

**Título: Desarrollo de un método para controlar la presión de succión y de descarga del gas Lift de una unidad de compresión, en plataformas marinas de explotación de petróleo y gas en Talara Perú**

**Autor: Félix Antonio Pérez Rondón**

**Trabajo de grado para optar por el título de Master en Controles industriales**

**Director: Cristhian Manuel Durán Acevedo.**

**Co-Investigador: Aldo Pardo García.**

**Universidad de Pamplona, Pamplona. Colombia**

**Facultad de Ingenierías y Arquitectura**

**Programa de Ingeniería Eléctrica**

**2018**

	<b>ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE</b>	Código	FGA-72 v.01
	<b>GRADO</b>		

**PROGRAMA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**PREGRADO**  **POSTGRADO**

**EL JURADO CALIFICADOR CONFORMADO POR:**

\_\_\_\_\_ / C.C: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ / C.C: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ / C.C: \_\_\_\_\_

**EN SU SESIÓN EFECTUADA EN:**

\_\_\_\_\_ A LAS \_\_\_\_\_ HORAS,  
DEL DÍA \_\_\_\_\_ DEL MES \_\_\_\_\_ DEL AÑO \_\_\_\_\_.

**Terminadas sus deliberaciones, y en cumplimiento de las normas y acuerdos de los órganos de dirección de la Universidad de Pamplona, ha llegado a las siguientes conclusiones:**

**Primera Conclusión: Otorgar la Calificación de: \_\_\_\_\_ (Si aplica)**

**(PARA PREGRADO): EXCELENTE  APROBADO**

**INCOMPLETO**

**(\*PARA POSTGRADO): APROBADO  NO APROBADO**

Al trabajo de grado titulado: Desarrollo de un método para controlar la presión de succión y de descarga del gas Lift de una unidad de compresión, en plataformas marinas de explotación de petróleo y gas en Talara Perú.

**AUTOR: Félix Antonio Pérez Rondón / C.C: 13460348**

**DIRECTOR: Cristhian Manuel Durán Acevedo /C.C:88158632**

**Segunda Conclusión: Emitir los siguientes criterio-.**

No.	DESCRIPCIÓN	RECOMENDAR	
		SI	NO
1.	Recomendar para presentar en eventos.		
2.	Recomendar para publicación.		
3.	Incluir en el fondo bibliográfico de la Universidad de Pamplona.		
4.	Recomendar para ser continuado en otros trabajos.		
5.	Recomendar para patente		
6.	Recomendar continuar como trabajo de maestría		
7.	Recomendar continuar como trabajo de doctorado.		
8.	Recomendar para Meritorio.		
9.	Recomendar para Laureado		

**Otras:** \_\_\_\_\_

Tercera Conclusión: Avalar el cumplimiento del Trabajo de Grado, para optar por el Título de MAESTRIA EN CONTROLES INDUSTRIALES.

Firmas del Jurado Calificador:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**PENSAMIENTO**

*Encomienda a Jehová tus obras; Y tus pensamientos serán  
afirmados.*

*Proverbios: 16-3.*

**DEDICATORIA**

*A mi amada esposa Martha Isabel, y a mis queridos hijos Julián Antonio y Samuel Guillermo, por su apoyo incondicional. Siempre estuvieron en todos los momentos de flaqueza, y con su amor y motivación, lograron que pudiera terminar mi Maestría.*

*A mis queridos Padres: Rosario Rondón (QEPD) y Antonio Pérez, y a mis Hermanos: Nelson Omar – Laura Yolima - Reynaldo - Jesús Alfonso – Beatriz Omaira.*

*Félix Antonio Pérez Rondón*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco primordialmente a Dios, por permitirme obtener este logro tan importante en mi vida.*

*Al Dr. Cristhian Manuel Durán Acevedo, por todo su apoyo, e indicaciones, que como mi Director de Tesis, fueron muy importantes para llegar a terminar la maestría.*

*A la Universidad Santo Tomás y a la Facultad de Ingeniería Mecatrónica, por la oportunidad de ser docente, y luego iniciar estudios de Maestría. A los Doctores Jhon Jairo Gil Peláez y Cesar Hernando Valencia Niño, y a los Ingenieros Reynaldo Claros Lamus, Cesar Augusto Becerra, Edwin González Querubín, Jorge Guillermo Díaz, a la Ingeniera Deisy Carolina Páez, a la Docente Genny Castellanos; por todo su aliento, soporte y gestión.*

*Al personal del departamento de Mantenimiento de la empresa en TALARA PERÚ, por su apoyo técnico, y en especial a los Ingenieros Edwin Mena y Miguel Cañote.*

*A la Universidad de Pamplona, por las oportunidades brindadas, y al MSc. Jorge Luis Díaz, y al Dr. Aldo Pardo García, por todo su apoyo y gestión.*

*Félix Antonio Pérez Rondón*

## RESUMEN

En este proyecto se contempla las bases para la realización de una ingeniería de instrumentación conceptual y de detalle, en procesos industriales donde se midan las variables de presión, flujo, junto con los sistemas de medición, control y seguridad.

Este proyecto consiste en desarrollar un método para controlar la presión de succión y de descarga del GAS LIFT, de una unidad de compresión en plataformas marinas de explotación de petróleo y gas en la ciudad de TALARA – PERU.

También se realiza el respectivo estudio del comportamiento del gas en tuberías y del proceso termodinámico del mismo, buscando el modelo matemático para poder diseñar un controlador óptimo para las condiciones a las que está sometido. Se debe tener en cuenta que estos controladores van a trabajar en condiciones complejas, como es: alta salinidad, cambios de temperatura, contenido de humedad en el medio ambiente, vibración de la plataforma, ruido, calor generado por las máquinas, etc.

Al analizar en qué consisten estos sistemas para la realización de dichos procesos, surge la siguiente pregunta ¿Qué es una ingeniería conceptual y de detalle, como se hace y con qué finalidad?; para dar solución a este interrogante se plantea el diseño metodológico de esta ingeniería, para ello y como base fundamental de este proyecto, es necesario apoyarnos en las normas: ISA (Instrument Society of America), IEC (International Electrotechnical Commission), ISO (International Standard Organization), ANSI (American Institute of Norms.), e IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), y en el estado del arte de las cuatro variables mencionadas anteriormente.

## ABSTRACT

This project provides the basis for the realization of a conceptual engineering and detailed instrumentation on industrial processes which measure the pressure and flow variables with systems for measurement, control and security.

This project consist on the develop a method for controlling the suction and discharge gas lift from compression unit of offshore oil and gas in the city of TALARA - PERU. Also was performed the corresponding study of the behavior of gas pipelines and gas thermodynamic process, looking for the mathematical model to design an optimal controller for the conditions which it is subjected. It is important to say that these drivers will work under complex conditions, such as: high salinity, temperature changes, moisture in the environment, the platform vibration, noise, and heat generated by the machines. By analyzing that these systems to perform these processes, the question arises, what is a conceptual and detailed engineering, How is?, and What is the purpose?; To solve this question, an engineering method was design for this purpose through the necessary basis applied under standards. For examples ISA (Instrument Society of America), IEC (International Electrotechnical Commission), ISO (International Standard Organization), ANSI (American Institute of Norms.) and IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), and the state of the art of the four variables listed above.

## INDICE GENERAL

Capítulo I .....	18
1. Introducción.....	18
1.1. Planteamiento del problema .....	18
1.1.1. Importancia de la investigación desde el punto de vista teórico.....	18
1.1.2. Importancia de la investigación desde el punto de vista práctico.....	20
1.1.3. Naturaleza y planteamiento del problema.....	20
1.1.4. Por la presión de admisión del gas (Estrangulación).....	20
1.1.5. Formulación de la hipótesis.....	21
1.2. Justificación .....	21
1.3. Objetivo General.....	22
1.4. Objetivos Específicos.....	22
Capitulo II .....	23
2.1. El Sistema de producción y el proceso de producción .....	23
2.1.1 Proceso de Producción.....	23
2.2 Capacidad de producción del sistema .....	24
2.3. Métodos de producción: Flujo natural y Levantamiento artificial.....	25
2.3.1. Producción Petrolera.....	26
Capítulo III.....	32
3.1 Descripción del Sistema.....	32
3.2 Descripción del Compresor.....	34
3.2.1 Compresores.....	35
3.2.2 Compresor Reciprocante.....	36
3.2.2.1. Tipos de Compresores Reciprocantes .....	43

3.2.2.2. Comparación entre Compresores Reciprocantes y Centrífugos.....	46
3.2.2.3 Partes del Compresor Reciprocante .....	47
3.2.2.5 Descripción del Proceso de Compresión .....	49
3.2.3. Descripción de los Equipos de la Unidad de Compresión (PN7). .....	50
3.2.3.1. Radiador. ....	51
3.2.3.2. Motor.....	52
3.2.3.3. Compresor.....	53
3.3. Descripción del Sistema de Control.....	54
Capítulo IV.....	56
4. Modelamiento .....	56
4.1. Data obtenida .....	56
4.2 Identificación de la planta.....	56
4.2.1. Datos normalizados.....	57
4.2.2. Aplicación del método de dos puntos de Smith. ....	58
4.3. Modelo del Sistema.....	61
4.3.1. Validación del Modelo. ....	61
Capítulo V .....	63
5. El Controlador.....	63
5.1 Diseño del controlador .....	63
5.2. Sintonización del Controlador .....	63
5.3. Simulación y Validación del Controlador.....	64
Capítulo VI.....	68
6.1 Definición .....	68
6.2 Generalidades – Reseña Histórica .....	68
6.5.1. Allen Bradley. ....	74

6.5.1.1. Historia.....	74
6.5.1.2. Productos.....	75
6.5.1.3. PLC.....	76
6.5.1.3.1. Sistemas de control de altas prestaciones.....	76
6.5.1.3.2. Sistemas de Control Pequeños.....	80
6.5.1.3.3. Sistemas de control Micro y Nano.....	85
6.5.4. Criterios para seleccionar un PLC.....	86
Capítulo VII.....	87
Recomendaciones Y Conclusiones.....	87
Bibliografía.....	90
Anexos.....	93

**Lista de Tablas**

Tabla 1. Constantes de Smith.....	60
Tabla 2. Especificaciones Generales – CompactLogix 1769.....	84

### Lista de Figuras

Figura 1. Esquema Extracción Petróleo en Plataformas Marinas – Gas Lift.....	19
Figura 2. Esquema del Proceso de Producción.....	24
Figura 3. Esquema de pozo surgente. ....	26
Figura 4. Bombeo Mecánico.....	27
Figura 5. Equipo de Gas Lift.....	28
Figura 6. Extracción con Gas Lift.....	28
Figura 7Figura 7. Bombeo Hidráulico. ....	29
Figura 8. Equipo de Plunger Lift .....	30
Figura 9. Bombeo Electrosumergible .....	30
Figura 10. Equipo PCP. ....	31
Figura 11. Plataforma Típica .....	32
Figura 12. Plataforma PN7 – Nivel Intermedio.....	33
Figura 13. Plataforma PN7 – Nivel Superior.....	34
Figura 14. Compresores Reciprocantes. ....	34
Figura 15. Tipo de Compresores.....	36
Figura 16. Ciclo Ideal. ....	37
Figura 17. Ciclo Real.....	39
Figura 18. Ciclo Real de Compresión.....	40
Figura 19. Servicios Comunes de Compresores Reciprocantes.....	42
Figura 20. Diferentes Configuraciones de Cilindro para un Sistema de Tres Etapas.....	44
Figura 21. Comparación entre Compresores Reciprocantes y Centrífugos.....	47

Figura 22. Partes de un Compresor Reciprocante.....	47
Figura 23. Diagrama del Flujo de Proceso de un Compresor de Tres Etapas. ....	50
Figura 24. Unidad de Compresión.....	51
Figura 25. Radiador Air X Changer.....	52
Figura 26. Motor Waukesha. ....	53
Figura 27. Compresor Ingersoll Rand.....	54
Figura 28. Datos Obtenidos. ....	57
Figura 29. Datos Normalizados .....	58
Figura 30. Valor de amplitud del 100%.....	59
Figura 31. Ubicación de los dos Puntos.....	60
Figura 32. Validación del Modelo Calculado. ....	62
Figura 33. Controlador en Simulink. ....	64
Figura 34. Respuesta del Controlador.....	65
Figura 35. Simulación del Controlador mejorado.....	65
Figura 36. Salida del Controlador mejorado.....	66
Figura 37. Salida del Sistema con otro valor de set-point. ....	67
Figura 38. Esquema general de un sistema automatizado. ....	69
Figura 39. Evolución histórica de los controladores programables.....	71
Figura 40. Controlador ControlLogix 5580.....	77
Figura 41. Comparación de productos.....	78
Figura 42. Características.....	78
Figura 43. Características Módulos de E/S ControlLogix 1756.....	79
Figura 44. Características Módulos de E/S ControlLogix 1756.....	79

Figura 45. Características Módulos de E/S ControlLogix 1756.Tomado de:  
rockwellautomation.com. Disponible en: <https://ab.rockwellautomation.com/es/programmable-controllers/controllogix/1756-controllers> ..... 80

Figura 46. Características Controladores CompactLogix 5370-1769..... 81

Figura 47. Comparación de productos..... 82

Figura 48. Comparación de productos – Información adicional..... 82

Figura 49. Características Controladores CompactLogix 5380-5069.Tomado de:  
rockwellautomation.com. Disponible en: <https://ab.rockwellautomation.com/es/programmable-controllers/controllogix/5380-controllers> ..... 83

Figura 50. Comparación de productos – Información adicional..... 83

**Lista de Anexos**

Anexo A. Ubicación de Equipos. Instalación Compresor. .... 93

Anexo B. Succión. Instalación Compresor. .... 94

Anexo C. Descarga. Instalación Compresor. .... 95

Anexo D. Gas Combustible. Instalación Compresor. .... 96

Anexo E. Gas de Arranque. Instalación Compresor. .... 97

Anexo F. Drenajes. Instalación Compresor. .... 98

Anexo G. Succión y Descarga. Bomba Welden. .... 99

Anexo H. Válvulas de Seguridad y Venteo. .... 100

Anexo I. Circuito Múltiple de Gas Lift. .... 101

Anexo J. Diagrama del Proceso de Instrumentación P & ID. Cantidad = 4 planos. .... 102

Anexo K. Data Adquirida. .... 106

Anexo L. Tarjeta de Adquisición de Datos – USB 6009. .... 109

## Capítulo I

### 1. Introducción

El avance de la instrumentación y el control de procesos industriales cada día es mayor, puesto que los instrumentos de medición son cada vez más precisos y rápidos, debido al manejo de señales digitales, equipos de última tecnología, y comunicaciones estandarizadas. Con todo esto, los principios de operación de la mayoría de la instrumentación aplicada en el control de procesos han cambiado significativamente, ya que para que el elemento primario interactúe con la variable de proceso es necesario conocer primeramente los principios físicos, eléctricos, hidráulicos y neumáticos básicos con los cuales funcionan dichos sensores y la manera que se adecuan las señales para poder ser transmitidas y manipuladas. Así también; para la lectura de presión, que es la variable de control materia de análisis del presente estudio, se tienen transmisores de presión con transductores de presión de membrana.

#### 1.1. Planteamiento del problema

**1.1.1. Importancia de la investigación desde el punto de vista teórico.** Con los actuales precios del petróleo y del gas, la primicia es optimizar. Hay un objetivo común de todas las empresas perforadoras y explotadoras que es aumentar la producción en sus campos. La pregunta es qué se debe hacer para conseguirlo.

Entre los estudios más comunes es la optimización de los campos mediante el análisis pozo a pozo, en el cual se puede determinar nuevas zonas a perforar o aislar; control de producción de arenas mediante la instalación de rejillas o empaques de grava para futuras completaciones; el rediseño o mejora del actual sistema artificial instalado en cada pozo, tales como el Gas Lift (GL), Bombas Electro-sumergibles, Bombeo Mecánico, Bombas de Cavidad progresiva, Pistón viajero (Plunger Lift), Bombeo Hidráulico entre los más comunes.

En la Figura 1, por medio de un esquema muy general, se puede visualizar como es la extracción del petróleo del lecho marino, utilizando el método artificial con gas Lift.

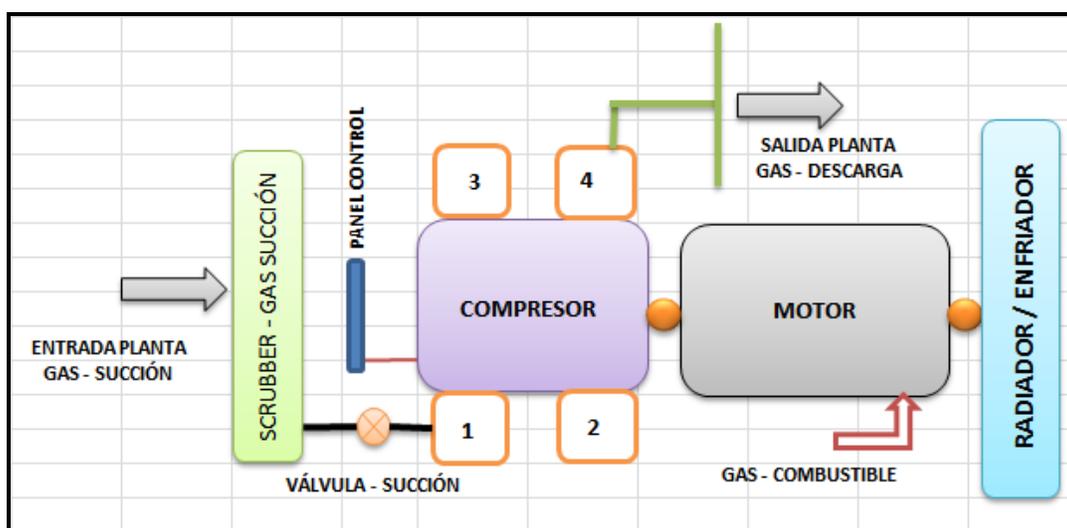


Figura 1. Esquema Extracción Petróleo en Plataformas Marinas – Gas Lift.

Una de las principales variables a optimizar en nuestro caso, es la presión de succión del compresor para el control de la presión de descarga del compresor, obteniendo de esta manera ahorro energético en el volumen de gas.

Actualmente el sistema de control es el siguiente: El operario de planta tiene que informar cuando el equipo o la unidad de compresión se detiene por baja presión de succión o alta presión de descarga, se busca la manera que se tenga la información justa a tiempo para minimizar estas

paradas, así bajamos costos de producción, se tiene un mejor control, mejor tiempo de respuesta y mayor información para sus respectivos análisis.

**1.1.2. Importancia de la investigación desde el punto de vista práctico.** Dependiendo del mecanismo con el cual el reservorio produce, existen estudios que involucran el avance y eficiencia de fluidos de inyección, en nuestro caso el Gas, estos buscan mantener la presión del reservorio e incrementar el factor de recuperación del petróleo que queda remanente en la roca; de esta manera se evita la Disminución del Índice de Productividad en los pozos, y se mantiene la producción estable por un tiempo determinado hasta que el corte de Gas se conifica en las proximidades de las paredes del pozo, disminuyendo el caudal del petróleo que es el objetivo en campos petrolíferos.

**1.1.3. Naturaleza y planteamiento del problema.** El presente trabajo se basa en una investigación “in situ” en una plataforma marina y/o batería en tierra de producción de petróleo. Principalmente muestra las ventajas técnicas y económicas que ofrece la regulación de la presión de gas natural en un compresor reciprocante de dos, tres o cuatro etapas en cualquiera de las siguientes modalidades (o combinación de ellas).

**1.1.4. Por la presión de admisión del gas (Estrangulación).** El trabajo empieza exponiendo las causas del fenómeno de la succión y descargue del gas natural, y en base a datos reales tomados desde campo, con un cuidadoso análisis termodinámico del proceso de compresión del gas natural y analizando los casos de regulación de parámetros propuestos, en el cual se propone la mejor alternativa de solución al problema, determinando la rentabilidad de la

misma desde puntos de vista razonable y optimista. Se busca cual es la mejor opción en la selección de los controladores que trabajen en las condiciones propias que requiere la empresa.

**1.1.5. Formulación de la hipótesis.** ¿Es posible desarrollar un método para controlar la presión de succión y de descarga del compresor de inyección de gas?

¿Este método se puede adaptar y operar óptimamente ante las condiciones adversas del medio que lo rodea?

¿Vale la pena el tiempo dedicado a esta investigación en relación con los resultados esperados?

## **1.2. Justificación**

Durante los últimos años las industrias a nivel suramericano han venido transformándose y reestructurando sus procesos productivos, inclinándose cada vez más a la innovación tecnológica. Como es de esperarse todo proceso industrial requiere de controlar las variables que afecten la calidad del producto y la eficiencia del proceso.

Este trabajo es un aporte a la literatura existente en el área de la explotación de petróleo y gas, específicamente al control de presión en la inyección de gas a través de compresores. Aunque los países industrializados, tienen implementado sistemas de control con alta tecnología, pero a nivel suramericano nos va a permitir avanzar en el desarrollo de este tipo de tecnología y así estar a la vanguardia de la producción mundial.

Los países industrializados ya poseen la tecnología para el control de este tipo de procesos industriales, pero a nivel regional (Latinoamericano) las empresas que trabajan en este

sector, están haciendo un gran esfuerzo para ponerse a la vanguardia tecnológica, es por eso que algunas empresas con recursos propios están invirtiendo para mejorar sus procesos industriales y ser más competitivos a nivel mundial.

### **1.3. Objetivo General**

Desarrollar un método para controlar la presión de descarga del GAS LIFT a partir de la presión de succión, de una unidad de compresión en plataformas marinas de explotación de petróleo y gas.

### **1.4. Objetivos Específicos**

- Realizar el modelado del sistema a controlar, verificando la respuesta de salida con el modelo obtenido.
- Diseñar y desarrollar un sistema de control automático para controlar la presión del gas de succión y por ende se controlará la presión de descarga de la unidad de compresión.
- Simular el sistema de control propuesto, para verificar el buen funcionamiento con los parámetros sintonizados.

## Capítulo II

### 2.1. El Sistema de producción y el proceso de producción

El sistema de producción está formado por el yacimiento, la completación, el pozo y las facilidades de superficie. El yacimiento es una o varias unidades de flujo del subsuelo creadas e interconectadas por la naturaleza, mientras que la completación (perforaciones o cañoneo), el pozo y las facilidades de superficie es infraestructura construida por el hombre para la extracción, control, medición, tratamiento y transporte de los fluidos hidrocarburos extraídos de los yacimientos.

**2.1.1 Proceso de Producción.** El proceso de producción en un pozo de petróleo comprende el recorrido de los fluidos desde el radio externo de drenaje en el yacimiento hasta el separador de producción en la estación de flujo.

En la Figura 2, se muestra el sistema completo con cuatro componentes claramente identificados: Yacimiento, Completación, Pozo, y Línea de Flujo Superficial. Existe una presión de partida de los fluidos en dicho proceso que es la presión estática del yacimiento,  $P_{ws}$ , y una presión final o de entrega que es la presión del separador en la estación de flujo,  $P_{sep}$ .

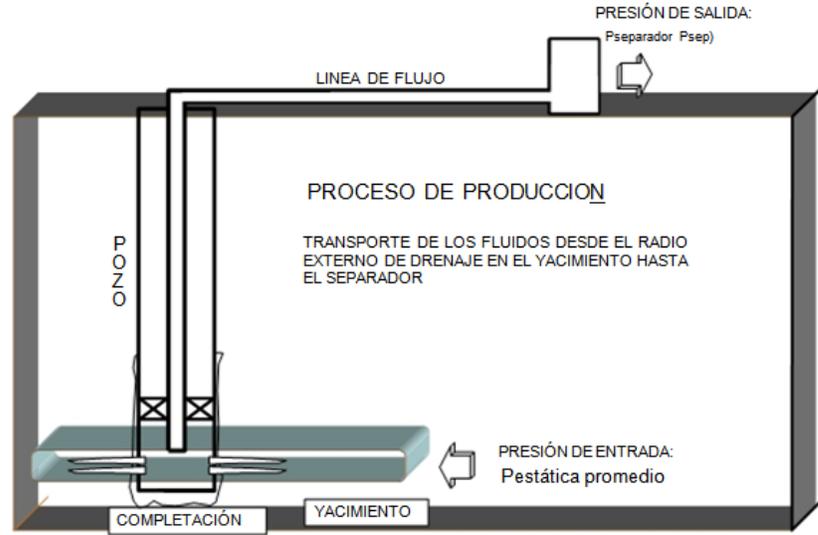


Figura 2. Esquema del Proceso de Producción  
 Tomado de: ESP OIL – Engineering Consultants – “Gas Lift Básico”. Msc. Ricardo Maggiolo.  
 Pág. 13. Seminario Curso Taller. Maracaibo – Venezuela.

## 2.2 Capacidad de producción del sistema

La pérdida de energía en forma de presión a través de cada componente, depende de las características de los fluidos producidos y, especialmente, del caudal de flujo transportado, de tal manera que la capacidad de producción del sistema responde a un balance entre la capacidad de aporte de energía del yacimiento y la demanda de energía de la instalación.

La suma de las pérdidas de energía en forma de presión de cada componente es igual a la pérdida total, es decir, a la diferencia entre la presión de partida ( $P_{ws}$ ), y la presión final ( $P_{sep}$ ):

$$P_{ws} - P_{sep} = \Delta P_y + \Delta P_c + \Delta P_p + \Delta P_l \quad (1)$$

Dónde:

$\Delta P_y = P_{ws} - P_{wfs} =$  Caída de presión en el yacimiento, (IPR).

$\Delta P_c = P_{wfs} - P_w =$  Caída de presión en la completación, (Jones, Blount & Glaze).

$\Delta P_p = P_{wf} - P_{wh} =$  Caída de presión en el pozo. (FMT vertical).

