



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS

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

TEMA

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

Autor: **Vasquez Carrera Franklin Germánico**

Tutor: **PhD. Secundino Marrero Ramírez**

LATACUNGA – ECUADOR

Julio-2017

AVAL DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe del Proyecto de Investigación y Desarrollo de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el posgraduado: Ing. Franklin Germánico Vásquez Carrera, con el título del trabajo de investigación y desarrollo titulado: ANÁLISIS DE CONTROL DE NIVEL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2017. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa.

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

Latacunga julio 27, 2017 - 1995

Para constancia firman:



MSc. EDWIN HOMERO MOREANO MARTÍNEZ
NOMBRES Y APELLIDOS
Cc: 0502607500
PRESIDENTE



MSc. FRANKLIN HERNAN VÁSQUEZ TENEDA
NOMBRES Y APELLIDOS
Cc: 1710434497
MIEMBRO



PhD. HÉCTOR LUÍS LAURENCIO ALFONSO
NOMBRES Y APELLIDOS
Cc: 1712813
MIEMBRO



PhD. ILIANA ANTONIA GONZÁLEZ PALAU
NOMBRES Y APELLIDOS
Cc: 1757070659
OPONENTE

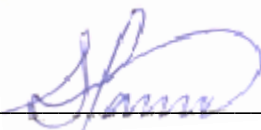
CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE TUTOR

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

CERTIFICO:

Que: El Trabajo de investigación “ANÁLISIS DE CONTROL DE NIVEL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2017. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”. Presentado por el Maestrante Franklin Germánico Vásquez Carrera con cédula de ciudadanía N° 0501872576, egresado del programa de Maestría en Gestión de Energías cohorte 2014, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del tribunal examinador que el Honorable Consejo Académico de Posgrado designe.

Latacunga, Julio 2017



PhD. SECUNDINO MARRERO RAMÍREZ

C.I. 1757107907

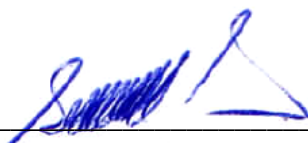
DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA DE TESIS

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

Latacunga, Julio 2017

Atentamente



Franklin Germánico Vásquez Carrera

C.I. 0501872576

AGRADECIMIENTO

A Dios que me permite estar vivo, guiarme y darme la fortaleza para culminar los objetivos de vida.

A mí amada esposa Jessenia por siempre creer en mí, por su apoyo, por su fortaleza y por estar en mi vida.

A mi mamita querida que ha sido un ejemplo de lucha en la vida, por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles; a mi padre que desde el cielo seguro me guía por el camino adecuado. Han inculcado en mí los valores, principios forjando mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir los objetivos que me he planteado.

A mi tutor el PHD. Secundino Marrero Ramírez y todos los profesores que me brindaron todos sus conocimientos y experiencias a lo largo de la carrera.

A mi compañero de Tesis Luís Masapanta que estuvo siempre motivando y apoyando para sacar este proyecto adelante.

Franklin Germánico Vásquez Carrera

DEDICATORIA

La vida se encuentra plagada de objetivos y uno de ellos es culminar la carrera de cuarto nivel. Ahora al ser parte de ella, me he dado cuenta que más allá de ser un reto, es una base no solo para mi entendimiento del campo en el que me he visto inmerso, sino para lo que concierne a la vida y mi futuro.

Luego de finalizar este proyecto con visión educativa dedicamos a la juventud de la Universidad Técnica de Cotopaxi, de la provincia y del país para que por medio de este puedan investigar y nutrirse de conocimientos que de seguro en la vida profesional les será de gran valor.

Franklin Germánico Vásquez Carrera

RESUMEN

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

DESCRIPTORES: Banco de pruebas, Eficiencia, Controlador, Sintonización.

ABSTRACT

In this work the analysis of a level control system in an oil separation plant was done with a test that permits evaluate the energy efficiency. For this project, water was used to control devices with industrial characteristics similar to those used in oil separation. The initial factors K_c , T_i y T_d of controller tuning for the level bond circle were identified through some tests as function of the Zieler and Nichols Methods of Open Bond and Closed Bond. These factors should be considered as initial data of the control system, which usually require a subsequent modification through several system disturbance tests that will allow correcting the change factors of the control to find the desired behavior and performance. During the tests of variation of the system variable it was observed that the current value in the pump motor has variations as a function of the opening of the level control valve when there is an oscillation of the variable, there is also variation in the energy consumption of the pump, this determines that the highest efficiency in the system is when the process variable is in stable form and the level control loop is fully tuned.

DESCRIPTORS: Test Form, Efficiency, Controller, Tuning.

ÍNDICE

AVAL DEL TRIBUNAL DE GRADO	II
CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE TUTOR	III
AUTORÍA DE TESIS.....	IV
AGRADECIMIENTO	V
DEDICATORIA	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT.....	VIII
ÍNDICE.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ÍNDICE DE ECUACIONES	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
JUSTIFICACIÓN	2
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	3
OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN	3
CAMPO DE ACCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
HIPÓTESIS.....	4
ENFOQUE, NIVEL Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	4
FACTIBILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
CAPITULO 1.....	6
1. MARCO TEORICO.....	6
1.1. Marco legal referente a la investigación.....	6
1.2. El Petróleo.....	8
1.2.1. Tipos de petróleo crudo según grado API.....	9
1.2.2. Clases de crudo en Ecuador	10

1.2.3. Propiedades Físicas del petróleo	10
1.3. Proceso de deshidratación del petróleo	12
1.3.1. Sistema de tratamiento de crudo	13
1.3.2. Separador de agua libre.....	13
1.3.3. Separador de Producción	14
1.3.4. Deshidratador electrostático.....	15
1.3.5. Bota Desgasificadora	16
1.3.6. Tanques de almacenamiento	17
1.4. Controladores.....	17
1.5. Configuración experimental de lazo de control usando PLC Y PID	18
1.6. Prototipo para control automático de nivel y caudal de líquidos.....	19
1.7. Tipos de sistemas de control.....	20
1.8. Características de los sistemas de control automático	21
1.9. Lazos de control usados en proceso de deshidratación de petróleo.....	21
1.9.1. LIC Controlador indicador de nivel.....	21
1.9.2. PIC Controlador indicador de presión	22
1.10. Reglas de Ziegler-Nichols para la sintonía de controladores PID	23
1.10.1. Primer método.....	23
1.10.2. Segundo método.....	25
1.11. Conclusiones del capítulo	27
CAPITULO 2.....	28
2. METODOLOGÍA.....	28
2.1. Enfoque, nivel y alcance de la investigación	28
2.2. Localización geográfica del campo petrolero	30
2.3. Determinación y operacionalización de variables	31
2.4. Matriz de operacionalización de variables.....	32
2.5. Proceso de separación del crudo, gas y agua en el campo petrolero	34

2.5.1. Proceso de Separación de crudo	35
2.5.2. Proceso de separación de agua.....	36
2.5.3. Proceso de separación de gas.....	37
2.6. Descripción de equipos de la planta de deshidratación	38
2.6.1. Separador de agua libre (Free water knockout FWKO).....	38
2.6.2. Separador de Producción.....	40
2.6.3. Deshidratador electrostático.....	42
2.6.4. Tanque de crudo.....	43
2.6.5. Sistema de control planta de deshidratación	45
2.7. Instrumentación y sistemas de control.....	47
2.7.1. Transductor	47
2.7.2. Transmisor	47
2.7.3. Transmisor de presión	48
2.7.4. Elemento de control final	48
2.7.5. Válvula de control.....	49
2.8. Controladores lógicos programables (PLCs).....	50
2.9. PLC Micrologix 1100 de Allen Bradley.....	50
2.9.1. Tarjeta 1762-IF2OF2 Modulo de expansión I/O	52
2.9.2. Programa RSlogix 500	52
2.9.3. Programa RSLinx.....	54
2.10. Programa de interfaz RSVIEW32 (HMI).....	54
2.11. Diagrama de bloques del sistema de control de agua.....	55
2.12. Conclusiones del capítulo.....	55
CAPITULO 3.....	56
3. CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS	56
3.1. Construcción del banco de pruebas del control de nivel.....	56
3.1.1. Diagrama general del prototipo de control de nivel.....	56

3.1.2. Elementos componentes del sistema.....	58
3.1.3. Bomba de agua marca Pedrollo PKm 60-MD	59
3.1.4. Válvula de control de nivel	60
3.1.5. Tanque de agua para control de nivel	61
3.1.6. Transmisor inteligente de presión SMAR LD-301	62
3.2. Diagrama del sistema eléctrico del banco de pruebas de control	63
3.3. Elementos del sistema de control de nivel.....	64
3.3.1. PLC Micrologix 1100 de Allen Bradley	65
3.3.2. Configuración de la tarjeta 1762-IF2OF2 Modulo de expansión I/O.....	65
3.3.3. Programa para el lazo de control de nivel.....	67
3.4. Configuración del HMI en el sistema RSVIEW 32.....	67
3.5. Ensayos para sintonización de control de nivel	69
3.5.1. Lazo abierto método de Ziegler-Nichols	69
3.5.2. Lazo cerrado método de Ziegler-Nichols	71
3.5.3. Ensayo 3.....	73
3.5.4. Ensayo 4.....	74
3.6. Análisis de resultados	75
3.7. Propuesta.....	77
3.7.1. Título de la Propuesta	77
3.7.2. Justificación	77
3.7.3. Objetivo.....	78
3.7.4. Desarrollo de la propuesta	78
3.7.5. Presupuesto de la propuesta	79
3.8. Conclusiones Capitulo 3	80
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES.....	82
BIBLIOGRAFÍA	83

ANEXOS	85
ANEXO A. Bomba-Motor PEDROLLO	85
ANEXO B. Válvula TCrystal con actuador TCN-02T	88
ANEXO C. Transductor PALADIN CA 0-5 amp a DC 4 a 20 mA.	90
ANEXO D. Interruptor principal 110 VCA/10 amperios	91
ANEXO E. Conversor G408 de 4 - 20 mA a 0 – 10 VCA	92
ANEXO F. Programación RSLOGIX 500.....	95
ANEXO G. Pantallas del HMI.....	102
ANEXO H. Validación de la propuesta y validación del instrumento	103

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1. Tipos de crudo según gravedad API.....	10
TABLA 1.2. Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método).	25
TABLA 1.4. Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la ganancia crítica K_{cr} y periodo crítico P_{cr} (segundo método).	26
TABLA 2.1. Instrumentos usados para observación de laboratorio.	29
TABLA 2.2. Variable independiente.	33
TABLA 2.3. Variable Dependiente.	34
TABLA 2.4. Características de los separadores de agua libre.....	38
TABLA 2.5. Elementos de control y monitoreo free water knockout.	39
TABLA 2.6. Características del Separador de Producción.....	40
TABLA 2.7. Características del deshidratador.	42
TABLA 2.8. Elementos de control y seguridad de la deshidratadora.	43
TABLA 2.9. Características de los tanques de crudo.	44
TABLA 2.10. Elementos de control y seguridad de los tanques de crudo.	44
TABLA 3.1. Componentes del sistema de control de nivel.....	58
TABLA 3.2. Constantes K_C , T_I encontradas por el método de lazo cerrado.....	72
TABLA 3.3. Valores de corriente V_s Setpoint para 5 puntos diferentes.....	73
TABLA 3.4. Presupuesto de la propuesta con el costo de cada elemento.....	79

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1.1. Ecuación de la gravedad específica.....	11
ECUACIÓN 1.2. Función de transferencia método 1 de Ziegler-Nichols.	24
ECUACIÓN 1.3. Ganancia de primer método de Ziegler-Nichols.	25
ECUACIÓN 1.4. Ganancia de segundo método de Ziegler-Nichols.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. Reservorio de Petróleo	9
FIGURA 1.2. Separador de agua libre.....	14
FIGURA 1.3. Separador de Producción.	15
FIGURA 1.4. Deshidratador electrostático.....	16
FIGURA 1.5. Bota desgasificadora.	16
FIGURA 1.6. Tanque de almacenamiento de crudo.....	17
FIGURA 1.7. Instalación experimental para monitoreo y control de presión.	18
FIGURA 1.8. Prototipo para control automático de nivel y caudal de líquidos.....	19
FIGURA 1.9. Lazos de control planta deshidratación.....	22
FIGURA 1.10. Curva de respuesta en forma de S.....	24
FIGURA 1.11. Oscilación sostenida con periodo Pcr (Pcr se mide en seg.).....	26
FIGURA 2.1. Ubicación geográfica del campo Petrolero	31
FIGURA 2.2. Matriz causa efecto: Árbol de problemas relacionado al proceso.	32
FIGURA 2.3. Esquema del proceso de producción de crudo.....	35
FIGURA 2.4. Planta de separación NPF Repsol.	35
FIGURA 2.5. Diagrama del sistema de agua.....	37
FIGURA 2.6. Gas Generación.....	38
FIGURA 2.7. Arquitectura del Sistema PlantScape Process de Honeywell.....	46
FIGURA 2.8. Partes de transmisor de presión.....	48
FIGURA 2.9. Partes de una válvula de control.	49
FIGURA 2.10. Partes de un Micrologix 1100.....	51
FIGURA 2.11 Módulo de expansión I/O 1762-IF2OF2.....	52
FIGURA 2.12. Vista principal del software RSLogix 500.....	53
FIGURA 2.13. Diagrama de bloques sistema de control de nivel de agua.	55
FIGURA 3.1. Diagrama general del banco de pruebas del control de nivel.	56
FIGURA 3.2. Ilustración de banco de pruebas de control de nivel.	57
FIGURA 3.3 Despiece bomba Pedrollo Pkm-60-MD.....	59
FIGURA 3.4. Curva y datos de prestaciones bomba Pkm-60-MD.....	60
FIGURA 3.5. Válvula de bola de ½” con actuador TCN-02T.....	61
FIGURA 3.6. Tanque para control de nivel UTC.....	62
FIGURA 3.7. Transmisor inteligente de presión SMAR LD-301.....	63

FIGURA 3.8. Diagrama eléctrico del banco de pruebas de control.....	64
FIGURA 3.9. Configuración de tarjeta 1762-IF2OF2 en el Micrologix 1100.....	66
FIGURA 3.10. Configuración de tarjeta 1762-IF2OF2 en el Micrologix 1100.....	66
FIGURA 3.11. Datos del Setup PID del ladder de nivel.	67
FIGURA 3.12. RSVIEW 32 Pantalla principal del sistema.	68
FIGURA 3.13. RSVIEW 32 Pantalla principal de control de nivel.	69
FIGURA 3.14. Curva lazo abierto control de nivel.....	70
FIGURA 3.15. Curva lazo abierto Ziegler-Nichols.....	70
FIGURA 3.16. Curva de oscilación lazo cerrado control de nivel.	71
FIGURA 3.17. Curva del sistema con los valores de K_c y T_i encontrados.....	72
FIGURA 3.18. Curva uno del sistema con valores de $K_c=8$ y $T_i=3$	73
FIGURA 3.19. Curva dos del sistema con valores de $K_c=8$ y $T_i=3$	74
FIGURA 3.20. Curva dos del sistema con valores de $K_c=9$, $T_i=0.9$ y $T_d=0.1$	74
FIGURA 3.21. Respuesta de variable con sobreelongación menor al 25%.	75
FIGURA 3.22. Respuesta de la corriente en función de la variable.	76

INTRODUCCIÓN

El fluido trifásico; crudo, agua y gas extraído de los pozos mediante bombas electro sumergibles llega al cabezal de pozo y con su respectiva línea de flujo es direccionada hasta la planta de deshidratación en donde dispone de equipos que realizan la separación del agua y gas para posteriormente el producto final que es el crudo y bajo especificaciones de BSW es entregado en los puntos de recepción SOTE y OCP.

La separación física de las fases crudo, agua y gas es una de las operaciones esenciales en la producción, tratamiento, transporte de petróleo. Si la calidad de una de las fases es deficiente, los fluidos que salen del proceso generan diversos problemas como formación de líquidos en el transporte de gas, vaporización de livianos durante el transporte del petróleo, altos costos en el tratamiento del agua en los residuales de aceite.

Los equipos de separación a través del control de nivel hacen que el sistema tenga un control de las fases estable sin la acumulación de partículas de crudo en el agua, evitando el arrastre de líquidos por el sistema de gas y obteniendo el crudo con un BSW menor al 0,5%

Una de las principales causas de tener un proceso de separación de petróleo inestable es tener un sistema de control de nivel mal sintonizado, transmisores, controladores y elementos de control final des-calibrados.

Los principales efectos por tener un lazo de control mal sintonizado, es la pérdida de energía a través de quema de gas en los mecheros, gas pobre para generación, pérdida de producción, daños a equipos e instalaciones, contaminación ambiental, daños a los seres humanos.

Para hacer el análisis del control de nivel se construirá un prototipo en donde los resultados obtenidos aportarán para realizar una sintonización óptima del lazo de control de nivel, de esta manera evitamos realizar pruebas en campo lo que podría ocasionar inestabilidad del proceso, causando daño en los equipos, pérdidas de energía y pérdidas de producción.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las plantas de separación de petróleo, el control de nivel en el proceso es muy importante e influye directamente en la eficiencia del proceso, este proyecto está orientado a realizar un

estudio completo para encontrar el punto de máxima eficiencia de los lazos de control de nivel así como de los componentes asociados a este.

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

Para el aprendizaje del funcionamiento de los sistemas de control, es necesario disponer de un prototipo donde se pueda experimentar y practicar con sistemas reales y que no se puede hacer en una operación real por razones como paradas de planta, incidentes de procesos como incendios, pérdida de generación a gas, daños a equipos de generación a gas y otros.

JUSTIFICACIÓN

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

Para realizar esta investigación se necesita construir un prototipo de sistema de control de nivel con elementos industriales que simulen un proceso real, en este se podrá realizar diferentes ensayos que nos ayudarán a encontrar los valores de sintonización más apropiados para nuestro proceso.

Con el sistema de control implementado se realizarán varios ensayos con el sistema de control de nivel, en los que se obtendrán datos de consumo de energía del proceso. Esta evaluación de energía permitirá verificar cómo afecta el control de nivel en el consumo energético y se determinará el mejor punto de trabajo para una máxima eficiencia del sistema.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La Ineficiencia en el proceso de deshidratación de petróleo es causada por la inestabilidad del control de nivel ocasionando pérdidas de producción en las plantas de producción en los campos petroleros.

DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo incide el control de nivel en la eficiencia energética del proceso de deshidratación de petróleo en los campos petroleros del Oriente Ecuatoriano, ubicadas en la Provincia Francisco de Orellana?

OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN

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

CAMPO DE ACCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Automatización y control de nivel en el proceso de deshidratación de petróleo en el campo petrolero.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

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

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

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

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

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

HIPÓTESIS

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

ENFOQUE, NIVEL Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

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

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

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

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

El nivel del tipo de la investigación es:

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

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

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

Los Métodos de investigación utilizados son:

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

Observación.- Se observará en el lugar del proceso de separación de petróleo, la cual tiene un proceso de separación de petróleo con varios separadores de producción, separadores de

prueba y scrubbers de agua y gas que facilitan el tratamiento del fluido trifásico que llega de los pozos productores.

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

El levantamiento de información del ingreso de fluido y la producción que entrega finalmente el control de proceso, mediante programas aplicativos, considerando las características de fluido que tiene los pozos de producción del campo petrolero.

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

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

FACTIBILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

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

Para el sistema hidráulico se podría usar tubería de plástico de alta calidad para presiones de hasta 150 PSI, una motobomba de 0.5 HP con hidro-tanque. El recipiente donde se realizará el control será un tanque de 54.000 cm³. Todos los elementos se pueden encontrar localmente, pero la válvula y el transmisor se pueden comprar a través del internet con procedencia de Estados Unidos y la China.

La estructura donde se montará todos los dispositivos se puede construir en mecánicas industriales de la localidad.

El transformador de corriente, el PLC, y el resto de elementos eléctricos son de compra local.

CAPITULO 1

1. MARCO TEORICO

Los sistemas de control en general serán descritos en este trabajo para poder comprender el comportamiento del lazo de control de nivel.

Se describirá paso a paso la construcción del prototipo de control de nivel sus componentes

1.1. Marco legal referente a la investigación

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

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

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

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

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

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

de la industria hidrocarburífera, cuyo literal e) Establece que es atribución de la ARCH, la aplicación de multas y sanciones por las infracciones en cualquier fase, los incumplimientos a los contratos y las infracciones a la Ley de Hidrocarburos y a sus Reglamentos, (Ley de hidrocarburos, 2011).

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

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

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

La optimización del control de nivel en plantas de deshidratación de petróleo minimizará inconvenientes con el transporte puesto que si excede el valor de 0,5% de BSW el OCP y SOTE negará la recepción del crudo lo que implicaría problemas de reducción o limitación de producción.

1.2. El Petróleo

“El petróleo (aceite de piedra, del latín *petra* = piedra y *oleoum* = (aceite) es una mezcla compleja y variable de hidrocarburos, con proporciones menores de nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂) y azufre (S)” (DOMENECH, X. 1994).

El petróleo es la fuente de energía más importante en la actualidad; es materia prima en numerosos procesos de la industria química.

El origen del petróleo es similar al del carbón. Se hallan en las rocas sedimentarias, y el petróleo procede de la descomposición de materia orgánica especialmente de restos de animales y grandes masa de plantón en un medio marino.

Su explotación es un proceso costoso que sólo está al alcance de grandes empresas.

“El petróleo es un líquido de color oscuro, aspecto aceitoso, olor fuerte y densidad comprendida entre 0´8 y 0´95. Está formado por una mezcla de hidrocarburos”. (Pardo Bazán 1984).

”Las principales características físicas de los petróleos crudos son la densidad, la viscosidad, la solubilidad, la fluorescencia, la resistividad, la constante dieléctrica y el índice de refracción, el contenido de impurezas, entre las más importantes” (FONCIED, 1998).

El descubrimiento y el uso del petróleo es muy importante debido a su impacto económico que tiene en el desarrollo de las naciones y su crecimiento económico,

Como se puede apreciar en la figura 1.1 se puede observar la disposición del petróleo en el subsuelo.

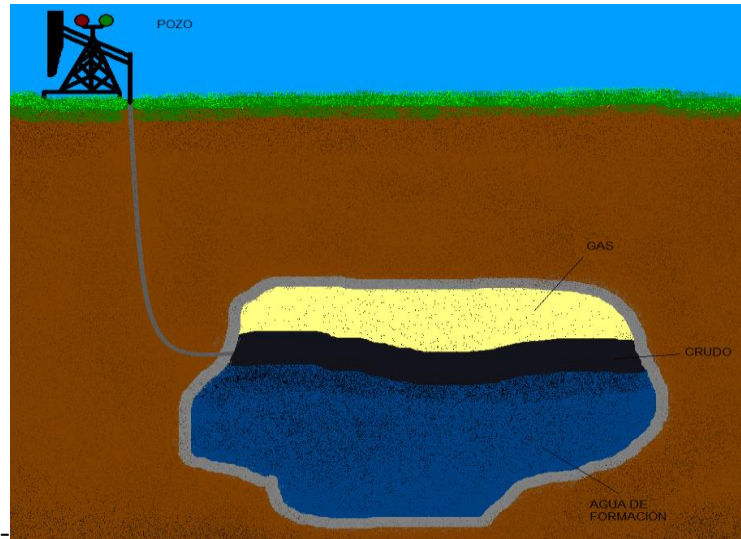


FIGURA 1.1. Reservorio de Petróleo

Fuente: (REPSOL 2017)

1.2.1. Tipos de petróleo crudo según grado API

El petróleo en su estado natural se le denomina crudo y se clasifica según su referencia de mercado (origen), su contenido en azufre o su grado API. La gravedad API (del inglés: American Petroleum Institute) es un método de clasificación según la densidad (viscosidad y fluidez) del crudo en comparación con el agua a temperaturas iguales. De esta forma la densidad API es la medida inversa a su gravedad específica respecto al agua (Melvin Nava 2014).

A pesar que se trata de una cantidad sin peso ni dimensiones, la medida se refiere en "grados" y se mide a través de un densímetro. Un índice superior a 10 implica que el crudo es más liviano que el agua, por lo que flota sobre ella. Esta clasificación es más práctica que teórica, ya que no toma en cuenta la composición real u otras características del crudo (cómo su contenido en azufre) aparte de su fluidez y viscosidad. Más bien se utiliza para catalogar y establecer el precio del crudo considerando factores que determinan su capacidad para la extracción, transporte y refinación (Melvin Nava 2014).

Mientras mayor sea la viscosidad del crudo (menor gravedad API) es también más difícil de extraer, transportar y refinar para la obtención de sus derivados (Melvin Nava 2014). Según sus grados API, el crudo se clasifica en:

TABLA 1.1. Tipos de crudo según gravedad API.

Fuente: (Melvin Nava 2014)

Crudo	Escala API	Densidad	Descripción
Ligero	30-40°	0.87 - 0.83 g/cm ³	Fácil transporte y extracción, ideal para refinar en combustibles y derivados.
Mediano	22-29.9°	0.92 - 0.87 g/cm ³	Fácil transporte y extracción, ideal para combustibles y derivados.
Pesado	10-21.9°	1.00 - 0.92 g/cm ³	Fácil transporte y difícil extracción, ideal para combustibles y derivados.
Extra-pesados	Menos 10°	> 1.00 g/cm ³	Difícil transporte y difícil extracción, ideal para derivados.

1.2.2. Clases de crudo en Ecuador

El país exporta dos tipos de crudo “oriente” y “napo”, denominados así por su origen de producción; sus contenidos de azufre, oleoductos por los cuales se transporta (SOTE) u (OCP) y sobre todo por su calidad en grados API (American Petroleum Institute) que mide si el crudo es más liviano o más pesado, en relación con la densidad del agua (Villagómez 2014).

El crudo oriente es de mejor calidad, de 23 a 24 grados API y con un contenido de azufre de 1.45%; lo produce PETROAMAZONAS EP y se transporta desde el oriente por el Oleoducto Transecuatoriano SOTE, mientras que el crudo napo es más pesado; entre 18 y 21 grados API y su contenido de azufre es de 2.10%; lo producen las contratistas privadas y se transporta por el Oleoducto de Crudos Pesados OCP. La calidad de los crudos incide en el precio de venta, pues dependiendo de la calidad, el proceso de refinación y el transporte por oleoductos genera más o menos costo (Villagómez 2014).

1.2.3. Propiedades Físicas del petróleo

1.2.3.1. Coloración. El color del petróleo varía del amarillo al rojo pardo, siendo las clases más oscuras, opacas. Los aceites de bajo peso específico son amarillos, los medianos ámbar, y los aceites más pesados son oscuros. Por luz reflejada, el aceite crudo es usualmente verde, debido a la fluorescencia. Por lo general, su tonalidad se oscurece con el aumento de su peso específico, que se incrementa al aumentar su porcentaje de asfalto. Los hidrocarburos puros son incoloros, pero a menudo se colorean por oxidación, especialmente los no saturados. Los

compuestos que dan color pertenecen a la clase de los hidrocarburos aromáticos; el color depende de su estructura molecular (López 2008).

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

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

1.2.3.4. Viscosidad: La viscosidad de los crudos varía ampliamente. Una baja viscosidad indica generalmente alto rendimiento en nafta o diésel, y una alta viscosidad indica alto rendimiento en asfalto, pero en ningún caso da indicación de calidad.

Como se citó anteriormente, la viscosidad es la resistencia al flujo que presenta todo fluido, esta resistencia al flujo es generada por la fricción interna de las moléculas del fluido. La viscosidad del petróleo crudo depende de los compuestos que lo conforman, la gravedad API, la temperatura, la presión y el gas que éste contenga en solución. La viscosidad es uno de los factores que afecta directamente las pérdidas de presión de un fluido que es transportado a través de una cañería. El empleo de químicos reductores de viscosidad disminuye la energía que debe entregar la bomba al fluido para el transporte. (REPSOL 2017).

1.2.3.5. La Densidad: La gravedad API es una medida basada en la gravedad específica de un líquido y se calcula por la expresión:

ECUACIÓN 1.1. Ecuación de la gravedad específica.

Fuente: (REPSOL 2017)

$$\text{Gravedad, (Grados)}^\circ \text{ API} = \frac{141.5}{\text{Gravedad Específica}(60/60^\circ\text{F})} - 131.5$$

La gravedad específica es la relación entre la densidad del líquido con respecto a la densidad del agua medidas a las mismas condiciones de presión y temperatura. La gravedad específica

60/60 se refiere a que las densidades, tanto del líquido como del agua, fueron tomadas a 60°F y a la misma presión.

Este método está basado en el principio de que la gravedad de un líquido varía directamente con la profundidad de inmersión de un cuerpo flotante en el mismo. El cuerpo flotante está graduado en unidades API y se denomina Hidrómetro API. La gravedad API se lee observando la graduación más cercana a la intersección aparente del plano horizontal de la superficie del líquido con la escala vertical del hidrómetro. Las gravedades se determinan a 60 ° F o, se convierten a valores a 60 °F por aplicación de tablas estándar (REPSOL 2017).

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

1.2.3.7. Poder calorífico: Está comprendido entre las 9000 y 12000 calorías. Éste disminuye al aumentar la densidad. Ejemplo:

Para una densidad de 0,815 Kgr./lt. Es igual a 11000 Cal/lt..

Para una densidad de 0,915 Kgr./lt. Es igual a 10700 Cal/lt..

