

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**PROYECTO DE GRADO**

**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE  
GAS DE LA UNIDAD DE AJUSTE DE PUNTO DE ROCÍO DE LA  
PLANTA SÁBALO DE PETROBRAS BOLIVIA S.A. (Villa Montes,  
Tarija)**

**Por:**

**LIZETH ARAMAYO LOPEZ**

Modalidad de graduación (Ampliación, Optimización y/o Modernización de Plantas Industriales Existentes) presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Química.

Octubre de 2020

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

M.Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozávez

DECANO

Facultad de Ciencias y Tecnología

M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

VICEDECANO

Facultad de Ciencias y Tecnología

**APROBADA POR:**

**TRIBUNAL:**

Ing. Ignacio Edwin Velásquez Sosa

Ing. Ernesto Evaristo Caihuara Alejandro

Ing. Glenn Carlos Eduardo Schulze Molina

El tribunal calificador del presente Proyecto de Grado, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esta responsabilidad de la autora

**Dedicatoria**

A mi querido padre, Ramón Aramayo, que desde el cielo me ilumina para seguir adelante con mis proyectos.

Por su sacrificio y esfuerzo, al haber sido el pilar fundamental para conseguir este sueño, por su guía, cariño, confianza y apoyo incondicional.

### **Agradecimientos**

A Dios y la Virgen, que me iluminan y guían en este camino.

A mi padre, por ser un ejemplo de superación.

A mis tribunales, Ing. Ignacio Velásquez, Ing. Ernesto Caihuara e Ing. Glenn Schulze, por su colaboración en mi formación académica.

A mi tutor, Ing. Hudoy Céspedes, por el tiempo, orientación y guía desinteresada, y al Ing. Carlos Cazón por su apoyo.

A mis amigos y compañeros, por los años compartidos.

**Pensamiento**

La vida no es fácil para ninguno. Debemos tener perseverancia y, sobre todo, confianza en nosotros mismos. Debemos creer que estamos dotados para algo y que esto debe ser alcanzado.

*Marie Curie*

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Pensamiento.....	iv
Resumen.....	v
Abstract.....	vii

## INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES.....	1
Generalidades.....	1
OBJETIVOS.....	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos.....	4
JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO.....	4
Justificación Tecnológica.....	7
Justificación Económica.....	7
Justificación Social.....	7
Justificación Ambiental y de Seguridad.....	7

## CAPÍTULO I

### DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

1.1	DESHIDRATACIÓN DEL GAS NATURAL .....	9
1.1.1	Descripción del proceso de Deshidratación de Gas de la Unidad de Ajuste de Punto de Rocío .....	9
1.1.2	Hidratos .....	11
1.1.3	Técnicas para deshidratar el gas natural.....	16
1.2	MATERIAS PRIMAS .....	21
1.3	LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.....	23
1.4	DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA .....	25
1.5	SERVICIOS AUXILIARES .....	29
1.5.1	Sistema de Venteo y drenajes en Pozos .....	29
1.5.2	Sistema de Inyección de Anticorrosivo en Planta.....	29
1.5.3	Sistema de venteo en Planta.....	29
1.5.4	Sistema de Drenajes de Hidrocarburos en Planta .....	30
1.5.5	Sistema de Drenajes Pluviales en Planta.....	30
1.5.6	Sistemas de Drenajes de Aminas .....	31
1.5.7	Sistema de Propano.....	31
1.5.8	Sistema de Aceite Térmico .....	31
1.5.9	Sistema de Fuel Gas .....	32
1.5.10	Sistema de Generación de Energía.....	33
1.5.11	Sistema de Aire de Instrumentos, Servicios y Arranque.....	33
1.5.12	Sistema de Agua Tratada .....	33
1.5.13	Sistema de Agua de Incendio y Servicios .....	34
1.5.14	Sistema de Agua Potable.....	34
1.6	UNIDAD DE AJUSTE DE PUNTO DE ROCÍO.....	34



1.7	UNIDAD DE REGENERACIÓN MEG.....	39
1.8	OPERACIÓN Y CONTROL.....	43
1.5.1.	Control de caudal, presión y temperatura en los pozos y en la entrada de planta .....	43
1.5.2.	Control de caudal, presión y temperatura en la Unidad de Ajuste de Punto de Rocío.....	43
1.9	ELIMINACIÓN DE EFLUENTES .....	44
1.9.1	Unidad de Tratamiento de Agua de Proceso.....	44