$\Delta P_l = P_{wh} - P_{sep} =$  Caída de presión en la línea de flujo. (FMT horizontal).

Tradicionalmente el balance de energía se realiza en el fondo del pozo, pero la disponibilidad actual de simuladores del proceso de producción permite establecer dicho balance en otros puntos (nodos) de la trayectoria del proceso de producción: cabezal del pozo, separador, etc.

### **2.3. Métodos de producción: Flujo natural y Levantamiento artificial**

Cuando existe una tasa de producción donde la energía con la cual el yacimiento oferta los fluidos, en el nodo, es igual a la energía demandada por la instalación (separador y conjunto de tuberías: línea y eductor), se dice entonces que el pozo es capaz de producir por FLUJO NATURAL.

Cuando la demanda de energía de la instalación, en el nodo, es siempre mayor que la oferta del yacimiento para cualquier tasa de flujo, entonces se requiere el uso de una fuente externa de energía para lograr conciliar la oferta con la demanda; la utilización de esta fuente externa de energía con fines de levantar los fluidos desde el fondo del pozo hasta el separador es lo que se denomina método de LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL.

Entre los métodos de Levantamiento Artificial de mayor aplicación en la Industria Petrolera se encuentran: el Levantamiento Artificial por Gas (L.A.G), Bombeo Mecánico (B.M.C) por cabillas de succión, Bombeo Electro-Centrifugo Sumergible (B.E.S), Bombeo de Cavidad Progresiva (B.C.P) y Bombeo Hidráulico Reciprocante (BHR) y el Bombeo Hidráulico tipo Jet (B.H.J).

El objetivo de los métodos de Levantamiento Artificial es minimizar los requerimientos de energía en la cara de la arena productora con el objeto de maximizar el diferencial de presión a través del yacimiento y provocar, de esta manera, la mayor afluencia de fluidos sin que generen problemas de producción: migración de finos, arenamiento, conificación de agua o gas, etc.

**2.3.1. Producción Petrolera.** En la Figura 3, se puede observar como es el mecanismo de surgencia natural que es el más económico, ya que la energía es aportada por el mismo yacimiento. Los controles de la producción se realizan en la superficie por medio del llamado "árbol de Navidad", compuesto por una serie de válvulas que permiten abrir y cerrar el pozo a voluntad. La surgencia se regula mediante un pequeño orificio cuyo diámetro dependerá del régimen de producción que se quiera dar al pozo.

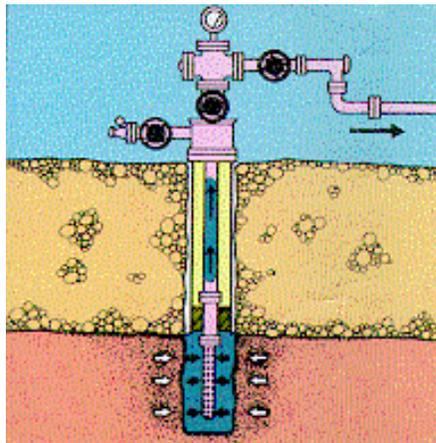


Figura 3. Esquema de pozo surgente.

Tomado de: Petróleo – Ing. Juan Pedro Azcona – Taller / Seminario.

Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos11/pega/pega.shtml>

Cuando la energía natural que empuja a los fluidos deja de ser suficiente, se recurre a métodos artificiales para continuar extrayendo el petróleo. Con la extracción artificial comienza la fase más costosa u onerosa de la explotación del yacimiento.

Tanto para producir un pozo por surgencia natural como por medios artificiales se emplean las mismas tuberías de producción (tubing), en tramos de apróx. 9,45 m. de longitud, unidos por rosca y cupla, y en distintos diámetros, desde 1,66 a 4,5 pulgadas según lo requiera el volumen de producción.

Entre los métodos de extracción artificial se cuentan los siguientes:

a. *El bombeo mecánico:* Ver Figura 4, emplea varios procedimientos según sea la perforación. El más antiguo, y que se aplica en pozos de hasta 2.400 a 2.500 m. de profundidad, es el de la bomba de profundidad: consiste en una bomba vertical colocada en la parte inferior de la tubería, accionada por varillas de bombeo de acero que corren dentro de la tubería movidas por un balancín ubicado en la superficie al cual se le transmite el movimiento de vaivén por medio de la biela y la manivela, las que se accionan a través de una caja reductora movida por un motor. La bomba consiste en un tubo de 2 a 7,32 m. de largo con un diámetro interno de 1 ½ a 3 ¾ pulgadas, dentro del cual se mueve un pistón cuyo extremo superior está unido a las varillas de bombeo. El 80% de los pozos de extracción artificial en la Argentina utilizan este medio. El costo promedio de este equipo asciende a U\$S 70.000 aproximadamente.



Figura 4. Bombeo Mecánico

Tomado de: Petróleo – Ing. Juan Pedro Azcona – Taller / Seminario  
 Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos11/pega/pega.shtml>

b. *Extracción con gas o Gas Lift:* Según Figuras 5 y 6; consiste en inyectar gas a presión en la tubería para alivianar la columna de petróleo y hacerlo llegar a la superficie. La inyección de gas se hace en varios sitios de la tubería a través de válvulas reguladas que abren y cierran al gas automáticamente. Este procedimiento se suele comenzar a aplicar antes de que la producción natural cese completamente.

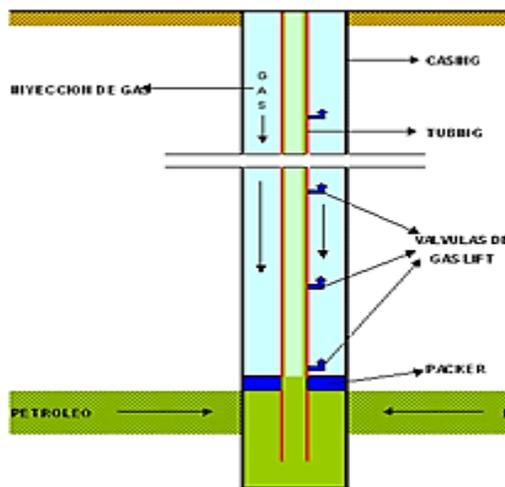


Figura 5. Equipo de Gas Lift.

Tomado de: Osinergmin. Organismo supervisor de la inversión en Energía y Minería.  
 Disponible en: [www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/GFH/1656.htm](http://www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/GFH/1656.htm)

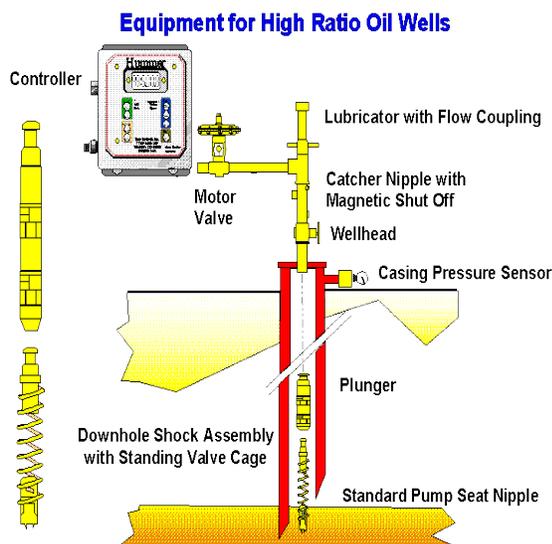


Figura 6. Extracción con Gas Lift.

Tomado de: Petróleo – Ing. Juan Pedro Azcona – Taller / Seminario.  
 Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos11/pega/pega.shtml>

c. *Bombeo con accionar hidráulico:* Una variante también muy utilizada consiste en bombas accionadas en forma hidráulica por un líquido, generalmente petróleo, que se conoce como fluido matriz, según la Figura 7. Las bombas se bajan dentro de la tubería y se accionan desde una estación satélite. Este medio no tiene las limitaciones que tiene el medio mecánico para su utilización en pozos profundos o dirigidos.

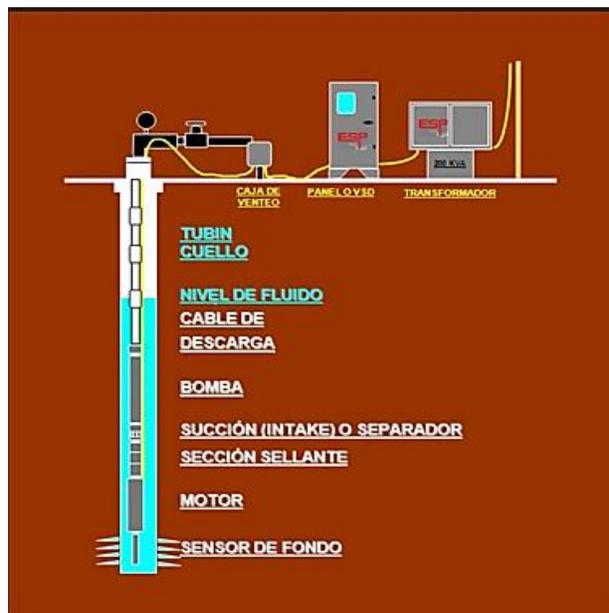


Figura 7. Bombeo Hidráulico.

Tomado de: Petróleo – Ing. Juan Pedro Azcona – Taller / Seminario.  
 Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos11/pega/pega.shtml>

d. *Pistón accionado a gas (plunger lift).* En la Figura 8, se explica cómo un pistón viajero que es empujado por gas propio del pozo y trae a la superficie el petróleo que se acumula entre viaje y viaje del pistón.

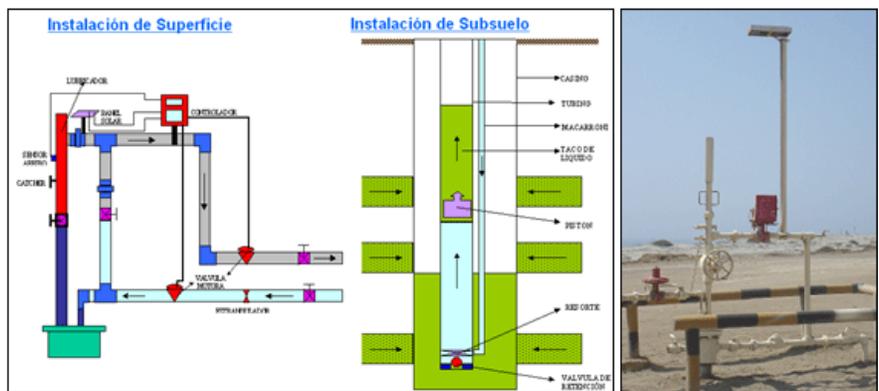


Figura 8. Equipo de Plunger Lift

Tomado de: Osinergmin. Organismo supervisor de la inversión en Energía y Minería.  
 Disponible en: [www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/GFH/1656.htm](http://www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/GFH/1656.htm)

e. *Bomba centrífuga y motor eléctrico sumergible*: Según la Figura 9, se observa, cuando una bomba de varias paletas montadas axialmente en un eje vertical unido a un motor eléctrico, hace la respectiva extracción. El conjunto se baja en el pozo con una tubería especial que lleva un cable adosado, para transmitir la energía eléctrica al motor. Permite bombear grandes volúmenes de fluidos.

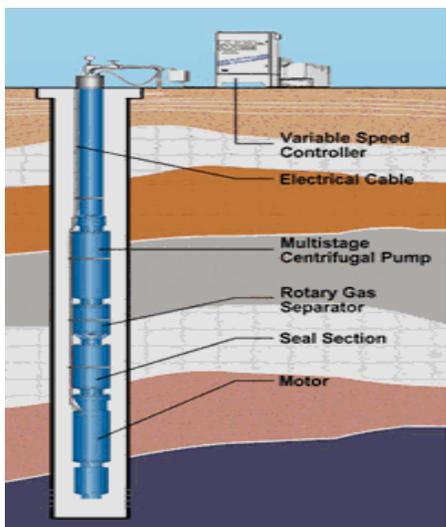


Figura 9. Bombeo Electrosumergible

Tomado de: Petróleo – Ing. Juan Pedro Azcona – Taller / Seminario.  
 Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos11/pega/pega.shtml>

f. Bomba de cavidad progresiva (PCP). Con la figura No. 10 se explica cuando el fluido del pozo es elevado por la acción de un elemento rotativo de geometría helicoidal (rotor) dentro de

un alojamiento semielástico de igual geometría (estator) que permanece estático. El efecto resultante de la rotación del rotor es el desplazamiento hacia arriba de los fluidos que llenan las cavidades formadas entre rotor y estator.

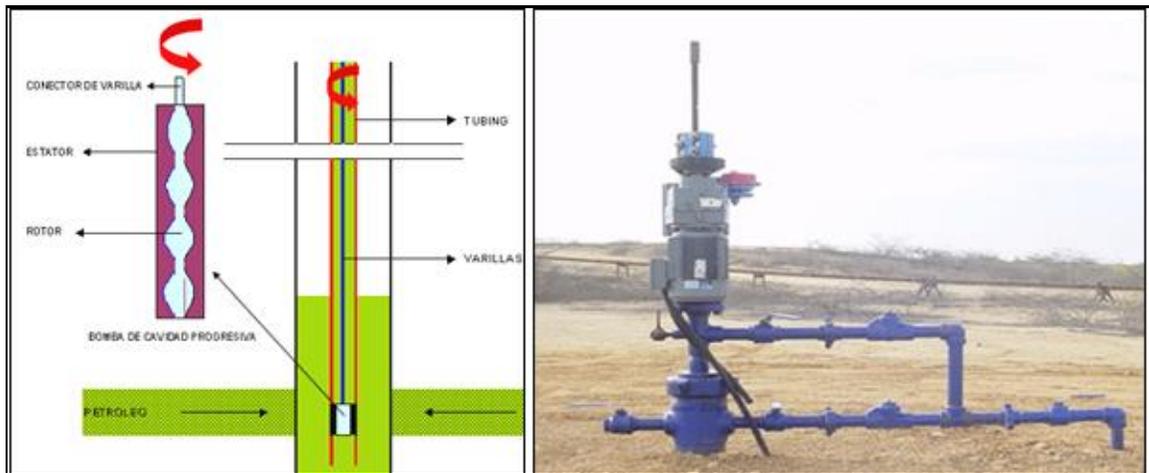


Figura 10. Equipo PCP.

Tomado de: Osinergmin. Organismo supervisor de la inversión en Energía y Minería.

Disponible en: [www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/GFH/1656.htm](http://www.osinerg.gob.pe/newweb/pages/GFH/1656.htm)

### Capítulo III

#### 3.1 Descripción del Sistema

Como toda empresa privada que opera en esta zona del Perú, tiene lotes de concesión para explotación y exploración; actualmente nos interesa una Plataforma marina (Figura 11), para hacer el estudio requerido de nuestro interés en esta Tesis de Maestría.



Figura 11. Plataforma Típica

Todas las plataformas constan de tres (03) niveles, definidos de la siguiente manera:

- *Nivel inferior o Piso de Cabezales:* Es donde se ubican los siguientes equipos tales como: las válvulas de cada pozo, skid manifold de separadores, skid manifold de gas lift, múltiple de distribución de gas de alta, skid de manifold de scrubber de alta, volumeter y tubería.
- *Nivel intermedio o Mesa Inferior:* En la Figura 12, se puede observar el nivel intermedio de la plataforma, y es el lugar donde están localizados los siguientes equipos tales como: hay dos (02) unidades de compresión PN7 #1 y PN7 #2 (Stand by). La unidad PN7 #1 que es la de nuestro interés consta en nuestra empresa, siempre de un (01) radiador, un (01) motor y un (01) compresor, más accesorios como scrubber, válvulas, tubería, etc.



Figura 12. Plataforma PN7 – Nivel Intermedio.

- *Nivel Superior o Mesa Superior:* Tal y como se observa en la Figura 13, es el lugar donde se ubican los siguientes equipos tales como: winche, tanques de almacenamiento para combustible, agua tratada, este nivel tiene pocos equipos.



Figura 13. Plataforma PN7 – Nivel Superior

### 3.2 Descripción del Compresor

En la Figura 14 se ilustra una imagen de los compresores recíprocos, los cuales son máquinas que fundamentalmente se utilizan para elevar la presión de un gas pasando de una presión baja a otra más alta.



Figura 14. Compresores Recíprocos.  
Tomado de: Empresa Hoerbiger Compression Technology – Training Center.

**3.2.1 Compresores.** Son equipos que incrementan la presión de un gas, un vapor o una mezcla de gases y vapores, mediante el desplazamiento de un pistón dentro de un cilindro.

Según la forma de compresión se clasifican en:

a. Compresores de Desplazamiento Positivo:

Son compresores de flujo intermitente, que basan su funcionamiento en tomar volúmenes sucesivos de gas para confinarlos en un espacio de menor volumen; logrando con este efecto, el incremento de la presión. Se dividen en dos grupos recíprocos y rotativos.

b. Compresores Dinámicos:

Son máquinas rotatorias de flujo continuo en la cual el cabezal de velocidad del gas es convertido en presión; estos compresores, se dividen de acuerdo al flujo que manejan en centrífugo (flujo radial) y axiales (flujo axial) y flujo mezclado.

A continuación, se describe a través del siguiente diagrama (Figura 15), cada uno de los tipos de compresores según la forma de compresión:

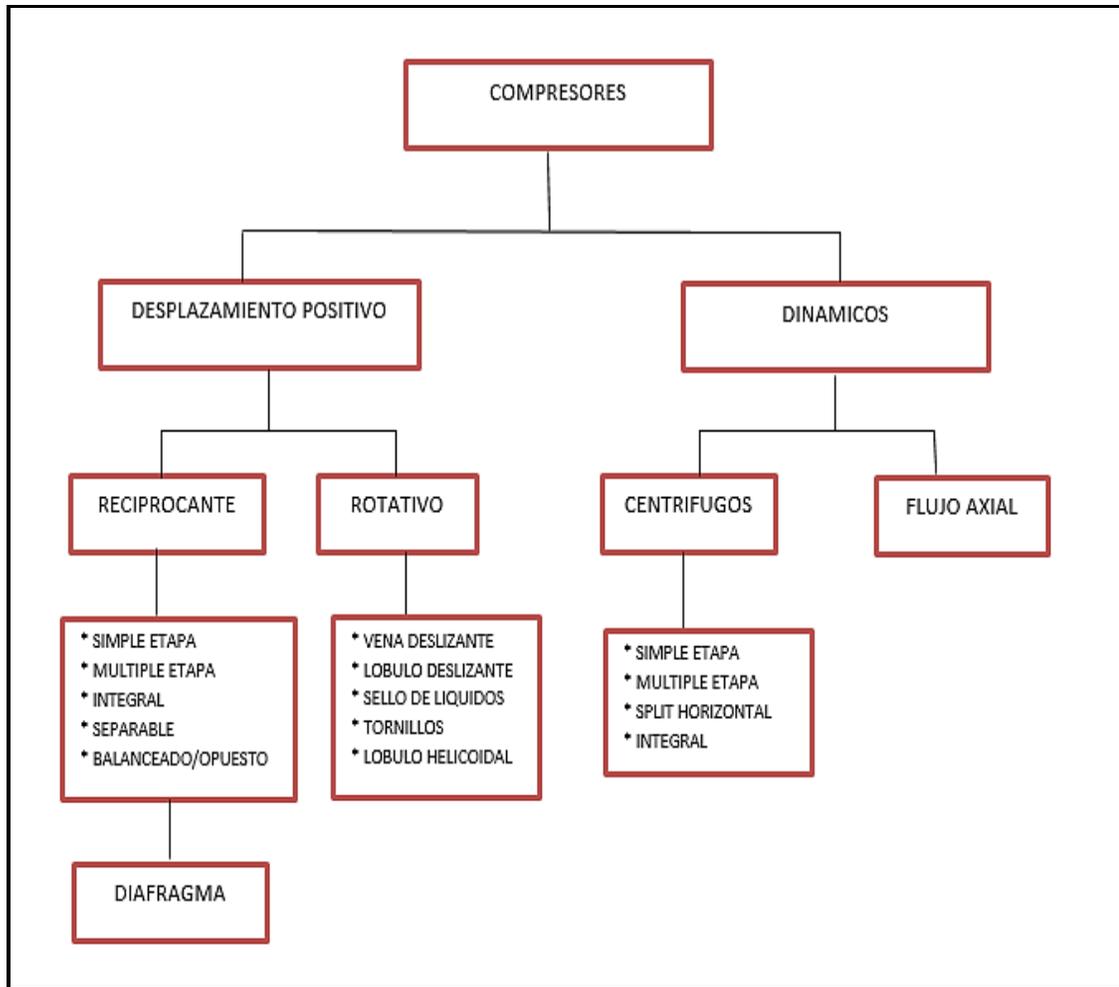


Figura 15. Tipo de Compresores.

Tomado de: Empresa Hoerbiger Compression Technology – Training Center.

**3.2.2 Compresor Reciprocante.** Es un compresor de desplazamiento positivo, en el que la compresión se obtiene por desplazamiento de un pistón moviéndose lineal y secuencialmente de atrás hacia adelante dentro de un cilindro; reduciendo de esta forma, el volumen de la cámara (cilindro) donde se deposita el gas; este efecto, origina el incremento en la presión hasta alcanzar la presión de descarga, desplazando el fluido a través de la válvula de salida del cilindro.

La presión del fluido se eleva reduciendo el volumen específico del mismo durante su paso a través del compresor. A continuación, describiremos el ciclo ideal y el real en un compresor recíprocante, según la Figura 16.

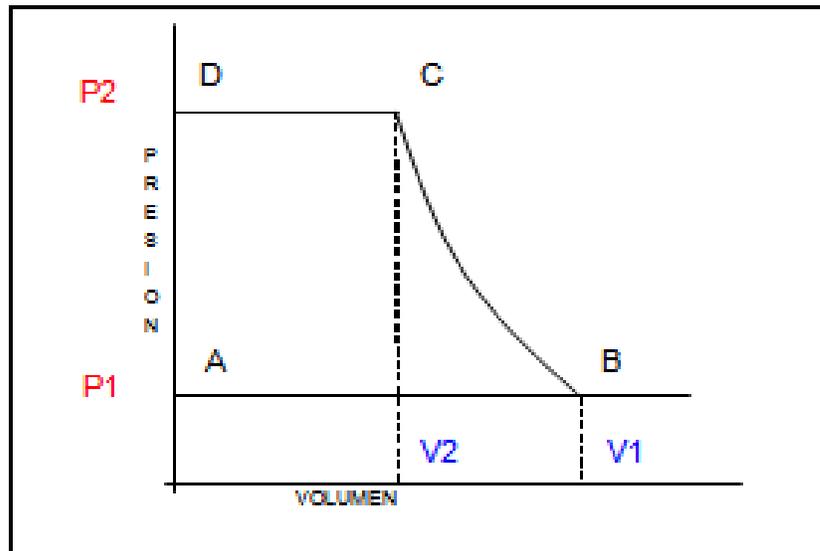


Figura 16. Ciclo Ideal.

Tomado de: Diseño y Cálculo de Compresores – Ing. Pedro A. Gómez Rivas – Taller / Seminario. Disponible en: <https://docplayer.es/6673069-Diseno-y-calculo-de-compresores.html>

Se emplean principalmente en:

1. Transferencia de gas desde pozos productores de baja presión hasta las Plantas de Procesamiento.
2. Comprimir gas para devolverlo a la formación petrolífera con el objetivo de mantener presión o aumentar la presión del yacimiento.
3. Devolver el gas a la formación cuando la empresa desea reducir la proporción gas-petróleo. Algunos estados limitan la cantidad de gas que se puede producir o vender por barril de petróleo producido. Por lo tanto, el propietario de los pozos que producen demasiado gas por barril de petróleo tiene que devolver parte del

gas al yacimiento para obtener más petróleo.

4. Transferir gas para llevarlo al punto de consumo.
5. Aumentar presión en tubería de almacenamiento.
6. Comprimir aire para distintos usos en todas las industrias.

En el ciclo ideal de la compresión, la descarga del gas comprimido es 100%. El vector A-B representa el movimiento del stroke o carrera de succión en el cual el gas empieza a ingresar al cilindro a través de la válvula de succión hasta el volumen  $V_1$  que es el volumen total del cilindro de compresión, durante éste movimiento la presión  $P_1$  permanece constante y es igual a la presión en la succión o tubería de carga al compresor.

En el punto “B”, la fuerza desarrollada por el motor del compresor actúa positivamente y comprime el gas hasta el punto “C” en el cual se alcanza la presión deseada de descarga  $P_2$  y es éste el momento en el cual la válvula de salida se abre permitiendo la transferencia total del gas del cilindro de compresión al sistema en el punto D.

Como asumimos que estamos operando un compresor ideal o perfecto que nos permite hacer una compresión ideal, el punto “D” corresponderá a un volumen de cero cuando se cierran las válvulas de salida. Aquí empieza el retorno del pistón, pasando del punto “D” al punto “A” y de la presión  $P_2$  a la presión  $P_1$  idealmente, ya que al llegar al punto “D”, como el volumen es cero, no habrá moléculas remanentes de gas y la presión, en éste instante, no tendrá ningún valor, luego tan pronto se abran las válvulas de entrada de gas en el punto “A” la presión será la de carga o succión al compresor, “ $P_1$ ”, iniciándose nuevamente el ciclo de compresión.

En la realidad los equipos de compresión no son perfectos, ni se puede pensar en una compresión ideal, por lo que es mejor analizar el ciclo real que sucede en un compresor reciprocante, modelo más conocido en el campo petrolero.

En las figuras de los ciclos ideal (Figura 16) y real (Figura 17), se puede observar claramente las diferencias en diagramas.

