



**UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE**  
Laureate International Universities

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A BASE DE  
UTILIZACIÓN DE GAS ASOCIADO DE PETROLEO PARA  
CREACIÓN DE UTILIDAD EN EL LOTE X DE LA  
EMPRESA PETROBRAS ENERGÍA PERÚ S.A.”**

**TESIS**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR:**

**Bach. Víctor Josmar Carrasco Salaverry**

**ASESOR:**

**Ing. Raúl Paredes Rosario**

**TRUJILLO – PERÚ**

**2014**

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>ii</b>
<b>EPÍGRAFE</b> .....	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>iii</b>
<b>LISTA DE ABREVIACIONES</b> .....	<b>iv</b>
<b>PRESENTACIÓN</b> .....	<b>v</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE GRÁFICOS</b> .....	<b>ixiii</b>
<b>ÍNDICE DE ESQUEMAS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ÍNDICE DE FOTOS</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>xvii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>xvii</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Descripción del problema de investigación .....	2
1.2. Formulación del Problema .....	3
1.3. Delimitación de la investigación .....	3
1.4. Objetivos .....	4
1.4.1. Objetivo General .....	4
1.4.2. Objetivos específicos .....	4

---

1.5. Justificación .....	4
1.6. Tipo de Investigación .....	5
1.7. Hipótesis .....	5
1.8. Variables .....	5
1.8.1. Sistema de variables .....	5
1.8.2. Operacionalización de Variables .....	5
1.9. Diseño de la Investigación .....	6
1.9.1. Sujetos de la Investigación: .....	6
1.9.2. Técnicas, Procedimientos e instrumentos. ....	6
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>8</b>
<b>REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>8</b>
2.1. Antecedentes de la Investigación .....	9
2.2. Base Teórica .....	10
2.2.1 Sistemas de Reutilización .....	10
2.2.3. Almacenamiento de hidrocarburos .....	29
2.2.4 Transferencia de flujo incomprensible en tuberías.....	33
2.2.5 Maquinas Térmicas.....	35
2.2.6. Energía eléctrica .....	37
A. Marco Regulatorio .....	37
B. Estructura del Sector .....	38
C. Actividades Involucradas en la Provisión de Electricidad .....	40
D. Análisis del Sector .....	42
E. Proyección de demanda.....	44
2.2.7. Instrumentación Industrial de Fluidos.....	44
2.2.7.1. Elementos de control y transmisión .....	44

---

2.3 Definición de Términos.....	49
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>50</b>
<b>DIAGNÓSTICO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA .....</b>	<b>50</b>
3.1. Descripción general de la empresa .....	51
3.1.1. Misión y Visión .....	53
3.1.2. Productos y Clientes .....	54
3.1.3. Organigrama general .....	56
3.2. Descripción del área objeto de estudio.....	56
3.2.1. Diagrama de Proceso .....	59
3.2.2. Diagrama de flujo de proceso de extracción y producción de petróleo y gas61	
3.2.3. Análisis del proceso .....	62
3.3. Identificación de problemas e indicadores actuales .....	65
3.3.1. Diagrama de Análisis Causa – Efecto.....	67
3.3.2. Resumen de identificación de problemas .....	67
3.3.3. Indicadores actuales y metas proyectadas .....	69
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>73</b>
<b>SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>73</b>
4.1. Diseño de la propuesta de implementación del sistema de generación de energía eléctrica .....	74
4.1.1. Análisis de diseño del sistema propuesto .....	75
4.1.1.1. Captación de gas o Preparación de gas .....	75
4.1.1.2. Almacenamiento de gas .....	78
4.1.1.3. Dimensionamiento de tubería de transferencia de gas.....	86
4.1.1.4 Determinación de flujo energético necesario para central de fuerza..	91
4.1.1.5 Refrigeración de Turbogenerador .....	94

