



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

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

**TEMA:**

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

**AUTOR:** JOSÉ WASHINGTON BAQUERO PORTERO

**TUTOR:** Ph.D. SECUNDINO MARRERO

**LATACUNGA – ECUADOR**

**DICIEMBRE 2017**



### AVAL DEL TRIBUNAL DE GRADO

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

Latacunga 12, 2017.

Para constancia firman:

MSc. Manuel Ángel León Segovia

NOMBRES Y APELLIDOS

Cc: 0502041353

PRESIDENTE

PhD. Juan José La Calle Domínguez

NOMBRES Y APELLIDOS

Cc: 1756604227

MIEMBRO

MSc. Cristian Fabián Gallardo Molina

NOMBRES Y APELLIDOS

Cc: 0502847692

MIEMBRO

PhD. Héctor Laurencio Alfonso

NOMBRES Y APELLIDOS

Cc: 1712813

OPONENTE

## CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DEL TUTOR

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

### CERTIFICO:

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

El problema de la Investigación se refiere a:

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

Presentado por el Señor Ing. José Washington Baquero Portero con CI: 1712755535.

Sugiero la aprobación y permita continuar con los trámites correspondientes.

---

PhD. Secundino Marrero Ramírez.

CI 1757107907

TUTOR

Latacunga, Diciembre del 2017

## RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS

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

Consecuentemente, este trabajo es de mi autoría.

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

Latacunga, Diciembre del 2017.

.....  
Ing. José Washington Baquero Portero.

1712755535

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por brindarme sus bendiciones, permitirme cumplir mis objetivos, realizar mis sueños darme salud y sobre todo darme la hermosa familia que tengo.

A mi madre por ser el motor y la fuerza que me guía, por apoyarme incondicionalmente, por guiarme y nunca desconfiar que este proyecto lo terminaría con éxito.

A todas las personas que directa o indirectamente participaron en su realización, sin su colaboración hubiese sido imposible terminar el presente proyecto con éxito.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi quien con su gran cariño, dedicación y alto nivel profesional me ha brindado las herramientas necesarias para poder desarrollar el presente proyecto.

Agradezco al PhD. Secundino Marrero, por la gran paciencia y el constante apoyo en la dirección de este proyecto.

Gracias a todos.

Ing. José Baquero

## DEDICATORIA

### **A Dios.**

Por brindarme la luz de cada día, rodearme de gente buena de noble corazón y por permitirme la grandiosa oportunidad de conocer su infinito amor.

### **A mi madre Gloria.**

Por haberme apoyado incondicionalmente en todo momento a pesar de mis errores, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante con la cual me ha permitido ser una persona de bien, por su amor puro y verdadero, y sobre todo por ser un ejemplo de trabajo, responsabilidad, respeto y comprensión no me alcanzara la vida para pagarte.

### **A mi padre José María.**

Por ser una persona llena de bondad, con calidad humana extraordinaria, por su perseverancia y su amor ilimitado hacia todos. Por mostrarme el verdadero valor que tiene el amor de la familia.

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

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

**Autor: Ing. José Washington Baquero Portero.**

**RESUMEN**

En el siguiente trabajo se realizó el análisis de un sistema de control de temperatura comúnmente presente en una planta de extracción de petróleo, para esto se implementó un banco de pruebas en el que se evaluaron los factores iniciales de sintonización de un controlador PID,  $K_c$ ,  $T_i$  y  $T_d$ , con el fin de tener un proceso eficiente energéticamente. Mediante un PLC, HMI y transmisor de temperatura de características industriales utilizado en procesos de separación de crudo reales, utilizando agua como fluido principal y a través de ensayos de inestabilidad en función de los Métodos de Ziegler y Nichols de Lazo abierto y Lazo cerrado, se obtienen los factores a considerar como datos iniciales del sistema de control. Estos después de un afinamiento posterior y a través de varios ensayos de perturbación del sistema, permiten corregir los factores de sintonización del control hasta encontrar el comportamiento y desempeño deseado del sistema de control en el proceso real. Se observó que del primer al segundo método de sintonización se redujo el consumo de energía en  $0,04kWh$  esto comparado con el consumo máximo obtenido de  $0,202kWh$  representa un 19,8 %. Al contrastar con la capacidad de un intercambiador de calor de los descritos en este trabajo, al sintonizando el lazo de control de manera adecuada se podría tener un ahorro de energía de 1.855.388 BTU/HR.

**DESCRIPTORES:** Banco de pruebas, Controlador, sintonización.

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

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

**Author: Ing. José Washington Baquero Portero.**

**ABSTRACT**

In the following work the analysis of a temperature control system present in a petroleum extraction plant was performed, for this a test bench was implemented in which the initial factors of tuning of a PID controller, Kc, Ti and Td, were evaluated in order to have an energy efficient process. Through a PLC, HMI and a temperature transmitter, that are elements commonly used in the processes of crude separation, water like the main fluid are used, through the method of test of instability according to the Ziegler and Nichols Methods in open and closed loop, in that way the factors to be considered as the initial data of the control system are obtained. These after several tests of disturbance of the system, allow correcting the tuning factors of the control until finding the desired behavior of the control system in a real process. It was observed that from the first to the second tuning method the energy consumption was reduced in 0.04kWh, this compared to the maximum consumption obtained of 0.202kWh represents 19.8%. When contrasting with the capacity of a heat exchanger of those described in this work, by tuning the control loop in an appropriate way, it could have an energy saving of 1,855,388 BTU / HR.

**KEY WORDS:** Test bench, Controller, Tuning.

## ÍNDICE GENERAL

TEMA:.....	I
AVAL DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	II
CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DEL TUTOR .....	III
RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
DEDICATORIA.....	VI
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
ÍNDICE GENERAL .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	1
EL PROBLEMA.....	2
Planteamiento del problema.....	2
Justificación de la Investigación .....	3
Formulación del problema .....	3
Delimitación del problema.....	3
Objeto de la investigación.....	4
Campo de acción de la investigación.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos .....	4
Hipótesis .....	4
Paradigma o enfoque epistemológico .....	5
Factibilidad de la investigación .....	5
FUNDAMENTACIÓN LEGAL .....	6
Entrega de crudo a empresas transportadoras.....	6

CAPÍTULO 1 .....	8
MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO .....	8
1.1    Antecedentes de investigación .....	8
MARCO TEÓRICO .....	9
1.2    Mecanismos de transferencia de calor .....	9
1.2.1    Definición de conducción .....	9
1.2.2    Definición de convección .....	9
1.2.3    Definición de radiación.....	10
1.3    Múltiples mecanismos de transferencia .....	11
1.3.1    Diferencia de temperatura general .....	12
1.3.2    Coeficiente general de transferencia de calor .....	14
1.4    Recuperación térmica.....	15
1.5    Intercambiadores de calor .....	15
1.5.1    Tipos de intercambiadores de calor según su construcción .....	17
1.5.1.1    Intercambiadores de calor de carcasa y tubo.....	17
1.5.1.2    Intercambiadores de calor de Plato .....	18
1.5.2    Tipos de intercambiadores de calor según su operación.....	19
1.5.2.1    Intercambiadores de calor de flujo paralelo. ....	20
1.5.2.2    Contraflujo .....	20
1.5.2.3    Flujo cruzado.....	21
1.5.2.4    Intercambiadores de un solo paso (o paso simple) y de múltiple pasos.....	22
1.5.2.5    Intercambiadores Regenerativos y No-regenerativos .....	22
1.6    Descripción de las propiedades de los fluidos y tipos de yacimientos .....	24
1.6.1    Propiedades de los fluidos .....	24

1.6.1.1	Definición de densidad de un fluido .....	24
1.6.1.2	Definición de Gravedad específica .....	24
1.6.1.3	Definición de Gravedad API.....	25
1.6.1.4	Definición de Viscosidad .....	25
1.6.1.5	Cambios de la viscosidad de un fluido hidrocarburo .....	26
1.6.1.6	Factores que afectan la viscosidad .....	26
1.6.1.6.1	Afectación de la viscosidad por Temperatura .....	26
1.6.1.6.2	Afectación de la viscosidad por Presión.....	27
1.6.2	Tensión Superficial .....	27
1.6.3	Tipos de fluidos de yacimiento .....	28
1.6.4	Análisis del petróleo y gas .....	28
1.6.5	Importancia de la Separación de Fases .....	30
1.6.5.1	Clasificación de los equipos de separación .....	31
1.6.5.2	Descripción de los equipos de separación.....	32
1.6.6	Fundamentos para la separación Mezcla Gas-Líquido .....	34
1.6.6.1	Separación por gravedad .....	34
1.6.6.2	Separación por fuerza centrífuga.....	34
1.6.6.3	Separación por choque .....	35
1.6.7	Sistemas de control .....	35
1.6.7.1	Sintonización de controladores .....	37
1.6.7.2	Reglas de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID .....	38
1.6.7.3	Control Difuso.....	40
1.6.7.3.1	Estructura de un controlador difuso.....	41
CAPITULO 2	.....	43

MARCO METODOLÓGICO .....	43
2.1 Modalidad de la investigación .....	43
2.1.1 De campo .....	43
2.1.2 Modalidades especiales-Proyecto Factible .....	43
2.1.3 Experimental .....	43
2.2 Nivel de investigación.....	43
2.2.1 Investigación descriptiva .....	43
2.2.2 Investigación Explicativa.....	44
2.3 Métodos utilizados .....	44
2.4 Técnicas e Instrumentos utilizados .....	44
2.5 Proceso de separación del crudo, gas y agua en el campo petrolero .....	45
2.5.1 Proceso de Separación de crudo .....	46
2.6 Descripción de equipos de la planta de deshidratación .....	47
2.6.1 Separador de agua libre (Free water knockout FWKO). .....	47
2.6.2 Intercambiador de calor .....	50
2.6.2.1 Lógica de Operación E-2104A.....	51
2.7 Sensores e instrumentos asociados a la medición de variables.....	52
2.7.1 Definición de Transmisor .....	52
2.7.2 Lazos de control de un separador.....	53
2.7.3 Transmisor de Temperatura .....	53
2.7.4 Elemento de control final.....	54
2.7.5 Calentador de agua.....	55
2.7.6 Rectificador de onda completa controlado .....	56
2.7.6.1 El TRIAC .....	56

2.7.7	Controladores lógicos programables (PLCs) .....	57
2.7.7.1	PLC Micrologix 1100 de Allen Bradley .....	57
2.7.7.2	Tarjeta 1762-IF2OF2 Modulo de expansión I/O.....	59
2.7.7.3	Programa RSlogix 500 .....	59
2.7.7.4	Programa RSLinx .....	61
2.7.7.5	Programa de interfaz RSVIEW32 (HMI).....	61
2.8	Diagrama de bloques de un lazo de control de temperatura .....	62
2.9	Determinación de las variables .....	63
2.10	Sistemas de tareas por objetivos específicos: .....	65
2.11	Metodología de Controlador .....	65
CAPÍTULO 3 .....		66
CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....		66
3.1	Diagrama General .....	66
3.2	Diagrama del sistema eléctrico .....	68
3.3	Diagrama del sistema de control.....	70
3.4	Elementos utilizados en el banco de pruebas.....	72
3.5	Escalera (Ladder) de programación.....	73
3.6	HMI.....	78
3.7	HMI para lazo de control de temperatura .....	78
3.8	Pruebas de sintonización.....	81
3.8.1	Lazo abierto método de Ziegler-Nichols .....	81
3.8.2	Lazo Cerrado método de Ziegler-Nichols.....	87
3.9	Análisis de resultados .....	91
3.10	PROPUESTA.....	92

3.10.1	Título de la propuesta.....	92
3.10.2	Justificación.....	92
3.10.3	Objetivos .....	93
3.10.4	Desarrollo de la propuesta.....	93
3.11	Presupuesto de la propuesta.....	95
CONCLUSIONES.....		97
RECOMENDACIONES. ....		98
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....		99
ANEXOS.....		102
Anexo A	Transductor de Corriente alterna 0-5 A a 4 a 20 mA. ....	102
Anexo B.	Switch 110 VCA/10 amperios .....	103
Anexo C.	Convertor de 4 - 20 mA a 0 – 10 VCA.....	104
Anexo D.	Válvula proporcional .....	107
Anexo E.	Bomba-Motor.....	109
Anexo F.	Reglamento para el transporte de crudo por el SOTE.....	112
Anexo G.	PTC 100 .....	114
Anexo H.	Transformador de corriente .....	119
Anexo I.	Programación .....	120
Anexo J.	HMI.....	129
Anexo K.	Evaluación de Propuesta e Instrumentos de Evaluación. ....	130

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Flujo de calor a través de un solido.....	9
Figura 1.2.	Cambio en la variación de la temperatura sobre la distancia, Flujo a contracorriente de fluidos .....	12
Figura 1.3.	Cambio en la variación de la temperatura sobre la distancia, flujo paralelo en fluidos.....	13
Figura 1.4.	Intercambiador de calor de carcasa y tubos .....	17

Figura 1.5. Intercambiador de calor de plato.....	19
Figura 1.6. Intercambiador de calor de plato.....	20
Figura 1.7. Intercambiador de Contraflujo.....	21
Figura 1.8. Intercambiador de calor de flujo cruzado.....	22
Figura 1.9. Intercambiador regenerativo e Intercambiador no-regenerativo.....	23
Figura 1.10. Relación entre °API y viscosidad.....	27
Figura 1.11. Tensión interfacial.....	28
Figura 1.12. Curvas P-T fluido.....	29
Figura 1.13. Sistema de separación en tres etapas.....	31
Figura 1.14. 1. Separador Vertical, 2. Separador horizontal, 3. Separador esférico.....	32
Figura 1.15. Secciones Básicas de un separador.....	34
Figura 1.16. Separación por la gravedad.....	34
Figura 1.17. Separación por fuerza centrífuga.....	35
Figura 1.18. Separación por choque.....	35
Figura 1.19. Curva de respuesta al escalón unitario mostrando valores.....	36
Figura 1.20. Respuesta escalón unitario, indica un sobrepaso máximo de 25%.....	38
Figura 1.21. Curva de respuesta con forma de S.....	39
Figura 1.22. Sistema en lazo cerrado con controlador proporcional.....	40
Figura 1.23. Estructura general de un controlador difuso.....	41
Figura 2.1. Esquema del proceso de producción de crudo.....	46
Figura 2.2. Planta de separación NPF Repsol.....	46
Figura 2.3. Sensor y transmisor de temperatura.....	54
Figura 2.4. Sensor y transmisor de temperatura. Sensor y transmisor de temperatura, representación P&D.....	54
Figura 2.5. Frontal de calentador de agua eléctrico.....	56
Figura 2.6. Símbolo del TRiAC.....	56
Figura 2.7. Partes de un Micrologix 1100.....	58
Figura 2.8. Módulo de expansión I/O 1762-IF2OF2.....	59
Figura 2.9. Vista principal del software RSLogix 500.....	60
Figura 2.10. Diagrama de un sistema de control de temperatura.....	62

Figura 2.11. Diagrama de bloques del lazo de control de temperatura .....	63
Figura 3.1. Diagrama del sistema hidráulico del banco de pruebas .....	66
Figura 3.2. Construcción del banco de pruebas de lazo de control de temperatura .....	67
Figura 3.3. Diagrama eléctrico utilizado en el banco de pruebas.....	68
Figura 3.4. Cajas de conexiones eléctricas y de control .....	69
Figura 3.5. Diagrama de control del banco de pruebas .....	70
Figura 3.6. Transmisor indicador de presión.....	70
Figura 3.7.Circuito Recortador de Onda completa para HT-1 .....	71
Figura 3.8. Regletas de conexión circuito de control .....	71
Figura 3.9. Configuración del Hardware del PLC .....	73
Figura 3.10. Configuración entradas análogas .....	74
Figura 3.11. Configuración de la variable de entrada.....	74
Figura 3.12. Escalonamiento de la señal de entrada.....	75
Figura 3.13. Escalonamiento para SP, Kc, Ti, Td .....	75
Figura 3.14. Cambio de automático a manual del controlador.....	76
Figura 3.15. Escalonamiento para la salida hacia el recortador de onda completa para el control del calentador HT-1.....	76
Figura 3.16. Instrucción PID y setup del PID.....	77
Figura 3.17. Registro de programación de la instrucción PID .....	77
Figura 3.18. Pantalla principal de ingreso al HMI .....	78
Figura 3.19. HMI para el lazo de control de temperatura.....	79
Figura 3.20. HMI controlador.....	79
Figura 3.21. Arranque y parada de la bomba .....	80
Figura 3.22. Tren para la visualización de la variable.....	80
Figura 3.23. Cambio de pantallas en los procesos.....	81
Figura 3.24. Print screen HMI .....	82
Figura 3.25. Ploteo de curva S.....	83
Figura 3.26. Curva de respuesta con constantes calculadas .....	84
Figura 3.27. Curva de respuesta con set points específicos.....	85
Figura 3.28. Curva de respuesta con set points específicos con datos sobrepuestos.....	86

Figura 3.29. Oscilación del sistema.....	88
Figura 3.30. Medición de Pcr .....	89
Figura 3.31. Respuesta del sistema a un SP 25, 27 y 29 °C.....	90
Figura 3.32. Respuesta sistema con variables sobrepuestas a un SP 25, 27 y 29 °C.....	90

### ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1.1. Clasificación de los crudos según °API .....	25
Tabla 1.2. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols, respuesta escalón.....	39
Tabla 1.3. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols. Kcr & Pcr .....	40
Tabla 2.1. Instrumentos para medición, actuación y medición de proceso .....	45
Tabla 2.2. Características de los separadores de agua libre.....	48
Tabla 2.3. Elementos de control y monitoreo Free Water Knockout (a).....	48
Tabla 2.4. Elementos de control y monitoreo Free Water Knockout (b) .....	49
Tabla 2.5. Características de Intercambiador de Calor.....	50
Tabla 2.6. Elementos de seguridad y control Intercambiador de Calor .....	51
Tabla 2.7. Instrumentos para el lazo de control.....	53
Tabla 2.8. Variable Independiente.....	64
Tabla 2.9. Variable dependiente .....	64
Tabla 2.10. Sistemas de tareas por objetivos específicos .....	65
Tabla 3.1. Dispositivos utilizados en la construcción del banco de pruebas .....	72
Tabla 3.2. Datos obtenidos de la curva.....	83
Tabla 3.3. Valores de constantes calculados con método de lazo abierto .....	84
Tabla 3.4. Medición de la corriente del Calentador HT-1 con método de lazo abierto. ....	86
Tabla 3.5. Valores de constantes calculados con método de lazo cerrado .....	89
Tabla 3.6. Medición de la corriente del Calentador HT-1 con método de lazo cerrado.....	91
Tabla 3.7. Presupuesto de la propuesta.....	96



## INTRODUCCIÓN

En un sistema o proceso de extracción de petróleo parámetros como la presión y la temperatura son variables fundamentales. En el fondo del pozo se tiene muy altas presiones y temperaturas pero a medida que el fluido llega a la superficie disminuyen. Ya en superficie, hay líneas en las que aparentemente se maneja solo líquido, pero debido a los cambios de presión y temperatura que se producen, existe vaporización de líquido o derivados pesados que ocasionan problemas. Equipos de separación utilizan la presión y temperatura para controlar el tiempo de residencia y la velocidad de movimiento de los fluidos en cada una de sus etapas. El tiempo de residencia del fluido trifásico en un separador o en un tanque determinará el BSW (Contenido de Agua y Sedimentos) necesario para que una unidad LACT (Fiscalización Automática para Transferencia de Custodia) entregue el crudo a los puntos de recepción de OCP (Oleoducto de Crudos Pesados) o SOTE (Sistema de Oleoducto Transecuatoriano) en el Oriente Ecuatoriano.

La separación física de las 3 fases: crudo, agua y gas es la operación fundamental 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 residual de proceso.

Los equipos de separación a través del control de temperatura hacen que el sistema tenga un control de las fases estable facilitando la separación de partículas de crudo en el agua, obteniendo crudo con un BSW menor al 0,5%.

Los efectos por tener un lazo de control mal sintonizado, es la pérdida de energía debido a que se necesitan más fases para separación del crudo, se tiene equipos operando al máximo de su potencia por mayor tiempo, reduciendo su eficiencia y su vida útil.

Para hacer el análisis del control de temperatura se construirá un prototipo en donde los resultados obtenidos aportarán para realizar una sintonización óptima del lazo de control de temperatura, de esta manera evitamos realizar pruebas en campo lo que podría ocasionar

inestabilidad del proceso, causando daño en los equipos, perdidas de energía y pérdidas de producción.

## **EL PROBLEMA**

### **Planteamiento del problema**

En la obtención y separación de petróleo, el control de temperatura en el proceso es fundamental e influye directamente en su eficiencia, el presente proyecto está orientado a encontrar el punto de máxima eficiencia del lazo de control de temperatura así como de los componentes asociados a este.

El optimizar un lazo el control de temperatura permite incrementar la productividad, reducir costos operativos, consumo energético en las diferentes etapas de separación, logrando así: optimizar el recurso humano, mejorar el diagnóstico, supervisión y control de calidad de la producción e incrementar la seguridad de los procesos.

Para la experimentación, aprendizaje del funcionamiento, comportamiento y utilidad de los sistemas de control, se requiere implementar de un prototipo donde se pueda adquirir destrezas y práctica para la aplicación en sistemas reales que debido a razones logísticas, incidencia en procesos de producción, no son permitidas por industrias operativas.

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

## **Justificación de la Investigación**

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

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

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

## **Formulación del problema**

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

## **Delimitación del problema**

¿Cómo incide la variable de la temperatura en la eficiencia energética del proceso de producción de petróleo en las facilidades de los campos petroleros del Oriente Ecuatoriano, ubicados en la Provincia de Sucumbíos del año 2016?

## **Objeto de la investigación**

La presente investigación tiene como objeto de estudio el lazo de control de temperatura en el proceso de separación del crudo. El punto de partida es la construcción de un banco de prueba de lazo de control de temperatura para la simulación del proceso del campo, luego las pruebas y ensayos para determinar los puntos de trabajo óptimo de la temperatura en los controladores de cada proceso.

## **Campo de acción de la investigación**

El control automático.

## **Objetivo general**

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

## **Objetivos específicos**

- Determinar los equipos y elementos que operan en el control de la Temperatura en los procesos de producción de los campos de petróleo de la Provincia de Sucumbíos.
- Construir un banco de pruebas para un lazo de control de Temperatura para experimentar los comportamientos de los parámetros de operación en el proceso de separación.
- Definir el punto más óptimo de trabajo para el lazo de control de Temperatura en el proceso de separación de petróleo, mediante la experimentación en el banco de pruebas construido.

## **Hipótesis**

La construcción de un banco de pruebas para la experimentación del lazo de control de Temperatura permitirá realizar ensayos para determinar los parámetros óptimos del

funcionamiento en el lazo de control de la temperatura de los separadores y el incremento de la eficiencia energética de este proceso.

### **Paradigma o enfoque epistemológico**

Ya que existe una fuente de contenido matemático y estadístico, se ha elegido la perspectiva cuantitativa que permitirán con métodos, técnicas, experimentación, verificaciones y comprobación del proyecto de una manera investigativa a lo largo de su desarrollo.

Se podría utilizar en el enfoque cuantitativo de evaluación de la temperatura como parte de los métodos considerando que los cambios experimentales, los registros de variación de la variable temperatura y las técnicas estadísticas de análisis de datos.

### **Factibilidad de la investigación**

El aprendizaje por medio de la experimentación en el área de lazos de control, exige la implementación de un banco de pruebas donde se pueda practicar, ensayar, obtener conocimientos, destrezas y habilidades en el campo del control de proceso, cuando los procesos están en marcha, es difícil realizar cambios a los parámetros de sintonización para experimentar mejoras en el proceso de separación del crudo, ya que esto ocasiona grandes pérdidas de recursos.

Un entorno interactivo donde se conjugan teoría, práctica y simulación en prototipos de procesos industriales promueve la participación activa de los Técnicos y Operadores de producción en el proceso de aprendizaje de sistemas de control en la separación del petróleo, esto evitara la perdida y mejorara la eficiencia de equipos de producción.

Para la factibilidad de este estudio propuesto, es necesario indicar que la construcción de un banco de pruebas de lazo de control de temperatura, se puede realizar con elementos utilizados en los sistemas de Instrumentación Industrial de separadores de producción. Para la lectura de las variables se utilizan un transmisor de temperatura, para la corriente de consumo, un transformador de corriente, para el control un PLC (controlador lógico

programable) y como elemento de control final un recortador de onda completa asociado a un calentador de agua eléctrico.

Para el sistema hidráulico se puede utilizar tubería PVC( Policloruro de Vinilo) de diferentes dimensiones que soporta valores de temperatura de hasta 80 °C. Para elevar la temperatura se utiliza un calentador de agua eléctrico de 6500 W. Todos estos elementos pueden ser comprados localmente, y son de procedencia local, EEUU y China respectivamente. La estructura donde se realiza el montaje de los dispositivos se puede realizar en una Metalmecánica de la localidad.

Las Compañías petroleras están obligadas a ser competitivas en el mercado y buscan reducir sus costos de procesamiento de crudo con menos consumo de energía, eficiencia en la calidad de procesos, para esto el uso de equipos confiables, tecnología y personal calificado son claves para un correcto desempeño.

## **FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

### **Entrega de crudo a empresas transportadoras**

Las características de cada pozo de producción de petróleo varían notablemente, diferentes proporciones en cada componente del hidrocarburo, las mezclas de gas, petróleo y agua es tratado, analizado y procesado de diferentes maneras, para obtener un petróleo de características estándares para la venta.

El crudo entregado por las compañías extractoras en el Ecuador deberá cumplir con las especificaciones Mínimas de Calidad del Petróleo Crudos. Las compañías transportadoras como el SOTE y OCP solo reciben crudo que cumpla con las Especificaciones mínimas de calidad del petróleo crudo. (Ecuatoriano, 2004).

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

- Agua & Sedimentos (BS&W)

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

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

## CAPÍTULO 1

### MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

#### 1.1 Antecedentes de investigación

En el proyecto **Desarrollo de una Estación Experimental Multipropósito para la Enseñanza en Control de Procesos. De Rafael E. Vásquez, Norah L. Posada y Fabio Castrillón, De la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín-Colombia, Abril, 2015.**

El autor diseña e implementa un equipo de laboratorio multipropósito, utilizado para el aprendizaje de fundamentos en sistemas dinámicos y control de procesos. Además, el equipo puede ser utilizado en entrenamiento industrial y experimentación de sistemas avanzados de control dentro de proyectos de investigación en teoría de control.

La arquitectura propuesta cuenta con elementos industriales, y diversas opciones para monitoreo y control, lo que da la posibilidad no sólo de prestar servicios educativos formales a nivel de pregrado y posgrado, sino que brinda la posibilidad de crear escenarios para entrenamiento industrial tanto con presencia física en el laboratorio, como con acceso remoto que podrá ser implementado en una etapa futura.

La estación desarrollada permite crear prácticas de laboratorio en diversos temas del control de procesos, que promuevan el aprendizaje activo y propicien el vínculo entre experiencias de aprendizaje.

En el proyecto **Estrategia para el control de la temperatura del crudo a la salida del Intercambiador E-202 en la Planta de Deshidratación de crudo de la Empresa Petroregional Del Lago, S.A. de Ing. Jackson Abel, Márquez Landaeta, de la Universidad Del Zulia, Maracaibo, Octubre, 2012.** El Autor desarrolla una estrategia para el control de la temperatura de crudo a la salida del intercambiador de calor utilizando controladores PID y PD para los lazos primario y secundario. Para el diseño se utilizan dos modelos MISO identificados a partir de datos medidos del proceso. La estrategia se evaluó en un modelo de simulación, y mostró un buen desempeño ante variaciones en el flujo de crudo y en la temperatura del agua.

## MARCO TEÓRICO

### 1.2 Mecanismos de transferencia de calor

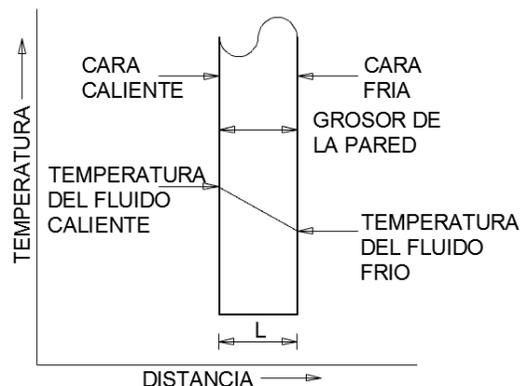
Hay tres formas distintas en que el calor puede pasar de una fuente a un receptor, aunque la mayoría de las aplicaciones de ingeniería son combinaciones de dos o tres. Estos son conducción, convección y radiación.

#### 1.2.1 Definición de conducción

La transferencia de calor de una molécula a otra molécula adyacente mientras las partículas permanecen en posiciones fijas entre sí es la conducción.

Por ejemplo, si una pieza de tubería tiene un fluido caliente en el interior y un fluido frío en el exterior, el calor se transfiere a través de la pared de la tubería por conducción.

Esto se ilustra en la Figura 1.1, las moléculas permanecen intactas, entre sí, pero el calor se transfiere de molécula a molécula por el proceso de conducción. Este tipo de transferencia de calor ocurre en sólidos o, a mucho menos, dentro de los fluidos que son relativamente ciertos. (Arnold & Stewart, 1999)



**Figura 1.1.** Flujo de calor a través de un sólido

**Fuente:** Adaptada de (Arnold & Stewart, 1999)

#### 1.2.2 Definición de convección

La transferencia de calor dentro de un fluido como resultado de la mezcla de las partes más cálidas y más frías del fluido es la convección.

Un buen ejemplo de convección en una aplicación de proceso es la transferencia de una pieza de metal al rojo vivo a un líquido sometida un tratamiento en aceite. Se configura una corriente entre las partes frías y cálidas del aceite que transfieren el calor desde la superficie del metal al rojo vivo hasta el líquido.

Este tipo de transferencia de calor puede describirse mediante una ecuación similar a la ecuación de conducción. La tasa de flujo de calor es proporcional a la diferencia de temperatura entre el líquido caliente y frío y el calor del área de transferencia. (Arnold & Stewart, 1999) Se expresa:

$$q = hA(\Delta T) \quad \text{Ecuación 1.1.}$$

Donde:  $q$ = tasa de transferencia de calor, [Btu/hr]

$A$ = área de transferencia de calor, [ft<sup>2</sup>]

$\Delta T$  =diferencia de temperatura, [°F]

$h$ = coeficiente de la película, [Btu/hr- ft<sup>2</sup>- °F]

La constante de proporcionalidad,  $h$ , está influenciada por la naturaleza del fluido y la naturaleza de la agitación y se determina experimentalmente. Si la agitación no existe,  $h$  solo está influenciado por la naturaleza del fluido y es llamado el coeficiente de la película. (Arnold & Stewart, 1999)

### 1.2.3 Definición de radiación

Es la transferencia de calor de una fuente a un receptor por energía radiante. El sol transfiere su energía a la tierra por radiación. Un fuego en una la chimenea es otro ejemplo de radiación. El fuego en la chimenea calienta el aire en la habitación y la convección calientan la habitación. Al mismo tiempo, cuando se para dentro de la línea de visión de la chimenea, la energía radiante proveniente de la llama del fuego en sí te hace sentir más cálido que cuando estás protegido de la línea de visión de la llama. El calor está siendo

transferido tanto por convección como por radiación de la chimenea. (Arnold & Stewart, 1999)

Algunos procesos de gas usan hornos de encendido directo. Flujos de fluido de proceso tubos interiores que están expuestos a un fuego directo. En este caso, la energía radiante es importante. Los hornos no son tan comunes como otros dispositivos usados en instalaciones de producción debido al posible riesgo de incendio que representan. (Arnold & Stewart, 1999)

### 1.3 Múltiples mecanismos de transferencia

La mayoría de los procesos de transferencia de calor utilizados en las instalaciones de producción implican combinaciones de los procesos de; transferencia de conducción y convección. Por ejemplo, en intercambiadores de calor la transferencia de energía térmica desde el fluido caliente al frío implica tres pasos. Primero, la energía térmica se transfiere del calor fluido al tubo del intercambiador, luego a través de la pared del tubo del intercambiador, y finalmente desde la pared del tubo hasta el fluido frío. El primer y tercer paso son procesos de transferencia por convección, mientras que el segundo paso es el proceso de conducción. Para calcular la tasa de transferencia de calor en cada uno de los pasos, la diferencia de temperatura debería ser conocida. Es difícil de medir con precisión las temperaturas en cada límite, como en la superficie del tubo del intercambiador de calor. Por lo tanto, en la práctica, los cálculos de transferencia de calor se basan en la diferencia de temperatura general, como la diferencia entre las temperaturas del fluido caliente y frío. La tasa de transferencia de calor se expresa mediante la siguiente ecuación, similar a la proceso de transferencia conductivo:

$$q = UA(\Delta T) \text{ Ecuación 1.2.}$$

Donde:  $q$ = tasa global de transferencia de calor, [Btu/hr]

$U$ = coeficiente global de transferencia de calor, [Btu/hr- ft<sup>2</sup>]

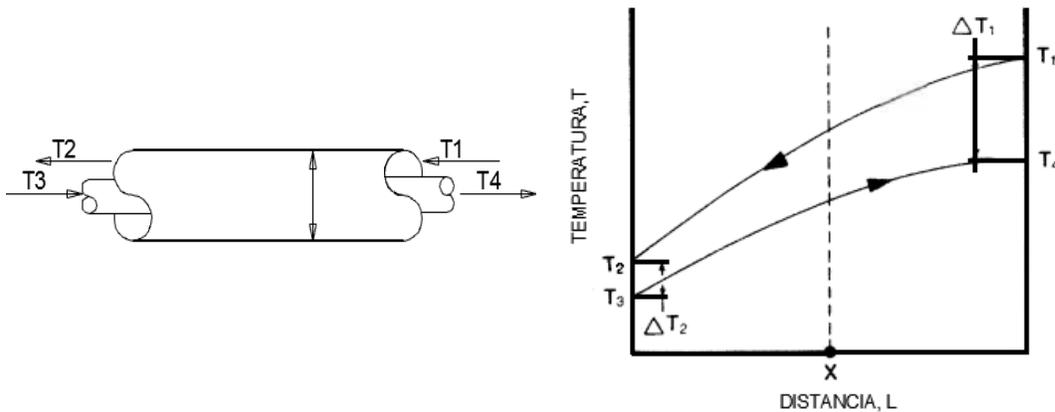
$A$ = área de transferencia de calor, [ft<sup>2</sup>]

$\Delta T$  =diferencia de temperatura, [°F]

$h =$  coeficiente de la película, [Btu/hr- ft<sup>2</sup>- °F]

### 1.3.1 Diferencia de temperatura general

La diferencia de temperatura puede no permanecer constante durante todo el recorrido del flujo. Gráficos de temperatura vs longitud de tubería para un sistema de dos tuberías concéntricas en las que se enfría el fluido anular y se calienta el fluido de la tubería se muestra en las Figura 1.1 y Figura 1.2. Cuando los dos fluidos viajan en direcciones opuestas, como en la Figura 1.1, están en flujo a contracorriente. Cuando los fluidos viajan en la misma dirección, como en la Figura 1.1, están en flujo de corriente paralela. La temperatura del fluido de la tubería interna en cualquiera de los casos varía de acuerdo a una curva a medida que avanza a lo largo de la tubería, y la temperatura del fluido anular varía según el otro. La diferencia de temperatura en cualquier punto es la distancia vertical entre las dos curvas.