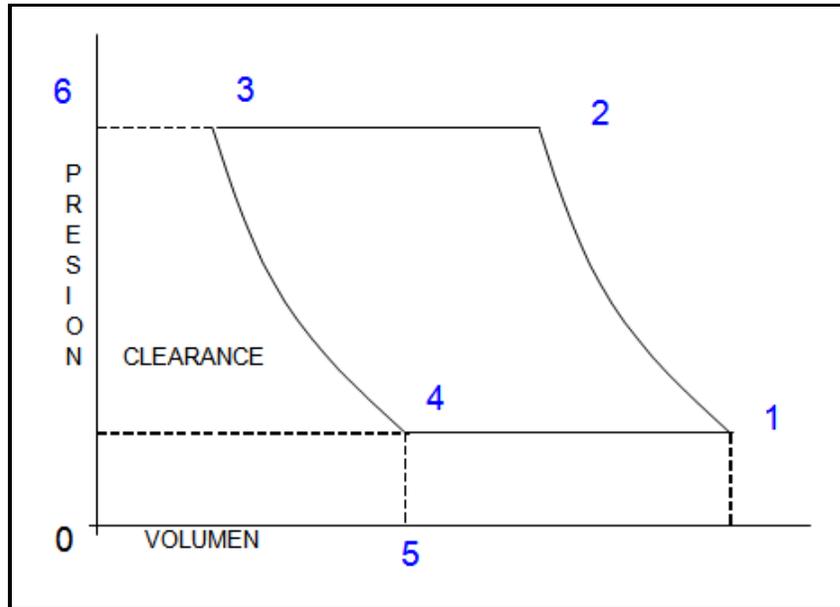


Figura 17. Ciclo Real.

Tomado de: Diseño y Cálculo de Compresores – Ing. Pedro A. Gómez Rivas – Taller / Seminario. Disponible en: <https://docplayer.es/6673069-Diseno-y-calculo-de-compresores.html>

Complementamos la explicación con el gráfico de posición del pistón en cada uno de los puntos del ciclo real de compresión, según Figura 18, donde podemos observar en cualquier compresor recíprocante.

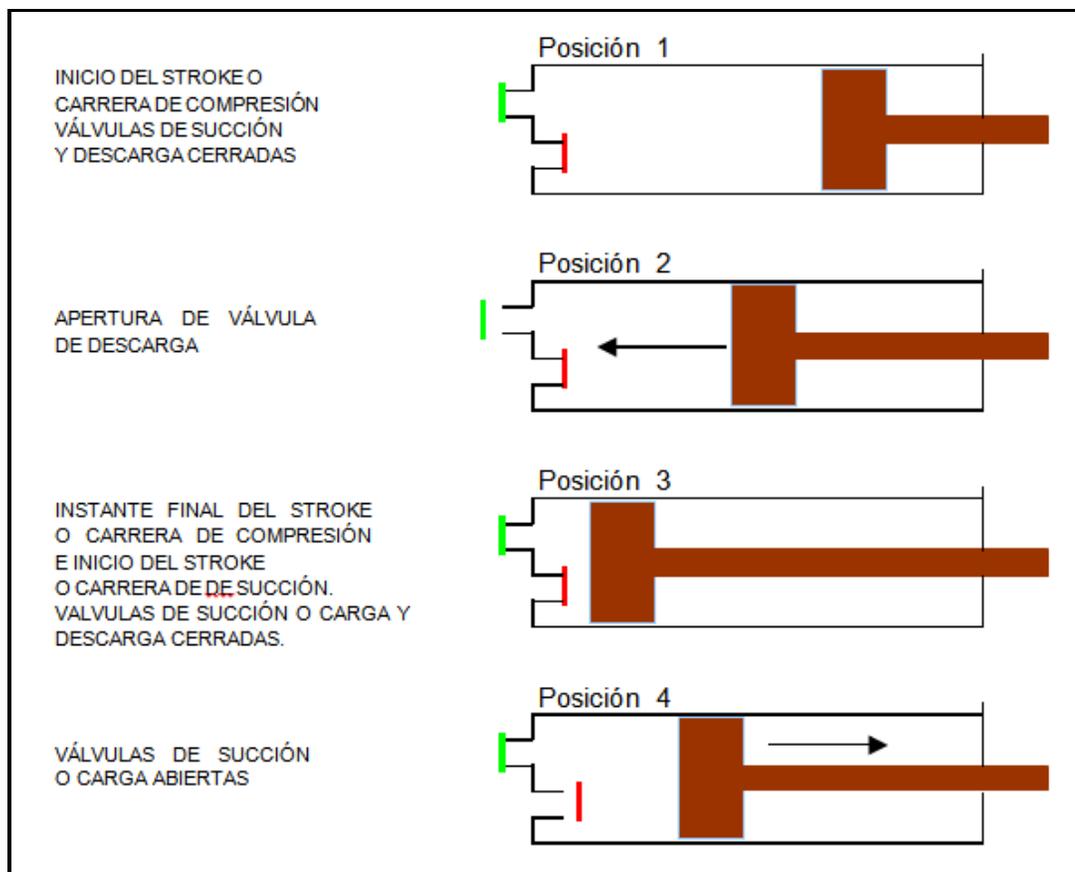


Figura 18. Ciclo Real de Compresión.

Tomado de: Diseño y Cálculo de Compresores – Ing. Pedro A. Gómez Rivas – Taller / Seminario. Disponible en: <https://docplayer.es/6673069-Diseno-y-calculo-de-compresores.htm>

**Posición 1.** Este es el inicio del stroke o carrera de compresión. El cilindro está lleno de gas a la presión de succión. El pistón empieza a desplazarse para llegar a la posición 2, el gas es comprimido por éste desplazamiento del pistón y está representado por el tramo curvo 1-2.

**Posición 2.** En éste punto la presión del cilindro supera en un diferencial a la presión existente en la tubería de descarga. Este diferencial origina la apertura de la válvula de la descarga. La descarga o transferencia de gas continúa hacia la tubería. Esta acción está representada por el tramo 2-3 en el diagrama y por el cambio de posición del pistón desde la posición 2 a la posición 3.

**Posición 3.** En ésta posición, el pistón completó toda la descarga o transferencia del gas

desde el cilindro de compresión hasta la tubería o línea de descarga. En éste instante termina el stroke o carrera de descarga.

Es obvio que el diseño de un compresor no pueda lograr un acoplamiento perfecto de la superficie circular del pistón y el extremo del cilindro, éste es el origen del volumen remanente de gas, el cual recibe el nombre de CLEARANCE VOLUMEN o VOLUMEN MUERTO.

Al empezar el retorno del pistón, la presión dentro del cilindro será mayor que la presión de succión, porque el volumen muerto o volumen clearance está a la presión de descarga, y se irá expandiendo (Ley de Boyle) con la consecuente disminución de presión a lo largo de la curva 3-4, hasta llegar a la presión de succión en el punto 4.

**Posición 4.** En éste punto, al estar la presión del cilindro igual con la presión de succión o de carga al compresor, y empezar el stroke o carrera de succión, se produce la apertura de la válvula de succión permitiendo el ingreso del gas al cilindro. Esta acción está representada por el tramo 4-1.

La compresión del gas natural origina también incremento de temperatura, éste incremento de temperatura hace necesario enfriar el gas para que pase a la siguiente etapa de compresión a la temperatura adecuada.

El cilindro, está provisto de válvulas que operan automáticamente por diferenciales de presión, como válvulas de retención para admitir y descargar gas. La válvula de admisión, abre cuando el movimiento del pistón ha reducido la presión por debajo de la presión de entrada en la línea. La válvula de descarga, se cierra cuando la presión en el cilindro no excede la presión de la línea de descarga, previniendo de esta manera el flujo reverso.

Los compresores recíprocos deben ser alimentados con gas limpio ya que no pueden manejar líquidos y partículas sólidas que pueden estar contenidas en el gas; estas partículas,

tienden a causar desgaste y el líquido como es no compresible puede causar daños a las barras del pistón. La potencia de los compresores recíprocos puede ser de hasta 20000 Hp., y para presiones desde el vacío hasta los 50000 Psi.

Son diseñados de simple y múltiples etapas, que están determinadas por la relación de compresión (relación entre la presión de descarga y succión), que generalmente no excede de 4 por etapa. Los equipos de múltiples etapas deben ser provistos de enfriadores entre etapas, los cuales disminuyen la temperatura del gas hasta valores aceptables por la siguiente etapa de compresión. El enfriamiento, reduce la temperatura y el volumen real del gas que es enviado a los cilindros de alta presión de las siguientes etapas; logrando con esto, reducir la potencia requerida para la compresión y mantener la temperatura debajo de la máxima permisible.

Los compresores recíprocos, se utilizan generalmente para los siguientes servicios indicados en la Figura 19:

Refinería y Petroquímica	Petróleo y Gas
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Amoníaco.</li> <li>* Urea.</li> <li>* Metanol.</li> <li>* Óxido de Etileno.</li> <li>* Polipropileno.</li> <li>* Gas de Alimentación.</li> <li>* Separación de Componentes de Gas Natural.</li> <li>* Almacenamiento de GNL.</li> <li>* Craqueo Catalítico.</li> <li>* Destilación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Levantamiento Artificial.</li> <li>* Reinyección.</li> <li>* Tratamiento de Gas.</li> <li>* Transmisión.</li> <li>* Gas Combustible.</li> <li>* Booster.</li> <li>* Distribución de Gas.</li> </ul>

Figura 19. Servicios Comunes de Compresores Recíprocos.  
Tomado de: J.M. Campell, "Gas Conditioning and Processing", Tomo II.

Sin embargo, existen aplicaciones específicas donde se requiere utilizar compresores recíprocos:

- Altas presiones de descarga, los compresores reciprocantes tienen un amplio rango de presiones mayores que el centrífugo.
- Disponibles para bajos flujos de gas, inferiores al menor flujo de los centrífugos.
- Son mucho menos sensibles a la composición del gas y a propiedades cambiantes que los compresores dinámicos; esta propiedad es muy importante, ya que a medida que un pozo petrolero se agota, el gas pasa de ser un gas rico a un gas pobre; y este cambio afecta a los compresores dinámicos.
- Poseen mayor flexibilidad operacional, ya que con solo cambio en los cilindros o ajuste de los pockets pueden ajustarse a nuevas condiciones de proceso.

### *3.2.2.1. Tipos de Compresores Reciprocantes*

#### **Simple Etapa:**

Son compresores con una sola relación de compresión, que incrementan la presión una vez; solo poseen un depurador interetapa, un cilindro y un enfriador interetapa (equipos que conforman una etapa de compresión) generalmente se utilizan como booster en un sistema de tuberías.

#### **Múltiples Etapas:**

Son compresores que poseen varias etapas de compresión, en los que cada etapa incrementa progresivamente la presión hasta alcanzar el nivel requerido.

El número máximo de etapas, puede ser 6 y depende del número de cilindros; no obstante, el número cilindros no es igual al número de etapas, pueden existir diferentes

combinaciones; como, por ejemplo, si se requiere un sistema de tres etapas, puede utilizarse 3, 4 o 6 cilindros, como se indica en la Figura 20.

Configuraciones Posibles	3 Cilindros (Integral)	4 Cilindros	6 Cilindros
1era. Etapa	1 Cilindro	2 Cilindros	2 Cilindros
2da. Etapa	1 Cilindro	1 Cilindro	2 Cilindros
3era. Etapa	1 Cilindro	1 Cilindro	2 Cilindros

Figura 20. Diferentes Configuraciones de Cilindro para un Sistema de Tres Etapas. Tomado de: J.M. Campell, “Gas Conditioning and Processing”, Tomo II.

El uso de varios cilindros para una etapa de compresión permite la selección de cilindros de menor tamaño, generalmente esto sucede con la primera etapa de compresión.

#### **Balanceado - Opuesto:**

Son compresores separables, en los cuales los cilindros están ubicados a 180° a cada lado del frame.

#### **Integral:**

Estos compresores utilizan motores de combustión interna para transmitirle la potencia al compresor; los cilindros del motor y del compresor están montados en una sola montura (frame) y acoplados al mismo cigüeñal.

Estos compresores pueden ser de simple o múltiples etapas y generalmente son de baja velocidad de rotación 400 – 900RPM. Poseen una eficiencia y bajo consumo de combustible; sin embargo, son más costosos y difíciles de transportar que los separables; a pesar de esto, hay muchas aplicaciones en tierra donde esta es la mejor opción. Tienen mayor rango de potencia 2000 – 13000 BHP que los separables, entre sus ventajas se encuentran:

- a) Alta eficiencia
- b) Larga vida de operación

c) Bajo costo de operación y mantenimiento comparado con los separables de alta velocidad.

**Separable:**

En este equipo, el compresor y el motor poseen cigüeñales y monturas diferentes acoplados directamente. Generalmente, vienen montados sobre un skid y pueden ser de simple o múltiples etapas.

Los compresores reciprocantes separables en su mayoría son unidades de alta velocidad 900 – 1800 RPM que pueden ser accionados por motores eléctricos, motores de combustión interna o turbinas, manejan flujos menores de gas que los integrales y pueden tener una potencia de hasta 5000 HP, entre sus ventajas se encuentra principalmente:

- Pueden ser montados en un skid; son de fácil instalación y transporte y poseen amplia Flexibilidad operacional.

**3.2.2.2. Comparación entre Compresores Reciprocantes y Centrífugos**

Compresores Reciprocantes	Compresores Centrífugos
<b>Ventajas</b>	<b>Ventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Mayor flexibilidad en capacidad de flujo y rango de presiones.</li> <li>* Más alta eficiencia y costo de potencia más bajo.</li> <li>* Son menos sensitivos a la composición de los gases y las propiedades cambiantes.</li> <li>* Presentan menores temperaturas de descarga por su enfriamiento encamisado.</li> <li>* Pueden alcanzar las presiones más altas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Como existe menor rozamiento permite trabajar largo tiempo entre intervalos de mantenimiento (típicamente 3 años), siempre y cuando los sistemas auxiliares de lubricantes y aceites de sellos estén correctos.</li> <li>* Son pequeños y livianos con respecto a su capacidad de flujo, por lo que requieren poca área de instalación.</li> <li>* NO presentan alta vibración.</li> <li>* Costos más bajos por atención y mantenimiento total.</li> <li>* Son requeridos para altos flujos de gas.</li> </ul>
Compresores Reciprocantes	Compresores Centrífugos
<b>Desventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Fundiciones más grandes para eliminar las altas vibraciones por el flujo pulsante.</li> <li>* En servicios continuos se requieren unidades de reserva, para impedir paradas de planta debido a mantenimiento.</li> <li>* Los costos de mantenimiento son 2 a 3 veces más altos que los compresores centrífugos.</li> <li>* Requieren inspección más continua.</li> <li>* Cambios en la presión de succión pueden ocasionar grandes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Eficiencia de 7 a 13% menor que la mayoría de los compresores de desplazamiento positivo.</li> <li>* Son sensibles al ensuciamiento y a los cambios en las propiedades del gas, especialmente en el peso molecular.</li> <li>* Cambios en la presión diferencial aumentan la caída de presión en el sistema y puede ocasionar reducciones muy grandes en el volumen del compresor o Stone wall.</li> <li>* No hay mucha disponibilidad comercial para flujos inferiores a 300 ACFM.</li> </ul>

<p>cargas en las barras del pistón (rod loading).</p>	<p>* El consumo de combustibles de las turbinas es más alto que el de los compresores reciprocantes.</p> <p>* Se requieren de mano de obra especializada.</p>
---	---

Figura 21. Comparación entre Compresores Reciprocantes y Centrífugos.  
Tomado de: J.M. Campell, “Gas Conditioning and Processing”, Tomo II.

### 3.2.2.3 Partes del Compresor Reciprocante

En la Figura 22, se muestra las partes de un compresor reciprocante separable que se definen a continuación:

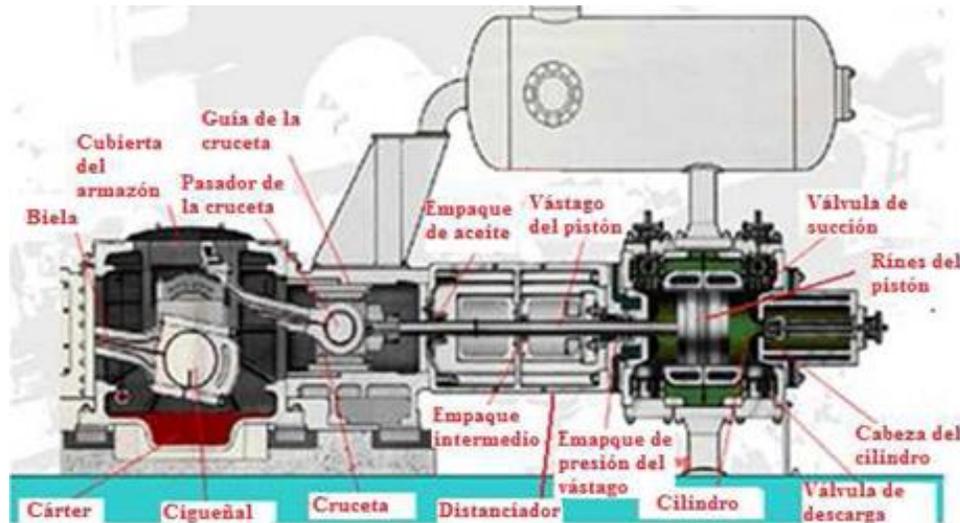


Figura 22. Partes de un Compresor Reciprocante  
Tomado de: Partes de un Compresor Reciprocante. Disponible en:  
<https://www.google.com.co/search?q=partes+de+un+compresor+reciprocante&cad=h>

Montura (frame): La montura de un compresor reciprocante es una estructura fundida, donde van montadas las partes rotativas del compresor como el cigüeñal, en este elemento, se instalan los cilindros en forma cruzada. Son especificadas por los fabricantes en función de: número de cilindros, la potencia que es capaz de transmitir, las cargas a soportar en las barras (rod loading) y al recorrido de los cilindros. Cada montura está diseñada para un número máximo de cilindros, no obstante, no indica el número de etapas del compresor.

- a) Cigüeñal (Crankshaft): Se encuentra instalado dentro de la montura y es el elemento que transmite la potencia del motor hacia las bielas.
- b) Biela: Es el componente que transmite el movimiento rotativo del cigüeñal y lo linealiza para transmitirlo a la barra.
- c) Caja de Lubricación: Es el elemento que separa el cilindro de la montura, cualquier fuga se ventea o se drena a través de éste elemento, contiene la barra que mueve el pistón de adelante hacia atrás y los sellos de laberinto del cilindro.
- d) Cojinetes: La mayoría de los compresores utilizan cojinetes hidrodinámicos, el aceite entra al cojinete a través de los agujeros de suministro, que van perforados estratégicamente a lo largo de la circunferencia del cojinete que suministran y distribuyen formando una película de aceite en el contacto entre las partes móviles y estacionarias.
- e) Sellos: Proporciona el sellado dinámico entre el pistón - la barra y la barra - con la montura, consiste en una serie de anillos de teflón montados en una caja de sellado; la cual es atornillada a el cilindro, la barra se mueve en un movimiento recíprocante a través de la caja de sellos tipo laberinto.
- f) Barra (Rod): Es el componente que conecta el pistón con la biela y transmite el movimiento al pistón, está sometida a los esfuerzos generados durante la compresión del gas (tracción y compresión).
- g) Botellas de Pulsación: Son recipientes que se colocan en la succión y la descarga para minimizar los efectos de la vibración acústica causada por el flujo recíprocante.
- h) Válvulas: Son válvulas de retención tipo check que permiten la entrada y salida de gas al cilindro; en caso de cilindros de doble acción, existen válvulas de succión a ambos lados del cilindro, mientras que en cilindros de simple acción sólo se encuentran en un solo lado. Las

válvulas pueden ser de placa, lengüeta y la más aplicada para gas natural la de discos concéntricos.

### ***3.2.2.5 Descripción del Proceso de Compresión***

El proceso de compresión en múltiples etapas se realiza con el objeto de comprimir el gas en procesos separados; debido a que alcanzan la presión de descarga requerida en una sola etapa, ocasionando un alto trabajo de compresión y altas temperaturas de descarga que conllevan a la falla de los materiales del compresor. Leer varias veces el texto ya que hay algunos errores en algunas frases y descripción o redacción del trabajo

Los equipos de proceso principales que conforman cada etapa son: un separador, el cilindro de compresión y un enfriador. El primer equipo de proceso es el separador, donde se elimina el líquido de la corriente. Luego, el gas pasa al cilindro de la primera etapa, donde alcanza una presión de descarga máxima limitada por la temperatura máxima permisible de descarga (275 - 300°F).

Sucesivamente, al salir el gas del cilindro pasa a un enfriador que disminuye su temperatura hasta aproximadamente la temperatura de entrada de la etapa (120 – 130°F), como el enfriamiento produce condensación de los componentes más pesados del gas, el primer equipo de la siguiente etapa de compresión es un separador para eliminar todo el condensado producto del enfriamiento y evitar la entrada de líquido al compresor. En esta secuencia, el gas pasa por cada etapa hasta alcanzar la presión requerida. En la Figura 23, se muestra el diagrama de flujo del proceso de un compresor de tres etapas. Cuidado con la numeración

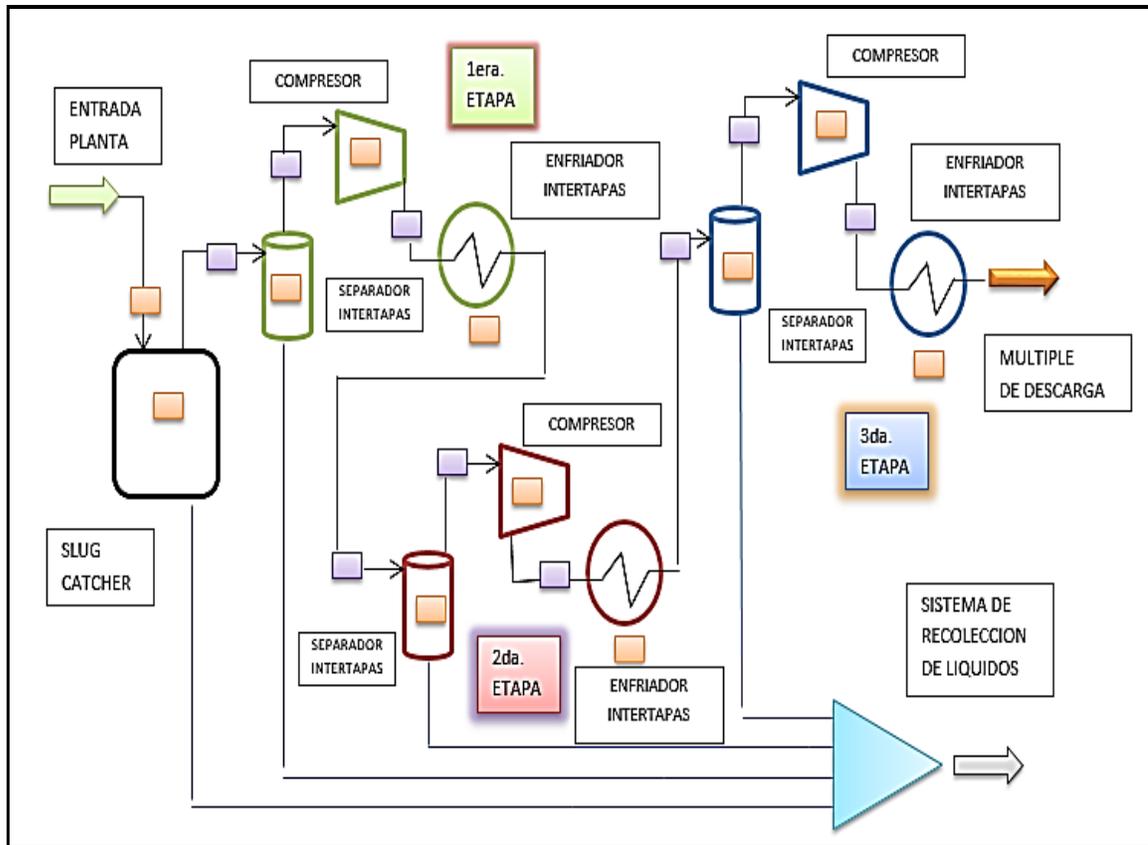


Figura 23. Diagrama del Flujo de Proceso de un Compresor de Tres Etapas.

**3.2.3. Descripción de los Equipos de la Unidad de Compresión (PN7).** En la Figura 24, hay una unidad de compresión conformada por compresor, motor, radiador y accesorios, donde su función principal es tomar gas de succión a baja presión (aproximadamente entre 10 a 20 psi) y comprimirlo para descargarlo a alta presión (dependiendo del número de etapas del compresor, puede oscilar entre 650 psi el de menor etapa, hasta aproximadamente 1250 psi el de mayor etapa), donde parte de ese gas va al reservorio y otra parte va para ventas.

Capacidad Plataforma = 150 barriles por día.



Figura 24. Unidad de Compresión.

**3.2.3.1. Radiador.** En la Figura 25, se observa un tipo de radiador utilizado en plataformas marinas, donde su función principal es refrigerar los fluidos del sistema de la unidad de compresión como el agua y aceite de lubricación.

Casa fabricante = Air X Changer. Modelo = 108 EHS.

Serie = JOB 754037.



Figura 25. Radiador Air X Changer

**3.2.3.2. Motor.** La Figura 26, nos detalla el motor marca Waukesha donde su función principal es mover el compresor. Este motor utiliza gas como combustible, para que opere. También simultáneamente le da movimiento al radiador.

Casa fabricante = Waukesha.

Modelo = L7042 GU.

Serie = 269911.

Potencia = BHP 881.

Velocidad = 1.000 rpm.



Figura 26. Motor Waukesha.

**3.2.3.3. Compresor.** La Figura 27, nos muestra un compresor que se utiliza en esta plataforma marina, y donde su función principal es comprimir el gas de succión que entra a baja presión al sistema y descarga ese gas a una alta presión.

Modelo = 3RDS3 (3 etapas – 3 cilindros). Cilindros = 20.5” X 9.5” X 7”.