## **CAPÍTULO II**

### **CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

2.1	CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA .....	46
2.1.1	Determinación del contenido de agua en el gas natural.....	46
2.1.2	Estandarización de la Cromatografía del Gas en Base Húmeda.....	51
2.1.3	Tasa de circulación de glicol.....	53
2.1.4	Comparación del flujo de glicol.....	54
2.1.5	Identificación del problema.....	55
2.1.6	Planteamiento técnico propuesto.....	56
2.2	DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS TÉCNICAS DE SOLUCIÓN.....	56
2.3	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN MÁS APROPIADA .....	57
2.4	DEFINICIONES DE CONDICIONES Y CAPACIDAD .....	67
2.4.1	Temperatura del gas de entrada.....	67
2.4.2	Presión del Gas de Entrada .....	67
2.4.3	Caudal de gas de entrada.....	68

2.4.4	Concentración de glicol.....	68
2.5	PROBLEMAS OPERACIONALES.....	68
2.5.1	Descomposición térmica.....	68
2.5.2	Oxígeno en el sistema.....	68
2.5.3	Valores anormales de pH.....	68
2.5.4	Contaminación con sales.....	69
2.5.5	Presencia de hidrocarburos líquidos.....	69
2.5.6	Acumulación de lodos.....	69
2.5.7	Espuma.....	69
2.5.8	Presencia de CO <sub>2</sub> .....	69
2.6	DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS.....	70
2.6.1	Unidad de Ajuste de Punto de Rocío.....	70
2.6.2	Unidad de Regeneración MEG.....	74

### **CAPÍTULO III**

#### **DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN**

3.1	MODELO TERMODINÁMICO.....	77
3.1.1	Ecuación de Estado Peng-Robinson PR.....	78
3.2	CONSIDERACIONES Y SUPOSICIONES TOMADAS PARA REALIZAR LA SIMULACIÓN.....	78
3.3	CONDICIONES DE OPERACIÓN.....	78
3.3.1	Variables de operación actual.....	78
3.3.2	Control de Calidad del Glicol.....	80
3.4	CÁLCULOS PRELIMINARES PARA DETERMINAR LA TASA ÓPTIMA DE CIRCULACIÓN DE MEG.....	85

3.5	DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN.....	86
3.6	DIAGRAMA DE FLUJO CON LOS NUEVOS VALORES OPTIMIZADOS .....	114
3.7	BALANCE DE MATERIA .....	115
3.8	BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA POR EL SIMULADOR .....	134
3.8.1	Balance de materia y energía de la deshidratación del gas .....	134
3.9	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	138
3.9.1	Cálculo de la Eficiencia .....	138

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS ECONÓMICO**

4.1	ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DEL GAS NATURAL.....	141
4.1.1	Cálculo de costo de MEG .....	141

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	CONCLUSIONES .....	143
5.2	RECOMENDACIONES .....	145

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## Índice de Tablas y/o Cuadros

	<b>Páginas</b>
Cuadro 1 Diagrama de Bloques de un Tren de Tratamiento y Acondicionamiento de Gas Natural.....	3
Cuadro I-1 Estación de Compresión .....	26
Cuadro I-2 Proceso de Tratamiento de Gas .....	27
Tabla 1 Producción de Gas Natural de distintos campos hidrocarburíferos de Bolivia (Millones de metros cúbicos al día, MMSMCD).....	6
Tabla I-1 Comparación de las propiedades físicas de los desecantes utilizados para la deshidratación del Gas Natural .....	19
Tabla I-2 Pozos del Campo Sábalo .....	21
Tabla I-3 Propiedades del Monoetilenglicol ( MEG) .....	22
Tabla II-1 Correlación de R, Bukacek para calcular el contenido de agua (W) en el gas .....	46
Tabla II-2 Datos de entrada de la Unidad de Ajuste de Punto de Rocío de la Planta Sábalo, 2019.....	48
Tabla II-3 Cromatografía del Gas de Entrada en Base Seca.....	49
Tabla II-4 Cromatografía del Gas Natural de Entrada en Base Húmeda .....	53
Tabla II-5 Comparación del flujo de glicol en la deshidratación del gas de la Planta Sábalo, 2019.....	55
Tabla II-6 Ponderación de Valores .....	57
Tabla II-7 Calificación de Tecnologías.....	59
Tabla II-8 Llenado y Operación de la Matriz.....	63
Tabla II-9 Llenado y Operación de la Matriz.....	65