1.3. Proceso de deshidratación del petróleo

El crudo proveniente de los pozos productores llega a sus respectivos recibidores, para posteriormente dirigirse hacia los trenes de deshidratación que posee la planta. El crudo proveniente de los pozos se direcciona inicialmente hacia los separadores de agua libre donde se producirá una separación trifásica (gas, agua y crudo), obteniéndose como resultado de esta separación; un crudo con un BSW entre 6% y 10%. Posteriormente, el crudo ingresa a un intercambiador de calor en donde se incrementará su temperatura, disminuyendo así su viscosidad, lo cual favorecerá una mayor separación del agua libre en el separador de producción. Seguidamente, ingresa al separador de producción donde igualmente se separan tres fases (gas, agua y crudo) obteniéndose a la salida un crudo con un corte de agua de alrededor del 2% al 5%. A continuación, el crudo separado se dirige a un deshidratador donde se produce una separación bifásica (agua y crudo) que está sometido a un campo electromagnético el cual afectará en la polaridad de las moléculas de agua y hará que estas se

junten y decanten, logrando así la separación final del crudo, obteniéndose un BSW menor a 0.5%.

El crudo o petróleo resultante de este proceso de deshidratación se dirige hacia las botas desgasificadoras donde ingresan por su parte superior y va descendiendo a través de unas bandejas para lograr la separación del gas disuelto, para posteriormente dirigirse a los tanques de almacenamiento. El crudo es tomado de los tanques por bombas booster las cuales alimentan a las bombas de transferencia que se encargarán de bombear el crudo hacia los puntos de entrega y fiscalización con el estado (REPSOL 2017).

1.3.1. Sistema de tratamiento de crudo

Cada tren de tratamiento consta de: separador de agua libre, intercambiador de calor, separador de producción y deshidratador electrostático.

1.3.2. Separador de agua libre

Este es un separador trifásico el cual opera por diferencia de densidades el crudo, el agua que se encuentra en estado libre y el gas, manteniendo parámetros adecuados de niveles a través del controlador de nivel LIC, así como la presión con un controlador PIC.

El fluido ingresa al separador y choca con una placa deflectora, ocasionando que el crudo, agua y gas rompan la emulsión y se separen. Si el agua y el crudo no están emulsionados, el agua caerá al fondo del recipiente y el crudo se depositará sobre el agua, el gas fluirá hacia la salida de gas en la parte superior.

Este equipo separa la mayor cantidad de agua de formación y gas. El valor del BSW del crudo saliente esta alrededor de un 20%.El gas liberado en este equipo es utilizado como combustible para los generadores de energía eléctrica (Generadores Waukesha). (Repsol 2017)

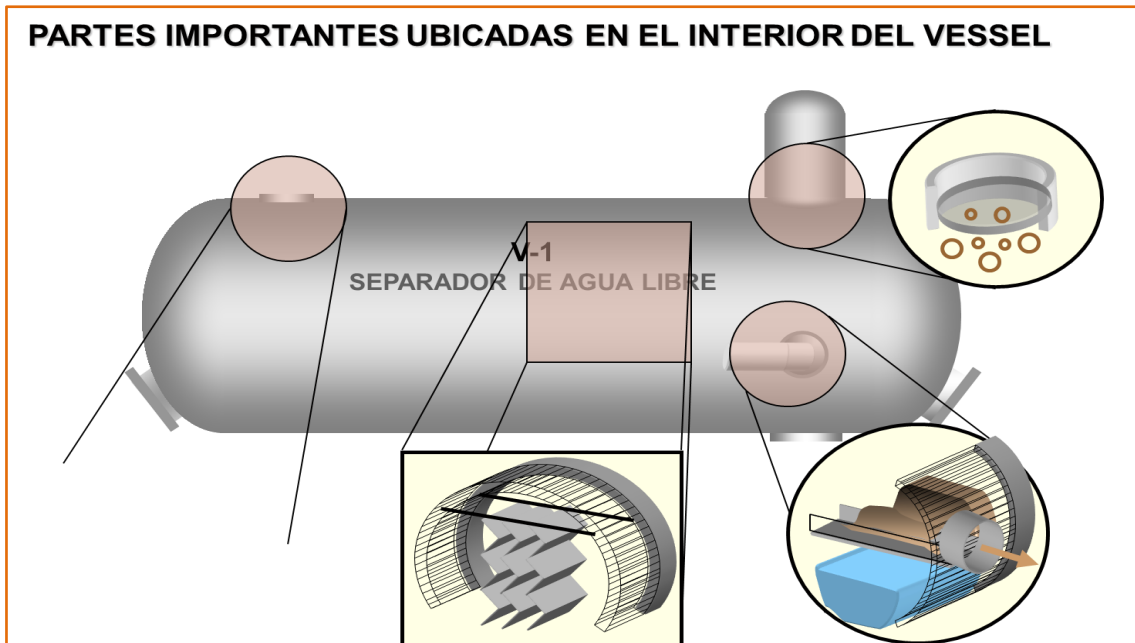


FIGURA 1.2. Separador de agua libre.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017.

1.3.3. Separador de Producción

Al igual que el separador de agua libre, es un equipo que opera con las 3 fases: Petróleo, agua y gas, separando las mismas en 3 corrientes diferentes.

El fluido que ingresa a este equipo proviene del intercambiador de calor en donde se ha elevado su temperatura, lo cual facilita la separación entre el agua y el petróleo crudo.

El control de niveles se realiza con un LIC, y el control de presión con un PIC.

El gas liberado en este equipo es utilizado como combustible para los generadores de energía eléctrica (Generadores Waukesha y turbina), y el gas remanente es quemado en la tea.

El crudo pasa al siguiente equipo de tratamiento realizando un control del porcentaje de agua contenida en el aceite BS&W. (Repsol 2017).

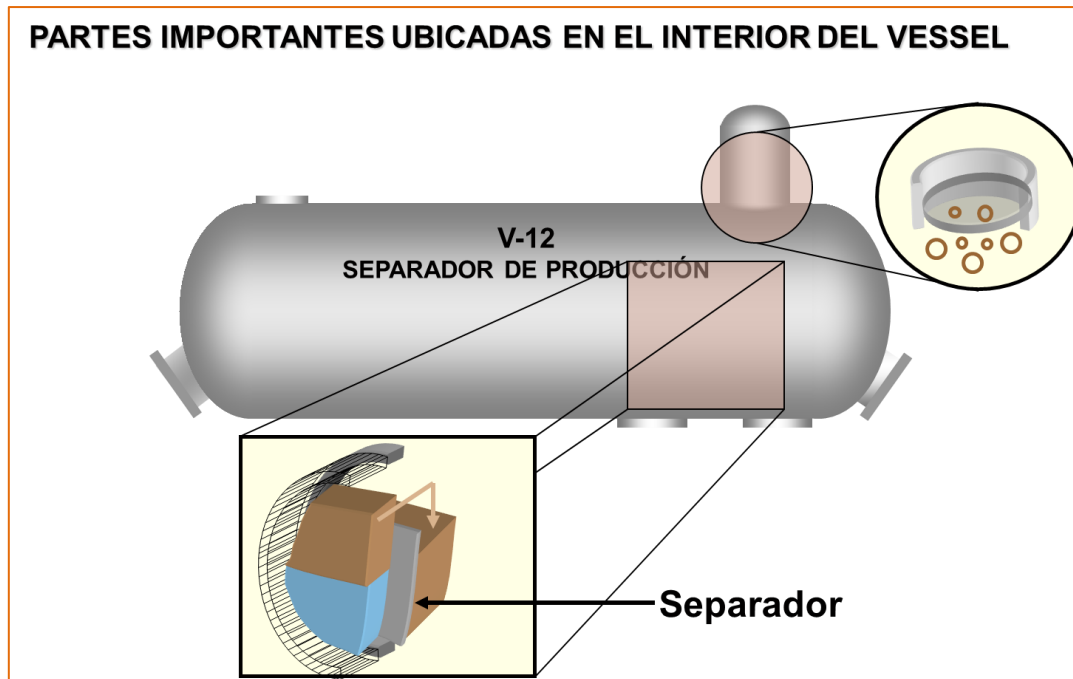


FIGURA 1.3. Separador de Producción.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017.

1.3.4. Deshidratador electrostático

El separador electrostático separa las últimas moléculas de agua del crudo mediante el funcionamiento de un sistema de transformadores que elevan a un alto potencial, el cual se rectifica obteniendo corriente continua que alimenta a dos parrillas de polaridad opuesta; y debido a la bipolaridad de las moléculas de agua, estas son atraídas a los polos opuestos ocasionando un choque entre sí, lo que permite formar moléculas de mayor peso y facilitar la precipitación, formando un nivel que es controlado por un LIC.

El crudo que sale de este separador debe tener un BS&W igual o menor a 0.5 % para ser considerado como crudo dentro de especificación de despacho.

Este fluido es conducido a los tanques de almacenamiento y posteriormente entregado al estado a través de los puntos de fiscalización (Repsol 2017).

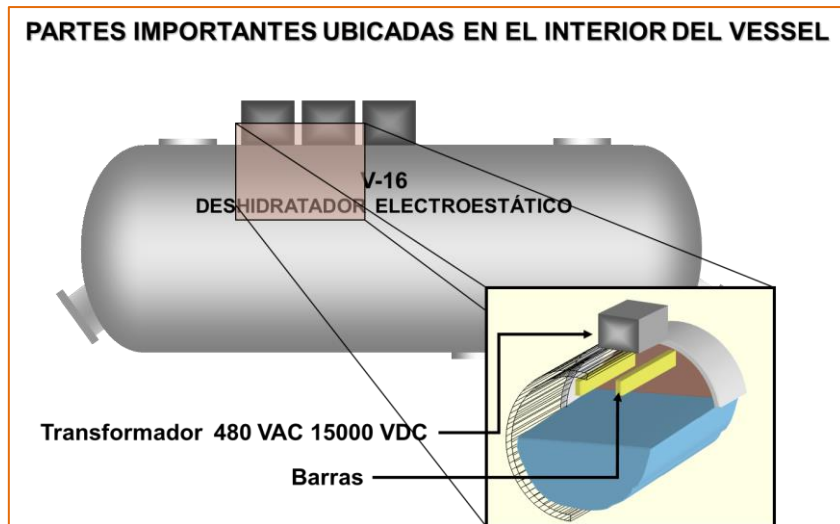


FIGURA 1.4. Deshidratador electrostático.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017.

1.3.5. Bota Desgasificadora

El crudo proveniente de la deshidratadora ingresa en estos equipos y el gas que se encontraba disuelto es liberado por un proceso de expansión brusca. Las botas internamente tienen unas placas colocadas en diferentes niveles y de forma alternada que facilitan la separación del gas. El crudo es direccionado hacia los tanques y el gas es direccionado a un sistema de recuperación de baja presión para luego ser usado en generación eléctrica.

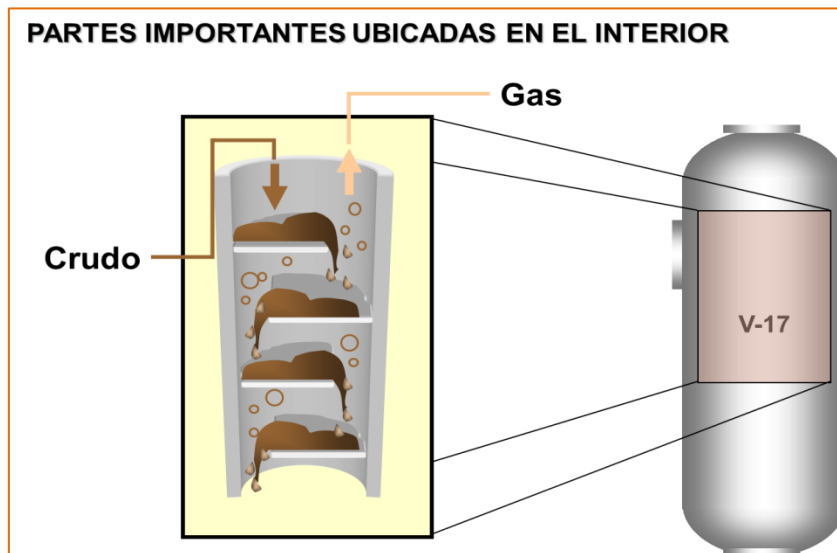


FIGURA 1.5. Bota desgasificadora.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017.

1.3.6. Tanques de almacenamiento

El principal objetivo de estos equipos es almacenar el crudo tratado, el mismo que está en condiciones adecuadas para su entrega, esto es, con un BSW menor al 1% y un grado API alrededor de 15°API. Estos tanques tienen un principio de funcionamiento que separan el ultimo contenido de gas en el fluido a través de mecanismos de agitación del fluido que disponen en su interior, esta gas recuperado en los tanques será tratado a través del sistema de recolección de gas de baja presión y será enviado para combustible de generación eléctrica

Los componentes del tanque de almacenamiento son:

- Sistema de calentamiento con aceite térmico (190-200 °F).
- Agitador.
- Sistemas de seguridad.

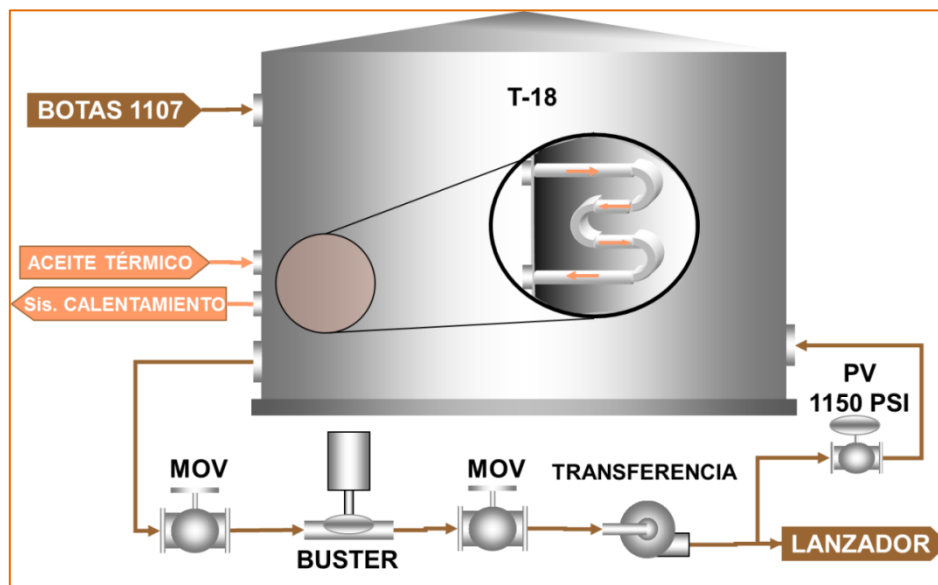


FIGURA 1.6. Tanque de almacenamiento de crudo.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017.

1.4. Controladores

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

Existen dos clases comunes de sistemas de control, sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado. En los sistemas de control de lazo abierto la salida se genera dependiendo de la

entrada; mientras que en los sistemas de lazo cerrado la salida depende de las consideraciones y correcciones realizadas por la retroalimentación. Un sistema de lazo cerrado es llamado también sistema de control con realimentación. Los sistemas de control más modernos en ingeniería automatizan procesos sobre la base de muchos parámetros y reciben el nombre de controladores de automatización programables (PAC).

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

La réplica de la construcción industrial se construye como una instalación experimental a escala de laboratorio como se muestra en la Figura 1.7. La instalación incluye la bomba, para bombear el aceite desde el nivel subterráneo (por debajo del nivel del mar), por las tuberías para un eficiente transmisión de largo alcance (hasta 9 km de longitud), sensor de presión analógico, sensor de flujo analógico y manómetros (Shijiu, Lining, & Jian, 1998). Las válvulas de control se implementan a lo largo del sistema de tubería de transporte además del sensor de flujo analógico. Para controlar el propósito, la configuración se ha interconectado con el Micrologix 1400 PLC, el cual está programado con el controlador PID. (**Journal of Applied Research and Technology 14 (2016) Pag. 126**)

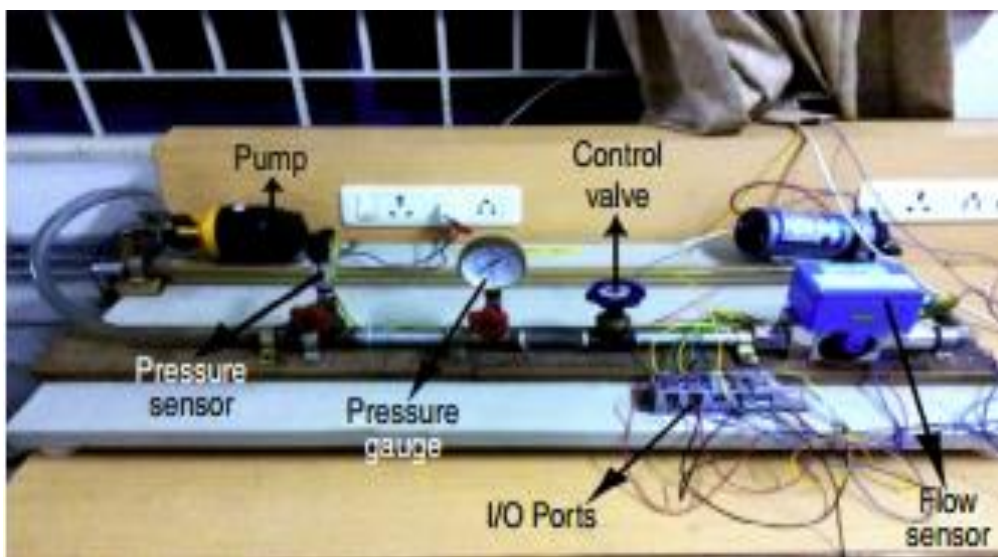


FIGURA 1.7. Instalación experimental para monitoreo y control de presión.

Fuente: ((E.B. Priyanka, 2016)).

En esta publicación se tiene la construcción de una réplica de control PID de un lazo de control para encontrar la mejor eficiencia de transferencia de flujo de un sistema de bombeo de aceite. Esto nos da una buena referencia para poder construir un prototipo de control de nivel para analizar la eficiencia de los sistemas de separación en los campos petroleros.

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

Automatizar un proceso tiene como finalidad volverlo constante, es decir, repetitivo sin el manejo del operador; para que logre esta función, el hombre únicamente interfiere en el proceso mediante un HMI (interfaz hombre- máquina), siempre y cuando sea necesario realizar algún cambio en cualquiera de las variables de proceso, de lo contrario el sistema SCADA1 solamente recabará información sobre el desarrollo del proceso con esto se hará mucho más fácil la detección de fallas y su rápida solución.

El prototipo construido da la facilidad al estudiante de cambiar los valores de las variables de un proceso y obtener diferentes resultados de control con pequeñas variaciones de acuerdo al algoritmo de control cargado al PLC. La meta es conseguir la mayor exactitud posible en el control de nivel, caudal y volumen, sin sacrificar excesivamente la velocidad que debe guardar el proceso. (INGENIUS N° 6, julio/diciembre de 2011, Página 10-11).



FIGURA 1.8. Prototipo para control automático de nivel y caudal de líquidos.

Fuente: (INGENIUS N° 6, julio/diciembre de 2011, Página 10).

Este artículo nos brinda detalles técnicos y una visión general de cómo podemos hacer nuestro proto-tipo de control de nivel y realizar varios ensayos en laboratorio con el objetivo de encontrar varias alternativas de control y eficiencia en los sistemas de deshidratación de petróleo. En el caso del prototipo del artículo se ha optado por realizar el programa con el lazo de control PID debido al requerimiento de exactitud que requiere un equipo de laboratorio.

1.7. Tipos de sistemas de control

Los sistemas de control son agrupados en tres tipos básicos:

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

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

1.7.3. Cuyos componentes están unos hechos por el hombre y los otros son naturales. Se encuentra el sistema de control de un hombre que conduce su vehículo. Éste sistema está compuesto por los ojos, las manos, el cerebro y el vehículo. La entrada se manifiesta en el rumbo que el conductor debe seguir sobre la vía y la salida es la dirección actual del automóvil. Otro ejemplo puede ser las decisiones que toma un político antes de unas elecciones. Éste sistema está compuesto por ojos, cerebro, oídos, boca. La entrada se manifiesta en las promesas que anuncia el político y la salida es el grado de aceptación de la propuesta por parte de la población.

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

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

1.8. Características de los sistemas de control automático

1. Señal de Corriente de Entrada: Considerada como estímulo aplicado a un sistema desde una fuente de energía externa con el propósito de que el sistema produzca una respuesta específica.
2. Señal de Corriente de Salida: Respuesta obtenida por el sistema que puede o no relacionarse con la respuesta que implicaba la entrada.
3. Variable Manipulada: Es el elemento al cual se le modifica su magnitud, para lograr la respuesta deseada. Es decir, se manipula la entrada del proceso.
4. Variable Controlada: Es el elemento que se desea controlar. Se puede decir que es la salida del proceso.
5. Conversión: Mediante receptores se generan las variaciones o cambios que se producen en la variable.
6. Variaciones Externas: Son los factores que influyen en la acción de producir un cambio de orden correctivo.
7. Fuente de Energía: Es la que entrega la energía necesaria para generar cualquier tipo de actividad dentro del sistema.
8. Retroalimentación: La retroalimentación es una característica importante de los sistemas de control de lazo cerrado. Es una relación secuencial de causas y efectos entre las variables de estado. Dependiendo de la acción correctiva que tome el sistema, este puede apoyar o no una decisión, cuando en el sistema se produce un retorno se dice que hay una retroalimentación negativa; si el sistema apoya la decisión inicial se dice que hay una retroalimentación positiva.
9. Variables de fase: Son las variables que resultan de la transformación del sistema original a la forma canónica controlable. De aquí se obtiene también la matriz de controlabilidad cuyo rango debe ser de orden completo para controlar el sistema.

1.9. Lazos de control usados en proceso de deshidratación de petróleo

1.9.1. LIC Controlador indicador de nivel

El nivel de la fase crudo en el separadores es censada y controlada por el LIC/LIT-9A, el mismo que controlará la válvula LV-9A ubicada en la salida de fluido de los separadores, la señal que llegue a la válvula será neumática luego de pasar por un convertidor I/P (corriente-

presión). El fluido crudo será movilizadado por la presión del recipiente hacia la siguiente etapa de separación del fluido.

El agua que se decanta hacia el fondo del separador, es desalojada del recipiente por medio de control de nivel LT/LIC-6A, el mismo que transmitirá su señal para que actúe la válvula de control LV-6A, la señal que llegue a la válvula será neumática luego de pasar por un convertidor I/P. El fluido agua será movilizadado por la presión del recipiente hacia el cabezal de agua y a través de estos hacia el sistema de tratamiento de agua.

1.9.2. PIC Controlador indicador de presión

La presión de los recipientes se controlará por medio del PIC/PIT-13A, el mismo que transmitirá su señal para que actuara la válvula de control PV-13A, la señal que llegue a la válvula será neumático luego de pasar por un convertidor I/P. El fluido gas será movilizadado por la presión del recipiente hacia el sistema de recolección de gas para generación Scrubber de Fuel Gas V-30.

La presión de operación normal del V- 1 será de 45 PSIG. · En la línea de gas también se tiene otra válvula automática de sobre presión que es controlada por el PIT/PIC/PV-8A, que al detectar una presión mayor a 60 PSIG alivia la presión hacia el cabezal de tea.

Si la presión en los recipientes es mayor a 100PSI actuaran válvulas de seguridad de presión aliviando el gas a la tea.

A continuación se detalla un sistema de control con sus principales componentes:

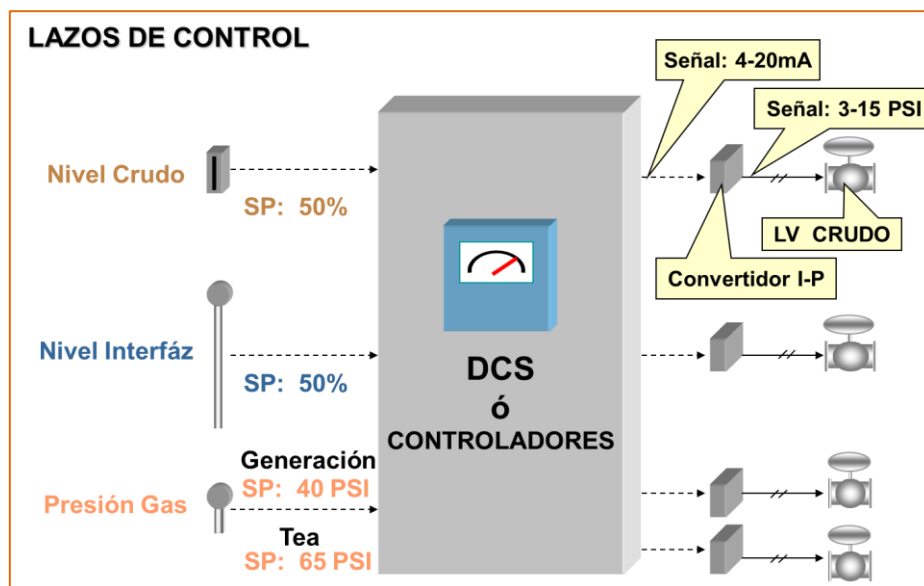


FIGURA 1.9. Lazos de control planta deshidratación.

Fuente: Franklin Vásquez, 2016

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

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

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

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

Hay dos métodos denominados reglas de sintonía de Ziegler-Nichols. A continuación se hace una breve presentación de estos dos métodos.

1.10.1. 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 ni polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta escalón unitario puede tener forma de S, como se observa

en la Figura 1.10. Este método se puede aplicar si la respuesta muestra una curva con forma de S. Tales curvas de respuesta escalón se pueden generar experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta.

La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T. El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y con la línea $c(t) \%K$.

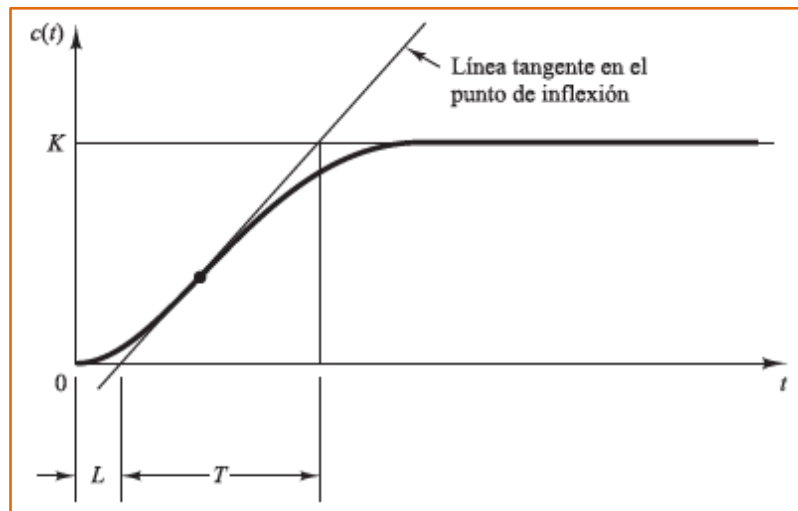


FIGURA 1.10. Curva de respuesta en forma de S.

Fuente: (Ingeniería de control moderna K. OGATA 2010).

Tal como se muestra en la Figura 1.10. En este caso, la función de transferencia $C(s)/U(s)$ se aproxima mediante un sistema de primer orden con un retardo del modo siguiente:

ECUACIÓN 1.2. Función de transferencia método 1 de Ziegler-Nichols.

Fuente: (Ingeniería de control moderna K. OGATA 2010)

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

Dónde:

L: Es el retardo de tiempo.

T: Es la constante de tiempo.

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

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

Fuente: (Ingeniería de control moderna K. OGATA 2010)

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

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

ECUACIÓN 1.3. Ganancia de primer método de Ziegler-Nichols.

Fuente: (Ingeniería de control moderna K. OGATA 2010)

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

Dónde:

K_p : Es la constante Proporcional.

T_i : Es la constante integral.

T_d : es la constante derivativa.

1.10.2. Segundo método

En el segundo método, primero se fija $T_i = \infty$ $T_d = 0$. Usando sólo la acción de control proporcional (véase la Figura 1.11), se incrementa K_p desde 0 hasta un valor crítico K_{cr} , en donde la salida presente oscilaciones sostenidas. (Si la salida no presenta oscilaciones sostenidas para cualquier valor que pueda tomar K_p , entonces este método no se puede aplicar.) Así, la ganancia crítica K_{cr} y el periodo P_{cr} se determinan experimentalmente (véase la Figura 1.11).

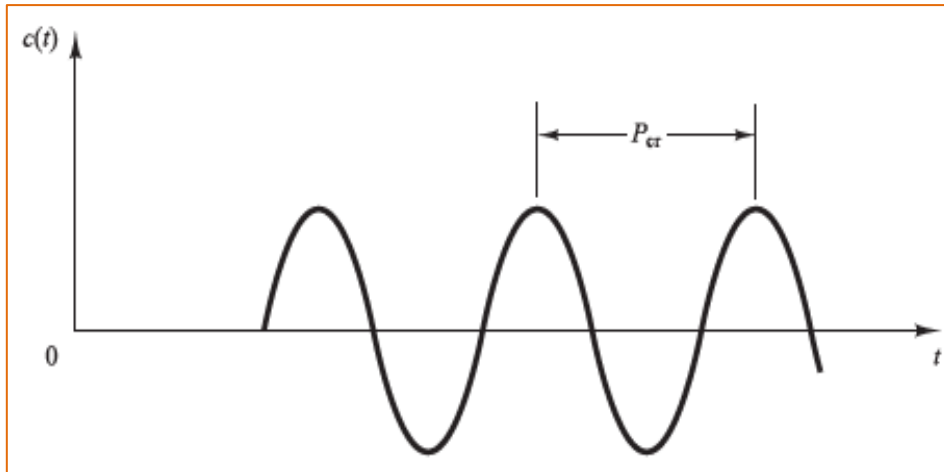


FIGURA 1.11. Oscilación sostenida con periodo P_{cr} (P_{cr} se mide en seg.).