Fabricante: Ingersoll Rand. (Dresser). Presión Succión Máxima = 20 PSI.

Serie = YRS – 602. Presión Descarga Máxima = 1.000 PSI.

Capacidad = 3’290.000 pies<sup>3</sup> / día.



Figura 27. Compresor Ingersoll Rand.

### 3.3. Descripción del Sistema de Control

Actualmente en la plataforma PN7, se tiene los siguientes sistemas de control.

Ver los siguientes Anexos, que se relacionan:

Anexo A. Ubicación de Equipos. Instalación Compresor.

Anexo B. Succión. Instalación Compresor.

Anexo C. Descarga. Instalación Compresor.

Anexo D. Gas Combustible. Instalación Compresor.

Anexo E. Gas de Arranque. Instalación Compresor.

Anexo F. Drenajes. Instalación Compresor.

Anexo G. Succión & Descarga. Bomba Wilden.

Anexo H. Válvulas de Seguridad y Venteo.

Anexo I. Circuito de Múltiple de Gas Lift.

Anexo K. Diagrama de Proceso e Instrumentación P&ID. Planos = 4.

## Capítulo IV

### 4. Modelamiento

#### 4.1. Data obtenida

Se utilizó la Tarjeta de Adquisición de Datos USB 6009 ( Anexo L), de National Instruments que tiene la empresa en TALARA PERU, para lo cual el sistema se dejó en lazo abierto (como se explica en detalle posteriormente) y se obtuvieron los resultados en un archivo de Excel, que se encuentran en el Anexo K. Data obtenida en pruebas de campo, el cual posee más de 100 registros obtenidos durante los treinta minutos de la prueba.

#### 4.2 Identificación de la planta

Para identificar la planta se realizó el siguiente procedimiento:

- El sistema se deja en lazo abierto.
- Se espera un tiempo para que las condiciones iniciales se estabilicen.
- Se registra el valor de salida (PSI) durante 30 minutos.
- A los 15 minutos se realiza un pequeño cambio de apertura de la válvula.
- Los datos se almacenan en un archivo de Excel.
- Con la herramienta computacional Matlab se crea una variable para el tiempo y otra para la salida.

En la Figura 28 se ilustra el siguiente resultado:

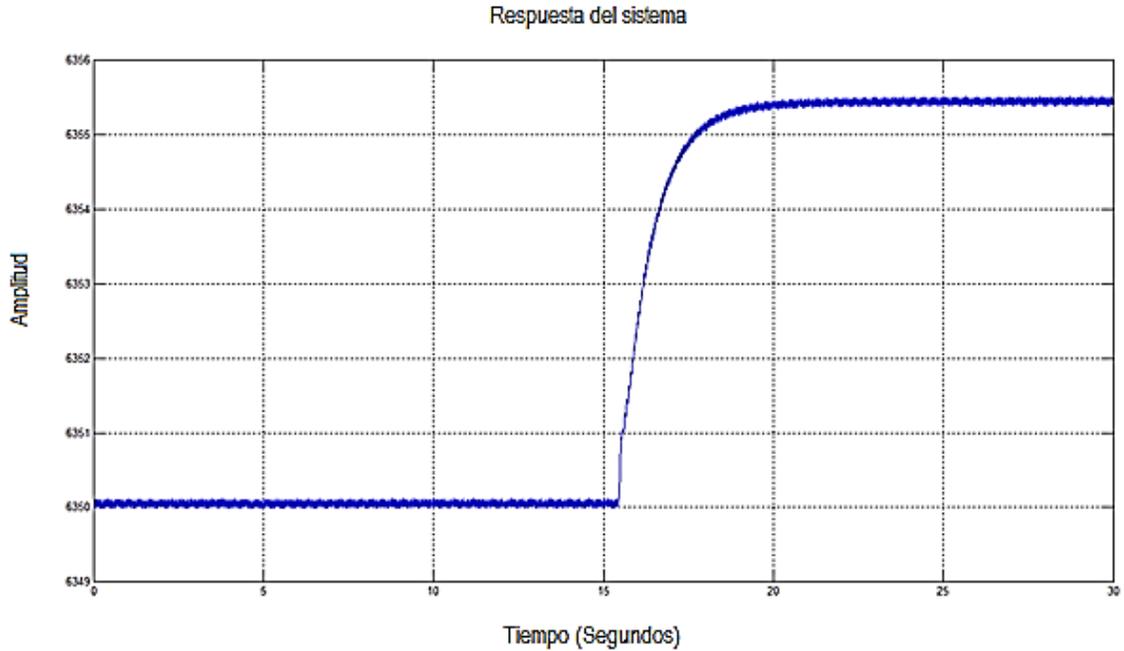


Figura 28. Datos Obtenidos.

Inicialmente se observó el estado de la planta, donde se encontró un valor aproximado de 6350 PSI, y luego a los 15 minutos se realizó la variación a la entrada donde el sistema respondió con una dinámica de tipo sobreamortiguado y se estabilizó en un valor entre 6355 y 6356 PSI.

**4.2.1. Datos normalizados.** Para facilitar los cálculos y análisis de los datos obtenidos se normalizaron los datos adquiridos. En esta data se tienen en cuenta a partir del minuto quince, ya que es el momento en que se varía la entrada y se le quita el nivel de offset, en este caso fue de aproximadamente de 6350 PSI.

Para la normalización, se resta 6350 al eje de la Amplitud y se le quitan los 15 minutos al eje del tiempo, todo esto con el propósito de obtener una figura con el tiempo real de respuesta y son nivel de offset.

En la Figura 29 se muestra el siguiente resultado.

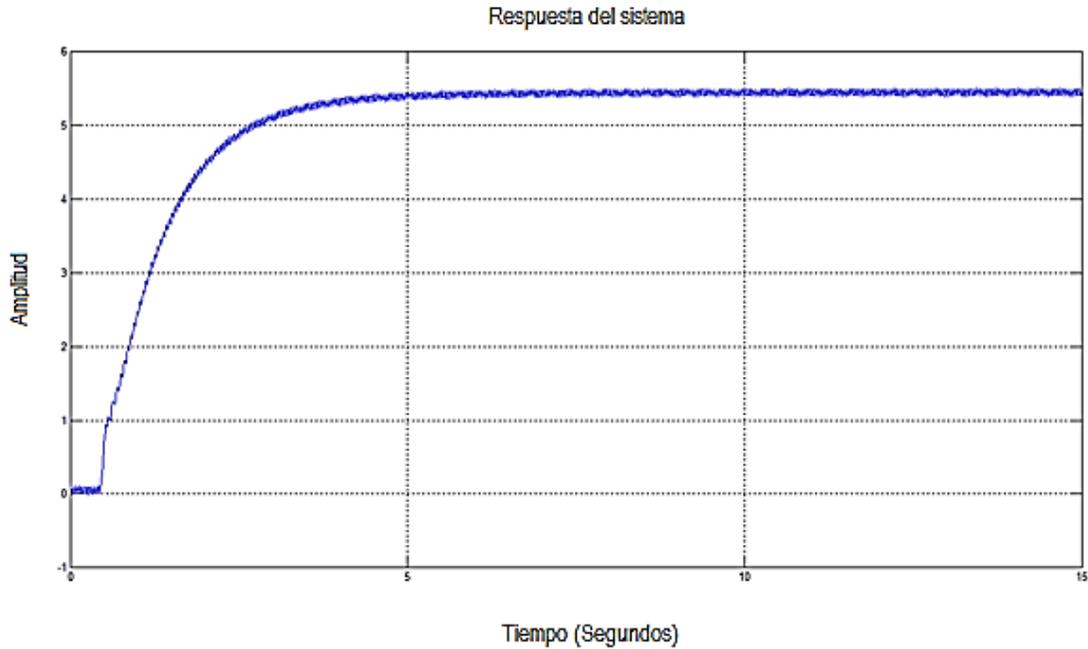


Figura 29. Datos Normalizados

**4.2.2. Aplicación del método de dos puntos de Smith.** Ahora se utiliza el método de identificación de Smith, donde se especifica que se deben ubicar dos puntos, el primero en el 28.3% y el segundo en el 63.2 %. Para calcular cada una de las respectivas amplitudes, gráficamente se analiza el 100 % de su valor estable como se muestra en la siguiente Figura 30:

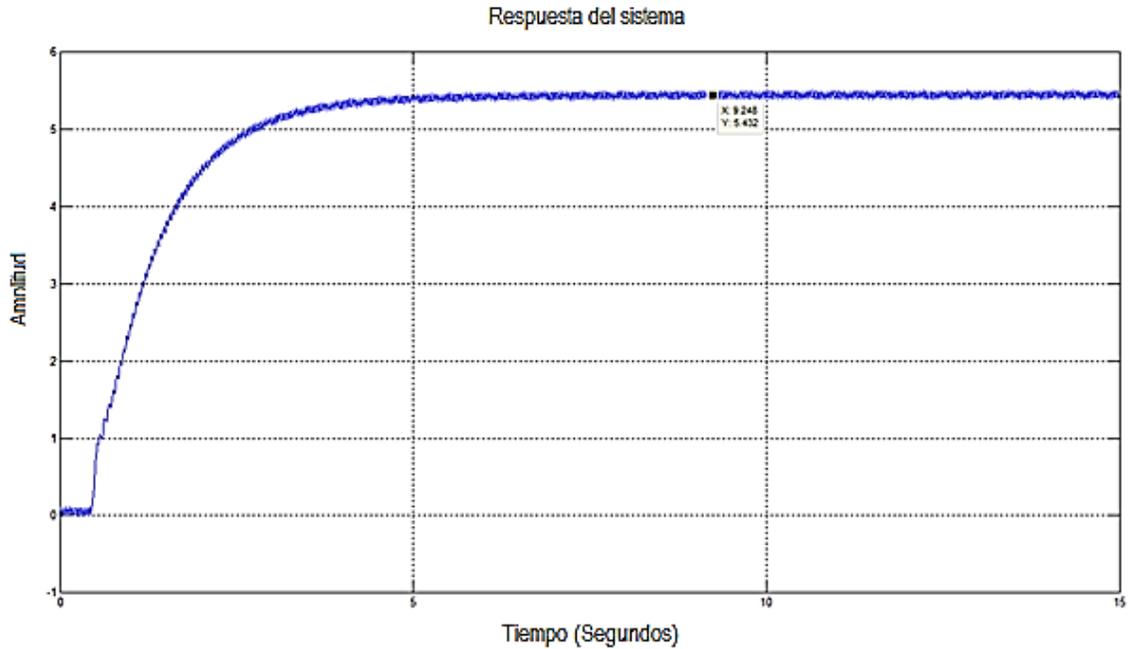


Figura 30. Valor de amplitud del 100%.

De la anterior figura se aprecia que el valor de amplitud del 100% es de 5,432 PSI. Se calculan las dos amplitudes, teniendo en cuenta que  $A_1$  corresponde al 28,3% y  $A_2$  corresponde al 63,2%.

$$A_1 = \frac{(28,3)(5.432)}{100} \text{ Ecuación (1)}$$

$$A_1 = 1,537 \text{ PSI}$$

$$A_2 = \frac{(63,2)(5.432)}{100} \text{ Ecuación (2)}$$

$$A_2 = 3,433 \text{ PSI}$$

En la Figura 31, se ubican los valores más cercanos a estas amplitudes y se registran los respectivos tiempos como se muestra a continuación:

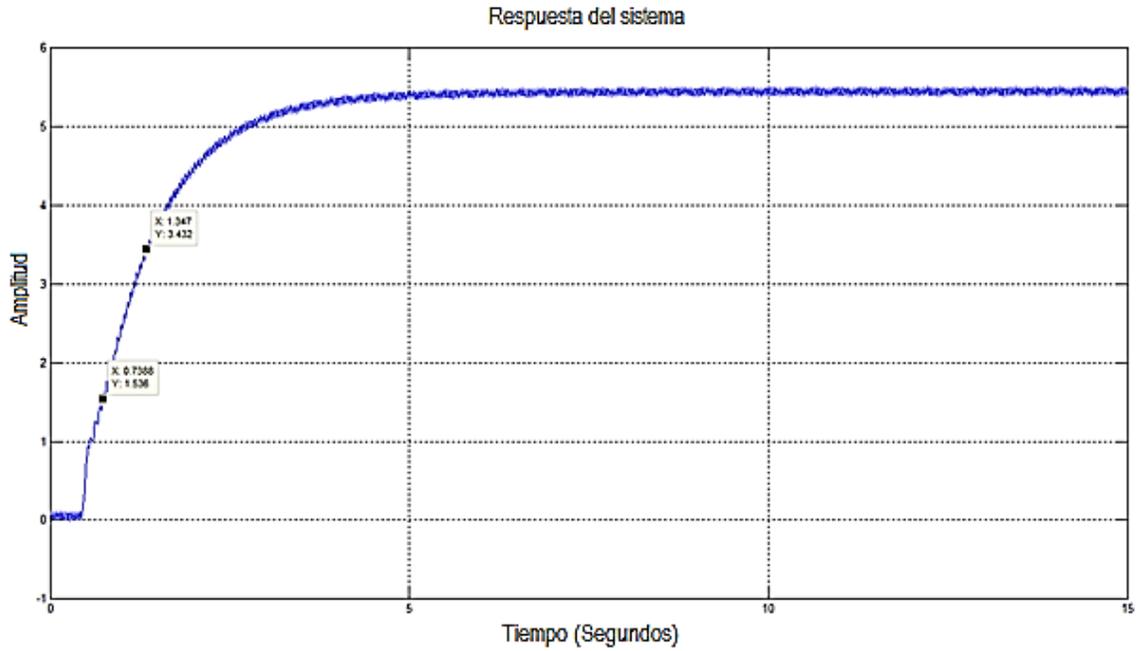


Figura 31. Ubicación de los dos Puntos.

De la gráfica anterior se determina que el tiempo  $t_1$  que corresponde a la amplitud  $A_1$  es igual a 0,7388 y el tiempo  $t_2$  que corresponde a la amplitud  $A_2$  es igual a 1,347:

$$t_1 = 0,7388$$

$$t_2 = 1,347$$

Para determinar el tiempo muerto  $t_0$  y el  $\tau$  del sistema, es necesario utilizar las constantes de Smith:

Tabla 1. Constantes de Smith

a	b	c	d
-1,5	1,5	1,5	-0,5

$$\tau = at_1 + bt_2 \text{ Ecuación (3)}$$

$$\tau = (-1,5)(0,7388) + (1,5)(1,3477)$$

$$\tau = 0,91335$$

$$t_0 = ct_1 + dt_2 \text{ Ecuación (4)}$$

$$t_0 = (1.5)(0.7388) - (0.5)(1.3477)$$

$$t_0 = 0.43435$$

Dado que la data está normalizada, la ganancia del sistema es igual a la amplitud del 100%:

$$K = 5.432$$

### 4.3. Modelo del Sistema

Teniendo en cuenta que un sistema sobreamortiguado se puede expresar como:

$$G(s) = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1} \text{ Ecuación (5)}$$

Reemplazando todos los valores determinados con anterioridad, se concluye que la función de transferencia del sistema es:

$$G(s) = \frac{5.432e^{-0.43435s}}{0.91335s + 1}$$

**4.3.1. Validación del Modelo.** Para validar el modelo, se utiliza Matlab y se grafica encima de la figura No. 32 existente, como se muestra a continuación:

```
>> hold on
>> Gs=tf ([5.432],[0.91335 1])
>> Gs.iodelay = 0.43435
>> step (Gs, 'r')
>> grid
```

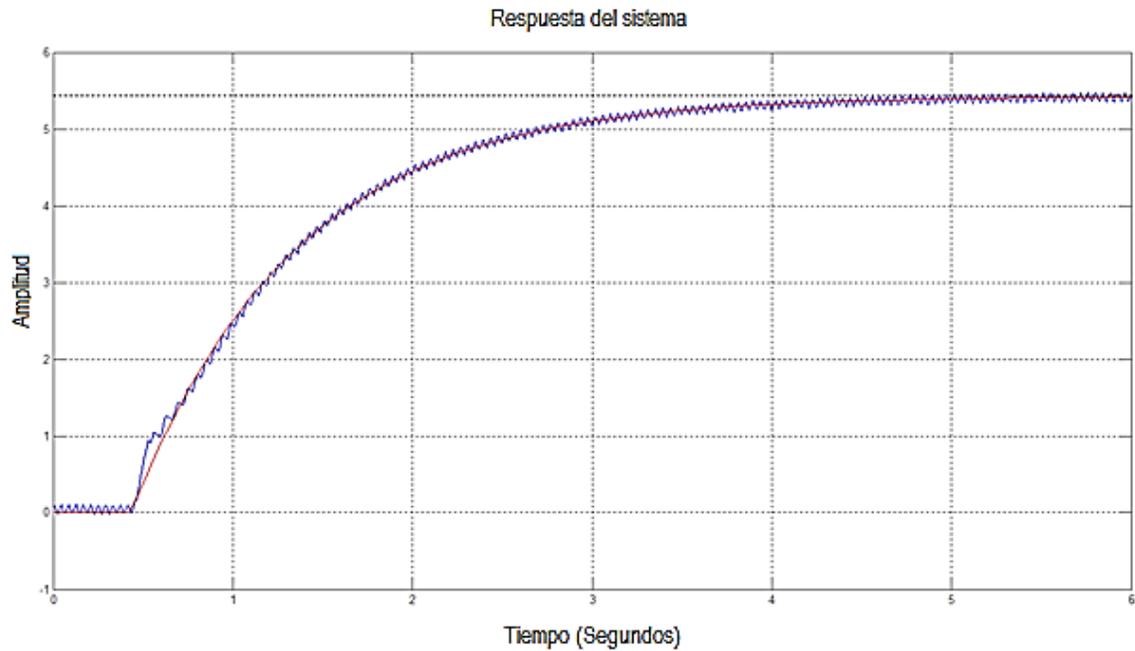


Figura 32. Validación del Modelo Calculado.

De la figura anterior se aprecia en color rojo la función de transferencia calculada y en color azul la data obtenida. Se puede concluir que el modelo calculado si es válido ya que corresponde a la dinámica del sistema y ahora se procede a diseñar un controlador para este sistema.

## Capítulo V

### 5. El Controlador

#### 5.1 Diseño del controlador

Para el diseño se va a implementar un controlador sintético de Dahlin y los parámetros están definidos por:

$$k_c = \frac{\tau}{K(t_0 + t_c)} \quad \text{Ecuación (6)}$$

$$T_i = \tau$$

$$T_d = \frac{t_0}{2}$$

Donde,

$k_c$  es la ganancia proporcional y es un valor ajustable.

$t_c$  es el tiempo de lazo cerrado y por simplicidad puede ser determinado como  $t_0/2$ .

$T_i$  es la constante de tiempo integral.

$T_d$  es la constante de tiempo derivativo. Su valor deber ser cero, si solo se requiere un controlador PI.

#### 5.2. Sintonización del Controlador

Reemplazando los valores se obtiene que:

$$k_c = \frac{0.91335}{5.432(0.43435 + 0.217175)}$$

$$k_c = 1.858$$

$$T_i = 0.91335$$

$$T_d = 0.258,$$

Para la respectiva simulación y validación del controlador se utilizará la expresión:

$$D(s) = k_c \left( 1 + \frac{1}{T_i} \frac{1}{s} + T_d s \right) \text{ Ecuación (7)}$$

### 5.3. Simulación y Validación del Controlador

Inicialmente se realizará un PI, por tanto  $T_d$  es cero. Utilizando Simulink, los bloques quedan distribuidos de la siguiente manera: El step es Unitario.

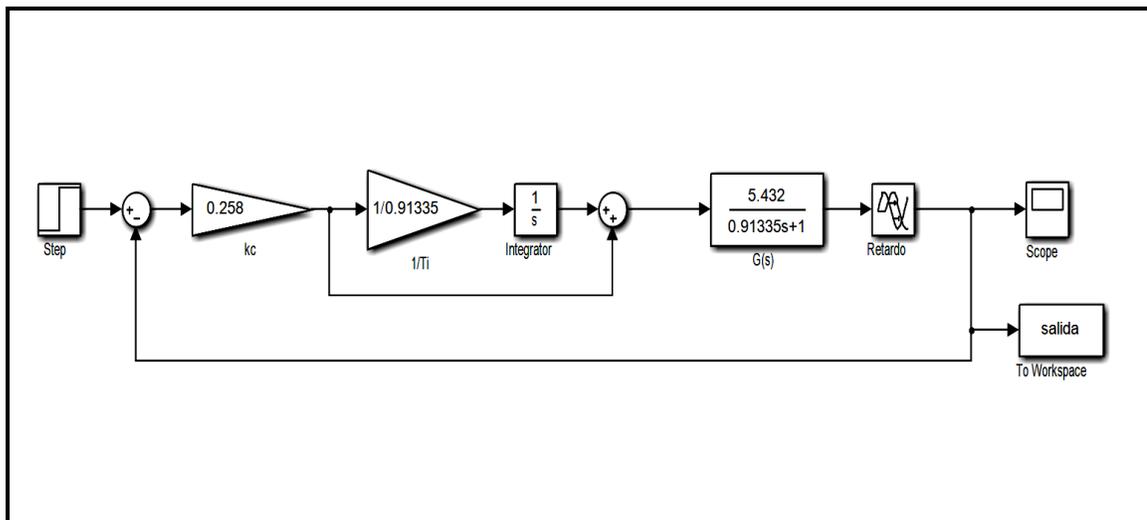


Figura 33. Controlador en Simulink.

Se exporta al Workspace la variable “salida” para ser graficada con la variable de tiempo de simulación “tout” utilizando el comando plot de Matlab, para obtener la siguiente respuesta del sistema de control:

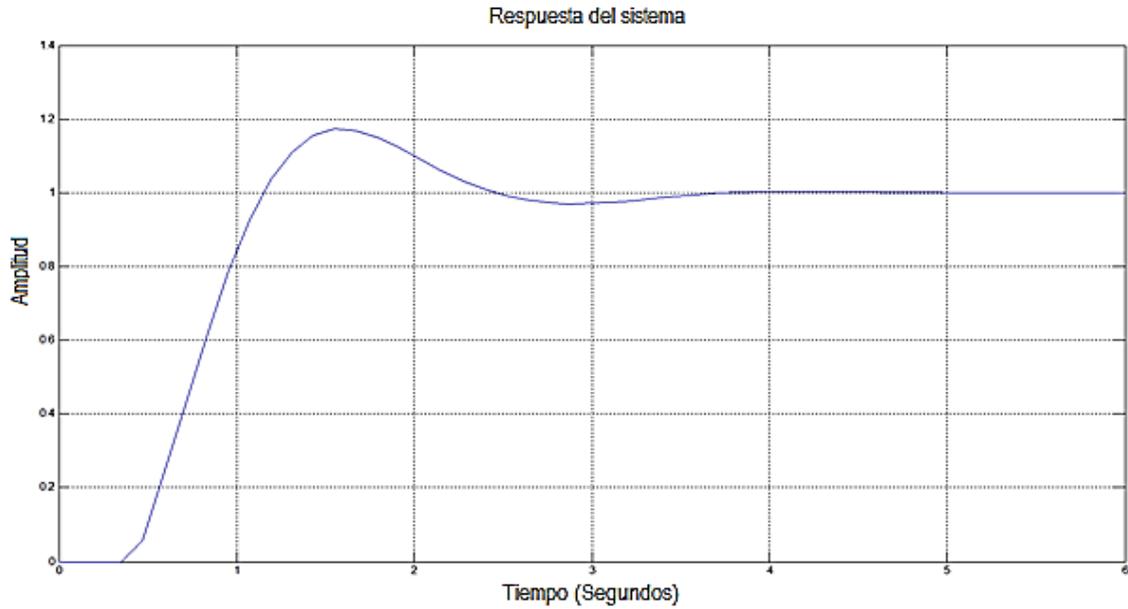


Figura 34. Respuesta del Controlador.

Se observa que el sistema si llega al valor deseado (escalón unitario), pero presenta sobreimpulso, esto no es deseable y por tal motivo se ajusta el valor de la ganancia proporcional, disminuyendo su valor. En la industria se utiliza el criterio  $k_c/2$ , el nuevo diseño en Simulink quedaría:

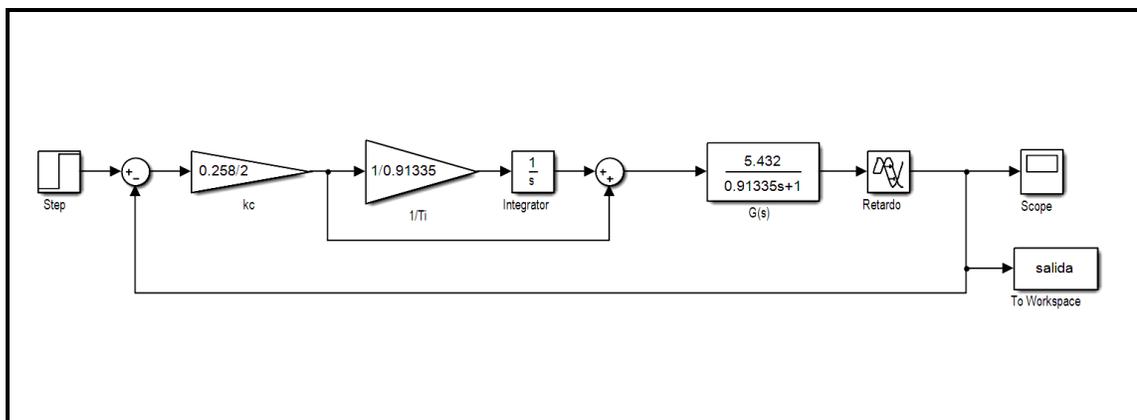


Figura 35. Simulación del Controlador mejorado.