Tabla III-1 Variables de Operación Actual de la Unidad de Ajuste de Punto de Rocío .....	79
Tabla III-2 Variables de Operación Actual de la Unidad de Regeneración MEG.....	79
Tabla III-3 Variables de Operación Actual de la Corriente de Propano en el Chiller E-2-A/B.....	79
Tabla III-4 Control de Calidad de Glicol en la Planta Sábalo de Diciembre de 2019	81
Tabla III-5 Fracciones molares y flujos del Gas de Entrada.....	116
Tabla III-6 Flujo molar y fracción molar de C.....	118
Tabla III-7 Flujo molar y fracción molar de J.....	120
Tabla III-8 Fracción molar de las corrientes de salida del separador 1-V-2 A.....	122
Tabla III-9 Flujo molar de cada componente de las corrientes de salida del separador 1-V-2 A .....	125
Tabla III-10 Fracción molar de las corrientes de salida del separador V-7 .....	127
Tabla III-11 Flujo molar de las corrientes de salida del separador V-7 .....	130
Tabla III-12 Resumen Global del Balance de Materia.....	133
Tabla III-13 Comparación de los valores actuales y optimizados del proceso de Deshidratación.....	138
Tabla IV-1 Características del Tambor de MEG .....	141

## Índice de Figuras

	<b>Página</b>
Fig. 1- 1 Estructura de los Hidratos de Gas .....	12
Fig. 1- 2 Hidratos de Tipo I.....	13
Fig. 1- 3 Hidratos de Tipo II .....	13
Fig. 1- 4 Hidratos de Tipo H.....	14
Fig. 1- 5 Diagrama de flujo del proceso de deshidratación por absorción con TEG ..	18
Fig. 1- 6 Ubicación del Bloque San Antonio .....	23
Fig. 1- 7 Localización de la Planta de Gas Sábalo.....	23
Fig. 1- 8 Ductos Existentes y Proyectados en el Departamento de Tarija .....	24
Fig. 1- 9 Distribución de la Planta de Gas Sábalo.....	25
Fig. 1- 10 Lay Out General de la Planta Sábalo.....	28
Fig. 1- 11 Diagrama cualitativo de la Unidad de Ajuste de Punto de Rocío .....	37
Fig. 1- 12 Diagrama de Flujo de la Unidad de Ajuste de Punto de Rocío, con los números y nombres del equipo .....	38
Fig. 1- 13 Diagrama Cualitativo de la Unidad de Regeneración MEG .....	41
Fig. 1- 14 Diagrama de Flujo de la Unidad de Regeneración MEG, con los números y los nombres del equipo.....	42
Fig. 2- 1 Water Content of CO <sub>2</sub> .....	50
Fig. 2- 2 Intercambiador de Calor Gas/Gas .....	70
Fig. 2- 3 Chiller.....	72
Fig. 2- 4 4 Filtro Separador de Gas de Salida .....	72
Fig. 2- 5 Separador de Frío .....	73
Fig. 2- 6 Unidad de Regeneración MEG.....	76

Fig. 3- 1 Muestras de Glicol Rico y Glicol Pobre de los 3 Trenes de Tratamiento de Gas de la Planta Sábalo .....	83
Fig. 3- 2 Determinación de Concentración de Glicol mediante KARL FISHER COULOMÉTRICO .....	83
Fig. 3- 3 Medición de pH del Glico .....	184
Fig. 3- 4 Toma de muestras de Glico .....	184
Fig. 3- 5 Simulación del Proceso de Deshidratación del Gas Natural de un TREN. 102	
Fig. 3- 6 Simulación del Proceso de Regeneración de MEG.....	113
Fig. 3- 7 Diagrama de Flujo del Proceso de Deshidratación del Gas Natural con los nuevos valores de trabajo optimizados .....	114
Fig. 3- 8 Diagrama de la Deshidratación de Gas del Subtren A .....	115
Fig. 3- 9 Balance en el Chiller .....	121
Fig. 3- 10 Separador 1-V-2 A .....	121
Fig. 3- 11 Balance en el Separador V-7 .....	126
Fig. 3- 12 Resumen global del Proceso.....	131

## **Indice de anexos**

Anexo 1 Planta de Compresión

Anexo 2 Propiedades Físicas y Solubilidad del Etilen Glicol

Anexo 3 Composición del Gas, datos VPACyF