**Figura 1.2.** Cambio en la variación de la temperatura sobre la distancia, Flujo a contracorriente de fluidos

**FUENTE:** Adaptada de (Arnold & Stewart, 1999)

$T_1 =$  Fluido caliente que entra

$T_2 =$  Fluido caliente que sale

$T_3 =$  Fluido frío que entra

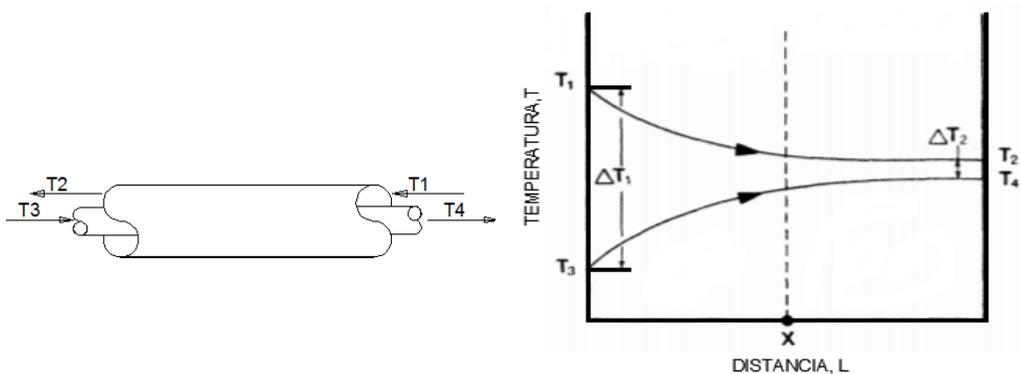
T4= Fluido frio que sale

Dado que la temperatura de ambos fluidos cambia a medida que fluyen a través del intercambiador, se debe usar una diferencia de temperatura "promedio" en  $LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\log_e(\Delta T_1/\Delta T_2)}$  **Ecuación 1.3.** Normalmente se usa una diferencia de temperatura media logarítmica y puede ser encontrado de la siguiente manera:

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\log_e(\Delta T_1/\Delta T_2)} \quad \text{Ecuación 1.3.}$$

Donde:  $LMTD = \log$  diferencia de temperatura promedio. [ °F]  
 $\Delta T_1 =$  diferencia de temperatura terminal más grande, [°F]  
 $\Delta T_2 =$  diferencia de temperatura terminal más pequeña, [°F]

Aunque dos fluidos pueden transferir calor en contracorriente o en paralelo flujo, la dirección relativa de los dos fluidos influye en el valor del LMTD, y por lo tanto, el área requerida para transferir una cantidad dada de calor.



**Figura 1.3.** Cambio en la variación de la temperatura sobre la distancia, flujo paralelo en fluidos

**FUENTE:** Adaptada de (Arnold & Stewart, 1999)

T<sub>1</sub>= Fluido caliente que entra

T<sub>2</sub>= Fluido caliente que sale

T<sub>3</sub>= Fluido frio que entra

$T_4$ = Fluido frio que sale

### 1.3.2 Coeficiente general de transferencia de calor

El coeficiente de transferencia de calor general es una combinación entre la película de coeficiente interna, la conductividad térmica de la pared del tubo y el espesor, el coeficiente de película externa y factores de incrustación. Es decir, para que la energía para ser transferida a través de la pared del tubo que tiene que pasar a través de una película sentada en la pared interior del tubo. Esa película produce una resistencia a la transferencia de calor, que está representada por el coeficiente de película interna para esta transferencia de calor por convección. Luego debe pasar por la pared del tubo por un proceso de conducción que es controlado por el tubo de conductividad térmica y el espesor de la pared del tubo. La transferencia de calor desde la pared exterior del tubo hasta la mayor parte del fluido hacia el exterior es otra vez un proceso de convección. Está controlado por el coeficiente de película exterior. Todas estas resistencias se agregan en serie, similar a una serie de resistencia eléctrica, para producir una resistencia global. El coeficiente de transferencia de calor es similar a la conductancia eléctrica, y su recíproco es la resistencia. Por lo tanto, la siguiente ecuación se usa para determinar el coeficiente de transferencia de calor general

para usar en la  $\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i A_i / A_0} + \frac{1}{k/L} + \frac{1}{h_0} + R_i + R_0$  **Ecuación 1.4.**

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i A_i / A_0} + \frac{1}{k/L} + \frac{1}{h_0} + R_i + R_0 \text{ **Ecuación 1.4.**}$$

Donde:

- $h_i$  = coeficiente de película interna. [Btu/hr-ft<sup>2</sup>- °F]
- $h_0$  = coeficiente de película exterior. [Btu/hr-ft<sup>2</sup>- °F]
- $k$  = conductividad térmica de la pared de la tubería. [Btu/hr-ft- °F]
- $L$  = espesor de la pared de la tubería, [ft]
- $R_i$  = dentro de la resistencia a la incrustación, [hr-ft- °F/BTU]
- $R_0$  = resistencia al ensuciamiento exterior, [hr-ft- °F/BTU]
- $A_i$  = tubería dentro del área superficial, [ft<sup>2</sup>/ ft]
- $A_0$  = área de superficie exterior de la tubería, [ft<sup>2</sup>/ ft]

$R_i$  y  $R_0$  son factores de incrustación. Los factores de contaminación se incluyen normalmente para permitir la resistencia adicional al flujo de calor que resulta de la suciedad, la escala o corrosión en las paredes del tubo. La suma de estos factores de

contaminación es normalmente tomado para ser 0.003 [hr-ft- °F/BTU], aunque este valor puede variar ampliamente con el servicio específico. (Arnold & Stewart, 1999)

#### **1.4 Recuperación térmica**

Los yacimientos de petróleo pesado presentan un único problema de producción. La alta viscosidad del aceite hace difícil, y en algunos casos imposible, extraer el crudo, incluso con los mejores métodos de recuperación. El mejor método para movilizar el petróleo es calentar la formación para reducir la viscosidad del aceite. Cuando la calefacción se usa para recuperar el aceite, el método de recuperación se llama recuperación térmica. Los tres métodos más comunes de recuperación térmica son los siguientes:

**Estimulación con vapor:** en este método, vapor es inyectado en el pozo productor por un período de tiempo específico (normalmente más de un mes); luego, el pozo se cierra por otro período de tiempo (normalmente unos pocos días). El vapor inyectado calienta la formación circundante, causando una reducción significativa de la viscosidad en el petróleo. El pozo luego se pone en producción por un período de tiempo hasta que el flujo de aceite disminuya. El proceso se repite a través del mismo ciclo de inyección, apagado y producción. Este proceso también se conoce como el método de Hugh y Pugh.

**Inundación de vapor:** este método es similar al proceso por inundación de agua, la diferencia es que se usa vapor en lugar de agua. El vapor es inyectado en un pozo inyector para reducir la viscosidad del aceite mientras que el vapor condensado (agua caliente) desplaza el aceite por el pozo productor.

**Combustión en sitio:** en este proceso, se inyecta aire en la formación a través de pozo inyector bajo condiciones que inicie la ignición del aceite dentro de la formación cercana. La zona de combustión crea un frente de aceite destilado, vapor y gases. La inyección de aire continua impulsa la combustión hacia el pozo de producción. La combinación de calefacción y desplazamiento por el vapor, los gases y los líquidos condensados mejoran la recuperación del aceite. (Abdel-Aal & Aggour, 2003)

#### **1.5 Intercambiadores de calor**

Los intercambiadores de calor se utilizan para transferir calor entre dos fuentes. El intercambio puede tener lugar entre una corriente de proceso y una corriente de utilidad (agua fría, vapor presurizado, etc.), una corriente de proceso y una fuente de energía (calor electricidad), o entre dos flujos de proceso que resultan en integración de energía y reducción de fuentes de calor externas. Típicamente, se usa un intercambiador de calor con dos flujos de proceso. Sin embargo, los intercambiadores de calor multistream a veces se usan con procesos extensivos de energía, como el GNL(Gas Natural Licuado) procesamiento, para reducir el costo de capital. El término intercambiador de calor se aplica a todos los equipos utilizados para transferir calor entre dos corrientes, sin embargo, el término se usa comúnmente para los equipos en los que dos corrientes en procesos intercambian calor entre sí. Por otro lado, el término calentador o enfriador se usa cuando el intercambio ocurre entre un flujo de proceso y un flujo de servicio de planta. (Hussain, 2007)

Otros términos utilizados para describir el equipo de calefacción incluyen: vaporizador y rehervidor (para vaporización) y evaporador (para la concentración de la corriente). Los intercambiadores también pueden ser clasificados como despedidos (la fuente de calor es la combustión de combustible) y los intercambiadores no disparados. (Hussain, 2007)

Hay muchos tipos de intercambiadores de calor aplicados en la industria de procesos. Estos tipos pueden incluir:

1. Intercambiadores de horquilla / tubo doble.
2. Intercambiadores de carcasa y tubo.
3. Intercambiadores de placas y marcos.
4. Intercambiadores de aletas de placas.
5. Intercambiadores de calor espirales.
6. Enfriadores de aire y condensadores.
7. Contacto directo (torres de enfriamiento).

## 8. Calentadores despedidos.

La selección de un intercambiador de calor depende de muchos factores, incluidos el capital y el costo de operación, incrustaciones, tendencia a la corrosión, caída de presión, rangos de temperatura y problemas de seguridad (tolerancia a fugas). (Hussain, 2007)

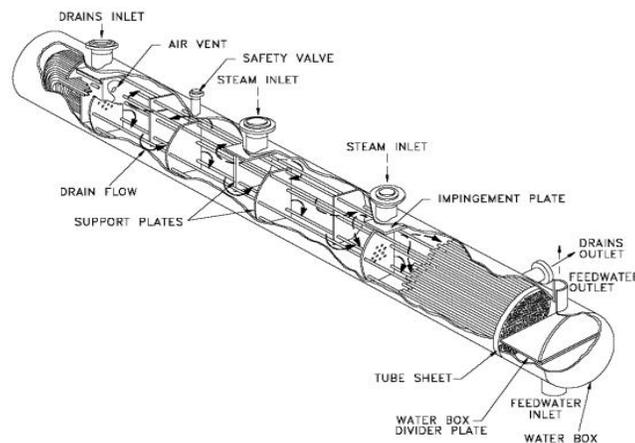
En los cálculos del proceso, los objetivos principales de los cálculos del intercambiador de calor son determinar el servicio térmico (cantidad de energía que se transferirá), cambios de temperatura dentro del intercambiador, y la caída de presión. Dependiendo del grado de detalles disponibles / necesarios, los cálculos pueden ser simples o completos. (Hussain, 2007)

### 1.5.1 Tipos de intercambiadores de calor según su construcción

Por lo general existen 2 grandes tipos: carcasa y tubo o plato. Como en cualquier dispositivo mecánico, cada uno de estos presenta ventajas o desventajas en su aplicación.

#### 1.5.1.1 Intercambiadores de calor de carcasa y tubo

La construcción más básica y común de los intercambiadores de calor es el de tipo tubo y carcasa que se muestra en la Figura 1.4. Intercambiador de calor de carcasa y tubos



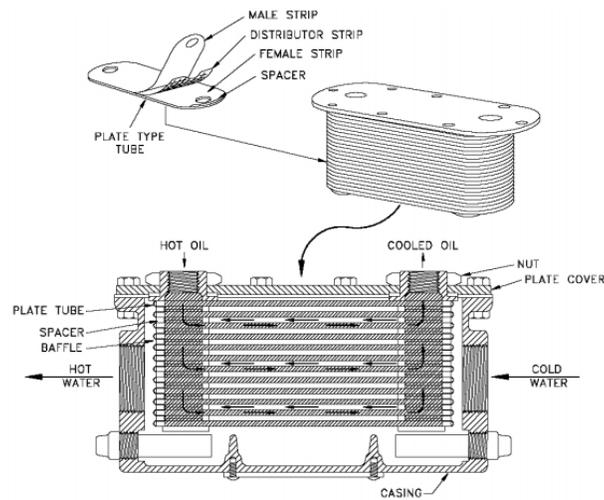
**Figura 1.4.** Intercambiador de calor de carcasa y tubos

*FUENTE:* Tomado de (O. A. Jaramillo; Universidad Nacional Autónoma de México, 2007, pág. 3)

Este tipo de intercambiador consiste en un conjunto de tubos en un contenedor llamado carcasa. El flujo de fluido dentro de los tubos se denomina comúnmente flujo interno y aquel que fluye en el interior del contenedor como fluido de carcasa o fluido externo. En los extremos de los tubos, el fluido interno es separado del fluido externo de la carcasa por la(s) placa(s) del tubo. Los tubos se sujetan o se sueldan a una placa para proporcionar un sello adecuado. En sistemas donde los dos fluidos presentan una gran diferencia entre sus presiones, el líquido con mayor presión se hace circular típicamente a través de los tubos y el líquido con una presión más baja se circula del lado de la carcasa. Esto es debido a los costos en materiales, los tubos del intercambiador de calor se pueden fabricar para soportar presiones más altas que la cáscara del cambiador con un costo mucho más bajo. Las placas de soporte (*support plates*) mostradas en la Figura 1.4 también actúan como bafles para dirigir el flujo del líquido dentro de la carcasa hacia adelante y hacia atrás a través de los tubos. (O. A. Jaramillo; Universidad Nacional Autónoma de México, 2007)

#### **1.5.1.2 Intercambiadores de calor de Plato**

El intercambiador de calor de tipo plato, como se muestra en la Figura 1.5, consiste de placas en lugar de tubos para separar a los dos fluidos caliente y frío. Los líquidos calientes y fríos se alternan entre cada uno de las placas y los bafles dirigen el flujo del líquido entre las placas. Ya que cada una de las placas tiene un área superficial muy grande, las placas proveen un área extremadamente grande de transferencia de térmica a cada uno de los líquidos. Por lo tanto, un intercambiador de placa es capaz de transferir mucho más calor con respecto a un intercambiador de carcasa y tubos con volumen semejante, esto es debido a que las placas proporcionan una mayor área que la de los tubos. El intercambiador de calor de plato, debido a la alta eficacia en la transferencia de calor, es mucho más pequeño que el de carcasa y tubos para la misma capacidad de intercambio de calor. (O. A. Jaramillo; Universidad Nacional Autónoma de México, 2007)



**Figura 1.5.**Intercambiador de calor de plato

*FUENTE:* Tomado de (O. A. Jaramillo; Universidad Nacional Autónoma de México, 2007, pág. 4)

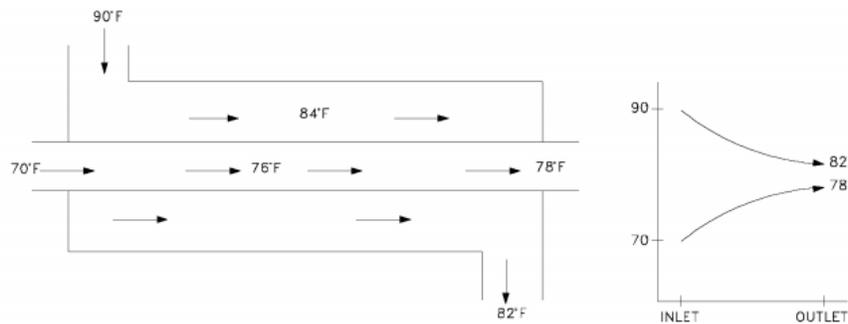
Sin embargo, el tipo de intercambiadores de placa no se utiliza extensamente debido a la inhabilidad de sellar confiablemente las juntas entre cada una de las placas. Debido a este problema, el tipo intercambiador de la placa se ha utilizado solamente para aplicaciones donde la presión es pequeña o no muy alta, por ejemplo en los refrigeradores de aceite para máquinas. Actualmente se cuentan importantes avances que han mejorado el diseño de las juntas y sellos, así como el diseño total del intercambiador de placa, esto ha permitido algunos usos a gran escala de este tipo de intercambiador de calor. Así, es más común que cuando se renuevan viejas instalaciones o se construyen nuevas instalaciones el intercambiador de la placa está substituyendo paulatinamente a los intercambiadores de carcasa y tubo. (O. A. Jaramillo; Universidad Nacional Autónoma de México, 2007)

### 1.5.2 Tipos de intercambiadores de calor según su operación

Ya que los intercambiadores de calor se presentan en muchas formas, tamaños, materiales de manufactura y modelos, estos son categorizados de acuerdo con características comunes. Una de las características comunes que se puede emplear es la dirección relativa que existe entre los dos flujos de fluido. Las tres categorías son: Flujo paralelo, Contraflujo y Flujo cruzado. (O. A. Jaramillo; Universidad Nacional Autónoma de México, 2007)

### 1.5.2.1 Intercambiadores de calor de flujo paralelo.

Como se ilustra en la Figura 1.6, existe un flujo paralelo cuando el flujo interno o de los tubos y el flujo externo o de la carcasa ambos fluyen en la misma dirección. En este caso, los dos fluidos entran al intercambiador por el mismo extremo y estos presentan una diferencia de temperatura significativa. Como el calor se transfiere del fluido con mayor temperatura hacia el fluido de menor temperatura, la temperatura de los fluidos se aproxima la una a la otra, es decir que uno disminuye su temperatura y el otro la aumenta tratando de alcanzar el equilibrio térmico entre ellos. Debe quedar claro que el fluido con menor temperatura nunca alcanza la temperatura del fluido más caliente. (O. A. Jaramillo; Universidad Nacional Autónoma de México, 2007)



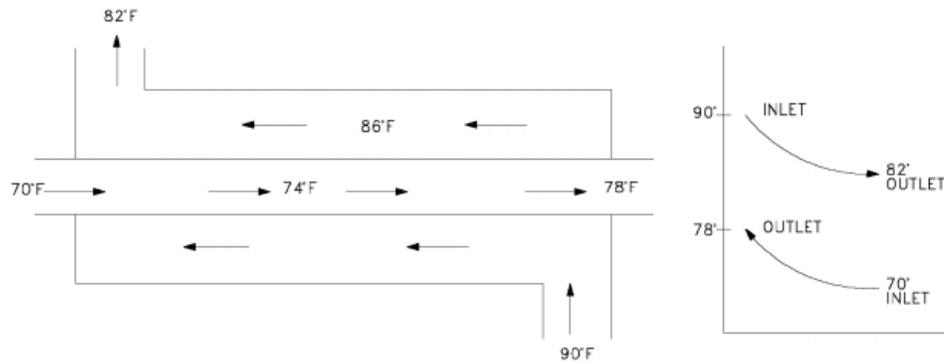
**Figura 1.6.** Intercambiador de calor de plato

**Fuente:** Tomado de (O. A. Jaramillo; Universidad Nacional Autónoma de México, 2007, pág. 5)

### 1.5.2.2 Contraflujo

Como se ilustra en la Figura 1.7, se presenta un contraflujo cuando los dos fluidos fluyen en la misma dirección pero en sentido opuesto. Cada uno de los fluidos entra al intercambiador por diferentes extremos ya que el fluido con menor temperatura sale en contraflujo del intercambiador de calor en el extremo donde entra el fluido con mayor temperatura, la temperatura del fluido más frío se aproximará a la temperatura del fluido de entrada. Este tipo de intercambiador resulta ser más eficiente que los otros dos tipos mencionados anteriormente. En contraste con el intercambiador de calor de flujo paralelo,

el intercambiador de contraflujo puede presentar la temperatura más alta en el fluido frío y la más baja temperatura en el fluido caliente una vez realizada la transferencia de calor en el intercambiador. ( (O. A. Jaramillo; Universidad Nacional Autónoma de México, 2007)



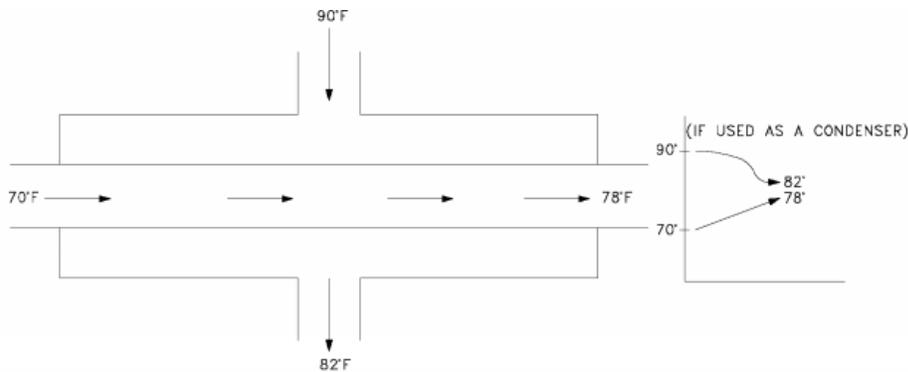
**Figura 1.7.** Intercambiador de Contraflujo

**Fuente:** Tomado de (O. A. Jaramillo; Universidad Nacional Autónoma de México, 2007, pág. 6)

### 1.5.2.3 Flujo cruzado

En la Figura 1.8 se muestra como en el intercambiador de calor de flujo cruzado uno de los fluidos fluye de manera perpendicular al otro fluido, esto es, uno de los fluidos pasa a través de tubos mientras que el otro pasa alrededor de dichos tubos formando un ángulo de 90°. Los intercambiadores de flujo cruzado son comúnmente usados donde uno de los fluidos presenta cambio de fase y por tanto se tiene un fluido pasado por el intercambiador en dos fases bifásico. Un ejemplo típico de este tipo de intercambiador es en los sistemas de condensación de vapor, donde el vapor exhausto que sale de una turbina entra como flujo externo a la carcasa del condensador y el agua fría que fluye por los tubos absorbe el calor del vapor y éste se condensa y forma agua líquida. Se pueden condensar grandes volúmenes de vapor de agua al utilizar este tipo de intercambiador de calor. En la actualidad, la mayoría de los intercambiadores de calor no son puramente de flujo paralelo, contraflujo, o flujo cruzado; estos son comúnmente una combinación de los dos o tres tipos de intercambiador. Desde luego, un intercambiador de calor real que incluye dos, o los tres tipos de intercambio descritos anteriormente, resulta muy complicado de analizar. La razón de

incluir la combinación de varios tipos en uno solo, es maximizar la eficacia del intercambiador dentro de las restricciones propias del diseño, que son: tamaño, costo, peso, eficacia requerida, tipo de fluidos, temperaturas y presiones de operación, que permiten establecer la complejidad del intercambiador. (O. A. Jaramillo; Universidad Nacional Autónoma de México, 2007)



**Figura 1.8.** Intercambiador de calor de flujo cruzado

**Fuente:** Tomado de (O. A. Jaramillo; Universidad Nacional Autónoma de México, 2007, pág. 6)

#### 1.5.2.4 Intercambiadores de un solo paso (o paso simple) y de múltiple pasos.

Un método que combina las características de dos o más intercambiadores y permite mejorar el desempeño de un intercambiador de calor es tener que pasar los dos fluidos varias veces dentro de un intercambiador de paso simple. Cuando los fluidos del intercambiador intercambian calor más de una vez, se denomina intercambiador de múltiple pasos. Sí el fluido sólo intercambia calor en una sola vez, se denomina intercambiador de calor de paso simple o de un solo paso. (O. A. Jaramillo; Universidad Nacional Autónoma de México, 2007)

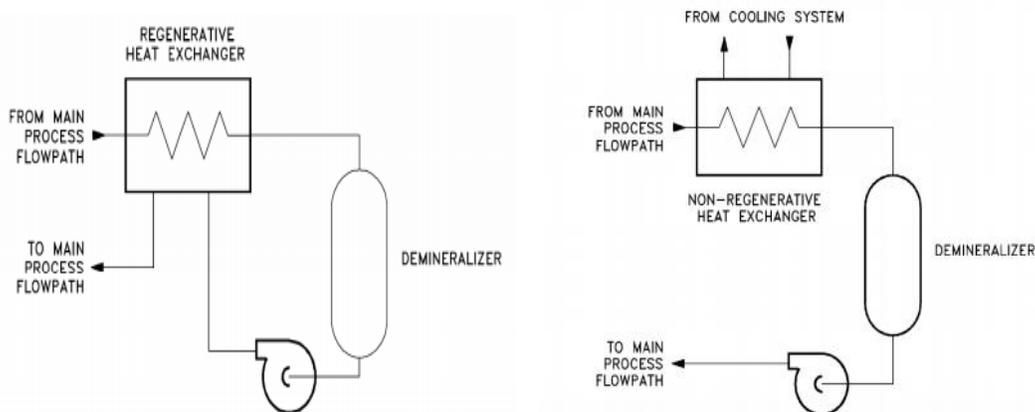
#### 1.5.2.5 Intercambiadores Regenerativos y No-regenerativos

Los intercambiadores de calor también pueden ser clasificados por su función en un sistema particular. Una clasificación común es:

- Intercambiador regenerativo.

- Intercambiador no-regenerativo

Un intercambiador regenerativo es aquel donde se utiliza el mismo fluido (el fluido caliente y el fluido frío es el mismo) como se muestra en la Figura 1.9. Esto es, el fluido caliente abandona el sistema cediendo su calor a un regenerador y posteriormente regresando al sistema. Los intercambiadores regenerativos son comúnmente utilizados en sistemas con temperaturas altas donde una porción del fluido del sistema se remueve del proceso principal y éste es posteriormente integrado al sistema. Ya que el fluido que es removido del proceso principal contiene energía (energía interna, mal llamado calor), el calor del fluido que abandona el sistema se usa para recalentar (regenerar) el fluido de regreso en lugar de expeler calor hacia un medio externo más frío lo que mejora la eficacia del intercambiador. Es importante recordar que el término "regenerativo/no-regenerativo" sólo se refiere a "cómo" funciona el intercambiador de calor en un sistema y no indica el tipo de intercambiador (carcasa y tubo, plato, flujo paralelo, contraflujo). En un intercambiador regenerativo, como se muestra en la Figura 1.9, el fluido con mayor temperatura en enfriado por un fluido de un sistema separado y la energía (calor) removida y no es regresaba al sistema. (O. A. Jaramillo; Universidad Nacional Autónoma de México, 2007)



**Figura 1.9.** Intercambiador regenerativo e Intercambiador no-regenerativo

**Fuente:** Tomado de (O. A. Jaramillo; Universidad Nacional Autónoma de México, 2007, pág. 8)

## 1.6 Descripción de las propiedades de los fluidos y tipos de yacimientos

### 1.6.1 Propiedades de los fluidos

Las propiedades de los fluidos influyen en la selección adecuada de un separador, para esto tenemos los siguiente.

#### 1.6.1.1 Definición de densidad de un fluido

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

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación 1.5.}$$

Dónde:

$\rho$ = Densidad del fluido (gr/cc)

m= Masa (gr)

V=Volumen (cc)

#### 1.6.1.2 Definición de Gravedad específica

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

$$Gel = \frac{\rho_l}{\rho_a} \quad \text{Ecuación 1.6.}$$

Donde

$\rho_l$  = Densidad del líquido (gr/cc) o (lb/pie<sup>3</sup>)

$\rho_a$  = Densidad del agua=1gr/cc= 62,4lb/pie<sup>3</sup>

### 1.6.1.3 Definición de Gravedad API

La gravedad API diferencia las calidades del crudo por medio de una escala numérica sencilla y universal, expresada en grados API ó °API. En esta escala, cuanto más liviano es el petróleo mayor es la gravedad API (Jose Requena, 2006)

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

$$^{\circ}API = \frac{141.5}{Gel} \quad \text{Ecuación 1.7.}$$

Dónde:

Gel= Gravedad específica del líquido (adimensional)

La clasificación del crudo de acuerdo al °API se observa en la siguiente Tabla 1.1.

**Tabla 1.1.** Clasificación de los crudos según °API

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

(Fuente: Diseño y Evaluación de Separadores Bifásicos y trifásicos, Cap II, pag 8)

### 1.6.1.4 Definición de Viscosidad

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

### **1.6.1.5 Cambios de la viscosidad de un fluido hidrocarburo**

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

### **1.6.1.6 Factores que afectan la viscosidad**

#### **1.6.1.6.1 Afectación de la viscosidad por Temperatura**

La viscosidad es la resistencia que opone un fluido a ser deformado. Esta propiedad se origina por la atracción de las moléculas entre sí, mediante fuerzas de cohesión que dificultan un desplazamiento relativo, si aplicamos temperatura a un fluido viscoso, se favorece la agitación térmica de las moléculas, ya que se disminuye la fuerza de cohesión entre ellas, por lo que se induce a una disminución de la viscosidad para el caso de líquidos. Para los gases es análogo el comportamiento, ya que en gases las fuerzas de cohesión son prácticamente inexistentes, en ellos la agitación térmica de las moléculas genera un aumento de la viscosidad ya que se aumenta la interacción entre las moléculas. La medida de qué tanto cambia la viscosidad de un fluido con la temperatura está dada por el índice de viscosidad. Un fluido común con alto índice de viscosidad muestra un cambio pequeño de viscosidad con respecto a la temperatura; un fluido con un bajo índice de viscosidad exhibe un cambio grande en su viscosidad con respecto a la temperatura. El índice de viscosidad se establece mediante la medición de la viscosidad de un fluido a 40° C y a 100 °C; y se comparan estos valores con los fluidos de referencia (Jose Requena, 2006).

### 1.6.1.6.2 Afectación de la viscosidad por Presión

La presión en los líquidos afecta muy poco la viscosidad, ya que éstos pueden ser considerados incompresibles. En el caso de los gases el aumento de la presión es proporcional al aumento de viscosidad. En la



, indica la relación entre la viscosidad y el ° API para crudos de determinados campos:

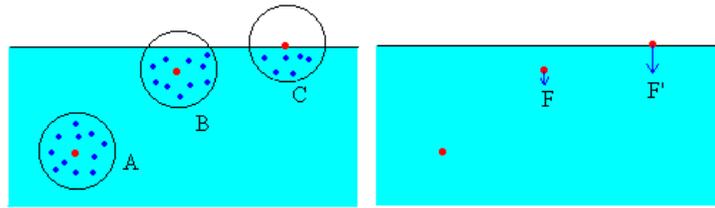


**Figura 1.10.** Relación entre °API y viscosidad

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

## 1.6.2 Tensión Superficial

Cuando se está tratando con un sistema de flujo multifásico es necesario considerar el efecto de las fuerzas que estén actuando en la interfase entre dos fluidos que son inmiscibles, Figura 1.11. En un fluido cada molécula interacciona con las que le rodean. El radio de acción de las fuerzas moleculares es relativamente pequeño, abarca a las moléculas vecinas más cercanas. Se determina de forma cualitativa, la resultante de las fuerzas de interacción sobre una molécula que se encuentra en: A, el interior del líquido; B, en las proximidades de la superficie; C, en la superficie



**Figura 1.11.** Tensión interfacial

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

### 1.6.3 Tipos de fluidos de yacimiento

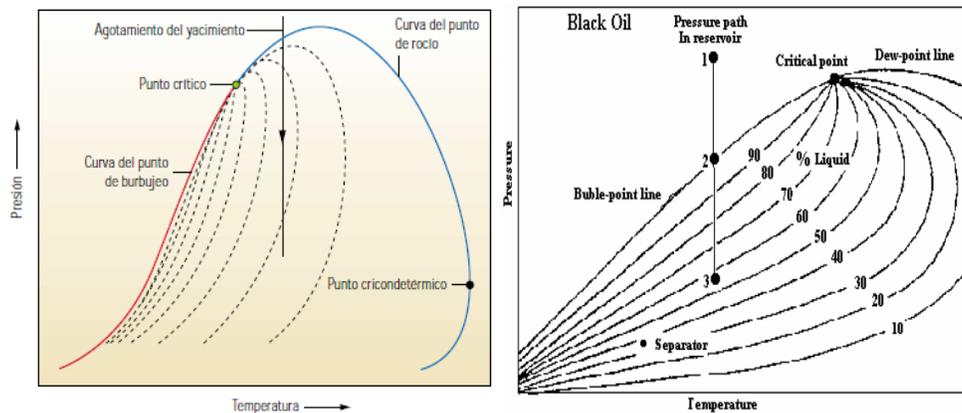
En general el Petróleo y el Gas son mezclas de hidrocarburos de una composición química compleja, que se encuentra a determinadas condiciones de presión y temperatura en el yacimiento. Estas condiciones pueden variar ampliamente; se puede hablar de presiones desde 100 psi hasta 10000 psi y, aún más,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

El estado de una mezcla de hidrocarburos a condiciones de superficie depende de la composición de la misma en el yacimiento y a su vez a la composición del fluido que permanece en el yacimiento. Este sufre cambios debido a los hidrocarburos producidos. La reducción de presión en el yacimiento, trae como consecuencia la variación en las proporciones de gas y liquido existentes en el mismo. La meta en el estudio de fases es llegar a predecir, cuando se conoce la composición de un sistema, las cantidades y composiciones de las fases en equilibrio de tal sistema a cualquier presión y temperatura. El estudio del comportamiento de las fases se divide en dos partes: estudio cualitativo y estudio cuantitativo de las fases. En el primer caso se estudian los diferentes diagramas de presión-temperatura, P-T, presión-volumen, P-V, composición, etc. En el segundo caso se desarrolla en fórmulas y métodos para calcular la composición y cantidades de las fases de un sistema, a una presión y temperatura dada (Jose Requena, 2006).

