estacionario.
- Transferir el controlador a modo manual y colocar el elemento final en la posición que estaba operando en modo automático (el HMI toma el valor de manera automática).
- Dejar que el sistema alcance el régimen estacionario.
- Registre el valor de CV1 del HMI = 42,7
- Introducir en la entrada del elemento final de control (CV) para un cambio de 10 en forma de escalón de posición $CV2= CV1+10 = 52,7 \approx 53$
- Registre la curva, (print screen de la pantalla).

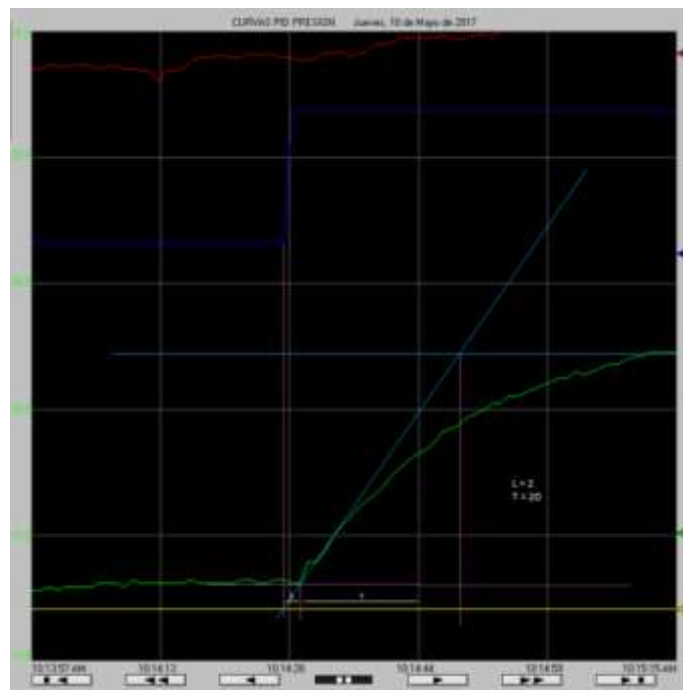


Figura 48. Curva S del proceso.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

- Mida y registre los valores pedidos en el gráfico.

$$L= 2 \quad ; \quad T= 18$$

(Fuente: Luis Masapanta, autor)

- Realice los cálculos de los valores KC y TI en la tabla siguiente.
-

Tipo de	Kp	Ti
PI	0,9 (T/L)	L/0,3
PI calculado	8,1	6,1

Tabla 11. Valores calculados.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

- Con los nuevos valores calculados, inserte en el controlador.
- Apague el controlador y espere a que el sistema esté en reposo.
- Encienda el controlador.
- Registre la curva de respuesta.

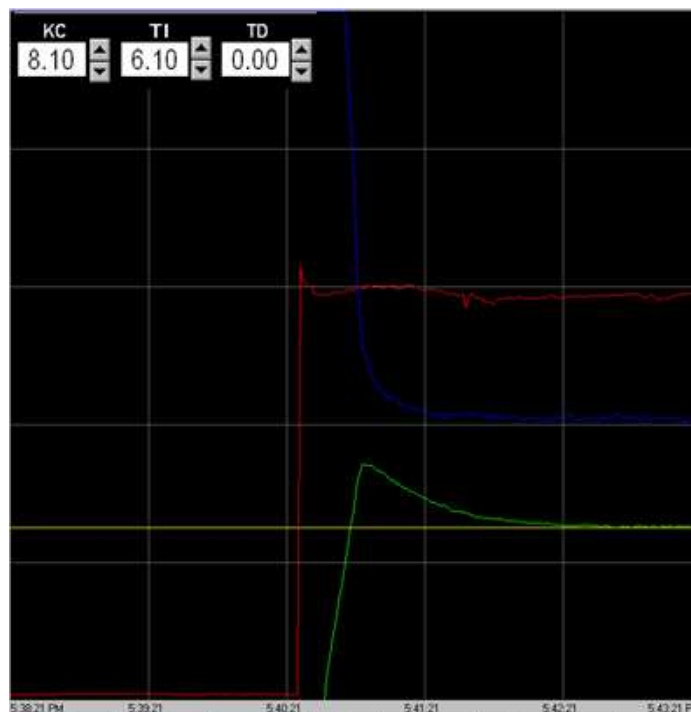


Figura 49. Respuesta del sistema a nuevos valores.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

Curva de respuesta del sistema con valores determinados en un lazo de control abierto, la variable del proceso se estabiliza con un máximo sobre impulso menor al 25% de su valor en amplitud total.

- Ajuste un nuevo Set Point a 30 y registre la curva de respuesta

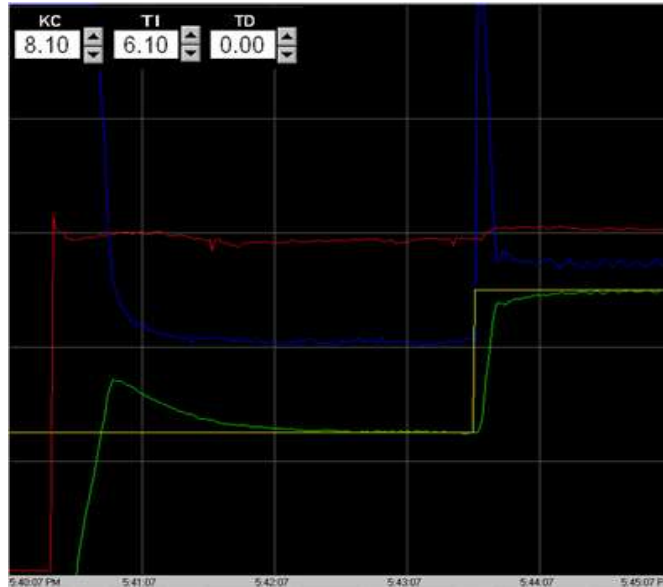


Figura 50. Respuesta del sistema a un SP 30.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

Para cambio un 10 psi en el sistema, la variable del proceso es controlada con los parámetros puestos en las constantes del PI.

- Ajuste el Set Point a 40 y registre la curva de respuesta.

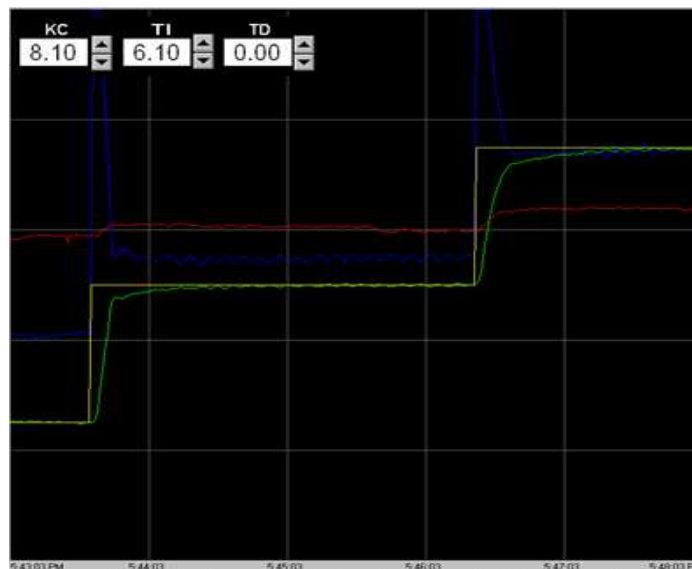


Figura 51. Respuesta del sistema a un SP 40.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

Para cambio un 20 psi en el sistema, la variable del proceso es controlada con los parámetros puestos en las constantes del PI.

- Registre los valores de corriente utilizados en los procesos.

Medición de la corriente de la bomba				
Pruebas	1	2	3	4
Set Point	11	20	30	40
I corriente en la bomba	5,4	5,7	6,1	6,4

Tabla 12. Valores de corriente.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

- Apague el sistema.

3.8.2 Lazo Cerrado método de Ziegler-Nichols

Procedimiento.

- Estudiar métodos sistemáticos para el ajuste de reguladores PID en base a la oscilación del sistema, método de lazo cerrado.
- Obtención de la curva de respuesta del sistema ante un cambio de la constante KC del sistema.
- Elección del método de sintonización de lazo cerrado de Nichols.
- Sintonización de los parámetros del regulador PID aplicando las fórmulas empíricas del método elegido.
- Ajuste fino de los parámetros para obtener la respuesta deseada.

Ajustes iniciales

- Encienda el proceso, en modo automático.
- Fije un Set Point de 20
- Ajuste los factores del controlador PID a $KC=10$, $TI=0,8$
- Permita que el controlador estabilice el sistema.

Pasos a seguir para determinar la curva de reacción de un proceso.

- Dejar que el sistema alcance un régimen estacionario.
- Fije el factor del PID $K_c = 0$, $T_I = 999$
- Permita que el sistema se estabilice.
- Empiece a incrementar el valor de K_c (constante proporcional en pasos de 0,1)
- En cada incremento permita estabilizar el sistema
- A medida que incrementa el K_C , la señal (azul) de variable controlada CV empezara primero a oscilar.
- Siga incrementando el valor de K_c
- La señal de la variable de proceso PV (verde) empezara a variar y la señal de la CV oscilara de manera más amplia.

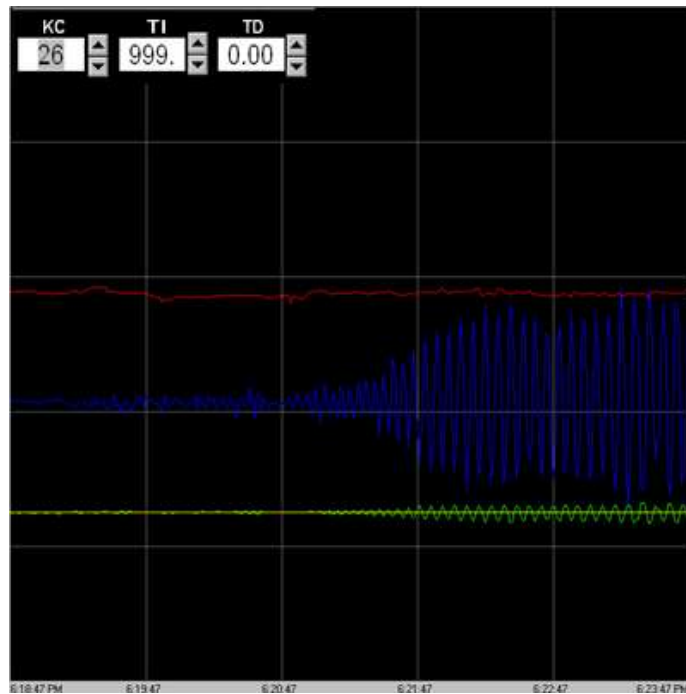


Figura 52. Oscilación del sistema.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

En la figura se indica los valores del PI para el cual la variable del proceso entra en una oscilación del sistema.