Fuente: (Ingeniería de control moderna K. OGATA 2010).

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

TABLA 1.4. Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la ganancia crítica K_{cr} y periodo crítico P_{cr} (segundo método).

Fuente: (Ingeniería de control moderna K. OGATA 2010)

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

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

ECUACIÓN 1.4. Ganancia de segundo método de Ziegler-Nichols.

Fuente: (Ingeniería de control moderna K. OGATA 2010)

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

Dónde:

K_p : Es la constante Proporcional.

T_i : Es la constante integral.

T_d : Es la constante derivativa.

P_{cr} : Es el período crítico.

K_{cr} : Es la ganancia crítica.

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

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

1.11. Conclusiones del capítulo

En este capítulo se describen los términos como el crudo, emulsiones, propiedades físicas del petróleo, proceso de deshidratación del petróleo, controladores y lazos de control de procesos que son necesarios conocer para poder involucrarnos en el tema de investigación.

Se describieron los procesos y equipos de separación como separadores, deshidratadores, tanques de almacenamiento, lo que facilita la comprensión del proceso de deshidratación de petróleo.

Las reglas de sintonía de Ziegler-Nichols se usarán para sintonizar nuestro lazo de control de nivel que no se conoce.

CAPITULO 2

2. METODOLOGÍA

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

2.1. Enfoque, nivel y alcance de la investigación

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

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

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

Adicional no se busca la comprensión del problema.

El nivel del tipo de la investigación es:

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

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

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

Los Métodos de investigación utilizados son:

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

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

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

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

TABLA 2.1. Instrumentos usados para observación de laboratorio.

Fuente: Franklin Vásquez 2017

N°	Descripción de Instrumentos	Cant.
1	Controlador Lógico programable	1
2	Válvula de control	1
3	Transmisor de nivel	1
4	Tanques para controlar el nivel.	1
5	Computadora con HMI instalado	1
6	Tablero para montaje de equipos y materiales	1
7	Bomba centrifuga	1
8	Hidrotanque	1

2.1.7. Técnica ensayo error.- Se aplicará esta técnica para el aprendizaje por medio de la exploración y el tanteo de varios ensayos en el prototipo construido hasta encontrar las variables y constantes del lazo de control de nivel más adecuado del cual podamos hacer un análisis de la evaluación energética del sistema.

2.2. Localización geográfica del campo petrolero

El Campo Petrolero está ubicado en Pompeya, Provincia de Francisco de Orellana, el cual limita con el Parque Nacional Yasuní.

Esta planta de procesos que tiene una capacidad operativa para 200000 BFPD, fue construida en el año 1993/1994, bajo diseño y estándar Americano, bajo normas de construcción 14 API, norma que rige construcción de facilidades Off short.

Las Facilidades de Procesamiento incluyen:

- Sistema de Tratamiento e transporte de Crudo.
- Sistema de Tratamiento e inyección de Agua.
- Sistema de Tratamiento de Gas.

La Planta de procesos recibe los fluidos de emulsión proveniente de los pozos productores de las diferentes plataformas. En la primera fase los fluidos son separados en tres etapas, gas, agua y petróleo. Las operaciones de separación se las realiza a una presión de 40 psi @ 190°F.

El petróleo crudo procesado es enviado por medio de una línea de 16” hasta el terminal de fiscalización en los Oleoductos de crudos pesados en Lago Agrio.

El agua es recibida inicialmente en los dos tanques de almacenamiento para luego inyectada hacia el subsuelo a través de los pozos inyectoros, con un sistema de bombeo que consta de bombas booster, media y alta presión.

La producción de agua es de 196.000 BPD aproximadamente para lo cual se emplea el 60% de la energía producida en el campo.

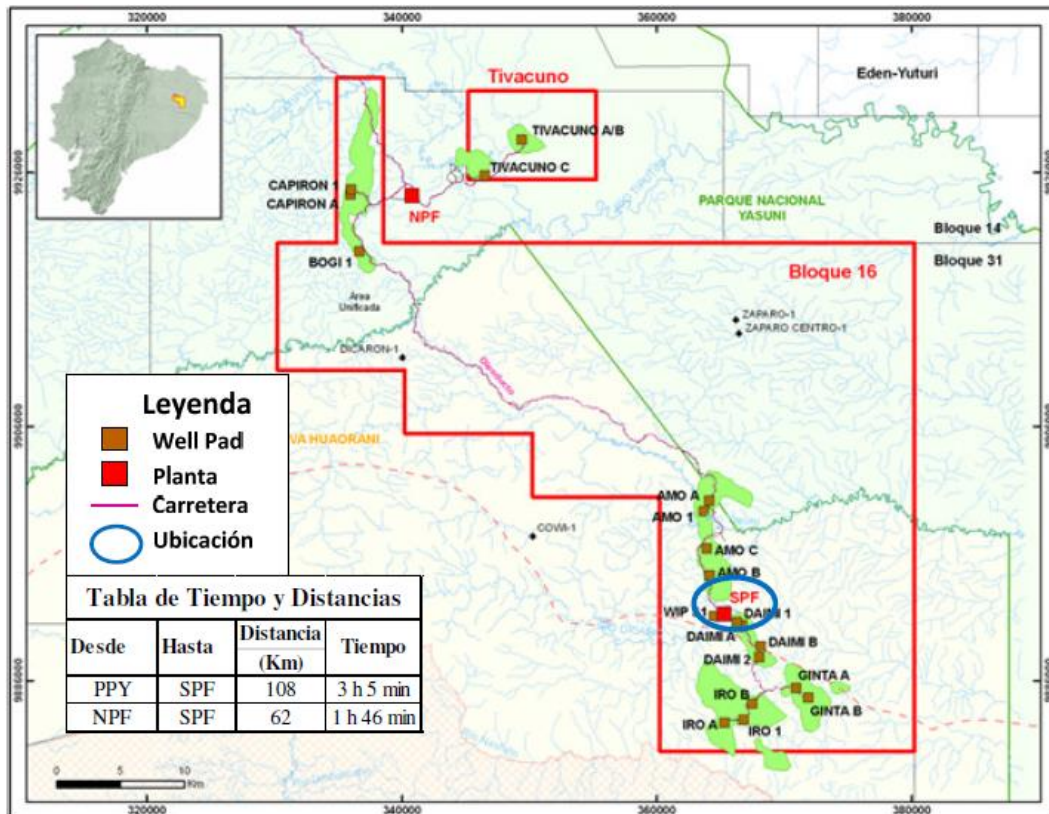


FIGURA 2.1. Ubicación geográfica del campo Petrolero

Fuente: REPSOLYPF 2008.

2.3. Determinación y operacionalización de variables

En la planta de procesos del campo petrolero, se realiza la separación de las fases del fluido trifásico, el contenido de agua y crudo se lo maneja a través de controles de nivel que pueden estar mal sintonizados por lo que se ve factible mejorar el control para tener un mejor producto final y de esta manera evitarse inconvenientes como multas con el estado, pérdida de producción, pérdida de energía, y gastos innecesarios. Para este proceso se definen como variables, las siguientes:

Variable independiente: El control de nivel en el proceso de producción de petróleo.

Variable dependiente: Mejorar la eficiencia en los procesos de separación de petróleo.

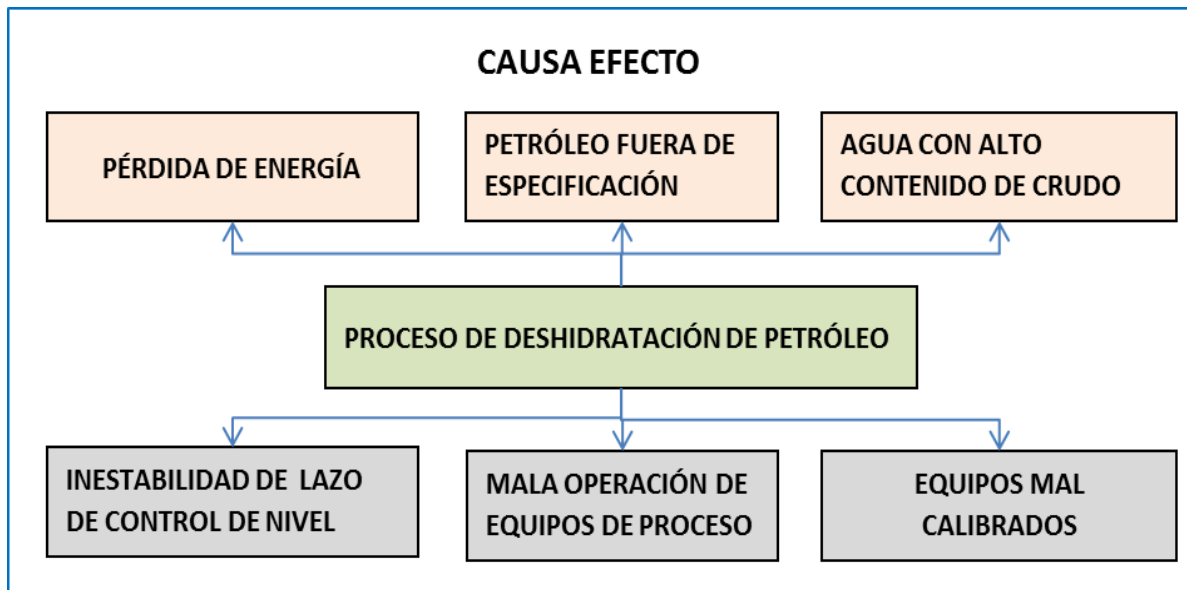


FIGURA 2.2. Matriz causa efecto: Árbol de problemas relacionado al proceso.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017.

Causa de prioridad: Inestabilidad del lazo de control de nivel.

Efecto de prioridad: Pérdida de energía.

2.4. Matriz de operacionalización de variables

La matriz operacional de variables nos permitirá construir con tenacidad y rigor científico los problemas, objetivos e hipótesis generales y específicas en función a la relación de la variable independiente o dependiente (causa y efecto). Además consolida los elementos claves del inicio de la investigación científica, el grado de coherencia, concatenación e interrelación de una variable con otra, de una dimensión con otra, conexión lógica que se expresa desde el título, el problema, los objetivos e hipótesis.

TABLA 2.2. Variable independiente.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017.

VARIABLE INDEPENDIENTE:		El control de nivel en el proceso de producción de petróleo			
Concepto	Categoría	Indicadores	Item	Técnicas	Instrumentos
Los controles de nivel son dispositivos cuya finalidad es la de garantizar el nivel del fluido en un rango de variación pre-establecido	Separador de agua libre.	Producción	BPD	Medición	Flujómetro
		Gas	MSCFD	Medición	Flujómetro
		Nivel	FT	Medición	Transmisor de nivel
		Presión	PSI	Medición	Transmisor de Presión
		BSW	%	Medición	Registro Operativo NORMA ASTM D 4007
	Separador de producción	Producción	BPD	Medición	Flujómetro
		Gas	MSCFD	Medición	Flujómetro
		Nivel	FT	Medición	Transmisor de nivel
		Presión	PSI	Medición	Transmisor de Presión
		BSW	%	Medición	Registro Operativo NORMA ASTM D 4007
	Deshidratadora.	Producción	BPD	Medición	Flujómetro
		Nivel	Pies y pulgadas	Medición	Transmisor de nivel
		Presión	PSI	Medición	Transmisor de Presión
		BSW	%	Medición	Registro Operativo NORMA ASTM D 4007
	Tanques de almacenamiento	Producción	BPD	Medición	Flujómetro
		Nivel	BPD	Medición	Transmisor de nivel
		BSW	%	Medición	Registro Operativo NORMA ASTM D 4007
	Materiales y equipos	Presupuesto	Dólares	Software	Diagramas
		Disponibilidad	%	Software	Diagramas
	Equipos de Automatización	Rangos de trabajo de operación	BPD, T°, cSt, energía	Software	Diagramas

TABLA 2.3. Variable Dependiente.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017.

VARIABLE DEPENDIENTE		Mejorar la eficiencia en los procesos de separación de petróleo.			
Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es la determinación de la cantidad de energía que se pierde por inestabilidad del proceso.	Petróleo	Producción diaria de petróleo	BPD	Software	Diagramas
	Control	Eficiencia de la planta	%	Software	Diagramas
	Mantenimiento	Costo	\$	Cálculos	Ecuaciones
	Eficiencia	Energía eléctrica	kW	Medición	Software

2.5. Proceso de separación del crudo, gas y agua en el campo petrolero

El fluido: crudo, agua, gas, extraído de los pozos, mediante equipos electro-sumergibles llega al cabezal de pozo y con su respectiva línea de flujo es enviado al manifold que es un conjunto de válvulas que nos permite direccionar el flujo hacia la línea de producción.

Los parámetros eléctricos y de presiones de los pozos, son monitoreados y controlados, a través del PLC, DSC, SCADA y Keltronics, además se realiza el tratamiento químico con el fin de controlar emulsiones, corrosión y formación de escala, que nos permita transferir el fluido en condiciones estables.

El fluido tratado y evaluado es direccionado al lanzador, aprovechando la presión de la cabeza de los pozos, y transportado por la línea de producción, hacia los recibidores de las Plantas de Tratamiento.

El fluido ya en la planta comienza a fluir a través de los recipientes los cuales comienzan a deshidratar el petróleo hasta obtener el producto final bajo especificación.

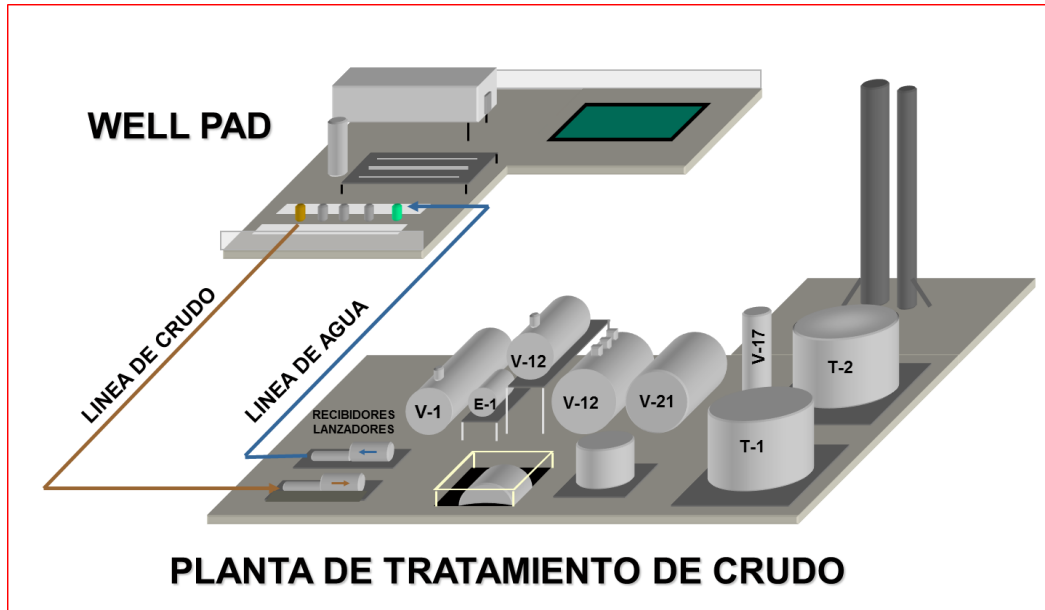


FIGURA 2.3. Esquema del proceso de producción de crudo.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017.

2.5.1. Proceso de Separación de crudo

El crudo proveniente de los well pads llega a los recibidores, para posteriormente dirigirse a un cabezal común que distribuirá el crudo en los trenes de deshidratación que posee la planta.

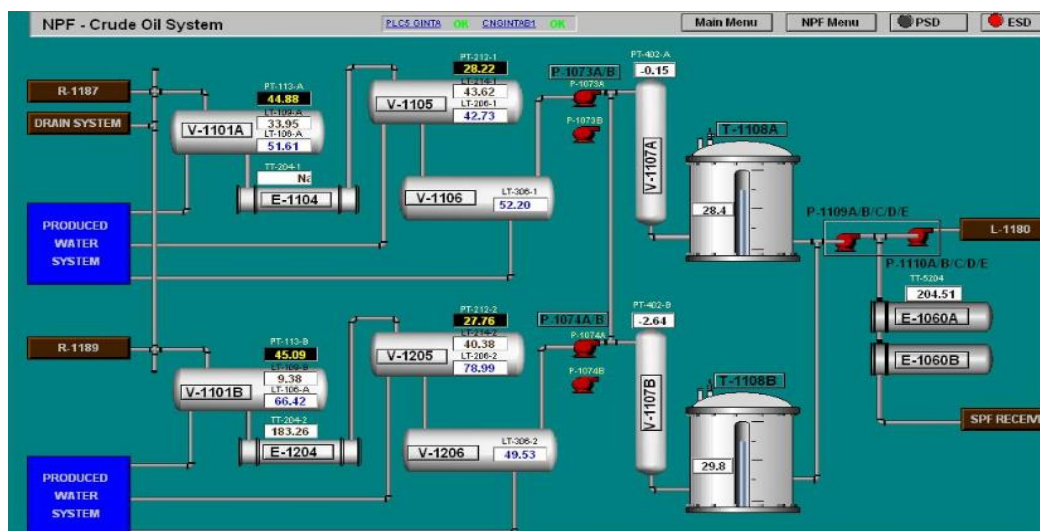


FIGURA 2.4. Planta de separación NPF Repsol.

Fuente: Planta de procesos NPF, 2017.

A continuación, el crudo ingresa al separador de agua libre en donde se producirá una separación trifásica (gas, agua y crudo), obteniéndose como resultado de esta separación; un crudo con un BSW entre 6% y 10%.

Posteriormente, el crudo ingresa a un intercambiador de calor en donde se incrementará su temperatura, disminuyendo así su viscosidad, lo cual favorecerá una mayor separación del agua libre en el separador de producción.

Seguidamente, ingresa al separador de producción donde igualmente se separan tres fases (gas, agua y crudo) obteniéndose a la salida un crudo con un corte de agua de alrededor del 2% al 5%. A continuación, el crudo separado se dirige a un deshidratador donde se produce una separación bifásica (agua y crudo) que está sometido a un campo electromagnético el cual afectará en la polaridad de las moléculas de agua y hará que estas se junten y decanten, logrando así la separación final del crudo, obteniéndose un BSW menor a 0.5%.

El crudo o petróleo resultante de este proceso de deshidratación se dirige hacia las botas desgasificadoras donde ingresan por su parte superior y va descendiendo a través de unas bandejas para lograr la separación del gas disuelto, para posteriormente dirigirse a los tanques de almacenamiento. El crudo es tomado de los tanques por bombas booster las cuales alimentan a las bombas de transferencia que se encargarán de bombear el crudo hacia el OCP y SOTE.

2.5.2. Proceso de separación de agua

El agua proveniente de los separadores de agua libre, separadores de producción, deshidratadores electrostáticos es dirigida hacia los Scrubbers donde también se producirá una última separación trifásica (agua, crudo y gas).

El agua tratada se dirige hacia los cuatro tanques de almacenamiento donde será distribuida según las condiciones de operación. Las trazas de crudo separadas se dirigirán al vessel de drenaje cerrado.

El agua de formación resultante será inyectada en cada locación, para lo cual, bombas booster a la salida de los tanques servirán de alimentación a las bombas intermedias que son las encargadas de direccionar el agua de formación a cada locación en donde se tienen equipos de inyección de alta presión.

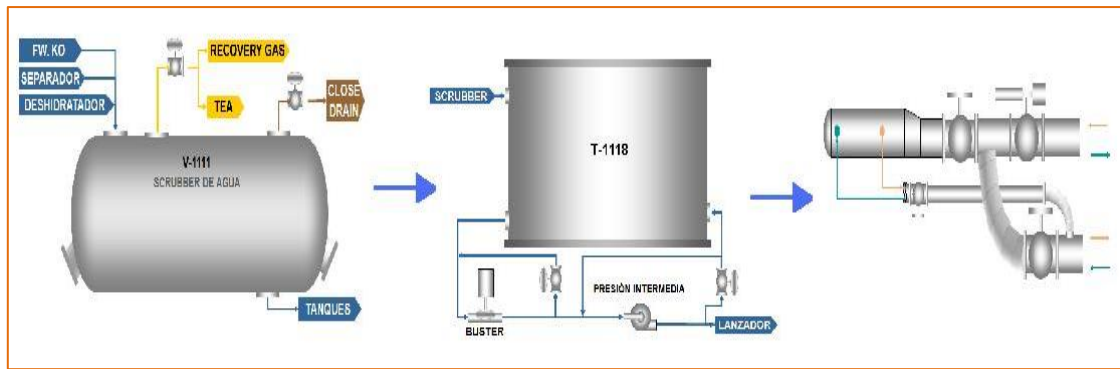


FIGURA 2.5. Diagrama del sistema de agua.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017.

El agua con trazas de crudo que ingresa al scrubber de agua, logra separar las fases agua y crudo por decantación basado en sus diferentes densidades y tiempo de residencia. La fase agua será controlada por un control de nivel LIC y a través de su elemento de control final es direccionada hacia los tanques de desnatado y almacenamiento.

El crudo recuperado, que se encontrará en la parte superior del scrubber es controlado por un LIC y evacuado a través de la válvula de control de nivel hacia el Tanque de Drenajes cerrado. El nivel operacional normal donde se encontrará la fase crudo (Interfase) será de entre 10'-0" y 11'-0".

El gas que se desprenda en este recipiente se lo direccionará hacia el cabezal de tea o al sistema de recuperación de gas de baja presión para generación eléctrica, según sean las necesidades operativas.

2.5.3. Proceso de separación de gas

El Gas que sale de los separadores de agua libre, separadores de producción, scrubbers de agua y sistema de recuperación de gas de baja presión es canalizado a través de un cabezal común de recolección, que es el encargado de transportar hasta llegar a un scrubber de gas, en este se separa la mayor cantidad de condensado, este gas seco es conducido hacia la entrada de los compresores de gas, para luego este ser acumulado en tanques horizontales a una presión de 220 PSI, y usado en generación de energía eléctrica a través de motores de combustión y turbinas, un estimado diario de 6 MMSCF es usado en energía eléctrica y actualmente el gas generado no abastece a los equipos instalados.

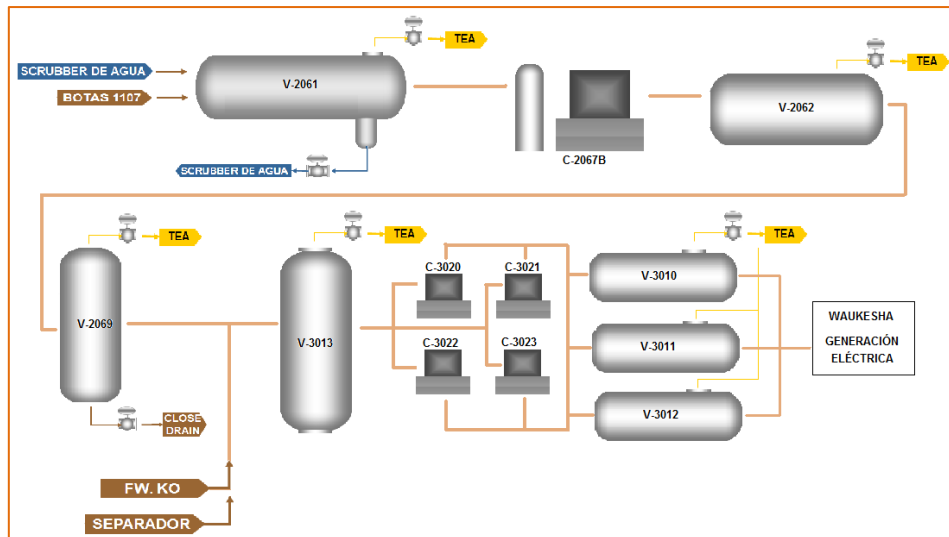


FIGURA 2.6. Gas Generación.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017.

2.6. Descripción de equipos de la planta de deshidratación

2.6.1. Separador de agua libre (Free water knockout FWKO).

Son separadores horizontales de tres fases agua, petróleo y gas, esta separación es provocada por diferencia de densidades, que produce una coalescencia del fluido más pesado, en este caso el agua es más densa se va hacia el fondo, el crudo es intermedio y más liviano el gas hacia la parte superior.

A continuación las características más importantes del separador de agua libre.

TABLA 2.4. Características de los separadores de agua libre

Fuente: Repsol, 2017.

CARACTERÍSTICAS DE FREE WATER KNOCKOUT	
Código de Diseño	ASME VIII Div. 1
Año de Construcción	1993
Fluido	Crudo
Diámetro Externo [in]	145,25
Longitud [ft]	59,67
Peso del Equipo [lb]	104410,93
Capacidad[ft ³]	7310,126
Capacidad de manejo de fluido (bpd)	110.000
Presión y temperatura de diseño:	100PSIG / 225°F
Operación:	45 PSIG / 165°F
Dimensiones Vessel:	12'ID x 60' S/S

A continuación se indica los principales elementos partes del control y monitoreo del free water knockout.

TABLA 2.5. Elementos de control y monitoreo free water knockout.

Fuente: Repsol, 2017.

ELEMENTOS DE CONTROL Y MONITOREO FREE WATER KNOCKOUT	
GENERAL	
SDV-102-1A	Válvula de Shut Down ubicada, en la línea de ingreso de fluido.
SDY-102-1A	Válvula solenoide de control de SDV-102-1A.
LSHH-111-1A	Switch de alto/alto nivel. Alarma Set LAHH 120"
CRUDO	
LT-109-1A	Transmisor de nivel.
LV-109-1A	Válvula de control de nivel. En la línea de crudo.
LY-109-1A	Válvula solenoide de control de la LV-109-1A.
AGUA	
LT-106-1A	Transmisor de nivel. Fase Agua Alarma Set LAH LAL 91" 77"
LV-106-1A	Válvula de control de nivel. En la línea de agua.
GAS	
PIT-108-1A	Transmisor, indicador de presión. Alarma Set PAL PAH 40 PSIG 65 PSIG
PV-108-1A.	Válvulas de control de presión. Línea de tea.
PIT-113-1A	Transmisor, indicador de presión. PAL 40 PSIG
PV-113-1 AA	Válvulas de control de presión. Línea de gas blanket y generacion.

Los free water knockout tiene una lógica de operación por fases:

2.6.1.1. Fase Crudo.- El nivel de la fase crudo en el FWKO es censada y controlada por el LIC/LIT-109-1A, el mismo que controlará la válvula LV-109-1A ubicada aguas abajo del intercambiador de calor E-1104 A, la señal que llegue a la válvula será neumática luego de pasar por un convertidor I/P. El fluido crudo será movilizado por la presión del recipiente hacia el Separador de producción V-1105.

2.6.1.2. Fase de agua.- El agua que se decanta hacia el fondo del FWKO, es desalojada del recipiente por medio de control de nivel LT/LIC-106-1A, el mismo que transmitirá su señal para que actúe la válvula de control LV-106-1A, la señal que llegue a la válvula será neumática luego de pasar por un convertidor I/P. El fluido agua será movilizado por la presión del recipiente hacia el cabezal de agua de los Scrubber de agua V-1111.

Si el LT-106-1A detecta un nivel de fluido mayor a 91" o menor a 77", envía una alarma sonora al cuarto de control.

2.6.1.3. Fase gaseosa.- En operación normal el flujo gaseoso saldrá a través del filtro (Demister) localizado en la parte superior del domo de gas.

La presión del recipiente se controlará por medio del PIC/PIT-113-1A, el mismo que manejará señales de control hacia la válvula PV-113-A esta válvula desfoga el gas hacia el Scrubber de Fuel Gas V-3013 & Gas Blanket V-1069 y hacia el cabezal de tea. La presión de operación normal del V- 1101A será de 45 PSIG.

En la línea de gas también se tiene otra válvula automática de sobre presión que es controlada por el PIT/PIC/PV-108-1A, que al detectar una presión mayor a 60 PSIG alivia la presión hacia el cabezal de tea. Si el PIT-108-1A, detecta una presión mayor a 65 PSIG o una presión menor a 45 PSIG, envía una alarma al PLC.

El recipiente posee dos válvulas de seguridad para sobre presión PSV-104-1AA/AB que al detectar una presión mayor a 100PSIG desfogon hacia el cabezal de tea.

2.6.2. Separador de Producción

Al igual que el separador de agua libre, opera con las 3 fases: Petróleo, agua y gas, separando las mismas en 3 corrientes diferentes. El fluido que ingresa a este equipo proviene del intercambiador de calor en donde se ha elevado su temperatura, lo cual facilita la separación entre el agua y el petróleo crudo.

Las características del separador de producción se indican a continuación.

TABLA 2.6. Características del Separador de Producción.

Fuente: Repsol, 2017.

CARACTERÍSTICAS DEL SEPARADOR DE PRODUCCIÓN	
Fluido a manejar:	Crudo, agua y gas.
Dimensiones Vessel:	10'-0"IDx 35'-0"S/S
Dimensiones domo de gas:	24" ODx5'0"H
Presión y temperatura de diseño:	100PSIG/300°F
Código de Diseño	ASME VIII Div. 1
Año de Construcción	1993
Prueba Hidrost. [psig]	150
Diámetro Externo [in]	120,96
Longitud [ft]	35
Peso del Equipo [lb]	83000
Capacidad[ft3]	3028

El separador de producción tiene su lógica de operación la cual está dividida en fases crudo, agua y gas.

2.6.2.1. Fase crudo.- El nivel del crudo en el Separador de Producción será controlado por el LIC/LIT-214- 1, el mismo que controla la válvula LV-214-1 ubicada aguas abajo de las bombas P- 1073A/B del Deshidratador V-1106, la señal que llega a la válvula es neumática luego de pasar por un convertidor I/P. El fluido crudo será movilizadado por la presión del recipiente hacia el Deshidratador V-1106.