### 1.6.4 Análisis del petróleo y gas

Los hidrocarburos comprenden una variedad de componentes que abarcan desde el metano hasta compuestos de carbono, además asfáltenos y parafinas. Estos componentes determinan el comportamiento de las fases de un fluido de yacimiento determinando que suele indicarse utilizando un diagrama de fases de un fluido de yacimiento determinado que suele indicarse utilizando un diagrama de fases representado por tres variables: Presión, Volumen y Temperatura (PVT). (Camegie, 2004)

Un hidrocarburo se encuentra en una sola fase si la presión y la temperatura están fuera de la envolvente de fases. En condiciones que caen dentro del envolvente, coexisten las fases. Sin embargo, la composición de las fases cambia dentro de esta región bifásica. Cerca de la curva del punto de burbujeo, la fase gaseosa corresponde predominantemente a metano, pero ingresando más en la región de dos fases, otros componentes livianos e intermedios ingresan en las fases gaseosas, Figura 1.12.



**Figura 1.12.** Curvas P-T fluido  
(Fuente: Análisis de hidrocarburos en el pozo, página 2)

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

temperatura máxima a la cual pueden coexistir dos fases se denomina cricondetermica (Camegie, 2004). Usualmente, la temperatura de un yacimiento es casi constante, al menos que se inyecte en los mismos fluidos fríos o calientes de manera que la mayoría de yacimientos que se estén agotando siguen una trayectoria vertical descendente en un diagrama de fases de presión y temperatura. Si la temperatura de yacimiento se encuentra entre la temperatura del punto crítico y la cricondetermica, se puede separar líquido de la fase gaseosa dentro del yacimiento. Estos se denominan yacimientos de gas condensados o de condensado retrogrado. El gas presente en un yacimiento con una temperatura superior a la cricondetermica se conoce como gas húmedo si se separa líquido debido a la disminución de la presión y de la temperatura en el sistema de producción o como gas seco si no se separa líquido ya sea en el yacimiento o en el sistema de producción. (Camegie, 2004)

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

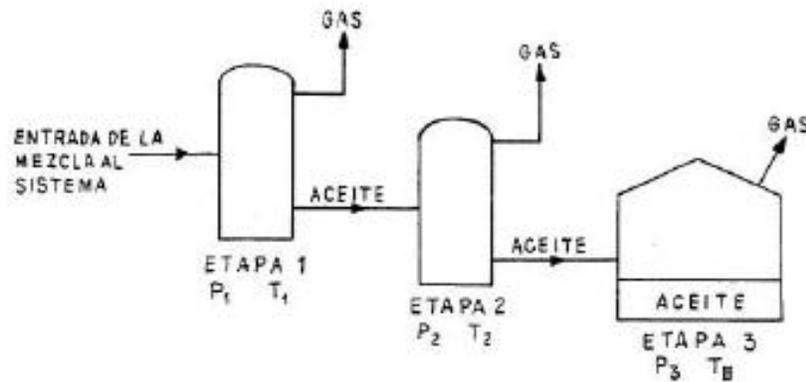
### **1.6.5 Importancia de la Separación de Fases**

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

- Los pozos producen hidrocarburos líquidos y gaseosos mezclados en un solo flujo.
- Hay líneas en las que aparentemente se maneja solo líquido o gas, pero debido a los cambios de presión y temperatura que se producen, existe vaporización del líquido o condensación del gas.
- En ocasiones el flujo de gas arrastra líquidos en cantidades apreciables a los equipos de procesamiento (compresores).

- En campos productores donde el gas es quemado y no se tiene equipos adecuados de separación, una cantidad considerable de aceite liviano arrastrado por el flujo de gas, también se quema, originando pérdidas económicas debido al mayor valor comercial.
- En la transportación del gas se debe eliminar la mayor cantidad de líquido para evitar problemas como la corrosión del transporte, aumento en la calidad de presión y disminución en la capacidad de las líneas.

Para obtener una separación más eficiente y completa, dos o más separadores se conectan en serie reduciendo la presión en cada equipo, Figura 1.13, lo que se conoce como separación en múltiples etapas. Cada vez que se reduce la presión, ocurre separación de gas en el líquido que sale de cada etapa. (Alexos Diaz, 2010)

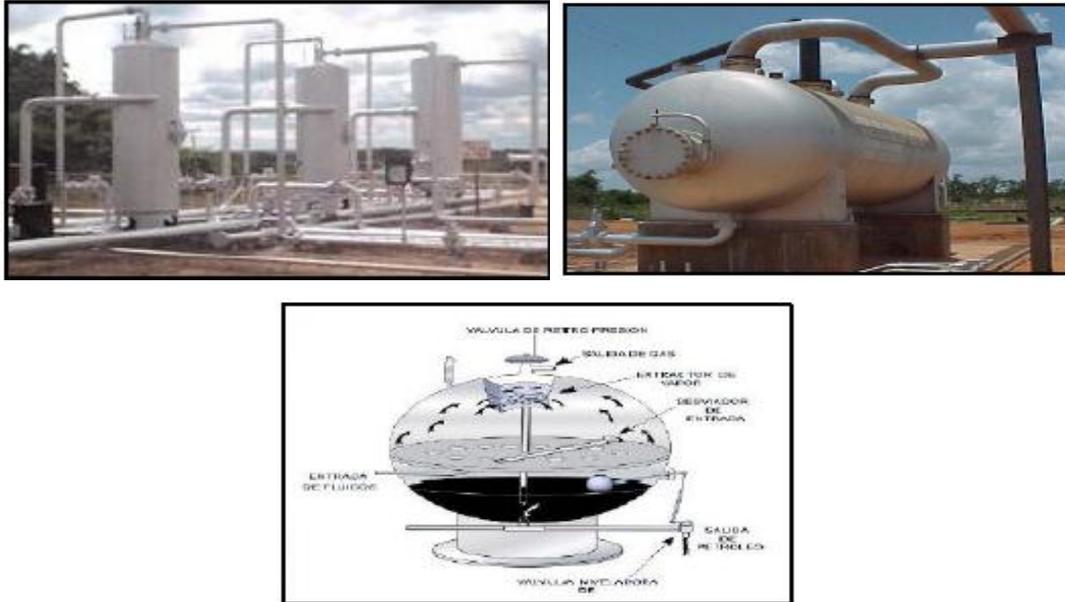


**Figura 1.13.** Sistema de separación en tres etapas  
(Fuente: Parámetros requeridos en el diseño de separadores para manejar mezclas gas-líquido, página 2)

### 1.6.5.1 Clasificación de los equipos de separación

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

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



**Figura 1.14.** 1. Separador Vertical, 2. Separador horizontal, 3. Separador esférico

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

Un separador de prueba maneja la producción de un solo pozo con el fin de cuantificar la producción de gas y líquido, mediante sistemas de medición, el de producción (de mayor capacidad que uno de prueba) recibe y trata el fluido de varios pozos de un campo y el de tres fases es de tipo horizontal y se conoce como eliminador de agua libre o *Free Water Knock-out* (FWK), separa la fase líquida en petróleo y agua emulsionada además de gaseosa, debido a que se disponen de suficiente tiempo de residencia o retención. Es importante conocer la producción de cada uno de los pozos, con el fin en el separador de prueba se utilizan dos sistemas: la medición por orificio, para cuantificar la cantidad de gas y el medidor de turbina que permite establecer el flujo líquido. Además para determinar el volumen de petróleo manejado en una estación de producción se dispone del sistema LACT (Alexos Diaz, 2010).

### 1.6.5.2 Descripción de los equipos de separación

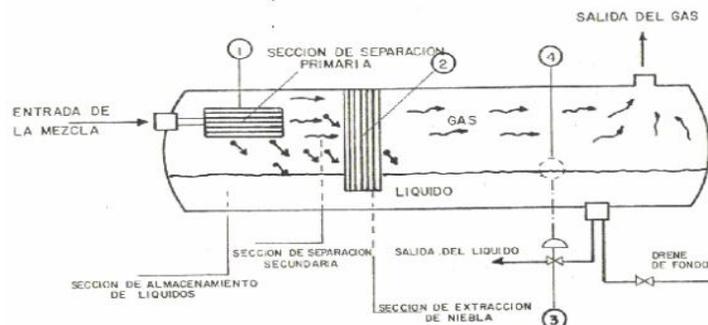
Consta de las siguientes secciones básicas:

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

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

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

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



### Figura 1.15. Secciones Básicas de un separador

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

#### 1.6.6 Fundamentos para la separación Mezcla Gas-Líquido

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

##### 1.6.6.1 Separación por gravedad

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

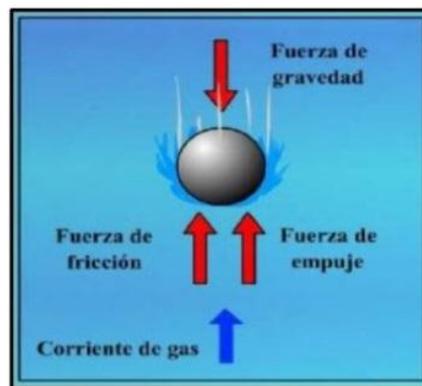


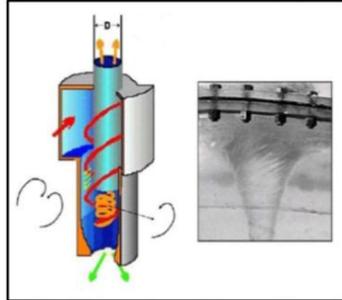
Figura 1.16. Separación por la gravedad

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

##### 1.6.6.2 Separación por fuerza centrífuga

La fuerza centrífuga inducida a las partículas de líquido suspendidas en una corriente de gas puede ser varias veces mayor que la fuerza de gravedad que actúa sobre las mismas. Este

principio mecánico se emplea tanto en la sección primaria de un separador como en algunos tipos de extractor de neblina. (Alexos Diaz, 2010)

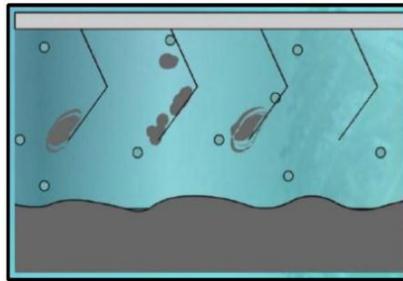


**Figura 1.17.** Separación por fuerza centrífuga

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

### 1.6.6.3 Separación por choque

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



**Figura 1.18.** Separación por choque

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

### 1.6.7 Sistemas de control

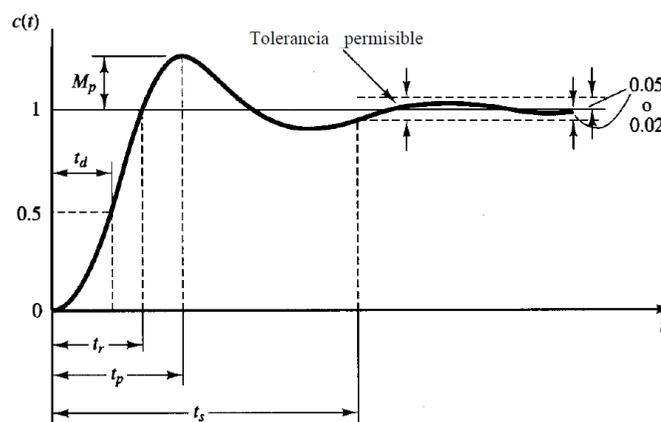
Al diseñar un sistema de control se debe predecir el comportamiento dinámico del sistema por un conocimiento de sus componentes. La Característica más importante del comportamiento dinámico de un sistema de control es la estabilidad absoluta, es decir, si el

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

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

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

Estas especificaciones se definen adelante y se muestran gráficamente en la **Figura 1.19**.



**Figura 1.19.** Curva de respuesta al escalón unitario mostrando valores

(Fuente: Ingeniería de Control Moderna, página 252)

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

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

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

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

$$\text{Maximo sobre impulso} = \frac{(c(t_p) - c(\infty)) * 100\%}{c(\infty)} \quad \text{Ecuación 1.8.}$$

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

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

### 1.6.7.1 Sintonización de controladores

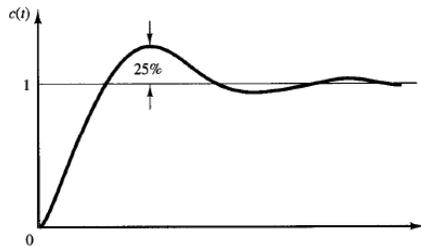
La sintonización de los controladores Proporcional, integral y derivativo o simplemente controladores PID, consiste en la determinación del ajuste de sus parámetros ( $K_c$ ,  $T_i$ ,  $T_d$ ) para lograr un comportamiento del sistema de control aceptable y robusto de conformidad con algún criterio de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

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

### 1.6.7.2 Reglas de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID

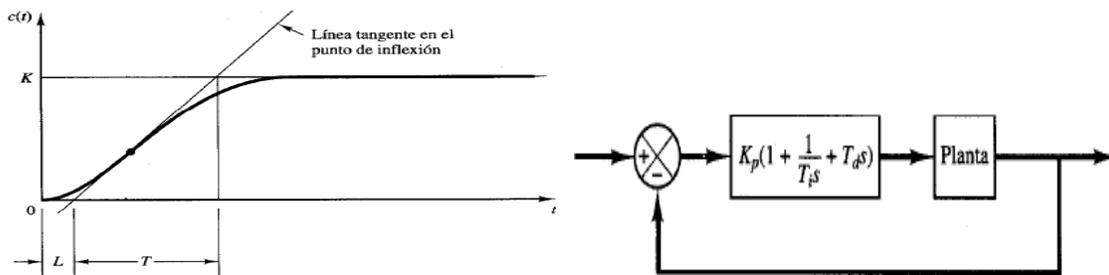
Ziegler y Nichols propusieron unas reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional  $K_p$ , del tiempo integral  $T_i$  y del tiempo derivativo  $T_d$ , con base en las características de respuesta transitoria de una planta específica. Tal determinación de los parámetros de los controladores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

Existen dos métodos denominados reglas de sintonización de Ziegler-Nichols. En ambos se pretende obtener un 25% de sobrepaso máximo en la respuesta escalón Figura 1.20.



**Figura 1.20.** Respuesta escalón unitario, indica un sobrepaso máximo de 25%  
(Fuente: Ingeniería de Control Moderna, página 671)

**Primer Método.** En el primer método, la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental. Si la planta no contiene integradores, la curva de respuesta escalón unitario pueden tener forma de S, como se observa en la Figura 1.21, (si la respuesta no exhibe una curva en forma de S, este método no es pertinente). Tales curvas de respuesta escalón se generan experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta. (Ogata, 1985)



**Figura 1.21.** Curva de respuesta con forma de S

(Fuente: Ingeniería de Control Moderna, página 671)

La curva en forma de S se caracteriza por dos parámetros, el tiempo de retardo  $L$  y la constante de tiempo  $T$ . El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y determinando las interacciones de esta tangente con el eje de tiempo y la línea  $c(t)=K$ , como se aprecia en la Figura 1.21. En este caso la función de transferencia  $C(s)/U(s)$  se aproxima mediante un sistema de primer orden con un retardo de transporte de modo siguiente:

$$\left(\frac{C(s)}{U(s)}\right) = \left(\frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1}\right) \text{Ecuación 1.9.}$$

Ziegler Nichols sugirieron establecer los valores de  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  de acuerdo a la fórmula que aparece en la Tabla 1.2. Regla de sintonización de Ziegler-Nichols, respuesta escalón

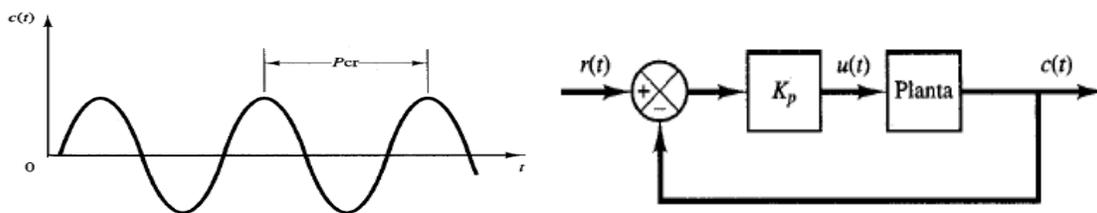
**Tabla 1.2.** Regla de sintonización de Ziegler-Nichols, respuesta escalón

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

(Fuente: Ingeniería de Control Moderna, página 672)

**Segundo Método.** Primero se establecemos  $T_i = \infty$  y  $T_d = 0$ . Usando solo la acción de control proporcional, incrementamos  $K_p$  de 0 a un valor crítico  $K_{cr}$  en donde la salida exhiba primero oscilaciones sostenidas. (Si la salida no presenta oscilaciones sostenidas

para cualquier valor que pueda tomar  $K_p$ , no se aplica este método). Por lo tanto, la ganancia crítica  $K_{cr}$  y el periodo  $P_{cr}$  correspondientes se determinan experimentalmente. En la Figura 1.22, Ziegler-Nichols sugiere que se establecieran los valores de los parámetros  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  de acuerdo con la fórmula que aparece en la Tabla 1.3. (Ogata, 1985)



**Figura 1.22.** Sistema en lazo cerrado con controlador proporcional

(Tomado: Ingeniería de Control Moderna, página 672)

**Tabla 1.3.** Regla de sintonización de *Ziegler-Nichols*.  $K_{cr}$  &  $P_{cr}$

Tipo de controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0,5K_{cr}$	$\infty$	0
PI	$0,45K_{cr}$	$(1/1.2)P_{cr}$	0
PID	$0,6K_{cr}$	$0,5P_{cr}$	$0,125P_{cr}$

(Fuente: Ingeniería de Control Moderna, página 673)

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

### 1.6.7.3 Control Difuso

La técnica de lógica difusa o lógica *fuzzy*, permite extraer conclusiones cuantitativas a partir de esquemas difusos, vagos o ambiguos propios del razonamiento cualitativo de los

humanos. Ese tipo de razonamiento lógico, conformado por observaciones (antecedentes) y reglas cualitativas (base de conocimiento) es aprovechado para incorporar "inteligencia", por ejemplo, en sistemas de control y automatización de procesos industriales.

### 1.6.7.3.1 Estructura de un controlador difuso

El principio básico de un modelo basado en lógica difusa es el conjunto de reglas heurísticas, cuyas variables de entrada y salida, ambas lingüísticas, son representadas mediante conjuntos difusos. Un controlador difuso está compuesto básicamente por los cuatro (4) bloques operacionales que se muestran en la Figura 1.23, con "u" y "y" siendo la entrada y salida, respectivamente.



**Figura 1.23.** Estructura general de un controlador difuso  
(ADAPTADO DE: (García, y otros, 2017))

La fuzzificación convierte las variables físicas de entrada del sistema en variables difusas mediante las funciones de pertenencia. Aquí se definen los rangos de variación de las variables de entrada, así como los conjuntos difusos asociados con sus respectivas funciones de pertenencia. Por su parte, en la defuzzificación, las variables difusas obtenidas del sistema de inferencia son convertidas en variables de reales de salida. Para ello, se suele emplear uno de los siguientes métodos matemáticos: método del máximo, método del centroide o centro de área y método de la media difusa ponderada. La base de conocimientos o de datos define las reglas lingüísticas del control y la manipulación de la información difusa referente a las funciones de pertenencia de los conjuntos difusos.

Finalmente, el sistema de inferencia se apoya en las reglas del controlador y la inferencia difusa, para calcular las salidas difusas asociadas a las variables reales de salida. En tal sentido, a saber se tienen dos (2) tipos de controladores, los que se caracterizan de

acuerdo a la forma en que se definen las salidas difusas. Estos son los denominados Mamdani y Takagi-Sugeno.

El control difuso tipo Mamdani se caracteriza por la siguiente forma general de sus reglas difusas: Si " $u_1$ " es  $A_i$  y " $u_2$ " es  $B_i$ , entonces " $y$ " es  $C_i$  (2)

Es decir, la salida de dicho controlador es un conjunto difuso, por lo que será necesaria una etapa de defuzzificación para obtener un valor discreto en la salida del controlador.

Por su parte, el control difuso tipo Takagi-Sugeno está caracterizado por la siguiente forma de reglas difusas: Si " $u_1$ " es  $A_i$  y " $u_2$ " es  $B_i$ , entonces  $y = f(u_1, u_2)$  (3)

Lo que significa que la salida del controlador Takagi-Sugeno no necesitará una etapa de defuzzificación, debido a que se obtiene directamente un valor discreto.

## **CAPITULO 2**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **2.1 Modalidad de la investigación**

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

##### **2.1.1 De campo**

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

##### **2.1.2 Modalidades especiales-Proyecto Factible**

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

##### **2.1.3 Experimental**

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

#### **2.2 Nivel de investigación**

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

##### **2.2.1 Investigación descriptiva**

Se realizará la investigación descriptiva especificando medir y registrar la variable temperatura, así como determinar los componentes que están en el lazo de control de temperatura en un proceso de obtención y separación de crudo.

### **2.2.2 Investigación Explicativa**

Se realizara la investigación explicativa manipulando la entrada del fluido, insertando perturbaciones en el sistema, determinando y registrando los cambios en la variable dependiente, así, se determinaran los parámetros en los que un lazo de control de temperatura trabajaría en sus condiciones más óptimas.

### **2.3 Métodos utilizados**

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

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

### **2.4 Técnicas e Instrumentos utilizados**

Los datos necesarios para la evaluación de la temperatura son tomados por medio de los siguientes instrumentos:

Para la temperatura del fluido la realizaremos con un transmisor temperatura, los datos serán obtenidos por una salida analógica de 4-20 mA alimentada desde una entrada del PLC.

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

Una niquelina que calienta el fluido en caso de requerirlo, esta posee un amperímetro asociado a una entrada analógica del PLC. Como fluido para la experimentación se usa agua, que es bombeada desde un tanque reservorio.

**Tabla 2.1.** Instrumentos para medición, actuación y medición de proceso

<b>TÉCNICA</b>	<b>INSTRUMENTO</b>	<b>PARÁMETRO A MEDIR</b>
MEDICIÓN	Transmisor de temperatura TSP 321	Temperatura
ACTUADOR	Niquelina con control recortado de onda	Calentamiento del fluido
MEDICIÓN	Transformador de corriente	Corriente de niquelina

(Fuente: José Baquero, autor)

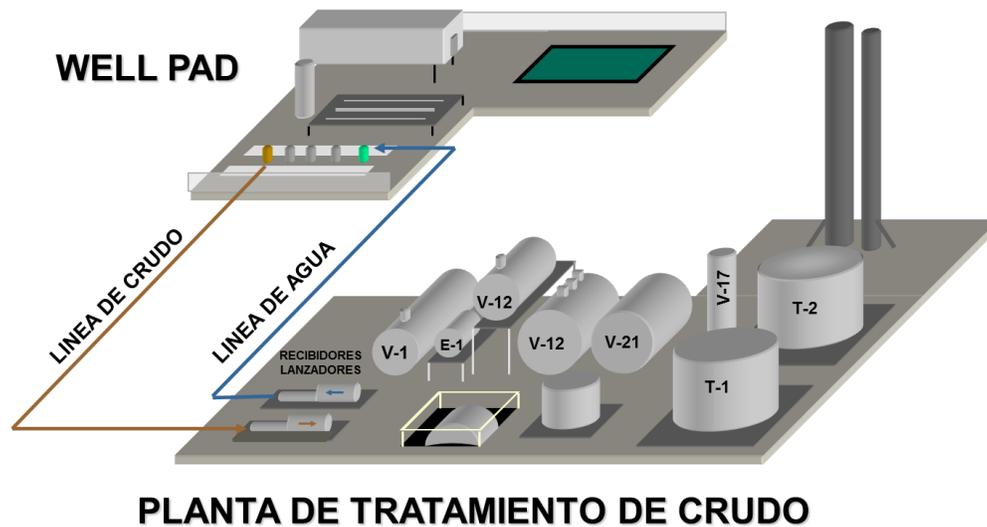
## **2.5 Proceso de separación del crudo, gas y agua en el campo petrolero**

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.

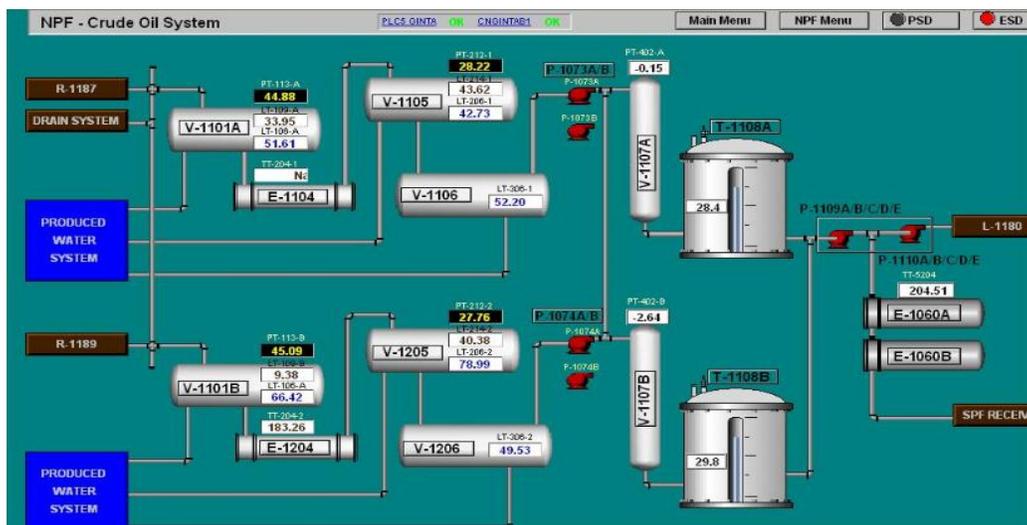


**Figura 2.1.** Esquema del proceso de producción de crudo

Fuente: 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 2.2.** Planta de separación NPF Repsol

Fuente: Planta de procesos NPF, 2017

Luego, el crudo entra 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%.

Después, 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.

## **2.6 Descripción de equipos de la planta de deshidratación**

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

Son separadores horizontales de 3 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. (Vazquez, 2017)

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

**Tabla 2.2.** Características de los separadores de agua libre

<b>CARACTERÍSTICAS DE FREE WATER KNOCKOUT</b>	
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[ft3]	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

(Fuente: Repsol, 2017)

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

**Tabla 2.3.** Elementos de control y monitoreo Free Water Knockout (a)

<b>Elementos de Control y Monitoreo Free Water Knockout</b>	
<b>GENERAL</b>	
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"
<b>CRUDO</b>	
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.

(Fuente: Repsol, 2017)

**Tabla 2.4.** Elementos de control y monitoreo Free Water Knockout (b)

<b>AGUA</b>	
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.
<b>GAS</b>	
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 generación.

(Fuente: Repsol, 2017)

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

**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 movilizadado por la presión del recipiente hacia el Separador de producción V-1105. (Vazquez, 2017)

**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 movilizadado 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. (Vazquez, 2017)

**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. (Vazquez, 2017)

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 desfogan hacia el cabezal de tea. (Vazquez, 2017)

### 2.6.2 Intercambiador de calor

Los intercambiadores de calor pertenecientes a los 3 trenes poseen iguales características de diseño

**Tabla 2.5.**Características de Intercambiador de Calor

<b>Características de intercambiador de calor</b>	
Características	E-2104 A/B
	E-2204 A/B
	E-2304 A/B
Fluido a Manejar:	CRUDO, AGUA Y GAS
Rendimiento BTU/HR:	9765200
LMTD/"U":	117°F/10.8
Dimensiones:	37"ID x 45´ TS/TS
Presión y Temperatura de Diseño	
de carcasa:	150 PSIG/ 550/10
Presión y Temperatura de diseño	
de tubería:	100 PSIG/ 300/8
Material de	
Carcasa y de Tubería:	Acero al carbono
Aislamiento:	Conservación de calor
Prueba hidrostática:	Según código

(Fuente: Repsol, 2017)

**Tabla 2.6.** Elementos de seguridad y control Intercambiador de Calor

<b>Elementos de Seguridad y Control Intercambiador de Calor</b>	
TI-203-1AC	Indicador de temperatura en la línea de ingreso del intercambiador
PI-203-1AC	Indicador de presión en la línea de ingreso del intercambiador
PI-202-1BA	Indicador de presión en la línea de salida del intercambiador
TI-202-1AB	Indicador de temperatura en la línea de salida del intercambiador
PSH-201-1AA	Switch de alta presión. PHA 10 PSIG.
FSL-224-1AA	Switch de bajo flujo de crudo. 3000 BPD
PSE-201-1AA	Disco de ruptura. 95,3 PSIG@30°F
PSV-201-1AA	Válvula de control dce sobrepresión. 100 PSIG.
TIT-220-1A	Transmisor de temperatura. TAHH 260°F

(Fuente: Repsol, 2017)

**2.6.2.1 Lógica de Operación E-2104A**

El control LIC/LV-109-1A, a la vez que controla el nivel de crudo por el lado del calentador E-2104A se podrá determinar la temperatura del fluido con TIT. La temperatura de entrada es medida con el TI-203-1AC, y la presión de entrada con el PI-203-1AC.

Posterior al intercambio de calor ocurrido en E-2104A se podrá determinar la temperatura del fluido con TIT-220-1A, enlazado a este transmisor y con ayuda del PLC se genera una señal que active la señal de alta/alta temperatura que provocará la suspensión del fluido caliente a través del E-2104A. Si el TIT-220-1A detecta una temperatura mayor a 260 °F envía una alarma al Control Room.

La condición de bajo flujo de crudo es censada por el FSL-224-1AA también provoca la suspensión del fluido caliente a través del E-2104A.

En la línea de crudo están ubicadas dos válvulas de relevo de sobrepresión PSV-201-1AA/AB que al detectar un valor de más de 100 PSI, alivian la presión al tanque de drenaje cerrado.

Por el lado de la carcasa, el E-2104A, fluirá aceite térmico o de calentamiento. La temperatura del crudo será controlada permitiendo el mayor o menor paso de aceite de calentamiento a través de E-2104A.

el lazo de control de temperatura de crudo a la salida del intercambiador, se lo realiza con la ayuda del transmisor TIT-220-1A colocado en la línea de crudo a la salida de E-2104A, el mismo que por medio de TIC-204-1A comanda la apertura de TV-204-1A ubicada en la línea de aceite de calentamiento permitiendo que fluya un mayor o menor volumen de aceite de calentamiento a través del E-2104A, según lo requerido, para poder conseguir la temperatura de 260 °F en el crudo a la salida del E-2104A. (Vazquez, 2017)

El aceite de calentamiento luego de pasar por el E-2104A y haber entregado su calor al crudo, retorna al sistema de aceite de calentamiento para nuevamente ser calentado a la temperatura requerida en el proceso en el intercambiador recuperador de calor H-2072. (Vazquez, 2017)

## **2.7 Sensores e instrumentos asociados a la medición de variables**

Una gran parte de la instrumentación está relacionada con la medición de las variables que intervienen en los procesos. Esto puede ser para controlar, indicar o para propósitos de conteo. Un entendimiento de los conceptos y términos utilizados es necesario.