---

4.1.1.6 Distribución de energía Eléctrica a la Red Eléctrica.....	98
4.1.2 Mecanismo P&ID en el sistema de generación de energía eléctrica.....	100
4.1.3 Prototipo de diseño de sistema de generación de energía.....	103
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>	<b>105</b>
<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA .....</b>	<b>105</b>
5.1. Presupuesto de Inversión del proyecto de implementación del sistema .....	106
5.2. Costo Operativo del gas .....	107
5.3. Costo Operativo Fijo del proyecto de implementación .....	109
5.4. Costo de Instalación del sistema de generación de energía eléctrica.....	110
5.5. Costo total de Inversión de la implementación del sistema de generación de energía eléctrica .....	111
5.6 Flujo de caja de la implementación .....	112
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>113</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>113</b>
6.1. Resultados .....	114
6.2. Discusión.....	115
6.3. Indicadores proyectados .....	116
<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>118</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>118</b>
7.1. Conclusiones.....	119
7.2. Recomendaciones.....	120
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>124</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°1: Aprovechamiento total en energía primaria según tipo de carburante ....	16
Gráfico N°2: Producción de Petróleo .....	18
Gráfico N°3: Esquema de Pozo.....	22
Gráfico N°4: Reynolds de los flujos laminar y turbulento en tuberías.....	34
Gráfico N°5: Turbina ciclo abierto y Cerrado.....	36
Gráfico N°6: Ciclo de turbina de gas de Aire – Estándar .....	37
Gráfico N°7: Producción de Energía del Mercado (GWh) .....	43
Gráfico N°8: Participación en la Producción de Energía .....	43
Gráfico N°9: Distribución del gas en tanque horizontal.....	80
Gráfico N°10: Acotación de dimensiones del tanque Horizontal .....	80
Gráfico N°11: Estado del gas en Tanque de Almacenamiento - Horizontal.....	82
Gráfico N°12: distribución porcentual de gas en tanque esférico.....	83
Gráfico N°13: Acotaciones del tanque esféricos .....	83
Gráfico N°14: Estado del gas en Tanque de Almacenamiento .....	85

## INDICE DE ESQUEMAS

<b>Esquema N°1:</b> Diagrama Feedback .....	10
<b>Esquema N°2:</b> Medición de Transmisión.....	44
<b>Esquema N°3:</b> Sistema de Instrumentación .....	45
<b>Esquema N°4:</b> Proceso de control P&ID .....	46
<b>Esquema N°5:</b> Lectura de Lazo Simple .....	47
<b>Esquema N°6:</b> Organigrama general de Petrobras S.A. ....	56
<b>Esquema N°7:</b> Mapa de Procesos de producción de Petróleo y gas en Baterías Colectoras Lote X – Petrobras S.A. ....	60
<b>Esquema N°8:</b> Análisis de Causa efecto de la problemática.....	67
<b>Esquema N°9:</b> Proceso de gas asociado de petróleo desde su extracción hasta sistema de generación eléctrica.....	75
<b>Esquema N°10:</b> Deshidratador de gas (Separador gas – líquido).....	77
<b>Esquema N°11:</b> diagrama de proceso de Preparación de gas.....	78
<b>Esquema N°12:</b> Caída de presión en salida de flujo de tanque de gas.....	89
<b>Esquema N°13:</b> Caída de presión Línea de transferencia de gas.....	90
<b>Esquema N°14:</b> línea de transferencia interna de gas a central de fuerza.....	91
<b>Esquema N°15:</b> Desmineralizador de agua.....	95
<b>Esquema N°16:</b> Torre de enfriamiento en proceso de refrigeración de TG1 .....	97
<b>Esquema N°17:</b> Proceso de Refrigeración para Turbogenerador .....	98
<b>Esquema N°18:</b> Distribución de energía generada por Turbogenerador.....	99
<b>Esquema N°19:</b> Diagrama Unifilar de turbina generadora a Red eléctrica.....	100
<b>Esquema N°20:</b> Control P&ID de cámara de combustión y generación de energía. ....	101
<b>Esquema N°21:</b> Prototipo de diseño del sistema de utilización de gas natural de petróleo para generación de energía eléctrica.....	103

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N°1:</b> Composición del Petróleo .....	13
<b>Tabla N°2:</b> Denominación Química del Petróleo.....	14
<b>Tabla N°3:</b> Estado del Gas Natural.....	27
<b>Tabla N°4:</b> Pesos del gas Natural.....	27
<b>Tabla N°5:</b> Principales usos del Gas Natural .....	28
<b>Tabla N°6:</b> Componentes de la Tarifa Regulada de Energía.....	39
<b>Tabla N°7:</b> Componentes de la Tarifa Regulada de la Provisión de Electricidad.....	42
<b>Tabla N°8:</b> Cuadro de estadística general de Petrobras en el trayecto como empresa energética .....	52
<b>Tabla N°9:</b> Características del deshidratador de gas – líquido .....	76
<b>Tabla N°10:</b> Análisis de gas deshidratado en proceso .....	77
<b>Tabla N°11:</b> Flujo de gas necesario en los días de autonomía.....	79
<b>Tabla N°12:</b> Dimensiones del tanque horizontal para almacenamiento de gas .....	80
<b>Tabla N°13:</b> Volumen Total que se necesitaría en un tanque de almacenamiento Horizontal.....	81
<b>Tabla N°14:</b> Volumen total de Flujo obtenido de las baterías colectoras.....	81
<b>Tabla N°15:</b> presiones del tanque al momento del llenado y en estado vacío.....	82
<b>Tabla N°16:</b> dimensiones del tanque esféricos para almacenamiento de gas.....	83
<b>Tabla N°17:</b> Volumen del tanque esférico.....	84
<b>Tabla N°18:</b> Volumen total para la obtención de número de tanques.....	84
<b>Tabla N°19:</b> número de planchas de acero a emplear.....	84
<b>Tabla N°20:</b> Presiones del tanque en estado lleno y vacío-Tanque Esférico.....	85
<b>Tabla N°21:</b> Densidad del gas natural en condición de operación.....	86
<b>Tabla N°22:</b> Resultado de presión mínima en STP .....	86