- En capture la pantalla. Amplié la pantalla y mida el valor indicado del gráfico, registre el valor de

$$K_{cr} = 26 \quad . \quad P_{cr} = 6 \quad .$$

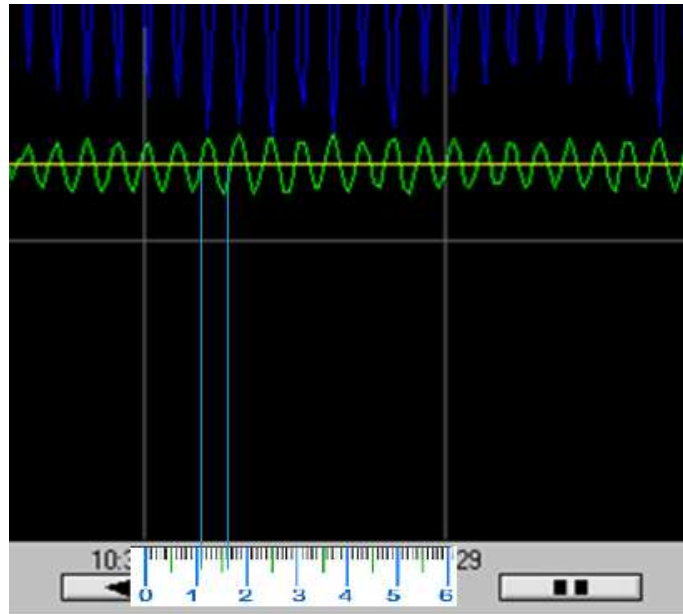


Figura 53. Medición de P_{cr} .
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

- Con los valores determinados en el punto anterior calcule los valores de K_C y P_I para el controlador a lazo cerrado.

Tipo de controlador	K_p	T_i
PI	$0,45K_{cr}$	$(1/1,2)P_{cr}$
PI calculado	11,7	5

Tabla 13. Valores calculados del PID.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

- Con los nuevos valores calculados, inserte en el controlador.
- Apague el controlador y espere a que el sistema esté en reposo.
- Encienda el controlador.
- Registre la curva de respuesta.

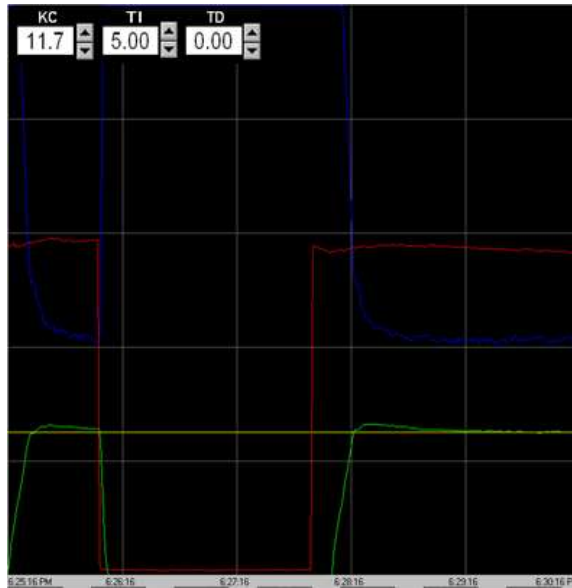


Figura 54. Respuesta del sistema a un SP 20.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

La variable del sistema es controlada con un sobre impulso menor al 25 % de su amplitud total.

- Ajuste un nuevo Set Point a 30 y registre la curva de respuesta

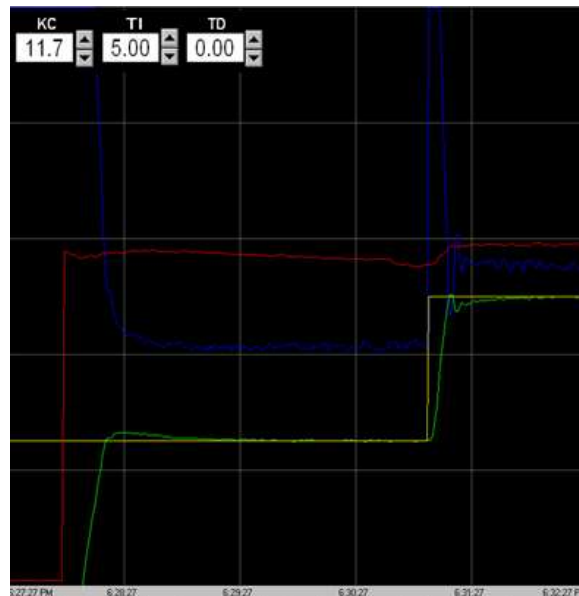


Figura 55. Respuesta del sistema a un SP 30.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

La variable del proceso es controlada y no presenta un sobre impulso en el sistema.

- Ajuste el Set Point a 15 y registre la curva de respuesta.

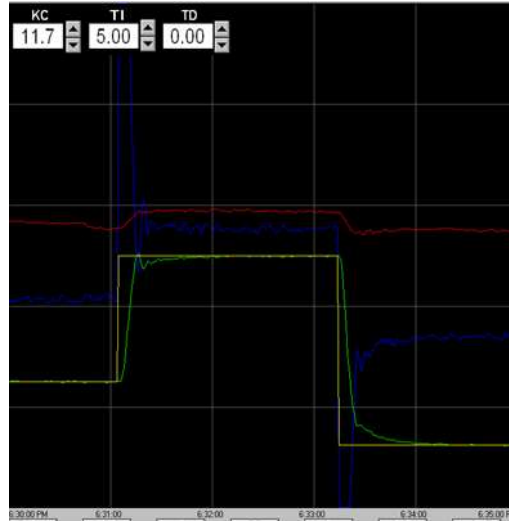


Figura 56. Respuesta del sistema a un SP 15.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

Para un Set point de -15 psi, la variable del proceso presenta un control sobreamortiguado.

- Registre los valores de corriente utilizados en los procesos.

Medición de la corriente en la bomba				
Pruebas	P 1	P2	P3	P4
Set Point	11	20	15	30
I corriente	5,1	5,6	5,1	5,7

Tabla 14. Valores calculados del PID.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

- Apague el sistema.

3.9 Análisis de resultados.

- El banco de pruebas construido para el control de la presión de un separador permite realizar el control de la presión a valores máximos y mínimos permitidos por la bomba que impulsa la presión del sistema. Para nuestro caso nuestro diseño fue realizado para una presión de 10 a 40 psi.

- El PLC Allan Bradley, serie Micro Logix 1100 permite realizar y diseñar programas de control de procesos, esta serie de controlador permite realizar conexiones de tarjetas de expansión para diferentes usos, como en este caso, de entradas y salidas análogas que conectan dispositivos de campo, con señales de 4 a 20 mA ó de 0 a 10 VDC.
- En el punto 3.8.1 se desarrolla el método para la sintonización del PID por Ziegler y Nichols, en el cual se utiliza el criterio del decaimiento del 25 % para un cambio escalón en la carga, esto es, que la amplitud del error máximo decayera a su cuarta parte en cada periodo de oscilación. La figura 56, indica la respuesta del sistema con un set point del 20 % y con los valores de PID calculados.

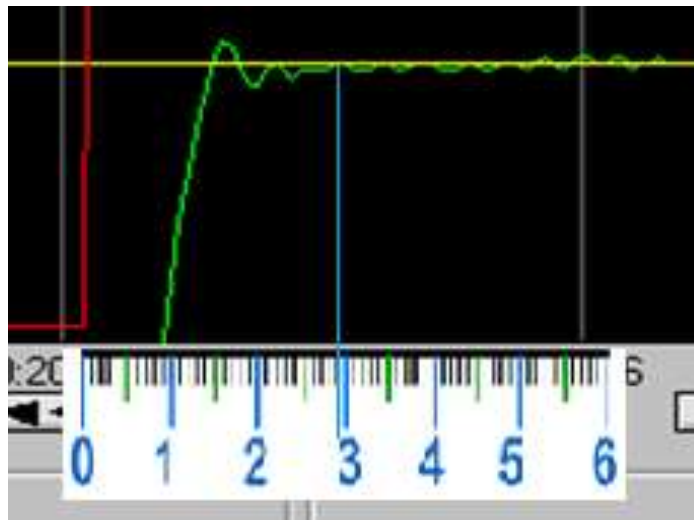


Figura 57. Respuesta del sistema para lazo abierto.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

- Se puede observar que la variable del proceso tiene un Máximo sobre impulso menor al 25% y que la señal decae en el tiempo a su punto de control, el valor de tiempo de establecimiento $t_s = 29$ s. Por ello los valores obtenidos en el cálculo matemático de los factores del PID cumplen con el enunciado para el cálculo por el método de lazo abierto.
- En el punto 3.8.2 se desarrolla el método para la sintonización del PID por Ziegler & Nichols, el cual requiere conocer los parámetros críticos de K_{cr} y el periodo de oscilación P_{cr} , obtenidos según el procedimiento indicado, llevando el sistema al límite de la estabilidad, utilizando un controlador puramente proporcional. La figura 58, indica la

respuesta del sistema con un set point en 20 y con los valores en el controlador calculados con los datos de la inestabilidad del sistema.

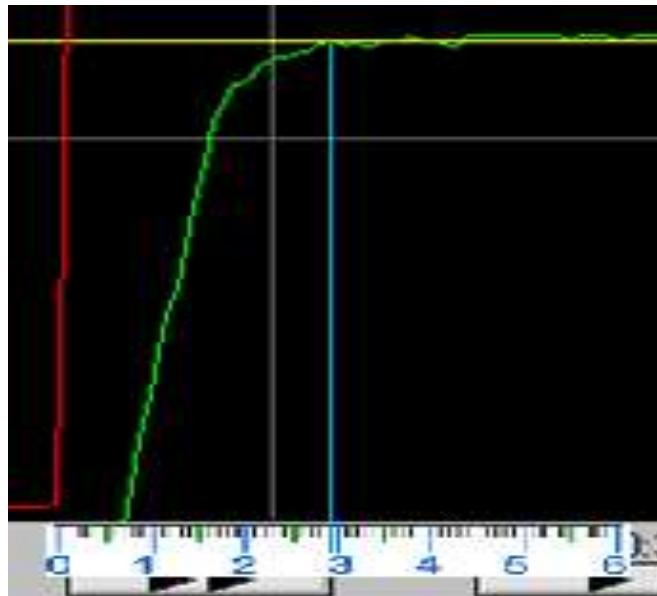


Figura 58. Respuesta del sistema a lazo cerrado.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

- En el gráfico anterior, se puede ver que para este sistema las constantes encontradas permiten tener una mejor estabilidad del sistema, desde el encendido del equipo el tiempo de establecimiento $t_s = 29$ s pero el sistema no muestra un sobre impulso en la variable de salida $M_p = 0$
- Análisis de la corriente de consumo del sistema. En las tablas 12 y 14 la corriente crece a medida que la presión aumenta por cada 10 psi en el sistema, el aumento de corriente es 0,4 amperios. Si calculamos la potencia $= 110 \times 0,4 = 44$ Watts. Si el sistema contempla una bomba cuya potencia de salida 650 Watts (dato de placa), en este sistema para subir 10 psi en el separador se necesita de un 6,7 % de la potencia total de la fuente, una vez que el sistema este encendido.
- Como se puede observar en la figura 59, el sistema se encuentra en oscilación, la corriente tiene una respuesta oscilante de acuerdo a la frecuencia de oscilación del sistema, se produce un consumo de corriente con valores mínimos y máximos.