### **2.7.1 Definición de Transmisor**

Los transmisores son dispositivos que se usan para amplificar y acondicionar señales de modo que sean adecuadas para transmisión a largas distancias con pérdida de información nula o mínima. La transmisión digital es preferida en los sistemas más nuevos porque el controlador es un sistema digital, y como las señales analógicas se pueden digitalizar con precisión, al digitalizar las señales se pueden transmitir sin pérdida de información. El controlador compara la amplitud de la señal del sensor con un valor predeterminado. El controlador enviará una señal que es proporcional a la diferencia entre la referencia y la

señal transmitida al actuador que indica al actuador para abrir o cerrar la válvula que controla el flujo de vapor para ajustar la temperatura del agua a su valor establecido. (Dunn, 2005))

Los estándares de transmisión son:

4–20 mA-----Eléctrico Más Utilizado

1–5 Volts-----Eléctrico

3–15 psig-----Neumático

20–100 kPag---Neumático

0,2–1 kg/cm2---Neumático Más Utilizado

### 2.7.2 Lazos de control de un separador

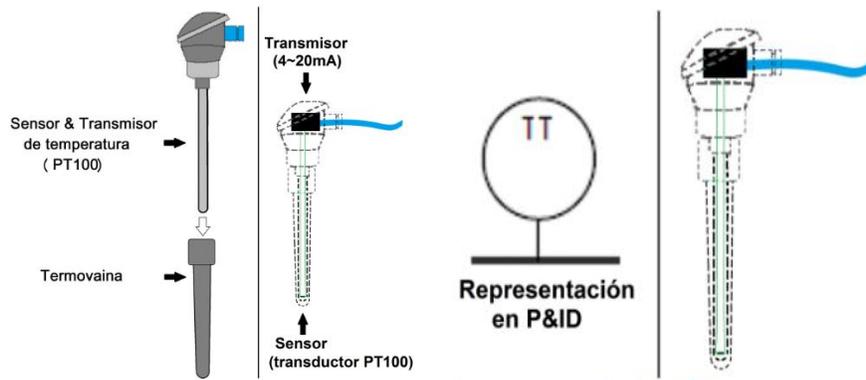
**Tabla 2.7.** Instrumentos para el lazo de control

Lazos de control	Nombre	Características
Lazo de control GAS	FE	Elemento de medición flujo
	FT	Transmisor de flujo
	TE	Transmisor de temperatura
	PCV	Válvula controladora de presión
	PIT	Transmisor indicador temperatura
Lazo de control AGUA	FQI	Indicador de la cantidad de flujo
	LCV	Válvula controladora de nivel
	LIT	Transmisor indicador de nivel
Lazo de control CRUDO	FQI	Indicador de la cantidad de flujo
	LCV	Válvula controladora de nivel
	LC	Controlador de nivel

(Fuente: José Baquero, autor)

### 2.7.3 Transmisor de Temperatura

Transductor de una termo-resistencia, transforma la diferencia de temperatura en un valor de resistencia, lo habitual es que esta resistencia no se mida directamente en el armario de control, sino que es medida en un transmisor situado en el propio instrumento y dicho transmisor enviará una señal proporcional al valor medido al armario de control, que oscilará entre 4~20mA. (instrumentacionhoy.blogspot.pe, 2017)

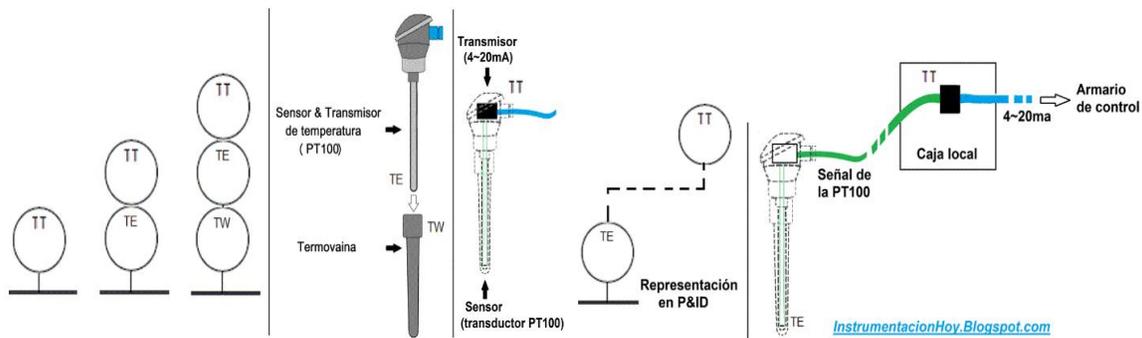


**Figura 2.3.** Sensor y transmisor de temperatura

Fuente:instrumentacionhoy.blogspot.pe, 2017

En caso que el transmisor se encuentre instalado en cabeza del sensor (muy cerca) se puede representar en los P&ID con un solo símbolo. ( instrumentacionhoy.blogspot.pe, 2017))

Según el criterio del proyecto además del transmisor podríamos representar el sensor o la termo vaina.



**Figura 2.4.** Sensor y transmisor de temperatura. Sensor y transmisor de temperatura, representación P&D

Fuente:(instrumentacionhoy.blogspot.pe, 2017)

Cuando los transmisores no estén instalados en cabeza del equipo, se puede indicar en la representación del diagrama. Por ejemplo podría estar en el armario de control o en una caja local próxima al sensor. ( instrumentacionhoy.blogspot.pe, 2017))

#### 2.7.4 Elemento de control final

Son dispositivos que transforman una señal de control en un flujo de masa o energía (variable manipulada). Es esta variable manipulada la que incide en el proceso ocasionando

cambios de la variable controlada. Lo más común en procesos es que la manipulación sea un caudal. Para ajustar el flujo de fluidos en una línea existen primariamente dos mecanismos:

- Modificar la energía entregada al fluido (electricidad, vapor, agua)
- Modificar la Resistencia al paso del fluido (hornos, niquelina, etc.)

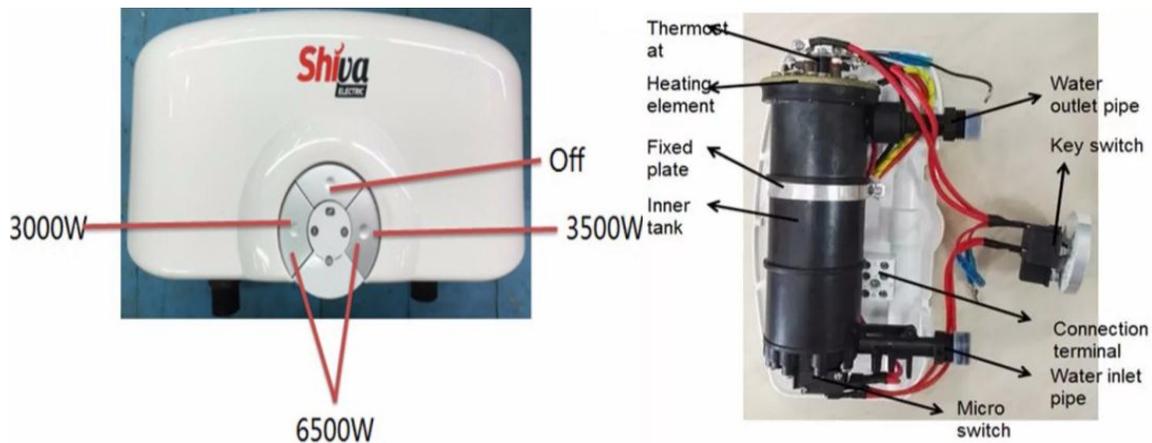
Los calentadores son ejemplos claros de este tema.

### 2.7.5 Calentador de agua

Es un dispositivo termodinámico que utiliza energía para elevar la temperatura del agua. Entre los usos domésticos y comerciales del agua caliente están la limpieza, las duchas, para cocinar o la calefacción. A nivel industrial los usos son muy variados tanto para el agua caliente como para el vapor de agua. Entre los combustibles utilizados se encuentran el gas natural, gas propano (GLP), queroseno y el carbón, aunque cada día se usa más la electricidad, la energía solar, bombas de calor (compresor) de refrigeradores o de acondicionadores de aire, calor reciclado de aguas residuales (no aguas negras) y hasta energía geotérmica. Existen varios tipos de calentadores, en este caso se usa un calentador de punto debido a que la aplicación no requiere calentar grandes volúmenes de agua. Este tiene un selector donde se puede usar 3000 w, 3500 w o 6000 w como se ve en la Figura 31, además consta de un switch de flujo que enciende o apaga el equipo automáticamente cuando está presente un flujo de agua. De la experimentación se tiene que la bomba del banco de pruebas abastece aproximadamente 7 L/min, el agua se mantiene a 18 °C y para la experimentación se deberá llegar a una temperatura de 30 °C, entonces habrá que . Con estos datos tenemos lo siguiente:

$$Potencia = \frac{(T_f - T_i) * Q}{60} = \frac{(30 - 18) * 7}{60} = 1,4 \frac{kcal}{s} = 5.861,51 W$$

$$1 kcal/s = 4186.798188 W \text{ Ecuación 2.1.}$$



**Figura 2.5.** Frontal de calentador de agua eléctrico

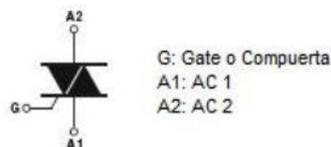
(Fuente: <http://www.casaexito.com/index.php/product/925>)

## 2.7.6 Rectificador de onda completa controlado

### 2.7.6.1 El TRIAC

El TRIAC (*Triode for Alternative Current*) es un dispositivo semiconductor de tres terminales que se usa para controlar el flujo de corriente promedio a una carga, con la particularidad de que conduce en ambos sentidos. El paso de bloqueo al de conducción se realiza por la aplicación de un impulso de corriente en la puerta (*GATE*), y el paso del estado de conducción al de bloqueo por la disminución de la corriente por debajo de la intensidad de mantenimiento (IH) entre sus terminales A1 y A2 debido a la disminución del voltaje aplicado a estos mismos terminales. El *TRiAC* puede ser disparado independientemente de la polarización de puerta, es decir, mediante una corriente de puerta positiva o negativa. En la

se indica el símbolo del *TRiAC*. ((Morocho & Ayabaca, 2009))



**Figura 2.6.** Símbolo del TRiAC

(Fuente: [www.st.com](http://www.st.com); Datasheet: 7470.pdf)

### **2.7.7 Controladores lógicos programables (PLCs)**

Un PLC – Programable 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).

#### **2.7.7.1 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:

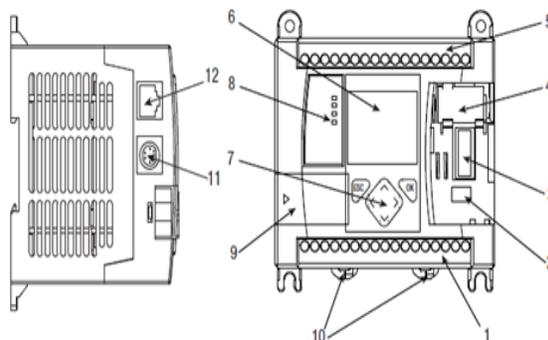
- Incluye un puerto EtherNet/IP™ de 10/100 MBps incorporado para mensajería entre dispositivos similares.
- Proporciona una memoria de 8 KB (4 KB de programas de usuario con 4 KB de datos de usuario)
- Permite el acceso, el monitoreo y la programación desde cualquier conexión Ethernet
- Admite la edición 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).

Item	Descripción del Artículo
1	bloque de terminales de salida
2	Conector de la batería
3	Interfaz del conector de bus a E / S de expansión
4	Batería
5	Bloque de terminales de entrada
6	Pantalla LCD
7	Pantalla LCD Teclado
8	LED de estado
9	Cubierta del puerto del módulo de memoria
10	Pestillos en carril DIN
11	Puerto de comunicación RS-232/485 (Canal 0, aislado)
12	Puerto Ethernet (Canal 1)



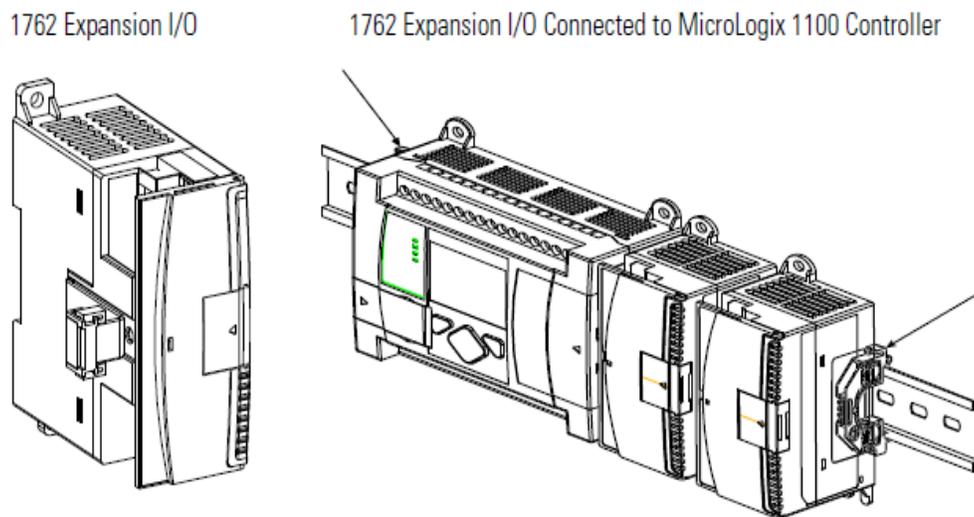
**Figura 2.7.** Partes de un Micrologix 1100

**Fuente:** Publicación 1763 Allen bradley, 2017

### 2.7.7.2 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 2.8.** Módulo de expansión I/O 1762-IF2OF2

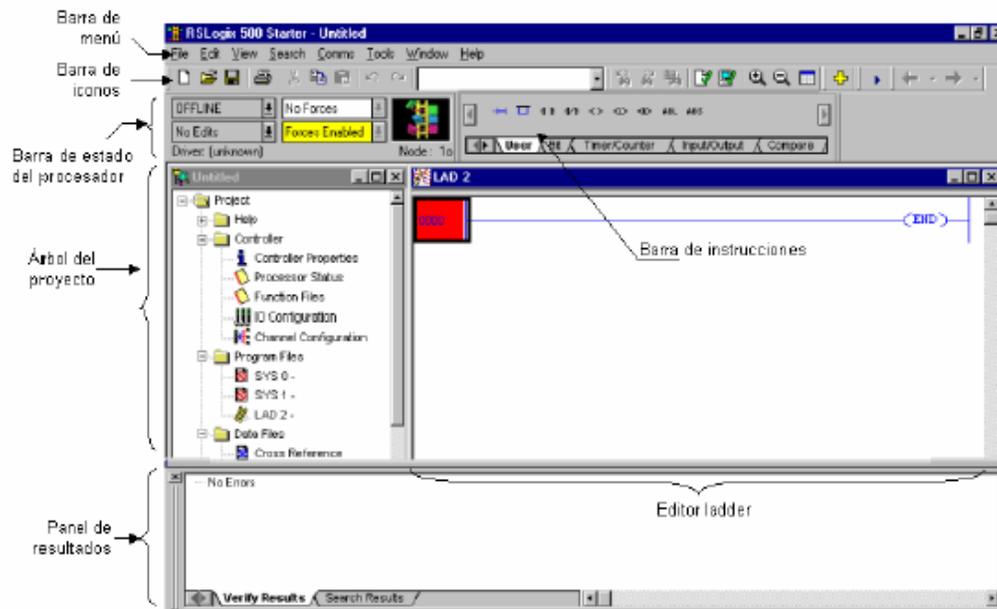
**Fuente:** Publicación 1763 Allen bradley, 2017

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

### 2.7.7.3 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 2.9.** 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).

#### **2.7.7.4 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 interfase 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.

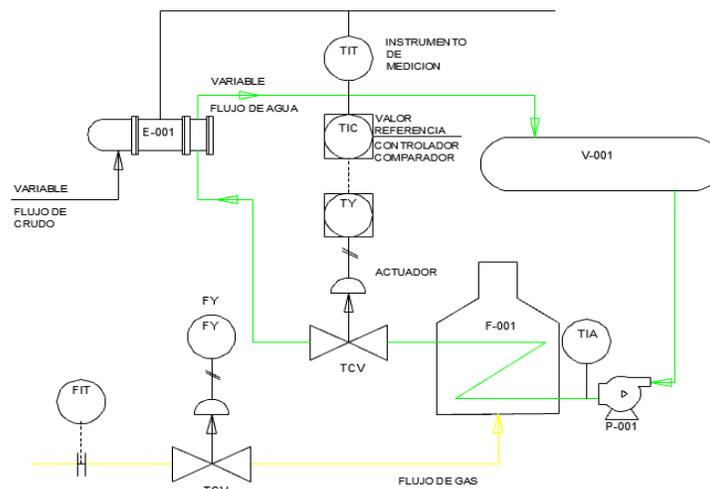
RSLinx está disponible en varios paquetes que satisfacen la demanda de una variedad de requisitos de costo y funcionalidad. RSLinx se puede usar con Windows 98, Windows 2000, Windows ME, Windows XP o Windows NT (versión 4.0 con Service Pack 3 ó superior), Windows Vista y Windows 7 (64 bits) (Manual RSLinx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

#### **2.7.7.5 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 interfase 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).

## 2.8 Diagrama de bloques de un lazo de control de temperatura

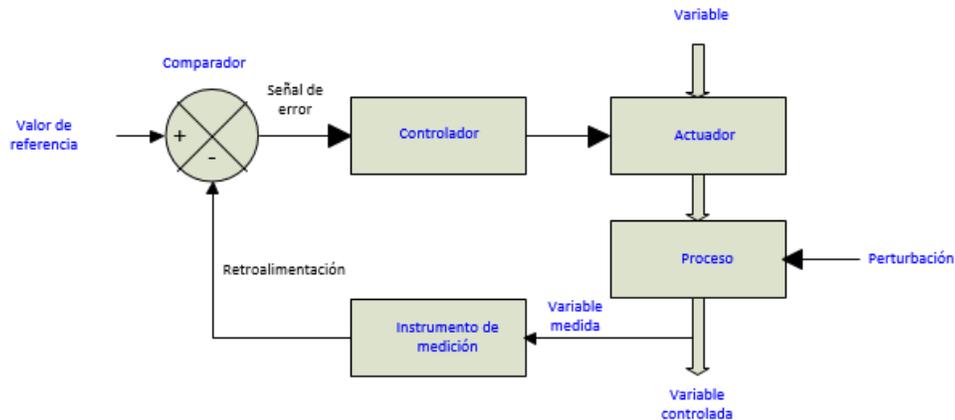
En la Figura 2.10, se indican los elementos que conforman un lazo de control de temperatura en un intercambiador de calor.



**Figura 2.10.** Diagrama de un sistema de control de temperatura  
(Fuente: adaptado de (Márquez Landaeta, 2012))

De donde TIT es el elemento de medición, TIT el transmisor de presión calibrado a 4-20 mA, esta señal ingresa a un controlador PIT de temperatura, aquí se compara con la temperatura de referencia y se determina el error, esta señal es enviada hacia un controlador que controla el flujo de gas que entra al horno F-001, permitiendo así aumentar o disminuir la temperatura, además se controla el flujo de agua caliente en el intercambiador de calor E-

001 por medio de TCV manteniendo así el sistema a una temperatura establecida como set point. La Figura 2.11, se indica el diagrama de bloques del sistema de control de lazo de temperatura del ejemplo anterior.



**Figura 2.11.** Diagrama de bloques del lazo de control de temperatura  
(Fuente: José Baquero, autor)

## 2.9 Determinación de las variables

El correcto control de temperatura en el intercambiador de calor para separación de petróleo, MEJORA LA EFICIENCIA ENERGETICA EN EL PROCESO DE SEPARACION del petróleo, mediante el diseño de un prototipo para experimentación del lazo de control de temperatura para obtener los parámetros de operación más eficientes.

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

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

Las siguientes tablas indican la operacionalización de variables.

**Tabla 2.8.** Variable Independiente

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE: Control de Temperatura</b>					
<b>Concepto</b>	<b>Categoría</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítem</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Expresa la energía que se puede controlar, la temperatura dentro de un recipiente cerrado.	Portadores energéticos, crudo, agua y gas	% agua	%	Medición	Flujo metro
		% petróleo	%	Medición	Flujo metro
		% gas	%	Medición	Flujo metro
	Producción crudo	Temperatura	°C	Medición	Transmisor Temperatura

(Fuente: José Baquero, autor)

**Tabla 2.9.** Variable dependiente

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

(Fuente: José Baquero, autor)

## 2.10 Sistemas de tareas por objetivos específicos:

**Tabla 2.10.** Sistemas de tareas por objetivos específicos

OBJETIVO	TAREAS
Determinar el circuito hidráulico del banco de prueba a construir semejante al de un intercambiador de calor para separación en producción.	Diagrama del banco de pruebas de lazo de control de temperatura
	Búsqueda de materiales para la construcción
Determinación de circuito eléctrico y de control para el banco de prueba.	Diseño de diagrama eléctrico para 220 VCA.
	Diseño de diagrama de control 24 VDC.
Construcción y montaje de prototipo de lazo de control de Temperatura	Instalación y montaje de un prototipo para experimentación lazo control temperatura.
Determinar los parámetros de operación de los PID de separadores en operación	Levantamiento de la información de los parámetros de funcionamiento de los PID's punto necesario para ensayo experimental.
Determinar el punto más óptimo de trabajo para el lazo de control de temperatura en el proceso de separación de petróleo	Experimentación con el lazo de control en busca de puntos óptimos de control.
	Determinación y evaluación de consumo energético para el control de temperatura en el intercambiador de calor para separación en producción.

(Fuente: José Baquero, autor)

## 2.11 Metodología de Controlador

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

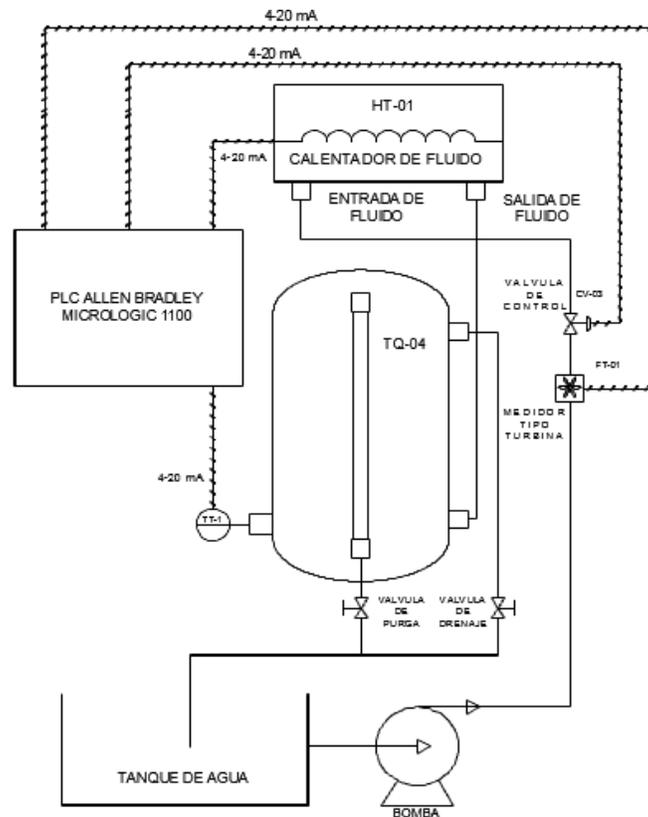
## CAPÍTULO 3

### CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

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

#### 3.1 Diagrama General

La Figura 3.1 y Figura 3.2, se indica el diagrama utilizado para la construcción del banco de pruebas del lazo de control de temperatura.



**Figura 3.1.** Diagrama del sistema hidráulico del banco de pruebas

(Fuente: José Baquero, autor)



**Figura 3.2.** Construcción del banco de pruebas de lazo de control de temperatura  
(Fuente: José Baquero, autor)

Se consideraron elementos de uso común en las plantas de extracción y procesamiento con el fin de tener las condiciones más cercanas a la realidad del proceso. Estas consideraciones son las siguientes:

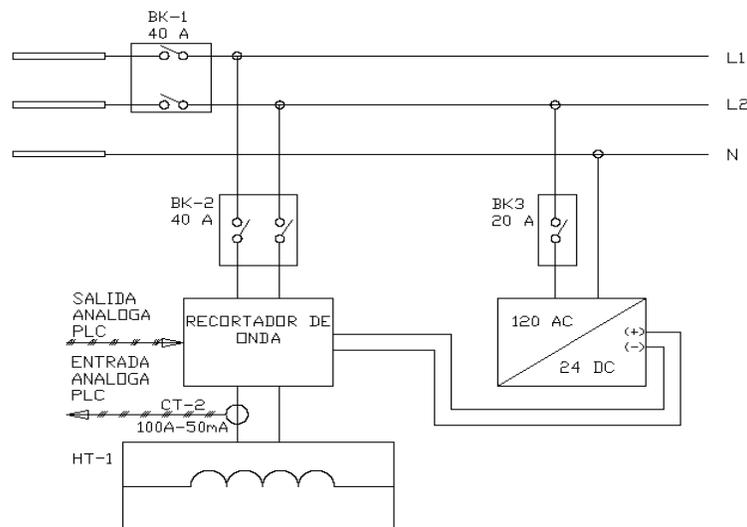
- Se construyó un Tanque TQ-4 en acero tomando en consideración que el fluido de ingreso es agua y el TT-1 necesita estar en contacto con el fluido para dar una correcta medida de la temperatura.
- Se realizó la instalación de una bomba motor M1 de 0,5 Hp, que maneja presiones de salida desde 8 a 40 psi, rango de presiones donde se realiza el control del fluido inyectado por la bomba. La bomba es de rodete periférico que tiene una respuesta lineal al cambio de la presión por variación de la descarga. (datos técnicos de la bomba Ver anexo E).
- El motor eléctrico de la bomba tiene un máximo consumo de corriente de 6,5 amperios con un voltaje de 110 VCA.
- Se instala una calentador de agua HT-1 con potencia máxima de 6500 w que mediante una salida analógica del PLC, y un recortador de onda mediante un

TRIAC y un Microcontrolador permite transformar la señal de corriente en un ángulo de paso para la onda de AC, permitiendo así aumentar o disminuir la temperatura de HT-1,

- Se instala un transmisor de temperatura TT-1 de Marca ABB, Modelo TSP-321, rango de temperatura de 0-120 °C, calibrado de 0-120 °C para esta aplicación y con una salida de 4 a 20 mA hacia el PLC.
- Se instala una electroválvula de bola de 1/2" V3 para inyectar una perturbación en el sistema, mediante la simulación de baja de flujo en el sistema.
- Se conecta un tanque de agua para realizar la recirculación del líquido dentro del sistema.
- Se utiliza tuberías de agua de 1", 1/2" para la conexión de cada uno de los componentes, esta tubería resiste presiones de hasta 80 psi.

### 3.2 Diagrama del sistema eléctrico

La Figura 3.3 indica el diagrama eléctrico utilizado en la construcción del banco de pruebas de lazo de control de temperatura. La Figura 3.4 indica las cajas de control utilizadas en la instalación.



**Figura 3.3.** Diagrama eléctrico utilizado en el banco de pruebas

(Fuente: José Baquero, autor)



**Figura 3.4.** Cajas de conexiones eléctricas y de control  
(Fuente: José Baquero, autor)

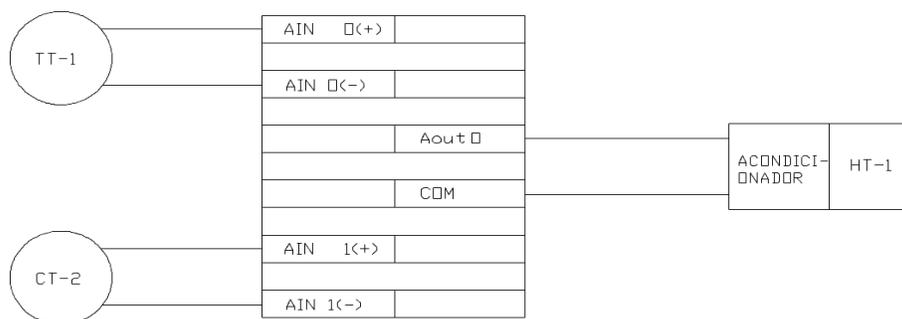
Para la instalación del sistema eléctrico y de control se utilizaron dos cajas de conexiones TX de 60x40x20, aquí se tomaron las siguientes consideraciones para la construcción.

- Se realizó el circuito eléctrico de control para la automatización de arranque y parada de la bomba por medio del HMI desde el PLC.
- Para el arranque de la bomba se instaló un contactor C1 de marca LS (MC-9b) de 20 amperios de 3 polos.
- Se instaló un breaker térmico de 16 A como resguardo de todo el sistema eléctrico incluido el motor.
- Motor eléctrico de la bomba es de 0.5 HP, 6,5 A, 110 VCA.
- Se instala un relé RL de 24 VDC para recibir la señal del PLC para arranque del motor eléctrico, un contacto de este relé acciona al contactor C1 para que arranque la bomba.
- Se instala una fuente V1 de voltaje VDC para alimentación de los circuitos de control de 24VDC/ 5 amperios.

- Se instala un sistema de medición de corriente, un CT 1 transformador de corriente de radio 100/5 A, su señal es conectado a un transductor que convierte la corriente de 0 a 5 A de entrada a una salida de 4 a 20 mA Luego esta corriente de control de 4 a 20 mA es enviada hacia un convertidor en el sistema de control.
- 

### 3.3 Diagrama del sistema de control

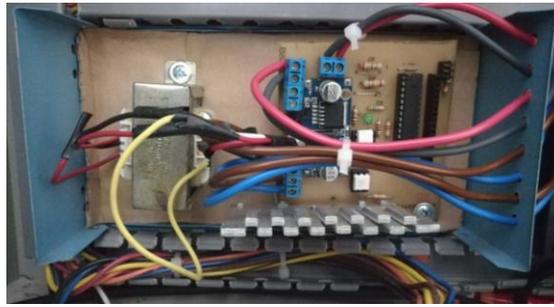
La Figura 3.5 se indica el diagrama que se utiliza en la construcción del prototipo de lazo de control de temperatura. La Figura 3.6 muestra los elementos de control utilizados para la medición y control de la válvula.



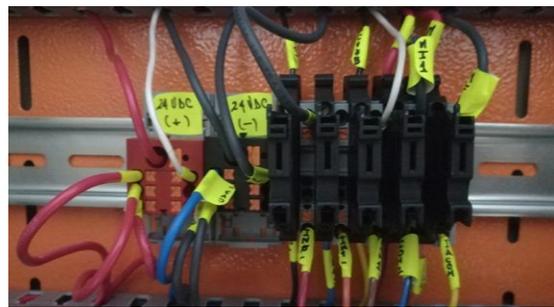
**Figura 3.5.** Diagrama de control del banco de pruebas  
(Fuente: José Baquero, autor)



**Figura 3.6.** Transmisor indicador de temperatura  
(Fuente: José Baquero, autor)



**Figura 3.7.** Circuito Recortador de Onda completa para HT-1  
(Fuente: José Baquero, autor)



**Figura 3.8.** Regletas de conexión circuito de control  
(Fuente: José Baquero, autor)

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

- La alimentación de 24 VDC viene de un fuente de voltaje de PS VDC de 110 VCA /16.6 A
- La variable de control se mide a través de un transmisor de temperatura TT-1, el cual tiene una salida de 4 a 20 mA, este transmisor fue previamente calibrado para recibir una señal de 0 a 120 °C. en el caso una temperatura de 30 °C a 40 °C será suficiente para realizar las prácticas.
- Se instalan borneras con fusibles incorporados de 0,25 A para salidas de alimentación hacia los circuitos de la circuito recortador de onda completa y las salidas y entradas analógicas de la segunda tarjeta análoga del PLC.
- Se instala el PLC Micrologix 1100, PLC1 del cual se utiliza una entrada análoga de 0 a 10 VDC para lectura de la corriente de consumo de calentador HT-1.

- Se instala la tarjeta de expansión 1762- IF20F2, en el PLC 1. Tarjeta que recibe la señal de la variable medida que llega del transmisor. Se utiliza una de las salidas para el control del circuito recortador de onda completa del HT-1.

### 3.4 Elementos utilizados en el banco de pruebas

En la Tabla 3.1, se indican los elementos utilizados en el diseño del prototipo de lazo de control del separador.

**Tabla 3.1.** Dispositivos utilizados en la construcción del banco de pruebas

Ítem	Código	Equipo	Fabricante	Características
1	HT-1	Calentador de agua	Shiva	Calentador de agua 6500 w
2	V5	Válvula 5		Válvula de ingreso módulo Presión/Nivel de 1'' acero inoxidable
3	V6	válvula 6		Válvula de ingreso módulo Presión/Nivel de 1/2'' acero inoxidable
4	V7	Válvula 7	TCrystal	Válvula de control eléctrica proporcional
5	V8	Válvula 8		Válvula de drenaje/purga 1/2'' acero inoxidable
6	V9	válvula 9		Válvula de drenaje 1/2'' acero inoxidable
7	TT 1	Transmisor	ABB	Transmisor de temperatura
8	TQ4	Tanque		Para sensado de temperatura de agua.
9	MCV	Control voltaje HT1		Recortador de onda completa HT1
10	M1	Bomba-motor	Pedrollo	Motor eléctrico 0.5 HP
11	PLC 1	PLC	AB	Micrologix 1100
12	I/O 1	I/O Tarjeta	AB	Micrologix 1762-IF20F2
13	I/O 2	I/O Tarjeta	AB	Micrologix 1762-IF20F2
14	PSVDC	Fuente	LED	110VCA/24 VDC
15	B 2	Breaker principal	GE	Breaker doble polo set 40 Amperios
16	B 3	Breaker calentador	SCHNEIDER	Breaker doble polo set 40 Amperios
17	B 4	Breaker elementos	LS	Breaker set 20 Amperios
18	CT 2	Trans Corriente	YHDC	100A/50 mA
19	TB1	Caja de conexión	Beaucoup	40x60X20 (cm) , IP56
20	TQ	Tanques	PICA	65x40x40 (cm)
21	T2	Tubería PVC	PVC	1/2''
22	TX1	Tablero	Taller Metalmecánico	170x80x60

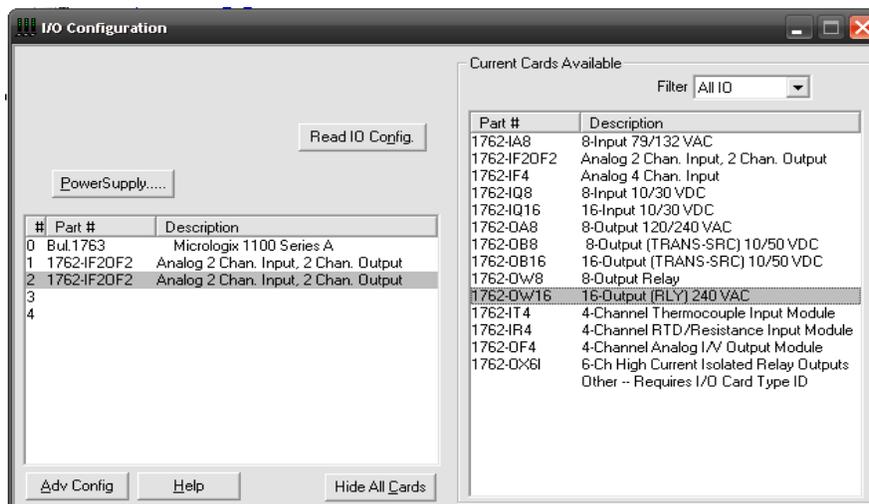
(Fuente: José Baquero, autor)

### 3.5 Escalera (Ladder) de programación

Para la medición de temperatura en el banco de pruebas existe un transmisor de temperatura de Marca ABB Modelo TSP321 (TT 1), calibrado de la siguiente manera.