Se exporta al Workspace la variable “salida” para ser graficada con la variable de tiempo de simulación “tout” utilizando el comando plot de Matlab, para obtener la siguiente respuesta del sistema de control:

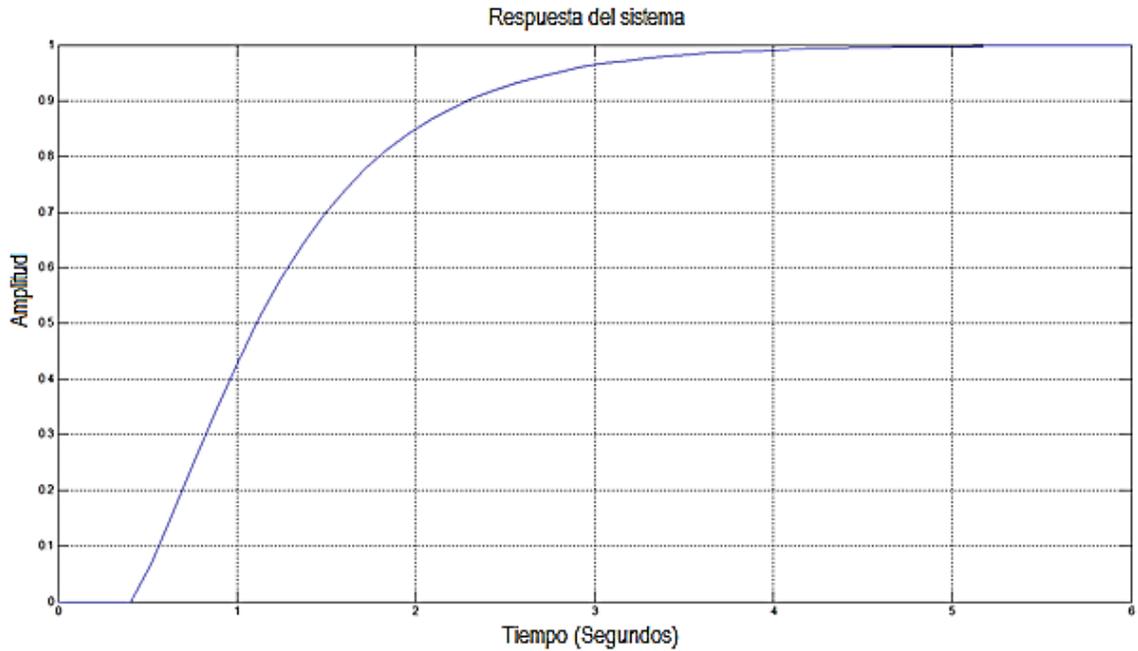


Figura 36. Salida del Controlador mejorado.

Efectivamente el sistema de control responde adecuadamente sin sobre-impulsos. Ahora cambio el valor del set-point a un valor de 7 para corroborar su funcionamiento:

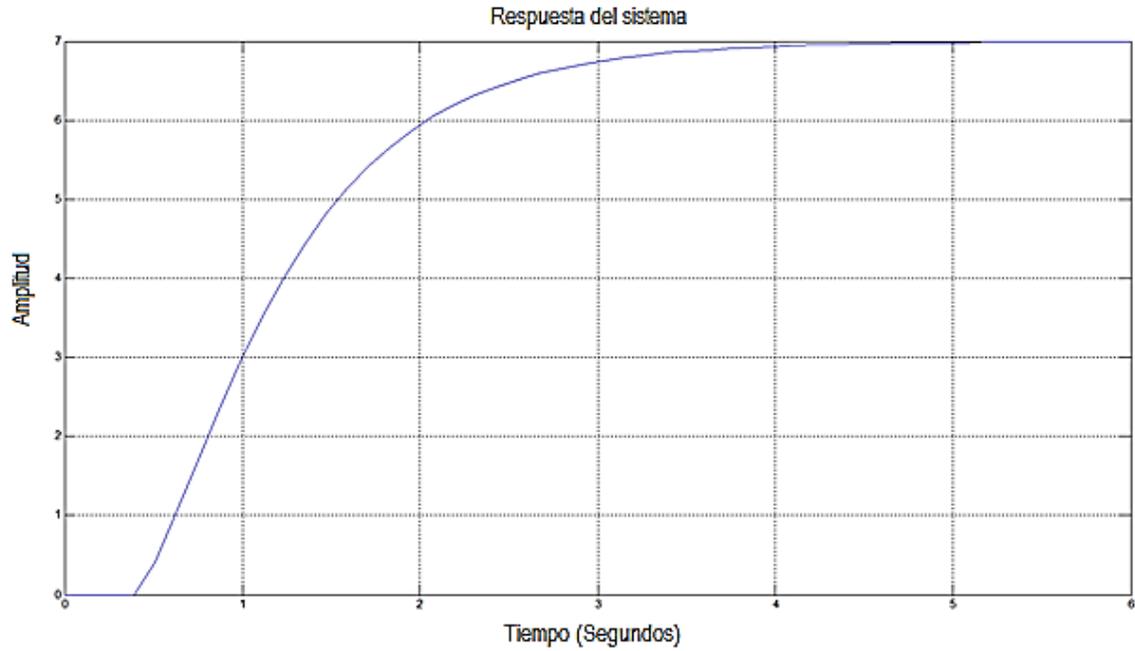


Figura 37. Salida del Sistema con otro valor de set-point.

Se puede concluir que el controlador diseñado PI está correctamente sintonizado, funciona sin problemas y los tiempos de establecimiento son muy similares a la dinámica de la planta.

## Capítulo VI

### 6.1 Definición

Un autómata programable industrial (API) o Programmable Logic Controller (PLC), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial, procesos industriales secuenciales. Un PLC trabaja en base a la información recibida por los sensores y el programa lógico interno, que están actuando sobre los accionadores de la planta industrial. (Facultad Ciencias UASLP – Carlos Canto).

### 6.2 Generalidades – Reseña Histórica

Los sistemas automatizados generalmente están constituidos por tres partes principales, que son: (Ingeniería de Sistemas y Automática – Universidad de Oviedo - España).

- El proceso operativo que se quiere controlar.
- El control que se utiliza, para gobernar el proceso operativo de la manera que se desea o se requiera.
- La supervisión y explotación del sistema que servirá de interfaz entre el operador y el sistema automatizado. Generalmente a esta función se le conoce como HMI “*Human Machine Interface*” o interfaz hombre máquina.

Tener en cuenta, que para tener un correcto intercambio de la información entre las distintas partes que constituyen un sistema automatizado, es necesario tener una serie de líneas de comunicación (serie de interfaces).

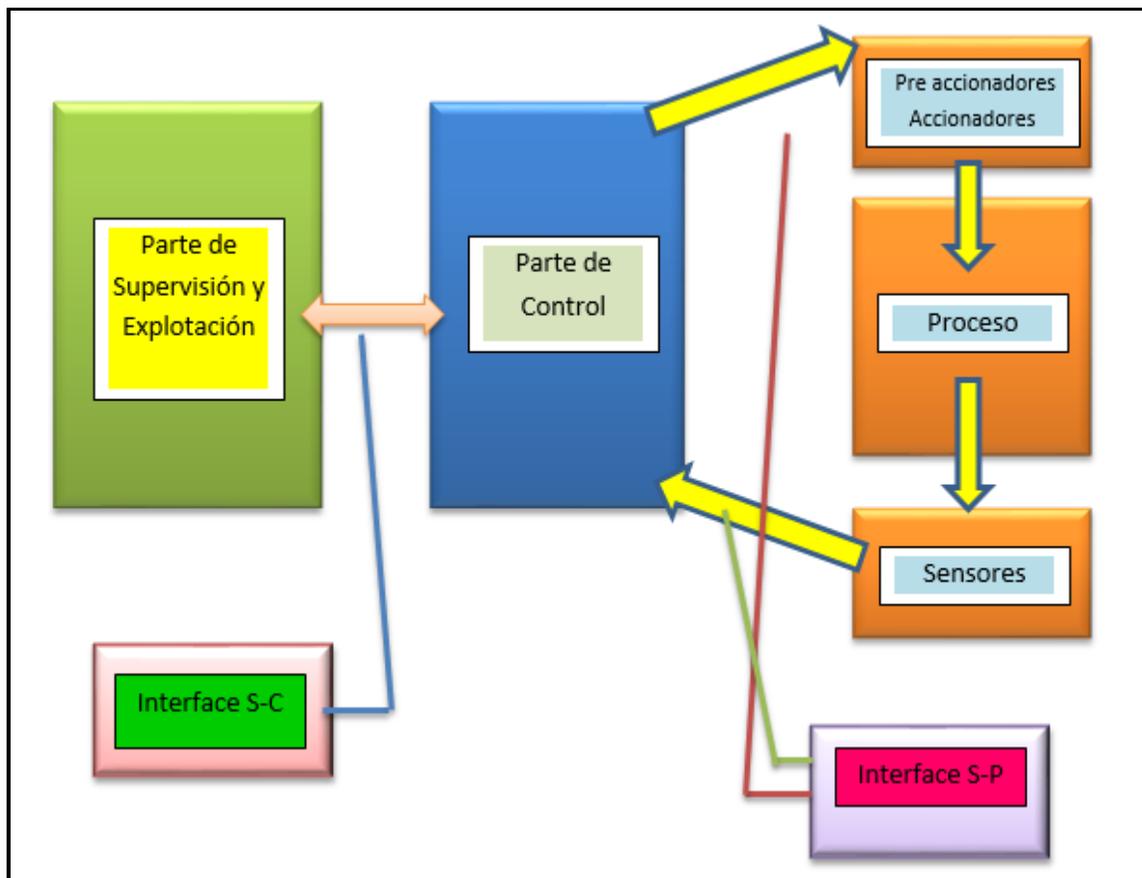


Figura 38. Esquema general de un sistema automatizado.

Tener en cuenta, la importancia de los sensores y actuadores. Los primeros son empleados para detectar magnitudes físicas del proceso (como flujo de gas, presión, temperatura, etc.), relevantes para poder llevar a cabo el monitoreo y control de estas variables dentro de un proceso industrial.

La información de estas magnitudes una vez convertida en una señal eléctrica y adaptada al rango de trabajo del equipo de control, es transmitida a éste por medio del interfaz de conexión correspondiente. El equipo de control con esta información y en base al programa de control que

reside en su memoria, tomará las decisiones oportunas para mantener el proceso dentro de los márgenes o rangos de trabajo definidos por los dueños del proceso.

Lo que es la parte de supervisión y explotación del sistema, existen multitud de dispositivos susceptibles de ser empleados para llevar a cabo esta función. La decisión final sobre cuál a utilizar está supeditada por la condiciones, restricciones técnicas y conexiones que se deben utilizar según el control aplicable a mis requerimientos, y un rublo muy importante es el presupuesto que se tiene por parte de la empresa o usuario.

En lo que se refiere al extenso tema de los procesos de automatización, existen varios tipos de tecnologías para implementar la parte de control: lógica cableada, microcontroladores, reguladores digitales, etc.

Sin embargo, centrándose en el ámbito de la domótica e inmótica, la tecnología más empleada es la basada en algún tipo de dispositivo electrónico programable, como por ejemplo, microcontroladores, autómatas programables.

A partir de mediados del siglo XX con la aparición de los transistores se ve la posibilidad de aplicarlos para sustituir a los relés electromecánicos empleados en el control de procesos hasta ese momento.

La razón fundamental es la mayor frecuencia de conmutación de los transistores con respecto a los relés, lo cual permitirá incrementar fundamentalmente la velocidad de control, la fiabilidad y reducir el tamaño de los controladores.

Las características de los equipos de control basados en la tecnología electrónica siguen mejorando a medida que los transistores van evolucionando y convirtiéndose en más rápidos, fiables y pequeños.

A principios de la década de 1970 se produce una escisión en la evolución de estos equipos de control propiciada por la necesidad de adaptar los distintos sistemas de control a las peculiaridades de los procesos que debían controlar.

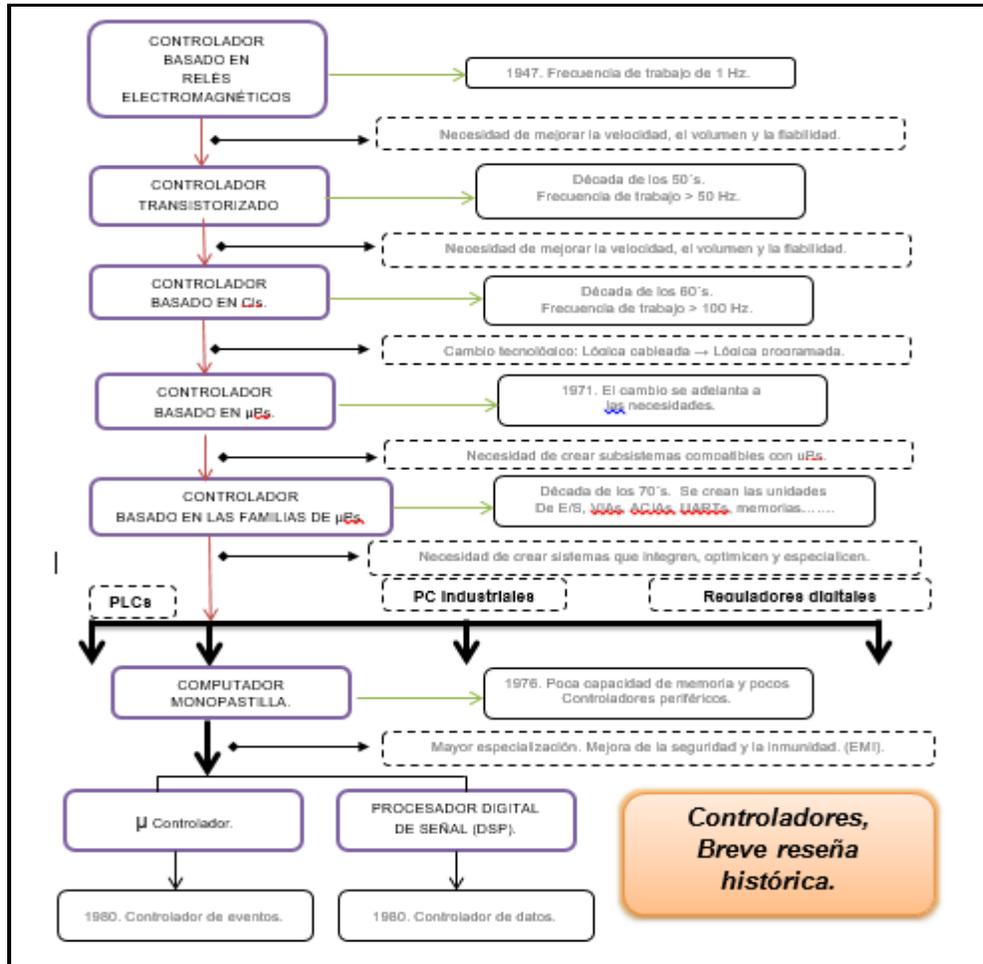


Figura 39. Evolución histórica de los controladores programables. Tomado de: Ingeniería de Sistemas y Automática – Universidad de Oviedo - España.

Así van saliendo al mercado:

- Los ordenadores personales (PC) de carácter industrial.

Varias son las características que les hacen ser más ventajosos frente a sus rivales, a saber: su gran capacidad de cálculo debida fundamentalmente a los potentes microprocesadores y la gran cantidad de memoria de trabajo que incluyen, su bajo costo derivado de su arquitectura estándar, su gran facilidad para la interconectarse con otros equipos y su escalabilidad.

- Los computadores monopastilla se dividen en dos categorías bien conocidas: procesadores digitales de señal (DSP) y microcontroladores.

Aunque ambos tienen características similares, de nuevo aparece esta división debido al tipo de aplicación según su uso.

Los primeros (DSP) son utilizados fundamentalmente en el campo de la instrumentación y en general en cualquier campo que requiera el tratamiento de señales eléctricas para su análisis o procesado.

Los segundos (Microcontroladores) son muy empleados en la electrónica de consumo y en el diseño de los equipos de control de los sistemas empotrados.

Entiéndase como sistema empotrado, aquel sistema que aun ajustándose al esquema general de un sistema automatizado, su parte operativa y su parte de mando forman una unidad física indisoluble.

Son ejemplos de este tipo de sistemas el control ABS de un vehículo, el control de una lavadora, un microondas, etc.

- Los autómatas programables.

Por su importancia, actualmente su empleo se enfoca en el control de cualquier tipo de proceso, pero debido a su gran facilidad de conexión a los sensores y actuadores que forman parte del proceso, están especialmente indicados en aquellos casos en los que las características del proceso sean cambiantes a lo largo del tiempo, y a su vez esto influya en el controlador, tanto en su parte hardware como software.

Esto ocurre muy a menudo en la industria de producción como por ejemplo en el sector del automóvil, en el que las pautas del mercado exigen el desarrollo de nuevos modelos en

menores plazos de tiempo, y además con mejores prestaciones de calidad y a precios competitivos.

- Los reguladores digitales.

Este tipo de dispositivos están especialmente diseñados para llevar a cabo el control de procesos de flujo continuo, como por ejemplo los propios de la industria petroquímica, cementera, alimentos, bebidas, etc.

Este tipo de procesos son controlados mediante la ejecución de complejos algoritmos diseñados mediante las técnicas de la disciplina de la regulación automática.

Estos algoritmos podrían perfectamente ser ejecutados por los PC industriales o los autómatas programables, y de hecho en nuestros días esto es así en la mayoría de los casos, pero en el momento en el que estos dispositivos fueron diseñados no estaban preparados para llevar a cabo este tipo de control y fue necesario diseñar los reguladores digitales a modo de dispositivos dedicados a esta tarea específica.

Hoy en día, 25 años después de la aparición de estos dispositivos, aún perduran estas diferencias tan marcadas entre los distintos tipos, pero cada vez la frontera que los separa se va disminuyendo más y más, llegando incluso a aparecer arquitecturas híbridas que aúnan lo mejor de cada tipo, como por ejemplo los PC/PLCs que basándose en una arquitectura de tipo PC mucho más rica en recursos, toman de los PLCs su modo de funcionamiento y su gran facilidad a la hora de ser conectados al proceso.

A nivel Latinoamericano, y más específicamente en el Perú – Zona Norte y en el sector petrolero, se utilizan en buena cantidad las siguientes marcas:

- Allen Bradley.
- Schneider Electric (antes Telemecanique).

- Siemens.

### **6.5.1. Allen Bradley.**

**6.5.1.1. Historia.** Rockwell Automation remonta su historia desde el año 1903 y la formación de la Compression Rheostat Company (Compañía Reóstatos de Compresión), fundada por Lynde Bradley y el Dr. Stanton Allen con una inversión inicial de \$ 1000 dólares. En 1904, 19 años de edad, Harry Bradley se unió a su hermano en el negocio.

En el año 1904 en la feria mundial de San Luis en USA, presentan su primer producto ya patentado, que es un controlador de motor de tipo compresión de disco de carbono para grúas industriales.

A partir del año 1909, la compañía comenzó a llamarse Allen-Bradley Company.

Con la primera y segunda guerra mundial, por tener contratos con el gobierno de USA, la compañía creció mucho.

En la segunda guerra mundial, las dos grandes líneas de productos fueron:

- Controles industriales, para la producción de velocidad.
- Componentes eléctricos o partes de radio.

Utilizados en una amplia gama de equipos militares.

Actualmente, Allen-Bradley es la marca de una línea de equipos de automatización fabricados por Rockwell Automation (NYSE República de Corea). La compañía, tuvo unos ingresos aproximados en el año 2013 de U\$ 6,4 billones de dólares.

### **6.5.1.2. Productos.**

- Protección de circuitos y cargas.
- Computadoras e interface de operador.
- Monitoreo de condiciones.
- Dispositivos de conexión.
- Variadores y motores.
- Monitoreo de energía.
- Módulos de entrada / salida (E/S).
- Control de iluminación.
- Control de movimiento.
- Control de motores.
- Infraestructura y seguridad de redes.
- Fuentes de alimentación eléctrica.
- Controladores programables.
- Botones pulsadores y dispositivos de señalización.
- Relés y temporizadores.
- Productos de seguridad.
- Sensores e interruptores.
- Interface de señal.

Estos apartados si los puedes dejar ya que podrías usar un software de simulación ya sea el Rslogix 5000 o 500 para la programación de los Allen Bradley. Las tablas que pones abajo las puedes dejar con la descripción de los módulos que irías a utilizar en el momento que se llegara a usar el sistema de control. Hay Controladores de que tienen PID que se podrían poner como

referencia y algún ejemplo. A su vez se podría simular el programa lógico o ladder como soporte del desarrollo de la lógica cableada. Podrías hablar solo de Allen Bradley, no incluir ni Siemens ni Schneider.

**6.5.1.3. PLC.** La empresa Allen-Bradley, ofrecen soluciones de control estándar cómo: el controlador lógico programable (PLC) original inventado en la década de los 70, hasta la tecnología incorporada en el controlador programable de automatización (PAC) escalable, multidisciplinario y habilitado para información.

**6.5.1.3.1. *Sistemas de control de altas prestaciones.*** Estos sistemas de control de altas prestaciones, ofrecen arquitecturas modulares y un rango de opciones de E/S y red.

Los controladores programables de automatización (PAC) de gran tamaño, diseñados para aplicaciones de control distribuidas o de supervisión, proporcionan confiabilidad y rendimientos excepcionales.

**Sistemas de control ControlLogix.** Estos sistemas de control, usan un motor de control común con un entorno de implementación común para proporcionar alto rendimiento, en un entorno fácil de usar.

La estrecha integración entre el software de programación, el controlador y los módulos de E/S reduce el tiempo de desarrollo y el costo en la puesta en marcha y durante la operación normal.

Puede realizar control estándar y de seguridad en el mismo chasis en un sistema verdaderamente integrado.

Tipos de controladores ControlLogix:

- Controladores ControlLogix 5580.
- Controladores ControlLogix 5570.
- Módulos de E/S ControlLogix 1756.

Sería bueno hacer un diagrama P&ID donde ubicaras los PLC's en el proceso. Esto daría mayor justificación de los módulos de PLC que has puesto.

## Controladores ControlLogix 5580

Nuestros controladores ControlLogix® 5580 ofrecen mayor rendimiento, capacidad, productividad y seguridad para ayudar a satisfacer las demandas crecientes de máquinas y equipos inteligentes para la fabricación. Los controladores ControlLogix 5580 usan la aplicación de entorno de diseño™ de ingeniería de automatización Studio 5000 como un entorno de diseño común y movimiento integrado en EtherNet/IP para aplicaciones de movimiento de alta velocidad. Estos controladores son ideales para las aplicaciones que necesitan comunicaciones de alto rendimiento, E/S y control de movimiento para hasta 256 ejes y ofrecen mayor capacidad de hasta 45%.

Descripción general	Novedades	Selección de productos	Especificaciones	Software	Documentación	Recursos	Aplicaciones
---------------------	-----------	------------------------	------------------	----------	---------------	----------	--------------

### Características

- Gana hasta 45 % de capacidad cuando utiliza el controlador 5580
- Incluye un puerto Ethernet incorporado de 1 GB que permite las comunicaciones de alta velocidad, las E/S y el control de movimiento
- Ofrece funciones de controlador que maximizan en rendimiento del sistema
- Incluye la detección de cambio basada en controlador y el ingreso, el firmware del controlador firmado digitalmente y el control de acceso basado en roles para mayor seguridad
- Proporciona una pantalla que permite diagnóstico y resolución de problemas mejorados



Actualizaciones más recientes de productos >

Descargar folletos >

Figura 40. Controlador ControlLogix 5580

Tomado de: rockwellautomation.com. Disponible en:

<https://ab.rockwellautomation.com/es/programmable-controllers/controllogix/5580-controllers>

### Comparación de productos

Característica	Controladores 5580	Controladores 5570
Rendimiento	5x-20x (En comparación con un controlador ControlLogix 5570)	2x (En comparación con un controlador ControlLogix 5560)
Puerto Ethernet incorporado	1 gigabit (Gb)	No
Puerto de programación local	USB	USB
Módulo de almacenamiento de energía (ESM) incluido	Sí	Sí
Pantalla incorporada incluida	Sí	Sí
Compatible con el entorno de diseño™ de la ingeniería de automatización Studio 5000	Sí	Sí
Memoria no volátil	Tarjeta digital segura	Tarjeta digital segura
Máx. memoria de usuario	40 MB	32 MB
Puntos de E/S máx.	128,000 digitales; 4,000 analógicos	128,000 digitales; 4,000 analógicos

### Sistemas de control ControlLogix

- Controladores ControlLogix 5580
- Controladores ControlLogix 5570
- Módulos de E/S ControlLogix 1756

#### Cómo comprar

[Busque Una Oficina De Ventas Local >](#)

[Busque Un Distribuidor Local >](#)

[Busque Socios De Productos >](#)

Figura 41. Comparación de productos.  
 Tomado de: rockwellautomation.com. Disponible en:  
<https://ab.rockwellautomation.com/es/programmable-controllers/controllogix/5580-controllers>

Descripción general
Novedades
Selección de productos
Especificaciones
Software
Documentación
Recursos
Aplicaciones

### Características

- Admite el movimiento integrado en EtherNet/IP™, movimiento Sercos™ integrado y movimiento analógico
- Admite redundancia y eliminación completas del controlador y desconexión y reconexión con la alimentación conectada (RIUP)
- Se comunica por medio de EtherNet/IP, ControlNet™, DeviceNet™, Data Highway Plus™, E/S remotas, SynchLink y redes de dispositivos y procesos de terceros
- Permite que su programa utilice lógica de escalera de relé, ST, bloque de funciones y lenguajes SFC
- Incluye revestimiento de conformación sobre productos que tienen una "K" en el número de catálogo, para ayudar a protegerlos en ambientes difíciles.