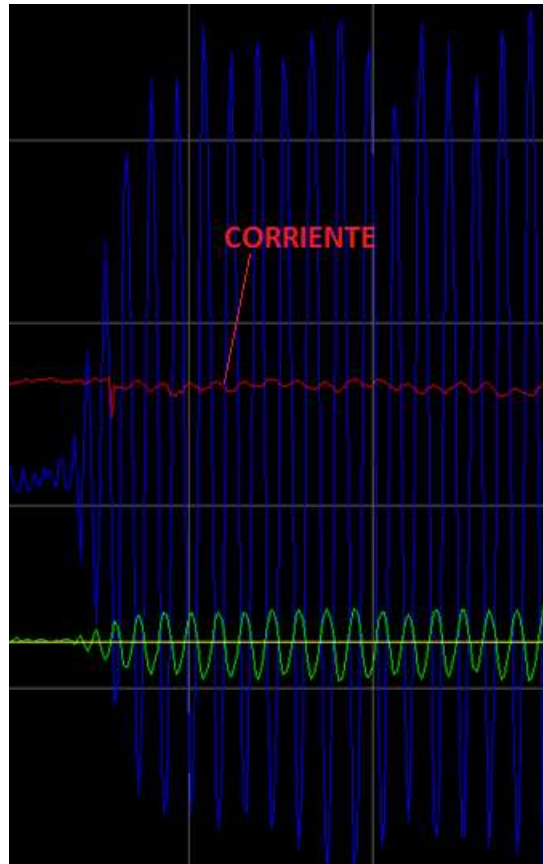


Figura 59. La corriente en un circuito oscilante de lazo cerrado.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

3.10 PROPUESTA.

Luego de ejecutar la construcción del banco de pruebas para un lazo de control de presión y de realizar las pruebas y ensayos para la búsqueda de los factores del PID para el lazo de control de presión, surge la necesidad de elaborar la propuesta para el uso que se podría dar a este recurso para que sea utilizado.

3.10.1 Título de la propuesta.

Estación de Trabajo para la optimización de lazo de control de presión.

3.10.2 Justificación

El presente trabajo tiene por finalidad solucionar la búsqueda de los factores para la sintonización de lazos de control de presión en los separadores de producción. Esto permitirá poder realizar en menor tiempo posible el mantenimiento preventivo y correctivo de los componentes que conforman el lazo de control de presión.

Para que los equipos de producción de crudo trabajen de manera eficiente es necesario determinar las curvas de respuesta de cada variable del proceso, con ello se podrá determinar cual es la variable del proceso que requiere un ajuste o sintonización de sus parámetros.

Una vez determinado el requerimiento de modificación de los parámetros de operación o la reparación de algún equipo del sistema de lazo de control es necesario que el personal Técnico o los Operadores posean los conocimientos prácticos y teóricos sobre la sintonización de lazos de control. Durante la manipulación de los parámetros de operación es posible que el sistema oscile, la variable del proceso toma valores peligrosos en los separadores, provocando que las seguridades del separador tomen control de la operación y cierren el trabajo del recipiente evitando los peligros para los equipos y personal que trabaja en todo el sistema, esta operación trae consigo pérdidas de producción. Un separador que trabaje con la variable de proceso en oscilación consume una mayor cantidad de energía para su proceso, causando un mayor consumo de energía de los generadores eléctricos en cada uno de los pozos.

La construcción de un banco de pruebas para un lazo de control de presión a nivel de laboratorio permitirá realizar diferentes tipos de ensayos con la variable presión, esto ayudara al personal técnico y de operaciones en la adquisición de destrezas y conocimientos en la modificación de los parámetros de los controladores PID.

A nivel Universitario los estudiantes podrán observar y manipular los componentes que conforman el lazo de control de presión en el banco de pruebas, determinar curvas de respuesta del sistema, variar parámetros del PID para obtener diferentes tipos de respuesta del sistema, ejecutar procedimientos de sintonización con diferentes métodos en la búsqueda de afinar la respuesta del sistema de acuerdo a los requerimientos presentados en cada proceso.

3.10.3 Objetivos.

El Objetivo general que persigue la siguiente propuesta es obtener los factores del PID para un lazo de control de presión, mediante el desarrollo de un método para la sintonización del proceso en un banco de pruebas a nivel de laboratorio.

3.10.4 Desarrollo de la propuesta.

De acuerdo a la información recolectada de la presión de trabajo de los separadores en el campo, el líquido que predomina en los separadores de producción y en la totalidad del proceso es el agua de formación, la densidad del agua de formación difiere en decimas con el agua pura, por lo que se decide utilizar el agua como fluido para para el banco de pruebas a construir.

Las presiones de trabajo en los separadores de campo están dentro de los rangos de 20 a 50 psi, por lo cual para la medición de la variable del proceso requiere de un transmisor de presión estática que este dentro de los rangos antes mencionados, el rango de fabricación del transmisor industrial más cercano a estos valores, es de 0 a 360 psi, para realizar un mejor alcance de la medición se ejecuta una calibración del transmisor para valores cercanos a la presión de trabajo, esto es de 0 a 100 psi y a una salida de corriente de 4 a 20 mA.

Determinada la presión de trabajo de nuestro sistema, se requiere una bomba que pueda proveer este tipo de presión, realizada la conversión de la presión a valores de columna de agua para dimensionamiento de la bomba se tiene que (50 psi x 0,704 mca) (mca, metros de columna de agua)), 50 psi corresponden a 35,2 mts de columna de agua. Cabe indicar que aquí no se están considerando las pérdidas que se tendrían en las tuberías y en el sistema por ser distancias muy cortas que el fluido tiene que recorrer. Se toma en consideración la utilización de una bomba centrífuga porque tiene la característica de añadir energía de forma continua para aumentar la presión del fluido en la bomba.

En el anexo E se puede consultar los datos del fabricante de la bomba-motor Modelo PK60-MD, la misma que tiene una salida de presión de 29 a 5 mts, para un caudal de 5 a 60 l/min, valores

cercanos a los necesitados para la simulación de la presión en el banco de pruebas, potencia requerida en la bomba 0,50 HP. Hoja del fabricante.

Para la implementación del lazo de control de presión se utiliza el sistema de control por estrangulamiento en la línea de impulsión, la altura diferencial de las bombas centrifugas varia con el caudal, según la curva del anexo F, al arrancar la bomba el caudal va en aumento, desplazándose a la derecha en la curva de la bomba, al mismo tiempo que va creciendo la perdida de la carga del circuito. El equilibrio se alcanza cuando esta última iguala a la presión deferencial facilitada por la bomba. Es decir cuando ambas curvas se cruzan, el punto de cruce es por tanto el punto de funcionamiento.

Para valores distintos de presión y caudal se coloca una válvula en la impulsión de la bomba tal como muestra figura 25, la pérdida de carga de la válvula se suma a la del sistema, con lo que la curva conjunta del circuito pasa a ser otra diferente a la del diseño de la bomba. A medida que se cierra la válvula, se aumenta la perdida de carga y sube la presión. La figura 60, la curva A corresponde a una válvula totalmente abierta, la curva B con la válvula parcialmente cerrada y la curva C está completamente cerrada.

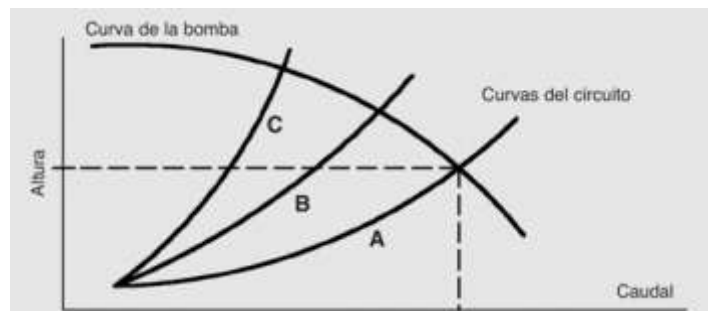


Figura 60. Curva con diferentes estados de la válvula.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

Para la simulación del separador de producción se construyó un separador en acero inoxidable con una capacidad de volumen de 0,0325 m³ (1,238 ft³) en acero inoxidable. Para la manipulación de la variable de control se utilizó una válvula con control proporcional, cuya entrada es de 4 a 20 mA, válvula de bola de ½” en acero inoxidable.

3.11 Presupuesto de la propuesta.

La siguiente tabla se indica los componentes y dispositivos que están instalados en el banco de pruebas del lazo de control de presión, algunos valores de los dispositivos fueron totalizados, aumentando el valor de la importación hasta nuestros país. Otros dispositivos fueron comprados en el país.

Ítem	Código	Equipo	Fabricante	Características	Cantidad	Precio/U	Total
1	S1	Separador	Aceros Cotopaxi	En acero inoxidable área (1,238 ft ³)	1	\$ 450,00	\$ 450,00
2	V1	Válvula 1		Válvula de drenaje 1/2 acero inoxidable	1	\$ 12,00	\$ 12,00
3	V2	válvula 2		Válvula de salida de 3/4 acero inoxidable	1	\$ 12,00	\$ 12,00
4	V3	Válvula 3	Tcrystal	Válvula de control eléctrica proporcional	1	\$ 520,00	\$ 520,00
5	PIT 1	Transmisor	Smar	Transmisor indicador de presión	1	\$ 800,00	\$ 800,00
6	M1	Bomba-motor	Pedrollo	Motor eléctrico 0.5 HP	1	\$ 250,00	\$ 250,00
7	PLC 1	PLC	AB	Micrologix 1100	1	\$ 800,00	\$ 800,00
8	I/O 1	I/O Tarjeta	AB	Micrologix 1762-IF20F2	1	\$ 420,00	\$ 420,00
9	V 1	Fuente	Sola	110VCA/24 VDC	1	\$ 120,00	\$ 120,00
10	C 1	Contactador	LG	15 amp/ 110 VCA	1	\$ 25,00	\$ 25,00
11	RL	Relé 24 VDC C1	Allen Bradley	Rele 24 VDC/contactos 5 amp/110 VCA	1	\$ 25,00	\$ 25,00
12	CT 1	Trans Corriente	Camsco	100/5 A radio	1	\$ 35,00	\$ 35,00
13	T 1	Transductor	Crompton	5 A/ 4-20 mA	1	\$ 125,00	\$ 125,00
14	CC1	Convertidor	Ultra Slimpak	4-20 mA/0-10 VCD	1	\$ 80,00	\$ 80,00
15	TB	Caja de conexión	Beaucoup	40"x60"x8", IP56	1	\$ 45,00	\$ 45,00
16	TQ	Tanques	Domos	40x40x65	1	\$ 85,00	\$ 85,00
17	T2	Tubería PVC	PVC	½"	1	\$ 10,00	\$ 10,00
18	T4	Tubería PVC	PVC	¾"	1	\$ 10,00	\$ 10,00
19	TX	Tablero	Metalmecanica	170x120x60	1	\$ 250,00	\$ 250,00
20	B 1	Breaker	LS	Breaker set 16 Amperios	1	\$ 10,00	\$ 10,00
21	P1	Logotipos		Leras, anuncios, carteles	1	\$ 80,00	\$ 80,00
22	A1	Gastos Extras		Pernos, pintura, accesorios, prototipos, etc	1	\$ 400,00	\$ 400,00
23	SO	Software	Allen Bradley	Licencias e Instalacion programas	1	\$ 800,00	\$ 800,00
24	AS	Asesoria	Tecnicos	Asesoria Tecnica	1	\$ 300,00	\$ 300,00
25	A1	Gastos Extras		Pernos, pintura, accesorios, prototipos, etc	1	\$ 600,00	\$ 600,00
TOTAL							\$ 6.264,00

Tabla 15. Presupuesto de la propuesta.
(Fuente: Luis Masapanta, autor)

A esta lista no se adjunta las horas de trabajo que se necesitó para construcción del banco de pruebas, ni tampoco se ha considerado los gastos de movilización y refrigerio necesarios cuando se ha tenido que desplazar hacia otras ciudades en busca de los componentes.