<b>Tabla N°23:</b> Resultado de presión máxima en STP.....	87
<b>Tabla N°24:</b> Dimensión de tubería de transferencia de gas en estado de presión máxima .....	87
<b>Tabla N°25:</b> Dimensión de tubería de transferencia de gas en estado de presión mínima .....	88
<b>Tabla N°26:</b> Velocidad de circulación de flujo de gas .....	88
<b>Tabla N°27:</b> Dimensionamiento de tubería acoplada al Tanque.....	89
<b>Tabla N°28:</b> energía consumida por Torre de enfriamiento .....	96
<b>Tabla N°29:</b> Flujo de agua en Torre de enfriamiento .....	96
<b>Tabla N°30:</b> Potencia de Bomba Centrífuga N°1 – Torre de Enfriamiento.....	96
<b>Tabla N°31:</b> Potencia de Bomba Centrífuga N°2 – Torre de Enfriamiento.....	97
<b>Tabla N°32:</b> Energía consumida en la subestación de distribución eléctrica .....	99

## INDICE DE FOTOS

<b>Foto N°1:</b> Batería Colectora de Petróleo .....	25
<b>Foto N°2:</b> Tanque Vertical - Techo fijo o Flotante.....	31
<b>Foto N°3:</b> Tanques esféricos de almacenamiento de gas .....	32
<b>Foto N°4:</b> Tanques horizontales (Cigarro) de almacenamiento de gas .....	33
<b>Foto N°5:</b> Presencia de Petrobras S.A. en el mundo.....	53
<b>Foto N°6:</b> Lote X –Zona de operación de Explotación.....	57
<b>Foto N°7:</b> Colector de Entradas.....	62
<b>Foto N°8:</b> Separadores de Control de Gas.....	63
<b>Foto N°9:</b> Tanques de Almacenamiento de petróleo .....	63
<b>Foto N°10:</b> Calentadores de Flujo .....	64
<b>Foto N°11:</b> Válvula – Indicador de Tratamiento de Gas .....	64
<b>Foto N°12:</b> Quemado de gas.....	65

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro N°1:</b> Producciones mensuales de barriles de petróleo y gas año 2011 .....	58
<b>Cuadro N°2:</b> Producciones mensuales de barriles de petróleo y gas año 2012.....	58
<b>Cuadro N°3:</b> Cuadro Diagnostico del proceso de Funcionamiento de Batería Colectora de hidrocarburo.....	66
<b>Cuadro N°4:</b> Resumen del Diagnóstico de problemática en proceso de producción de baterías colectoras de petróleo-LoteX .....	68
<b>Cuadro N°5:</b> Indicadores actuales.....	70
<b>Cuadro N°6:</b> Metas proyectadas de indicadores .....	72
<b>Cuadro N°7:</b> Cuadro de resultados de propuesta de implementación del sistema...	114
<b>Cuadro N°8:</b> Indicadores proyectados con la implementación del sistema .....	116

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo general el Desarrollo de un Sistema de generación de energía eléctrica en base a la utilización de gas asociado de petróleo obtenido para crear utilidad a la Empresa Petrobras Energía Perú – Piura

El sistema de generación de energía eléctrica a base de utilización de gas asociado se ha diseñado con las mejores condiciones del recurso para evitar inconvenientes en el proceso de generación de energía.

Para la realización de este proyecto se decidió analizar y diseñar a través de métodos y cálculos energéticos – mecánicos del sistema de generación de energía, con la finalidad de crear utilidad a la empresa a través del aprovechamiento del recurso obtenido en los puntos de fiscalización en la producción de petróleo.

El método y cálculos energéticos – mecánicos permitieron dar a conocer la efectividad de la implementación del sistema aprovechando el recurso obtenido en los puntos de fiscalización.

Los resultados que se lograron en este proyecto son:

- Diseñar la instalación del sistema de generación de energía eléctrica a base de utilización de gas asociado de petróleo y la efectividad que genera en su producción de energía.
- Realizar el mecanismo de control en el turbogenerador a través del P&ID que controlaría la entrada de gas la cámara de combustión.
- El análisis económico que se realizó para este proyecto se basó en el programa que se aplica en los proyectos de inversión de petróleo y gas de la superintendencia técnica de petróleo, el cual para este proyecto se considera 5 años para el retorno de la inversión. Se presentan los resultados siguientes:

Inversión total (MM US\$)	8.70
TIR (%)	39.63%
VAN al 20% (MM US\$)	4.016
Precio del gas	2.96

---

## ABSTRACT

This work had as main objective the development of a system of power generation based use of associated petroleum gas obtained to create the utility company Petrobras Energía Perú – Piura.