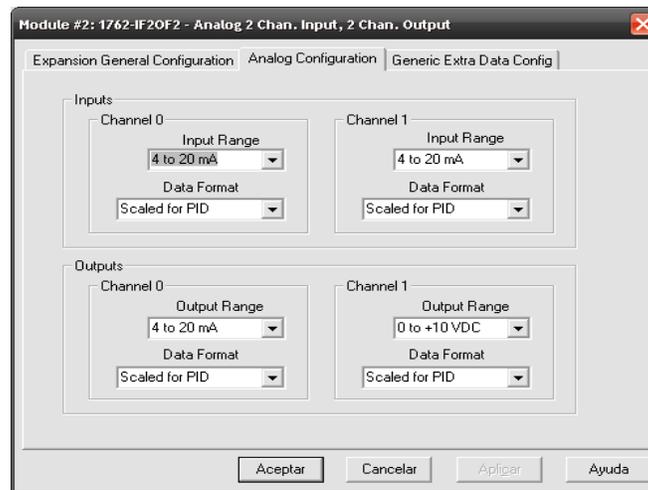
Rango de operación y calibración de 0 a 120 °C, rango de trabajo calentador de 0 a 6500 w, salida analógica de 4 a 20 mA

En el software RSLogix el PLC, se realiza la configuración del Hardware, dentro del menú del I/O configuración, se escoge el tipo de PLC utilizado para el prototipo, en el Slot 0 se ubica el Micrologix 1100 Series A, en el Slot 1 y 2 se escoge la tarjeta I/O (1762-IF2OF2), la cual contiene dos entradas analógicas que pueden ser fijadas de 0 a 10 VDC ó de 4 a 20 mA, dos salidas que pueden ser fijadas de 0 a 10 VDC ó de 4 a 20 mA,



**Figura 3.9.** Configuración del Hardware del PLC  
(Fuente: José Baquero, autor)

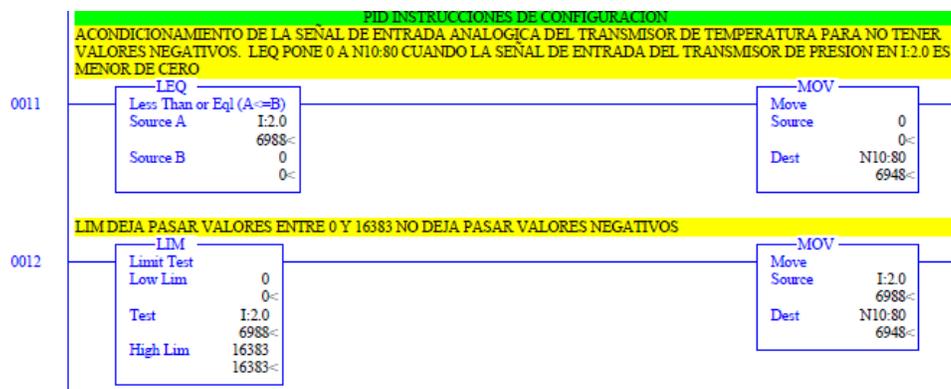
En la Figura 3.10 se indica la configuración de las entradas y salidas de la tarjeta auxiliar, seleccionando para un rango de entrada de 4 a 20 mA.



**Figura 3.10.** Configuración entradas análogas  
(Fuente: José Baquero, autor)

El PLC es polarizado con el voltaje de 110 VCA, y una fuente de 24 VDC es instalada para polarizar los circuitos auxiliares y de control del banco de pruebas.

En el banco de pruebas la señal análoga o variable del sistema ingresa al procesador del PLC por una entrada de la tarjeta de expansión 1762-IF2OF2 (IN O+, INO-), en el ladder de programación el dato de ingreso (I:2.0) es acondicionado para no tener valores negativos, realizando una comparación con el valor cero (LEQ) y ubicando límites a la variable de ingreso (LIM), de esta manera aseguramos no tener datos negativos.



**Figura 3.11.** Configuración de la variable de entrada  
(Fuente: José Baquero, autor)

A continuación, la variable de ingreso es escalada para valores de calibración de proceso (SCP, Input Min 3132, Input Max 15200) y luego se escala a valores de ingreso al

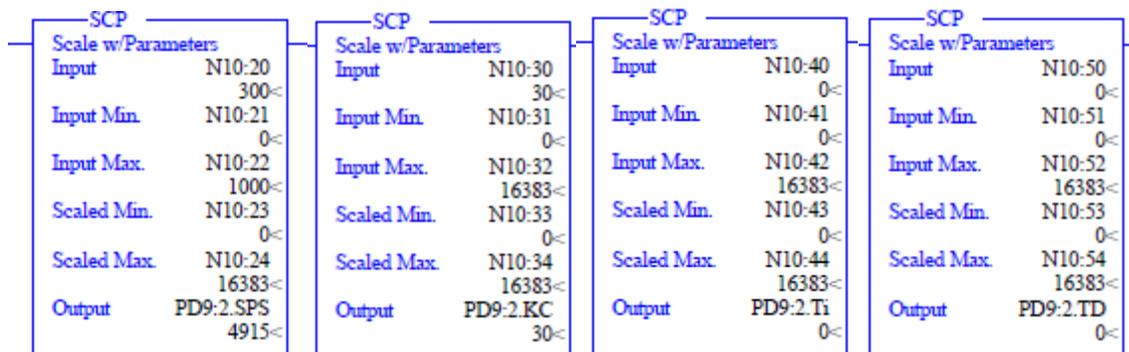
controlador de PID (Scaled Min 0, Scaled Max 16383). Se realiza un nuevo escalonamiento (SCP) para valores de 0 a 1000 que nos servirá para la indicación en el software del HMI.



**Figura 3.12.** Escalonamiento de la señal de entrada  
(Fuente: José Baquero, autor)

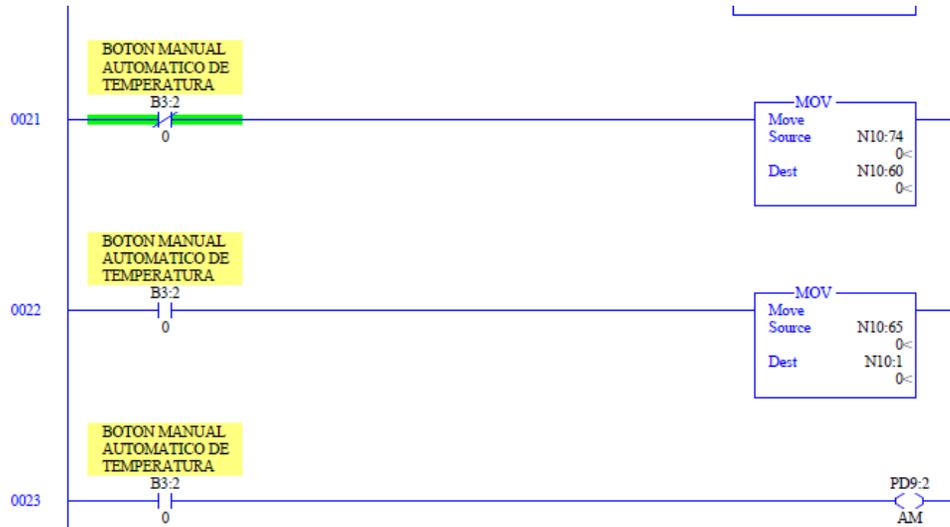
En la Figura 3.13 se indica el escalonamiento de los valores de entrada desde el HMI de los factores  $K_c$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  y del SP (Set point), estos datos son enviados hacia el PID del PLC.

**Figura 3.13.** Escalonamiento para SP,  $K_c$ ,  $T_i$ ,  $T_d$



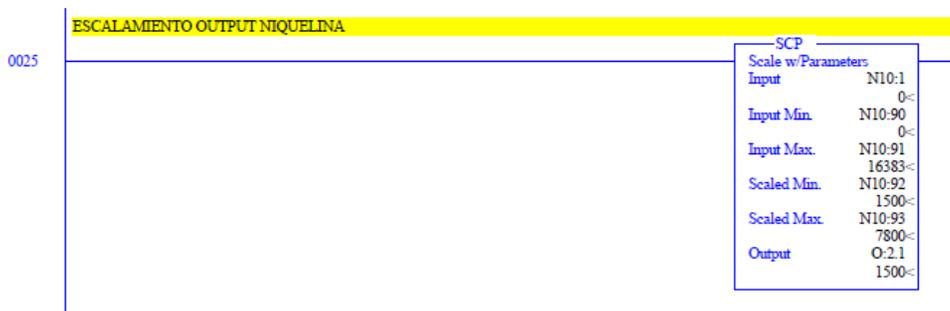
(Fuente: José Baquero, autor)

En la Figura 3.14 se indica la programación para el cambio del controlador en el PLC de automático a manual, se fija un bit en la programación, B3:0 cuando está fijado a 0 está en automático y cuando fija a 1 es manual, Cuando se fija en manual, desde el HMI se fija en el valor deseado, estos se realizan mediante la instrucción MOV en programación ladder,



**Figura 3.14.** Cambio de automático a manual del controlador  
(Fuente: José Baquero, autor)

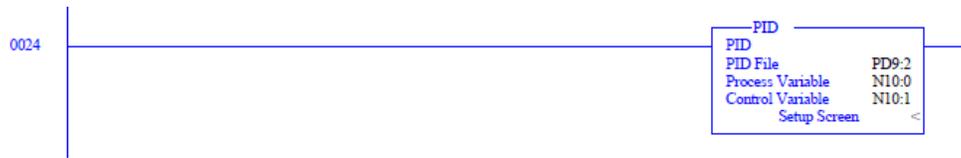
En la Figura 3.15 se indica el escalonamiento para el valor de 0 a 10 VDC para la válvula del recortador de onda completa para el control del calentador HT-1.



**Figura 3.15.** Escalonamiento para la salida hacia el recortador de onda completa para el control del calentador HT-1

(Fuente: José Baquero, autor)

La Figura 3.16 se indica la instrucción PID, así como el SETUP del PID. La variable del proceso es ingresada al dato de registro N10:0, la variable de control está en el registro N10:1.



**Figura 3.16.** Instrucción PID y setup del PID  
(Fuente: José Baquero, autor)

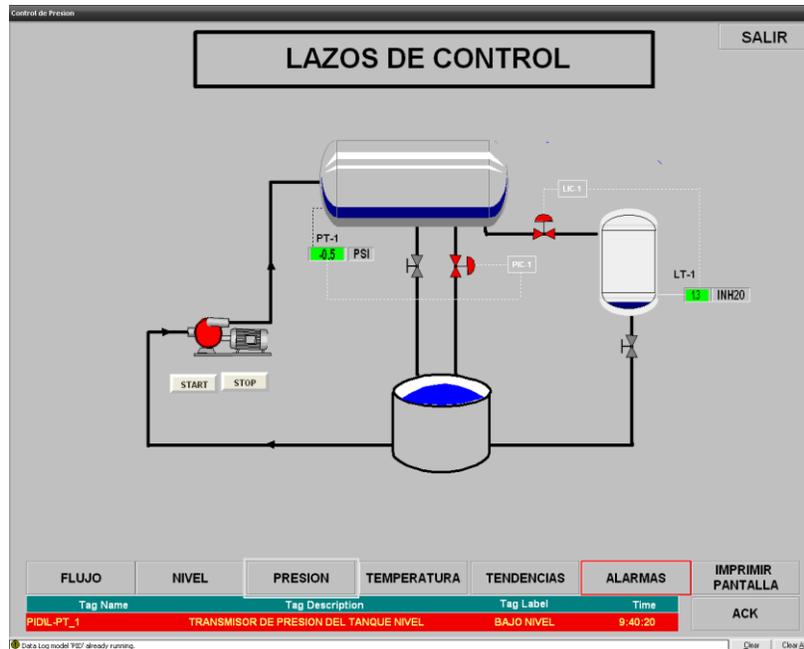
En el PID Setup se visualizan los factores del PID como Kc, Ti, Td, SP, el modo de control del controlador (Control Mode), el control (PID control) y el valor de salida del controlador hacia la válvula. Todos estos valores están contenidos en los registros de programación PD9, indicada en la Figura 3.17.

Offset	TM	AM	CM	OL	RG	SC	TF	DA	DB	UL	LL	SP	PV	DN	EN	SPS	KC	TI	TD	MAXS	MINS	ZCD	CVH	CVL	LUT	SPV	CVP	(Symbol)		
PD9:0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3277	80	8	0	16384	0	0	100	0	10	0	100			
PD9:1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6553	60	1	0	16384	0	0	100	0	10	4930	0			
PD9:2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PD9:3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PD9:4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PD9:5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PD9:6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PD9:7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PD9:8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PD9:9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Figura 3.17.** Registro de programación de la instrucción PID  
(Fuente: José Baquero, autor)

### 3.6 HMI

En HMI del banco de pruebas se realiza en el *software RSview* de *Allen Bradley*, en el mismo se diseña la interfase que tendrá el operador o estudiante con el controlador del banco de prueba, la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se indica la pantalla principal para el ingreso al HMI.

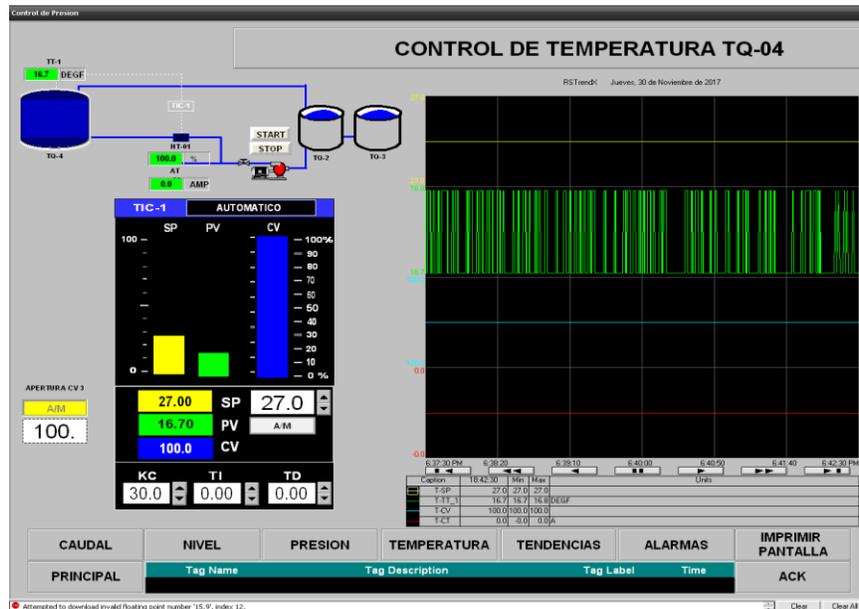


**Figura 3.18.** Pantalla principal de ingreso al HMI  
(Fuente: José Baquero, autor)

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

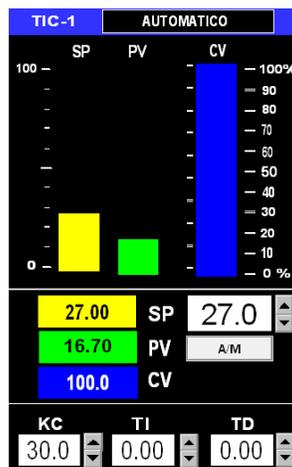
### 3.7 HMI para lazo de control de temperatura

La siguiente Figura 3.19 indica la pantalla para el lazo de control de temperatura.



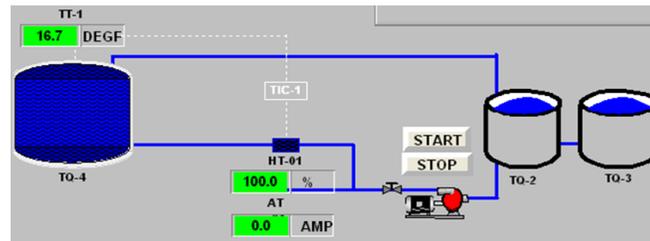
**Figura 3.19.** HMI para el lazo de control de temperatura  
(Fuente: José Baquero, autor)

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



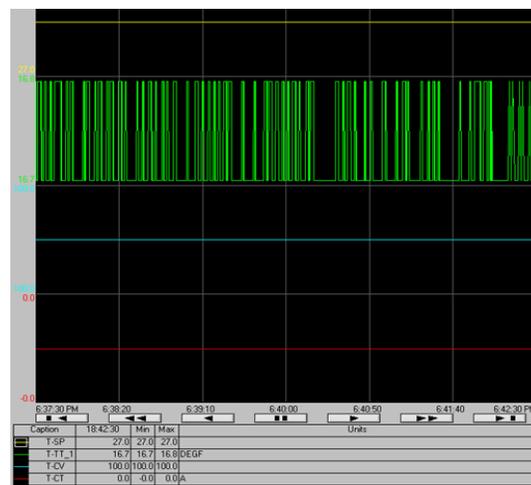
**Figura 3.20.** HMI controlador  
(Fuente: José Baquero, autor)

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



**Figura 3.21.** Arranque y parada de la bomba  
(Fuente: José Baquero, autor)

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



**Figura 3.22.** Tren para la visualización de la variable  
(Fuente: José Baquero, autor)

En el cuarto bloque se ubican botones para el cambio de pantalla de operación, se puede cambiar a las pantallas de Lazo de control de nivel, temperatura, caudal, a la pantalla principal, tendencias (cuatro pantallas a la vez), visualizar las alarmas, ACK reconocer alarmas, e imprimir pantallas. Además, se tiene un sub menú donde se despliegan las alarmas que se producen en el proceso y que avisan al operador de algún evento en el proceso, las cuales pueden ser reconocidas mediante el botón ACK.

CAUDAL	NIVEL	PRESION	TEMPERATURA	TENDENCIAS	ALARMAS	IMPRIMIR PANTALLA
PRINCIPAL	Tag Name	Tag Description	Tag Label	Time	ACK	

**Figura 3.23.** Cambio de pantallas en los procesos  
(Fuente: José Baquero, autor)

### 3.8 Pruebas de sintonización

#### 3.8.1 Lazo abierto método de Ziegler-Nichols

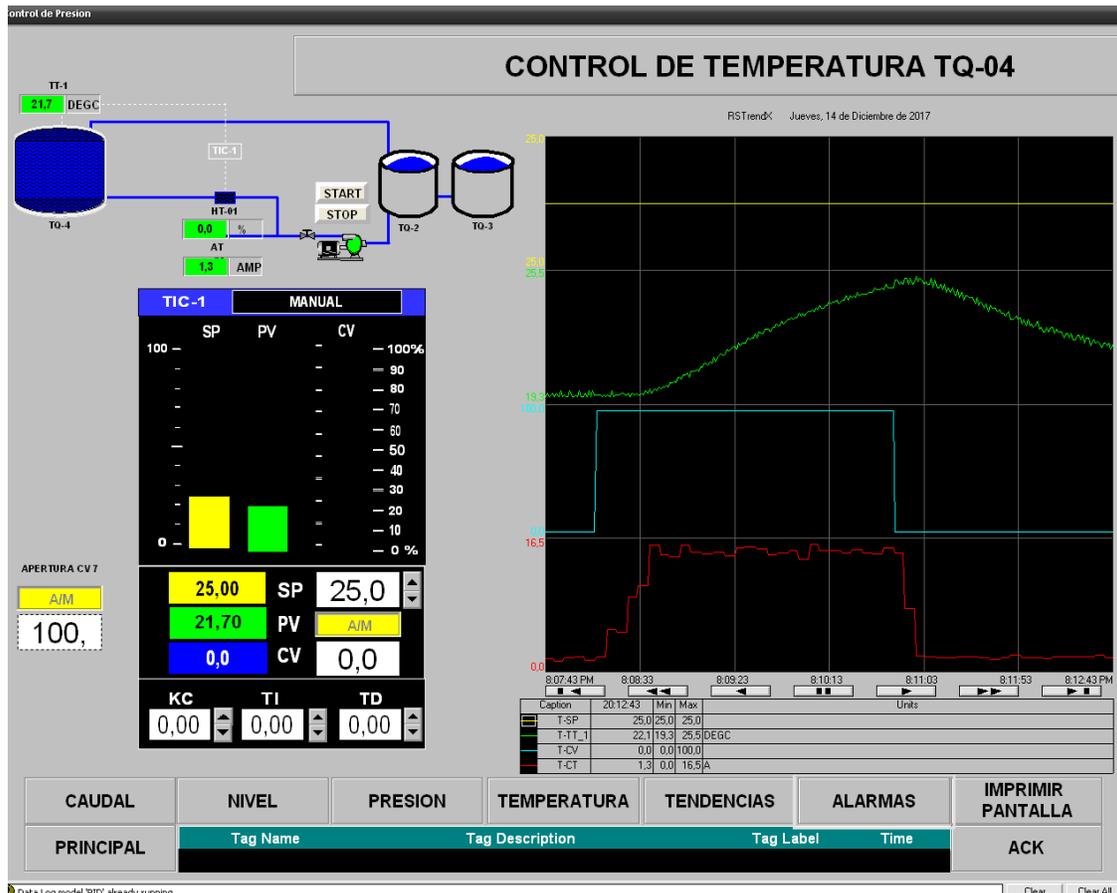
##### Procedimiento

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

##### Ajustes iniciales

- Setear la temperatura del sistema en 20 psi.
- En la pantalla Temperatura Encienda el proceso, en modo manual.
- Fije un set point de 25 °C
- Ajuste los factores del controlador PID a  $KC=0$ ,  $TI=0$  y  $TD=0$

- Ajuste los valores de CV=100
- Llegue a 25 °C y coloque CV=0
- Hacer *print screen* de la pantalla.



**Figura 3.24.** Print screen HMI

(Fuente: José Baquero, autor)

En la Figura 3.24 se tiene en la primera cuadrícula de color amarillo la recta que representa el *set point* de temperatura en un valor de 25 °C, en la segunda cuadrícula en color verde la curva que representa el incremento de temperatura desde 19,5 °C a 25,5 °C, en la tercera cuadrícula de color celeste se muestra la recta del CV que es el porcentaje de onda de VDC que pasa hacia el calentador de 0 a 100%, en la cuarta cuadrícula se muestra la curva de la corriente de 0 a 16,5A.

- Pasar los datos a una tabla dinámica.

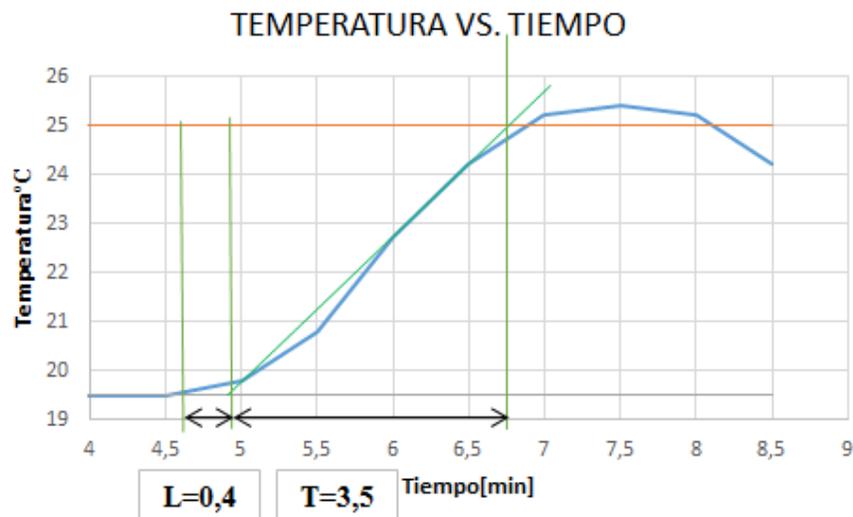
**Tabla 3.2.** Datos de curva de temperatura con  $KC=0$ ,  $TI=0$  y  $TD=0$ 

Ord	Tiempo	Temp	Set Point	T0
1	1	19,5	25	19,5
2	1,5	19,5	25	19,5
3	2	19,5	25	19,5
4	2,5	19,5	25	19,5
5	3	19,5	25	19,5
6	3,5	19,5	25	19,5
7	4	19,5	25	19,5
8	4,5	19,5	25	19,5
9	5	19,8	25	19,5
10	5,5	20,8	25	19,5
11	6	22,7	25	19,5
12	6,5	24,2	25	19,5
13	7	25,2	25	19,5
14	7,5	25,4	25	19,5
15	8	25,2	25	19,5
16	8,5	24,2	25	19,5

(Fuente: José Baquero, autor)

En la Tabla 3.2 se tiene los datos sacados de la Figura 3.24.

- Graficar la curva para obtener L y T.

**Figura 3.25.** Ploteo de curva S

(Fuente: José Baquero, autor)

En la Figura 3.24 se tiene el ploteo de los datos sacados de la Tabla 3.2, con esto se obtiene L y T.

- Con L y T calcular las constantes para el control PID.

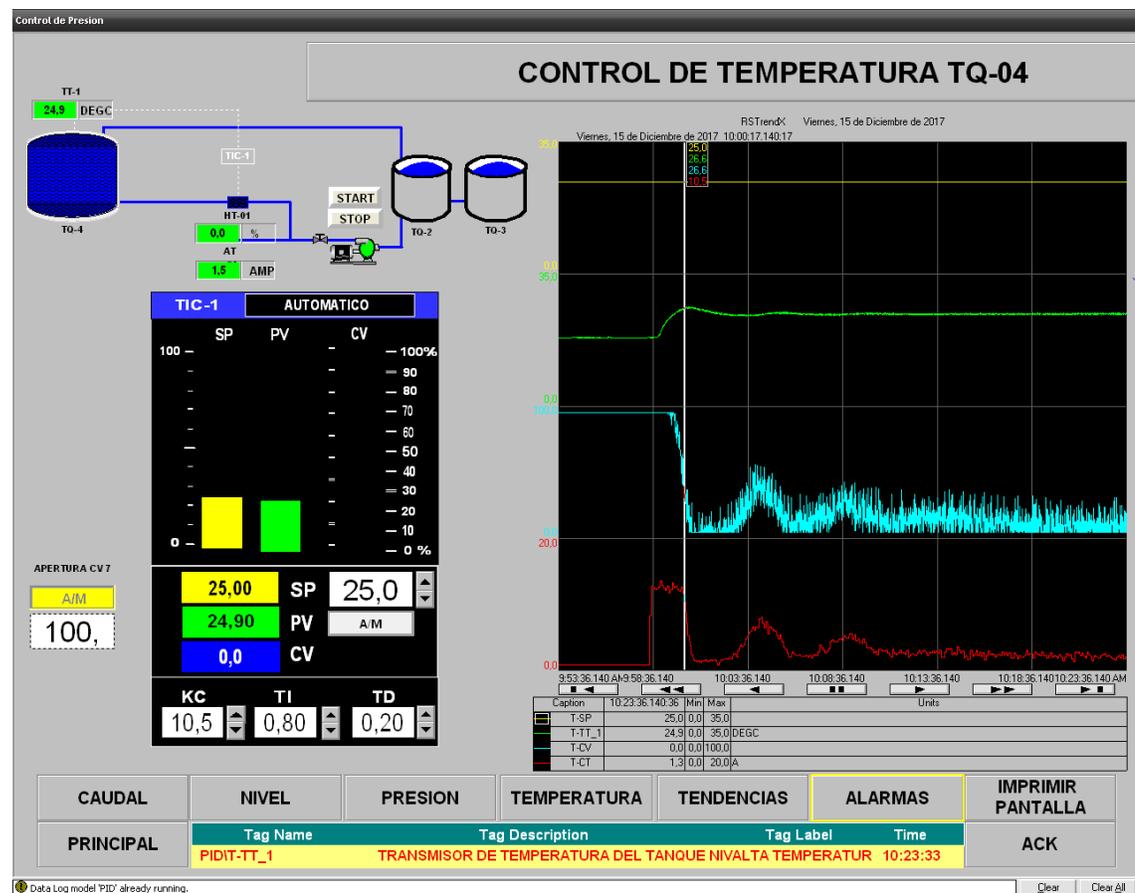
**Tabla 3.3.** Valores de constantes calculados con método de lazo abierto

CONTROL	$k_p$	Ti	Td
P	8,75	INF	0
PI	7,875	1,3	0
PID	10,5	0,8	0,2

(Fuente: José Baquero, autor)

En la **Tabla 3.3** se tiene los valores de las constantes calculadas con L y T anteriormente encontrado.

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

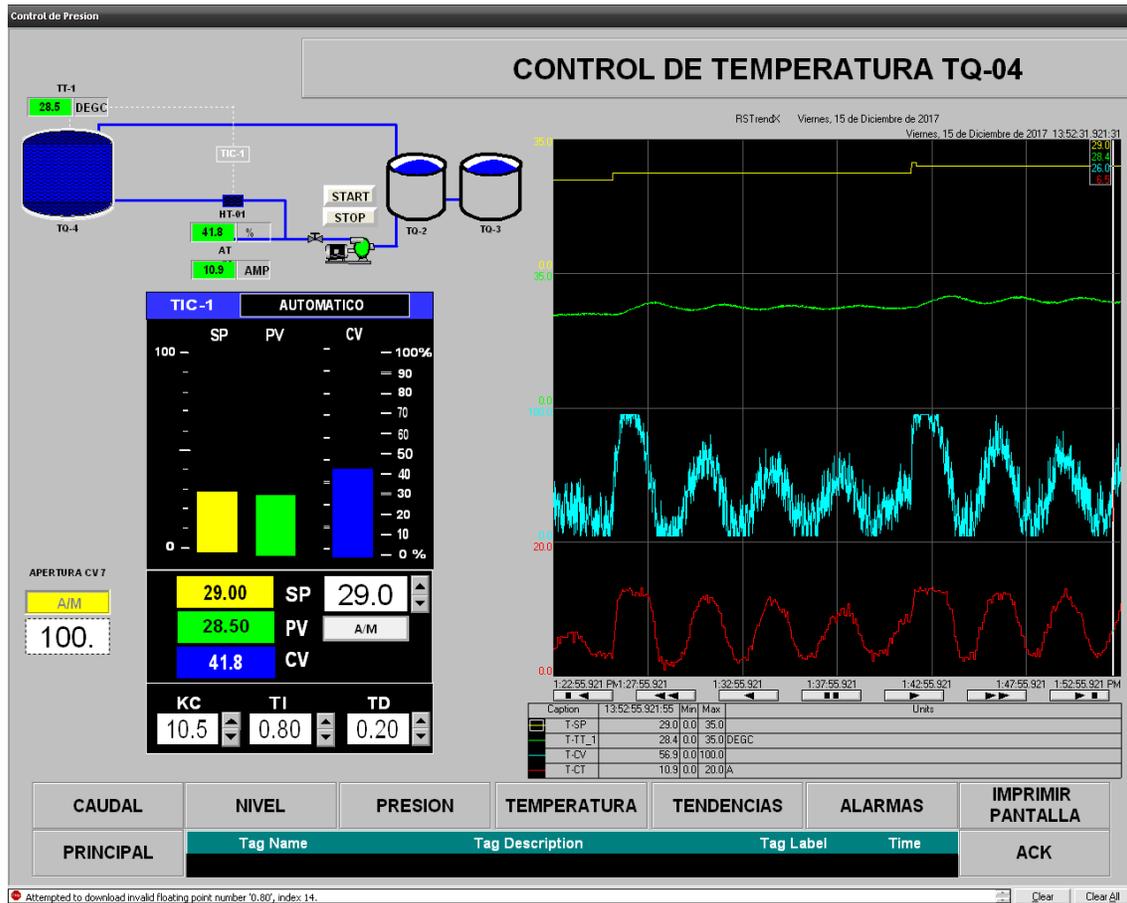


**Figura 3.26.** Curva de respuesta con constantes calculadas

(Fuente: José Baquero, autor)

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

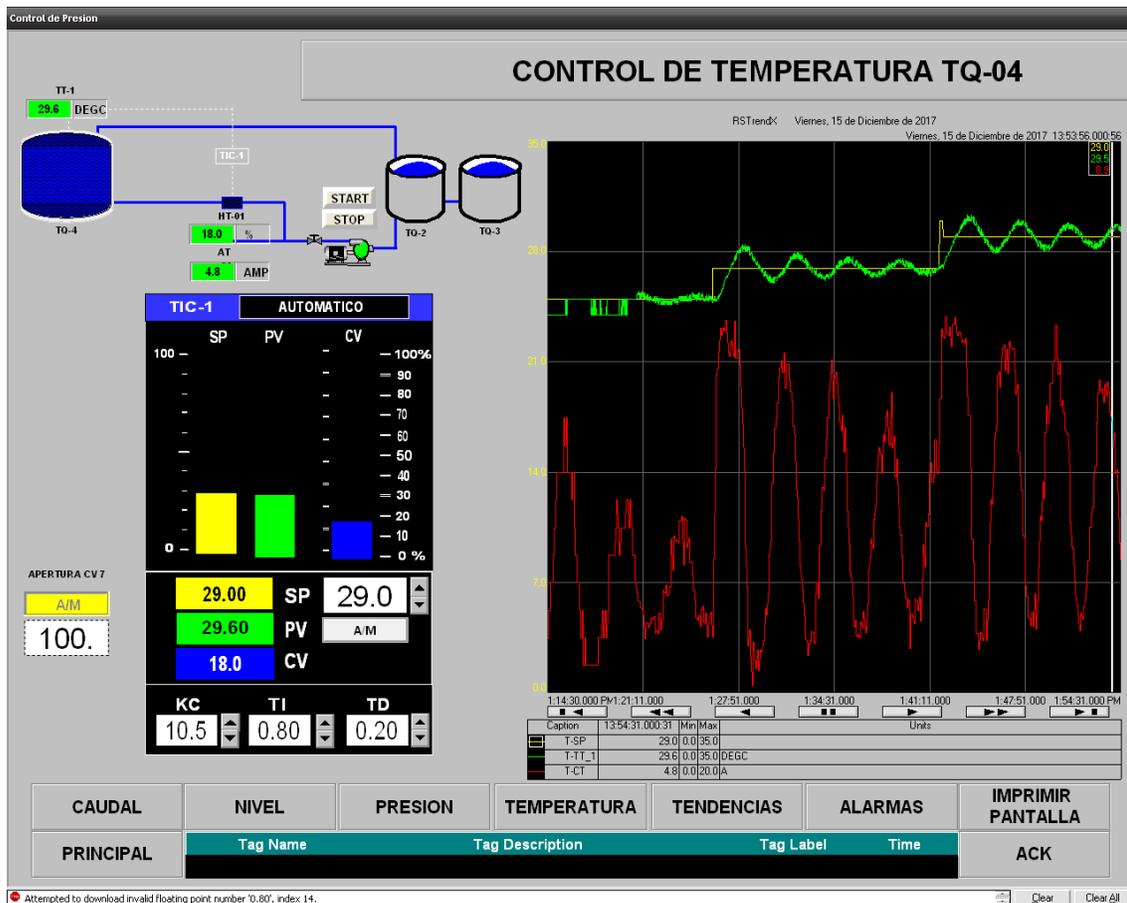
- Ajuste un nuevo Set Point a 25, 27 y 29 °C y registre la curva de respuesta



**Figura 3.27.** Curva de respuesta con *set points* específicos

(Fuente: José Baquero, autor)

En la Figura 3.27 se tiene en la primera cuadrícula de color amarillo la recta que representa el incremento de *set point* de temperatura en un valor de 25, 27 y 29 °C, en la segunda cuadrícula en color verde la curva que representa el incremento de temperatura y establecimiento del sistema al *set point* especificado, en la tercera cuadrícula de color celeste se muestra la recta del CV que es el porcentaje de onda de VDC que pasa hacia el calentador de 0 a 100%, en la cuarta cuadrícula se muestra la curva de la corriente de 0 a 16,5A.