CONCLUSIONES

- Para el control de la presión en los separadores de producción se utiliza un controlador industrial PLC de la marca Allen Bradley, con entradas y salidas análogas y digitales, para el control de la variable del proceso se utiliza una válvula de características lineales, manejada por un actuador neumático con señales de control 3 a 15 psi, estas señales neumáticas son emitidas por un conversor de corriente a presión de 4 a 20 mA. Para la lectura de la variable del proceso un transmisor indicador de presión de 4 a 20 mA, configurado para valores máximos y mínimos de entrada de la variable.
- Para la seguridad de los equipos y del personal que opera la planta, la variable presión es controlada a través de dispositivos mecánicos y eléctricos, un switch presión (PSH) indica un presión alta en el separador, un switch de presión (PSHH) indica una presión peligrosa para el sistema y envía una señal al PLC para sacar fuera de servicio al separador, pero si estos dos dispositivos eléctricos fallan una válvula (PSV) válvula de seguridad actúa para liberar la presión y evitar que el separador se dañe.
- La construcción del banco de pruebas se desarrolló utilizando equipos industriales similares a los utilizados en el campo, esto permitió tener un proceso con simulaciones reales del campo en un laboratorio.
- Los ensayos realizados mediante los métodos de Zieler y Nichols para el cálculo de los parámetros del PID, deben considerarse solo como una primera aproximación de los valores requeridos, los que usualmente requieren de un afinamiento posterior, para lograr el comportamiento deseado del sistema de control con el proceso real.
- En los ensayos realizados en el banco de pruebas, durante la oscilación del proceso se pudo observar que la corriente del motor tiene una oscilación entre valores máximos y mínimos (6.1 a 5.4) amperios. Esta oscilación de la corriente producida por la oscilación de la presión en el separador produce un mayor consumo de energía. En el campo la oscilación de la presión se traduce en un mayor consumo de energía eléctrica de los generadores y también en un mayor consumo de diésel. Por lo que es muy importante, tener un proceso que sea totalmente estable y que permita mejorar el rechazo a perturbaciones, con ello se tiene una máxima eficiencia del proceso con un consumo menor de energía.

RECOMENDACIONES.

- El banco de pruebas para un lazo de control de presión fue construido de manera modular, con la facilidad de anexar al banco de pruebas, los proyectos de lazos de control de flujo, temperatura y nivel.
- En el PLC Micro Logix 1100 utilizado como controlador en el tablero de control del banco de pruebas, se puede anexar hasta 8 módulos de expansión para recibir las señales de entrada y salida de otros módulos de pruebas, y así compartir un solo PLC para todos los procesos.
- Con la construcción del banco de pruebas para el lazo de control de presión se puede realizar ensayos para la búsqueda de nuevos métodos que determinen nuevos valores para los factores del PID, realizando simulaciones de perturbaciones al sistema de manera controlada.
- El presente proyecto genera la creación de más productos de investigación, tales como un manual de prácticas de instrumentación y control para Estudiantes y Profesionales que deseen aprender sobre los sistemas de control.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

Kevin A. Bonilla G., Carlos R. Cubero A. (2004), *Guías de Laboratorio de control Automático*. Universidad de Costa Rica.

Rafael E. Vasquez, Norha L. Posada y Fabio Catrillon. (2015). *Desarrollo de una Estación Experimental Multipropósito para la Enseñanza en control de Procesos*. Universidad Bolivariana. Medellín - Colombia.

Saida M. Charre I., Janeth A. Alcala R., Norberto Lopez L. (2014), *Sistema Didáctico de Control de Presión*. Universidad de Colima. México.

Victor M. Alfaro R. (2005), *Actualización del método de sintonización de controladores de Ziegler y Nichols*. Universidad de Costa Rica.

Victor M. Alfaro R. (2002), *Métodos de sintonización de controladores PID que operan como reguladores*. Universidad de Costa Rica.

Jose A. Desanti M. (2004). *Robustez de los métodos de sintonización de controladores PI y PID Basados en modelos de primer orden más tiempo muerto*. Universidad de Costa Rica.

Jonatan Izquierdo F. (2011). *Controladores PI con acción de resert*. Universidad Autonoma de Barcelona.

Alexis Diaz, Angel Paguay, Helen Tomalá (2010). *Parámetros requeridos en el diseño de separadores para manejar mezclas de gas-liquido*. Escuela Politécnica del Litoral.

José L. Requena G., Mauricio F. Rodriguez M. (2006), *Diseño y evaluación de separadores Bifásicos y Trifásicos*. Universidad Central de Venezuela.

Diego Medina (2002), *Diseño integrado de un tanque de separación trifásica de crudo*. Universidad de San Francisco de Quito.

Ken Arnold Maurice Stewart (1999), *Surface Production Operations Volumen 2, Design of gas-Handling Systems and Facilities*. Gulf Publishing Company.

Katsuhiko Ogata. (1987), *Dinamica de Sistemas*. University of Minnesota.

Katsuhiko Ogata. (1980), *Ingeniería de Control Moderna*. University of Minnesota.

Control Engineering (2010), *Pressure Process Training System*. TecQuiment. UK.

SMAR LD301 (2010), *Manual de instrucciones, operación y mantenimiento Transmisor inteligente de presión*.

Allen Bradley. (2008). *SCL 500 Instruction Set*. Reference Manual. Rockwell Automation.

Allen Bradley. (2013). *MicroLogix 1762-IF20F2 Analog Input/Output Module*. Rockwell Automation.

Allen Bradley. (2015). *MicroLogix 1100 Programmable Controllers*. Rockwell Automation.

Rockwell Software (1998). *RSView32, Expanding the World of MMI*, User's Guide. Rockwell Automation.

4 ANEXOS

Anexo A Transductor de Corriente alterna 0-5 amp a 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-TAUJ-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

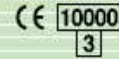
AC VOLTAGE			
Input	Auxiliary Power	Output	Catalog Number
AC Voltage—Average Sensing, Single-Phase			
120 VAC/60 Hz	Self	0-1 mADC	253-TVUJ-PQFA-C6
120 VAC/60 Hz	120 VAC	4-20 mADC	253-TVLU-PQHG-C6-DG
AC Voltage—True RMS Sensing, Single-Phase			
120 VAC/60 Hz	120 VAC	0-1 mADC	253-TVRU-PQFA-C6-DG
AC Voltage—True 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

100

Anexo B. Switch 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	CCC1, KEMA CB, SABS, SEMKO CB, UL 1077†	
Protección	Contra sobrecarga y corto circuito	
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 IEC 60898	
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	Borne	
Sección del cable	Cable hasta 25mm ²	
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 de In (A)	Relatancia Instantánea (mA/m)	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	10,60	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	33,80	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 C. Conversor 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

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

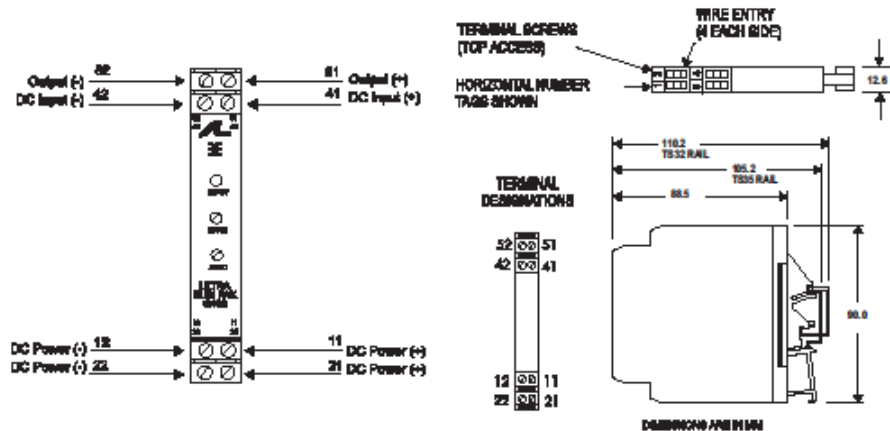
Table 3: Output range selector - switch settings

Key: ■ ON

TYPE	SW1			
	6	8	7	4
UNIPOLAR	■			
REVERSE		■		
CURRENT				■
VOLTAGE				■

Table 2: Input range and function settings

Description	<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>
Application	<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>
Diagnostic LEDs	<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>



Rated data	
Input	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	
Output	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	
Supply	DC voltage
Range	9 to 30Vdc, Inverter Isolated
Consumption	1.5W typ., 2.5W max. (200mA inrush at 9Vdc)
Other supply specification	
General	
Accuracy	$\pm 0.35\%$ of full typ., 0.5% max (span $<2\text{mA}$ or $<20\text{mV}$) 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°C / -25 to 70°C
Housing (mounting)	EG8 (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 ²)
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)
Ordering data	Cat. No.
Ultra SlimPak	G408 (factory calibration: 4.20mA In, 4.20mA Out)
Heat sink (width)	HS01-A (1.6mm) (conditionally required depending on installation, see heat sink data)
Shunt resistor	C006 (0.1 Ω , 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 D. Válvula proporcional