The power generation system based on associated gas utilization has been designed with the best resource conditions to avoid inconvenience in the process of power generation energy.

For this project it was decided to analyze and design through methods and energy calculations - mechanical system of power generation, with the aim of creating value to the company through the use of the resource obtained at points of control in the oil production.

The method and energy calculations - Mechanical allowed to publicize the effectiveness of system implementation exploiting the resource obtained control points.

The results achieved in this project are:

- Design the installation of electric generation system based on use of associated petroleum gas and effectiveness that generates energy in its energy production.
- Perform the control mechanism in the turbo through the P & ID to control the gas inlet combustion chamber.
- The economic analysis conducted for this project was based on the program that applies to investment projects of oil and gas technical supervision of oil, which is considered for this project five years for ROI . Presented the following results:

Total investment (MM US\$)	8.70
TIR (%)	39.63%
VAN of 20% (MM US\$)	4.016
Cost of gas	2.96

## **NOTA DE ACCESO**

**No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales**

# **REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA**

## BIBLIOGRAFÍA

- **LIBROS:**

[**TEXTO #001**]: MICHAEL J, MORAN; HOWARD N, SHAPIRO. “Fundamentos de la Termodinámica Técnica”. Editora Reverte S.A/España Pág. 507 – 537.

[**TEXTO #002**]: ENRIQUE PARRA IGLESIAS “Petróleo y Gas Natural: Industria, Mercados y Precios”, editora AKAI 2003.

[**TEXTO #003**]: ALFONSO CORNEJO SUNI “Termodinámica I” Editor: Propio

[**TEXTO #004**]: RICHARD W. GREENE, CUERPO DE REDACTORES CHEMICAL ENGINEERING MEGAZINE. “Compresores, Selección, Uso y Mantenimiento”. Editora Mc. Graw – Hill.

[**TEXTO #005**]: P.GERHART, R. GROSS, J. HOCHSTEIN. “Fundamentos de mecánica de fluidos” Editora Addison Wesley Iberoamericana. Segunda Edición.

[**TEXTO #006**]: ANTONIO CREUS SOLÉ. “Instrumentación Industrial”. Editora Alfaomega. Octava Edición.

[**TEXTO #007**]: LELAND BLANK, ANTHONY TARQUIN. “Ingeniería Económica”. Editora Mc. Graw – Quinta Edición.

[**TEXTO #008**]: ARLETTE BELTRÁN BARCO, HANNY CUEVA BELETA- “Ejercicios de evaluación privada de proyecto” Editora Alfaomega - Cuarta Edición

- **INFORME TECNICO:**

[**TEXTO #009**]: Pedro Gómez Rivas “Diseño del sistema de Transferencia de Gas del Pozo 16X Plataforma CX 11 para Generación Eléctrica”, Universidad Nacional de Piura. 2002.

- **DIRECCIONES ELECTRONICAS**

[URL #001]: Monografía enciclopedia libre, Petróleo. Citado 10/04/2013

<http://www.monografias.com/trabajos16/petroleo-peru/petroleo-peru.shtml>

[URL #002]: biblioteca de energía y desarrollo sostenible, Origen del gas y Petróleo. Citado 11/04/2012.

<http://www.energiasur.com/convencionales/HistoriaPetroleoALatina.pdf>

[URL #003]: Infocom, página de información de hidrocarburos a nivel nacional. Gas Natural. Citado: 09/04/2013

<http://r0.unctad.org/infocomm/espagnol/gas/descripc.htm>

[URL #004]: Globedia. Biblioteca virtual. Origen del petróleo y gas en el Perú. Citado 11/04/2012

[http://pe.globedia.com/\\_106825](http://pe.globedia.com/_106825)

[URL #005]: Wikipedia, Archivo adjunto en enciclopedia libre. Composición del Gas Citado: 15/04/2012

<http://es.scribd.com/doc/31259204/Gas-Natura>

[URL #006]: Biblioteca Virtual de la Universidad Nacional de la Plata-Argentina, Petróleo. Citado: 15/04/2013

[www.ing.unlp.edu.ar/quimica/organica/petroleo.doc](http://www.ing.unlp.edu.ar/quimica/organica/petroleo.doc)

[URL #007]: MINEM, Karen Galarza, “Sector Eléctrico”. Citado: 21/04/2012

[http://www.ratingspcr.com/archivos/publicaciones/SECTORIAL\\_PERRU\\_ELECTRICO\\_201009.pdf](http://www.ratingspcr.com/archivos/publicaciones/SECTORIAL_PERRU_ELECTRICO_201009.pdf)