**Controladores On-Machine**

- Ofrece control estándar y de seguridad On-Machine™ que aumenta el tiempo productivo y reduce el costo
- Minimiza el hardware en el gabinete de control con ubicación directamente en la máquina

**Controladores de seguridad GuardLogix**

- Proporciona movimiento integrado y de seguridad en el mismo chasis
- Ofrece certificación TUV para la seguridad funcional SIL 3 (se precisa controlador y homólogo de seguridad)
- Simplifica la arquitectura de la máquina y reduce la dimensión del sistema con el controlador Armor GuardLogix
- Puede funcionar en entornos que van de -25 a 70 °C (de -13 a 158 °F) cuando se usa independientemente



### Sistemas de control ControlLogix

- Controladores ControlLogix 5580
- Controladores ControlLogix 5570
- Módulos de E/S ControlLogix 1756

#### Cómo comprar

[Busque Una Oficina De Ventas Local >](#)

[Busque Un Distribuidor Local >](#)

Figura 42. Características.  
 Tomado de: rockwellautomation.com. Disponible en:  
<https://ab.rockwellautomation.com/es/programmable-controllers/controllogix/5580-controllers>

Descripción general
Selección de productos
Especificaciones
Software
Documentación
Recursos

### Características

- Se monta en un chasis ControlLogix®
- Requiere un bloque de terminales extraíble (RTB) o un módulo de interface de cableado (IFM) Boletín 1492 para conectar todo el cableado del lado del campo
- Incluye las capacidades de sello de hora inherentes para aplicaciones de secuencia de eventos (SOE)
- Ofrece completos diagnósticos de E/S para detección de fallos del sistema y del lado del campo
- Proporciona desconexión y reconexión con la alimentación conectada (RIUP) para facilitar el mantenimiento.
- Ofrece codificación electrónica que ayuda a prevenir errores de reemplazo
- Incluye los asistentes de E/S en la aplicación Studio 5000™ Logix Designer que permiten una configuración rápida y sencilla del módulo
- Disponible con revestimiento de conformación para ayudar a proteger los ambientes difíciles

**Módulos de E/S digitales ControlLogix 1756**

- Ofrece una variedad de voltajes
- Proporciona de 8 a 32 puntos por módulo
- Ofrece tipos de módulos aislados y no aislados
- Incluye estados de fallo de salida a nivel de punto
- Ofrece comunicación de conexión directa o rack optimizado
- Ofrece diagnósticos del lado del campo en ciertos módulos

**Módulos de E/S analógicas ControlLogix 1756**

- Incluye módulos de entrada, salida y combinación
- Proporciona módulos de termopar y RTD



### E/S basadas en chasis

- E/S SLC 1746
- Módulos de E/S ControlLogix 1756
- Módulos de expansión de E/S Pico
- E/S de expansión MicroLogix
- Módulos Compact I/O
- Módulos Compact I/O 5069
- Controladores con E/S de expansión Micro850

### Productos relacionados

- Sistemas de cableado y conversión de E/S

Figura 43. Características Módulos de E/S ControlLogix 1756.  
 Tomado de: rockwellautomation.com. Disponible en:  
<https://ab.rockwellautomation.com/es/programmable-controllers/controllogix/1756-controllers>

- Incluye estados de fallo de salida a nivel de punto
- Ofrece comunicación de conexión directa o rack optimizado
- Ofrece diagnósticos del lado del campo en ciertos módulos

**Módulos de E/S analógicas ControlLogix 1756**

- Incluye módulos de entrada, salida y combinación
- Proporciona módulos de termopar y RTD
- Incluye alarmas de datos incorporadas
- Ofrece escalado a unidades de medición
- Proporciona muestreo de canales en tiempo real
- Ofrece codificación electrónica del módulo y es configurable por software
- Incluye codificación mecánica de bloque de terminales extraíble definida por el usuario
- Ofrece configuración por canal de voltaje, corriente o generación de corriente de transmisor de 2 cables
- Ofrece configuración por canal para RTD o termopar
- A partir del 31 de julio de 2016, se interrumpirá la producción de los módulos ControlLogix 1756 de 6 canales con E/S analógicas aisladas y estos ya no estarán disponibles para la venta. Se aconseja a los clientes a migrar a los módulos 1756 de 8 canales con E/S analógicas aisladas mediante el Perfil de migración

**Módulos de E/S especiales ControlLogix 1756**

- Incluye módulos de medidor de flujo configurables
- Proporciona módulos de contador de alta velocidad
- Ofrece módulos de final de carrera programables

**Bloques de terminales extraíbles (RTB) ControlLogix 1756**

- Proporciona una interconexión flexible entre el cableado de la planta y los módulos de E/S
- Incluye terminaciones de abrazadera de tornillo o abrazadera de resorte
- No se envían con módulos de E/S; se deben pedir por separado

**Módulos de E/S analógicas aisladas HART 1756**

- Módulos Compact I/O 5069
- Controladores con E/S de expansión Micro850

### Productos relacionados

- Sistemas de cableado y conversión de E/S
- Interface de señal

#### Cómo comprar

Busque Una Oficina De Ventas Local >

Busque Un Distribuidor Local >

Busque Socios De Productos >

Figura 44. Características Módulos de E/S ControlLogix 1756.  
 Tomado de: rockwellautomation.com. Disponible en:  
<https://ab.rockwellautomation.com/es/programmable-controllers/controllogix/1756-controllers>

<p>Bloques de terminales extraíbles (RTB) ControlLogix 1756</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporciona una interconexión flexible entre el cableado de la planta y los módulos de E/S</li> <li>• Incluye terminaciones de abrazadera de tornillo o abrazadera de resorte</li> <li>• No se envían con módulos de E/S; se deben pedir por separado</li> </ul> <p>Módulos de E/S analógicas aisladas HART 1756</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incluye aislamiento de canal a canal</li> <li>• Ofrece un módem HART por canal para la actualización más rápida de datos HART</li> <li>• Ofrece la configuración básica del dispositivo de campo a través del perfil Add-On</li> <li>• Ayuda a eliminar la necesidad de las barreras de aislamiento de campo al utilizar módulos aislados</li> </ul> <p>Módulos de E/S analógicas con características mejoradas 1756</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ofrece mayor exactitud, repetibilidad, estabilidad y precisión</li> <li>• Incluye módulos de 8 canales aislados y de 12 o 16 canales no aislados con estabilidad sobre el rango de temperatura de funcionamiento completo</li> <li>• No requiere calibración de campo</li> <li>• Ofrece precisión avanzada con el diseño de 24 bits</li> <li>• Incluye estado por canal y anunciación LED de fallos</li> </ul> <p>Módulos de comunicación 1756</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementa control de acceso basado en la red para usuarios, dispositivos y redes en el chasis 1756</li> <li>• Ofrece módulos de seguridad para cifrar información importante compartida entre los controladores y los servidores para prevenir la manipulación</li> </ul>
---

Figura 45. Características Módulos de E/S ControlLogix 1756. Tomado de: rockwellautomation.com. Disponible en: <https://ab.rockwellautomation.com/es/programmable-controllers/controllogix/1756-controllers>

6.5.1.3.2. *Sistemas de Control Pequeños.* Estos sistemas son de excelente solución para aplicaciones de rango medio.

Estos controladores pequeños ofrecen las características y la flexibilidad que necesita sin el tiempo de procesamiento interno de sistemas de mayor tamaño.

Las aplicaciones típicas incluyen la automatización compleja de control de máquinas, del procesamiento de lotes y de la construcción.

Tipos de controladores de control pequeño:

- Sistemas de control CompactLogix.  
(5370 /1769 – 5380 / 5069 - 1768 - L23x y L3x 1769).
- Controladores CompactLogix 1769 – L32E, - L35E. (Savia Perú).
- Controladores de seguridad SmartGuard 600 con seguridad.
- Controladores SLC 500.

Los sistemas de control CompactLogix: usan un motor de control común con un entorno de implementación común para proporcionar control de aplicación de alcance medio en un entorno fácil de usar.

La estrecha integración entre el software de programación, el controlador y los módulos E/S reduce el tiempo y costo de implementación en la puesta en marcha durante el funcionamiento normal.

Esta homogeneidad brinda la integración rentable de una máquina o aplicación de seguridad a un sistema de control a nivel de toda la planta porque integra las capacidades de seguridad, movimiento, discreción y variadores en un solo controlador.

Descripción general	Novedades	Selección de productos	Especificaciones	Software	Documentación	Recursos	Aplicaciones
<p><b>Características</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ideales para aplicaciones pequeñas y medianas que requieren conteos bajos de puntos de E/S y movimiento de ejes</li> <li>• Brinda soporte para el movimiento integrado en EtherNet/IP™ para una mayor capacidad de escalado</li> <li>• Proporciona soporte para las topologías de red de anillo a nivel de dispositivo (DLR) para ayudar a lograr una resiliencia de red mejorada</li> <li>• Elimina la necesidad de baterías de litio con almacenamiento de energía incorporada</li> <li>• Incluye una tarjeta Secure Digital (SD) de hasta 2 GB para guardar y restaurar los programas rápidamente</li> <li>• Ofrece un factor de formato más pequeño para maximizar el espacio en el gabinete</li> <li>• Soporta hasta Kinematics de 2 ejes para una robótica articulada sencilla</li> <li>• La capacidad de socket abierto permite el soporte de Modbus TCP, además de dispositivos tales como impresoras, lectores de códigos de barras y servidores</li> </ul> <p>Características de los controladores de seguridad GuardLogix:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Brindan seguridad y movimiento integrados en un solo controlador.</li> <li>• Admiten seguridad integrada hasta SIL 3, PLe CAT 4.</li> </ul> <p><a href="#">Actualizaciones más recientes de productos &gt;</a>    <a href="#">Descargar folletos &gt;</a></p> <p><b>Comparación de productos</b></p>							
				 <p><b>Sistemas de control CompactLogix</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controladores CompactLogix 5370 1769</li> <li>• Controladores CompactLogix 5380 5069</li> <li>• Controladores CompactLogix 1768</li> <li>• Controladores CompactLogix L23x y L3x 1769</li> </ul> <p><b>Productos relacionados</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Módulos Compact I/O 1769</li> <li>• Módulos Compact I/O 5069</li> </ul>			

Figura 46. Características Controladores CompactLogix 5370-1769.

Tomado de: rockwellautomation.com. Disponible en:

<https://ab.rockwellautomation.com/es/programmable-controllers/controllogix/5370-controllers>

Comparación de productos					
Series de controladores	Máx. memoria de usuario	Puntos de E/S máx.	Integración de módulos de E/S	Ejes de posicionamiento de movimiento máximo	Características adicionales
L3	3 MB	960	1769 Compact I/O	16	Ofrece características
L2	1 MB	160	1769 Compact I/O	4	Admiten E/S analógicas universales
L1	1 MB	96	POINT I/O 1734	2	Ofrece fuente de alimentación eléctrica integrada y E/S
GuardLogix 5370 compacto	Estándar: 1, 2 o 3 MB Seguridad: 0.5, 1 o 1.5 MB	960	Compact I/O 1769	4, 8 o 16	Hasta 30 módulos expansores

- Módulos Compact I/O 1769
- Módulos Compact I/O 5069
- Servovariadores EtherNet/IP Kinetix 5500
- Terminales gráficos PanelView Plus 6
- Terminales gráficos PanelView Plus 6
- Medios físicos y switches de infraestructura EtherNet/IP

**Cómo comprar**

[Busque Una Oficina De Ventas Local >](#)

[Busque Un Distribuidor Local >](#)

[Busque Socios De Productos >](#)

Figura 47. Comparación de productos.  
 Tomado de: rockwellautomation.com. Disponible en:  
<https://ab.rockwellautomation.com/es/programmable-controllers/controllogix/5370-controllers>

					analógicas universales
L1	1 MB	96	POINT I/O 1734	2	Ofrece fuente de alimentación eléctrica integrada y E/S
GuardLogix 5370 compacto	Estándar: 1, 2 o 3 MB Seguridad: 0.5, 1 o 1.5 MB	960	Compact I/O 1769	4, 8 o 16	Hasta 30 módulos expansores

**Información adicional**

- Rockwell Automation® Las soluciones Integrated Architecture proporcionan la base para impulsar la optimización a nivel de toda la planta de manera eficiente y eficaz, lo que le permite responder de manera competitiva a la economía y a los cambios en la demanda del consumidor.
- Los fabricantes de máquinas y equipos pueden obtener un rango completo de soluciones de control de máquinas, desde componentes rentables hasta sistemas altamente integrados.
- Vea nuestro video sobre los controladores CompactLogix 5370 para descubrir cómo estos controladores combinan el movimiento integrado en EtherNet/IP, mejor rendimiento y capacidad de anillo a nivel de dispositivos (DLR) para ofrecerle las mejores alternativas a sus aplicaciones específicas.
- Nuestro Sistema de arquitectura de rango medio incluye una serie de controladores pequeños que amplían la aplicación Integrated Architecture. Esto le ofrece una plataforma de control única que incluye el rendimiento y la conectividad que necesita en toda su empresa.

Figura 48. Comparación de productos – Información adicional.  
 Tomado de: rockwellautomation.com. Disponible en:  
<https://ab.rockwellautomation.com/es/programmable-controllers/controllogix/5370-controllers>

Descripción general
Selección de productos
Especificaciones
Software
Documentación
Recursos
Aplicaciones

### Características

- Ideales para aplicaciones pequeñas y medianas que requieren conteos bajos de puntos de E/S y movimiento de ejes
- Incluye un puerto Ethernet incorporado de gigabit (Gb) doble que permite las E/S y el control de movimiento de alta velocidad
- Incluye puertos configurables dobles que admiten topologías lineales o de anillo a nivel de dispositivos o varias direcciones IP
- Proporciona diagnóstico y resolución de problemas mejorados
- Ofrece funciones de controlador optimizadas para un máximo rendimiento del sistema
- Ofrece funciones de seguridad mejoradas, que incluyen el firmware del controlador firmado digitalmente, la detección de cambios basada en controladores y el control de acceso basado en funciones a rutinas e instrucciones add-on
- Admite hasta 31 módulos Compact I/O Boletín 5069
- Ofrece movimiento integrado en EtherNet/IP hasta 20 ejes

Descargar folletos >

### Comparación de productos

Número de catálogo	Memoria de aplicación	Expansión de E/S	Nodos Ethernet	Ejes de movimiento



### Sistemas de control CompactLogix

- Controladores CompactLogix 5370 1769
- Controladores CompactLogix 5380 5069
- Controladores CompactLogix 1768
- Controladores CompactLogix L23x y L3x 1769

### Productos relacionados

Figura 49. Características Controladores CompactLogix 5380-5069. Tomado de: rockwellautomation.com. Disponible en: <https://ab.rockwellautomation.com/es/programmable-controllers/controllogix/5380-controllers>

### Comparación de productos

Número de catálogo	Memoria de aplicación	Expansión de E/S	Nodos Ethernet	Ejes de movimiento
5069-L320ER	2 MB	16	40	0
5069-L340ERM	4 MB	31	55	20

### Información adicional

- Nuestras soluciones *Integrated Architecture* proporcionan la base para impulsar la optimización a nivel de toda la planta de manera eficiente y eficaz, lo que le permite responder competitivamente a la economía y a los cambios en la demanda del consumidor.
- Los fabricantes de máquinas y equipos pueden obtener un rango completo de soluciones de control de máquinas, desde componentes rentables hasta sistemas altamente integrados.
- Nuestro Sistema de arquitectura de rango medio incluye una serie de controladores pequeños que amplían la aplicación *Integrated Architecture*. Esto le ofrece una plataforma de control única que incluye el rendimiento y la conectividad que necesita en toda su empresa.

### Productos relacionados

- Módulos Compact I/O Boletín 5069
- Módulos Compact I/O basados en chasis

### Cómo comprar

Busque Una Oficina De Ventas Local >

Busque Un Distribuidor Local >

Busque Socios De Productos >

Figura 50. Comparación de productos – Información adicional. Tomado de: rockwellautomation.com. Disponible en: <https://ab.rockwellautomation.com/es/programmable-controllers/controllogix/5380-controllers>

**Características del Controlador CompactLogix 1769 – L32E, - L35E. (Utilizados en la empresa de Talara Perú).**

Tabla 2. Especificaciones Generales – CompactLogix 1769.

<i>Descripción</i>	<i>1769 – L32E</i>	<i>1769 – L35E</i>
Puertos de Comunicación	CHO–RS–232 EtherNet/IP RS-232 RJ-45 o 10BaseT DF1 EtherNet/IP	
Memoria del usuario	38.4 Kbytes/seg. Máx. 10/100 Mbytes/seg. 750 Kbytes	1.5 Mbytes
Memoria no volátil	1784-CF64 CompactFlash	
Número máximo de módulos de E/S	16 módulos de E/S	30 módulos de E/S
Número máximo de bancos de E/S	3 bancos	3 bancos
Corriente del backplane	660 mA a 5VCC 90 mA a 24VCC	660 mA a 5VCC 90 mA a 24VCC
Disipación de energía	4.74 W	4.74 W
Distancia respecto a la fuente de alimentación	4 (El controlador debe estar a una distancia de no más de cuatro posiciones de ranura de la fuente de alimentación eléctrica).	
Batería	1769 – BA	
Peso	0.32 Kg (0.70 Lb)	0.32 Kg (0.70 Lb)
Cable de programación	1747-CP3 o 1756-CP3	
Par de tornillo de montaje en panel. (Usando tornillos M4 o #8)	10-16 Pulg. -lb. (1.1 – 1.8 Nm).	
Clasificación del tipo de envolvente	Ninguna (estilo abierto)	
Categoría de cableado	2 en los puertos de comunicaciones	
Voltaje de aislamiento (clasificación de resistencia de voltaje continuo).	30 VCC continuo Probado para resistir 710 VCC durante 60	

	segundos.
Temperatura de funcionamiento. IEC 60068-2-1(Ensayo Ad, funcionamiento en frío).	0° a + 60°C (+32° a + 140°F).
IEC 60068-2-2 (Ensayo Bd, funcionamiento con calor seco).	
IEC 60068-2-14 (Ensayo Nb, funcionamiento con choque térmico).	
Temperatura de almacenamiento. IEC 60068-2-1(Ensayo Ab, fuera de operación en frío, sin embalaje).	- 40° a + 85°C (- 40° a + 185°F).
IEC 60068-2-2 (Ensayo Bb, fuera de operación con calor seco, sin embalaje).	
IEC 60068-2-14 (Ensayo Na, fuera de operación con choque térmico, sin embalaje).	
Humedad relativa IEC 60068-2-30 (Ensayo Db, fuera de operación con calor húmedo sin embalaje).	5% al 95%, sin condensación.
Vibración IEC 60068-2-6 (Ensayo Fc, en funcionamiento).	En funcionamiento: 5 G a 10-500 Hz.

6.5.1.3.3. *Sistemas de control Micro y Nano.* Los PLC micros y nanos proporcionan soluciones económicas a las necesidades básicas de control de sus máquinas simples, que van desde el reemplazo de relés a la temporización y a la lógica de control simple.

Empaquetado compacto, E/S y comunicación integrada y facilidad de uso, hacen de estos controladores una opción ideal para aplicaciones tales como automatización de transportadores, sistemas de seguridad e iluminación de edificios y establecimientos.

Tipos de sistemas de control micro y nano:

- Sistemas de control Micro800.  
(Controladores Micro 810 – 820 – 830 – 850 – con E/S de expansión micro 850 – modelos enchufables micro 800).
- Sistemas de control MicroLogix.

(Controladores MicroLogix 1000 - 1100 – 1200 – 1400 – 1500 - con E/S de expansión

MicroLogix – Comunicaciones – Módulos Compact I/O

- Controladores Pico.

#### **6.5.4. Criterios para seleccionar un PLC.**

- Precio de acuerdo a su función (económico/costoso – inseguro/seguro – protegido/desprotegido – austero/completo).
- Cantidad de entradas / salidas y si estas son analógicas o digitales y sus rangos de operación.
- Cantidad de programas que pueden manejar.
- Cantidad de programas que pueden ejecutar simultáneamente.
- Cantidad de contadores, temporizadores, banderas y registros.
- Lenguajes de programación.
- Software especializado para cada modelo de PLC y su facilidad de manejo.
- Software para programación desde la PC y necesidad de tarjeta interface.
- Capacidad de realizar conexión en red, de varios PLC.
- Respaldo de la compañía fabricante del PLC, en la región.
- Servicios, acompañamiento, asesorías y garantías.
- Manejo de inventarios de kit de repuestos en la región. Empresas representantes o franquicias.
- Literatura, catálogos, información en el mismo idioma.
- Capacitación continua y permanente.

## Capítulo VII

### Recomendaciones Y Conclusiones

1. La identificación del sistema es primordial para diseñar un controlador tradicional o de síntesis. Se utilizaron métodos de dos y tres puntos de diferentes autores para identificar la planta y se observa con los resultados que el sistema es de primer orden con un valor de retardo despreciable.
2. En la simulación se compara el modelo de la planta obtenido y la respuesta real del sistema y se observan que son muy similares, es decir que la función de transferencia obtenida es adecuada para éste sistema.
3. Teniendo la función de transferencia del sistema, se puede diseñar un controlador, dado que el sistema es de primer orden y con retardo despreciable, se analizan estrategias de sintonización empíricas adecuadas para éste sistema; desde las convencionales de Ziegler-Nichols hasta el sintético.
4. La sintonización del controlador PID para lazo de control de presión en la descarga del compresor a partir de la presión de succión, se ve simplificado haciendo uso del modelamiento y control basado en estrategias empíricas en lugar del modelamiento analítico el cual es bastante complejo de implementar en un dispositivo lógico programable.
5. El controlador PID de síntesis obtenido utilizando el método de Dhalin, tiene grandes ventajas porque su respuesta es rápida, de tipo sobre-amortiguada y solo incluye los componentes necesarios para la función de transferencia obtenida del sistema. Es decir que el algoritmo a implementar será eficiente en procesamiento y recursos utilizados.

6. En la simulación el sistema de control diseñado funciona adecuadamente, porque la descarga del compresor sigue el valor de consigna establecido. Se realizaron pruebas con posibles perturbaciones pequeñas y el sistema se recupera rápidamente al valor deseado.
7. Para la implementación en un dispositivo lógico programable, se recomienda adecuar las constantes de sintonización obtenidas en el dominio de la frecuencia compleja a un sistema discreto.
8. Es aconsejable utilizar un dispositivo lógico programable, que tenga embebida la función o bloque de un controlador PID para que sea fácil y rápida su futura implementación.
9. El dispositivo lógico programable que utiliza la empresa en la mayoría de sus procesos es de Rockwell Automation, es un PLC Allen-Bradley, el cual es muy robusto y contiene tanto el hardware con el software necesario para la implementación de un controlador PID.
10. El desarrollo metodológico para la adquisición en planta de la data del proceso, fue un trabajo manual haciendo cambios en los estados de los actuadores en intervalos de tiempos definidos, este fue un proceso cuidadoso, ya que se debía proteger la integridad de los equipos, sin afectar la operación.
11. Se recomienda realizar la implementación del diseño del controlador en un siguiente proyecto dependiendo de la viabilidad de la Empresa.
12. Dado que actualmente a nivel mundial, el sector petrolero se encuentra en una crisis económica, por el bajo precio del barril del petróleo, es muy difícil que se implemente y se realicen nuevas inversiones.
13. Para realizar una automatización a futuro, se recomienda cambiar y actualizar varios sensores y actuadores, ya que actualmente son obsoletas y algunos instrumentos son difícil de reparar.

14. Es posible mejorar la rentabilidad económica implementando en el proceso el controlador diseñado, con la ayuda de un sistema Scada, para la visualización y registro de los datos en tiempo real, y así poder realizar una mejor gestión en la producción.

15. Se recomienda realizar la repotenciación y/o cambio de los actuadores e instrumentación instalada en el proceso, dado que estos son dispositivos de acción manual, que no permiten a la fecha la implementación de la técnica del control desarrollada, la cual tiene por objetivo principal evitar que la unidad de compresión se detenga debido a la falla de baja presión de succión, evento que en la actualidad se corrige con el desplazamiento del técnico de mantenimiento en el área, y este tiempo de respuesta por parte del técnico está sujeto a la disponibilidad del medio de transporte.

### Bibliografía

- Acedo Sánchez, J. (2006). Instrumentación y Control Avanzado de Procesos. ISE Instituto Superior de la Energía. Editorial, Díaz de Santos.
- API Energy. (1992). “Recommended Practice for Design of Continuous Flow Gas-Lift Installations Using Injection Pressure Operated Valves”; RP 11V6. First Edition.
- API Energy. (1998). “Recommended Practice for Unloading, Adjustment and Diagnosis of Continuous Flow Gas-Lift Installations Using Injection Pressure Operated Valves”; RP 11V6. First edition.
- Azcona, J. P. Petróleo – Taller / Seminario. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú. Empresa Hoerbiger Compression Technology – Training Center.
- Báez López, D. (2006). MATLAB con Aplicaciones a la Ingeniería, Física y Finanzas. Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.
- Blann, J. R. (1974). Redden, D. y Glen Sherman, T. A.: “Optimizing Gas-Lift Systems”. SPE Paper No. 5150.
- Bolton, W. (2006). Mecatrónica. Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica. 3ª. Edición – Alfaomega.
- Brown, K. (1977) “The Technology of Artificial Lift Methods”; Vol. 1. PennWell Publishing Co. Tulsa, Oklahoma.
- Brown, K. (1997). “The Technology of Artificial Lift Methods”; Vol. 2A PennWell Publishing Co. Tulsa, Oklahoma.
- Campbell, J.M. (1984). “Gas Conditioning and Processing”, Tomo II. Séptima Edición. Published by: Campbell Petroleum Series. Oklahoma.