Product overview

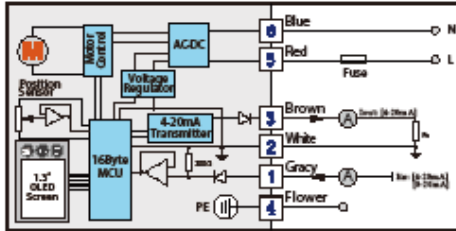
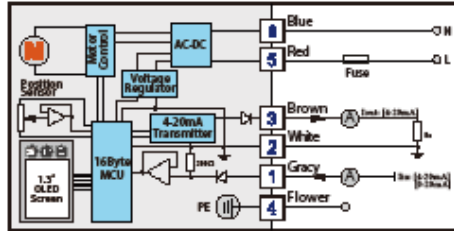
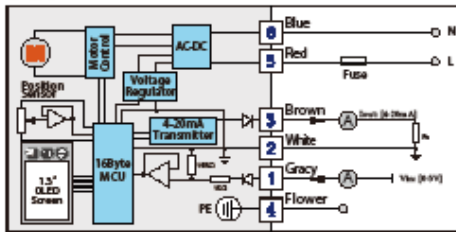
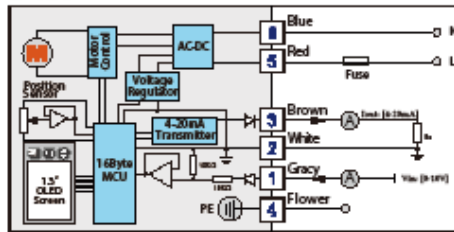
- ⊙ Rated torque: 20N.m
- ⊙ Install below 15N.m valves: 2way , 3way ball valve and butterfly valve
- ⊙ Rated voltage: AC/DC24V
- ⊙ Control signal: 4-20mA、0-10V、0-20mA、0-5V
- ⊙ Position feedback: 4-20mA
- ⊙ Position accuracy: ±1%(set by software)
- ⊙ 采用高性能无刷电机, Overload protection of internal motor
-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



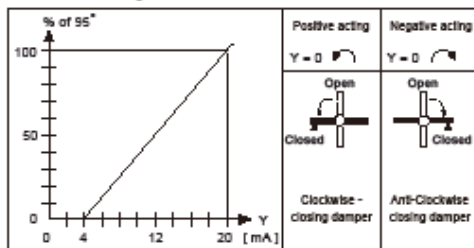
Product features

- △ 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 C , 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:

- 0 0 0** to connect power supply.
- 0 0 0** are control feedback. **Δ** They are for bidden to connect the power supply, otherwise it will damage the control module.
- Make sure voltage probable range. **Δ** otherwise it will damage the control module.
- 2** is control input: 4-20mA, 4-20mA, 0-5V, 0-10V (input resistance refer to corresponding wiring diagram).
- 3** is feedback current output: 4-20mA.
- 4** is output R_t .
 ΔR_t is recommended to use low TCR resistor.
 $\Delta V_{OUT} 12V$, so $R_t \geq 400\Omega$ (recommended $V_{OUT} 5V$, $R_t = 250\Omega / 0.25W$).
- 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 E. Bomba-Motor



Electrobombas con rodete periférico

 Agua limpia

 Utilizo doméstico



CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **90 l/min** (5.4 m³/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

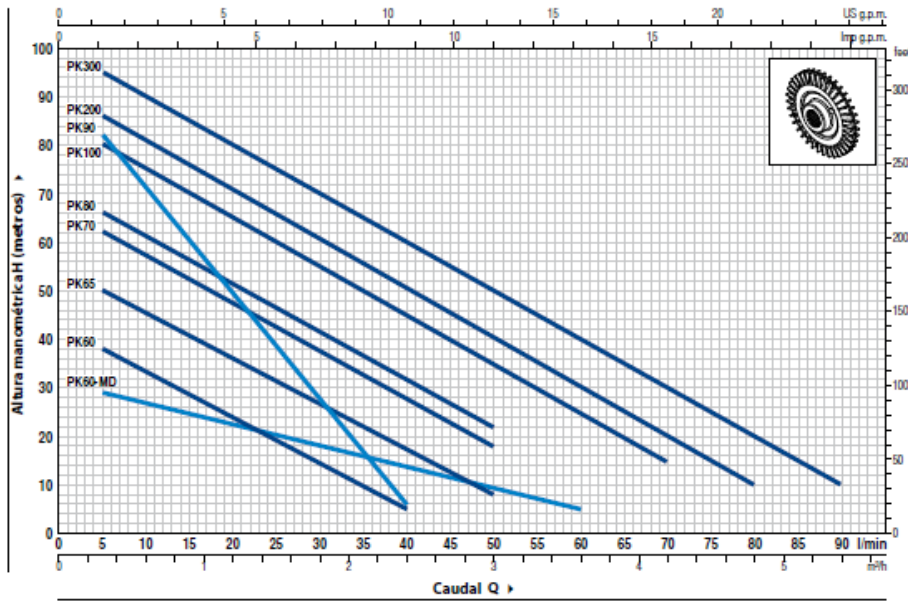
- Cuerpo bomba con bocas roscadas NPT ANSI B 1.20.1
- Sello mecánico especial
- Otros voltajes
- Protección IP X5 para PK 70-80-90-100-200-300

GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 rpm HS= 0 m



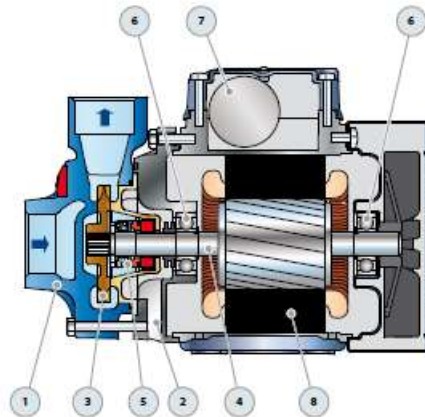
MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q	H metros																
Monofásica	Trifásica	kW	HP		0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4			
PKm 60*	PK 60*	0.37	0.50	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90				
PKm 60*-MD	PK 60*-MD	0.37	0.50	30	29	26.5	24.5	22.5	20.5	18	16	13.5	9.5	5							
PKm 65	PK 65	0.50	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 ISO9906 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>Diámetro</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	10 µF - 450 VL	25 µF - 250 VL		
		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 P₂=1.1 kW y en clase IE3 desde P₂=1.5 kW (IEC 60034-30)</p> <p>- Aislamiento: clase F - Protección: IP X4</p>				



Anexo F. Reglamento para el transporte de crudo por el SOTE

LEXIS FINDER

REGLAMENTO PARA EL TRANSPORTE DE CRUDO POR EL SOTE

Acuerdo Ministerial 14
Registro Oficial 280 de 26-feb.-2004
Estado: Vigente

EL MINISTRO DE ENERGIA Y MINAS

Considerando:

Que los artículos 244, numeral 7 y 247 de la Constitución Política de la República del Ecuador disponen que es deber del Estado Ecuatoriano explotar racionalmente sus recursos naturales no renovables, en función de los intereses nacionales, de manera directa o con la participación del sector privado;

Qué mediante Acuerdo Ministerial No. 389 de 28 de febrero de 1990, publicado en el Registro Oficial No. 387 de 2 de marzo de 1990, esta Secretaría de Estado emitió las disposiciones para el transporte del petróleo crudo producido en los campos de la Región Amazónica, a través del Sistema del Oleoducto Transecuatoriano Lago Agrio, Esmeraldas, SOTE;

Que con Decreto Ejecutivo No. 2954, publicado en el Registro Oficial No. 639 de 13 de agosto del 2002, se derogó el Acuerdo Ministerial No. 389, mencionado;

Que es necesario dictar nuevas disposiciones inherentes al transporte de petróleo crudo por los sistemas de oleoductos, como el SOTE, RODA cuya operación se encuentre a cargo de PETROECUADOR, a fin de garantizar un óptimo y permanente servicio a los usuarios;

Que se debe establecer las normas respectivas que regulan esta fase de la actividad hidrocarburífera, dada la diferencia de calidad del petróleo crudo, procedente de los campos de la Región Amazónica Ecuatoriana, así como, el grado de complejidad que demanda la operación del transporte de este recurso natural a través de los sistemas de oleoductos, Oleoducto Transecuatoriano y la Red de Oleoductos del Distrito Amazónico;

Que los artículos 6 y 9 de la Ley de Hidrocarburos establecen que al Ministerio del ramo le corresponde la formulación, ejecución de la política de hidrocarburos y la aplicación de la citada ley, para lo cual está facultado para dictar los reglamentos y disposiciones que se requieren;

Que el artículo 10 del Reglamento Sustitutivo del Reglamento de Operaciones Hidrocarburíferas establece que en las operaciones hidrocarburíferas, se debe aplicar entre otras normas, las del Manual of Petroleum Measurement Standards;

Que la Dirección Nacional de Hidrocarburos mediante memorando No. 1558 DNH-TA 0709 del 8 de octubre del 2003 somete a consideración de la Dirección de Procuraduría Ministerial el Reglamento para el transporte de petróleo crudo a través del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano y la Red de Oleoductos del Distrito Amazónico;

Que la Dirección de Procuraduría Ministerial con memorando No. 817-DPM-AJ de 19 de noviembre del 2003, emitió informe favorable para la expedición del Reglamento para el transporte de petróleo crudo a través del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano y la Red de Oleoductos del Distrito Amazónico;

Que la Dirección Nacional de Hidrocarburos con memorando No. 2012 DNH-TA-898 de 30 de diciembre del 2003 recomienda la expedición del Reglamento para el transporte de petróleo crudo a

Art. 9.- Los resultados de la fiscalización diaria de petróleo crudo (entregas a los sistemas de oleoductos operados por PETROECUADOR SOTE y/o RODA) se asentarán en el registro respectivo, que normalmente incluirá la siguiente información:

Fecha de entrega.

Lecturas iniciales, finales y diferencia Temperatura observada.

% en volumen de BS&W redondeado a una milésima.

Gravedad API observada, API a 60 grados F y API seco resultante redondeado a una décima.

Gravedad específica redondeada a una diez milésima.

Factores de corrección de medidores redondeados a una diez milésima.

Viscosidad en cSt a 80 grados F redondeado a una décima.

Porcentaje del contenido en peso de azufre redondeado a una centésima.

Volúmenes en barriles brutos a 60 grados F redondeado a una centésima.

Volúmenes en barriles netos a 60 grados F redondeados a una centésima.

Total diario, acumulado mensual y acumulado total de: barriles brutos, barriles netos y peso relativo.

Para efectos de redondeo, las operadoras y los usuarios del Sistema de Oleoductos Operados por PETROECUADOR deben sujetarse a las normas aplicables conforme el MPMS capítulo 12, sección 2 y/o similares.

Las operadoras y los usuarios elaborarán un registro mensual con los resultados de la fiscalización diaria, en la cual se incluirán los acumulados mensuales de los volúmenes en barriles brutos fiscalizados, barriles netos fiscalizados y peso relativo. Adicionalmente, se determinará en forma mensual la gravedad API seco, la viscosidad mezcla y el porcentaje en peso de azufre de acuerdo a las siguientes expresiones:

Nota: Para leer Fórmula, ver Registro Oficial 280 de 26 de Febrero de 2004, página 7.