Entre los diferentes Separadores de Producción existe una línea de 12” que los comunica entre sí, permitiendo distribuir la carga de crudo entre ellos, de acuerdo a necesidades operativas y según procedimientos establecidos.

2.6.2.2. Fase de agua.- El agua que se decanta hacia el fondo del Separador de Producción, es desalojada del recipiente por medio de control de nivel LT/LIC-206-1, el mismo que transmitirá su señal para que actúe la válvula de control LV-206-1, la señal que llegue a la válvula será neumática luego de pasar por un convertidor I/P. El fluido agua será movilizadado por la presión del recipiente hacia el Scrubber de agua V-1111.

Si el LT-206-1 detecta un nivel mayor a 60” o menor a 32”, envía una señal al PLC, la cual será conocida en el cuarto de control.

2.6.2.3. Fase gaseosa.- La presión del recipiente se controlará por medio del PIC-209-1 el mismo que actúa sobre la válvula PV-212-1 localizada en tuberías de 4” que se dirige hacia el Scrubber de Fuel Gas & Gas Blanket V-1069.

En la línea de gas también se tiene otra válvula automática que controla sobre presión para un valor mayor a 45 PSIG alivia la presión hacia el cabezal de tea. Si el PIT-209-1 detecta una presión mayor a 70 PSIG o menor a 5 PSIG, envía señales de alarma al sistema scada.

El recipiente posee dos válvulas de seguridad para sobre presión PSV-205-1A/1B que al detectar una presión mayor a 100PSIG, desfogon hacia el cabezal de tea.

El Separador de Producción tiene como sistema complementario una línea de agua que viene desde la bomba de Sand Jet P-2123. Esta línea ingresa a la parte inferior del recipiente para realizar lavados de arenas acumuladas en el fondo del recipiente.

2.6.3. Deshidratador electrostático

Los deshidratadores son recipientes de 2 fases: crudo y agua, poseen un transformador y un grupo de placas y electrodos que crean un campo electrostático que aumenta la separación agua / crudo.

Las gotas eléctricamente cargadas tienden a alinearse y moverse hacia el electrodo con carga opuesta, este movimiento promueve la mutua atracción entre las gotas adyacentes ocasionando el choque y posterior coalescencia de las gotas las cuales precipitan al fondo del recipiente por efecto de la diferencia de peso.

Las características del deshidratador se indican en la siguiente tabla.

TABLA 2.7. Características del deshidratador.

Fuente: Repsol, 2017.

CARACTERÍSTICAS DEL DESHIDRATADOR	
Fluido a manejar:	Crudo, agua y gas.
Dimensiones Vessel:	144" O.D. x 60" S/S
Espesor:	0,625"
Corrosión permitida:	0.125"
Material/S.R.:	C.S./SA-516-70
Presión y temperatura de diseño:	100PSIG/300°F
Operación	30 PSIG/230°F
Código de Diseño	ASME VIII Div. 1
Año de Construcción	1993
MAWP [psig]	100
Diámetro Externo [in]	144
Longitud [ft]	60
Peso del Equipo [lb]	101448
Capacidad[ft3]	6787

TABLA 2.8. Elementos de control y seguridad de la deshidratadora.

Fuente: Repsol, 2017.

ELEMENTOS DE SEGURIDAD Y CONTROL, DESHIDRATADORA	
PSH-302-1 A/B	Switch de alta presión. Alarma Set PAH 10 PSIG
PSV-302-1 A/B	Válvulas de relevo de sobre presión. 100 PSIG
PSE-302-1 A/B	Disco de ruptura. 105 PSIG @ 200 F
AGUA	
LT-306-1	Transmisor de nivel
LV-306-1	Válvula de control de nivel. En la línea de agua.
SDV-308-1	Válvula de Shut Down, salida de agua.

La deshidratadora tiene su lógica de operación la cual está dividida en faces crudo, agua:

En el deshidratador se formará un nivel de agua, el mismo que será controlado por el LIC/LT/LV-306-1, que al detectar un nivel mayor al 50% en el tanque desalojará el agua hacia el Scrubber V-1111.

El crudo deshidratado (%BSW no mayor a 0.5%), fluye por la parte superior hacia la succión de las bombas del Deshidratador P-1073A/B, hacia las botas desgasificadoras V-1107A/B.

2.6.4. Tanque de crudo

Los tanques de almacenamiento de crudo son diseñados para que cumplan la función además de almacenar tener una última recuperación de agua y gas por tiempo de residencia.

Las instalaciones de almacenamiento de crudo, consta de dos tanques T-1108 A/B con capacidad nominal de 15.000 Bls. cada uno. Los Tanques tienen un sistema de calentamiento con Aceite Térmico y un sistema de alimentación de gas blanketing para mantener una presión interna positiva.

Las principales características de los tanques de crudo instalados en los procesos de deshidratación son:

TABLA 2.9. Características de los tanques de crudo.**Fuente:** Repsol, 2017

CARACTERÍSTICAS DE TANQUE DE CRUDO	
Fluido a manejar:	Crudo
Capacidad	15000 Bls
Dimensiones Vessel:	67" ID X 40" H
Espesor:	0.3125"
Corrosión permitida:	0.0625"
Material/S.R.:	C.S.
Presión y temperatura de diseño:	2" WG @ 250°F
Tipos internos:	Miscellaneous
Aislamiento:	Conservación de calor, 1.5"
Prueba hidrostática:	Según código
Código de Diseño	API STD 650

TABLA 2.10. Elementos de control y seguridad de los tanques de crudo.**Fuente:** Repsol, 2017.

ELEMENTOS DE SEGURIDAD Y CONTROL TANQUES DE CRUDO	
CRUDO	
TI-508-A	Indicador de temperatura.
LI-507-A	Indicador de nivel tipo VAREG.
LT-504-A	Transmisor de nivel.
LSHH-503-A	Switch de alto/alto nivel. LAHH 38"
LSSL-510-A	Switch de bajo/bajo nivel. LALL 4"
TT-506-A	Transmisor de temperatura. TSHH 240 °F
SDV-511-A	Válvula de Shut Down.
SDY-511-A	Válvula solenoide de la SDV-511-A
MOV-513-A	Válvula motorizada a la salida de crudo
ACEITE TERMICO	
TT-506-A	Transmisor de temperatura.
TV-506-A	Válvula de temperatura.
TY-506-A/B	Válvula solenoide de control de TV-506-A
PI-510-1A	Indicador de presión.
GAS	
PSV-521-A	Válvula de control de sobre presión, 1,8" WG -1" WG,
PSV-501-A	Válvula de control de sobre presión 2" WG -2" WG
PCV-517-A	Válvula de control de presión 0.5" WG
PV-518-A	Válvula de control de presión 1" WG

La lógica de operación de los tanques de crudo es:

Los tanques de crudo tienen un rango de nivel operativo que va entre los límites de bajo y alto nivel con señal de alarma y los límites extremos de bajo-bajo y alto-alto nivel con dispositivos de parada de las instalaciones. Estos valores son los indicados en la Tabla 2.10.

La operación segura se debe realizar en los rangos señalados, para lo cual las variables operativas son controladas desde el Sistema SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos), en el Cuarto de Control.

El sistema de Gas Blanketing, está comandado por dos válvulas automáticas que permiten la entrada o salida del gas según sea el requerimiento. Este sistema de control permite mantener la presión interna del tanque en los valores siguientes:

PCV-517-A Entrada de Gas cuando la presión es menor o igual a 0.5" de H₂O.

PV-518-A Entrada de Gas cuando la presión es menor o igual a 1" de H₂O.

Adicionalmente se dispone los siguientes dispositivos de seguridad:

PSV 521 con un set de 1.25" de H₂O.- Tiene como función liberar excesos de presión no controlados por el sistema anterior.

PSV 501: Válvula de Control de presión y vacío que opera en un rango de 2" y -2" de H₂O, que tiene como función la seguridad final cuando se excede las presiones normales y permitir el ingreso de aire para mantener una presión positiva y de esta manera evitar el colapso del tanque.

2.6.5. Sistema de control planta de deshidratación

En la figura 2.7 se muestra un esquema de la arquitectura del Sistema Plant Scape Process de Honeywell en NPF del bloque 16. Todo el sistema PSP Honeywell exceptuando el PLC y algunos instrumentos de campo son basados en tecnología Honeywell.

Se puede identificar dos redes una es la industrial que está en la planta de procesos que sirve para compartir información entre los I/O racks y el procesador principal y la segunda red es de datos, esta es la encargada de compartir información con varios servidores clientes que reciben la información de la planta en tiempo real.

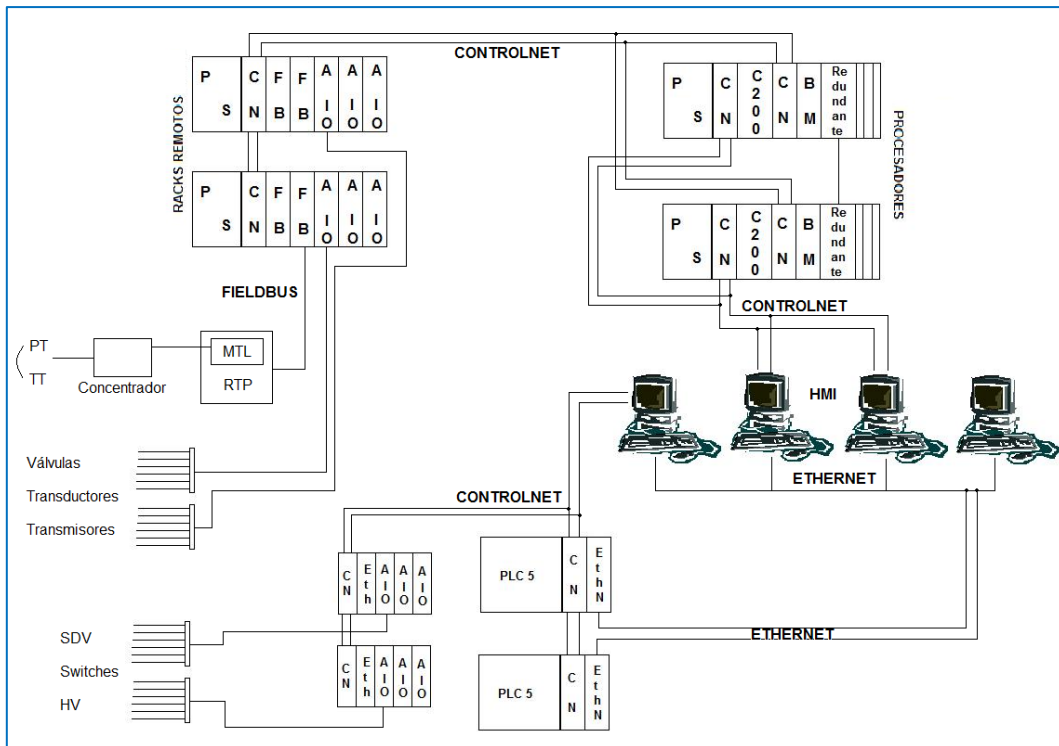


FIGURA 2.7. Arquitectura del Sistema PlantScape Process de Honeywell

Fuente: Repsol, 2007

Las señales de campo llegan a siete racks remotos ubicados en diferentes puntos en la planta. Cada rack consta de un chasis con los respectivos módulos I/O y los módulos de comunicación. En la parte inferior están las borneras con su respectivo fusible de protección que es a donde llegan las señales. Las señales que están conectadas a la red Fieldbus llegan a unas barreras o MTL's que controlan la limitación de voltaje y corriente que se produce al conectar un grupo de señales de campo en un concentrador.

Una vez que las señales son concentradas en los racks se comunican con los procesadores de control vía ControlNet. La red ControlNet permite que los reguladores múltiples controlen E/S en el mismo cable, así como también el multicast de entradas y datos peer-to-peer reduciendo el tráfico de cable y aumentando la funcionalidad del sistema.

El sistema es redundante, esto quiere decir que hay un procesador de control C200 trabajando como principal y otro secundario, el cual entraría a operar en caso de que el primario fallara. El procesador de control C200 se comunica vía Ethernet a las estaciones de trabajo donde se encuentra el HMI y se puede realizar la supervisión el control y el monitoreo de los procesos de la planta.

La programación de las señales de campo que llegan al procesador C200 está elaborada en Control Builder y el HMI en Display Builder que son programas propios de Honeywell.

2.7. Instrumentación y sistemas de control

La instrumentación y control de procesos es una especialidad de la ingeniería que combina, a su vez, distintas ramas, entre las que destacan: sistemas de control, automatización, electrónica e informática. Su principal aplicación y propósito es el análisis, diseño y automatización de procesos como: petróleo y gas, generación de energía eléctrica, textil, alimentaria, automovilística.

2.7.1. Transductor

Dispositivo que tiene la misión de recibir energía de una naturaleza eléctrica, mecánica, acústica, etc., y suministrar otra energía de diferente naturaleza, pero de características dependientes de la que recibió.

Los transductores y los sensores pueden clasificarse en dos tipos básicos, dependiendo de la forma de la señal convertida. Los dos tipos son:

- Transductores analógicos
- Transductores digitales

Los transductores analógicos proporcionan una señal analógica continua, por ejemplo voltaje o corriente eléctrica. Esta señal puede ser tomada como el valor de la variable física que se mide.

Los transductores digitales producen una señal de salida digital, en la forma de un conjunto de bits de estado en paralelo o formando una serie de pulsaciones que pueden ser contadas.

2.7.2. Transmisor

El transmisor es un instrumento que capta la variable en proceso y la transmite a distancia a un instrumento indicador o controlador; pero en realidades eso y mucho más, la función primordial de este dispositivo es tomar cualquier señal para convertirla en una señal estándar adecuada para el instrumento receptor, es así como un transmisor capta señales tanto de un sensor como de un transductor, aclarando siempre que todo transmisor es transductor más no

un transductor puede ser un transmisor; como ya sabemos las señales estándar pueden ser neumáticas cuyos valores están entre 3 y 15 Psi, las electrónicas que son de 4 a 20 mA o de 0 a 5 voltios DC, las digitales que entregan 0 o 5 voltios para 0 o 1 respectivamente (ECURED 2017).

2.7.3. Transmisor de presión

Para la medida de presión con transmisores de presión, requiere un sensor que capta el valor de presión o la variación de la misma y lo convierte de manera exacta y precisa en una señal eléctrica. La señal eléctrica indica el valor de presión recibida. Los cuatro principios más importantes son la medida con sensores resistivos, sensores piezo-resistivos, sensores capacitivos y sensores piezoeléctricos.



FIGURA 2.8. Partes de transmisor de presión.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017.

2.7.4. Elemento de control final

Los elementos finales de control son mecanismos que modifican el valor de una variable que ha sido manipulada como respuesta a una señal de salida desde un dispositivo de control automático; es decir, se encarga de manipular alguna característica del proceso según lo ordenado por el controlador. Según el tipo de proceso, hay dispositivos que reciben señales de control del tipo discretas, tipo batch o continuas.

Los elementos finales de control pueden ser una válvula de control, variadores de frecuencia y motores eléctricos, un servo-válvula, un relé, elementos calefactores de carácter eléctrico o un amortiguador.

2.7.5. Válvula de control.

Su función es variar el flujo de material o energía a un proceso de control, modificando el valor de la variable de medida, comportándose como un orificio de área variable.

Las válvulas pueden ser modeladas siguiendo una dinámica de segundo orden. Para válvulas pequeñas o de tamaño medio, la dinámica es tan rápida que se consideran procesos de primer orden.

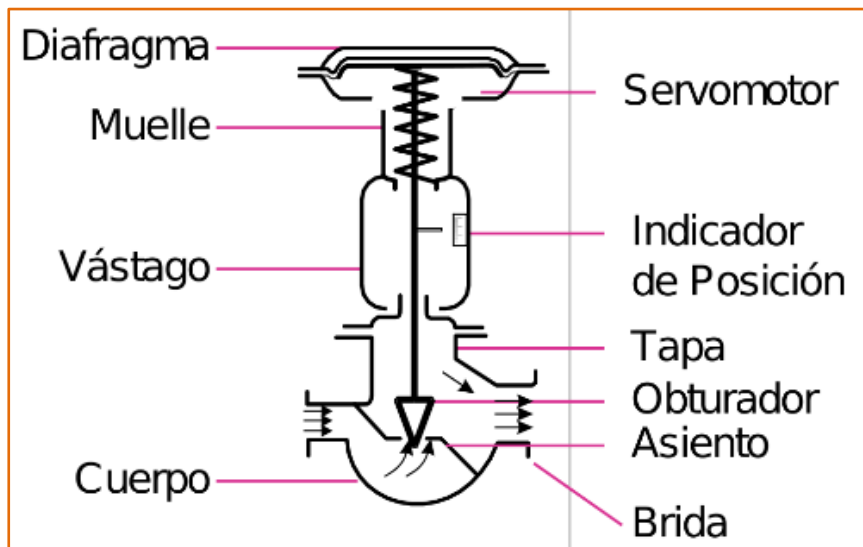


FIGURA 2.9. Partes de una válvula de control.

Fuente: WordPress.com, 2008.

Las válvulas están constituidas por dos partes:

Actuador: recibe la señal de controlador y la transforma en un desplazamiento (lineal o rotacional) producto de un cambio en la presión ejercida sobre el diafragma.

Cuerpo: el diafragma está ligado a un vástago o eje que hace que la sección de pasaje del fluido cambie y con ésta el caudal.

Una válvula de control típica se compone de cuerpo y de servomotor.

El cuerpo de la válvula contiene en su interior el cuerpo y los asientos provistos de roscas o bridas para conectar la válvula a la tubería. El obturador es quien realiza la acción de control del paso de fluido y puede actuar en la dirección de su propio eje o tener un movimiento rotativo. El servomotor acciona el movimiento del vástago y con ello el obturador. Puede ser neumático, eléctrico, hidráulico o digital (los más utilizados, son los dos primeros).

2.8. Controladores lógicos programables (PLCs)

Un PLC – Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programable) es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos.

También se puede definir como un equipo electrónico, el cual realiza la ejecución de un programa de forma cíclica. La ejecución del programa puede ser interrumpida momentáneamente para realizar otras tareas consideradas más prioritarias, pero el aspecto más importante es la garantía de ejecución completa del programa principal.

Estos controladores son utilizados en ambientes industriales donde la decisión y la acción deben ser tomadas en forma muy rápida, para responder en tiempo real.

Los PLC son utilizados donde se requieran tanto controles lógicos como secuenciales o ambos a la vez (MiCRO, 2015).

2.9. PLC Micrologix 1100 de Allen Bradley

Los controladores MicroLogix 1100 son adecuados para su uso en un entorno con ambientes limpios y secos (grado de contaminación 2 (1)) y con circuitos no superior a la categoría II (2) de sobretensión (IEC 60664-1) (3).

Características del controlador Micrologix 1100 son:

- Incluye un puerto EtherNet/IP™ de 10/100 MBps incorporado para mensajería entre dispositivos similares.
- Proporciona una memoria de 8 KB (4 KB de programas de usuario con 4 KB de datos de usuario)
- Permite el acceso, el monitoreo y la programación desde cualquier conexión Ethernet
- Admite la edición en línea
- Proporciona un servidor web incorporado que permite configurar los datos del controlador para que aparezcan como una página web
- Contiene un puerto combinado RS-232/RS-485 aislado para comunicación en serie y conectada en red
- Permite monitorear y modificar los datos del controlador a través de una pantalla LCD incorporada

- Compatible con módulos de expansión de E/S MicroLogix 1762 (hasta cuatro módulos por controlador)
- Admite un máximo de 144 puntos de E/S digitales.

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. (Publicación 1763 Allen bradley, 2017).

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 (Publicación 1763 Allen bradley, 2017).

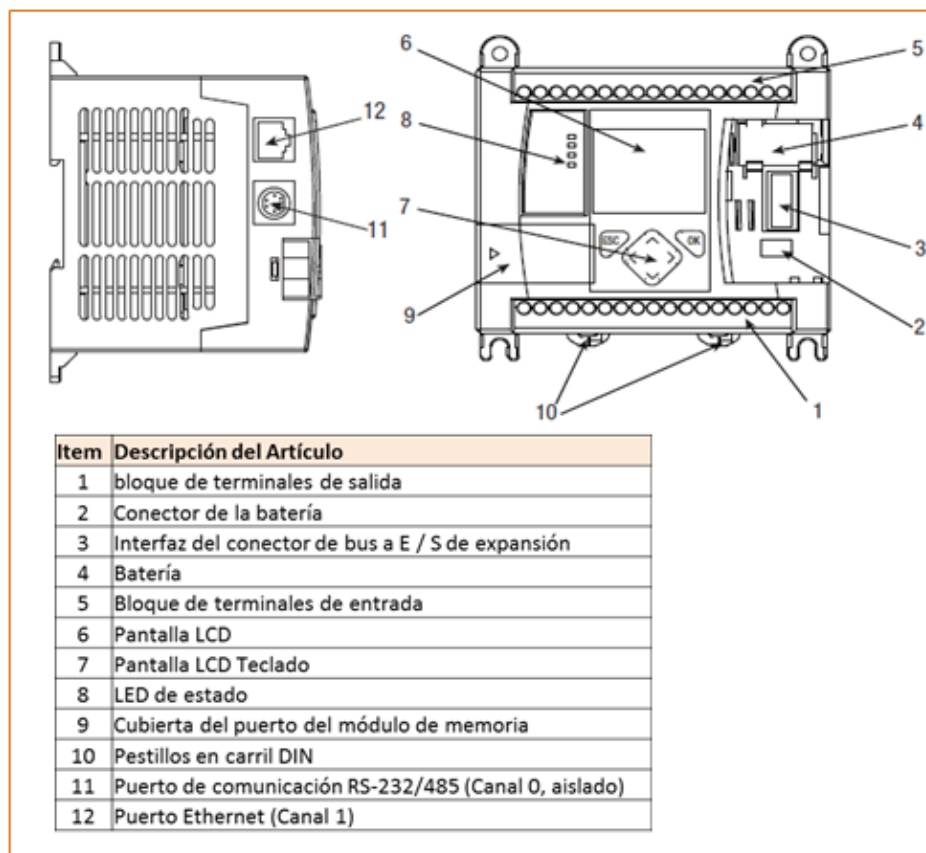


FIGURA 2.10. Partes de un Micrologix 1100.

Fuente: Publicación 1763 Allen bradley, 2017.

2.9.1. Tarjeta 1762-IF2OF2 Modulo de expansión I/O

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

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

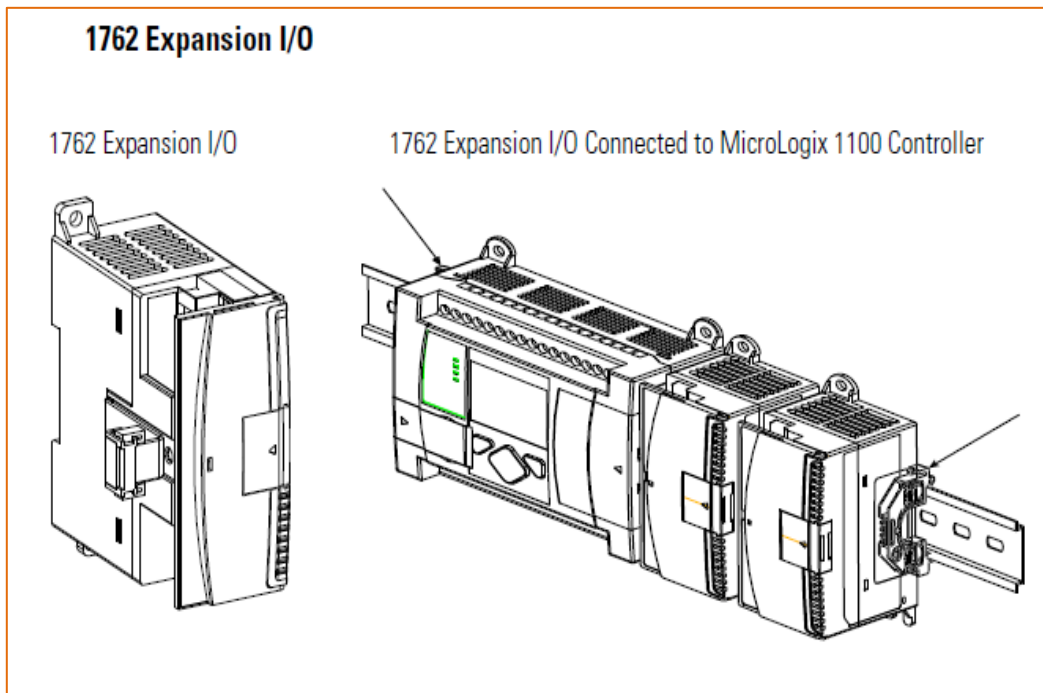


FIGURA 2.11 Módulo de expansión I/O 1762-IF2OF2.

Fuente: Publicación 1763 Allen bradley, 2017

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

2.9.2. Programa RSlogix 500

RSLogix 500 es el programa destinado a la creación de los programas del autómeta en lenguaje de esquema de contactos o también llamado lógico de escalera (Ladder). Incluye editor de Ladder y verificador de proyectos (creación de una lista de errores) entre otras

opciones. Este producto se ha desarrollado para funcionar en los sistemas operativos Windows.

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

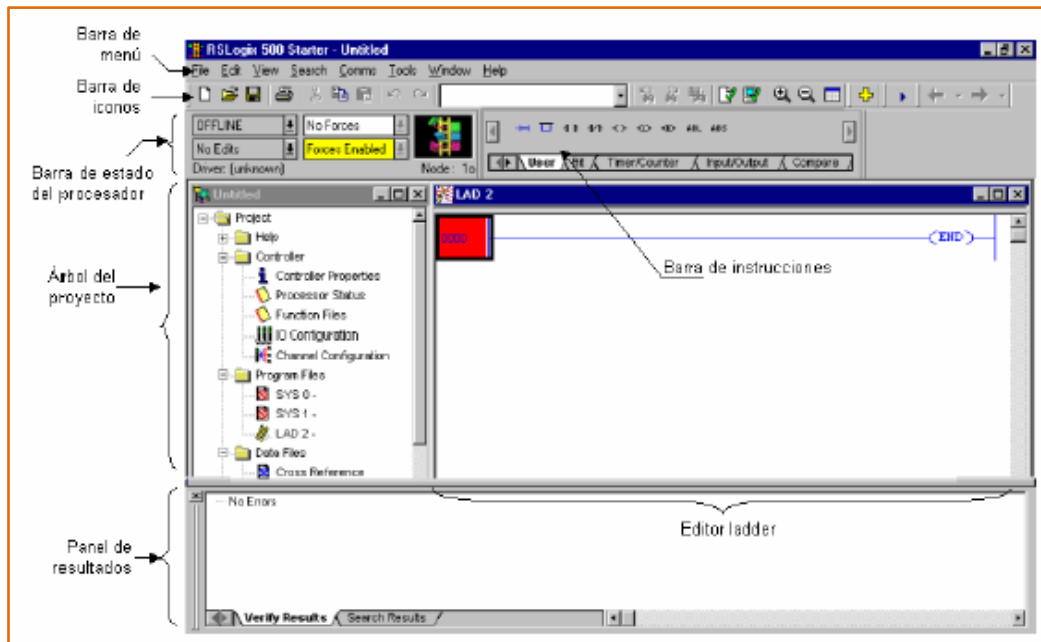


FIGURA 2.12. Vista principal del software RSLogix 500.

Fuente: Manual RSLogix 500, 2004.

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

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

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

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

Panel de resultados: aparecen los errores de programación que surgen al verificar la corrección del programa realizado (situados en la barra de iconos). Efectuando doble clic

sobre el error, automáticamente el cursor se situará sobre la ventana de programa Ladder en la posición donde se ha producido tal error.

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

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

2.9.3. Programa RSLinx

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

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

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

2.10. Programa de interfaz RSVIEW32 (HMI)

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

integra fácilmente con los productos Rockwell Software, Microsoft y otros fabricantes para maximizar las potencias de las tecnologías Active X, OLE, ODBC, OPC, DDE. (Manual RSView 32, 1999).

2.11. Diagrama de bloques del sistema de control de agua

A continuación se describe el diagrama de bloques con el que se indica la lógica de funcionamiento del sistema de control de nivel de agua del banco de pruebas construido.

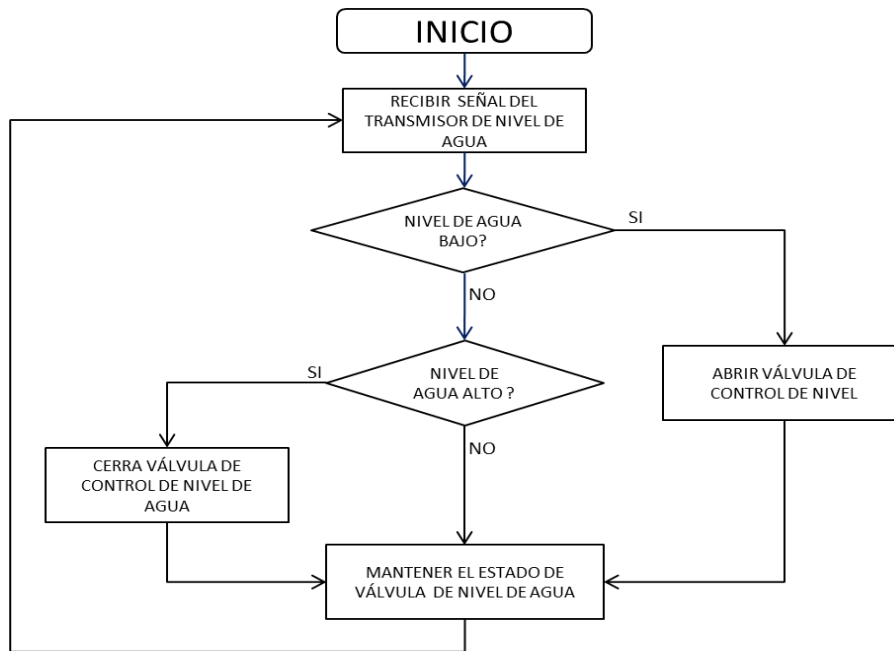


FIGURA 2.13. Diagrama de bloques sistema de control de nivel de agua.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017

2.12. Conclusiones del capítulo

- Se identificó las variables y su matriz de operacionalización.
- Se realizó la observación del proceso de separación trifásica en la planta de procesos, analizando y comprobando su funcionalidad para lograr optimizar los lazos de control de nivel de cada uno de los separadores de la planta de proceso
- Se detalló el funcionamiento y sus características constructivas de cada recipiente dentro de la planta de separación de petróleo así como cada uno los componentes de control y seguridad de cada recipiente que componen la planta de separación del petróleo.
- Se detalló la instrumentación y programas de control que se usará en la construcción del banco de pruebas de control de nivel.