- Dunning, G. (2014). Introduction to The ControlLogix Programmable Automation Controller, with Labs. 2a. Edition. Delmar-Cengage Learning.
- Faustinelli, J. (1992). “Curso de Levantamiento Artificial por Gas”. Corpoven S.A. Puerto de La Cruz. Venezuela.
- Focht, F.T. (1981). “Troubleshooting Gas Lift Wells”; World Oil.
- Gómez Rivas, Pedro A. Diseño y Cálculo de Compresores – Taller / Seminario.
- Gómez, V. R. (1974). “Optimization of Continuous Flow Gas-Lift Systems”, M.S.Tesis.Tulsa University.
- Juana. Venezuela. 2004. Curso Taller. ESP OIL – Engineering Consultants.
- Kirpatrick, C.V. (1959). “Advances in Gas-Lift Technology”, Drilling and Production Practice. Pp. 24-60.
- Kirpatrick, C.V. (1984). “API Gas-Lift Manual”; Book 6 of The Vocational Training. API Series. Production Depart. Pp. 45-47.
- Kuo, B. C. (1996). Sistemas de Control Automático. Departament of Electrical and Computer Engineering. University of Illinois. Prentice- Hall Hispanoamericana S.A. Séptima Edición.
- Maggiolo, R. (2004). ESP OIL – Engineering Consultants – “Gas Lift Básico”. Pág. 13. Seminario Curso Taller. Maracaibo – Venezuela.
- Mandado Pérez, E. / Acevedo, J. M. / Pérez López, S. A. (1999). Controladores Lógicos y Automatas Programables. Segunda Edición. Alfaomega-Marcombo.
- Mayhill, T. D. (1974). “Simplified Method for Gas Lift Well Problem Identification and Diagnosis”, SPE Paper No. 5151.
- Nise, S. N. (2008). Control System Engineering. Fifth Edition. California State

Polytechnic University, Pomona. Jhon Wiley & Sons, Inc.

Nise, S. N. (2011). Control System Engineering. Sixth Edition. California State

Polytechnic University, Pomona. Jhon Wiley & Sons, Inc.

Ogata, K. (1995). Sistema de Control en Tiempo Discreto. University of Minnesota.

Pearson – Prentice Hall. Segunda Edición.

Ogata, K. (2010). Modern Control Engineering. Fifth Edition. Prentice Hall – Pearson.

Shiu, Kuo-Cheng. (1976). “An Empirical Method of Predicting Temperatures In Flowing

Wells”; M.S. Tesis, Tulsa University.

Winkler, H. (1962). “Camco Gas Lift Manual”; Houston.

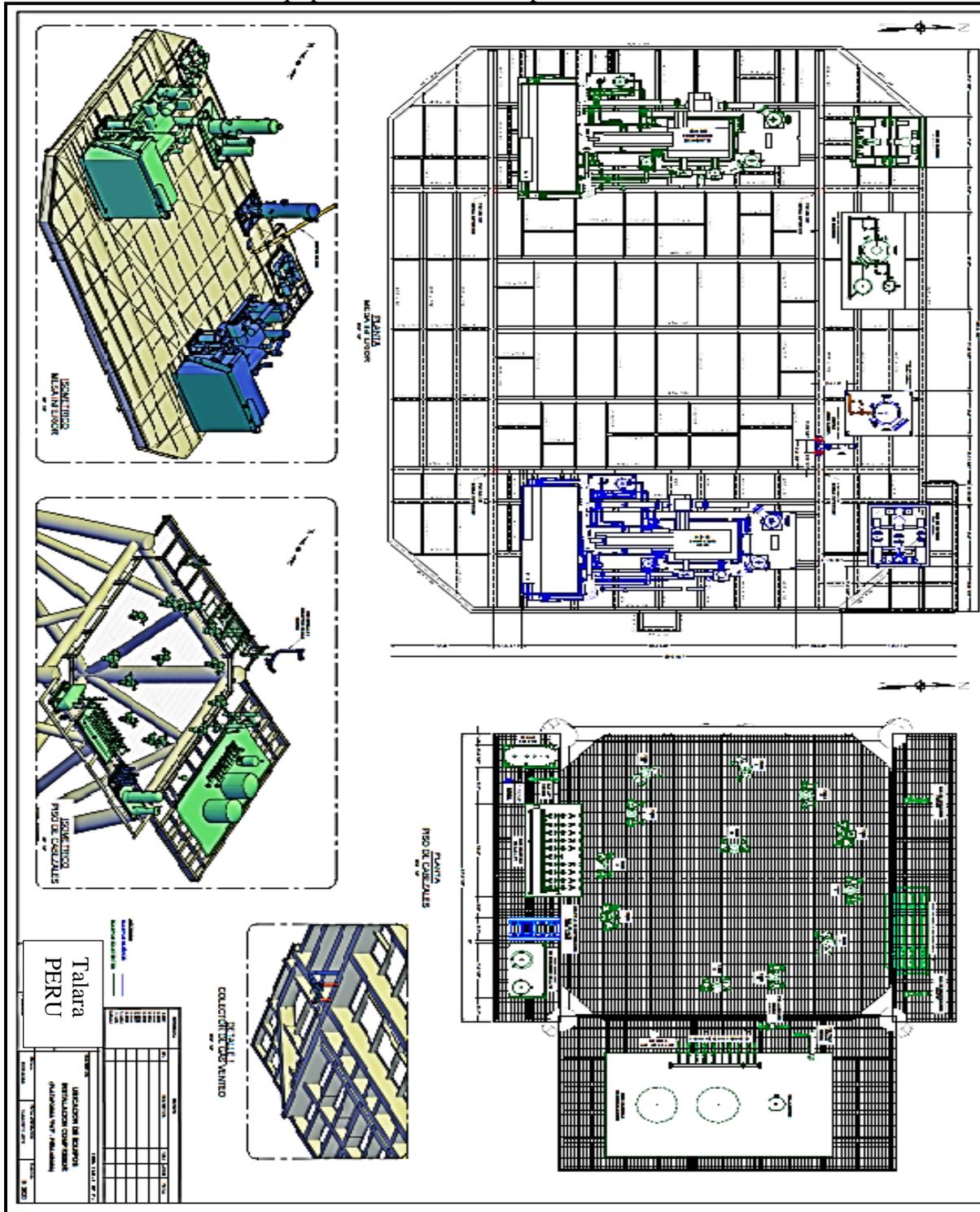
Winkler, H. (1991). “Applying The Basic Performance Concepts of Single Element

Unbalanced Gas- Lift Valves for Installations Design”. SPE Paper No. 21636.

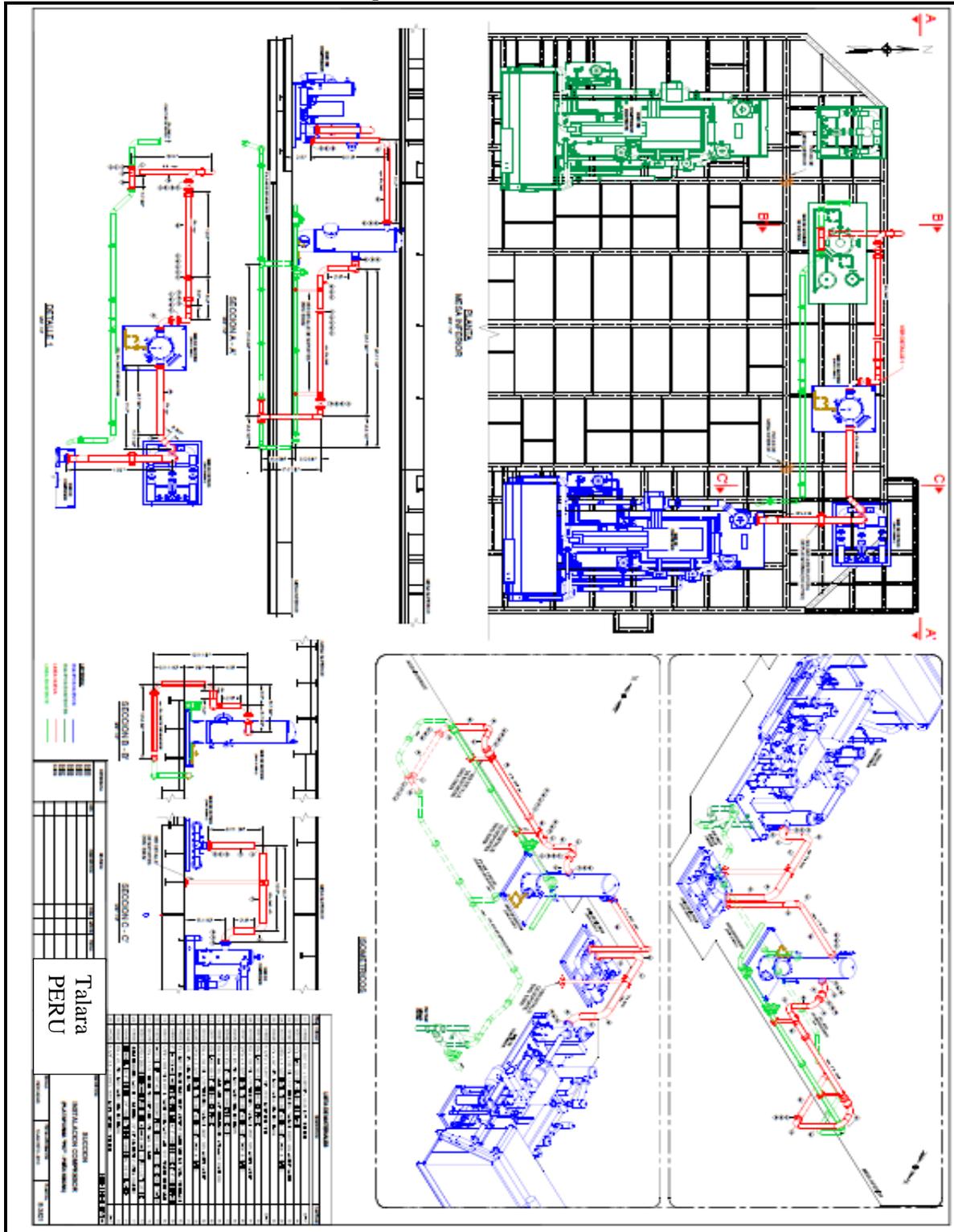
Zimmerman, W. (1976). "Manual Básico de Gas Lift", Lagoven S.A. Tía

Anexos

Anexo A. Ubicación de Equipos. Instalación Compresor.



Anexo B. Succión. Instalación Compresor.





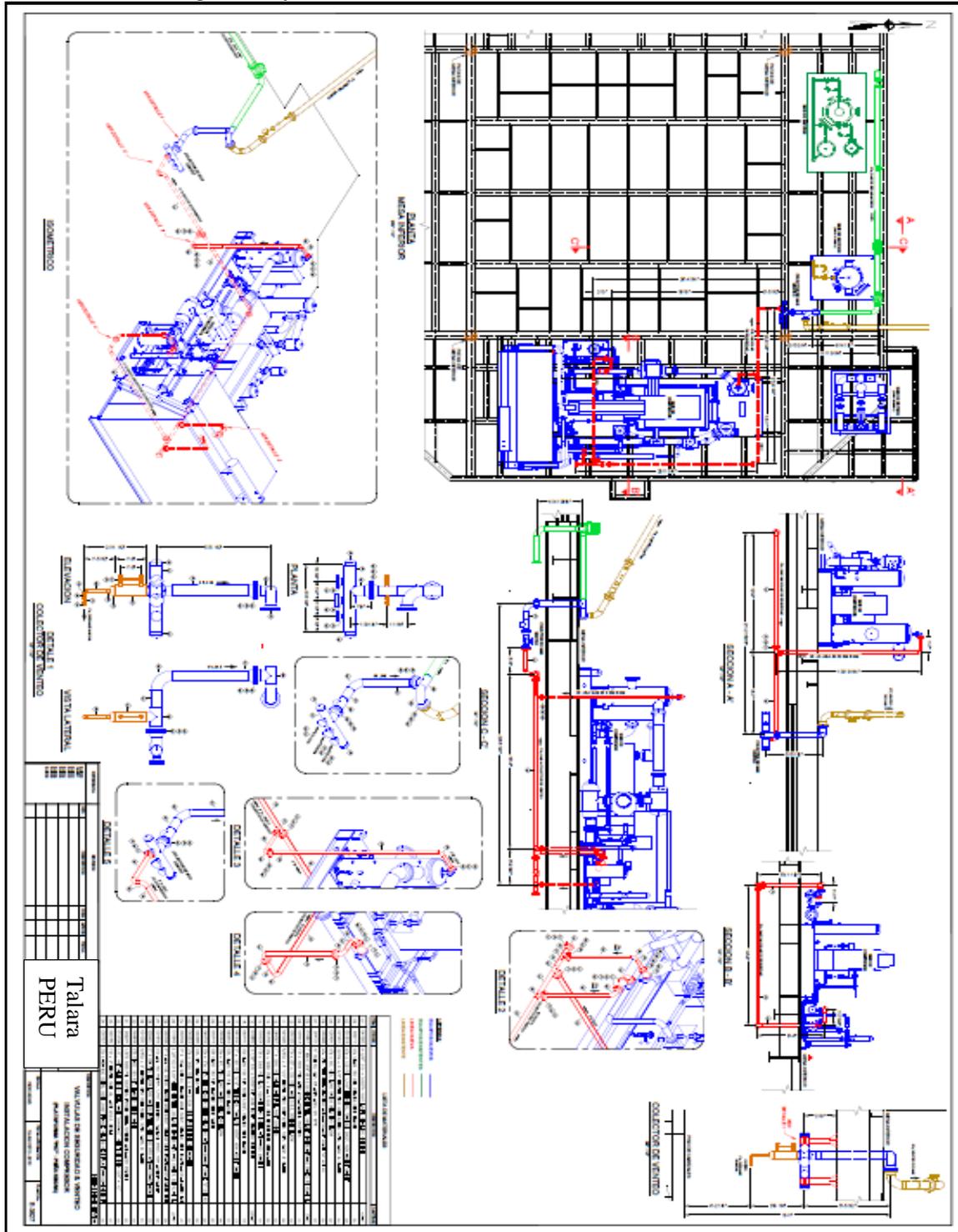




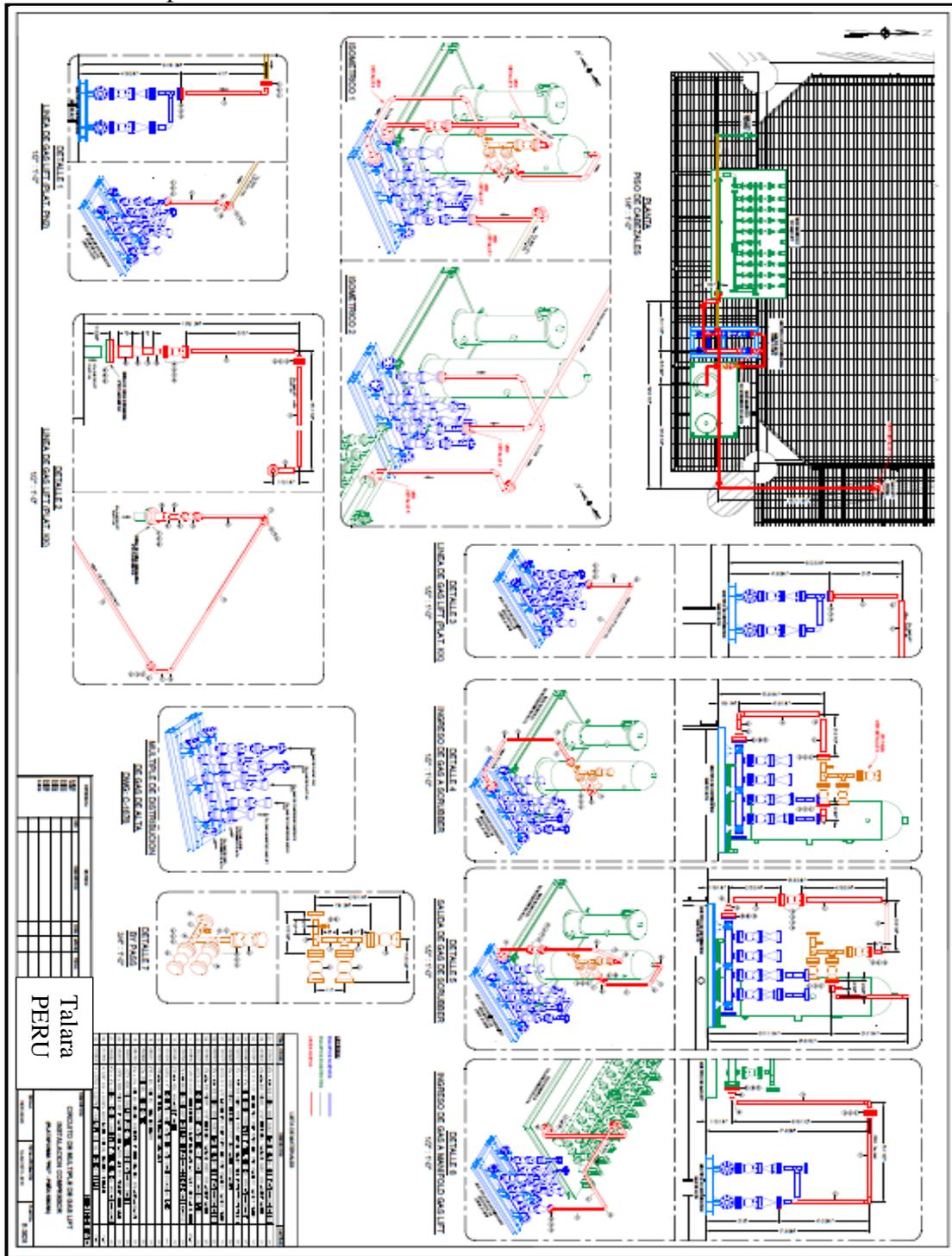




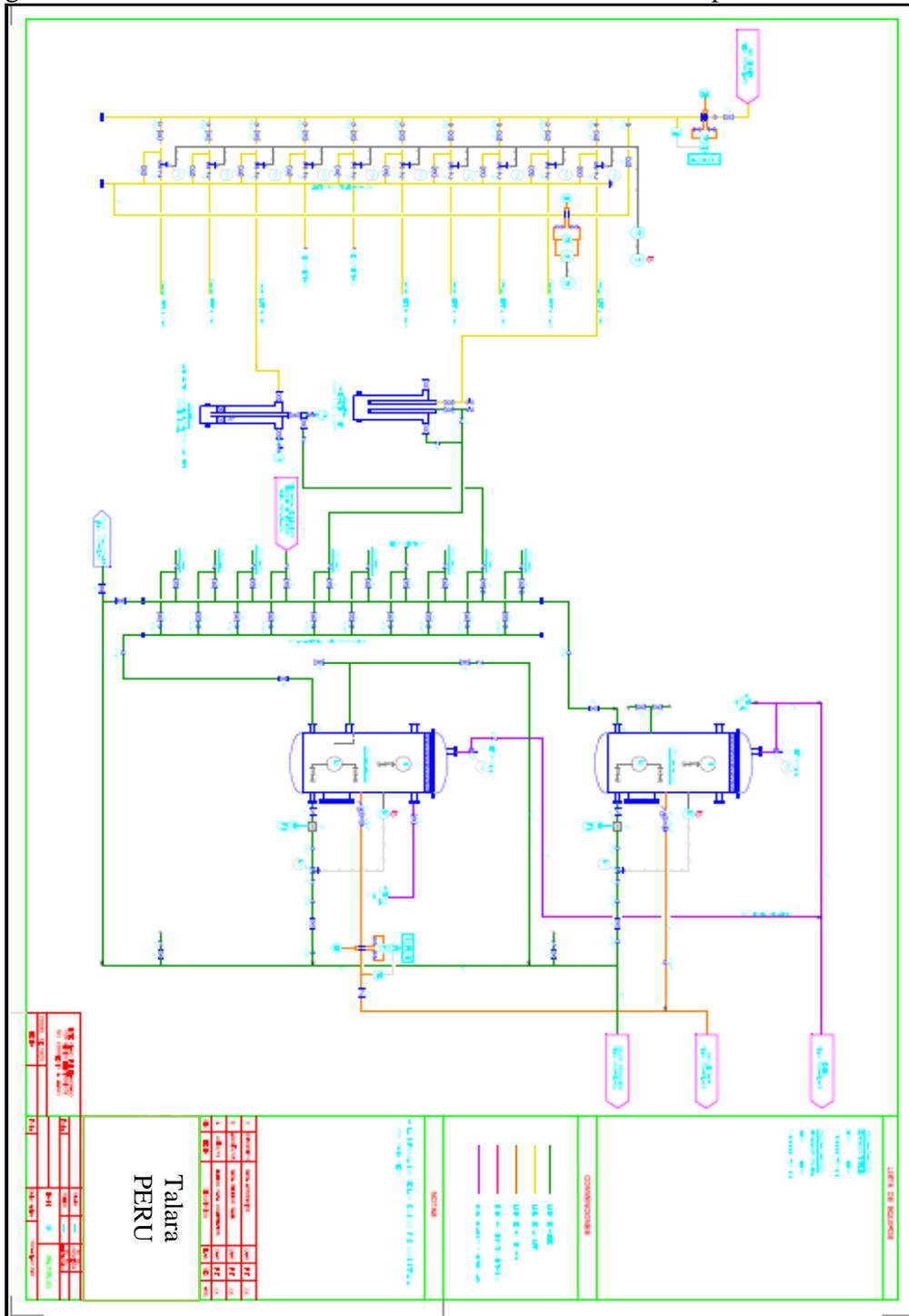
Anexo H. Válvulas de Seguridad y Venteo.

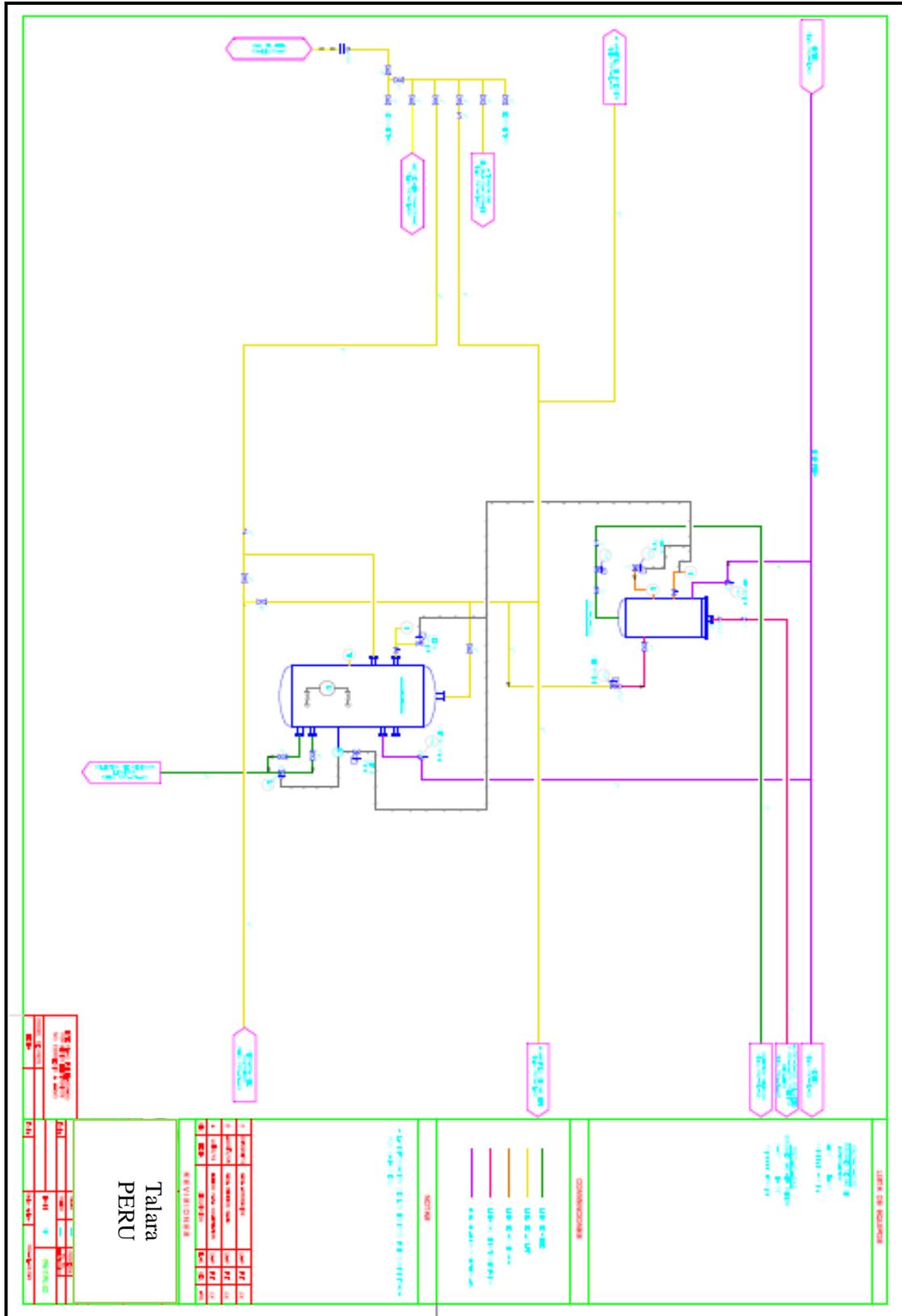


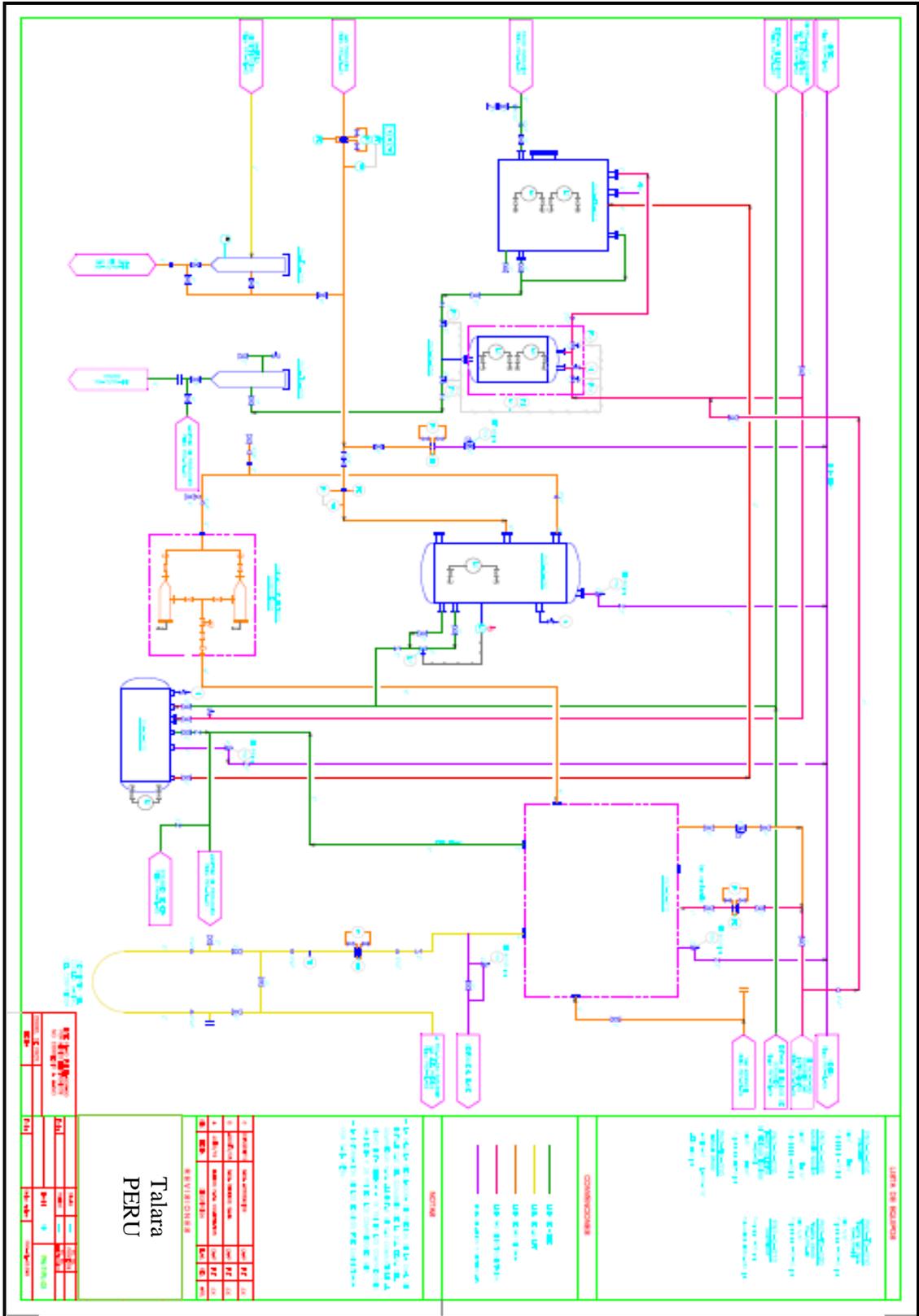
Anexo I. Circuito Múltiple de Gas Lift.