Los registros de producción fiscalizada diaria de petróleo crudo (Entregas a los Sistemas de Oleoductos Operados por PETROECUADOR) serán presentados diariamente a la DNH.

Art. 10.- El petróleo crudo producido por los usuarios no podrá ser recibido y/o transportado por las operadoras de existir una o más de las siguientes causas comprobadas por las operadoras o la DNH.

- a) Cuando tenga más del 1% de agua y sedimentos (BS&W);
- b) Cuando tenga sustancias y/o posea características que pudieran dañar las instalaciones de transporte y almacenamiento o interferir con el adecuado funcionamiento de las instalaciones, de conformidad con las prácticas normales de la industria petrolera;
- c) Cuando la gravedad API sea menor a los asignados en la correspondiente regulación emitida por la DNH;
- d) Cuando existiere orden del Ministerio del ramo que prohíba expresamente el transporte de dicho petróleo;
- e) Cuando existan condiciones operativas que impidan su recepción, siempre que no sean de aquellas contempladas en el artículo 15 del presente acuerdo ministerial; y,
- f) Cuando la unidad LACT del usuario y las unidades ACT no se encuentren funcionando

Anexo G. Programación

CONTR_P REV5.RSS

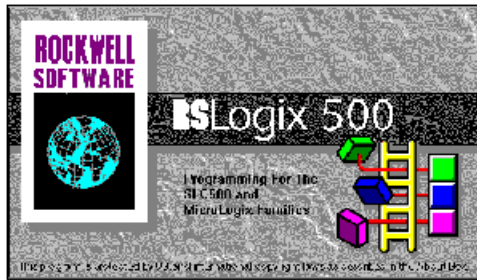
Processor Information

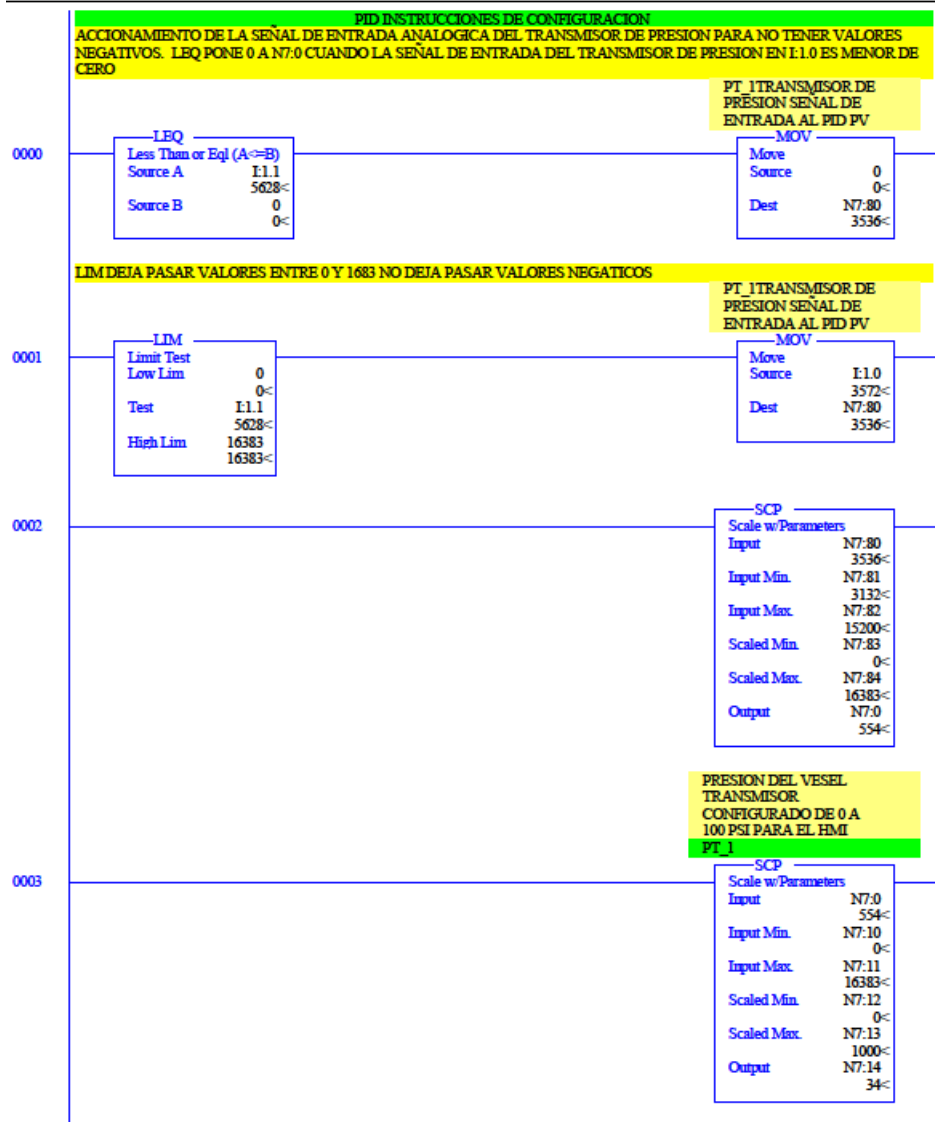
Processor Type: Bul.1763 Micrologix 1100 Series A
Processor Name: CONTR_P
Total Memory Used: 442 Instruction Words Used - 684 Data Table Words Used
Total Memory Left: 6214 Instruction Words Left
Program Files: 7
Data Files: 10
Program ID: 9ad8