**Figura 3.28.** Curva de respuesta con *set points* específicos con datos sobrepuestos

(Fuente: José Baquero, autor)

Para incremento de temperatura de 2 °C en el sistema, la variable del proceso es controlada con los parámetros puestos en las constantes del PID. Al sobreponer las curvas se aprecia el establecimiento del sistema en los valores de *set point* especificado.

- Registre los valores de corriente utilizados en los procesos.

**Tabla 3.4.** Medición de la corriente del Calentador HT-1 con método de lazo abierto.

Medición de la corriente del Calentador HT-1				
Pruebas	1	2	3	Media
Set Point (°C)	25	27	29	27
I corriente en HT-1(A)	5,6	6,8	8,03	6,8
Periodo de tiempo(min)	18	15	13	15

(Fuente: José Baquero, autor)

$$P = V_{FN} * I * \cos \phi$$

$$P = 808,2 \text{ W}$$

$$E = P * t$$

$$E = 0,202 \text{ kWh}$$

- Apague el sistema.

### 3.8.2 Lazo Cerrado método de Ziegler-Nichols

#### Procedimiento

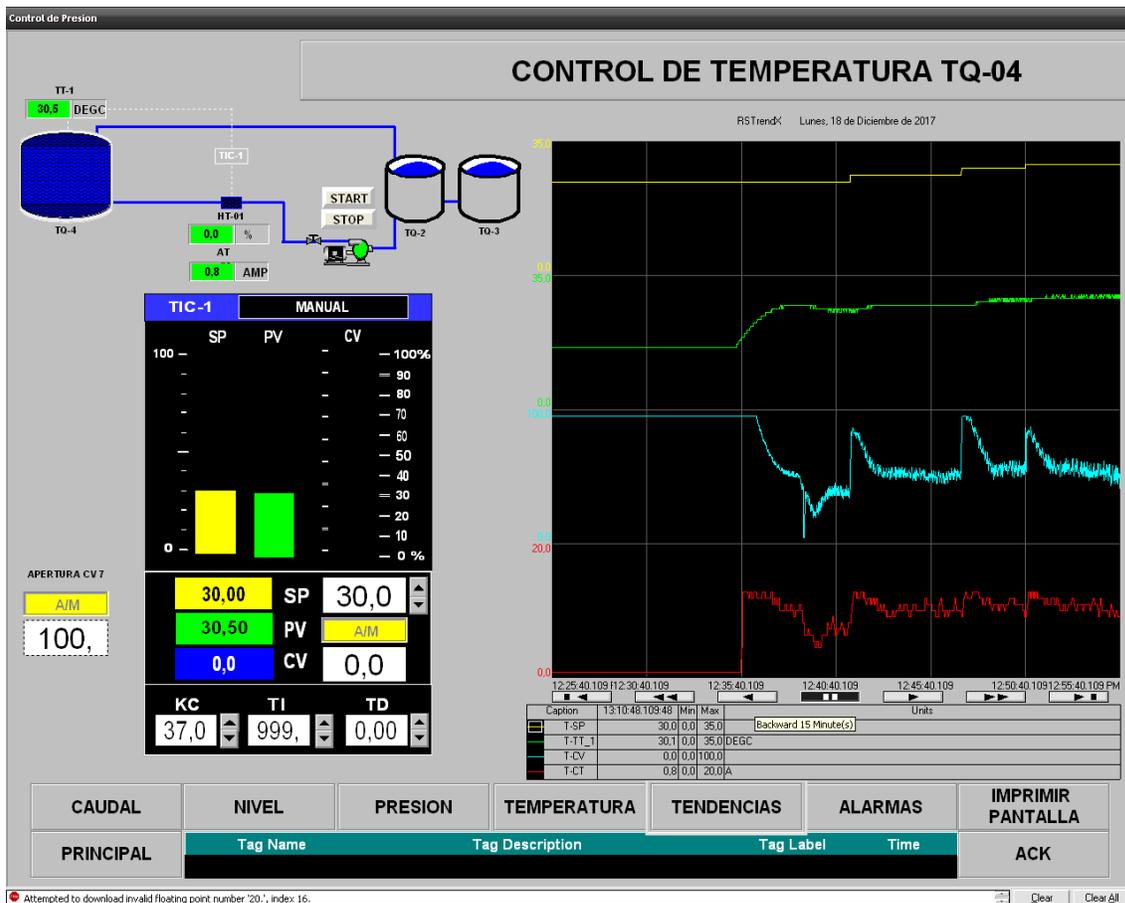
- Estudiar métodos sistemáticos para el ajuste de reguladores PID en base a la oscilación del sistema, método de lazo cerrado.
- Obtención de la curva de respuesta del sistema ante un cambio de la constante  $K_C$  del sistema.
- Elección del método de sintonización de lazo cerrado de Nichols.
- Sintonización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

#### Ajustes iniciales

- Encienda el proceso, en modo automático.
- Fije un Set Point de 20
- Ajuste los factores del controlador PID a  $K_C=10,5$ ,  $T_I=0,8$
- Permita que el controlador estabilice el sistema.

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

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

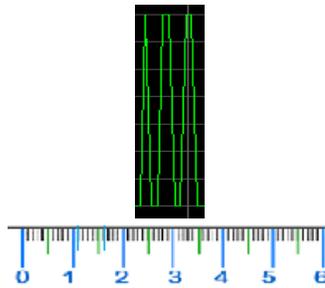


**Figura 3.29.** Oscilación del sistema  
(Fuente: José Baquero, autor)

En la Figura 3.29 se indican los resultados con un TI alto con lo que la variable del proceso entra en una oscilación del sistema. Se tiene en la primera cuadrícula de color amarillo la recta que representa el *set point* de temperatura en un valor de 25, 27 y 29 °C, en la segunda cuadrícula en color verde la curva que representa el incremento de temperatura desde 19,5 °C a 30 °C, en la tercera cuadrícula de color celeste se muestra la recta del CV que es el porcentaje de onda de VDC que pasa hacia el calentador de 0 a 100%, en la cuarta cuadrícula se muestra la curva de la corriente de 0 a 16,5A.

- Con la Figura 3.30 amplíe y mida el valor indicado del gráfico, registre el valor de

$$K_{cr} = 37 \quad . \quad P_{cr} = 0,18 \quad .$$



**Figura 3.30.** Medición de Pcr

(Fuente: José Baquero, autor)

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

**Tabla 3.5.** Valores de constantes calculados con método de lazo cerrado

<b>CONTROL</b>	<b><math>k_p</math></b>	<b><math>T_i</math></b>	<b><math>T_d</math></b>
<b>PID</b>	22,2	0,09	0,0225

(Fuente: José Baquero, autor)

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

En la Figura 3.31 se indican los resultados con las constantes calculada con el método de lazo cerrado. Se tiene en la primera cuadrícula de color amarillo la recta que representa el *set point* de temperatura en un valor de 25, 27 y 29 °C, en la segunda cuadrícula en color verde la curva que representa el incremento de temperatura desde 19,5 °C a 30 °C apreciando como se estabiliza el sistema en los valores establecido, en la tercera cuadrícula de color celeste se muestra la recta del CV que es el porcentaje de onda de VDC que pasa hacia el calentador de 0 a 100%, en la cuarta cuadrícula de color rojo se muestra la curva de la corriente de 0 a 16,5A.

En la Figura 3.32 se indican las curvas sobrepuestas para una mejor visualización del restablecimiento del sistema.

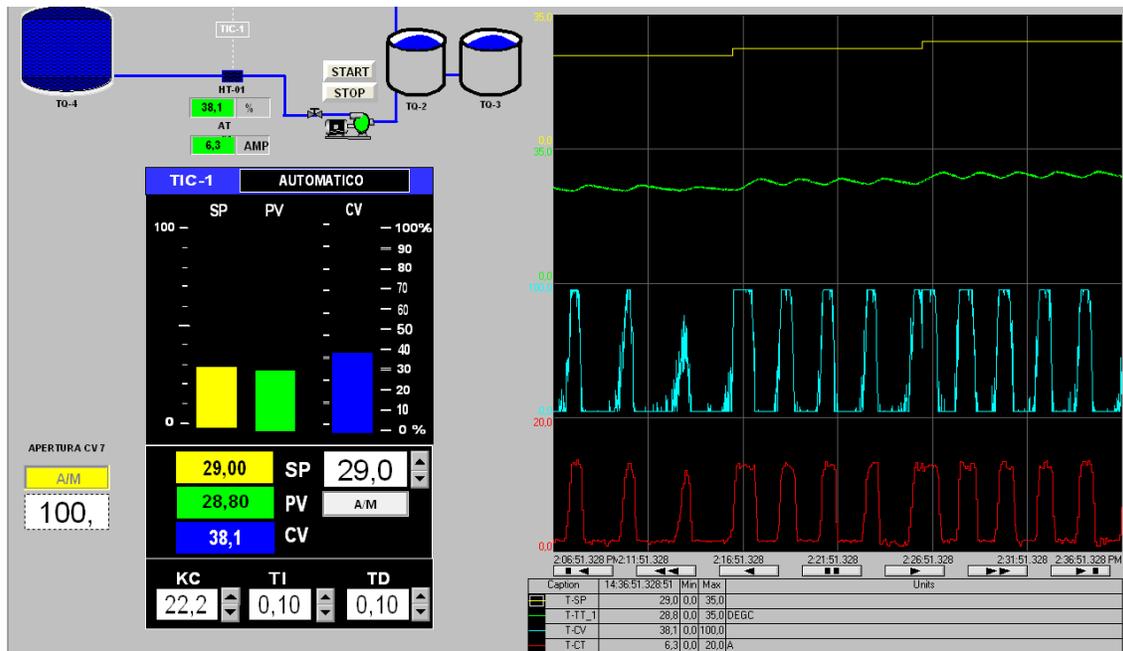


Figura 3.31. Respuesta del sistema a un SP 25, 27 y 29 °C

(Fuente: José Baquero, autor)

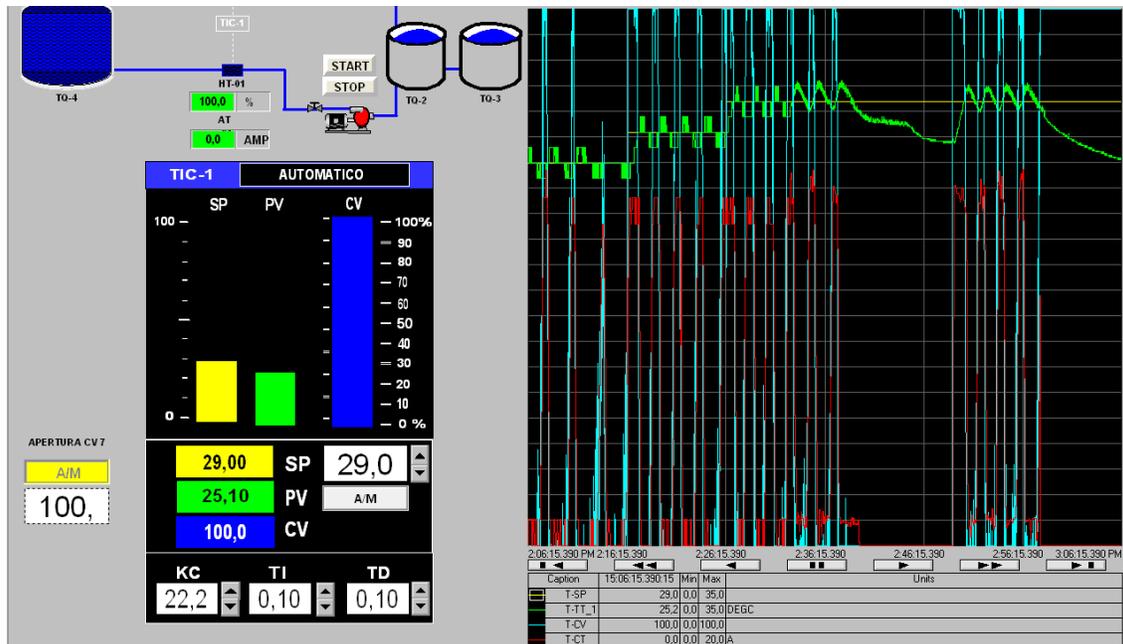


Figura 3.32. Respuesta sistema con variables sobrepuestas a un SP 25, 27 y 29 °C

(Fuente: José Baquero, autor)

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

- Registre los valores de corriente utilizados en los procesos.

**Tabla 3.6.** Medición de la corriente del Calentador HT-1 con método de lazo cerrado.

<b>Medición de la corriente del Calentador HT-1</b>				
<b>Pruebas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Media</b>
<b>Set Point (°C)</b>	25	27	29	27
<b>I corriente en HT-1(A)</b>	3,8	5,7	6,8	5,4
<b>Periodo de tiempo(min)</b>	11	10	10	10

(Fuente: José Baquero, autor)

$$P = V_{FN} * I * \cos \phi$$

$$P = 641,8 \text{ w}$$

$$E = P * t$$

$$E = 0,160 \text{ kWh}$$

- Apague el sistema.

### 3.9 Análisis de resultados

- El PLC Allan Bradley, serie Micro Logix 1100 permite realizar y diseñar programas de control de procesos, además tarjetas de expansión para diferentes usos, como en este caso, se incorporó un módulo de entradas y salidas análogas que conectan dispositivos de campo, con señales de 4 a 20 mA ó de 0 a 10 VDC.
- El banco de pruebas construido para el control de la temperatura de un separador y etapas previas de producción permite realizar el control de la temperatura a valores máximos y mínimos permitidos por el calentador HT-1 que calienta el agua del sistema. Para nuestro diseño fue realizado para una temperatura de 15 a 35 °C.
- En el punto 3.8.1 se desarrolla el método para la sintonización del PID por Ziegler y Nichols, en el cual se utiliza el criterio del decaimiento del 25 % para un cambio escalón en la carga, esto es, que la amplitud del error máximo decayera a su cuarta parte en cada periodo de oscilación. La Figura 3.26, indica la respuesta del sistema con un set point del 25°C y con los valores de PID calculados.

- En el punto 3.8.2 se desarrolla el método para la sintonización del PID por Ziegler & Nichols, el cual requiere conocer los parámetros críticos de  $K_{cr}$  y el periodo de oscilación  $P_{cr}$ , obtenidos según el procedimiento indicado, llevando el sistema al límite de la estabilidad, utilizando un controlador puramente proporcional. La Figura 3.27, indica la respuesta del sistema con un *set point* en 20 y con los valores en el controlador calculados con los datos de la inestabilidad del sistema.
- En el grafico anterior, se puede ver que para este sistema las constantes encontradas permiten tener una mejor estabilidad al sintonizar el sistema, desde el inicio del control hasta el tiempo de establecimiento del proceso.
- Análisis de la corriente de consumo de la niquelina. En las Tabla 3.4 y Tabla 3.6 la corriente de consumo disminuye de 6,8 A a 5,4 A de un método a otro.

### 3.10 PROPUESTA

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

#### 3.10.1 Título de la propuesta

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

#### 3.10.2 Justificación

El presente trabajo tiene por finalidad solucionar la búsqueda de los factores para la sintonización de lazos de control de temperatura en los separadores y etapas previas de producción. Esto permitirá realizar en menor tiempo la puesta en marcha de sistemas, mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo de los componentes que conforman el lazo de control de temperatura.

Determinar las curvas de respuesta de diferentes variables de proceso en equipos de producción y separación permite un ajuste o sintonización de sus lazos de control reduciendo tiempos y asegurando un correcto funcionamiento.

Una vez determinado el requerimiento de modificación de los parámetros de operación o la reparación de algún equipo del sistema de lazo de control es necesario que el personal Técnico se capacite para adquirir conocimientos prácticos y teóricos sobre la sintonización de lazos de control.

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

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

### **3.10.3 Objetivos**

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

### **3.10.4 Desarrollo de la propuesta**

Para la evaluación del control de Temperatura en el proceso de separación de producción de petróleo, en el campo petrolero en la Provincia de Sucumbíos en el año 2016. Y la construcción de un banco de pruebas para un sistema de control de Temperatura para determinar y mejorar la eficiencia energética en el control de los procesos de separación, se tomó información en un CPF (Centro de Facilidades de Producción Petrolera) donde se

describe el proceso siguiente: La temperatura de entrada es medida con el TI-203-1AC, y la presión de entrada con el PI-203-1AC. Posterior al intercambio de calor ocurrido en E-2104A se podrá determinar la temperatura del fluido con TIT-220-1A, enlazado a este transmisor y con ayuda del PLC se genera una señal que active la señal de alta/alta temperatura que provocará la suspensión del fluido caliente a través del E-2104A. Si el TIT-220-1A detecta una temperatura mayor a 260 °F envía una alarma al Control Room.

La condición de bajo flujo de crudo es censada por el FSL-224-1AA también provoca la suspensión del fluido caliente a través del E-2104A. En la línea de crudo están ubicadas dos válvulas de relevo de sobrepresión PSV-201-1AA/AB que al detectar un valor de más de 100 PSI, alivian la presión al tanque de drenaje cerrado.

Por el lado de la carcasa, el E-2104A, fluirá aceite térmico o de calentamiento. La temperatura del crudo será controlada permitiendo el mayor o menor paso de aceite de calentamiento a través de E-2104A. El lazo de control de temperatura de crudo a la salida del intercambiador, se lo realiza con la ayuda del transmisor TIT-220-1A colocado en la línea de crudo a la salida de E-2104A, el mismo que por medio de TIC-204-1A comanda la apertura de TV-204-1A ubicada en la línea de aceite de calentamiento permitiendo que fluya un mayor o menor volumen de aceite de calentamiento a través del E-2104A, según lo requerido, para poder conseguir la temperatura de 260 °F en el crudo a la salida del E-2104A. (Vazquez, 2017)

El aceite de calentamiento luego de pasar por el E-2104A y haber entregado su calor al crudo, retorna al sistema de aceite de calentamiento para nuevamente ser calentado a la temperatura requerida en el proceso en el intercambiador recuperador de calor H-2072. (Vazquez, 2017)

El objetivo de este calentar y mantener el crudo a una temperatura estable es romper la emulsión, para tener un BS&W menor 0,5% valor que es requerido por la ARCH para permitir su transporte.

Para simular este proceso de calentamiento se va a construir un banco de pruebas que permita simular un proceso termodinámico con una temperatura de 15 a 35°C permitirá ajustar un comportamiento lo más cercano al proceso real en el campo de producción.

Los sistemas de separación en campo trabajan a presiones de 20 a 50 psi, por lo cual por lo que el banco de pruebas se regulara a esta presión previo a la realización de las practicas, además la medición de la variable del proceso requiere de un transmisor de temperatura que este dentro de los rangos de 15 a 35°C, el rango de fabricación del transmisor industrial más cercano a estos valores, es de 0 a 120 °C, con una salida de corriente de 4 a 20 mA.

Determinada la temperatura de trabajo del banco de pruebas, se requiere un recortador de onda basado en un triac que permita controlar el ángulo que alimentara la niquelina del calentador de agua utilizado. Cabe indicar que aquí no se están considerando las pérdidas que se tendrían en las tuberías y en el sistema por ser distancias muy cortas que el fluido tiene que recorrer. Se utiliza un tanque para la instalación del termopozo en el cual se sensara la temperatura aproximadamente de 14 a lts de agua que estarán recirculando mediante una bomba-motor Modelo PK60-MD, para un caudal de 5 a 60 l/min, valores cercanos a los necesitados para la simulación de la presión en el banco de pruebas, potencia requerida en la bomba 0,50 HP. Hoja del fabricante.

Para la implementación del lazo de control de temperatura se utiliza el sistema de control que mediante una salida análoga controla un HT-1 de 2500, 3500 o 6500 w que mantiene el agua en un rango de 15 a 35°C, que depende de un valor de seteo. Permitiendo realizar comparaciones entre ajustes de constantes de lazos de control PID para obtener reducción de consumo de energía a nivel laboratorio que se podrían implementar a nivel industrial.

### **3.11 Presupuesto de la propuesta**

La siguiente tabla se indica los componentes y dispositivos que están instalados en el banco de pruebas del lazo de control de temperatura, algunos valores fueron totalizados, aumentando su valor debido a procesos de importación hasta nuestro país. Otros dispositivos fueron adquiridos de manera local.

**Tabla 3.7.** Presupuesto de la propuesta

Ítem	Cód	Equipo	Fabricante	Características	Cantidad	Precio/U	Total
1	SI	Separador	Aceros Cotopaxi	En acero inoxidable área (2.83 ft <sup>3</sup> )	1	\$ 450,00	\$ 450,00
2	V1	Válvula 1	Tcrystal	Válvula de control eléctrica proporcional	1	\$ 300,00	\$ 300,00
3	V2	válvula 2	Tcrystal	Válvula de control eléctrica proporcional	1	\$ 300,00	\$ 300,00
4	V3	Válvula 3		Válvula de ingreso módulo Presión/Nivel de 1/2'' acero inoxidable	1	\$ 10,00	\$ 10,00
5	V4	Válvula 4		Válvula de ingreso módulo Presión/Nivel de 3/4'' acero inoxidable	1	\$ 10,00	\$ 10,00
6	V5	Válvula 5		Válvula de ingreso módulo Presión/Nivel de 1'' acero inoxidable	1	\$ 10,00	\$ 10,00
7	V6	Válvula 6		Válvula de ingreso módulo Presión/Nivel de 1/2'' acero inoxidable	1	\$ 10,00	\$ 10,00
8	V7	Válvula 7	Tcrystal	Válvula de control eléctrica proporcional	1	\$ 300,00	\$ 300,00
9	V8	Válvula 8		Válvula de drenaje/purga 1/2'' acero inoxidable	1	\$ 10,00	\$ 10,00
10	V9	Válvula 9		Válvula de drenaje 1/2 acero inoxidable	1	\$ 10,00	\$ 10,00
11	PIT 1	Transmisor	Smar	Transmisor indicador de presión	1	\$ 400,00	\$ 400,00
12	LIT 1	Transmisor	Smar	Transmisor indicador de nivel	1	\$ 400,00	\$ 400,00
13	TT 1	Transmisor	ABB	Transmisor de temperatura	1	\$ 200,00	\$ 200,00
14	FT 1	Transmisor		Transmisor de caudal tipo turbina	1	\$ 100,00	\$ 100,00
15	HT 1	Calentador de agua		Calentador de agua 6500 w	1	\$ 100,00	\$ 100,00
16	M1	Bomba-motor	Pedrollo	Motor eléctrico 0.5 HP	1	\$ 250,00	\$ 250,00
17	PLC 1	PLC	AB	Micrologix 1100	1	\$ 800,00	\$ 800,00
18	I/O 1	I/O Tarjeta	AB	Micrologix 1762-IF20F2	1	\$ 400,00	\$ 400,00
19	I/O 1	I/O Tarjeta	AB	Micrologix 1762-IF20F2	1	\$ 400,00	\$ 400,00
20	V 1	Fuente	Sola	110VCA/24 VDC	1	\$ 120,00	\$ 120,00
21	C 1	Contactador	LG	15 amp/ 110 VCA	1	\$ 25,00	\$ 25,00
22	RL	Relé 24 VDC C1	Allen Bradley	Relé 24 VDC/contactos 5 amp/110 VCA	1	\$ 25,00	\$ 25,00
23	CT 1	Trans Corriente	Camsco	100/5 A radio	1	\$ 35,00	\$ 35,00
24	T 1	Transductor	Crompton	5 A/ 4-20 mA	1	\$ 125,00	\$ 125,00
25	CC1	Convertidor	Ultra Slimpak	4-20 mA/0-10 VCD	1	\$ 80,00	\$ 80,00
26	TB	Caja de conexión	Beaucoup	40"x60"x8", IP56	2	\$ 45,00	\$ 90,00
27	TQ	Tanques	Domos	40x40x65	1	\$ 85,00	\$ 85,00
28	T2	Tubería PVC	PVC	1/2''	1	\$ 10,00	\$ 10,00
29	T4	Tubería PVC	PVC	3/4''	1	\$ 10,00	\$ 10,00
30	TX	Tablero	Metalmecanica	170x120x60	1	\$ 250,00	\$ 250,00
31	B 1	Breaker	LS	Breaker set 16 Amperios	1	\$ 10,00	\$ 10,00
32	P1	Logotipos		Leras, anuncios, carteles	1	\$ 80,00	\$ 80,00
33	A1	Gastos Extras		Pernos, pintura, accesorios, prototipos, etc	1	\$ 400,00	\$ 400,00
34	SO	Software	Allen Bradley	Licencias e Instalacion programas	1	\$ 800,00	\$ 800,00
35	AS	Asesoría	Tecnicos	Asesoría Técnica	1	\$ 300,00	\$ 300,00
36	A1	Gastos Extras		Pernos, pintura, accesorios, prototipos, etc	1	\$ 600,00	\$ 600,00
TOTAL							\$ 7.505,00

(Fuente: José Baquero, autor)

No se ha considerado las horas de trabajo que se ha invertido para la construcción del banco de pruebas, ni tampoco se ha considerado los gastos de logística necesarios conseguir los componentes.

## CONCLUSIONES

- En una planta de extracción y producción de petróleo existe la necesidad de calentar el crudo para esto en cada equipo de calentamiento o intercambio de calor existen elementos de control y de seguridad, como son los lazos de control y sus respectivas protecciones de seguridad como son los TIT (transmisor de temperatura), PSH (switch de alta presión) y los FSL (switch de bajo flujo) estos a través de un programa elaborado en función de una MCE(Diagrama causa efecto) toma acciones y a través de válvulas manda al recipiente a una condición segura, en caso de falla de estos existe un último nivel de seguridad dada por un PSE (disco de ruptura).
- La construcción del banco de pruebas se desarrolló utilizando equipos industriales similares a los utilizados en el campo, esto permitió tener un proceso con simulaciones reales del campo en un laboratorio, Para el control de la temperatura en los separadores y en procesos de producción se utiliza un controlador industrial PLC de la marca Allen Bradley, con entradas y salidas análogas y digitales, para el control de la variable del proceso se utiliza un HT-1 de 2500, 3500 o 6500 w que mantiene el agua en un rango de 15 a 35°C, controlado por una salida de 4 a 20 mA del PLC. Para la lectura de la variable del proceso un transmisor de temperatura de 4 a 20 mA, configurado para valores máximos y mínimos de entrada de la variable.
- Se utilizaron los métodos de sintonización de PID de Ziegler-Nichols, para identificar las constantes  $K_c$ ,  $T_i$  y  $T_d$ , en el primero de lazo abierto se tiene un consumo de corriente de 6,8 A y para el segundo método se tiene un consumo de 5,4 A, estos 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 temperatura se observó que cuando no existe un lazo de control sintonizado el consumo del calentado será el máximo, también que del primer al segundo método de sintonización se redujo el consumo de energía de  $0,04kWh$  esto comparado con el consumo máximo obtenido de  $0,202kWh$  representa un 19,8 %. Al contrastar con la capacidad de un intercambiador de calor de los descritos en este trabajo sintonizando el lazo de control de manera adecuada se podría tener un ahorro de energía de 1.855.388 BTU/HR. Por esto es mandatorio tener un proceso totalmente estable con lazos de control correctamente sintonizados, para lograr una máxima eficiencia en el consumo de energía en el proceso.

### **RECOMENDACIONES.**

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

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- instrumentacionhoy.blogspot.pe*. (2017). Obtenido de <https://instrumentacionhoy.blogspot.pe/2015/04/interpretar-un-p.html>
- Abdel-Aal, h., & Aggour, M. (2003). *PETROLEUM AND GAS FIELD PROCESSING*. New York: Marcel Dekker.
- Alexos Diaz, A. P. (2010). *Parametros requeridos en el diseno de separadores para manejar mezclas Gas - Liquido*. Guayaquil: Escuela Politecnica del Litoral.
- Arnold, K., & Stewart, M. (1999). *SURFACE PRODUCTION OPERATIONS*. HOUSTON, TEXAS, ESTADOS UNIDOS DE AMERICA: Gulf Publishing Company.
- Atmel. (noviembre de 2016). *www.atmel.com*. Obtenido de Atmel-42735B-ATmega328P\_Datasheet\_Complete: [http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P\\_Datasheet.pdf](http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf)
- Automation, R. (1996). *Manual RSLOGIX 500 ESP*. Milwaukee: Controladores Boletín 1761.
- Automation, R. (1999). *Rsvi32*. Milwaukee: Rockwell Automation.
- Automation, R. (2008). *RSlinx Classic*. Milwaukee: Rockwell Automation.
- Automation, R. (2013). *MicroLogix 1762-IF20F2 Analog Input/Output Module*. Milwaukee: Rockwell Automation.
- Automation, R. (2015). *Micrologix 1100 Programmable Controllers*. Milwaukee: Rockwell Automation .
- Camegie, A. (2004). *Análisis de hidrocarburos en el pozo*. Connecticut EUA: Shulumbert.
- Dunn, W. C. (2005). *Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control*. McGraw-Hill Companies, Inc.
- Ecuadoriano, E. (2004). *Reglamento para el transporte de Crudo por el SOTE*. Quito: Acuerdo Ministerial 14.
- Franklin, V. (2017). *“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*. Latacunga.

- García, R. J., Torres, J. M., Pinto, A. D., González, J. A., Rengel, J. E., & Pérez, N. A. (Enero de 2017). [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052017000100070&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052017000100070&script=sci_arttext&tlng=en). Obtenido de Ingeniare. Revista chilena de ingeniería: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052017000100070&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052017000100070&script=sci_arttext&tlng=en)
- Hussain, D. Y. (2007, May 24). [www.just.edu.jo](http://www.just.edu.jo). Retrieved from <http://www.just.edu.jo/~yahussain/files/Heat%20Exchangers.pdf>
- INEN. (2011). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN-OIML/JCGM 200:2011.
- Jose Requena, M. R. (2006). *Diseño y Evaluación de Separadores Bifásicos y trifásicos*. CARACAS: UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA.
- Juan A. Suarez, G. F. (2010). *Parametros que afecta la corriente del neutro en Presencia de Armonicos*. Buenos Aires Argentina.: Universidad Nacional de Mar del Plata, Departamento de Ingeniería Eléctrica .
- Ken Arnold, M. S. (1989). *Surface Production Operations*. Houston, TX: Gulf Publishing Company.
- Márquez Landaeta, J. A. (Octubre de 2012). ESTRATEGIA PARA EL CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL CRUDO A LA SALIDA DEL INTERCAMBIADOR E-202 EN LA PLANTA DE DESHIDRATACIÓN DE CRUDO DE LA EMPRESA PETROREGIONAL DEL LAGO, S.A. Maracaibo, Venezuela: UNIVERSIDAD DEL ZULIA.
- Medina, D. (2005). *DISEÑO INTEGRADO DE UN TANQUE DE SEPARACION TRIFASICA DE CRUDO*. QUITO: UNIVERSIDAD DE SAM FRANCISCO.
- Morocho, J., & Ayabaca, J. (2009). *DISEÑO Y SIMULACION DE UN CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO POR MEDIO DEL MODULO USB6009*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- O. A. Jaramillo; Universidad Nacional Autónoma de México. (20 de November de 2007). [www.cie.unam.mx](http://www.cie.unam.mx). Obtenido de <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/HeatExchanger/Intercambiadores.pdf>
- Ogata, K. (1985). *Ingenieria de Control Moderna*. Mexico: Prentice Hall.
- PCE INST.* (s.f.). Obtenido de <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/sistemas/transductores.htm>

Ruge, I. A. (2011). *Optimización de señal de control de reguladores PID con arquitectura antireset Wind-up*. Colombia : Universidad de Cundinamarca.

Ruiz, V. M. (2002). Metodos de sintonización de controladores PID que operan como reguladores. *Ingeniería*, 22, 23.

wikipedia.org. (s.f.). *es.wikipedia.org*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Calentador\\_de\\_agua](https://es.wikipedia.org/wiki/Calentador_de_agua)

ANEXOS

Anexo A Transductor de Corriente alterna 0-5 A a 4 a 20 mA.