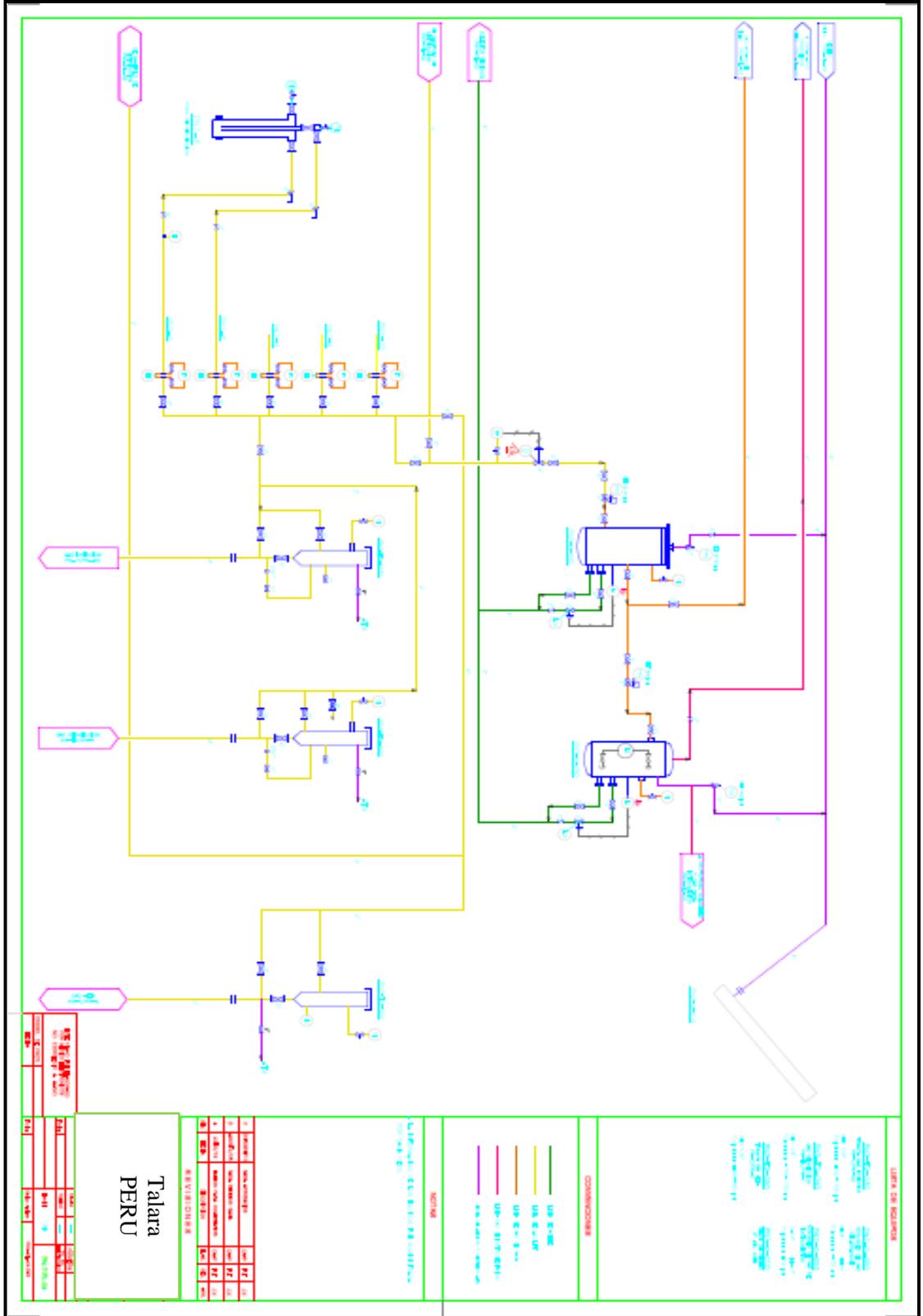


Anexo J. Diagrama del Proceso de Instrumentación P & ID. Cantidad = 4 planos.









Anexo K. Data Adquirida.

APENDICE K									
II. DATA ADQUIRIDA (1)									
Tiempo	Salida (PSI)	Tiempo	Salida (PSI)	Tiempo	Salida (PSI)	Tiempo	Salida (PSI)	Tiempo	Salida (PSI)
0,008	6350,03257	0,208	6350,06998	0,408	6350,10413	0,608	6350,07063		
0,016	6349,98118	0,216	6350,01794	0,416	6350,05209	0,616	6350,08656		
0,024	6350,01273	0,224	6349,97533	0,424	6350,00037	0,624	6350,0342		
0,032	6350,06315	0,232	6350,029	0,432	6349,99257	0,632	6349,98183		
0,04	6350,09339	0,24	6350,08169	0,44	6350,04493	0,64	6350,01273		
0,048	6350,04005	0,248	6350,07486	0,448	6350,096	0,648	6350,06412		
0,056	6349,98834	0,256	6350,02282	0,456	6350,06087	0,656	6350,09535		
0,064	6350,0046	0,264	6349,9711	0,464	6350,00785	0,664	6350,04103		
0,072	6350,05632	0,272	6350,02282	0,472	6349,98801	0,672	6349,99029		
0,08	6350,10153	0,28	6350,0729	0,48	6350,03908	0,68	6350,00395		
0,088	6350,04851	0,288	6350,08331	0,488	6350,09047	0,688	6350,05567		
0,096	6349,99615	0,296	6350,0303	0,496	6350,06607	0,696	6350,10315		
0,104	6349,99777	0,304	6349,97956	0,504	6350,01273	0,704	6350,05046		
0,112	6350,04949	0,312	6350,01436	0,512	6349,98053	0,712	6349,99875		
0,12	6350,10153	0,32	6350,06575	0,52	6350,03257	0,72	6349,99875		
0,128	6350,05339	0,328	6350,09144	0,528	6350,08429	0,728	6350,05079		
0,136	6350,00233	0,336	6350,04005	0,536	6350,0729	0,736	6350,10185		
0,144	6349,99029	0,344	6349,98769	0,544	6350,01989	0,744	6350,05437		
0,152	6350,04266	0,352	6350,00916	0,552	6349,97143	0,752	6350,00265		
0,16	6350,09437	0,36	6350,05989	0,56	6350,02509	0,76	6349,99192		
0,168	6350,06185	0,368	6350,09795	0,568	6350,07616	0,768	6350,04331		
0,176	6350,00818	0,376	6350,04396	0,576	6350,08104	0,776	6350,0947		
0,184	6349,98249	0,384	6349,99192	0,584	6350,029	0,784	6350,06217		
0,192	6350,03583	0,392	6350,00102	0,592	6349,97696	0,792	6350,01013		
0,2	6350,08689	0,4	6350,05371	0,6	6350,01859	0,8	6349,98411		

APENDICE K		DATA ADQUIRIDA (2)					
Tiempo	Salida (PSI)	Tiempo	Salida (PSI)	Tiempo	Salida (PSI)	Tiempo	Salida (PSI)
0,808	6350,03648	1,008	6350,00233	1,208	6349,97696	1,408	6350,00916
0,816	6350,08591	1,016	6350,05534	1,216	6350,02086	1,416	6349,98671
0,824	6350,07128	1,024	6350,10608	1,224	6350,0729	1,424	6350,04005
0,832	6350,01826	1,032	6350,05111	1,232	6350,08559	1,432	6350,09047
0,84	6349,97728	1,04	6350,00102	1,24	6350,0329	1,44	6350,06868
0,848	6350,0303	1,048	6349,9955	1,248	6349,98249	1,448	6350,01631
0,856	6350,08071	1,056	6350,04721	1,256	6350,01501	1,456	6349,98086
0,864	6350,07648	1,064	6350,09925	1,264	6350,06672	1,464	6350,03452
0,872	6350,02347	1,072	6350,05989	1,272	6350,09307	1,472	6350,08526
0,88	6349,9724	1,08	6350,00753	1,28	6350,04005	1,48	6350,07323
0,888	6350,02314	1,088	6349,98932	1,288	6349,98932	1,488	6350,02086
0,896	6350,07355	1,096	6350,04201	1,296	6350,00753	1,496	6349,97468
0,904	6350,08364	1,104	6350,09242	1,304	6350,05892	1,504	6350,02737
0,912	6350,03127	1,112	6350,06477	1,312	6350,10218	1,512	6350,08039
0,92	6349,98021	1,12	6350,01273	1,32	6350,04851	1,52	6350,08006
0,928	6350,01501	1,128	6349,98183	1,328	6349,9955	1,528	6350,02769
0,936	6350,0664	1,136	6350,0355	1,336	6350,00167	1,536	6349,97696
0,944	6350,09177	1,144	6350,08624	1,344	6350,05371	1,544	6350,02054
0,952	6350,0394	1,152	6350,07258	1,352	6350,1051	1,552	6350,0716
0,96	6349,98769	1,16	6350,01989	1,36	6350,05306	1,56	6350,08884
0,968	6350,01013	1,168	6349,97403	1,368	6350,00102	1,568	6350,03648
0,976	6350,06185	1,176	6350,02737	1,376	6349,99484	1,576	6349,98411
0,984	6350,09665	1,184	6350,07746	1,384	6350,04721	1,584	6350,01403
0,992	6350,04428	1,192	6350,08039	1,392	6350,09827	1,592	6350,06607
1	6349,99322	1,2	6350,02769	1,4	6350,06087	1,6	6350,09405

		APENDICE K									
		DATA ADQUIRIDA (3)									
Tiempo	Salida (PSI)	Tiempo	Salida (PSI)	Tiempo	Salida (PSI)	Tiempo	Salida (PSI)	Tiempo	Salida (PSI)	Tiempo	Salida (PSI)
5	6350,08526	14	6349,99875	22,504	6355,40948	28,4	6355,4625				
5,008	6350,03257	14,008	6350,0046	22,512	6355,36948	28,408	6355,5038				
5,016	6349,98118	14,016	6350,05664	22,52	6355,42217	28,416	6355,44981				
5,024	6350,01273	14,024	6350,10803	22,528	6355,47355	28,424	6355,39745				
5,032	6350,06315	14,032	6350,05567	22,536	6355,4677	28,432	6355,40395				
5,04	6350,09339	14,04	6350,00428	22,544	6355,41599	28,44	6355,45599				
5,048	6350,04005	14,048	6349,99777	22,552	6355,36427	28,448	6355,50706				
5,056	6349,98834	14,056	6350,05079	22,56	6355,41436	28,456	6355,45534				
5,064	6350,0046	14,064	6350,10185	22,568	6355,46672	28,464	6355,40363				
5,072	6350,05632	14,072	6350,06315	22,576	6355,47616	28,472	6355,3955				
5,08	6350,10153	14,08	6350,01143	22,584	6355,42444	28,48	6355,44949				
5,088	6350,04851	14,088	6349,99062	22,592	6355,37273	28,488	6355,4999				
5,096	6349,99615	14,096	6350,04266	22,6	6355,40753	28,496	6355,4625				
5,104	6349,99777	14,104	6350,09372	22,608	6355,45892	28,504	6355,41078				
5,112	6350,04949	14,112	6350,0716	22,616	6355,48656	28,512	6355,38769				
8	6350,07258	19,8	6355,39029	26	6355,40102	29,928	6355,4973				
8,008	6350,02054	19,808	6355,44168	26,008	6355,39484	29,936	6355,44331				
8,016	6349,97793	19,816	6355,40135	26,016	6355,44721	29,944	6355,39257				
8,024	6350,03062	19,824	6355,35029	26,024	6355,49827	29,952	6355,41078				
8,032	6350,08169	19,832	6355,32947	26,032	6355,46087	29,96	6355,46217				
8,04	6350,08071	19,84	6355,38314	26,04	6355,40916	29,968	6355,50478				
8,048	6350,02802	19,848	6355,43387	26,048	6355,38671	29,976	6355,45111				
8,056	6349,97663	19,856	6355,41403	26,056	6355,44005	29,984	6355,39907				
8,064	6350,02477	19,864	6355,36232	26,064	6355,49047	29,992	6355,40363				
8,072	6350,07648	19,872	6355,32166	26,072	6355,46868	30	6355,45534				

Anexo L. Tarjeta de Adquisición de Datos – USB 6009.  
 Tomado de: National Instruments.

**USER GUIDE**

# NI USB-6008/6009

**Bus-Powered Multifunction DAQ USB Device**

Français	Deutsch	日本語	한국어	简体中文
<a href="http://ni.com/manuals">ni.com/manuals</a>				

The National Instruments USB-6008/6009 devices provide eight single-ended analog input (AI) channels, two analog output (AO) channels, 12 DIO channels, and a 32-bit counter with a full-speed USB interface. This user guide describes how to use these devices.

For specifications, refer to the *NI USB-6008 Device Specifications* and the *NI USB-6009 Device Specifications* available at [ni.com/manuals](http://ni.com/manuals).

The following table compares the NI USB-6008 and NI USB-6009 devices.

**Table 1. NI USB-6008 and NI USB-6009 Comparison**

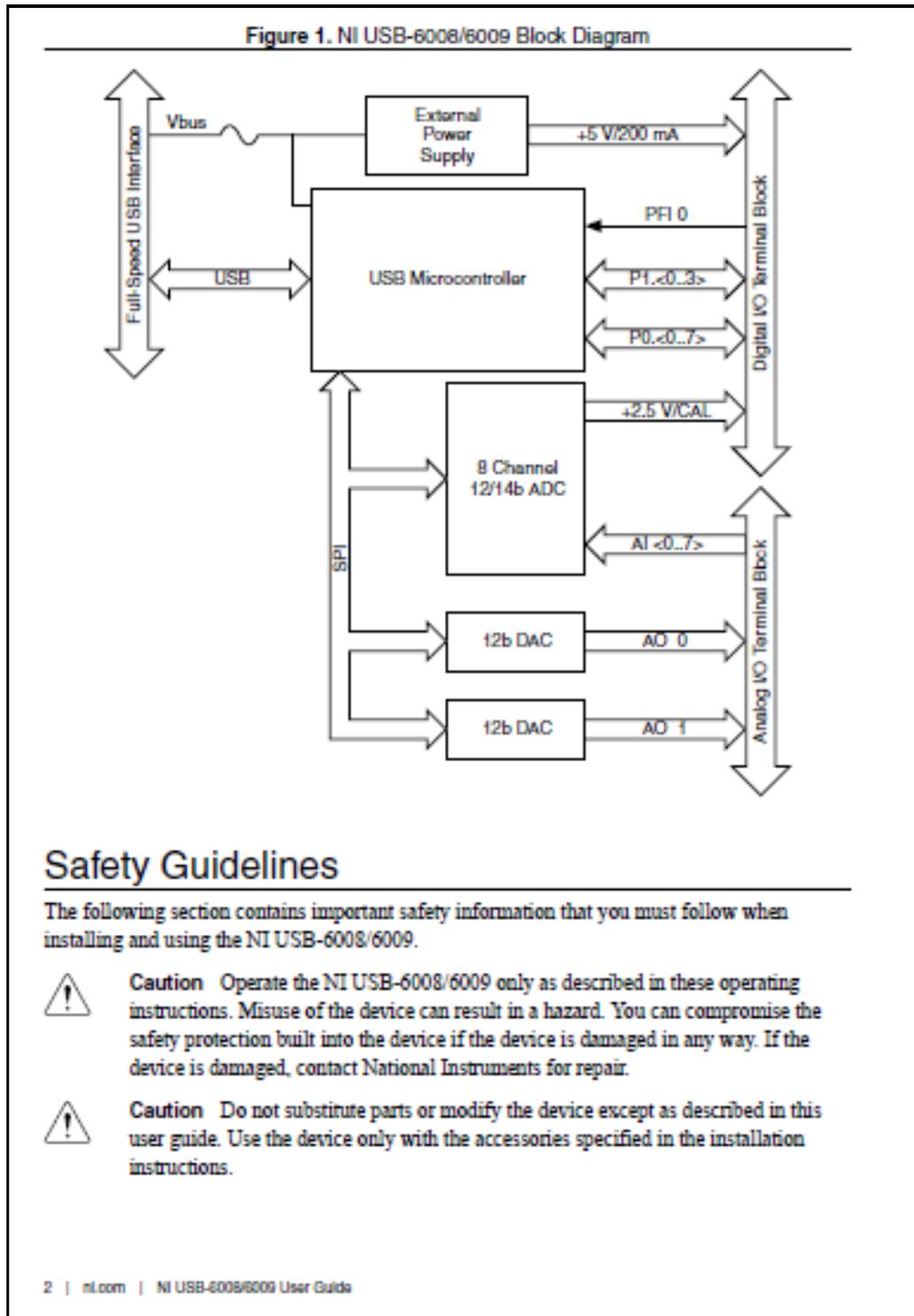
Feature	NI USB-6008	NI USB-6009
AI resolution	12 bits differential, 11 bits single-ended	14 bits differential, 13 bits single-ended
Maximum AI sample rate, single channel <sup>1</sup>	10 kS/s	48 kS/s
Maximum AI sample rate, multiple channels (aggregate) <sup>1</sup>	10 kS/s	48 kS/s
DIO configuration	Open collector <sup>2</sup>	Each channel individually programmable as open collector or active drive <sup>2</sup>

The following figure shows key functional components of the NI USB-6008/6009.

<sup>1</sup> System-dependent.

<sup>2</sup> This document uses NI-DAQmx naming conventions. Open-drain is called open collector and push-pull is called active drive.







**Caution** Do not operate the device in an explosive atmosphere or where there may be flammable gases or fumes. If you must operate the device in such an environment, it must be in a suitably rated enclosure.

## Electromagnetic Compatibility Guidelines

---

This product was tested and complies with the regulatory requirements and limits for electromagnetic compatibility (EMC) stated in the product specifications. These requirements and limits provide reasonable protection against harmful interference when the product is operated in the intended operational electromagnetic environment.

This product is intended for use in industrial locations. However, harmful interference may occur in some installations, when the product is connected to a peripheral device or test object, or if the product is used in residential or commercial areas. To minimize interference with radio and television reception and prevent unacceptable performance degradation, install and use this product in strict accordance with the instructions in the product documentation.

Furthermore, any changes or modifications to the product not expressly approved by National Instruments could void your authority to operate it under your local regulatory rules.



**Caution** To ensure the specified EMC performance, operate this product only with shielded cables and accessories.



**Caution** This product may become more sensitive to electromagnetic disturbances in the operational environment when test leads are attached or when the product is connected to a test object.



**Caution** Emissions that exceed the regulatory requirements may occur when this product is connected to a test object.



**Note** Changes or modifications to the product not expressly approved by National Instruments could void your authority to operate the product under your local regulatory rules.

## Unpacking the Kit

---



**Caution** To prevent electrostatic discharge (ESD) from damaging the device, ground yourself using a grounding strap or by holding a grounded object, such as your computer chassis.

1. Touch the antistatic package to a metal part of the computer chassis.
2. Remove the device from the package and inspect the device for loose components or any other sign of damage.



**Caution** Never touch the exposed pins of connectors.



**Note** Do not install a device if it appears damaged in any way.

- Unpack any other items and documentation from the kit.  
Store the device in the antistatic package when the device is not in use.

## Setting Up the NI USB-6008/6009

Complete the following steps to get started with the NI USB-6008/6009.



**Note** For information about non-Windows operating support, refer to the *Getting Started with NI-DAQmx Base* document available from [ni.com/manuals](http://ni.com/manuals).

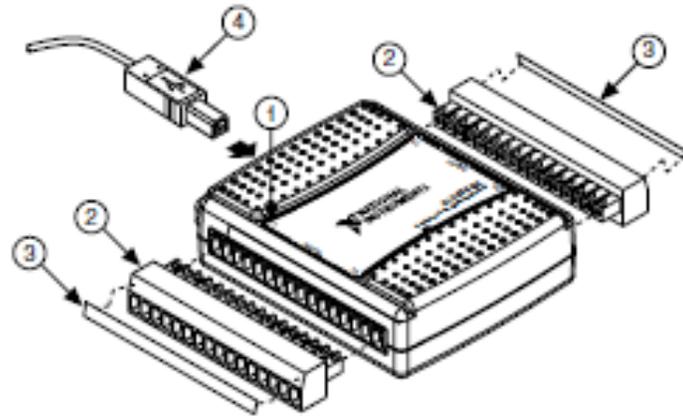
- Install the application software (if applicable), as described in the installation instructions that accompany your software.
- Install NI-DAQmx<sup>3</sup>.



**Note** The NI-DAQmx software is included on the disk shipped with your kit and is available for download at [ni.com/support](http://ni.com/support). The documentation for NI-DAQmx is available after installation from **Start>All Programs>National Instruments>NI-DAQmx**. Other NI documentation is available from [ni.com/manuals](http://ni.com/manuals).

- Install the 16-position screw terminal plugs by inserting them into the connector jacks, as shown in the following figure.

Figure 2. Signal Label Application Diagram



- |  |                 |
|--|-----------------|
| 1. Overlay Label with Pin Orientation Guides | 3. Signal Label |
| 2. Screw Terminal Connector Plug             | 4. USB Cable    |
- Affix the provided signal labels to the screw terminal connector plugs. You can choose labels with pin numbers, signal names, or blank labels, as shown in the following figure.

<sup>3</sup> NI USB-6008/6009 devices are supported by NI-DAQmx 7.5 and later.



Click **Start** to test the device functions, or **Help** for operating instructions. Click **Close** to exit the test panel.

## Using the NI USB-6008/6009 in an Application

You can use the DAQ Assistant through many NI application software programs to configure virtual and measurement channels. The following table lists DAQ Assistant tutorial locations for NI applications.

**Table 2.** DAQ Assistant Tutorial Locations

NI Application	Tutorial Location
LabVIEW	Go to <b>Help</b> » <b>LabVIEW Help</b> . Next, go to <b>Getting Started with LabVIEW</b> » <b>Getting Started with DAQ</b> » <b>Taking an NI-DAQmx Measurement in LabVIEW</b> .
LabWindows™/CVI™	Go to <b>Help</b> » <b>Contents</b> . Next, go to <b>Using LabWindows/CVI</b> » <b>Data Acquisition</b> » <b>Taking an NI-DAQmx Measurement in LabWindows/CVI</b> .
Measurement Studio	Go to <b>NI Measurement Studio Help</b> » <b>Getting Started with the Measurement Studio Class Libraries</b> » <b>Measurement Studio Walkthroughs</b> » <b>Walkthrough: Creating a Measurement Studio NI-DAQmx Application</b> .
LabVIEW SignalExpress	Go to <b>Help</b> » <b>Taking an NI-DAQmx Measurement in SignalExpress</b> .

Refer to the [Where to Go from Here](#) section for information about programming examples for NI-DAQmx and NI-DAQmx Base.

## Features

The NI USB-6008/6009 features a USB connector, USB cable strain relief, two screw terminal connector plugs for I/O, and an LED indicator, as shown in the following figure.