CAPITULO 3

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

3. CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS

3.1. Construcción del banco de pruebas del control de nivel

3.1.1. Diagrama general del prototipo de control de nivel

La siguiente figura indica un diagrama general con la organización de los elementos que conforman el banco de pruebas de control de nivel.

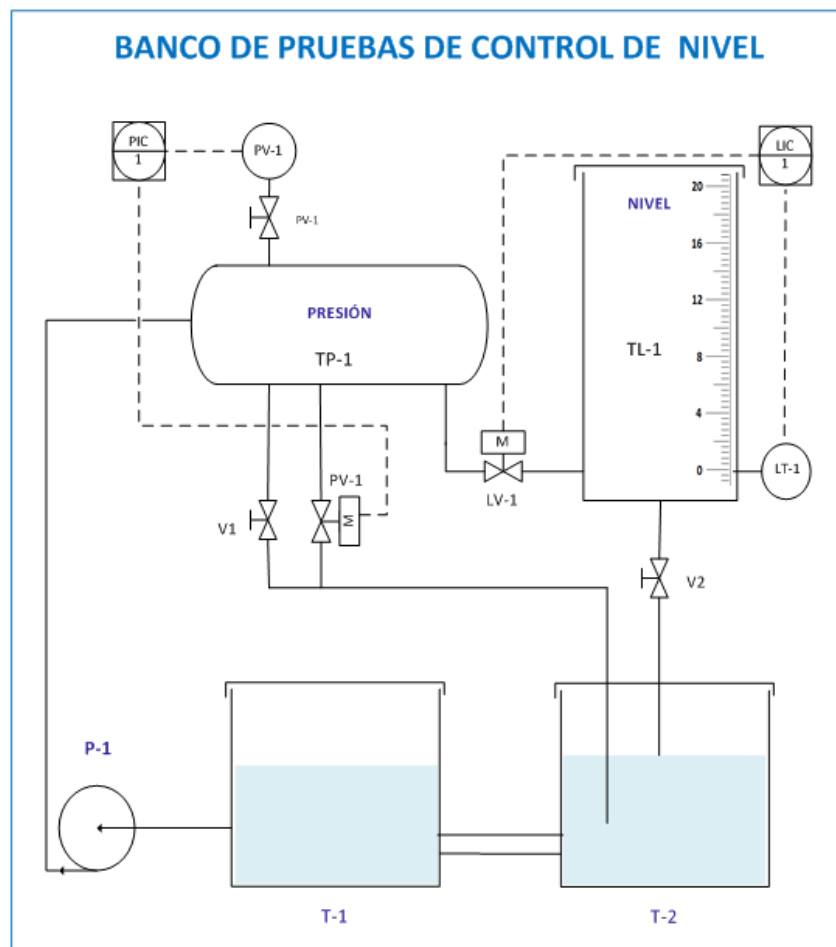


FIGURA 3.1. Diagrama general del banco de pruebas del control de nivel.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017

En el diagrama general del banco de pruebas se puede observar cómo sería el recorrido del fluido desde la bomba hasta el tanque en donde se controlará el nivel. Se observa que desde la descarga de la bomba el fluido a través de tuberías llegan hasta la válvula de control de nivel LV-1 ubicada en el ingreso del tanque de nivel, en este tenemos ubicado un transmisor de nivel LT-1 en cual tomara la lectura del campo y lo enviará al PLC y posterior al HMI.

En la siguiente figura se indica como quedo el banco de pruebas de control de nivel construido para la utilización de prácticas de laboratorio de la universidad técnica de Cotopaxi.



FIGURA 3.2. Ilustración de banco de pruebas de control de nivel.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017.

Como se puede observar en la figura 3.2. Los elementos componentes están ubicados estratégicamente para que cumpla su función dentro del banco de pruebas. Se observa que dispone de dos tanques de acrílico transparente que son succión de la bomba pedrollo, las

tuberías PVC llevan el fluido hasta la válvula de control de nivel, un tanque de acrílico para control de nivel, en este tenemos ubicado un transmisor de nivel.

3.1.2. Elementos componentes del sistema

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

TABLA 3.1. Componentes del sistema de control de nivel.

Fuente. Franklin Vásquez 2017.

MATERIALES DEL PROTOTIPO DE CONTROL DE NIVEL				
Item	Código	Equipo	Fabricante	Características
1	S1	Tanque de presión	Taller Local	En acero inoxidable ϕ 30 cm x 40 cm largo
2	V1	Válvula 1	Edesa	Válvula de drenaje 3/8" acero inoxidable
3	V2	válvula 2	Edesa	Válvula de de 3/4" acero inoxidable
4	PV1	Válvula de control	Tcrystal	Válvula de 1/2" con actuador TCN-02T
5	LV1	Válvula de control	Tcrystal	Válvula de 1/2" con actuador TCN-02T
6	PIT 1	Transmisor de presión	SMAR	Transmisor indicador de presión 0-100PSI
7	LIT 1	Transmisor de presión	SMAR	Transmisor indicador de presión 0-20" H2O
8	M1	Bomba-motor	Pedrollo	Motor eléctrico 0.5 HP
9	PLC 1	PLC	ALLEN BRADLEY	Micrologix 1100
10	I/O 1	I/O Tarjeta	ALLEN BRADLEY	Micrologix 1762-IF20F2
11	V 1	Fuente	SOLA	110VCA/24 VDC
12	C 1	Contactador	LG	15 Amp/ 110 VCA
13	RL	Rele 24 VDC C1	SQUARE D	Relé 24 VDC/contactos 5 Amp/110 VCA
14	CT 1	CT	SQUARE D	100/5 A radio
15	T 1	Transductor	PALADIN	5 A/ 4-20 mA
16	CC1	Convertidor	Weidmuller Ltd	4-20 mA/0-10 VCD
17	TB	Caja de conexión	SQUARE D	40"x60"X8", IP56
18	TQ	Tanques de agua	G&G DOMOS	Construido en acrílico 40cmx40cmx60cm
19	T2	Tubería 1/2", 3/4" Y 1"	PLASTIGAMA	Tuberías para el sistema hidráulico
20	TX	Tablero	Taller Local	Estructura de 170x120x60
21	TL	Tanque de nivel	G&G DOMOS	Construido en acrílico 30cmx30cmx65cm.

En la tabla 3.1. Se detalla los componentes utilizados en el banco de pruebas de control de nivel, la marca el fabricante y la características de cada uno.

3.1.3. Bomba de agua marca Pedrollo PKm 60-MD

La bomba escogida para este proyecto es una marca Pedrollo modelo PKm 60-MD, tiene una capacidad hidráulica de 60 l/m con una presión de descarga de 5Mts y una potencia de 0,5 HP, es la más apropiada por el consumo de energía, la presión de trabajo es adecuada para trabajar con tuberías PVC y el flujo que maneja es el adecuado para nuestro tanque de control de nivel.

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

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

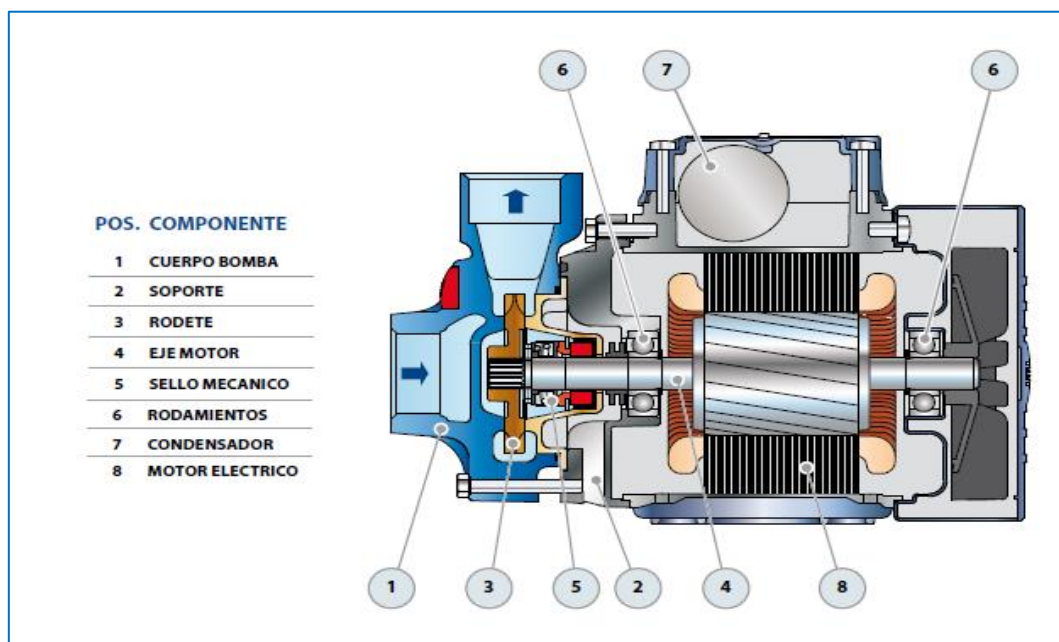


FIGURA 3.3 Despiece bomba Pedrollo Pkm-60-MD.

Fuente: Catalogo general Pedrollo, 2017

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

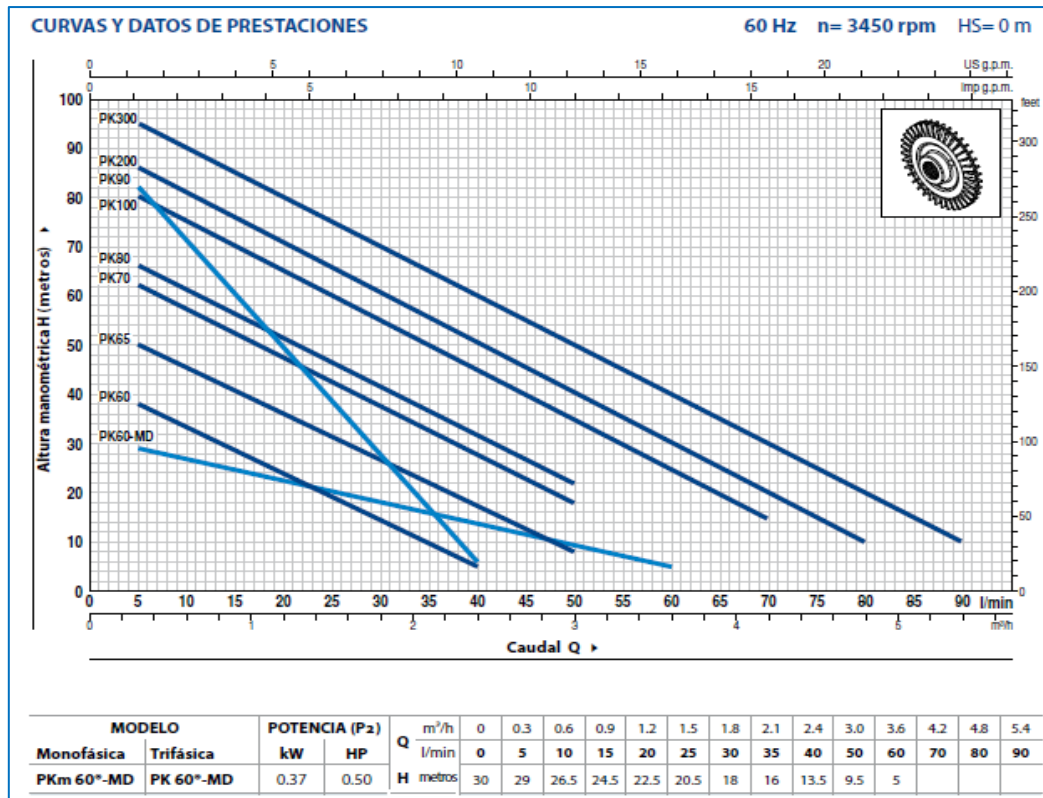


FIGURA 3.4. Curva y datos de prestaciones bomba Pkm-60-MD.

Fuente: Catalogo general Pedrollo, 2017

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

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

3.1.4. Válvula de control de nivel

La válvula de control usada para la construcción del banco de pruebas de control de nivel es marca **TCrystal con actuador TCN-02T**, se usó esta válvula de ½” debido a que con esta podemos tener variaciones de caudal en un amplio rango de trabajo de la curva de la bomba, además que en función del tanque en donde se controla el nivel podemos tener variaciones

rápidas y podamos ver los cambios casi instantáneamente lo que facilita el aprendizaje, por su fácil configuración y conexión con el sistema de control instalado además de su bajo costo y fácil ubicación en el mercado además que tiene las siguientes características que hacen que sea la más adecuada para nuestro propósito.

- Válvula de bola de ½” con accionamiento ON-OFF en 90°. cuerpo en acero inoxidable.
- Tensión nominal: AC230V, AC / DC24V
- Par de torsión: 20N.m
- Tiempo de funcionamiento: cerca de 10S
- Instale en válvulas por debajo de 15N.m: 2 vías, de 3 vías y de mariposa.
- Señal de control: 4-20mA, 0-20mA, 0-5V, 1-5V, 0-10V, 2-10V
- Realimentación sobre la posición: 4-20mA
- Precisión de posición: ± 1% (ajustado por software)
- Motor sin escobillas de alto rendimiento, protección contra sobrecarga
- Se puede utilizar 20.000 veces * 1



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

Fuente: Manual del usuario TCN-02T, 2017

3.1.5. Tanque de agua para control de nivel

El tanque de agua que se construyó en función del caudal que maneja la bomba a través de la válvula de control de nivel y las tuberías instaladas lo que finalmente logramos es tener un

tanque con variaciones de nivel en cortos periodos de tiempo lo que facilita visualizar el proceso de control en este sistema de control de nivel.

El tanque de nivel tiene las siguientes características.

- Tanque de acrílico duro transparente.
- Tiene un dimensionamiento de 30 x 30 x 60 Cm.
- Volumen del tanque es de 54000 cm³ equivale a 0,054 m³.
- Indicación de nivel de 0-20”.
- Tiene tres orificios uno de entrada, uno de salida y uno para el transmisor de nivel.

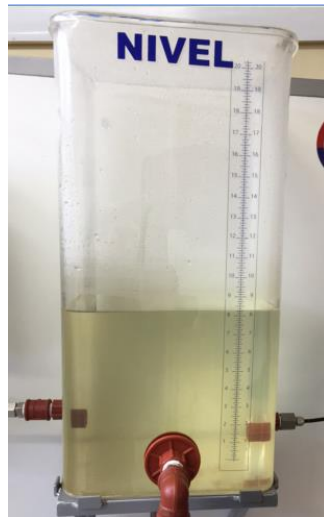


FIGURA 3.6. Tanque para control de nivel UTC.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017

Se realizó la construcción con estas medidas debido a que se puede tener variaciones rápidas del nivel con el caudal que manejará válvula de control de ½” y la bomba que se utiliza para este proyecto. Esto facilitará el aprendizaje y los ensayos de control.

3.1.6. Transmisor inteligente de presión SMAR LD-301

El LD301 Es un transmisor de presión inteligente para la medición diferencial, manométrica y absoluta de diámetro, nivel y flujo. El transmisor se basa en un sensor capacitivo probado en el campo, que ofrece un funcionamiento seguro y de alto rendimiento. La tecnología digital que se usa en el LD301 permite seleccionar varios tipos de funciones de transferencia,

una fácil interfaz entre el campo y la sala de control, y algunas características que reducen notablemente los costos de instalación, operación y mantenimiento.

El Transmisor de Presión Inteligente LD301 es un instrumento digital con las características más modernas que un dispositivo de medición puede ofrecer. Su protocolo de comunicación digital (HART) permite conectar el instrumento a una computadora para ser configurado de una manera muy simple y completa. Por consiguiente, incluso el HART, siendo un tipo de protocolo master-slave (maestro-esclavo), puede trabajar hasta con dos maestros en un barrido. El Master Primario tiene el papel de Supervisor y el Secundario, el papel de Configurator.

El transmisor de presión fue configurado para trabajar en un rango de presión de 0-20" de agua para una salida de corriente de 4-20 mA. La calibración de presión corresponde a que trabajara como transmisor indicador de nivel con rango de trabajo de 0 a 20" H₂O nivel de trabajo del tanque.

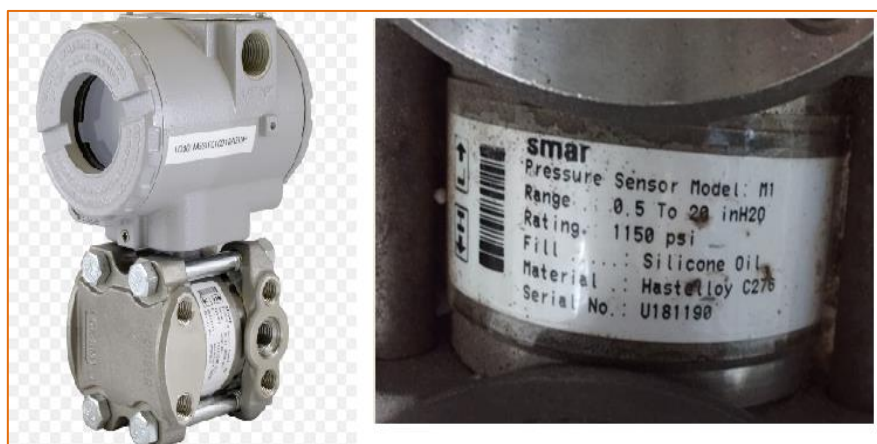


FIGURA 3.7. Transmisor inteligente de presión SMAR LD-301.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017.

3.2. Diagrama del sistema eléctrico del banco de pruebas de control

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

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

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

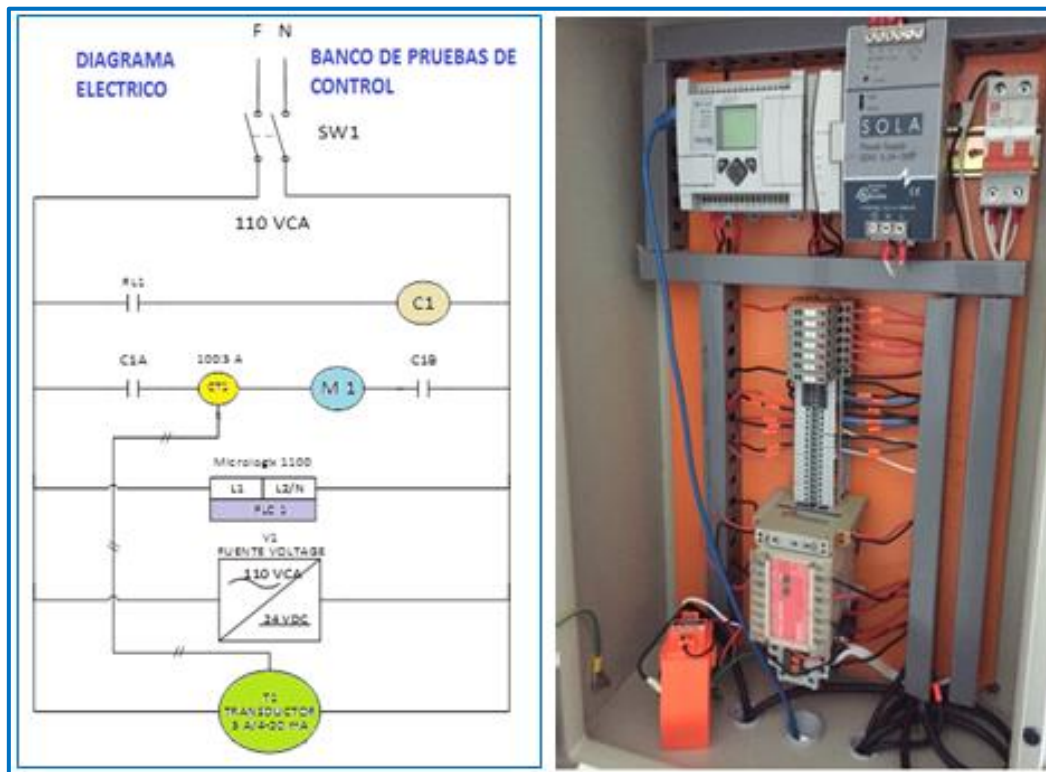


FIGURA 3.8. Diagrama eléctrico del banco de pruebas de control.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017

En la Figura 3.8 disponemos del diagrama eléctrico del banco de pruebas de control, en este se puede visualizar la organización de los elementos de control y potencia, en la parte superior se visualiza el PLC, la tarjeta de entradas y salidas analógicas, la fuente de poder SOLA, el breaker de alimentación principal, seguido tenemos las regletas, y en la parte inferior se tiene el Contactor principal, el guarda motor, los módulos de conversión de señales de corriente AC en analógicas para poder ingresar en el PLC.

3.3. Elementos del sistema de control de nivel

El sistema de nivel está constituido por los siguientes elementos:

- Programador lógico controlable 1763 Micrologix 1100 Series A.
- Tarjeta de 2 entradas y 2 salidas analógicas 1762-IF2OF2.
- Fuente de poder SOLA 24 VDC.
- Transmisor de corriente 5-100.

- Conversor de corriente a señal analógica. 0-10V
- Computadora de escritorio marca HP con sus accesorios.
- Contactor principal de alimentación 110 VAC para el motor.
- Relé de protección de sobrecarga para el motor.

3.3.1. PLC Micrologix 1100 de Allen Bradley

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

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

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

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

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

Para realizar la medición del nivel se realiza por medio de un transmisor indicador de presión estática de Marca SMAR LD-301 el cual fue calibrado previamente calibrado de 0-20" H₂O, para una señal de 4 a 20 mA.

Con el PLC se realiza la configuración del Hardware, dentro del menú del *I/O configuration* se escoge le tipo de PLC utilizado para el prototipo, en el Slot 0 se ubica el Micrologix 1100 Series A, en el Slot 1 de ubica la tarjeta I/O (1762-IF2OF2), la cual contiene dos entradas analógicas que deben ser fijadas de 4 a 20 mA, dos salidas que serán configuradas de 4 a 20 mA.

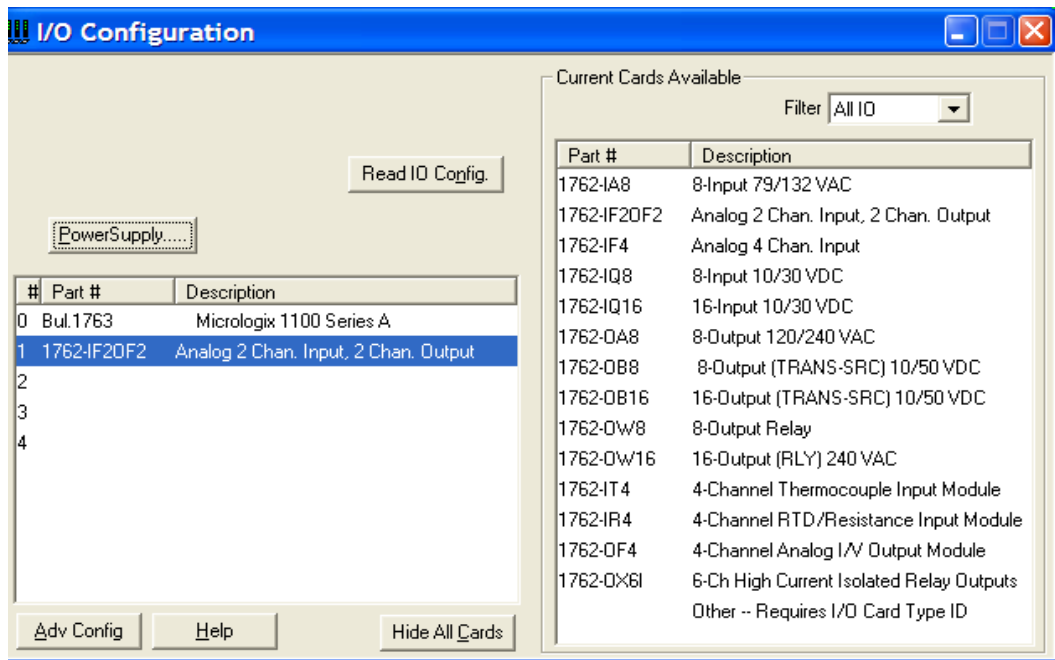


FIGURA 3.9. Configuración de tarjeta 1762-IF2OF2 en el Micrologix 1100.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017

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

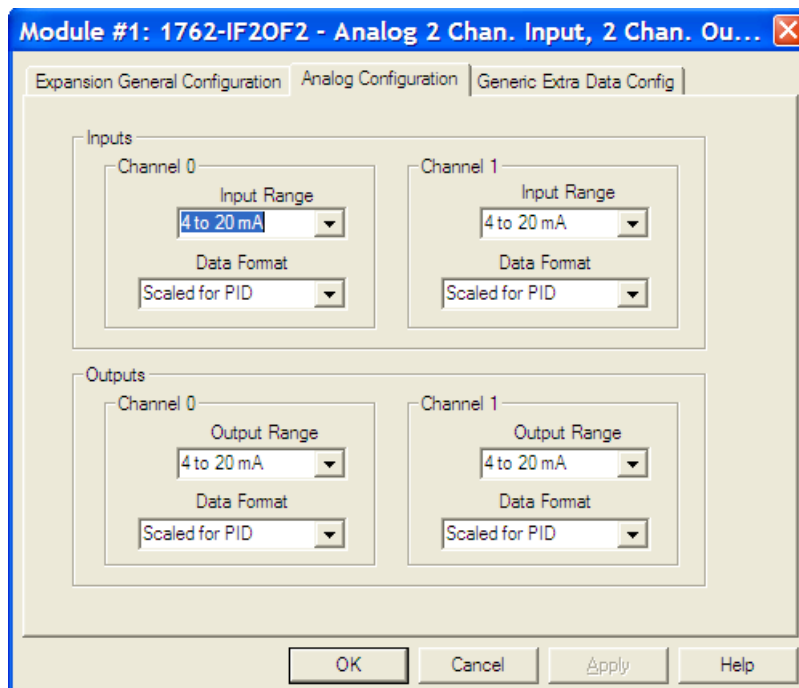


FIGURA 3.10. Configuración de tarjeta 1762-IF2OF2 en el Micrologix 1100.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017

3.3.3. Programa para el lazo de control de nivel

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

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

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

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

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

Section	Parameter	Value
Tuning Parameters	Controller Gain K_c	0.80
	Reset T_i	0.20
	Rate T_d	0.80
	Loop Update	0.10
	Control Mode	E=Pv-SP
	PID Control	AUTO
	Time Mode	STI
	Limit Output CV	NO
	Deadband	0
	Feed Forward Bias	0
Inputs	Scaled Set Point SPS	2457
	Setpoint MAX(Smax)	16384
	Setpoint MIN(Smin)	0
	Process Variable PV	2496
Output	Control Output CV (%)	48
	Output Max CV (%)	100
	Output Min CV (%)	0
	Scaled Error SE	39
	Error Code	0
Flags	TM	0
	AM	0
	CM	1
	OL	0
	RG	1
	SC	0
	TF	0
	DA	0
	DB	0
	UL	0
LL	0	
SP	0	
PV	0	
DN	1	
EN	1	

FIGURA 3.11. Datos del Setup PID del ladder de nivel.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017

3.4. Configuración del HMI en el sistema RSVIEW 32

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

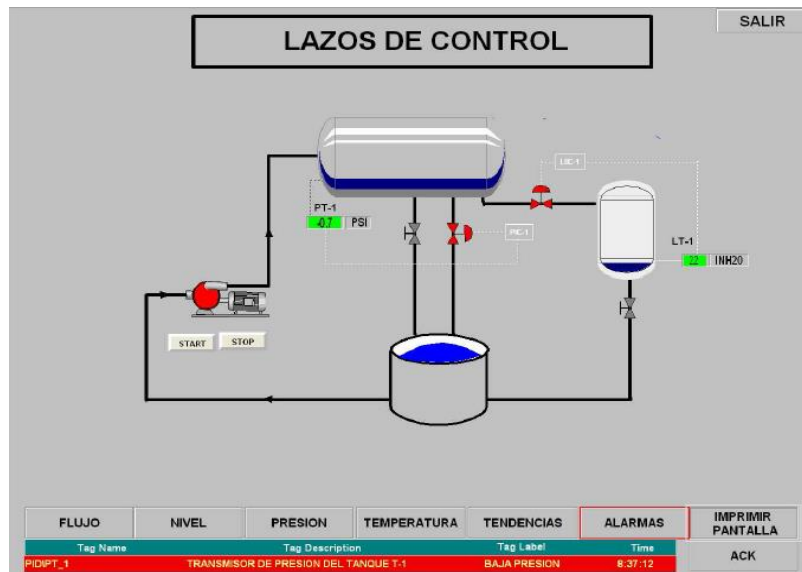


FIGURA 3.12. RSVIEW 32 Pantalla principal del sistema.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017

La pantalla del control de nivel está dividida en cuatro partes, la primera parte maneja las constantes del PID, KC (%), TI (seg) y TD (seg), en este display se puede ingresar los datos de SP, escoger el modo de operación MANUAL / AUTOMATICO.