**Crompton AC Current and Voltage Transducers**

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

**AC Current, Voltage, Frequency and DC**

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



253

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

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

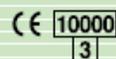
AC VOLTAGE			
Input	Auxiliary Power	Output	Catalog Number
AC Voltage—Average Sensing, Single-Phase			
120 VAC/60 Hz	Self	0-1 mADC	253-TVAU-PQFA-C6
120 VAC/60 Hz	120 VAC	4-20 mADC	253-TVLU-PQHG-C6-DG
AC Voltage—True RMS Sensing, Single-Phase			
120 VAC/60 Hz	120 VAC	0-1 mADC	253-TVRU-PQFA-C6-DG
AC Voltage—True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

The Weschler Group

## Anexo B. Switch 110 VCA/10 amperios

## Interruptores termomagnéticos tipo miniatura

Montaje en riel DIN



Capacidad de Alta Ruptura

Tipo BKN-b



BKN-b 2P

Certificado  
CE

Protección patente

## Datos técnicos

Estándar	Conforme con IEC60898	
Aprobación	CCC†, KEMA CB, SABS, SEMKO CB, UL 1077†	
Protección	Contra sobrecarga y cortocircuito	
Corriente nominal, In	1, 2, 3, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63A	
Tensión nominal	1 polo 230/400VAC 50/60Hz 2, 3, 4 polo 400VAC 50/60Hz	
Temperatura ambiente	-5°C to +40°C conformidad según 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 <sup>2</sup>	
Instalación	Montaje en riel DIN de 35mm	
Ancho	17,8mm por polo	
Durabilidad eléctrica		
In	1 ... 32A	40 ... 63A
Durabilidad	8000 ciclos	8000 ciclos
Frecuencia máx. (Ciclos/hora)	240	120

## Influencia de temperatura ambiente sobre corrientes nominales

Corriente nominal de IN (A)	Resistencia intrínseca (mΩ)	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 C. Conversor de 4 - 20 mA a 0 – 10 VCA

### Electronic Interface Modules

#### G408 Ultra SlimPak®

##### DC Input, Field Configurable Isolator



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

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

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

ISO 9001 Registered

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

Table 1: G408 input range selector - switch settings

RANGE	SW2							
G408-0001	1	2	3	4	6	7	8	9
0 to 6V	■	■	■	■				
0 to 10V	■	■	■	■				
0 to 1mA					■	■	■	■
4 to 20mA					■	■	■	■
0 to 20mA					■	■	■	■

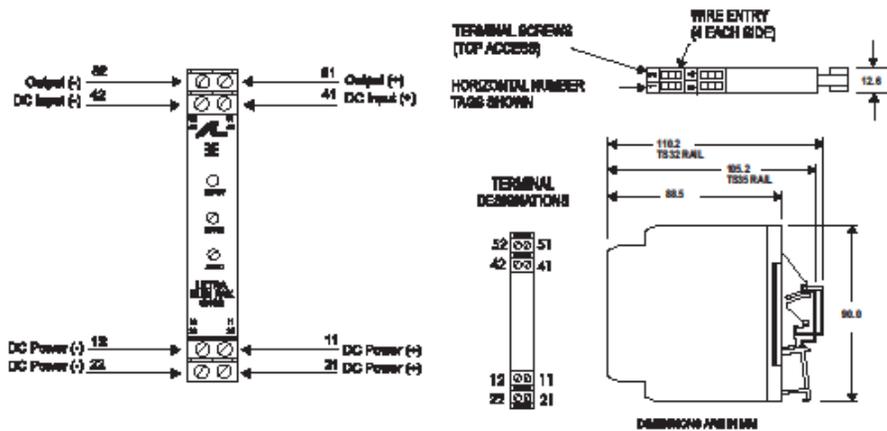
Table 3: Output range selector - switch settings

Key: ■ ON

TYPE	SW1			
	6	7	8	9
UNIPOLAR	■			
REVERSE		■		
CURRENT				■
VOLTAGE				■

Table 2: Input range and function settings

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



Rated data	
<b>Input</b>	DC current or voltage
Range	$\pm 1\text{mA}$ to $\pm 100\text{mA}$ or $\pm 10\text{mVdc}$ to $\pm 100\text{Vdc}$ , DIP switch selectable
Impedance	$20\Omega$ for current, $>100\text{k}\Omega$ for voltage
Maximum ratings / type of protection	$170\text{mA}$ , $60\text{Vdc}$ for current, $264\text{Vrms}$ for voltage
Field device excitation	
Other input specification	
Other input specification	
<b>Output</b>	DC current or voltage
Range	$0.1\text{mA}$ , $0.20\text{mA}$ , $4.20\text{mA}$ , $0.5\text{Vdc}$ or $0.10\text{Vdc}$ , DIP switch selectable
Load	$<7.5\text{k}\Omega$ ( $0.1\text{mA}$ ), $<600\Omega$ ( $0.4\text{--}20\text{mA}$ ), $>5000\Omega$ ( $0.5\text{V}$ ), $>10000\Omega$ ( $0.10\text{V}$ )
Burnout level	
Zero / Span adjustment	$0$ to $50\%$ of full scale input / $50$ to $100\%$ of full scale input
Protection	
Other output specification	
Other output specification	
<b>Supply</b>	DC voltage
Range	$9$ to $30\text{Vdc}$ , Inverter Isolated
Consumption	$1.5\text{W}$ typ., $2.5\text{W}$ max. ( $200\text{mA}$ inrush at $9\text{Vdc}$ )
Other supply specification	
<b>General</b>	
Accuracy	$\pm 0.35\%$ of full typ., $0.5\%$ max (span $<2\text{mA}$ or $<20\text{mV}$ ) or $\pm 0.1\%$ of full scale typ., $0.2\%$ max. (span $>2\text{mA}$ or $>20\text{mV}$ )
Temperature coefficient (drift)	$\pm 0.025\%$ of full scale/ $^{\circ}\text{C}$ typical, $\pm 0.05\%$ / $^{\circ}\text{C}$ maximum
Transmission frequency	
Response time, 90% span	$<200\text{ms}$ typical
Other general specification	Mean Time Before Failure: $60\text{kHours}$
Status LED	Input green ( $>110\%$ of input: $8\text{Hz}$ , $<10\%$ of input: $4\text{Hz}$ )
Isolation (# of ports)	$1800\text{V}$ (3 port) between input, output and power
Operating / Storage temperature	$0$ to $55^{\circ}\text{C}$ / $-25$ to $70^{\circ}\text{C}$
Housing (mounting)	EG8 (TS32 and TS35)
Dimensions (L x W x H)	$90\text{mm}$ x $12.7\text{mm}$ x $112.7\text{mm}$ max.
Wire range (conductor size)	$22\text{--}12\text{AWG}$ ( $0.5\text{--}4.0\text{mm}^2$ )
Insulation stripping length	$7\text{mm}$
Tightening torque	$0.4\text{--}0.8\text{Nm}$
Approvals	CSA (file LR-42272), UL (file E99775), CE marked (EMC dir: 89/336/EEC, LV dir: 73/23/EEC; Input $<75\text{Vdc}$ only)
<b>Ordering data</b>	<b>Cat. No.</b>
Ultra SlimPak	<b>G408</b> (factory calibration: $4.20\text{mA}$ In, $4.20\text{mA}$ Out)
Heat sink (width)	<b>HS01-A</b> ( $1.6\text{mm}$ ) (conditionally required depending on installation, see heat sink data)
Shunt resistor	<b>C006</b> ( $0.1\Omega$ , $1\%$ , $5\text{W}$ for use with external DC current source)
	Note: G408-000X where X is the revision level

## Anexo D. Válvula proporcional



TCN-02T-JZ24K intelligent modulating actuator usage instructions



### 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:  $\pm 1\%$ (set by software)
- ⊙ 采用高性能无刷电机, Overload protection of internal motor
- ⊙ It can be used 20,000 times.\*1



### Product features

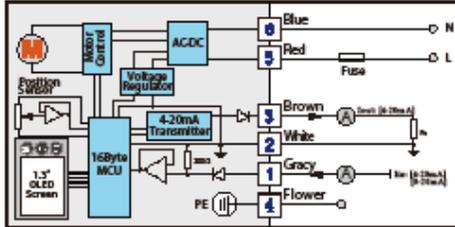
- △ 1.3" OLED screen, no visual dead angle, highly bright, energy saving and eco-friendly, real time to show valve opening angle and external control command.
- △ Original valve adjustment mode—free cover-opening and interactive:
  - step1: saving "anticlockwise full open position" by using the button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

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

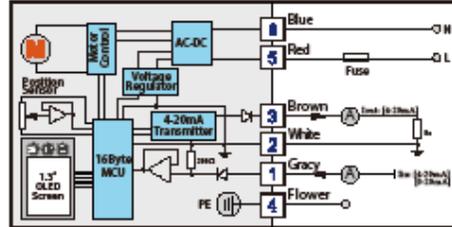


Intelligent modulating model-wiring diagrams:

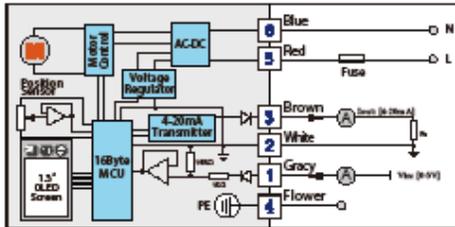
4-20mA



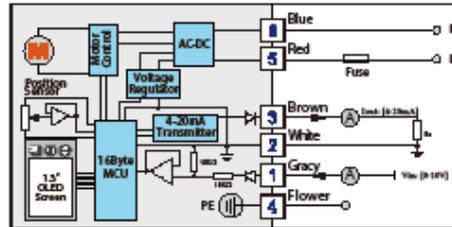
0-20mA



0-5V



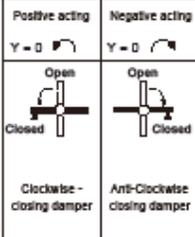
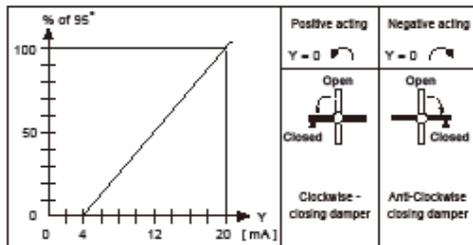
0-10V



Control Instructions:

- 1** **5** to correct power supply.
- 1** **2** **3** are control feedback. **3** They are for bidden to connect the power supply, otherwise it will damage the control module.
- Make sure voltage probable range. **3** otherwise it will damage the control module.
- 1** is control input: 4-20mA, 0-5V, 0-10V (input resistance refer to corresponding wiring diagram).
- 2** is feedback current output: 4-20mA.
- $V_{out} = I_{out} \cdot R_x$ .
- $R_x$  is recommended to use low TCR resistor.
- $\Delta V_{OUT} \approx 2mV$ , so  $R_x \approx 400\Omega$  (recommended  $V_{out} = 5V$ ,  $R_x = 250\Omega / 0.25W$ ).
- For 4-20mA control, from 'user setting', user can set the valve action when there is no control signal, open, close, keep. For other control (0-20mA, 0-10V, 0-5V), such setting is invalid.

Position - Control Signal



## Anexo E. Bomba-Motor



### Electrobombas con rodete periférico

Agua limpia

Utilizo doméstico



#### CAMPO DE PRESTACIONES

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

#### LIMITES DE UTILIZO

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

#### EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

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

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



#### CERTIFICACIONES

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

#### UTILIZOS E INSTALACIONES

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

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

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

#### PATENTES - MARCAS - MODELOS

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

#### EJECUCION BAJO PEDIDO

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

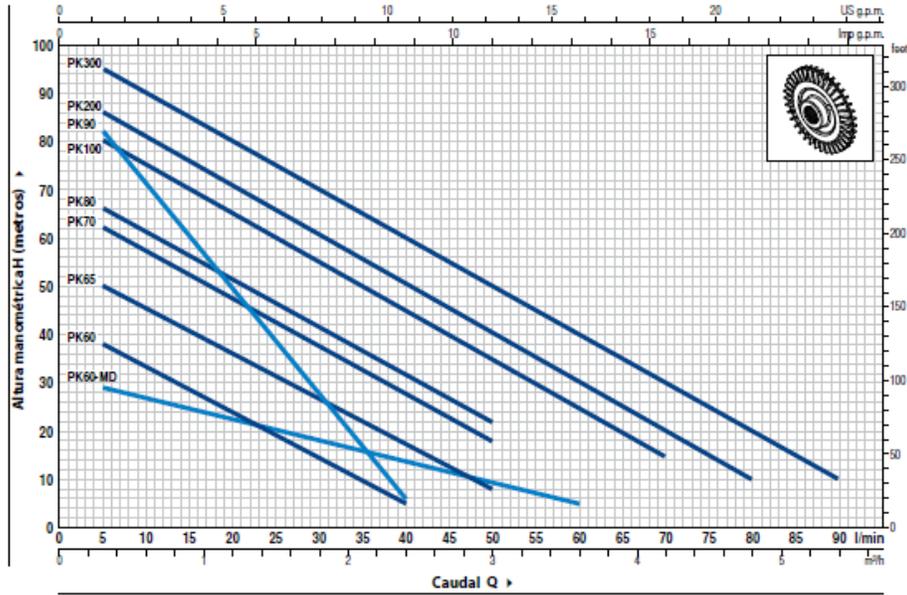
#### GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta



**CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES**

60 Hz n= 3450 rpm HS= 0 m



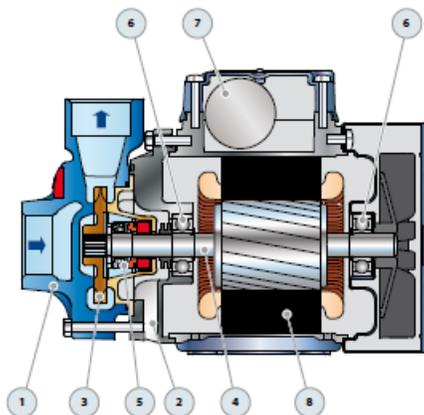
MODELO		POTENCIA (P <sub>2</sub> )		Q	H metros														
Monofásica	Trifásica	kW	HP		m <sup>3</sup> /h	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4
				l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	
PKm 60 <sup>a</sup>	PK 60 <sup>a</sup>	0.37	0.50		40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5						
PKm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

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

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

# PK

POS. COMPONENTE	CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS					
1 CUERPO BOMBA	Hierro fundido con tratamiento de cataforesis con bocas roscadas ISO 228/1					
2 SOPORTE	Aluminio con tapa en latón y laminilla de ajuste frontal antibloqueo (patentado)					
3 RODETE	Latón, del tipo aletas periféricas radiales					
4 EJE MOTOR	Acero inoxidable EN 10088-3 - 1.4104					
5 SELLO MECANICO	<i>Electrobomba</i>	<i>Sello</i>	<i>Eje</i>	<i>Materiales</i>		
	<i>Modelo</i>	<i>Modelo</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Anillo fijo</i>	<i>Anillo móvil</i>	<i>Elastómero</i>
	PK 60-65-70-80 PK60-MD	AR-12	Ø 12 mm	Cerámica	Grafito	NBR
	PK 90 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	10 µF - 450 VL	25 µF - 250 VL			
	PKm60-MD	14 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.					
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las electrobombas trifásicas están equipadas con motores de alto rendimiento en clase IE2 hasta P<sub>2</sub>=1.1 kW y en clase IE3 desde P<sub>2</sub>=1.5 kW (IEC 60034-30)</li> <li>Aislamiento: clase F</li> <li>Protección: IP X4</li> </ul>					



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

LEXIS FINDER

### REGLAMENTO PARA EL TRANSPORTE DE CRUDO POR EL SOTE

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

EL MINISTRO DE ENERGIA Y MINAS

Considerando:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Fecha de entrega.

Lecturas iniciales, finales y diferencia Temperatura observada.

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

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

Gravedad específica redondeada a una diez milésima.

Factores de corrección de medidores redondeados a una diez milésima.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Anexo G. PTC 100

Data Sheet 10/11-8.14-EN Rev. A

### TR 04-Eco, TR 04-Ex Head mounted Temperature Transmitters



#### Analog, Pt 100 (RTD), fixed measuring ranges

##### Input

- Resistance thermometer (two-wire and three-wire circuit)
- Optionally four-wire circuit

##### Output

- Two-wire technology
- 4 ... 20 mA

#### Digital, low drift processing of measuring values

Error signalization at sensor wire break and sensor short-circuit

#### Approvals for explosion protection

- Intrinsic safety II 2 G EEx ia IIC T6, zone 1
- III 3 G EEx nA II T6, zone 2

Power and productivity  
for a better world™



**TR 04-Eco / TR 04-Ex**  
**Head mounted temperature transmitters, analog**

10/11-8.14 EN

**Technical data**
**Output**

Output signal (temperature linear)	4...20 mA
Output current, max.	28 mA
Underranging	2.5...< 3mA
Overranging	22 < ...26 mA

**Input**
**Resistance**

Resistance thermometer	Pt 100 (IEC 751) -200 °C...850 °C
------------------------	--------------------------------------

Measuring ranges min. span	cf. ordering information 40 K
-------------------------------	----------------------------------

Sensor load resistance (max.)	100 Ω (3-wire, 4-wire)
Sensor load influence > 100 Ω	< 0.1 %/10 Ω (3-wire, 4-wire)
Sensor load influence	additionally to Pt 100 (2-wire)
Pt 100-measuring current	0.8 mA

Sensor break monitoring	
Overranging, $I_s \geq 22$ mA (standard)	

$$R_{Break} \geq ME(\Omega) + MS(\Omega)/8$$

Underranging, $I_s < 3$ mA (optionally)	$R_{Break} < 2$ kΩ
---	--------------------

Sensor short-circuit monitoring, underranging $I_s < 3$ mA	$R_{short-circ.} \leq MA(\Omega) - MS(\Omega)/16$
---	---

**Power supply (2-wire methode)**

Supply voltage (protected against wrong polarity)	$U_s = 10.5...30$ V DC
--	------------------------

for explosion protection application, max.	$U_s = ...29.4$ V DC
---	----------------------

Influence of supply voltage max. residual ripple	< 0.05 %/10 V < 1 % (peak-to-peak)
---	---------------------------------------

**Maximum Load**

$$R(k\Omega) = \frac{(U_{smax} - U_{smin})}{22}$$

**General characteristics**

Response time	2, 3-wire < 1.5 s 4-wire < 10 ms
Vibration resistance	
Vibration in operation	2 g acc. to DIN IEC 68 part. 2-6
Long-term stability	< 0.1 %/year

**Environment conditions**

Ambient temperature range	-40...85 °C
Transport- and storage temperature	-40...100 °C
Relative humidity (100 % humidity with isolated terminals only)	< 100 %

Condensation	permissible
--------------	-------------

**Mechanic design**

Dimensions	cf. dimensional diagram
Weight	55 g
Housing (material)	Polycarbonat
Color (Epoxy)	black/blue (Ex version)
Terminals	2.5 mm <sup>2</sup> , screw terminals (stainless steel screws)

<sup>1)</sup> Percentage related to span  $MS = ME - MA$   
 $MA =$  Lower range value,  $ME =$  Upper range value

**Characteristics at rated conditions<sup>1)</sup>**

(acc. to IEC 770 (related to 25 °C))

Measuring error incl. characteristic deviation  
 Pt 100/resistance measurement .....

Balancing error	
Spans > 100 °C	< 0.1 %
Spans < 100 °C	< 0.15 K
Linearity error	< 0.10 %

**Influences**

Ambient temperature influences	< 0.1 % / 10 K or < 0.1 K / 10 K (whichever value is greater)
--------------------------------	---

Example:  $MA = -50$  °C,  $ME = 150$  °C,  $MS = 200$  °C  
 Balancing error 0.2 K (0.1 %)

**Explosion protection**
**Intrinsically safety**

Zone 1	Ex II 2 G EEx ia IIC T6
EC certificate	PTB 99 ATEX 2053 X
Temperature class T6/T5/T4	< 50 °C/65 °C/85 °C

Supply circuit	Output $i_a$	Input $i_a$
Max. voltage	$U_i = 29.4$ V	$U_o = 6.8$ V
Short-circuit current	$I_i = 130$ mA	$I_o = 130$ mA <sup>2)</sup>
Max. power	$P_i = 0.8$ W	$P_o = 383$ mW
Internal inductance	neglectable	$L_o = 0.5$ mH
Internal capacitance	neglectable	$C_o = 235$ nF

<sup>2)</sup> Load current for connected intrinsically safe primary element < 1.5 mA

**Zone 2** Ex II 3 G EEx n A II T6

Conformity declaration	PTB 99 ATEX 2215 X
Temperature class T6/T5/T4	< 50 °C/65 °C/85 °C

**Canadian Standards Association and Factory Mutual**

(in preparation)

**Intrinsically Safe**

FM/CSA	Class I, Div.1/Div.2, Group A, B, C, D T6 Class II, Div.1/Div.2, Group E, F, G T6 Class III T6
FM	Class I, Zone 0, AEx ia IIC T6
CSA	Class I, Zone 0, Ex ia IIC T6
Non-incendive	
FM/CSA	Class I, Div.2, Group A, B, C, D, T6 Class II, Div.1/Div.2, Group E, F, G, T6 Class III T6

**Electromagnetic compatibility (EMC)**

Pt 100: measuring range 0...100 °C, span 100 K, 3-wire  
 acc. to NAMUR NE 21 recommendation

Type of test	Degree	Influence	IEC
burst to signal/ data lines	2 kV	< 0.5 %	1000-4-4
static discharge contact discharge to: contact plate	8 kV	< 1.0 %	1000-4-2
terminals for supply terminals for sensors	6 kV 6 kV	< 1.0 % < 1.0 %	
radiated field 80 MHz...1 GHz	10 V/m	< 1.0 %	1000-4-3
coupling 150 kHz - 80 MHz	10 V	< 1.0 %	1000-4-6

**TR 04-Eco / TR 04-Ex**  
**Head mounted temperature transmitters, analog**

10/11-8.14 EN

Ordering information		Catalog No					
TR 04-Eco / TR 04-Ex		V11531-					
TR04-Eco	( without explosion protection)		1				
Type of protection: intrinsically safe							
TR04-Ex	ATEX II 2 G EEx ia IIC T6	Zone 1	5				
TR04-Ex	FM IS Class I, Div 1, Groups A, B, C, D T6 alternatively Class I, Zone 0, Group IIC T6		7				
in preparation CSA IS Class I Zone 0, Group IIC T6							
TR04-Ex N	ATEX II 3 G EEx n A II T6	Zone 2	N				
TR04-Ex N	FM Class I, Div. 2, Group A,B,C,D, T6 nonincendive Class II, Div. 2, Group F,G, T6 Class III T6		M				
Configuration							
Modulo (h=22,5mm)			3				
Modulo (h = 22.5 mm) with sensor connecting line			1				
Modulo (h = 22.5 mm) with snap-on fixing			4				
Modulo (h=27,5mm) for mounting on measuring module			Z				
Modulo built into with sensor connecting line:							
BUZH head			R				
BUSH head			P				
BUKH head			M				
BUKH-Ex head cover			N				
Raised B head			L				
B head (complete head with raised cover)			K				
BBKH head			S				
AUZH head			V				
AUSH head			U				
AGL head <sup>1)</sup>			X				
AGLHD head <sup>1)</sup> with analog display			W				
AGLHD head <sup>1)</sup> with digital display			D				
Modulo built into field housing: <sup>2)</sup>							
Aluminium field housing 80 x 75 x 57 mm, IP 65; 2 x PG 11			A				
Polyester field housing 75 x 80 x 55, IP 65; 2 x PG 11			9				
Aluminium field housing 80 x 175 x 57 mm, IP 65; 1 x PG 11; 1 x PG 13.5; with separate terminal block			F				
Polyester field housing 75 x 190 x 55, IP 65; 1 x PG 11; 1 x PG 13.5; with separate terminal block			E				
Type of sensor / characteristic / sensor break identification							
Pt 100 (acc. to IEC 751 / ITS 90), direct action characteristic (4...20 mA) at sensor break overranging $\geq 22$ mA			1				

Continue see next page

<sup>1)</sup> Standard: Aluminium, metal-cable-stow-connection M20x1,5 EEx a or EEx d;  
 protective pipe connection M24x1,5 (optional M20x1,5; 1/2" NPT; 3/4" NPT)

<sup>2)</sup> Other field housings with several transmitters or specially for pipe mounting on request

**TR 04-Eco / TR 04-Ex**  
**Head mounted temperature transmitters, analog**

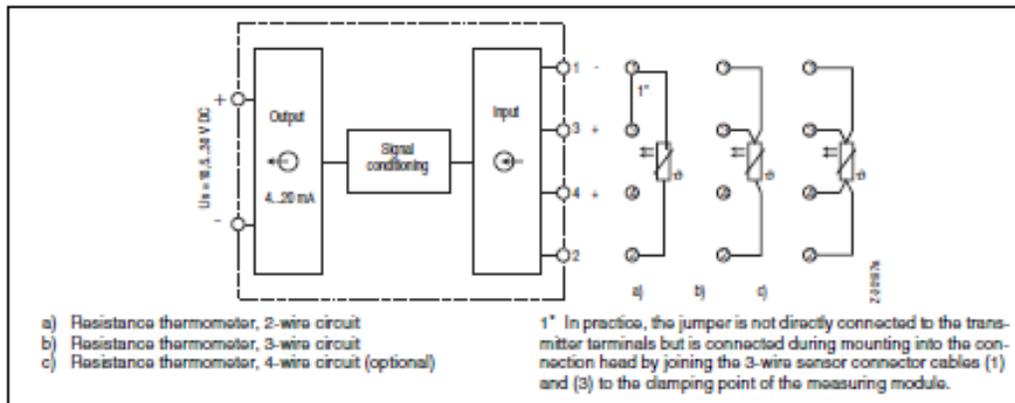
10/11-8.14 EN

Continue Ordering information		Catalog No	
TR 04-Eco / TR 04-Ex		V11531-	
Measuring ranges	-30... 60 °C	0	
Standard measuring ranges	-20... 40 °C	1	
	0... 40 °C	2	
	0... 60 °C	3	
	0... 100 °C	4	
	0... 120 °C	5	
	0... 150 °C	6	
	0... 200 °C	7	
	0... 250 °C	8	
	0... 300 °C	9	
	0... 400 °C	A	
	0... 600 °C	B	
	Special measuring ranges	Standard meas. range °F	F
°C: ..... to .....°C (span ≥ 40 K)		X	
°F: ..... to .....°F (span ≥ 72 °F)		Y	
Sensor circuit	2-wire	2	
	3-wire	3	
	optional: 4-wire	4	
Calibration certificate	without	0	
	two-point	1	
	nine-point	2	

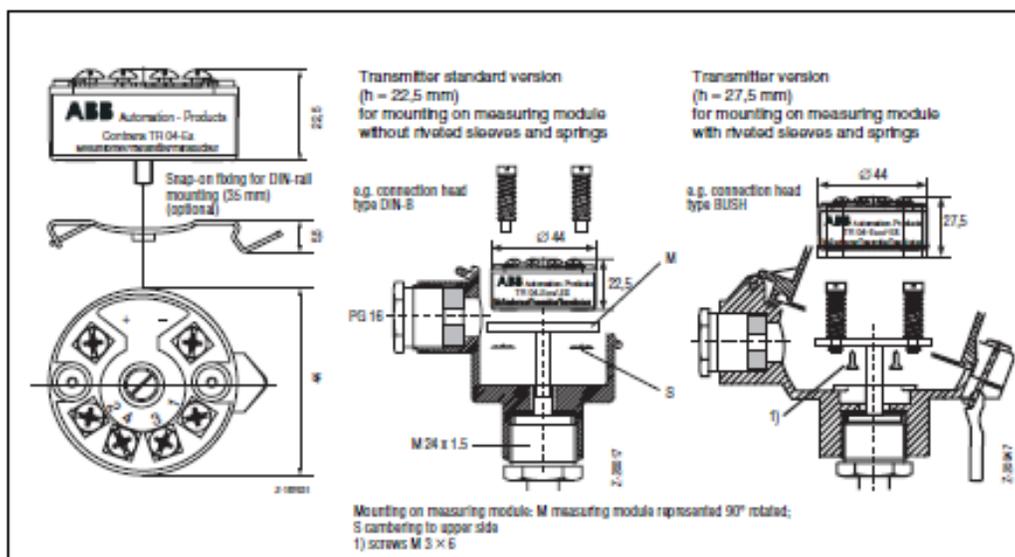
**TR 04-Eco / TR 04-Ex**  
**Head mounted temperature transmitters, analog**

10/11-8.14 EN

**Connection diagrams**



**Dimensional drawings (dimensions in mm)**



Anexo H. Transformador de corriente



Product Specification

Date:2015-8-7

Product Name	Current transformer	Model	SCT013-000
--------------	---------------------	-------	------------

Characteristics: Opening size 13mm\*13mm, 1m leading wire, standard  $\Phi$ 3.5 three-core plug output.  
 Current output type  
 Purpose: Used for current measurement, monitor and protection for AC motor, lighting equipment, air compressor etc.  
 Patent No.: ZL 2015 3 0060067. X

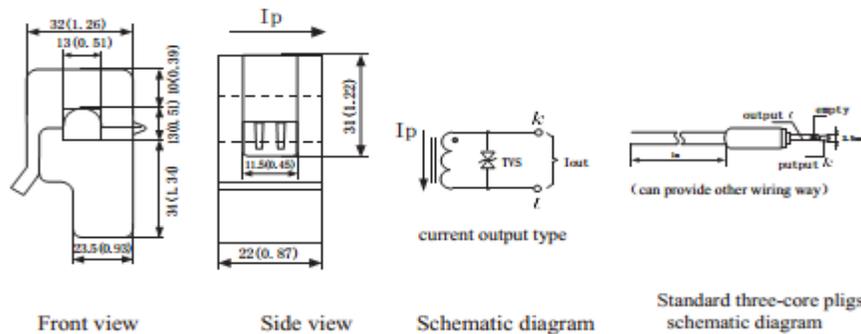
Technical Data

$I_{IN}$	Rated input	0-100A
$I_{EM}$	Max. detection input	
$I_{OUT}$	Rated output	0-50mA
X	Accuracy	$\pm 1\%$
$E_L$	Linearity	$\pm 3\%$
N	Turns ratio	1:1800
$\Phi$	Phase shift	$\leq 180^\circ$
$R_L$	Max. Sampling resistance	10 $\Omega$
$V_{PN}$	Work voltage	660V
f	Work frequency	50-1KHz
$T_A$	Operating temperature	-25..+70 $^\circ$ C
$T_S$	Storage temperature	-40..+85 $^\circ$ C
Vd	Dielectric strength, 50 Hz, 1 min	3KV



Fire resistance	UL94-V0
Material of core	Ferrite
Mounting type	Suspension
Weight	55g

Dimension ( mm(in). 1 mm= 0.0394 inch)



## Anexo I. Programación

CONTR\_P REV5.RSS  
Processor Information

---

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

CONTR\_P REV5.RSS

I/O Configuration

---

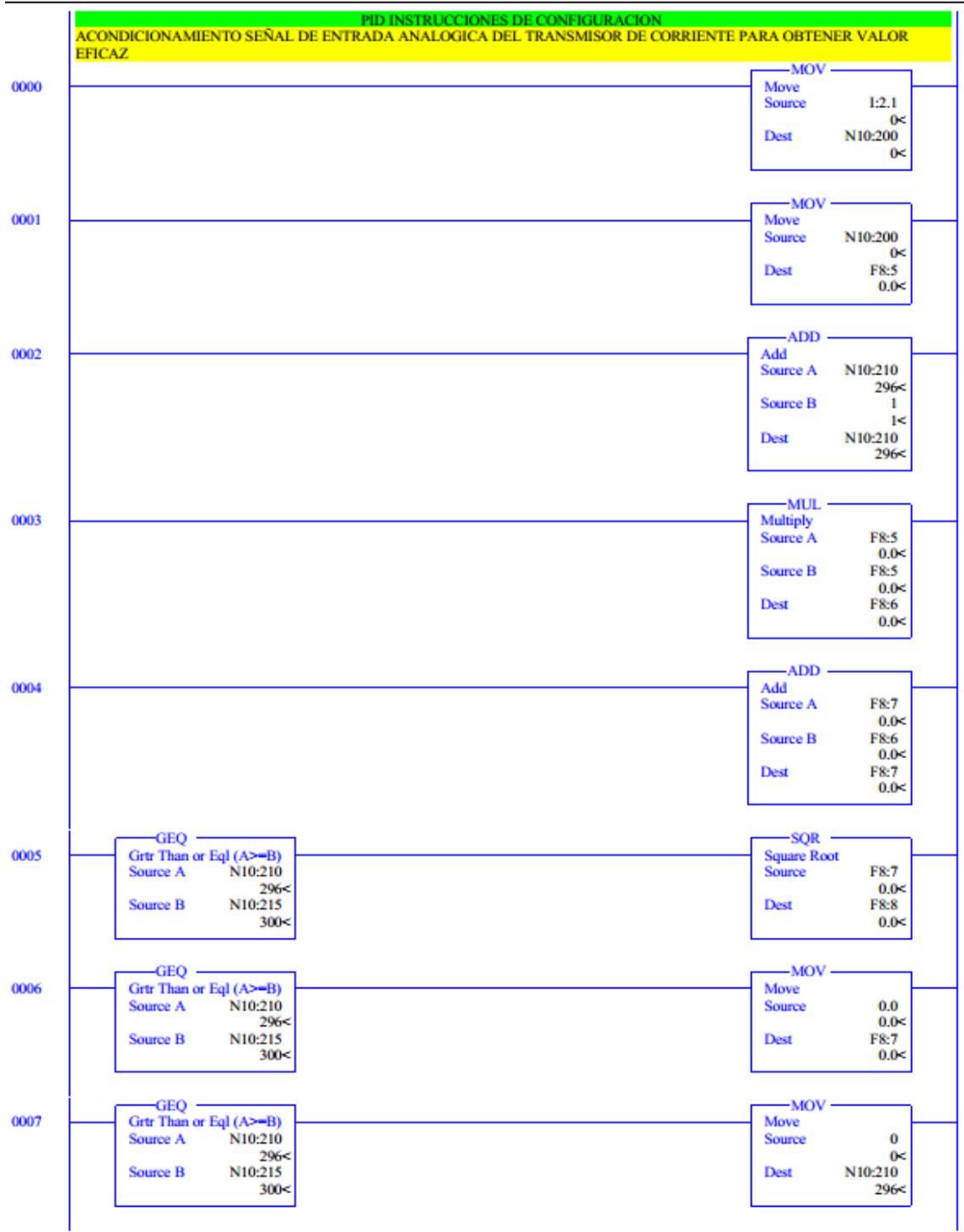
0	Bul.1763	Micrologix 1100 Series A
1	1762-IP2OP2	Analog 2 Chan. Input, 2 Chan. Output
2		
3		
4		