I/O Configuration

0	Bul.1763	Micrologix 1100 Series A
1	1762-IF2OF2	Analog 2 Chan. Input, 2 Chan. Output
2		
3		
4		

RSLogix500 Project Report

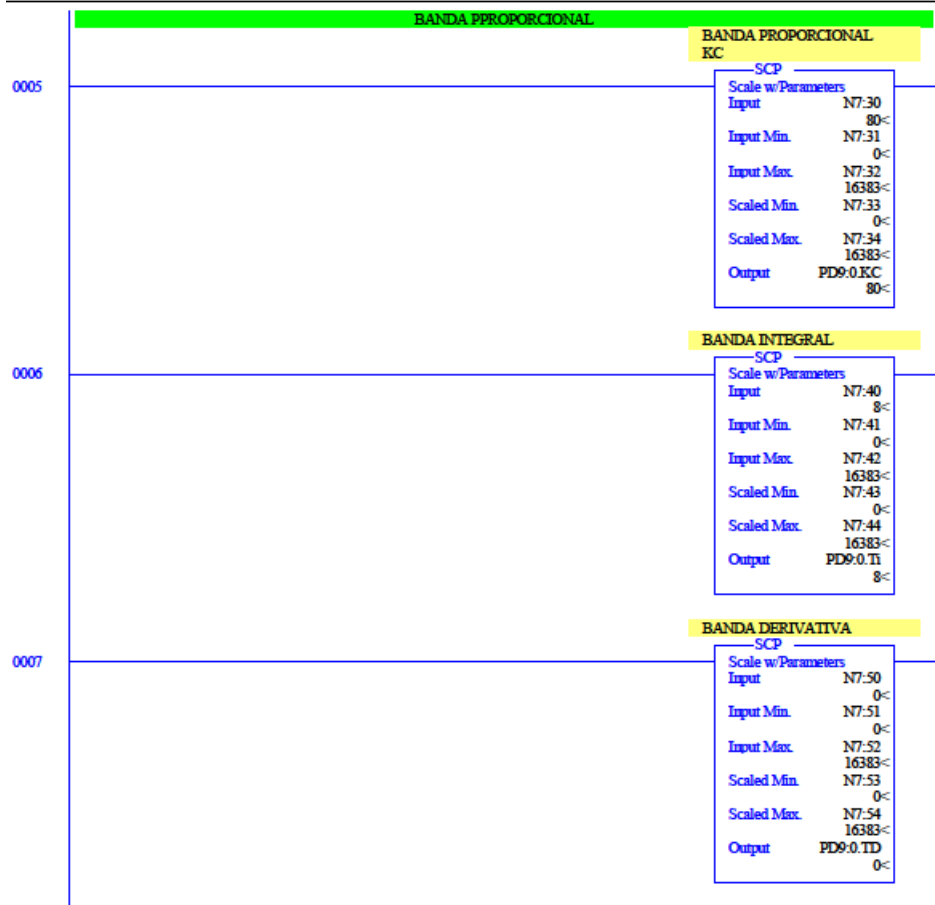


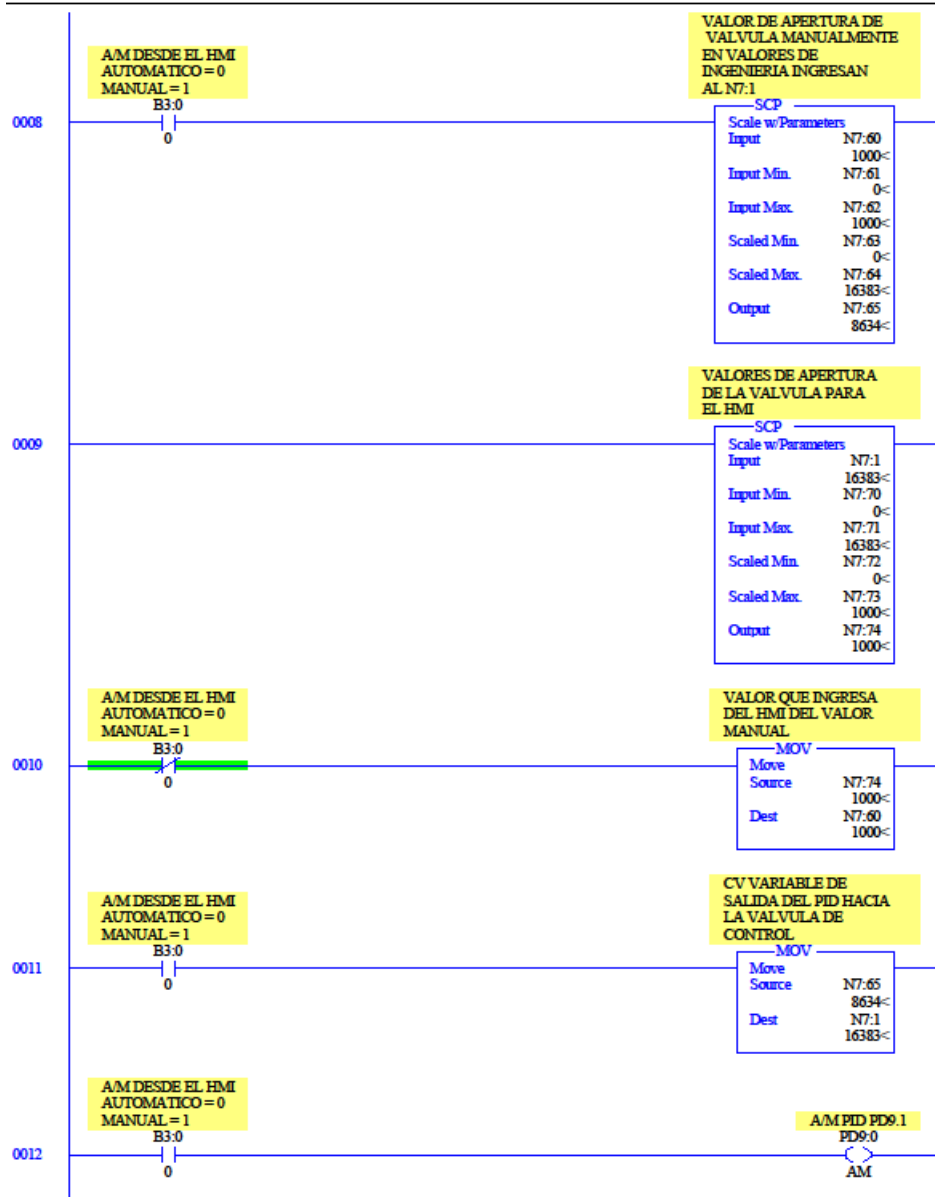


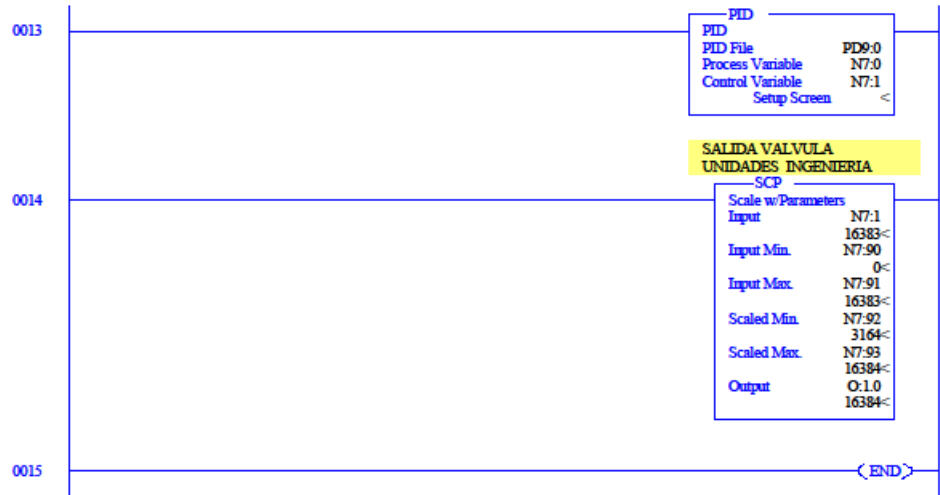
LOS SIGUIENTES ESCALONES CALCULA EL SP. BANDAPROPORCIONAL (KC) BANDA INTEGRAL (TI) BANDA DERIVATIVA (TD) PARA EL PID EN VALORES DE INGENIERIA DE 0 16383

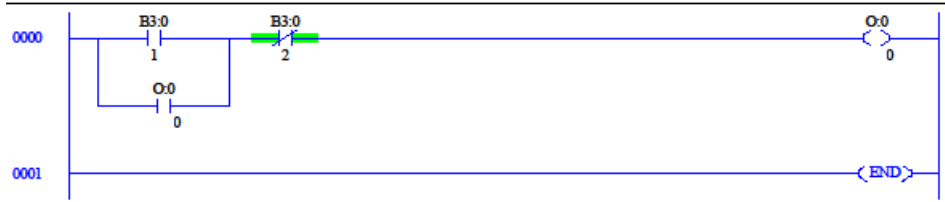
0004

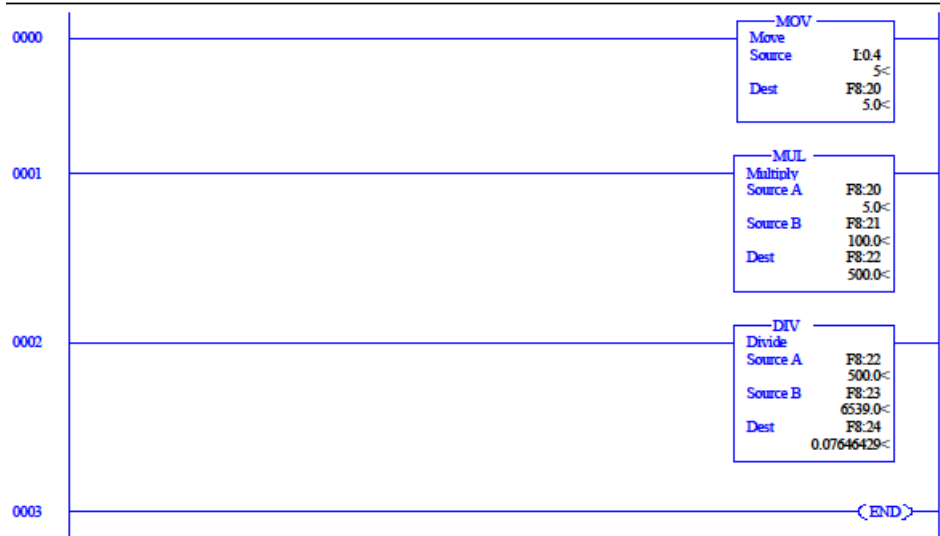
SET POINT	
- SCP	
Scale w/Parameters	N7:20
Input	250<
Input Min.	N7:21
	0<
Input Max.	N7:22
	1000<
Scaled Min.	N7:23
	0<
Scaled Max.	N7:24
	16383<
Output	PD9:0.SPS
	4096<











CONTR_P REV5.RSS

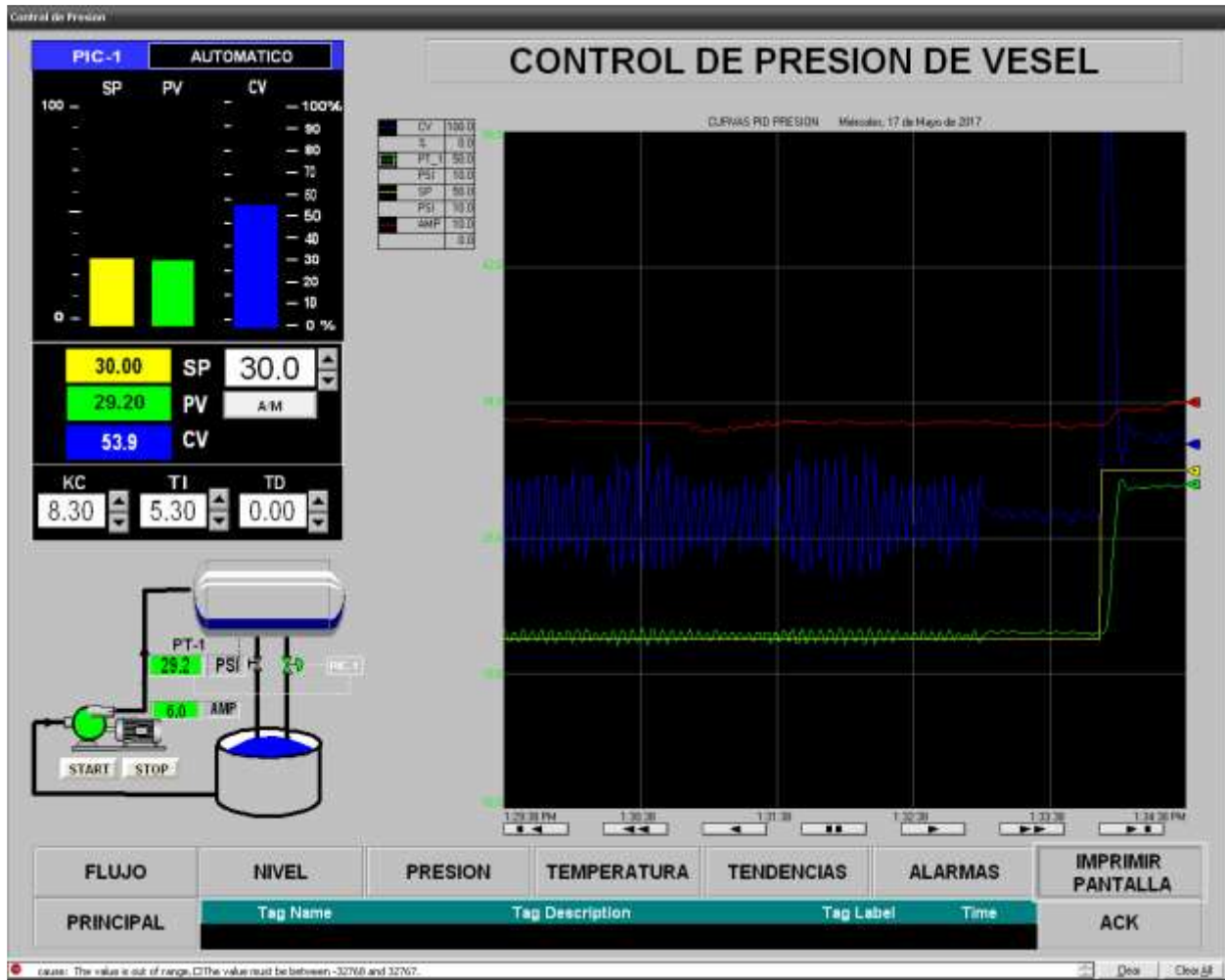
Data File PD9

Offset	TM	AM	CM	OL	RG	SC	TF	DA	DB	UL	LL	SP	PV	DN	EN	SPS	KC	Ti	TD	MAXS	MINS	ZCD	
PD9:0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4096	80	8	0	16384	0	0	
PD9:1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3277	20	4	0	16384	0	0	
PD9:2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PD9:3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PD9:4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PD9:5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PD9:6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PD9:7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PD9:8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PD9:9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Address/Symbol Database