La segunda parte indica la animación del lazo de control de nivel e indicación de la operación de la bomba, con sus respectivos botones START/STOT. En esta parte de la pantalla se puede apreciar la disposición de los elementos como son loa tanques de agua succión de la bomba el tanque donde se realiza el control de nivel y los instrumentos de control.

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

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

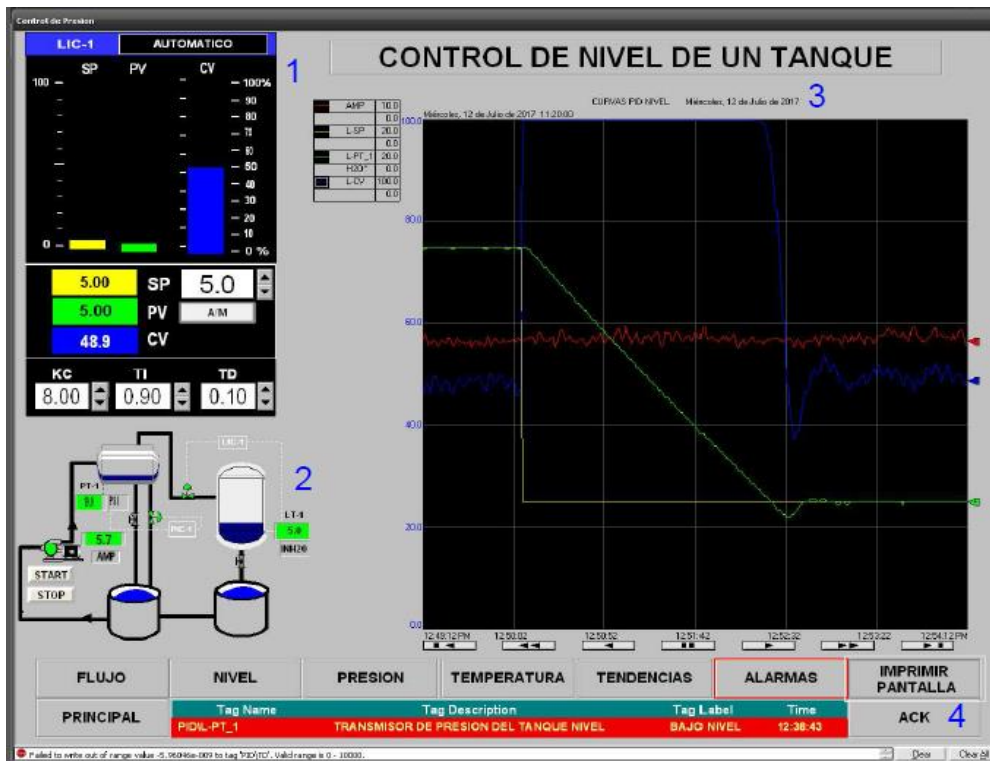


FIGURA 3.13. RSVIEW 32 Pantalla principal de control de nivel.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017

3.5. Ensayos para sintonización de control de nivel

3.5.1. Lazo abierto método de Ziegler-Nichols

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

- Encienda el proceso, en modo automático.
- Fije un set point de 3" de nivel.
- Ajuste las factoras del controlador PID a $KC=10$, $TI= 2$, $PD=0$
- Esperar que el controlador estabilice el sistema.
- Transferir el controlador a modo manual el HMI toma el último valor de apertura de la válvula.
- Dejar que el sistema alcance el régimen estacionario.
- Registre el valor de apertura de la válvula $CV1 = 52$.
- Variar la apertura de la válvula $CV=55$.
- Registre la curva de la variable, (imprima la pantalla).

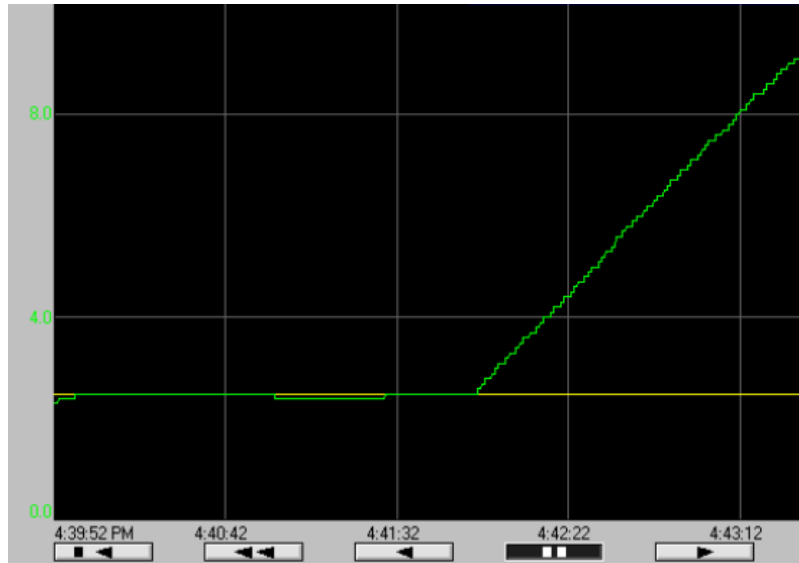


FIGURA 3.14. Curva lazo abierto control de nivel.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017

- De lo observado en este ensayo en el lazo de control de nivel del banco de pruebas no se puede aplicar este método de lazo abierto Ziegler-Nichols debido a que este sistema tiene una válvula de control de ingreso y una de perturbación a la salida, al variar la apertura de la válvula de ingreso de fluido el nivel en el tanque comienza a subir sin lograr el escalón por lo que se corrige abriendo manualmente la válvula de salida o perturbación antes de tener un rebozo de agua en el tanque. Esto se debe a que si tenemos un mayor ingreso de agua al tanque y la perturbación o salida es constante por lo que el nivel tiende a aumentar sin lograr una estabilización de nivel. Como se indica en la curva del método.

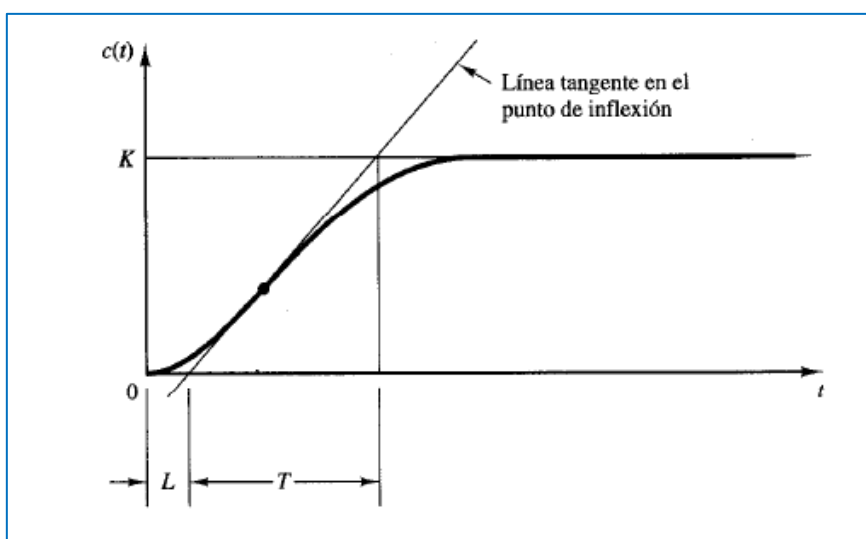


FIGURA 3.15. Curva lazo abierto Ziegler-Nichols.

Fuente: Fuente: (Ingeniería de control moderna K. OGATA 2010).

3.5.2. Lazo cerrado método de Ziegler-Nichols

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

Primero se fija $Ti\%=\infty$ $Td\%=0$. Usando sólo la acción de control proporcional (véase la Figura 8-4), se incrementa K_p desde 0 hasta un valor crítico K_{cr} , en donde la salida presente oscilaciones sostenidas. (Si la salida no presenta oscilaciones sostenidas para cualquier valor que pueda tomar K_p , entonces este método no se puede aplicar.) Así, la ganancia crítica K_{cr} y el periodo P_{cr} correspondiente se determinan experimentalmente.

- Encienda el proceso, en modo automático.
- Fije un Set Point de la variable de nivel en 4”.
- Ajuste los factores del controlador PID a $K_C=10$, $T_I= 0.8$ y $T_D=0$
- Esperar que el sistema se estabilice.
- Fije el factor del PID $K_c= 0$, $T_I = 999(\infty)$ y $T_D=0$
- Permita que el sistema se estabilice.
- Empece a incrementar el valor de K_c en pasos de 0.1.
- En cada incremento permita que el sistema se estabilice.
- La señal de la variable de proceso PV (verde) empezara a variar y la señal de la CV oscilara de manera más amplia.

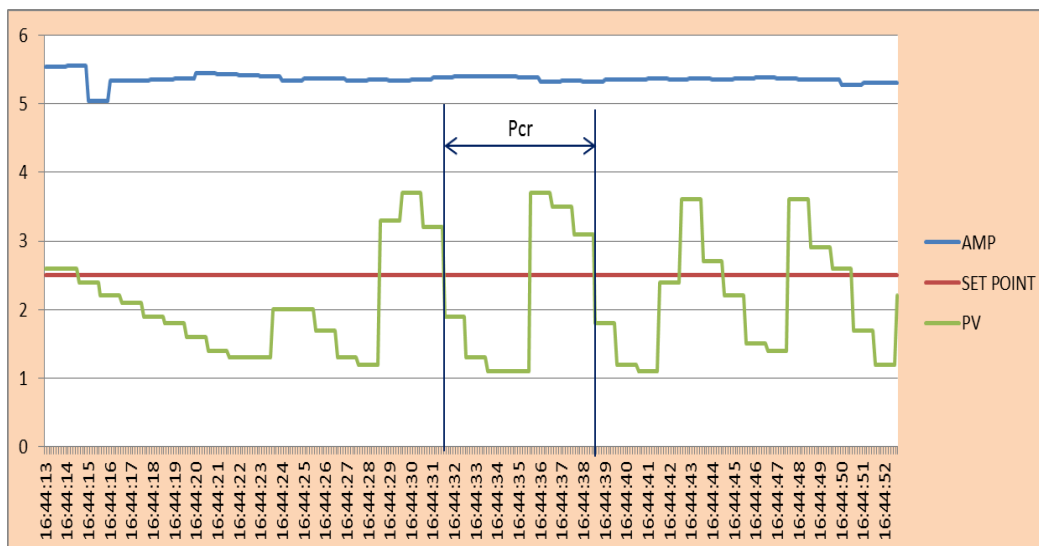


FIGURA 3.16. Curva de oscilación lazo cerrado control de nivel.

Fuente: Franklin Vásquez 2017.

Los valores encontrados experimentalmente son:

$P_{cr} = 7$

$K_{cr} = 20$

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

TABLA 3.2. Constantes K_C , T_I encontradas por el método de lazo cerrado.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017.

$P_{cr} = 7$			
$K_{cr} = 20$			
Tipo de controlador	K_c	T_i	T_d
PI	$0.45K_{cr}$	$0,833P_{cr}$	0
PI	9	5,8	0

- Procedemos a ingresar los valores de $K_c=9$ y $T_i=5,8$ en el controlador a través del HMI.
- Realizamos un ensayo variando 5 veces el set point de 2'' a 10'' en pasos de 2'' y tenemos la siguiente respuesta.

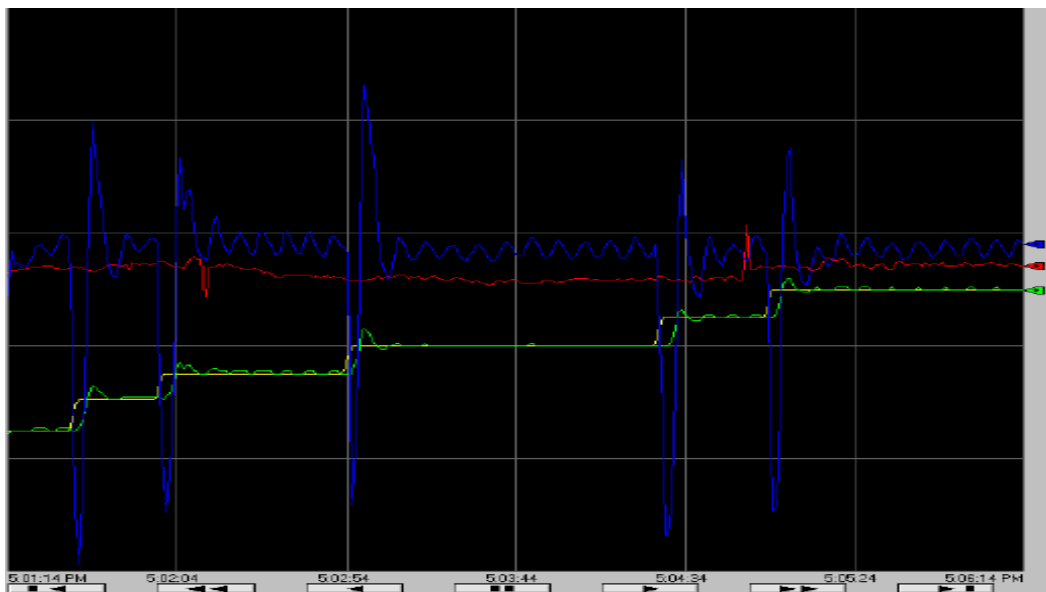


FIGURA 3.17. Curva del sistema con los valores de K_c y T_i encontrados.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017.

- A continuación se registran los valores de corriente de la bomba en función de las variaciones de los set points.

TABLA 3.3. Valores de corriente Vs Setpoint para 5 puntos diferentes.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017

Medición de la corriente de la bomba					
Pruebas (Set point)	SP 1	SP 2	SP 3	SP 4	SP 5
Set Point (Pulgadas)	4	6	8	10	12
I corriente (Amperios)	5,4	5,6	5,5	5,3	5,6

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

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

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

3.5.3. Ensayo 3.

Revisar la respuesta del sistema con las constantes $K_c=8$, $T_i=3$ y $T_d=0$

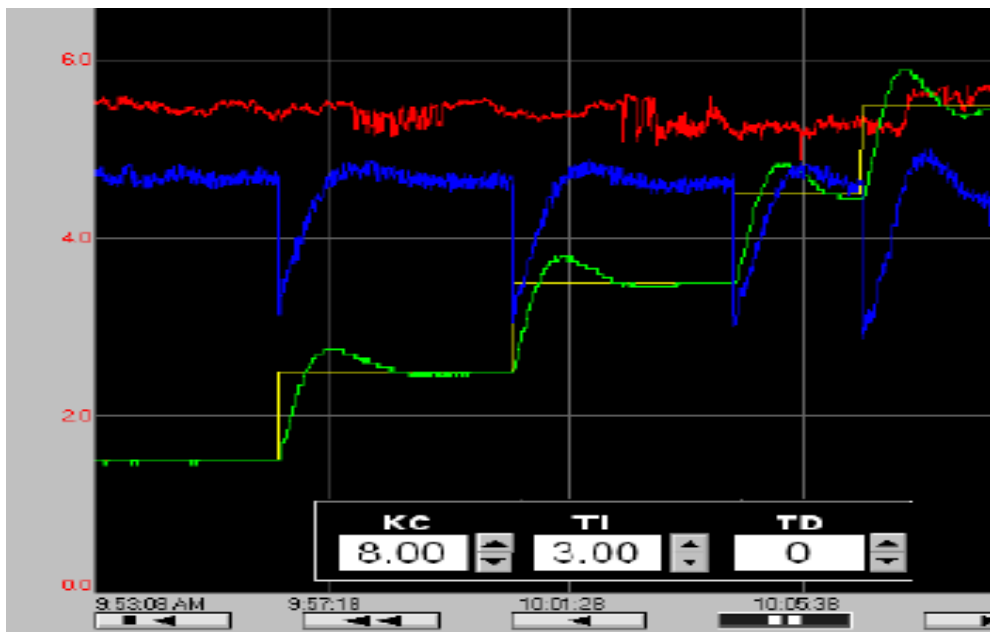


FIGURA 3.18. Curva uno del sistema con valores de $K_c=8$ y $T_i=3$.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017

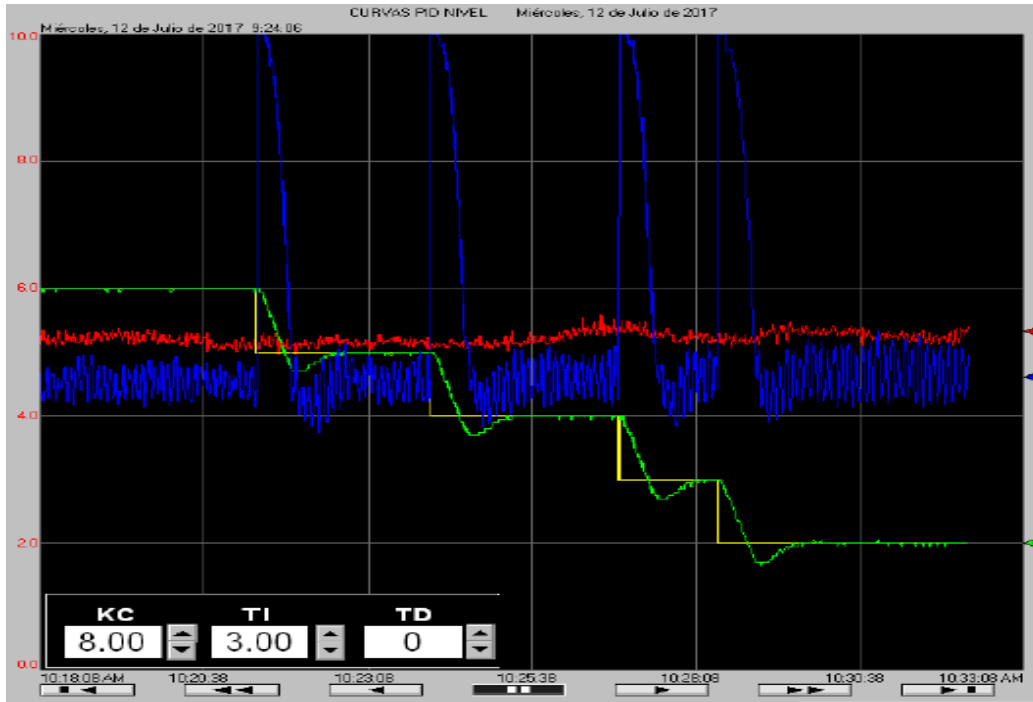


FIGURA 3.19. Curva dos del sistema con valores de $K_c=8$ y $T_i=3$.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017

3.5.4. Ensayo 4.

Revisar la respuesta del sistema con las constantes $K_c=8$, $T_i=0.9$ y $T_d=0.1$.

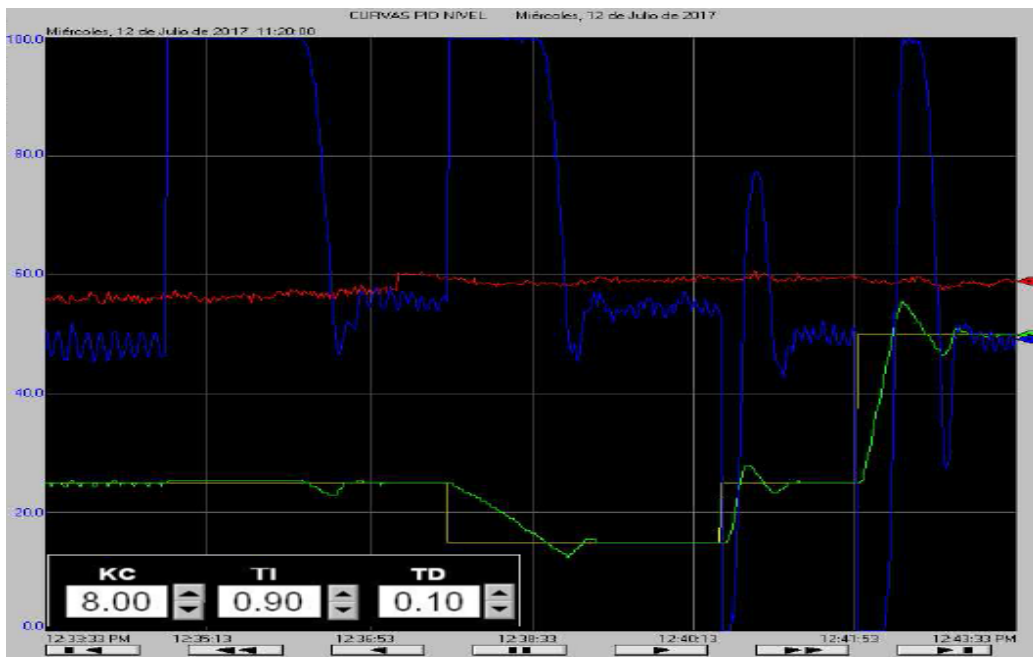


FIGURA 3.20. Curva del sistema con valores de $K_c=9$, $T_i=0.9$ y $T_d=0.1$.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017

3.6. Análisis de resultados

- Los elementos seleccionados para la construcción del banco de pruebas de control son los adecuados ya que permitió desarrollar todos los ensayos de control de nivel de forma exitosa, permitiendo la simulación de un proceso industrial.
- El banco de pruebas construido para el control de nivel tiene un rango de trabajo de 0'' hasta 20'' H₂O.
- En el método de lazo abierto Ziegler-Nichols no pudo ser definido debido a que este sistema tiene una válvula de control de ingreso y una manual de salida, al variar la apertura de la válvula de ingreso el nivel en el tanque comienza a subir sin lograr el escalón. Esto se debe a que si tenemos un mayor ingreso de agua al tanque vs la salida que es constante por lo que el nivel tiende a aumentar sin lograr una estabilización de nivel. Por lo que por este método no se pudo identificar las constantes K_c , T_i y T_d .
- En el segundo método para la sintonización del PID por Ziegler & Nichols, el cual requiere los datos de ganancia crítica K_{cr} y el periodo de oscilación P_{cr} , se obtuvieron de forma exitosa.
- El método de Ziegler y Nichols para la sintonización del PID utiliza el criterio del decaimiento del 25 % para un cambio del set point tipo escalón en la variable, en la siguiente figura se indica la respuesta del sistema con un set point del 20 % y con los valores de PID calculados.

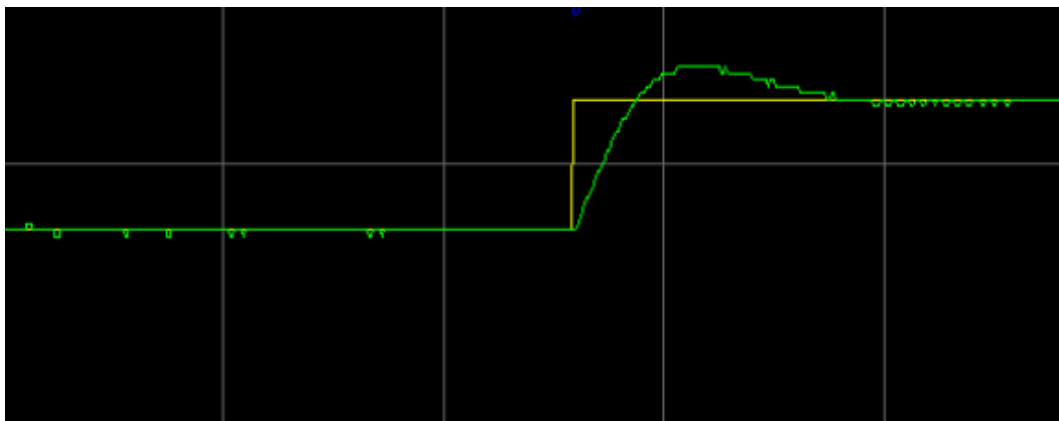


FIGURA 3.21. Respuesta de variable con sobreelongación menor al 25%.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017

- Se puede observar que la variable del proceso tiene un pico máximo que no supera el 25% de la variación del set point y el valor de tiempo de establecimiento $t_s = 50$ seg. Entonces los valores obtenidos en el cálculo matemático K_c y T_i cumplen con el enunciado del método de lazo cerrado.

- La corriente de consumo del motor bomba del sistema de control tiene variaciones por cada 0,5" de nivel en el sistema, el aumento de corriente es 0.4 amperios. Si calculamos la potencia ser = $110 \times 0.4 = 44$ Watts. Si el sistema tiene una bomba con potencia de salida 650 Watts (dato de placa) y una variación de un 0,5" de nivel 2,5% del nivel total del tanque se tendría un 6.7% de variación de la potencia consumida. A partir de esto se puede deducir que en el sistema de separación de petróleo en donde el levantamiento artificial para el fluido de producción es de una potencia 44 MW dato real de campo, al tener variaciones de nivel del 2,5% del nivel en el separador de producción de petróleo se tendría un 6.7 % (2,95MW) de variación de la potencia lo que ocasionaría perdidas de energía en el sistema.
- Como se puede observar en la siguiente figura, el sistema se encuentra en oscilación, la corriente tiene una respuesta oscilante de acuerdo a la oscilación del sistema de control de nivel, lo que ocasiona un consumo de corriente oscilatorio.

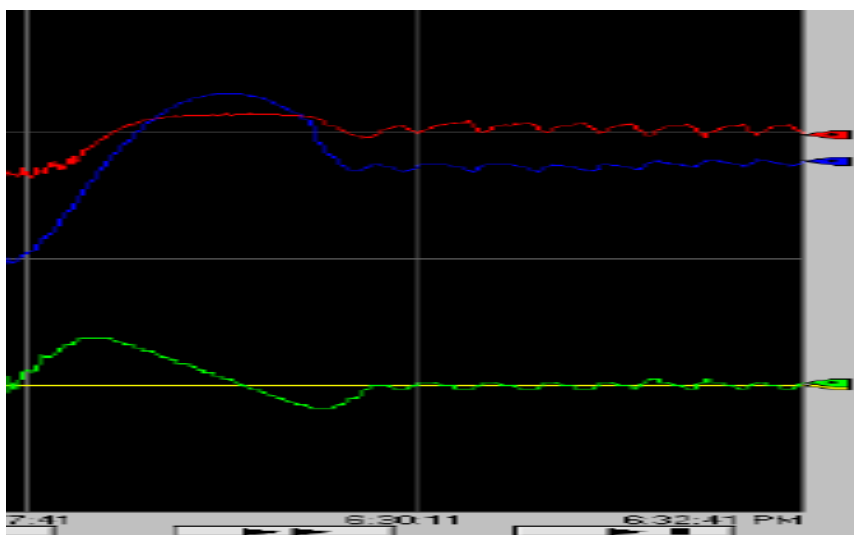


FIGURA 3.22. Respuesta de la corriente en función de la variable.

Fuente: Franklin Vásquez, 2017

- Los datos encontrados en el segundo método o lazo abierto de sintonización PID por Ziegler & Nichols del lazo de control de nivel son datos iniciales para cualquier sistema de control. De aquí en adelante se puede seguir trabajando con estos métodos de acuerdo a las características propias de cada proceso o industria.
- Otra forma de encontrar un sintonización de los lazos de control son a través de ensayo error de cada variable, pero siempre y cuando la empresa y el proceso lo permita ya que esto podría ocasionar daños y pérdidas a la empresa.

- Se podría desarrollar este método ensayo error en bancos de prueba similares al construido en la UTC para el desarrollo de este proyecto.

3.7. Propuesta

3.7.1. Título de la Propuesta

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

3.7.2. Justificación

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

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

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

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

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

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

3.7.3. Objetivo

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

3.7.4. Desarrollo de la propuesta

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

Los rangos de trabajo para el control de nivel de agua usados en los separadores de producción es de 40" H₂O, y medidos a través de antenas de interfase agua-crudo, por lo que para nuestro proyecto usamos un tanque de 20" H₂O como nivel máximo, el transmisor de presión tiene un rango de trabajo de 0-20 "H₂O (agua) lo que el transmisor medirá será la presión de la columna, al ser agua tenemos que la gravedad específica es 1 por lo que el nivel será idéntico a la presión medida este transmisor está configurado para que de una salida de corriente de 4 a 20 mA.

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

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

Para la implementación del lazo de control de nivel se utiliza el sistema de control con válvula de bola de control de 1/2" marca TCrystal ubicada en la descarga de la bomba, al arrancar la bomba el caudal aumenta hasta llegar a su punto de trabajo en la curva de la bomba 10-40 PSI. El sistema de control de presión debe permanecer estable en un valor fijado dentro de su rango de trabajo para iniciar con el control de nivel.

Para valores de nivel en función de la apertura de la válvula de control debemos dar un gasto o perturbación a la salida con una válvula de bola de 3/4" en función de la perturbación y del

nivel fijado en el sistema de control la válvula actuara abriendo o cerrando según corresponda.

Para la simulación del nivel en un separador se construyó un tanque en acrílico transparente con una capacidad de volumen de 54.000 Cm³. En el que se instaló un transmisor de presión que en este caso mediría la columna del líquido de 0 a 20” H₂O previamente calibrado. Además dispone de un indicador de nivel graduado en el tanque en pulgadas que sirve de visualización del nivel.