RSLogix500 Project Report



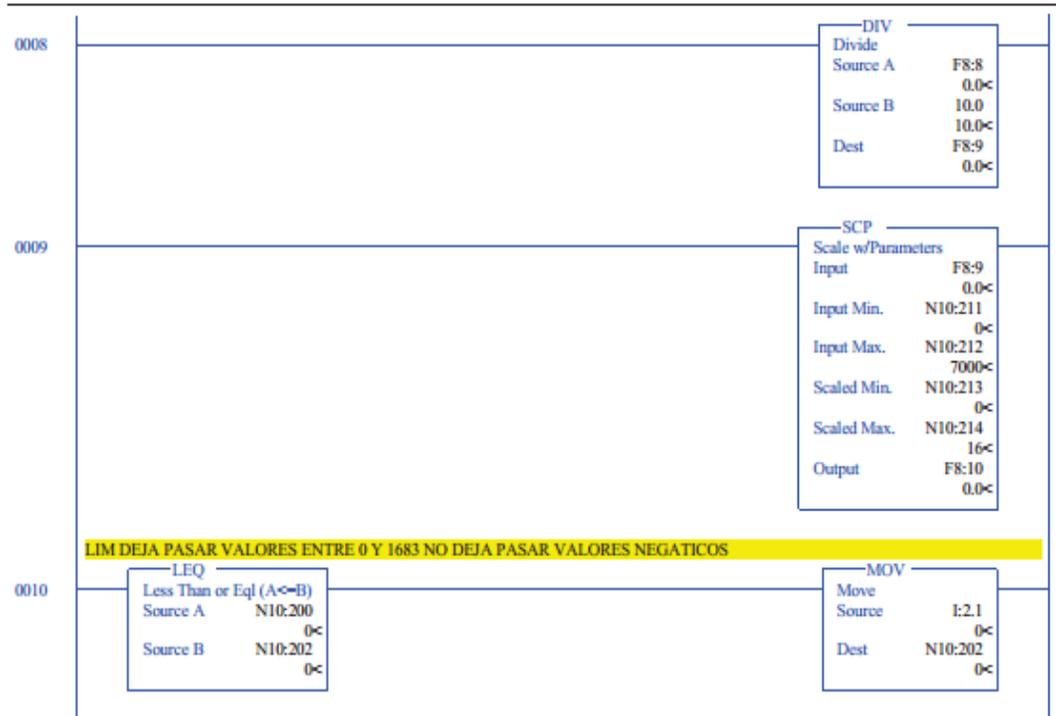
CONTR\_P REV7.RSS

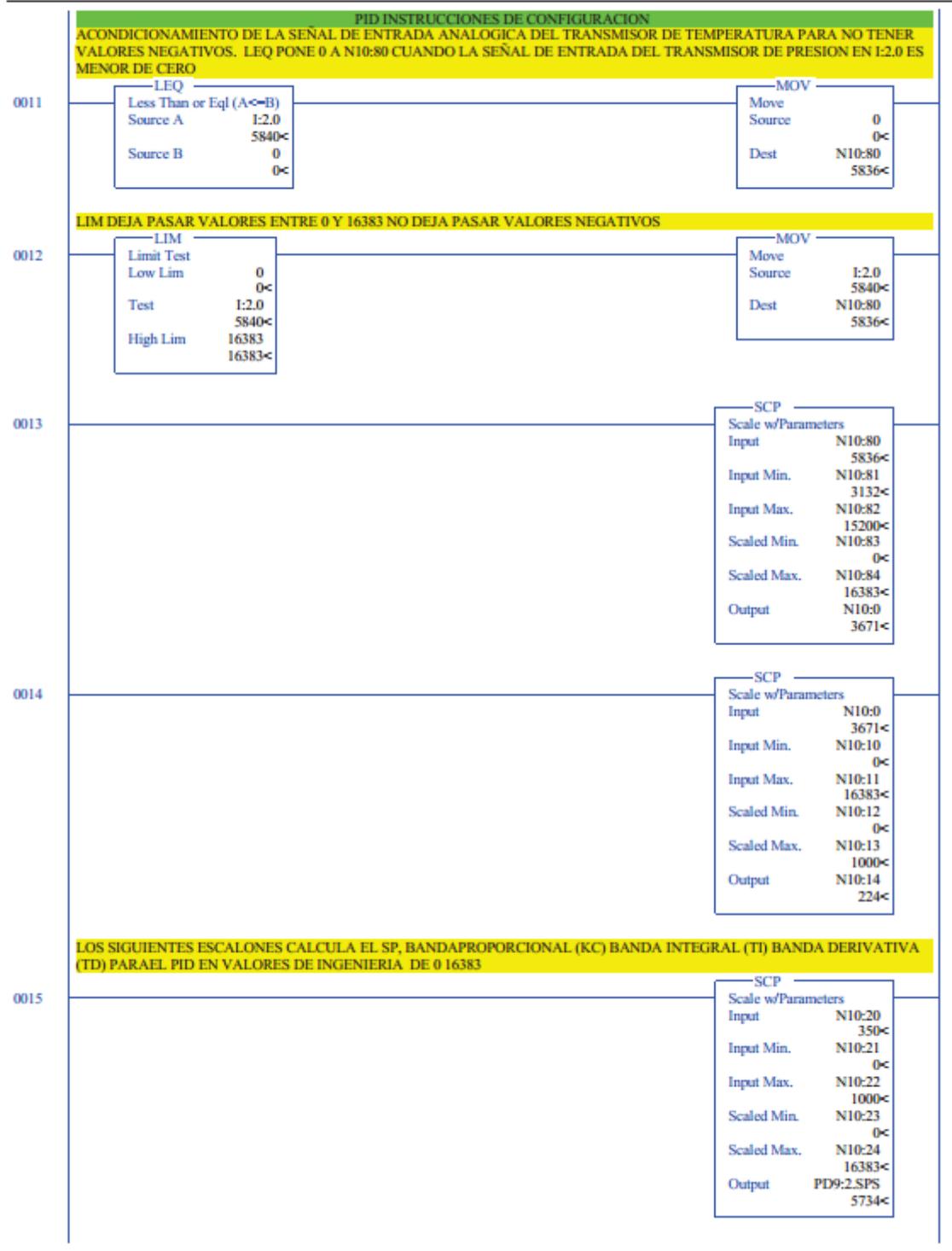
LAD 7 - TEMP --- Total Rungs in File = 27



CONTR\_P REV7.RSS

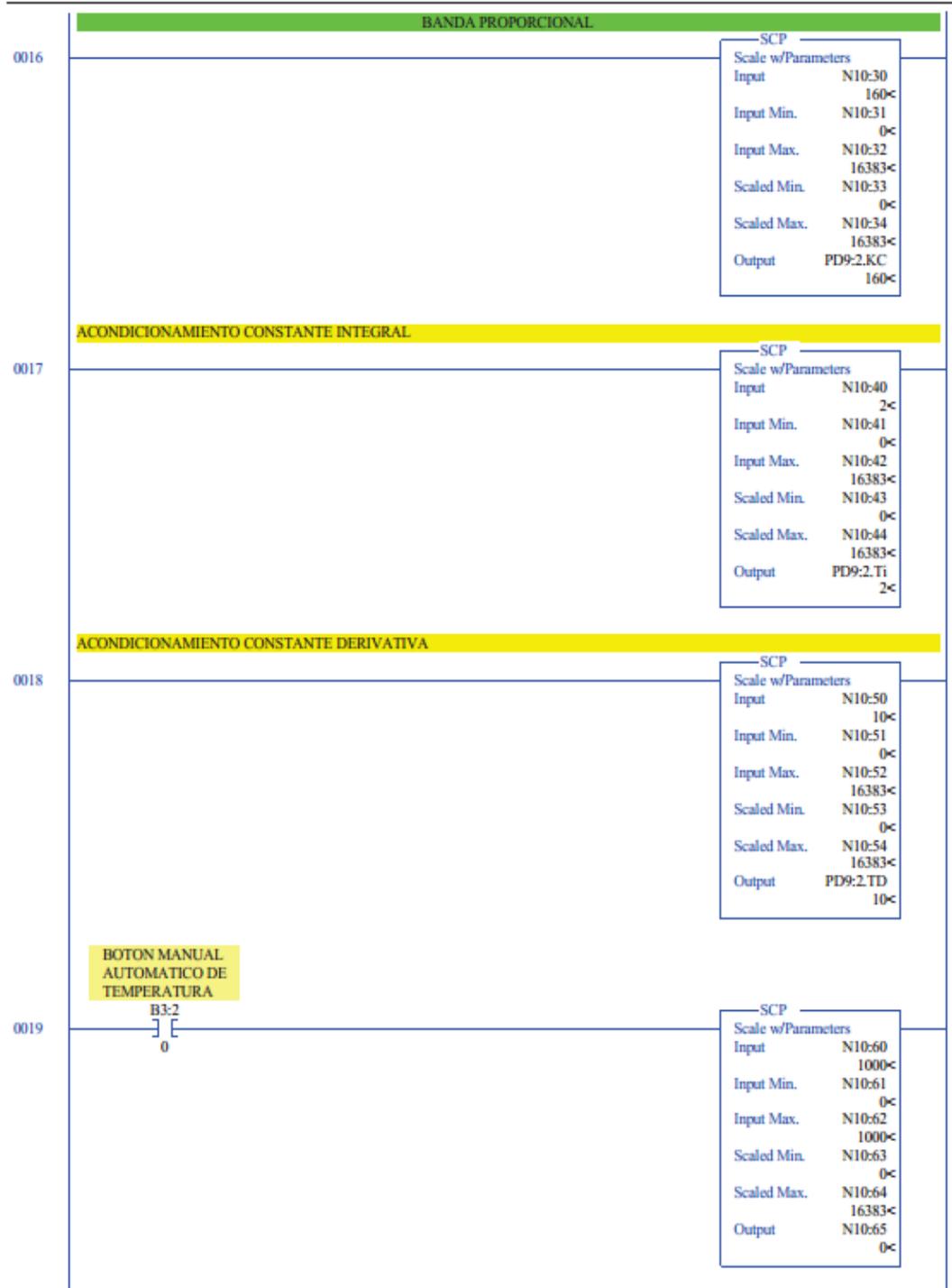
LAD 7 - TEMP --- Total Rungs in File = 27





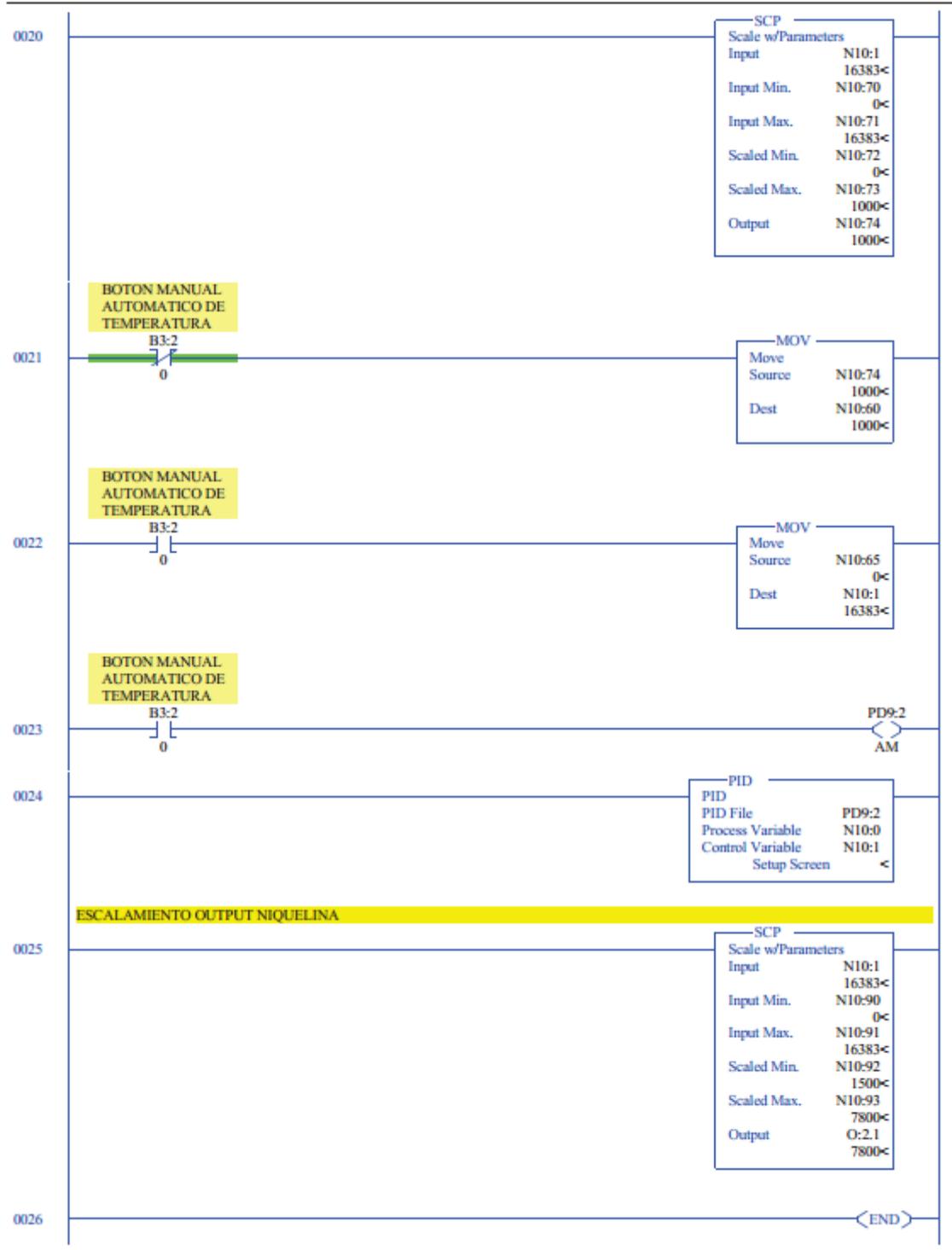
CONTR\_P REV7.RSS

LAD 7 - TEMP --- Total Rungs in File = 27



CONTR\_P REV7.RSS

LAD 7 - TEMP --- Total Rungs in File = 27

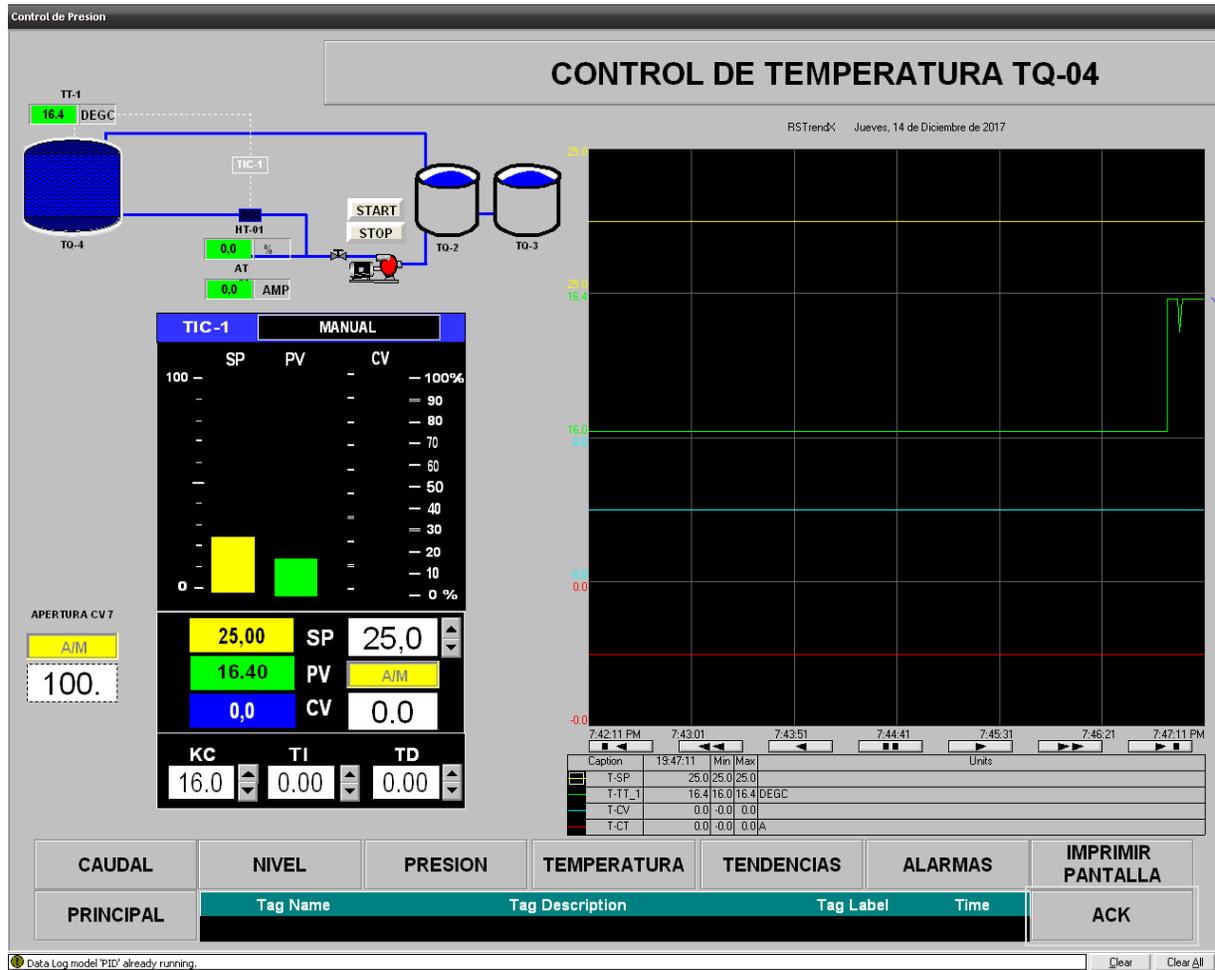


## CONTR\_P REV5.RSS

## Address/Symbol Database

Address	Symbol	Scope	Description
B3:0/0			A/M DESDE EL HMI AUTOMATICO = 0 MANUAL = 1
B3:1/0			A/M DESDE EL HMI AUTOMATICO = 0 MANUAL = 1
I:1.1			
N7:1			CY VARIABLE DE SALIDA DEL PID HACIA LA VALVULA DE CONTROL
N7:14	PT_1	Global	PRECION DEL VESSEL TRANSMISOR CONFIGURADO DE 0 A 100 PSI PARA EL HMI
N7:30	KC_PROPORCIONAL	Global	KC BANDA PROPORCIONAL
N7:35			BANDA INTEGRAL KC
N7:45			BANDA INTEGRAL KI
N7:55			BANDA DERIVATIVA TD
N7:60			VALOR QUE INGRESA DEL HMI DEL VALOR MANUAL
N7:65			VALOR DE APERTURA DE VALVULA MANUALMENTE EN VALORES DE INGENIERIA INGRESAN AL N7:1
N7:74			VALORES DE APERTURA DE LA VALVULA PARA EL HMI
N7:80			PT_TRANSMISOR DE PRECION SEÑAL DE ENTRADA AL PID PV
N7:100			
N7:101			CY VARIABLE DE SALIDA DEL PID HACIA LA VALVULA DE CONTROL
N7:114	LT_1	Global	NIVEL DEL VESSEL TRANSMISOR CONFIGURADO DE 0 A 20 "H2O
N7:160			VALOR QUE INGRESA DEL HMI DEL VALOR MANUAL
N7:165			VALOR DE APERTURA DE VALVULA MANUALMENTE EN VALORES DE INGENIERIA INGRESAN AL N7:101
N7:174			VALORES DE APERTURA DE LA VALVULA PARA EL HMI
N7:195	NT_	Global	
N7:196			nit am
N7:197			nl am
N7:198			sta d am
N7:199	AM	Global	am
O:1.0			SALIDA VALVULA UNIDADES INGENIERIA
O:1.1			SALIDA VALVULA UNIDADES INGENIERIA
PD9:0/AM			A/M PID PD9.1
PD9:0.SPS			SET POINT
PD9:0.KC			BANDA PROPORCIONAL KC
PD9:0.TI			BANDA INTEGRAL
PD9:0.TD			BANDA DERIVATIVA
PD9:1/AM			A/M PID PD9.1
PD9:1.SPS			SET POINT CONTROL DE NIVEL
PD9:1.KC			BANDA PROPORCIONAL
PD9:1.TI			BANDA INTEGRAL
PD9:1.TD			BANDA DERIVATIVA
S:0			Arithmetic Flags
S:0/0			Processor Arithmetic Carry Flag
S:0/1			Processor Arithmetic Underflow/ Overflow Flag
S:0/2			Processor Arithmetic Zero Flag
S:0/3			Processor Arithmetic Sign Flag
S:1			Processor Mode Status/ Control
S:1/0			Processor Mode Bit 0
S:1/1			Processor Mode Bit 1
S:1/2			Processor Mode Bit 2
S:1/3			Processor Mode Bit 3
S:1/4			Processor Mode Bit 4
S:1/5			Forces Enabled
S:1/6			Forces Present
S:1/7			Comms Active
S:1/8			Fault Override at Powerup
S:1/9			Startup Protection Fault
S:1/10			Load Memory Module on Memory Error
S:1/11			Load Memory Module Always
S:1/12			Load Memory Module and RUN
S:1/13			Major Error Halted
S:1/14			Access Denied
S:1/15			First Pass
S:2/0			STI Pending
S:2/1			STI Enabled
S:2/2			STI Executing
S:2/3			Index Addressing File Range
S:2/4			Saved with Debug Single Step
S:2/5			DE-485 Incoming Command Pending
S:2/6			DE-485 Message Reply Pending
S:2/7			DE-485 Outgoing Message Command Pending
S:2/15			Comms Servicing Selection
S:3			Current Scan Time/ Watchdog Scan Time
S:4			Time Base
S:5/0			Overflow Trap
S:5/2			Control Register Error
S:5/3			Major Err Detected Executing UserFault Routine
S:5/4			M0-M1 Referenced on Disabled Slot
S:5/8			Memory Module Boot
S:5/9			Memory Module Password Mismatch
S:5/10			STI Overflow
S:5/11			Battery Low
S:6			Major Error Fault Code
S:7			Suspend Code
S:8			Suspend File
S:9			Active Nodes
S:10			Active Nodes
S:11			I/O Slot Enables
S:12			I/O Slot Enables
S:13			Math Register
S:14			Math Register
S:15			Node Address/ Baud Rate
S:16			Debug Single Step Runq
S:17			Debug Single Step File
S:18			Debug Single Step Breakpoint Runq

Anexo J. HMI



## Anexo K. Evaluación de Propuesta e Instrumentos de Evaluación.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

### ANEXO 1

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

Latacunga Diciembre 21, 2017.

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

De mi consideración:

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional investigativa, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la **VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA** como un mecanismo a la solución del problema planteado en el siguiente tema de investigación: **"EVALUACIÓN DEL CONTROL DE TEMPERATURA EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN"**

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente.

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

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, reading 'José Washington Baquero Portero'.

José Washington Baquero Portero  
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

ANEXO 2

INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

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

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

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

<b>VALIDADO POR:</b>	Nombre: <i>Diace... Gonzalez... Palau</i>		
<b>Área de Trabajo.</b>	<b>Título Profesional.</b>	<b>Cargo u Ocupación.</b>	<b>Año de Experiencia.</b>
<i>CIPA</i>	<i>Ing. Electricista</i>	<i>Docente</i>	<i>33</i>
<b>Observaciones:</b>			
<b>Fecha:</b>	<b>Telf.:</b>	<b>Dirección del Trabajo:</b>	<b>C.I.:</b>
<i>21/12/2017</i>	<i>0984340820</i>	<i>datacunqg</i>	<i>1757070659</i>

*[Firma]*  
VALIDADOR.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

---

**ANEXO 1**

**SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN**

Latacunga Diciembre 21, 2017.

PhD.  
ILIANA ANTONIA GONZÁLEZ PALAU

DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA  
DE COTOPAXI  
Presente

De mi consideración:

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO a utilizarse en la recolección de datos para mi investigación sobre **“EVALUACIÓN DEL CONTROL DE TEMPERATURA EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”**

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

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

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink that reads "José Washington Baquero Portero".

José Washington Baquero Portero  
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

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

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

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

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

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

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

**P** PERTINENCIA

**NP** NO PERTINENCIA

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

**B. Calidad técnica y representatividad**

Marque en la casilla correspondiente:

**O** OPTIMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

---

- B BUENA
- R REGULAR
- D DEFICIENTE

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

**C. Lenguaje**

Marque en la casilla correspondiente:

- A ADECUADO
- I INADECUADO

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



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

---

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

#### Objetivo General

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

#### Objetivos específicos

- Determinar los equipos y elementos que operan en el control de la Temperatura en los procesos de producción de los campos petróleo de la Provincia de Sucumbíos.
- Construir un banco de pruebas para un lazo de control de Temperatura para experimentar los comportamientos de los parámetros de operación en el proceso de separación.
- Definir el punto más óptimo de trabajo para el lazo de control de Temperatura en el proceso de separación de petróleo, mediante la experimentación en el banco de pruebas construido.

### ANEXO 4



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ÍTEMS
<p><b><u>Independiente</u></b></p> <p>Expresa la energía que se puede controlar, la temperatura dentro de un recipiente cerrado.</p>	Portadores energéticos, crudo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Temperatura</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor temperatura PT100, transmisor indicador de presión.	1
	Portadores energéticos agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Temperatura</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor temperatura PT100, transmisor indicador de presión.	2
	Portadores energéticos gas	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Temperatura</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor temperatura PT100, transmisor indicador de presión.	3
	Producción crudo	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Temperatura</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor temperatura PT100, transmisor indicador de presión.	4
<p><b><u>Dependiente</u></b></p> <p>Obtener parámetros de operación eficientes.</p>	Balace energético	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Eficiencia</li> <li>➤ Consumo Eléctrico</li> <li>➤ Factibilidad</li> </ul>	Cálculo / Normas, Modelos matemáticos	5

Elaboración: José Baquero



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

ANEXO 5

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS

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

*[Handwritten Signature]*

VALIDADOR

CC. 1757070655



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

ANEXO 6

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD

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

.....  
VALIDADOR

CC.....



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

ANEXO 7  
LENGUAJE

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

.....  
VALIDADOR

CC.....



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

---

ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Latacunga Diciembre 21, 2017.

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

De mi consideración:

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional investigativa, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la **VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA** como un mecanismo a la solución del problema planteado en el siguiente tema de investigación: **"EVALUACIÓN DEL CONTROL DE TEMPERATURA EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN"**

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente.

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

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, reading "José Washington Baquero Portero".

José Washington Baquero Portero  
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

ANEXO 2

INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

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

3 = MUY SATISFACTORIO      2 = SATISFACTORIO      1 = POCO SATISFACTORIO

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

<b>VALIDADO POR:</b>	Nombre: <i>Victor Luis Llanos Alvarado</i>		
<b>Área de Trabajo.</b>	<b>Título Profesional.</b>	<b>Cargo u Ocupación.</b>	<b>Año de Experiencia.</b>
<i>Electromecánica</i>	<i>Ph.D. Ciencias Técnicas</i>	<i>Docente</i>	<i>13</i>
<b>Observaciones:</b>			
<b>Fecha:</b>	<b>Telf.:</b>	<b>Dirección del Trabajo:</b>	<b>C.I:</b>
<i>21/12/2017</i>	<i>0988978168</i>	<i>Cotopaxi</i>	<i>J712813</i>

*[Firma]*  
VALIDADOR.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

---

ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN

Latacunga Diciembre 21, 2017.

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

De mi consideración:

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO a utilizarse en la recolección de datos para mi investigación sobre **“EVALUACIÓN DEL CONTROL DE TEMPERATURA EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”**

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

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

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, reading 'José Washington Baquero Portero'.

José Washington Baquero Portero  
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

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

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

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

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

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

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

**P** PERTINENCIA

**NP** NO PERTINENCIA

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

**B. Calidad técnica y representatividad**

Marque en la casilla correspondiente:

**O** OPTIMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

---

- B BUENA
- R REGULAR
- D DEFICIENTE

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

**C. Lenguaje**

Marque en la casilla correspondiente:

- A ADECUADO
- I INADECUADO

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



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

---

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

#### Objetivo General

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

#### Objetivos específicos

- Determinar los equipos y elementos que operan en el control de la Temperatura en los procesos de producción de los campos petróleo de la Provincia de Sucumbíos.
- Construir un banco de pruebas para un lazo de control de Temperatura para experimentar los comportamientos de los parámetros de operación en el proceso de separación.
- Definir el punto más óptimo de trabajo para el lazo de control de Temperatura en el proceso de separación de petróleo, mediante la experimentación en el banco de pruebas construido.



ANEXO 4  
MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ÍTEMS
<b><u>Independiente</u></b>  Expresa la energía que se puede controlar, la temperatura dentro de un recipiente cerrado.	Portadores energéticos, crudo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Temperatura</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor temperatura PT100, transmisor indicador de presión.	1
	Portadores energéticos agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Temperatura</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor temperatura PT100, transmisor indicador de presión.	2
	Portadores energéticos gas	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Temperatura</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor temperatura PT100, transmisor indicador de presión.	3
	Producción crudo	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Temperatura</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor temperatura PT100, transmisor indicador de presión.	4
<b><u>Dependiente</u></b>  Obtener parámetros de operación eficientes.	Balance energético	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Eficiencia</li> <li>➤ Consumo Eléctrico</li> <li>➤ Factibilidad</li> </ul>	Cálculo / Normas, Modelos matemáticos	5

Elaboración: José Baquero



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

ANEXO 5

RELACIÓN ENTRE VARIABLES, DIMENSIONES, INDICADORES E ÍTEMS

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

*[Handwritten Signature]*

VALIDADOR

CC. I 712813



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

ANEXO 6

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD

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

*[Handwritten Signature]*

VALIDADOR

CC *T7/28/13*



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

ANEXO 7

LENGUAJE

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

  
.....  
VALIDADOR

CC. J.712813.....



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

---

ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

Latacunga Diciembre 21, 2017.

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

De mi consideración:

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional investigativa, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la **VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA** como un mecanismo a la solución del problema planteado en el siguiente tema de investigación: **“EVALUACIÓN DEL CONTROL DE TEMPERATURA EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”**

Mucho agradeceré seguir las instrucciones que se anexan al presente.

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

Atentamente,

José Washington Baquero Portero  
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

## ANEXO 2

## INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA

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

3 = MUY SATISFACTORIO    2 = SATISFACTORIO    1 = POCO SATISFACTORIO

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

<b>VALIDADO POR:</b>	Nombre: .....		
Área de Trabajo.	Título Profesional.	Cargo u Ocupación.	Año de Experiencia.
Electromecánica	Ing. Mecánico	Profesor	24
Observaciones:			
Fecha:	Telf.:	Dirección del Trabajo:	C.I.:
21/12/2017	0983800156	UTC	1753121940

VALIDADOR.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

---

ANEXO 1

SOLOCITUD A EXPERTOS PARA VALIDACIÓN

Latacunga Diciembre 21, 2017.

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

De mi consideración:

A través del presente expreso un cordial y efusivo saludo, a la vez; conocedor de su alta capacidad profesional, me permito solicitar de la manera más comedida, su valiosa colaboración en la VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO a utilizarse en la recolección de datos para mi investigación sobre **“EVALUACIÓN DEL CONTROL DE TEMPERATURA EN EL PROCESO DE SEPARACIÓN DE PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, EN EL CAMPO PETROLERO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS EN EL AÑO 2016. CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA DETERMINAR Y MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL CONTROL DE LOS PROCESOS DE SEPARACIÓN”**

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

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

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'José Washington Baquero Portero'.

José Washington Baquero Portero  
RESPONSABLE DE LA INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

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

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

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

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

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

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

**P** PERTINENCIA

**NP** NO PERTINENCIA

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

**B. Calidad técnica y representatividad**

Marque en la casilla correspondiente:

**O** OPTIMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

---

- B BUENA
- R REGULAR
- D DEFICIENTE

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

**C. Lenguaje**

Marque en la casilla correspondiente:

- A ADECUADO
- I INADECUADO

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



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

---

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

#### Objetivo General

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

#### Objetivos específicos

- Determinar los equipos y elementos que operan en el control de la Temperatura en los procesos de producción de los campos petróleo de la Provincia de Sucumbíos.
- Construir un banco de pruebas para un lazo de control de Temperatura para experimentar los comportamientos de los parámetros de operación en el proceso de separación.
- Definir el punto más óptimo de trabajo para el lazo de control de Temperatura en el proceso de separación de petróleo, mediante la experimentación en el banco de pruebas construido.



ANEXO 4  
MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	ÍTEMS
<b><u>Independiente</u></b>  Expresa la energía que se puede controlar, la temperatura dentro de un recipiente cerrado.	Portadores energéticos, crudo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Temperatura</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor temperatura PT100, transmisor indicador de presión.	1
	Portadores energéticos agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Temperatura</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor temperatura PT100, transmisor indicador de presión.	2
	Portadores energéticos gas	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Temperatura</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor temperatura PT100, transmisor indicador de presión.	3
	Producción crudo	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ % crudo</li> <li>➤ Temperatura</li> <li>➤ Presión</li> </ul>	Medición / Equipo Transmisor temperatura PT100, transmisor indicador de presión.	4
<b><u>Dependiente</u></b>  Obtener parámetros de operación eficientes.	Balance energético	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Eficiencia</li> <li>➤ Consumo Eléctrico</li> <li>➤ Factibilidad</li> </ul>	Cálculo / Normas, Modelos matemáticos	5

Elaboración: José Baquero



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

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

  
VALIDADOR

CC. 175721940



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

ANEXO 6

CALIDAD TÉCNICA Y REPRESENTATIVIDAD

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

VALIDADOR

CC. 1757121940



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
DIRECCIÓN DE POSTGRADOS

ANEXO 7  
LENGUAJE

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

  
VALIDADOR

CC... 1757121990