Address	Symbol	Scope	Description
B3:0/0			A/M DESDE EL HMI AUTOMATICO = 0 MANUAL = 1
B3:1/0			A/M DESDE EL HMI AUTOMATICO = 0 MANUAL = 1
I:1:1			
N7:1			CV VARIABLE DE SALIDA DEL PID HACIA LA VALVULA DE CONTROL
N7:14	PT_1	Global	PRESSION DEL VESEL TRANSMISOR CONFIGURADO DE 0 A 100 PSI PARA EL HMI
N7:30	KC_PPROPORCIONAL	Global	KC BANDA PROPORCIONAL
N7:35			BANDA INTEGRAL KC
N7:45			BANDA INTEGRAL KI
N7:55			BANDA DERIVATIVA TD
N7:60			VALOR QUE INGRESA DEL HMI DEL VALOR MANUAL
N7:65			VALOR DE APERTURA DE VALVULA MANUALMENTE EN VALORES DE INGENIERIA INGRESAN AL N7:1
N7:74			VALORES DE APERTURA DE LA VALVULA PARA EL HMI
N7:80			PT_1TRANSMISOR DE PRESION SEÑAL DE ENTRADA AL PID PV
N7:100			
N7:101			CV VARIABLE DE SALIDA DEL PID HACIA LA VALVULA DE CONTROL
N7:114	LT_1	Global	NIVEL DEL VESEL TRANSMISOR CONFIGURADO DE 0 A 20 °H2O
N7:160			VALOR QUE INGRESA DEL HMI DEL VALOR MANUAL
N7:165			VALOR DE APERTURA DE VALVULA MANUALMENTE EN VALORES DE INGENIERIA INGRESAN AL N7:101
N7:174			VALORES DE APERTURA DE LA VALVULA PARA EL HMI
N7:195	NT_	Global	
N7:196			nt am
N7:197			nl am
N7:198			sla d am
N7:199	AM	Global	am
O:1:0			SALIDA VALVULA UNIDADES INGENIERIA
O:1:1			SALIDA VALVULA UNIDADES INGENIERIA
PD9:0/AM			A/M PID PD9.1
PD9:0.SPE			SET POINT
PD9:0.KC			BANDA PROPORCIONAL KC
PD9:0.TI			BANDA INTEGRAL
PD9:0.TD			BANDA DERIVATIVA
PD9:1/AM			A/M PID PD9.1
PD9:1.SPE			SET POINT CONTROL DE NIVEL
PD9:1.KC			BANDA PROPORCIONAL
PD9:1.TI			BANDA INTEGRAL
PD9:1.TD			BANDA DERIVATIVA
S:0			Arithmetic Flags
S:0/0			Processor Arithmetic Carry Flag
S:0/1			Processor Arithmetic Underflow/ Overflow Flag
S:0/2			Processor Arithmetic Zero Flag
S:0/3			Processor Arithmetic Sign Flag
S:1			Processor Mode Status/ Control
S:1/0			Processor Mode Bit 0
S:1/1			Processor Mode Bit 1
S:1/2			Processor Mode Bit 2
S:1/3			Processor Mode Bit 3
S:1/4			Processor Mode Bit 4
S:1/5			Forces Enabled
S:1/6			Forces Present
S:1/7			Comms Active
S:1/8			Fault Override at Powerup
S:1/9			Startup Protection Fault
S:1/10			Load Memory Module on Memory Error
S:1/11			Load Memory Module Always
S:1/12			Load Memory Module and RUN
S:1/13			Major Error Halted
S:1/14			Access Denied
S:1/15			First Pass
S:2/0			STI Pending
S:2/1			STI Enabled
S:2/2			STI Executing
S:2/3			Index Addressing File Range
S:2/4			Saved with Debug Single Step
S:2/5			DE-485 Incoming Command Pending
S:2/6			DE-485 Message Reply Pending
S:2/7			DE-485 Outgoing Message Command Pending
S:2/15			Comms Servicing Selection
S:3			Current Scan Time/ Watchdog Scan Time
S:4			Time Base
S:5/0			Overflow Trap
S:5/2			Control Register Error
S:5/3			Major Err Detected Executing UserFault Routine
S:5/4			NO-MI Referenced on Disabled Slot
S:5/8			Memory Module Boot
S:5/9			Memory Module Password Mismatch
S:5/10			STI Overflow
S:5/11			Battery Low
S:6			Major Error Fault Code
S:7			Suspend Code
S:8			Suspend File
S:9			Active Nodes
S:10			Active Nodes
S:11			I/O Slot Enables
S:12			I/O Slot Enables
S:13			Math Register
S:14			Math Register
S:15			Node Address/ Baud Rate
S:16			Debug Single Step Runq
S:17			Debug Single Step File
S:18			Debug Single Step Breakpoint Runq

Anexo H. HMI



Anexo I. Evaluación de Propuesta e Instrumentos de Evaluación.



ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Latacunga Julio 11, 2107.

Doctora
Iliana Gonzales 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: **"EVALUACIÓN DEL CONTROL DE PRESIÓN EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE 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,

Luis Fernando Masapanta Mena.
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACION



ANEXO 2
INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

TÍTULO DE LA PROPUESTA: EVALUACIÓN DEL CONTROL DE PRESIÓN EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN.

3 = MUY SATISFACTORIO 2 = SATISFACTORIO 1 = POCO SATISFACTORIO

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

VALIDADO POR:	Nombre: Gustavo Rodríguez Barcenás.		
Área de Trabajo. C1YA	Título Profesional. Ing. Electrico	Cargo u Ocupación. Docente	Año de Experiencia. 22
Observaciones:			
Fecha: 12/07/2017	Tel.: 0984340820	Dirección del Trabajo: Latacunga	C.I.: 1753070659

f.
PhD. Iliana Gonzales Palau.



ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN

Latacunga Julio 11, 2017.

Doctora
Iliana 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 **“EVALUACIÓN DEL CONTROL DE PRESIÓN EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE 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,

Luis Fernando Masapanta Mena.
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN



ANEXO 4
MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ÍTEMS
Independiente Control de Presión	<ul style="list-style-type: none">• Portadores energéticos, crudo, agua y gas	<ul style="list-style-type: none">➤ % agua➤ % petróleo➤ % gas➤ Presión	<ul style="list-style-type: none">➤ Mediciones➤ Mediciones➤ Mediciones➤ Transmisor de presión	1, 2, 3, 4
Dependiente Mejora en la eficiencia energética en los procesos de separación.	<ul style="list-style-type: none">• Eficiencia• Consumo Eléctrico• Factibilidad	<ul style="list-style-type: none">➤ Rendimiento➤ Energía➤ Costo	<ul style="list-style-type: none">➤ Cálculos➤ Cálculos➤ Cálculos	5,6,7


Elaboración: Luis Fernando Masapanta Mena.



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	P	
7	P	
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		

f. 
VALIDADOR
PhD. Iliana González Palau



ANEXO 6
CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD

(DEBE COSNTAR TODOS LOS ITEMS DE LA ENCUESTA)

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	0		
7	0		
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
25			

f.

VALIDADOR
PhD. Ilíana González Palau



ANEXO 7

LENGUAJE

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

f. 

VALIDADOR
PhD. Iliana González Palau



ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Latacunga Julio 11, 2107.

Doctor
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: **"EVALUACIÓN DEL CONTROL DE PRESIÓN EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE 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,

Luis Fernando Masapanta Mena.
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACION



ANEXO 2
INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

TÍTULO DE LA PROPUESTA: EVALUACIÓN DEL CONTROL DE PRESIÓN EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN.

3 = MUY SATISFACTORIO 2 = SATISFACTORIO 1 = POCO SATISFACTORIO

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

VALIDADO POR:	Nombre: Enrique Torres Tamayo.		
Área de Trabajo:	Título Profesional:	Cargo u Ocupación:	Año de Experiencia:
Electromecánica	Ing. Mecánica	Profesor	23
Observaciones:			
Fecha:	Tel.:	Dirección del Trabajo:	C.I.:
12/07/2017	0987800156	UTC	1757121940

PhD. Enrique Torres Tamayo.



ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN

Latacunga Julio 11, 2017.

Doctor

Enrique Torres Tamaño.

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 **"EVALUACIÓN DEL CONTROL DE PRESIÓN EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE 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,

Luis Fernando Masapanta Mena.
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN



ANEXO 4
MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ÍTEMS
<u>Independiente</u> Control de Presión	<ul style="list-style-type: none">• Portadores energéticos, crudo, agua y gas	<ul style="list-style-type: none">➤ % agua➤ % petróleo➤ % gas➤ Presión	<ul style="list-style-type: none">➤ Mediciones➤ Mediciones➤ Mediciones➤ Transmisor de presión	1, 2, 3, 4
<u>Dependiente</u> Mejora en la eficiencia energética en los procesos de separación.	<ul style="list-style-type: none">• Eficiencia• Consumo Eléctrico• Factibilidad	<ul style="list-style-type: none">➤ Rendimiento➤ Energía➤ Costo	<ul style="list-style-type: none">➤ Cálculos➤ Cálculos➤ Cálculos	5,6,7


Elaboración: Luis Fernando Masapanta Mena.



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	P	
7	P	
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		

f. 

VALIDADOR


PhD. Enrique Torres Tamaño.



ANEXO 6
CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD

(DEBE COSNTAR TODOS LOS ITEMS DE LA ENCUESTA)

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	0		
7	0		
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
25			

f. 

VALIDADOR
PhD. Enrique Torres Tamaño.



ANEXO 7

LENGUAJE

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


VALIDADOR
PhD. Enrique Torres Tamaño.



ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Latacunga Julio 11, 2107.

Doctor
Gustavo Rodríguez Barcenás.
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: **"EVALUACIÓN DEL CONTROL DE PRESIÓN EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE 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,

Luis Fernando Masapanta Mena.
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACION



ANEXO 2
INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

TÍTULO DE LA PROPUESTA: EVALUACIÓN DEL CONTROL DE PRESIÓN EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN.

3 = MUY SATISFACTORIO 2 = SATISFACTORIO 1 = POCO SATISFACTORIO

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

VALIDADO POR:	Nombre: Gustavo Rodríguez Barcenas.		
Área de Trabajo:	Título Profesional:	Cargo u Ocupación:	Año de Experiencia:
UTC	Ingen. Mecánico	Docente-Investigador	14
Observaciones:			
Fecha:	Telf.:	Dirección del Trabajo:	C.I.:
12-07-2017	0987655434	UTC	1752001357

f.
PhD. Gustavo Rodríguez Barcenas.



ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN

Latacunga Julio 11, 2017.

Doctor

Gustavo Rodríguez Barcenas.

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 **“EVALUACIÓN DEL CONTROL DE PRESIÓN EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE 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,

Luis Fernando Masapanta Mena.
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN



ANEXO 4
MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ÍTEMS
<u>Independiente</u> Control de Presión	<ul style="list-style-type: none">• Portadores energéticos, crudo, agua y gas	<ul style="list-style-type: none">➤ % agua➤ % petróleo➤ % gas➤ Presión	<ul style="list-style-type: none">➤ Mediciones➤ Mediciones➤ Mediciones➤ Transmisor de presión	1, 2, 3, 4
<u>Dependiente</u> Mejora en la eficiencia energética en los procesos de separación.	<ul style="list-style-type: none">• Eficiencia• Consumo Eléctrico• Factibilidad	<ul style="list-style-type: none">➤ Rendimiento➤ Energía➤ Costo	<ul style="list-style-type: none">➤ Cálculos➤ Cálculos➤ Cálculos	5,6,7

Elaboración: Luis Fernando Masapanta Mena.



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	P	
7	P	
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		

f.....

VALIDADOR

PhD. Gustavo Rodríguez Barcenás.



ANEXO 6
CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD

(DEBE COSNTAR TODOS LOS ITEMS DE LA ENCUESTA)

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

f. 

VALIDADOR
PhD. Gustavo Rodríguez Barcenás.



ANEXO 7

LENGUAJE

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

f. 
VALIDADOR
PhD. Gustavo Rodríguez Barcenás.