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

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

3.7.5. Presupuesto de la propuesta

TABLA 3.4. Presupuesto de la propuesta con el costo de cada elemento

Fuente: Franklin Vásquez, 2017

MATERIALES DEL PROTOTIPO DE CONTROL DE NIVEL							
Item	Codigo	Equipo	Fabricante	Características	Cantidad	Costo Unit	Total item
1	S1	Tanque de presión	Taller Local	En acero inoxidable ϕ 30 cm x 40 cm largo	1	\$ 450,00	\$ 450,00
2	V1	Válvula 1	Edesa	Válvula de drenaje 3/8" acero inoxidable	1	\$ 12,00	\$ 12,00
3	V2	válvula 2	Edesa	Válvula de salida de 3/4 acero inoxidable	1	\$ 12,00	\$ 12,00
4	PV1	Válvula de control	Tcrystal	Válvula de bola de ½" con actuador TCN-02T	1	\$ 230,00	\$ 230,00
5	LV1	Válvula de control	Tcrystal	Válvula de bola de ½" con actuador TCN-02T	1	\$ 240,00	\$ 240,00
6	PT 1	Transmisor de presión	SMAR	Transmisor indicador de presión 0-100PSI	1	\$ 800,00	\$ 800,00
7	LIT 1	Transmisor de presión	SMAR	Transmisor indicador de presión 0-20" H ₂ O	1	\$ 800,00	\$ 800,00
8	M1	Bomba-motor	Pedrollo	Motor eléctrico 0.5 HP	1	\$ 250,00	\$ 250,00
9	PLC 1	PLC	ALLEN BRADLEY	Micrologix 1100	1	\$ 800,00	\$ 800,00
10	IO 1	IO Tarjeta	ALLEN BRADLEY	Micrologix 1762-IF20F2	1	\$ 420,00	\$ 420,00
11	V 1	Fuente	SOLA	110VCA/24 VDC	1	\$ 120,00	\$ 120,00
12	C 1	Contactador	LG	15 amp/ 110 VCA	1	\$ 25,00	\$ 25,00
13	RL	Rele 24 VDC C1	SQUARE D	Rele 24 VDC/contactos 5 amp/110 VCA	1	\$ 25,00	\$ 25,00
14	CT 1	CT	SQUARE D	100/5 A radio	1	\$ 35,00	\$ 35,00
15	T 1	Transductor	PALADIN	5 A/ 4-20 mA	1	\$ 125,00	\$ 125,00
16	CC1	Convertidor		4-20 mA/0-10 VCD	1	\$ 80,00	\$ 80,00
17	TB	Caja de conexión	SQUARE D	40"x60"X8", IP56	1	\$ 45,00	\$ 45,00
18	TQ1/TQ2	Tanques de agua	G&G DOMOS	Construido en acrílico 40cmx40cmx60cm	1	\$ 170,00	\$ 170,00
19	T2	Tubería 1/2", 3/4" Y 1"	PLASTIGAMA	Tuberías para el sistema hidráulico del banco	1	\$ 30,00	\$ 30,00
20	TX	Tablero	Taller Local	Estructura de 170x120x60	1	\$ 250,00	\$ 250,00
21	TL	Tanque de nivel	G&G DOMOS	Construido en acrílico 30cmx30cmx65cm.	1	\$ 60,00	\$ 60,00
22	B1	Breaker	LS	Breaker set 16 Amp	1	\$ 10,00	\$ 10,00
23	LG	Señalización		Letras, anuncios, carteles	1	\$ 80,00	\$ 80,00
24	SO	Softw are	Aleenbradley	Programas y licencias Rslgix 500, RSVIEW 32	1	\$ 800,00	\$ 800,00
25	AS	Asesoría	Técnicos	Asesoría técnica.	1	\$ 300,00	\$ 300,00
26	A1	Gastos extras	Varios	Pernos, pintura, accesorios, conectores, cables,	1	\$ 600,00	\$ 600,00
						TOTAL	\$ 6.769,00

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

3.8. Conclusiones Capítulo 3

- Se comprobó la hipótesis debido a que la construcción de un banco de pruebas de sistema de control de nivel permitió realizar ensayos para determinar los parámetros iniciales de PID y evaluar la eficiencia energética.
- Los datos encontrados en el segundo método o lazo abierto de sintonización PID por Ziegler & Nichols del lazo de control de nivel son datos iniciales para cualquier sistema de control. De aquí en adelante se puede seguir trabajando con estos métodos de acuerdo a las características propias de cada proceso o industria.
- A partir de los ensayos realizados en este capítulo se puede deducir que en el sistema de separación de petróleo en donde el levantamiento artificial para el fluido de producción es de una potencia 44 MW dato real de campo, al tener variaciones de nivel del 2,5% del nivel en el separador de producción de petróleo se tendría un 6.7 % (2,95MW) de variación de la potencia lo que ocasionaría pérdidas de energía en el sistema.
- La construcción del banco de pruebas se realizó con éxito en función de una adecuada selección de dispositivos y materiales componentes, lo que facilitará de aquí en adelante tener una infinidad de evaluaciones de procesos orientadas a distintas líneas industriales.

CONCLUSIONES

- En una planta de deshidratación de petróleo en cada equipo de separación existe elementos de control y de seguridad de nivel, como son los lazos de control y sus respectivas protecciones de seguridad como son los LSH (switch de alto nivel) y los LSHH (switch de alto-alto nivel) estos a través de un programa elaborado en función de un DATA SHEET (Diagrama causa efecto) toma acciones y a través de válvulas manda al recipiente a una condición segura.
- La construcción del banco de pruebas se ejecutó utilizando Instrumentación Industrial como es el transmisor de nivel marca SMAR LD301, EL PLC MICROLOGIX 1100, la válvula de control y el sistema RSVIEW 32 lo que permitió tener ensayos de nivel que se puede comparar con los existentes en un proceso de separación de petróleo.
- Se utilizó los métodos de sintonización de PID de Ziegler-Nichols, para identificar las constantes K_c , T_i y T_d , en el primero de lazo abierto no pudo ser definido debido a que no se logra la curva S del escalón. Para segundo método o lazo cerrado se identificó las constantes K_c , T_i y T_d que son datos iniciales del sistema y que requiere de un afinamiento posterior para lograr el comportamiento de acuerdo a las características propias de cada proceso o industria.
- En los ensayos de control de nivel se observó que cuando no está sintonizado se produce una oscilación de la variable que ocasiona una variación en el consumo de corriente en el motor-bomba entre 6,0Amp. y 6,3 Amp. Con esto se puede concluir que en el sistema de separación de petróleo al tener oscilación en control de nivel se tendría variaciones en el consumo de energía del levantamiento artificial del fluido de producción ocasionando un mayor consumo de energía alrededor del 6,7%, además que puede tener una afectación a los generadores eléctricos. Por esto es mandatorio tener un proceso totalmente estable sin perturbaciones, para lograr una máxima eficiencia en el consumo de energía en el proceso.

RECOMENDACIONES

- La construcción de un banco de pruebas de control de nivel debe orientar a los estudiantes en carreras afines a control de procesos a realizar ensayos de laboratorio para entrenarse y adquirir destrezas y conocimientos en la modificación de los parámetros de los controladores PID.
- Los estudiantes pueden aprovechar para investigar diferentes métodos de sintonización de los lazos de control y comprobar a través del banco de pruebas su funcionamiento.
- El banco de pruebas de control es construido por equipos eléctricos, mecánicos y electrónicos que se deben realizar un mantenimiento permanente de sus componentes para evitar su deterioro.
- El banco de pruebas tiene la opción de poder ampliar su funcionamiento a otros módulos de control debido a que el HMI y en PLC tienen la opción de expansión, el PLC hasta 8 tarjetas I/O analógicas y digitales y el HMI hasta una configuración de 1000 puntos dinámicos.
- Se recomienda sacar una imagen del CPU de la computadora para tener un respaldo del sistema de control ya que en este tiene todas las licencias y configuraciones del programa del RSLOGIX 500 y del RSVIEW 32.

BIBLIOGRAFÍA

- Automation, R. (1996). *Manual RSLOGIX 500 ESP*. Milwaukee: Controladores Boletín 1761.
- Automation, R. (1999). *Rsviwe32*. Milwaukee: Rockwell Automation.
- Automation, R. (2008). *RSlinx Classic*. Milwaukee: Rockwell Automation.
- Automation, R. (2013). *MicroLogix 1762-IF20F2 Analog Input/Output Module*. Milwaukee: Rockwellautomation.
- Automation, R. (2015). *Micrologix 1100 Programmable Contollers*. Milwaukee: Rockwell Automation .
- BAZÁN, P. (2017). *Platea*. Obtenido de <http://platea.pntic.mec.es/~rmartini/petroleo.htm>
- Bradley, A. (Julio de 2013). *Ideadigitalcontent*. Obtenido de <http://www.ideadigitalcontent.com/files/NEURSPE/16175.pdf>
- Docenciaedwin. (Mayo de 2011). *http://blog.utp.edu.co*. Obtenido de <http://blog.utp.edu.co/docenciaedwin/files/2011/05/ELEMENTOS-FINALES-DE-CONTROL-modificado.pdf>
- E.B. Priyanka, C. M. (2016). Parameter monitoring and control during petrol transportation using PLC. *Journal of Applied Research*, 125-126.
- Ecuador. (2008). *Justicia.gov.ec*. Obtenido de <http://www.justicia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/Constituci%C3%B3n-Politica-del-Ecuador.pdf>
- Ecuador, R. d. (24 de Noviembre de 2011). *Secretaría de Hidrocarburos*. Obtenido de http://www.secretariahidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/08/NORMATIVA_HIDROCARBURIFERA.pdf
- Ingenius. (2011). Prototipo de control automático de nivel y caudal de líquidos. *INGENIUS* N° 6, 10-11.
- INSTRUMENTS, W. (junio de 2017). *WESCHLER* . Obtenido de <http://panelmeters.weschler.com/item/transducers-sensors/crompton-current-and-voltage-transducers/item-10624?&bc=101698|1001|1325#>
- MCB. (4 de abril de 2006). *MCB*. Obtenido de <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiFi-CNnavVAhVKKCYKHUPIBroQFggsMAE&url=http%3A%2F%2Fdoc.vmc.es%2Fdocuments%2Fdownload%2F1649&usq=AFQjCNF2GIZ9nRtQqZoIEfUWwbgIU21uOA>
- Meyers, F. E. (2000). *Estudio de tiempos y movimientos*. Mexico: Pearson Educación.

- Moreno, E. G. (1999). *Automatización de procesos industriales*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- NAVA, M. (05 de marzo de 2014). *Venelogía*. Obtenido de <http://www.venelogia.com/archivos/9589/>
- Niebel, B. W. (2004). *Ingeniería Industrial*. Mexico: Alfa Omega.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control Moderna 5ta Edición*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Pedrollo. (mayo de 2017). *PEDROLLO*. Obtenido de http://www.pedrollo.com/public/allegati/CP%200.25-2.2%20kW_ES_60Hz.pdf
- R., V. M. (2005). *Actualización del método de sintonización de controladores de Ziegler y Nichols*. San Jose: Universidad de Costa Rica.
- Repsol. (2017). Manual de operaciones de producción. Quito, Pichincha, Ecuador.
- SMAR. (1 de Noviembre de 2010). *SMAR*. Obtenido de <http://www.smar.com/PDFs/Manuals/LD301MS.PDF>
- Trimatic.Ch. (Enero de 2016). *Trimatic*. Obtenido de http://www.trimatic.ch/fileadmin/dateien/trimatic/dokumente/service/betriebsanleitungtrimatic/T-C-02T_Modulating_Type-EN.AI_2016.pdf
- Weidmüller. (2014). *Weidmüller*. Obtenido de <http://www.weidmuller.com/us/downloads/installation-guides---user-manuals/analog-signal/ultra-slimpak>

ANEXOS

ANEXO A. Bomba-Motor PEDROLLO



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

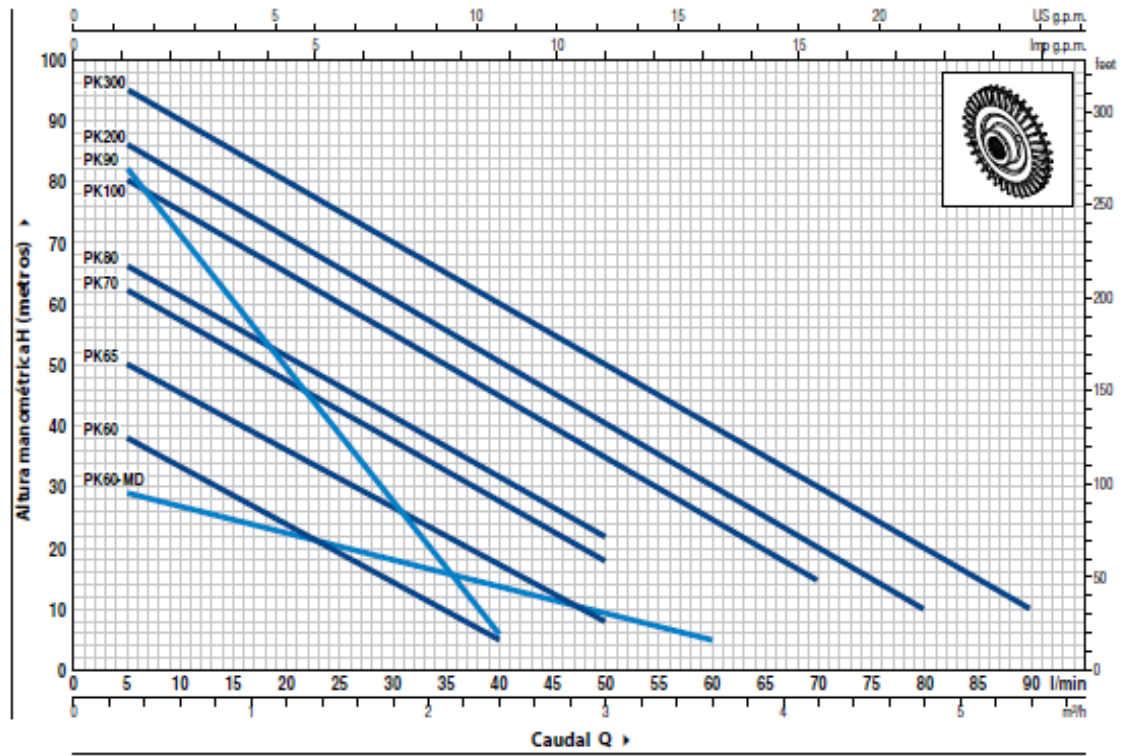
- Cuerpo bomba con bocas roscadas NPT ANSI B 1.20.1
- Sello mecánico especial
- Otros voltajes
- Protección IP X5 para PK 70-80-90-100-200-300

GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 rpm HS= 0 m

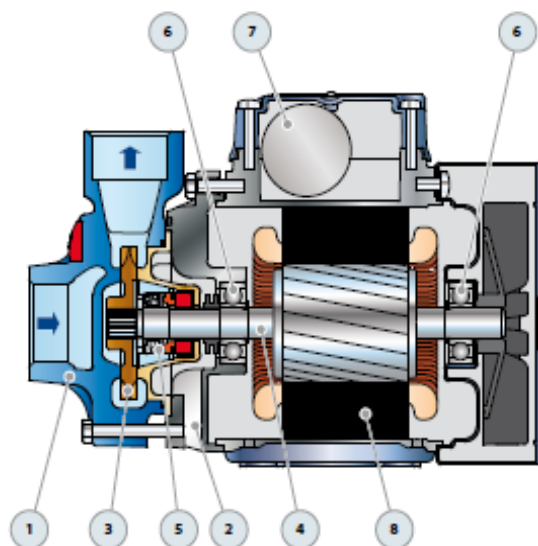


MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q	H metros															
Monofásica	Trifásica	kW	HP		m ³ /h	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	
				l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90		
PKm 60 ^a	PK 60 ^a	0.37	0.50		40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5							
PKm 60 ^a -MD	PK 60 ^a -MD	0.37	0.50		30	29	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>Anillo fijo</i>	<i>Materiales</i>	
		<i>Modelo</i>	<i>Modelo</i>	<i>Diámetro</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 PK 100-200-300	ST1-12 FN-14	Ø 12 mm Ø 14 mm	Carburo de silicio Grafito	Grafito Cerámica	NBR NBR
6	RODAMIENTOS	<i>Electrobomba</i>	<i>Modelo</i>				
		PK 60-65 PK60-MD	6201 ZZ / 6201 ZZ				
		PK 70-80-90	6203 ZZ / 6203 ZZ				
		PK 100-200-300	6204 ZZ / 6204 ZZ				
7	CONDENSADOR	<i>Electrobomba</i>	<i>Capacidad</i>				
		<i>Monofásica</i>		<i>(220 V)</i>		<i>(110 V o 127 V)</i>	
		PKm 60 PKm60-MD	10	µF - 450 VL	25	µF - 250 VL	
		PKm 65	14	µF - 450 VL	25	µF - 250 VL	
		PKm 70	16	µF - 450 VL	60	µF - 300 VL	
		PKm 80	20	µF - 450 VL	60	µF - 300 VL	
		PKm 90	20	µF - 450 VL	60	µF - 300 VL	
		PKm 100	31.5	µF - 450 VL	60	µF - 250 VL	
		PKm 200	45	µF - 450 VL	80	µF - 250 VL	
		8	MOTOR ELECTRICO	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. ➔ 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) - Aislamiento: clase F - Protección: IP X4			



ANEXO B. Válvula TCrystal con actuador TCN-02T



Product overview

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



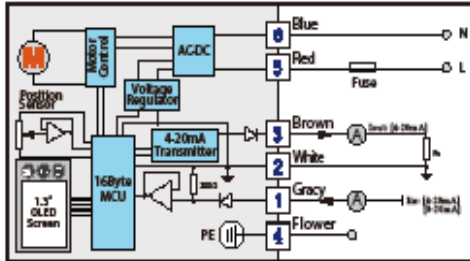
Product features

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

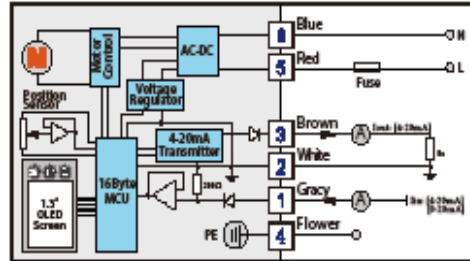
*1 Rated load 15N.m, temperature 25℃, testing switching time is 15s in factory where humidity is 50%, test results will be influenced by different load and working environment.

Intelligent modulating model-wiring diagrams:

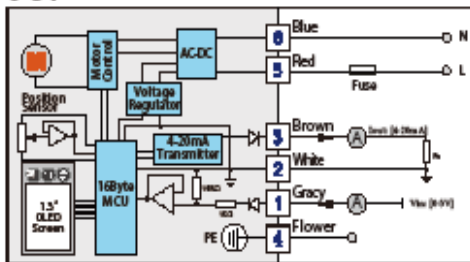
4-20mA



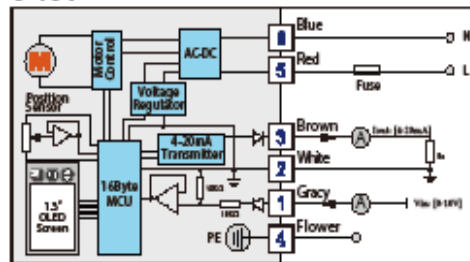
0-20mA



0-5V



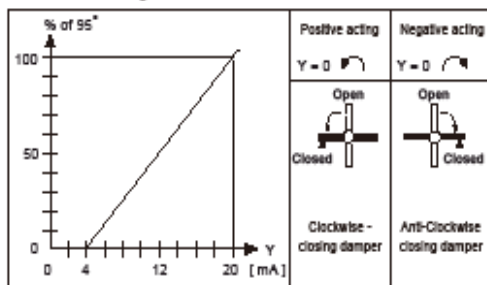
0-10V



Control instructions:

- 8 5** to correct power supply.
- 3 2** are control feedback. **!** They are forbidden to connect the power supply, otherwise it will damage the control module.
- Make sure voltage is in the correct range. **!** otherwise it will damage the control module.
- 3** is control input: 4-20mA, 0-20mA, 0-5V, 0-10V (input resistance refer to corresponding wiring diagram).
- 2** is feedback current output: 4-20mA.
- $V_{out} = I_{Rt}$,
 ΔR_t is recommended to use low TCR resistor.
 $\Delta V_{OUT} \approx I_{Rt} \cdot \Delta R_t$, so $R_t > 4000$ (recommended $V_{out} = 5V$, $R_t = 2500 \Omega / 0.25W$).
- For 4-20mA control, from "user setting", user can set the valve action when there is no control signal, open, close, keep. For other control (0-20mA, 0-10V/0-5V), such setting is invalid.

Position - Control Signal



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

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



Crompton AC Current and Voltage Transducers

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

AC Current, Voltage, Frequency and DC

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

253



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

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

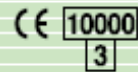
AC VOLTAGE			
Input	Auxiliary Power	Output	Catalog Number
AC Voltage—Average Sensing, Single-Phase			
120 VAC/60 Hz	Self	0-1 mADC	253-TVAU-PQFA-C6
120 VAC/60 Hz	120 VAC	4-20 mADC	253-TVLU-PQHG-C6-DG
AC Voltage—True RMS Sensing, Single-Phase			
120 VAC/60 Hz	120 VAC	0-1 mADC	253-TVRU-PQFA-C6-DG
AC Voltage—True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

253

ANEXO D. Interruptor principal 110 VCA/10 amperios

Interruptores termomagnéticos tipo miniatura

Montaje en riel DIN



Capacidad de Alta Ruptura

Tipo BKN-b



BKN-b 2P

Certificado
CE

Protección patente

Datos técnicos

Estándar	Conforme con IEC60898	
Aprobación	CCCT, 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	Bornes	
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 IN (A)	Resistencia instantánea (mohm)	Pérdida de Potencia (W)	Máx. Impedancia de Lazo de Impedancia (Ohm)			Corrección Térmica de corrientes nominales				
			Carácter			Temperatura ambiente				
			B	C	D	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
1	1215,69	1,24	46,20	25,70	14,40	1,05	1	0,95	0,90	0,85
2	343,28	1,38	21,60	12,02	6,73	2,08	2	1,92	1,84	1,74
3	128,09	1,15	16,90	9,40	5,26	3,18	3	2,82	2,61	2,37
4	105,53	1,68	10,68	5,94	3,33	4,24	4	3,76	3,52	3,24
6	29,22	1,08	7,14	3,97	2,22	6,24	6	5,76	5,52	5,30
10	14,49	1,55	3,87	2,15	1,21	10,60	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	33,50	32	30,40	28,40	27,50
40	2,16	3,40	0,60	0,33	0,19	42,00	40	38,00	35,60	33,20
50	1,65	4,20	0,71	0,39	0,22	52,50	50	47,40	44,00	40,50
63	1,68	6,30	0,47	0,32	0,15	66,20	63	58,00	54,20	49,20

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

Electronic Interface Modules

G408 Ultra SlimPak®

DC Input, Field Configurable Isolator



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

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

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

ISO 9001 Registered

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

Table 1: G408 Input range selector - switch settings

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

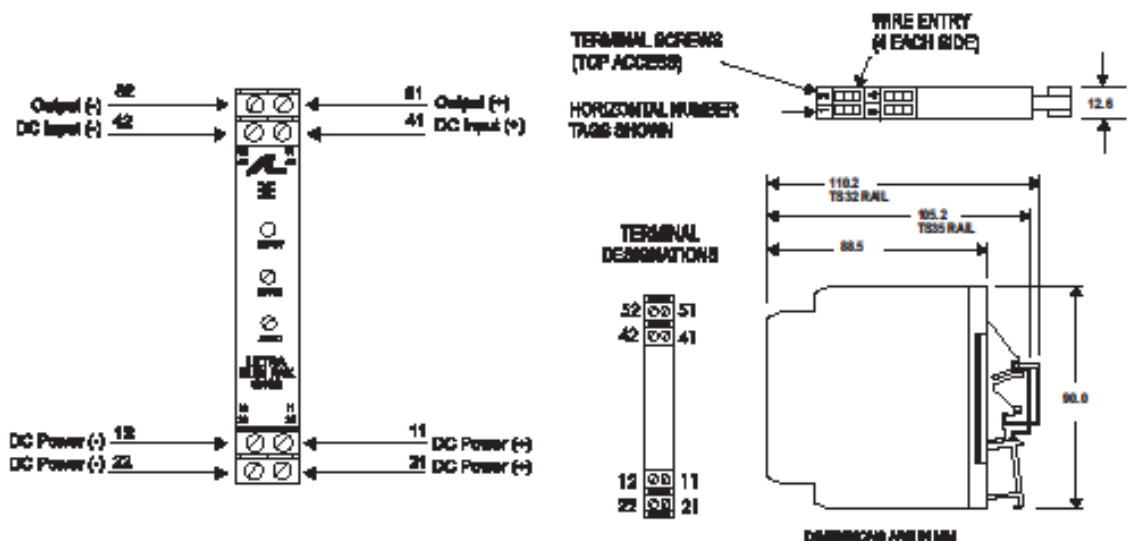
Table 3: Output range selector - switch settings

Key: ■ ON

TYPE	SW1			
	6	8	7	8
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>

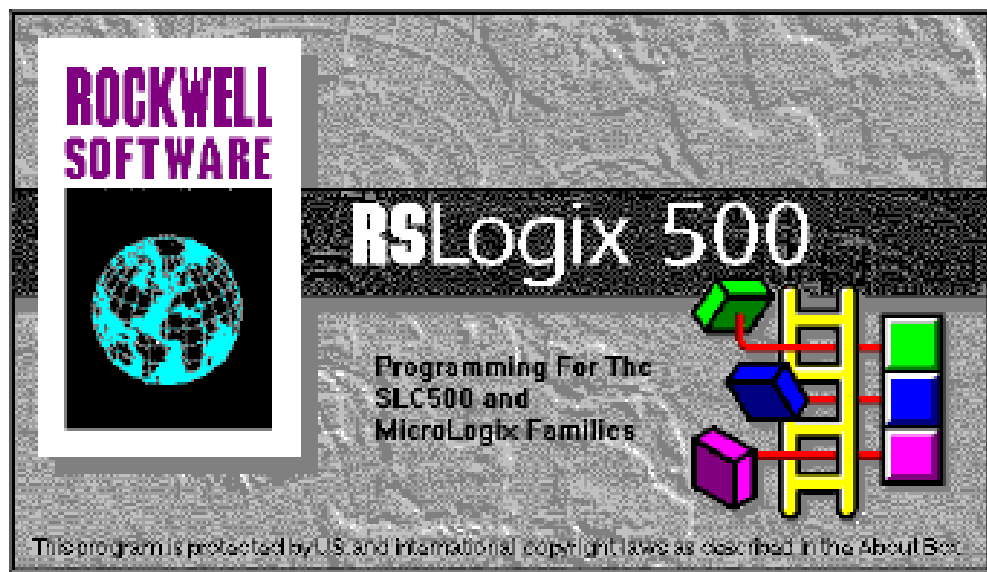


Rated data	
Input	DC current or voltage
Range	±1mA to ±100mA or ±10mVdc to ±100Vdc, DIP switch selectable
Impedance	20Ω for current, >100kΩ for voltage
Maximum ratings / type of protection	170mA, 60Vdc for current, 264Vrms for voltage
Field device excitation	
Other input specification	
Other input specification	
Output	DC current or voltage
Range	0-1mA, 0-20mA, 4-20mA, 0-5Vdc or 0-10Vdc, DIP switch selectable
Load	<7.5kΩ (0-1mA), <600Ω (0/4-20mA), >500Ω (0-5V), >1000Ω (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	±0.35% of full typ., 0.5% max (span <2mA or <20mA) or ±0.1% of full scale typ., 0.2% max. (span >2mA or >20mV)
Temperature coefficient (drift)	±0.025% of full scale/°C typical, ±0.05%/°C maximum
Transmission frequency	
Response time, 90% span	<200ms 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 <75Vdc 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 (0.1Ω, 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 F. Programación RSLOGIX 500.

RSLogix500 Project Report



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

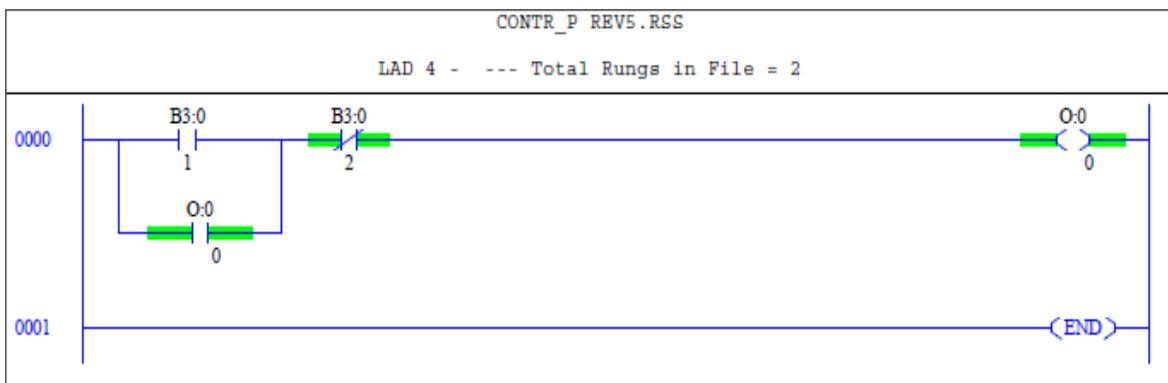
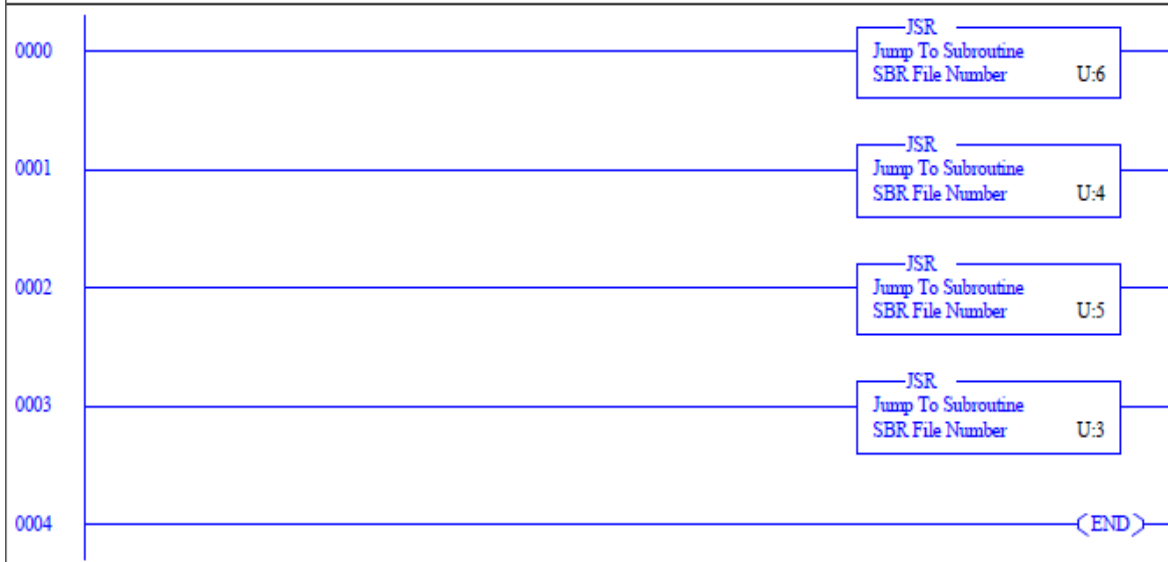
Program Files: 7

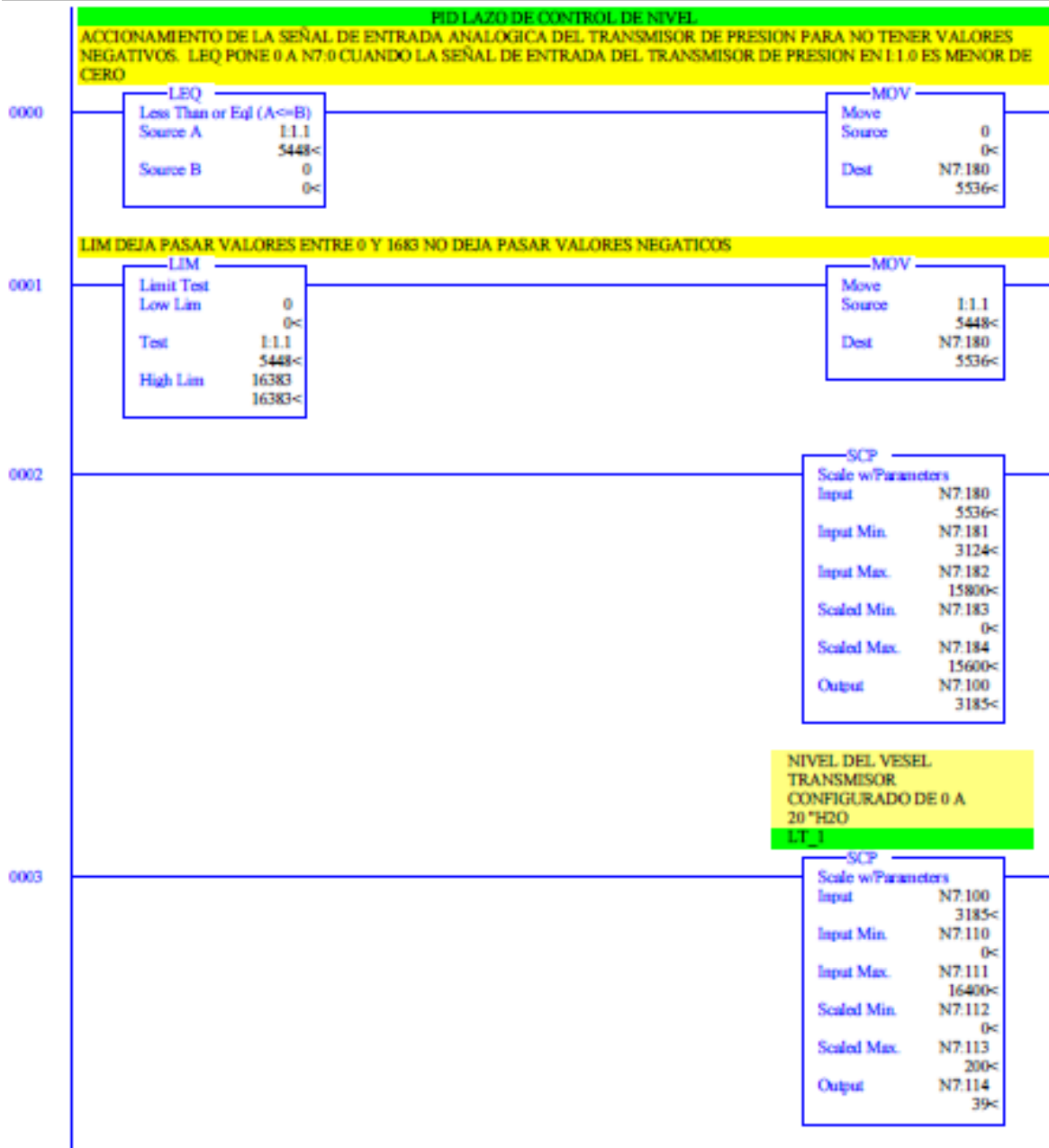
Data Files: 10

Program ID: 9ad8

CONTR_P REV5.RSS

LAD 2 - --- Total Rungs in File = 5





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

0004

SET POINT CONTROL DE NIVEL

SCP	
Scale w/Parameters	
Input	N7.120
	40<
Input Min.	N7.121
	0<
Input Max.	N7.122
	200<
Scaled Min.	N7.123
	0<
Scaled Max.	N7.124
	16383<
Output	PD9:1.SPS
	3277<

0005

BANDA PROPORCIONAL

SCP	
Scale w/Parameters	
Input	N7.130
	100<
Input Min.	N7.131
	0<
Input Max.	N7.132
	16383<
Scaled Min.	N7.133
	0<
Scaled Max.	N7.134
	16383<
Output	PD9:1.KC
	9<

0006

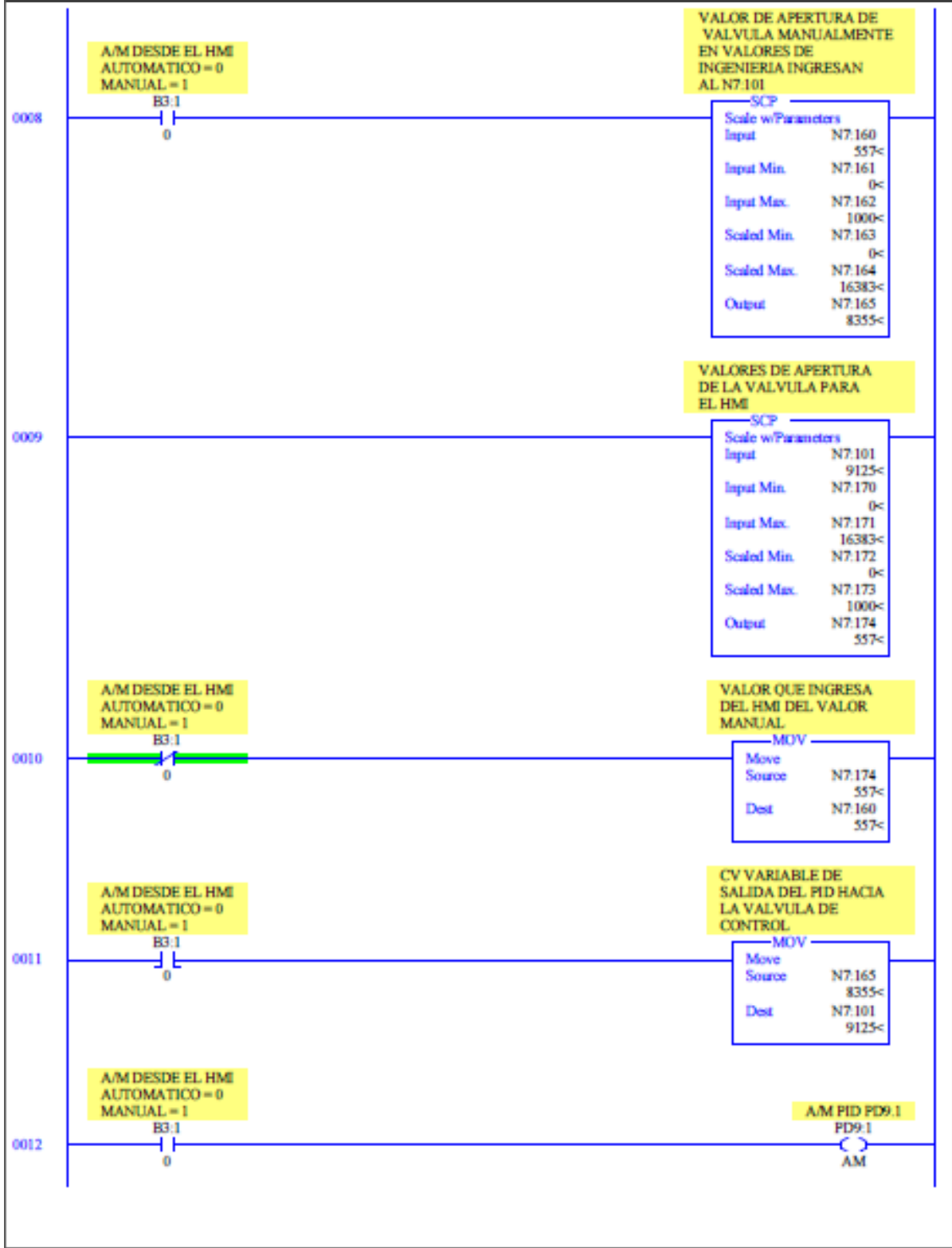
BANDA INTEGRAL

SCP	
Scale w/Parameters	
Input	N7.140
	999<
Input Min.	N7.141
	0<
Input Max.	N7.142
	16383<
Scaled Min.	N7.143
	0<
Scaled Max.	N7.144
	16383<
Output	PD9:1.Ti
	3<

0007

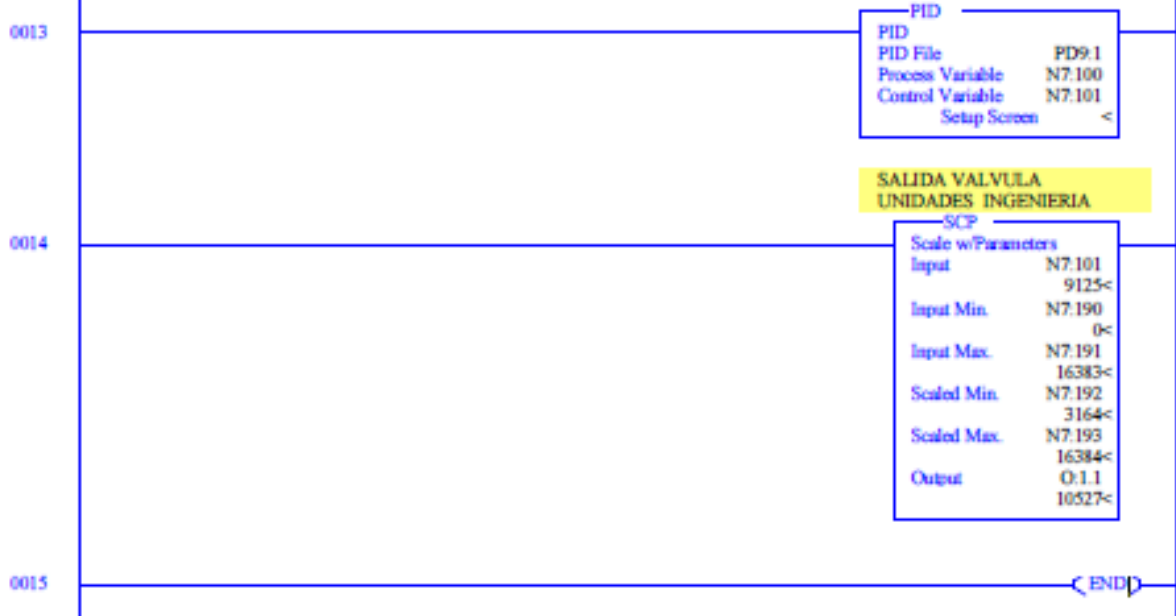
BANDA DERIVATIVA

SCP	
Scale w/Parameters	
Input	N7.150
	0<
Input Min.	N7.151
	0<
Input Max.	N7.152
	16383<
Scaled Min.	N7.153
	0<
Scaled Max.	N7.154
	16383<
Output	PD9:1.TD
	0<



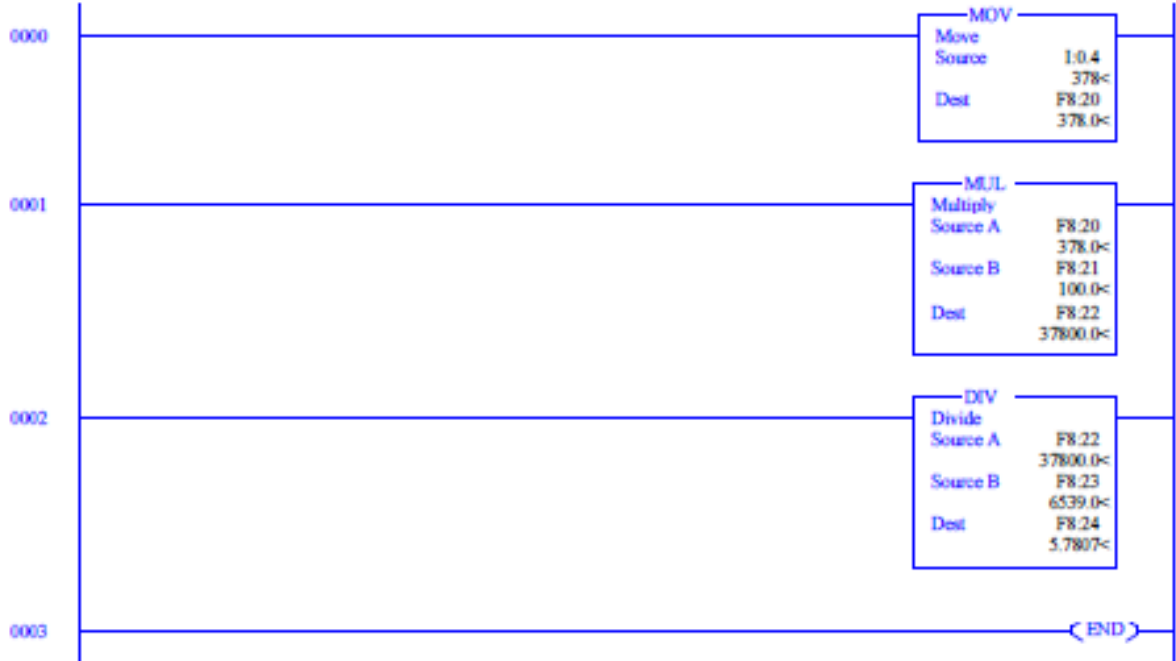
CONTR_P REV5.RGG

LAD 5 - NIVEL - CONTROL DE NIVEL --- Total Rungs in File = 16



CONTR_P REV5.RGG

LAD 6 - AM --- Total Rungs in File = 4



CONTR_P REV5.RSS

Data File N7 (dec) -- INTEGER

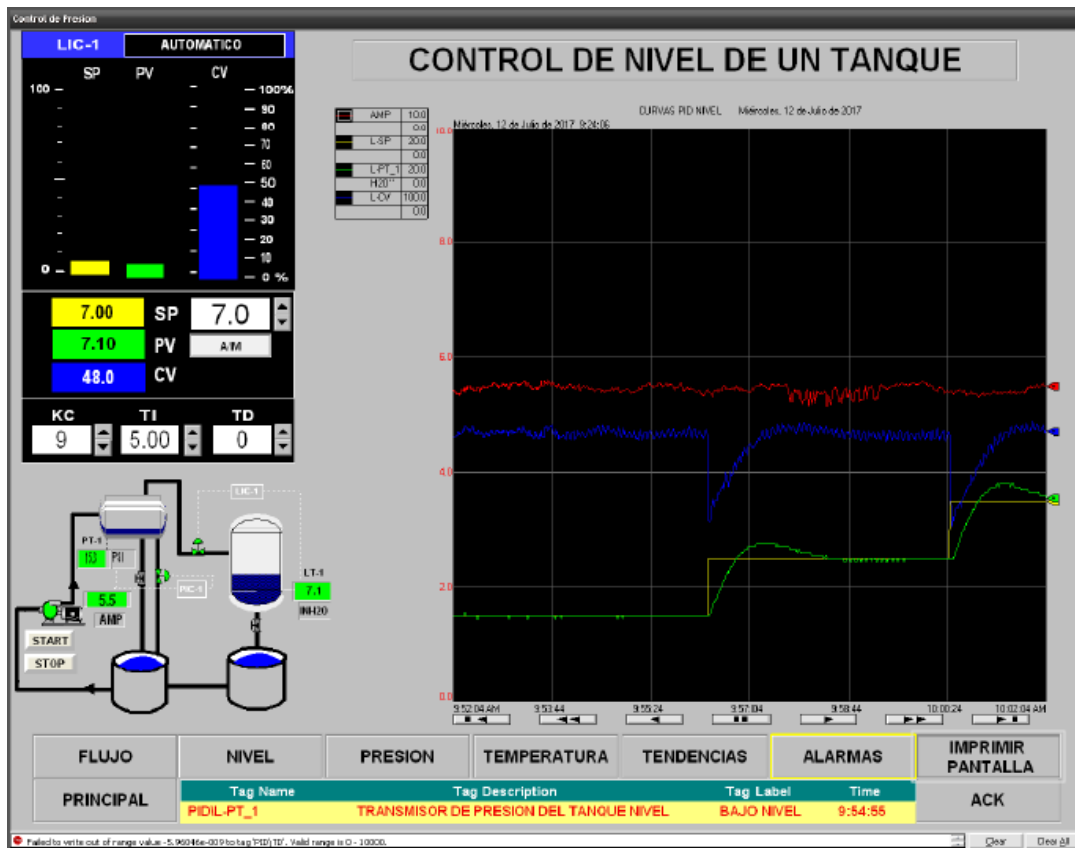
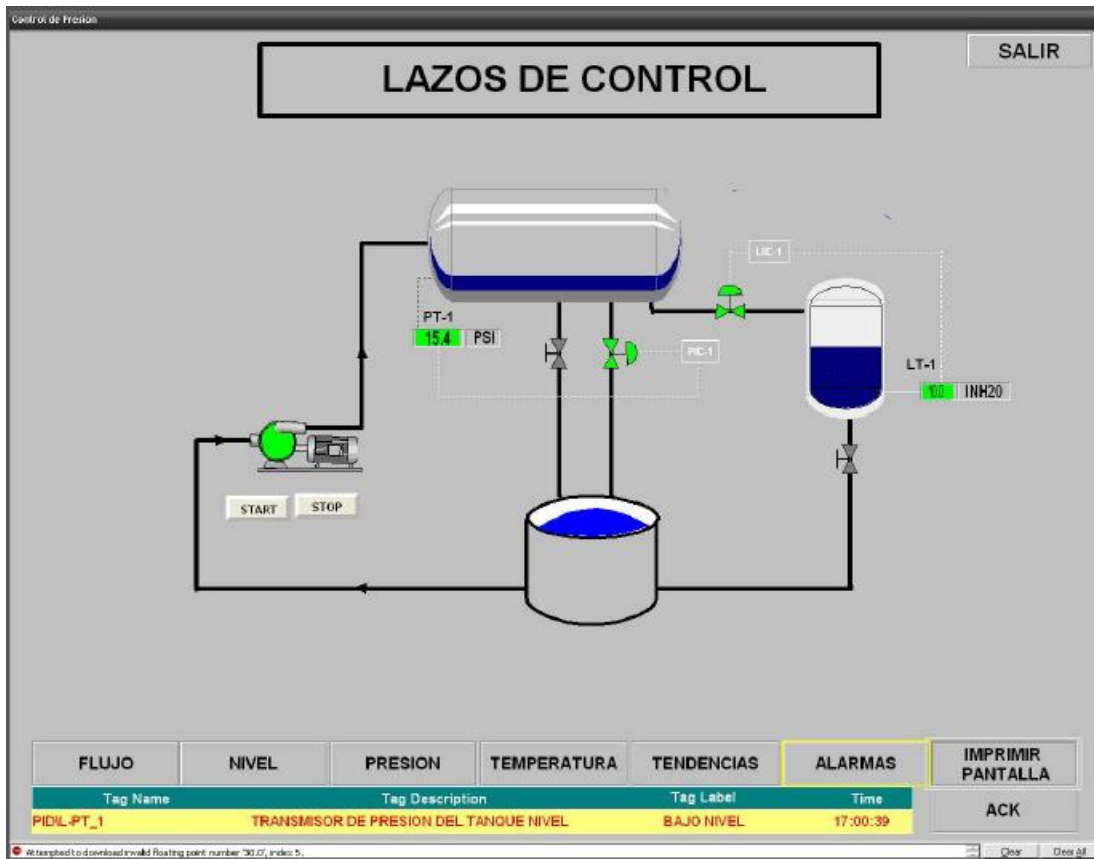
Offset	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N7:0	2585	8783	0	0	0	0	0	0	0	0
N7:10	0	16383	0	1000	158	0	0	0	0	0
N7:20	150	0	1000	0	16383	0	0	0	0	0
N7:30	40	0	16383	0	16383	45	0	0	0	0
N7:40	10	0	16383	0	16383	12	0	0	0	0
N7:50	0	0	16383	0	16383	0	0	0	0	0
N7:60	536	0	1000	0	16383	16383	0	0	0	0
N7:70	0	16383	0	1000	536	0	0	0	0	0
N7:80	5032	3132	15200	0	16383	0	0	0	0	0
N7:90	0	16383	3164	16384	0	0	0	0	0	0
N7:100	3185	9125	0	0	0	0	0	0	0	0
N7:110	0	16400	0	200	39	0	0	0	0	0
N7:120	40	0	200	0	16383	0	0	0	0	0
N7:130	100	0	16383	0	16383	45	0	0	0	0
N7:140	999	0	16383	0	16383	12	0	0	0	0
N7:150	0	0	16383	0	16383	0	0	0	0	0
N7:160	557	0	1000	0	16383	8355	0	0	0	0
N7:170	0	16383	0	1000	557	0	0	0	0	0
N7:180	5536	3124	15800	0	15600	0	0	0	0	0
N7:190	0	16383	3164	16384	0	5	10	50	6	8

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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2457	40	10	0	16384	0	0
PD9:1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3277	9	3	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
PD9:3	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
PD9:5	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
PD9:7	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
PD9:9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ANEXO G. Pantallas del HMI.



ANEXO H. Validación de la propuesta y validación del instrumento



ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Latacunga Julio 18, 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: **“ANÁLISIS DE CONTROL DE NIVEL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2017. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”**.

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente.

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

Atentamente,

Franklin Germánico Vásquez Carrera.

RESPONSABLE DE LA INVESTIGACION



ANEXO 2


INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

TÍTULO DE LA PROPUESTA: “ANÁLISIS DE CONTROL DE NIVEL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2017. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN 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. 	✓			
2. OBJETIVO: <ul style="list-style-type: none"> Determinación clara y concisa. Factibilidad. Utilidad. 	✓			
3. JUSTIFICACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> Contribuye a mejorar la organización. Contribuye un aporte para la institución o empresa. 	✓			
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. 	✓			
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. 	✓			
TOTAL				

VALIDADO POR:	Nombre: Enrique Torres Tamayo.		
Área de Trabajo. UTC	Título Profesional. Ing. Mecánico	Cargo u Ocupación. Docente	Año de Experiencia. 23
Observaciones:			
Fecha: 18-07-2017	Telf.: 0987800156	Dirección del Trabajo: San Felipe	C.I: 1757121940


PhD. Enrique Torres Tamayo.



ANEXO 1
SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN

Latacunga Julio 18, 2017.

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, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO a utilizarse en la recolección de datos para mi investigación sobre **“ANÁLISIS DE CONTROL DE NIVEL EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA FRANCISCO DE ORELLANA EN EL AÑO 2017. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE NIVEL PARA EVALUAR LA EFICIENCIA EN LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”**.

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

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

Atentamente,

Franklin Germánico Vásquez Carrera.

RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN



ANEXO 4

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ÍTEMS
<u>Independiente</u> Control de Nivel	<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> Mejorar la eficiencia en los procesos de separación de petróleo.	<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: Franklin Germánico Vásquez Carrera.



ANEXO 5

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS		
P = PERTINENTE		NP = NO PERTINENTE
ITEMS	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 Tamayo.



ANEXO 6
CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD
(DEBE CONSTAR TODOS LOS ITEMS DE LA ENCUESTA)

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD			
O= OPTIMA	B= BUENA	R= REGULAR	D= DEFICIENTE
ITEMS	B	OBSERVACIONES	
1	B		
2	B		
3	O		
4	O		
5	O		
6	B		
7	O		
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		

f. 

VALIDADOR
PhD. Enrique Torres Tamaño.



ANEXO 1

SOLICITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Latacunga Julio 18, 2107.

Doctora

Iliana González.

DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.

Presente

De mi consideración:

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

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente.

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

Atentamente,

Franklin Germánico Vásquez Carrera.
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACION



ANEXO 2

INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

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

3 = MUY SATISFACTORIO	2 = SATISFACTORIO	1 = POCO SATISFACTORIO		OBSERVACIONES
ASPECTOS	3	2	1	
6. EL TEMA: <ul style="list-style-type: none"> • Identificación de la propuesta. • Originalidad. • Impacto. 	✓			
7. OBJETIVO: <ul style="list-style-type: none"> • Determinación clara y concisa. • Factibilidad. • Utilidad. 		✓		
8. JUSTIFICACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> • Contribuye a mejorar la organización. • Contribuye un aporte para la institución o empresa. 		✓		
9. 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. 		✓		
10. 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. 	✓			
TOTAL				

VALIDADO POR:	Nombre: Iliana Gonzáles.		
Área de Trabajo. CIYA	Título Profesional. Ing. Eléctrica	Cargo u Ocupación. Docente	Año de Experiencia. 32
Observaciones:			
Fecha: 18-07-2017	Telf.: 0984340820	Dirección del Trabajo: San Felipe	C.I: 1757070659

PhD. Iliana González.



ANEXO 1
SOLICITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN

Latacunga Julio 18, 2017.

Doctora

Iliana González.

DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Presente

De mi consideración:

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

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

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

Atentamente,

Franklin Germánico Vásquez Carrera.

RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN



ANEXO 4
MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ÍTEMS
<u>Independiente</u> Control de Nivel	<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> Mejorar la eficiencia en los procesos de separación de petróleo.	<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: Franklin Germánico Vásquez Carrera.



ANEXO 5

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS		
P = PERTINENTE		NP = NO PERTINENTE
ITEMS	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		

VALIDADOR
PhD. Iliana González.



ANEXO 6
CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD
(DEBE CONSTAR 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			

VALIDADOR
PhD. Iliana González.



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. Iliana González.



ANEXO 1

SOLICITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Latacunga Julio 18, 2107.

Doctor

Gustavo Rodríguez

DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.

Presente

De mi consideración:

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

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente.

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

Atentamente,

Franklin Germánico Vásquez Carrera.

RESPONSABLE DE LA INVESTIGACION



ANEXO 2

INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

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

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

ASPECTOS	3	2	1	OBSERVACIONES
11. EL TEMA: <ul style="list-style-type: none"> • Identificación de la propuesta. • Originalidad. • Impacto. 	✓			
12. OBJETIVO: <ul style="list-style-type: none"> • Determinación clara y concisa. • Factibilidad. • Utilidad. 	✓			
13. JUSTIFICACIÓN: <ul style="list-style-type: none"> • Contribuye a mejorar la organización. • Contribuye un aporte para la institución o empresa. 	✓			
14. 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. 	✓			
15. 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. 		✓		
TOTAL				

VALIDADO POR:	Nombre: Gustavo Rodríguez.		
Área de Trabajo. UTC	Título Profesional. Ing. Mecánico	Cargo u Ocupación. Docente	Año de Experiencia. 15
Observaciones:			
Fecha: 18-07-2017	Telf.: 0987658959	Dirección del Trabajo: San Felipe	C.I: 1757001357

PhD. Gustavo Rodríguez.



ANEXO 1
SOLICITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN

Latacunga Julio 18, 2017.

Doctora

Gustavo Rodríguez.

DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

Presente

De mi consideración:

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

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

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

Atentamente,

Franklin Germánico Vásquez Carrera.

RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN

ANEXO 4



MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ÍTEMS
<p><u>Independiente</u></p> <p>Control de Nivel</p>	<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 	<p>1, 2,</p> <p>3, 4</p>
<p><u>Dependiente</u></p> <p>Mejorar la eficiencia en los procesos de separación de petróleo.</p>	<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 	<p>5,6,7</p>

Elaboración: Franklin Germánico Vásquez Carrera.



RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS		
P = PERTINENTE		NP = NO PERTINENTE
ITEMS	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		

VALIDADOR
PhD. Gustavo Rodríguez.

ANEXO 6



CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD
(DEBE CONSTAR 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			

VALIDADOR
PhD. Gustavo Rodríguez.



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. Gustavo Rodríguez.